الأكاديميـــة الليبيـــــة



طرابلس – ليبيا

مدرسة العلوم التطبيقية والهندسية

قسم الهندسة المدنية والمعمارية

(دراسة معملية للخواص الفيزيائية للخرسانة الخفيفة)

إعداد / المهندسة : فتحية عامر الهادي الجدال

الرسالة مقدمة إلي قسم الهندسة المدنية والمعمارية كجزء من متطلبات نيل درجة الإجازة العالية (الماجستير) في العلوم الهندسية

إشراف / أ.د. :صالح يحيى الباروني

ربيع2016

الإهداء

أهدي هذه الرسالة المتواضعة،التي أرجوا من الله العلي القدير أن تحقق الفائدة المرجوه منها و لجميع المهتمين بدراسة الخرسانة.

إلى من علموني كيف أستنشق عطر النجاح فوق قمم العمل وتحت سماء الأمل. ***والدي الكرام***

إلي من معهم تخلق أروع الذكريات فتتراءى كزهرة بلون الثلج الناصع فوق الجبال،عطرها يملأ المكان ***أخوتي وأصدقاي***

إلي زوجي الذي ساندني طيلة مشواري الدراسي وكان له الأثر الطيب في نفسي . إلى أبنائي الذي من أجلهم أقدمت على هذه الدراسة. *** أحمد - شاهين - ملك - ريان***

الشكـــــــــــر والتقديـــــــــــر

{ لئـــــــــن شكـــرتم للأزيـــــــــــدنكم }

صـــــــــدق الله العظيم

نشكر الله عز وجل الذي ألهمني الصبر على أنجاز هذه الرسالة رغم الظروف الصعبة التي تمر بها بلادنا الحبية

أتقدم باسمي آيات الشكر والتقدير إلى : أ.د. :صالح يحيى الباروني

لما قدمه من معلومات حتى ظهرت هذه الرسالة بأحسن صورة.

اشكر الأستاذ الصديق الزنداح (قسم علوم المواد - كلية الهندسة جامعة طرابلس) لما قدمة من معلومات أفادتنى في هده الدراسة.

وأشكرمهندسيى معمل الخرسانة كلية الهندسة "صبراتة" على حسن تعاونهم وكذلك أتقدم بالشكر إلى المهندس ابوالقاسم يحى ايوصبيع لما قدمه من مساعدة.وأخيراً لا أنسى أن أتوجه بالشكر والعرفان إلى كل من إعطاني نصيحة ومد لي يد العون ولو بكلمة طيبة .

ملخص

الخرسانة الخفيفة ذات أهمية كبيرة في تطوير الخرسانة في العالم وذلك لما لهذه التقنية من مميزات وخفة في الوزن والسرعة في التنفيذ وإمكانية استخدام المواد المتوفرة محلياً للحصول علي الخواص المطلوبة لهذه الخرسانة ،وعلي الرغم من كل التطورات التي حصلت في مجال الخرسانة الخفيفة فأن مجال تطبيقها مازال محدوداً في عدة دراسات معملية عملت علي التعرف علي خواص الخرسانة الخفيفة باستخدام المواد المحلية ،هذا ما حدي بالباحث إلي التوسع في دراسة هذه الخرسانة عملياً.حيث ثم التعرف عملياً علي الخرسانة الخفيفة ودراسة مقاومة الضغط والامتصاص والكثافة .ومن خلال النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة تبين بالإمكان تنفيذ تطبيقاتها محلياً وذلك لما تتمتع به من خفة الوزن وبالتالي سهولة المناولة أثناء تنفيذها ، والحصول علي قيم جيدة لمقاومة الضغط وكذلك نسبة امتصاص جيدة.وقد خلصت الدراسة إلي جملة من المقترحات كان أهمها تشجيع الجهات ذات العلاقة علي الاستفادة من تطبيقات هذه التقنية محلياً بعدما أظهرت الدراسات المعملية جدواها وبالتالي العمل علي تأسيس شركات محلية تعمل علي أنتاج وتنفيذ الخرسانة الخفيفة.

ABSTACT

Lightweight Concrete of great importance to the development of concrete in the world and that what this technology of features and lightness in weight and speed of implementation and the possibility of using locally available materials to obtain the desired properties of this concrete, in spite of all the developments that have occurred in the concrete area of the field of application is still limited in Several laboratory studies have worked to identify the properties of concrete light using local materials, this is what my own researcher to expand in the study of these concrete Amili.hat then get acquainted with practically concrete light and study the pressure resistance and absorption and density. It is through the results obtained from this study shows possible to implement applications locally and that because of its light weight and therefore easy handling during implementation, and get good values for pressure resistance as well as the ratio of absorption Gidh.oukd study concluded a number of proposals was the most important to encourage the relevant authorities to Alastvazh of these technical applications locally after the show Laboratory studies feasibility and thus work to establish local companies .working on the production and implementation of concrete light

فهرس المحتويات	
العنوان	رقم الصفحة
الآية	أ
الإهداء	ب
الشكر والتقدير	ج
ملخص باللغة العربية	د
ملخص باللغة الإنجليزية	ه

فهرس المحتويات		
الباب الأول		
	المقدمة	
الترقيم	العنوان	الصفحة
1.1	تقديم	1
2.1	الخلفية العلمية	2
3.1	الهدف من البحث	3
4.1	أهمية البحث	3
5.1	مخطط البحث	3

فهرس المحتويات		
الباب الثاني		
الترقيم	العنوان	الصفحة
1.2	تطور صناعة الخرسانة	4
2.2	تعريف الخرسانة	4
3.2	مميزات الخرسانة	5
4.2	عيوب الخرسانة	6
5.2	الأنواع الخاصة للخرسانة	6
1.5.2	الخرسانة العادية	7
2.5.2	الخرسانة المسلحة	7
3.5.2	الخرسانة سابقة الإجهاد	8
4.5.2	الخرسانة الجاهزة (سابقة الصب)	9
5.5.2	الخرسانة عالية المقاومة	9
6.5.2	الخرسانة الليفية	10
7.5.2	الخرسانة ذاتية الدمك	11
8.5.2	الخرسانة البوليمرية	11
9.5.2	الخرسانة المقدوفة(خرسانة الرش)	12

فهرس المحتويات		
الباب الثاني		
الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
10.5.2	الخرسانة الثقيلة	13
11.5.2	الخرسانة الكتلية	13
12.5.2	الخرسانة الخفيفة	14

فهرس المحتويات		
الباب الثالث		
الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
1.3	نبذة تاريخية عن الخرسانة الخفيفة	15
2.3	تعريف الخرسانة الخفيفة	15
3.3	أنواع الخرسانة الخفيفة	16
1.3.3	أيجاد فراغ بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الرفيعة)	16
2.3.3	إيجاد فراغ داخل الركام (خرسانة ركام خفيف)	16
1.2.3.3	الطين	20
2.2.3.3	جودة الطوب الأحمر	20
3.2.3.3	مكونات جزئيات الطوب الطيني كيميائيا	20
3.3.3	خرسانة المهواة أوالخلوية	21
4.3	صناعة الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن	22
5.3	صناعة الخرسانة الخلوية	24
6.3	مكونات الخرسانة الخفيفة	25
6.3	الأسمنت	25
1.6.3	أنواع الأسمنت	26
2.6.3	خواص واختبارات الأسمنت	26
2.6.3	الركام (الشرشور والرمل)	28
1.2.6.3	مهام الركام	28
2.2.6.3	الصفات الواجب توفرها في الركام الخفيف	28
3.6.3	الماء	29
4.6.3	الإضافات	30
7.3	المقاومة التصميمية	29
8.3	مواصفات الخرسانة الرغوية	30
9.3	أهمية الخرسانة الخفيفة	30
10.3	استعمالات الخرسانة الخفيفة في البناء	31

فهرس المحتويات		
الباب الرابع		
الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
1.4	المقدمة	32
2.4	دراسة خواص المواد المستخدمة	32
3.4	الأسمنت	32
4.4	الركام	33
1.4.4	الركام الناعم	33
2.4.4	الركام الخشن	35
3.4.4	الركام الخفيف المصنع يدوياً	36
5.4	الماء	38
6.4	تحديد نسب مكونات الخلطة	39
7.4	المعدات المستعملة	40
8.4	الخلطات الخرسانية	43
9.4	إعداد المواد اللازمة لخلط الخرسانة	43
10.4	طريقة خلط وصب الخرسانة	43
11.4	عملية المعالجة	46
12.4	الاختبارات التي أجريت علي الخرسانة	46
1.13.4	اختبار الكثافة	47
2.13.4	اختبار نسبة الامتصاص	47
3.13.4	اختبار مقاومة الضغط	48
15.4	العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط	48
فهرس المحتويات		
الباب الخامس		
الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
1.5	عرض النتائج	50
2.5	مناقشة النتائج	56
فهرس المحتويات		
الباب السادس		
الترقيم	العنوان	رقم الصفحة
1.6	الاستنتاجات	58
2.6	التوصيات	59

	فهرس الجداول	
الترقيم	الجداول	رقم الصفحة
(1.3)	نسب مركبات الأسمنت	26
(2.3)	أنواع الأسمنت البورتلاندي	27
(3.3)	نوع الخرسانة الرغوية	30
(4.3)	مواصفات الخرسانة الرغوية	32
(1.4)	الخواص الفيزوميكانيكية للأسمنت البورتلاندي العادي المستخدم	33
(2.4)	الخواص الفيزيائية للركام الناعم (الرمل)	34
(3.4)	التحليل المنخلي للركام الناعم	34
(4.4)	نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن	35
(5.4)	التحليل المنخلي للركام الخشن	36
(6.4)	وزن حبيبات الطين قبل وبعد وضعها في الفرن	37
(7.4)	نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخفيف المصنع	38
(8.4)	التحليل المنخلي للركام الخفيف المصنع	38
(9.4)	نتيجة التحليل الكيميائي للماء المستخدم	39
(10.4)	أوزان المواد اللازمة لخلطة الخرسانة الأولي	44
(11.4)	وزن مواد الخلط بالنسبة لخلطة الخرسانة الثانية	45
(1.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 7 أيام (ركام عادى)	50
(2.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 7 أيام (ركام خفيف)	50
(3.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 28 يوم(ركام عادى)	50
(4.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 28 يوم(ركام خفيف)	51
(5.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 7 أيام (مونه +الألمنيوم)	51
(6.5)	نتائج متوسط ثلاث مكعبات بعد مرور 28 يوم(مونه+الألمنيوم)	51

فهرس الأشكال		
الشكل	الموضوع	رقم الصفحة
(1.2)	استخدام الخرسانة المسلحة	7
(2.2)	الخرسانة سابقة الإجهاد	9
(3.2)	حوائط الخرسانة سابقة الصب	10
(4.2)	استخدام الخرسانة المقدفة في أحد الأنفاق	12
(5.2)	خرسانة كتلية	14
(1.3)	مباني منفذة من الخرسانة الخفيفة	17
(2.3)	أنواع الركام الخفيف	19
(4.6)	الطين المستخدم كركام في هذه الدراسة	23
(1.4)	التدرج الحبيبي للركام الناعم	35
(2.4)	التدرج الحبيبي للركام الخشن	36
(3.4)	التدرج الحبيبي للركام الخفيف المصنع	37
(4.4)	ميزان كهربائي	40
(5.4)	مخبار مدرج	41
(6.4)	قوالب قياسية مكعبة	41
(7.4)	آلة الضغط	42
(8.4)	فرن كهربائي	42
(9.4)	مكعبات لخلطة خرسانة الركام العادي	44

فهرس الأشكال		
الشكل	الموضوع	رقم الصفحة
(10.4)	مكعبات لخلطة خرسانة الركام الخفيف	46
(11.4)	المكعب في آلة الضغط	49
(1.5)	العلاقة بين العمر و الوزن لخرسانة الركام العادي	52
(2.5)	العلاقة بين العمر و الوزن لخرسانة الركام الخفيف	52
(3.5)	العلاقة بين العمر و المقاومة لخرسانة الركام العادي	35
(4.5)	العلاقة بين العمر و المقاومة لخرسانة الركام الخفيف	53
(5.5)	العلاقة بين العمر و الامتصاص لخرسانة الركام العادي	54
(6.5)	العلاقة بين العمر و الامتصاص لخرسانة الركام الخفيف	54
(7.5)	العلاقة بين العمر و الوزن لخرسانة خلطة (مونه+الألمنيوم)	55
(8.5)	العلاقة بين العمر و المقاومة لخرسانة خلطة (مونه+الألمنيوم)	55
(9.5)	العلاقة بين العمر و الامتصاص لخرسانة خلطة (مونه+الألمنيوم)	56

الباب الأول

المـقدمـــة

1.1- تقديم:

الخرسانة هى بنيان يتركب من عدة مواد والجزء الأكبر في هذا البنيان هو الركام الذي يكون كتلة ذات خواص مع العجينة الأسمنتية الي تتصلد بفعل التفاعل الكيميائي بين الأسمنت والماء . و الخرسانة كمادة إنشائية تبدو كمادة ذات مقاومة عالية للضغط . ومما لاشك فيه إن الخرسانة تعتبر من أهم المواد الإنشائيه . إن المطلب الأساسى للخرسانة الجيدة بحالتها الصلبة أن تكون تلك الخرسانة بمقاومة ضغط مقبولة . علما بإن الهدف هو إيجاد العديد من الخواص المرغوبة للخرسانة التي تتوافق مع المقاومة العالية مثل الكثافة و الأمتصاص والتحميلية وغيرها من الخواص . لذلك إن الإلمام بخواص الخرسانة يمكننا من اختيار خلطة اكثر ملائمة هذا إضافة إلي تطور الأجهزة المستخدمة في صناعة الخرسانة التى تؤدي إلي تحسين تجانس الخرسانة لما توفرة تلك الاجهزة من فوائد تكنولوجية واقتصادية قد ساعد في زيادة الاهتمام بتصنيع الخرسانة واخذت مسميات كثيرة ومنها الخرسانة الخفيفة الوزن فهي عبارة عن خرسانة عادية ذات كثافة ومقاومة مختلفة تتوقف علي نوع وتدرج الركام ونسبة الخلطة وكمية وطريقة دمك الخرسانة الأمرالذي يمكن أن تنتج خرسانات ذات أنواع مختلفة من هذا النوع منها :الخرسانة الإنشائية الخفيفة الوزن وهو موضوع بحثنا هذا والخرسانة الأنشائية الوزن هي خرسانة مماثلة للخرسانة العادية ولكن مع استخدام ركام خفيف الوزن بدلا من الركام العادى وبإضافة مسحوق الالومنيوم في خلطة المونة.

2.1- الخلفية العلمية :-

البحث الأول :- ثم الدراسة فيه حول تصنيع ركام خفيف الوزن لإنتاج خرسانة خفيفة عازلة ومن خلال التجارب التي أجريت[2] يمكن تلخيص ما يلي:-

ثم الحصول علي كتل خرسانية خفيفة تستعمل في الجدران الحاملة وكانت قوة تحملها للضغط بعمر 28 يوم 15.33نيوتن/ملم2 وكثافتها 1770كغم/م3 فقد أستخدم في إنتاج كتل خراسانية لإغراض العزل الحراري وقد كان معامل التوصيل الحراري k له 0.55 وات/ م.كلفن وبكثافة 1640كغم/م3.

البحث الثاني :- ثم في هذا البحث دراسة الخواص الفيزيائية لنوع جديد من الخرسانة خفيفة الوزن العازلة للحرارة والمصنوعة من مخلفات ركام الترمستون والركام المخلوط (بورسيلينايت مع نشارة الخشب) ومن خلال التجارب التي أجريت[3] يمكن تلخيص ما يلي:-

دراسة الخواص الفيزيائية مثل الكثافة والتي تتراوح مابين (765-822 كغم/م3) ومقاومة الانضغاط مابين (1.51-2.2 نيوتن/ملم2) والموصلية الحرارية (0.19-0.39) وات/متر.كلفن .

البحث الثالث:- هذه الورقة تتناول نتائج ملائمة استخدام الركام الخفيف من منطقة العرقوب لإنتاج خرسانة خفيفة ذات مقاومة ضغط جيدة. ومن خلال التجارب التي أجريت[4] يمكن تلخيص ما يلي:

*تشير النتائج علي ملائمة الخرسانة الخفيفة من حيث مقاومة الضغط الجيدة التي تم التوصل إليها وتتوافق مع الخرسانة العادية إلي حد ما. حيث الفروقات محدودة تراوحت بين 2%كحد أدني و16.1% كحد أقصي.

3.1 - الهدف من البحث :-

هودراسة خاصية مقاومة ضغط الخرسانة الخفيفة الوزن باستخدام الركام الخفيف وبإضافة مسحوق الألمنيوم من خلال عمل خلطات خرسانية ومقارنتها بالخرسانة العادية المستخدم فيها الركام العادي.

4.1 - أهمية البحث :

تقليل من وزن الخرسانة والحصول علي خرسانة ذات مقاومة جيدة،حيث يمكن الاستفادة من هذه التقنية في عدة تطبيقات مما يشجع علي اعتماد هذا النوع في تنفيذ مشاريع البنية التحتية في ليبيا كغرف التفتيش والمباني والمنشاءات الخرسانية.

5.1 مخطط البحث :

ولانجاز أهداف هذه الدراسة تم تقسيم العمل إلي عدة بنود متمثلة في:

1-الاطلاع علي المراجع ذات العلاقة بالخرسانة الخفيفة.

2- إجراء الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية على المواد المكونة للخرسانة ومقارنة نتائجها بحدود المواصفات ذات العلاقة.

3- تنفيذ خلطات خرسانية للوصول إلي الخلطة المناسبة للبحث.

4- دراسة وتحليل النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المنفذة ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة.

بناء على النتائج التي تخلص إليها الدراسة ثم تقديم عدد من الاستنتاجات واقتراح جملة من التوصيات.

الباب الثاني

الخرسانة

1.2- تطور صناعة الخرسانة:

شهدت الخرسانة ثورات متتالية حيث يعتبر الرومان هم أول من استعمل الخرسانة العادية في التاريخ من حوالي ألفي عام ولكن لم تكن هناك طرق معينة لتصميم خلطة خرسانية ولا أساليب للتصميم المختلفة، كذلك لم تكن هناك الأنواع المختلفة من الاسمنت والتي تناسب الأغراض المتنوعة. كما أنة لم تكن هناك الأنواع المختلفة من الخرسانة مثل الخرسانة الخفيفة والخرسانة ذات الهواء المحبوس و الخرسانة العالية المقاومة والخرسانة سابقة الصب أو سابقة الإجهاد وغيرها .وعلي أي حال فان العلم والتكنولوجيا في تقدم سريع وتحدت تغيرات عديدة في وقت قصير حيث أدى التطور الحديث للتقنيات المستخدمة في تقدم وتطور علم الخرسانة بالرغم من ذلك فان تكنولوجيا الخرسانة الخفيفة حتى الآن لم تأخذ طريقها إلي الواقع العملي بشكل واسع في بلادنا الحبيبة رغم حاجتنا الماسة إلا أنها أصبحت شائعة الاستعمال في دول أوربا وأمريكا واليابان و حتى في بعض دول العالم الثالث.

2.2 - تعريف الخرسانة:

هي عبارة عن خليط من حبيبات غالبا ما تكون صخريه متماسكة مع بعضها البعض بواسطة مادة لاحمه، حيث أن المواد اللاحمة من الممكن إن تكون غير عضويه مثل مواد عجينه الاسمنت وهي عبارة عن تفاعل الأسمنت مع الماء أو مواد عضويه مثل المواد البلاستيكية والبتومين (الخرسانة الاسفلتيه) و الايبوكسي والبولي استر(الخرسانة البوليمرية أو الخرسانة البلاستيكية أو الخرسانة الراتنجيه) .عادة ما تطلق كلمة الخرسانة علي الخرسانة الاسمنتيه التي يدخل في تركيبها الأسمنت والركام والماء وتختلف الخرسانة عن بقيه المواد الإنشائية الجاهزة مثل الطوب والحديد و الأخشاب حيث أنها تحتاج إلي مشرف

في الموقع الذي يستطيع أن يصمم خلطها و يراقب صناعتها و جودتها في الموقع بخلاف المواد الأخرى التي يتم مراقبتها وجودتها بالمصنع.

3.2- مميزات الخرسانة:

هناك عدد من مميزات الخرسانة نذكر منها ما يلي:

أ- توفر المواد الأولية والمتمثلة في الرمل والزلط وكسر الأحجار المتوفرة بكثرة في الطبيعة و كذلك توفر المواد الداخلة في صناعه الاسمنت(الطين و الحجر الجيري).

ب-سهولة صناعتها حيث تحتاج صناعه الخرسانة إلي مهارات بسيطة و سهله بخلاف المنشات المعدنية التي تحتاج إلي مهاره و متخصصين.

ج- تستخدم الخرسانة في المباني السكنية الصغيرة والكبيرة وإنشاء الطرق والمطارات ومشروعات الري والصرف والسدود والجسور والموانى و محطات تنقيه المياه و محطات تنقية المجاري ، ويمكن إضافتها مع مواد أخري (قطاعات صلب) القطاعات المركبة أو إضافة أنواع معينة من الألياف إلي الخرسانة أثناء الخلط في الحالة الطازجة لتحسين بعض الخواص مثل تحسين مقاومتها في الشد و الانحناء و القص و الصدم.

د- زيادة قوة تحمل الخرسانة مع مرور الزمن و مقاومتها للعوامل الجوية، لكن حتى يكون للخرسانة القدرة علي التحمل والمقاومة بمرور الوقت يجب أن تكون الظروف مهيأة لاستكمال التفاعلات بين الماء والاسمنت وذلك لأن معالجة الخرسانة تؤثر في عمرها الأول علي خواص الخرسانة المتصلده مثل المقاومة و قوة التحمل ومقاومه نفاذ الماء و ذلك بسبب استكمال التفاعل بين الماء والاسمنت و يكون تطور التصلد كبيرًا و سريعاً في بداية العمر و لكنه يستمر ببطء إلي فترة زمنية غير محددة.

ه-ملائمة الخرسانة كمادة إنشائية للشكل المعماري و الوظيفة الإنشائية إذ أن الخرسانة في حالتها المتصلده تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط أما في حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التي تسمح بتشكيلها إلي إي شكل معماري مطلوب لتمكن المهندسين من الابتكار.

4.2- عيوب الخرسانة:

كما هو الحال في جميع مواد البناء، فإن الخرسانة المسلحة تبدي عددًا من العيوب أهمها:

أ-الوزن الذاتي المرتفع :يتغير وزن الخرسانة بشكل أو بآخر تبعا لنسب الخلطة وقوام الركام ونوعيته، وبصورة عامة فإن المتر المكعب من الخرسانة ذات الركام العادي يزن حولي 2400 كيلوجرام، ويؤدي إضافة حديد التسليح إلى زيادة الوزن لذا فان هذه الكثافة العالية تتطلب اهتماما كبيرا بتنفيذ الأساسات والجدران لكى تكون قادرة على تحمل هذه الأحمال.

ب- الحاجة إلى الدقة في كمية حديد التسليح وطريقة ربطه.

ج- غالبًا ما يتطلب تصنيع القالب اللازم للصب وقتًا طويلا إضافة إلى أعمال التدعيم والربط، وضرورة بقاء القالب حتى تحصل الخرسانة على المقاومة الكافية.

د- ضرورة أخذ الاحتياطات الكافية أثناء صب الخرسانة وحمايتها بعد ذلك من الظروف الجوية القاسية مثل الصقيع أو من الجفاف السريع بسبب ارتفاع درجات الحرارة.

5.2- الأنواع الخاصة للخرسانة:

يوجد العديد من أنواع الخرسانة ويمكن تصنيف بعضها كما يلي:

1.5.2- الخرسانة العادية:

وهى خرسانة بدون أي حديد تسليح وتستخدم في أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية غير المعرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود. ومقاومتها تتراوح من 150إلى 250 كجم/سم2 حسب الغرض المستخدمة من أجله كما في الشكل(1-2). ويمكن تحسين بعض الخواص فيها لكي تناسب غرض الاستخدام ، مثلاً أن تكون مقاومة للكبريتات أو مقاومة لعوامل التعرية والتآكل كما في حالة المنصات البحرية.

2.5.2- الخرسانة المسلحة:

وهى خرسانة عادية ويشترك معها حديد تسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من الخرسانة هو الأكثر شيوعاً واستخداماً في العالم وذلك لسهولة تنفيذه ورخص تصنيعه .ويمكن أن يُصب في الموقع مباشرة أو يُصب في المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة .وينبغي تحقيق بين الإجهادات و الانفعالات في كل من الخرسانة و الحديد.ومعظم كدودات التصميم تهمل تماماً مقاومة الخرسانة للشد وبالتالي فإن الحديد يتحمل كل قوى الشد المؤثرة ، أما الخرسانة فتتحمل قوى الضغط



شكل (2-1) استخدام الخرسانة المسلحة.[5]

3.5.2- الخرسانة سابقة الإجهاد:

وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة بإنهاء إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال مما لا يتطلب في الغالب إضافة حديد تسليح ،حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول القطاع الخرسانى بعد التحميل(التشغيل)هي غالباً إجهادات ضغط وبالتالي تكون الخرسانة كفيلة بتحملها .وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من 350 إلى 600 نيوتن/مم2 و ذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع و إجهادات ضغط التشغيل.وأسياخ الصلب المستخدمة في الخرسانة سابقة الإجهاد أو حبال مجدولة وهي عبارة عن أسلاك تسمى كابلات وتمتاز الخرسانة سابقة الإجهاد بقلة التشققات، وهى مناسبة للاستخدام في الكباري والوحدات الجاهزة كما في الشكل (2-2) مثل فلنكات السكك الحديدية وعموماً يوجد طريقتان لإكساب الخرسانة لإجهادات الضغط والمتمثله في كل من طريقة الشد السابق وطريقة الشد اللاحق



شكل(2-2)الخرسانة سابقة الإجهاد.[5]

4.5.2- الخرسانة الجاهزة(سابقة الصب):

تصب الخرسانة وتعالج حتى تمام تصلدها في المصنع ثم بعد ذلك تنقل إلى المنشأ وممكن أن تكون خرسانة عادية أو مسلحة أو سابقة الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والحوائط و البلوكات الخرسانية و وحدات الأسوار والسلالم .وفيها يتم التحكم فى عملية جودة الخرسانة والتصنيع مثل:

1)استخدام ركام جيد متدرج

2)تقليل الماء

3)إجراء ألدمك والخلط ميكانيكيا

4)معالجة بالبخار

5)استخدام إضافات للتلوين

6)استخدام المواد العازلة المطلوبة

وعند تصنيع العناصر المختلفة من الخرسانة الجاهزة فيجب الأخذ في الاعتبار كافة الأحمال الخارجية المؤثرة على العنصر في مراحل التصنيع والتخزين والنقل و التركيب والتنفيذ والاستخدام ، كما في الشكل (2-3).

5.5.2- الخرسانة عالية المقاومة:

وهي خرسانة ذات مقاومة تزيد عن 60 نيوتن /مم2 وقد تصل أوتزيد عن 140نيوتن/مم2ويمكنالحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتي تستخدم فى صناعة الخرسانة التقليدية 25نيوتن/مم2 من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوى علي مادة إضافية أخري وهى الملدنات وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على المقاومة العالية المطلوبة ، وظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً في عدة تطبيقات محدودة وهدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية في الحصول على أقل مساحة قطاع وأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ .ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة في ثلاثة أشياء رئيسية متمثله في المباني عالية الارتفاع والكباري والمنشآت البحرية



شكل(2- 3)حوائط من الخرسانة سابقة الصب. [1]

6.5.2- الخرسانة الليفية:

وهي تلك الخرسانة المصنوعة من الاسمنت والمحتوية علي ألياف غير مستمرة وموزعة توزيعا عشوائيا في جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلي قسمين رئيسين من ألياف الصلب وهي قطع من الصلب والألياف الصناعية مثل ألياف البولي بروبلين والبوليستر وغيرها.

7.5.2- الخرسانة ذاتية ألدمك:

الخرسانة ذاتية ألدمك هي الخرسانة التي لها درجة عالية من السيولة والانسياب كما أن لها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي ويمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية.وتعتبر الخرسانة ذاتية ألدمك نتاج التقدم التكنولوجي في مجال إضافات الخرسانة حيث تعتبر كل من إضافات تحسين اللزوجة وإضافات تقليل ماء الخلط (الملدنات الفائقة)هما العنصران الأساسيان اللازمان لإنتاج هذه الخرسانة .ويعتبر اليابانيون هم رواد صناعة هذه الخرسانة حيث قاموا باستخدامها في منشآت وتطبيقات عديدة ومفيدة.

8.5.2- الخرسانة البوليمرية:

البوليمر أو الراتنج هو أسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئي المرتفع . أما الخرسانة الراتنجية فهي خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التي تعمل كمواد لاحمة أو مالئة للفراغات بين حبيبات الركام .وتمثل المواد البوليمرية حوالي 6 إلى 15%من وزن الخرسانة ومن أمثلتها مواد أو مركبات البوليستر و الأيبوكسى وقد تصل تكاليف خرسانة البوليمر حوالي من 2-3 مرات من تكاليف - الخرسانة العادية وتمتاز بمقاومة عالية للعوامل الخارجية مثل مقاومة التآكل ونفاذ الماء والمقاومة للكبريتات ومقاومة عالية جداً للانكماش بالإضافة إلي مقاومة ضغط عالية قد تصل إلى 120نيوتن/مم2 ومقاومة شد تصل إلى 10نيوتن/مم2.وعموماً يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الخرسانة المحتوية على راتنجات وهي الخرسانة البلاستيكية والخرسانة البوليمرية الأسمنتية والخرسانة الأسمنتية المحقونة بالبوليمرات.

9.5.2- الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش):

وهي تلك الخرسانة المنقولة خلال أنبوب وموجهة بضغط وبسرعة عاليتين إلي السطح المراد صبة حيث تؤدي قوة القذف إلي رص وتجميع الخرسانة علي السطح المراد الصب عليه أو فيه،وبذلك فإن تنفيذ مثل هذا النوع من العمل يتطلب خبرة واسعة ومتخصصة . وتستخدم هذه الخرسانة في العناصر الخرسانية ذات المقاطع النحيفة وذات التسليح الخفيف كالأسقف وتبطين الأنفاق والأحواض الخرسانية سابقة الإجهاد وكذلك تستخدم في عمليات الخرسانة المتآكلة بالإضافة إلي العديد من الاستخدامات المفيدة كما في الشكل (4-2)



الشكل (2-4) استخدام الخرسانة المقذوفة في أحد الأنفاق.[1]

10.5.2- الخرسانة الثقيلة:

وهى خاصة بالوقاية من الإشعاع الذرى والنووي حيث تتناسب قدرة الخرسانة لامتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها وبالتالي تكون حوائط وبلاطات الأرضيات والأسقف من الخرسانة الثقيلة .وتصنع الخرسانة الثقيلة من ركام من مواد ثقيلة من خامات الحديد أو خام الرصاص .وتجدر الإشارة أن خام الحديد يعطى خرسانة وزنها من 3000 إلى 4000كجم/م3 وقد تستخدم قطع من الحديد كركام وتصل كثافة خرسانتة إلى 5600 كجم/م3. ويستخدم الأسمنت البورتلاندي العادي ولكن يفضل الأسمنت منخفض الحرارة في حالة الخرسانة الكتلية ثقيلة الوزن كما لا يستخدم الأسمنت سريع التصلد أيضاً لا تستخدم إضافات المعجلات أو إضافات الهواء المحبوس وإنما يمكن استخدام الملدنات و المؤجلات.

11.5.2- الخرسانة الكتلية:

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أي خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الاحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من اماهة الأسمنت وما يتبع ذلك من انكماش وتشقق للخرسانة .ويستخدم في الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالي 15 سم كما في الشكل (2-5) .ونظرا لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغي أخذ بعض الاحتياطات الضرورية مثل:

* استخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة.

*إحلال نسبة من 10إلى 20% من الأسمنت بمادة بوزولانية مثل غبار السليكا أو الرماد المتطاير

* استخدام الثلج المجروش بدلا من جزء من ماء الخلط وتسمى هذه العملية بالتبريد

* العزل السطحي للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة، بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها.



الشكل رقم (2-5) خرسانة كتلية.[5]

12.5.2- الخرسانة الخفيفة :

وهي تلك الخرسانة التي تزن اقل من الخرسانة العادية وسوف نري في الفصل القادم شرحا تفصيلياً عن هذه الخرسانة الخفيفة.

الباب الثالث

الخرسانة الخفيفة

1.3 - نبذة تاريخية عن الخرسانة الخفيفة

في أواخر القرن التاسع عشر استطاع أحد العلماء الألمان من إنتاج مادة خرسا نية تمتاز بخفة وزنها وسهولة عملها واعتدال كلفتها إضافة إلي المميزات الأخرى التي امتازت بها وهي قوة تحملها ومقاومتها للحرائق وعدم تأثرها بالعوامل الطبيعية المختلفة، حيث تمكن هذا العالم من الوصول إلي هذه المادة نتيجة التجارب التي أجراها علي مزيج من الاسمنت وبعض الأحماض إلا أنة ظهرت بها بعض العيوب الفنية التي لم تمكنها من تحقيق هدفها ففشلت وجرت بعدها محاولات أخري لعلماء آخرين بذلوا جهودا مستمرة في محاولة الحصول علي الخرسانة المسامية الخفيفة إلي أن تمكن العالم السويدي بريكسون من التوصل عام 1923 الي طريقة جديدة لإنتاج الخرسانة الخفيفة وذلك من مسحوق الألمنيوم مستخدما الضغط الجوي الاعتيادي في تصلبها حيث لم تحقق نتائج جيدة هي الأخرى لكن العالم الألماني تمكن من إنتاج الخرسانة الخفيفة التي لها جميع المزايا التي يجب أن تتميز بها وعن طريق استخدام الألمنيوم والاسمنت ومعاملة الخليط تحت أربعة عشر ضغطا جويا وبدرجة حرارة مقدارها (190درجة مئوية) وقد لاقي الإنتاج إقبالا في معظم الدول الأوربية وذلك لما احتواه هذا الانجاز من مميزات اعطتة القدرة الكافية لمنافسة المواد البنائية والإنشائية الأخرى .[6]

2.3-تعريف الخرسانة الخفيفة:

الخرسانة الخفيفة عبارة عن خليط من عدة مواد وهي الاسمنت والماء كمادتين أساسيتين والركام بنوعية الناعم والخشن الذى غالباً مايكون ركام خفيف بالإضافة لوجود إضافات أخرى تختلف حسب الغرض

المراد استخدامه فيه .وعلية فان الخرسانة الخفيفة التي تكون حاوية علي فجوات داخلية بحيث تؤدى الي الحصول علي كثافة قليلة بالمقارنة مع المواد البنائية الأخرى، وبسبب وجود هذه الفجوات فأنها تتمتع بقابلية العزل الحراري والصوتي مع تميزها بقابلية التحمل للأثقال .كما في الأشكال(3-1)

3.3- أنواع الخرسانة الخفيفة:

من الممكن تخفيض وزن الخرسانة عن طريق واحد أو أكثر من الطرق الآتية:-

1.3.3-أيجاد فراغ بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الرفيعة).

تتكون من الاسمنت والركام الخشن فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو باستعمال تدرج خاص من الركام .إذ أن الركام الخشن يمكن أن يكون زلط أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف، وينحصر تدرج الركام بين 10مم إلي 20مم لاتتعدى نسبة المار من المنخل الصغير 5% وهذا النوع من الخرسانة ذو كثافة الخرسانة التقليدية المصنوعة من نفس الركام . وهذا النوع يحتاج إلى تصميم دقيق وخصوصا بالنسبة لمحتوى الماء.

2.3.3- إيجاد فراغ داخل الركام (خرسانة ركام خفيف).

خرسانة الركام خفيف الوزن هي أكثر أنواع الخرسانات الخفيفة شيوعا واستخداما. إذا يمكن استعمالها كخرسانة إنشائية والركام المستخدم في الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو في أغلب الأحوال ركام صناعي .وصناعة الركام تعتبر أحد أجزاء التصنيع للخرسانة الخفيفة ومن أمثلة الركام الخفيف هي كما هو موضح في الشكل (3-2) الطين ألممدد(الليكا) و الفيرموكليت و الفوم (بوليسترين).



الشكل(أ)



الشكل(ب)



الشكل (ج)



الشكل (د)

الشكل(أ،ب،ج،د) رقم (3-1) مباني منفذة من الخرسانة الخفيفة.[7]



شكل (3-2)أنواع الركام الخفيف .[1]

1.2.3.3-الطين:

وهو صخر رسوبي يتكون من فتات دقيقة جدا يقل قطر حبيباته عن 0.05مم وتركيبه الأساسي سيليكات الألومونيوم المائية.ويصنع الأجر من الطين وهو نوع من الطوب مصنوع أليا، قد يسمي الطوب المحروق،الطوب الأحمر احد أقدم المواد المستخدمة في البناء منذ بداية تاريخ البشرية ،وقد أستخدم قبل عشرة آلاف سنة في البناء نظراً لسهولة أستخدامة وقوة ومتانة تحمله إضافة إلي تواجده في البيئة المجاورة للإنسان مما يجعل تكلفة استخدامه وتصنيعه منخفضة مقارنة مع المواد الأخرى .ويستخدم في إنشاء الجدران والسقوف المقببة وفي تبليط الأرضيات وكسوة السقوف المائلة، وصناعة الأجر من أقدم صناعات مواد البناء المعروفة ،إذ كان الطين يوضع في القالب ، ويجفف في الشمس ،ثم بدأت عملية الطين لصنع الأجر على يد البابليين الذين استخدموه استخداماً واسعاً في أعمال بناء قصورهم ومعابدهم مثال على ذلك برج بابل الشهير. وقد لوحظ عرضيا على أثر بعض الحرائق أن يجعل الأجر المجفف أشد قسوة ، كما ان استعمال الرواسب الطينية التي تصلبت تصلباً شديداً لم يكن ممكناً إلا بعد طحنها باستعمال آلات السحق ،وقد مكن التقدم من تنمية صناعة الأجر على نحو جعل منها اليوم صناعة ذات منتجات متنوعة جداً تدخل في مختلف عناصر البناء ،وفي التغطيات ومجاري المياه.وهو الأكثر استعمالاً في ليبيا.

2.2.3.3- الطوب الأحمر:

تعتمد جودة الطوب الأحمر على ثلاثة عوامل أساسية هي مكونات المواد الكيميائية للأرض الطبيعية المأخوذة منها عجينة الطوب وتجهيز الأرض الطبيعية وخلطها ودرجات الحرق المختلفة في الفرن.

3.2.3.3- مكونات جزيئات الطوب الطيني: -تتكون جزيئات الطوب الطيني من الأتي:

أ)ألومينا :وهي مادة الطين بعد خلطها بالماء تضاف إلى العجينة لتسهل عملية الحرق ،ولكن عندما تجف تتشقق وتعوج.

ب)السيلكا:وهي مادة الرمل ،وبخلطها بمادة الألومنيا تعطي صلابة للطوبة وتمنع التشقق والاعوجاج.

ت) أكسيد الحديد :وهي المادة التي تعطي اللون الأحمر للطوب بعد حرقه.

ج)الكالسيوم :لا يفضل وجود متكلس في عجينة الطوب كمثل وجود الصدف،والقواقع البحرية التي تتحول في عملية حرق الطين إلى جير حي،وعند رش الطوب بالماء للاستعمال تتحول هذه المادة إلى جير مطفئ،والذي يؤدي إلى خاصية مقاومة الطوب.

د)الصوديوم :لا يفضل زيادته في عجينة الطوب لأن ذلك يؤدي إلى تمليحه وتغطية سطحه ببودرة ملح ابيض.

ه)المغنسيوم :يعطي اللون الأصفر للطوب وزيادته يؤدي إلى تمليح الطوب كالصوديوم.

و)مانجنيز :يعطي اللون الأسود للطوب.

ي)بوتاسيوم :مهم في تكوين خلطة الطوب.

3.3.3- الخرسانة المهواة أو الخلوية.

في هذا النوع تتكون فقاعات من الغازات والهواء في وسط الخرسانة وهى في الحالة الطازجة ويظل التركيب مسامي بعد شك الخرسانة والطريقتين الرئيسيتين لإنتاج هذا النوع هما .

أ)إنتاج غازات في الخلطة بتفاعلات كيميائية.

ب)إضافة مواد رغوية للخلطة .

ومن المواد الشائعة المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك بنسبة (0.2% من وزن الاسمنت)وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة ذات تركيب خلوي .

4.3- صناعة الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن.

النوع الأول تصنع من خلط الأسمنت والماء مع ركام خفيف الوزن أوعلي أنواع منها الطبيعي وتشمل(المتحجرات البركانية وغيرها) ومعظمها ذات أصل بركاني .

أ- النوع الثاني من الركام الخفيف الوزن فهو المصنع ويشمل أنواع متعددة منها (الطين المنفوخ **حراريا**) خبث الأفران والرماد المتطاير ،وحيث أظهرت نتائج البحوث نجاح هذا الركام في إنتاج خرسانة خفيفة ذات مقاومة جيدة فاقت في بعض الأحيان مقاومة الخرسانة العادية بالإضافة إلي صفة العزل الحراري الجيد .تتميز الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن والتي استعملت منذ عقود في بعض المناطق في العالم بخفة الوزن الذي بدورة يقلل من حمل المنشأ، والذي يوفر في كلفة أنشاء الأساسات وكذلك تصغير العناصر الإنشائية الذي سيقلل من الكلفة ويزيد من الفضاءات الممكن استعمالها.هذا بالإضافة إلي مقاومتها الجيدة للحريق وقابليتها للعزل الحراري والصوت العالي مقارنة بالخرسانة العادية، ويمكن تصنيف الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن إلي ثلاثة أنواع رئيسية:

1) الخرسانة العزل الحرارى

يستعمل هذا النوع من الخرسانة لإغراض العزل الحراري بالدرجة الأساس وبكثافة قليلة لا تتعدي 800كجم/م3 وهي ذات عزل حراري عالي غير إن مقامتها للضغط قليلة تتراوح بين 0.69-6.89 نيوتن /ملم2 .

2) الخرسانة الخفيفة الوزن الإنشائية

ذات كفاءة من الناحية الإنشائية منتجة باستخدام ركام مصنوع من الطين كما هو موضح بالشكل

(3-3).وأدني تحمل للضغط لها هو 17.24نيوتن/ملم2 وفي الغالب يصل تحملها للضغط إلي مقدار(34– 47 نيوتن /ملم2) وبما ان كثافة الخرسانة الإنشائية تكاد تكون ذات كثافة الخرسانة الخفيفة العازلة لكنها تبقي ذات عزل حراري أفضل من الخرسانة الإنشائية العادية وتتراوح كثافة هذا النوع بين 1760-1600كجم/م3.[2]







الشكل(3-3)الطين المستخدم كركام في هذه الدراسة.

3) **خرسانة الركام الخفيف متوسطة المقاومة.**

وهذه تكون ذات تحمل ضغط بين الخرسانة العازلة (أ)والخرسانة الإنشائية (ب) حيث يكون تحملها للضغط بحدود 6.89-17.24 نيوتن /ملم2 ويكون عزلها الحراري اقل من صنف (أ) وأفضل من صنف (ب).وبما إن صفات الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن من حيث تحملها للضغط وكثافتها وعزلها الحراري تعتمد علي المواد الأولية المستخدمة في صنع الركام الخفيف والتي تختلف من منطقة إلي أخري في العالم،مما يستوجب دراسة خواص الركام المصنع من الناحية الهندسية ومن ثم دراسة الخواص الهندسية للخرسانة التي أستخدم في أنتاجها خاصة تحمل الضغط والكثافة والعزل الحراري والصوتي فقد تم أنتاج أنواع من الخرسانة العازلة ذات الركام الخفيف كثافتها إقل من 800 كجم/م3 وذات عزل حراري جيد و يتحمل ضغط (0.48-5.17 نيوتن/ملم2)[3]. أما في مناطق أخري من العالم تم أنتاج خرسانة ذات تحمل ضغط عالية تنتج باستخدام ركام خفيف مصنوع من الطين ألصفحي المنفوخ حراريا وصل تحملها للضغط أكثر من(59 نيوتن/ملم2) وأكثر وتراوحت كثافتها بين(1650- 1440 كجم/م3) وقام باحثين آخرين بإنتاج قطع خرسا نية من الركام الخفيف المصنوع من الطين ألصفحي المنفوخ حراريا وزنها اقل بمقدار 40% من تلك المصنوعة من الركام العادي.[3]

5.3- صناعة الخرسانة الخلوية:

الخرسانة الخلوية وهي خرسانة خفيفة منخفضة الكثافة بسبب حجم الخلايا والمسامات الهوائية الموزعة فيها والتي يتم إنتاجها عن طريق إضافة مسحوق أو محلول على شكل خليط يتفاعل بوجود الماء ضمن الكتلة الخرسانة الطازجة أثناء عملية الخلط ، ويعتبر مسحوق الألمنيوم المضاف لخلطة الخرسانة من أهم وأكثر المساحيق المستخدمة لإنتاج الخرسانة الخلوية حيث يتم إضافة مسحوق الألمنيوم إلى الإسمنت والرمل والماء في خلاطه مركزية . وبعد المزج مباشرة يتم صب الخليط الذي يكون على شكل عجينة

سائلة في قوالب حسب المقاس المراد في التصميم .ويحدث تفاعل الألمنيوم مع الجير وتتفاعل ألومينات الكالسيوم وغاز الهيدروجين لتكوين الخلايا المسامية في الخرسانة ، كما يمكن إضافة مادة هايدروكسيد الصوديوم للتعجيل في عملية توليد الهيدروجين اللازم لتشكيل الخلايا المسامية . وقد سجل هذا الاختراع في السويد عام 1929م. وتتراوح كثافة الخرسانة الخلوية بين (200 إلى 1400)كجم/م3. وتنقص مقاومة هذا النوع من الخرسانة للكسر . وتزيد موصليتها للحرارة مع زيادة كثافتها . كما يجب معالجتها للحد من امتصاصها للرطوبة .وتتميز الخرسانة الرغوية بعدة مزايا منها:

أ- ذات جدوى اقتصادية عالية وبالذات فيما يخص أنها تقلل وزن المنشأ و كميات حديد التسليح وأبعاد الأساسات وتكلفة نقلها رخيصة وجهد أقل أثناء الصب و قدرة عالية علي العزل الحراري و توفير الطاقة في التدفئة والتبريد.

ب-ذات إنتاجية عالية إذ من السهل رفع الإنتاجية باستخدام عمالة قليلة حيث أن الخرسانة الرغوية لا تحتاج لمعدات إضافية.

ج-سهلة الاستخدام والتشكيل وذلك لانسيابيتها وقابليتها العالية للتشغيل مما يسهل دخولها بين الفتحات دون عناء.حيث من الممكن صبها في قوالب وأشكال مختلفة وأيضا يمكن ضخها بدون حدوث انفصال حبيبي .

6.3- مكونات الخرسانة الخفيفة:-

1.6.3- الاسمنت:- هو عبارة عن مادة سهلة التداول والتشكل عند خلطها وبعد إضافة الركام والماء تتكون الخرسانة وتكون عجينة الاسمنت المادة اللاحمة ويمكن أن تأخذ الخرسانة أي شكل عن طريق وضعها في قوالب حسب الشكل والحجم المطلوب .ويعرف الاسمنت علي انه تلك المادة الناعمة الداكنة اللون ويتكون الاسمنت من ثلاث مواد خام أساسية وهى كربونات الكالسيوم الموجودة في الحجر الكلسي و

السليكا الموجودة في الطين والرمل والألو منيا (أكسيد الألمنيوم).علي إن تكون هذه المواد مخلوطة خلطا جيدا قبل عملية الحرق .والجدول (3-1) يبين نسب مركبات الاسمنت البورتلاندي العادي .[6]

جدول (3-1) يبين نسب مركبات الاسمنت البورتلاندي العادي .[5]

اسم المركب	الرمز	النسبة%
سيليكات الكالسيوم الثلاثية	3Cao.SoO2	65-42
سيليكات الكالسيوم الثنائية	2Cao.al2o3	50-5
ألومنيات الكالسيوم الثلاثية	3Cao.Al2o3	15-2
ألومنيات و حديدات الكالسيوم الرباعية	4Cao.al2o3fFe2o3	25-10

1.1.6.3-أنواع الأسمنت:-

ينقسم الاسمنت البورتلاندي إلي ثمانية أنواع تبعا للموصفات الأمريكية (ASTM C150) والجدول (3-2) يبين ذلك:

2.1.6.3-خواص واختبارات الأسمنت:

يجرى علي الأسمنت العديد من التجارب والاختبارات لتحديد صفاته والتأكد من جودته ومطابقته للمواصفات ومن أهم هذه التجارب.

أ- نعومة الاسمنت

ب- فحص القوام القياسي للعجينة الإسمنتية

ت- زمن الشك الابتدائي و النهائي

أ- التحليل الكيماوي للاسمنت

ب- ثبات الاسمنت

د- مقاومة الاسمنت للضغط المباشر

و- مقاومة الاسمنت للشد المباشر

ي- فحص الانثناء

جدول (3-2)أنواع الأسمنت البورتلاندي

ر.م	نوع الاسمنت	الاستعمالات
1	نوع I	اسمنت بورتلندي عادي في الظروف العادية عند عدم الاحتياج إلي موصفات خاصة.
2	نوعI A	أسمنت يوفر الهواء المحبوس ويستعمل في الظروف العادية كما في نوع .
3	نوع II	أسمنت محسن ويستعمل في الظروف التي تتطلب مقاومة للكبريتات وتحكم في حرارة الإماهة .
4	نوعIII A	أسمنت يوفر الهواء المحبوس مع مقاومة الكبريتات .
5	نوع III	أسمنت سريع التصلب ويستعمل للحصول علي مقاومة عالية وسريعة.
6	نوعِIII A	أسمنت يوفر الهواء المحبوس مع مقاومة عالية وسريعة
7	نوع IV	أسمنت منخفض الحرارة ويستعمل في الظروف التي تتطلب تخفيضا لحرارة الاماهة.
8	نوع V	أسمنت ذو مقاومة عالية للكبريتات .

2.6.3- الركام (الخشن و الناعم) :-

يطلق اسم الركام علي تلك الحبيبات التي تكون بصورة عامة متدرجة في الحجم في حبيبات من كسر الصخور.ويمكن تقسيم ركام الخرسانة إلي مجموعتين :-

أ-الركام الناعم (الرمل):-

هو مجموعة الحبيبات التي يمر معظمها (95-100%) من المنخل القياسي(4.75 ملم) و لايزيد ما يحتجز منها علي هذا المنخل عن النسب المسموح بها في حدود التدرج المذكورة في المواصفات القياسية .

ب- الركام الخشن:-

هو مجموعة من الحبيبات التي يحتجز معظمها (95 – 100 %) من المنخل القياسي (4.75 ملم) ولا يزيد ما يمر منها من هذا المنخل عن النسب المسموح بها في حدود التدرج المذكورة في المواصفات القياسية .

1.2.6.3- مهام الركام:-

أ-ان يكون الركام جسم الخرسانة الذي يستطيع إن يقاوم الأحمال التي تتعرض لها من عوامل الاحتكاك وبفعل العوامل الجوية المختلفة من حرارة وبرودة وجفاف وبلل .

ب-يعتبر الركام نسبيا مادة رخيصة لتكوين جسم الخرسانة مع المادة اللاحمة .

2.2.6.3- الصفات الواجب توفرها في الركام:-

*يجب أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب و الصفات.

*يجب أن تكون حبيبات الركام ذات وزن نوعى منخفض.

*يجب أن تكون حبيبات الركام ذات مقاومة مناسبة (عامل مؤثر على مقاومة الخرسانة).

*يجب أن تكون حبيبات الركام ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الاسمنت.

*يجب أن تكون حبيبات الركام ذات مقامة جيد للعوامل الجوية .

*يجب أن تحتوى الحبيبات على اكبر عدد ممكن من الفراغات الداخلية الصغيرة المنفصلة وعلى اقل عدد ممكن من الفراغات الكبيرة المتصلة.

3.7.3- الماء:-

يعتبر الماء ارخص المواد المستخدمة في تصنيع الخرسانة ولكن أهميته في تحديد مقاومة الخرسانة كبيرة جدا ويجب إن يكون الماء المستخدم في الخلطة الخرسانية نظيف وخالي من المواد الضارة مثل (الزيت ،الأحماض ،القلويات ،الأملاح ،والمواد الأخرى) التي قد يكون تأثيرها متلفا للخرسانة أو إلي حديد التسليح .ومن أهم خواص الماء المستعمل في الخرسانة أن يكون الماء المستعمل في خلط ومعالجة الخرسانة خاليا من المواد الضارة سواء كانت المواد عالقة أو ذائبة لما لها من تأثير عكسي علي الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة .

4.6.3- الإضافات:-

المضافات هي عبارة عن مواد أو تراكيب من عدة مواد تضاف للخرسانة أثناء الخلط لتحسين خاصية أو أكثر من خواص الخلطة الخرسانية، وإكسابها ميزات جديدة تتناسب مع الأغراض والمتطلبات لها سواء كان تجهيزها بواسطة محطات الخلط المركزية أو مصانع الخرسانة المسبقة الإجهاد أو الخلط ألموقعي.هذا وقد وتطور استخدام المضافات فأدخلت في صناعة الطوب والبلاط لتقليل الهالك أو للحصول على نوعيات ذات مقاومة عالية.

7.3- المقاومة التصميمية للخرسانة الرغوية:

تعتمد قوة الخرسانة على التصميم المطلوب تنفيذه ويعود ذلك إلى الكثافة المطلوبة حسب الجدول (3-3).

جدول (3-3).[7]

نوع الخرسانة الرغوية	الكثافة	بعد 28 يوم قوة الضغط (Mpa) للاسطوانة
العزل الحراري للبناء	700	5
العزل الحراري للبناء	1000	10
لأغراض البناء كالاساسات	1100	14
لأغراض البناءالاخرى	1200	17

8.3- مواصفات الخرسانة الرغوية:-هي شكل من إشكال الخرسانة ،خفيفة الوزن،كثافتها أقل من كثافة الخرسانة العادية ، كثافتها بين 200إلي 1800كجم/م3.للخرسانة الرغوية قدرة عالية علي العزل الحراري وأيضاً خفة وزنها و قلة كثافتها يؤثرون بشكل إيجابي علي التكلفة الإجمالية للخرسانة الرغوية.أنظر الجدول (3-4).

9.3- أهمية الخرسانة الخفيفة:

تتمثل أهمية الخرسانة الخفيفة في عدة نقاط منها سهولة التنفيذ وتقليل عدد العمالة والعزل الحراري ومقاومة الحريق وتقليل وزن المباني وخفض نسبة تكلفة الهيكل الخرساني .

10.3- استعمالات الخرسانة الخفيفة في البناء

تستعمل الخرسانة الخفيفة في المجالات التالية :-

*تصب موقعيا في وحدات البناء الاقتصادية من الشقق والدور السكنية والأبنية المتكونة من طابق واحد ، وفي عمل الألواح والقواطع للجدران بإبعاد مختلفة . إما جاهز أو صب موقعي وفي السطوح وألواح السقوف و في العزل الصوتي و في كافة أنواع الأعمال العازلة بضمنها الجدران المجوفة

*في بناء المصانع الجاهزة وألواح البناء البيتية الداخلية والخارجية و في تبليط ساحات اللعب وساحات التنس.

جدول (3-4) مواصفات الخرسانة الرغوية.[7]

300-500كغم	أسمنت ومادة رغوة فقط	الخرسانة تستخدم لأغراض العزل فقط،مثل عزل الحرارة والصوت وتصب على أماكن صلبة فقط أو في فراغات مخصصة للعزل.
600-900كغم	أسمنت ورمل ومادة رغوة	تستخدم لعمل سواتر أو قواطع داخلية أو لعمل أسقف مستعارة أو لأي أشكال ديكور في تصميم المبني وأيضا تستخدم عوازل صوت وحرارة للمباني التجارية التي تقع علي طرقات عامة مزعجة.
1200-1000كغم	أسمنت ورمل ومادة رغوة	تستخدم للحوائط الخارجية للمباني العالية لخفة وزنها وكذلك سهولة تشكيلها بتصاميم مختلفة وقوة تحملها أيضا ،كما أنه يمكن استخدامها لأسقف المباني.
1600-1200كغم	أسمنت ورمل ومادة رغوة	تستخدم لأغراض البناء كافة ويمكن إقامة مباني متعددة الأدوار،منخفضة التكلفة إلي ارتفاع أربعة أدوار. كما يمكن عمل ألواح مسبقة الصب لنفس الغرض يظل صفة العزل للحرارة والصوت متوفرة لهذه الكثافة.

الباب الرابع

التجارب المعملية

1.4 - المقدمة:-

نظراً لا استخدام الخرسانة الخفيفة في الأعمال الإنشائية وتوسع الأبحاث الخاصة بها وخاصة في مجال تقنية الخرسانة.وسعياً إلي وضع انطلاقة لاستعمال الخرسانة الخفيفة محلياً كان لا بد من إجراء تجارب معملية لهذه الخرسانة .وقد ثم إجراء اختبار مقاومة الضغط و اختبار الامتصاص علي العينات لبيان مدى تأثير المتغيرات والإضافات على الخرسانة وقد كانت المتغيرات في هذه الدراسة هي استبدال الركام العادي بالركام الخفيف وإضافة مادة مسحوق الألمنيوم.

2.4 - دراسة خواص المواد المستخدمة :

تتكون خلطة الخرسانة الخفيفة في هذه الدراسة من الأسمنت والركام الخفيف والركام الناعم ومادة مسحوق الألمنيوم والماء.

3.4-الأسمنت:

يعتبر الأسمنت واحداً من أهم المواد الإنشائية التي تعمل علي ربط مكونات خلطة الخرسانة الخفيفة .حيث تم استخدام الاسمنت البورتلاندى العادي من مصنع البرج للأسمنت (زليتن) طبقاً للمواصفات البريطانية (BS 812-1992) في جميع الخلطات التجريبية وكما هو موضح بالجدول (4-1)

جدول(4-1) الخواص الفيزوميكانيكية للأسمنت البورتلاندي العادي المقاسة في المعمل.

الاختبارات	نتيجة الاختبار	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
نسبة الماء اللازمة لتحضير عجينة إسمنتية ذات قوام قياسي	%27.5	%32-27
زمن الشك الابتدائي	دقيقة : ساعة 2:16	لا يقل 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	دقيقة ساعة 4:36	لا يزيد عن 10ساعات
ثبات الحجم	0.33مم	لا يزيد عن 10مم
مقاومة الضغط بعد 3 أيام	16.2نيوتن/متر2	لا تقل عن 21نيوتن/متر2
مقاومة الضغط بعد 28يوم	23.6نيوتن/متر2	لا تقل عن 39 نيوتن /متر2

4.4- الركام

1.4.4-الركام الناعم:

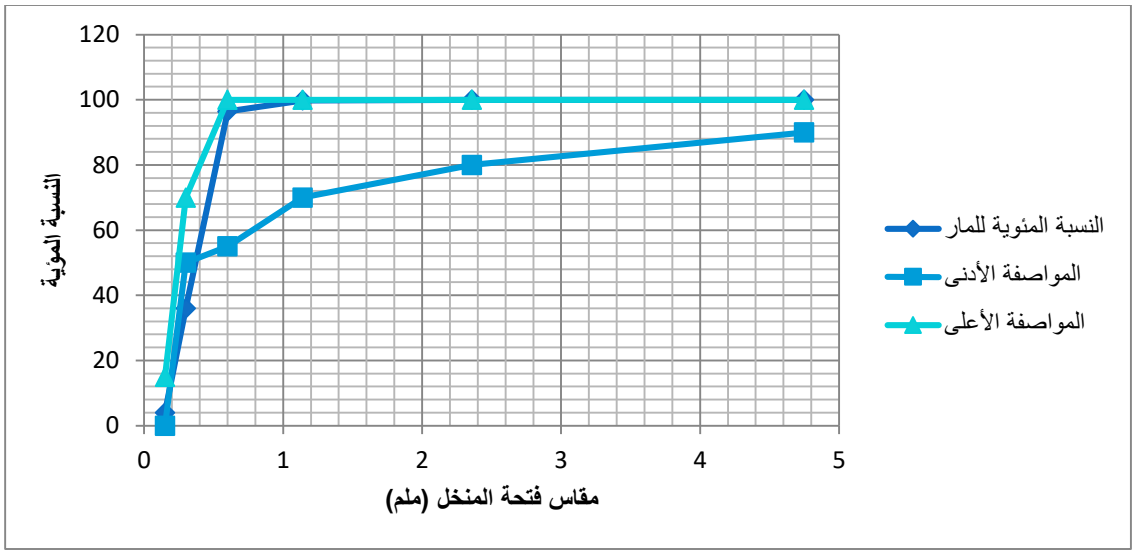
الركام الناعم الذى تم استخدامه في إعداد الخلطات الخرسانية الخفيفة هو عبارة عن رمل طبيعي وجاف وهو نظيف خالي من الشوائب ولا يحتوى على مواد ضارة بالخرسانة. ومورد محلى من مدينة (العجيلات).علماً بأن الركام الناعم له تأثير مهم علي خواص الخلطة الخرسانية وعلي الأخص مقاومة الضغط. وقدأجريت عليه اختبارات التحليل المنخلي للركام الناعم ويبين منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم و الحدود حسب المواصفات البريطانية (BS 812 -1992) كما هو موضح بالجدول(4-2)، (4-2) والشكل (4-1).

الجدول(4- 2) يبن الخواص الفيزيائية للركام الناعم (الرمل).

الاختبارات	نتيجة الاختبار	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
الوزن النوعي	2.64	2.6-2.7
وزن وحدة الحجوم	1743كجم/م3	1400-1800كجم/م3

الجدول (4- 3) يبين التحليل المنخلي للركام الناعم.

تسلسل	قطر المنخل (ملم)	نسبة المار %	الحدود المسموح بها حسب المواصفات الليبية (رقم251 /2002)
1	4.75	100	100-90
2	2.36	100	100-80
3	1.16	99.8	100-70
4	0.6	96.4	100-55
5	0.3	36	70-50
6	0.15	4	15-0



الشكل(4-1) التدرج الحبيبي للركام الناعم.

2.2.2.4 - الركام الخشن:

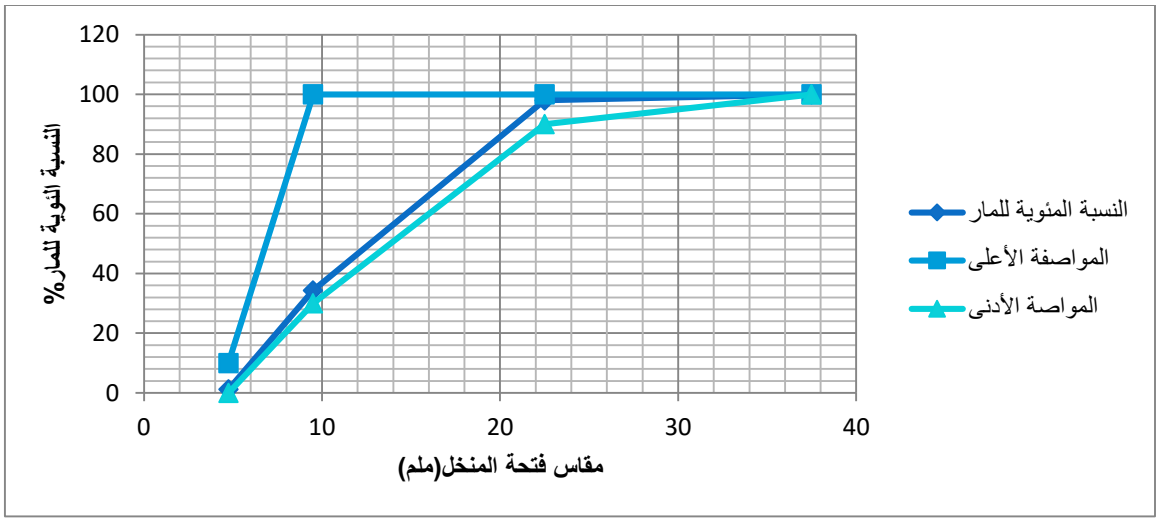
اختيار الركام والسيطرة علي تدرجه عامل مهم يؤثر في جودة وخواص الخرسانة الخفيفة حيث يعتبر الركام الخشن ذو أهمية كبيرة في الخرسانة ويؤثر بشكل كبير علي مقاومة الضغط . الركام المستخدم تم جلبة من أحد محاجر مدينة (العجيلات) ذو شكل غير منتظم وهو ركام خالي من الشوائب والطين والطمي التي تعمل علي إضعاف التماسك بين العجينة الأسمنتية **والركام**. وقد أجريت عليه التجارب المعملية حسب المواصفات البريطانية (BS 812-1992) .كما هو موضح بالجداول رقم (4-4) والشكل رقم (4-5)،(4-5) والشكل رقم (4-2).

جدول(4-4) نتائج الاختبارات الفيزيائية و المكانيكية للركام الخشن .

الاختبارات	النتائج	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
الوزن النوعي	2.6	الحد الأقصى 2.7
نسبة الامتصاص	%2.67	الحد الأقصى 3%
وزن وحدة الحجوم	1492كجم/م3	1400-1800كجم/م3

الجدول (4-5) يوضح التحليل المنخلي للركام الخشن .

قطر المنخل (ملم)	النسبة المئوية المتبقية	النسبة المئوية للمار %	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
37.5	0	100	100
22.5	*2*	*98*	*100-90*
9.5	*65.67*	*34.33*	*100-30*
4.75	*98.84*	*1.16*	*10-0*



الشكل (4-2) التدرج الحبيبي للركام الخشن.

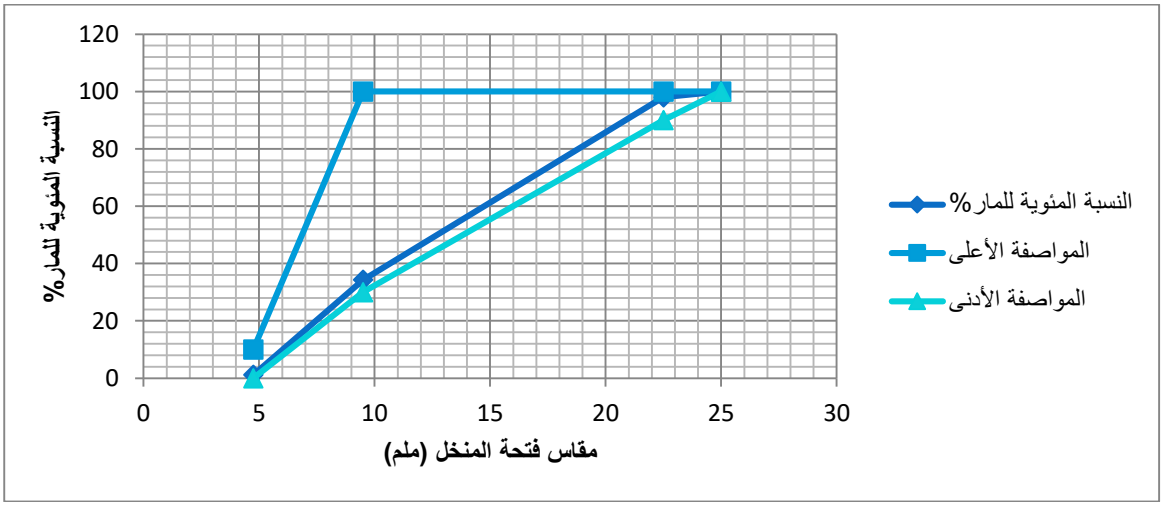
3.4.4- الركام الخفيف المصنع يدوياً:

لقد ثم تصنيع الركام الخفيف يدوياً، حيث تم توريد الطين من جبال مدينة(غريان) وهى طين ذات لون احمر وتم تنقيع الطين في الماء لمدة يومين ،بعد ذلك ثم أخراجه من الماء ليجف لمدة يومين وبعدها ثم

تدويره يدوياً حتى أصبح شبه دائري تقريباً وبعد ذلك نشر ليجف لمدة يومين وبعدها تم إدخاله في فرن درجة حرارته تصل ما بين (1000-1100) درجة مئوية لمدة أربعة ساعات وترك ليبرد وبعدها تم الاحتفاظ به بعيدا عن الرطوبة. و لغرض التأكد من مطابقته للمواصفات القياسية العالمية ثم فحص الركام كما هو موضح بالجداول رقم (4-6)، (4-7)،(4-8) والشكلين رقم (4-3)،(4-4) .

الجدول رقم (4-6) وزن حبيبات الطين قبل وبعد وضعها في الفرن.

وزن حبة الطين قبل وضعة في الفرن(جم)	وزن حبة الطين بعد وضعة في الفرن(جم)
1.642	*1.327*
1.453	*1.169*



الشكل (4-4)التدرج الحبيبي للركام الخفيف المصنع.

الجدول رقم (4-7)نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخفيف.

الاختبارات	النتائج	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
الوزن النوعي	1.96	الحد الأقصى 2
نسبة الامتصاص	%2.9	الحد الأقصى 3%
وزن وحدة الحجوم	1610كجم/م3	1400-1800كجم/م3

الجدول (4-8)التحليل المنخلي للركام الخفيف المصنع .

قطر المنخل (ملم)	النسبة المئوية المتبقية	النسبة المئوية للمار%	المواصفات البريطانية (BS 812-1992)
25	*0*	*100*	*100*
19	*2*	*98*	*100-90*
10	*65.67*	*34.33*	*100-30*
10	*98.84*	*1.16*	*10-0*

5.4-الماء:

أي مياه طبيعية صالحة للشرب وليس لها طعم أو رائحة وخالية من الأملاح والمواد العضوية يمكن استخدامها كماء خلط للخرسانة وعلي أية حال فأن المياه غير الملائمة للشرب قد تكون مناسبة لاستخدامها

في الخرسانة. وفي هذه الدراسة تم استخدام مياه نقية في خلطة الخرسانة الخفيفة و كان التحليل الكيميائي لها كما هو موضح في الجدول رقم (4-9).

6-4-تحديد نسب مكونات الخلطة:

من خلال هذه الدراسة المعملية التي تم أجراؤها علي الخرسانة الخفيفة أبنداء من التعرف على مميزات وخواص هذه التقنية إلي عمل خلطات تجريبية من الخرسانة الخفيفة .حيث ثم تصميمها باستخدام مفاهيم نسب الخلط للمواد المحلية ودراسة خواصها.

الجدول رقم (4-9)نتيجة التحليل الكيميائي للماء المستخدم.

الأختبار	النتيجة (ملليجرام/لتر)
كبريتات	37
كلوريد	28.4
مجموع الأملاح المذابة	100
الأس الهيدروجين	7.3

7.4- المعدات المستعملة:

تم استخدم الأجهزة الموجودة في معمل الخرسانة كلية الهندسة صبراتة - قسم الهندسة المدنية وهى كالأتي:-

1-الميزان:- تم استخدام الميزان الكهربائي كما في الشكل رقم (4- 4)

2- المخبار المدرج: - تم استخدام مخبار مدرج سعته 1 لتر كما في الشكل (5 - 4)

3- القوالب المكعبة تم استخدام مكعبات قياسية أبعادها (100 *100*100 ملم) كما في الشكل رقم

.(6 -4)

4- جهاز قياس مقاومة الضغط:تم استخدام آلة ضغط هيدروليكي لتعين مقاومة الضغط للعينات كما في الشكل رقم (4-7).

5- فرن كهربائي :ثم استخدام فرن كهربائي تصل حرارته بين (1000- 1100درجة مئوية) كما هو موضح بالشكل (4-8).



الشكل(4-4) الميزان الكهربائي



الشكل (4- 5) مخبار مدرج



الشكل (5-5) مكعبات



الشكل(4-7) آلة ضغط هيدروليكي



الشكل رقم (4-8) فرن كهربائي

8.4- الخلطات الخرسانية:

تم استخدام أوزان خلط مختلفة اعتمادا علي الخلطات التجريبية من أجل تحقيق الخواص المطلوبة اعتمادا علي تغير وزن الركام ومن خلال نتائج هذه الخلطات الخرسانية التجريبية تم تحديد هذه الخلطات لدراسة المتغيرات المذكورة سابقاً. كما أستخدم الركام الخفيف المصنع في هذه الدراسة عند نفس الوزن . أما في الخلطة الثانية فقد ثم خلط أسمنت ورمل وماء في الخطوة الأولة و في الخطوة الثانية فقد ثم إضافة مسحوق الألمنيوم واستخدام نوع من القوالب الحديدية مكعبة الشكل مقاس (100*100*100ملم) لأجراء فحص مقاومة الضغط وتحديد الكثافة وتعيين نسبة الامتصاص للخلطات.

9.4- إعداد المواد اللازمة لخلط الخرسانة:-

أ. تم غمر الركام الخشن بالماء لمدة يوم كامل ، ثم أخراج و جفا ف سطحه الخارجي .

ب. توزن المواد اللازمة لأعداد خلطة خرسانية .

10.4- طريقة خلط وصب الخرسانة:-

أ) الخلطة الخرسانية الأولي:

ثم تحضير المواد بنسبها الحجمية و أتبعت طريقة الخلط الاعتيادية المستعملة مع الركام خفيف الوزن والتي تعتبر الأسهل من الناحية العملية والأحسن في أعطاء الخواص المفضلة للخرسانة من حيث الكثافة حيث ثم البدء أولاً بخلط الركام مع نصف ماء الخلط لمدة دقيقة واحدة ثم يضاف الأسمنت وباقي ماء الخلط إلي الركام ويخلط لمدة دقيقتين إضافيتين وأجريت بعد ذلك عملية الخلط باستخدام المزج اليدوي لحين الحصول علي خلطة خرسانية لدنة متماسكة وبدون انسيابية مفرطة .وبعد الانتهاء من عملية الخلط

تم صب الخرسانة في القوالب المعدنية بعد طلاء الجدران الداخلية لها بالدهان وتم صب الخرسانة علي مرحلتين ثم أجريت عملية الرص وبعد أتمام عملية الصب جري تسوية السطح الخارجي للنماذج بشكل جيد حيث قد ثم أعداد 135مكعب كما هو موضح بالشكل (4-9)



الشكل (4-9) مكعبات الخلطةالأولي.

جدول(4- 10) أوزان المواد اللازمة لخلطة الخرسانة الأولى .

خلطة	وزن الأسمنت (كجم)	وزن الماء(لتر)	وزن الركام الخشن(كجم)	وزن الركام الناعم(كجم)
(ركام اعتيادي)	7	3	10 ○	7
(ركام خفيف)	7	3	10 ●	7

- ○ في الركام الاعتيادى تم صب ثمانية مكعبات.
- ● في الركام الخفيف تم صب ستة مكعبات

ب)الخلطة الخرسانية الثانية :

تحضر الكميات اللازمة لعمل مونه أسمنتية حيث كانت كمية الأسمنت (2 كجم) بينما كانت كمية الرمل (4 كجم) و يعد قالب الاختبار كما هو موضح بالجدول (4-11) .ثم يخلط الأسمنت مع الرمل علي سطح مستوى غير مسامي لمدة دقيقة واحدة ثم يضاف الماء والتي تساوي كميتة(2.5 لتر) وتخلط المونه خلطا جيدا لمدة أربعة دقائق وبعد خلطها مباشرةً تصب في قوالب الاختبار.

تتبع نفس الخطوة السابقة إلا أنة هنا يتم إضافة (150جم) من الجير و إضافة مسحوق الألمنيوم إلي جزء من كمية الماء الدافئ اللازم للخلطة ويوضع جانباً ويتم خلط بقية المكونات جيداً باستثناء الألمنيوم الذي يجب أن يضاف في النهاية أي قبل عملية الصب بقليل حتى لا يضيع الغاز المتولد أثناء عملية التحريك قبل الصب والذي يجب الاستفادة منة بعد الصب في القالب لتوليد المسامات التي من خلالها

يتضاعف الحجم و نحصل علي خفة الوزن ،حيث قد ثم أعداد 81 مكعب كما في الشكل (4 -10)

جدول(4-11) وزن مواد الخلط بالنسبة لخلطة الخرسانية الثانية

الخلطة	وزن الأسمنت(كجم)	وزن الرمل(كجم)	وزن الماء(لتر)	وزن الجير(جم)	وزن الألمنيوم(جم)
الأولة	2	4	2.5	0	0
الثانية	2	4	2.5	150	4
الثالثة	2	4	2.5	150	8



الشكل (4-10) مكعبات الخلطة الثانية.

11.4-عملية المعالجة

تم معالجة المكعبات وذلك بفتح القوالب بعد يوم واحد من صبها وذلك بغمرها بالماء . وتم تعريض المكعبات إلي ظروف اقرب للواقع العملي من حيث درجات الحرارة.

12.4-الاختبارات التي أجريت علي الخرسانة الخفيفة:

حيث تمث الاختبارات بعد سبعة أيام وثمانية وعشرين يوماً.

1.12.4-- اختبار الكثافة:

تعرف الكثافة الجافة بأنها الوزن الجاف للمواد الصلبة لوحدة الحجوم للمواد وتعتمد علي المحتوي المائي ،ويتم تحديد الكثافة الجافة للخرسانة الخفيفة بمعرفة الكثافة الرطبة ونسبة المحتوى المائي لها باستخدام العلاقة :

$$(\gamma d) = \frac{\gamma\omega}{\left(\frac{\omega}{100}\right) + 1}$$

حيث أن :

(γd): الكثافة الجافة للخرسانة الخفيفة (كجم/م3) .

$(\gamma\omega)$: الكثافة الرطبة للخرسانة الخفيفة (كجم/م3).

(ω) : المحتوى المائي للخلطة

2.12.4 - اختبار نسبة الامتصاص :

يتم عمل اختبار الامتصاص للعينات المتمثلة في المكعبات بعد عملية المعالجة لمدة 28 يوماً طبقا للمواصفات البريطانية حيث يثم تجفيف العينات المستخرجة في فرن درجة حرارته 150 درجة مئوية لمدة 72ساعة ويسجل وزن العينة ،ثم توضع في حوض الماء لمدة 24 ساعة وبعد ذلك تخرج العينات ويجفف سطحها الخاجي بقطعة قماش ويتم وزن العينة وتحسب نسبة الامتصاص من العلاقة :

$$\text{نسبة الامتصاص} = [(\text{و}_1 - \text{و}_2) \div \text{و}_1] \times 100$$

حيث :- و_1 :هي وزن العينة مبللة . و_2 :هي وزن العينة المجففة .

3.12.4- اختبار مقاومة الضغط :

يعتبر اختبارمقاومة الضغط من أهم الاختبارات التي تجري علي الخرسانة المتصلبة الخفيفة وهى تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ، حيث أن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد و الانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح .لذلك يجرى اختبار الضغط بغرض التحكم في جودة إنتاج الخرسانة.

13.4-العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط.

- تتأثر مقاومة الضغط بأربعة عوامل رئيسية هي:

1. المواد المكونة ونسب الخلط .
2. طرق صناعة الخرسانة من خلط ونقل وصب ودمك.
3. ظروف المعالجة .
4. العمر وظروف الاختبار .

ولقد تم أجراء هذا الاختبار علي العينات المكعبة التي تم خلطها عمليا بهدف تحديد أجهاد الضغط للخرسانة الخفيفة .وفي هذه الدراسة تم اختبار العينات بتسليط الحمل علي العينة تدريجياً حتى تنهار بتأثير الحمل النهائي .وقد تم أجراء هذا الاختبار علي ثلاث عينات من كل خلطة ويتم حساب مقاومة الضغط للقالب الخراساني من العلاقة التالية:

$$\text{مقاومة الضغط} = \frac{p}{A}$$

حيث أن : حمل الكسر (نيوتن) (p)= المساحة السطحية للعينة (مم2)= (A)

الشكل (4- 11) لعينة مكعبة من الخرسانة الخفيفة خلال إجراء اختبار مقاومة الضغط.



شكل (4-11) المكعب في آلة الضغط.

الباب الخامس

عرض ومناقشة النتائج

1.5-عرض النتـــــــائج

في هذا البند يثم تقديم نتائج الاختبارات المعملية لكل من الوزن والمقاومة والامتصاص على شكل جداول ورسومات بهدف المقارنة والاستنتاج كما يلي:-

جدول (5-1) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة بعد مرور 7 أيام (ركام عادى)

العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	2048.5	34.42	2.503
الثانية	2114.5	33.38	2.422
الثالثة	1998.5	37.87	2.695

جدول (5-2) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة بعد مرور 7 أيام (ركام خفيف)

العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	1689.5	22.58	7.488
الثانية	1685.5	25.4	6.425
الثالثة	1574.5	29.3	6.162

جدول (5-3) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة بعد مرور 28 يوم (ركام عادى)

العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	2122.5	44.7	5.229
الثانية	2103.5	48.7	5.277
الثالثة	2081	39.1	5.334

جدول (5-4) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة بعد مرور 28 يوم (ركام خفيف)

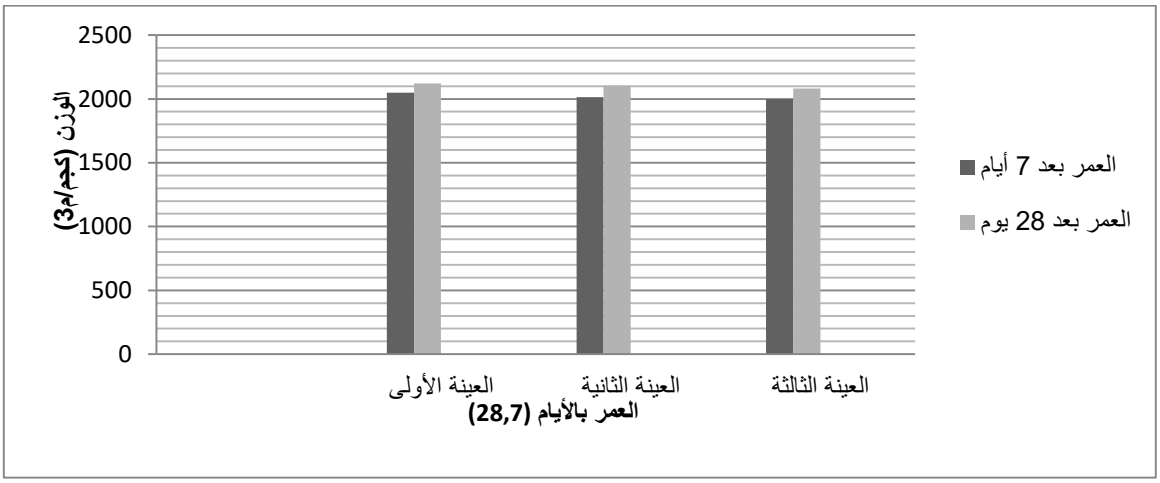
العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	1698	38.2	4.920
الثانية	1690	38.4	4.697
الثالثة	1666	37.9	4.926

جدول(5-5) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة (مونه + الألمنيوم) بعد مرور7 أيام

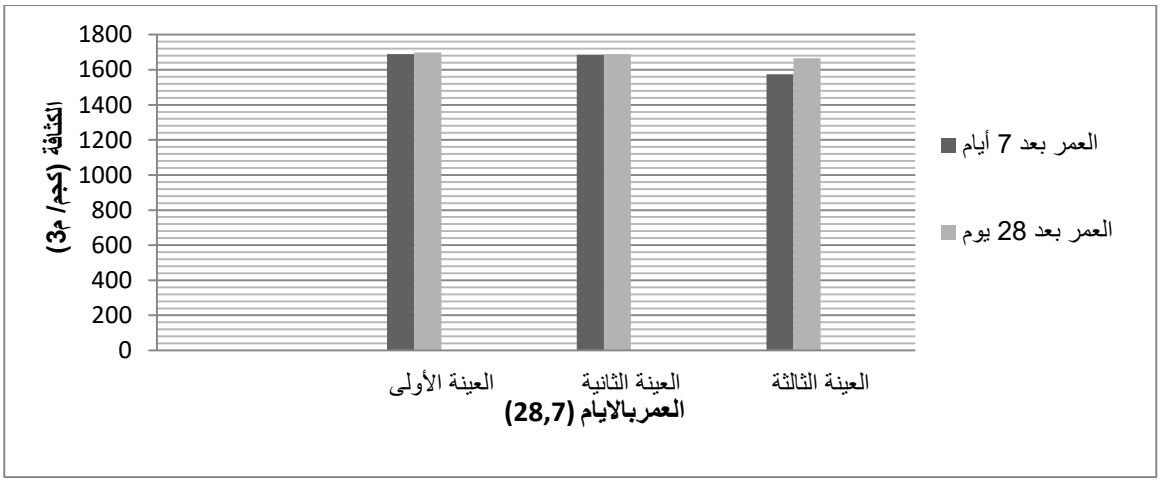
العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	1929	6.4	9.5
الثانية	1871	7.3	8.1
الثالثة	1509	9.4	7.638

جدول(5-6) نتائج متوسط ثلاث مكعبات لخلطة (مونه + الألمنيوم) بعد مرور 28 يوم

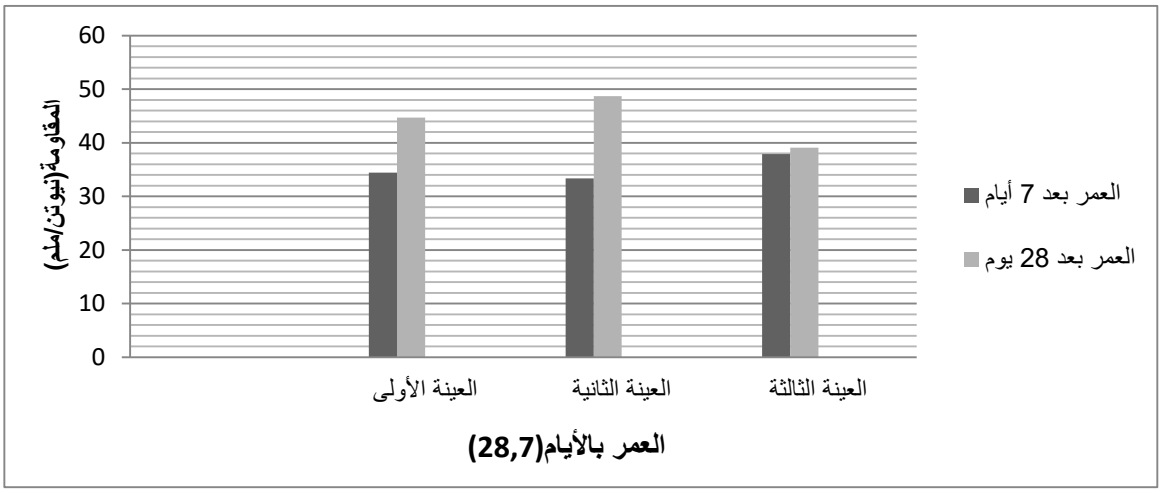
العينة	الكثافة (كجم/مم3)	المقاومة (نيوتن/ملم2) للمكعب	الامتصاص %
الأولة	1791	6.7	10
الثانية	1678.5	12	9
الثالثة	1617	22	8



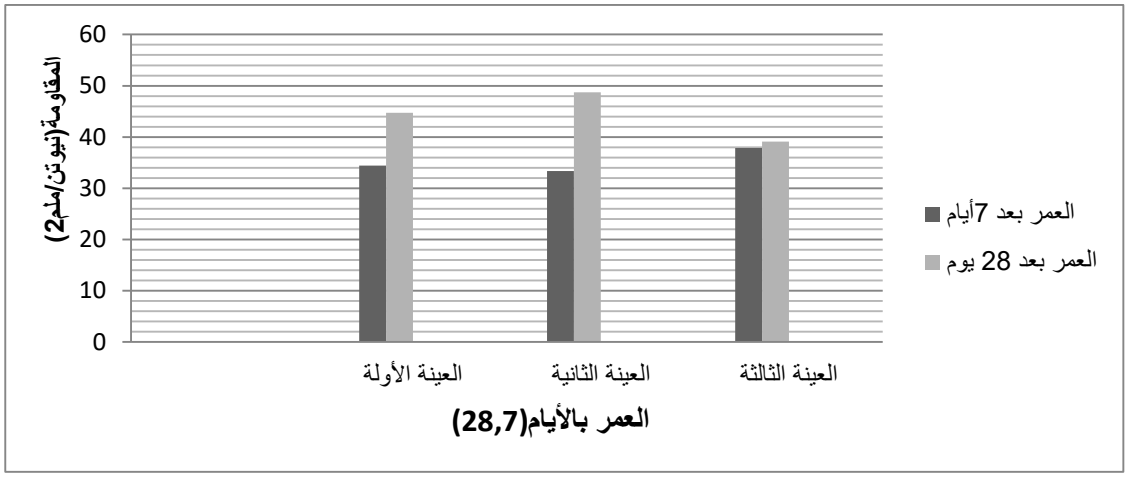
الشكل(5-1) العلاقة بين العمر والكثافة لخرسانة الركام العادي.



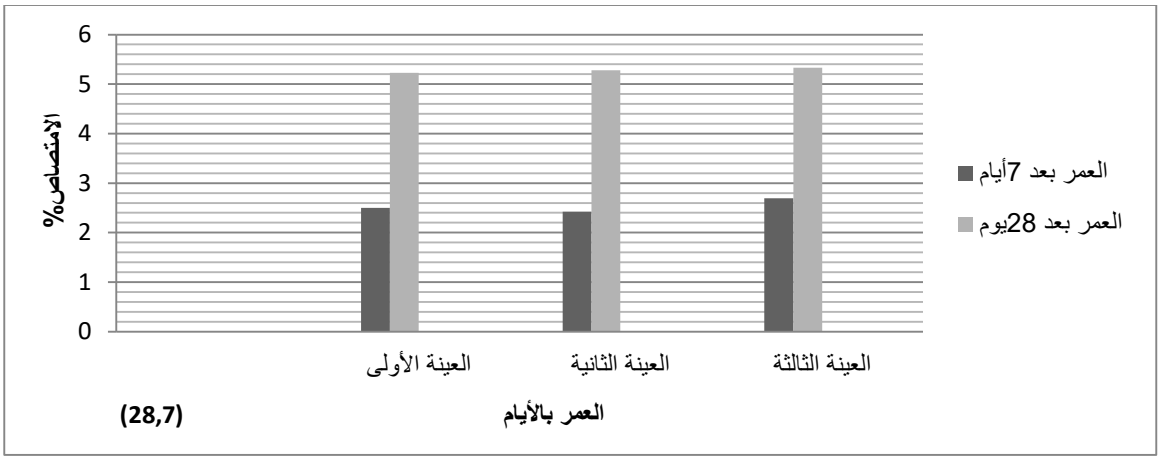
الشكل (5-2) العلاقة بين العمر والكثافة لخرسانة الركام الخفيف.



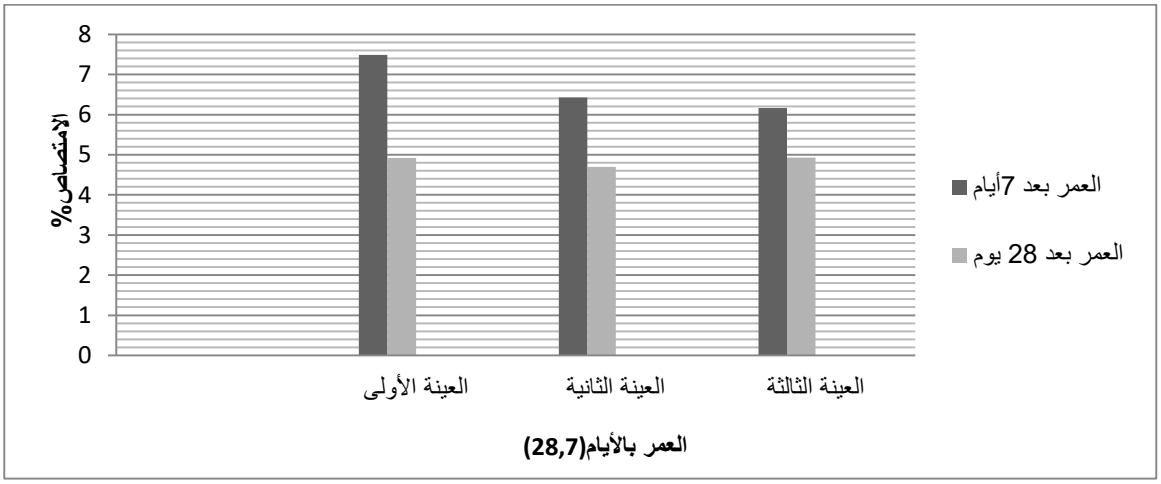
الشكل (5-3) العلاقة بين العمر والمقاومة لخرسانة الركام العادي



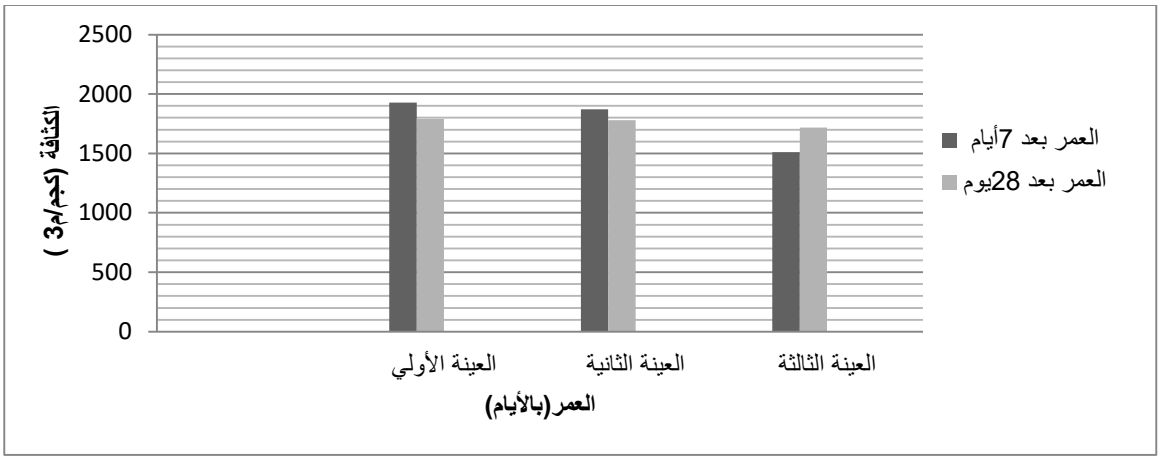
الشكل (5-4) العلاقة بين العمر والمقاومة لخرسانة الركام الخفيف.



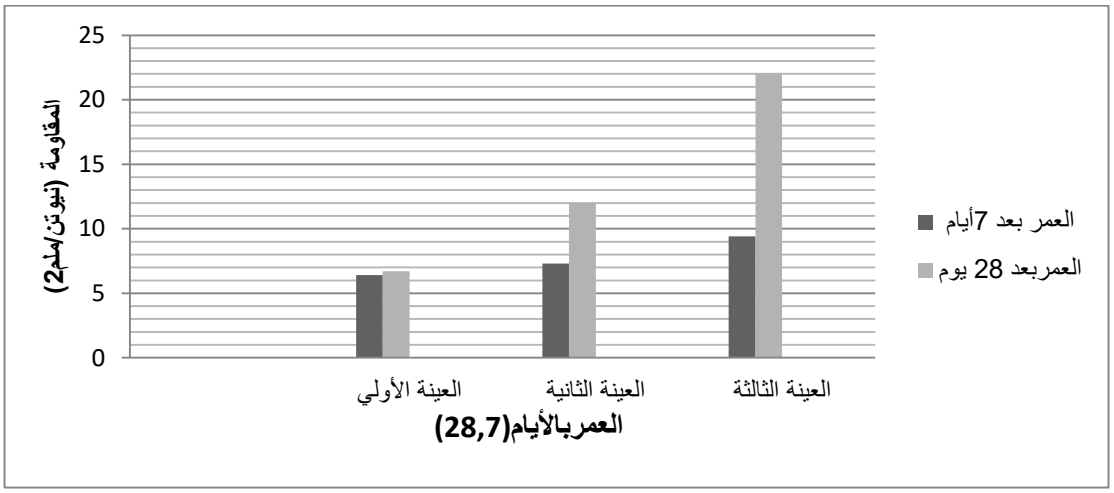
الشكل (5-5) العلاقة بين العمر والامتصاص لخرسانة الركام العادي.



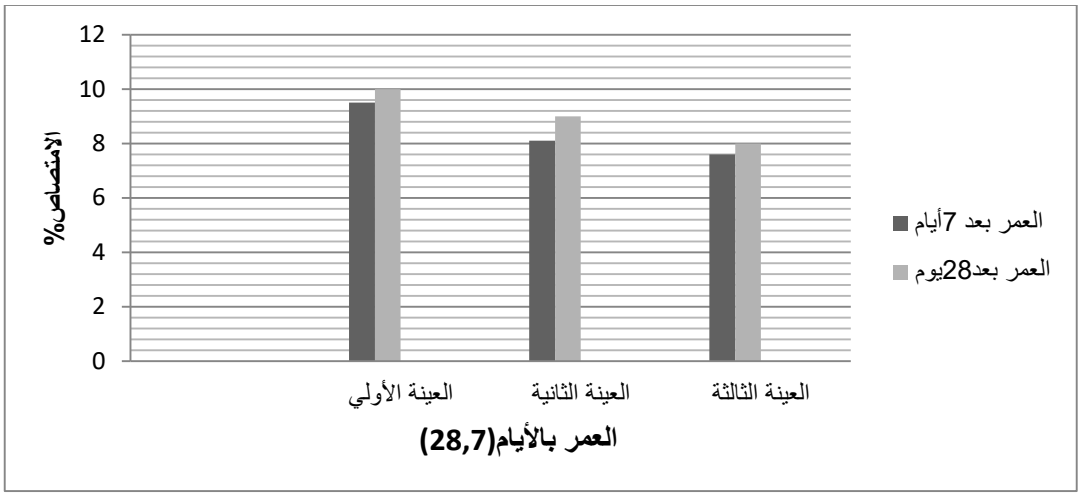
الشكل (5-6) العلاقة بين العمر والامتصاص لخرسانة الركام الخفيف.



الشكل (5-7) العلاقة بين العمر والكثافة لخرسانة خلطة المونه+الألمنيوم .



الشكل (5-8)العلاقة بين العمر والمقاومة لخرسانة خلطة المونه +الألمنيوم .



الشكل(5-9)العلاقة بين العمر والامتصاص لخرسانة خلطة المونه+ الألمنيوم .

2.5- مناقشة النتائج:

تم تلخيص نتائج الاختبارات المعملية لعمر7 و28 يوماً للمكعبات الخرسانية في الجداول من(5-1) إلي (5-6) والأشكال من(5-1) إلي(5-9) والتي توضح ما يلي:

أ- الشكلين (5-1) و(5-2) يوضحان نتائج كثافة خرسانة الركام العادي والركام المصنع الخفيف.حيث يلاحظ بأن كثافة خرسانة الركام المصنع الخفيف المستخدم في هذه الدراسة تصل إلي 1684كجم/م3 بينما كثافة الخرسانة العادية تصل إلي 2102كجم/م3 أي ان كثافة خرسانة الركام الخفيف أقل من كثافة الخرسانة العادية.أما الشكل (5-7) فهو يوضح نتائج كثافةخرسانة المونة بإضافة الألمنيوم حيث نلاحظ بأن الكثافة تقل بإ ضافة نسب من مسحوق الألمنيوم حيث تصل إلي 1509كجم/م3 بعد مرور 28 يوم.

ب- الشكلين (5-3) و(5-4) يوضحان نتائج مقاومة ضغط خرسانة الركام العادي و الركام المصنع الخفيف أما الشكل (5-8) فهو يوضح نتائج مقاومة الضغط للخلطة المضاف إليها مسحوق الألمنيوم. حيث

يلاحظ زيادة المقاومة مع الزمن التي تتوافق مع الخرسانة العادية فيما يتعلق بمعدل اكتساب المقاومة قياساً مع الزمن. بالنسبة لخرسانة الركام المصنع الخفيف وأيضاً خرسانة الخلطة المضاف لها مسحوق الألمنيوم

ج- الشكلين (5-5) و(5-6) يوضحان نتائج الامتصاص لكل من خرسانة الركام العادي و خرسانة الركام الخفيف، حيث يلاحظ نسبة الامتصاص لخرسانة الركام العادي كانت أقل من نسبة الامتصاص لخرسانة الركام الخفيف وذلك لطبيعة الركام العادي المحتوي علي فجوات هوائية مما يساعدها علي امتصاص الماء بكميات كبيرة وحيث أن نسبة الامتصاص لمكعبات الركام الخفيف كانت تصل10% وبذلك تعتبر جيدة .

الباب السادس

الاستنتاجات والتوصيات

يتم في هذا الباب استعراض الاستنتاجات والتوصيات التي تم التوصل إليها من النتائج المتحصل عليها.

1.6-الاستنتاجات:-

اختصت هذه الدراسة بالبحث وإجراء تجارب معملية للخرسانة الخفيفة باستخدام مواد متوفرة محلياً وأجراء اختبارات لدراسة سلوك هذه الخرسانة ولتعرف على خواصها وإمكانية التعامل والتحكم في العمالة والمعدات التي تعمل علي تنفيذ هذا النوع من الخرسانة.

ومن خلال النتائج المتحصل عليها ثم التوصل إلي الاستنتاجات التالية:

تتمتع تقنية الخرسانة الخفيفة بمميزات ومرونة عالية التي تعمل على تنفيذ تطبيقات هذا النوع من الخرسانة.

ثم التحصل علي قيم جيدة جداً بالنسبة للكثافة نتيجة استخدام ركام مصنع تصل إلي 1684كجم/م3 وبإضافة الألمنيوم للمونه تصل إلي 1509كجم/م3 .

ثم الحصول علي قيم جيدة بالنسبة للامتصاص للخرسانة الركام الخفيف حيث تصل إلي ما بين (7.5-4.5) % أما بالنسبة لمونة الخرسانة المضاف إليها مسحوق الالومنيوم فتصل إلي مابين (10-7)%.

باستخدام المواد المحلية في تجارب معملية لخرسانة الركام الخفيف ثم الحصول علي قيم المقاومة الضغط تصل 39 نيوتن/ملم2 و بالنسبة للخرسانة المضاف إليها مسحوق الالومنيوم فكانت مقاومة الضغط 22 نيوتن/ملم2 .

2.6-التوصيـــــــــــــات:-

بناء علي نتائج الدراسة المتحصل عليها يتم اقتراح جملة من المقترحات و التوصيات الآتية :

1- متابعة البحث في هذا المجال حيث تعتبر النتائج المعملية والمدونة في هذا البحث هي مفتاح لدراسة مستقبليه والمطلوب استكمال البحوث العملية والنظرية في هذا المجال وبالذات المتعلقة بقابليةالتشغيل والديمومه .

2- دراسة أستخدام تدرج حبيبي للركام الخفيف غير المستعمل في هذا المشروع .

3- دراسة خواص استخدام الخرسانة الخفيفة المسلحة .

4- نظراً للصعوبة التي واجهت البحث من الناحية العملية فإنه يوصى بتجهيز معامل مواد بناء في الجامعات والمراكز البحثية بالتجهيزات الي تتناسب مع التجارب المطلوبة لمواد

المراجـــــــــع

[1] محمود إمام "خواص وتصميم الخلطات الخرسانية"

2007-C:\Documents and Settings\dell\Desktop\concret

[2] نادية سالم إسماعيل وعد محمد داؤد. "تصنيع ركام خفيف الوزن لإنتاج خرسانة خفيفة عازلة" كلية التقنية الموصل – العراق WWW.Pdffactory.COM 6- 12 -2010

[3]محمد حمزة حسين و ندى مهدي فوزي و زين العابدين محمد رءوف. "تطوير خرسانة خفيفة الوزن عازلة للحرارة" مجلة الهندسة والتكنولوجيا .المجلد28 العدد13-2010. جامعة بغداد-العراق.

[4] ابوبكر محمد بارحيم "مقاومة ضغط الخرسانة باستخدام الركام الخفيف (السكوريا-ألطف البركاني) 30مارس 2009م.جامعة عدن– اليمن.

[5]هيرش جمال عبد الرحمن"الخرسانة"،العراق- تقرير(pdf) 2007 .

[6]حسين مفتاح و مختار أحمد و عادل سالم." دراسة تأثير الملدنات علي خواص الخلطة الخرسانية والعجينة الأسمنتية الطازجة "،مشروع تخرج لنيل البكالوريوس" بقسم الهندسة المدنية جامعة الزاوية- 2009.

[7]الخرسانة الخفيفة/ شركة صفاوه لتقنية البناء العالمية

C: /w/@AII Rights Reserved. Desiged bY Safawa I.T. and Ahmed EIantY.

[8]المواصفات القياسية الليبية (رقم 2002/251)

[9]المواصفة (ASTM C150)

[10]المواصفة البريطانية (BS12-1992)

،