https://doi.org/10.33261/jaaru.2019.26.1.016 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences (2019) 26(2): 131–139*

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences
مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة اعضاء اتحاد الجامعات العربية

استخدام الاتابلغايت كركام خفيف الوزن لانتاج خرسانة انشائية وعازلة

هند حسين حمد [1،*]، زياد ممتاز محمد ازهر [2]، تمارة رشيد عبد الكريم [3]

[1] جامعة بغداد ، بغداد، العراق ، hind_alani71@yahoo.com

[2] مركز بحوث البناء ، بغداد، العراق، ziyad52005@yahoo.com

[3] مركز بحوث البناء ، بغداد، العراق، tamararashed26@gmail.com

[*] الباحث الممثل : هند حسين حمد ، البريد الالكتروني: hind_alani71@yahoo.com

نشر في: 30 حزيران 2019

الخلاصة – نظرا للانتشار الواسع للخرسانة خفيفة الوزن لما تتميز به من الخواص من حيث انخفاض الكثافة والعزل الحراري الجيد والجدوى الاقتصادية المتمثلة بانخفاض الكلفة الكلية للابنية المشيدة بهذا النوع من الخرسانة يضاف الى ذلك قلة انواع الركام المستخدم كخفيف الوزن لذا تنوعت البحوث والدراسات في هذا المجال من مواد البناء،وفي هذا البحث تم انتاج خرسانة خفيفة الوزن باستخدام ركام مطحون صخور الاتابلغايت الطينية المحروق بدرجة حرارة C°700بابدال جزئي او كلي عن الركام العادي لانتاج خرسانة ركام خفيف الوزن بنوعيها الانشائية والعازلة ، اذ طابقت خواص الخرسانة المنتجة والتي تم فحصها لكل من (الكثافة، مقاومة الانضغاط، الموصولية الحرارية، التقلص الخطي، مقاومة الشد الانزلاقي) متطلبات المواصفات العالمية الخاصة بخرسانة الركام خفيف الوزن الانشائية ASTM C330 والعازلة , ASTM C332حيث اظهرت الخلطة المحتوية على 50% من ركام الاتابلغايت الناعم و50% من الرمل كركام ناعم اعتيادي و100% من ركام الاتابلغايت الخشن والمشار اليها بالرمز (GP)مطابقتها لخواص خرسانة الركام خفيف الوزن الانشائية حسب المواصفة اعلاه واعطت كثافة حوالي Kg/m31668 ومقاومة انضغاط N/mm217.5 ،في حين اظهرت الخلطتان المتكونتان من ركام الاتابلغايت الناعم والخشن بنسبة 100% من مجموع الركام الكلي للخلطة والمشار اليها بالرموز (H,HP)وباضافة نسبة وزنية 10% من السمنت كمادة بوزولانية من مطحون الاتابلغايت المحروق للخلطة (HP)مطابقة لخواص خرسانة الركام خفيف الوزن العازلة وبكثافة kg/m3 (1380,1432)وعزل حراري بقيمة (0.37,0.41) w/m.k°على التوالي.

الكلمات الرئيسية – خرسانة خفيفة الوزن،اتابلغايت،خرسانة عازلة،خرسانة انشائية.

1. المقدمة

تعتبر الخرسانة خفيفة الوزن بانواعها المختلفة احدى المواد المهمة والواسعة الانتشار في مجال الانشاءات الحديثة وتتنوع مجالات تطبيقها لما تتميز به من خفة في الوزن وقوة مناسبة للاغراض التي تستخدم فيها اضافة الى مقاومتها الجيدة للحرائق، ويشيع استعمالها في هياكل وارضيات الابنية متعددة الطوابق وفي الجدران للتغليف والعزل الحراري والصوتي وفي الجسور والسقوف غير السميكة (Shell Roofs) وغيرها من التطبيقات ، ويتم انتاجها كخرسانة مسبقة الجهد ومسبقة الصب او موضعية الصب في جميع الاستخدامات اعلاه، ويعود زمن استخدامها لفترة طويلة اذ دخلت في صناعة هياكل السفن والبارجات الحربية ابان الحرب العالمية الاولى اذ انتجت الخرسانة الانشائية خفيفة الوزن بكثافة 1760 kg/m3وبمقاومة انضغاط 34.47 N/mm2من ركام خفيف نوع [15](Expanded Shell) ،ان استخدام الخرسانة خفيفة الوزن تتيح للمهندس المعماري التعبير بمدى اوسع واكثر راحة ومرونة عند التصميم من اي نوع اخر من الخرسانة ،فالكثير من المعماريين والمصممين والمنفذين يميزون الفوائد العملية عند استخدامها من حيث تصميم فضاءات اطول ومقاطع انشائية بابعاد اقل واخف وزنا، فبالرغم من كون كلفة انتاج الخرسانة خفيفة الوزن اعلى قليلا من كلفة الخرسانة الاعتيادية الا ان الجدوى الاقتصادية من استخدامها تتلخص في انخفاض الكلفة الكلية للبناية المشيدة باستخدام الخرسانة الخفيفة عن الخرسانة الاعتيادية ويعود ذلك الى تقليل ابعاد الاعمدة والجسور وكمية حديد التسليح وانخفاض كلفة الاسس بسبب تقليل الاحمال المسلطة عليها وبالتالي تكون الخرسانة الخفيفة اكثر جدوى من الناحية الاقتصادية، وقد اشارت احدى الدراسات المحلية[25] الى اعتبار الخرسانة خفيفة الوزن احدى البدائل العملية لمادة البناء التقليدية (الطابوق الطيني) او الكتل الخرسانية (البلوك) لما تتميز به من سهولة الاستخدام وسرعة في الانجاز وانخفاض في الكلفة الكلية للبناية اضافة الى خواصها الجيدة في العزل الحراري والصوتي. تقسم الخرسانة خفيفة الوزن الى ثلاث انواع حسب استخدامها وخواصها الفيزيائية المتمثلة بالكثافة ومقاومة الانضغاط والعزل الحراري وتشمل: [1,19]

1. خرسانة منخفضة الكثافة عازلة وتتميز بوزن خفيف جدا حيث تكون كثافتها منخفضة لا تزيد قيمتها عن 800 kg/m3 وذات عزل حراري جيد يتراوح w/m.k°(0.22 – 0.065) ولها مقاومة انضغاط منخفضة تتراوح قيمتها مابين –0.69(MPa3.4) وتكون غير مناسبة للتعرض للظروف الجوية والاحمال.

2. خرسانة خفيفة الوزن عازلة ذات كثافة تتراوح من (1440 – 720) kg/m3ومقاومة انضغاط MPa(17 – 3.4) ومقدار عزل حراري يتراوح بين. w/m.k°(0.43 – 0.15)

3. خرسانة انشائية خفيفة الوزن وهذا النوع من الخرسانة الاوسع انتشارا اذ تجمع بين القوة والخفة والعزل الجيد وتكون ذات كثافة تتراوح بين–1440 1840 kg/m3ومقاومة انضغاط اعلى من 17 MPaاما عزلها الحراري فيكون افضل من الخرسانة الاعتيادية.

ان احد الطرق الاكثر شيوعا في انتاج خرسانة خفيفة الوزن هو استخدام ركام خفيف ،اذ تعتمد خواصها (مثل مقاومة الانضغاط ، الكثافة ،المقاومة للحرائق،الديمومة) بشكل كبير على نوع الركام المستخدم وهنالك العديد من انواع الركام الطبيعي والصناعي والذي يتمتع بخواص تجعله مناسب

1726-4081© 2019 The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

للاستخدام ،واكثر انواع الركام شيوعا هو ذلك المنتج من حرق انواع مختلفة من الاطيان الى درجات حرارة معينة بحيث تعطي هيكل مسامي قوي ومناسب للاستخدام كركام خفيف الوزن خشن وناعم مطابق للمواصفات العالمية.

2. الهدف من البحث Aim of the Research

بسبب اختلاف الطرق المتبعة لانتاج خرسانة خفيفة الوزن ولكون العديد من هذه الطرق تنفذ باساليب غير صديقة للبيئة حيث ينتج عن استخدامها مواد ضارة ملوثة كالغازات المنبعثة عند استخدام المضافات الكيمياوية لاحداث فجوات هوائية نتيجة تفاعلها داخل الخلطة الخرسانية لتكسبها صفة خفة الوزن والعزل، او اضافة مواد خفيفة ذات محاذير صحية على الاشخاص العاملين على انتاج الخرسانة كالالياف الصناعية مثل الالياف الزجاجية ،لذا كان لإستخدام اسلوب استبدال الحصى العادي بأخر خفيف الوزن بشكل كلي او جزئي هو الافضل والاكثر امانا لانتاج هذا النوع من الخرسانة ،الهدف من هذا البحث هو انتاج خرسانة خفيفة الوزن بنوعيها الانشائية والعازلة باستخدام ركام اطيان الاتابلغايت كبديل جزئي او كلي عن الركام الخشن والناعم العادي ودراسة خواصها الفيزيائية والميكانيكية ومطابقتها مع المواصفات العالمية الخاصة بالخرسانة خفيفة الوزن.

3. البحوث والدراسات السابقة Literature review

تعرف الخرسانة خفيفة الوزن بانها تلك الخرسانة المحتوية على مواد خفيفة الوزن كمواد اولية اومضافة وتتراوح كثافتها مابين (1860) kg/m3 – (800)وتتميز بخواص جيدة للعزل الحراري والصوتي ،وتنتج بطرق ومواد مختلفة حسب الشركات المنتجة لها [1.[

ادى الانتشار الواسع عالميا في الاونة الاخيرة لهذا النوع من مواد البناء الى التركيز على البحوث المختلفة لايجاد افضل الطرق واقلها كلفة لانتاج خرسانة خفيفة الوزن ومنها خرسانة الركام خفيف الوزن الطبيعي او المصنع بطرق ووسائل عديدة ،اذ تمكن عدد من الباحثين [20] من انتاج ركام ذو وزن خفيف من اضافة الياف الكاربون على شكل مطحون بمقاس حبيبي اقل من um500 وبنسبة وزنية قيمتها (5,102.5,)% الى خبث الاحجار الصناعية ويعجن الخليط بالماء ويحرق بدرجات حرارة (C0)
1125,1150اذ ساعدت الالياف التي تمتاز بتحملها العالي للحرارة على تكوين عجينة لينة ذات لزوجة عند التلبيد تساعد على خروج الغازات وتكوين مسامات داخل الجسم مما يقلل من كثافتة ويزيد من خفة وزنه لتصل كثافة الركام المصنع الى,1130 kg/m3 كما نشر عدد من الباحثين [18]دراسة عن انتاج ركام خفيف من اطيان تتوفر بكثرة في جنوب تونس وتتكون بشكل رئيسي من معادن الكاؤولين، الإلايت مع الكوارتز، الكالسايت، الدولومايت ، والفلدسبار كمضاف وتم حرق العجينة المشكلة بدرجات مختلفة وبرنامج حرق معين للحصول على افضل الخواص للركام المنتج ووجد الباحث ان اضافة 15% من الكوارتز الى المواد الاولية يحسن من خواص الحصى المنتج واضافة 1% من وقود السيارات الى خليط الاطيان ورمل الكوارتز يزيد من نسبة الغازات في المنتج محدثا زيادة في الفجوات المتكونة ومسببا انخفاض في درجة الحرارة اللازمة للانتفاخ(Bloating) ، في حين قام عدد من الباحثين [22] في البحث الحائز على براءة اختراع بتصنيع ركام خفيف من اطيان متوفرة بكميات كبيرة في محافظة نينوى في العراق ذات تركيب صفائحي تتكون بشكل رئيسي من معدن المونتمورلينايت والكاؤولين وانتج ركام بكثافة 750 kg/m3استخدم لانتاج خرسانة خفيفة الوزن بكثافة 1770 kg/m3وتمتلك قوة تحمل N/mm215.33 ، وقام باحث [2] بتصنيع ركام خفيف الوزن من اطيان منطقة تقع شمال الكويت باضافة نشارة الخشب والمخلفات النفطية الى المواد الاولية وحرقها عند درجة حرارة 950 C° ،واشار البحث الى اهمية السيطرة على عملية التجفيف للعجينة لتقليل التشققات ومنعها من التكون،كما قام باحث امريكي [21] بتصنيع ركام خفيف الوزن باستخدام صخور طينية مصدرها غرب ولاية كارولينا الامريكية تتكون من الكالسايت بشكل رئيسي وبكثافة حوالي 805 kg/m3واستخدمه لانتاج خرسانة خفيفة الوزن عالية الاداء تصل مقاومتها الى 89.30 MPa بابدال جزئي للركام العادي بالركام الخفيف المصنع،وكان لاستخدام الركام الناعم خفيف الوزن اثر واضح لحل احد اهم المشاكل التي تواجه الخرسانة بانواعها المختلفة ومنها الخرسانة خفيفة الوزن اذ لاحظ الباحث[16] ان استخدام الركام الناعم الذي تم تصنيعه من صخور طينية خفيفة الوزن بكثافة 920 kg/m3والمشبع بالماء كبديل جزئي عن الرمل العادي في انتاج خرسانة عالية الاداء ادى الى تقليل تشققات التقلص الاولي والناتجة من امتصاص ماء الخلطة من قبل عجينة السمنت لاكمال عملية الاماهة اذ عمل الركام الناعم خفيف الوزن كمصدر داخلي لتزويد العجينة بالماء اللازم للاماهة مقللا بذلك من التشققات التي قد تحدث بسبب نفاذ الماء، ويؤكد ذلك االدراسة التي قام بها احد الباحثين [17]والذي استخدم الركام الناعم المشبع بالماء كمعالجة داخلية لعجينة السمنت لتقليل التشققات الداخلية.

4. الجانب العملي Experimental Work

4.1 المواد الأولية *Raw Materials*

4.1.1 السمنت

تم استخدام السمنت البورتلاندي الاعتيادي المطابق للمواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة 1984 [24]ويبين الجدول 1 والجدول 2 نتائج التحليل الكيميائي وخواص السمنت الفيزيائية والتي تم اجراءها في مختبرات دائرة بحوث البناء.

جدول رقم 1: التحليل الكيميائي للسمنت البورتلاندي

الاكاسيد	المحتوى %	حدود المواصفة للسمنت الاعتيادي
L.O.I	1.9	لا يزيد عن 4
SiO_2	20.21	—
Al_2O_3	5.91	—
Fe_2O_3	3.32	—
SO_3	2.37	لا يزيد عن C3A اكبر من 5% عندما 2.8
CaO	63.51	—
MgO	2.57	لا يزيد عن 5
L.S.F	0.94	0.66-1.02
Total	99.87	—
المركبات الرئيسية(نسبة وزنية من السمنت)		
C_3S	49.07	
C_2S	21.36	
C_3A	10.05	
C_4AF	10.09	
L.S.F	0.94	
Free Lime	1.12	

جدول رقم 2 : الخواص الفيزيائية للسمنت البورتلاندي.

الفحص	النتيجة	حدود م .ق.ع رقم (5) لسنة 1984
النعومة (غم/سم^2)	3958	(سمنت اعتيادي) 2300 كحد ادنى
وقت التماسك		
الابتدائي (دقيقة)	150	45 كحد ادنى
النهائي (ساعة)	3:55	10 كحد اعلى
مقاومة الانضغاط (نت/ملم^2)		
عمر 3 ايام	25	15 كحد ادنى
عمر 7 ايام	35	23 كحد ادنى

4.1.2 الرمل (الركام الناعم)

استخدم الرمل الطبيعي كركام ناعم في الخلطات الخرسانية وتم تهيئته ومطابقته للتدرج المنخلي حسب المواصفة الامريكية ASTM C33[4] كما مبين في الجدول 3 ،في حين يبين الجدول 4 الخواص الفيزيائية له وحسب متطلبات المواصفة العراقية رقم (45) لسنة 1984[23].

جدول رقم 3: التدرج الحبيبي للركام الناعم (الرمل) .

مقاس فتحة المنخل (ملم)	النسبة المئوية المارة وزنا (%)	حدود المواصفة ASTM C33-03
9.5	100	100
4.75	96.3	95-100
2.36	80.4	80-100
1.18	56.6	50-85
0.6	32.5	25-60
0.3	7.9	5-30
0.15	1.2	0-10

جدول رقم 4: الخواص الفيزيائية للركام الناعم والخشن .

نوع الفحص	ركام ناعم (رمل)	ركام خشن (حصى)	حدود المواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984	
			ركام ناعم	ركام خشن
الوزن النوعي	2.6	2.8	-	-
الامتصاص %	1.2	1.1	-	-
محتوى الكبريتات %	0.12	0.09	0.5 حد اعلى	0.1 حد اعلى
نسبة المار من منخل رقم 200 %	2.6	0.5	5 حد اعلى	3 حد اعلى

4.1.3 الحصى (الركام الخشن)

تم استخدام الحصى المكسر كركام خشن بمقاس اقصى 10mm ويبين الجدول 5 التحليل المنخلي للركام الخشن حسب المواصفة الامريكية ASTM C33 في حين يبين الجدول 4 الخواص الفيزيائية له وحسب متطلبات المواصفة العراقية رقم (45) لسنة 1984.

جدول رقم 5: التدرج الحبيبي للركام الخشن (الحصى) .

مقاس فتحة المنخل (ملم)	النسبة المئوية المارة وزنا (%)	حدود المواصفة ASTM C33 (9.5 – 2.36mm)
12.5	100	100
9.5	99.1	85-100
4.75	14	10-30
2.36	2	0-10
1.18	0	0-5

4.1.4 ركام الاتابلغايت

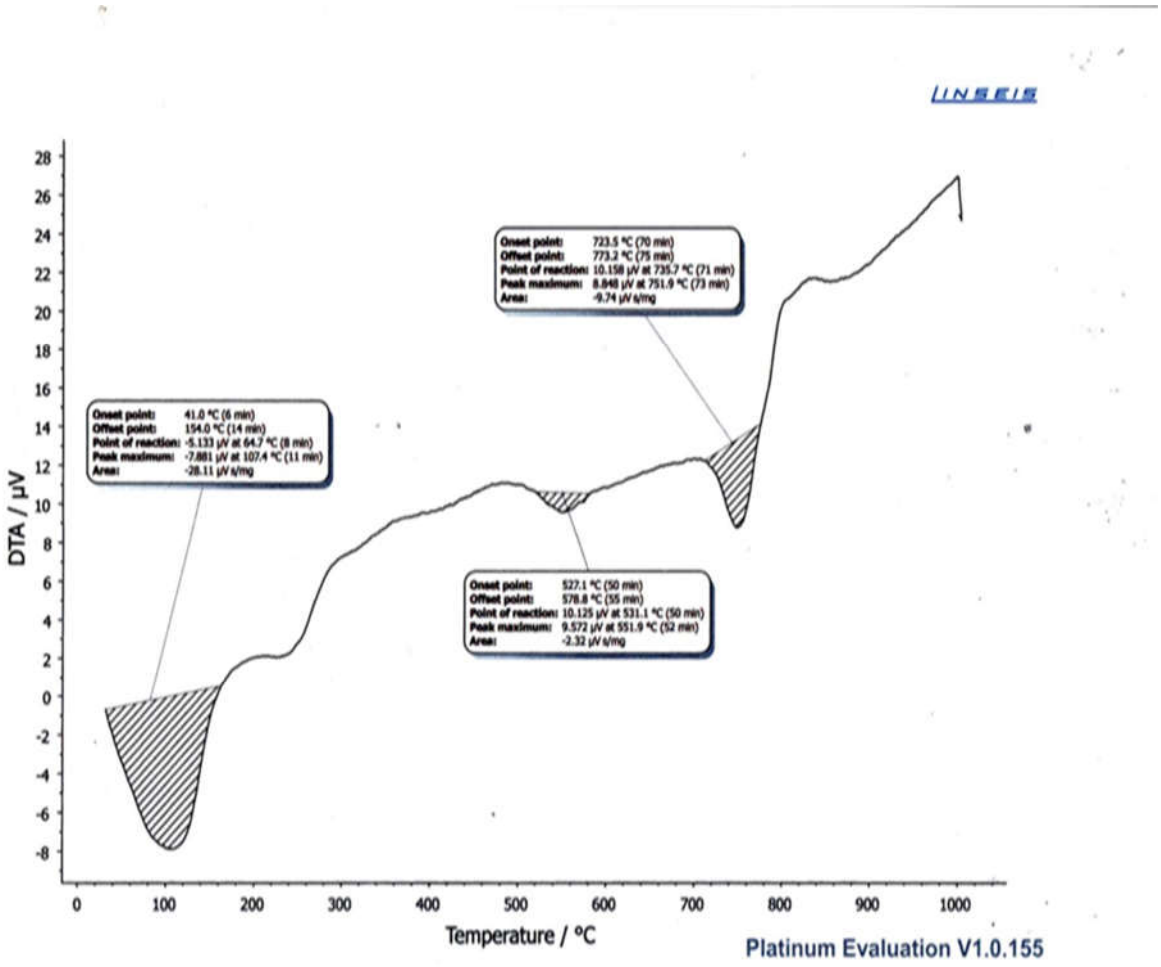
يعرف الاتابلغايت بانه كتل طينية تتكون من معادن المغنيسيوم والالمنيوم والسليكا كمركبات رئيسية و يظهر بعدة صيغ كيميائية اكثرها شيوعا هي $(Mg.Al)2Si4O10(OH)\cdot4(H2O)$ ، وهو ذو هيكل مسامي يحتوي على نسبة كبيرة من المسامات المفتوحة التي تسمح بنفاذ الماء خلاله استخدم في البحث الاتابلغايت الذي تم جلبه من صحراء النجف حيث يتوفر فيها بكميات كبيرة وحرق عند درجة حرارة 700 C° وزمن انضاج ساعة واحدة [3] لضمان الحصول على هيكل قوي ثم ترك ليبرد ، وبعدها تم طحنه بطاحونة الكرات الحديدية وتهيئته الى التدرجات الحبيبية وفق متطلبات المواصفات العالمية ASTM C330,C332 [7,8]ليستخدم كركام خشن وناعم خفيف الوزن وبابدال جزئي وكلي عن الركام العادي, ويبين الشكل 1 صور لركام الاتابلغايت المستخدم وبتدرجات مختلفة كما يبين الجدول 6 التدرج المنخلي لركام الاتابلغايت خفيف الوزن وقيم الكثافة له حسب المتطلبات الواردة في المواصفات الامريكية اعلاه , كما تم اجراء فحص DTA للتعرف على السلوك الحراري للاتابلغايت في درجات الحرارة المختلفة كما مبين في الشكل 2 حيث تشير قمم المنحني نحو الاسفل امتصاص للطاقة الحرارية نتيجة تبخر الماء الحر والمتحد وتحرر الغازات كغاز ثاني اوكسيد الكربون نتيجة احتراق المواد العضوية وتفكك وتحلل المكونات المعدنية للمادة ، في حين تشير قمم المنحني نحو الاعلى الى انبعاث الطاقة بسبب تكون اطوار جديدة في الجسم.

شكل 1: نموذج ركام الاتابلغايت بتدرجات مختلفة.

جدول رقم 6: التدرج الحبيبي والكثافة لركام الاتابلغايت الناعم والخشن.

مقاس فتحة المنخل للركام الناعم (ملم)	مقاس فتحة المنخل للركام الخشن (ملم)	نسبة المار من الركام الناعم (%)	نسبة المار من الركام الخشن (%)	حدود المواصفة للركام الناعم ASTM C330	حدود المواصفة للركام الخشن ASTM C330
9.5	12.5	100	100	100	100
4.75	9.5	97.29	93.5	85 -100	80-100
2.36	4.75	—	9	—	5-40
1.18	2.36	78	4.6	40 -80	0-20
0.3	1.18	18	2.5	10-35	0-10
0.15	—	6	—	5-25	—
0.075	—	—	—	—	—
—	0.075	—	1.2	—	0-10

الخواص الفيزيائية لركام الاتابلغايت		
نوع الركام	الكثافة kg/m^3	حدود المواصفة ASTM C330(Table2) (الحد الاعلى)
ناعم	970	1120
خشن	760	880



شكل رقم 2: التحليل الحراري للاتابلكايت DTA

4.1.5 المادة البوزولانية

تم استخدام مطحون الاتابلغايت المحروق بدرجة حرارة700 C° وبزمن انضاج نصف ساعة اعتمادا على الدراسة التي قام بها AL-Hadithi [3] كمادة بوزولانية مضافة بنسبة وزنية 10% من مادة السمنت وتم مطابقة خواصها مع المواصفة الامريكية ASTM C618 Class N [11]ويبين الجدول 7 نتائج التحليل الكيميائي والخواص الفيزيائية للمادة البوزولانية والتي تم اجراءها في مختبر السمنت في دائرة بحوث البناء.

جدول 7 : الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة البوزولانية صنف N حسب متطلبات المواصفة ASTM C618

الاكاسيد	المحتوى (%)	حدود المواصفة
SiO_2	45.87	SiO_2+ Fe_2O_3+ Al_2O_3 ≥70%
Fe_2O_3	4.68	
Al_2O_3	19.47	
MgO	4.00	
L.O.I	12.35	
SO_3	1.1	
CaO	12.05	
الوزن النوعي	2.6	5(الحد الاعلى)
الفعالية البوزلانية %	130	75(الحد الادنى)

4.1.6 الماء

تم استخدام ماء الاسالة العادي لجميع الخلطات الخرسانية لاغراض الخلط والمعالجة.

4.2 تحضير الخلطات الخرسانية

بعد تهيئة عدة خلطات تجريبية للحصول على مقاومة انضغاط بعمر 28 يوم للخرسانة المرجعية بقيمة ((20MPaاعتمدت النسب الحجمية 3:2:1 للخلط للخرسانة الاعتيادية وخرسانة الركام خفيف الوزن بنوعيها الانشائية والعازلة وتم تهيئة عشر خلطات مبينة تفاصيل ونسب واوزان مكوناتها في الجدول 8، تم تهيئة نماذج مختبرية للخلطات بالابعاد (10*10*10)cm لاجراء فحص الكثافة ومقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم والتقلص الخطي ، كما تم تهيئة نماذج بالابعاد (20*10*3)cm لفحص الموصولية الحرارية لنماذج خرسانة الركام خفيف الوزن العازلة في حين تم تهيئة نماذج اسطوانية بالابعاد (30*15)cm لقياس فحص مقاومة الشد الانزلاقي للنماذج المصنفة كخرسانة ركام خفيف الوزن الانشائية وبواقع 3 نماذج للخلطة ،اعتمد في تهيئة الخلطات الخرسانية المتطلبات الواردة في المواصفة ASTM [6] C192 اذ تمت عملية خلط المكونات الجافة للخرسانة الاعتيادية (السمنت ، الرمل ، الحصى) في خلاط كهربائي لمدة دقيقة واحدة لضمان التجانس الجيد للمواد الاولية الجافة ثم اضيف الماء اللازم للخلط ،وبالنسبة لخرسانة الركام خفيف الوزن غمر ركام الاتابلغايت الناعم والخشن في الماء لمدة 24 ساعة ثم رفع من الماء وازيل الماء العالق على السطح وخلط مع السمنت في خلاط

كهربائي لمدة دقيقة واحدة بعدها اضيف الماء اللازم للخلطة وخلط لمدة 3 دقائق في خلاط كهربائي لضمان التجانس الجيد ، اما الخلطات التي اضيف لها المادة البوزولانية بنسبة 10% من وزن السمنت تم خلطها مع السمنت وهيأت النماذج المختبرية لها بنفس الاسلوب اعلاه.

جدول رقم 8: الاوزان والنسب الحجمية لمكونات الخلطات الخرسانية

رقم الخلطة	سمنت (حجم)kg/m^3	رمل (حجم)kg/m^3	حصى (حجم)kg/m^3	ركام اتابلغايت ناعم (حجم)kg/m^3	ركام اتابلغايت خشن (حجم)kg/m^3	نسبة المادة البوزولانية (%)kg/m^3	نسبة ماء/سمنت %
A	(1)345	(2)870	(3)1140	—	—	—	0.52
B	(1)345	(2)870	(1.5)570	—	(1.5)285	—	0.46
C	(1)345	(2)870	(1)380	—	(2)380	—	0.41
D	(1)345	(2)870	---	—	(3)570	—	0.38
E	(1)345	(1)435	(3)1140	(1)250	—	—	0.48
F	(1)345	(1)435	(1.5)570	(1)250	(1.5)285	—	0.40
G	(1)345	(1)435	---	(1)250	(3)570	—	0.33
H	(1)345	---	---	(2)500	(3)570	—	0.36
GP	(1)345	(1)435	----	(1)250	(3)570	(10)34.5	0.34
HP	(1)345	---	----	(2)500	(3)570	(10)34.5	0.36

4.3 الصب والمعالجة

هيأت القوالب اللازمة للصب والمزيتة قبل الاستخدام وحسب المواصفة الامريكيةASTM C192 ،تمت عملية الصب على شكل طبقتين كل طبقة سمك 5 cmورصت جيدا باستخدام هزاز كهربائي لمدة تتراوح من(20-30) ثانية لحين خروج الفقاعات من سطح الخرسانة وتم تسوية السطح العلوي للخرسانة ثم تركت لتجف في جو المختبر بعد تغطيتها بالنايلون لمدة 24 ساعة وبعدها اخرجت من القالب وغمرت في الماء لحين موعد الفحوص بعد 28 يوم بالنسبة لنماذج الخرسانة العادية اما نماذج خرسانة الركام خفيف الوزن فتم اخراجها من الماء بعد 7 ايام ثم تغطيتها بقطعة من القماش السميك في جو المختبر بدرجة حرارة 23±2 C° ورطوبة 50%حتى موعد الفحص.

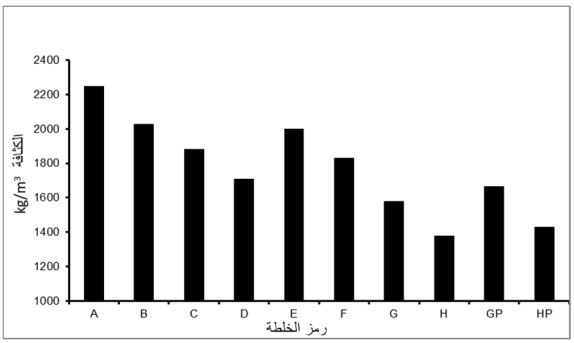
5. الفحوص المختبرية والمناقشة Tests and Discussion

5.1 فحص الكثافة Test Density

تم اجراء فحص الكثافة الجافة لنماذج الخرسانة الاعتيادية الخلطة A حسب متطلبات المواصفة الامريكية [12] ASTM C642في حين فحصت بقية النماذج والتي تحتوي على ركام عادي مع ركام خفيف الوزن حسب متطلبات المواصفة الامريكية[10] ASTM C567 بعد تجفيفها في فرن كهربائي بدرجة حرارة (110±10) C°لمدة 24 ساعة لحين ثبات وزنها وتمت مطابقة نتائج فحوصها مع حدود المواصفات ASTM C330,C332 ويبين الجدول 9 والشكل 3 قيم الكثافة لجميع النماذج المهيئة ،حيث يظهر من نتائج الفحوص انخفاض واضح لقيم الكثافة لجميع الخلطات المحتوية على ركام الاتابلغايت الناعم والخشن وبابدال كلي وجزئي عن كثافة الخرسانة العادية ،وتظهر الخلطات (B,C,D)المحتوية على ركام خشن خفيف الوزن وبنسب مختلفة والخالية من الركام الناعم خفيف الوزن انخفاضا بنسبة (9.77,16.26,24)% عن كثافة الخلطة المرجعية A ويعود ذلك الى الهيكل المسامي لركام الاتابلغايت الخشن والذي يكسبها خفة الوزن، في حين ان الخلطة E والتي تحتوي على ركام خشن عادي (حصى) مع ابدال جزئي للرمل بركام الاتابلغايت الناعم وبنسبة 50% من الركام الناعم الكلي للخلطة ،تظهر انخفاض بسيطا (11.11)% عن الخلطة المرجعية ويعود ذلك الى ان كثافة ركام الاتابلغايت الناعم البالغة Kg/m3970 أعلى من كثافة الركام الخشن الخفيف والبالغة Kg/m3760 جدول(6) بسبب فقدانه الجزئي لهيكله المسامي عند الطحن وبذلك يقل تاثيره في خفض كثافة النموذج، اما الخلطات (F,G,H)والمحتوية على ركام خفيف الوزن ناعم وخشن وبابدال جزئي او كلي عن الركام العادي تظهر انخفاضا واضحا بنسبة (18.66, 29.77, 38.66)% عن كثافة الخلطة A اما الخلطات (GP, HP)التي تحتوي على 10% مادة بوزولانية نلاحظ ارتفاعا بسيطا لقيم الكثافة عن الخلطات (G,H)بنسبة (5.56,3.76)% ويعود ذلك الى ان المادة البوزولانية الناعمة تعمل على ملئ المسامات في الهيكل الخرساني مؤديا الى ارتفاع نسبي في كثافته.

جدول رقم 9: نتائج الفحوص المختبرية للخلطات الخرسانية

رمز الخلط	الكثافة Kg/m^3	حدود المواصفة		مقاومة الانضغاط MPa	حدود المواصفة ASTM C330 الحد الادنى	الموصولية الحرارية w/m.k°	حدود المواصفة ASTM C332	مقاومة الشد الانزلاقي MPa	حدود المواصفة ASTM C330 الحد الادنى
		ASTM C330 الحد الاعلى	ASTM C332 الحد الاعلى						
A	2250	—	—	22.82	—	1.29	—	3.1	—
B	2030	1840	—	18.90	28	—	—	—	—
C	1884	1840	—	18.10	28	—	—	—	—
D	1710	1760	—	17.30	21	—	—	—	—
E	2000	1840	—	18.60	28	—	—	—	—
F	1830	1840	—	17.80	28	—	—	—	—
G	1580	1680	—	16.60	17	—	—	—	—
H	1380	—	1440	15.20	—	0.37	0.15 -0.43	—	—
GP	1668	1680	—	17.50	17	—	—	2.16	2.1
HP	1432	—	1440	16.00	—	0.41	0.15- 0.43	—	—



شكل رقم 3: نتائج الكثافة للنماذج .

5.2 فحص مقاومة الانضغاط *Compressive Strength Test*

اجري فحص مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم لثلاث نماذج لكل خلطة حسب الاسلوب المتبع في المواصفة البريطانية[14] B.S 1881 part5وتمت مطابقة نتائج الفحص مع متطلبات المواصفة الامريكية ASTM C330 لخرسانة الركام خفيف الوزن الانشائية ويبين الجدول 9 والشكل 4 نتائج الفحوص المختبرية ، ونلاحظ من النتائج انخفاض في مقاومة الانضغاط بشكل عام لجميع الخلطات التي تحتوي على ركام خفيف الوزن كابدال جزئي او كلي عن الركام الناعم والخشن العادي في الخلطة المرجعية A ، اذ تنخفض قيم مقاومة الانضغاط بنسب متفاوتة لنماذج الخلطات المحتوية على ركام خفيف الوزن وهي الخلطات (B,C,D,E,F,G,H)بنسب (17.17,20.68,24.18,18.49,21.99,27.2,33.39)% عن الخلطة

المرجعية A ويتفاوت انخفاض مقاومتها حسب مقدار الركام الخفيف الذي تحتويه ، في حين تظهر الخلطة (GP, HP)والتي تحتوي على المادة البوزولانية بنسبة 10% ارتفاعا بسيطا في المقاومة بنسبة (5.42,5.26)% عن مقاومة الخلطات (G,H)والتي اظهرت مقاومة مقاربة لخرسانة خفيفة الوزن مصنفة كمتوسطة المقاومة بقيمة (15.33mpa) [22,]ويعود ذلك الى ان الدقائق المتناهية في الصغر للمادة البوزولانية تعمل على ملئ المسامات الموجودة في الخلطة مما يرفع من كثافة الجسم ويزيد مقاومته للانضغاط ، ويبين الشكل 5 العلاقة الطردية بين قيم الكثافة والمقاومة لنماذج الخرسانة.

5.3 فحص مقاومة الشد الانزلاقي *Test Splitting Tensile Strength*

يعتبر هذا الفحص مؤشرا لقياس مدى مقاومة الجسم الخرساني لاجهادات القص المتولدة داخله ،اجري الفحص للنماذج الاسطوانية للخلطات المختارة وحسب المواصفة ASTM C496 [9]وتم الفحص باستخدام جهاز مقاومة الانضغاط وقورنت نتيجة الفحص مع حدود المواصفة ASTM C330 وقد اجري الفحص على نماذج الخلطة المرجعية A والخلطة GP والتي تم مطابقة نتائج فحوص الكثافة ومقاومة الانضغاط لها مع حدود المواصفة ASTM C330لخرسانة الركام خفيف الوزن الانشائية وقد اظهرت الخلطة GP مطابقة نتيجة فحص مقاومة الشد الانزلاقي لها مع حدود المواصفة الامريكية ASTM C330، ويبين الجدول 9 نتيجة الفحص ونلاحظ من النتائج انخفاض قيمة مقاومة الشد للخلطة GP بنسبة (30.32)% عن الخلطة المرجعية ويعود ذلك الى ان هيكل الركام خفيف الوزن يكون اضعف من هيكل الركام العادي بنوعيه الحصى والرمل.

وقد احتسبت قيمة مقاومة الشد الانزلاقي من المعادلة :

$$T=2P/\pi Ld \qquad (1)$$

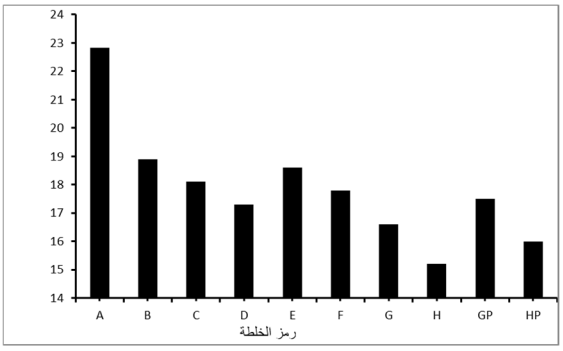
حيث ان:

T يمثل مقاومة الشد الانزلاقي(MPa) :

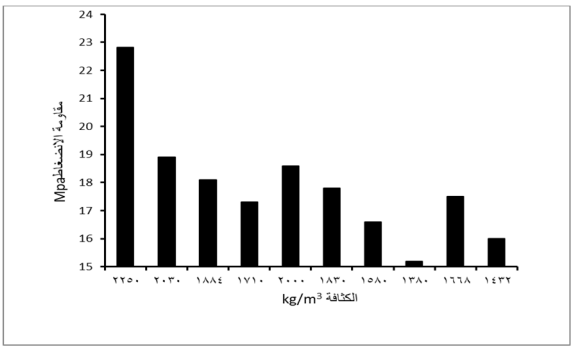
P القوة المسلطة عند الفشل(KN) :

L طول(m)

d قطر(m)



شكل رقم 4: نتائج مقاومة الانضغاط للنماذج.



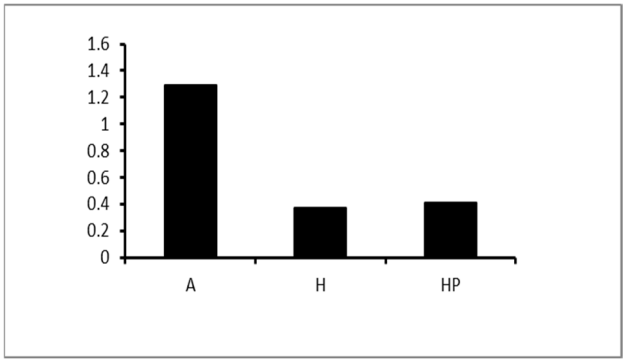
شكل رقم 5: العلاقة بين الكثافة ومقاومة الانضغاط.

5.4 فحص التقلص الخطي *Linear Shrinkage Test*

تم اعتماد اسلوب المواصفة[5] ASTM C157 لفحص نماذج الخرسانة للتقلص الخطي بعد التجفيف ،وقد اجري الفحص للخلطة GP والتي تم تصنيفها كخرسانة ركام خفيف الوزن انشائية بالاعتماد على قيم الكثافة ومقاومة الانضغاط وحسب متطلبات المواصفة الامريكية ASTM C330 وقد اظهر النموذج تقلصا طفيفا جدا لا يتجاوز 0.07% وهي القيمة المحددة ضمن متطلبات المواصفة ASTM C330 ويعود ذلك الى تقليل نسبة (الماء/ السمنت) للخلطة البالغة (0.36) اذ يقوم الماء الموجود داخل مسامات الركام خفيف الوزن الخشن والناعم بتزويد عجينة السمنت بالماء اللازم لاكمال عملية الاماهة من دون الحاجة الى زيادة نسبة (ماء/سمنت) للخلطة وهذا يؤدي الى تقليل التقلصات الاولية الداخلية المتولدة داخل الهيكل الخرساني نتيجة استهلاك الماء للاماهة وبالتالي انخفاض قيمة التقلص او انعدامه تقريبا والحصول على هيكل خرساني جيد خالي من التشققات.

5.5 فحص الموصولية الحرارية *Thermal Conductivity Test*

اجري فحص الموصولية الحرارية في مختبر بغداد المركزي وحسب متطلبات المواصفة الامريكية [13] ASTM C1113 باستخدام تقنية السلك الساخن ، اجري الفحص للخلطات (H,HP) والتي تم تصنيفها كخرسانة ركام خفيفة الوزن عازلة بالاعتماد على نتيجة فحص الكثافة ،وقد اظهرت نتيجة الفحص مطابقة النماذج لمتطلبات المواصفة الامريكية ASTM C332 من حيث خواص العزل الحراري ، اما بقية الخلطات والتي تشمل الخرسانة خفيفة الوزن الانشائية والخلطات الاخرى فلم يتم تحديد الموصولية الحرارية لها لعدم ورود هذا الفحص ضمن متطلبات المواصفة الخاصة بها وهي المواصفةASTM C330 ،ويبين الجدول 9 نتائج الفحص للخلطات ويظهر من النتائج ان استبدال الركام العادي الخشن والناعم بركام خفيف الوزن وبشكل كلي ادى الى تحسين خواص العزل الحراري حيث انخفضت قيم الموصولية الحرارية للخلطتين اعلاه بنسبة (71.30, 68.21)%عن الخلطة المرجعية A كما مبين في الشكل 6 ويعود ذلك الى الهيكل المسامي لركام الاتابلغايت الخفيف والذي يظهر بشكل واضح في صور المجهر الالكتروني في فحص AFM حيث تعمل المسامات الهوائية على تقليل انتقال الحرارة خلال الجسم الخرساني وبالتالي تقليل موصوليته الحرارية.

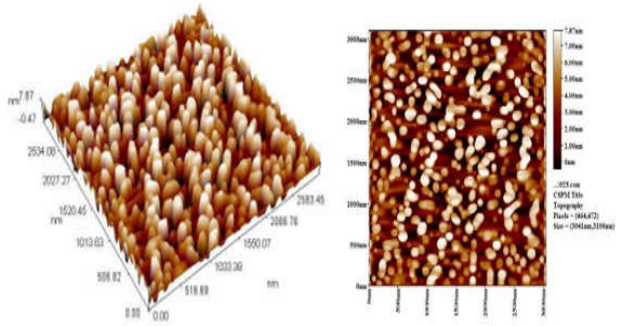


شكل رقم 6 : قيم الموصولية الحرارية للنماذج

5.6 فحص مجهر القوة الذرية *Atomic Force Microscope Test*

يستخدم في الفحص جهاز مجهر القوة الذرية (AFM) لتحديد شكل وتركيب السطوح ذات الابعاد الدقيقة وبدقة تكبير تصل الى 1000000 مرة وتقاس الابعاد على المستويات X,Y,Z ويكون التكبير للمستوى Z اعلى من المستويين X,Y ، وقد تم فحص عينات نماذج خرسانة الركام خفيف الوزن الانشائية والعازلة المطحونة بدرجة نعومة 150 µmللتعرف على شكل الدقائق للسطح وترابطها ضمن الهيكل الخرساني اجري الفحص في قسم الهندسة الكيميائية في جامعة بغداد ،ويبين الشكل(7) صورة لمجهر القوة الذرية المستخدم حيث يتكون الجهاز من ذراع ينتهي بمتحسس ذو راس حاد يسمى tip لمسح السطح للنموذج وعند اقتراب راس المتحسس من السطح تتولد قوة تؤدي الى انحراف المجس المتحسس وبالتالي انحراف ذراع الجهاز ويقاس الانحراف بعدة طرق كاستخدام اشعة الليزر والتي تنحرف بدورها على مراة مثبتة في الذراع او قد يستخدم التداخل الضوئي وغيره من الطرق حسب نوع السطح المفحوص والغاية من الفحص. تم اختيار عينة الخرسانة Hالعازلة ذو الكثافة الاقل 1380 kg/m3والعينة GP بكثافة 1668 kg/m3 التي تمثل الخرسانة الانشائية وتم قياس ابعادها بوحدات النانوميتر ويبين الشكلين (8) و (9) صورا لمقاطع مكبرة للعينتين (GP,H) على التوالي, كما يظهر من الجدول الموجود في الشكل (8- أ) معدل قطر الدقائق للخلطة H العازلة وهي 144.62 nmفي حين كان معدل قطر الدقائق للخلطة GP الانشائية والذي يظهر من الجدول الموجود في الشكل (9- أ) حوالي 116.69 nm، ويعود ذلك الى زيادة نسبة ركام الاتابلغايت ضمن الخلطة H في حين تعمل المادة البوزولانية في الخلطة GP على تقليل معدل حجم الدقائق ، وتظهر الصور الدقائق الكبيرة للركام ذات اللون الفاتح بشكل واضح وبنسبة عالية مقارنة مع الدقائق الصغيرة للسمنت والمادة لبوزولانية والتي تظهر بلون غامق والتي كانت كافية لربط الركام خفيف الوزن كما مبين في فحص المقاومة وفحص الشد الانزلاقي للنماذج .

شكل رقم 7: صور لجهاز مجهر القوة الذرية AFM .

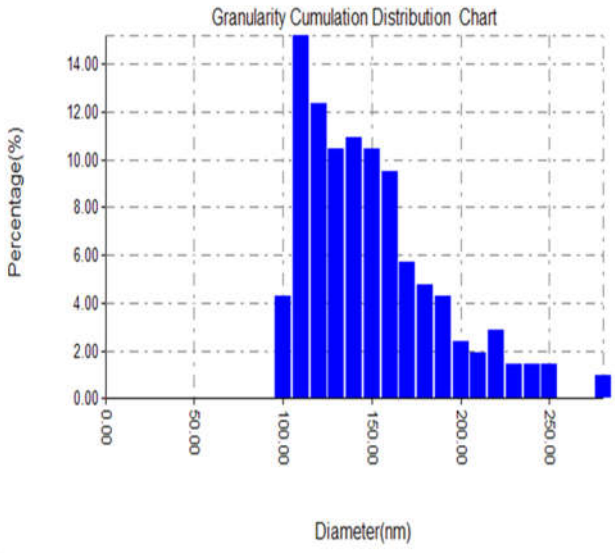


شكل رقم 8 : فحص مجهر القوة الذرية لعينة الخلطة (H).

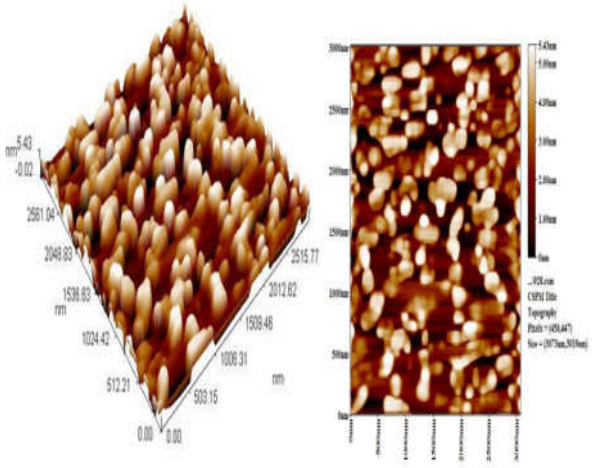
Sample:H

Avg. Diameter:144.62 nm	**<=10% Diameter:100.00 nm**
<=50% Diameter:130.00 nm	**<=90% Diameter:190.00 nm**

Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter(nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)
100.00	4.27	4.27	160.00	9.48	72.99	220.00	2.84	94.79
110.00	15.17	19.43	170.00	5.69	78.67	230.00	1.42	96.21
120.00	12.32	31.75	180.00	4.74	83.41	240.00	1.42	97.63
130.00	10.43	42.18	190.00	4.27	87.68	250.00	1.42	99.05
140.00	10.90	53.08	200.00	2.37	90.05	280.00	0.95	100.00
150.00	10.43	63.51	210.00	1.90	91.94			



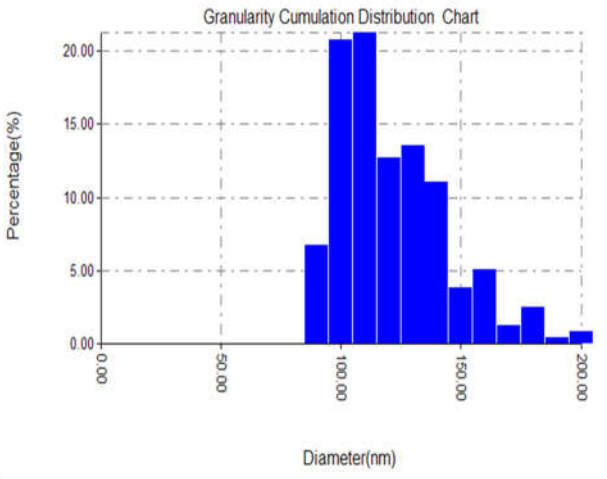
شكل رقم 8- أ : توزيع التراكيب الحبيبية لعينة الخلطة H



شكل رقم 9 : فحص مجهر القوة الذرية للعينة (GP)

Sample:GP	Code:Sample Code
Line No.:lineno	Grain No.:236
Avg. Diameter:116.69 nm	<=10% Diameter:90.00 nm
<=50% Diameter:110.00 nm	<=90% Diameter:150.00 nm

Diameter (nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter (nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)	Diameter (nm)<	Volume(%)	Cumulation(%)
90.00	6.78	6.78	130.00	13.56	75.00	170.00	1.27	96.19
100.00	20.76	27.54	140.00	11.02	86.02	180.00	2.54	98.73
110.00	21.19	48.73	150.00	3.81	89.83	190.00	0.42	99.15
120.00	12.71	61.44	160.00	5.08	94.92	200.00	0.85	100.00



شكل رقم 9- أ: توزيع التراكيب الحبيبية للعينة (GP)

6. الاستنتاجات Conclusion

استنادا الى نتائج الفحوص المختبرية التي تم الحصول عليها يمكن ان نلخص استنتاجات البحث كما يلي :

1. امكانية انتاج خرسانة ركام خفيف الوزن انشائية بكثافة kg/m31668 ومقاومة انضغاط N/mm217.5 باستخدام ركام الاتابلغايت بنسبة 50% ركام ناعم خفيف الوزن و 100% ركام خشن خفيف الوزن مع اضافة نسبة وزنية 10% من السمنت كمادة بوزولانية.

2. تم الحصول على نوعين من خرسانة ركام خفيف الوزن العازلة ،النوع الاول بكثافة kg/m31380 وموصولية حرارية w/m.k°0.37 باستخدام ركام الاتابلغايت بنسبة 100% ركام ناعم و100% ركام خشن والنوع الثاني بكثافة kg/m31432 وموصولية حرارية w/m.k° 0.41باستخدام ركام الاتابلغايت بنسبة 100% ركام ناعم و 100% ركام خشن مع اضافة نسبة وزنية 10% من السمنت كمادة بوزولانية.

3. انتاج خرسانة ركام خفيف الوزن ذات خواص متوسطة بين العازلة والانشائية باستخدام ركام الاتابلغايت بنسبة 50% ركام ناعم و 100%،50% ركام خشن خفيف الوزن.

المصادر

[1] ACI 213R – 87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete,pp 213R(2-3).

[2] Al-Bahar.Suad,V. Bogahawatta, 2006, Development of Lightweight Aggregate in Kuwait, Arabian Journal for Science and Engineering, Vol- 31,No1c.

[3] Al-Hadithi. R.Y,2003, Durability of High Performance Concrete Incorporating High Reactivity Metakaolin and Rice Husk Ash, M.Sc. Thesis, University of Technology,PP.115.

[4] ASTM C33-03 Standard Specification for Concrete Aggregate, Annual Book of ASTM Standard Vol 04.02.

[5] ASTM C157-04, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.

[6] ASTM C192-02, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory1 Annual Book of ASTM 02,February Standard, Vol.04- 2002.

[7] ASTM C330-04 Standard Specification for Lightweight Aggregate for Structural Concrete, Vol.04.

[8] ASTM C332-99, Standard Specification for Lightweight Aggregate for Concrete. Insulating

[9] ASTM C496-04, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

[10] ASTM C567-05, Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete.

[11] ASTM C618-03 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,Annual Book of ASTMStandard, Vol.04-02,February 2003,P.3.

[12] ASTM C642-97, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

[13] ASTM C1113-99 (Reapproved 2004), Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire ,Platinum Resistance thermometer Technique.

[14] B.S.1881.Part5,1970,Method of testing concrete for strength.

[15] Clay and Slate Institute, 1960, Story of Selma, 2nd edition ,Expanded Shale,Washington, D.C.,pp11.

[16] D.Aniel.G,Ted.H,2008,Internal Curing of High-Performance Concrete with Pre-Soaked Fine Lightweight Aggregate for Prevention of Avtogenous Shrinkage Cracking", Cement and Concrete Research38, PP757-765.

[17] D.P.Bentz, K.A.Snyder,1999, "Protected Paste Volume in Concrete Extension fine Aggregate", Cement and Concrete Research29, PP1863-1876.

[18] E.Fakh,W.Hajjaji,M.Medhioub, 2007, "Effect of Sand Addition on Production of Lightweight Aggregate" from Tunisian Smectite – Rich Clayey Rocks, Comprehensive Glycoscience Vol.35, Issues 3-4,PP228- 237.

[19] Expanded Shale, Clay and Slate Institute (ESCSI), 2007, Physical Properties of Structural Lightweight Concrete, Chapter6, pp1.

[20] Jose Manuel,Beartiz Gonzaleaz ,Jacinto Alonso,2017,Manuracturing of lightweight aggregate with Carbon fiber and Mineral Wastes,Journal of Cement and ConcreteComposite.DOI:10.1016/J.cemconcomp.2017.08.001,pp335-348.

[21] kenneth.HarmonPE,Engineering properties of Structural lightweight Concrete, Carolina Company-US.

[22] اسماعيل نادية ، داود رعد ، 2010، تصنيع ركام خفيف الوزن لانتاج خرسانة خفيفة عازلة ، الكلية التقنية – الموصل , ص10-23.

[23] المواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984، ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء, الجهاز المركزي للتقيس والسيطرة النوعية.

[24] المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة1984،السمنت البورتلاندي, الجهاز المركزي للتقيس والسيطرة النوعية.

[25] جمعة انتصار ،كاظم فيصل ، 2010، دراسة مقارنة لاستخدام الخرسانة الخفيفة الوزن بدلا من الطابوق التقليدي في بناء القواطع ، معهد التكنولوجيا ، بغداد.

Using Attapulgite as a Lightweight Aggregate to Produce Structural and Insulating Concrete

Hind Hussein Hammad [1,*], Zeyad Momtaz Mohamed [2], and Tmara Rasheed [3]

[1] *University of Baghdad, Baghdad, Iraq, hind_alani71@yahoo.com*

[2] *Building research center, Baghdad, Iraq, ziyad52005@yahoo.com*

[3] *Building research center, Baghdad, Iraq, tamararashed26@gmail.com*

**Corresponding author: Hind Hussein Hammad, email: hind_alani71@yahoo.com*

Published online: 30 June 2019

Abstract— The wide spread of lightweight concrete due to its properties like low density, good thermal insulation, and the economic feasibility of low cost for buildings constructed with this type of concrete. The studies in this field of construction materials have varied, in this research, one types of the lightweight concrete was produced. It is a lightweight aggregate concrete. Crushed attapulgite rocks was used as aggregate which fired at temperature of 700°C and used as partially or completely replacement with ordinary aggregates to production low-density concrete blocks both structural and insulating, The properties of the concrete produced which tested for (density, compressive strength, thermal conductivity, linear shrinkage, splitting strength) is conformed to the requirements of international specifications, the mix (GP) which contain 50% fine attapulgite aggregate and 50% ordinary fine aggregate with 100% coarse attapulgite aggregate conforms to the properties of structural lightweight concrete according to ASTM C330 and its gave a density about 1668Kg/m^3 and compression strength of 17.5 N/mm^2, while the two mixtures (H, HP) consisting of fine and coarse attapulgite aggregate with 100% of the total aggregate in mixture, with weight of 10% from cement as a pozzolana material in the mix HP is identical to the properties of the insulating lightweight aggregate concrete according to ASTM C332 with density about (1380,1432)Kg/m3 and thermal insulation (0.37,0.41)w/mk°, respectively.