



جامعة تشرين

كلية الهندسة المدنية

قسم هندسة وإدارة التشييد

دراسة ملاءمة استخدام أنقاض الهدم المحلية المدورة في صناعة

بعض مواد البناء

(اللبات الإسمنتية المفرغة – بلاط الأرصفة العادي والمتداخل)

**A study about using local recycle demolition waste in production
of some building materials (Hollow and solid blocks – Paving
blocks)**

رسالة علمية أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

اختصاص هندسة وإدارة التشييد

إعداد الطالب

باسل صلاح أصلان

بإشراف

أ. د. م. بسام حسن

أ. د. م. علي خيربك

العام الدراسي

2016-2015

قُدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في هندسة وإدارة
التشييد من كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين

This thesis has been submitted as a partial fulfillment of the requirement for the degree of master of sciences in Engineering and Construction Management at the Faculty of Civil Engineering, Tishreen University.

تصريح

أُصرّح بأنني قمت بكافة التعديلات التي وضعتها لجنة الحكم على موضوع الرسالة التي هي بعنوان:
"دراسة ملائمة استخدام أنقاض الهدم المحلية المدورة في صناعة بعض مواد البناء (اللبنت
الإسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل)"

اسم المرشح

المهندس باسل صلاح أصلان

بإشراف الأستاذ الدكتور علي خيربك والأستاذ الدكتور بسام حسن

أمام لجنة الحكم المؤلفة من السادة :

الدكتور

عماد فاضل

الأستاذ الدكتور

علي خيربك

الأستاذ الدكتور

بسام حنا

تصريح

أصرح بأن هذا البحث :

"دراسة ملائمة استخدام أنقاض الهدم المحلية المدورة في صناعة بعض مواد البناء (اللبنتات الإسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل)"
لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة، ولا هو مُقدّم حالياً للحصول على شهادة أخرى .

اسم المرشح

المهندس باسل صلاح أصلان



تاريخ: ٧ / ٢ / 2016

DECLARATION

This is to declare that, this work

" A study about using local recycle demolition waste in production of some building materials (Hollow and solid blocks – Paving blocks)"

has not been being submitted concurrently for any other degree.

Candidate name
ENG. Basel Aslan

Date: 7 / 2 / 2016



نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 7/4/2016 وأجيزت

أمام لجنة الحكم المؤلفة من السادة :

الدكتور
عماد فاضل

الأستاذ الدكتور
بسام حنا

الأستاذ الدكتور
علي خيربك

مواد البناء
قسم هندسة وإدارة التشييد
كلية الهندسة المدنية
جامعة تشرين

مواد البناء
قسم هندسة المواصلات والنقل
كلية الهندسة المدنية
جامعة البعث

مواد البناء
قسم هندسة وإدارة التشييد
كلية الهندسة المدنية
جامعة تشرين

كلمة شكر

ACKNOWLEDGMENT

أود أن أتقدم بالشكر و الامتنان إلى وزارة التعليم العالي، و إلى جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، لاحتضانها لي و لعملي، و أخص بالشكر قسم هندسة و إدارة التشييد لدعمه و تأييده الدائم لي، و أتقدم بجزيل الشكر و التقدير العظيم لمد يد العون الكريمة و المساعدة في الأعمال الخاصة بهذا البحث إلى كل من:

الأستاذ الدكتور علي خيربك و الأستاذ الدكتور بسام حسن

لجهودهما الحثيثة التي قدماها لي في العمل على إنجاز هذا العمل.

الإهداء DEDICATION

إلى الذين كانوا معي في كافة مراحل حياتي وفي هذه المرحلة أحاطوني بالمحبة وانتظروا

معي الانتقال من عتبة إلى أخرى بنجاح وتميز إلى عائلتي الجميلة ورفيقة دربي مريم

أهدي هذا الجهد.

المهندس باسل أصلان

شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة:
"دراسة ملائمة استخدام أنقاض الهدم المحلية المدورة في صناعة بعض مواد البناء
(اللبنتات الإسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل)"

هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح المهندس باسل اصلان بإشراف الدكتور علي خيربك (الأستاذ في
كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية) و الدكتور بسام حسن (الأستاذ في كلية الهندسة
المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية)، وإن أي مرجع ورد في هذه الرسالة موثق في النص.

بإشراف

الأستاذ الدكتور

بسام حسن

الأستاذ الدكتور

علي خيربك

المرشح

المهندس

باسل اصلان

تاريخ: 7/4/2016

CERTIFICATION

It is hereby certified that, the work described in this thesis

" A study about using local recycle demolition waste in production of some
building materials (Hollow and solid blocks – Paving blocks)"

is the results of Mr. Basel Aslan own investigations under the supervision of
Dr. Ali KHEIRBEK (Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen
University, Lattakia, SYRIA), and Dr. Bassam Hassan (Professor, Faculty of
Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA), and any reference of
other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Candidate

Supervisors

Eng. Basel ASLAN

Dr. Ali KHEIRBEK

Dr. Bassam HASSAN

Date: 7 / 4 / 2016

**Tishreen University
Faculty of Civil Engineering
Engineering and Construction Management**



A study about using local recycle demolish in the makings some building materials (Hollow and solid blocks – Paving blocks)

**Thesis has been submitted as a partial fulfillment of the
requirement for the degree of master of sciences in Engineering
and Construction Management at the Faculty of Civil
Engineering**

**By
Basel ASLAN**

Supervisors

Dr. Ali KHEIRBEK

Dr. Bassam HASSAN

2015-2016

جدول المحتويات

TABLE OF CONTENTS

العنوان رقم الصفحة

1..... مقدمة

الفصل الأول "إعادة تدوير الحصىات واستخداماتها"

1-1-1 مقدمة 9

2-1 الحصىات وتصنيفها 9

1-2-1 الحصىات: 9

2-2-1: تصنيف الحصىات بحسب المنشأ: 10

1-2-2-1: الحصىات الطبيعية: 10

2-2-2-1: الحصىات المصنعة: 10

3-2-2-1: الحصىات المعاد تدويرها: 11

1-3-2-2-1. شكل و تركيب الحصىات المعاد تدويرها: 12

3-1 تركيب الأنقاض 13

4-1 آليات و تقنيات عمليات الهدم والتدوير 13

1-4-1 الهدم اليدوي 13

2-4-1 الهدم الميكانيكي 15

3-4-1 الهدم بالتفجير 15

5-1 إعادة تدوير أنقاض الهدم: 16

1-5-1 إدارة عملية إعادة تدوير الأنقاض: 16

2-5-1 أهمية عملية إعادة التدوير للتخلص من النفايات: 17

3-5-1 برمجة عملية إعادة التدوير: 19

4-5-1 درجة سلامة المواد المطلوب إعادة تدويرها: 19

5-5-1 جدوى و معوقات إعادة التدوير: 20

6-5-1 التجهيزات المستخدمة في محطات إعادة التدوير: 21

1-6-5-1. الآلات المستخدمة في تكسير أو تحطيم الأنقاض : 21

2-6-5-1. الآلات المستخدمة في تفتيت النفايات: 21

3-6-5-1. المعدات التي تحول المادة إلى شرائح 21

4-6-5-1. معدات الطحن والسحق : 22

5-6-5-1. اشتراك أنواع مختلفة من تقنيات المعالجة في معالجة تدوير الأنقاض: 22

6-6-5-1. الكسارات : 22

6-1. دراسات مرجعية 23

الفصل الثاني: البرنامج التجريبي- تحضير و توصيف الأنقاض المعاد تدويرها،

تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع و بدون حصىات معاد تدويرها"

2- الدراسة التجريبية: 30

1-2 تحضير الأنقاض مخبرياً: 30

1-1-1 المرحلة الأولى: 31

2-1-2 المرحلة الثانية : 31

- 33-1-2 المرحلة الثالثة توصيف الحصويات: 33
33-1-2-1 قياس التدرج الحبي: 33
37-1-2-1-2 قياس الوزن الحجمي (الظاهري والصلب): 37
38-1-2-3-1-2 قياس الكتلة الحجمية الظاهرية: 38
41-1-2-3-2-2 قياس الكتلة الحجمية الصلبة 41
45-1-2-3-3-1 قياس اهتراء الحصويات وفق لوس أنجلوس 45
47-1-2-3-4-1 قياس نظافة الحصويات بالمكافئ الرملي: 47
48-1-2-3-5-1 قياس التشرب الأقصى بالماء 48
2-2-2 تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع و بدون حصويات معاد تدويرها 50
1-2-2-1 تصميم الخلطات البيتونية: 50
2-2-2-2 صب الخلطات البيتونية: 53
3-2-2 التجارب على البيتون الطري: 54
4-2-2-4 التجارب على البيتون المتصلب: 57

الفصل الثالث: البرنامج التجريبي- تحضير و توصيف النماذج المخبرية من المنتجات

الإسمنتية مع و بدون حصويات معاد تدويرها:

(اللبئات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل)

- 3- الدراسة التجريبية: 60
1-3-1 صب العينات (اللبئات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل): 60
1-1-3-1 صب اللبئات الاسمنتية المفرغة (البلوك): 60
1-1-1-3 تصميم الخلطات: 61
2-1-1-3 مراحل التصنيع: 62
2-1-3-1 صب عينات بلاط الأرضية الإسمنتي العادي: 63
1-2-1-3 مكونات طبقات بلاط الأرضية الإسمنتي العادي 63
2-2-1-3 مراحل التصنيع: 64
3-1-3-1 صب عينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك): 68
1-3-1-3 مكونات طبقات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك): 68
2-3-1-3 مراحل التصنيع: 69
2-3-1-3 توصيف المنتجات الإسمنتية (اللبئات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل): 71
1-2-3-1 الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لللبئات الاسمنتية المفرغة: 71
1-1-2-3-1 المقاومة على الضغط البسيط لعينات اللبئات الاسمنتية المفرغة (البلوك): 71
2-1-2-3-1 قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات اللبئات الاسمنتية المفرغة (البلوك): 73
2-2-3-1 الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لبلاط الأرضية الإسمنتي: 74
1-2-2-3-1 المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات لبلاط الأرضية الإسمنتي: 74
2-2-2-3-1 قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي: 76
3-2-3-1 الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لبلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك): 77
1-3-2-3-1 المقاومة على الضغط البسيط لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك): 77
2-3-2-3-1 قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك): 79

الفصل الرابع تحليل النتائج و مناقشتها : تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات

المعاد تدويرها على خصائص البيتون و المنتجات الإسمنتية المصنعة منها.

- 4- تحليل النتائج و مناقشتها: 82
1-4 تحليل نتائج البيتون المصبوب باستخدام الحصويات المعاد تدويرها: 82

- 82-1-4. تأثير الاستبدال على قوام البيتون ممثلاً بهبوط أبرامز:
84-1-4. تأثير نسب الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط:
85-1-4. تأثير نسب الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a):
86-1-4. تأثير نسب الاستبدال على ديمومة البيتون
88-2-4. تحليل نتائج عينات البلوك الإسمنتي المفرغ المصنع باستخدام الحصى المعاد تدويرها:
88-1-2-4. تأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك الإسمنتي المفرغ:
89-2-2-4. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a):
90-3-2-4. تأثير الاستبدال على الوزن النوعي:
92-3-4. تحليل نتائج عينات بلاط الأرضية الإسمنتي المصنع باستخدام الحصى المعاد تدويرها:
92-1-3-4. تأثير الاستبدال على المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:
91-2-3-4. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a) لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:
95-3-3-4. تأثير الاستبدال على الوزن النوعي لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:
96-4-4. تحليل نتائج عينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك) المصنع باستخدام الحصى المعاد تدويرها
96-1-4-4. تأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك:
97-2-4-4. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء لعينات الأنترلوك:
98-3-4-4. تأثير الاستبدال على الوزن النوعي لعينات الأنترلوك:
- 104..... المراجع الأجنبية
105..... المراجع العربية
XV..... الملخص باللغة العربية
XV1..... الملخص باللغة الإنكليزية
XI..... فهرس الجداول
XII..... فهرس الأشكال

فهرس الجداول LIST OF TABLES

الصفحة	العنوان	الجدول
26	التقييم الاقتصادي نتاج اللبئات الإسمنتية بالعملة المحلية عند نسب الاستبدال المختلفة	1-1
34	نتائج تجربة التحليل الحبي للرمل النبكي (حصويات طبيعية)	1-2
35	تجربة التحليل الحبي للرمل العدسي (حصويات طبيعية)	2-2
36	تجربة التحليل الحبي للحصويات الطبيعية	3-2
36	تجربة التحليل الحبي للحصويات المعاد تدويرها (60%بيتون ، 20%بلوك ، 10% سيراميك ، 10%بلاط)	4-2
44	نتائج الوزن الحجمي الظاهري والصلب لمختلف الحصويات	5-2
47	قياس المكافئ الرملي للرمل النبكي (حصويات طبيعية)	6-2
48	قياس المكافئ الرملي للرمل العدسي (حصويات طبيعية)	7-2
49	نتائج الاهتراء والتشرب الأقصى بالماء لمختلف الحصويات	8-2
53	نتائج التصميم الخاصة بالخلطات التي تم صبها من أجل 1م ³	9-2
55	نتائج قياس هبوط أبرامز و الوزن الحجمي للبيتون الطري	10-2
57	نتائج اختباري الضغط البسيط والتشرب للعينات البيتونية	11-2
58	نتائج الاختبار على المقاومة بعد الغمر بالمحلول الملحي.	12-2
61	نسب و أوزان المواد الداخلة في تركيب اللبئات الإسمنتية المفرغة.	1-3
73	نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط للمقطعين الكلي والصافي	2-3
74	نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات البلوك الإسمنتي المفرغ	3-3
75	نتائج اختبار المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي	4-3
76	نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي	5-3
79	نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك	6-3
80	نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك)	7-3

فهرس الأشكال

LIST OF FIGURES

الصفحة	العنوان	الشكل
3	مراحل العمل في مصانع إعادة تدوير الأنقاض المركزية	1
4	نموذج لأحد مصانع التدوير المتنقلة	2
4	منهجية عملية تدوير البيتون	3
9	بعض مصادر الحصىات الطبيعية	1-1
9	معالجة الحصىات الخبثية قبل استخدامها	2-1
10	تجميع أنقاض الهدم الصلبة بهدف تحضير الـ RCA	3-1
10	تحضير حصىات الـ RCA على مراحل	4-1
11	تركيب الحصىات المعاد تدويرها	5-1
11	شكل اتصال الحصىات المدورة مع العجينة الرابطة في البيتون	6-1
12	محتوى الأنقاض من المكونات المختلفة	7-1
13	مراحل هدم بناء أو منشأة صغيرة يدوياً	8-1
13	فرز بعض نواتج الهدم المفيدة عند اتباع تقنية الهدم اليدوي	9-1
14	الهدم الميكانيكي باستخدام الكرة الساقطة	10-1
15	تطبيق لتقنية الهدم بالتفجير	11-1
16	مستويات التخلص من النفايات	12-1
17	شكل الحجارة الكبيرة قبل طحنها و بعد فصل الشوائب الأخرى	13-1
17	مقارنة بين أشكال الحصىات المعاد تدويره	14-1
20	تعبئة الأنقاض المكسرة	15-1
22	نموذج لمحطة تدوير متكاملة ثابتة.	16-1
23	منحنيات الحصىات الطبيعية والحصىات المعاد تدويرها	17-1
23	إلى اليسار: استخدام المطرقة الكهربائية. و إلى اليمين: استخدام الرجاج الآلي بالإضافة للمطرقة	18-1
25	التحليل الإحصائي لنتائج المقاومة على الضغط البسيط لجميع العينات مع نسب الاستبدال المختلفة	19-1
26	صناعة البلوك من الحصىات المعاد تدويرها	20-1

27	العلاقة بين الوزن الحجمي المرتبط بالرص، والمقاومة على الضغط البسيط	21-1
28	العلاقة بين نسب الاستبدال والمقاومة على الضغط البسيط	22-1
31	الأنقاض قبل المعالجة	1-2
31	تكسير الأنقاض بالمطرقة يدوياً.	2-2
32	تكسير الأنقاض باستخدام الكسارة الآلية	3-2
32	تفريغ المواد في الكسارة الآلية بهدف الطحن النهائي	4-2
34	منحني التدرج الحبي الخاص بالرمل النبكي	5-2
35	منحني التدرج الحبي الخاص بالرمل العدسي	6-2
37	منحني التدرج الحبي الخاص بالحصويات المختبرة	7-2
52	منحنيات التدرج الحبي للحصويات و المنحني المرجعي	8-2
53	وزن مكونات الخلطة	9-2
54	خلط المكونات	10-2
55	قياس الهبوط بمخروط أبرامز	11-2
56	صب العينات بالقوالب	12-2
56	إخراج العينات من الماء تمهيداً لإجراء الاختبارات	13-2
58	غمر العينات بالمحلول الملحي بتركيز 15%	14-2
60	شكل القالب	1-3
62	مراحل مزج مكونات خلطات اللبئات الإسمنتية المفرغة	2-3
63	مراحل صب عينات اللبئات الإسمنتية المفرغة	3-3
65	مراحل تصنيع مكونات خلطات بلاط الأرضية العادي الإسمنتي (طبقة الظهر)	4-3
66	مراحل تصنيع مكونات خلطات بلاط الأرضية العادي الإسمنتي (طبقة الوجه)	5-3
67	مراحل صب عينات بلاط الأرضية الإسمنتي العادي	6-3
69	مراحل تصنيع خلطات بلاط الأرضية المتداخل الإسمنتي (الطبقتان العليا و السفلى)	7-3
70	مراحل تصنيع عينات بلاط الأرضية المتداخل الإسمنتي (الأنترلوك)	8-3
71	آلية احتساب المقطع الصافي لعينة البلوك المفرغ	9-3
72	آلية قياس المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك المفرغ	10-3
75	آلية قياس المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي	11-3
77	آلية احتساب المقطع الصافي لعينة الأنترلوك	12-3

78	آلية قياس المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك	13-3
83	العلاقة بين قوام الخلطات الطرية ونسب الاستبدال	1-4
84	العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون ونسب الاستبدال	2-4
85	العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب الاستبدال	3-4
	العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون بعد الغمر بمحلول كلوريد	4-4
86	الصوديوم ونسب الاستبدال	4-4
87	العلاقة بين معامل انخفاض المقاومة و نسب الاستبدال	5-4
	العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك الإسمنتي ونسب	6-4
88	الاستبدال	
	العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء لعينات البلوك الإسمنتي (a) ونسب	7-4
90	الاستبدال	
91	العلاقة بين الوزن النوعي لعينات البلوك الإسمنتي ونسب الاستبدال	8-4
	العلاقة بين المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي	9-4
92	ونسب الاستبدال	
94	العلاقة بين التشرب (a) ونسب الاستبدال	10-4
95	العلاقة بين الوزن النوعي ونسب الاستبدال	11-4
96	العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط و نسب الاستبدال	12-4
97	العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) و نسب الاستبدال	13-4
98	العلاقة بين الوزن النوعي و نسب الاستبدال	14-4

المخلص

يُعتبر تأمين المواد الأولية اللازمة لصناعة البيتون من أهم القضايا التي تثير اهتمام أصحاب القرار في زمن تسارع فيه التوسع العمراني في معظم الدول بشكل كبير، وازداد الطلب على البناء بمختلف أصنافه و بمتطلبات تتوافق مع النمو السكاني و العمراني في مختلف الدول.

تشكل الحصويات الخشنة و الناعمة الحجم الأكبر من مكونات البيتون، و هو ما خلق حديثاً حاجة ماسة لتأمين كميات متزايدة منها بشكل يومي. ترافق ذلك مع خروج عدد كبير من المباني من الخدمة في الآونة الأخيرة، و هو ما تطلب هدمها و إزالتها لتشكيل أنقاضاً من الصعب إدارتها و تخزينها نظراً لأحجامها الكبيرة.

استُخدمت هذه الأنقاض في سوريا بشكل محدود، و اقتصر استخدامها على الردم الطرقي و المساهمة في طبقات الأساس الحصوية للطرق و الساحات. إلا أن الاستثمار الجائر للمقالع، و الإساءة إلى المظهر الجمالي لجبالنا و للبيئة بشكل عام، و ضرورة التخلص من هذه الأنقاض أفسح المجال للبحث في إمكانية استخدامها كبديل نسبي للحصويات الطبيعية في البيتون و المنتجات الإسمنتية الأخرى.

يقدم هذا البحث مساهمة في دراسة إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض الهدم مع الحصويات الطبيعية بنسب مختلفة لما لذلك من أهمية اقتصادية و بيئية في عمليات البناء مستقبلاً.

بينت النتائج أن النسب المقبولة في البيتون لاستبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها يمكن أن تصل إلى 50%، مع تسجيل قيم للمقاومات المكعبية أكبر من 300kg/cm^2 علماً بأن عيار الاسمنت المستخدم في خلطاتنا لم يتجاوز 350kg/cm^2 . كما أعطى استخدام الحصويات الناعمة المعاد تدويرها في صناعة المنتجات الإسمنتية الخاصة كبلاط الأرضية العادي و المتداخل، و اللببات الإسمنتية المفرغة قيماً جيدة تفوق حدود المواصفات السورية فيما يتعلق بالمتطلبات الميكانيكية عند استخدامها بنسب مرتفعة مع الحصويات الطبيعية. و هو ما يبدو مشجعاً لاستخدامها بشكل كبير في هذا المجال.

Abstract

Providing the necessary raw materials for manufacturing cement is considered one of the most important issues that concerns the decision-makers in the time of acceleration in the constructional expansion in most of the countries. The demand for construction in all its types has increased, one that accords with the population and construction needs in different countries.

Rough and soft pebbles form the largest volume of cement components, the thing that has recently created an urgent need to provide increasing amounts of them on daily basis. This is accompanied with going a considerable number of buildings out of service recently, the thing that necessitated their demolition and removal, creating debris that is hard to manage and store due to its large volume.

This debris was used in Syria in a limited way, used only in road fillings and as pebble basis for roads and squares. However, the unfair investment of quarries, and the abuse of the aesthetic view of our mountains in particular, and to the environment, in general, and the need to get rid of this debris paved the way to search for the possibility of using it as a relative substitute for natural pebbles in cement and other cement products.

This research contributes in studying the possibility of using the recycled pebbles from demolition debris with the natural pebble in different ratios because of its economical and environmental importance in the future construction operations.

The results showed that the accepted ratio of cement to replace the natural pebbles with recycled ones can reach to 50%, with the registration of the cubic resistance larger than 300kg/cm^2 knowing that the caliber of cement used in our mixtures did not exceed 350 kg/cm^2 . The use of recycled soft pebbles, that are used in the special cement productions like pavements, also gave good values that exceed the Syrian standards concerning the mechanical needs when used in high ratio with the natural pebbles, the thing that is considered encouraging to be used on larger scale.



الجمهورية العربية السورية
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة وإدارة التشييد

دراسة ملاءمة استخدام أنقاض الهدم المحلية المدورة في صناعة بعض مواد البناء (اللبنات الإسمنتية المفرغة - بلاط الأرصفة العادي والمتداخل) دراسة اعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

إشرافه

الأستاذ الدكتور. بسام حسن
مشرفاً مشاركاً

الأستاذ الدكتور علي خيربك
مشرفاً رئيسياً

إعداد:

المهندس باسل صلاح أصلان

مقدمة

Introduction

أثار التوسع العمراني المتسارع في معظم الدول، والحاجة الى أبنية جديدة و بمتطلبات جديدة تتوافق مع النمو السكاني مشكلة كبيرة تتعلق بتأمين المواد الأولية اللازمة لإنتاج بيتون هذه الأبنية و خصوصاً الحصويات التي تشكل الحجم الأكبر من هذه المواد. كما طرح خروج عدد كبير من المباني من الخدمة في الآونة الأخيرة مشكلة حقيقية. و هو ما تطلب هدمها و إزالتها لتشكل أنقاضاً من الصعب إدارتها و تخزينها نظراً لحجومها الكبيرة.

استُخدمت هذه الأنقاض في سوريا بشكل خجول، و اقتصر استخدامها على الردم الطريقي و المساهمة في طبقات الأساس الحصوية للطرق و الساحات. إلا أن الاستثمار الجائر للمقالع، و الإساءة إلى المظهر الجمالي لجاننا و طبيعتنا، و ضرورة التخلص من هذه الأنقاض أفصح المجال للبحث في إمكانية استخدامها كبديل نسبي للحصويات الطبيعية في البيتون و المنتجات الإسمنتية الأخرى. لذلك تركز اهتمامنا في هذا البحث حول إعادة تدوير حصويات الأنقاض بهدف استخدامها لإنتاج البيتون و مواد البناء الأخرى. تمحور العمل في هذا البحث حول إحدى آليات الاستعادة من الحصويات المدورة من خلال استخدامها في صناعة البيتون و ذلك من خلال إجراء معالجة أولية لحصويات الأنقاض الناتجة عن الهدم ومزجها بنسب تعكس النسب الفعلية لها في النفايات على أرض الواقع. و هو ما قادنا إلى تطوير هذا البحث ليشمل البلوك الإسمنتي المفرغ و بلاط الأرضية العادي و المتداخل.

تبدو الحاجة لاستخدام هذه الأنقاض في أعمال البناء أكثر تطلباً في هذه المرحلة، و خصوصاً بعد ازدياد أسعار النقل بشكل كبير، و نقص مصادر الطاقة، و استثمار أغلب المقالع بشكل كامل و جائر في العديد من المناطق، مما جعل من الضروري البحث عن مقالع أخرى أو مصادر للمواد الحصوية لا تحتاج إلى المزيد من الكلفة لاستخدامها.

ستحتاج الأنقاض إلى صناعة خاصة لاستخلاص الحصويات بمقاساتها المختلفة، لتصبح جاهزة للاستخدام في المنشآت البيتونية. لذلك يجب أن تقترن الدراسات الخاصة باستثمار حصويات الأنقاض بدراسة على التوازي لجدوى إعادة التدوير، و استخدام تكنولوجيا متطورة تتيح الحصول على حصويات معادة التدوير تضاهي بخصائصها الفيزيائية و الميكانيكية الحصويات الطبيعية المستخدمة حالياً في مشاريع البناء.

نعرض فيما يلي أهم تقانات إعادة تدوير الحصويات المستخدمة عالمياً.

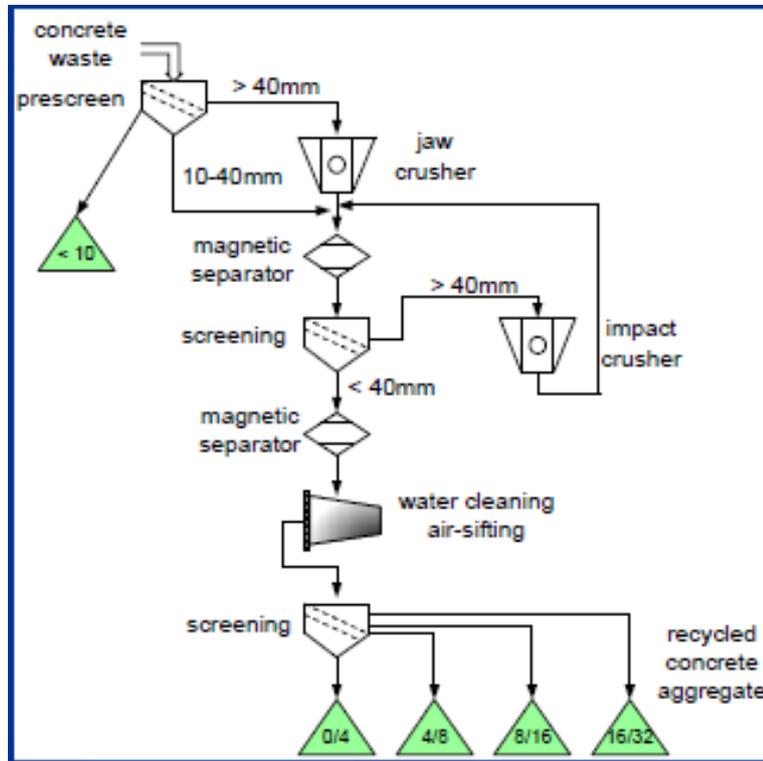
تكنولوجيا إعادة التدوير - فوائدها و تطبيقاتها:

نميز في التقانات المستخدمة في عملية إعادة تدوير الأنقاض ما يلي:

1: مصانع تدوير مركزية:

و يتم فيها التحطيم على مراحل تبدأ بفحص و فصل المواد غير البيتونية (ورق، حديد، جيبس، خشب، بلاستيك، زجاج...) بواسطة جهاز فصل مغناطيسي، لتأتي بعدها عملية التنظيف بالماء أو غريلة بالهواء للتخلص من النواجم و الغبار.

يبين الشكل (1) مراحل العمل في هذه المصانع:



الشكل 1 : مراحل العمل في مصانع إعادة تدوير الأنقاض المركزية

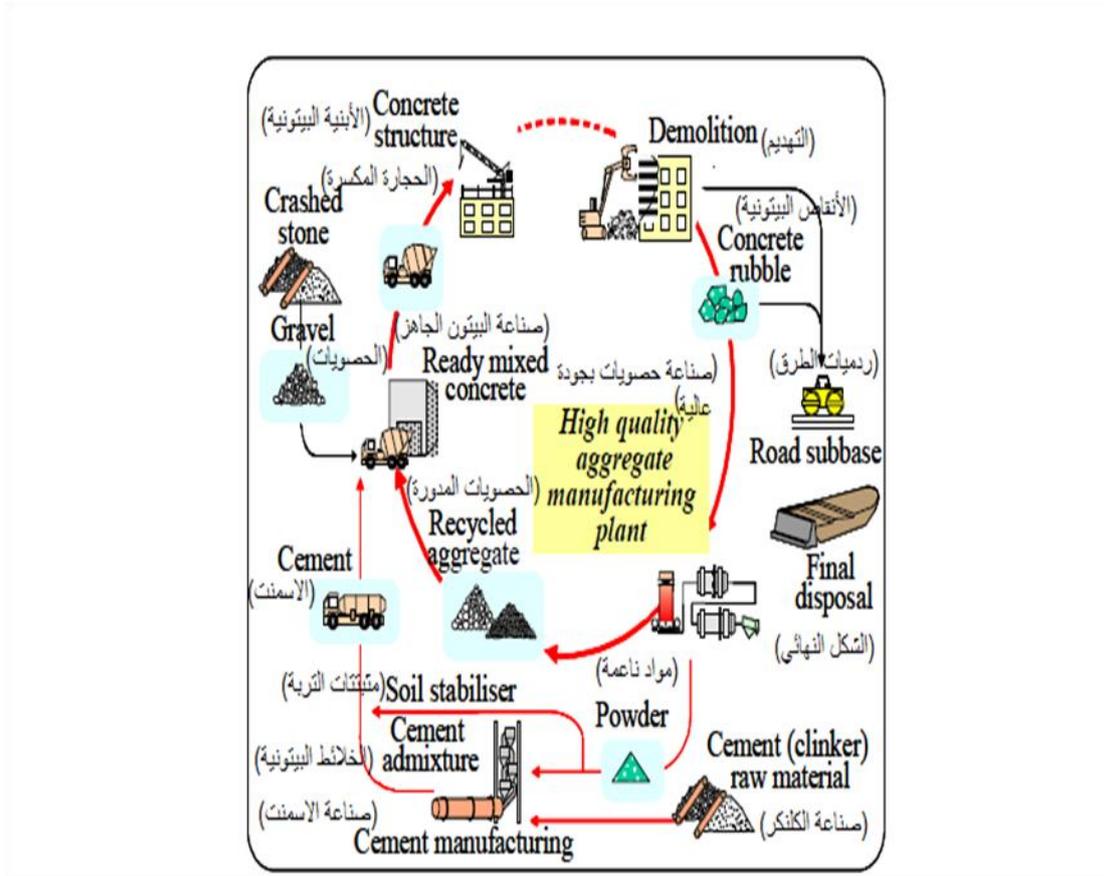
2: مصانع تدوير متنقلة:

تستخدم عادة في مواقع الهدم عندما تتوفر كميات كبيرة من النفايات المتجانسة التي سيتم فيها استخدام الحصويات المعاد تدويرها في الموقع ذاته.



الشكل 2 : نموذج لأحد مصانع التدوير المتنقلة

و بشكل عام يمكن أن نلخص مراحل عملية إعادة تدوير أنقاض البناء بما هو مبين على الشكل 3 أدناه:



الشكل 4: منهجية عملية تدوير البيتون

فوائد إعادة تدوير الأنقاض:

تتمثل فوائد إعادة تدوير أنقاض البناء فيما يلي:

- **الحفاظ على الطبيعية** وذلك لان استخدام الحصىيات معادة التدوير يقلل من اللجوء إلى الحصىيات الطبيعية من المقالع والشواطئ خاصة بعد التطور العمراني الكبير. فعلى سبيل المثال، و في الولايات المتحدة الاميركية أصبحت موارد الحصىيات الطبيعية محدودة، لذا بدأ استخدام الحصىيات المدورة في بعض هذه المناطق كحل صديق للبيئة و ذي جدوى اقتصادية عالية[11].
- **تقليل النفايات الناتجة عن هدم الابنية القديمة**، فبدلاً من إرسال هذه النفايات الى المكبات، واستهلاك مساحات واسعة من الارض لهذه المكبات، يتم الاستفاداة منها في إنتاج مواد جديدة مما سيخفف من التلوث المرئي بأكوام هذه المخلفات.
- **الاستفادة من المعادن** من خلال فصلها و فصل حديد التسليح مما يُعتبر خطوة مهمة في عملية إعادة التدوير. يتم عادة نزع قضبان التسليح المستمرة في الموقع. أما الأوتاد والأساور فتتزع بالمصنع. تُستخدم في هذه المرحلة مغناطيسات كهربائية لسحب الحديد والمعادن.
- **تقليل مسافة النقل** إذ تستخدم جميع المواد الناجمة عن سحق الحصىيات المدورة و بمختلف مقاساتها في المواد تبعا للمواصفات. مما سيفيد في الحد من حجم النفايات الحصىية. يمكن القيام بهذه العملية بالقرب من المشروع. سيفيد ذلك في الحد أيضاً من نقل النفايات الى المكبات ونقل الحصىيات الطبيعية الى المشروع و هو ما سينعكس إيجاباً على الكلفة.
- **زيادة المدخرات الإجمالية للمشروع** و ذلك من خلال استخدام كمية أقل من الحصىيات الطبيعية. إذ بينت إحدى الدراسات التي أجريت على مشروع بناء في الصين أنالقيمة التقريبية للربح الصافي الناتج عن إعادة التدوير تقدر بحوالي 2.5% من ميزانية المشروع الكلية.

مبررات البحث:

The need for Research

تندرج أهمية و مبررات البحث في النقاط الرئيسية الأربعة التالية:

- حماية الموارد الطبيعية للدولة (المقالع- الشواطئ -الجبال...)
- تنظيم عمليات تجميع الأنقاض إذ أن هنالك حجوم ضخمة من الركام البيتوني الناجم عن الهدم والتي ينتهي بها الأمر في مكبات غير قانونية.
- معالجة هذه النفايات بهدف إنتاج مواد جديدة منها (كميات هائلة نجدها بشكل عشوائي في المدن والقرى).
- إنتاج مواد بناء جديدة ذات خصائص بيئية، و تتمتع بمزايا اقتصادية(اللبئات الإسمنتية المصمتة والمفرغة -بلاط الأرضية العادي و المتداخل).

أهداف البحث:

The objectives of the Research

1. ابتكار طرق محددة مخبريا لإعادة تدوير الحصىات.
2. دراسة تأثير خصائص البيتون المصنع باستخدام الحصىات المدورة (المقاومة الميكانيكية-الديمومة - الاهتراء - التشرّب - الوزن الحجمي - قابلية التشغيل).
3. دراسة خصائص المنتجات المصنعة خلال البحث باستخدام الحصىات المعاد تدويرها. (اللبئات الإسمنتية المفرغة- بلاط الأرضية العادي و المتداخل)
4. دراسة تحليلية و مقارنة لنتائج الدراسة.

تنظيم البحث:

The Contents

تم تقسيم هذا البحث إلى ثلاثة فصول على النحو التالي:

الفصل الأول: الدراسة المرجعية

تضمن هذا البحث دراسة مرجعية مستفيضة حول إعادة تدوير حصىات الأنقاض من حيث شرح مفهوم إعادة التدوير، و دراسة تاريخه تتضمن استخدام الأنقاض، و تاريخ استخدام المواد المعاد تدويرها في الأعمال الإنشائية كالطرق و السدود، انتهاء باستخدام الحصىات معادة التدوير في المونة الإسمنتية والبيتون.

الفصل الثاني: البرنامج التجريبي

تم في هذا الفصل شرح مراحل العمل التجريبي الذي أنجز خلال هذا البحث ابتداء من الحصول على الأنقاض ومعالجتها مخبرياً (فرز + طحن + دراسة خصائص)، مروراً بدراسة خصائصها من حيث التدرج الحبي و قياس الأوزان الحجمية الظاهرية و الصلبة و المساواة و الديمومة (التشرب و النفاذية). ثم صناعة نماذج مخبرية من البيتون تحتوي في تركيبها على الحصويات المدورة و الطبيعية. ليتم بعدها دراسة خصائصها بشكل تفصيلي و تحليل نتائج هذه الدراسة.

الفصل الثالث: (المنتجات المصنعة من الحصويات معادة التدوير)

تم خلال هذه المرحلة صناعة نماذج من المنتجات التي استخدمت فيها الحصويات معادة التدوير (اللبئات الإسمنتية المفرغة- بلاط الأرضية العادي و المتداخل) لتتم بعدها دراسة خصائصها و تحليل نتائج هذه الدراسة.

الفصل الرابع: النتائج والتوصيات

الملحق 1: Appendix

المراجع: References

الفصل الاول

الدراسة المرجعية

"إعادة تدوير الحصىات واستخداماتها"



الفصل الأول

الدراسة المرجعية

(إعادة تدوير الحصىات و استخداماتها)

1-1- مقدمة Introduction

مع توسع المدن تضاف إلى مشكلة التخلص من النفايات المنزلية والصناعية مشكلة أخرى وهي التخلص من نفايات وأنقاض المباني. ومن المدن التي لوحظ تضخم مكباتها هي مدينة اللاذقية، وخاصةً بعد التطور العمراني الكبير منذ السبعينيات من القرن الماضي، وبنظرة سريعة على بعض المكبات (مكب البصة مثلاً) لوحظ وجود نسبة كبيرة من أنقاض المباني (خاصة البيتون والبلوك والبلاط المنزلي وغيرها) التي لا تتحلل بالمقارنة مع النفايات العضوية وشبه العضوية التي تتحلل بالماء أو بالهواء أو بالأتين معاً. كل هذا يجعل التفكير بمنهجية معينة للتخلص من هذه النفايات بحيث تكون صالحة للاستخدام في الأعمال الهندسية (الطرقية - الإنشائية) أمراً في غاية الأهمية ومجالاً مساعداً للحفاظ على بيئة نظيفة وجميلة.

تلعب بعض العوامل كالوعي البيئي وحماية المصادر الطبيعية والتنمية المستدامة، دوراً هاماً في المتطلبات العصرية لأعمال التشييد، وهذا ما دفع الكثير من دول العالم للبحث عن آليات معينة للاستفادة من هذه النفايات البيتونية وتحويلها إلى مواد يمكن الاستفادة منها بدلاً من أن تكون السبب في العديد من المشاكل على مختلف الأصعدة.

2-1 الحصىات وتصنيفها

1-2-1 الحصىات:

الحصىات هي مادة حبيبية خاملة تختلف تسميتها بحسب مقاس الحبيبات. منها الرمل والبص اللذان يشكلان مع الماء والاسمنت المكونات الأساسية للبيتون. يقود هذا التعريف إلى الفصل بين الحصىات بحسب منشئها.

2-2-1: تصنيف الحصىات بحسب المنشأ:

1-2-2-1: الحصىات الطبيعية:

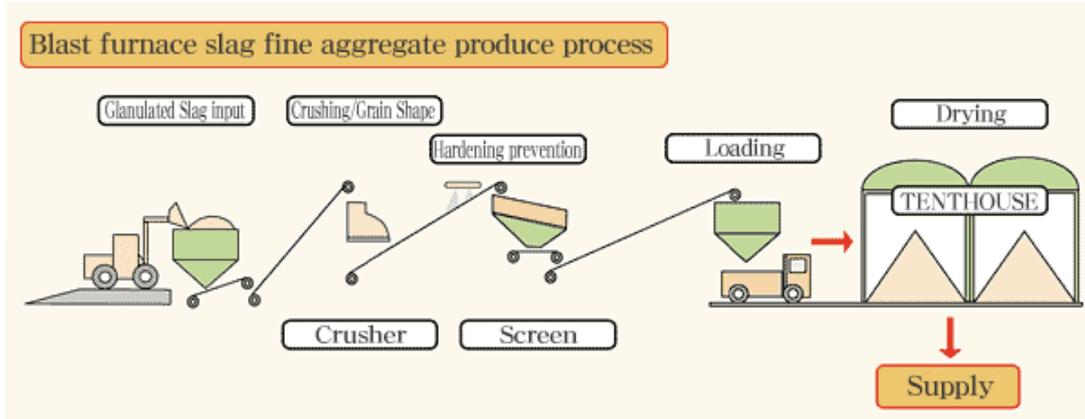
و هي الحصىات التي تأتي من مصادر طبيعية كالرمل و البحص والصخور المكسرة. كما يمكن أن نحصل عليها من المقالع الحجرية. و منها أيضاً الحصىات النهرية التي تجرف وتترسب في الأنهار.



الشكل (1-1) بعض مصادر الحصىات الطبيعية

2-2-2-1: الحصىات المصنعة:

تنتج من تدوير مواد طبيعية مختارة ، أو من مخلفات بعض العمليات الصناعية كالحصىات الخبثية الناتجة من عمليات التعدين. و التي تتعرض لمعالجة خاصة بعد خروجها من الأفران و قبل طرحها للاستخدام (الشكل 2-1).



الشكل (2-1) معالجة الحصىات الخبثية قبل استخدامها

3-2-2-1: الحصىات المعاد تدويرها:

و هي الحصىات الناتجة من معالجة المواد المستخدمة أو التي سبق استخدامها في البناء كحصىات البيتون المدورة (Recycled Concrete Aggregate RCA) [2].
يمكن تعريف هذه الحصىات بأنها النفايات النظيفة الناتجة عن الهدم. و تستخدم الآن على نطاق واسع في العالم.



الشكل (3-1) تجميع أنقاض الهدم الصلبة بهدف تحضير الـ RCA

تتكون الحصىات المعاد تدويرها من كتل صلبة مختلفة الاحجام مكونة من الرمل و البحص و العجينة الإسمنتية المتصلبة الرابطة بين الكتل. ولإنتاج هذه الحصىات تمر كتل الأنقاض التي تم فرزها بمراحل تكسير متفاوتة للحصول على هامش أوسع من الأقطار (الشكل 4-1).



الشكل (4-1) تحضير حصىات الـ RCA على مراحل

(a) تكسير أولي

(b) طحن نهائي

1-3-2-2-1. شكل و تركيب الحصىيات المعاد تدويرها:

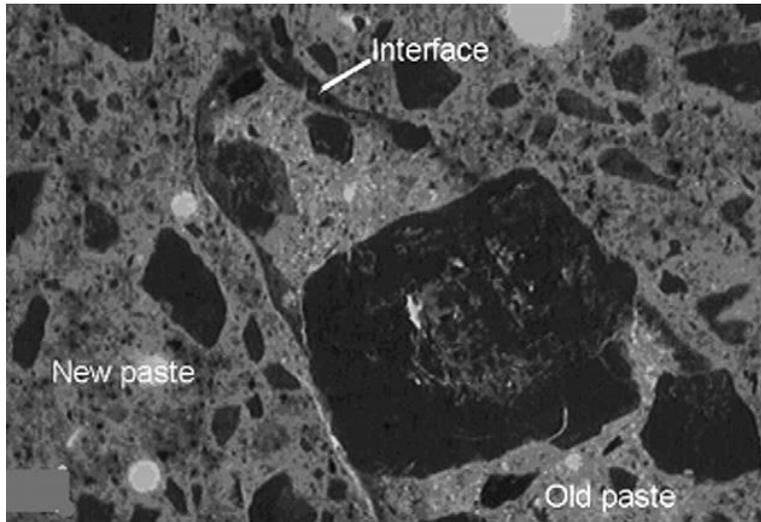
تتركب الحصىيات المدورة من أجزاء من الحصىيات الأم التي يربط فيما بينها ملاط إسمنتي من بيتون الأنقاض [4].

يبين الشكل (1-5) تركيب نموذجي للحصىيات المعاد تدويرها و التي تتشكل من ثلاث حصىيات متوسطة من الحصىيات الأم، و ست حصىيات صغيرة من الحصىيات الأم، و مونة رابطة تحوي في تركيبها الإسمنت و الرمل الناعم.



الشكل (1-5) تركيب الحصىيات المعاد تدويرها

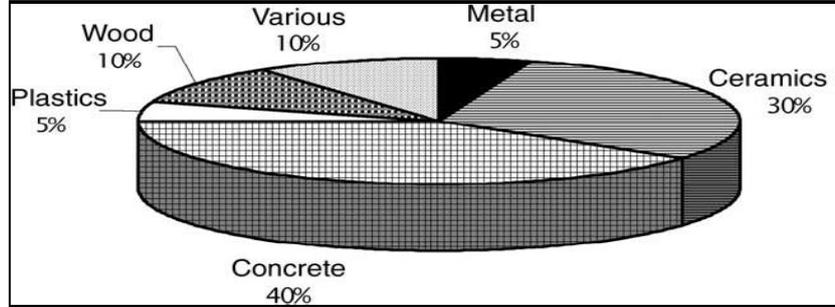
كما يبين الشكل (1-6) مقطعاً تظهر فيه الحصىيات المدورة في البيتون الجديد مع تبيان سطح الاتصال بين هذه الحصىيات و العجينة الرابطة الجديدة.



الشكل (1-6) شكل اتصال الحصىيات المدورة مع العجينة الرابطة في البيتون

3-1 تركيب الأنقاض

يوضح الشكل (7-1) النسب المئوية للمواد التي تكون النفايات الصلبة و التي يظهر منها أن النسبة المئوية الأكبر تعود لبقايا البيتون والحصىيات.



الشكل (7-1) محتوى الأنقاض من المكونات المختلفة

4-1 آليات و تقنيات عمليات الهدم والتدوير

يُعرف الهدم بأنه تفكيك و تجريف المبنى أو المنشأة كلياً أو جزئياً باستخدام طرق مخططة مسبقاً وخاضعة للضبط. و يتم ذلك وفق خطة موضوعة مسبقاً من إدارة البناء لاحترام أعمال الهدم. يعتمد اختيار طريقة الهدم المناسبة على عدة عوامل تتعلق بالمشروع و مقيدات الموقع و المعدات المتوفرة.

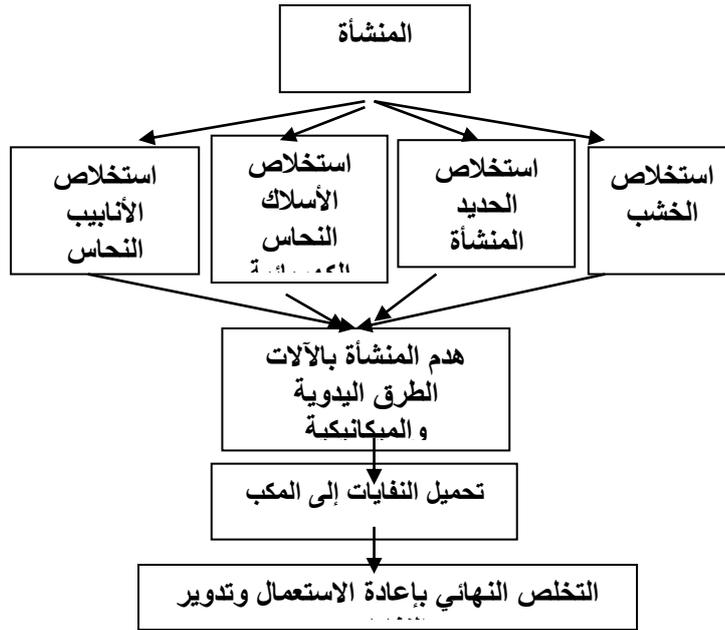
تم تطوير معظم تقنيات الهدم بحيث تكون عملية الهدم سريعةً وفاعلةً، فمعالجة النفايات ونواتج الهدم يجب أن يأخذ بالحسبان تقليص كلفة النقل، إذ أن عملية الهدم سينتج عنها تكديس للركام الذي يحوي كافة مواد البناء التي يتكون منها في الأصل، بعدها، سوف يتضمن فرز الركام استرجاع واستخلاص المواد التي من المنتظر الاستعادة منها واستخدامها في أعمال لاحقة. مما يستدعي عملية هدم ممنهجة تترافق مع خطوات عملية و باستخدام تقنيات خاصة للحصول على مواد يمكن تدويرها وفقاً لصلاحية استخدامها في المكان والزمان المناسبين.

يمكن تقسيم عمليات الهدم إلى:

1-4-1 الهدم اليدوي

و هو الطريقة المتبعة من قبل متعهدي هدم البناء والتي تنفذ بمعدات يدوية أو آلية بسيطة دون الاستعانة بالآلات الثقيلة، والمعتمدة أصلاً على العمال والأفراد المتخصصين بهذا المجال. يستخدم هذا النوع في المشاريع الصغيرة، حيث لا يمكن إعطاء موافقات أو رخص للمتعهدين باستخدام آليات ثقيلة مثل البلدوزر أو الشاحنات الضخمة خصوصاً في مناطق الكثافة السكانية العالية أو في المناطق الصناعية الحساسة.

يبين الشكل التالي مخططاً لمراحل هدم بناء أو منشأة صغيرة :



الشكل (8-1) مراحل هدم بناء أو منشأة صغيرة يدوياً

تبيين الشكلين التاليين عمليات فرز بعض نواتج الهدم يدوياً كالخشب و الحديد.



الشكل(9-1) فرز بعض نواتج الهدم المفيدة عند اتباع تقنية الهدم اليدوي

2-4-1 الهدم الميكانيكي

و هو الطريقة الأكثر شيوعاً في العالم، و هي تقنية أكثر فعالية من الهدم اليدوي، و لكنها أكبر كلفة. و من أهم المعدات المستخدمة في هذه التقنية الكرة و الرافعة، و الاسطوانة الثقيلة الأوزان الساقطة. (الشكل 10-1).



الشكل (10-1) : الهدم الميكانيكي باستخدام الكرة الساقطة.

3-4-1 الهدم بالتفجير

و هو من الأساليب الناجحة في هدم وإزالة المنشآت الضخمة، حيث تُعتمد هذه الطريقة في معظم البلدان المتقدمة، كون أن العوائق البيئية والأمنية والعوائق المتمثلة بوجود الأبنية المستثمرة المجاورة للمبنى قيد الهدم، تحت السيطرة، نظراً للجوانب الضخمة والواسعة بين المنشآت المتجاورة بالإضافة للشوارع الواسعة، أما طريقة التفجير فتعتمد على نوع المبنى والمواد المشكلة له، بالإضافة إلى الكمية التي يحتاجها المبنى من المتفجرات حتى يقع وينهار بشكلٍ كاملٍ بدون أي أضرارٍ على الأبنية والمنشآت المجاورة والطواقم البشرية المنفذة لعملية التفجير.



الشكل(1-11) تطبيق لتقنية الهدم بالتفجير

يعتمد اختيار تقنية الهدم المناسبة على عاملين اثنين:

1. كمية المواد أو التراكيب والأنظمة التي يمكن إنقاذها سليمة من البناء قبل هدمه.

2. إمكانية جعل فصل المواد آلية سهلة بعد الانتهاء من أعمال الهدم.

مع مراعاة عوامل أخرى كالكلفة و المعدات والتجهيزات المتاحة، و الخبرة، السلامة والأمان، و الشروط الزمنية.

5-1 إعادة تدوير أنقاض الهدم:

و تتمثل بإدارة ومعالجة المواد المستخلصة من الهدم وتحويلها إلى مواد جديدة قابلة للاستعمال من جديد في أعمال البناء و غيرها.

يتم ذلك من خلال عمليات معقدة يتخللها إخضاع مواد الأنقاض لمعالجة فيزيائية أو كيميائية.

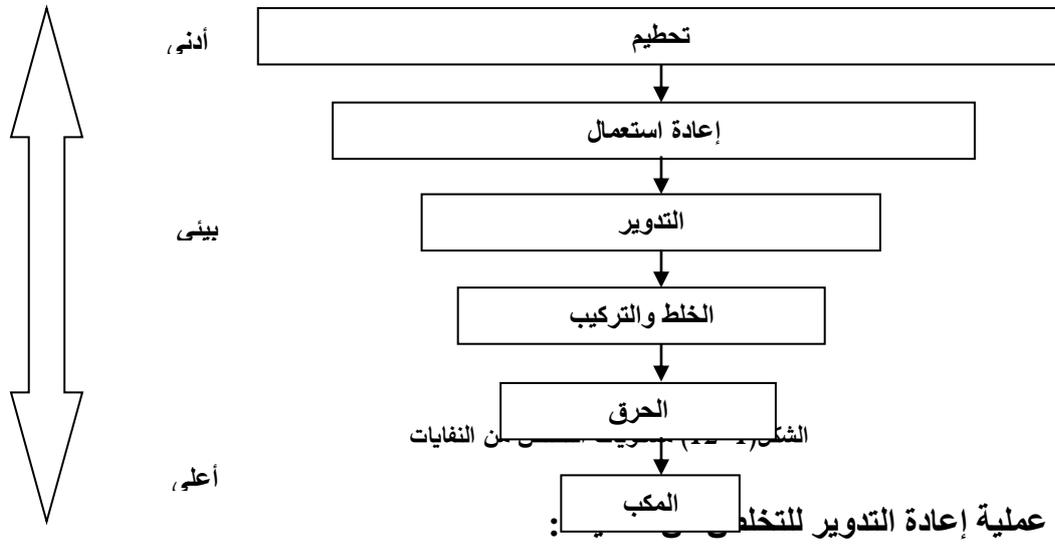
1-5-1 إدارة عملية إعادة تدوير الأنقاض:

يمكن إعادة استعمال مواد كثيرة تنتج من الأنقاض. لذلك تحتاج عملية إعادة تدوير الأنقاض إلى كمية من الموارد تتمثل: بالآلات والمعدات و رأس المال.

قد يتم تنفيذ عملية إعادة التدوير في:

- الموقع و ذلك لتخفيض نفقات النقل والمعالجة ما أمكن.
- المحطات المحلية بالفصل والمعالجة الصغيرة .

تدير وكالة حماية البيئة الامريكية عملية إعادة تدوير الأنقاض وفق سلسلة من الأنشطة والتي تشمل جمع المواد القابلة للتدوير والتي تعتبر بشكل ما نوعاً من أنواع النفايات، ثم تقوم بفرز وغربلة ومعالجة المواد القابلة للتدوير إلى مواد خام، ومن ثم تصنع المواد بالنهاية على شكل منتجات جديدة. أما في هونغ كونج، فتأتي عملية إعادة التدوير في المستوى التراتبي الثالث ضمن تسلسل أعمال التخلص من النفايات. حيث صنفت الآثار البيئية لعملية التخلص من النفايات هناك إلى ستة مستويات من الأسفل إلى الأعلى كما هو موضح على الشكل (1-12). فإدارة النفايات وضعت ضمن ثلاث استراتيجيات رئيسية لتصغير حجوم النفايات بغية التقليل من نفايات البناء الناتجة في الموقع [5].



1-5-2 أهمية عملية إعادة التدوير للتخلص من النفايات:

برزت أهمية عملية إعادة التدوير، كواحدة من الطرائق الثلاث التي تقود إلى التخلص من النفايات الصلبة والناتجة عن النشاط البشري على الأرض وهي :

1. الطمر
2. الحرق
3. التدوير.

إذ تساعد في التقليل من كميتها وخطورها. وتجدر الإشارة إلى أن عملية إنشاء الحراقات للتخلص من النفايات تتسبب بتلويث للبيئة، فضلاً عن كلفتها العالية، أما إنشاء المطامر فيتسبب بكلف مرتفعة لحجز الأراضي اللازمة لذلك، من هنا برزت عملية (تدوير النفايات الصلبة) كواحدة من أفضل الحلول المقبولة للتخلص من النفايات الصلبة. ومما شجع على ذلك أيضاً:

- ارتفاع كلفة المواد الخام (استخلاصها، نقلها، فضلاً عن ندرتها في المناطق العمرانية المطلوبة).
- تقارب مواصفات المواد المعاد تدويرها مع مواصفات المواد من ناتج طبيعي أو صناعي.

تبين الأشكال أدناه نماذج ذات حجوم مختلفة لمنتجات التدوير. و التي تبدأ من الحجارة الكبيرة، التي تعطي بعد طحنها الحصى ذات المقاسات الأصغر.



الشكل(1-13): شكل الحجارة الكبيرة قبل طحنها و بعد فصل الشوائب الأخرى.

نبين فيما يلي شكل الحصى المعاد تدويرها مقارنة بالحصى الطبيعية ذات المقاس نفسه.



الشكل (1-14) مقارنة بين أشكال الحصى المعاد تدويره (على اليسار، و الطبيعية (على اليمين))

1-5-3 برمجة عملية إعادة التدوير:

تركز برامج إدارة النفايات في الكثير من الدول على تقليل حجوم النفايات الناجمة عن المخلفات الاقتصادية والبشرية والصناعية بكافة أنواعها. كما تركز على تشجيع عملية إعادة التدوير ، بدلاً من إرسال المواد إلى المكبات أو المحارق. من المفيد عند إدارة عملية التدوير أن يتم تصنيف أنقاض الهدم بحسب موقع و كلفة التدوير. يتم ذلك بالتسلسل التالي:

- إعادة تدوير بعض الأنقاض في الموقع لتقليل تكاليف النقل والمعالجة.
- إعادة التدوير محلياً خارج الموقع عن طريق الفصل والمعالجة المحدودة.
- إعادة التدوير في المحطات المركزية.
- إعادة التدوير في المحطات الكبيرة بعد الخروج من المحطات المركزية.

إن تصنيف أنقاض الهدم وفقاً لإمكانية إعادة التدوير، في الموقع المناسب وفق ما تم ذكره سابقاً هو أمر مفيد جداً و ذو جدوى اقتصادية وفنية، ويتفق مع أهداف و برامج عملية إعادة تدوير النفايات. و كمثال على ذلك فقد بينت الأرقام أنه قد تم مع نهاية العام 2005 إعادة تدوير ما يزيد عن أربعين بالمائة 40% من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة الأمريكية لتصبح صالحة للاستعمال بدلاً من إرسالها إلى المكبات.

1-5-4 درجة سلامة المواد المطلوب إعادة تدويرها:

إن التركيب الفيزيائي لبعض مواد البناء يمكن أن يتغير بشكل جذري تبعاً لعدة عوامل :

- عمر المشروع.
 - المواد المتوافرة.
 - التطبيقات العملية السليمة لأعمال الهدم والبناء.
 - درجة التلوث والذي يحذر منها دائماً، ويمكن أن تكون مشكلة كبيرة أحياناً، حيث نضطر لاستعمال أكثر من حاوية لجمع الأنقاض في موقع الإنشاء وفقاً لمنشئها ونوعيتها.
- يتم فرز وفصل النفايات الممزوجة أو المخلوطة يدوياً أو باستخدام آلات خاصة.
- قد نضطر أحياناً إلى استبعاد مخزون كامل من النفايات لاحتوائها على بعض المواد الملوثة و الخطرة كالأسبستوس و الطلاء الحاوي على جزيئات الرصاص أو الخشب المعالج بمواد كيميائية خطيرة.

1-5-5 جدوى و معوقات إعادة التدوير:

يُعتبر تباعد وتوزع و تناثر مواقع المشاريع، أحد العوامل التي تؤثر في جدوى تدوير النفايات في المحطة المركزية. فإذا كان اقتصاد التدوير يعتمد على خفض تكلفة النقل، فإن ازدياد كلفة النقل سيحد من جدوى عملية إعادة التدوير.

و من المعوقات التي تؤثر على عملية إعادة التدوير:

- معوقات ذات طابع خاص ليس لها علاقة بنوعية المادة وأصلها وطريقة تدويرها نذكر أهمها درجة ثقافة العاملين في مجال تدوير الأنقاض، والصعوبات التي يمكن أن تظهر عند التنسيق فيما بينهم.
- معوقات تتعلق بالأنظمة الحكومية التي تقيد أو تشرط استعمال المواد المعاد تدويرها. و كمثل على ذلك نجد أن ما يزيد على 50% من أقسام النقل في الولايات المتحدة تسمح باستخدام المبول الإسفلتي المعاد تدويره، والبيتون المعاد تدويره. في أعمال الرصف وأعمال استبدال الحصىات.
- النقص في وسائل و معدات إعادة التدوير و التي تمثل عائقاً هاماً لعملية إعادة التدوير. تظهر أهمية هذا العائق بالنسبة للمشاريع صغيرة الحجم كالأبنية الصغيرة السكنية أو الإدارية و التي تكون كمية الأنقاض فيها محدودة.
- الزيادة المضطردة لكميات النفايات القابلة للتدوير في المكبات و المسؤولية القانونية في حال عدم تدوير النفايات وعدم إعادة استعمالها.
- المعوقات المؤسسية و التي تتمثل بعدم قدرة مدراء المشاريع الإنشائية أو سلطات مشروع النفايات الصلبة على تحديد أسواق و تصريف نواتج الهدم.
- المعوقات الفنية المتمثلة في صعوبة التوصيف الدقيق للنفايات وهذا ما يشكل عائقاً لعملية إعادة التدوير بسبب اختلاف الأنقاض وتنوعها الكبير والعائد لاختلاف طبيعتها.

6-5-1 التجهيزات المستخدمة في محطات إعادة التدوير:

1-6-5-1 الآلات المستخدمة في تكسير أو تحطيم الأنقاض :

يمكن أن نذكر في هذا السياق بعض آلات التحميل والنقل كالبكر المزود بدلو، و يد ميكانيكية و حزام ناقل. والكسارات الخاصة.

يبين الشكل (1-15) نواتج تكسير الأنقاض بعد توضعها في ضاغط الكسارة.



الشكل (1-15) تعبئة الأنقاض المكسرة

1-6-5-2 الآلات المستخدمة في تفتيت النفايات:

و هي على الأغلب آليات متنقلة، ومنظومات الجمع، و والتفتيت، مع حوض طحن، و مطرقة للطحن. كما يمكن أن يتم استخدام آليات أخرى مثل :

- أنظمة العزل و الفصل إذا كانت الأنقاض مخلوطة أو ممزوجة مع مواد أخرى. و ذلك لمنع شرائح وقطع الحديد مثل حديد التسليح في البيتون المسلح، أو المواد القاسية من إعاقه تفتيت القطع البيتونية كبيرة الحجم.
- آليات التمزيق والتفتيت كالمطارق الدوارة، و حوافر الحفارات بقطع متعاقبة دوارة و القادرة على تمزيق النفايات إلى قطع صغيرة.
- آليات التفتيت لتقليص حجوم مواد النفايات الجافة مثل الخشب.

1-6-5-3 المعدات التي تحول المادة إلى شرائح

وهي المطاحن التي تحول المادة إلى ما يشبه قطع على شكل بلوكات من خلال تخفيض حجم المادة الخام إلى أجزاء و قطع صغيرة.

تستخدم هذه المعدات نماذج من أجهزة دوارة كالدواليب تركيب عليها مطارق، وذلك لتخفيض حجوم النفايات. أما المواد الأكثر ملاءمة لمعالجتها في المطحنة الكسارة فهي الحجارة الكبيرة الناتجة من هدم البيتون والأبنية.

1-5-6-4. معدات الطحن والسحق :

تقوم هذه المعدات بطحن و تكسير المواد إلى أجزاء صغيرة، وبأدوات مثل المطارق الطاحنة التي تقوم بصدم وضرب مواد النفايات لتكسيرها إلى أجزاء بالحجم المطلوب. وبالرغم من أنه يمكن استخدام هذه المعدات لضغط وسحق أية نفايات جافة، إلا أن استخدامها الأساسي هو من أجل تكسير كتل البيتون الكبيرة.

1-5-6-5. اشتراك أنواع مختلفة من تقنيات المعالجة في معالجة تدوير الأنقاض:

إن معالجة بعض المواد قد يتطلب اشتراك أنواع مختلفة من تقنيات المعالجة. فعلى سبيل المثال تحتاج معالجة المكشوط إلى طحن أولي لتخفيض حجم القطع الكبيرة من الإسفلت المكشوط. وإعادة الطحن ثانية لتخفيض حجم كل الأجزاء إلى الحجم المناسب أو أن يتم خلط الإسفلت بمواد أخرى. قد يكون هناك أيضا أشكال أخرى من تجهيزات ثابتة تلزم لتجهيزات معالجة المواد مثل : أجهزة الفصل المغناطيسي للحديد، و الغرابيل، و الناخبات، و السيور الناقلة و غيرها.

1-5-6-6. الكسارات :

اعتادت الشركات المنتجة للحصويات من أنقاض الهدم استخدام ثلاثة أنواع رئيسية من الكسارات وهي: كسارات فكي الكماشة، و الكسارات التي تعمل بالصدمة، والكسارات الأسطوانية. تُستخدم حالياً الأنواع الثلاثة من الكسارات بالمواصفات المتوافرة حالياً لتدوير الحجارة الكبيرة من نواتج الهدم، و لم يتم تصميم واستخدام كسارات خاصة لأعمال التدوير، بل إنه في الأصل تم تصميمها للاستخدام في مقالع الفحم أو المعادن الخام، أو في محطات تكسير وطحن الحجارة الطبيعية. يبين الشكل (1-16) نموذجاً لمحطة تدوير أنقاض متكاملة تستخدم المعدات و التجهيزات آفة الذكر.

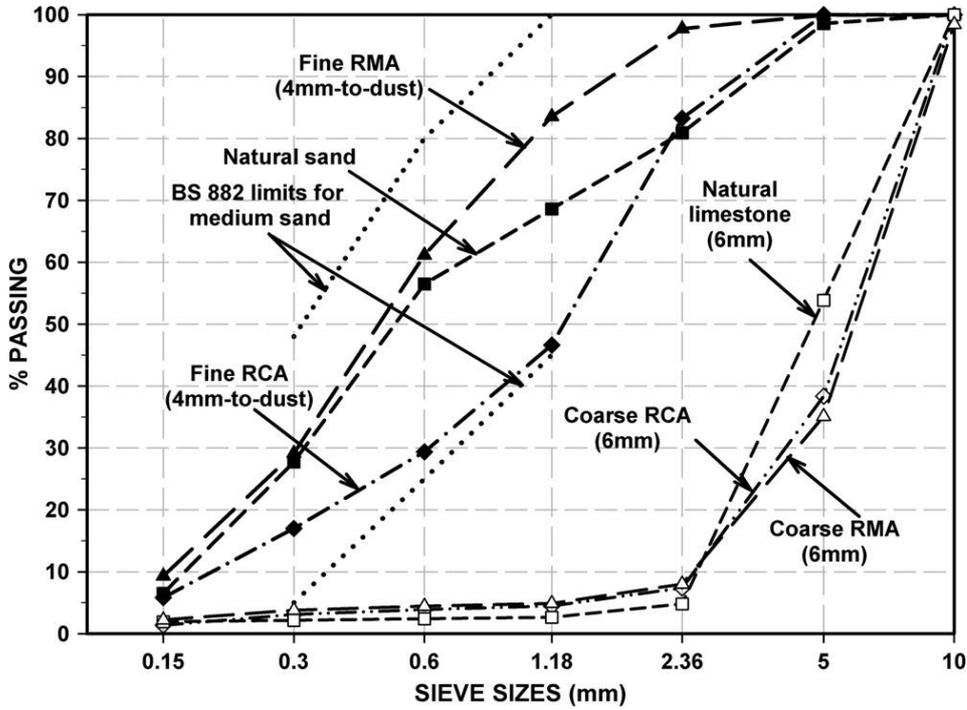


الشكل (1-16) نموذج لمحطة تدوير متكاملة ثابتة.

6-1. دراسات مرجعية

- **في العام 2011** قام مجموعة من الباحثين في بريطانيا Marios Soutsos و Kangkang Tang باستخدام الحصىيات المعاد تدويرها في منتجات جديدة (أطراف الأرصعة البيتونية) باستخدام نوعين من الحصىيات: خشنة ذات قطر أعظمي $D_{max} = 6mm$ وحصويات ناعمة $D_{max} = 4mm$. حصل الباحثون على نتائج تخص المواصفات الميكانيكية المشابهة لتلك التي لا تستخدم المواد المدورة و ذلك من ناحيتي المقاومة على الشد بالانعطاف والضغط البسيط. أنجز العمل دون زيادة بمحتوى الاسمنت الحصول على لبئات إسمنتية جديدة لها قدرة تنافسية بالسوق (الكسب المادي). استخدم الباحثون المطرقة الكهربائية للتعويض عن النقص المحتمل في المقاومة الميكانيكية. وبالتالي الحصول على اكتناز كبير. يمكن تلخيص الاختبارات التي أجريت على العينات ب:
 - اختبار الامتصاص الأعظمي بالماء.
 - اختبار المقاومة على الضغط البسيط و الشد بالانعطاف.

يبين الشكل (17-1) التقارب بين منحنيات التدرج الحبي للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها بهدف إلغاء التأثير المحتمل لاختلاف التدرج.



الشكل (17-1) منحنيات الحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها

يبين الشكل (18-1) عملية الرص المستخدمة بالاعتماد على المطرقة الكهربائية والرجاج الآلي وذلك للحصول على أكبر اكتناز ممكن.



الشكل (18-1) إلى اليسار: استخدام المطرقة الكهربائية. و إلى اليمين: استخدام الرجاج الآلي بالإضافة للمطرقة

• **وفي العام 2007** قام الباحث Etxeberria في اسبانيا بإجراء دراسات حول إمكانية استخدام الحصىات الخشنة المعاد تدويرها من البيتون المطحون في إنتاج أربعة أنواع من البيتون الحصىي بنسب: (0% - 25% - 50% - 100%) من الحصىات الخشنة المعاد تدويرها كون الإحصائيات بينت أن لدى اسبانيا احتياطي فقير من الحصىات الطبيعية، ومن ثم أصبحت أكثر اعتماداً على المواد المعاد تدويرها لاستخدامها كحصىات لطبقات رصف الطرق غير المحددة.

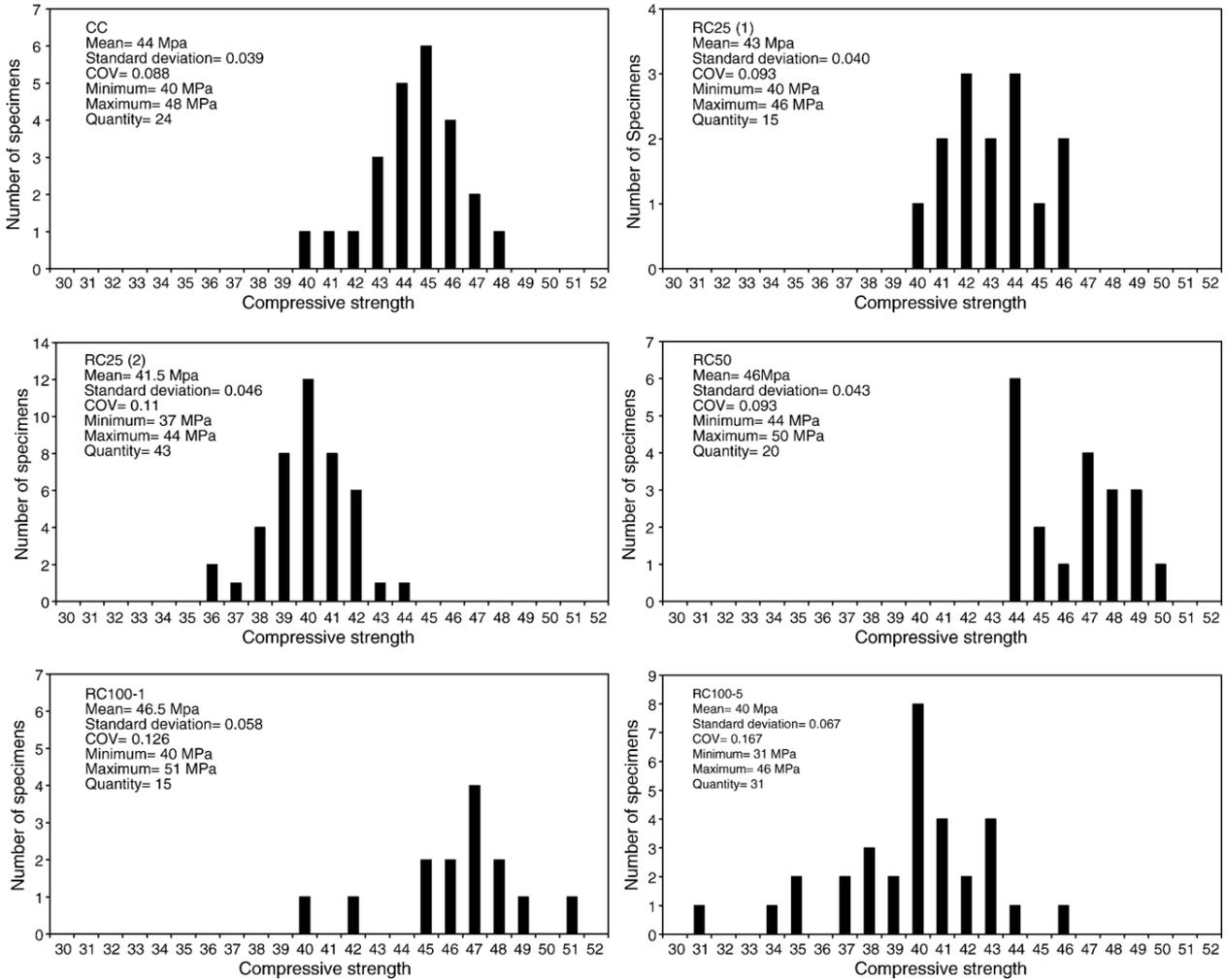
تلخصت أهم النتائج البحثية التي توصل إليها الباحث بما يلي:

(a) عند استخدام نسب الاستبدال الأربعة المصممه للحصول على نفس المقاومة على الضغط، لوحظ التأثير المحدود للنسبة w/c .

(b) عند استخدام آلية طحن البيتون بواسطة السحق، يتم الحصول على نسب عالية من الحصىات الخشنة التي انفصل عنها الملاط الرابط.

(c) يمتلك البيتون المصنوع باستخدام 100% من الحصىات الخشنة المعاد تدويرها من 20-25% مقاومة على الضغط البسيط أقل مقارنة مع البيتون التقليدي بعد 28 يوم. باعتماد نسبة واحدة $W/C=0.5$ و عيار إسمنت 325Kg/m^3 مما سيضطر الباحث لزيادة عيار الاسمنت لتعويض فقدان المقاومة على الضغط البسيط.

يبين الشكل (19-1) أهم النتائج التي توصل إليها الباحث مع عرض بعض القيم الإحصائية.



الشكل (19-1) التحليل الإحصائي لنتائج المقاومة على الضغط البسيط لجميع العينات مع نسب الاستبدال المختلفة

- وفي العام 2010 قام الباحث Thaniya Kaosol من تايلاند باعتماد بقايا البيتون لصنع لبئات إسمنتية مفرغة، وقد قام بإضافة الحصى المعاد تدويرها بنسب متفاوتة: 0% - 10% - 20% - 50% - 100% وأجرى عليها اختبارات (الامتصاص الأعظمي للماء - المقاومة على الضغط) واستخدم هذه البقايا لإنتاج نوعين من اللبئات الإسمنتية الحاملة و غير الحاملة، و ذلك في منطقة حيث يتم استخدام الأرض فيها بفعالية كبيرة، لضيق مساحة الارض المتوفرة في هذا البلد [14].

أظهرت النتائج ان بقايا البيتون يمكن أن تستخدم لإنتاج كلا النوعين من اللبئات الحاملة و غير الحاملة.

و من وجهة نظر اقتصادية تبين أنه عندما تتراوح نسبة الاستبدال بين 10% و 100% ، يمكن للكلفة أن تنخفض من 3 إلى 30% لكل لبنة إسمنتية.

يبين الجدول 1-1 التقييم الاقتصادي لإنتاج اللبنة الإسمنتية بالعملة المحلية عند نسب الاستبدال المختلفة. الجدول (1-1) التقييم الاقتصادي نتاج اللبنة الإسمنتية بالعملة المحلية عند نسب الاستبدال المختلفة.

Item (baht/block)	Mixture of concrete waste				
	0%	10%	20%	50%	100%
Cement	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
Crushed stone	1.73	1.56	1.39	0.87	0.0
Sand	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Electricity	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Labor cost	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Total costs	5.73	5.56	5.39	4.87	4.00

يبين الشكل (1-20) اللبنة المصنعة من الحصويات المعاد تدويرها.



شكل (1-20) صناعة البلوك من الحصويات المعاد تدويرها

• وفي العام 2012 قام مجموعة من الباحثين من تركيا بإجراء تجارب لاستخدام البقايا الرخامية باعتبار أن تركيا تنتج 7 مليون طن من البقايا الرخامية تنتج سنوياً وذلك من خلال تقطيع الرخام إلى قياسات مختلفة، و ذلك لإنتاج لبئات إسمنتية للأرصعة وتم الاعتماد على نوعين من الاسمنت.

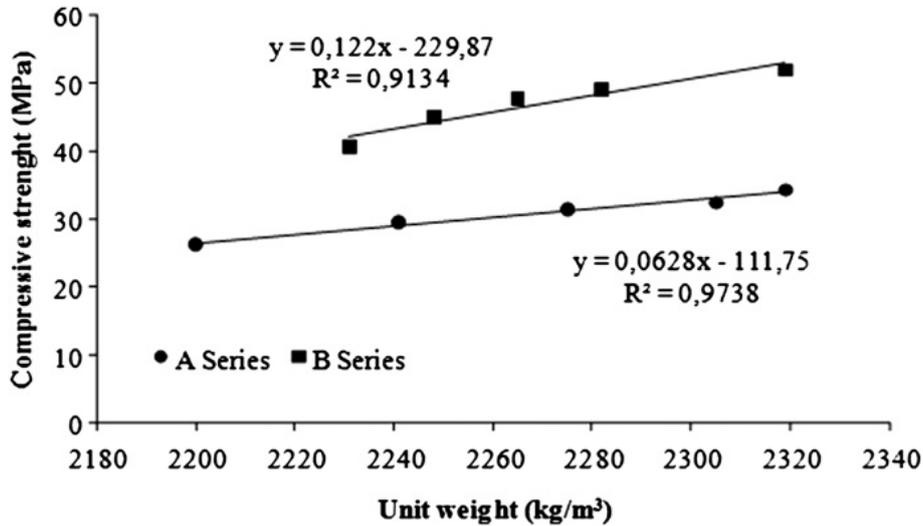
• CEM(II) 32.5 N

• CEM(II) 42.5 N

وقد كانت أهم النتائج :

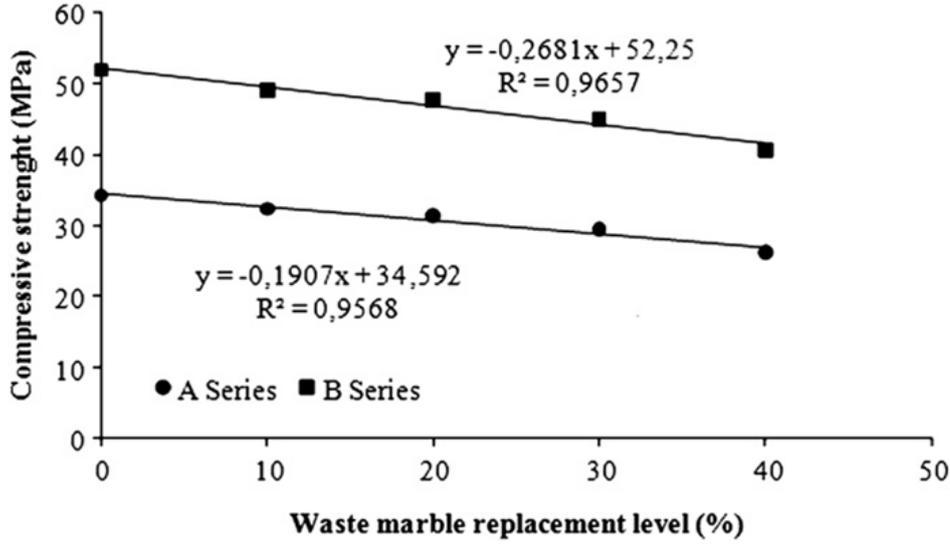
- زيادة في المقاومة على الاهتراء.
- مقاومه على الضغط البسيط.
- الملاءمة للاستخدام في منتجات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك).

ويبين الشكل (1-21) المخطط البياني لزيادة الوزن الحجمي وتأثيره على المقاومة على الضغط البسيط والعلاقة الطردية بينهما ومن هنا يبين مدى أهمية رص البيتون المصنوع باستخدام حصويات الأنقاض للحصول على مقاومة عالية.



شكل (1-21) العلاقة بين الوزن الحجمي المرتبط بالرص، والمقاومة على الضغط البسيط

بين الباحث في الشكل (1-22) أن استبدال الحصىات الأساسية لإنتاج بلاط الأرضية المتداخل من بقايا تكسير الرخام يؤثر على مقاومة البلاط المنتج إذ تتناقص المقاومة بشكل طردي مع زيادة نسبة الاستبدال وتبقى محققة لاشتراطات بلاط الأرضية المتداخل عند نسبة الاستبدال 30%.



شكل (1-22) العلاقة بين نسب الاستبدال والمقاومة على الضغط البسيط

الفصل الثاني

البرنامج التجريبي

"تحضير و توصيف الأنقاض المعاد تدويرها،

تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع و بدون حصويات معاد

تدويرها"



2- الدراسة التجريبية:

2-1 تحضير الأنقاض مخبرياً:

تم إحضار كمية كافية من أنقاض الهدم من إحدى مكبات مجلس مدينة اللاذقية، و ذلك لمعالجتها مخبرياً قبل توصيفها و استخدامها في عملية تصنيع العينات المخبرية.

يمكن تقسيم مراحل العمل الخاصة بالأنقاض المحضرة إلى المراحل التالية:

المرحلة الأولى: إحضار الأنقاض من المكب التابع لمجلس مدينة اللاذقية (بيتون، بلوك، سيراميك وبلاط و مواد أخرى).

المرحلة الثانية: فرز الأنقاض يدوياً ثم البدء بعملية التكسير الأولي للعينات باستخدام المطرقة لتحويلها إلى حجوم أصغر. يليها استخدام الكسارة الآلية العائدة لمخبر الجيوتكنيك في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين لتحويلها إلى عينات بقطر أعظمي بحدود 19mm .

المرحلة الثالثة: توصيف الحصىات المعاد تدويرها وإجراء الاختبارات عليها.

المرحلة الرابعة: صب عينات مكعبية من البيتون بأبعاد 10*10*10cm بنسب استبدال مختلفة.

المرحلة الخامسة: إجراء الاختبارات اللازمة على العينات البيتونية (المقاومة على الضغط البسيط-التشرب -الوزن النوعي) لدراسة تأثير نسب الاستبدال على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للبيتون.

المرحلة السادسة: قياس تأثير ديمومة البيتون بتغير نسبة الاستبدال و ذلك بإخضاع العينات البيتونية المتصلبة من جميع الخلطات لاختبار ديمومة مسرع.

2-1-1 المرحلة الأولى: إحضار الانقاض من المكب وفرزها يدوياً بأكياس وهي عبارة عن بقايا بيتونية

وبقايا قطع بلوك وسيراميك إضافة إلى بلاط منزلي.



الشكل (1-2) الأنقاض قبل المعالجة.

2-1-2 المرحلة الثانية : تم تكسير الأنقاض يدوياً بالمطرقة في مخبر الجيوتكنيك و ذلك بهدف التحضير الأولي لمرحلة التكسير الآلي.



الشكل (2-2) تكسير الأنقاض بالمطرقة يدوياً.

بعد إتمام عملية الطحن الأولي يدوياً، قمنا بوضع المواد الناتجة بأكياس ، ثم إدخالها إلى الكسارة الآلية التي يمكن التحكم بقطر الحصويات الناتجة عن عملية التكسير من خلال ذراع متحرك يقوم بتكبير أو تصغير فتحة الكسارة وبالتالي التحكم بقطر الحصويات.

يوضح الشكل أدناه الكسارة الآلية التي تقوم بعملية تكسير الحصويات من خلال احتكاك لوحين معدنيين يتحركان بشكلٍ متناوب:



الشكل (3-2) تكسير الأنقاض باستخدام الكسارة الآلية

يوضح الشكل عملية تفريغ المواد في الكسارة لتحويلها إلى حصويات بأقطار مناسبة:



الشكل (2-4) تفرغ المواد في الكسارة الآلية بهدف الطحن النهائي

2-1-3 المرحلة الثالثة توصيف الحصويات:

قبل البدء بصب الخلطات البيتونية تم القيام بتوصيف الحصويات المعاد تدويرها و الحصويات الطبيعية من خلال إجراء مجموعة من التجارب لمعرفة خواص هذه المواد. يمكن تلخيص الاختبارات المجرأة على الإحضارات المعاد تدويرها و الإحضارات الطبيعية بما يلي:

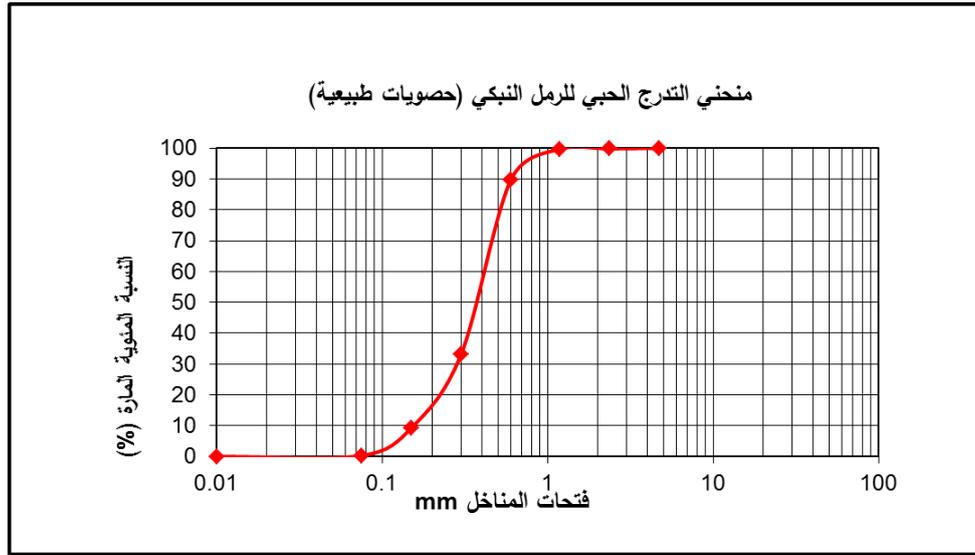
1. التحليل الحبي.
2. قياس الوزن الحجمي الظاهري والوزن الحجمي الصلب.
3. قياس معامل الاهتراء وفق لوس انجلوس.
4. قياس نظافة الإحضارات بالمكافئ الرملي.
5. قياس التشرب الكلي.

2-1-3-1 قياس التدرج الحبي:

تم إجراء اختبار التدرج الحبي للعينات المعاد تدويرها و العينات الطبيعية بالاعتماد على اشتراطات المواصفة القياسية السورية الخاصة بالتدرج الحبي (م.ق.س 2007/332) [19] و التي قمنا بتفصيل مراحل إجرائها في الملحق رقم 1.
نبين فيما يلي نتائج قياس التدرج الحبي للعينات المدروسة:

الجدول (1-2) نتائج تجربة التحليل الحبي للرمال الناعم (حصويات طبيعية)

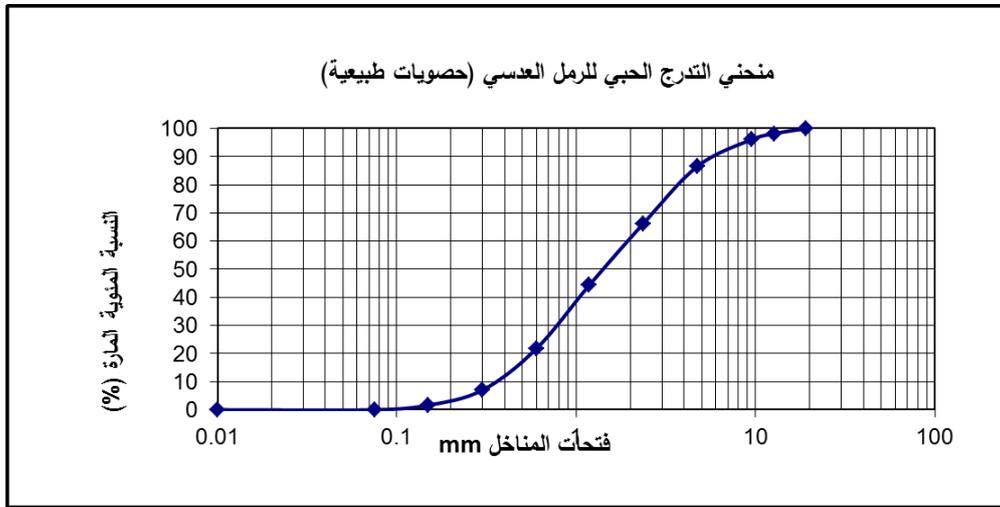
النسبة المارة (%)	النسبة المتبقية التكميلية (%)	النسبة المتبقية (%)	الوزن المتبقي المصحح (g)	تصحيح الوزن (g)	الوزن المتبقي (g)	فتحة المنخل (mm)	رقم المنخل
100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.75	4
99.8	0.2	0.2	1.4	0.0	1.4	2.36	8
99.7	0.3	0.1	0.8	0.0	0.8	1.18	16
89.8	10.2	9.9	74	0.0	74	0.6	30
33.2	66.8	56.7	423.8	0.0	423.8	0.3	50
9.3	90.7	23.9	178.6	0.0	178.6	0.15	100
0.3	99.7	9.0	67	0.0	67	0.075	200
0.0	99.9	0.2	2.4	0.0	2.4	0.01	pass200
	100	0.0	748	0.0	748	المجموع	
1.68						معامل النعومة	



الشكل (2-5) منحني التدرج الحبي الخاص بالرمال الناعم الطبيعي

الجدول (2-2) تجربة التحليل الحبي للرمل الخشن (حصويات طبيعية)

النسبة المارة (%)	النسبة المتبقية التكاملية (%)	النسبة المتبقية (%)	الوزن المتبقي المصحح (g)	تصحيح الوزن (g)	الوزن المتبقي (g)	فتحة المنخل (mm)	فتحة المنخل (إنش) أو رقم المنخل
100,0	0,0	0,0	0.0	0.0	0.0	19	0.75
98,2	1,8	1,8	15.8	0.0	15.8	12.7	0.5
96,1	3,9	2,1	18.4	0.0	18.4	9.5	0.375
86,7	13,3	9,4	82.6	0.0	82.6	4.75	4
66,2	33,8	20,5	179.6	0.0	179.6	2.36	8
44,3	55,7	21,9	191.6	0.0	191.6	1.18	16
21,8	78,2	22,5	197.2	0.0	197.2	0.6	30
7,0	93,0	14,8	129.2	0.0	129.2	0.3	50
1,6	98,4	5,4	47	0.0	47	0.15	100
0,0	100,0	1,6	14.0	0.0	14.0	0.075	200
0,0	0,0	0,0	0	0.0	0	0.01	pass200
		100,0	875.8	0.0	875.8	المجموع	
3.72						معادل النعومة	



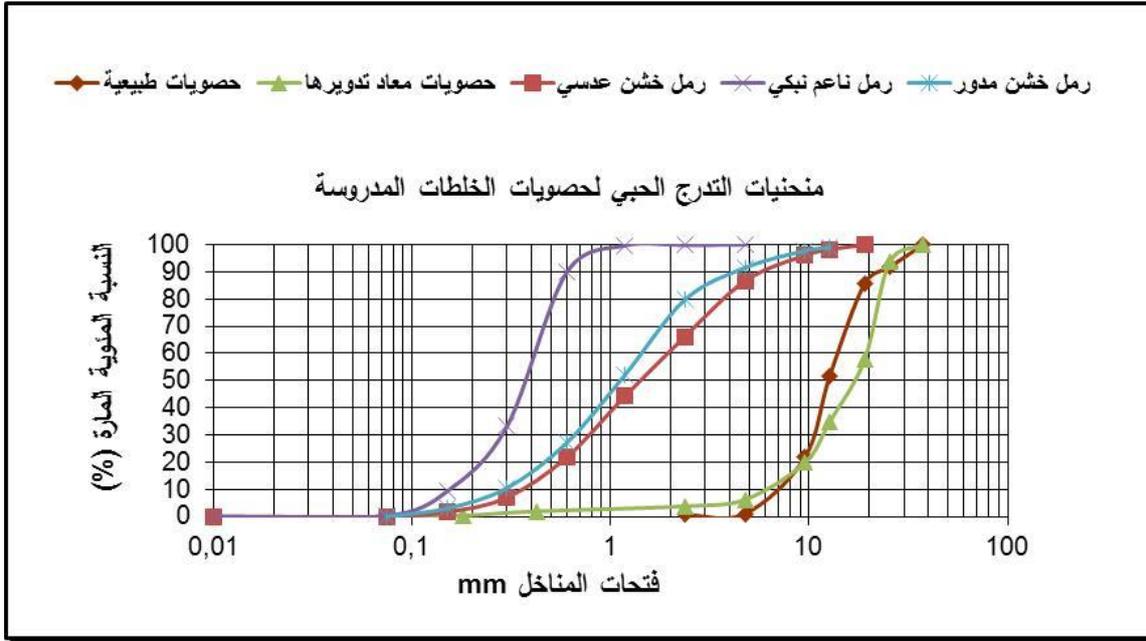
الشكل (2-6) منحني التدرج الحبي الخاص بالرمل الخشن

الجدول (2-3) تجربة التحليل الحبي للخصويات الطبيعية

النسبة المارة (%)	النسبة المتبقية التكاملية (%)	النسبة المتبقية (%)	الوزن المتبقي المصحح (g)	تصحيح الوزن (g)	الوزن المتبقي (g)	فتحة المنخل (mm)	فتحة المنخل (إنش) أو رقم المنخل
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	1.5
97.5	2.5	2.5	248.0	0.0	248	25.4	1
86.1	13.9	11.4	1140.0	0.0	1140	19	0.75
57.8	42.2	28.4	2835.4	0.0	2835.4	12.7	0.5
35.9	64.1	21.9	2189.0	0.0	2189	9.5	0.375
4.5	95.5	31.4	3135.0	0.0	3135	4.75	4
0.4	99.6	4.2	415.0	0.0	415	2.36	8
0.2	99.8	0.2	16.6	0.0	16.6	0.425	40
0.0	100.0	0.2	20	0.0	20	0.18	80
0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.075	200
			9999	0.0	9999	المجموع	

الجدول (2-4) تجربة التحليل الحبي للخصويات المعاد تدويرها (60%بيتون ، 20%بلوك ، 10 % سيراميك .10%بلاط)

النسبة المارة (%)	النسبة المتبقية التكاملية (%)	النسبة المتبقية (%)	الوزن المتبقي المصحح (g)	تصحيح الوزن (g)	الوزن المتبقي (g)	فتحة المنخل (mm)	فتحة المنخل (إنش) أو رقم المنخل
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	1.5
93.6	6.4	6.4	638	0.0	638	25.4	1
57.7	42.3	36.0	3596	0.0	3596	19	0.75
35.0	65.0	22.7	2270	0.0	2270	12.7	0.5
19.8	80.2	15.4	1512.8	0.0	1512.8	9.5	0.375
6.2	93.8	13.6	1360	0.0	1360	4.75	4
3.8	96.2	2.5	245.6	0.0	245.6	2.36	8
1.9	98.1	1.8	183.8	0.0	183.8	0.425	40
0.4	99.6	1.5	40	0.0	40	0.18	80
0.0	100.0	0.4	0	0.0	0	0.075	200
		100	9999.2	0.0	9999.2	المجموع	



الشكل (7-2) منحنى التدرج الحبي الخاص بالحصويات المختبرة

تبدو منحنيات التدرج الحبي لمختلف أنواع الحصويات المختبرة من حصويات طبيعية و معاد تدويرها بأصنافها المختلفة متقاربة بشكل واضح، مما سيخفف من تأثير التدرج الحبي لكل منها على مواصفات البيتون الناتج و مراحل التصميم المتبع وفق درو-غوريس.

2-3-1-2 قياس الوزن الحجمي (الظاهري و الصلب):

تم قياس الوزن الحجمي الظاهري و الصلب للعينات المعاد تدويرها و العينات الطبيعية بالاعتماد على اشتراطات المواصفة الخاصة بالوزن الحجمي و النوعي (ASTM D 854-92) [16] و التي قمنا بتفصيل مراحل إجرائها في الملحق رقم 1.

نبين فيما يلي نتائج قياس الوزن الحجمي الظاهري و الصلب للعينات المدروسة:

1-2-3-1-2 قياس الكتلة الحجمية الظاهرية:

نبين فيما يلي نتائج القياسات المختلفة::

الوزن الحجمي الظاهري لنواتج هدم البيتون :

$$\rho = \frac{1.240}{1} = 1.240 \text{ kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.232}{1} = 1.232 \text{ kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.236}{1} = 1.236 \text{ kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.240+1.232+1.236}{3} = 1.236 \text{ kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري لنواتج هدم السيراميك :

$$\rho = \frac{1.011}{1} = 1.011 \text{ kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.014}{1} = 1.014 \text{ kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.010}{1} = 1.010 \text{ kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.011+1.014+1.010}{3} = 1.011 \text{ kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري لنواتج هدم البلوك :

$$\rho = \frac{0.996}{1} = 0.996 \text{ kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{0.998}{1} = 0.998 \text{ kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{0.996}{1} = 0.996 \text{ kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{0.996+0.998+0.996}{3} = 0.997 \text{ kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري لنواتج هدم البلاط:

$$\rho = \frac{1.090}{1} = 1.090 \text{ kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.083}{1} = 1.083 \text{ kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.086}{1} = 1.086 \text{ kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.090+1.083+1.086}{3} = 1.086 \text{ kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري لمزيج نواتج الهدم:

$$\rho = \frac{1.273}{1} = 1.273 \text{ kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.275}{1} = 1.275 \text{ kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.277}{1} = 1.277 \text{ kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.273+1.275+1.277}{3} = 1.275 \text{ kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري للرمال الناعم الطبيعي:

$$\rho = \frac{1.418}{1} = 1.418 \text{kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.411}{1} = 1.411 \text{kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.416}{1} = 1.416 \text{kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.418+1.411+1.416}{3} = 1.415 \text{kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري للرمال الخشن الطبيعي:

$$\rho = \frac{1.586}{1} = 1.586 \text{kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.585}{1} = 1.585 \text{kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.587}{1} = 1.587 \text{kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.586+1.585+1.587}{3} = 1.586 \text{kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

الوزن الحجمي الظاهري للبحص الطبيعي:

$$\rho = \frac{1.359}{1} = 1.359 \text{kg/l} \quad \text{أ- في المرة الأولى}$$

$$\rho = \frac{1.355}{1} = 1.355 \text{kg/l} \quad \text{ب- في المرة الثانية}$$

$$\rho = \frac{1.357}{1} = 1.357 \text{kg/l} \quad \text{ج- في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{1.359+1.355+1.357}{3} = 1.357 \text{kg/l} \quad \text{و بالتالي تكون القيمة الوسطية :}$$

2-1-2-2 قياس الكتلة الحجمية الصلبة

الوزن الحجمي الصلب لنواتج هدم البيتون :

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544 \text{gr} \\ M2 = 200 \text{gr}, M3 = 665 \text{g} \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-665} = 2.531 \text{kg/l} \quad \text{في المرة الأولى}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544 \text{gr} \\ M2 = 200 \text{gr}, M3 = 662 \text{g} \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-662} = 2.439 \text{kg/l} \quad \text{في المرة الثانية}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544 \text{gr} \\ M2 = 200 \text{gr}, M3 = 669 \text{g} \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-669} = 2.667 \text{kg/l} \quad \text{في المرة الثالثة :}$$

$$\rho = \frac{2.531+2.439+2.667}{3} = 2.545 \text{kg/l} \quad \text{وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب لنواتج هدم السيراميك :

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544 \text{gr} \\ M2 = 200 \text{gr}, M3 = 665 \text{g} \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-665} = 2.531 \text{kg/l} \quad \text{في المرة الأولى}$$

$$\left. \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 658g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544 + 200 - 658} = 2.352kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$
$$\left. \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 660g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544 + 200 - 660} = 2.3809kg/l \text{ في المرة الثالثة:}$$
$$\rho = \frac{2.531 + 2.325 + 2.3809}{3} = 2.4123kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب لنواتج هدم البلوك :

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 650g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-650} = 2.127kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 649g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-649} = 2.105kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 649.4g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-649.4} = 2.114kg/l \text{ في المرة الثالثة:}$$

$$\rho = \frac{2.127+2.105+2.114}{3} = 2.115kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب لنواتج هدم البلاط :

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 670g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-670} = 2.702kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 669g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-669} = 2.667kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 667g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-667} = 2.597kg/l \text{ في المرة الثالثة:}$$

$$\rho = \frac{2.702+2.667+2.597}{3} = 2.655kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب لمزيج نواتج الهدم:

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 662g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-662} = 2.439kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 661g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-661} = 2.409kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 660.6g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-660.6} = 2.398kg/l \text{ في المرة الثالثة:}$$

$$\rho = \frac{2.439+2.409+2.398}{3} = 2.415kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب للرمل النيكبي :

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 665g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-665} = 2.532kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 665.2g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-665.2} = 2.538kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 665.3g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-665.3} = 2.541kg/l \text{ في المرة الثالثة:}$$

$$\rho = \frac{2.532+2.538+2.541}{3} = 2.537kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب للرمل العدسي :

$$\left. \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 661g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544 + 200 - 661} = 2.409kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$
$$\left. \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 661.1g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544 + 200 - 661.1} = 2.412kg/l \text{ في المرة الثانية:}$$
$$\left. \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 660g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544 + 200 - 660} = 2.409kg/l \text{ في المرة الثالثة}$$
$$\rho = \frac{2.409 + 2.412 + 2.409}{3} = 2.410kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

الوزن الحجمي الصلب للبص الطبيعي:

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 667g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-667} = 2.597kg/l \text{ في المرة الأولى:}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 666.5g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-666.5} = 2.580kg/l \text{ في المرة الثانية}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M1 = 544gr \\ M2 = 200gr, M3 = 667.4g \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{200}{544+200-667.4} = 2.61kg/l \text{ في المرة الثالثة}$$

$$\rho = \frac{2.61+2.580+2.597}{3} = 2.596kg/l \text{ وبالتالي تكون القيمة المتوسطة:}$$

يبين الجدول التالي نتائج الوزن الحجمي الظاهري والصلب للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها.

الجدول (2-5) نتائج الوزن الحجمي الظاهري والصلب لمختلف الحصويات

الوزن الحجمي الصلب kg/l	الوزن الحجمي الظاهري kg/l	العينة
2.545	1.236	نواتج هدم البيتون
2.412	1.011	نواتج هدم السيراميك
2.655	1.086	نواتج هدم البلاط
2.115	0.997	نواتج هدم البلوك
2.415	1.275	مزيج نواتج الهدم
2.537	1.415	الرمل النبكي
2.410	1.586	الرمل العدسي
2.596	1.357	البص الطبيعي

2-3-3. قياس اهتراء الحصى وفق لوس أنجلوس

تم قياس اهتراء الحصى وفق لوس أنجلوس للعينات المعاد تدويرها و العينات الطبيعية بالاعتماد على اشتراطات المواصفة (ASTM C 131-2006) [17] و التي قمنا بتفصيل مراحل إجرائها في الملحق رقم 1.

نبين فيما يلي نتائج قياس اهتراء الحصى وفق لوس أنجلوس للعينات المدروسة:

نواتج هدم البيتون:

الشريحة المعتمدة: أ عدد الكرات: 12 عدد الدورات: 500

$$M1=5000 \text{ gr}$$

$$M2=2912 \text{ gr}$$

$$\text{عامل لوس أنجلوس} = \frac{5000 - 2912}{5000} * 100 = 41.76\%$$

نواتج هدم السيراميك:

الشريحة المعتمدة: ب عدد الكرات: 11 عدد الدورات: 500

$$M1=5000\text{gr}$$

$$M2=2638.6\text{gr}$$

$$\text{عامل لوس أنجلوس} = \frac{5000 - 2638.6}{5000} * 100 = 47.2\%$$

نواتج هدم البلوك:

الشريحة المعتمدة: ج عدد الكرات: 8 عدد الدورات: 500

$$M1=5000gr$$

$$M2=1645gr$$

$$\frac{5000-1645}{5000} * 100 = 67\% \text{ عامل لوس أنجلوس}$$

مزيج نواتج الهدم:

الشريحة المعتمدة: أ عدد الكرات: 12 عدد الدورات: 500

$$M1=5000gr$$

$$M2=2920gr$$

$$\frac{5000-2920}{5000} * 100 = 41.6\% \text{ عامل لوس أنجلوس}$$

البحص الطبيعي:

الشريحة المعتمدة: ب عدد الكرات: 11 عدد الدورات: 500

$$M1=5000gr$$

$$M2=3815gr$$

$$\frac{5000-3815}{5000} * 100 = 23.7\% \text{ عامل لوس أنجلوس}$$

نواتج هدم البلاط:

الشريحة المعتمدة: ب عدد الكرات: 11 عدد الدورات: 500

$$M1=5000gr$$

$$M2=2830gr$$

$$\frac{5000-2830}{5000} * 100 = 43\% \text{ عامل لوس أنجلوس}$$

2-1-3-4 قياس نظافة الحصويات بالمكافئ الرملي:

تم قياس نظافة الحصويات بالمكافئ الرملي للعينات الطبيعية بالاعتماد على اشتراطات المواصفة الخاصة بالمكافئ الرملي (ASTM D 2419-74) [18] و التي قمنا بتفصيل مراحل إجرائها في الملحق رقم 1.

نبين فيما يلي نتائج قياس نظافة الحصويات بالمكافئ الرملي للعينات المدروسة:

الرمل النبكي:

الجدول (2-6) : قياس المكافئ الرملي للرمل النبكي (حصويات طبيعية)

3	2	1	أرقام أنابيب الاختبار
5.75	5.85	5.8	المستوى الأعلى للغضار (inch)
3.9	3.6	3.6	المستوى الأعلى للرمل (inch)
67.8	61.5	62	المكافئ الرملي (%)
63.7			المكافئ الرملي الوسطي (%)

الرمال العدسي:

الجدول (2-7) : قياس المكافئ الرملي للرمال العدسي (حصويات طبيعية)

3	2	1	أرقام أنابيب الاختبار
5	4.6	4.9	المستوى الأعلى للغضار (inch)
4.2	4	4.4	المستوى الأعلى للرمال (inch)
84	87	89.8	المكافئ الرملي (%)
87			المكافئ الرملي الوسطي (%)

2-1-3-5 قياس التشرب الأقصى بالماء

تم قياس التشرب الأقصى بالماء للعينات الطبيعية و المعاد تدويرها و التي قمنا بتفصيل مراحل إجرائها في الملحق رقم 1.

نبين فيما يلي نتائج قياس التشرب الأقصى بالماء للعينات المدروسة:

نواتج هدم البيتون:

$$a = \frac{800 - 742}{742} * 100 = 7.8\%$$

نواتج هدم السيراميك:

$$a = \frac{800 - 712}{712} * 100 = 12.35\%$$

نواتج هدم البلوك:

$$a = \frac{648 - 580}{580} * 100 = 11.7\%$$

نواتج هدم البلاط:

$$a = \frac{800 - 732}{732} * 100 = 9.28\%$$

مزيج نواتج الهدم:

$$a = \frac{859 - 787.6}{787.6} * 100 = 9\%$$

الجدول (2-8) نتائج الاهتراء والتشرب الأقصى بالماء لمختلف الحصويات

التشرب %	لوس أنجلوس %	العينة
7.8	41.7	نواتج هدم البيتون
11	47.2	نواتج هدم السيراميك
12.4	58	نواتج هدم البلوك
9.28	43.3	نواتج هدم البلاط
9	44.2	مزيج نواتج الهدم
3.3	22.8	الحصويات الطبيعية

أما قيم المكافئ الرملي لنوعي الرمل المستخدمين فكانت 66.4% للرمل النبكي و 82% للرمل الخشن العدسي.

2-2. تحضير النماذج المخبرية من البيتون مع و بدون حصويات معاد تدويرها

لتحضير النماذج المخبرية من البيتون مع و بدون حصويات معاد تدويرها كان لا بد من تصميم خلطة بيتونية اعتماداً على نتائج التدرج الحبي للحصويات، و على الخصائص المقاسة لها. تم اعتماد الطريقة الفرنسية بالتصميم (Dreux-Goriss) [1]. نيين فيما يلي مراحل تصميم هذه الخلطات و النسب النهائية التي تم الحصول عليها لمختلف الخلطات.

2-2-1. تصميم الخلطات البيتونية:

تم اعتماد 6 خلطات بيتونية بنسب استبدال مختلفة للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها المعتمدة في الخلطات البيتونية مع الإشارة إلى أن المقصود بالحصويات المعاد تدويرها هو ذلك المزيج المكون من الأنقاض المحضرة بالنسب الوزنية التالية: (60% بيتون، 10% بلاط، 20% بلوك، 10% سيراميك).

نبين فيما يلي تركيب هذه الخلطات:

1. الخلطة (1) و تتكون من (100% حصويات طبيعية و 0% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N100) عليها.

2. الخلطة (2) و تتكون من (90% حصويات طبيعية و 10% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N90) عليها.

3. الخلطة (3) و تتكون من (80% حصويات طبيعية و 20% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N80) عليها.

4. الخلطة (4) و تتكون من (70% حصويات طبيعية و 30% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N70) عليها.

5. الخلطة (5) و تتكون من (50% حصويات طبيعية و 50% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N50) عليها.

6. الخلطة (6) و تتكون من (0% حصويات طبيعية و 100% حصويات معاد تدويرها) و تم إطلاق التسمية (N0) عليها.

مع الإشارة إلى أن الاستبدال قد شمل الحصويات الخشنة فقط.

تم تثبيت نسبة الماء إلى الاسمنت في كل الخلطات لمنع تداخل البارامترات المؤثرة على خواص البيتون الناتج واعتمدت النسبة $W/C=0.58$ وكذلك $G = 0.5$ معامل الحصويات، حجم الهواء 15 L/m^3 و هي القيم التي تتلاءم مع مقاومة تصميمية على الضغط البسيط بحدود الـ 175 kg/cm^2 وفق بولومي. يمثل الشكل (2-8) منحنى التدرج الحبي المرجعي المرسوم اعتماداً على منحنيات الحصويات وفق درو-غوريس.

يسمح هذا المنحني بتحديد النسب المثلى لإضافة كل من الحصويات الخشنة و الناعمة إلى الخلطة. بلغت هذه النسب بعد الحساب التخطيطي وفق درو-غوريس كما يلي:

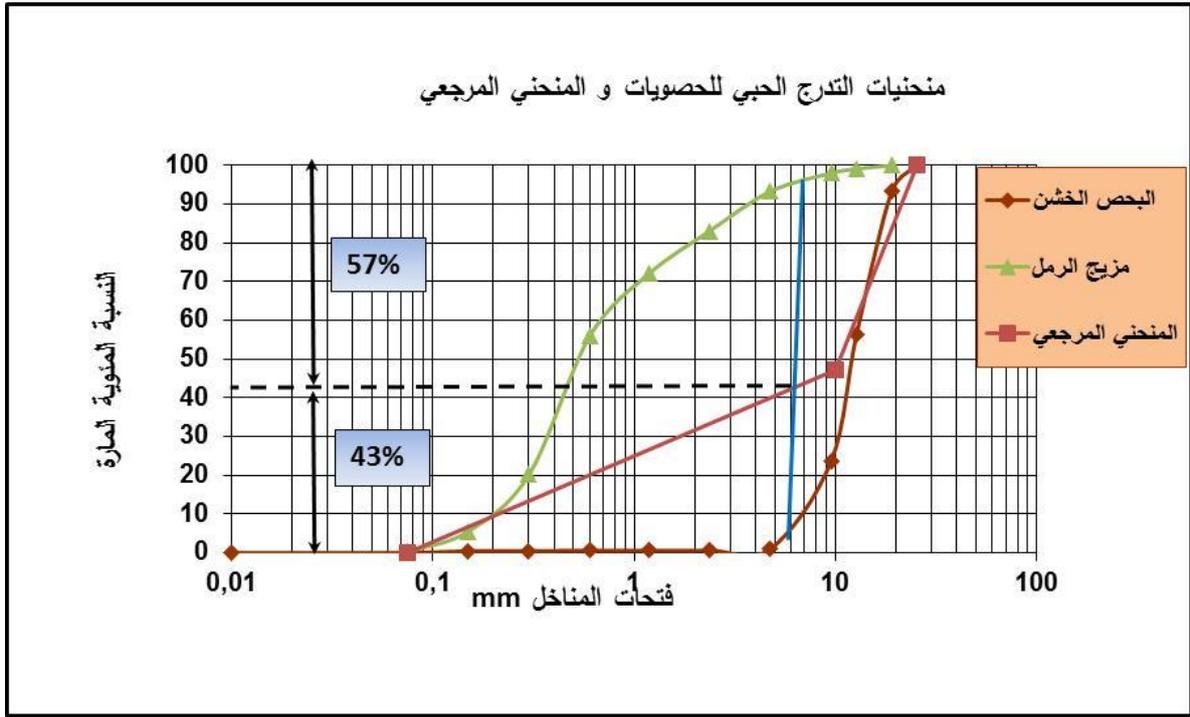
النسبة المئوية للبحص في الخلطة: 57%

النسبة المئوية لمزيج الرمل في الخلطة: %43

النسبة المئوية للرمل الناعم في الخلطة %21.5

النسبة المئوية للرمل الخشن في الخلطة %21.5.

علماً بأن نسب الرمل الناعم و الخشن قد تم حسابها للحصول على معامل نعومة متوسط يناسب البيتون و قدره $Mf = 2.72$ و قد بلغت %50 من كل نوع.



الشكل(2-8) منحنيات التدرج الحبي للحصويات و المنحني المرجعي

يبين الجدول (2-9) التصاميم الوزنية للخلطات المدروسة و المحسوبة وفق درو-غوريس. مع الإشارة إلى أننا اعتمدنا التصميم ذاته للخلطات مع و بدون استبدال و ذلك استناداً إلى التطابق الكبير بين منحنيات التدرج الحبي للحصويات الطبيعية و الحصويات المعاد تدويرها.

الجدول (2-9) نتائج التصميم الخاصة بالخلطات التي تم صبها من أجل 1م³

مكونات الخلطات الحصوية						
N0	N50	N70	N80	N90	N100	الخلطة
0	497	695.8	795.2	894.6	994	البحص الخشن الطبيعي (kg/m ³)
375	375	375	375	375	375	الرمل الناعم (kg/m ³)
375	375	375	375	375	375	الرمل الخشن العدسي (kg/m ³)
350	350	350	350	350	350	الاسمنت (kg/m ³)
201	201	201	201	201	201	الماء (kg/m ³)
994	497	298.2	198.8	99.4	0	الحصويات المعاد تدويرها (kg/m ³)
3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	الملدنات SP90 (kg/m ³)

2-2-2. صب الخلطات البيتونية:

اعتمدنا في صب الخلطات البيتونية على الخلاط الآلي حيث تم وزن كل مكون من مكونات الخلطة الجافة بشكل مستقل.

تم فك القوالب (10*10*10cm) في اليوم التالي ووضع العينات في الماء لمدة 28 يوماً. تبين الأشكال أدناه مراحل صب العينات و حفظها بشكل متسلسل.



الشكل(2-9) وزن مكونات الخلطة



الشكل(2-10) خلط المكونات

2-2-3. التجارب على البيتون الطري:

- قياس القوام بطريقة المخروط (الشكل 2-11).
- قياس الوزن الحجمي للبيتون الطري.
- صب العينات.

يبين الجدول (2-10) قيم الهبوط المقاس على مختلف الخلطات مع الوزن الحجمي للبيتون الطري.
الجدول (2-10): نتائج قياس هبوط أبرامز و الوزن الحجمي للبيتون الطري

الوزن الحجمي الظاهري (kg/m ³)	هبوط أبرامز (cm)	الخلطة
2298	6.3	N100
2259	6	N90
2162	4	N80
2108	2.5	N70
1839	1	N50

1751

0

N0



الشكل (2-11) قياس الهبوط بمخروط أبرامز

تم صب العينات ضمن القوالب على طبقتين باستخدام الطاولة الرجاجة. ثم تسوية سطوح العينات تمهيداً لحفظها في الماء لاحقاً.



الشكل(2-12) صب العينات بالقوالب

تم إخراج العينات من الماء بعد 28 يوماً وإجراء الاختبارات اللازمة عليها.
يبين الشكل (2-13) جميع العينات المصبوبة من البيتون بنسب استبدال مختلفة و ذلك بعد إخراجها من
حوض الحفظ بعد مرور 28 يوماً.



الشكل(2-13) إخراج العينات من الماء تمهيداً لإجراء الاختبارات

2-2-4. التجارب على البيتون المتصلب:

- قياس المقاومة على الضغط البسيط.
- قياس التشرب الأقصى بالماء.
- قياس الوزن الحجمي.
- قياس الديمومة.

و للوقوف على دقة النتائج و تماثل العينات قمنا بحساب الانحراف المعياري لمجموع العينات المختبرة ثم حساب معامل التغير و الذي يعطي فكرة واضحة عن تشابه العينات المصبوبة من الخلطة الواحدة و دقة النتائج المعطاة.

يبين الجدول (2-11) نتائج اختبائي الضغط البسيط والتشرب الأقصى للماء للعينات البيتونية:

الجدول (2-11): نتائج اختبائي الضغط البسيط والتشرب للعينات البيتونية

الخلطة	المقاومة على الضغط البسيط (kg/cm ²)	الانحراف المعياري	معامل التغير (%)	التشرب (%)
N100	573.4	25.2	4.39	5
N90	510	20	3.92	5.35
N80	500	0	0	6.3
N70	476.7	28.9	6.06	7.6
N50	506.7	28.9	5.7	7.65
N0	476.7	25.2	5.28	8.5

و لدراسة تأثير الحصويات المعاد تدويرها على ديمومة البيتون المنتج باستخدامها ، قمنا بإجراء اختبار ديمومة مسرع (أسبوع من الغمر) على عينات البيتون بغمرها (الشكل 2-14) في محلول ملحي (كلوريد الصوديوم) مركز (15%) و التحقق من فقدان المقاومة بعد الغمر. يبين الجدول (2-12) تأثير بيتون الحصويات المعاد تدويرها بعملية التعريض للكوريدات [7].



الشكل(2-14) غمر العينات بالمحلول الملحي بتركيز 15%

الجدول(2-12): نتائج الاختبار على المقاومة بعد الغمر بالمحلول الملحي.

الخلطة	المقاومة قبل الغمر بالمحلول الملحي (kg/cm ²)	المقاومة بعد الغمر بالمحلول الملحي (kg/cm ²)	انخفاض المقاومة (الديمومة) (%)
N100	573.4	430	25
N90	510	424	16.9
N80	500	345	31
N70	476.7	425	10.8
N50	506.7	397	21.6
N0	476.7	330	30.8

الفصل الثالث

البرنامج التجريبي

تحضير و توصيف النماذج المخبرية من المنتجات الإسمنتية مع

و بدون حصويات معاد تدويرها:

(اللبئات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل)



3- الدراسة التجريبية:

3-1 صب العينات (اللبنات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي والمتداخل):

3-1-1. صب اللبنة الاسمنتية المفرغة (البلوك):

تم صب عينات اللبنة الاسمنتية المفرغة في إحدى المعامل في محافظة اللاذقية و ذلك لعدم توفر تجهيزات الرج و الضغط المناسبة للتصنيع. تم الصب بالاعتماد على اشتراطات المواصفة القياسية السورية الخاصة بالبلوك (م.ق.س 1983/333) [20]. أما المواد المستخدمة فكانت:

- الرمل العدسي الخشن.
- الرمل الناعم.
- الإسمنت البورتلاندي.
- الحصى ذات القطر الأعظمي الموافق للرمل العدسي. وقد تم استبدال الرمل العدسي الخشن بالحصى المعاد تدويرها و بذات القطر الأعظمي وفق نسب استبدال (0% 20_40_60_100%).
- الماء.

يبين الشكل (3-1) القالب المستخدم في عملية التصنيع.



الشكل (3-1) شكل القالب

3-1-1-1. تصميم الخلطات:

تم اعتماد خمس خلطات بنسب استبدال مختلفة للحصى الطبيعية والحصى المعاد تدويرها المعتمدة في الخلطات البيتونية و هي: حصى مزيج (60% بيتون، 10% بلاط، 20% بلوك، 10% سيراميك). تم اعتماد الرمز N للحصى الطبيعية.

اعتمدت الخلطات التالية لصب عينات اللبنة الاسمنتية المفرغة مع و بدون حصى معادة التدوير [6]:

- الخلطة N100 (100% حصويات طبيعية).
- الخلطة N80 (80% حصويات طبيعية، 20% حصويات مزيج معاد تدويرها).
- الخلطة N60 (60% حصويات طبيعية، 40% حصويات مزيج معاد تدويرها).
- الخلطة N40 (40% حصويات طبيعية، 60% حصويات مزيج معاد تدويرها).
- الخلطة N0 (100% حصويات مزيج معاد تدويرها).

أما نسب و أوزان المواد الداخلة في التركيب فقد تم حسابها انطلاقاً من عيار إسمنت 250Kg/m^3 و نسبة $W/C=0.4$ فكانت على النحو التالي:

الجدول (1-3) نسب و أوزان المواد الداخلة في تركيب اللبئات الإسمنتية المفرغة.

الوزن	المكون
1 وزن	الإسمنت البورتلاندي
4 وزن	الرمل العدسي الخشن
4 وزن	الرمل الناعم
0.4 وزن	الماء
(نسبة من الرمل العدسي حسب الاستبدال)	الحصويات المعاد تدويرها

3-1-1-2. مراحل التصنيع:

يمكن تلخيص مراحل تصنيع العينات كما يلي:

- تحضير المواد (الرمل الخشن، الحصويات المعاد تدويرها، الرمل الناعم، الإسمنت، الماء)
- قياس أوزان المواد وفق تصميم كل خلطة.
- مزج المواد وفق نسب الاستبدال بشكلها الجاف ثم إضافة الماء بشكل تدريجي للوصول للخلطة المتجانسة.
- صب المزيج بالقالب بشكل تدريجي مع عملية الرج والضغط بآن واحد.
- نزع القالب بعد الضغط مباشرة و ترطيب العينات بشكل مستمر حتى العمر 28 يوم.
- إجراء الاختبارات المطلوبة علي العينات.

تبين الأشكال 2-3 و 3-3 التالية جانباً من مراحل التصنيع.



(c) إضافة الاسمنت



(b) إضافة الرمل العدسي والنبكي



(a) الحصىيات المعاد تدويرها



(f) الشكل النهائي للمزيج



(e) إضافة الماء



(d) خلط الحصىيات بالشكل الجاف

الشكل (2-3): مراحل مزج مكونات خلطات اللبئات الإسمنتية المفرغة



(c) لفظ العينة من القالب



(b) رص المزيج



(a) إملاء القالب بالمزيج



(f) العينات المصبوقة



(e) الشكل النهائي للعينة



(d) العينة بعد لفظها من القالب

الشكل (3-3): مراحل صب عينات اللبئات الإسمنتية المفرغة

3-1-2. صب عينات بلاط الأرضية الإسمنتية العادي:

3-1-2-1. مكونات طبقات بلاط الأرضية الإسمنتية العادي

تم صب عينات بلاط الأرضية الإسمنتية العادي في أحد المعامل في محافظة اللاذقية، تم الصب بالاعتماد على اشتراطات مشروع المواصفة القياسية السورية الخاصة ببلاط الأرضية الإسمنتية للعام 1996 وتم استبدال الرمل العدسي بالحصويات المعاد تدويرها وفق نسب محددة للبحث و هي:

- الخلطة N100 (100% حصويات طبيعية لطبقة الظهر).
- الخلطة N80 (80% حصويات طبيعية، 20% حصويات مزيج معاد تدويرها لطبقة الظهر).
- الخلطة N60 (60% حصويات طبيعية، 40% حصويات مزيج معاد تدويرها لطبقة الظهر).
- الخلطة N40 (40% حصويات طبيعية، 60% حصويات مزيج معاد تدويرها لطبقة الظهر).
- الخلطة N0 (100% حصويات مزيج معاد تدويرها لطبقة الظهر).

تتكون طبقتا الوجه و الظهر لعينات بلاط الأرضية الإسمنتية العادي من:

- طبقة الظهر (الرمل العدسي، الحصويات المعاد تدويرها، الاسمنت، الماء).
- طبقة الوجه (الرمل النبكي، الإسمنت، الماء، الحصويات المكسرة الطبيعية القاسية).

3-1-2-2. مراحل التصنيع:

يمكن تلخيص مراحل تصنيع العينات كما يلي:

- تحضير المواد (الرمل العدسي، الحصىات المعاد تدويرها، الرمل النبكي، الاسمنت، الماء، الحصىات المكسرة الطبيعية القاسية).
- قياس أوزان المواد وفق تصميم كل خلطة.
- مزج المواد وفق نسب الاستبدال بشكلها الجاف ثم إضافة الماء بشكل تدريجي للوصول للخلطة المتجانسة.
- صب المزيج بال قالب بشكل تدريجي مع عملية الرج ثم الضغط.
- وضع العينات في الماء لمدة 28 يوم قبل إجراء الاختبارات عليها.

تظهر الصور التالية مراحل التصنيع و الصب لطبقتي الوجه و الظهر:



(c) إضافة الاسمنت



(b) إضافة الرمل العدسي للحصويات



(a) الحصويات الناعمة المعاد تدويرها



(e) إضافة الماء للمزيج



(d) المزيج الجاف مع الإسمنت

الشكل (3-4): مراحل تصنيع مكونات خلطات بلاط الأرضية العادي الإسمنتي (طبقة الظهر)



(c) إضافة الماء للمزيج



(b) إضافة الإسمنت للرمل



(a) الرمل النجفي الناعم



(e) شكل مزيج طبقة الوجه



(d) إضافة الحصويات القاسية

الشكل (3-5): مراحل تصنيع مكونات خلطات بلاط الأرضية العادي الإسمنتي (طبقة الوجه)



(c) إغلاق القالب



(b) صب طبقة الظهر



(a) صب طبقة الوجه



(f) العينات المصبوبة



(e) العينة بعد الرص



(d) رص العينة

الشكل (3-6): مراحل صب عينات بلاط الأرضية الإسمنتية العادي

3-1-3. صب عينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك):

3-1-3-1. مكونات طبقات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك):

تم صب عينات الأنترلوك في معمل الإنشاءات العسكرية في محافظة اللاذقية باستخدام نسب استبدال للطبقة السفلى تم الصب بالاعتماد على اشتراطات المواصفة القياسية السورية الخاصة بالأنترلوك (م.ق.س. 2004/2879) [21]:

- الخلطة N100 (100% حصويات طبيعية للطبقة السفلى).
- الخلطة N80 (80% حصويات طبيعية، 20% حصويات مزيج معاد تدويرها للطبقة السفلى).
- الخلطة N60 (60% حصويات طبيعية، 40% حصويات مزيج معاد تدويرها للطبقة السفلى).
- الخلطة N40 (40% حصويات طبيعية، 60% حصويات مزيج معاد تدويرها للطبقة السفلى).
- الخلطة N20 (20% حصويات طبيعية، 80% حصويات مزيج معاد تدويرها للطبقة السفلى).
- الخلطة N0 (100% حصويات مزيج معاد تدويرها للطبقة السفلى).

تتكون الطبقتان العليا و السفلى لبلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك) من:

- الطبقة السفلى (الرمال العدسي، الحصويات المعاد تدويرها، الاسمنت، الماء).
- الطبقة العليا (الرمال السمسمي، الإسمنت، الماء، الأصبغة الملونة).

3-1-2-3. مراحل التصنيع:

يمكن تلخيص مراحل تصنيع العينات كما يلي:

- تحضير المواد (الرمل العدسي، الحصىات المعاد تدويرها، الرمل السمسي، الإسمنت، الماء، الأصبغة الملونة).
- قياس أوزان المواد وفق تصميم كل خلطة.
- مزج المواد وفق نسب الاستبدال بشكلها الجاف ثم إضافة الماء بشكل تدريجي للوصول للخلطة المتجانسة.
- صب مزيج الطبقة السفلى بالقالب متبوعة بعملية الرج و الضغط.
- صب مزيج الطبقة العليا بالقالب فوق الطبقة السفلى متبوعة بعملية الرج و الضغط.

تظهر الصور التالية مراحل التصنيع و الصب للطبقتين السفلى و العليا:



(c) مزيج الطبقة السفلى مع الماء



(b) إضافة الرمل العدسي للحصىات



(a) الحصىات الناعمة المعاد تدويرها



(f) مزيج الطبقة العليا مع الماء



(e) المزيج الجاف للرمل مع الإسمنت



(d) الرمل السمسي

الشكل (3-7): مراحل تصنيع خلطات بلاط الأرضية المتداخل الإسمنتي (الطبقتان العليا و السفلى)



(c) مزيج الطبقة السفلى بعد الرص



(b) الإملاء بمزيج الطبقة السفلى



(a) شكل القالب الفارغ



(f) الشكل النهائي للعينات



(e) رص الطبقة العليا و السفلى



(d) الإملاء بمزيج الطبقة العليا

الشكل(3-8): مراحل تصنيع عينات بلاط الأرضية المتداخل الإسمنتي (الأنترلوك)

3-2. توصيف المنتجات الإسمنتية (اللبات الاسمنتية المفرغة - بلاط الأرضية العادي

والمتداخل):

3-2-1. الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لللبات الاسمنتية المفرغة:

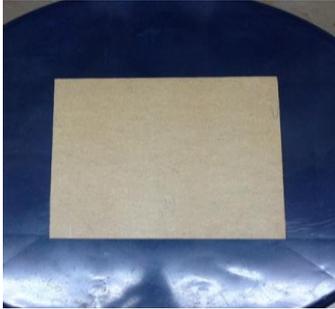
3-2-1-1. المقاومة على الضغط البسيط لعينات اللبات الاسمنتية المفرغة (البلوك):

تم لهذا الغرض حساب المقاومة على الضغط البسيط للعينات المصنعة باعتماد المقطع الصافي لها، ثم المقطع الكلي.

نبين فيما يلي آلية حساب المقطع الصافي للعينات المفرغة وفق اشتراطات المواصفة القياسية السورية الخاصة بالبلوك.

حساب المقطع الصافي لعينات البلوك:

لحساب المقطع الصافي تم رسم أثر عينة البلوك على سطح من الورق المقوى وهي بالوضع المقلوب، ثم تفرغ الورق المقوى في مناطق فتحات العينة كما هو موضح بالشكل (3-9)، ثم وزنها، ثم حساب الوزن بالمتر المربع لعينة مماثلة سليمة من الورق المقوى بأبعاد 30*30سم مثلاً.



الشكل (3-9) آلية احتساب المقطع الصافي لعينة البلوك المفرغ

• وزن عينة الورق المقوى ذات الأبعاد (30*30سم) : 145gr.

• وزن عينة الورق المقوى المفرغة : 47gr.

• السطح الصافي للعينة المفرغة : $47 \times \frac{900}{145} = 291.72 \text{cm}^2$

يبين الشكل (3-10) آلية اختبار العينات على الضغط البسيط. كما يبين الجدول (3-2) قيم المقامات المقاسة المتوسطة على الضغط البسيط لكل من المقطعين الكلي و الصافي، و على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.



الشكل (3-10) آلية قياس المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك المفرغ

الجدول (2-3): نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط للمقطع الكلي والصابي

المقاومة المتوسطة للمقطع الصافي (kg/cm ²)	المقاومة المتوسطة للمقطع الكلي (kg/cm ²)	تسمية الخلطة
175	85	N100
160	78	N80
136	66	N60
119	58	N40
120	58	N0

2-1-2-3. قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات اللبئات الاسمنتية المفرغه (البلوك):
تم لهذا الغرض حساب قيم التشرب الأقصى بالماء للعينات بعد غمرها كلياً بالماء لمدة 24 ساعة، ثم وزنها، ثم تجفيفها لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 105°C .
أما قياس الوزن الحجمي فقد تم على قطع من العينات بوزنها جافة في الهواء، ثم مشبعة في الهواء، ثم مغمورة بالماء، و ذلك لحساب الحجم الحقيقي للعينة باستخدام الوزن الهيدروستاتيكي.
يبين الجدول (3-3) قيم التشرب الأقصى بالماء و الوزن الحجمي على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.

الجدول (3-3): نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات البلوك الإسمنتي المفرغ

درجة التشرب (%)	الوزن الحجمي (gr/cm ³)	تسمية الخلطة
6.749	2.259	N100
7.538	2.204	N80
8.231	2.131	N60
9.574	2.128	N40
9.71	2.104	N0

3-2-2. الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لبلاط الأرضية الإسمنتي:

3-2-2-1. المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات لبلاط الأرضية الإسمنتي:

يبين الشكل (3-11) آلية اختبار العينات على الشد بالانعطاف. كما يبين الجدول (3-4) قيم المقامات المقاسة المتوسطة على الشد بالانعطاف على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.



الشكل(3-11) آلية قياس المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي

الجدول (3-4): نتائج اختبار المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتية

المقاومة المتوسطة على الشد بالانعطاف (kg/cm ²)	تسمية الخلطة
5.78	N100
5.37	N80
5.86	N60
5.53	N40
5.59	N20
5.86	N0

3-2-2-2. قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات بلاط الأرضية الإسمنتية:

تم لهذا الغرض حساب قيم التشرب الأقصى بالماء للعينات بعد غمرها كلياً بالماء لمدة 24 ساعة، ثم وزنها، ثم تجفيفها لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 105°C .
أما قياس الوزن الحجمي فقد تم على قطع من العينات بوزنها جافة في الهواء، ثم مشبعة في الهواء، ثم مغمورة بالماء، و ذلك لحساب الحجم الحقيقي للعينة باستخدام الوزن الهيدروستاتيكي.
يبين الجدول (3-5) قيم التشرب الأقصى بالماء و الوزن الحجمي على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.

الجدول (3-5): نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات بلاط الأرضية الإسمنتية

تسمية الخلطة	الوزن الحجمي (gr/cm ³)	درجة التشرب (%)
N100	2.10	8.11
N80	2.03	8.87
N60	2.02	7.98
N40	2.05	8.21
N20	2.13	7.85
N0	2.12	8

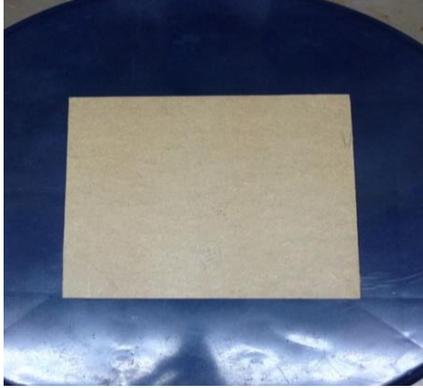
3-2-3. الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لبلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك):

3-2-3-1. المقاومة على الضغط البسيط لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك):

تم لهذا الغرض حساب المقاومة على الضغط البسيط للعينات المصنعة باعتماد المقطع الصافي لها، ثم المقطع الكلي.
نبين فيما يلي آلية حساب المقطع الصافي للعينات المفرغة وفق اشتراطات المواصفة القياسية السورية الخاصة.

حساب المقطع الصافي لعينات الأنترلوك:

لحساب المقطع الصافي تم رسم أثر عينة الأنترلوك على سطح من الورق المقوى، ثم قص الورق المقوى وفق أثر العينة كما هو موضح بالشكل (3-12)، ثم وزنها، ثم حساب الوزن بالمتري المربع لعينة مماثلة سليمة من الورق المقوى بأبعاد 30*30سم مثلاً.



الشكل (3-12) آلية احتساب المقطع الصافي لعينة الأنترلوك

- وزن عينة الورق المقوى ذات الأبعاد (30*30سم) : 145gr.
- وزن عينة الورق المقوى المقصوفة وفق أثر الأنترلوك : 52gr.
- السطح الصافي لعينة الأنترلوك : $52 = 322.76 \text{cm}^2 * (900/145)$

يبين الشكل (3-13) آلية اختبار العينات على الضغط البسيط. كما يبين الجدول (3-6) قيم المقاومات المقاسة المتوسطة على الضغط البسيط للمقطع الصافي، و على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.



الشكل(3-13) آلية قياس المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك

الجدول (3-6): نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك

المقاومة المتوسطة على الضغط البسيط (kg/cm ²)	تسمية الخلطة
186	N100
300	N80
199	N60
327	N40
319	N20
203	N0

2-3-2-3. قياس التشرب الأقصى و الوزن الحجمي لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك):
تم لهذا الغرض حساب قيم التشرب الأقصى بالماء للعينات بعد غمرها كلياً بالماء لمدة 24 ساعة، ثم وزنها، ثم تجفيفها لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 105°C .
أما قياس الوزن الحجمي فقد تم على قطع من العينات بوزنها جافة في الهواء، ثم مشبعة في الهواء، ثم مغمورة بالماء، و ذلك لحساب الحجم الحقيقي للعينة باستخدام الوزن الهيدروستاتيكي.
يبين الجدول (3-7) قيم التشرب الأقصى بالماء و الوزن الحجمي على العينات المختلفة التي تم فيها أخذ ثلاث عينات لقياس المقاومة المتوسطة من كل نسبة استبدال.

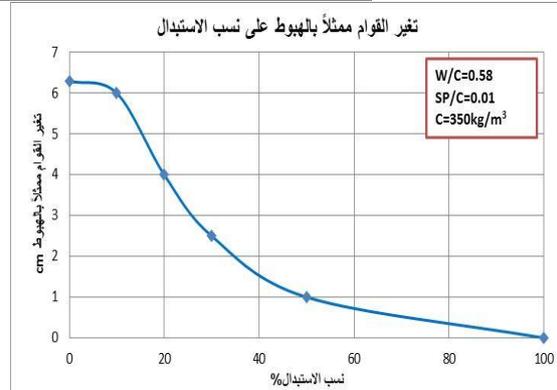
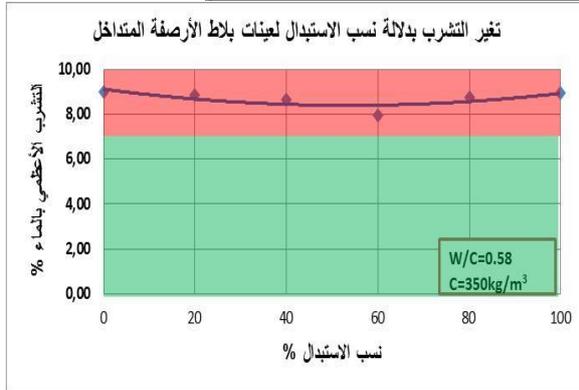
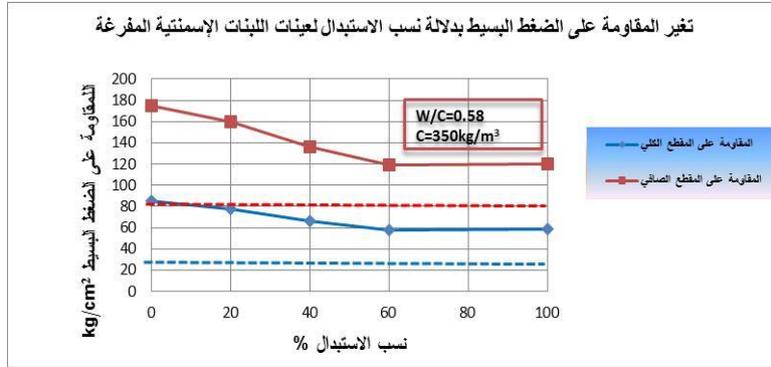
الجدول (3-7): نتائج قياس الوزن الحجمي و التشرب الأقصى بالماء لعينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك)

درجة التشرب (%)	الوزن الحجمي (gr/cm ³)	تسمية الخلطة
8.98	2.059	N100
8.87	2.028	N80
8.66	2.054	N60
7.93	2.067	N40
8.77	2.085	N20
8.93	2.079	N0

الفصل الرابع

تحليل النتائج و مناقشتها

تأثير استبدال الحصىات الطبيعية بالحصىات المعاد تدويرها على خصائص البيتون و المنتجات الإسمنتية المصنعة منها.



4- تحليل النتائج و مناقشتها:

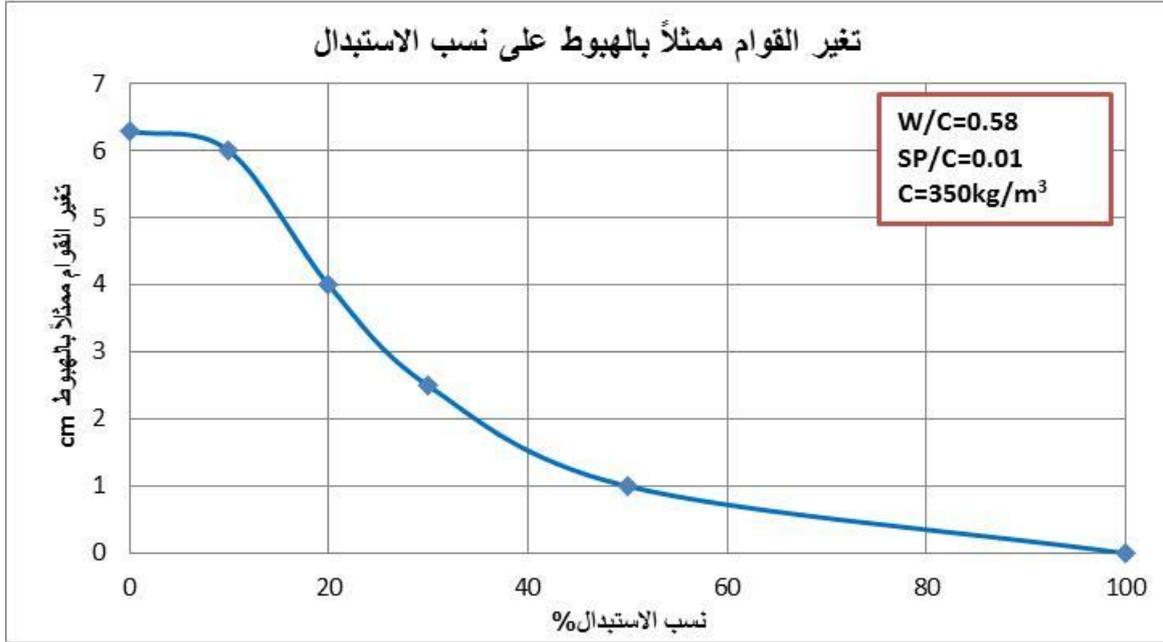
4-1 تحليل نتائج البيتون المصبوب باستخدام الحصويات المعاد تدويرها:

نستعرض فيما يلي أهم النتائج التي تم التوصل إليها بعد إجراء الاختبارات المختلفة على خلطات البيتون في حالتها الطرية و الصلبة. تمثلت عينات البيتون المتصلب بمكعبات أبعادها $10*10*10\text{cm}$. بلغ عدد العينات المصبوبة من كل خلطة عشر عينات. و للوقوف على دقة النتائج و تماثل العينات قمنا بحساب الانحراف المعياري لمجموع العينات المختبرة ثم حساب معامل التغير و الذي يعطي فكرة واضحة عن تشابه العينات المصبوبة من الخلطة الواحدة و دقة النتائج المعطاة. و هو ما قمنا بعرضه بشكل مفصل في الفصل السابق بالفقرة 2-2-4.

و لدراسة تأثير الحصويات المعاد تدويرها على ديمومة البيتون المنتج باستخدامها، قمنا بإجراء اختبار ديمومة مسرع على عينات البيتون بغمرها في محلول ملحي مركز (15%) و التحقق من فقدان المقاومة بعد الغمر. و هو ما قمنا بعرضه أيضاً بشكل مفصل في الفصل السابق بالفقرة (2-4).

4-1-1 تأثير الاستبدال على قوام البيتون ممثلاً بهبوط أبرامز:

يبين الشكل (4-1) العلاقة بين قوام الخلطات الطرية ممثلاً بهبوط أبرامز (slump) ونسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها:



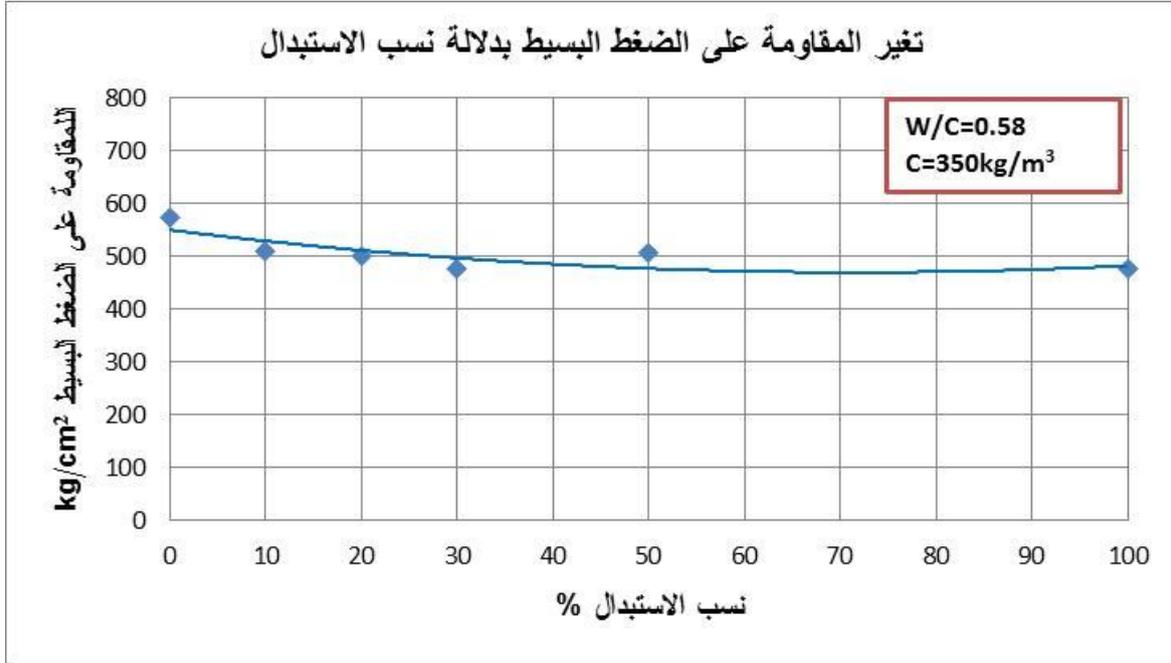
الشكل (4-1): العلاقة بين قوام الخلطات الطرية ونسب الاستبدال

يبين الشكل السابق التأثير الشديد لقوام البيتون عند استبدال حصوياته الطبيعية بالحصويات المدورة وذلك عند تثبيت نسبة الماء إلى الإسمنت $W/C=0.58$ ونسبة الملدن المستخدم $SP/C=1\%$ إذ خرجت العينات من شريحة القوام اللدن $slump>4cm$ إلى شريحة القوام الجامد $slump<4cm$ عند نسبة الاستبدال 20%.

يعود ذلك إلى طبيعة الحصويات المعاد تدويرها و شرها النسبي للماء مقارنة مع الحصويات الطبيعية وهو ما تبينه قيم التشرب لهذه الحصويات منفردة إذ كان تشربها يفوق تشرب الحصويات الطبيعية بشكل كبير مما سيخلق مشكلة تتعلق بتشغيل هذا البيتون وهو ما يمكن تلافيه بزيادة جرعة الملدن للحصول على شريحة القوام المستهدفة مع مراعاة عدم زيادة الجرعة عن الحد المسموح لضمان عدم تأخير تصلب البيتون.

4-1-2. تأثير نسب الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط:

قمنا بتمثيل العلاقة بين المقاومة المكعبية للعينات المصبوبة (10*10*10cm) على الضغط البسيط ونسب الاستبدال وذلك على الشكل (4-2):

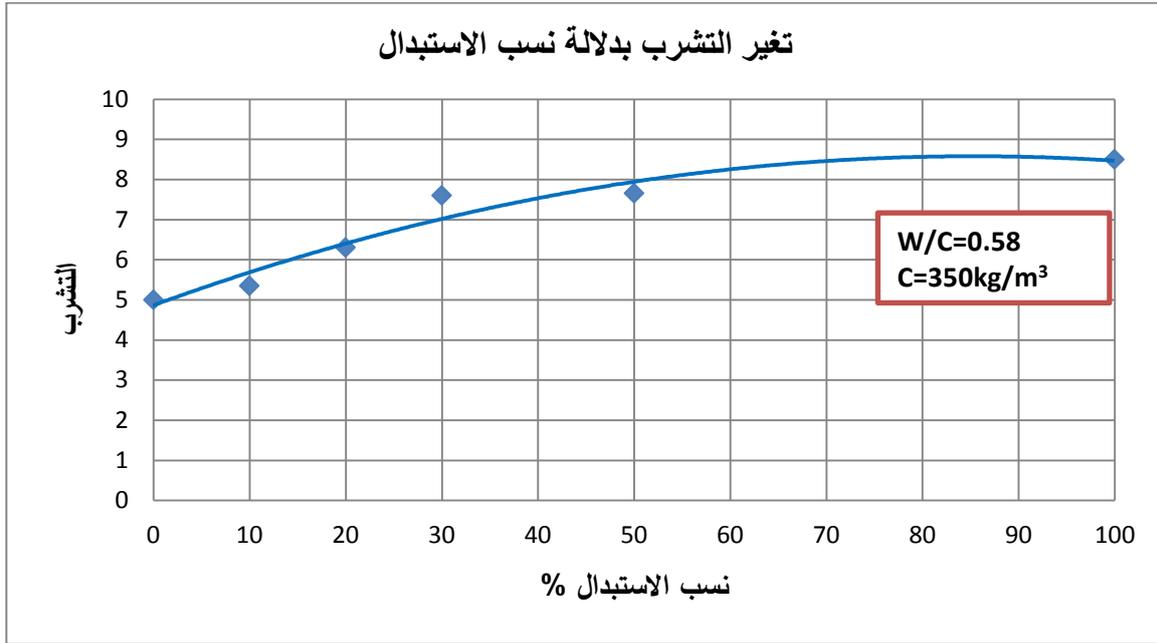


الشكل (4-2): العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون ونسب الاستبدال

تبدو النتائج التي حصلنا عليها جيدة وتتوافق مع هدف الدراسة إذ أن انخفاض المقاومة لا يتأثر بشكل كبير بنسب استبدال الحصى الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها [1] فعند تغير نسب الاستبدال بين 0 و 100 لم يتعدّ انخفاض المقاومة النسبة 17% بين القيمتين العظمى وقدرها 573.4kg/cm² كمقاومة مكعبية والموافقة لحالة عدم الاستبدال (حصى طبيعية 100%) والدنيا وقدرها 476.7kg/cm² كمقاومة مكعبية والموافقة لحالة الاستبدال الكلي (حصى معاد تدويرها 100%) تجدر الإشارة إلى أن الاستبدال الكلي للحصى حافظ على بيتون قريب من البيتون عالي الأداء من حيث المقاومة إذ بقيت المقاومة بجوار 400kg/cm² [10]. تعتبر هذه النتيجة على درجة عالية من الأهمية وتفسح المجال أمام عملية الاستبدال بشكل واسع مع مراعاة عدم تبدل الخصائص الأخرى بشكل كبير.

4-1-3. تأثير نسب الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a):

يبين الشكل (4-3) العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب استبدال الحصى الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها:



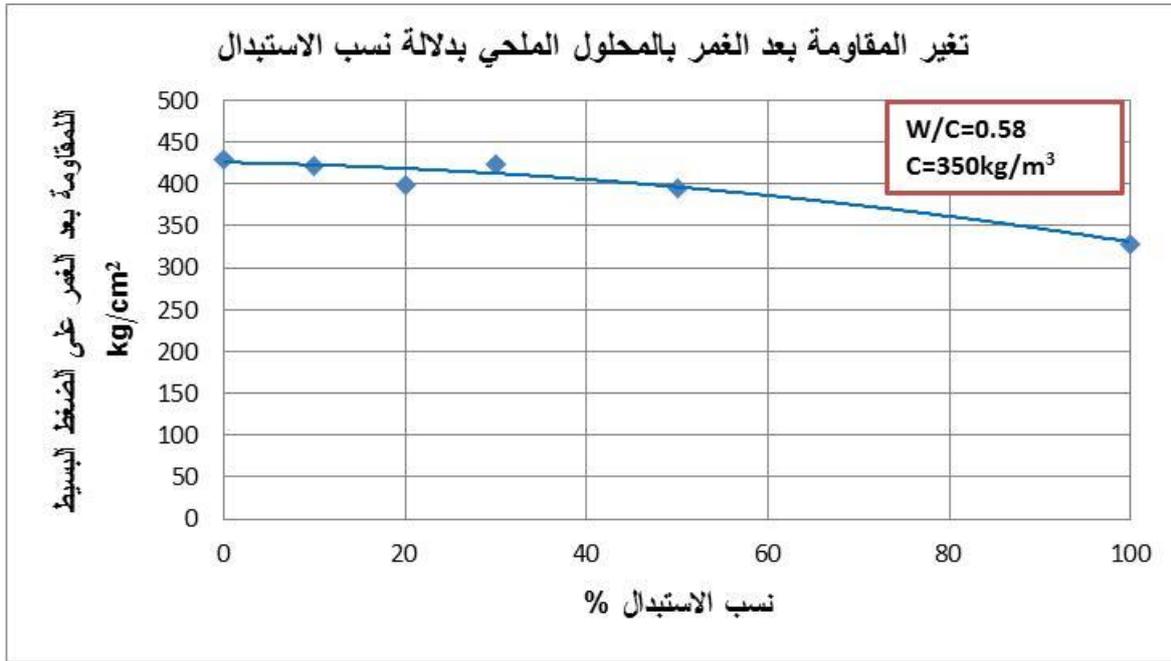
الشكل (4-3): العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب الاستبدال

تتقاطع النتائج التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة مع نتائج تأثير الاستبدال على التشرب إذ تسجل العينات إزدياداً في تشربها من النسبة 5% للعينات بدون استبدال (حصويات طبيعية) إلى النسبة 8.5% a للعينات المصنعة كلياً من الحصويات المعاد تدويرها يعود ذلك لنفس السبب المشروح سابقاً وهو شره الحصويات المدورة للماء والتي تحتوي على قطع البلوك في تركيبها سيحتاج المهندس عند استخدام هذه الحصويات إلى العناية بمسألة التعرض للماء وذلك بتأمين العزل الجيد للبيتون أو إضافة بعض الإضافات البيتونية التي تسمى في عالم مواد البناء بإضافات تكتيم دون إهمال تصميم الخلطة الجيد الذي يفترض أن يحقق أكبر إكتناز وقل مسامية مما سينجم عنه تشرب محدود.

4-1-4. تأثير نسب الاستبدال على ديمومة البيتون

لقياس تأثير ديمومة البيتون بتغير نسبة الاستبدال قمنا بإخضاع العينات البيتونية المتصلبة من جميع الخلطات لاختبار ديمومة مسرع عن طريق غمر العينات المتصلبة بعد بلوغها العمر 28 يوم بمحلول ملحي تركيزه 15% وذلك لمدة أسبوع ولنقوم بعدها بإخراج العينات من المحلول ومراقبة حالتها وقياس خصائصها الميكانيكية بعد الغمر ومقارنة ذلك مع العينات السليمة [12].

يبين الشكل (4-4) تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها على مقاومة العينات على الضغط البسيط بعد غمرها بمحلول كلوريد الصوديوم:



الشكل (4-4): العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط للبيتون بعد الغمر بمحلول كلوريد الصوديوم ونسب الاستبدال

يسلك المنحني المبين على هذا الشكل سلوكاً مشابهاً لمنحني العينات غير المغمورة مع تسجيل فرق وحيد يتمثل بتغير قيم المقاومة بحوالي 23% .

ولقياس تأثير ديمومة البيتون بدلالة نسب الاستبدال قمنا بحساب معامل يتعلق بالديمومة سميناه معامل انخفاض المقاومة ΔR والمعرف كما يلي:

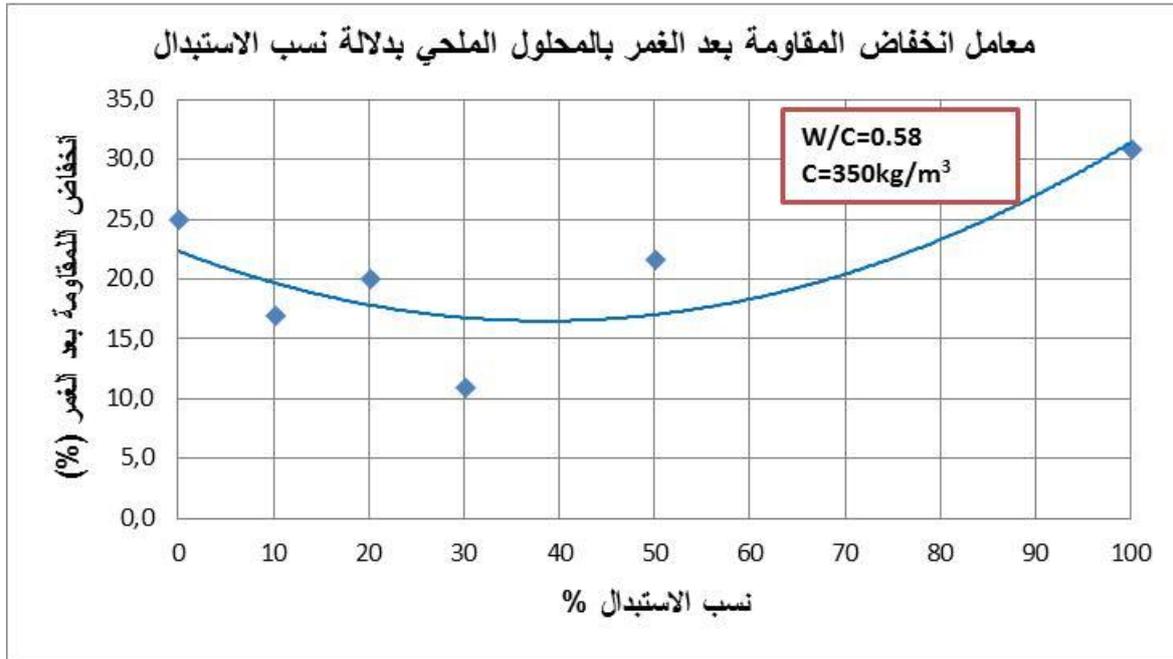
$$\Delta R = \frac{R2 - R1}{R2} \times 100$$

حيث:

R2: مقاومة العينات على الضغط البسيط قبل غمرها بالمحلول الملحي

R1: مقاومة العينات على الضغط البسيط بعد غمرها بالمحلول الملحي

يبين الشكل (4-5) تأثير نسب الاستبدال على معامل الديمومة المعرف سابقاً :



الشكل (4-5): العلاقة بين معامل انخفاض المقاومة و نسب الاستبدال

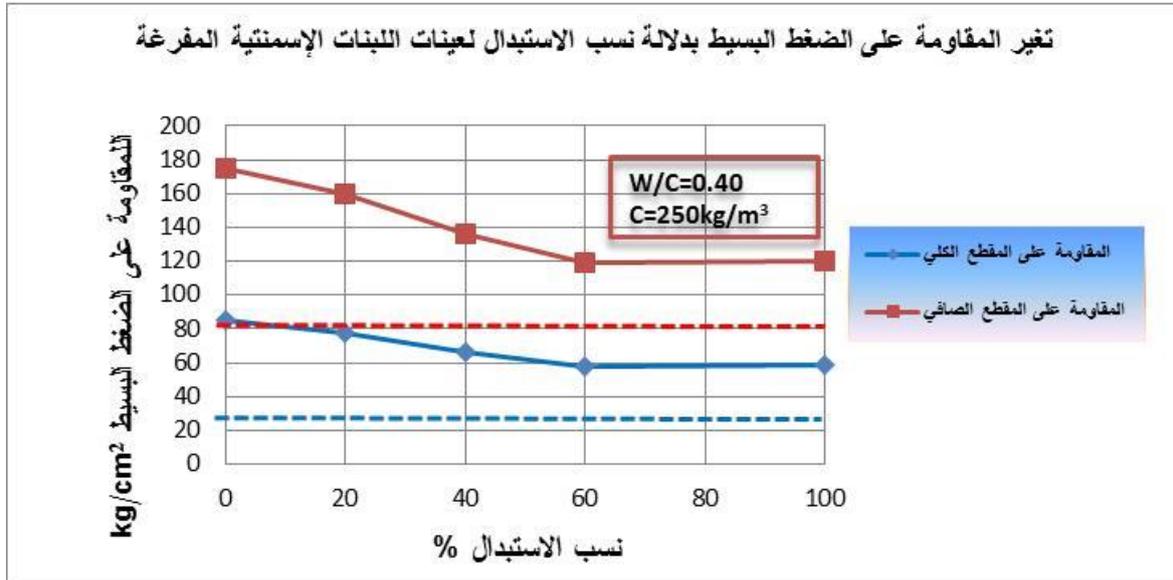
تشير القيم التي حصلنا عليها إلى ملائمة نسب الاستبدال بين 0 و 30% والمتوافقة مع العينات N100 و N70 للديمومة الجيدة إذ أن قيم معامل انخفاض المقاومة تقل بين نسب الاستبدال 0 و 30% مما يدل على ضعف التأثير بالكلوريدات في هذا المجال لتكبر قيم هذا المعامل خارج المجال وتقل بالتالي ديمومة الخلطات ذات نسب الاستبدال المرتفعة. و هو ما يعود على الأغلب إلى تأثير المواد الناعمة

المطحونة من الأنقاض، و إمكانية احتوائها على بعض الإسمنت غير المتفاعل و الذي قد يحسن الديمومة عند تفاعله من جديد.

4-2 تحليل نتائج عينات البلوك الإسمنتي المفرغ المصنع باستخدام الحصويات المعاد تدويرها:

نستعرض فيما يلي أهم النتائج التي تم التوصل إليها بعد إجراء الاختبارات المختلفة على عينات اللبات الإسمنتية المفرغة ذات المقاس $40*20*15\text{cm}$.
بلغ عدد العينات المصبوبة من كل خلطة خمس عينات تم عرض نتائجها بشكل تفصيلي في الفصل السابق بالفقرة 3-2-1.

4-2-1. تأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك الإسمنتي المفرغ:
قمنا بتمثيل العلاقة بين مقاومة العينات المصبوبة على الضغط البسيط للمقطعين الصافي والكلي ونسب الاستبدال وذلك على الشكل (4-6):



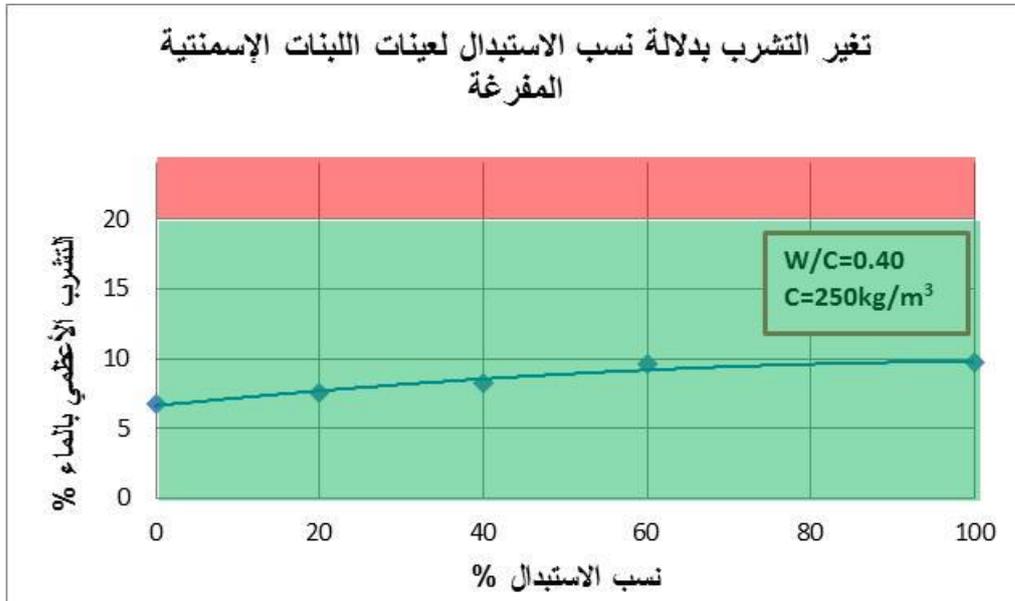
الشكل (4-6): العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط لعينات البلوك الإسمنتي ونسب الاستبدال

يبين الشكل (4-6) أن قيم المقاومة للعينات على الضغط البسيط لم تشهد هبوطاً عند الاستبدال. بل حافظت على سوية مرتفعة تجاوزت حدود المواصفة القياسية السورية وهي على المقطع الصافي 280 kg/cm^2 وعلى المقطع الكلي 225 kg/cm^2 وبالتالي يمكن القول من خلال هذه النتائج أن المواد الحصوية المعاد تدويرها لاءمت بشكل كبير صناعة البلوك مع إمكانية استخدام هذه المواد بنسب استبدال يمكن أن تصل إلى 100%.

تبين الخطوط المتقطعة باللونين الأزرق والأحمر الحدود الدنيا للمقاومة على الضغط البسيط للمقطعين الكلي و الصافي وفق حدود المواصفة السورية الخاصة بالبلوك الإسمنتي. تتجاوز منحنيات تطور المقاومة على الضغط البسيط للمقطعين الكلي و الصافي و الممثلين بالمنحنيين المستمرين باللونين الأحمر و الأزرق الحدود الدنيا بشكل مقبول، و هو ما يمثل هامش أمان مقبول يجعل من تصنيع البلوك الإسمنتي باستخدام الحصويات المعاد تدويرها تصنيعاً آمناً فيما يخص المقاومة على الضغط البسيط.

4-2-2. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a):

يبين الشكل (4-7) العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها:



الشكل (4-7): العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء لعينات البلوك الإسمنتي (a) ونسب الاستبدال

تتقاطع النتائج التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة مع نتائج تأثير الاستبدال على التشرب إذ تسجل العينات المكونة من الحصويات الطبيعية تشرباً بنسبة 6.75% بالمقارنة مع العينات المكونة من

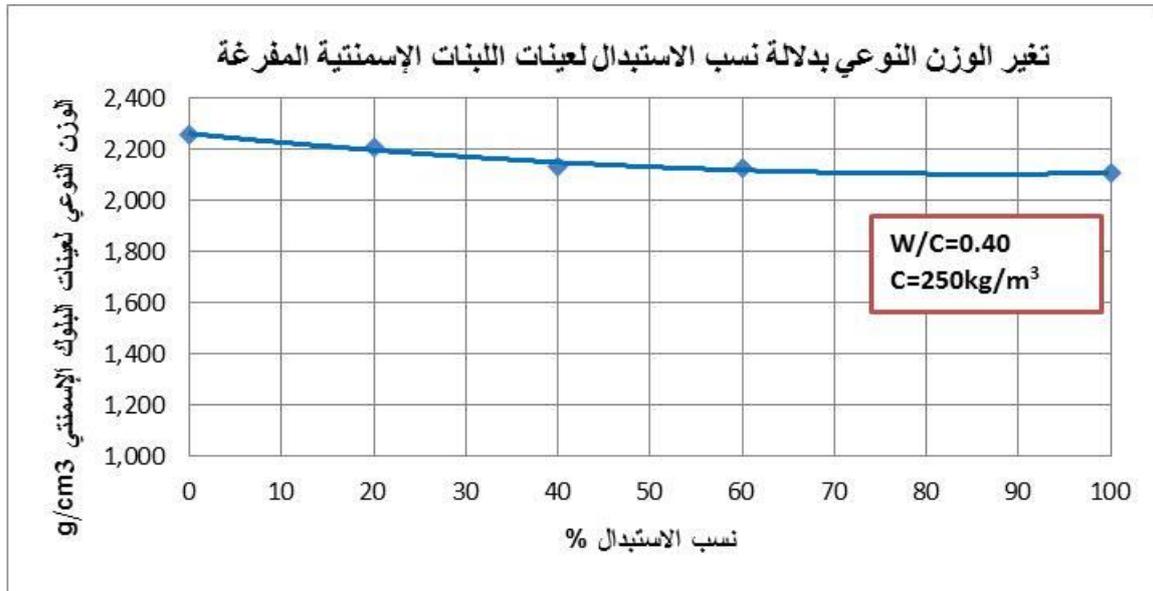
الخصويات المعاد تدويرها بنسبة تشرب 9.71% حيث كانت المقاومات تنخفض نسبياً كلما زادت نسبة الاستبدال بالخصويات المعاد تدويرها التي تؤثر عكساً على نسبة التشرب وذلك يعود إلى شره الخصويات المعاد تدويرها للماء.

تجدر الإشارة إلى أن نسب التشرب لجميع العينات التي تم فيها الاستبدال من النسبة 0% حتى النسبة 100% تبقى دون حدود المواصفة و بشكل كبير نسبياً. ($a < 20\%$).

تدل المنطقة الخضراء على المخطط السابق على هامش الأمان فيما يخص التشرب الأعظمي بالماء لعينات البلوك الإسمنتي المفرغ. و هو هامش كبير يجعل من تصنيع البلوك الإسمنتي باستخدام الخصويات المعاد تدويرها تصنيحاً آمناً فيما يخص التشرب الأعظمي بالماء.

4-2-3 تأثير الاستبدال على الوزن النوعي:

يبين الشكل (4-8) العلاقة بين الوزن النوعي ونسب استبدال الخصويات الطبيعية بالخصويات المعاد تدويرها.



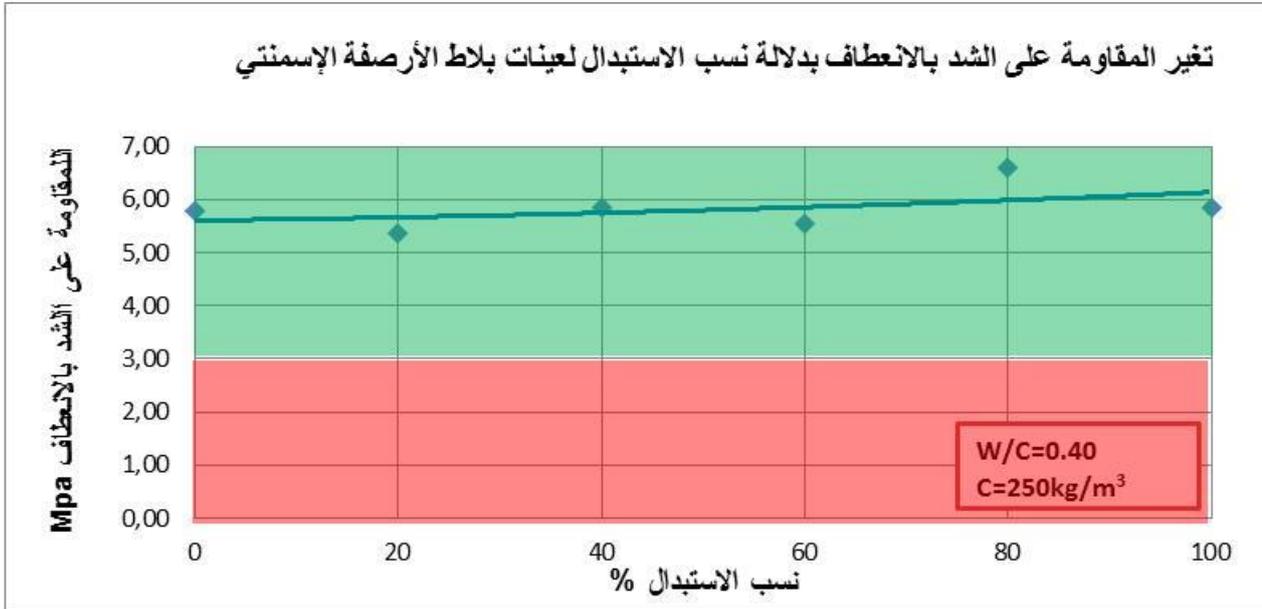
الشكل (4-8): العلاقة بين الوزن النوعي لعينات البلوك الإسمنتي ونسب الاستبدال

يبين الشكل (4-8) تأثير الوزن النوعي عند استبدال الخصويات الطبيعية بالخصويات المعاد تدويرها ويلاحظ انخفاض الوزن النوعي كلما زدت نسبة الاستبدال.

يعود ذلك بشكل بسيط لانخفاض قيمة الوزن الحجمي للخصويات المعاد تدويرها مقارنة بالوزن الحجمي للخصويات الطبيعية وفق ما بينت نتائج توصيف الخصويات الطبيعية و المعاد تدويرها في الفصل الثاني من هذه الأطروحة (الفقرة 2-3-1-2).

4-3 تحليل نتائج عينات بلاط الأرضية الإسمنتي المصنع باستخدام الحصويات المعاد تدويرها:

4-3-1. تأثير الاستبدال على المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي: قمنا بتمثيل العلاقة بين مقاومة العينات المصبوبة على الشد بالانعطاف ونسب الاستبدال وذلك على الشكل (4-9):



الشكل (4-9): العلاقة بين المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي ونسب الاستبدال

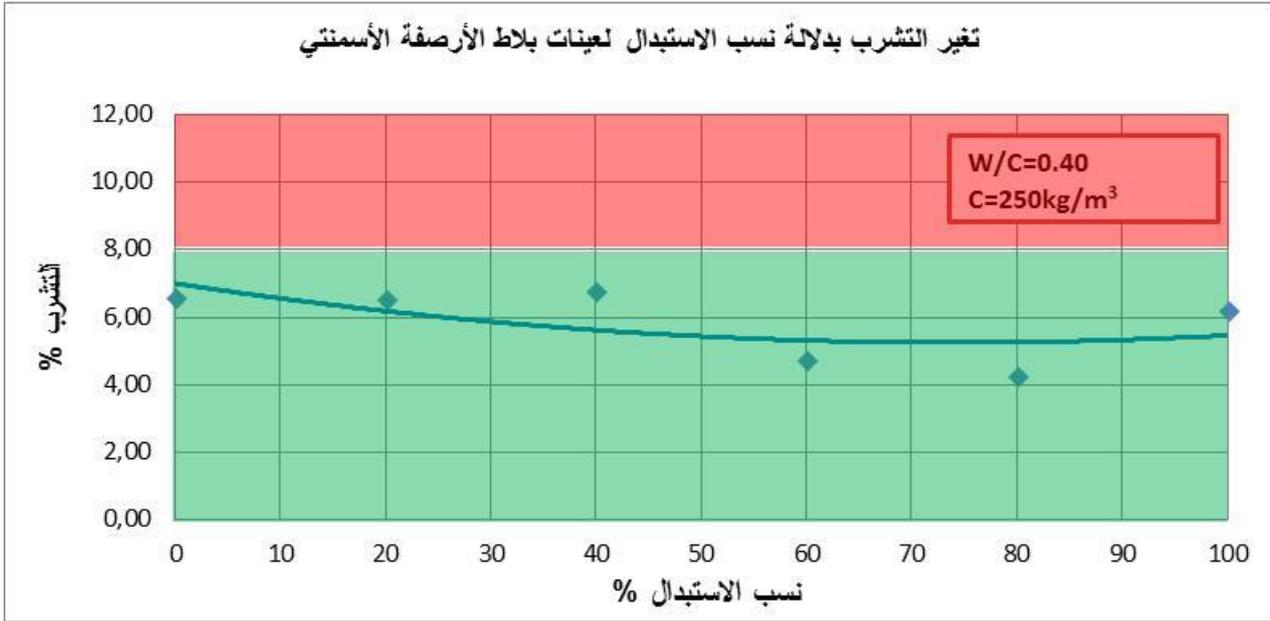
يبدو من النتائج أعلاه أن قيم المقاومة على الشد بالانعطاف لم تشهد هبوطاً عند الاستبدال بل حافظت على سوية مرتفعة لإجهاد الشد بالانعطاف بجوار القيمة 6MPa مع ملاحظة ازدياد هذه القيمة أحياناً عند بعض النسب كتلك المسجلة عند نسبة استبدال 80% والتي تبلغ 6.5MPa. كما يظهر على الشكل الحدود الدنيا للمقاومة المقبولة على الشد بالانعطاف وفق المواصفة القياسية السورية و التي تعادل القيمة 3MPa. تبدو مقاومة عينات بلاط الأرضية الإسمنتي المصنعة باستخدام نسب استبدال مختلفة من الحصويات المعاد تدويرها أعلى بشكل واضح من حدود المواصفة السورية الخاصة ببلاط الأرضية الإسمنتي.

يمكن القول من خلال هذه النتائج أن المواد الحصوية المعاد تدويرها قد لاءمت بشكل كبير صناعة بلاط الأرضية الإسمنتي ويبدو من النتائج أن هناك هامش أمان كاف يتيح استخدام هذه المواد المعاد تدويرها بشكل كبير في خلطات البلاط الإسمنتي لنسب استبدال يمكن أن تصل إلى 100%.

يمكن تفسير هذه الظاهرة بالمحتوى الجيد للحصويات المعاد تدويرها من المواد الناعمة وفق ما يظهر على منحنى التدرج الحبي لهذه المواد. و هو ما سينعكس بشكل إيجابي على اكتناز أكبر لخلطة البلاط الاسمنتي، و قيم متدنية للتشرب الأعظمي بالماء، و قيم مرتفعة للمقاومة على الشد بالانعطاف.

4-3-2. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء (a) لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:

يبين الشكل (4-10) العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها:



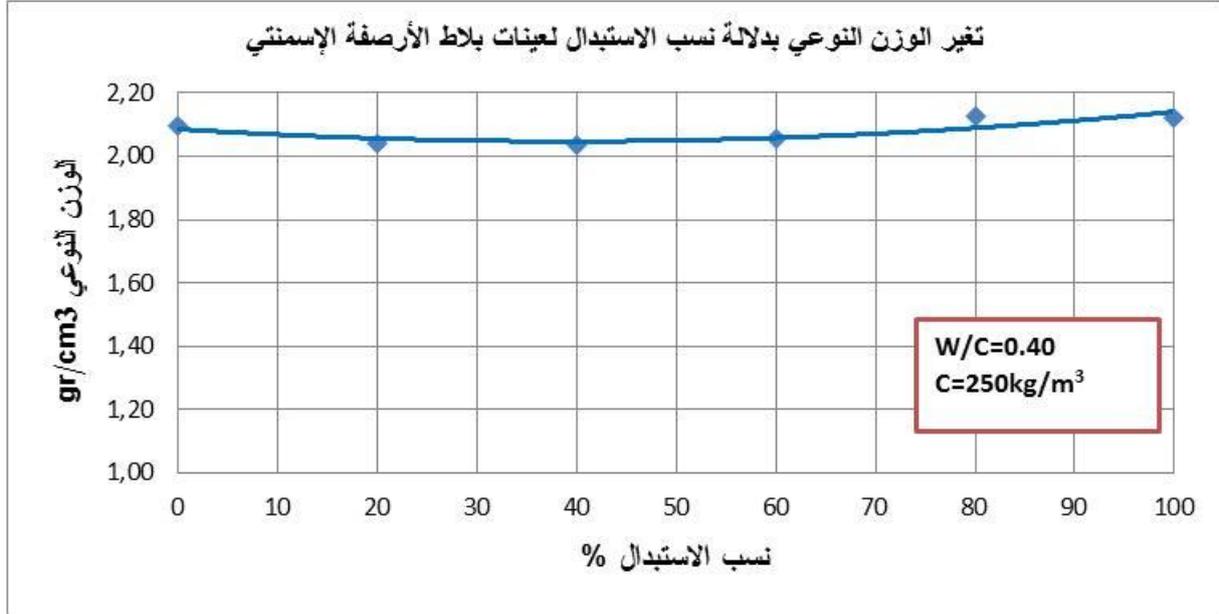
الشكل (4-10): العلاقة بين التشرب (a) ونسب الاستبدال

تتقاطع النتائج التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة مع نتائج تأثير الاستبدال على التشرب بالتوافق ما بين القيم العالية للمقاومات على الشد بالانعطاف وما يقابلها من القيم المتدنية للتشرب. إذ يظهر عند نسبة الاستبدال 20% قيمة للتشرب الأعظمي بالماء بحدود الـ 8.54%. بينما تنقص هذه القيمة عند نسبة الاستبدال 80% لتصبح بحدود الـ 7.85%.

يعود ذلك على الأرجح لمساهمة المواد الناعمة المحتواة بشكل كبير في الحصويات المعاد تدويرها باكتناز أكبر لخلطة البلاط الاسمنتية لينعكس إيجاباً على قيم متدنية للتشرب الأعظمي للماء ومرتفعة للشد بالانعطاف.

4-3-3. تأثير الاستبدال على الوزن النوعي لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:

يبين الشكل (4-11) العلاقة بين الوزن النوعي ونسب استبدال الحصى الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها لعينات بلاط الأرضية الإسمنتي:



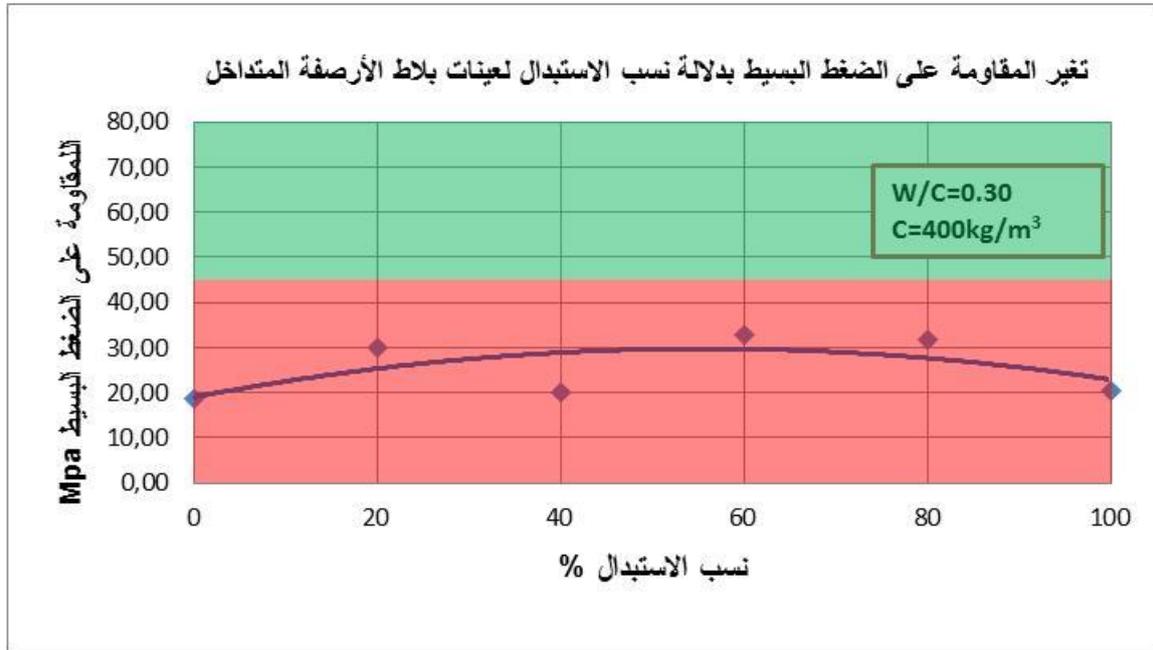
الشكل (4-11): العلاقة بين الوزن النوعي ونسب الاستبدال

يبيد المنحني أعلاه سلوكاً مشابهاً لسلوك منحنى تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة نسب الاستبدال. إذ تزداد قيم الوزن النوعي بشكل مشابه لزيادة قيم المقاومة على الشد بالانعطاف مع ازدياد نسب الاستبدال. و يفسر ذلك كما سبق بزيادة الاكتناز بفعل محتوى الحصى المعاد تدويرها من المواد الناعمة مما سينعكس إيجابياً على المقاومة و الوزن النوعي.

4-4 تحليل نتائج عينات بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك) المصنع باستخدام الحصويات المعاد تدويرها:

4-4-1. تأثير الاستبدال على المقاومة على الضغط البسيط لعينات الأنترلوك:

قمنا بتمثيل العلاقة بين مقاومة العينات المصبوبة على الضغط البسيط ونسب الاستبدال وذلك على الشكل (4-12):



الشكل (4-12) العلاقة بين المقاومة على الضغط البسيط و نسب الاستبدال

تبين من النتائج التي حصلنا عليها أن جميع قيم المقاومات للعينات المصبوبة بنسب الاستبدال المختلفة هي دون القيمة التي تشترطها المواصفة القياسية السورية وقيمتها 45MPa بما فيها العينات المرجعية التي حصلنا عليها من معمل الإنشاءات العسكرية أي دون استبدال وكانت مقاومتها 18.6MPa . وعند الاستبدال بجميع النسب كانت المقاومات التي حصلنا عليها أعلى من قيمة المقاومات للعينات دون استبدال .

يمكن تفسير ذلك بحصول خلل يتعلق إما بطريقة التحضير و الخلط و الرص، أو بنوعية الإسمنت و الإحصارات الأخرى الداخلة في تركيب بلاط الأرضية المتداخل بالنسبة للينة المرجعية (دون استبدال). أما النتيجة الهامة التي حصلنا عليها فتتلخص بازدياد المقاومة على الضغط البسيط مع ازدياد نسب الاستبدال و ذلك حتى النسبة 60%. يعود ذلك إلى تأثير المواد الناعمة من الحصويات المعاد تدويرها

إيجاباً على الاكتناز و المقاومة. و هو ما لاحظناه عند دراسة تأثير نسب الاستبدال على المقاومة على الشد بالانعطاف لعينات بلاط الأرضية الإسمنتية.

4-4-2. تأثير الاستبدال على التشرب الأعظمي بالماء لعينات الأنترلوك:

يبين الشكل (4-13) العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) ونسب استبدال الحصى الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها:



الشكل (4-13) العلاقة بين التشرب الأعظمي بالماء (a) و نسب الاستبدال

يبين الشكل (4-13) أن قيم التشرب الأعظمي بالماء تتراوح بين 7.93 و 8.98%. أما أدنى قيمة للتشرب الأعظمي بالماء فقد كانت بحدود 8% عند نسبة استبدال بحدود الـ 60%. تجدر الإشارة إلى أن هذه النسبة هي التي توافقت مع القيمة العظمى للمقاومة على الضغط البسيط. نسجل هنا نفس الملاحظة التي تم تسجيلها في تأثير الاستبدال على الضغط البسيط. إذ أن ذات العوامل التي أثرت سلباً على عدم تحقيق قيم المقاومة، أثرت بنفس الاتجاه على قيم التشرب الأعظمي بالماء و بقيت جميع القيم أكبر من حدود المواصفة و هي 7%.

4-4-3. تأثير الاستبدال على الوزن النوعي لعينات الأنترلوك:

يبين الشكل (4-14) العلاقة بين الوزن النوعي ونسب استبدال الحصى الطبيعية بالحصى المعاد تدويرها:



الشكل (4-14) العلاقة بين الوزن النوعي و نسب الاستبدال

يبدو من الشكل التأثير الطفيف للاستبدال على قيم الوزن النوعي إذ تتبدل هذه القيم بين 2.03g/cm^3 و 2.09g/cm^3 . مع تسجيل نفس الملاحظة التي تم تسجيلها في تأثير الاستبدال على الضغط البسيط. إذ أن ذات العوامل التي أثرت سلباً على عدم تحقيق قيم المقاومة، أثرت بنفس الاتجاه على قيم الوزن النوعي و بقيت جميع القيم أقل من حدود المواصفة و هي 2.2g/cm^3 .

ملاحظة:

مما سبق نستنتج أن الاستبدال قد جعل تراكيب الأنترلوك أفضل من حيث الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية، و لكننا لم نرقَ إلى اشتراطات المواصفة السورية الخاصة به. و للحصول على قيم تحقق اشتراطات المواصفة السورية للأنترلوك، لا بد من تحسين شروط التصنيع و رفع عيار الإسمنت للحصول على مواصفات محققة للأنترلوك، و أداء أفضل للاستبدال.

الاستنتاجات و التوصيات



1- تأثير استخدام حصويات الأنقاض المعاد تدويرها على البيتون:

- بعد استعراض النتائج و قراءتها بشكل دقيق يمكن تسجيل الاستنتاجات التالية الخاصة باستخدام الأنقاض المعاد تدويرها على خصائص البيتون الفيزيائية و الريولوجية و الميكانيكية و خصائص الديمومة.
- تعطي الحصويات المعاد تدويرها قيماً مقبولة للمقاومة على الضغط البسيط عند استخدامها بنسب مختلفة في البيتون، وهو ما يفسح المجال واسعاً للتفكير باستخدامها في بيتون المنشآت المدنية.
 - تبدو النسب المقبولة للاستبدال محصورة بين 0 و 50% [15] إذا ما راعينا ازدياد معامل انخفاض المقاومة بعد نسبة الاستبدال 30%.
 - تم الحصول على بيتون بمقاومات مرتفعة تجاوزت 300kg/cm^2 ، وعند نسب الاستبدال المرتفعة علماً بأن عيار الاسمنت المستخدم في خلطاتنا لم يتجاوز 350kg/m^3 و التي يُنتظر أن تحقق التصنيف C20 بحسب الكود العربي السوري.
 - على الرغم من عدم ملاءمة الحصويات المعاد تدويرها من حيث قساوتها للاستخدام في البيتون وفق معايير المواصفات العالمية والتي تتطلب قيماً لمعامل الاهتراء لا تزيد عن 30% فقد أعطت عند استخدامها مع الحصويات الطبيعية مقاومات جيدة يصلح معها البيتون للاستخدام في العناصر الإنشائية.
 - تظهر أغلب المنحنيات التي استعرضناها في هذا البحث لتغير مواصفات البيتون بدلالة نسب الاستبدال إنسيابية يبدو معها تأثير استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها غير حاد ولا يغير مواصفات البيتون المختلفة بشكل جذري.
 - فيما يتعلق بتأثر ديمومة البيتون الذي يدخل في تركيبه حصويات معاد تدويرها، تبدو نسب الاستبدال بين 0 و 30% الأكثر ملاءمة لتأمين ديمومة جيدة للبيتون. يدل على ذلك قيم معامل انخفاض المقاومة التي تقل بين نسب الاستبدال 0 و 30% لتعود و ترتفع بعد هذه النسبة كمؤشر على بدء تأثر الديمومة سلباً. تتم ترجمة ذلك فعلياً بضعف التأثير بالكلوريدات في هذا المجال لتكبر قيم هذا المعامل خارج المجال وتقل بالتالي ديمومة الخلطات ذات نسب الاستبدال المرتفعة.

2- تأثير استخدام حصويات الأنقاض المعاد تدويرها على المنتجات الإسمنتية:

- بعد استعراض النتائج الخاصة بالمنتجات الإسمنتية (اللبنات الإسمنتية المفرغة، بلاط الأرضية الإسمنتي العادي، بلاط الأرضية المتداخل - الأنترلوك) و ذلك فيما يخص تأثير هذه الخصائص بنسب الاستبدال بالحصويات الناعمة المعاد تدويرها، يمكن تسجيل الاستنتاجات التالية:

- تتجاوز قيم المقاومة على الضغط البسيط للمقطعين الكلي و الصافي الحدود الدنيا للمواصفة السورية الخاصة بالبلوك الإسمنتي، سيتيح ذلك تصنيع البلوك الإسمنتي باستخدام الحصويات المعاد تدويرها بشكل كلي تصنيعاً آمناً فيما يخص المقاومة على الضغط البسيط.
- تدل النتائج الخاصة باستخدام الحصويات الناعمة المعاد تدويرها في صناعة بلاط الأرضية الإسمنتي على ملاءمة هذه الحصويات بشكل جيد لصناعة بلاط الأرضية الإسمنتي، ويبدو من النتائج أن هناك هامش أمان كاف يتيح استخدام هذه المواد المعاد تدويرها بشكل كبير في خلطات البلاط الإسمنتي لنسب استبدال يمكن أن تصل إلى 100%. تم تقديم تفسير علمي لهذه الظاهرة في متن البحث يتعلق بالمحتوى الجيد للحصويات المعاد تدويرها من المواد الناعمة وفق ما يظهر على منحنى التدرج الحبي لهذه المواد، و هو ما سينعكس إيجاباً على اكتناز خلطة البلاط الإسمنتي، و قيم التشرب الأعظمي بالماء، و المقاومة على الشد بالانعطاف.
- فيما يتعلق باستخدام الحصويات الناعمة المعاد تدويرها في تصنيع بلاط الأرضية المتداخل (الأنترلوك)، فقد بينت النتائج أن المقاومة على الضغط البسيط تزداد بشكل ملحوظ مع ازدياد نسب الاستبدال و ذلك حتى النسبة 60%. يعود ذلك إلى تأثير المواد الناعمة من الحصويات المعاد تدويرها إيجاباً على الاكتناز و المقاومة.
- تشير أغلب النتائج الخاصة باستخدام الحصويات الناعمة المعاد تدويرها في تصنيع المنتجات الإسمنتية التي تمت دراستها في هذا البحث على صلاحية هذه المواد بشكل كبير لتصنيع المنتجات الإسمنتية، خلافاً لاستخدامها في تصنيع البيتون الذي يُنصح أن لا تزيد نسبة الاستبدال فيه عن حد معين ينقص كلما زادت المتطلبات الميكانيكية للبيتون المستهدف.

3- مقترحات خاصة:

بعد إنجاز البحث، و تقديم أهم الاستنتاجات، نبين فيما يلي بعض المقترحات التي يوصي بها البحث في مجال استخدام أنقاض الهدم المدورة في صناعة البيتون و المنتجات الإسمنتية:

- بعد النتائج الهامة التي خلص إليها البحث من حيث صلاحية الأنقاض كلياً أو جزئياً لصناعة البيتون و المنتجات الإسمنتية، لا بد من إيلاء مكبات الأنقاض أهمية خاصة و العمل على دراستها و فصل موادها عن طريق محطات خاصة بإعادة التدوير تمهيداً لاستخدامها في المجابيل البيتونية و معامل صناعة المنتجات الإسمنتية.
- ستتيح كمية الأنقاض الكبيرة المتوفرة حالياً الاستغناء عن استهلاك موارد الحصىيات الطبيعية بشكل ملحوظ، لذلك لابد من إجراء دراسات خاصة بديمومة المنتجات المصنعة من هذه الأنقاض باعتبار أن الهاجس الأكبر لدى أصحاب العمل هو ديمومة هذه المنتجات و مقاومتها للعوامل المخربة، و العمر الافتراضي الذي يمكن أن تبقى معه صالحة للاستثمار.

المراجع الأجنبية

- 1- **BARON, J. , OLIVIER, J. P.** "Les bétons, bases et données pour leur formulation", Eyrolles, Paris, 1999, 522.
- 2- **Batayneh, M., Marie, I., Asi, I.,** 2007. "Use of selected waste materials in concrete mixes". Waste Management 27, 1870e1876.
- 3- **Blengini, G.A., Garbarino, E.,** 2010. "Resources and waste management in Turin, (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix". Journal of, Cleaner Production 18, 1021e1030
- 4- **De Juan, M.S., Gutiérrez, P.A.,** 2009." Study on the influence of attached mortar, content on the properties of recycled concrete aggregate". Construction and, Building Materials 23, 872e877.
- 5- **Kasai Y.** "Guidelines and the present state of the reuse of demolished concrete in Japan". Demolition and reuse of concrete and masonry. In: RILEM proceedings 23, Odense, 1993, p. 93–104.
- 6- **Koski, J.A.,** 1992. "How Concrete Block are Made. Masonry Construction", pp: 374-377.
- 7- **Kou, S.C., Poon, C.S., Etxeberria, M.,** 2011." Influence of recycled aggregates on long, term mechanical properties and pore size distribution of concrete". Cement and, Concrete Composites 33, 286e291.
- 8- **Merlet JD, Pimienta P.** "Mechanical and physico-chemical properties of concrete produced with coarse and fine recycled concrete aggregates". Demolition and reuse of concrete and masonry. In: RILEM, proceedings 23, Odense, 1993. p. 343–53.
- 9- **Montgomery, D., Sturgiss, D.,** 1996. "Properties of Concrete Incorporating Recycled, Concrete Aggregates". National Symposium on the Use of Recycled Materials in, Engineering Construction, 30e31 May, Sydney, Australia, pp. 153e156.
- 10- **NELSON, S.** "High-Strength structural concrete with recycled aggregates", ' University of Southern Queensland' 2004' 112.
- 11- **Rao .A ,Jba , K .N .and Misra S .**"Use of aggregate from recycled construction and demolition waste in concrete" , Journal of Resources , Conservation and Recycling . 50(2007), 71-81.
- 12- **Richardson, A., Coventry, K., Bacon, J.,** 2011. "Freeze/thaw durability of concrete with, recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete". Journal, of Cleaner Production 19, 272e277.
- 13- **SHIMA, H.TATEYASHIKI,H.,MATSUHASHI,R.,YOSHIDA .** "An Advanced Concrete Recycling Technology And Its Applicability Assessment Through input-output Analysis", Japan concrete Institute, 2005.
- 14- **Thai Industrial Standards Institute, (TISI),** 1974. "Sampling and Testing Concrete Masonry Units": TIS109-2517 (1974), Thai Industrial Standards, Institute (TISI), Bangkok, Thailand, pp: 16.
- 15- **Topcu , I.B and sengel .,**"Properties of concrete produced with waste concrete aggregate" , Journal of cement and concrete Research ,34 (2004) , 1307-1312.

- 16- **ASTM D-854-92**, American Society Testing Materials (Standard Method of Test for Specific Gravity of Soils)
- 17- **ASTM C-131-2006**, American Society Testing Materials (Resistance to Abrasion for Small Size aggregates by use of the Los Angeles Machine)
- 18- **ASTM D-2419-74**, American Society Testing Materials (Sand Equivalent Value of soils and Fine Aggregate)

المراجع العربية

- 19- (م.ق.س 2007/332) هيئة المواصفات القياسية السورية، سوريا، دمشق قياس التدرج الحبي للحصويات
- 20- (م.ق.س 1983/333) هيئة المواصفات القياسية السورية، سوريا، دمشق اللبنة (البلوك - الطوب - الطابوق) الاسمنتية الجوفاء.
- 21- (م.ق.س 2004/2879) هيئة المواصفات القياسية السورية، سوريا، دمشق اللبنة بلاط الأرضية الأسمنتية المتداخل.

ملحق خاص بتفاصيل بعض التجارب المستخدمة في توصيف المواد في هذا البحث

||



الملحق 1:

اختبارات توصيف المواد للحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها: 1- قياس التدرج الحبي للحصويات الخشنة والناعمة:

التحليل الحبي : هو فصل المقاسات المختلفة من العينة بعضها عن بعض لتعيين مدى التوزيع الحجمي للحبيبات الحصوية ويتم ذلك بإجراء اختبار التحليل الحبي باستعمال مجموعة من المناخل النظامية (القياسية) .

الغاية من التجربة :

يهدف هذا الاختبار إلى رسم منحنى التدرج الحبي لكل من البحص والرمل الناعم والعدسي بهدف تصميم الخلطة الحصوية المثالية الأكثر اكتنازاً، حيث ثبت أن لتدرج الحصويات وأشكال وأبعاد ذراتها تأثيراً هاماً على مواصفات البيتون ، قد يفوق أحياناً تأثير نوعية الحصويات لأن الحصويات المتدرجة يمكن لها أن تحقق اكتنازاً جيداً للبيتون وبالتالي تمنع وجود الفراغات التي قد تملأ بموادٍ تؤثر سلباً على خواص البيتون وخاصةً (الديمومة).

التجهيزات و المواد المطلوبة :

- رمل جاف +حصويات جافة
- سلسلة المناخل.
- ميزان يحقق الدقة المطلوبة.

مراحل العمل : يتم وزن عينة من المواد الحصوية الجافة تتوافق مع القطر الأعظمي للحصويات المستخدمة وتحقق العلاقة:

$$200D_{max} < M < 600D_{max}$$

حيث M كتلة العينة بالغرام و D_{max} القطر الأعظمي للحصويات المختبرة وبالميليمتر يتم تحضير سلسلة من المناخل بفتحاتٍ متدرجةٍ من الأكبر في الأعلى حتى الأصغر في الأسفل ، و تنتهي بالقعر وفق التدرج المطلوب.

- بعد ترتيب سلسلة المناخل تتم عملية النخل بالهز لمدة 5 دقائق، ثم عملية وزن المتبقي على كل منخلٍ ليصار بعدها إلى تنظيم جدولٍ لكل نوع من الحصويات.

- نجمع الأوزان المتبقية على كل المناخل و نقارنها مع الوزن الكلي فنلاحظ فرقاً في الوزنين ناتجاً عن عدم دقة قراءة الأوزان الجزئية.

$$\Delta = W - \sum W_i / \quad \text{- حساب الخطأ الكلي } (\Delta) :$$

$$\xi = \frac{\Delta}{\sum W_i} \quad \text{- حساب الخطأ النسبي :}$$

- حساب مقدار التصحيح على كل منخلٍ والذي قد يكون سالباً أو موجباً.

- حساب النسبة المئوية المتبقية = $100 * (\text{الوزن المتبقي المصحح}) / (\text{الوزن الكلي})$

- النسبة المئوية التكمالية = المجموع التراكمي للنسب المئوية المتبقية على كل منخل وما يعلوه.

- النسبة المئوية المارة = $100 -$ النسبة المئوية التكمالية.

بإتباع الخطوات السابقة تم إجراء التجربة على الحصويات الطبيعية والحصويات المعاد تدويرها (بيتون + مزيج) كلاً على حدا.

2- قياس الكتلة الحجمية الظاهرية والصلبة للحصويات الناعمة والخشنة :

الغاية من التجربة:

يهدف هذا الاختبار إلى قياس الكتل الحجمية الظاهرية والصلبة لكل من أنواع الحصويات المستخدمة ، وبالتالي تغيرات اكتناز الخلطة الحصوية بدلالة نسب مزج الرمل إلى البحص.

التجهيزات و المواد المطلوبة:

1. وعاء زجاجي مدرج بحجم معلوم.
2. أوعية معلومة الحجم (مكاييل) 1 لتر أو 2 لتر.
3. أوعية معدنية للحصويات (بحص + رمل) وأوعية خلط.
4. ميزان الكتروني بدقة $\pm 1g$.
5. مسطرة معدنية للتسوية.
6. حصويات جافة (بحص+رمل+حصويات معاد تدويرها).

2-1 قياس الكتلة الحجمية الظاهرية:

يتم ذلك وفق المراحل التالية :

- أ- ملء وعاءٍ ذي حجمٍ معروفٍ V (مكيال) بالمادة الجافة إلى أعلاه ،مع مراعاة تسوية السطح باستخدام المسطرة المعدنية ودون رص العينة.
- ب- وزن العينة مع الوعاء واستنتاج وزن العينة دون الوعاء .

ت- حساب الكتلة الحجمية الظاهرية $\rho_a = \frac{M}{V}$ لكل من البحص و الرمل.

تعاد العملية ثلاث مراتٍ وتؤخذ القيمة الوسطى مع مراعاة عدم تجاوز الفرق بين قيمتين مقاستين ال 5% .

2-2 قياس الكتلة الحجمية الصلبة

يتم ذلك عن طريق حساب الحجم الحقيقي للحبيبات Vs باستخدام الماء وفق المراحل التالية:

1. ملء الوعاء الزجاجي المدرج بالماء حتى حجمٍ معلومٍ (تدرجاً محددة) من ثم وزنه لنحصل على $M1$.

2. أخذ وزن محدد من الحصىيات الجافة (من 100 إلى 500g) وليكن $M2$.

3. تفرغ جزء من الماء من الوعاء الزجاجي (حوالي الثلث تقريباً) ثم وضع الحصىيات التي تم وزنها

مع الإتمام بالماء حتى التدرج السابقة وليكن الوزن الكلي في هذه المرحلة $M3$

4. حساب الكتلة الحجمية الصلبة من العلاقة :

$$\rho_s = \frac{M2}{M1 + M2 - M3}$$

5. تعاد العملية ثلاث مراتٍ وتؤخذ القيمة الوسطى مع مراعاة عدم تجاوز الفرق بين قيمتين مقاستين ال 5% .

3- قياس مقاومة الاهتراء بجهاز (لوس أنجلوس) للحصىيات للخشنة:

الغاية من التجربة:

معرفة مدى مقاومة عينات البحص للتآكل بالانسحاق، أي حساب عامل التآكل أو الاهتراء للبحص. و كلما كانت هذه العناصر ذات مقاومة عالية كلما كانت المنشأة أقوى وعمرها أطول ، و كلما كانت غير مقاومة وهشة أدى ذلك إلى تقنت في طبقات المنشآت وهذا يسبب اضطراب في المنشأة ككل. أما في صنع البيتون عالي المقاومة فهي تستعمل لاختبار مقاومة الحصىيات التي تلعب دوراً أساسياً في رفع المقاومة على الضغط.

لذلك فقد أوجدت هذه التجربة من أجل معرفة معامل التآكل للحجارة والبحص بحيث تمكن من معرفة مقاومة هذه المواد ولو بشكل تقريبي.

إن التجربة تختلف بحسب اختلاف التركيب الحبي للحجارة المجربة ، و يوجد سبعة تراكيب حبية حسب النظام الأمريكي ASTM وهي:

A - B - C - D - E - F - G

و تختلف كل تجربة عن الأخرى بأربعة عناصر:

1. كتلة الحصويات.

2. أقطار الحصويات.

3. عدد الكرات الفولاذية المستعملة.

4. عدد دورات الحلة (الطبل) المعدني.

و تجري عمليات التحليل وفق المواصفات الأمريكية ASTM حسب الجدول التالي:

بالنسبة للتراكيب A , B , C , D يدور الجهاز 500 دورة .

بالنسبة للتراكيب E , F , G يدور الجهاز 1000 دورة.

يبين الجدول (1) المرفق بتجربة لوس أنجلوس لتحديد النموذج المناسب حسب التدرج الحبي الخاص بالعينة:

الجدول (1) جدول لوس أنجلوس

كتلة وتدرج عينة الاختبار بالغرامات							أقطار المناخل	
G	F	E	D	C	B	A	محجوز	مار من
		2500					2 ½	3
		2500					2	2 ½
	5000	5000					1 ½	2
5000	5000					1250	1	1 ½
5000						1250	¾	1
					2500	1250	½	¾
					2500	1250	3/8	½
				2500			رقم 3	3/8
				2500			رقم 4	رقم 3
			5000				رقم 8	رقم 4
10000	10000	10000	5000	5000	5000	5000	المجموع (gr)	
12	12	12	6	8	11	12	عدد الكرات	

يتلخص مبدأ التجربة في وضع كمية من المواد الحصوية ذات تركيب حبي معين في حلة (طبل) معدنية أسطوانية دوارة مع عدد من الكرات الفولاذية ، وذلك من أجل تسريع اهتراء المواد الحصوية ومن ثم تخرج المواد بعد انتهاء الدوران وتتخل بالمنخل رقم 12 ذو الفتحة 1.7 ملم .

بفرض أن:

M_1 : كتلة العينة قبل إدخالها إلى الحلة (قبل الانسحاق).

M_2 : كتلة العينة بعد اهترائها ونخلها بالمنخل رقم 12.

إن عامل لوس أنجلوس أو عامل الاهتراء يعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{عامل لوس أنجلوس} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} = \text{الكتلة المتآكلة} / \text{الكتلة الكلية}$$

كلما كان عامل لوس أنجلوس صغيرا كلما كانت مقاومة الحجارة أكبر، وذلك لأنه يمثل عامل تآكل أو اهتراء.

وصف الجهاز:

يتألف الجهاز الموضح في الشكل (1) من حلة معدنية ذات محور أفقي قطرها حوالي 80 سم وعرضها 50 سم و سرعة دورانها (30 - 35) دورة في الدقيقة ويتوقف الجهاز بشكل أوتوماتيكي بعد تعيينه على عدد الدورات المطلوبة كما يلحق بالجهاز كرات فولاذية موضحة بالشكل (2) عددها 12 كرة وكتلة الواحدة 420 غرام و قطرها 46 ملم .

ملاحظة: تنص المواصفات السورية على ما يلي :

الخصويات المستعملة في البيتون يكون معامل لوس أنجلوس لها لايزيد عن 30% عندما تكون المقاومة على الضغط أكبر من 200 kg/cm^2 .

يكون معامل لوس أنجلوس لايزيد عن 40% عندما تكون المقاومة على الضغط أصغر من 200 kg/cm^2 .

توضح الصور الآتية جهاز لوس أنجلوس:



الشكل (1) جهاز لوس انجلس

يبين الشكل أدناه العينة بعد خروجها من جهاز لوس أنجلوس مع الكرات الفولاذية والتي يحدد عددها
اللازم لإجراء التجربة حسب التدرج الحبي الخاص بالعينة:



الشكل (2) الكرات الفولاذية في جهاز لوس انجلس

4- تعيين النواعم في التربة باستخدام المكافئ الرملي:

الغاية من التجربة :

تحديد كمية ونوعية الشوائب والمواد الناعمة جداً الموجودة في الرمل كنسبة حجمية وليست وزنية كما في حالة التحليل الحبي، لتحديد مدى صلاحيتها للاستخدام في الأعمال الهندسية كالبيتون وأعمال الطرق.

مبدأ التجربة:

يعتمد على أخذ كمية من المواد المارة من المنخل N4 أي العناصر الأصغر من 5مم وغسلها بسائل خاص مما يؤدي لفصل الحبات الغضارية والناعمة جداً عن الحبات النظيفة.

نسبة حجم الرمل النظيف إلى الحجم الكلي يعرف باسم المكافئ الرملي.

طريقة إجراء التجربة:

1. تجفف العينة في فرن درجة حرارته 105 ثم تقطت القطع الناعمة والمتماسكة باليد و تنخل

على المنخل N4 وتأخذ حوالي 500gr.

2. يصب محلول الغسيل في أنبوب أسطواني شفاف من البلاستيك ذي قطر داخلي 32mm

وارتفاع 430mm, يحتوي على خطين مرجعيين الأول على ارتفاع 10mm والثاني على

ارتفاع 380mm من قاع الأنبوب كما توجد سداة من الكاوتشوك.

3. عملية الصب تتم حتى خط العلام الأول وذلك بواسطة أنبوب غاسل من الكاوتشوك بقطر

5mm وطول 15mm.

4. نضع حوالي 120gr من العينة بواسطة قمع داخل أنبوب الاختبار.

5. ندق قاع الأنبوب براحة اليد بقوة لطرده الفقاعات الهوائية وترطيب العينة ثم تركها لمدة 10

.min

6. نسد فوهة الأنبوب ونضعه على جهاز الرج ليرج 90 حركة لمدة 30sec.

7. نخرج الأنبوب من جهاز الرج ونضعه بالوضع الشاقولي على الطاولة ونزع السداة، ثم

نغسل الحواف الداخلية للأنبوب وذلك بحركة دورانية خلال جريان محلول الغسيل حتى يصل

منسوب السائل إلى خط العلام العلوي.

8. ننرك العينة في الأنبوب لمدة 20min لتهدأ وترسب المواد الناعمة فوق المواد الخشنة

ويصبح السائل نقياً.

9. نقيس ارتفاع المواد الناعمة عن قعر الأنبوب وليكن h1 ويمثل الارتفاع الكلي للمواد.

10. ندخل مكبساً مؤلفاً من قضيب طوله 430mm وقطره 6mm، ينتهي بقرص قطرته

25mm، وينتهي القضيب من طرفه العلوي بوزن ويكون الوزن الكلي 1kg.

11. نستمر بإدخال المكبس حتى يتوقف الرمل ونقيس ارتفاع الرمل h_2 وهو بعد نقطة تماس المكبس مع المواد عن قعر الأنبوب.

تبين الصور أدناه أنابيب التجربة قبل إجراء الرج الآلي وكذلك بعد الرج حيث يصبح سائل الغسل عكراً:



الشكل (4) الأنابيب بعد الرج



الشكل (3) الأنابيب قبل الرج

4- قياس التشرب الأقصى بالماء للحصويات الناعمة والخشنة:

الغاية من التجربة:

معرفة كمية الماء الممتصة من قبل العينة المدروسة من أجل تقدير حجم الفراغات التي من المفضل أن تكون أقل ما يمكن تجنباً لامتلائها بمواد قد تؤثر سلباً على ديمومة البيتون.

مبدأ التجربة:

يجب أن نقوم بوزن العينات بالحالتين الجافة والمشبعة.
في الحالة الجافة نقوم بوضع العينات بالفرن لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة 105 درجة مئوية ونقوم بوزنها.
وفي الحالة المشبعة : نقوم بغمر العينات بالماء لمدة 24 ساعة ونقوم بوزنها.
ثم نقوم بإيجاد درجة التشرب:

$$\text{درجة التشرب} = 100 * \frac{\text{الوزن المشبع-الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} = 100 * \frac{\text{وزن الماء}}{\text{الوزن الجاف}}$$