أثر استخدام الحصويات الناعمة المُعاد تدويرها على الفراغات الهوائية وعلى قوة الضغط في الخلطات الخرسانية

طالب الدراسات العليا: محمد الصوص كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق

اشراف الدكتور: معلا الخضر + د. ماجد الاسعد

الملخص

تتكون الخلطة الخرسانية من الإسمنت، الحصويات الناعمة والخشنة بالإضافة إلى الماء، وتُعد الفراغات الهوائية من المؤثرات الهامّة في بنية الخليط الخرساني.

يُبيّن هذا البحث أثر استخدام حصويات ناعمة مُعاد تدويرها (FRA) على كلٍ من الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة العادية مقارنةً مع الخلطة الخرسانية الحاوية على حصويات طبيعية – مقالع (NA) باستخدام جهاز قياس حجم الفراغات الهوائية في الخليط الخرساني بحسب الكود الأمريكي. وعلى قوة الضغط للعنصر الخرساني المتصلب الناتج الحاوي على حصويات ناعمة مُعاد تدويرها (FRA) وفق النسب المعتمدة، فبزيادة نسبة الاستبدال تتغير نسبة الفراغات الهوائية وتنخفض قوة الضغط للعنصر الخرساني الناتج.

الكلمات المفتاحية: الفراغات الهوائية، نسبة الاستبدال، قوة الضغط، الخلطة الخرسانية الطازجة، حصويات مُعاد تدويرها.

The Effect of Using Fine Recycled Aggregate (FRA) on Air Voids and on Compressive Strength in Concrete Mixes

Abstract

The concrete mixture consists of cement, fine and coarse Aggregate, in addition to water, and air voids are important influences in the structure of the concrete mixture.

This article shows the effect of using fine recycled Aggregate (FRA) on each of the air voids in the regular fresh concrete mix compared to the concrete mix containing Natural Aggregate - Quarries (NA) using a device to measure the size of the air voids in the concrete mixture according to ASTM code. And on the compressive strength of the resulting hardened concrete element containing Fine recycled Aggregate (FRA) according to the approved proportions, With an increase in the replacement ratio, the percentage of air voids changes, and the compressive strength of the resulting concrete element decreases.

Key Words: Air Voids, Replacement Ratio, Compressive Strength, Fresh Concrete Mix, Recycled Aggregate.

1- المقدمة Introduction:

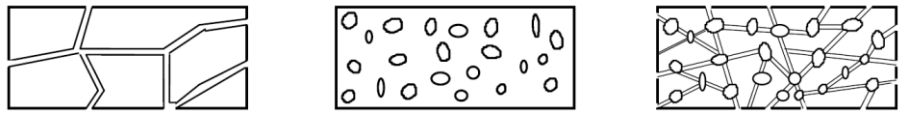
انعكس استخدام الطرق التقليدية في التعامل مع النفايات الخرسانية C&DW (Construction And Demolition Waste) سلباً على البيئة والاقتصاد، وتعددت الأسباب التي أدت لزيادة كميات هذه النفايات حول العالم، لذلك اهتمّ الباحثون بدراسة نواتج معالجة هذه النفايات الخرسانية C&DW بُغية الحصول على حصويات معاد تدويرها RCA (Recycled Concrete Aggregate) ومعرفة صفاتها وخصائصها لتوسيع مجالات استخدامها للأعمال الخرسانية والطرقية، ودراسة أثر استخدام هذه الحصويات على الصفات الميكانيكية والفيزيائية للخلطات الخرسانية الناتجة بهدف تنويع مصادر الحصول على الحصويات المستخدمة في الأعمال الخرسانية وتحقيق مبدأ التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة، كونها من أكثر المواد المستخدمة حول العالم بعد المياه، فبلغت كمية الخرسانة المستعملة حول العالم عام 2006 ما يقارب 30 مليون طن [3].

تُعد الفراغات الهوائية أحد المؤثرات البنيوية الهامّة على جودة الخليط الخرساني وديمومته، من حيث نسبتها، طريقة توزعها، أبعادها، شكلها، حجمها واتصالها مع بعضها البعض تؤثر على الصفات النهائية للعنصر الخرساني الناتج، وإن التحكم بها يؤدي إلى الحصول على منتج خرساني يتميّز بمواصفات جيدة يدوم لسنوات عديدة، وبالعكس فإن نسب الفراغات الهوائية غير المدروسة في الخلطة الخرسانية تنعكس سلباً على صفات العنصر الناتج، لذا فالأفضل هو تحديد هذه النسبة بشكل مدروس يتناسب مع باقي مكونات الخلطة وفق أسس التصميم المعتمدة، أحياناً ولأغراض تصميمية يتم استعمال إضافات كيميائية بهدف الحصول على نسبة عالية من الفراغات الهوائية للوصول لأنواع خاصة من الخرسانة ذات استخدامات مُحددة في الهندسة المدنية. ويبقى الهواء متواجداً في الخلطات الخرسانية ضمن الفراغات الموجودة أصلاً فيها وعندما تحيط الروبة الإسمنتية بهذه الفراغات تعمل كغلاف حافظ يمنع دخول مكونات الخلطة إليها

مما يساعد على تشكيل الفراغات الهوائية، وعندما تبدأ الخرسانة بالتصلب تأخذ هذه الفراغات شكلها النهائي [6].

تتصف الخرسانة النموذجية بأنها مادة مسامية بطبيعتها مع شبكة مترابطة من الفراغات الشعرية التي تؤدي إلى زيادة النفاذية، ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلابد من اتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة.

شكل رقم (1) أنواع مسامية المواد



مسامية عالية ونفاذية عالية | مادة مسامية ولكن غير منفذة | نفاذية عالية ومسامية منخفضة

أُنجزت أبحاث كثيرة تهدف لدراسة آلية وماهيّة تشكل الفراغات الهوائية في الخلطات الخرسانية الطازجة والمتصلّبة، حيث خلصت [5] إلى تحديد مجموعة من العوامل التي تؤثر على نسبة، شكل، حجم الفراغات الهوائية ضمن الخلطات الخرسانية وطريقة اتصالها مع بعضها البعض ومن هذه العوامل:

1- نسبة الماء المُستعمل في الخلطات الخرسانية W/C، درجة حرارته وطريقة إضافة الماء عند الخلط.
2- الصفات الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المُستعملة في الخلطات الخرسانية، مع مراعاة نوعها ومصدرها.
3- التركيب الكيميائي للإسمنت وعياره.
4- نوع الإضافات الكيميائية المُستخدمة.
5- تكنولوجيا الصب وأساليب المعالجة المُتبعة.

2- هدف البحث Aim Of The Research:

يهدف هذا البحث إلى:

1- دراسة تغيّر نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة العادية عند استخدام حصويات ناعمة مُعاد تدويرها FRA وفق نسب معتمدة ومقارنتها مع الخلطة الخرسانية الناتجة من حصويات طبيعية NA باستخدام جهاز قياس

حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية، وفق الكود الأمريكي
ASTM-2004 Volume 04.02 Concrete And Aggregate :

2- دراسة أثر الحصويات الناعمة المُعاد تدويرها FRA على قوة الضغط للعنصر الخرساني المتصلب الحاوي عليها وفق النسب المعتمدة مقارنةً مع المزيج المُتحكم الحاوي على حصويات طبيعية NA.

3- مواد وطرق البحث Materials And Methods Of The Research:

3-1 المواد المستعملة Used Materials:

- إسمنت بورتلاندي عادي، نوع أول إنتاج معمل عدرا، صنف N-32.5
- نواتج هدم عناصر بيتونية إنشائية متنوعة حاملة (بلاطات، أعمدة، جوائز) وغير حاملة (قواطع داخلية، سيراميك وبورسلين)، مأخوذة من منطقة شمال غرب مدينة دمشق، للاستفادة منها كحصويات مستعملة في الخلطات الخرسانية.
- حصويات ناعمة وخشنة طبيعة NA لتحضير التركيب المرجعي CM من مقلع بريف مدينة دمشق.

3-2 العمل المخبري Laboratory Work:

تمّ تحضير عينات الحصويات المطلوبة للخلطات الخرسانية بمعدل ثلاث نماذج لإجراء الاختبارات وأخذ وسطي ثلاث قيم، وبعد تحضر العينات المطلوبة يتم اختبار الحصويات وفق التجارب الآتية.

الجدول رقم (1) التجارب المُعتمدة على الحصويات بحسب الكود الأمريكي ASTM:

التجارب المُعتمدة على الحصويات		
التجربة:	الرمز:	المواصفة:
تحديد القطر الأعظمي للحصويات الخشنة:	D_{max}	ASTM–C136
تحديد القطر الأصغري للحصويات الخشنة:	D_{min}	ASTM–C136
تحديد الوزن النوعي الكلّي الجاف:	Bulk Dry Sp. Gr	ASTM C127&C128
تحديد الوزن النوعي الكلّي المشبع:	Bulk SSD Sp. Gr	ASTM C127&C128
تحديد الوزن النوعي الظاهري:	Apparent Sp. Gr	ASTM C127&C128
تحديد قابلية الامتصاص:	Abs	ASTM C127&C128
تحديد قساوة الحصويات (لوس أنجلوس):	L. A	ASTM–C131
تحديد الوزن الحجمي:	ρ_{bluk}	ASTM–C029
تحديد المكافئ الرملي:	SE	ASTM–D2419
تحديد معامل النعومة:	N_k	ASTM–C136
تحديد محتوى الرطوبة:	w	ASTM–C566

في هذا المقال سنميّز بين ثلاثة أنواع من الحصويات:

1- حصويات المقالع NA.

2- حصويات مُعاد تدويرها ناعمة FRA.

3- الخليط وفق النسب المُعتمدة من الحصويات الناعمة المكونة UA.

الجدول رقم (2) يوضح أنواع الحصويات المُعتمدة في البحث:

أنواع الحصويات المُستخدمة في التجارب		
الاختصار:	المصطلح:	الرمز:
NFA:	رمل مقالع.	Natural Fine Aggregate.
NCA:	بحص مقالع.	Natural Coarse Aggregate.
FRA:	حصويات ناعمة مُعاد تدويرها.	Fine Recycled Aggregate
UA:	حصويات مستخدمة.	Used Aggregate
الحصويات المستخدمة – خليط الحصويات المقالع والمُعاد تدويرها (UA):		
UA.1:	نسبة استبدال 50% من الحصويات الناعمة يعطي تركيب أول DM.1	
UA.2:	نسبة استبدال 75% من الحصويات الناعمة يعطي تركيب أول DM.2	

تمّ التركيز على دراسة الحصويات المُعاد تدويرها RCA لاستبدالها عوضاً عن الحصويات الطبيعية NA ضمن الخلطة الخرسانية بنسب مختلفة، ففي بعض الدراسات [8] بلغت نسبة الاستبدال 100% لكلا النوعين الناعم والخشن لأثرها الكبير على السلوك الميكانيكي للخلطات الخرسانية، ومن أجل تجربة مقاومة العنصر للضغط وجد الباحثون [9] انخفاض نتيجة التجربة بمقدار من 5% إلى 20% عند استعمال حصويات معاد تدويرها بنسبة تبلغ 75% من الوزن الكلّي، في حين وجد آخرون [10] بأن النفايات الخرسانية المُعاد تدويرها، المغسولة والخاضعة لتجربة التدرج الحبي أدت إلى انخفاض قوة الضغط بمقدار 57%، ولاحظ آخرون [2] انخفاض قوة الضغط للخرسانة الناتجة من حصويات ناعمة معاد تدويرها بشكل خطي مع زيادة نسبة الاستبدال وهذا ظهر واضحاً بنسبة استبدال 60% بعمر 14 يوم. وأما بالنسبة للفراغات الهوائية يختلف محتوى الفراغات الهوائية بين 1.8% و2.5% بحسب الدراسة [11] وكانت العلاقة بين الفراغات الهوائية ونسب الاستبدال للحصويات الناعمة علاقة خطية، وبقيت نسبة الفراغات الهوائية ضمن القيم المقبولة أثناء التصميم.

وفي حال عدم استخدام مولدات الفقاعات الهوائية أو عدم تحديد محتوى الفراغات الهوائية فهذه تسمى بالخرسانة غير المحجوزة (non–air entrained concrete) وهذا لا يعني وجود 0% من الفراغات هوائية لأن الخلطة يمكن أن تحتوي على نسبة من الفراغات الهوائية تتراوح بين 1% إلى 4% [7].

اهتمّ الباحثون [4] بدراسة تغيّر نسب الاستبدال على السلوك الميكانيكي للخرسانة الناتجة، وتمّ الحصول على حصويات ناعمة مدوّرة من عناصر مصنعة ضمن المخبر ضمن الشروط النظامية مع استخدام الملدنات، وبعد الطحن والاستخدام توصلوا لإنتاج خرسانة ذات مقاومة جيدة على الضغط وعلى الشد بالفلق والاهتراء مع معامل مرونة للعناصر الناتجة ضمن حدود مقبولة وذلك بنسب استبدال تصل ل 30%.

في هذا البحث سيتم دراسة أثر استبدال الحصويات الناعمة المقالع NFA بحصويات ناعمة مُعاد تدويرها FRA من بقايا نفايات خرسانية C&DW وفق نسبتي استبدال معتمدتين 50% و75% للحصويات الناعمة وباقي كمية الحصويات الناعمة المطلوبة هي حصويات مقالع NFA.

الجدول رقم (3) يوضح الخلطات الخرسانية المُصممة وتركيبها الحصوي:

التركيب الحصوي للتراكيب الخرسانية المُصممة:			
Mix Name	NCA (%)	NFA (%)	FRA (%)
Control Mix – CM	100	100	0
Design Mix 1– DM.1	100	50	50
Design Mix 2– DM.2	100	25	75

وبعد إجراء التجارب المطلوبة على عينات الحصويات المختلفة سيتم تصميم الخلطة الخرسانية وفق الطريقة الأمريكية المتبعة في التصميم ASTM 211–1 مع اعتبار المقاومة الأسطوانية المميزة التصميمية $f'_c = 220\ Kg/Cm^2$، ونسبة الماء إلى الاسمنت W/C=0.54، وهبوط المخروط من 25مم إلى 100مم، وسنعتمد مقاييس

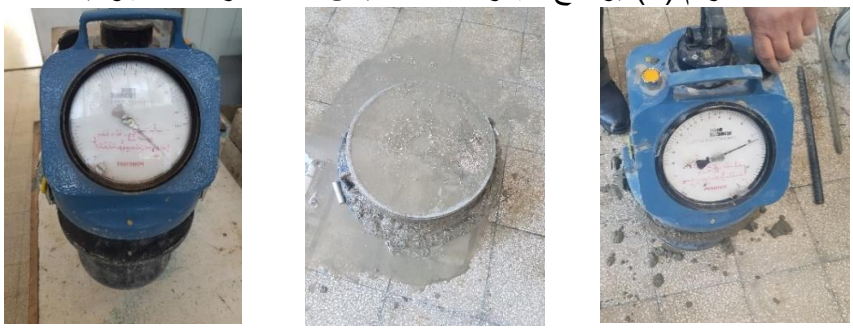
مرجعية ثابتة تطبق على كافة العينات المحضرة بالإضافة إلى كمية ونوع الإسمنت المستخدم والحصويات الخشنة الطبيعية NCA، بحيث نتابع متغير واحد هو تغيّر نسبة الفراغات الهوائية مع تغيّر نسبة الاستبدال المعتمدة للحصويات الناعمة المستبدلة بحصويات ناعمة مُعاد تدويرها FRA، وانعكاس ذلك على مقاومة الضغط للعنصر الناتج.

وسيتم دراسة الخصائص لكل خليط على حدىً وبالتالي سيتم دراسة الخليط الخرساني ثلاث مرات بثبات نسبة الماء إلى الإسمنت W/C وبثبات مواصفات الحصويات الخشنة NCA

وبعد تشكيل العينات وفق النسب المُعتمدة يتم الحصول على الخرسانة الطازجة لإجراء التجارب عليها، ففي حالة الخرسانة الطازجة يتم معرفة حجم الفراغات الهوائية بطريقة الضغط حسب الكود الأمريكي بحسب المواصفة: ASTM C231/C231M أصل التجربة أن العنصر الوحيد القابل للضغط في الخرسانة الطازجة هو الفراغات الهوائية، يتألف الجهاز من حجرة معلومة الحجم نقوم بملئها بالخرسانة ومن ثُمَّ إغلاق الجهاز ورفع الضغط فيه بواسطة الماء، وبزيادة الضغط تمتلئ هذه الفراغات بالماء ومن خلال مقياس موجود على الجهاز نستطيع معرفة حجم الفراغات الهوائية.[1] وهي واحدة من أقدم الطرق المُتبعة لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة، ولا تستخدم هذه الطريقة للخرسانة المصنوعة من الحصويات الخفيفة أو الحصويات ذات المسامات الكبيرة، تمّ استعمال الجهاز المتوافر في مخبر مواد البناء في كليّة الهندسة المدنية في جامعة دمشق. والجدير بالذكر بأن الفراغات الهوائية مكوّن مهم من المكونات البنيوية للخرسانة وخاصةً في الخرسانة المتعرضة لدورات الصقيع والذوبان، لأنها تشكل مساحات فارغة تعمل كخزانات تحفظ الخرسانة من التلف وتخفف الضغط الحاصل على الخرسانة بنتيجة تجمد الماء الممتص، وهي تؤدي إلى تحسين قابلية التشغيلWorkability بالإضافة إلى تقليل النزيف Bleeding والفصل Segregation،

فيجب الانتباه إلى محتوى الفراغات الهوائية عند التصميم، من أجل تحقيق المواصفات الفنية المطلوبة للخلطة الخرسانية.[1]

شكل رقم (2) يوضح جهاز الضغط لقياس نسبة الفراغات الهوائية.



جهاز الضغط لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة

ومن أجل كسر العينات الأسطوانية الناتجة عن الخلطات الخرسانية لمعرفة مقاومة الشد بالضغط Compressive Strength، تمّ استعمال مكبس الضغط الهيدروليكي المتواجد في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، بحسب الكود الأمريكي وفق المواصفة رقم:ASTM C39/C38.

شكل رقم (3) يوضح المكبس الهيدروليكي لكسر العينات الأسطوانية.

كسر العينات الأسطوانية في مخبر الكلية لمعرفة مقاومة الشد بالضغط

3-3 تحضير العينات Sample Making:

تمّ إحضار الحصويات الطبيعية الناعمة NFA والخشنة NCA من مقلع في ريف دمشق، وتمّ تحضير عينات الحصويات بمعدل ثلاث نماذج لإجراء الاختبارات المطلوبة وأخذ وسطي ثلاث قيم، وبالنسبة للحصويات المُعاد تدويرها تمّ الحصول عليها من منطقة شمال غرب مدينة دمشق، فتمّ فرز النفايات والأنقاض الخرسانية C&DW فرز أولي وفيما بعد تمّ تكسيرها وطحنها ليصار إلى تحضيرها وفق التدرجات الحبية للمواد الناعمة المعمول بها، وبعد تحضير عينات الحصويات بنسبة استبدال (50%،75%) بمعدل ثلاث نماذج لتشكيل خليط وإجراء الاختبارات وأخذ وسطي ثلاث قيم، تمت التجارب في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية بدمشق، والنتائج موضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (4) يوضح مواصفات الحصويات الخشنة NCA:

مواصفات الحصويات الخشنة الطبيعية NCA:		
Test:	Value:	Unit:
D_{max}	25	Mm
D_{min}	19	Mm
Bulk Dry Sp. Gr	2.697	_
Bulk SSD Sp. Gr	2.714	_
Apparent Sp. Gr	2.774	_
Abs	2.631	%
L. A	0.182	%
ρ_{bluk}	1525.182	Kg/m^3
w	0.00043	%

الجدول رقم (5) يوضح مواصفات الحصويات الناعمة:

مواصفات الحصويات الناعمة:					
Test:	Value: NFA	Value: UA.1	Value: UA.2	Value: FRA	Unit:
S. E	73	66	64	58	%
N_k	2.98	2.71	2.63	2.30	–
Bulk Dry Sp. Gr	2.776	2.485	2.412	2.129	–
Bulk SSD Sp. Gr	2.801	2.589	2.512	2.237	–
Apparent Sp. Gr	2.848	2.772	2.681	2.386	–
Abs	0.908	4.167	4.156	5.053	%
ρ_{bluk}	1858.52	1754.22	1704.36	1640.00	Kg/m^3
w	0.30	2.80	2.20	1.58	%

تمّ اعتماد طريقة التصميم في الكود الأمريكي ASTM 211−1، وتمّ تحضير المكونات والنسب المكونة للخلطة الخرسانية بالوزن من أجل 1 متر مكعب من الخلطة الخرسانية وقياس هبوط المخروط الآني وبعد 30 دقيقة، وتمّ أخذ العينات من الخلطة الطازجة لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بحسب الكود الأمريكي وفق المواصفات المتبعة، وتمّ تنفيذ عينات أسطوانية 15*30 وفق نسب التصميم.

الجدول رقم (6) يوضح تركيب الخلطة لكل نوع من أنواع الخلطات المُعتمدة:

مكونات الخلطات الخرسانية المُستعملة من أجل 1 متر مكعب:					
Mix Type:	C: Kg/m^3	W: Kg/m^3	Aggregate: Kg/m^3		
			NCA:	NFA:	FRA:
CM	379.63	205	930.75	868.72	0
DM. 1	379.63	205	961.28	384.47	384.47
DM. 2	379.63	205	976.53	181.80	545.39

تمّ أخذ تسع عينات من التراكيب بمعدل ثلاث عينات من كل نسبة وتمّ ترقيمها وحفظها وفق الشروط المخبرية المعتمدة، ليصار إلى كسرها في الوقت المطلوب.

شكل رقم (4) تحضير العينات وحفظها ضمن الشروط المخبرية

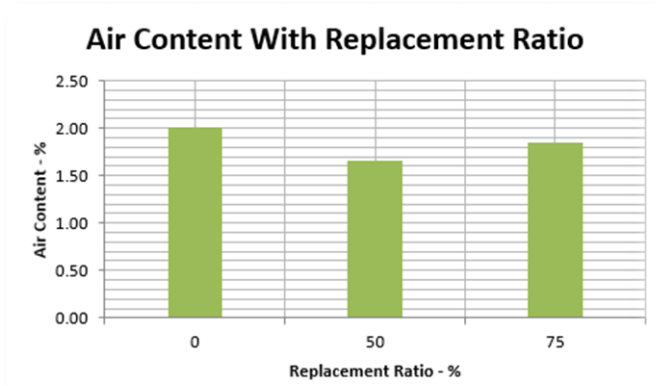
تحضير العينات وحفظها

4- مناقشة النتائج Discuss Of The Results:

بعد إجراء التجارب المخبرية وفق الخطوات المُتبعة، بثبات نسبة الماء إلى الإسمنت W/C نجد في التركيب المرجعي CM نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بعد قياسها بواسطة الجهاز قد بلغت 2% وهي ضمن النسب المُعتمدة في التصميم، ومن أجل التركيب الأول $DM.1$ بنسبة استبدال 50% تنخفض نسبة الفراغات لتصبح 1.65%، بينما وللتركيب الثاني $DM.2$ عند نسبة استبدال 75% تزداد نسبة الفراغات الهوائية مقارنةً مع الخليط الأول لتصبح 1.85%، وتبقى ضمن النسب التصميمية المسموحة.

الجدول رقم (7) يوضح محتوى الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة:

Mix Type:	Air Content (%):
CM	2%
DM. 1	1.65%
DM. 2	1.85%



الشكل رقم (5) يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية للخلطة الطازجة.

وجميع النسب الناتجة للتجربة ضمن النسب المُعتمدة للتصميم، يُعتقد أن سبب التغير في نسبة الفراغات الهوائية يُعزى إلى زيادة نسبة المواد الناعمة في الحصويات المُعاد تدويرها FRA فتشكل كمادة مالئة في الخليط الناتج وهذا يظهره التدرج الحبي للحصويات المُستخدمة، وسلوك الماء مع الحصويات المُعاد تدويرها الشرهة له أصلاً بفعل المونة القديمة الملتصقة على سطحها وتمتص بذلك كمية أكبر منه مخلّفةً مكانها فراغات هوائية بعد تبخرها أو استعمالها، فالماء المتواجد ضمن الحصويات بحالتها الطبيعية يتفاعل مع الإسمنت لإتمام تفاعلات الإماهة والماء الإضافي المتبقي ضمن الفراغات المتواجدة بين الحصويات تعمل كحاجز مع المونة الإسمنتية تمنع باقي مكونات الخلطة الخرسانية إلى الوصول لهذه الفراغات مما يساعد على تشكيل الفراغات الهوائية، وهذا يتضح على نسبة الفراغات الهوائية مع نسبتي الاستبدال 75% و50% مقارنةً مع المزيج المتحكم CM الذي يمثل النسبة المعيارية.

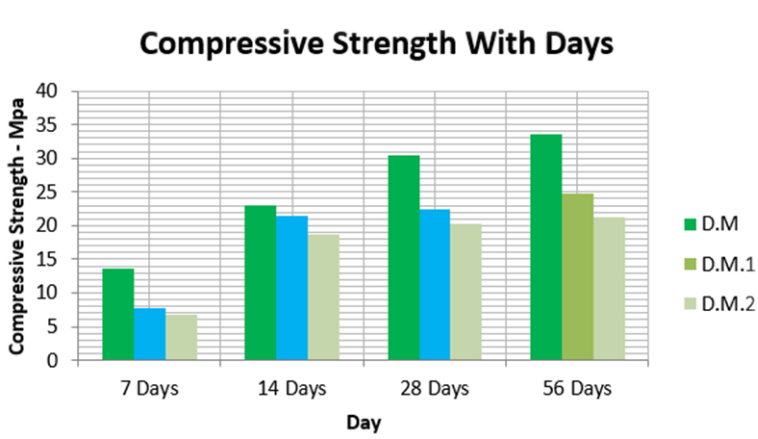
إنّ تدرج حجم الفراغات الهوائية، نسبتها، وطريقة اتصالها ومواصفات الحصويات الداخلة في تركيب الخلطة الخرسانية تؤثر على خواص الخلطة الخرسانية بحالتها الطازجة والمتصلّبة. فتقلّ مقاومة الضغط للعنصر المتصلّب مع زيادة نسب الاستبدال للحصويات

الناعمة في الخلطة الخرسانية وذلك لأن التقدم بالعمر يزيد من مقاومة الضغط للعجينة الإسمنتية الجديدة وتصبح المنطقة الانتقالية بين سطح الحصويات المُعاد تدويرها والعجينة الإسمنتية القديمة الملتصقة على سطحه نقطة ضعف في النسيج الناتج، وبالتالي بزيادة نسبة الاستبدال تقلّ مقاومة الضغط للعنصر الناتج مقارنةً مع المزيج المتحكم.

في حالة التركيب المرجعي CM بلغت مقاومة العنصر على الضغطMPa 30.49 بعمر 28 يوم، ومن أجل التركيب الأول بنسبة استبدال 50% بلغت مقاومة العنصر للضغطMPa 22.46 وعند التركيب الثاني بنسبة استبدال 75% بلغت مقاومة العنصر للضغطMPa 20.29 عند نفس العمر، ويلاحظ أنه يترافق انخفاض نسبة الفراغات الهوائية مع مقاومة الضغط، ومن النتائج نجد انخفاض مقاومة الضغط بنسبة تتراوح بين (26.34 و33.45)%.

الجدول رقم (8) يوضح نتائج مقاومة العنصر الناتج على الضغط مقدرة ب Mpa:

Mix Type	Days 7	Days 14	Days 28	56 Days
CM	13.54	23.09	30.49	33.47
DM. 1	7.76	21.43	22.46	24.76
DM. 2	6.77	18.62	20.29	21.21



الشكل رقم (6) يوضح العلاقة بين قوة الضغط ونسب الاستبدال، ومنه يتبيّن أنه بزيادة نسبة الاستبدال تنخفض قيمة مقاومة العنصر للضغط بمختلف الأعمار.

5- الاستنتاجات والتوصيات Conclusions and Recommendations :

5-1 الاستنتاجات:

- يتأثر محتوى الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بنسبة الحصويات المُعاد تدويرها في الخلطة، وتتطابق نسبة الفراغات الهوائية في التركيب المرجعي *CM* مع نسبة الفراغات الهوائية النسبة المعتمدة عند التصميم.
- تنخفض مقاومة الضغط للعنصر الخرساني بزيادة نسبة استخدام المواد المُعاد تدويرها. بسبب طبيعة الحصويات المُستخدمة من جهة والفراغات الهوائية من جهة أخرى.
- تُستخدم الحصويات المُعاد تدويرها في الخلطات الخرسانية بشكل جزئي مع الحصويات الطبيعية بنسب مدروسة شريطة التحقق من مصدرها وإجراء التجارب اللازمة لاتخاذ القرار باستخدامها أو استبعادها.

5-2 التوصيات:

- متابعة البحث في إمكانية استخدام الحصويات المُعاد تدويرها لاختلاف مواصفاتها تبعاً لمصدرها، لتحسين النتائج التي توصل إليها العلماء وتعميم تجربة إعادة التدوير لتحقيق مبدأ التنمية المستدامة.
- توطين صناعة تدوير C&DW لاستخدامها كحصويات في الأعمال الهندسية المختلفة ضمن الأطر الناظمة.

المراجع References:

[1] AARRE, T., 1998 – Control of Air Content in Concrete, CONCRETE TECHNOLOGY, Vol.19. 1 – 8

[2] AHMAD, S.H., FISHER, D.G., AND SACKETT, K.W., 1996 - Properties of Concrete Made with North Carolina Recycled Coarse and Fine Aggregates, Centre for Transportation Engineering Studies, North Carolina State University, Raleigh, June. 85p

[3] ALSAYYED, M., 2011 - Uses and Benefits of Recycled Concrete Aggregate (RCA), Lecture. An najaah University Nablus, April. 3-9

[4] ALVES, S.V., AND CORREA, A.F., 2013 – MECHANICAL BEHAVIOUR OF CONCRETE WITH INCORPORATION OF RECYCLED CERAMIC FINE AGGREGATES, Tecnico Lisboa, March. 11 – 21

[5] RUSSTECHNET, 2017- Factors Which May Influence Air Content,https://www.russtechnet.com/uploads/productnotes/factors-which-may-influence-air-content.pdf

[6] HOVER, K., 1993 – Why is there air in concrete, Part 1 of a 4-part series, The Concrete Construction Magazine, January. 31-33

[7] HOVER,K., 2019 – BENEFITS OF REAL-TIME MONITORING OF AIR CONTENT IN FRESH CONCRETE, https://www.cidra.com/sites/default/files/document_library/BI0682-Hover-Paper-Final-011719.pdf

[8] KUMUTHA,R., AND VIJAI,K., 2010 - Strength Of Concrete Incorporating aggregates Recycled From Demolition Waste, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.5, NO.5, MAY. 64 - 71

[9] RAKSHVIR, M., AND BARARI, S.V., 2006 – Studies On Recycled Aggregate-Based Concrete, Waste Management & Research, SAGE Journal, Vol.24, Issue.3. 225-233

[10] RICHARD, A., ALLAIN, P., AND VEUILLE, M., 2010 – Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement, Structural Survey Journal, Vol.28, Issue.2. 142 - 148

[11] YAPRAK, H., ARUNTAS, H.Y., DEMIR, I., SIMSEK, O., AND DURMUS, G., 2011 – Effect of the fine recycled concrete aggregate on the concrete properties, International Journal of the Physical Sciences, Vol.6, MAY. 2455-2461