الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة عمار ثليجي – الأغواط

كلية/معهد: ***الهندسة المدنية و الهندسة المعمارية***
قسم: ***الهندسة المدنية***

مذكـــرة ماستـــر

تقديم الطالبين رعاد محمد و جلالي ناصر

ميدان:علوم و تكنولوجيا

شعبة: هندسة مدنية

تخصص: مواد هندسة مدنية

موضوع البحث

تحضير ملاط ذاتي الرص عالي الأداء مكون من الميتاكاولين والياف الزجاج موجه للاستعمال في الاعمال الترميمة

أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	الصفة
قوال ادريس	استاذ تعليم عالي	رئيسا
لخذاري محمد فاتح	استاذ مساعد أ	ممتحنا
بوخلخال أبوبكر	استاذ محاضر ب	مقررا
بن عابد بن شاعة	استاذ محاضر أ	مقررا مساعدا

الدفعة: سبتمبر - 2019

إلى سبب وجودي في هذه الحياة الوالدين الكريمين حفظهما الله و إلى جميع أفراد أسرتي .

إلى سندي في الحياة زوجتي الغالية و كل أفراد أسرتها (عائلتي الثانية)

إلى ملاكي و سبب الفرحة في حياتي في كل الأوقات ابنتي الحبيبة "إلينا وجدان"حفظها الله و أنبتها نباتا حسنا

إلى أصدقائي رفقاء دربي من داخل الجامعة و خارجها.

إلى الأستاذ أبو بكر بوخلخال و الأستاذ بن عابد بن شاعة إلى أساتذتي الكرام الذين أناروا دروبنا بالعلم و المعرفة.

إلى كل من يقتنع بفكرة فيدعو إليها و يعمل على تحقيقها، لا يبغي بها إلا وجه الله و منفعة الناس.

إليكم أهدي ثمرة هذا العمل المتواضع.

شكر وتقدير

أرى لزاما علينا تسجيل الشكر و إعلامه و نسبة الفضل لأصحابه، استجابة لقول النبي ﷺ: **«من لم يشكر الناس لم يشكر الله».**

و كما قيل :

علامة شكر المرء إعلان حمـده فمن كتم المعروف منهم فما شكر

فالشكر أولا لله عز و جل على أن هدانا لسلوك طريق البحث و التشبه بأهل العلم و إن كان بيننا و بينهم مفاوز.

كما نخص بالشكر أستاذنا الفاضل الدكتور أبوبكر بوخلخال فقد كان حريصا على عملنا خطوة بخطوة كما نشكر الأستاذة الأفاضل لخذاري محمد فاتح، قوال إدريس و بن عابد بن شاعة، وكل أساتذة دائرة الهندسة المدنية فلهم منا وافر الثناء و خالص الدعاء.

كما نشكر السيد مدير مخبر الهندسة المدنية وكل عمال المخبر الذين لم يبخلوا علينا بالمساعدة حتى على حساب أوقات راحتهم أسأل الله أن يجزيهم عنا خيرا و أن يجعل عملهم في ميزان حسناتهم.

محمد ناصر

الملخص

يهدف هذا العمل إلى إنتاج ملاط ذاتي الرص مخصص للأعمال الترميمية وذلك باستبدال نسبة من الاسمنت بمادة ناعمة هي الميتاكاولين و إضافة نسب من ألياف الزجاج . من أجل ذلك قمنا بدراسة ثمان خلطات، واحدة شاهدة (مرجعية)، ثلاث خلطات تحتوي على نسب مختلفة من المتاكاولين (5، 10و15%)، وأخرى تحتوي نسب من ألياف الزجاج (0,2، 0,4 و 0,6%) وخلطة مزجنا فيها بين استبدال 10% من الميتاكاولين و إضافة 0,4% من ألياف الزجاج. في الحالة الطرية قمنا بتجربتي الانتشار (الانسياب) و التدفق (الجريان). أما في الحالة المتصلبة وقصد تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للملاط ذاتي الرص قمنا بقياس مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء، الإنكماش و نسبة امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء. ومن أجل التأكد من أداء هذا الملاط في أعمال الترميم أجرينا تجارب على روافد خرسانية مسلحة و مرممة بمختلف الخلطات ثم عرضناها للانحناء و أخرى على عينات أسطوانية رممناها بختلف الخلطات كذلك وعرضناها للانضغاط. أثبتت النتائج المتحصل عليهاأن أن إضافة ألياف الزجاج تؤثر بشكل كبير على سيولة ولزوجة الملاط لذا يجب إضافتها بنسب محدودة، كما أثبتت مختلف التجارب أن الميتاكاولين له تأثير ايجابي في مقاومة الضغط. وعموما كانت الخلطة التي مزجنا فيها بين إضافة ألياف الزجاج و الاستبدال الجزئي للإسمنت بالميتاكاولين بنسبة 10 % هي الخلطة المثالية في اختبار مختلف الخصائص لذا فهي الأنسب للترميم.

كلمات مفتاحية:ملاط ذاتي الرص، ميتاكاولين، ألياف الزجاج، الترميم، مقاومة الانحناء.

Abstract

The purpose of this work is to produce a self-compacting mortar dedicated for restoration work by replacing a proportion of cement with a fin material called metakaolin and adding proportions of glass fibers. For this we studied eight mixtures, one control (reference), three containing different ratios of metakaolin (5, 10 and 15%), and others including three ratios of glass fibers (0.2, 0.4 and 0.6%) and one mixture with combined use of metakaolin (10%) and glass fibers (0.4%). At fresh state, two tests were realized slump flow and V-funnel time. In order to evaluate the physical and mechanical

properties of the self-compacting mortar, several parameters were measured such as compressive strength, bending strength, shrinkage and water absorption. In order to ensure the performance of this mortar for the restoration work, experimentswere realized on reinforced self-compacting concrete and restored with various mixtures. The specimens were subjected to flexural strength (3 and 4 points) and slant shear strength. The obtained results showed that the addition of glass fibers significantly affected the fluidity and viscosity of the mixtures and therefore should be added in limited proportions. In general, the mixture in which the glass fiber and partial replacement of cement with metakaolin by 10% are combined is the ideal mixture in testing various properties and is therefore more suitable for restoration works.

Key words: self-compacting mortar, metakaolin, glass fiber, restoration, bending resistance.

المصطلحات العلمية و الرموز

الرمز	العربية	الإنجليزية
C	إسمنت	Cement
/	خرسانة	Concrete
SCC	الخرسانة ذاتية الرص	Self-Compacting concrete
SLC	الخرسانة ذاتية الإستواء	Self-levelingconcrete
/	إضافة	Addition
/	إمتصاص	Absorption
W	الماء	Water
S	رمل	Sand
G	ركام	Gravel
/	زجاج	Glass
/	ملدن فائق	Superlasticizer
/	خلطة	Mixture
/	نعومة	Finesse
M	ملاط	Mortar
/	طرية	Fresh
/	مقاومة	Strength
/	مسحوق	Powder
/	قولبة	Formwork
/	كثافة	Density
/	سيولة	fluidity
/	نضوح	Bleeding
/	إنحناء	Flexural
/	تدفق- جريان	Flow
/	تسليح	Reinforcement
/	ديمومة	Durability
/	إختبار الانتشار	Slump flow test
/	المقاومة للقص	Shearstrength
/	إنفصال حبيبي	Segregation
W/C	نسبة الماء الى الإسمنت	Water/ Cement
G/S	نسبة ركام الى رمل	Gravel/ Sand
W/B	النسبة الماء إلى الرابط	Water/ Binder
S/M	نسبة الرمل إلى الملاط .	Sand/ Mortar
SP/B	نسبة الملدن إلى الرابط	Superlasticizer/Binder
W/C	نسبة الماء الى الإسمنت	Water/ Cement

مقدمـة عـــامة

إن الخرسانة هي أكثر المواد استعمالا في عملية البناء ، و نتيجة لتزايد المتطلبات التكنولوجية و المعمارية فقد أوجدت أنواع جديدة من الخرسانة من أهمها الخرسانة ذاتية الرص والتي تعتبر واحدة من أهم التطورات في تكنولوجيا الخرسانة والبناء في الوقت الحالي وذلك لقدرتها على التدفق الحر في القوالب وعلى رص نفسها بنفسها وعلى طرد الهواء المحصور دون استخدام الهزازات، ومن المزايا المهمة في استخدام الخرسانة ذاتية الرص بالمقارنة مع الخرسانة التقليدية هو رص نفسها بطريقة كاملة ومنتظمة مما يؤدي إلى تكوين أسطح خرسانية ملساء وكثيفة ذات مقاومة عالية للانعزال. إن قدرة الخرسانة الذاتية الرص على التحمل هو نتيجة إلى الكثافة وقابلية التشغيل العاليتين والحد من الفراغات بشكل ممتاز وكذلك الحد من ظاهرة النضح بالإضافة إلى زيادة قوة التلاصق بين الخرسانة وحديد التسليح حيث أثبتت الاختبارات أن الخرسانة الذاتية الرص تعطي تلاصق أعلى بنسبة 50 - 70% % بالمقارنة مع الخرسانة التقليدية التي يتم رصها بالكامل بالإضافة إلى المقاومة العالية للانعزال . من جانب آخر فان الخرسانة الذاتية الرص تتميز بمقاومة الانضغاط ومقاومة شد الانفلاق وسرعة الذبذبات فوق الصوتية العالية مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية. بالإضافة إلى المميزات الفنية للخرسانة ذاتية الرص في الحالة الطرية والصلبة هناك مزايا اقتصادية و التي تنتج عن استخدام هذه الخرسانة حيث أن أهم ما يميزها هو لزوجتها المنخفضة ومعدل انسيابها العالي وهذا يؤدي الى تقليل الضغط على المضخات الخاصة بضخ هذا النوع من الخرسانة وتقليل التلف في معدات ضخ الخرسانة فضلاً عن تقليل الفترة المطلوبة للصب .ومن جانب آخر فانها تختزل كلفة عمليات الرص المتبعة في حالة الخرسانة التقليدية وتقلل تأثير الضوضاء في موقع العمل . كما أن هذه الخرسانة تساعد المصممين على إمكانية انجاز الإشكال المعقدة المكتظة بحديد التسليح والتي يصعب رصها بالهزازات في حالة الخرسانة العادية .

تتعرض المنشآت الخرسانية إلى تدهور في بعض عناصرها مع مرور الزمن نتيجة لمؤثرات خارجية فيزيائية و كيميائية تتعلق بالوسط الموجودة فيه لذا نضطر لترميمها بخرسانة أو ملاط معد خصيصا لهذه العملية، ولأن المناطق المتدهورة غالبا ماتكون في أماكن ضيقة حيث يصعب وصول الملاط العادي اليها كان من الضروري أن يكون هذا الملاط ذاتي الرص لما له من خصائص ذكرناها سابقا.

وهنا نصل إلى محور بحثنا وهدفنا من هذه الدراسة التي تندرج في إطار تحضير ملاط ذاتي الرص اقتصادي و صديق للبيئة معد للأعمال الترميمية حيث استبدلنا جزئيا كمية من الإسمنت بكميات مختلفة من الميتاكاولين لتحسين أدائه خاصة مقاومة الانضغاط كما أضفنا كميات من ألياف الزجاج لتحسين مقاومة الانحناء .

وللتأكد من مدى تجاوب هذا الملاط مع ما نصبو إليه قمنا باختبار مختلف الخلطات بتجربتين، الأولى قمنا بترميم روافد خرسانية مسلحة شوهناها ثم رممناها لنلاحظ الفرق عند تعريضها لتجربة الانحناء، أما الثانية فقمنا فيها بترميم عينات خرسانية أسطوانية مشوهة بشكل مائل لمعرفة مدى تماسك ملاط الترميم مع الخرسانة عند تعريضها لتجربة الانضغاط.

قسمنا بحثنا هذا إلى ثلاث فصول بالإضافة إلى مقدمة عامة و خلاصة عامة، حيث تطرقنا في الفصل الأول لجمع المعلومات من بعض المراجع التي توفر المفاهيم الأساسية للخرسانة ذاتية الرص وتعرف المواد المستعملة فيها و طريقة صياغتها.

و في الفصل الثاني قمنا بقياس الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية للمواد المستعملة، و إجراء تجارب على الملاط ذاتي الرص لدراسة تأثير إضافة الميتاكاولين وألياف الزجاج عليه .

أما في الفصل الثالث فقمنا بعرض النتائج المتحصل عليها في الحالتين الطرية والمتصلبة و التي تخص قطر الإنتشار، زمن التدفق، مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء، الإنكماش ونسبة امتصاص الملاط للماء ، كما قمنا بتجارب على ملاطنا المخصص للترميم في الحالة المتصلبة لمعرفة مدى تجانسه مع الخرسانة المرممة و قد قمنا برسم المنحنيات الخاصة بهاذه النتائج، تحليلها، تمحيصها والخروج في الأخير بخلاصة عامة حول خصائص هذا الملاط.

1-1. مقدمة عن الخرسانة ذاتية الرص:

لقد تم تطوير الخرسانة ذاتية الرص(Self-compacting concrete) في سنوات الثمانينات, من قبل باحثين من جامعة طوكيو في اليابان ، وكان هدفهم رفع وتيرة العمل وتخفيض قوة اليد العاملة الفنية، وما لبثت حتى انتشرت في انحاء كندا وأوروبا وأمريكا ,فمع زيادة طلب الاهتمام بالخرسانة ذاتية الرص في الميدان زاد مـــن الاهتمام الدولي بهـــا، فالخرسانة ذاتية الرص هي نوع من الخرسانة تنتشر في الأماكن تحت وزنها الخاص بدون استعمال شـد ولا اهتزاز أي تتوضع تحت فعل الجاذبية الأرضية ,وهي بهذا لا تحتاج الى يد عاملة إضافية أو إمكانيات مادية كبيرة ، هذا النـــوع من الخرسانة خاص جدا من حيث الميزات الجوهرية الخاصة بالسيولة الكبيرة والمقاومة العالية ويستعمل في تسليـح مكثف ولا يحدث انفصال في الحبيبات، فمثلا الخرسانة السائلة عند إضافة كمية كبيرة من الماء والتي نصادفها مرارا في المنشآت السكنية لا تندرج تحت هذا النوع من الخرسانة ,لان السيولة الكبيرة تنعكس على المقاومة و تؤثر سلبا على ديمومة المنشأ والواجهات الخرسانية المراد إنشاؤها[1].

و تجدر الإشارة إلى أن ((Self Leveling Concrete (SLC) هو نفس عائلة (SCC) ويكمن الفرق بينهما أن (SLC) مقرر للتطبيقات السطحية المستوية (بلاطات,سقفيات) .أما (SCC) فيخص الاستعمال الشاقولي (الجدران، والواجهات)، وحسب ما سبق ذكره فإن الخرسانة ذاتية الرص ذات خصوصيات أكثر من باقي أنواع الخرسانة، كما تخضع لدفتر شروط خاص وصارم جدا.

1-2.تعريف الخرسانة ذاتية الرص SCC:

هي خرسانة سائلة ، لدنة ، متجانسة قادرة تحت تأثير الجاذبية الأرضية أن تتوضع في القوالب حتى وان كانت هذه القوالب معقدة ومتداخلة دون الحاجة إلى وسائل الرج . وهذه الخرسانة مؤهلة للعبور داخل القوالب كثيفة التسليح نظرا لسيولتها بواسطة سرعة متناسبة مع لزوجة الخليط، من خلال هذا ولاستيفاء الشروط السابقة يتضح أن الخرسانة يجب أن تكون سائلة جدا أي ذات قابلية تشغيل كبيرة ، وهذا لا يتحقق إلا إذا كانت النسبة $\frac{W}{C}$ كبيرة ويستحيل ذلك نظرا لأن كمية الماء إذا زادت فان ذلك ينقص من مقاومة الخرسانة، أي أنه يلزمنا استعمال مواد عالجة من نوع الملدنات الفائقة ومخفضة لنسبة كمية الماء في الخليط.

و السيولة ليست الخاصية الوحيدة في هذا النوع من الخرسانة لأنه يجب تحقيق التجانس للمركب (عجينة + حصويات) وهذا ما يجبر الخرسانة ذاتية الرص أن تكون متماسكة وجد مستقرة أثناء التوضع والى غاية التصلب، أي دون حدوث انفصال لمركبات الخليط ودون حدوث ترسب للمكونات الحصوية وتجنب ظاهرة الرشح ، لأن هذا يولد لا تجانس في الخصائص الميكانيكية والاستقرار الجيد مرتبط بـ:

- ✓ بعتبة قص.
- ✓ لزوجة الملاط.

وهذا يتطلب العوامل التالية:

- ✓ عامل لزوجة لتحسين تماسك المركب (عجيبة+ حصويات).
- ✓ تقليص الماء الحر.
- ✓ التقليل في النسبة G/S
- ✓ زيادة حجم العجينة.

لكن هذا الأخير لا يخلو من تأثيراته على ديمومة الخرسانة وذلك نتيجة لزيادة التفاعل الحراري و الذي يُحدث خطرا كبيرا على قدرة التعبئة وهي خاصية جد مطلوبة لهذا النوع من الخرسانة، مما سبق يتبين أنه يجب جمع عدة خصائص للحصول على المستوى المطلوب للمقاومة بالنسبة للضغط ، لكن قبل الوصول إلى هذه الحالة يجب ضمان القدرة الجيدة للتعبئة بالنسبة لهذه الخرسانة ، أي قدرة تشكيل عالية بالمقارنة مع الخرسانة العادية هذا من جهة ، ومن جهة أخرى يجب ضمان استقرار جيّد للخليط وتجنب ظاهرة انفصال المركبات. زيادة على ذلك ضمان انتشار في مخروط أبرامز محصور بين mm(600÷700) [2]. وعامل لزوجة يجب أن يحسن اللزوجة ولا يؤثر على قدرة التشكيل لهذه الخرسانة.

3-1. أسباب صناعة خرسانة ذاتية الرص:

اقترحت الخرسانة ذاتية الرص للحصول على خرسانة مستقرة حيث أن من مساوئ الخرسانة الرئيسية هي الانعزال ويحدث الانعزال للأسباب التالية:

- ✓ دحرجة الخرسانة والتي تحدث أثناء نقل ومناولة الخرسانة
- ✓ سقوط الخرسانة من مسافات عالية
- ✓ زيادة الرص عند وجود حديد تسليح بكثافة عالية وعند كون كمية مـــاء الخلط قليلة نحتاج إلى زيادة الرص لضمان تغلغل الخرسانة بين قضبان حديد التسليح إلا أن ذلك يؤدي إلى ترسب الحصى والرمل في الأسفل وصعود مونة الاسمنت إلى الأعلى.

توفر الخرسانة ذاتية الرص وقتا أطول للمناولة إضافة إلى تقليل حدوث الانعزال، وحيث أنها تكون سائلة جدا لذلك ليس هناك من حاجة إلى الرص. ويتم استخدام الخرسانة ذاتية الرص بصورة أساسية في المباني شاهقة الارتفاعات مثل برج خليفة بمدينة دبي حيث يساعد تشغيلية الخرسانة على سهولة الضخ لارتفاعات كبيرة.

التدفق الابتدائي للخرسانة ذاتية الرص يكاد يكون انهيار ومع ذلك لا يحدث انفصال أو نزف للخرسانة، بعض الخلطات الخرسانية التي تم تصميمها حققت إجهادات كسر تصل إلى 650 kg/cm^2، كما استخدمت الخرسانة ذاتية الرص في أعمال الحوائط اللوحية خاصة ذات الأعماق الكبيرة حيث تكون حركة الخرسانة بصورة طبيعية وتحت تأثير وزنها فقط [3].

4-1. مميزات الخرسانة ذاتية الرص:

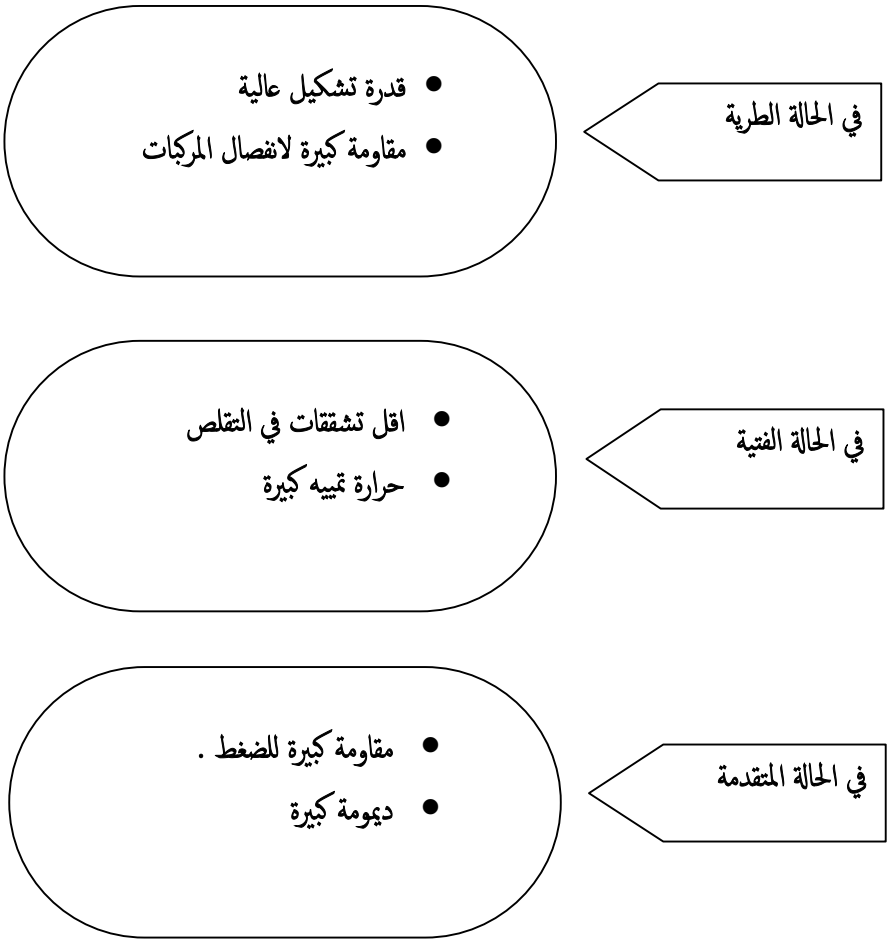
- تمتلك سيولة عالية بحيث يمكن صبها بدون رص ولا تعطي فرصة لإضافة الماء نظرا لسيولتها العالية .
- تبقى متجانسة قبل وبعد التصلب ولا يحدث بها انفصال حبيبي ويمكنها التغلغل خلال حديد التسليح.
- تحتاج إلى عمالة اقل.
- ديمومتها أعلى من الخرسانة العادية.
- يمكن ضخها في الأماكن العالية جدا أو استخدامها في الأماكن الضيقة أين يوجد كثافة في حديد التسليح دون الحاجة لبذل أي طاقة ميكانيكية لرص هذا النوع من الخرسانة.
- القدرة على صب كمية كبيرة من الخرسانة في فترة زمنية قصيرة.
- لا تحتاج لاستخدام هزازات في الموقع مما يؤدي إلى سهولة الصب.
- التغلب على مشكلة الضوضاء الناتجة عن الهزازات.
- توفر الخرسانة ذاتية الرص وقتا أطول للمناولة إضافة إلى التقليل من فرضية حدوث الانعزال، وحيث أنها تكون سائلة جدا لذلك ليس هناك حاجة إلى الرص.
- لها شكل ومظهر أفضل كما أنها لا تحتاج لتسوية سطحها بعد صبها[4] .

الشكل(1-1) : مقارنة بين الخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الرص[4]

1-5. شروط الخرسانية ذاتية الرض:

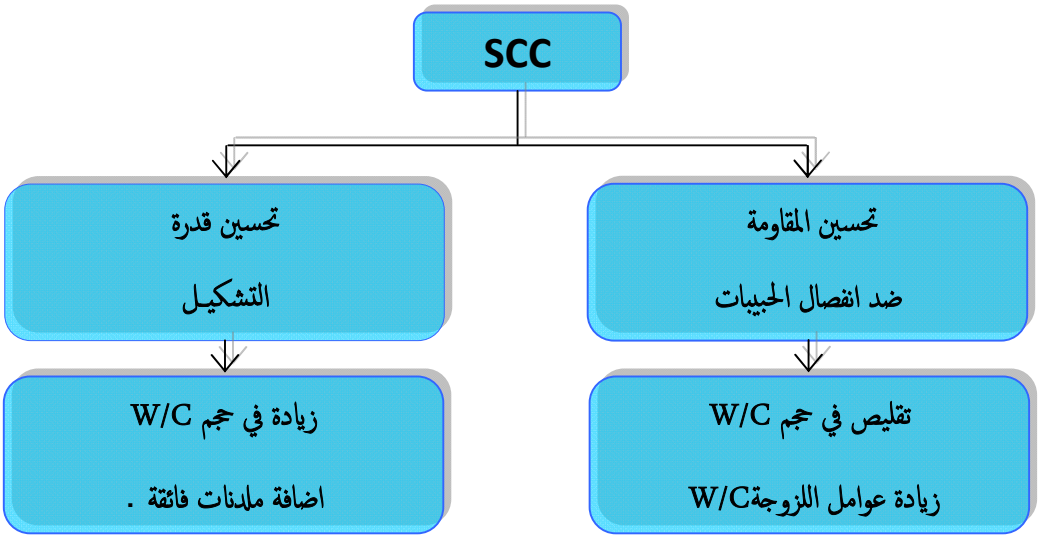
- ✓ هبوط يتراوح بين : 240 إلى 260mm.
- ✓ انتشار (étalement) محصور بين : 500mm ÷ 600.
- ✓ فرق في الارتفاع بالنسبة للعلبة L : $\frac{H_1}{H_2} \leq 0.8$.
- ✓ رشح أعظمي بـ: $0.5\ ml/m^2$.
- ✓ تقلص بالنسبة للتجفيف : $\rangle\ 400.10^{-6}\ \mu m/m$

[بالنسبة للخرسانة العادية : $(600 \div 800).10^{-6} \mu m/m$]



الشكل(1-2) : شروط إعداد الخرسانة ذاتية الرص

بالطبع هذا ليس سهل الإنجاز نظرا لتعلق هذه الخرسانة بشرطين أو خاصيتين متعاكستين علما أن تحسين أحدهما ينقص من فعالية الآخر (الشكل 1-3).



الشكل (1-3): تركيب الخرسانة ذاتية الرص SCC [5]

1-6. مساوئ الخرسانة ذاتية الرص: رغم كل الايجابيات والمميزات التي تتمتع بها الخرسانة ذاتية الرص إلا أن لها عدة مساوئ أهمها:

- ✓ تحتاج إلى تحكم وسيطرة نوعية عالية ولا يمكن إنتاجها إلا في معامل الخرسانة أو الخلاطات المركزية.
- ✓ تحتاج إلى نوعية قولبة محكمة حديدية (لا تنفع الخشبية)حتى لا تخرج الخرسانة من القولبة.
- ✓ التكلفة العالية لهذا النوع من الخرسانة لان تقدير الاسمنت يكون فيها عالي جدا وقد يصل إلى $550kg/m^3$، والاسمنت هو أغلى عنصر من بين العناصر المكونة لخرسانة ذاتية الرص.
- ✓ بالرغم من أنها تقاوم الانعزال إلا أن هناك فرصة ولو قليلة لحدوث الانعزال ويكون الانعزال فيها اخطر من الانعزال في الخرسانة العادية، وتلعب كمية الركام الخشن وكذلك الحجم الأقصى للركام الخشن دورا مهما في استقرار الخرسانة ذاتية الرص، فعندما يكون الحجم الأقصى للركام الخشن قريبا من اصغر مسافة بين قضبان حديد التسليح فهناك احتمالية كبيرة للانعزال.

وقد اقترح أحد الباحثين [6] أن كمية الركام عندما تكون 50% من حجم الخلطة فهي تمثل أفضل نسبة للخرسانة ذاتية الرص.كما إن استخدام ركام خفيف الوزن يقلل بشكل كبير من خطر الانعزال.

1-7. خصائص الخرسانة ذاتية الرص والعوامل المؤثرة عليها :

1-7-1. التشوه الحر:

وهو كفاءة الخرسانة في توضعها وذلك في الحالة الطرية، هذا التشوه هو بدلالة:

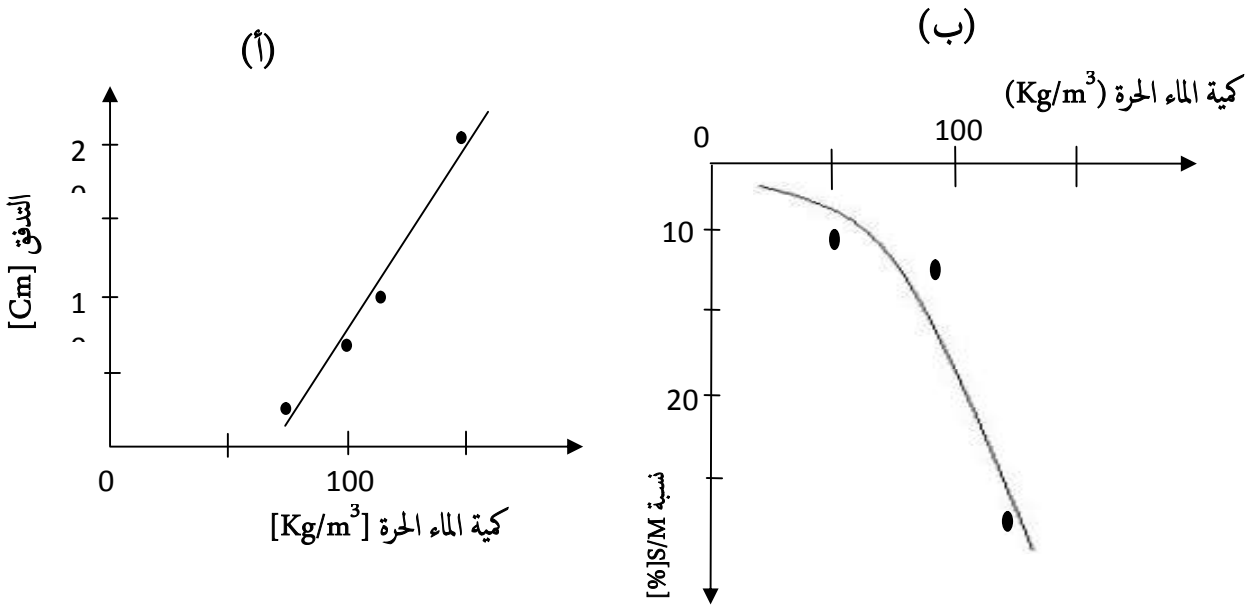
- ✓ شكل الحصويات.
- ✓ طبيعة الاسمنت و كمية الماء والنسبة $\frac{G}{S}$.

- ✓ نوع المواد العالجة.
- ✓ المقاومة ضد انفصال المركبات.

عموما فالتشوه الحر هو مرتبط بتركيبة الخرسانة ، وكذلك بوجود بعض العوامل التي تؤثر على هذه الخرسانة مثل: شكل القولبة والتباعد بين قضبان التسليح.وقد استطاع الباحثين Ozawa و Coll من اليابان إلى التوصل إلى أن قدرة التعبئة والتشوه الحر مرتبطين بكمية الماء الحرة ، وهذا الماء المعرف على أنه ماء لا يتفاعل كيميائيا ولا فيزيائيا مع الخرسانة. وقدرة التعبئة يمكن اعتبارها مؤشر تطبيقي لسهولة تشوه الخرسانة تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط [5].

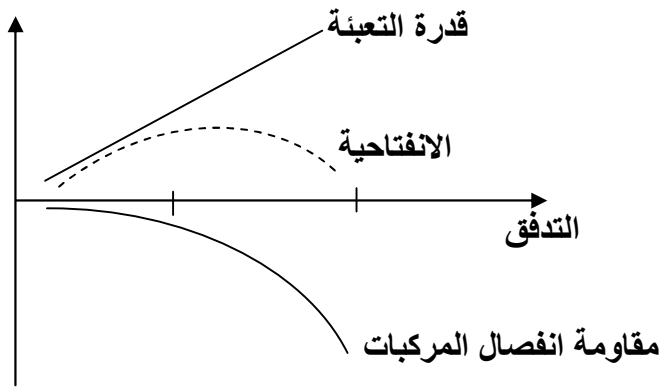
كما انه يوجد هناك عدة خرسانات لها نفس القيم الريولوجية ومختلفة السلوك بالنسبة لقدرة القص.

إذن هناك علاقة خطية بين إجهاد التشوه والمتمثل في مقدار التدفق، وبين كمية الماء الحرة (الشكل:1-3) ومن جهة أخرى العلاقة اللاخطية الموجودة بين كمية الماء الحرة وإمكانية حدوث انفصال المركبات راجعة إلى تناقص في نسبة الرمل (الشكل: 1- 4).



الشكل(1- 4) : العلاقة بين كمية الماء الحرة و التدفق [6].

وفي هذا الاتجاه يرى بعض الباحثين أن الزيادة في كمية الماء الحرة يساهم في زيادة ظاهرة انفصال المركبات وباجتماع مختلف الخصائص التي يؤثر عليها الماء الحرة كالتشوه ، ومقاومة انفصال المركبات ، والذي يؤدي إلى علاقة ما بين التدفق وقدرة التعبئة (الشكل1-5).



الشكل(1- 5): العلاقة بين التدفق والانفتاحية للخرسانة[6].

هذه الحالة تسمح لنا باقتراح أن قدرة التعبئة مرتبطة ارتباطا محددا بمراقبة وثيقة لتشوهات الخرسانة الطازجة ذات التدفق الصغير وبمقاومة انفصال المركبات في حالة التدفق العالي.

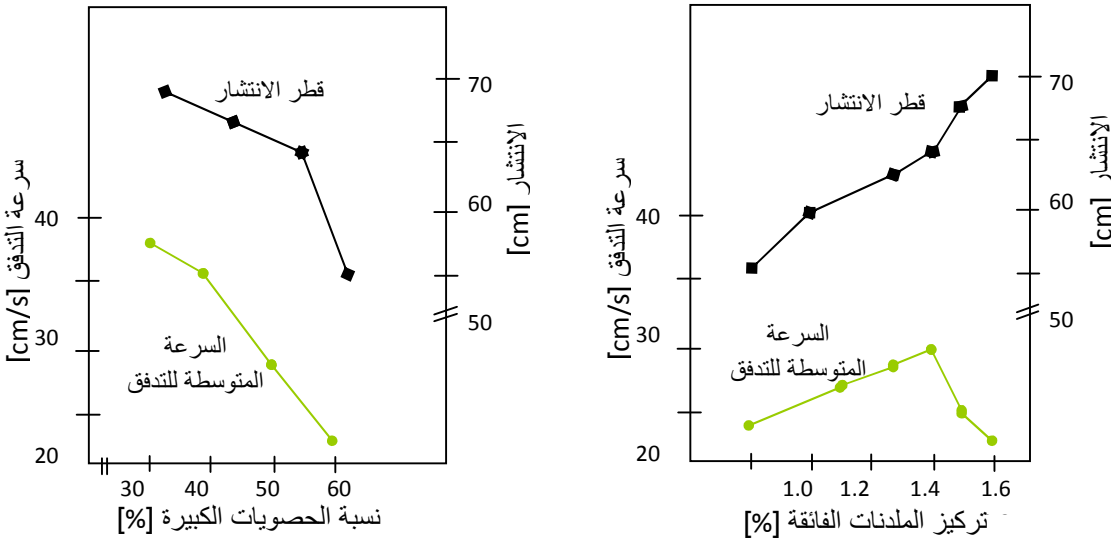
1-2.7. التشوه المحدود:

التشوه المحدود أو ما يسمى بخطر الانسداد، يحصل نتيجة لعدم تجانس الخليط الخرساني في الحالة الطرية هذا راجع إما لسوء تركيبة الخرسانة، أو لخطأ تقني عند التوضع . ويتميز بتجمع الخرسانة عند التسليح لاجتياز الأماكن المغلقة مع اقل تصادم ممكن ، وهذا يعني دون حدوث خطر الانسداد ، والتي غالبا ما تستحق فصل مراحل صب الخرسانة و إضافة كميات كبيرة من الماء.وظاهرة الانسداد يمكن أيضا أن تحدث بسب عدد كبير من التصادمات الناتجة عن الكمية المعتبرة للنواعم .

وقد قام الباحث [7] بتغيير حجم الجزيئات الكبيرة في حين استعملوا نفس الملاط السابق (مكونات الملاط السابق) فلاحظوا نقصان في الانتشار ، وفي سرعة الجريان في القمع، وتحصلوا على النتائج المبينة في الشكل(1-5).

هذه النتائج ناتجة عن تركيز كمية الحصويات الكبيرة. وفي تجارب أخرى على الخرسانة الرطبة قام نفس الباحثين ومن أجل كمية ثابتة للحصويات الكبيرة ونفس الملاط السابق مع زيادة تركيز الملدنات الفائقة ، فلاحظوا زيادة في قطر الانتشار بالنسبة لتركيز الملدنات الفائقة (الشكل 1-6). في حين تبلغ سرعة الجريان في القمع أقصاها وتتناقص بعد ذلك. نتيجة لتشوه الملاط والاختلاف في أحجام الحصويات الكبيرة.

وكنتيجة لهذه التجربة أكد الباحثان أن الطريقة الأفضل للحصول على الخرسانة ذاتية الرص هو التغيير في نسبة الحصويات الكبيرة وليس التغيير في تركيز الملدنات الفائقة [6].



الشكل(1- 6): تأثير نسبة الحصويات الكبيرة و نسبة الملدنات الفائقة على الانتشار [7]

دائما و بواسطة تجربة القمع قام بتثبيت انتشار الخرسانة الطرية إلى قطر (600 ± 30) ملم وتركيز ثابت للمواد العالجة من صنف الملدنات الفائقة ، ولاحظ بأن سرعة الجريان للخرسانة تزداد مع تناقص النسبة الحجمية $\frac{W}{B}$.

مما سبق استنتج Okamura انه ولأجل الحصول على خرسانة ذاتية الرص SCC يجب إتباع التجربتين التاليتين:

1.تجربة الانتشار

2.تجربة القمع

لكن هذه التجارب لا تعطي ضمان جيد لقدرة التعبئة بالنسبة للتسليح ذو التباعد 30 cm [7].

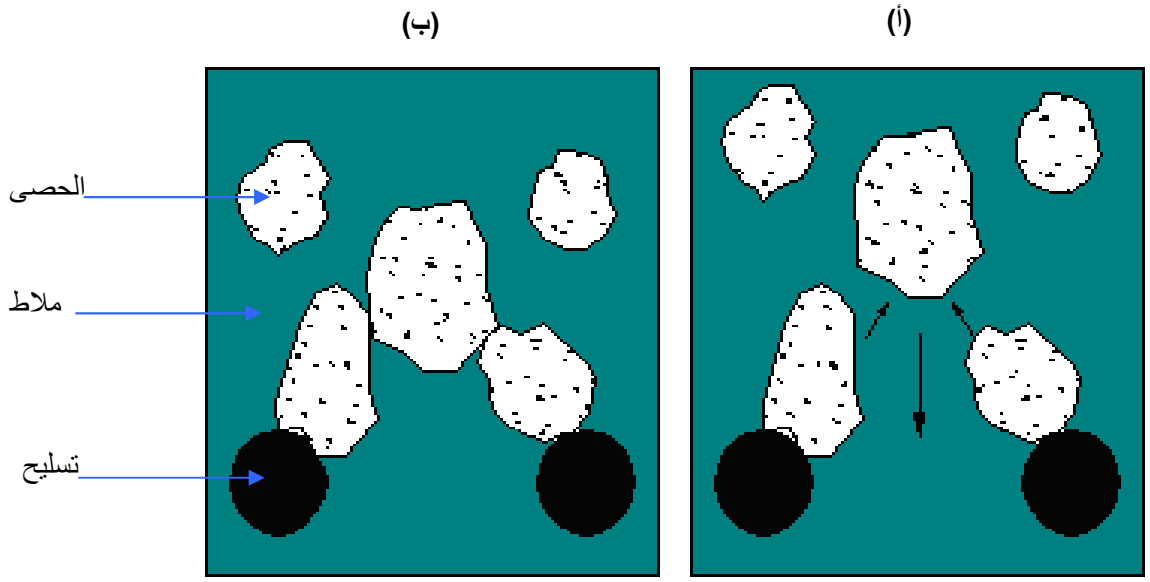
3.7-1. الاستقرار:

هذه الخاصية جد مطلوبة بالنسبة للخرسانة ذاتية الرص ، والتي تخص الحفاظ على ترابط الجزيئات الدقيقة والكبيرة دون حدوث خطر ظاهرة رسوب المكونات الثقيلة والمعروفة باسم انفصال المركبات وفي جميع الاتجاهات. وهذه الخاصية مرتبطة جدا بالاكتناز الحصوي أي أنها مرتبطة بكمية الماء الحرة في مراحل صنع الخرسانة.

ومن أجل فهم آلية حدوث ظاهرة انفصال المركبات في الحالة الرطبة طوّر الباحثون (Hashimoto 1988) و (Ozawa et coll., 1992) طريقة بصرية من أجل ملاحظة السلوك الميكانيكي للجزيئات الكبيرة من الحصويات ولتأكيد فكرة الباحث (Isshiki.,1986) والتي تنص على أن هناك تكون قوس للحصويات أي ترسب الحصويات الكبيرة و الناتجة عن انسداد الخرسانة وهي رطبة.

وقد لاحظ الباحث "Hashimoto" أنه وعند عبور الخرسانة بين شبكات التسليح، يحدث انقسام للجريان والذي يؤدي إلى تكدس الحصويات الكبيرة بسبب ضعف لزوجة الملاط. و يؤدي بذلك إلى تشوه محلي في عدة نقاط.

من جهة أخرى وبالاعتماد على مبدأ تحريك السوائل إلى أن ظاهرة انفصال المركبات ناتجة عن توضع وتصادم الحصويات ، وقد برهنوا أنه عندما يزداد التصادم والاحتكاك الداخلي للحصويات فانه يساعد على تكوين أقواس بالحصويات الكبيرة والتي تسمى بالقبب وهذا ما يعيق حركة الخرسانة [6]. (لاحظ الشكل 1-7).

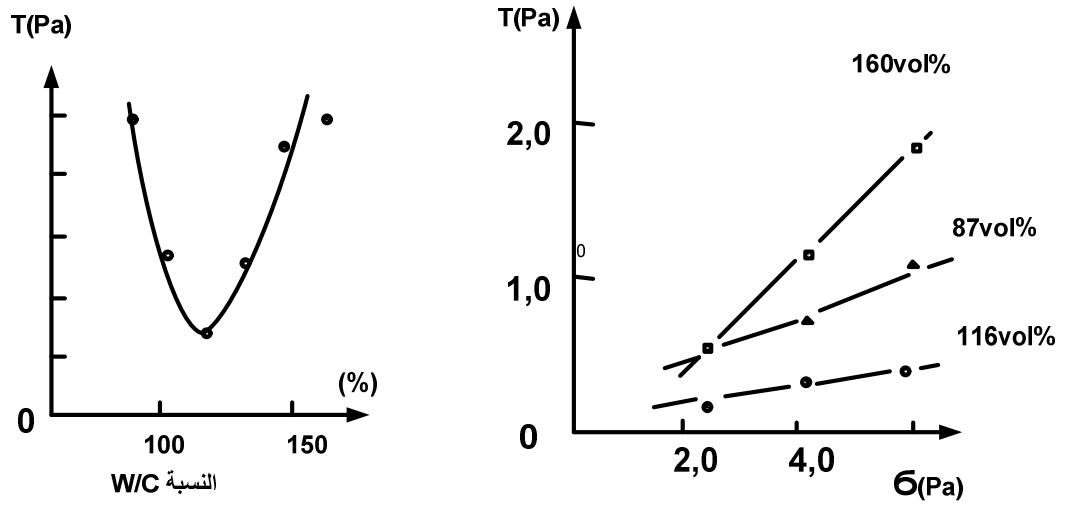


الشكل(1-7): ظاهرة انسداد الحصويات عند التسليح

و كنتيجة عامة :

فظاهرة انفصال المركبات الخرسانية ليست ناتجة عن الاختلاف في كثافة النوعية فقط بل راجع إلى تأثير كبير للتصادم والاحتكاك الداخلي للحصويات والمرتبطة مباشرة بلزوجة الملاط .

وقد أجرى العالمان Ozawa و coll 1992 تجربة لملاحظة مقاومة القص هذه التجربة تعتمد على وضع الملاط بين صفيحتين من الفولاذ (الشكل 1-7) وقياس مقاومة الملاط للقص لمختلف القوى العادية التي تشبه قوى فعل الحصويات على الملاط ، والنتيجة موضحة في الشكل (1. 8)، تبين أنه يوجد كمية من الماء عالية التي من اجلها تكون مقاومة الملاط ضعيفة للقص.



الشكل(1-8): العلاقة بين مقاومة القص و والإجهاد [6]

إذا كانت النسبة $\frac{W}{C}$ أقل من $\frac{W}{C}$ الفعّالة فان مقاومة القص تكون مرتفعة خاصة بارتفاع احتكاك الحبيبات فيما بينها وبالعكس إذا كانت $\frac{W}{C}$ عالية فان الماء يخرج بسهولة تحت تأثير قوى الضغط المطبقة.

وقد برهن الباحث [6] على وجود حاجة إلى إضافة عامل لزوجة والنتيجة الأساسية المتحصل عليها تجسد علاقة ما بين مقاومة القص و العجينة والكمية الموجود للعامل المخثر" colloïdal" ، غير أن القيمة العالية للزوجة مرتبطة بقدرة الملأ ، الشيء الذي يسمح باعتبار من أجل كل تركيبة للخرسانة عن جود قيمة العامل المخثر والعوامل المخفضة لانفصال المركبات والتي تزيد في الاستقرار هي:

- رفع نسبة الرابط.
- استعمال كمية ماء مثالية.
- حصويات ذات تدرج جيد وقطر متوسط.

وبالعودة إلى المثال الأخير برهن الباحثان Nagataki و Fujiwara انه للحصول على خرسانة ذاتية الرص دون استعمال عوامل اللزوجة ومع تركيز للمادة الرابطة مساوية لتركيزها في الخرسانة العادية. بـ: $400\ kg/m^3$ أو أقل ، وهو ممكن حسب هؤلاء الباحثين الحصول على خرسانة ذاتية الرص مع تركيز للإسمنت البورتلاندي بـ: $370\ kg/m^3$ وكمية ماء $159\ kg/m^3$ ومساحة سطح تتراوح بين: $4500 \div 5200\ g/cm^2$.

4.7-1. الرشح :

هو ظاهرة انفصال المركبات في المرحلة أثناء التو ضع ، وهو عبارة عن صعود الماء إلى سطح الخرسانة الموضوعة.

وهذه الظاهرة ناتجة عن مراحل تركيب الخرسانة ومراحل صبها في المكان. ويمكن الحد من هذه الظاهرة إما باستعمال حصويات ذات تدرج جيّد أو باستعمال إضافات معدنية، أو باستعمال المواد العالجة الكيميائية.

وقد برهن (Khayat et Yahia 1997) مع وجود عوامل لزوجة (هذا في حالة SCC) على أن تدفق الماء عبر الهيكل الحصوي يكون ضعيف أي أنه لا يحدث رشح (أو يكون بكمية قليلة)[8].وهذا الماء المرشح (الخارج عبر الهيكل الحصوي) يؤثر عكسيا على لزوجة الخليط.

1-5.7. الإنكماش :

هو نقص في الحجم أثناء عملية الآخذ للاسمنت ، وقد لاحظ هنا الباحثون (ogasawa et coll. 1998) و (Yasumoto et coll. 1998) أن تقلص الخرسانة ذاتية الرص يتأثر بالكمية الكبيرة للرابط وبنقص الحصويات الكبيرة مقارنة بالخرسانة العادية وبالتالي فان الخرسانة ذاتية الرص SCC حساس للتقلص. ولقد بين الباحثان (Tazawa et coll. 1994) أن التقلص الداخلي لعجينة الاسمنت يمكن تخفيضها بمزج عامل التمدد مع عوامل محددة للتقلص . وبعد ذلك برهن (Sakata et coll. 1996) أن مزج معامل التمدد والعامل المخفض للتقلص مع إضافة 20% من النواعم الكلسية يخفض التقلص بصفة ملحوظة إلى قيمة أقل من 300 µm/m. ولاحظ أن قيمة التقلص لـ SCC في أقل من 7 أيام تصل إلى 50% مقارنة بالخرسانة الشاهد (وهي عينة مرجعية لمقارنة العينات الأخرى)، وهذه الملاحظات تبين أهمية إنجاز الـ:SCC تحت تأثير الماء أثناء المدة المحددة قبل 7 أيام في الحالة الرطبة.

وفي دراسة جديدة حول تأثير الإضافات المعدنية على تقلص الخرسانة ذاتية الرص تحقق أن هناك علاقة بين زيادة التقلص الداخلي وتركيز النواعم وذلك بتغير من 40 ÷ 80 % من كمية الاسمنت بالنواعم في حين استبدلها بـ:20÷60 % من رماد البراكين يخفض بصفة هامة على التقلص الداخلي[6].

1-8. دفتر الشروط بالنسبة للخرسانة ذاتية الرص:

خاصية SCC تكمن في خصائصه قبل عملية التصلب ، ما يهمنا في دفتر الشروط هو خصائص SCC من حيث اللزوجة كما هو مبين في ما يلي:

- ✓ يجب أن يجري SCC تحت وزنه الذاتي فقط في وسط غير منتهي (مثل تسوية البلاط).وهذا ما يحتم على الخرسانة السيلان دون اهتزاز في القوالب كثيفة التسليح. لكن السيولة الكبيرة ليست كافية ، حيث أنه خلال جريان الخرسانة فان الحصى يقطع الملاط عند التسليح وتحاول أن تتجمع مع بعضها البعض لتشكل لنا حواجز تسمى بالقبب، وهذا ما يمنع وصول الخرسانة إلى كل القالب.
- ✓ ويجب أن تتمتع الخرسانة بمقاومة كبيرة ضد انفصال المركبات وهذا في مرحلة السيلان في المناطق كثيفة التسليح، ومنه يتبين لنا صعوبة تشكيل الـ: SCC.
- ✓ الـ: SCC يجب أن يتمتع بمقاومة كبيرة ضد الرشح أي صعود الماء نحو الأعلى وذلك بعد وضع الخرسانة في القوالب إلى غاية تصلبها، لكي يتم الحصول على مقاومة كبيرة للخرسانة. وكبرهان لذلك فالرشح يؤدي إلى صدأ

فولاذ التسليح وإلى نقص في خاصية الالتحام مع التسليح الموجود في الجزء العلوي بالمقارنة مع التسليح الموجود في الجزء السفلي.

- ✓ وأخيرا وباعتبار عملية الضخ التي تعتبر وسيلة نقل الخرسانة فيجب مراقبة أن الـ: SCC يمكن ضخه باستعمال هذه الوسيلة.

أول عائق يتبين للذي يريد تشكيل الـ : SCC من خلال قراءته لدفتر الشروط ، هو الجمع بين مميزات يمكن القول عنها أنها متناقضة وهي (السيولة، المقاومة ، التجانس).

1-9. المواد المستعملة في صناعة الخرسانة ذاتية الرص:

تتكون عادة من نفس المواد المستعملة في صناعة وإنتاج الخرسانة التقليدية(الاسمنت، الرمل، الحصى والماء) لكن مع استخدام إضافات كيميائية أو معدنية وعادة ما يتم تقييم الخلطات للخرسانة ذاتية الرص تجريبيًا. إن الخرسانة ذاتية الرص تشكل كمية عالية من الحبيبات الناعمة، أما حجم الهواء فيكون ضعيفا، ومحتوى الماء في الخرسانة ذاتية الرص عموما يكون تقريبا نفس كمية ماء الخرسانة الجارية.

ولتقليل الاحتكاك بين حبيبات خرسانة ذاتية الرص يجب ان يكون حجم الحصى منخفضا مقارنة بالخرسانة التقليدية

1-9-1. المواد الناعمة (الرابط):

المسحوق أو المواد الناعمة أو الرابط هو المكون الرئيسي في الخرسانة ذاتية الرص، فبالإضافة إلى مهمته الرئيسية في ربط مختلف مكونات الخرسانة في وجود الماء طبعا، فالمسحوق يشغل الفراغات بين حبيبات الحصى بجعل المواد أكثر كثافة أي الزيادة في الحجم من اجل تحسين خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة (القدرة على الانتقال، مقاومة الانعزال، الانسيابية العالية) وفي الحالة الصلبة (المقاومة والديمومة).

إن نعومة المسحوق تلعب دورا هاما في تحسين خصائص خرسانة ذاتية الرص، فالزيادة فى نعومة المسحوق تسهم في تحسين كل من القدرة على الانتقال، مقاومة الانعزال، الانسيابية العالية، أفاد البحث المقدم من Ozawa وAl أن الخرسانة ذاتية الرص التي تحتوي على كمية كبيرة من المواد الناعمة تقدم اكبر مقاومة ضد الانعزال الحبيبي بوجود كمية مناسبة من الماء بين حبيبات المسحوق الناعم[6]، بينما استخدام المساحيق التي تتضمن الكثير من الجسيمات الناعمة التي تقل عن 20 ميكرو متر تحتاج إلى كمية مرتفعة من الملدن من اجل زيادة قطر الانتشار (الانتقال) [12]. أظهرت تجارب أخرى أن حجم الجسيمات الناعمة التي تقل عن 100 ميكرو متر لها تأثير هام على القدرة على الملء ومقاومة الانعزال.[9]

عموما المسحوق يتكون من اسمنت بورتلاندي بمفرده أو اسمنت ممزوج مع إضافات معدنية وذلك من أجل الاقتصاد والتوفير في تكاليف إنتاج الخرسانة ذاتية الرص وتجنب المشاكل الكبيرة في التمييه. في الاسمنت الممزوج نجد أن المسحوق غالبا ما يتركب من مكونين أو حتى ثلاثة : إسمنت مع دخان السليس، خبث الأفران العالية، الرماد المتطاير، الحجر الكلسي ...الخ. تشمل المواد الناعمة كل من الاسمنت والمواد الناعمة المضافة مثل المواد البوزولانية والمساحيق

الخاملة، حيث أن المواد البوزولانية هي مواد سليكية أو الومينو–سليكية لا تملك لوحدها خواص إسمنتية أو قد تكون ذات خواص إسمنتية قليلة ولكن عندما تكون بدرجة عالية من النعومة وبوجود الرطوبة تتفاعل كيميائيًا مع هيدروكسيد الكالسيوم بدرجة الحرارة الاعتيادية لتكوين مركبات ذات خواص إسمنتية. لقد حدد الاتحاد الفدرالي الأوربي [22] محتوى المواد الإسمنتية بنسبة تتراوح بين 350 إلى 600كغ/م^3 من الخرسانة .

أ- الإسمنت:

أداء الخرسانة ذاتية الرص مرتبط بمكونات الاسمنت، و هو مادة غير عضوية تعمل كرابط هيدروليكي عند خلطه بالماء لتشكيل عجينة لاصقة تتصلب بفعل تفاعلات الاماهة وتحتفظ بثبات الحجم حتى تحت سطح الماء وتكتسب بعد فترات زمنية محددة ميزة مقاومة الضغط . المركبات الكيماوية الأساسية المكونة للاسمنت البورتلاندي هي (االجير, السيليكا, الألمنيوم, الحديد والكبريت (CaO, SiO2, AL2O3, Fe2O3 and SiO2) (وهناك بعض المركبات الكيماوية الثانوية للاسمنت البورتلاندي مثل أكسيد المغنيسيوم وغيرها من أكاسيد العناصر الأخرى التي تتشكل كشوائب بنسب قليلة في الاسمنت, ومصدرها من مكونات خليط المواد الخام الطبيعية الداخلة في صناعة الاسمنت . ووفقا لـ (EFNARC) [22] كل أنواع الاسمنت التي تتفق مع المعيار 1-197 يمكن استخدامها في إنتاج خرسانة ذاتية الرص.

ب- الإضافات الإسمنتية:

الإضافات المعدنية هي مساحيق ناعمة مقاسها اقل من 80µm ، وفقا لتأثير البوزولان تنقسم إلى عائلتين أو مجموعتين إضافات بوزولانية وإضافات خاملة أو شبه خاملة كما يوضحه الجدول (1-1)، حيث سنتطرق للميتاكاولين باعتبار أن الإضافات الأخرى قد تم التطرق إليها في بحث سابق [31]

الجدول(1-1) أنواع الإضافات الإسمنتية:

الإضافات البوزولانية	الإضافات الخاملة أو الشبه خاملة
الميتاكاولين	الحجر الكلسي أو الحجر الكلسي
هباب السيليس	مسحوق الحجر الطباشيري
خبث الأفران العالية	مسحوق الرخام
الرماد الطائر	

- **الميتاكاولين :**

ويعد الميتاكاولين من المضافات المعدنية ذات الفعالية الإسمنتية , وهي مواد بوزولانية تتكون من مواد سيليكية ومواد الومينية تنتج من حرق الكاولين النـقي (Kaolinite) ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) عند درجات حرارة تتراوح بين (700-900) م ,وقد وجد ان تحولات بنيوية نتيجة التعرض للمعالجة الحرارية في الهواء وعند الضغط الجوية الاعتيادي حيث تبدأ نزع الهيدروكسيد من المركب عند درجات حرارة ما بين 550 - 600 Ć ليتحول الى مادة الميتاكاولين $Al_2Si_2O_7$ وقد وجدت الدراسات ان فقدان مستمر لمجموعة الهيدروكسيد عند درجات حرارة تتجاوز الـ 900 Ć . وقد أدى ذلك الى حدوث عملية أكسدة تدريجية للميتاكاولين[10] .

ان الميتاكاولين ليس عبارة عن مزيج بسيط من السليكا SiO_2 عديمة التبلور و الالومينا Al_3O_2 ، لكنه بنية معقدة عديـمة الشـكل تحافظ على ترتيب ليس بلوريا بل مكدسـة من طبقات سـداسية الوجوه [11]

$$2Al_2Si_2O_5(OH)_4 \xrightarrow{(550\text{-}600)\ C^\circ} 2Al_2Si_2O_7\ (\ ^{Metakaolin}) + 4H_2O$$

وقد وجد ان استخدام مسحوق الميتاكاولين عالي الفعالية يحسن الخواص الهندسية للخرسانة بشكل افضل من غبار السليكا [11]. تستخدم الميتاكاولين في كثير من الأحيان لتحل محل جزء من وزن الإسمنت حيث تتراوح نسبة الإحلال في هذه الخرسانة عالية المقاومة بيـــن (10-30) % من وزن الاسمنت وفي الحالات التي يزداد فيها الحجم الكلي للمواد الإسمنتية نتيجة اضافة المواد البوزولانية حيث يمكن تقليل حجـــم الرمل في الخلط، تكون المضافات المعدنية ذات خواص إسمنتية او بوزولانية او قد تكون ذات خواص أخرى , ومعظم المواد المستخدمة هي بهيئة مسحوق يفوق الإسمنت البوزولاني نعومة ، وبذلك تؤثر في الخواص الفيزيائية لعجينة الإسمنت الطرية باسلوب مماثل للإسمنت وتستخدم هذه المضافات في اي نوع من انواع الخرسانة ، الميتاكاولين هي مواد سيليكونية والومينية لا تملك لوحدها خواص إسمنية او قد تكون ذات خواص إسمنتية قليلة ولكن عندما تكون بدرجة عالية من النعومة وبوجود الرطوبة تتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم بدرجات الحرارة الاعتيادية لتكوين مركبات ذات خواص إسمنتية[12]

إن استخدام الميتاكاولين في الخرسانة تحسن البنية المسامية ومن ثم تحسن ديمومتها ، وقد بينت نتائج العديد من البحوث الفائدة الايجابية لاستخدام هذه المضافات سواء عند تغيير نسب خلط المواد المكونة للخرسانة او طريقة الإنضاج أو درجة التعرض للظروف الجـــوية . [11].

2.9-1. الإضافات الكيميائية:

تعرف الإضافات بأنها المواد التي تضاف إلى الخرسانة أو عجينة الاسمنت خلال عملية الخلط لتحسين خاصية معينة أو عدد من خواص الخرسانة في الحالة الطرية أو المتصلبة للخرسانة، الإضافات التي تستخدم في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص نوعان:

أ- الإضافات الملدنة أو المقللة للماء بدرجة متفوقة (Super-plastifiant) وهي صنف حديث من الإضافات المقللة للماء وأكثرها فعالية حيث أنها تقلل كمية ماء الخلط اللازم لإنتاج الخرسانة بنسبة قد تصل إلى 30% هذا النوع من المضافات يمكن استعماله لإنتاج خرسانة ذاتية الرص ذات مقاومة عالية للانضغاط.

ب - إضافات لتعديل اللزوجة للمزيج الخرساني وهي مشتقات سليلوزية وبوليميرية والهدف من هذه الإضافات هو زيادة لزوجة الخلطة الخرسانية وتحسين أدائها.

1-3.9. الرمل :

أو ما يسمى الركام الناعم، إن الركام الناعم المستعمل في صناعة الخرسانة الذاتية الرص هو نفس نوع الركام الناعم المستعمل في إنتاج الخرسانة التقليدية حيث انه يعمل على زيادة تماسك الخرسانة الطرية وتحسين قابلية التشغيل وتقليل الانعزال.

1-4.9. الحصى:

أو ما يسمى كذلك بالركام الخشن، إن نوع الركام الخشن الذي يستخدم في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص هو نفس الركام المستعمل في إنتاج الخرسانة العادية. أما أقصى مقاس للركام الخشن الذي يمكن استعماله في إنتاج ا لخرسانة الذاتية الرص فيحدد بعدة عوامل أهمها نوع المنشأ وأبعاد المقطع الخرساني والمسافات بين حديد التسليح، وقد حدد الاتحاد الفدرالي الأوربي[14] المقاس الأقصى للركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص 40 ملم. لكن بصورة عامة فان الركام الخشن المستعمل في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص محليًا يكون ذو مقاس أقصى 15 ملم.

1-5.9. الماء:

الماء المستخدم في الخلطات لغرض الخلط والمعالجة هو ماء الحنفية النقي، إذ أن كل المواصفات تشير إلى إن ماء الخلط يجب أن يكون خالي من الشوائب وصالح للشرب.

1-10. الملاط ذاتي الرص:

الملاط هو مادة بناء لها استخدامات متعددة تستخدم لربط الطوب أو الحجر ولملء الفراغات بينها كما أنه يمثل المكون الأساسي في الخرسانة إضافة إلى الركام (الحصويات)، كما يستخدم في الأعمال الترميمية وغيرها، الملاط بصورة عامة يصنع على شكل عجينة تصبح صلبة حين تجف وتتكون من مواد مختلفة أهما الرابط (الاسمنت) مع المضافات الإسمنتية المختلفة وقد يضاف إليها الرمل، كما تضاف إليه مواد أخرى لتحسين خصائصه سواءا في الحالة الطرية كالملدنات و مسرعات الأخذ أو مبطئاته وغيرها أو مواد تخص خصائصه في الحالة المتصلبة مثل المقاومة كمختلف الألياف.

في الولايات المتحدة الأمريكية (و دول أخرى) ، واحد من خمسة أنواع من الملاط القياسي (متوفر كمنتج مخلوط جاف) يُستخدم عادة في كل من الأبينة الجديدة و الترميم . إن نسبة كل من الإسمنت ، والمضافات، والرمل المُدرجة في كل نوع من الملاط تُنتِج مقاومة مختلفة للملاط . يتم تحديد نسبة التراكيب في كل نوع من قبل منظمة معايير

الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM)، مُنتج خليط الملاط مُصمم من أحد الأحرف الخمسة (M,S,N,O,K) حيث أن الملاط من النوع M يكون ذو القوة الأعلى و نوع K الأضعف . الأحرف هذه مأخوذة من الأحرف المتعاقبة للكلمات"MaSoN wOrK" .

والملاط ذاتي الرص يرص نفسه بنفسه تحت تأثير وزنه الذاتي دون الحاجة الى عملية الرج حيث تختلف نسب محتوياته من إسمنت ورمل كما يستوجب إضافة الملدنات الفائقة للزيادة من لزوجته و انسيابيته و يجب أن تتوفر فيه خصائص الملاط ذاتي الرص والمتمثلة أساسا في قطر الانتشار الذي يجب أن ينحصر بين (27و 33سم) و زمن التدفق الذي يكون بين 2 و 10 ثواني [22].

الشكل (1- 9- أ) ملاط عادي [32]

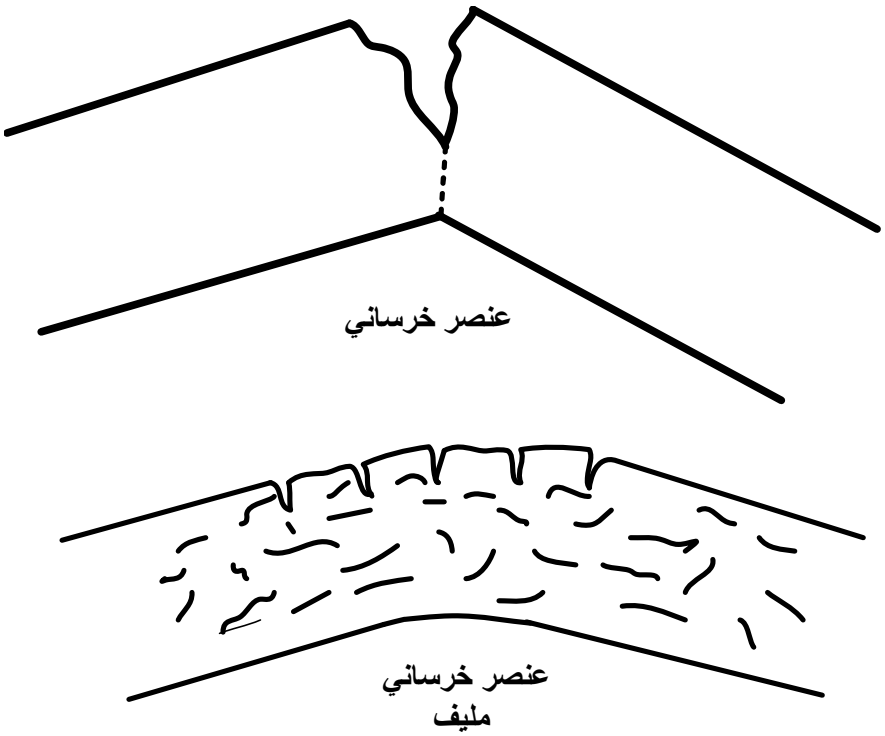
الشكل (1- 9- ب) ملاط ذاتي الرص.

11-1. إستعمالات الألياف:

أجريت بحوث و تطبيقات كثيرة لتطوير استخدام الألياف بمختلف أنواعها في الخرسانة حيث تبلورت فكرتها في الستينيات و استخدمت بشكل أوسع في الولايات المتحدة في السبعينات ثم انتشرت في بريطانيا وغرب اروبا، يمكن تدعيم الخرسانة بهذه الألياف بأطوال و مقاطع وأشكال مختلفة توزع عشوائيا ضمن الكتلة الخرسانية، للألياف قدرة على تحسين بعض الخصائص في الخرسانة كالقص، الشد، الانحناء، الصدم، الانفجار و الانكماش وتتأثر هذه الخصائص بنوعية و نسبة هذه الألياف في الخرسانة ونسبة طولها الى قطرها كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشقوق و إعادة توزيعا.

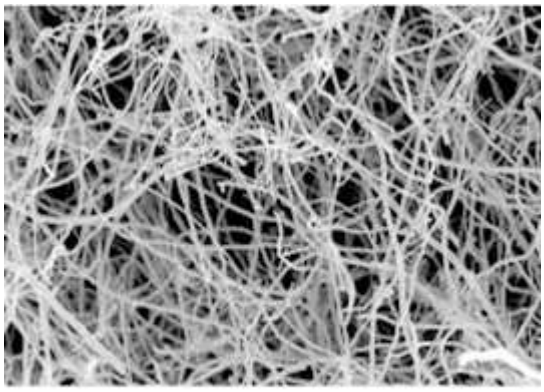
لكن استخدام الألياف في الخرسانة ذاتية الرص و الملاط ذاتي الرص يبقى بنسب محدودة جدا لما له من تأثير سلبي على أهم خاصية لهما و هي التموضع الذاتي حيث تعمل الألياف على التقليل من الانتشار والتدفق عند تجاوزها نسب معينة بشكل واضح[13، 14]. من أهم أنواع الألياف المستخدمة في الخرسانة نذكر:

- الألياف الزجاجية
- الألياف المعدنية
- الألياف الكربونية
- الألياف الصناعية (الياف البولي بروبلين,الياف النايلون,الياف البولستر)
- الألياف النباتية الطبيعية (الياف القطن والسيزال والحلفاء و النخيل)
- الألياف الاسبستية (crystalline silicates) حاليا تم منع استخدامها لما لها من تاثيرعلى صحة الانسان[15] .

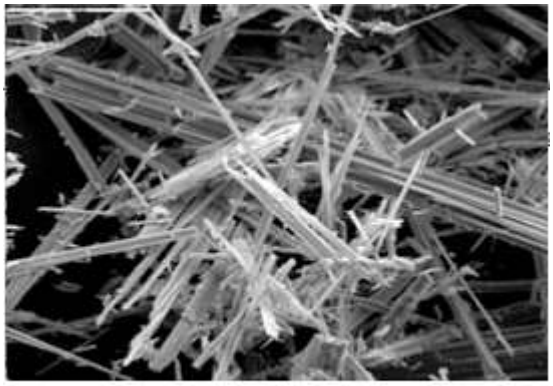


الشكل (1- 10) منع الألياف للتشققات [16]

✓ **ألياف الزجاج:** تنتج الالياف الزجاجية من اكاسيد غير عضوية حيث تكون السيليكا (Sio2) او الرمل المكون الاساسي فيها تكون الألياف الزجاجية بشكل خصلات يتراوح طولها ما بين (12-50) مم . وتعرف الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجية باسمها المختصر GFRC وتعني Glass fiber Reinforced Concrete وتعتمد في أساسها على الاسمنت والرمل والالياف [16] .



ألياف الكربون

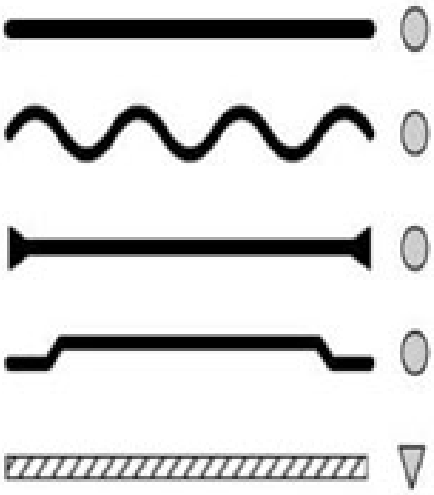


ألياف الأسبست (الأسبستوس)

ألياف البولي بروبين

ألياف معدنية

الشكل (1-11) صور لبعض أنواع الألياف [19].



الشكل (1-12) أشكال ومقاطع الألياف المعدنية

مميزات الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية:

- هي مناسبة لترميم المنشات وذات جمالية عالية ويمكن تلوينها بالصباغات والدهانات .
- يمكن تشكيل منتجاتها بمقاطع رقيقة بسمك(6- 12)مم ليكون وزنها اقل بكثير من وزن منتجات الخرسانة مسبقة الصنع المماثلة بالحجم.
- سهلة التصنيع والقولبة لإنتاج الأشكال والتفاصيل الدقيقة كما تعطي الملمس المطلوب الجيد لانهاء السطوح.
- مقاومتها للتآكل والظروف الجوية الخارجية من حرارة ورطوبة وخاصة الأجواء البحرية.
- عازلة للحرارة والصوت وتتسم بمقاومة عالية للحريق وتسرب المياه.
- تتحمل إجهاد كسر يصل إلى ثلاث أضعاف الخرسانة المسلحة نتيجة للتوزيع المنتظم للألياف الزجاجية في مختلف الاتجاهات.
- ذات صلادة عالية ومقاومة للاحتكاك. [17]

الجدول (1-2)الخصائص الميكانيكية للألياف الزجاجية [18]

الخصائص	القيمة
الكتلة الحجمية (g/cm^3)	2,54
مقاومة الشد (MPa)	3400
معامل الليونة (GPa)	73

- ✓ الالياف المعدنية: تعتبر الخرسانة المسلحة بالالياف الحديدية مادة انشائية غير تقليدية وذات خصوصية مقارنة بالمواد الانشائية المستخدمة في البناء و هي من اكثر الالياف استعمالا وتتوفر بعدة اشكال فمنها الملساء (plain) والمعقوفة النهاية والمحززة والمتموجة النهاية ولكل هذه الانواع مقطع دائري او مربع وان المتغير العددي لتعريف الالياف هو النسبة الباعية اي نسبة طول الليف الى قطره,ان اضافة الالياف الحديدية ذات المقاومة والمرونة العالية للخرسانة ينتج تغيرا مهما في تصرف المادة المركبة الجديدة وصفاتها ,وتضاف بنسبة تتراوح بين (0,6 – 1,9) ٪ من حجم الخرسانة[17] .
- ✓ الالياف الكربونية : هى الياف يتم انتاجها من عملية كربنة مواد عضوية مناسبة وتمتاز بمقاومة عالية جداً فى الشد قد تصل الى خمسة أضعاف مقاومة الحديد لدرجة انه قد يحل محل الحديد فى أعمال التدعيم. أي ان شريحة من الياف الكربون لا يتعدى سمكها ملليمترات قليلة يمكن ان تحل محل قضيب من الحديد ذو قطر كبير حيث يمكن استخدامها و تغطيتها بطبقات الانهاء دون وجود أي اثر لاعمال التدعيم التى تمت، و نظراً لارتفاع كلفتها عادة ما تستخدم فى المنشات الخاصة، أو فى الحالات التي يصعب استخدام الحديد للتدعيم نظراً لضيق المساحة .[19-16]

✓ **الياف البولي بروبلين** :الياف البولي بروبلين عبارة عن حزم من ألياف متماسكة مع بعضها مصنوعة من مادة البولي بروبلين و يتم التفكيك للحزم المتماسكة بفعل الخلط وتتحول إلى ملايين من الألياف المنفصلة وتضاف بنسبة 0,9 كغم/ م٣ من الخرسانة وهذه الألياف تتوزع بإنتظام داخل الخرسانة في جميع الإتجاهات وتعمل على مقاومة التشققات التي تنتج عن الإنكماش أثناء عملية تصلب الخرسانة , وكلما أخذت الخرسانة في التصلب والإنكماش وبدأت الشقوق الدقيقة جداً في التكون قابلتها ألياف الفايبر ليس لتسدها وتمنع تأثيرها وإيقاف المشاكل التي من الممكن أن تترتب عليها فحسب وانما تعمل على مقاومتها واعادة توزيعها[14،17].

✓ **الألياف النباتية:**

يستعمل هذا النوع من الألياف مثله مثل الألياف السالفة الذكر في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة حتى تزيد من مقاومتها للشد و التشوه حيث يلعب هذا النوع من الألياف دور المدعم ضد خاصية الهشاشة التي تتميز بها الخرسانة [20].

ويذكر أن الجبس هو أول مادة يناء تم تقويتها بالألياف النباتية حيث أنجزت العديد من المنشآت بالجبس المقوى بألياف النخيل و الحلفاء كما هو موجود في القصور العتيقة.

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

وتنقسم الألياف النباتية الى أربعة أنواع :

1. **الألياف الورقية**: ويتم الحصول عليها من أوراق الأشجار المتناثرة و النباتات مثل السيزال و الحلفاء حيث يتم غسلها و تجفيفها، وأثبتت بعض الدراسات [21]مدى فعالية هذه الألياف.
2. **ألياف الجذوع**: ويتم الحصول عليها من جذوع النبات كمثال قصبات ديكوني ليدونس وتدعى بنباتات الألياف حيث يوجد الليف تحت اللحاء مباشرة أو القشرة الخارجية للقصبة وتتواجد على شكل حزم تعطي القوة والمتانة للقصبة، و لها دور كبير في زيادة صلابة الخرسانة، كما يتم تصنيعها على شكل حبال[15].
3. **الألياف الخشبية:** ويتم الحصول عليها من طحن الأشجار مثل الخيزران أو القصب وعادة ماتكون هذه الألياف قصيرة وأثبتت بعض الدراسات مدى فعالية هذه الالياف [15]
4. **الألياف السطحية:** وهي عبارة عن قشور تحيط بجذوع الأشجار خاصة الأشجار المثمرة أو أشجار الحبوب، حيث تعتبر هذه الأخيرة الأكثر أهمية في صناعة الألياف السطحية، ونذكر منها أشجار القطن و جوز الهند و النخيل[15].

12-1. الترميم المنشآت الخرسانية:

تتعرض العناصر الخرسانية الى تدهور يعود لعدة أسباب ميكانيكية و كيميائية لذا نحتاج إلى ترميمها ومحاولة إصلاحها لإعادتها الى حالتها الأصلية استعادة خصائصها المفقودة بسبب التدهور ولنجاح هذه العملية يجب تحديد الأضرار و معاينتها وتشخيصها جيدا ثم اختيار الطرق و المواد الأنسب .

1-12-1. أسباب تدهور الخرسانة:

قبل التطرق لأسباب تدهور الخرسانة يجب معرفة مفهوم التدهور وهو فقدان الخرسانة لأداء المهام التي أوجدت من أجلها أو فقدانها لبعض خصائصها والشقوق هي أول مظاهر التدهور كما يمكن أن يتطور الأمر إلى ظهور شظايا أو ألوان الصدأ، أهم أسباب تدهور الخرسانة:

- ✓ **أسباب ميكانيكية:** ونذكر منها:
  - التآكل: ونجد هذه الظاهرة في الهياكل التي اتصال دائم مع المياه كالسدود أو القنوات أو العناصر التي تتعرض لأحمال متكررة مثل الأرصفة.
  - الاصطدام
  - درة تجمد/ذوبان الجليد
  - الحمولات الزائدة
  - الحرائق
- ✓ **أسباب كيميائية:** ونذكر منها:
  - تأثير الركام القلوي
  - تفاعلات الكبريتات
  - صدأ التسليح [24].

2-12-1. أنواع التشققات التي تتعرض لها الخرسانة:

- تشققات ناتجة عن أخطاء في التصميم
- تشققات ناتجة عن أخطاء في الانجاز
- تشققات ناتجة عن ضعف في المواد المستعملة مثل التدرج غير المناسب للركام أو نوعية المياه المستحدمة
- التشققات الناتجة عن الحرائق
- التشققات الناتجة عن تآكل حديد التسليح

- التشققات الناتجة عن الأضرار البيئية مثل الدورة تجمد/ذوبان الجليد، الرطوبة و الحرارة
- التشققات الناتجة عن الحوادث و الكوارث الطبيعية و الحمولات غير المتوقعة
- تشققات الانكماش اللدن و التقلص الحراري المبكر
- تضققات ناتجة عن تفاعل الخرسانة مع الكبريتات
- تشققات ناتجة عن هبوط التربة وفروق التدفق النسبية للأساسات [23]

1-12-3. تقويم درجة تدهور الخرسانة:

قبل عملية الترميم يجب تقويم التشققات و تحديد مواقعها وامتدادها وأسباب حدوثها ومدى الاحتياج للترميم وقد نضطر إلى إعادة دراسة المخططات ودراسة وإعادة الحسابات ومراجعة المواصفات ومطابقة ذلك كله مع ما تم تنفيذه وتدوين أي تعارض أو تباين ومن ثم إعطاء الرأي حول الترميم أو الإصلاح أو الحلول المناسب ويتم ذلك وفق الخطوات التالية:

الفحص البصري: يستعان بمخطط وضع راهن للمبنى يحتوي على شبكة المحاور التي صمم على أساسها وذلك لتحديد المواقع المختلفة والمتضررة بدقة.

الفحص الآلي: يمكن استخدام ميكروسكوب صغير مزود بتدرج على عدسته الخارجية لقياس عرض الشقوق آما يمكن استخدام أجهزة الموجات فوق الصوتية التي تعطي قيمة مكتوبة لزمن عبور الموجات وبالتالي تدل على وجود شقوق أو تجاويف وهناك أجهزة أشعة سينية وأشعة جاما لاستكشاف مستويات التشقق الموازية لاتجاه الأشعة.

الفحص المخبري :ويشمل الاختبارات غير المتلفة للخرسانة - الاختبارات المتلفة (نوعية الخرسانة بواسطة اختبارات الضغط) [25].

1-12-4.طرق الترميم و المواد المستعملة:

يتم تحديد الطريقة الصحيحة على التقويم الدقيق عن أسباب التدهور ومداه ويتم اختيار الأسلوب المناسب تبعاً لما نرغب تحقيقه من الأهداف التالية:

1-استعادة المقاومة أو زيادتها.

2-استعادة الصلابة أو زيادتها.

3-تحسين الأداء الوظيفي للمبنى.

4-إآساب الخرسانة خاصية عدم النفاذية للماء.

5-تحسين المظهر الخارجي لسطح الخرسانة.

6-تحسين متانة الخرسانة.

7-منع وصول المواد التي تساعد على تآكل الخرسانة أو صدأ حديد التسليح

8- الحد من زيادة صدأ حديد التسليح بفعل التاثيرات البيئية الخارجية

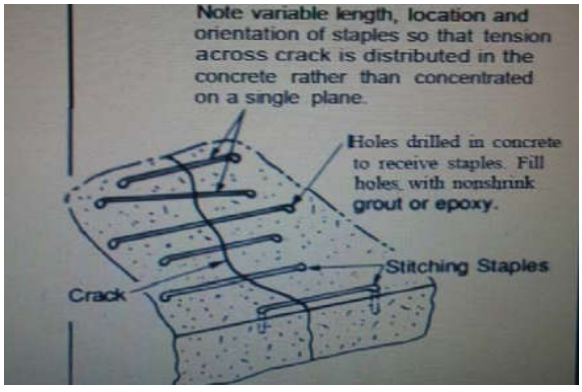
بعد التقويم وتحديد أهداف الترميم يتم اختيار الطريقة الأنسب و من أهم طرق الترميم:

✓ **الترميم باستخدام حقن الايبوكسي:** وهي عبارة عن مادة صمغية مكونة من خليط من مادتين كيميائيتين إحداهما صمغ والأخرى مصلبة تتحدان معا مكونتان مادة لاصقة شديدة الصلابة تحتاج مابين 6 إلى 8 ساعات للتصلب.

الشكل (1-13) الترميم بالحقن [26]

✓ **الترميم بالتخييط:**

يعرف التخييط بحفر الشقوق على جانبي الشق وتحشيتها بوحدات معدنيه على شكل (U) تكون ذات اقدام قصيرة بشكل مشبك مزدوج السن ويكون امتدادها على طول الشق كما في الشكل (1-14)، يمكن استعمال التخييط عندما يراد بناء وإعادة تأسيس مقاومة الشد بصورة رئيسية أي إعاقة المنشأ(بشكل آلي) وبالتالي القضاء على الأسباب التي تؤدي الى حصول التشققات.

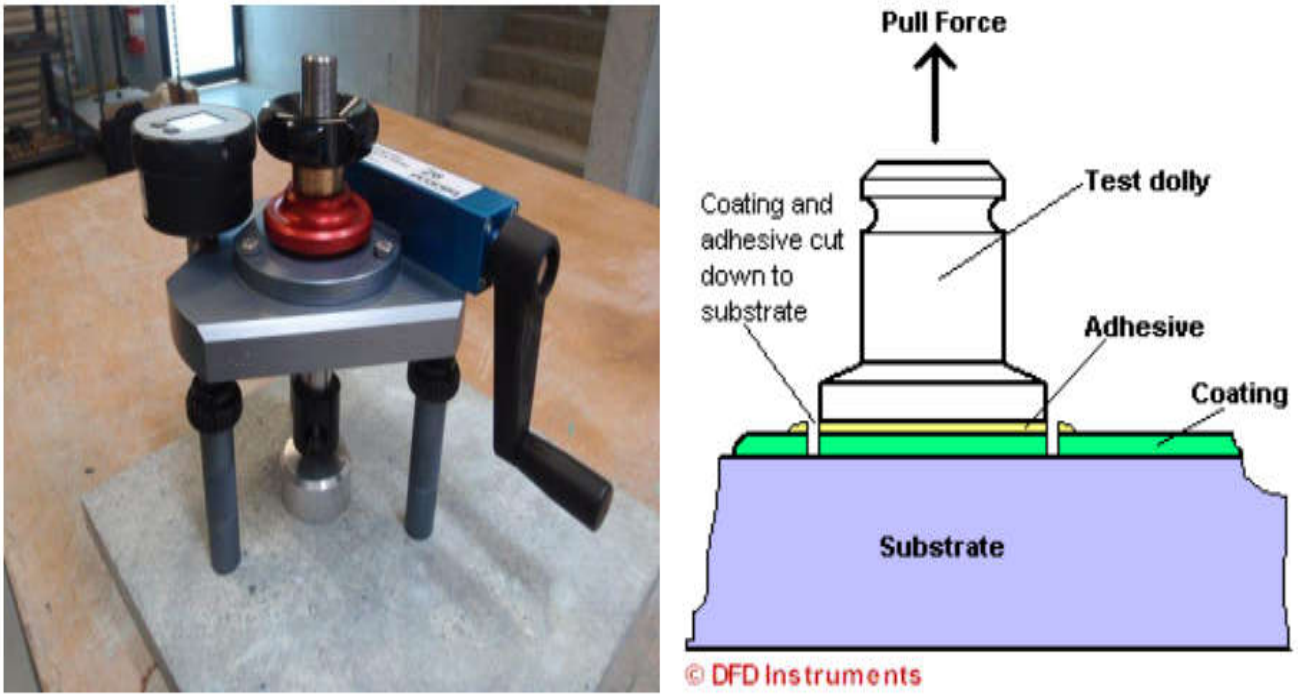


الشكل (1-14) الترميم يالتخييط[26]

✓ **الترميم بالخرسانة الليفية أو الملاط الليفي:**

تتم هذه الطريقة بإضافة خرسانة أو ملاط معد خصيصا للترميم وقد يكون مدعما بألياف تزيد من مقاومته وقدرته على الالتصاق و التجانس حيث تعوض الأجزاء المتضررة من خرسانة العنصر بهذا النوع من الخرسانة أو الملاط . كما يتم اختيار المواد المستعملة في عملية الترميم حسب نوع ودرجة التدهور وحسب العنصر المتدهور و نوعه فترميم العناصر الحاملة يختلف عن ترميم العناصر الأخرى، وتتم صياغ هذه الخرسانة خصيصا لهذه العملية كما قمنا في بحثنا هذا حيث يجب أن تتميز بخصائص تتعلق بالأهداف المرجوة منها، مثل اللزوجة والانسيابية اللازمة و الالتصاق و التجانس مع الخرسانة المراد ترميمها كما يجب أن تتميز بقاومة عالية لذلك يتم تدعيمها بمختلف أنواع الألياف ولإختبار كل هذه الخصائص نقوم تخضع لعدة تجارب نذكر منها:

- تجربة النزع أو الاقتلاع بالشد: هي التجربة الأكثر سهولة في انجازها و الأكثر استعمالا في اختبار خرسانة الترميم ، يمكن اجراؤها في المخبر و في عين المكان، مبدأ التجربة مسجل في EN1015-11 وتم ذلك من طرف المركز العلمي و التكنولوجي للعمران (CSTB) [27]

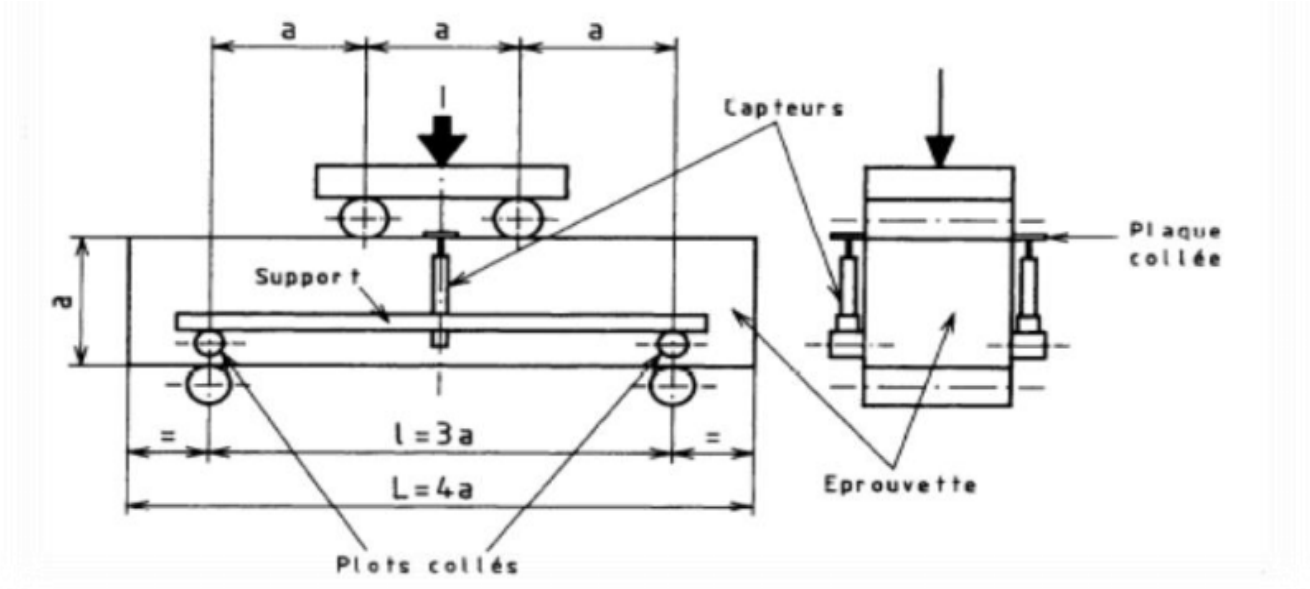


الشكل (1-15) تجربة النزع بالشد [27]

- **تجربة القص المائل (القص بواسطة الضغط):** هي واحدة من تجارب التي تجرى على خرسانة الترميم،ذكرت في القاعدة BS6319 وتقوم باختبار إلتصاق مواد الترميم بالقص بواسطة الضغط [28].

الشكل (1-16) تجربة القص المائل (القص بواسطة الضغط).

✓ **تجربة الانحناء:** تجرى هذه التجربة لضمان توزيع منتظم للاجهادات بين خرسانة الترميم و الخرسانة المرممة و تجرى على جهاز خاص بالانحناء و بسرعة ثابتة، يمكن أن تكون بنقطـتين أو بأربع نقـاط كما يوضحـه الشكل (1-18).



الشكل (1-17) تجربة الإنحناء بأربع نقاط[27].

2-1. مقدمة :

في هذا الفصل نهتم اولا بخصائص المواد المكونة لمختلف الأمزجة ثم نمر الى شرح طريقة الصياغة للملاط ذاتي الرص، وفي الأخير نشرع في إنجاز التجارب المتعلقة بالمزيج في الحالة الطرية وفي الحالة الصلبة.

2-2. وصف المواد :

2-2-1. الاسمنت:

الإسمنت (CPA-CEM.I-42,5 R CRS) هو المستعمل في تحضير مختلف الأمزجة وهو إسمنت بورتلاندي مصنع ذو رتبة 42.5 يتميز بلون رمادي، متحصل عليه من مزيج الكلينكر والذي يمثل 95% مع نسبة 5%من الجبس من أجل التحكم في زمن الأخذ، وهو من أنواع الإسمنت المقاوم للكبريت كما يوضحه الشكل رقم (2-1).
الجدولين (2-1) و(2-2) يبينان التركيبة الكيميائية للإسمنت والخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت.

الجدول:(2-1) : التركيبة الكيميائية للإسمنت .

المكونات	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	TiO_2	K_2O	SO_3	L.O.I
النسبة (%)	18,37	4,26	3,89	64,04	1,52	0,12	-	-	3,01	4,23

الجدول (2-2): يبين الخصائص الفيزيائية الميكانيكية للإسمنت .

الخصائص	القيم
قوام عجينة الاسمنت (%)	27
بداية الأخذ (د)	170
نهاية الأخذ (د)	255
الكثافة النوعية	**3,1**
النعومة (غ/ سم^2)	**3921**
مقاومة الضغط عند 28 يوما (MPa)	**$\leq$ 42,5**

الشكل (2-1) مسحوق الإسمنت

2-2-2. الإضافات:

- **الميتاكاولين** :كإضافة اسمنتية قمنا بإستعمالالميتاكاولين و الذي هو عبارة عن طين ابيض Kaolin مطهي عند درجة حرارة 850 °م، و قد تم جلبه أيKaolin من ولاية جيجل. ولإعطاء هذه المادة فعالية أكبر قمنا بطحنها ثم غربلتها في الغربال 80 ميكرومتر لتكون أقل حجما من حبيبات الإسمنت.

الشكل (2-2) مسحوق الميتاكاولين

الشكل (2-3): غربلة الميتاكاولين

الجدول (2-3)يوضح الخصائص الكيميائية للميتاكاولين :

الجدول (2-3) الخصائص الكيميائية للميتاكاولين [10]

المكونات	النتيجه %
SiO_2	38.5
CaO	17.8
MgO	3.8
Al_2O_3	9.5
Fe_2O_3	4
SO_3	2.8
Loss of Ignition L.O.I	17.9
النعومة	**2,45**
الكثافة (غ/ سم^2)	**8500**

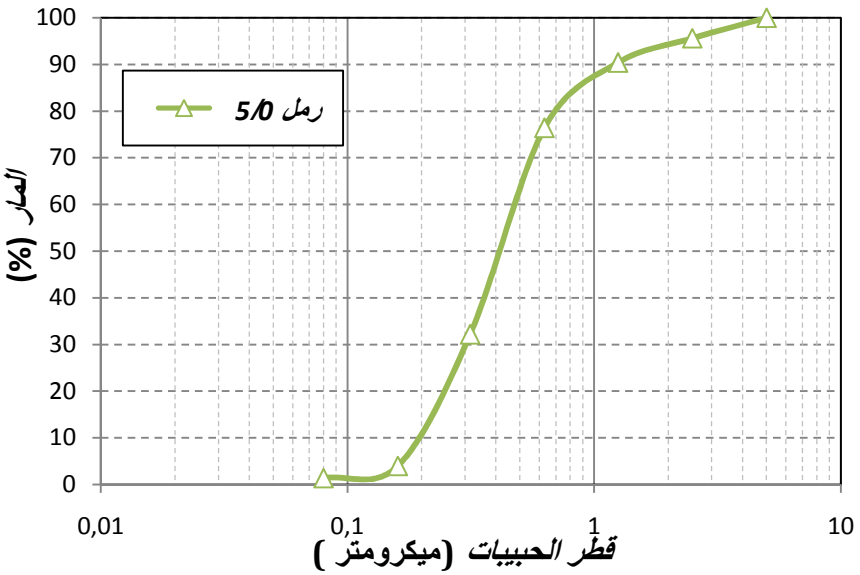
ب- ألياف الزجاج:

قمنا بتقطيع ألياف الزجاج بطول (1.25 ± 0.25 سم)

الشكل (2-4) ألياف الزجاج بطول (1,5±0,25 سم)

2-2-3. الرمل:

الرمل المستعمل هو من النوع الناتج عن تفتت الأحجار الرسوبية والموجود بكثرة في ولاية الأغواط خاصة على ضفاف الوديان. والرمل المستعمل في الدراسة مصدره ضفة وادي مزي. يتميز هذا الرمل بحجم الحبيبات مستمر و منتظم كما يبينه الشكل (2-7) للتحليل الحبيبي التالي:



الشكل (2-5) :منحنى التحليل الحبيبي للرمل المستعمل

الشكل (2-6) الرمل المستعمل

الجدول رقم (2-7) يوضح الخصائص الفيزيائية لرمل وادي مزي المستعمل في هذا العمل.

الجدول رقم :(2-4) الخصائص الفيزيائية للرمل المستعمل:

الخصائص	الرمل 5/0	ملاحظات
معامل الامتصاص (%)	1,16	/
الكتلة الحجمية المطلقة (كلغ / م3)	2470	
الكتلة الحجمية الظاهرة (كلغ / م3)	1490	
معامل النعومة	1,85	
المكافئ الرملي (%)	80 <90,28	الرمل نقي
المكافئ الرملي بالنظر (%)	85 <89,50	

2-2-4. الملدن الفائق :

الملدن الفائق المستعمل في هذه الدراسة هو ملدن يسمح بتخفيض نسبة عالية من الماء من الجيل الثالث والمعروف باسم Medaflow 30، هذا المساعد جلب من قبل مؤسسة غرانيتاكس الجزائر العاصمة مصمم على قاعدة Polycarboxylates، والذي يحسن بنسبة كبيرة خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة والحالة الصلبة ، الملدن الفائق Medaflow 30 هو سائل لونه أصفر أساسه الحمضي PH يساوي 6 وذو كثافة 1.07، المستخرج الجاف لهذا المساعد يمثل 30 %من كميته.

2-2-5. ماء الخلط:

يجب أن يكون نظيف ، حتى لا يؤثر على زمن الأخذ ، والمقاومة وأداء التسليح ، لتحضير مختلف الأمزجة استعملنا ماء الحنفية.

2-3. صياغة الملاط ذاتي الرص :

يتميز الملاط الذاتي الرص بقابلية كبيرة للتشكل (عتبة ضعيفة للقص) تسمح بضمان الجريان بفعل الانسيابية والسيولة العالية للملاط ذاتي الرص، وبلزوجة مناسبة لتحمل الحبيبات الخشنة، وتفادي كل مخاطر الانعزال الحبيبي للملاط ذاتي الرص. باعتبار أن الملاط يشغل حجم مهم في الخرسانة ذاتية الرص (حوالي 70 % من حجم الخرسانة ذاتية الرص) [29]، نتائج التجارب على الملاط ذاتي الرص ستكون كافية أو مقنعة وتستطيع إعطاء فكرة كبيرة حول السلوك الريولوجي للخرسانة ذاتية الرص، إذن نستنتج أن خصائص الملاط مهيمنة على خصائص الخرسانة.

حسب Domone et jin تجرى التجارب على الملاط للأسباب التالية :

- خرسانة ذاتية الرص تحتوي على حجم صغير من الحصى مقارنة بالخرسانة العادية (31 إلى 35 %).
- تقييم خصائص الملاط تشكل مرحلة تكاملية أساسية في صياغة الخرسانة ذاتية الرص .
- القيام بالتجارب على الملاط أسهل من القيام بالتجارب على الخرسانة .
- القيام بالتجارب على الملاط أقل وقتا وجهدا ولا نستعمل فيه كميات كبيرة.

قمنا باختبارات على الملاط من خلال تجربة الانتشار بالمخروط الصغير وتجربة الجريان بالقمع الصغير على شكل حرف V، هاته الاختبارات لها هدف تحديد المحتوى (رمل إلى الملاط) وكمية الملدن الفائق (الملدن إلى المسحوق).

2-3-1. النسبة الماء إلى الرابط (W/B):

بصفة عامة الخرسانة ذاتية الرص تتميز بنسبة الماء/المسحوق ضعيفة أقل من 0.5 ، وهذا من اجل التقليص من كمية الماء الحر مما ينتج عنه تحسين المقاومة ضد الانعزال الحبيبي.

بعض العلماء قد وجدوا أن النسبة الماء إلى المسحوق التي تتراوح بين 0.84 و 1.07 بالحجم وبين 0.28و 0.45 بالكتلة هي المناسبة لإنتاج الخرسانة ذاتية الرص ذات الخصائص الجيدة في الحالة الطرية والحالة المتصلبة، القيم التي تؤخذ خارج هاته المجالات المذكورة يمكن أن تسبب مشاكل أهمها الانعزال الحبيبي للخرسانة ذاتية الرص.[32]

بوقنجقجي قد أقر بأنه يمكن الذهاب إلى النسبة الماء إلى المسحوق تساوي 0.4 من اجل الحصول على ملاط ذاتي الرص مرضي ذو قطر انتشار أكبر من 27 سم.

من أجل الحصول على خرسانة ذاتية الرص بخصائص ريولوجية وبخصائص فيزيائية وميكانيكية و بديمومة جيدة . وبالاعتماد على الأعمال المنجزة سابقا فان النسبة الماء إلى المسحوق المختارة تساوي 0.4.

2-3-2. نسب الرمل إلى الملاط (S/M) والملدن إلى الرابط(SP/B):

توصل باحثون إلى تحديد حجم الرمل ب 40 % من حجم الملاط(رمل/ملاط=0.4) من أجل الحصول على ملاط ذاتي الرص ممتاز باستعمال مواد أولية يابانية و هذا ليس ما هو معمول به في الواقع باعتبار أن استعمال الخرسانة ذاتية الرص عالميا أثبت ضرورة تعديل هذا الحجم، و لهذا فإن العالم Domone قام بتحليل 68 حالة للخرسانة ذاتية الرص من مختلف أرجاء العالم و توصل إلى أن 80 % من الحالات المدروسة فيها حجم الرمل المستعمل محصور بين 41 و52%، أما في الجزائر الدكتور بوقنجقجي قام باختبار الخرسانة ذاتية الرص بمواد محلية أثبت أن نسبة الرمل إلى الملاط مساوية لـ 0,5 هي الأنسب للحصول على خرسانة ذاتية الرص ذات خصائص جيدة ، الشيء الذي أكدته بحوث و دراسات سابقة قام بها أساتذة قسم الهندسة المدنية بجامعة الأغواط [33]

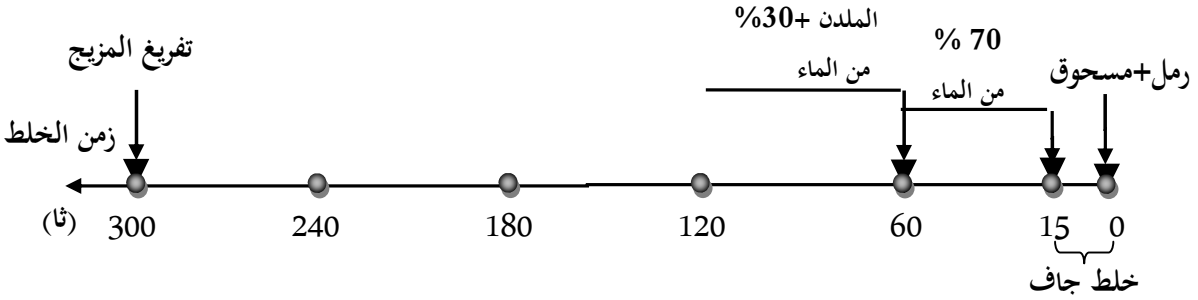
ومن اجل تحديد النسبة الملدن إلى المسحوق قمنا ببعض التجارب الأولية باختبار ثلاث نسب للملدن المتفوق هي: 0,9 % 1,0 % و 1,1 %.

2-4. تعويض الاسمنت بالميتاكاولين:

بعد تحديد قيم المحتوى المائي والمحتوى الرملي وكمية الملدن المستعملة نستطيع القول اننا تحصلنا على التركيبة المثالية للملاط ذاتي الرص المرجعي، المرحلة التالية تتمثل في دراسة تأثير الميتاكاولين على خصائص الملاط الذاتي الرص في الحالة الطرية، ومن اجل هذا استبدلنا كمية الاسمنت في الخلطة المرجعية بالميتاكاولين بالنسب 5%، 10%، 15% مع مراعاة نسبة الملدن الكافية للحفاظ على مختلف خصائص الملاط ذاتي الرص ثابتة، للتذكير فان هاته المرحلة ليست قاعدة عامة وانما رأينا أن استعمال التجارب على الملاط أسهل و أسرع واقل تكلفة منه على الخرسانة.

كما نقوم بإضافة نسب من ألياف الزجاج بالحد الذي لا يؤثر على خصائص الملاط فبعد تجارب كثيرة وجدنا أن الملاط يفقد خصائصه المتعلقة بالانتشار و الهبوط عند تجاوز نسبة 0.6% لذا أخدنا النسب 0.2%، 0.4%، 0.6%، كما ركبنا بين إضافة 0.4% من ألياف الزجاج و إستبدال 10% من الإسمنت بالميتاكاولين.

بعدما قمنا بحساب كمية كل عنصر داخل في تركيب ملاط ذاتي الرص ، نشرع في خلط المزيج بالطريقة التالية خلط جاف المسحوق مع الرمل مدة 15 ثانية قبل إضافة الماء من اجل تجانس الخليط، ثم نضيف 70% من ماء الخلط الذي هو ماء الشرب من الحنفية بتدفق منتظم حتى نهاية الدقيقة الأولى، خلال الدقيقة الثانية ندخل بانتظام الملدن مع نسبة 30% الماء المتبقية بعد أن تم مزجهما، نترك عملية الخلط ثلاث دقائق أخرى يكون وقت عملية الخلط الكلي خمس دقائق، الشكل (2-9) يلخص كل هاته المراحل بشكل مبسط ودقيق.



شكل (2-7): مراحل الخلط

نذكر هنا أننا استعملنا آلة الخلط المثبتة بمحور عمودي ذات سعة 5 لتر لخلطة الملاط كما هو موضح في الشكل(2-10)

الشكل(2-8): آلة الخلط الملاط

2-5. التجارب :

2-5-1. التجارب المنجزة على الملاط في الحالة الطرية:

تهدف التجارب على الملاط الطازج لتحديد النسبتين S/M وSP/B كمرحلة أولى، ودراسة تأثير الميتاكاولين و ألياف الزجاج على ريولوجية الملاط ذاتي الرص كمرحلة ثانية. تجربة الانتشار تهدف الى حساب تشوه الملاط بقياس قطر انتشاره، ومراقبة استقرار الملاط بملاحظة تجانسه بعد توقف الانتشار، لزوجة الملاط تحسب بقياس زمن التدفق من خلال تجربة القمع الصغير على شكل حرف V.

لصنع خرسانة ذاتية الرص بخصائص ممتازة في الحالة الطرية وجب أن يكون الملاط ذاتي الرص ذو انتشار محصور بين 27 و33سم، ووقت تدفق يتراوح بين 2 إلى 10 ثواني ، اقترح Chai نفس التوقيت لزمن تدفق وانتشار أكثر من 30سم، في دراستنا هاته ولغرض الحصول على ملاط ذاتي الرص، المقاييس الثلاث التالية يجب أن تكون محققة.

- انتشار كبير: هاته الخاصية تترجم بقيمة انتشار محصورة بين 27 و33 سم .
- لزوجة مناسبة: زمن تدفق محصور بين 2 و10 ثواني يسمح بإعطاء ملاط ذو لزوجة مناسبة .
- مقاومة الانعزال الحبيبي: ملاط ذاتي الرص لا يجب أن يقدم أية علامات مرئية للانعزال الحبيبي أو نضوح الماء.

أ- تجربة الانتشار للمخروط الصغير:

- **الأدوات المستعملة:**

تجربة الانتشار للمخروط الصغير تتطلب اللوازم التالية لوحة النشر، مخروط صغير، مسطرة، دلو، قماش مبلل، مغرفة يد.

- **مراحل التجربة**

تتمثل التجربة في ملء مخروط صغير بالملاط ذاتي الرص، ورفعه عموديا وببطء، بعد رفع المخروط الملاط ينتشر على اللوحة الشكل (2-9)، بعد توقف التدفق نقيس الانتشار (قطرين متعامدين d1، d2)، الانتشار النهائي هو متوسط قيمتين المتحصل عليها، كما يمكننا القيامبمراقبة عينية لشكل الملاط المنتشر للتحقق من مدى تجانسه(الشكل (2-9)).

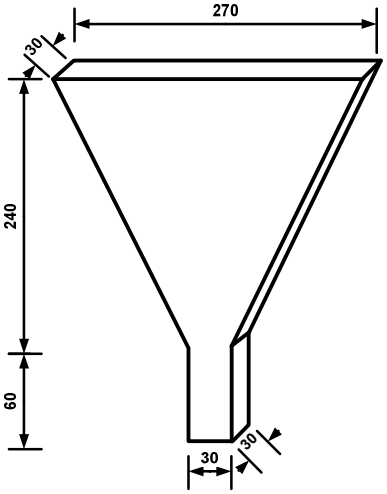
الشكل (2-9): تجربة الانتشار بالمخروط الصغير

ب- تجربة التدفق القمع الصغير على شكل حرف V:

- **أدوات التجربة**

الأدوات المستعملة في التجربة هي كالآتي:

قمع صغير على شكل حرف V، والذي أبعاده موضحة في الشكل التالي الشكل (2-12)،دلو، قماش مبلل، ميقات (لقياس الوقت).



الشكل (2- 10)يوضح ابعاد القمع الصغير على شكل حرف V

2-5-2. الصب وتفكيك القوالب ومعالجة عينات الاختبار:

بعد أن قمنا بجميع التجارب الخاصة بالملاط في الحالة الطرية، نقوم بتحضير الملاط ذاتي الرص من اجل صبه في القوالب الحديدية دون رصه، أي إعداد عينات الاختبار بغية إجراء التجارب على الملاط في الحالة الصلبة الشكل (2-13)

الشكل (2- 11): ملء القوالب

بعد مرور 24 ساعة من عملية صب الملاط ذاتي الرص في القوالب نقوم بتفكيك القوالب بحذر حتى لا تنكسر العينات لأنها ما تزال طرية نوعا ما، بعدها نغمر العينات في الماء المشبع بالجير تحت درجة 20°م حتى موعد التجربة، وهذا وفقا للمعيار NF P18-438

2-5-3. التجارب التي أجريت على الملاط في الحالة المتصلبة :

قمنا باختبار العينات لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بتحديد مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء على عينات اختبار ذات الأبعاد (4×4×16سم)، وذات عمر 3 ، 7 ، 28 و56يوم، وسرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية للعينات ذات العمر 28 و56يوم، وتجربة امتصاص الماء بالغمر، أجريت على ثلاث عينات الاختبار بعد 28 يوم، بعد المعالجة في الماء المشبع بالجير، القيم المأخوذة بالحسبان هي القيم المتوسطة للقيم الفردية لثلاث عينات اختبار.

أ- تجربة مقاومة الضغط:

قمنا بتجربة مقاومة الضغط على العينات المكعبة الشكل بعدد 6 قطع لكل خليط ناتجة عن تكسير ثلاث عينات اختبار من تجربة الانحناء، العينات معرضة لحمولة متزايدة حتى الانكسار المتوسط باستعمال آلة ضغط الهيدروليكية بقدرة 2000 كن، هاته الآلة مجهزة بشاشة عرض رقمية تسمح بإدخال مساحة العينة، سرعة التحميل(2.5 كن/ثا)، والحصول على قوة ومقاومة الضغط (الشكل (2- 12)).

بعد قراءة قوة الضغط وتسجيلها بعد كل تجربة، نقوم بحساب مقاومة الضغط بالعلاقة

$$\sigma_c = \frac{F}{a^2}$$

حيث:

σ_c : مقاومة الضغط (MPa)

F : قوة الانضغاط (N)

a^2 : مقطع العينة (mm)

الشكل (2- 12): جهاز حساب مقاومة الضغط.

ب- مقاومة الانحناء البسيط:

هاته التجربة أجريت وفقا للمعيار NF P18-433، الطريقة تتمثل في وضع العينات المنشورية الشكل على مسندين وإخضاعها لحمولة متزايدة مركزة في الوسط حتى الانكسار الشكل (2-16). هذه الحمولة مطبقة بمساعدة الآلة الضاغطة مربوطة بجهاز كمبيوتر من اجل القراءة الرقمية والذي يتحكم في سرعة الحمولة المطبقة (5ن/ثا) التي نقوم بإدخالها قبل إجراء التجارب.

الشكل (2- 13): يوضح تجربة الانحناء البسيط

قوة الانكسار تعطى بنفس الطريقة، مقاومة الانحناء يتحصل عليها من خلال حساب بسيط لمقاومة المواد .
اجهاد الانحناء الاعظمي يستقر في وسط العينة ، ويحسب بالعلاقة التالية :

حيث:

$$\sigma_f = \frac{1,5FL}{b^3}$$

σ_f : مقاومة الانحناء (ميقا باسكال)

F : قوة الانحناء (نيوتن)

L : المسافة بين المسندين(مم)

b : عرض العينة(مم)

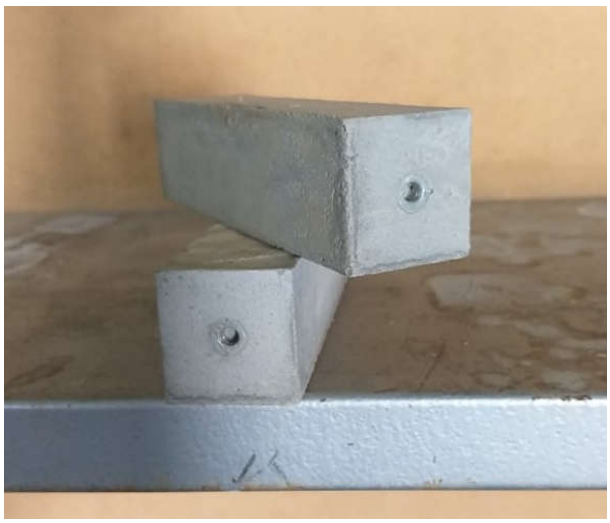
ج- تجربة امتصاص الماء بالغمر:

هاته التجربة أجريت وفق المعيار ASTM C642-97، قمنا أولا بتجفيف العينات في فرن التجفيف على درجة 106°م مدة 72 ساعة لضمان الجفاف التام للعينات، استخرجنا العينات بعد ذلك لتتعرض للبرودة، بعدها قمنا بوزن العينات، تم غمرنا العينات في الماء تحت درجة 21°م مدة 72 ساعة، بعد هذه المرحلة يتم مسح العينات بمنشفة ثم وزنها، بعدها نقوم بحساب نسبة امتصاص الملاط ذاتي الرص للماء حسب العلاقة التالية:

نسبة الامتصاص = [(وزن العينة بعد الغمر – وزنها جافة)\وزنها جافة]× 100

د- تجربة الإنكماش:

نقوم بصب عينات من مختلف الخلطات في قوالب (16×4×4 cm) مزودة بصامولات صغيرة مخصصة لقياس التغير في طول العينات بعد فكها من القوالب كما هو موضح في الشكل (2-15).



الشكل (2- 14):العينات المخصصة لتجربة الإنكماش

الشكل (2-15) جهاز قياس الإنكماش

2-5-4. تجارب اختبار ملاط الترميم:

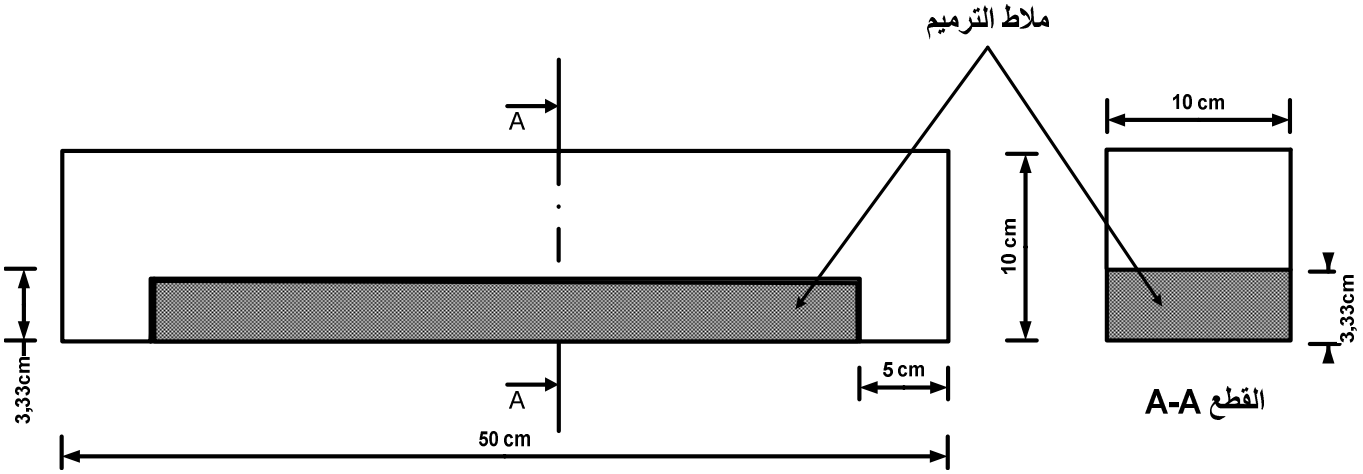
بغرض التأكد من خصائص ملاطنا والمخصص للأعمال الترميمية و مقارنة مختلف الخلطات قمنا بإجراء تجربتين :

2-5-3-1. تجربة الانحناء:

في هذه التجربة قمنا بصنع روافد خرسانية مسلحة ذات أبعاد (10×10×50 سم) من الخرسانى ذاتية الرص بعد 4 ساعات من انجازها قمنا بتشويهها كما يوضحه الشكل ، بعد 28 يوما قمنا بترميم هذه الروافد بجميع خلطاتنا السبع بالإضافة للخلطة الشاهد ثم بعد 28 يوما أخرى قمنا بتعريضها للإنحناء لنرى تصرف ملاط كل خلطة .

الشكل(2- 16): صب الخرسانة ذاتية الرص في القوالب

الشكل(2- 17): الروافد بعد التشويه و فك القوالب



الشكل(2- 18): أبعاد الرافدة المرممة

مقاومة الانحناء يتحصل عليها من خلال حساب بسيط لمقاومة المواد .اجهاد الانحناء الاعظمي يستقر في وسط العينة، ويحسب بالعلاقة التالية :

حيث:

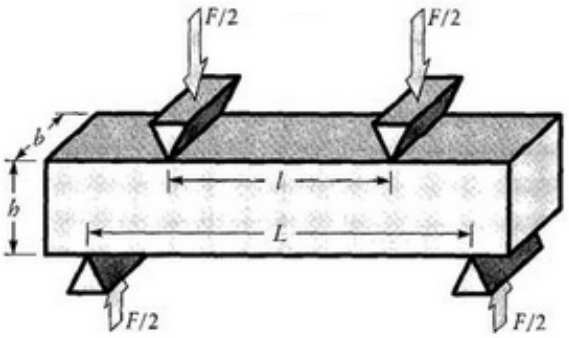
$$\sigma_f = \frac{F \times L}{b^3}$$

σ_f : مقاومة الانحناء (ميقا باسكال)

F : قوة الانحناء (نيوتن)

L : المسافة بين المسندين(مم)

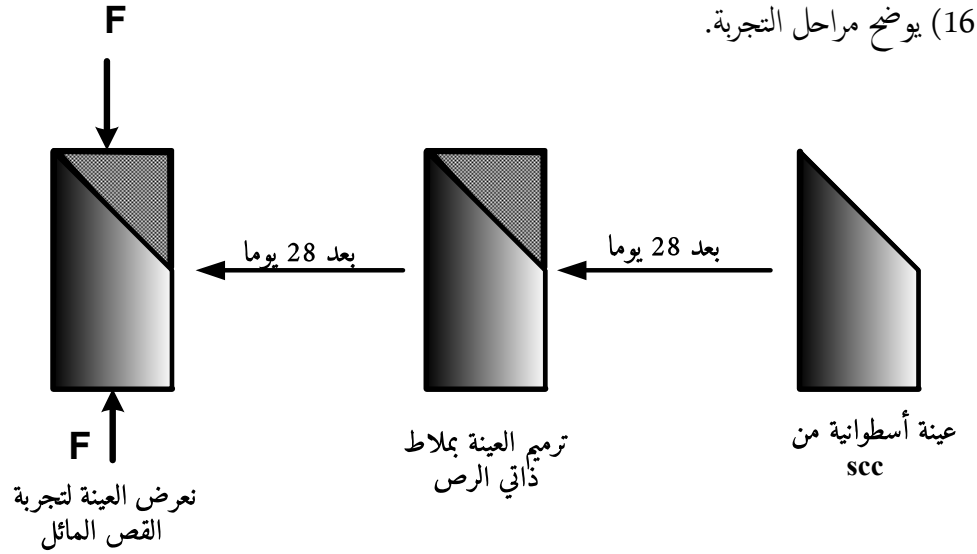
b : عرض العينة(مم)



الشكل(2- 19): يوضح تجربة الإنحناء بأربع نقاط

2-3-5-2. تجربة القص المائل (القص بواسطة الضغط):

في هذه التجربة نقوم بصنع عينات أسطوانية ذات قطر (10سم) و ارتفاع (20سم) من الخرسانة ذاتية الرص مشوهة بشكل مائل ثم نقوم بترميمها بعد 28 يوما بمختلف الخلطات و نعرضها لتجربة القص بالضغط بعد 28 يوما أخرى. الشكل (2- 16) يوضح مراحل التجربة.



الشكل (2-19): مراحل تجربة للقص المائل

الشكل (2- 20): العينات الاسطوانية الخرسانية بعد فك القوالب

الشكل (2- 21): العينات الاسطوانية الخرسانية بعد الترميم

1-3 مقدمة:

في هذا الفصل سنقوم بعرض نتائج التجارب التي قمنا بها على الملاط ذاتي الرص في الحالتين الطرية و المتصلبة وتحليلها حيث اخذنا الخلطة المرجعية للملاط من بحث سابق [31] وحاولنا أن نجد النسب المثالية للمضافات سواءالميتاكاولين وألياف الزجاج أو الملدن الفائق الذي يتناسب معهم بحيث لا تؤثر هذه النسب على خصائص الملاط ذاتي الرص والممثلة أساسا في قطر الانتشار الذي يجب أن ينحصر بين (27و 33سم) و زمن التدفق الذي يكون بين 2 و 10 ثواني [22]. بعد ذلك نمر الى دراسة تأثير هذه الإضافات على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للملاط ذاتي الرص المخصص للترميم حيث نعرض نتائج التجارب على الملاط في الحالة المتصلبة كمقاومة الضغط والانحناء،التقلص و نسبة امتصاص الماء وأخيرا نعرض تجارب مقاومة هذا الملاط للانحناء و القص في حالة عناصر خرسانية مرممة.

2-3 تحديد نسب مختلف المكونات الملاط ذاتي الرص :

3-2-1.الملاط ذاتي الرص الشاهد:

أخذنا نسب مختلف مكونات الخلطة المرجعية من دراسات سابقة [31] حيث استعملت نفس نوعية المكونات من رمل و ملدن فائق وتوصلو الى نسب مثالية لـ (S/M) ، (W/B)و (SP/B) والجدول التالي يبين مكونات الملاط الشاهد:

الجدول(3-1) مكونات الملاط الشاهد في 1 م^3:

الإسمنت(kg)	الرمل(kg)	الملدن الفائق		الماء(kg)	W/B	S/M
		(%)	(kg)			
690,65	1300,00	1,1	7,59	279,32	0,4	0,5

3-2-2. تحديد نسب المضافات:

✓ **الميتاكاولين:**

بينت مختلف الدراسات كما ذكرنا سابقا أن نسب الاضافات البوزولانية لا سيما الميتاكاولان و التي يمكنها تحسين من أداء الملاط تتراوح من 5% الى 20%، ونحن اخترنا النسب 5، 10و 15% حيث تستبدل هذه النسب من وزن الإسمنت.

✓ **ألياف الزجاج:**

حاولنا أن نأخذ أكبر النسب حتى يظهر تأثيرها بشكل واضح مع الحفاظ على خصائص الملاط ذاتي الرص(الانتشار، التدفق) وبعد عدة تجارب وجدنا أن النسب التي تعطينا انتشار و زمن تدفق مقبولين لا يجب أن تتجاوز 0.6% فأخترنا النسب 0,2، 0,4 و0,6% .كما مزجنا في خلطة أخرى بين إضافة0,4% من ألياف الزجاج و استبدال 10% من الإسمنت بالميتاكاولين

✓ **الملدن الفائق :**

اختيار نسبة الملدن الفائق لكل خلطة كان بطريقة تجريبية بحتة حيث حاولنا زيادة نسبة الملدن في كل مرة بحيث يعطينا الانتشار و زمن التدفق اللازمين خاصة في الخلطات التي تحتوي على ألياف الزجاج حيث بدئنا بنسبة 1,1% في الخلطة المرجعية و تزيد هذه النسبة حسب نوع و نسبة المضاف الى أن وصلنا الى نسب حدية وصلت الى 1.60% في أكبر نسبة لألياف الزجاج .

جدول (3-2) مكونات مختلف الخلطات بالنسبة لـ 1م3

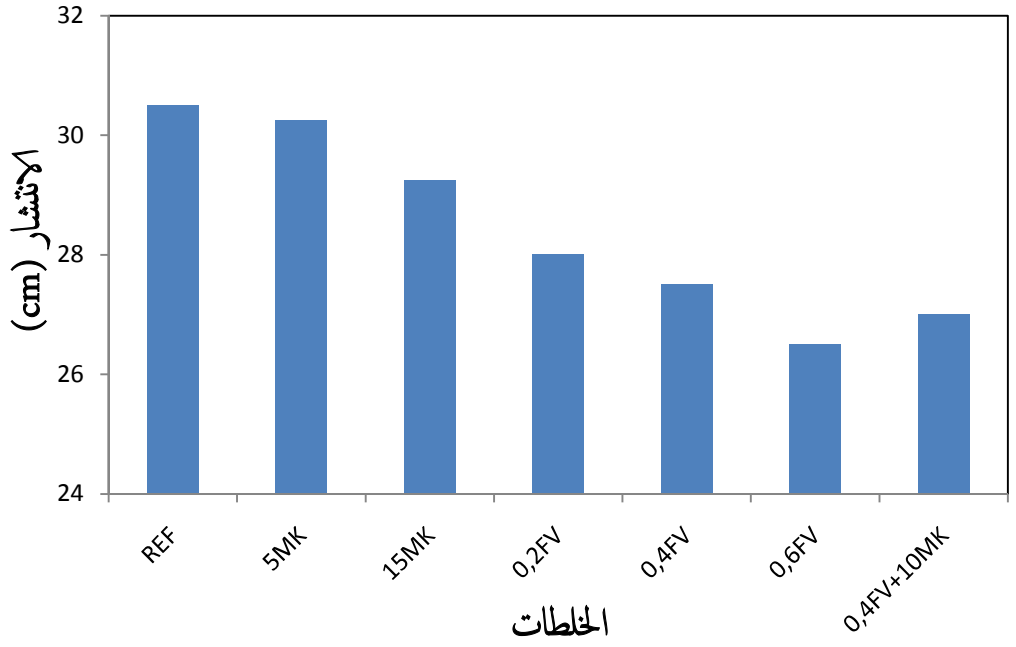
الخلطات	W/B	المكونات							
		الاسمنت (kg)	نسبة المضاف (%)	الميتاكاولين (kg)	ألياف الزجاج (kg)	الملدن الفائق الفعالية SP		الرمل (kg)	الماء (kg)
						النسبة (%)	الكمية (kg)		
REF	0,4	690,65	0	0	0	1,1	7,59	1300,00	279,32
5MK		656,12	5	34,53	0	1,15	7,94		
10MK		621,58	10	69,06	0	1,30	8,97		
15MK		587,05	15	103,59	0	1,45	10,01		
0.2FV		690,65	0.2	0	1,38	1,15	7,94		
0.4FV		690,65	0.4	0	2,76	1,35	9,32		
0.6FV		690,65	0.6	0	4,14	1,60	11,05		
10MK +0,4 FV		621,58	10 +0,4	69,06	2,76	1,60	11,05		

3-3. عرض النتائج و مناقشتها:

3-3-1. الحالة الطرية:

✓ **تجربة الانتشار:**

تعتمد هذه التجربة على تحديد قطر انتشار الملاط الذاتي الرص بعد خلطه في الخلاط الآلي و وضعه في المخروط الصغير ورفع المخروط لينساب الملاط وينتشر، بعدها نقيس قطر الانتشار، ويجب أن يكون محصور بين 27 و33سم.



الشكل (3-1): تغير قطر الانتشار بدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج

من خلال الشكل (3-1) نلاحظ أن مختلف الخلطات التي أضفنا فيها سواء الميتاكاولين أو ألياف الزجاج تناقص فيها قطر الانتشار بشكل ملحوظ عن الخلطة الشاهد التي بلغ فيها قطر الانتشار 30,5 cmماعدا في الخلطة التي أضفنا فيها 10% من الميتاكاولين حيث كان قطرها بنفس القيمة وكان هذا التناقص أكبر في الخلطة التي أضفنا فيها 15% من الميتاكاولين، أما في الخلطات التي أضفنا فيها ألياف الزجاج فقد عرفت تناقص أكبر للقطر من التي أضفنا فيها الميتاكاولين حيث عرفت علاقة عكسية بين إضافة الألياف و قطر الانتشار فعند 0.2% من ألياف الزجاج كان القطر 28cm ثم تناقص عند إضافة 0.4% الى 27,5cm وعرف قطر الانتشار قيمة دنيا 26,5cm عند 0,6% و تعتبر هذه القيمة تحت

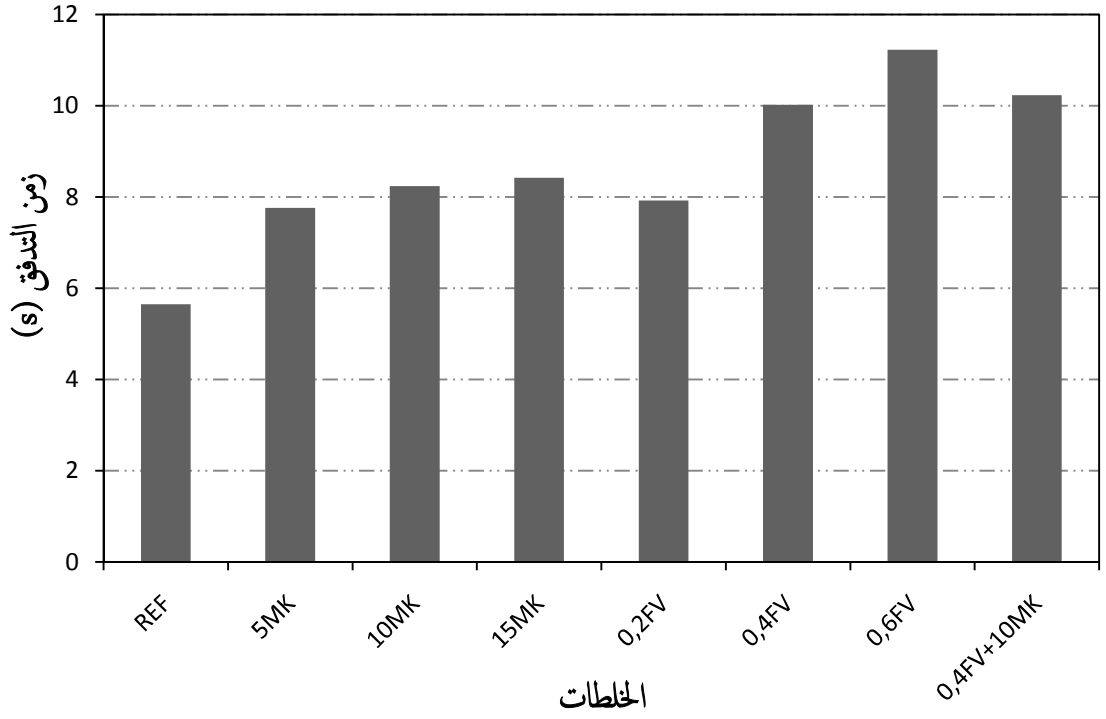
المستوى المطلوب و كذلك الشأن بالنسبة للخلطة التي مزجنا فيها بين 10% من الميتاكاولين و 0,4% من ألياف الزجاج.كما عرفت الخلطات التي أضفنا فيها 0,6% من ألياف الزجاج نضوحا للماء .

ومن خلال هذه النتائج نستنتج أن الملاط الذي أضفنا فيه الميتاكاولين كان أكثر سيولة و تجانسا من الملاط المليف حيث أثرت إضافة ألياف الزجاج بشكل كبير على سيولة الملاط رغم نسبها المحدودة.

وكنتيجة نهائية لا يمكن إضافة أكثر من نسبة 0.6% من ألياف الزجاج في الملاط ذاتي الرص.

✓ **تجربة التدفق:**

تعتمد هذه التجربة على تحديد زمن تدفق الملاط الذاتي الرص بعد خلطه في الخلاط الآلي و وضعه في القمع و فتحه من الأسفل لينساب الملاط ويتدفق، في هذه الأثناء نقوم بقياس الزمن منذ فتحه الى غاية ظهور الضوء من الفتحة السفلى علما أننا نرى من الجهة العلوية للقمع، ويجب أن يكون هذا الزمن محصورا بين 2 و10 ثواني.



الشكل (3-2): تغير زمن التدفق بدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج

من خلال الشكل (3-2) نلاحظ أن مختلف الخلطات التي أضفنا فيها سواء الميتاكاولين أو ألياف الزجاج زاد فيها زمن التدفق بشكل ملحوظ عن الخلطة الشاهد التي كان فيها زمن التدفق5,65ثا ففي الخلطات التي أضفنا فيهم الميتاكاولين

كان زمن التدفق يزيد كلما زادت نسبة الميتاكاولين حيث بلغ 8,42ثا عند نسبة 15%، أما في الخلطات التي أضفنا فيها ألياف الزجاج فقد كان تزايد أكبر لزمن التدفقمن التي أضفنا فيها الميتاكاولين حيث كان 7.92ثا عند النسبة0.2% من ألياف الزجاج وارتفع بنسبة 26,5% عند إضافة 0,4% ما يوضح التأثير السلبي لألياف الزجاج على زمن التدفق و عند إضافة0,6% بلغ 11,23ثا وهي قيمة فاقت القيمة الحدية المقبولة بقليل أما بالنسبة للخلطة التي مزجنا فيها بين 10% من الميتاكاولين و 0,2% من ألياف الزجاج فكان زمن التدفق 10ثا.

ومن خلال هذه النتائج نستنتج أن الملاط الذي أضفنا فيه الميتاكاولين كان أكثر انسيابية من الملاط المليف حيث أثرت إضافة ألياف الزجاج بشكل كبير على زمن التدفق. لكن تبقى هذه النتائج مقبولة حسبالمعايير [22].

بينت تجربتي الانتشار و الهبوط أن إضافة الميتاكاولين وألياف الزجاج تؤثران بشكل سلبي و متفاوت على سيولة و لزوجة وانسيابية الملاط لذا كنا نزيد في كل مرة من نسبة الملدن الفائق و ذلك يرجع الى احتياجالميتاكاولين للماء نتيجة لنعومته الكبيرة و طبيعته الطينية، كما تعمل الألياف على إعاقة حركة الملاط تحت تأثير وزنه الذاتي من خلال تشابكها.

3-3-2. الحالة المتصلبة:

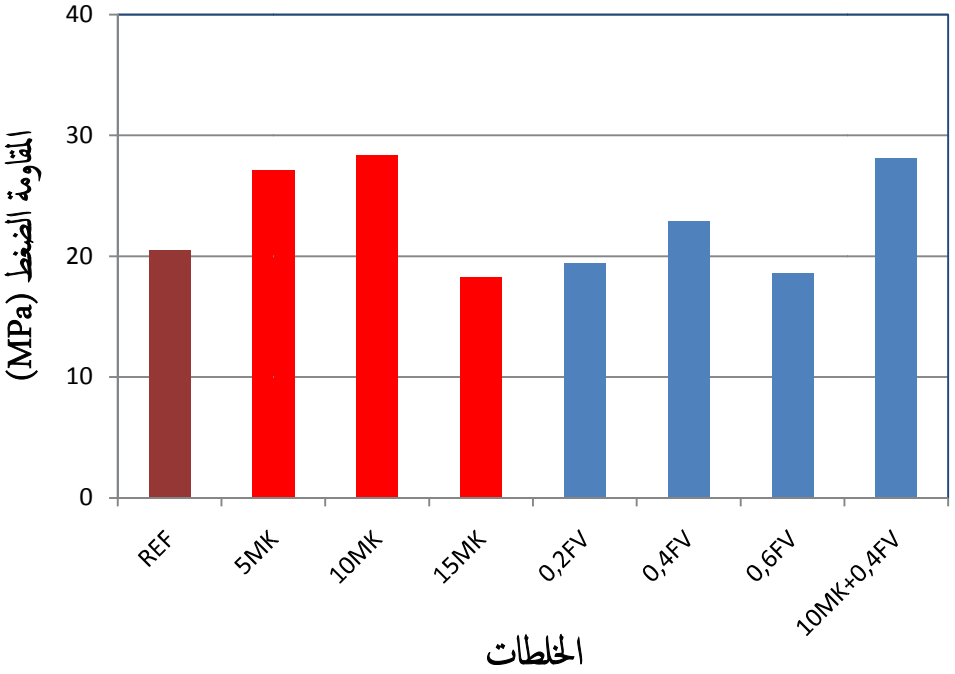
3-3-2-1. مقاومة الضغط:

تجربة مقاومة الضغط هي أهم التجارب التي تخضع لها الخرسانة أو الملاط لأن هذين الأخيرين يمتازان بمقاومة الاضغط وهي أهم خاصية لهما .قمنا بقياس مقاومة الضغط عند الأعمار 3، 28 و 56 يوما.

✓ **مقاومة الضغط بعد 3 أيام:**تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل(3-3)

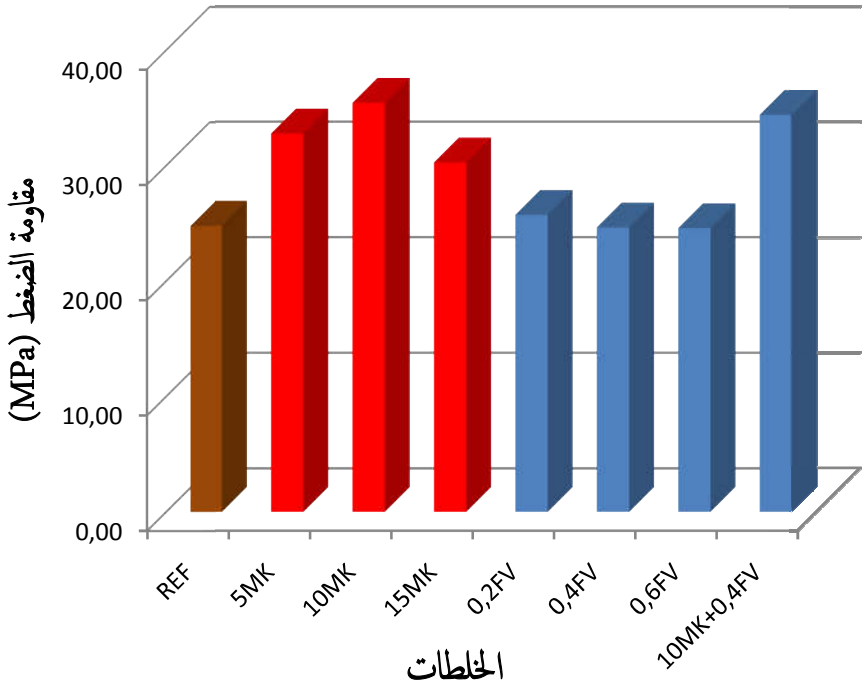
من الشكل (3-3) نلاحظ أن مقاومة الضغط كانت كلها أكبر من الخلطة المرجعية ماعدا التي تحتوي على النسبة 15% من الميتاكاولين، حيث زادت المقاومة بنسبة 8,86% في الخلطتين التي تحتويان 5 % و 10 % مقارنة مع الخلطة المرجعية (σ_c=8,24MPa)أما بالنسبة لألياف الزجاج كانت أكثر ارتفاعا نسبيا حيث زادت بنسبة 17,35% في الخلطة التي أضفنا فيها 0,4% من الألياف و نسبة 18,56% في التي أضفنا فيها 0,6%، وأعلى قيمة لمقاومة الضغط كانت للمزيج المتكون من10% من الميتاكاولين و 0,2% من الألياف حيث بلغت σ_c=10,04MPa.

لاحظنا أن مقاومة الضغط زادت في نسب 5 و 10% من الميتاكاولين مقارنة مع الخلطة المرجعية.



الشكل (3-3): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 3 أيام

✓ **مقاومة الضغط بعد 28 يوما:** تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل(3-4)



الشكل (3-4): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 28 يوما

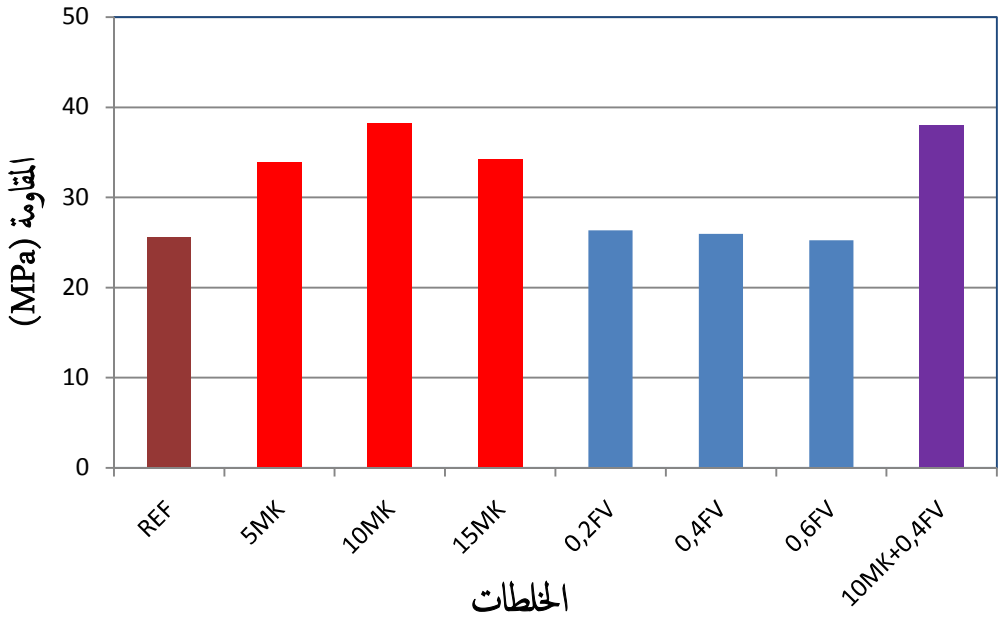
من خلال الشكل (3-4) لاحظنا:

تأثير الميتاكاولين:مقاومة الضغط كانت كلها أكبر من الخلطة المرجعية حيث زادت بنسبة 3,76%في الخلطة التي أضفنا فيها 5% من الميتاكاولينمقارنة مع الخلطة المرجعية (σ_c=18,08MPa)و زادت بنسبة 6.69% في الخلطة التي أضفنا فيها 15 % من الميتاكاولينأما أكبر نسبة زيادة فكانت فيالخلطة التي أضفنا فيها 10 %حيث بلغت 12.17%.ومن هنا نستنتج أن النسبة المثالية للميتاكاولين في الملاط لزيادة مقاومة الضغط هي 10%.

تأثير ألياف الزجاج: بالنسبة لألياف الزجاج فقد زادت مقاومة الضغط نسبيا حيث ارتفعت المقاومة مقارنة بالخلطة المرجعية بنسب 12,78% ، 15,93%، 17,04% في الخلطات 0,2%، 0,4%، 0,6% على التوالي.

تأثير مزيج الميتاكاولين و ألياف الزجاج :سجلت هذه الخلطة أكبر قيمة لمقاومة الضغط حيث بلغت زيادة بـ 20.20% مقارنة بالخلطة المرجعية و ذلك لاحتوائها على النسبة المثالية للميتاكاولين 10% و احتوائها على الألياف التي زادت من مقاومتها.

مقاومة الضغط بعد 56 يوما:

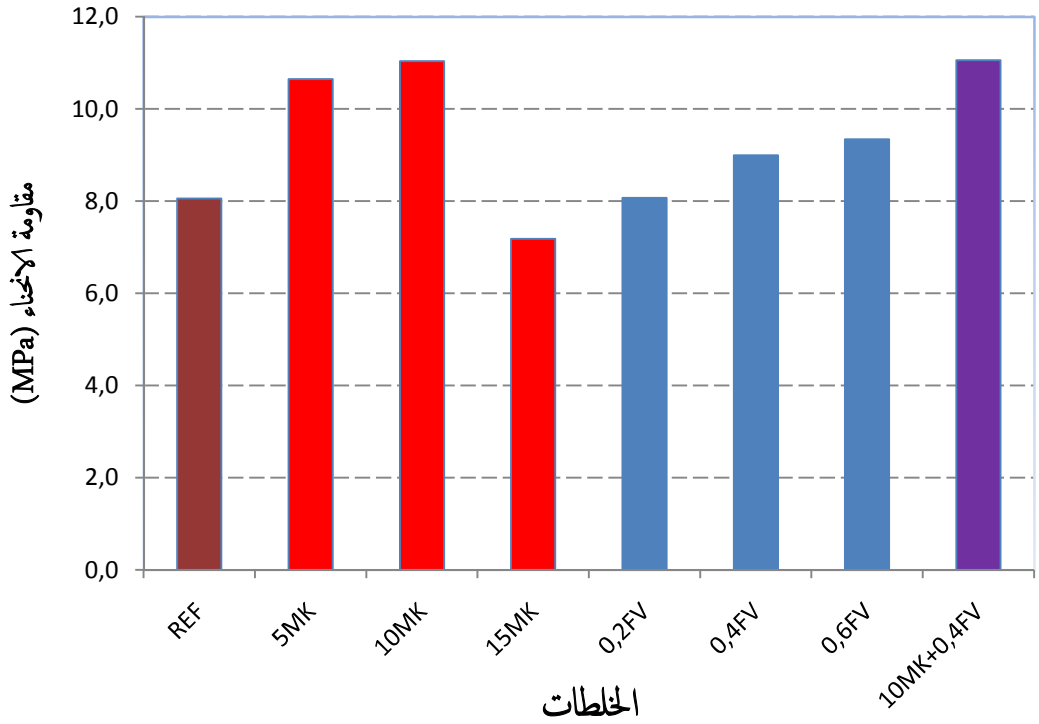


الشكل (3-5): تغير مقاومة الضغط بدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 56 يوما.

من خلال الشكل (3-5) لاحظنا أن مقاومة الضغط زادت بعد 56 يوم في الخلطات التي تحتوي على الميتاكاولين بنسب متفاوتة وكانت أكبر زيادة في الخلطتين 10MK و ومزيج الميتاكاولين بألياف الزجاج أما الخلطات التي لا تحوي الميتاكاولين فكانت الزيادة طفيفة.

3-3-2-2. مقاومة الإنحناء:

✓ مقاومة الانحناء بعد 3 أيام:



الشكل (3-6): تغير مقاومة الانحناءبدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 3 أيام.

من خلال الشكل (3-6) لاحظنا:

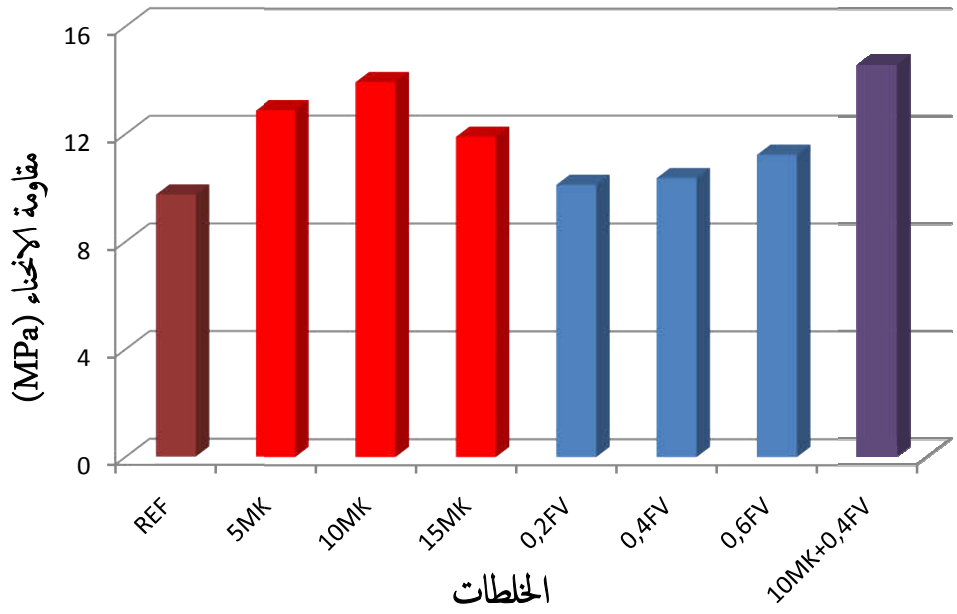
تأثير الميتاكاولين: مقاومة الإنحناء كانت أكبر من الخلطة المرجعية في الخلطتين 5MK و 10MK حيث زادت فيهما بنسبة 32,21%و 37% على التوالي مقارنة مع الخلطة المرجعية (σ=12,81MPa)بينما تناقصـــت بنسبة 10,83% في الخلطة التي أضفنا فيها 15 % من الميتاكاولين.ومن هنا نستنتج أن النسبة المثالية للميتاكاولين في الملاط لزيادة مقاومة الانحناء هي 10% .

تأثير ألياف الزجاج: لم تعرف الخلطات التي تحتوي على ألياف الزجاج زيادة بالنسب التي عرفتها التي تحتوي على الميتاكاولين حيث زادت الخلطة التي تحتوي على 0,2% بنسبة طفيفة 0,15%بينما كانت زيادة معتبرة في الخلطتين 0,4FV و 0,6FV بنسب 11,66 و 15,96% على الترتيب

في الخلطة 0,2% كانت نسبة ألياف الزجاج قليلة جدا لذلك لم تحدث الفرق في مقاومة الانحناء وكان الفرق أوضح في الخلطتين اللتين تحويان 0,4 و 0,6% و لكن رغم ذلك لم تحدث اضافة ألياف الزجاج زيادة كبيرة في مقاومة الانحناء على الأقل في هذا العمر.

تأثير مزيج الميتاكاولين و ألياف الزجاج :سجلت هذه الخلطة أكبر قيمة لمقاومة الانحناء حيث بلغت زيادة بـ 37,24% مقارنة بالخلطة المرجعية و ذلك لاحتوائها على النسبة المثالية للميتاكاولين 10% و احتوائها على الألياف التي زادت قليلا من مقاومتها.

✓ **مقاومة الانحناء بعد 28 يوما:**



الشكل (3-7): تغير مقاومة الانحناءبدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 28 يوما.

من خلال الشكل (3-7) لاحظنا:

تأثير الميتاكاولين:بعد مرور هذه المدة زادت مقاومة الإنحناء بشكل معتبر في كل الخلطات حتى في الخلطة التي تحتوي على 15 % والتي كانت أقل من الخلطة المرجعية عند عمر 3 أيام أصبحت بعد 28 يوما أكبر منها بنسبة 21,98% أما الخلطتين 5MK و 10MK زادت فيهما مقاومة الإنحناء بنسبتي 32,06% و 42.78% على التوالي مقارنة مع الخلطة المرجعية (σ=15,50MPa).

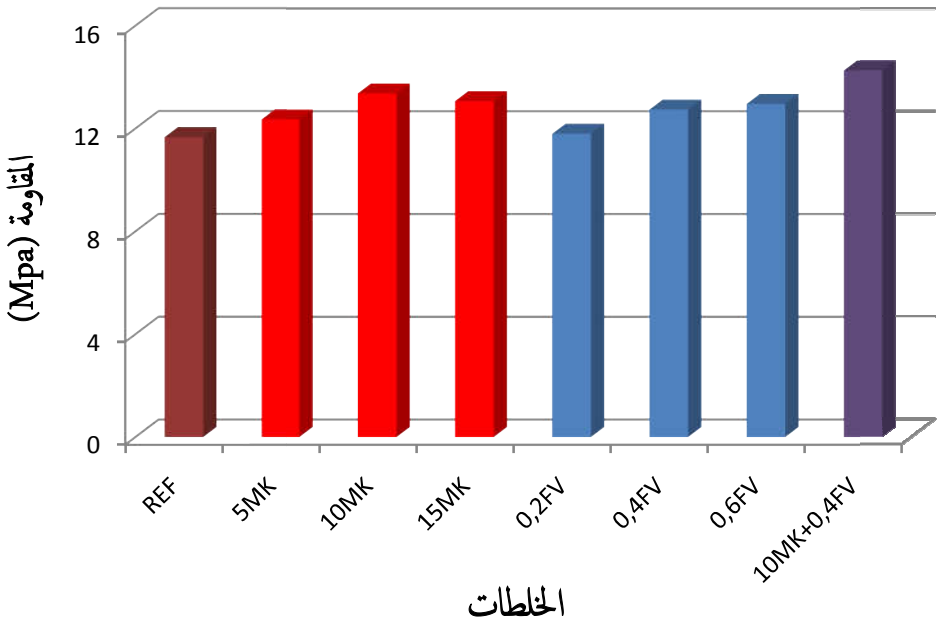
ومن هنا نستنتج أن للميتاكاولين كان تأثيره إيجابي في الملاط لزيادة مقاومة الانحناء خاصة بعد عمر 28 يوما.

تأثير ألياف الزجاج: لم تعرف الخلطات التي تحتوي على ألياف الزجاج زيادة بالنسب التي عرفتها التي تحتوي على الميتاكاولين حيث زادت الخلطة التي تحتوي على 0,2% بنسبة قليلة 3,71% بينما كانت زيادة أكبر في الخلطتين 0,4FV و 0,6FV بنسب 6,29 و 15,16% على الترتيب أي أن أكبر زيادة كانت في الخلطة التي تحتوي على أكبر نسبة.

و من هنا نستخلص أن زيادة مقاومة الانحناء تستوجب زيادة نسبة هذه الألياف في الملاط المليف بالشكل الكافي.

تأثير مزيج الميتاكاولين و ألياف الزجاج :الخلطة التي احتوت على مزيج الميتاكاولين و ألياف الزجاج كان فيها تحسن كبير لمقاومة الانحناء قارب فيها 50% مقارنة بالخلطة المرجعية و ذلك لاحتوائها على النسبة المثالية للميتاكاولين10% و احتوائها على الألياف التي زادتمن مقاومتها.

مقاومة الإنحناء بعد 56 يوم:

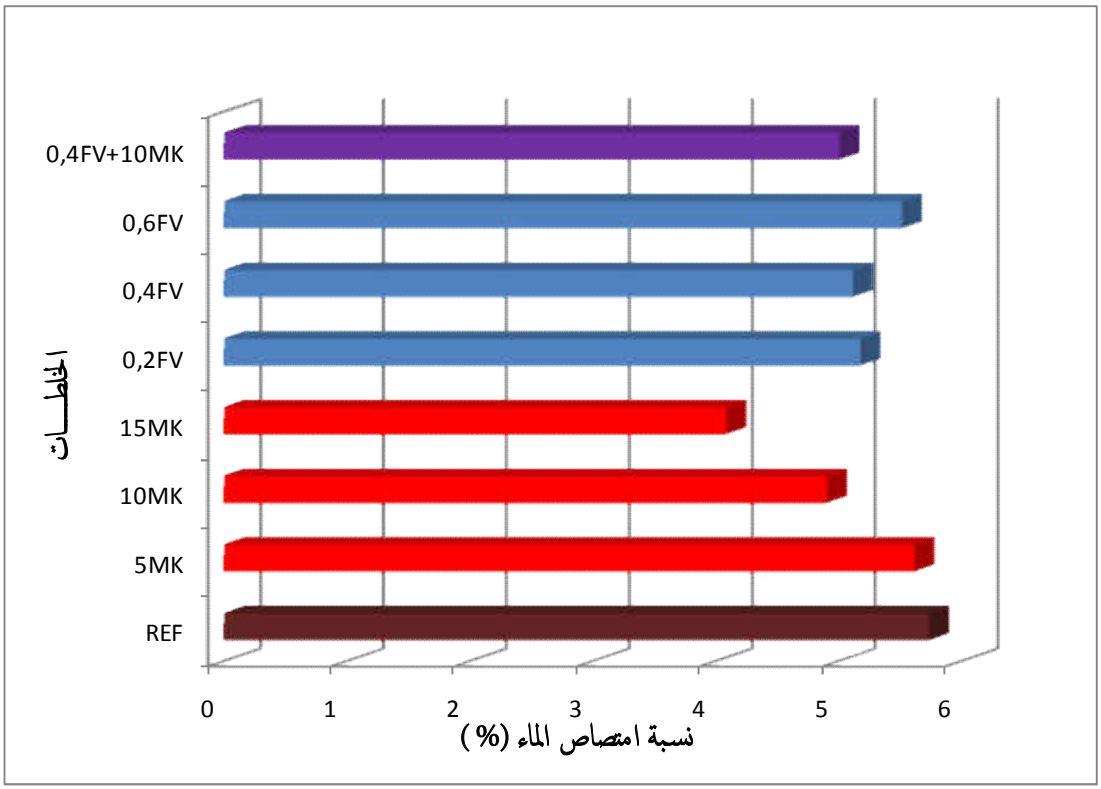


الشكل (3-8): تغير مقاومة الانحناءبدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج بعد 28 يوما.

من خلال الشكل (3-8) نلاحظ أن زيادة المقاومة كانت قليلة مقارنة بها في عمر 28 يوم أما بالنسبة للخلطة المرجعية فكانت متفاوتة حيث زادت الخلطات 5MK ، 10MK و 15MK بنسب 5.91، 14.65 و 12.08% على التوالي وعرفت خلطة المزيج زيادة بنسبة 22.28% أما بقية الخلطات التي تحتوي فكانت الزيادة الأكبر في الخلطة التي تحتوي على نسبة 0.6%بنسبة 11.14%.وعليه نستنتج أن الخلطة المثالية في مقاومة الإنحناء هي الخلطة التي مزجنا فيها الميتاكاولين بألياف الزجاج

3-3-2-3. تجربة امتصاص الملاط للماء :

هذه التجربة تسمح لنا بقياس كمية الماء الممتص و التي تملأ الفراغات و المسامات بين حبيبات المكونة للعينات، ويتم حساب كمية امتصاص الملاط للماء بعد تجفيف العينات من الماء تماما ووزنها، ومن ثم إعادة غمسها في الماء حتى التشبع ثم نحسب فرق الوزن على الوزن جاف والكل مضروب في 100 لتعطينا نسبة كمية الماء الممتصة.



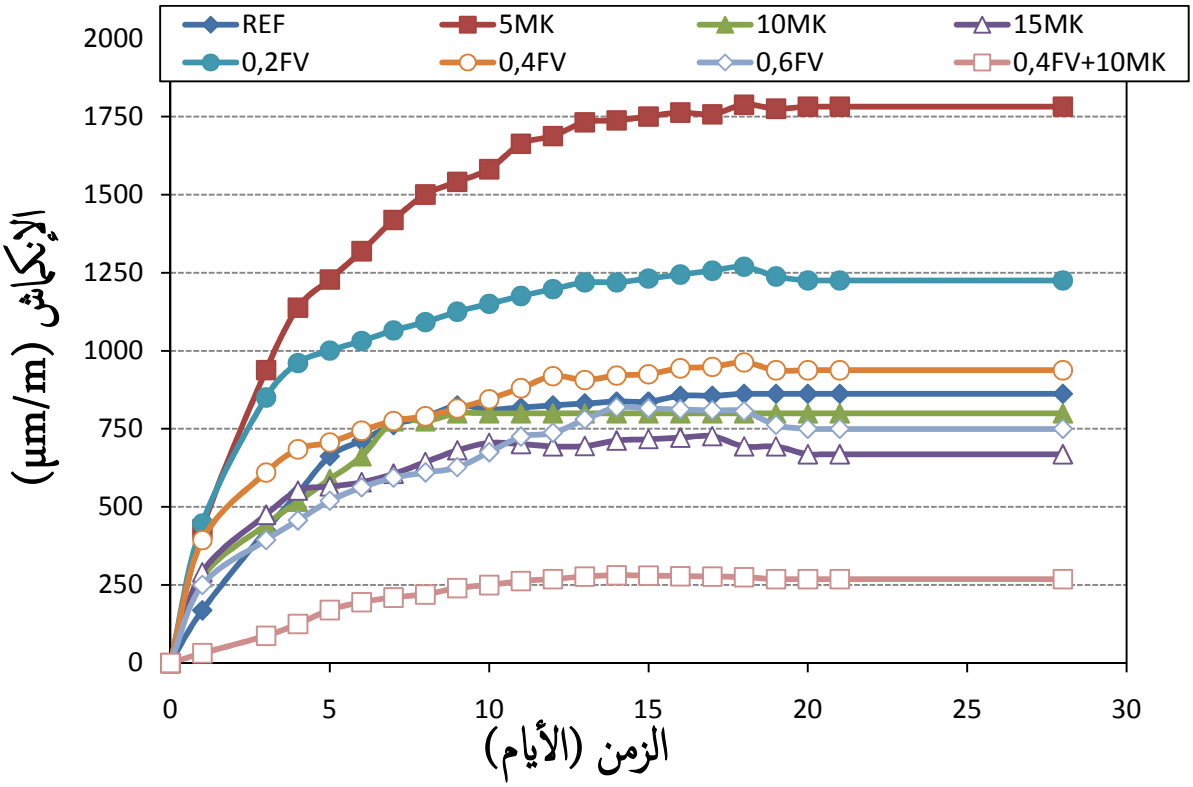
الشكل (3-9): تغير نسبة امتصاص الملاط للماءبدلالة نسب الميتاكاولين و ألياف الزجاج.

من خلال الشكل (3-9) لاحظنا أن جل الخلطات كانت أقل من الخلطة المرجعية خاصة التي تحتوي على الميتاكاولين حيث تناقصت نسبة امتصاص الماء في الخلطة التي تحتوي على 5 % من الميتاكاولين بنسبة 2,09% عن الخلطة المرجعية و زادت نسبة التناقص في الخلطة 10MK إلى14,49% و استمرت في التناقص في الخلطة 15MK و التي سجلت أقل نسبة لإمتصاص الماء حيث تناقصت بنسبة 28,80% مقارنة بالخلطة المرجعية .

أي كلما زادت نسبة الميتاكاولين في الملاط قل امتصاص الماء ونفسر ذلك بملء الميتاكاولين للفراغات مما ينقص من مسامية الملاط وبالتالي تزيد كثافته مما ينقص امتصاصه للماء ومنه نستنتج أن الملاط الذي يحتوي على الميتاكاولين هو الأنسب لتقليل نسبة امتصاص الماء.

أما الخلطات التي احتوت على ألياف الزجاج فلم يكن الفرق فيها كبيرا عن الخلطة المرجعية.

3-2-3-3. تجربة الإنكماش :



الشكل (3-10): تغير الإنكماش بدلالة الزمن

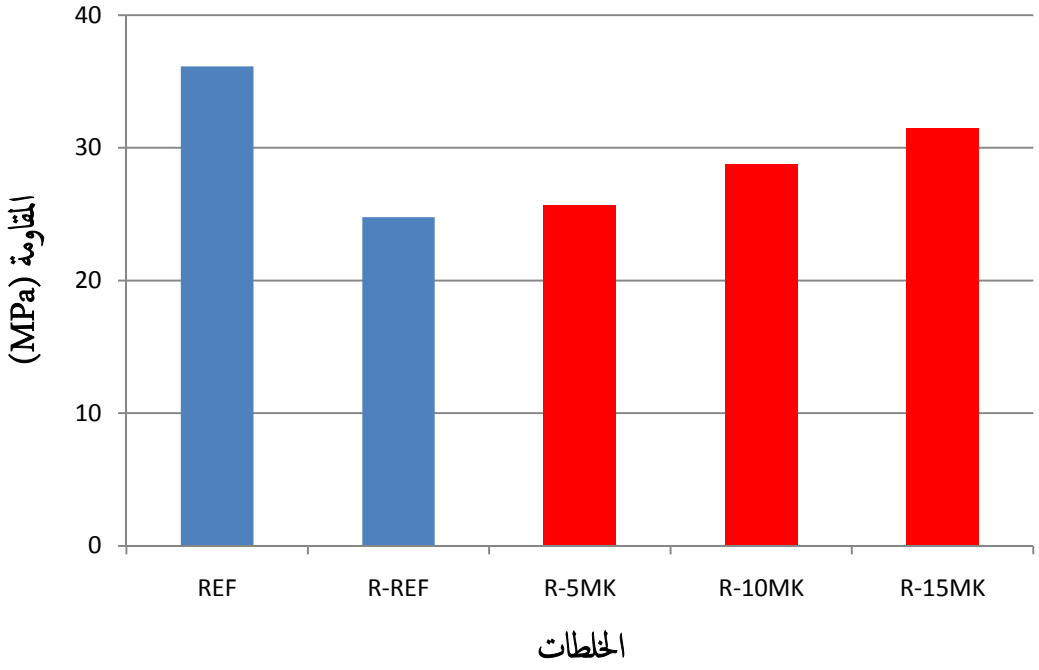
من خلال الشكل (3-10) نلاحظ أن جل الخلطات كانت متقاربة في تطور انكماشها مع الخلطة المرجعية عدا الخلطات 5MK التي انكماشها كبير مقارنة بالخلطة المرجعية كما زاد الانكماش في الخلطة التي احتوت على 0,2% من ألياف الزجاج أما الخلطة التي مزجنا فيها الميتاكاولين و ألياف الزجاج فكان إنكماشها قليل مقارنة بالخلطة المرجعية.

وبالتالي الخلطة المثالية لعملية الترميم هي الخلطة المزيج .

3-3-3 نتائج التجارب على ملاط الترميم :

3-3-3-1 تجربة القص المائل:

من خلال الشكل (3-11) نلاحظ مقاومة الضغط بالنسبة للعينات المرممة كانت أقل من العينة المرجعية التي لم ترمم، أما بالنسبة للعينات التي رممت بملاط يحتوي على نسب 5 ، 10 و 15 % من الميتاكاولين فزادت بنسب 3,60، 15,99 و 26,89 % على التوالي وبالتالي نستنتج أن الخلطة التي احتوت على 15% من الميتاكاولين هي الأكثر مقاومة للقص بالضغط.



الشكل (3-11): مقاومة الضغط بدلالة نسب الميتاكاولين

REF: خرسانة ذاتية الرص مسلحة شاهد

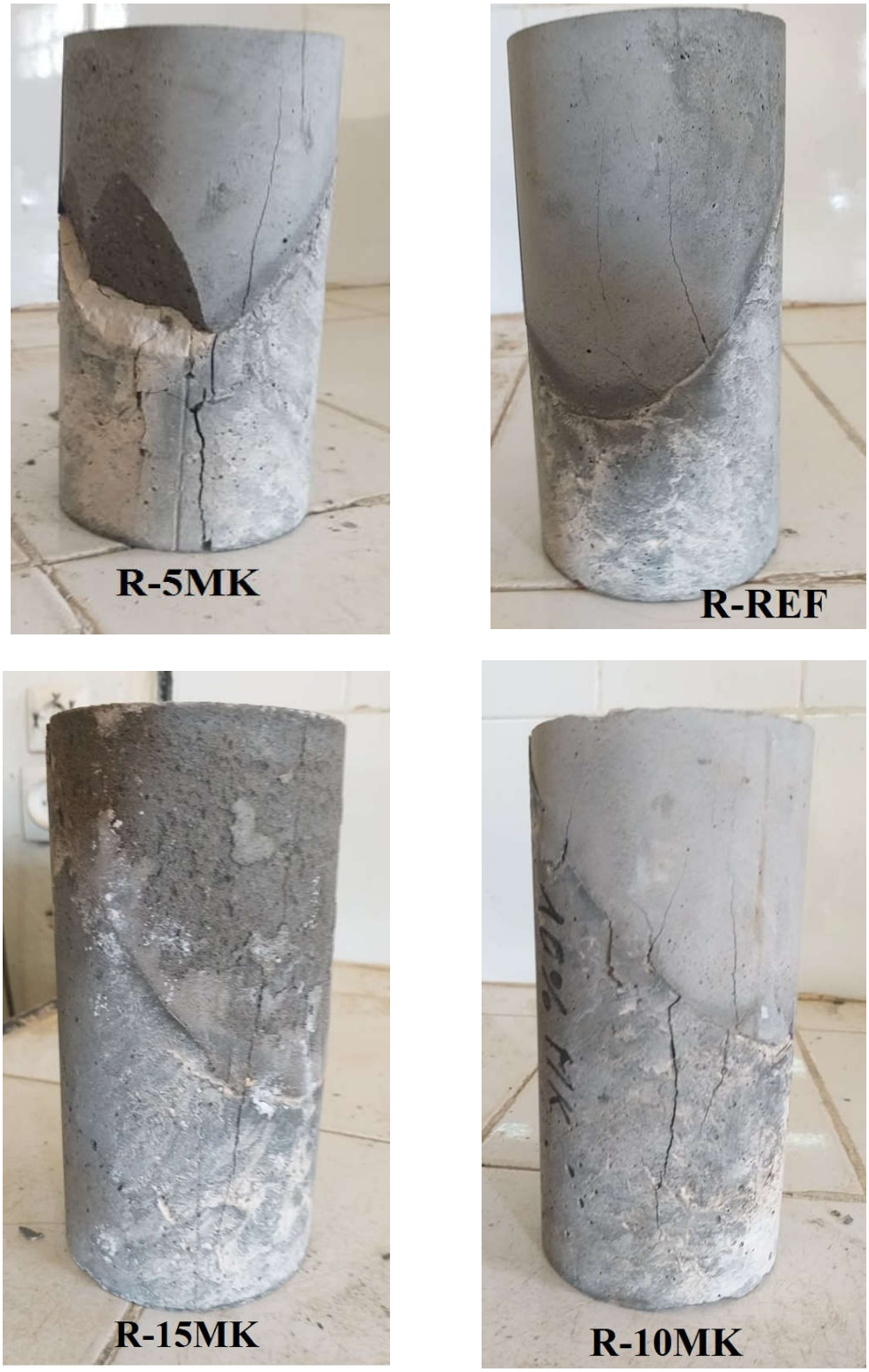
R-REF: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط ذاتي الرص مرجعي.

R-5MK: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط يحتوي على نسبة 5 % من الميتاكاولين.

R-10MK: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط يحتوي على نسبة 5 % من الميتاكاولين.

R-15MK: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط يحتوي على نسبة 10 % من الميتاكاولين.

صور العينات بعد تحطيمها بالضغط:



الشكل (3-12): صور عينات تجربة القص المائل بعد تحطيمها.

من خلال الشكل (3-12) لاحظنا:

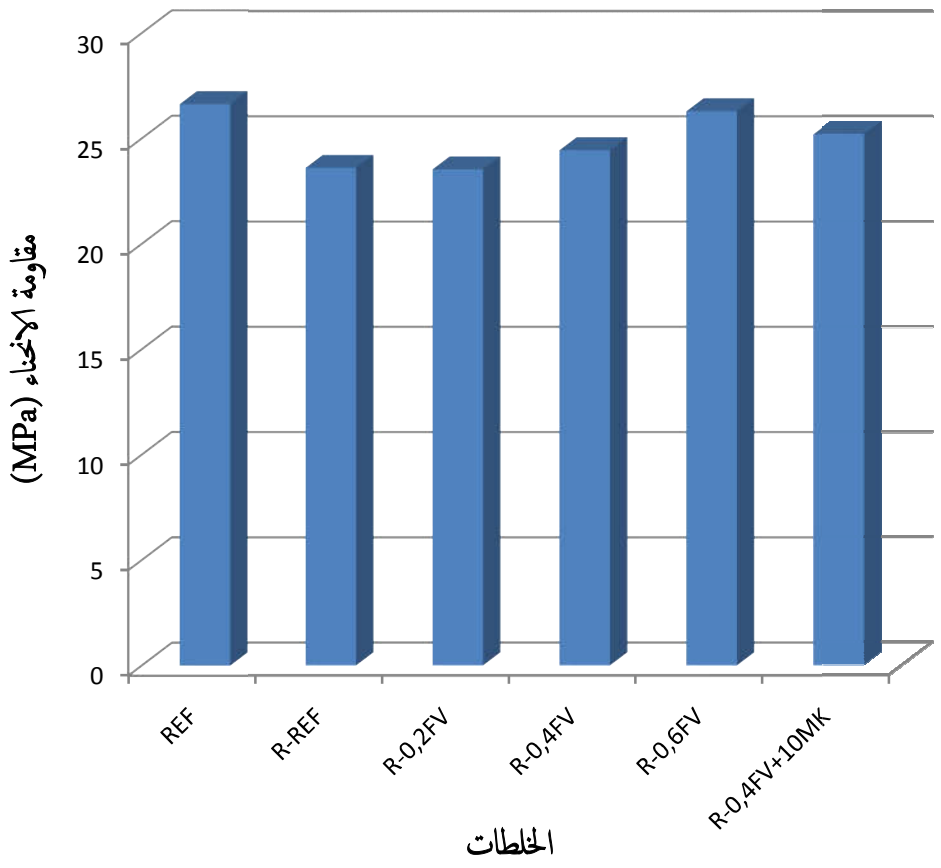
العينة المرممة بالملاط المرجعي: وجود بعض شقوق غير متواصلة لكن أغلبها كانت متواصلة و انفصال جزئي بين الخرسانة و ملاط الترميم في الاسطوانتين.

العينات المرممة بـ 5% من الميتاكاولين: كذلك لاحظنا وجود شقوق متواصلة و أخرى غير متواصلة و انفصال جزئي بين الخرسانة و ملاط الترميم في الاسطوانتين.

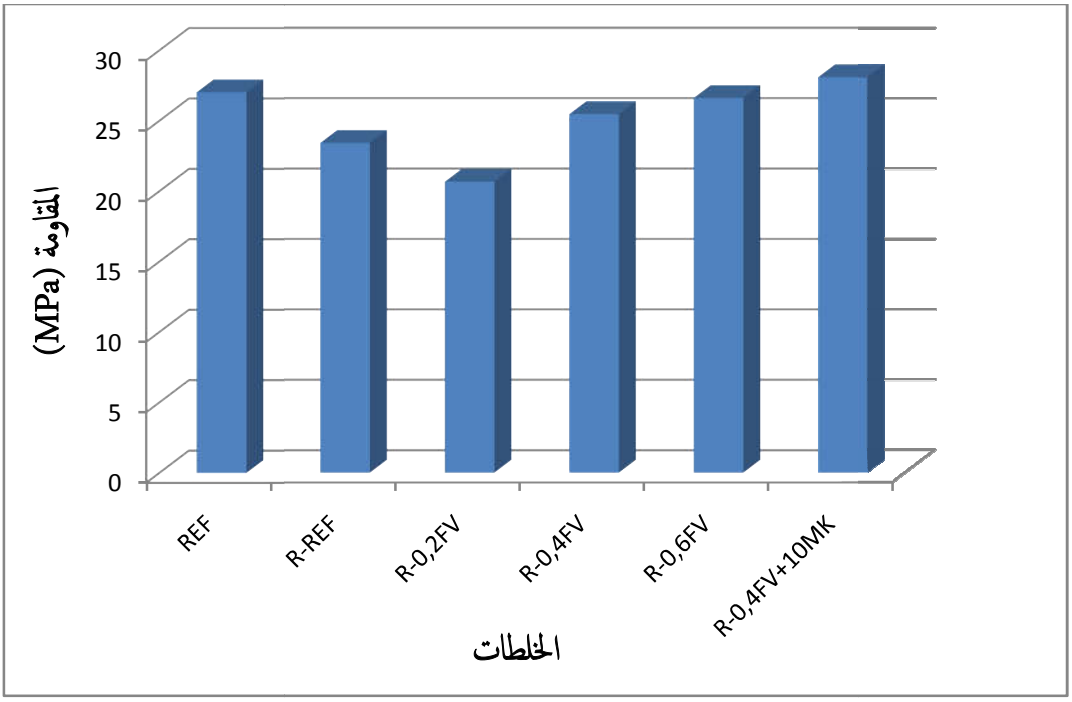
العينات المرممة بـ 10% من الميتاكاولين: أغلب الشقوق كانت متواصلة، إلتصاق ملاط الترميم كان جيدا مع الخرسانة لعدم وجود انفصال بينهم

العينات المرممة بـ 15% من الميتاكاولين: هي العينات التي أعطت أكبر تجانس بين ملاط الترميم و الخرسانة حيث كانت الشقوق متواصلة، كما لاحظنا إلتصاق جيد بين ملاط الترميم و الخرسانة مما صعب من انفصالها.

3-3-3-2 تجربة الإنحناء:



الشكل (3-13): مقاومة الانحناء (بثلاث نقاط) لمختلف الخلطات



الشكل (3-14): مقاومة الانحناء بأربع نقاط بدلالة نسب ألياف الزجاج

R-0,2FV: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط ذاتي الرص يحتوي على 0,2 % من ألياف الزجاج

R-0,4FV: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط ذاتي الرص يحتوي على 0,4 % من ألياف الزجاج

R-0,6FV: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط ذاتي الرص يحتوي على 0,6 % من ألياف الزجاج

R-CBN: خرسانة ذاتية الرص مسلحة مرممة بملاط ذاتي الرص يحتوي على 0,4 % من ألياف الزجاج و 10 % من الميتاكاولين.

من خلال الشكل (3-13) نلاحظ أن مقاومة الانحناء كل الخلطات كانت أقل من الخلطة المرجعية التي لم ترمم أما مقارنة مع الخلطة التي رممت بملاط الخلطة المرجعية فكانت مقاومة الخلطة التي احتوت على 0,6% هي الأعلى مقاومة بنسبة وصلت الى 11,62% ، وكذلك الخلطة التي مزجنا فيها الميتاكاولين وألياف الزجاج كانت أعلى من المرممة بالملاط المرجعي بنسبة 6,73% ، فيما يخص باقي الخلطات كانت قريبة من مقاومة العينات التي رممت بالخلطة المرجعية .

من الشكل (3-14) لاحظنا تقاربا في مقاومة الانحناء بين بعض الخلطات و الخلطة المرجعية لاسيما احتوت على نسبة % 0,4و0,6% من ألياف الزجاج. بينما أعلى مقاومة كانت من نصيب الخلطة المزيج حيث فاقت مقاومة الخلطة التي رممت يالملاط المرجعي بنسبة تقارب 20% وكذلك الخلطتين 0,4% و 0,6% عرفتا زيادة بنسبتي 8,71% و 13,62% على التوالي أما الخلطة 0,2% فعرفت مقاومة أقل بقليل من التي رممت بالخلطة المرجعية .

ومما سبق نستنتج أن أكثر العينات المرممة مقاومة للانحناء سواءا بثلاث نقاط أو بأربع نقاط كانت الخلطتين اللتين احتوتا على 0,6% من ألياف الزجاج و الخلطة التي مزجنا فيها 10% من الميتاكاولين و 0,4% من ألياف الزجاج.

صور الروافد الخرسانية المرممة بعد تجربة الانحناء:

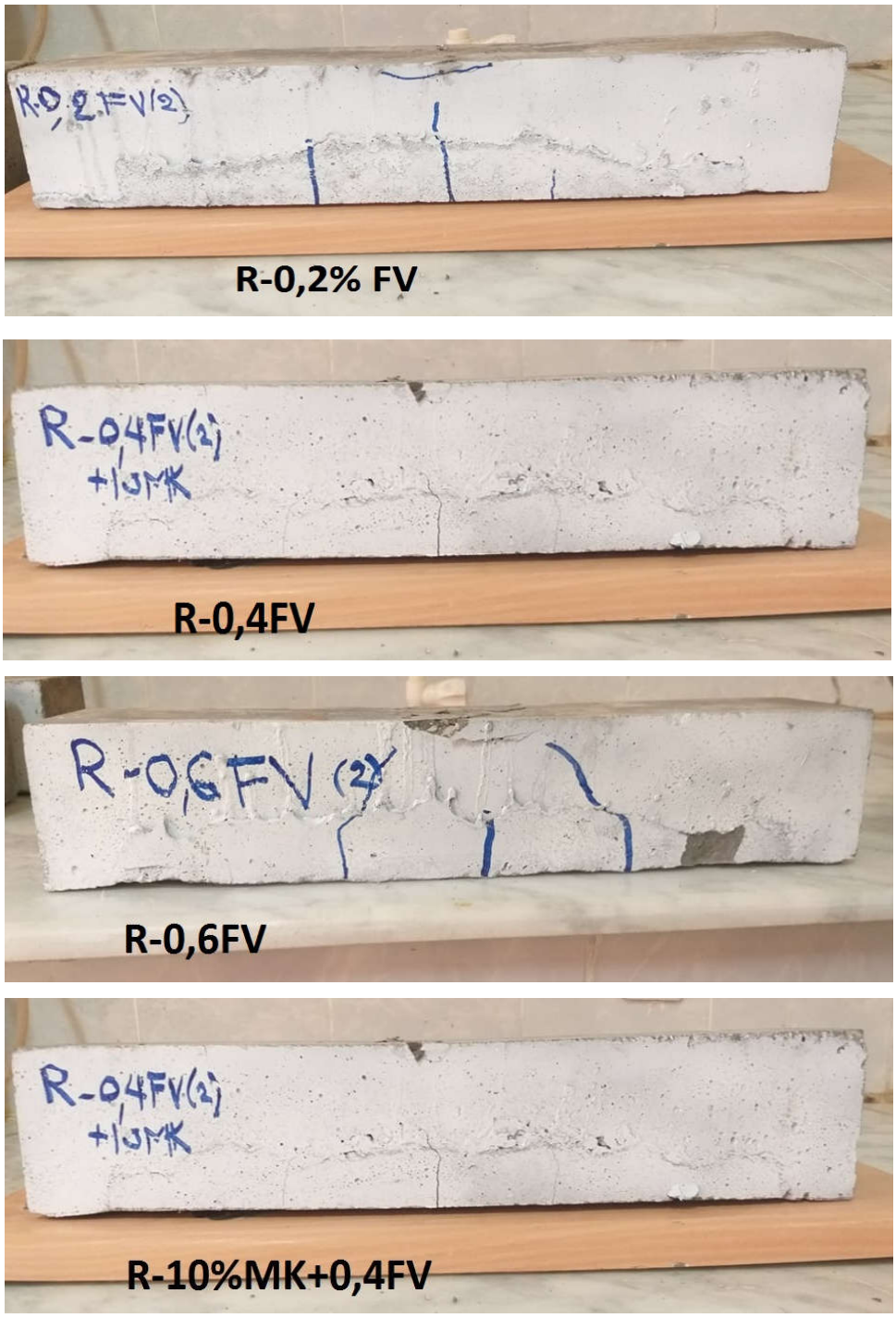
✓ **الانحناء بثلاث نقاط:**

الشكل (3-15) صور العينات بعد تجربة الانحناء بثلاثة نقاط

الشكل (3-16) صور العينات بعد تجربة الانحناء بثلاثة نقاط

الانحناء بأربع نقاط:

الشكل (3-17) صور العينات بعد تجربة الانحناء بأربع نقاط



الشكل (3-18) صور العينات بعد تجربة الانحناء بأربع نقاط

من خلال الأشكال (3-15 ، 3-16، 3-17، 3-19) نلاحظ أن التشققات كانت عمودية مائلة وفي نفس الأماكن تقريبا مقارنة بالرافدة المرجعية التي لم ترمم لكنها كانت متواصلة في بعض الروافد على غرار التي رممت بـ 0,6% من ألياف الزجاج و المزيج بين الميتاكاولين و ألياف الزجاج أما في الروافد التي رممت بملاط يحتوي على الملاط المرجعي فلاحظنا وجود بعض التشققات غير المتواصلة. نستنتج أن هناك تجانس أكبر في الخلطات 0,6FV و 10MK+0,4FV وهذا ما يثبت فعاليتها كمواد للترميم.

الخلاصة العامة

قمنا بهذا البحث العلمي بهدف تحضير ملاط ذاتي الرص اقتصادي و صديق للبيئة مخصص للأعمال الترميمية، و لتحسين أدائه وخواصه قمنا بإستبدال نسب من الإسمنت بالميتاكاولين، كما أضفنا نسب من ألياف الزجاج، كما مزجنا بين إستبدال نسبة من الإسمنت بالميتا كاولين و إضافة نسبة من ألياف الزجاج وبعد تحليلنا لنتائج مختلف التجارب التي قمنا بها استخلصنا مايلي:

في الحالة الطرية:

- ✓ وجدنا أن إضافة الميتاكاولين تقتضي زيادة نسبية في الملدن الفائق ليحافظ الملاط ذاتي الرص على سيولة العالية .
- ✓ أثبتت التجارب على الملاط في الحالة الطرية أن إضافة ألياف الزجاج تؤثر بشكل كبير على سيولة ولزوجة الملاط لذا يجب إضافتها بنسب لا تتجاوز 0,6% و ذلك رغم إستخدام الملدن بنسب حدية.
- ✓ بالإمكان المزج بين استبدال الإسمنت بالميتاكاولين و إستعمال ألياف الزجاج بنسب محدودة للحفاظ على خصائص الملاط ذاتي الرص.

في الحالة المتصلبة:

- ✓ إن استبدال نسب من الإسمنت بالميتاكاولين أعطى نتائج جد مقبولة فيما يخص مقاومة الضغط والتي كانت كلها أكبر من الخلطة المرجعية خاصة عند النسبة 10% .
- ✓ إضافة ألياف الزجاج بنسب جد محدودة لم يكن تأثيرها كبيراعلى مقاومة الملاط ذاتي الرصللانحناء.
- ✓ إن المزج بين استبدال نسب من الإسمنت بالميتاكاولين و إضافة نسب من ألياف الزجاج اعطى نتائج جد مقبولة خاصة في نسب انكماشه مقارنة بالخلطة المرجعية لذا فهي الخلطة المثالية لإستعماله كملاط للأعمال الترميمية .
- ✓ الخلطات المحتوية على الميتاكاولين هي الأقل امتصاصا للماء مقارنة بالخلطات الأخرى و الخلطة المرجعية.

- ✓ كل الخلطات التي تحتوي سواءا على الميتاكاولين أو ألياف الزجاج أو المزيج بينهما كانت نتائجها أحسن من الخلطة المرجعية في تجارب اختبار الانحناء أو القص بالضغط، وسجلنا أحسن النتائج في مقاومة الانحناء في الخلطة المزيج وتلك المحتوية على 0,6% من ألياف الزجاج مما يبين مدى تجانسهما مع الخرسانة المرممة. أما مقاومة القص بالضغط فأعلى مقاومة كانت للخلطة التي احتوت علىأكبر نسبة من لميتاكاولين أي15%.

عموما يمكننا الاستخلاص أن الخلطة المثالية للترميم و التي كان أداؤها جد مقبول في اختبار مختلف الخصائص هي الخلطة التي مزجنا فيها بين إضافة ألياف الزجاج و الإستبدال الجزئي للإسمنت بالميتاكاولين بنسبة 10 %، كما كانت الخلطة التي تحتوي على 10 % من الميتاكاولين مقبولة.

المراجع

[1] P-C Aitcin ; Betons haute performance, Eyrolles, 2001.

[2] L'Association Française de Génie Civil (A.F.G.C.)

[3] علاء الدين مجدي " الخرسانة ذاتية الدمك" جامعة بنها مصر.

[4] Rabcoff, Richard (21-08-2012) "Technology Makes Engineering Firma mbore Media ConcreteSuccess"

[5] دواورة طـــه حسين" الخرسانة ذاتية التسوية عالية الجودة" المدرسة العليا لأساتذة التعليم التقني بوهران 2005 .

[6] Ozawa, K,Maekawa K., and Okamura,H, "Développement of high"

[7] Okamura, H, " Ferguson lecture for 1996 : Self-compacting high-performance Concrete"Concrete international 1997.

[8] Khayat, K.H, "Workabilty, testing, and performance of self-consolidating oncrete" ACI Materials journal 1999, 96(3) : 346-53.

[9] Noumowe, A., Carre, H., Daoud, A., and Toutanji, H., " high-strength self compacting concrete exposed to fire test" Journal of Materials in Civil Engineering 2006, 18(6) : 745-8.

[10] عباس احمد حسين " تأثير استخدام مادة الميتاكؤولين على خواص الخرسانة" المعهد التقني / بابل

[11] Bilodeau A., Sivasundaram V., Paiter K. E. and Malhotra V. M., " Durability of Concrete incorporation High Volume of Fly Ash from Sources in the U.S., ACI Materials Journal , Jan.-Feb., vol.91, No. 1 ,PP3-12, (1994).Schroeder,

[12] Paul " New Caolin", Retrived on Georgia Encyclopedia., (12-12-2003- 01-08-2008).

[13] Akchiche H. "Contribution à la modélisation du retrait et de fluage de béton et mortier renforcé par les fibres de palmier dattier dans les régions désertiques", Thèse de magister, université deOuargla, Algérie, 2007.

Beaudoin J.J. "Béton renforcé de fibres", Institut de recherche en [14]
construction (IRC), Conseil National de recherche, Canada, 1982.

[15] ماني محمد " المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي و التعزيز بالألياف المعدنية" جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2010.

Kriker A. "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés de [16]
béton et mortierrenforcés par ces fibres en climats chaud et sec", Thèse de doctorat d'état, ENP, Algérie, 2005.

Fiche de qualité "Fibres de renforcement", SIKA, Egypte, 2003. [17]

Mokhtari A. "Influence des ajouts de fines minérales sur les performances [18]
mécanique debéton renforcés de fibres végétales de palmier dattier", Thèse de magister, université de Ouargla,Algérie, 2006.

Backelandant A. "Etude des mécanismes d'adhésion à l'interface résine / Ciment [19]
envue de la répartition des ouvrages de génie civil", Thèse de doctorat, INSAL, France, 2005.

Khenfer M.M. "Caractérisation et microstructure des ciments renforcés [20]
de fibres decellulose", Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées 224, réf 4236, 2000.

Cook D.J. "Concrete and cemenet composites reinforced with natural [21]
fibers", PROC, Symponfibrousconcrete, Australie 1980.

EFNARC, Specification and Guidelines for Delf Compacting concrete [22]
European Fedetions of Producers and Applications of specialist Products for structures, EFNARC, Norfolk, UK, February 2002,32pp.

ACI Committee 224 ,"Causes ,Evaluation and Repair of Cracks"ACI 224 r -01 'ACI [23]
Manual of Concrete Practice 2004 ,Mih]cigan, USA .

M. Ould khaoua Younes "Renforcement du béton ordinaire [24]
par un béton autoplacant fibré"Université Dr YAHIA FARES de MEDEA 2016.

www.arab-eng.org [25]

US Bureau of Reclamation “Guide to Repair Concrete " 1998 .USA . [26]

Boutassouna Abdelmoumene et Lehnnache Aissa"Contribution à l’étude [27]
de l’adhérence dusupport en béton avec des mortiers deréparation à base des matériaux locaux"Université Amar Thelidji- Laghouat 2015

BS 6319: Part 4. Slant shear test method for evaluating bond strength of epoxy [28]
systems, BSI,Londres, 1984.

Topcu, T., Uygunoglu, T, "Effect of waste marbre dust content us filler on [29]
properties of self –compacting concrete" construction BuildingMaterials
2009 ;23(5) :1947-53.

Boukhelkhal, A. Rhéologie, caractérisation physico-mécanique et durabilité de [30]
bétons autoplaçant à base de poudre de marbre. Mémoire de magister, université de
Laghouat Algerié, 2012.

[31] سبقاقي بلقاسم و حمداوي عبدالرحمن " صياغة ملاط ذاتي الرص صديق للبيئة باستعمال بقايا السيراميك و الزجاج كمواد ناعنة" جامعة الأغواط 2018.

[32] صحائف البيانات التقنية ، رابطة صناعة الملاط ، www.mortar.org.uk

الملحق

نتائج تجربة الإنتشار:

الخلطات	REF	5MK	15MK	0,2FV	0,4FV	0,6FV	0,4FV+10MK
الانتشار (cm)	30,5	30,25	29,25	28	27,5	26,5	27

نتائج تجربة زمن التدفق:

الخلطات	REF	5MK	15MK	0,2FV	0,4FV	0,6FV	0,4FV+10MK
زمن التدفق (s)	5,65	7,76	8,42	7,92	10,02	11,23	10,23

نتائج تجربة الضغط:

الخلطات		REF	5MK	10MK	15MK	0,2FV	0,4FV	0,6FV	10MK+0,4FV
المقاومة (MPa)	3 أيام	20,49	27,09	28,34	18,27	19,42	22,88	18,59	28,12
	28 يوم	24,80	32,75	35,41	30,25	25,72	24,62	24,56	34,37
	56 يوم	25,61	33,9	38,22	34,23	26,34	25,97	25,26	38,02

نتائج تجربة الانحناء:

الخلطات		REF	5MK	10MK	15MK	0,2FV	0,4FV	0,6FV	10MK+0,4FV
المقاومة (MPa)	3 أيام	8,06	10,65	11,04	7,18	8,07	8,99	9,34	11,05
	28 يوم	9,75	12,87	13,92	11,89	10,11	10,36	11,23	14,58
	56 يوم	11,67	12,36	13,38	13,08	11,81	12,75	12,97	14,27

نتائج تجربة القص بالضغط:

الخلطات	REF	R-REF	R-5MK	R-10MK	R-15MK
المقاومة (Mpa)	36,14	24,78	25,66	28,73	31,43

نتائج تجربة الانحناء بثلاث نقاط:

الخلطات	REF	R-REF	R-0,2FV	R-0,4FV	R-0,6FV	R-0,4FV+10MK
المقاومة (Mpa)	26,64	23,64	23,57	24,48	26,33	25,23

نتائج تجربة الانحناء بثلاث نقاط:

الخلطات	REF	R-REF	R-0,2FV	R-0,4FV	R-0,6FV	R-0,4FV+10MK
المقاومة (Mpa)	27,04	23,42	20,66	25,46	26,61	28,09