استخدام الياف الفايبر في الخرسانة المسلحة

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية

إعداد الطلاب:

حسين مصطفى ابراهيم مصطفى

رهام الخير أبو القاسم حسان

عماد الدين يس حسن عبد الماجد

مصطفى جمال مصطفى طلحة

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

جامعة الشيخ عبد الله البدري

فبراير 2023م

الآيـــــــــــــــــــــة

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:

(لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ ۖ وَأَنزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ ۚ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ)

صدق الله العظيم

سورة الحديد-الآية (25)

الاهـــــــــداء

اسال الله ان يجزي الجميع عنا خير الجزاء

.إلى من علمني النجاح و الصبر... إلى من علمني العطاء بدون انتظار... أبي

إلى من علمتني و عانت الصعاب لأصل إلى ما أنا فيه... إلى من كان دعاؤها سر نجاحي و حنانها بلسم جراحي... أمي.

.إلى جميع أفراد أسرتي العزيزة

إلى أصدقائي رفقاء دربي من قضيت معهم اوقات جميلة

زملائي بكلية الهندسة

إلى جميع أساتذتي بكلية الهندسة والمراحل الدراسية السابقة

اهدي هذا الجهد المتواضع

سآئلين المولى جل وعلا أن يجعله حجة لنا لا حجة علينا يوم لا ينفع مال ولا بنون

الا من اتى الله بقلب سليم ..

الشكر والعرفان

الحمد لله علي نعمة الاسلام ، الحمد لله علي نعمة الماء والطعام ، والحمد لله علي الدوام ، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات ، والصلاة والسلام علي المبعوث بالحق رحمة للعالمين وعلي آله وصحبة ومن اتبعه بإحسان الى يوم الجمع والدين .

وبعد

تيمناً بحديث المصطفى صلوات ربي وسلامه عليه(من لا يشكر الله لا يشكر الناس) فبعد شكر الله تعالى اشكر اسرة كلية الهندسة لتحملها مهمة نشر العلم ويسرنا ان نتقدم بخالص الشكر

ووافر الامتنان لك

الاستاذ/ سيد احمد محمد بابكر

ونخص بالشكر اسرة اساتذة الهندسة المدنية

والاستاذه/ زينب مصطفي سليمان

والاستاذ/ علم الدين هاشم

فهرس الموضوعات

البند	المحتوي	رقم الصفحة
	الآية	I
	الاهداء	II
	الشكر والعرفان	III
	فهرس المحتويات	IV
	فهرس الجداول	VII
	فهرس الاشكال	VIII
	المستخلص	IX
	Abstract	X
الفصل الاول –التعريف بالمشروع		
1-1	**المقدمة**	**1**
1-2	**فكرة عامة عن المشروع**	**2**
1-3	**الاهداف من المشروع**	**2**
1-4	**منهجية البحث**	**2**
1-5	**هيكلة البحث**	**2**
الفصل الثاني –الاطار النظري		
2-1	**الخرسانة**	**3**
2-2	**الخرسانة العادية والمسلحة**	**3**
2-2-1	**الخرسانة العادية**	**3**
2-2-2	**الخرسانة المسلحة**	**4**
2-3	**تاريخ الخرسانة واستخداماتها قديماً**	**5**
2-4	**مكونات الخرسانة**	**6**

2-5	**الاضافات**	**8**
2-5-1	**اضافات الالياف**	**11**
2-5-2	**نبذة تاريخية عن الالياف**	**11**
2-5-3	**انواع الالياف**	**12**
2-5-4	**اثر الالياف**	**15**
2-5-5	**التاثير المتبادل بين الالياف والمكون (المادة)**	**15**
2-6	**اختبارات الخرسانة**	**15**
2-6-1	**الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة**	**16**
2-7	**طرق تصميم الخلطات الخرسانية**	**25**
الفصل الثالث-الاختبارات المعملية		
3-1	**مقدمة**	**28**
3-2	**المواد الاولية المستخدمة**	**28**
3-3	**اختبارات المواد**	**30**
3-4	**الخلطة الخرسانية**	**35**
3-5	**اختبارات الخرسانة**	**36**
الفصل الرابع-النتائج ومناقشتها		
4-1	**مقدمة**	**38**
4-2	**نتيجة اختبار نعومة الاسمنت**	**38**
4-3	**نتيجة اختبار زمن الشك النهائي**	**38**
4-4	**نتيجة اختبار زمن الشك الابتدائي**	**38**
4-5	**نتائج اختبار الركام الخشن**	**39**
4-6	**نتائج اختبار الركام الناعم**	**42**
4-7	**درجة امتصاص الركام للماء**	**45**
4-8	**النتائج والمقارنات**	**46**

الفصل الخامس _ الخلاصة والتوصيات		
5-1	الخلاصة	48
5-2	التوصيات	49
	المراجع	50
	الملاحق	51

فهرس الجداول

البند	المحتوى	رقم الصفحة
3-1	نسب أوزان المواد المستخدمة في الخلطة القياسية	36
4-1	جدول يوضح نتيجة اختبار نعومة الاسمنت	38
4-2	جدول يوضح نتيجة اختبار زمن الشك النهائي	38
4-3	جدول يوضح نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي	38
4-4	جدول يوضح نتائج اختبار الركام الخشن	39
4-5	نتائج العينة الثانية في الركام الخشن	40
4-6	نتائج متوسط العينات للركام الخشن	41
4-7	جدول يوضح نتائج العينة الاولي للركام الناعم	42
4-8	جدول يوضح نتائج العينة الثاني للركام الناعم	43
4-9	جدول يوضح نتائج متوسط العينات للركام الناعم	44
4-10	جدول يوضح درجة امتصاص الركام للماء	45
4-11	جدول يوضح نتائج اختبار الهبوط	46

فهرس الاشكال

البند	المحتوى	رقم الصفحة
2-1	مقاطع عرضية للالياف الفولاذية	9
2-2	الاشكال المتعددة للالياف الفولاذية	9
2-3	اختبار الهبوط	17
3-1	شكل يوضح الياف الفايبر	29
3-2	شكل يوضح المادة البوذلانية	29
3-3	شكل يوضح جهاز فيكات	32
3-4	شكل يوضح المناحل موضوعة علي الاساس الميكانيكي	34
4-1	شكل يوضح تأثير الالياف المختلفة والخلطة المرجعية على مقاومة الضغط خلال الفترات الزمنية (7-14-28) day	47

المستخلص

تناول هذا البحث دراسة تاثير الالياف علي الخلطات الخرسانية واثر استخدام الياف الفايبر ومادة الرماد المتطاير والمادة البوزلانية علي قوام الخلطة الخرسانية و مقاومة الخرسانة.

تم عمل عدد من الاختبارات المعملية علي المواد الاولية المستخدمة في الخلطة (ركام خشن- ركام ناعم-اسمنت) ، تم تصميم خلطة خرسانية وفق المواصفات البريطانية لتحقيق مقاومة ضغط 25 نيوتن/م^2 بعد المعالجة لمدة 28 يوم ، تم صب المكعبات الخرسانية للخلطات المختلفة بتثبيت نسب المواد مع اختلاف اضافات الالياف (فايبر-رماد متطاير-بوزلان) وقياس مقدار الهبوط بالمخروط ، ومقاومة الضغط بالاجهزة في الفترات الزمنية (7-14-28 يوم) وتوصل الى ان الرماد يعمل على زيادة قابلية التشغيل بصورة كبيرة كذلك البوزلان له الاثر على قابلية التشغيل .وتم الحصول علي النتائج التالية "خلطة مرجعية بعد 28 يوم كانت المقاومة 24.3 N/mm^2 ، الياف الفايبر بعد 28 يوم كانت المقاومة 25.7 N/mm^2 ، الرماد المتطاير بعد 28 يوم كانت المقاومة 23.4 N/mm^2 ، البوزلان كانت المقاومة بعد 28 يوم 24.4 N/mm^2 " وتم مناقشتها.

Abstract

This research deals with the study of the effect of fibers on concrete mixtures and the effect of using fiber fibers, ash and Pozzolanic material on the strength of the concrete mixture and the strength of concrete.

A number of laboratory tests were carried out on the raw materials used in the mixture (coarse aggregate – fine aggregate – cement). Materials with different admixtures (polypropylene fibers – fly ash –Pozzolan) and measuring the amount of slump with the cone test, and the compressive strength with crushing for periods (7-14-28 days) and it was found that the fly ash works to improve the consistency of the mix significantly, as well as the Pozzolan has an effect on the consistency. The following results were obtained: "reference mix after 28 days, the strength was 24.3 N/mm2, polypropylene fibers after 28 days, the strength was 25.7 N/mm2, fly ash after 28 days, the strength was 23.4 N/mm2, Pozzolan, the strength after 28 days was 24.4N /mm2" and discussed .

الفصل الأول

1-المقدمة

1-1مقدمة:-

تسليح وتقوية المواد الهشة بالألياف الفولاذية فكر قديم وفي العصر الحديث استخدمت الالياف في الخرسانة وفي البداية كان استخدام الياف الحديد المستقيمة.

التطور الحقيقي حدث في المواد المرنة والمقاومة للعزوم التي زادت من قوي القص باستخدام الالياف.

الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية هي مادة مركبة لها ألياف كمكونات إضافية مشتتة بشكل عشوائياً بنسب صغيرة أي ما بين 0.3% و2.5% بالحجم في الخرسانة العادية .يتم تصنيع منتجات الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية عن طريق إضافة ألياف فولاذية الى مكونات الخرسانة في الخلاط وعن طريق نقل الخرسانة الخضراء الى قوالب .ثم يتم ضغط المنتج ومعالجته بالطرق التقليدية .يعتبر الفصل او التكوير احدى المشكلات التي تواجهنا اثناء خلط ودمك الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية .يجب تجنب ذلك من اجل التوزيع المنتظم للألياف .

يعد استخدام الخلاط وموزع الألياف للمساعدة في الخلط بشكل أفضل وتقليل تكوين كرات الالياف امراً ضرورياً. الجرامات الإضافية والحد الأقصى لحجم الركام الى 20 مم في بعض الأحيان، ومحتويات الاسمنت من 300 كجم الى *350* كجم لكل متر مكعب مطلوبة عادة. تتم إضافة ألياف الفولاذ الى الخرسانة لتحسين الخصائص الهيكلية ، وخاصة قوة الشد والانثناء وتعتبر الليونة وقوة ما بعد التكسير ومقاومة التعب والتشظي والتآكل والتمزق في الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية اعلى مما هي عليه في حالة استخدام الخرسانة المسلحة التقليدية لذلك وجد ان الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية مادة متعددة الاستخدامات لتصنيع أنواع واسعة من المنتجات الجاهزة مثل اغطية غرف التفتيش وعناصر الالواح

لأسطح الجسور والطرق السريعة والممرات وبطانات الانفاق واطارات الأبواب والنوافذ وتخزين الفحم وصناديق تخزين الحبوب وحاويات السلالم وكسر المياه

1-2 فكرة عامة عن المشروع:-

تأثير استخدام الألياف الفولاذية في الخرسانة المسلحة

1-3الأهداف من المشروع:-

دراسة للخلطات الخرسانية العادية والخلطات المحتوية على الالياف الفولاذية

- تأثير الخلطات العادية وخلطات الألياف الفولاذية على مقاومتي الشد والضغط

1-4 منهجية البحث:-

منهجية البحث تتكون من جزئين هما: الإطار النظري (مجموعة البيانات والمعلومات التي تم جمعها من المراجع والشبكة العنكبوتية).

الإطار العملي: (عمل تجارب معملية).

1-5 هيكلة البحث:-

يتكون هذا البحث من خمسة فصول وهي:

الفصل الأول: يحتوي على مقدمة عامة واهداف البحث ومنهجيته وهيكلة البحث

الفصل الثاني: الإطار النظري

الفصل الثالث: التجارب والاختبارات المعملية

الفصل الرابع: نتائج الاختبارات المعملية ومناقشة النتائج

الفصل الخامس: الخلاصة والتوصيات

1-6 مشكلة المشروع:

واحدة من الخصائص غير المرغوب فيها للخرسانة هي قوة الشد المنخفضة لها وقدرتها على الانفعال، لذلك تتطلب التعزيز من اجل استخدامها كواد بناء تقليدياً، يكون التعزيز على شكل قضبان فولاذية مستمرة، الالياف من ناحية اخرى تكون بشكل قصير متقطع موزعة بشكل عشوائي لانتاج مادة بناء مركبة تعرف باسم الخرسانة المسلحة بالالياف (FRC).

الفصل الثاني
2- الإطار النظري

2-1 الخرسانة concrete:

الخرسانة هي مادة تتكون من الاسمنت والرمل والماء مع إضافة نوع من الركام مثل السن او الزلط. تعد الخرسانة من اهم مواد البناء في العصر الحديث خصوصاً مع تدعيمها بالحديد لتصبح خرسانة مسلحة.

الخرسانة في حالتها المتصلدة تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط اما في حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التي تسمح بتشكلها في أي قالب معماري مطلوب. تعتبر الخرسانة المسلحة أكثر المواد الانشائية شيوعاً واستعمالاً في عصرنا الحديث وذلك لسهولة تواجدها والرخص النسبي للمواد المكونة لها وايضاً لسهولة ورخص تصنيعها.

ويمكن استعمالها بالاشتراك مع واد أخرى لتكوين طاعات مركبه كما في حالة استخدام قطاعات الصلب مع الخرسانة او تكوين مواد مركبة كما في حالة إضافة أنواع معينة من الالياف الى الخرسانة اثناء خلطها لتحسين بعض الخصائص المرغوب فيها وتعتبر الخرسانة مع حديد التسليح مادتين متكاملتين.

2-2 الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة:

2-2-1 الخرسانة العادية:

هي خليط من الاسمنت والركام الناعم (الرمل) والركام الخشن مضافاً اليها الماء بدون فولاذ.

❖ **تتميز الخرسانة بصفة عامة بانها:**

- مادة سهلة التشغيل والتشكل.
- يمكن استخدامها في كافة المنشآت المختلفة من مباني واساسات ومنشأت مائية.
- تستخدم أيضا في الطرق.

❖ **تختلف جودة الخرسانة بناء على عدة عوامل من اهم الخواص المرغوبة منها:**

- القابلية للتشغيل.
- مقاومة الضغط .
- التحمل الزمني .
- النفاذية .

كما تتوقف درجة جودتها على مصادر وجودة المواد المستخدمة والتكاليف وأخيرا درجة صناعتها وضبط انتاجها

❖ **ايضا الخرسانة لها عيوب يجب ان تؤخذ في الاعتبار من أهمها:**

- ضعف مقاومتها للشد.
- حركة التمدد والتقلص نتيجة لدورة البلل والجفاف.
- التمدد والانكماش نتيجة للتغير في درجات الحرارة.
- أخيرا النفاذية التي تؤدي الى صدأ الحديد في الخرسانة المسلحة.
- ويجب ان لا تقل مقاومة الخرسانة العادية عن 150كجم اسم2 بعد 28 يوم.

2-2-2 الخرسانة المسلحة:

هي عبارة عن خرسانة اسمنتية مع قضبان فولاذية فتزيد من قوة تحملها، بحيث تعمل قوى الشد لدى الفولاذ مع قوى الضغط للخرسانة فتسمح للجزء المستخدمة فيه تحمل أنواع الضغط المختلفة على فترات طويلة، وتعتبر الخرسانة المسلحة مادة بناء مطلوبة بشدة نظرا لمتانتها ومقاومتها للشد والضغط.

- **استخدامات الخرسانة المسلحة :**

- الهياكل الخرسانية لجميع أنواع المنشآت.
- الكباري والجسور والانفاق.

- المنشآت البحرية.
- خزانات المياة.
- رصف الطرق.

تمتاز الخرسانة المسلحة بتحملها للضغط والشد بخلاف الخرسانة العادية التي لا تتحمل سوي الضغط فقط.

- **أنواع حديثة من الخرسانة المسلحة:**

- الخرسانة المسلحة سابقة الصب:و هي شكل من اشكال الخرسانة يتم تنفيذها في قطاعات بمقاسات معينة اما في مصنع او ورشة عمل او موقع اخر خارج موقع المشروع.
- الخرسانة المسلحة سابقة الاجهاد: و هي شكل من اشكال الخرسانة المستخدمة في البناء التي يتم وضعها تحت ضغط قبل تحميلها باحمال تتجاوز وزنها.

ويجب ان لا تقل مقاومة الخرسانة المسلحة للضغط عن 250 كجم \سم2 بعد 28 يوم.

3-2 تاريخ الخرسانة والاستخدامات قديماً:

تقاس نهضة الأمم بتطور مواد الانشاء والتعمير فيها كما تقاس بقدر وفاء هذه المواد بحاجة شعوبها الحضارية من ضرورية وترفيهية والخرسانة عماد مواد الانشاء والتعمير وتطورها صورة تعكس تطور التفكير الهندسي في خدمة الحياة ورفاهية الانسان. ولكي تصل الخرسانة الى شكلها الحالي الذي يجعلها في المرتبة الأولى كمادة انشائية ومعمارية مرت بعدة مراحل سواء في طرق الصناعة والانشاء الا ان لها أصولاً عميقة عبر التاريخ. فقدماء المصريين استعملوا الخرسانة في بعض مبانيهم ومعابدهم.

2-4 مكونات الخرسانة:

- **الرُّكام:**

يُطلق عليه الحصى والزلط وهي عبارة عن احجار طبيعية او مكسّرة(بالكسارات) ويتكون الركام بصورة عامة من حبيبات متدرجة في الحجم منها حبيبات صغيرةكالرمل والأخرى حبيبات كبيرة كالحصى أو الزلط وإضافة إلى كون الركام يشكل الجزءالأكبر من هيكل الخرسانة والذي يعطي للكتلة الخرسانية استقرارها ومقاومتها للقوىالخارجية والعوامل الجوية المختلفة كالحرارة والرطوبة والتجمد فإنه يقلل التغيراتالحجمية الناتجة عن تجمد وتصلب عجينة الاسمنت أو عن تعرض الخرسانة للرطوبةوالجفاف.

ولذا فإن الركام يعطي للخرسانة متانة أفضل مما لو استعملت عجينة الاسمنت لوحدها.

- **يمكن تقسيم الركام الى مجموعتين:**

- ركام من المصادر الطبيعية (Natural sources Aggregates):

الحصى gravel – الرمل sand

- ركام من مصادر صناعية (Artificial sources of Aggregates) كسر الحجر(الزلط)

- **يمكن تقسيم حبيبات الركام بالنسبة للخواص المميزة المختلفة الى:**

- **الركام الصغير:** هو مجموعة الحبيبات التي يمر معظمها (95-100)% من المنخل القياسي 4.76ملم.
- **الركام الكبير:** هو مجموعة الحبيبات التي يحتجز معظمها (95-100)% من المنخل القياسي 4.76ملم.

كسر الرخام والسراميك والزجاج وكذلك مخلفات العمليات الصناعية، كسر الحجر الجيرCrushed lime stone

- **الإسمنت:**

هو عبارة عن مسحوق بودرة ناعم داكن اللون، يتكون من مكوّنات خام (السّيليكا، وكربونات الكالسيوم، والألومينا)، يعمل الإسمنت على امتصاص الماء بسرعةٍ عاليةٍ ويعمل على تجمُّع وترابط مكوّنات الخرسانة معاً، ويزيد تماسكها بإضافة الحديد المسلّح، وتوجد منه عدة أنواعٍ كالإسمنت البورتلاندي الطّبيعي، ونوعٍ آخر سريع التّصلُّب، ونوعٍ منخفض الحرارة. كما توجد أنواعٍ من الإسمنت تُقاوم الكبريتات والأملاح، وأنواع أخرى عديدة، ومهما تعدّدت أنواع الإسمنت يجب أن يخضع لعددٍ من الفحوصات للتّأكد من جودته ومتانته فيتم تحليله كيميائيّاً، حيث يتم فحص الإسمنت ومقاومته للضغط، والشّد، والانثناء، ويتم اختبار قوام العجينة بعد خلط مكوّناتها معا.

- **يتم صناعة الاسمنت بطريقتين هما:**

- الطريقة الجافة: في الطريقة الجافة تكون المواد كلسية والطينية جافة في جميع مراحل الصناعة او على الأقل بعد عملية التكسير وقبل الخلط.
- الطريقة الرطبة: تستعمل في حالة وجود خامات رخوة او تحتوي على بعض الرطوبة وفيها تخلط الخامات خلطا جيدا مع كمية مناسبة من الماء تتراوح بين 32%–40% من الخليط الخام

- **ماء الخلط:**

الماء مكون اساسي بالنسبة للخلطة الخرسانيّة وهو ضروري جداً لخلط المكوّنات معاً،وللحصول على عجينةٍ إسمنتيةٍ مناسبة للعمل، وهو أساس التّفاعل الكيميائي الذي يحصل بين مكوّناتها، فتمتصه حبيبات الإسمنت والحمصة، ويمدُّ الخرسانة باللّيونة ويجعلها قابلةً للتّشكيل والصّب. يُضاف الماء بنسبٍ معيّنة، وبعد صبِّ الخرسانة وتشكيلها يُعطي الماءالخرسانة حجماً مضاعفا، ويُفقَد الجزء المتبقِّي بتبخُّره.

- يعمل ماء الخلط على اماهة الاسمنت مكونا عجينة الاسمنت التي تعمل: Hydration of cementعلى تماسك حبيبات الركام ويحتاج كل جزء من الاسمنت الي حوالي (0,26-0,33) من وزن تقريبا ماء لتمام عملية الاماهة.
- ويقوم الماء بتبليل الركام لمنعه من امتصاص الماء اللازم لتمام عملية الاماهة
- يقوم الماء بما يشبه فعل التشحيم (Lubrication) أي يعمل على جعل الخرسانة المنتجة قابلة للتشغيل (Workability).

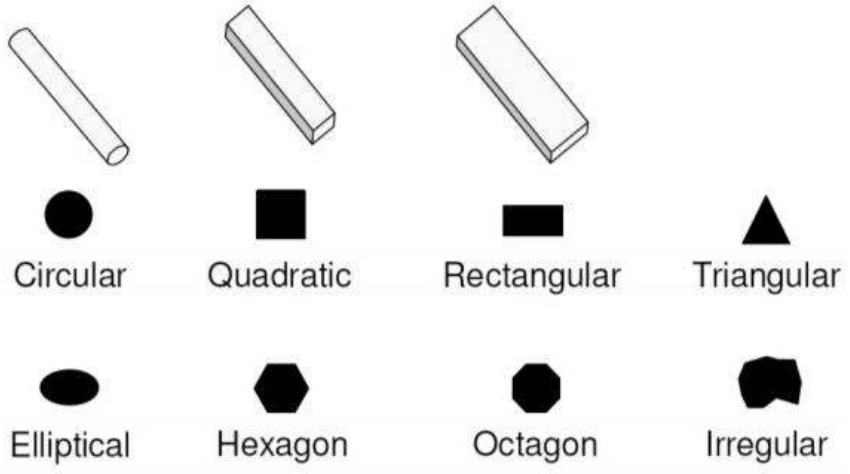
2-5 الإضافات:

هي مواد خلاف الاسمنت والركام تستعمل كمكون او عنصر في الخرسانة وتضاف الي ماء الخلطاو الخلطة الخرسانة مباشرة قبل او بعد الخلط او اثناء طحن الاسمنت وذلك بغرض إكسابالخرسانة المتصلدة خواص جديدة مطلوبة مثل قابلية التشغيل، معدل اكتساب المقاومة، التحكم في زمن الشك، تقليل النفاذية والانكماش وغيرها من الخصائص نتيجة لتأثير فيزيائي او كيميائي.

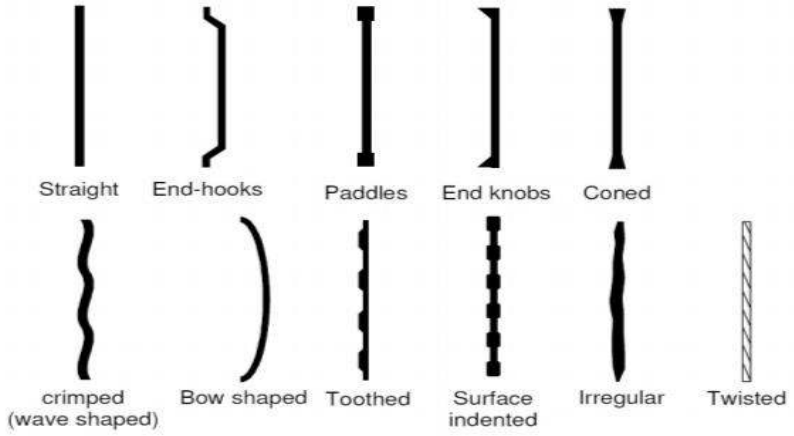
- **تصنيف الإضافات :**

- الإضافات الكيميائية
- إضافات الهواء المحبوس
- الإضافات البوزولانية
- إضافات أخرى مثل:
- الالياف البوليمرات
- الالياف الزجاجية
- الرماد المتطاير
- الالياف الفولاذية :

الالياف الفولاذية هي أكثر أنواع الالياف شيوعاَ المستخدمة في تقوية الخرسانة. في البداية، يتم استخدامها لمنع او السيطرة على اللدونة وجفاف الانكماش في الخرسانة. وتزيد بشكل كبير من متانة الانحناء وقدرة امتصاص الطاقة وتقليل التكسير وتحسين المتانة. وتوفر إضافة الالياف الفولاذية اقصى قدر من المقاومة وتحمل الاحمال الثقيلة الديناميكية والثابتة وتكون بعدة اشكال في و مقاطعها العرضية متنوعة الشكل (2-1) والشكل (2-2)



شكل (2-1) مقاطع عرضية للالياف الفولاذية



شكل (2-2) الاشكال المتعددة للالياف الفولاذية

- **الغرض من الإضافات:**

- تحسين القابلية للتشغيل للخرسانة الطازجة دون زيادة ماء الخلط.
- التعجيل او التأخير في الشك
- تقليل معدل فقد الهبوط للخرسانة.
- تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.
- الحد من حدوث الانفصال الحبيبي.
- زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
- الحصول على خرسانة عالية المقاومة
- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البري.
- الحصول على خرسانة غير منفذة للماء او خرسانة ذات صفات خاصة.

- **الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الإضافات:**

- يجب الا تؤثر تأثير ضاراً على الخرسانة حديد التسليح
- ان المسلحة او الخرسانة سابقة الاجهاد او الخرسانة التي بها معادن مدفونة. تناسب الفؤاد الناتجة من استخدام الإضافات مع الزيادة في التكاليف
- يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم او الإضافات التي أساسها من الكلوريدات بتاتا الي الخرسانة المسلحة.
- يجب التأكد من مدي ملائمة وفاعلية أي من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.
- إذا استخدم نوعين او أكثر من الإضافات في نفس الخلطة الخرسانية فيلزم ان تتواجد معلومات كافية لبيان مدي تداخلهما والتأكد من مدي توافقهما.

- يراعي ان سلوك الإضافات مع الاسمنتيات المخلوطة او عالية المقاومة للكبريتات يختلف عنه في حالة الاسمنت البورتلاندي. لذلك يجب ان تتوافر معلومات كافية عن مدي الادائية السليمة للإضافات مع الأنواع المختلفة من الاسمنت.
- يلزم توريد الإضافات معبأة داخل براميل او أوعية محكمة الغلق ومطبوع عليها الاسم التجاري وتاريخ ومدة الصلاحية وكذلك شهادة بخواص الإضافة الموردة ومطابقتها للمواصفات القياسية ذات الصلة. كما يجب تخزين الإضافات بطريقة تحميها من الرطوبة ومن اشعة الشمس والحرارة.

➢ **من اهم أنواع الإضافات:**

يوجد العديد من الإضافات الكيميائية التي تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها الي المجموعات الاتية:

- إضافات تخفيض الماء والتحكم في الشك.
- إضافات الهواء المحبوس.
- إضافات ل منع نفاذ الماء بالخرسانة.
- إضافات لمقاومة اجتراف الاسمنت بفعل الماء.
- إضافات الالياف
- إضافات اخري متنوعة.

2-5-1 إضافات الالياف:

تعد الخرسانة المسلحة بالألياف خرسانة تحتوي على مادة ليفية تذيد من تماسكها الانشائي. اذ تحتوي على الياف قصيرة م نفصلة موزعة بانتظام وذات اتجاه عشوائي.

2-5-2 نبذة تاريخية:

ان استخدام الالياف في تسليح الخرسانة ليس بالمفهوم الجديد. اذ استخدمت الالياف في تسليح الخرسانة منذ العصور القديمة. تاريخياً، استخدم شعر الخيل في الملاط والقش في طوب اللبن. في العقد الأول من

القرن العشرين استخدمت الياف الاسبست في الخرسانة. في خمسينيات القرن العشرين، ظهر مفهوم المواد المركبة، وحظي موضوع الخرسانة المسلحة بالألياف بالاهتمام. بمجرد اكتشاف المخاطر الصحية المرتبطة الاسبست، وأصبح من اللازم إيجاد بديل لهذه المادة في الخرسانة ومواد البناء الأخرى.

بحلول ستينيات القرن العشرين، استخدمت الياف الفولاذ والزجاج والالياف الاصطناعية (مثل بولي بروبلين) في الخرسانة.

3-5-2 أنواع الالياف:

- **الياف معدنية تخليقيه.**
- **الياف بوليمرية:**

الالياف البوليمرية أساسها بتروكيماويات وأنواع الالياف التي جربت مع مادة الاسمنت هي:

- نيليون: عبارة عن الياف تركيبية من صنع الانسان تتميز بقوتها وخفة وزنها.
- بوليستر: هي عبارة عن الياف صناعية بترولية.
- بولي اثيلين :هو مبرلمر ملدن حرايراً من عائلة مبلمرات عديدة الاستر.
- بولي بروبلين: هي الياف صناعية يتم تحويلها من 85% بروبيلين وتستخدم في تطبيقات النسيج.

ولهذه الالياف مقاومة عالية للشد ولمعظمها معامل مرونة منخفض وجودة الالياف البوليمرية والذي يجعلها صالحة في FRCهو ان لها معامل طول/ قطر كبير واقطارها بالميكرو ميتر.

- **الياف معدنية طبيعية.**

النوع الأكثر شيوعا من الإضافات المعدنية الطبيعية هو:

- **الرماد المتطاير(الهبود):**

هو مادة تتبقى بعد احتراق مادة عضوية بالكامل تظهر خصائص الاسمنت عند خلط الاسمنت والماء معاً يعمل على تحسين قابلية التشغيل للخرسانة يمكن استخدام الرماد المتطاير كبديل جزئي من الاسمنت او

كإضافات معدنية في الخرسانة وبالتالي يوفر من استهلاك الاسمنت.

- **الفوائد الفنية من استخدام الرماد المتطاير:**

- مقاومة قصوى اعلى.
- تحسين قابلية التشغيل(صب اسهل).
- زيادة المتانة.
- انخفاض النزيف.

- **مادة البوزلان:**

هو عبارة عن مادة طبيعية بركانية سوداء اللون خفيفة الوزن وهي مادة اقتصادية تستخدم في صناعة الاسمنت وهي اكثر الانواع مقاومة للرطوبة وبعض العوامل البيئية الطبيعية. والبوزلان الطبيعي له تاثيرات عدة على الخرسانة منها:

- يحسن قابلية الخرسانةالتشغيل للخرسانة.
- يحد من النزيف والانفصال الحبيبي.
- يعزز متانة الخرسانة نسبياً.
- ياخر زمن شك الخرسانة.

- **الألياف الفولاذية :**

عادة ما يتم اضافة الالياف في مصنع الخلط بعد خلط جميع الركام الخرساني مباشرة ، وقد يطلب بعض الاشخاص اضافة الالياف في موقع العمل

- **فوائد استخدام الالياف الفولاذية في الخرسانة:**

- فعالة في تقليل تشقق انكماش البلاستيك.
- تقليل عرض الشقوق.

- يمكن ان تحسن من مقاومة التشققات والصدمات و التعب.
- يمكن ان تحسن الالياف الفولاذية في الخرسانة من المتانة عن طريق منع او تاخير انتشار الشقوق من الشقوق الصغيرة الى الشقوق الكبيرة.

- **فوائد الخرسانة المسلحة بالالياف الفولاذية:**

- الخرسانة المسلحة بالالياف الفولاذية توزع الضغوط الحلية.
- تخفيض تكلفة الصيانة والاصلاح.
- توفر اسطح قوية ومتينة.
- تقلل من نفاذية السطح و الغبار و التاكل.
- التوفير في التكاليف.
- بمثابة مانع تشققات.
- تزيد من قوة الشد و المتانة.
- مقاومة التاثير.
- مقاومة التجميد والذوبان.
- جودة و متانة الخرسانة المصنوعة من الالياف الفولاذية.
- التاكل في الهياكل الخرسانية يكون اقل حدة في هياكل الخرسانة المصنوعة من الالياف الفولاذية مقارنة بالهياكل الخرسانية المسلحة التقليدية.
- الخرسانة المصنوعة من الالياف الفولاذية المضغوطة جيدا لديها تاكل محدود للالياف بالقرب من سطح الخرسانة حتى عندما تكون الخرسانة شديدة التشبع بايونات الكلوريد.

4-5-2 أثر الالياف في الخرسانة:

تستخدم الالياف عادة في الخرسانة لمكافحة التشققات الناجمة عن الانكماش اللدن والانكماش الناجم عن الجفاف. وتقلل من نفاذية الخرسانة وبالتالي تقلل من نزيف المياه. وينتج عن بعض أنواع الالياف تأثيرا أكبر في مقاومة تآكل الخرسانة وتحطمها. بصفة عامة، لا تزيد الالياف من مقاومة الانعطاف للخرسانة، ولذلك لا يمكن ان تحل محل مقاومة العزم او التسليح بالفولاذ الانشائي.

يعبر عن كمية الالياف المضافة الى خليط الخرسانة كنسبة مئوية من الحجم الإجمالي للخليط (الخرسانة والالياف)، ويدعى "الكسر الحجمي". يتراوح مقدار الكسر الحجمي بين 0.1% و3%. تحسب نسبة الطول الى القطر

5-5-2التاثير المتبادل بين الالياف و المكون (المادة):

التاثير المتبادل بين الالياف والمادة المسلحة بالالياف هو اساس الخواص التي تؤثر على اداء المواد التي اساسها الاسمنت و عوامل هذا التاثير بين الالياف و المواد المكونة للمادة المطلوب اضافة الالياف اليها:

- شكل الالياف الهندسي
- شكل نهايات الالياف و نوع الالياف (حديدة، بوليمرية، معدنية، طبيعية)
- حالة سطح الالياف و خصائصها و اتجاه وتوزيع الالياف
- الحجم و معدل التحميل و مرونة الالياف في المكون او المادة المضاف اليها الالياف وكذا التاثير طويل الاجل.

6-2 اختبارات الخرسانة:

- تمر الخرسانة من لحظة إضافة الماء لها وحتى انتهاء عمرها الافتراضي بالمراحل الثلاثة الاتية:

❖ **الخرسانة الطازجة (fresh concrete):**

هي الخرسانة التي تبدأ من لحظة إضافة الماء الى مكونات الخرسانة الجافة وحتى لحظة حدوث زمن الشك الابتدائي. وتمتاز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط والنقل والصب.

❖ **الخرسانة الخضراء (green concrete):**

هي الخرسانة المتكونة في الفترة من بداية شك الاسمنت حتى بداية تصلب الخرسانة أي في حدود 24 ساعة. وفي هذه المرحلة لا يسمح للخرسانة بالخلط والنقل والصب لأنها تكون قد شكت كما انها لا تقوى على تحمل أي نوع من الاجهادات.

❖ **الخرسانة المتصلدة (hardened concrete):**

وهي تبدأ بتصلد الخرسانة (أي عند عمر 24 ساعة) وحتى نهاية عمرها الافتراضي وتمتاز هذه المرحلة بانها بداية زيادة المقاومة الرئيسية للخرسانة (مقاومة الضغط) وقدرتها على مقاومة الاحمال بمرور الزمن.

1-6-2الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة:

➢ **القوام:**

- قوام الخرسانة الطازجة يعبر عن درجة بلل الخرسانة فمثلا يقال الخرسانة جافة القوام او صلبة القوام او لدنة القوام او متبلله القوام او رخوة القوام
- قوام الخرسانة الطازجة يعبر عن السيولة النسبية للخرسانة أي انه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.
- الغرض من تحديد القوام هو ضمان الحصول على خرسانة ذات درجة سيوله او لدونة تتناسب مع مختلف الاعمال الانشائية. كما انه من اهم وابسط الخواص التي تساعد على التأكد من انتظامية الخلطات الخرسانية الطازجة وتجانسها وضبط جودتها وذلك قبل الصب مباشرة.

- **طرق تعيين القوام:**
- **اختبار الهبوط للخرسانة:**
- **الغرض من الاختبار:**

- تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص وذلك اما في المعمل الشكل (2–2) او في موقع التنفيذ. ويعتبر هذا الاختبار من ابسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة في محطات الخلط وفي مواقع التنفيذ.

شكل (2–3) اختبار الهبوط

- **اختبار الانسياب:**
- **الغرض من الاختبار:**

تعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة تحت تاثير عملية رج قياسية.

- **اختبار كرة كيلي:**
- **الغرض من الاختبار:**

في هذا الاختبار يتم تعيين مسافة اختراق ثقل معدني على شكل نصف كرة وزنة 13.6كجم للخرسانة.

- **قابلية التشغيل:**

- هي الخاصية التي تبين السهولة التي يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للانفصال الحبيبي.
- يمكن تعريفها بانها مقدار الشغل المبذول لدمك الخرسانة دون انفصال مكوناتها.

- **العوامل المؤثرة على قابلية التشغيل:**

- الركام: كلما كان حجم الحبيبات اصغر او زادت نسبة الرمل كلما زادت صلابة الخلطة، الحبيبات المدورة اكثر قابلية لنشغيل الخرسانة.
- نعومة الاسمنت: كلما زادت نعومة الاسمنت زادت قابلية تشغيل الخرسانة.
- نسبة الماء الى الاسمنت: كلما زادت نسبة الماء الى الاسمنت زادت قابلية التشغيل. لكن اذا زادت عن حد معين تصبح الخرسانة سائلة و تفقد تشغيليتها.
- الاضافات: يمكن تحسين قابلية التشغيل باستخدام الاضافات.
- درجة الحرارة: تقل التشغيلية بارتفاع درجة الحرارة.
- الزمن: مع مرور الوقت تفقد الخرسانة قابلية التشغيل لفقد ماء الخلط في التفاعلات.

- **اختبارات قابلية التشغيل:**

- **اختبار عامل الدمك:**

- **في بي:**

- قياس الزمن اللازم لتغيير كتله خرسانية من شكل مخروط الى اسطوانة بواسطة الاهتزازات.

➢ **الانفصال الحبيبي:**

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات الخرسانة بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم ويوجد نوعان من الانفصال الحبيبي للخرسانة:

- انفصال الحبيبات الكبيرة من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسيبا. وذلك يكون في الخلطات الجافه وخاصه الفقيرة من الاسمنت.
- انفصال الاسمنت اللباني ويحدث ذلك في الخلطات المبتلة جدا.

- **أسباب حدوث الانفصال الحبيبي:**

- الخلط: زيادة زمن الخلط قد يؤدي الى الانفصال الحبيبي.
- النقل: يمكن حدوث انفصال حبيبي نتيجة الرج والتأرجح لعربات النقل.
- الصب: يجب مراعاة عدم الصب من أماكن مرتفعة.
- الدمك: الدمك الزائد قد يسبب انفصال حبيبي.

- **طرق تلافي الانفصال الحبيبي:**

- العناية بتصميم الخلطة الخرسانية وضبط مكوناتها.
- استخدام إضافات تقليل ماء الخلط.
- مراعاة عمليات الصناعة من خلط ونقل وصب.
- استخدام إضافات تحسين اللزوجة.

➢ **النضح:**

النضح هو تكون طبقه من الماء على سطح الخرسانة المصبوبة بعد دمكها وتسويتها.

- **أسباب حدوث النضح:**

- كثرة الدمك التي تؤدي الى هبوط المكونات الثقيلة (الركام)الى أسفل وصعود العجينة الأسمنتية الى

- اعلى وكذلك زيادة ماء الخلط واضرار النضح تتلخص في الاتي:

- احتواء الطبقة العليا على نسبة عالية من الماء مما يسبب وجود فراغات في تلك الطبقة نتيجة لتبخر الماء بالتالي ضعف مقاومة الخرسانة.

- عند صعود الماء لأعلى يحمل معه جزيئات ناعمه من السمنت مكونا طبقه هشة على السطح بعد تبخر الماء وجفافها لذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الاستمرار في الصب.

- تراكم طبقة رقيقه من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدي الى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح.

- **لملافاة ظاهرة النضح:**

يجب استعمال كمية ماء خلط مناسبه وعدم استعمال خلطات مبتلة جدا او بها نسبة قليله من المواد الناعمة مثل الاسمنت والرمل. كما ان استخدام الملدنات في الخلطة يؤدي الى تحسين خواص الخرسانة ويعمل على تقليل ماء الخلط وتلاشي ظاهرة النضح.

- **الخرسانة المتصلدة:**

❖ **مقاومة الضغط Compressive Strength:**

هى أهم خواص الخرسانة المتصلدة على اإلطالق وهى تعبر عن درجة جودتها وصالحيتها ، حيث أن معظم الخواص والمقاومات أألخرى مثل الشد و االنحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح.

- **العوامل المؤثره على مقاومة الضغط:**

- تتأثر مقاومة الضغط بعوامل عديدة ومتنوعة تتلخص في:

- المواد المكونة ونسب الخلط.
- طرق صناعة الخرسانة من خلط ونقل وصب ودمك.
- العمر وظروف المعالجه.
- ظروف الاختبار.

❖ **اختبار مقاومة الضغط Test Strength Compressive :**

- **الغرض من الاختبار:**

- يجرى إختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة عادة بعد مرور ٢٨ يوما على صب العينات وفى بعض ألحيان بعد ٧ أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة.

- **الاجهزة:**

- آلة الضغط.
- قوالب الحديد المقاوم للصدأ وهي نوعين:
- قوالب مكعبة (15*15*15) سم.
- قوالب اسطوانية (15*30) سم.
- ادوات الخلط.
- قضيب الدمك.

- **خطوات الاختبار:**

- توزن الكميات الالزمه من ألسمنت والركام الصغير والركام الكبير والماء ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة الالزمة لملئ القوالب بحوالى 15% وذلك لتعويض أى فقد أو هالك قد يحدث أثناء إلختبار
- يُعد قالب إلختبار وتُغطى أوجه القالب الداخلية بطبقه رقيقه من الزيت الخفيف.

- تخلط مكونات الخرسانة إما ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانس.
- بمجرد االنتهاء من الخلط تُجرى إختبارات الهبوط وأى إختبارات أخرى تكون مطلوبة مثل إختبارات القابلية للتشغيل
- بعد إختبارات الخرسانة الطازجة يُمأل القالب مباشرة بالخرسانة على 3 طبقات وتدمك كل طبقة إما بماكينة االهتزاز أو يدويا حتى تدمك تاماً دون حدوث إنفصال حبيبى.
- تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع فى مكان درجة حرارته 15 إلى 20درجة مئوية لفترة 24ساعة ويالحظ أن ال تتعرض ألى إهتزازات.
- تُعلم العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر فى الحال فى ماء نقى درجة حرارته حوالى 15–20 درجة مئوية وتُترك حتى وقت االختبار ويُفضل ترك مسافات بين المكعبات وبعضها فى حواض المعالجة كما يُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.
- ختبر العينة بوضعها بماكينة االختبار حيث يكون محورها منطبقاًمع محور رأس الماكينة وفى حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهى العينة المالمسين لسطحى رأس الماكينة هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلى للقالب المعدنى لضمان استوائهما وتوازيهما. أما فى حالة العينة االسطوانية فيلزم عمل مخدة Capping لسطح كل من نهايتى االسطوانة بطريقة تجعل سطح النهايتين مستويين ومتوازيين.
- ولكل إختبار تختبر ثالث عينات وتؤخذ القيمة المتوسطة للنتائج.

❖ **اختبار مطرقة شميدت:**

- **الغرض من الاختبار:**

- تعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة لاحمال الضعغط بطريقة غير متلفة. ويتم هذا الاختبار في المنشات المكتملة الانشاء لتحديد جودة الخرسانة بطريقة سريعة و فورية.

- **الاجهزة:**

- **جهاز مطرقة شميدت.**

- **اداة تنظيف وتنعيم.**

- **خطوات الاختبار:**

- تنظيف السطح المراد اختباره من طبقات الدهان و اللياسة وتنعيمه بادوات التنعيم حتى الوصول الى سطح الخرسانة.

- تحديد مساحة من سطح الخرسانة لاجراء الاختبار عليها بمساحة لا تقل عن 200سم2 .

- تحديد زاوية المطرقة التي يجب ان تكون راسية على سطح الخرسانة المحد لاجراء الاختبار.

- الضغط تدريجيا على المطرقة حتى يتم سماع صوت الصدمة ثم يؤخذ رقم الارتداد على شاشة الطرقة.

- تكرار الخطوه السابقة حتى نحصل على عشر قراءات.

- يؤخذ متوسط القراءات العشرة ويسمى رقم الارتداد.

- من منحنيات شميدت يتم نحديد مقاومة الخرسانة للضغط معرفة رقم الارتداد و زاوية المطرقة.

❖ **مقاومة الشد Tensile Strength:**

تتحمل الخرسانة العادية المتصلدة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى أساساً تصميم الخرسانة بإعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد (سواء المباشر أوغير المباشر) فإنها تعتبر ضعيفة المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصفة. ومقاومة الشد فى الخرسانة تتراوح ما بين 7 %إلى 14 %من مقاومتها للضغط أى بنسبة لعمر الخرسانة وكذلك تعتمد متوسطة قدرها 10% . وتختلف هذه النسبة تبعا لعمر الخرسانة ورتبتها.

- **طرق اختبار مقاومة الشد:**

❖ **إختبار الشد المباشر:**

- تحضر العينات للإختبار بإجراء عمليات الخلط والصب والدمك و والمعالجة بنفس الطريقة السابق ذكرها فى إختبار الضغط.
- يجرى الإختبار بمسك العينة عند نهايتيها بماكينة الإختبار والتأثيربحمل الشد تدريجيا وببطء ويعين الحمل المسبب لكسر العينة حيث تنكسر معظمها فى المنتصف وتحسب مقاومة الشد فى هذه الحالة بقسمة الحمل الأقصى على مساحة مقطع العينة.
- ونظرا لصعوبة اجراء اختبار الشد المباشر نتيجة الصعوبة النسبية في صب وفك عينة الاختبار ونظرا لوجود اجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الاختبار و احتمال عدم مركزية حمل الشد فانه يتم اللجوء لطرق غير مباشره لقياس مقاومة الشد.

❖ **اختبار الشد غير المباشر(الطريقة البرازيلية):**

❖ عينة الاختبار القياسية عبارة عن إسطوانة خرسانية قطرها 15سم وطولها 30سم سم حيث توضع هذه الإسطوانة بين رأسى ماكينة الإختبار فى وضع أفقى وعلى جانبيها وتوضع بين شريحتين من الخشب الأبلكاج أوالمطاط بعرض 2سم ويعين حمل الضغط المسبب لكسر العينة و عند انهيارها يسجل الحمل الاقصى.

ويكون المستوى الرأسى للإنهيار هو مستوى إجهادات الشد الرئيسية حيث تكون موزعة على 80% طوله وفى نفس الوقت توجد إجهادات ضغط تتراوح قيمتها من 16–18 مرة قدر إجهادات الشد وذلك فى المنطقتين تحت تأثير الحمل مباشرة (فى طرفى مستوى الإنهيار). ويتميز إختبار الشد غير المباشر بسهولة الإجراء وكذلك لوجود إجهادات الشد بقيمة ثابتة و منتظمة على حوالى60% من طول مستوى الانهيار. وعموما تؤخذ مقاومة الشدللخرسانة مساوية ل 85% قيمة مقاومة الشد البرازيلي.

❖ **مقاومة الانحناء Bending Strength:**

عندما تتعرض كمرة خرسانية لإلنحناء فإنه يمكن حساب مقاومة االنحناء (التى تعتبر أيضاً مقياساً لمقاومة الشد غير المباشر) وتسمى معاير الكسرفي الانحناء Rupture of Modulus وتتراوح قيم إجهادات معاير الكسر فى االنحناء بين 12 – 20% %من مقاومة الضغط. وبالتالى فإن مقاومة االنحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من 60 الى 100 تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساويا ل ٦٠ %من قيمة مقاومة االنحناء.%وعموماً

2-7 طرق تصميم الخلطات الخرسانية:

تصميم الخلطة الخرسانية عبارة عن عملية لحساب نسب خلط الاسمنت، والركام (الصغير والكبير) ، والماء لانتاج خرسانة ذات خصائص محددة باقل تكلفة ممكنة. و عادة ما يبنى تصميم الخلطة الخرسانية على الخصائص التالية :

- الخصائص التشغيلية للخرسانة الطازجة
- مقاومة ضغط الخرسانة المتصلدة عند عمر محدد
- التحمل مع الزمن (ويتم تحقيقها بتحديد حد ادنى لمحتوى الاسمنت و حد اعلى لنسبة الماء/ الاسمنت كما قد يبنى تصميم الخلطة الخرسانية لتحقيق متطلبات اخرى مثل الكثافة.والخصائص الحرارية، ومعاير المرونة، و مقاومة الشد، وغيرها من الخائص.

❖ ويمكن تلخيص الطرق المعروفة لتصميم الخلطات الخرسانية في ما يلي:

- **طريقة الاختبار:**

و تعتمد هذه الطريقة على اختيار نسب وضعية معينة من الاسمنت موصى بها من واقع االخبره العلمية نتيجة سباق ملائمة الخرسانة المصنوعة منها لنوع المنشأ المطلوب.

- **طريقة المحاولة:**

وتتطلب وجود عينات من الاسمنت و الركام الصغير و الكبير المتوفر في موقع العمل و بذلك يلزم معرفة العلاقة بين النسبة م\س و مقاومة الضغط للخرسانة.

- **طريقة الكثافة القصوى للركام:**

وتعتمد على استخدام ركام خليط له اقل نسبة فراغات ممكنه او اكبر كثافة ممكنة ، و تقوم الطريقة على اساس استخدام التحليل بالمناخل للركام الخليط مع التحكم في نسبة الماء الى الاسمنت و ذلك للحصول على اقل كثافة للخرسانة.

- **طرية معايير النعومة:**

وتعتمد على اساس معايير النعومة للركام الخليط و تعيين نسبة الركام الصغير الى الركام الكبير واستخدام التحليل للمناخل مع معرفة نسبة الماء الى الاسمنت و مقاومة الضغط للخرسانة.

- **طريقة المساحة السطحية للركام:**

هي مبنية على اساس علاقة كمية الاسمنت مع مساحة سطح حبيبات الركام و كذلك علاقة المساحة السطحية للركام الخليط بمقاومة الضغط للخرسانة.

- **طريقة البيانات المجمعة من الخلطات التجريبية:**

هي طريقة نصف حسابية كما تعتبر وضعية من حيث انها تعتمد على بيانات مجمعة في جداول كخلاصة نتائج عدد كبير من الخلطات التجريبية .

- **طريقة نسبة الفراغات الى الاسمنت:**

هي مبنية على اساس نظرية نسبة الفراغات الى الاسمنت وكمية الفراغات الموجودة في المونة.

- **طريقة المعهد الامريكي(ACI) لتصميم خليط الخرسانة:**

هذة الطريقة الشائعة لتصميم مزيج الخرسانة. في ما يلي الخطوات المتبعة :

- تحديد نسبة الماء الى الاسمنت في الخلطة.
- تحديد ادنى هبوط و الحد الادنى لحجم الركام.
- تقدير من بيانات الاختبار الحد الادنى لنسبة الركام الناعم الى الخشن.
- يتم حساب محتوى الاسمنت بقسمة اجمالي محتوى الماء على نسبة الوزن.
- يتم تحديد الحجم الحجمي للركام الخشن ذي القضبان الجافة لكل وحدة حجم من الخرسانة للحجم الاقصى المعين للركام و معامل النعومة للرمل.
- تحديد نسبة المزيج التجريبي واجراء تعديل اذا لزم الامر للمواد ونسبة الاسمنت والماء.

- **الطريقة البريطانية:**

تعتمد هذة الطريقة على المقاومة المستهدفة و نسبة المار للركام الناعم للمناخل 600 و مقياس الركام الخشن والوزن النوعي للركام الخشن ونسبة الماء الى الاسمنت. ويتم تصميم الخلطة عن طريق الجداول والمخططات المرفقة في الملحقات.

الباب الثالث

3- الإختبارات المعملية

3-1 مقدمة:

تصميم الخلطات الخرسانية الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية لمكوناتها بما يتفق مع المتطلبات المطلوبة لعمل معين ويكون ذلك بإستخدام نسب ثبتت فعليتها من التجارب ،ويعتبر تحديد نسبالخلطة الخرسانية من اهم العوامل التي تؤثر علي جودة الخرسانة وعلي اقتصاديات المشروع فمن الممكن الحصول علي خرسانة متباينة في جودتها وثمنها بالرغم من أن جميعها تتكون من نفس المواد .

يلزم إجراء الاختبارات المعملية علي المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية (اسمنت، رمل، ركام) للتأكد من صلاحيتها ومطابقتها للمواصفات المستخدمة وهي المواصفات البريطانة.

3-2 المواد الأولية المستخدمة:

1. **الأسمنت:** استعمل الاسمنتالبرتلاندي العادي والمنتج من شركة اسمنت بربر والمطابقة للمواصفات السودانية .
2. **الركام الناعم (Fin Aggregate) :** أستعمال الرمل الطبيعي (الكنجر) .
3. **الركام الخشن (coarse aggregate) :** أستعمال الركام الخشن الطبيعي .
4. **ماء الخلط (Water Max) :** استعمال ماء الشرب العادي في عمل الخلطات الخرسانية والمعالجة
5. **اضافات الالياف:**
   - الياف الفايبر
   - الرماد المتطاير
   - مادة البوزلان

شكل (1-3) يوضح الياف الفايبر

شكل (2-3) يوضح المادة البوزلانية

3-3 إختبارات المواد :

❖ إختبارات الأسمنت:

- **إختبارات نعومة الأسمنت:**
- **الغرض من الإختبارات :**

تعين نعومة الاسمن باستخدام المنخل مقاس0.075 والتاكد من عدم وجود نسبة كبيرة من الحبيبات التي تحجز علي منخل رقم طريقة الإختبار :

ننخل 200 جرام من الاسمنت الجاف بالمنخل رقم200 ملم لمدة دقيقة عند عند اجراء عملية النخل باليد او دقيقه عند اجراء النخل بالهزاز الميكانيكي .

يوزن الاسمن المحجوز علي المنخل فتكون نعومة الاسمنت هي النسبة المئوية للوزن المحجوز، ويراعة ان يكون الوعاء المستخدم في الاختبار وعاء محكم يرتكزعليه وغطاء محكم اي كمية من الاسمنت كما يجب مراعاة النظافة العامة للمنخل اوالوعاء والغطاء قبل الاختبار، ويتم حساب نسبة النعومة من خلال المعادلة الاتية :

$$R=w_1/w_2 \ x100\%$$

حيث :

W1 = الوزن المحجوز.

W2=الوزن الكلي جرام.

اختبار زمن الشك الابتدائي:

- **زمن الشك الابتدائي :**

هو الزمن الدي يمضي من لحظة إضافة الماء لإسمنت وبنسبة ماء العجينة القياسية والمحدده من الاختبار السابق الي اللحظة التي تستطيع إبرة فيكات أن تنفذ في عجينة الاسمنت علي مسافة (4-7) من قاع القالب .

- **الغرض من الإختبار :**

تحديد الزمن الذي يبدأ فيه الاسمنت بالتصلب.(الشك الابتدائي)

- **طريقة الاختبار :**

يؤخذ مقدار من الاسمنت معلوم القوام القياسي ويكون المقدار القياسي400 نقوم بصنع عينة قياسية من الاسمنت بنفس الطريقة ونفس المعطيات والعوامل ويملا منها قالب فيكات وتوضع اسفل الإبرة b ملامسة للسطح ثم اخز قراءةوعادة تكون الاولي تساوي صفر وتكرر بعد عدد من الدقائق (40 -30 – 200).

علي حسب المواصفات يجب ان لايقل زمن الشك الابتدائى عن 45.

- **إختيار زمن الشك النهائي:**

- **زمن الشك النهائي :**

هو الزمن الذي يمضي من لحظة اضافة الماء للإسمنت (نسبة العجينه القياسية) بحيث تستطيع إبرة جهاز فيكات ان تخترق عجينه الاسمنت دون ان تترك لها اثرا علي سطح العينة او يظهر اي اثر لحرف الجزء الاسطواني المثبت حولها.

- **الغرض من الأختبار :**

معرفة الزمن الذي تبدأ فيه مقاومة الخلطة الخرسانية .

- **طريقة الاختبار :**

يؤخذ مقدار من الاسمنت معلوم القوام القياسي ويكون المقدار القياسي نقوم بصنع عينة قياسية

من الاسمنت بنفس الطريقة ونفس المعطيات والعوامل ويملاء منها قالب جهاز فيكات شكـل (3-3) وتوضع اسفل الابرة ملامسة للسطح ثم تؤخذ قراءه وعادة تكون الاولي تساوي صفر وتكرر بعد عددمن الدقائق.

علي حسب المواصفات البرطانية يجب ان لا يزيد عن 10 ساعات .

شكل (3-3) يوضح جهاز فيكات

❖ **إختبارات الركام الخشن :**

➢ **إختبار التدرج الحبيبي :**

- **الغرض من الإختبار :**

هو معرفة التدرج الحبيبي للركام ثم إيجاد تدرج خليط من الركام الصغير والركام الكبير يصلح استخدامه في الخلطات الخرسانية ليعطي خلطة خرسانية سهلة التشغيل وخرسانية متلصدة لها مقاومة الضغط المطلوبة مع مراعاة التوفير في التكاليف، او في استخدامه في تثبيت التربة تحت

خطوط سكك الحديدية واستخدامه في الاغراض الإنشائية المختلفة مثل رصف الطرق .

- **الركام الخشن :**
- **الأجهزة والادوات :**

- مجموعة من المناخل القياسيه لكل من الركام الخشن والركام الناعم .
- ميزان حساس.
- فرشة المناخل.
- هزاز ميكانيكي .
- تحضير العينة :

أخذت العينة من عدة أماكن مختلفة من كومة الركام ثم حضرت العينة المراد اختبارها بطريقة التقسيم الربيعي .

❖ **خطوات العمل :**

وزنت 2 كجم عينة من الركام الخشن بدقة وأدخلت بعد الك علي المناحل القياسية علي التعاقب بحيث بدأ بالمنحل الاكبر وينتهي بالنمحل الأصغر وروعي أن تكون المناخل سليمة ونظيفة تماما بعد استعمالها وأجريت عملية النخل بهز المناخل اليا باستحدام الهزاز الميكانيكي لمدة 5 دقائق .

ثم وزنت مقادير الركام المحجوزة علي كل منحل علي حدة بالميزان الحساس، وحسبت النسبة المئوية للركام المحجوز والنسبة المئوية للمار من كل منخل من الاوزان المحجوزة علي كل منحل .

شكل (4-3) يوضح المناخل موضوعه علي الهزاز الميكانيكي

- **اختبار الامتصاص للركام :**

- **الغرض من الاختبار :**

تحديد نسبة امتصاص الحصي للماء.

❖ **الأجهزة والأدوات :**

- ميزان حساس.
- وعاء به ماء.
- قطعة قماش للتجفيف.
- فرن تجفيف.

❖ **طريقة العمل :**

تؤخذ عينة ركام نقية خالية من التربة العالقة والملتصقة وغسلها جيدا بالماء ثم توضع في فرن لمدة ساعة لطرد الرطوبة ثم يؤخذ وزن معلوم من العينة لكي يسهل التعامل معه **(w1)** ثم تغمر العينة بعد ذلك في حوض ماء نقي لمدة (24) ساعة.ثم تخرج العينة بعد ذلك ثم يحدد الوزن الجديد**(w2)** ومن ثم يم حساب نسبة الامتصاص.

❖ **نتيجة الأختبار :**

- الوزن المشبع =
- الوزن الجاف =
- **القانون:**

$$\mathbf{R= \frac{w_2 - w_1}{w_1} x100\%}$$

3-4 الخلطة الخرسانية :

تم تصميم الخلطة استخدمت في هدا البحث لكي تحقق مقاومة مستهدفة مقدارها Mpa 25 في 28 يوم. حيث أستخدمت المدونة البريطانية المعينة بتصميم الخلطات الخرسانية وثم تثبيت نسب المواد المستخدمة لجميع الخلطات حيث كانت نسب المواد المستخدمة كما هو موضح في الجدول التالي :

جدول (1-3) يوضح نسب أوزان المواد المستخدمة في الخلطة القياسية :

المادة	الوزن للمتر المكعب (كجم)	الوزن ل 9 مكعبات (كجم)
الأسمنت	390	11.7
الركام الخشن	1250	37.5
الركام الناعم	535.5	16
ماء الخلط	195	5.9

3-5 إختبارات الخرسانة :

- إختبار الهبوط :

❖ الغرض من الإختبار :

تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعين مدي هبوطها بعد تشكلها علي هيئة مخروط ناقص وذلك إما في المعمل أو في موقع التنفيذ للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن أي تغيير في نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر علي قيمة الهبوط ويعتبر هذا الإختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة في محطات الخلط وفي موقع التنفيذ.

❖ الأجهزة والأدوات :

- قالب الاختبار.
- قضيب الدمك.
- مسطرين.
- صينية.
- لوح من المعادن.

❖ **طريقة الإختبار :**

نظف السطح المعدني الداخلي للقالب تنظيفا تاما بحيث لم توجد آثار خرسانة سابقة،ثم وضع القالب علي الوح المعدني وثبت جيدا أثناء عملية ملئه وملء القالب عبلي ثلاث طبقات متساوية تقريبا ودمكت كل طبقة بواسطة قضيب الدمك 25 مرة موزعة بالتساوي علي السطح المستعرض للقالب وروعي عدم نفاذ القضيب للطبقة التي تحتها وبعد أن دمكت خرسانة الطبقة العليا للقالب سوي سطحها مع حافة القالب وإرتفاع مركز عينة الخرسانة الطازجة.

➢ **إختبار مقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة :**

❖ **الغرض من الإختبار :**

تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة.

❖ **الأجهزة والأدوات :**

- ماكينة الضغط.
- مكعبات خرسانية.
- حوض معالجة.

❖ **طريقة الاختبار :**

تم التأكد من الوضع الصحيح لأسطوانة الماكينة وملحقاتها المختلفة ، تم قلب المكعبات من حوض المعالجة وأختبرت وهي لينة، ووزن أي مكعب قبل إجراء الاختبار عليه، وتم أن كل أوجه التحميل للماكينة نظيفة، وأوجه المكعب الملامس لأسطوامة الماكينة خالية من حبيبات الأشمنتالحشنة، ثم وضع المكعب عند مركز أسطوانة الماكينة السفلية تماما وتم التأكد من أن الحمل مطبق علي وجهي المكعب المستوي، وضبط محدد سرعة إنطلاق الحمل في الماكينة لضغط المكعب بمعدل ما حتي زادت الإجهادات بمعدل ثابت، ثم حمل امكعب السابق بالمعدل السابق حتي وصل لحمل الإنهيار وسجلت قيمته.

الباب الرابع
النتائج ومناقشتها

4-1 مقدمة:

تم عمل سلسلة من الاختبارات علي المواد الاولية وكسر لمكعبات الخرسانة لدراسة وتقييم الخواص الميكانيكية للخرسانة الطازجة والمتصلدة. يناقش هذا الفصل النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج الاختبار. وتشمل النتائج اختبار الهبوط واختبار الضغط (كسر المكعبات).

4-2 نتيجة اختبار نعومة الاسمنت:

جدول(4-1) يوضح نتيجة إختبار نعومة الاسمنت :

نعومة الاسمنت	نعومة الاسمنت حسب المواصفات البرطانية
7%	يجب الا تتعدي 22%

4-3 نتيجة اختبار زمن الشك النهائي:

جدول(4-2) يبين نتيجة أختبار زمن الشك النهائي :

زمن الشك النهائي	زمن الشك النهائي حسب المواصفات البريطانية
120 دقيقة	يجب ان لا يزيد عن 10 ساعات

4-4 نتيجة اختبار زمن الشك الابتدائي:

جدول (4-3) يوضح نتيجة اختبار زمن الشك الابتدائي :

زمن الشك الابتدائى	زمن الشك الابتدائي حسب المواصفات البريطانية
80 دقيقة	يجب ان لا يقل عن 45 دقيقة

4-5 نتائج اختبار الركام الخشن :

جدول (4-4) يوضح نتائج العينة الاولي للركام الخشن :

المنخل	الوزن المحجوز في كل منخل	الوزن المحجوز التراكمي	للمحجوز النسبة المئوية %	النسبة المئوية للمار %
37.5	0	0	2	100%
25	0.133	0.133	1.867	93.35%
19.0	0.448	0.581	1.419	70.95%
12.5	0.836	1.417	0.583	29.15%
9.5	0.379	1.796	0.204	10.2%
4.75	0.19	1.986	0.014	0.7%
Pan	0.014	2	0	0

جدول (5-4) يوضح نتائج العينة الثانية في الركام الخشن:

المنخل	الوزن المحجوز في كل منخل	الوزن المحجوز التراكمي	للمحجوز النسبة المئوية %	النسبة المئوية للمار %
37.5	0	0	2	100%
25	0.027	0.027	1.973	98.65%
19.0	0.331	0.358	1.642	82.1%
12.5	1	1.358	0.642	32.1%
9.5	0.358	1.716	0.284	14.2%
4.75	0.270	1.986	0.014	0.7%
Pan	0.014	2	0	0%

جدول(6-4) يوضح نتائج متوسط العينات للركام الخشن:

المنخل	النسبة المئوية للمار %
37.5	100%
25	96%
19.0	76.53%
12.5	30.63%
9.5	12.2%
4.75	0.7%
Pan	0%

4-6 نتائج اختبار الركام الناعم:

جدول(7-4) يوضح نتائج العينة الاولى للركام الناعم

المنخل	الوزن المحجوز في كل منخل	الوزن المحجوز التراكمي	للمحجوز النسبة المئوية %	النسبة المئوية للمار %
4.75	0.004	0.004	1.996	99.8%
2.36	0.01	0.014	1.986	99.3%
1.18	0.129	0.143	1.857	92.85%
0.600	0.410	0.553	1.447	72.35%
0.300	0.800	1.353	0.647	32.35%
0.150	0.296	1.649	0.351	17.55%
0.75	0.215	1.864	0.136	6.8%
Pan	0.136	2	0	0%

جدول(8-4) يوضح نتائج العينة الثانية للركام الناعم:

المنخل	الوزن المحجوز في كل منخل	الوزن المحجوز التراكمي	للمحجوز النسبة المئوية %	النسبة المئوية للمار %
4.75	0.008	0.008	1.992	99.6%
2.36	0.016	0.024	1.976	98.8%
1.18	0.157	0.181	1.819	90.95%
0.600	0.426	0.607	1.393	69.65%
0.300	0.928	1.535	0.465	23.25%
0.150	0.314	1.849	0.151	7.55%
0.75	0.1	1.949	0.051	2.55%
Pan	0.051	2	0	0%

جدول(9-4) يوضح نتائج متوسط العينات للركام الناعم:

المنخل	النسبة المئوية للمار %
4.75	99.7%
2.36	99.05%
1.18	91.9%
0.600	71%
0.300	27.8%
0.150	12.4%
0.75	4.68%
Pan	0%

4-7 درجة امتصاص الركام للماء:

جدول(4-10) يوضح درجة إمتصاص الركام للماء :

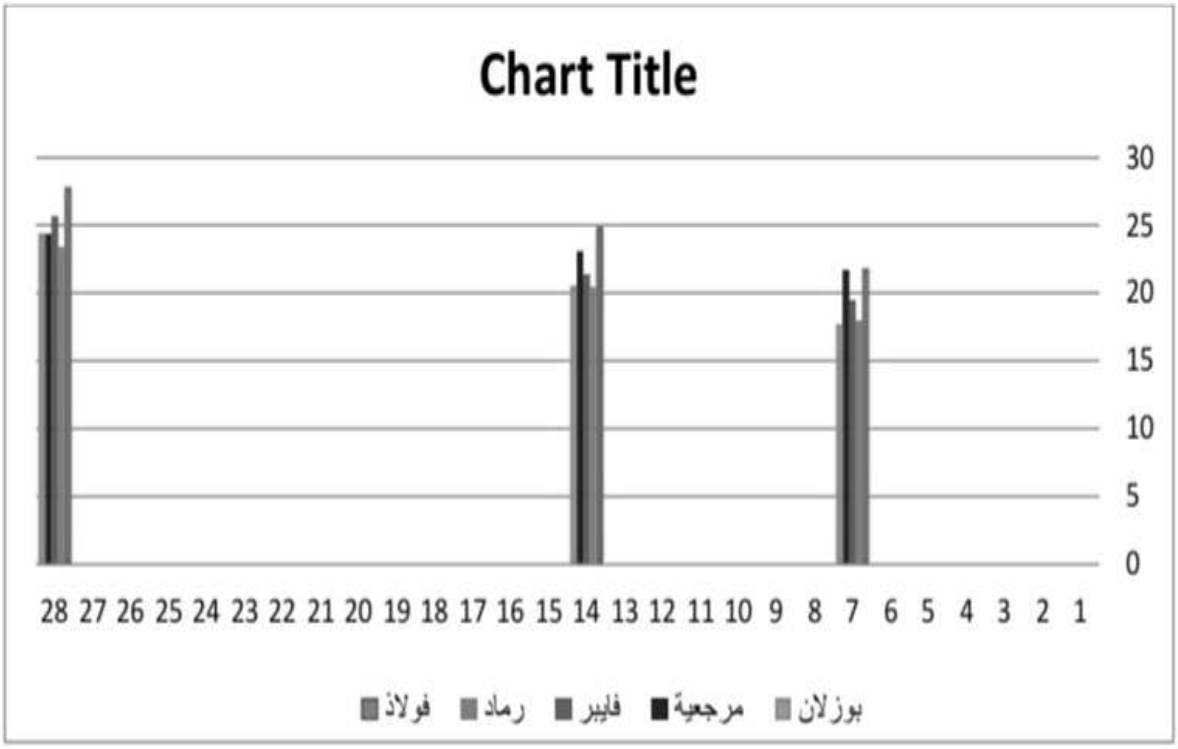
نسبة الإمتصاص للركام	نسبة الإمتصاص حسب المواصفات البريطانية
%1.09	يجب أن لاتتعدي 3%

4-8 النتائج والمقارنات :

سيتم عرض جميع تفاصيل الخاطات ومتوسط النتائج في الجداول والمخططات أدناه :

جدول (4-11) يوضح نتائج اختبار الهبوط :

الخلطة	مقدار الهبوط (mm)
الخلطة المرجعية	40
خلطة الياف الفايبر	29.5
خلطة المادة البوزلانية	50
خلطة الرماد	69



(4-1) شكل يوضح تاثير الالياف المختلفة والخلطة المرجعية علي مقاومة الضغط خلال الفترات الزمنية (7-14-28)day

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

1- 5 الخلاصة :

من خلال النتائج التي تم عرضها ومناقشتها تم التوصل إلى :

- وجد ان الياف الفايبر تاثر سلباً علي قابلية التشغيل في الخرسانة وتؤدي الى حدوث انفصال حبيبي بسيط في مكونات الخرسانة لكن لها اثر في تحسين المقاومة.
- يمكن تحسين القوام باستخدام الرماد المطاير والمادة البوزلانية مما يؤدي الى تحسين قابلية التشغيل.
- وجد ان الالياف تزيد من تماسك مكونات الخرسانة مع بعضها البعض
- وجد ان بعض أنواع الالياف لها تأثير كبير في مقاومة كسر الخرسانة.
- من الملاحظات التى تم استنتاجها ان مادة البوزلان تحد من النزيف والانفصال الحبيبي.

5-2 التوصيات:

على ضوء ما جاء في هذة الدراسة والخلاصة تم اقتراح بعض التوصيات:

- اجراء دراسة على انواع الالياف الفولاذية التي لم تستعمل في هذا البحث (خاصةً الالياف الفولاذية التي لم نتحصل عليها).
- استخدام اضافات اخرى مع الالياف لتحسين قوام الخلطة الخرسانية مما يحسن قابلية التشغيل .
- اجراء عدد اكبر من العينات للحصول على نتائج مختلفة للمقارنة.
- عمل خلطات اخرى بنسب مختلفة لمعرفة مدى تاثير ذلك على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة.

المراجع:

- ويكبيديا , الشبكة العنكبوتية (الانترنت).
- شريف فتحي الشافعي هندسة وتكنولوجيا الخرسانة دار الكتب والنشر القاهرة 2011
- حسن جمعه خرسانة القرن الحادي والعشرين ، مكتب الدراسات والاستشارات الهندسية، القاهرة 2005
- احمد علي العريان تكنولوجيا الخرسانة الناشر القاهرة 1974
- Concrete materials and structure C. B.WILBY Cmbridge university press TA681.W644. 1991
- STRUCTURAL LIGHTWEIGHT- AGGREGATE CONCRETEJ. K.NESBITConcrete Publication Limited… Buckingham Gate. London.
- Investigating The Mechanical Proprties Of High Performance Concrete With A Steel Fiber Admixture M.A. Karim, Noor Faisal, Abas, M.A. Othuman Mydin School of Housin, Building and Planning. Universiti Sains Malaysia, 11800, Penang Malaysia.

المـــــــــــلاحق

Table 1 :Concrete mix design form

Stage	Item		Reference or calculation	Value	
1	1.1	Characteristic strength	Specified	25 / 5	N/mm² at 28 days; per cent
	1.2	Standard deviation (s)	Fig 3	8	N/mm² or no data
	1.3	Margin (k x s)	C1	(k = 1.64)	1.64 x 8 = 13.12 N/mm²
	1.4	Target mean strength	C2	25 + 13.12 = 38.12	N/mm²
	1.5	Cement type	Specified	OPC / SRPC / RHPC	
	1.6	Aggregate type : coarse			
		Aggregate type : fine			
	1.7	free-water / cement ratio	Table 2, Fig 4	0.54	Use the lower value
	1.8	*Maximum free-water / cement ratio*	Specified	0.5	
2	2.1	Slump or V-B	Specified	Slump 60 — 180 mm or V-B	s
	2.2	Maximum aggregate size	Specified	20	mm
	2.3	Free - water content	Table 3	195	kg/m³
3	3.1	Cement content	C3	195 ÷ 0.5 = 390	kg/m³
	3.2	*Maximum cement content*	Specified		kg/m³
	3.3	*Minimum cement content*	Specified		kg/m³ - Use if greater than Item 3.1 and calculate Item 3.4
	3.4	Modified free-water / cement ratio			
4	4.1	Relative density of aggregate (SSD)		2.6	known/ assumed
	4.2	Concrete density	Fig 5	2370	kg/m³
	4.3	Total aggregate content	C4	2370 − 390 − 195 = 1785	kg/m³
5	5.1	Grading of fine aggregate	BS 882	Zone 3	
	5.2	Proportion of fine aggregate	Fig 6	30	per cent
	5.3	Fine aggregate content	C5	1785 × 0.3 = 535.5	kg/m³
	5.4	Coarse aggregate content	C5	1785 − 535.5 = 1249.5	kg/m³

Quantities	Cement (kg)	Water (kg or l)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)
per m³ (to nearest 5 kg)	390	195	535.5	1250
per trial mix of 0.03 m³	11.7	5.9	16	37.5

Item in italics are optional limiting values that may be specified (see Section 7)
1 N/ mm2 = 1 MN/ m = 1 MPa (see footnote on page 8)
OPC = ordinary Portland cement; SPRC = sulphate-resisting Portland cement; RHPC = rapid-hardening Portland cement
Relative density = specific gravity (see footnote on page 15)
SSD = based on a saturated surface-dry basis

Table 2: Approximate Compressive Strength (N/mm^2) of Concrete Mixes Made with a Free-Water / Cement Ratio 0.5

Type of Cement	Type of Coarse Aggregate	Compressive Strengths (N/mm2)			
		Age (days)			
		3	7	28	91
Ordinary Portland (OPC) or Sulphate Resisting Portland (SRPC)	Uncrushed	22	30	42	49
	Crushed	27	36	49	56
Rapid Hardening Portland (RHPC)	Uncrushed	29	37	48	54
	Crushed	34	43	55	61

$1\ N/mm^2 = 1\ MN/m^2 = 1\ MPa$

Table 3: Approximate Free-Water Contents (kg/m^3) Required To Give Various Levels of Workability

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Vebe Time (s)		>12	6-12	3-6	0-3
Maximum Size Aggregate (mm)	Type of Aggregate				
10	Uncrushed	150	180	205	225
	Crushed	180	205	230	250
20	Uncrushed	135	160	180	195
	Crushed	170	190	210	225
40	Uncrushed	115	140	160	175
	Crushed	155	175	190	205

Note: When coarse and fine aggregate of different types are used, the free-water content is estimated by the expression

$$2/3\ W_f + 1/3\ W_c$$

where W_f = free-water content appropriate to type of fine aggregate

and W_c = free-water content appropriate to type of coarse aggregate

scanner

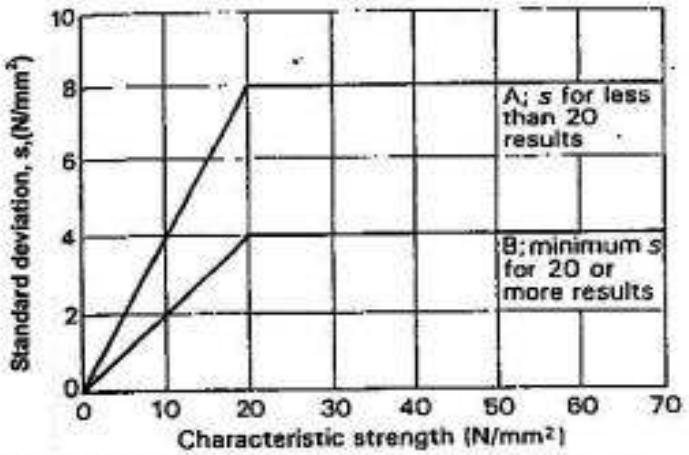


Figure 1: Relationship between standard deviation and characteristic strength

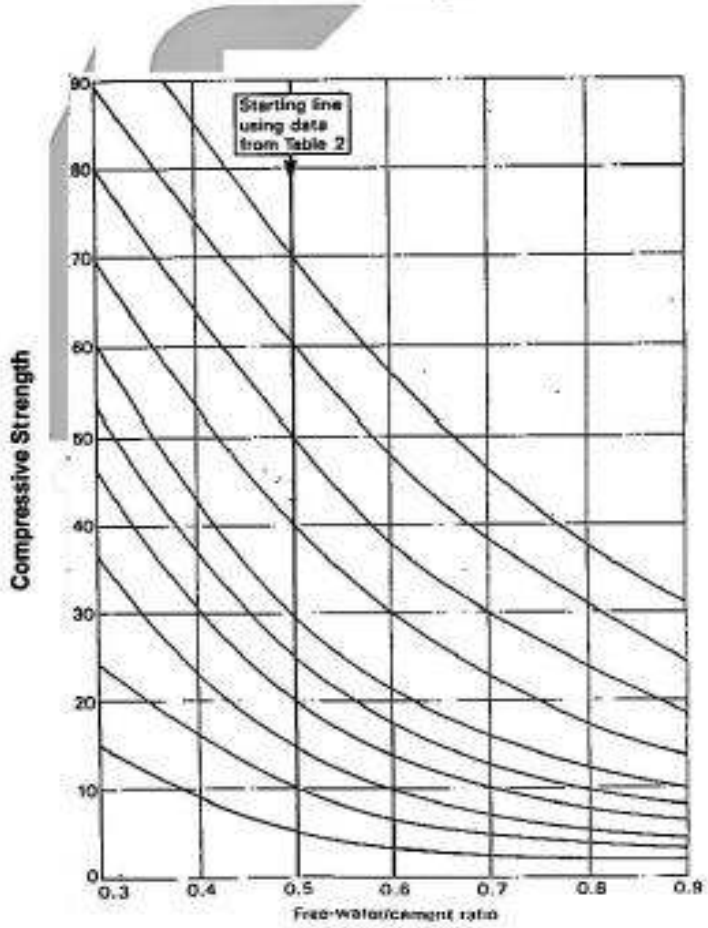


Figure 2: Relationship between compressive strength and free-water/cement ratio

Scanned by CamScanner

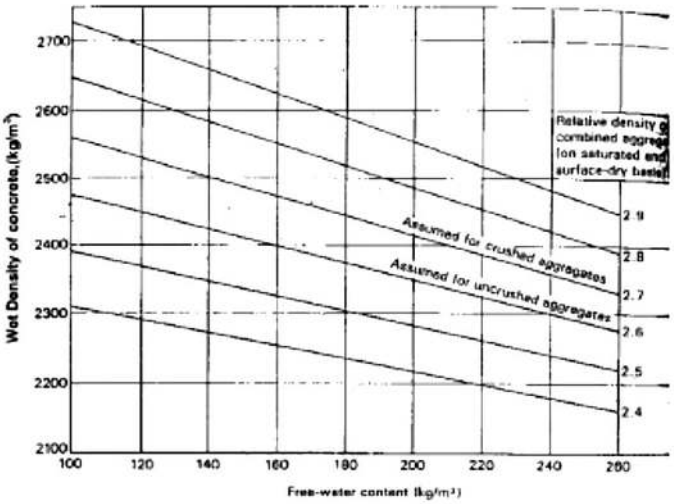


Figure 3: Estimated wet density of fully compacted concrete

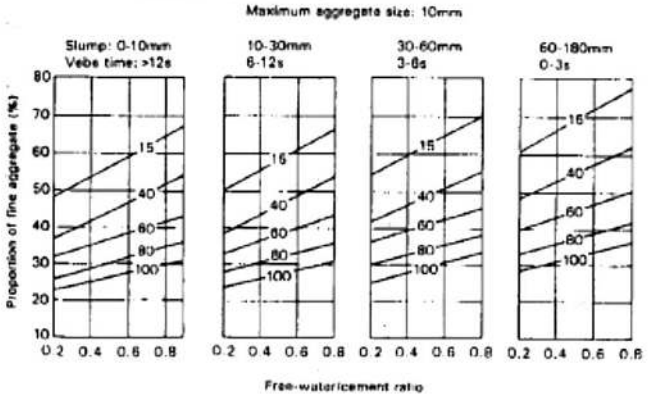


Figure 4a: Recommended proportions of fine aggregate according to percentage passing 600 μm sieve

GLOBUZ
0089
M+
MR
MC

GLOBUZ
Weight
Kg
8481
M+
MR
MC

482.048 kN
21.424 Mpa
03/10/2000 17:05

MATEST
DIGITEC