SEBHA UNIVERSITY CONFERENCE PROCEEDINGS, VOL.04 NO. 1 2025
DOI: 10.51984/SUCP.V4I1.3993

المؤتمر العلمي الأول للتطبيقات الهندسية (ICEA'2024)
The First Scientific Conference on Engineering Applications (ICEA'2024)
Conference homepage: www.icea.ly

# دراسة ادخال الركام الناتج عن المخلفات الانشائية علي خصائص الخرسانة الاعتيادية

*محمد موسي سعد[1] و هناء عبد الفتاح الجويفي [2] و عبد المجيد القماطي[2]

[1] مركز ديوان المحاسبة للتدريب والبحوث والاستشارات، البيضاء، ليبيا
[2] قسم الهندسة المدنية، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا

**الملخص**

هذا البحث يدرس عدد ثلاث خلطات خرسانية الأولى مُعدة من الركام الطبيعي (Natural Aggregate (NA ذو تدرج قريب من للمواصفات الاميركية، قادم من مصدر طبيعي من محجر في منطقة البطنان والتي سيعبر عنها باسم الخلطة المرجعية. الخلطة الثانية ستكون مُعدة من ركام معاد تدويره ناتج من تكسير بقايا مكعبات خرسانية قديمة، (Recycled Concrete Aggregate,(RCA, والخلطة الثالثة ستكون مُصنَعة من ركام معاد تدويره من بقايا بلاط التيرازو, Recycled Terrazzo Tiles, وسيرمز لها بالرمز (RTT). اعتمد البحث على تحديد الخواص الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للعينات المذكورة تضمنت: اختبار التدرج الحبيبي، الوزن النوعي والامتصاص، الوزن الحجمي، اختبار لوس انجلوس. وتم تسجيل الفروقات في الخواص الفيزيائية والميكانيكية حيث ظهر انخفاض في الوزن النوعي للركام المعاد تدويره بنسبة تصل الى 15% وبنسبة انخفاض حوالي 20% في الوزن الحجمي عن الركام الطبيعي، كما سجل ارتفاع في نسبة الامتصاص بمقدار 5% من نسبة الركام الطبيعي، وسجلت زيادة في نسبة الفاقد بالاهتراء في اختبار لوس انجلوس بمقدار الضعف عن نسبة الركام الطبيعي, وهذا يدل على انخفاض جودة الركام المعاد تدويره وهذا مطابق لما جاء في دراسات سابقة. اما الاختبارات الميكانيكية فشملت على اختبار مقاومة الضغط ($\sigma_c$) للمكعبات الخرسانية بحجم 15x15x15 سم$^3$, بعمر 3, 7, 14 و28 يوم. اظهرت النتائج ان مقاومة الضغط للخلطة NA كانت أفضل من الخلطات التي تم فيها اعادة تدوير الركام. رغم ذلك تعتبر نتائج مقاومة الضغط للركام المعاد تدويره مشجعة بفارق بنسبة 21 % أقل من الخلطة التي تستخدم الركام الطبيعي، وهذا يعني امكانية استخدامها في المنشآت التي لا تتطلب مقاومة الضغط عالية.

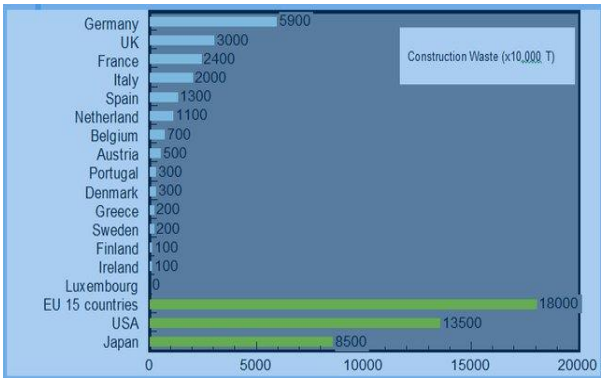
**الكلمات المفتاحية:**

الركام الطبيعي
الركام المعاد تدويره
الخواص الفيزيائية والميكانيكية
مقاومة الضغط

## 1. المقدمة

مع نمو و تطور المجتمعات في عملية البناء, واستخدام الخرسانة الحديثة مثلا (المسلحة بالالياف, مسيقة الاجهاد والصب, خفيفة الوزن,...) مازال الاقبال علي استخدام الخرسانة الاعتيادية قائم. كما أن هدم الانشاءات القديمة القائمة، التي تجاوزت عمرها الافتراضي (فوق 70 عاما)، يجري في نفس الوقت مع هذا التطور. ان إعادة بناء الهياكل الانشائية الحديثة بما يتماشى مع عصر التقدم في الانشاء من حيث التوسعة, التهوية, الخ مما يتطلب هذا التطور سبب في وجود كمية هائلة من النفايات، والتي تسمى نفايات البناء والهدم بالانجليزية (Demolition Recycling rate of Construction and Waste) C&DW). والتخلص من هذه المخلفات بطريقة مستدامة يشكل تحديًا كبيرًا للبنائين والمهندسين والمقاولين. ومن ناحية اخري توريد المواد الخام مثل الرمل والركام اصبح بسبب نقص في المواد الخام الطبيعية المتاحة بشكل طبيعي لبناء المباني. بناءاً عليه من الممكن تقليل هذه المشاكل من خلال إعادة استخدام أو إعادة تدوير نفايات البناء والهدم الناتجة عن أنشطة البناء. وبالتالي، يجب على مؤسسات الاعمار و البناء قبول استخدام نفايات البناء والهدم حيثما كان ذلك ممكنًا. ان السبب الرئيسي الذي اجتمع عليه الباحث هو أن إعادة التدوير يسهم في تقليل انبعاث الكربون بنسبة تصل إلى 65% وتوفير الموارد الطبيعية بنسبة تصل إلى 50% مقارنة بالخرسانة التقليدية,[1]. حيث بينت النسبة المئوية لمعدل استخدام الركام المعاد تدويره في بعض دول العالم, تصل الي ما يقرب من100%, كم هو الحال في الدول الاوربية. يبين الشكل رقم (1) ان معدل النفايات الانشائية في تزايد مع الدول الاعلي اقتصاديا,[2], Bansal et al., 2014 بين ان في الهند في عام 2012، تمت معالجة 153000 طن من مخلفات البناء والهدم لصنع منتجات مفيدة. ومن بين هذه الكمية البالغة 11700 طن من المواد الخام، تم إنتاج 5632 طنًا من ركام الأساسات و4289 طنًا من الرمل. علاوة على ذلك، تم إنتاج 2000 طن متري من المنتجات المصبوبة و6000 طن متري من الخرسانة الجاهزة في هذا المصنع.

*Corresponding author:
*Article History : Received 11 March 2024 - Received in revised form 25 September 2024 - Accepted 15 October 2024*




**شكل رقم (1):** نفايات البناء المتولدة في بلدان مختلفة, [2].

أظهرت الدراسات المسبقة أن الخرسانة المعاد تدويرها يمكن أن تحقق مقاومة الضغط تتراوح بين 20 إلى 30 ميجا باسكال عند استخدام الركام المعاد تدويره بنسبة 50%, [3]. [4] Surya et, al . 2013, اظهر ان استخدام الركام المعاد تدويره بنسبة 100% يمكن ان ينتج خرسانة تصل قيمها الي الخرسانة الاعتيادية, كذلك مع نسبة 50% و60% من الركام المعاد تدويره يمكن أن تحقق مقاومة الضغط للخرسانة تصل إلى 25, 28 و 30 ميجا باسكال بالتتابع, [5,6,7]. بينما اظهرت النتائج المدروسة من قبل [8] ان نسبة 30% يمكن أن تلبي متطلبات الكود الإنشائي البريطاني بقوة ضغط تصل إلى 35 ميجا باسكال. ومن ناحية اخري بين [9] فعالية ادخال الركام المعاد تدويره بنسبة 50%, يمكن أن تقلل تكاليف البناء بنسبة تصل إلى 20%. مع هذا هناك بعض الابحاث التي ادي ادخال الركام المعاد تدويره الي انخفاض مقاومة الضغط كما هو الحال مع [10]. عند استبدال 50% من الركام الطبيعي بركام معاد تدويره، انخفضت مقاومة الضغط بنسبة تتراوح بين 10% و20%. اما كثافة الخرسانة المتحصل عليها من الركام المعاد تدويره كانت أقل كثافة بنحو 5% من الخرسانة التقليدية, و معامل الامتصاص, زادت نسبة الامتصاص بنسبة 20% عند استخدام الركام المعاد تدويره. هذه النتائج مرتبطة بنوع ومصدر الركام وكذلك عمر المنشأ الافتراضي. واقترح انه من الممكن استخدام مزيج من الركام الطبيعي والمعاد تدويره لتحسين الأداء. او معالجة الركام المعاد تدويره لتقليل تأثير الشوائب. او من خلال استخدام مواد مضافة لتحسين أداء الخرسانة المعاد تدويرها [11]. ان الترويج لاستخدام الخرسانة المعاد تدويرها في مشاريع البناء الكبيرة اصبح متطلب رئيسي في هذا العصر. انبعاث غاز ثاني اكسيد الكربون, ممكن ان ينخفض بنسبة 20% مقارنة بالخرسانة التقليدية. وتقليل حجم النفايات بنسبة 30%.كل هذا يلزمه تطوير معايير الجودة لضمان أداء مناسب [12]. كذلك من العوامل المقترحة لتحسين جودة الخرسانة هو مزج الركام المعاد تدويره مع الركام الطبيعي, [13].

اعطي السيد احمد محمد, 2008, [14], استخدام مزيج من الركام الطبيعي والمعاد تدويره لتحسين الأداء ومعالجة الركام المعاد تدويره لتقليل تأثير الشوائب, بعد انخفاض مقاومة الضغط بنسبة 12% الناتج عن 50% من الركام الطبيعي بركام معاد تدويره, وبين ان الخرسانة مع الركام المعاد تدويره كانت أقل كثافة بنحو 4% من الخرسانة التقليدية, اما معامل الامتصاص زاد بنسبة 15% عند استخدام الركام المعاد تدويره, وهو تقريبا ما استخلص له [15]. وهو ما اكد عليه [16] حينما اوضح من تجاربه ان انخفاض مقاومة الضغط كان بنسبة 8% عند استخدام 30% من الركام المعاد تدويره, اما للكثافة الكلية للخليط انخفظت بنسبة 6%.

## 2. الجانب العملي والمنهجية

تعاني الدولة الليبية من تراكم كميات كبيرة من المخلفات الناتجة عن المباني المدمرة نتيجة الحروب في الفترة الأخيرة، ولا يمكن ترميم أو صيانة أغلب هذه المباني، بل هناك مناطق بأكملها تعرضت للتدمير الكامل مثل (حي الصابري في بنغازي وأجزاء من مدينتي درنة وسرت). إضافة إلى الكارثة البيئية (إعصار دانيال) التي ضربت مناطق الجبل الأخضر ومدينة درنة في سبتمبر 2023، والتي تسببت في دمار واسع النطاق شمل حتى البنية التحتية، مما يجعل عملية إعادة الإعمار تحديًا كبيرًا للدولة ويؤثر بشكل كبير على المنظومة البيئية والمعيشية لهذه المدن بسبب وجود هذه المباني في مراكز المدن والموانئ، مما يسبب مشاكل حتى لبقية المدينة. كما أن عملية هدم ونقل نتائج هدم هذه المباني تؤدي إلى احتلال مساحات كبيرة من الأراضي بالمخلفات التي تشوه الصورة الجمالية وتعطل النظام البيئي. وتكمن مشكلة البحث في مدى إمكانية إعادة تدوير هذه النفايات واستخدامها كمواد بناء جديدة وتوفير بيئة صحية للأفراد بما يتوافق مع مبادئ الاستدامة.هذا البحث يدرس في مضمونة اهمية استخدام الركام المعاد تدويره, خصوصا في دولة ليبيا اصبحت مخلفات الإنشاء والهدم ذات قيم كبيرة ويجب الاستفادة منها. من الدراسات السابقة نجد اننا في ليبيا مقارنة بالدول الاوربية او الاسيوية مازلنا متأخرين من ناحية استخدام هذه التقنية نتيجة عدم توجه الشركات الي الاستفادة من المخلفات مع قلة التكاليف مقارنة باستخدام المواد الطبيعية. مثلما استعرض مسبقا تعامل وتجارب بعض الدول في هذا المجال (الهند).

التجارب العملية المستخدمة في هذا البحث تلجا الي دراسة خواص خرسانة تحتوي علي ركام طبيعي وخلطات اخري من الركام ومخلفات الانشاء المعاد تدويره. نتائج هذه الاختبارات هي ما تؤكد الزامية التوجه الي استخدام المخلفات لان نتائج كانت جيدة ومقبولة. ومن ناحية اخري, مقارنة بالداراسات السابقة التي اكدت ان الركام المعاد تدويره لا يعطي نتائج ضعيفة حتي لو هذه النتائج لم تصل الي القيم المتحصل عليها من الركام الطبيعي بل بالعكس اجمعت اغلبية الدراسات السابقة علي الجدوي الاقتصادية والعملية من استخدام الركام المعاد تدويره.

تكمن مشكلة البحث في مدى إمكانية إعادة تدوير هذه النفايات واستخدامها كمواد بناء جديدة وتوفير بيئة صحية للأفراد بما يتفق مع مبادئ الاستدامة. ومن أجل توفير بديل للركام الطبيعي الخشن عند إنتاج الخلطات الخرسانية، سيبحث هذا البحث إعادة تدوير مخلفات البناء الناتجة عن سحق مكعبات الخرسانة القديمة (RCA) ومخلفات سحق بلاط التيرازو (RTT). كما سيقارن أداء الخلطات التي تحتوي على الركام الخرساني المعاد تدويره بأداء الخلطة المرجعية التي تحتوي فقط على الركام الطبيعي (NA). وقد تحدد نتائج الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية مدى استخدام الركام الطبيعي الخشن على نطاق واسع لتلبية المتطلبات. علاوة على ذلك، تم ربط المكونات الميكانيكية والفيزيائية للبحث بمعلمات اختبار الضغط.

## 3. التجارب العملية

### 3.1 المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية

تتكون الخرسانة من خليط من الإسمنت, الماء, الركام الخشن والناعم (الرمل) وأحيانا بعض الإضافات الأخرى:

أ- ***الإسمنت***

تم استخدام نوع الاسمنت CEM II-4-1 A-L 42.5 N للبناء الخرساني الثقيل،

المطابق لمعايير الليبي الخفيف (LSS NO: 340/2009) والمطابق للمعايير الأوروبية (EN 197-1-2000). السطح النوعي للجزيئات حسب Blain هو 3300±100، والوزن النوعي 3.15، زمن التصلب الأبتدائي عند 60 دقيقة. التركيب الكيميائي كما هو موضح من قبل شركة الاسمنت الليبية (LCC) موضح في الجدول (1).

**جدول رقم (1):** التركيب الكيميائي للاسمنت طبقا شركة الاسمنت الليبية (LCC).

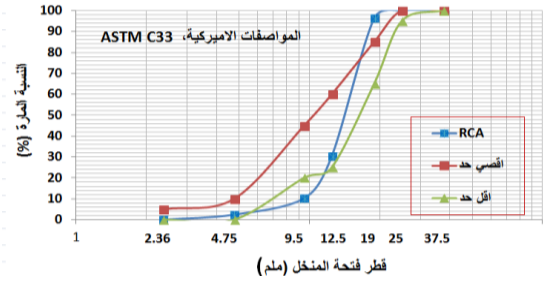
| المركب | النسبة |
|---|---|
| C3S (%) | 60±2 |
| C3A (%) | 7.5±1 |
| SO3%محتوى الكبريتات | اقصي حد 3.5 |
| MgO%محتوى أكسيد الماغنيسيوم | اقصي حد 5 |
| Cl%محتوى الكلوريد | اقصي حد 0.1 |

**ب- الركام الخشن**

للحصول علي الركام تمت عملية تكسير حطام الخرسانة وبلاط الموازيك او التيرازو بطريقة يدوية لان الكمية كانت بسيطة وتم تكسير الحطام الى تدرجات مطابقة لتدرجات الركام الطبيعي الذي استخدم في الخلطة المرجعية. سيتم تقسيم العينات الى ثلاث اصناف:

1. الركام الطبيعي Natural Aggregate, (NA)
2. الركام المعاد تدويره من مخلفات الخرسانة Recycled Aggregate, (RCA)
3. الركام المعاد تدويره من مخلفات بلاط التيرازو Concrete Recycled Terrazzo Tiles Aggregate, (RTT)

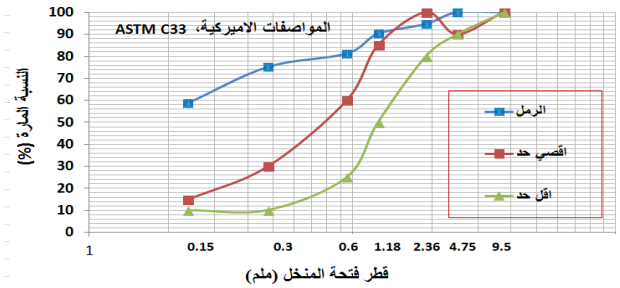
الشكل رقم (2) يوضح نسبة المار للركام المستخدم كدالة مع قطر فتحة المنخل. حيث تم عمل التحليل المنخلي للعينات الثلاثة المسبقة لتكون علي نفس التدرج, من الشكل رقم (2) يتضح ان القطر الاعتباري للركام هو 19 ملم.




**شكل رقم (2):** التدرج الحبيبي للركام المعاد تدويره في الخرسانة وهو نفس المقاس المعتمد لبقية انواع الركام.

***ت- الركام الناعم***

الشكل رقم (3) يبين ان القطر الاعتباري للرمل هو 2.36 ملم. تم تقسيم المجموع الكلي للنسب المئوية للمتبقي التراكمي على 100 للحساب معامل نعومة الرمل وهو مساوي الي 2.122. ومن حساب معامل النعومة يتضح بأن الرمل المستخدم يعتبر من النوع الناعم, حيث تتراوح النسبة المقبولة لمعامل النعومة من (2.3 الى 3.1) وذلك حسب المواصفة الاميركية.




**شكل رقم (3):** التدرج الحبيبي للرمل.

تم دراسة الخواص الفيزيائية والكيمائية للجميع انواع الركام المستخدم والتي تشمل علي اختبار: التدرج الحبيبي, اختبار الوزن النوعي والحجمي, انظر الشكل رقم (4), اختبار نسبة الامتصاص و اختبار لوس انجلوس. جميع هذه الخواص موضحة في الجدول رقم (2).

**شكل رقم (4):** غمر العينات في الماء لمدة 24 ساعة لتعيين الكثافة النوعية.

**جدول رقم (2):** خصائص الركام الخشن والناعم في الخلطة الخرسانية.

| الاختبار | NA | RTT | RCA | رمل | حدود المواصفات |
|---|---|---|---|---|---|
| الكثافة النوعية جاف مشبع سطحيا Saturated Surface-Dry (SSD) (ASTM C127, C128) | 2.61 | 2.25 | 2.21 | 2.68 | 2.5-2.9 (ركام خشن) 2.5-2.75 (ركام ناعم) |
| معامل الامتصاص (%) (ASTMC29/C29M) | 1.03 | 6.06 | 6.80 | 0.4 | 0.5%-4% (ركام خشن) اقل من 6% (ركام ناعم) |
| الكثافة الظاهرية (كجم/م$^3$) | 1525.7 | 1200 | 1174.6 | 1600 | 1200 - 1750 (ركام خشن) 1500 -1850 (ركام ناعم) |
| معامل تآكل لوس أنجلوس (%) (ASTM C131) | 17 | 36.81 | 37.46 | - | اقل من 40% |

***ث- الماء***

يجب أن يكون نظيفا و خالياً من المواد الضارة, لذلك استخدم ماء الصنيور.

**3.2 الخلطة الخرسانية**

اولا خلط المواد الجافة الإسمنت مع الركام الناعم والركام الخشن جيدًا لمدة 2 دقيقة. إضافة الماء, إضافة الماء تدريجيًا أثناء الخلط لضمان توزيع متساوٍ, الخلط الجيد لمدة 3 دقائق, التأكد من خلط جميع المكونات جيدًا لتحقيق تجانس الخلطة, الزمن الكلي للخلط لا يتجاوز 5 دقائق. نسبة الماء الي الاسمنت كانت 0.5 لكل نوع ركام تم ادخاله في الخرسانة. جميع النسب للخلط موضح في الجدول رقم (3).

**جدول رقم (3):** مكونات الخلطة الخرسانية (كجم/م$^3$).

| الاختبار | الاسمنت | ماء | الرمل | NA |
|---|---|---|---|---|
| الوزن (كجم) | 354 | 177 | 712.25 | 1007 |
| الحجم (م$^3$) | 0.112 | 0.177 | 0.266 | 0.386 |

تم صب عدد 12 مكعب بابعاد 15x15x15 سم لكل نوع ركام مستخدم وبعد 24 ساعة تم فك القوالب, تم معالجتها في الماء لفترات زمنية 3, 7, 14 و28 يوم من يوم الصب. بعد هذه الفترات الزمنية اجري اختبار الانضغاط لكل

عمر مذكور سابقا للمكعبات, طبقا الي المواصفات ASTM C109. وهذه الاختبارات ستحدد ما اذا كان الركام مناسبا ام بحاجة لمزيد من المعالجة والتحسين ليكون صالحا للاستخدام.

**شكل رقم (5) :** تحضير المكعبات الخرسانية لاجراء اختبار الانضغاط.

## 4. النتائج والمناقشة

### 4.1 نتائج الاختبارات الخرسانة الطازجة

#### 4.1.1 اختبار الهطول (Slump Test)

ASTM C143 and AASHTO T 119, هما طريقتا الاختبار القياسيتان لهطول الخرسانة الأسمنتية الهيدروليكية حيث أقصى بعد للركام الخشن 37.5 مم. بعد صب الخرسانة مباشرة تم اجراء الهطول, الجدول رقم (4) يعطي القيم لكل نوع ركام مستخدم.

**جدول رقم (4):** قيم نتائج اختبار الهطول للنوع الركام المستخدم.

| نوع الخلطة | RTT | RCA | NA |
|---|---|---|---|
| قيم الهطول (ملم) | 75 | 65 | 115 |

نلاحظ من الجدول رقم (4) ان نتائج الاختبار ان مقدار الهطول تناقص في الخلطتين التي تستخدمان الركام المعاد تدويره وهذا يرجع لنسبة الامتصاص العالية التي يمتلكها، وأيضا التصاق بعض المونة ذات المسامية العالية بسطحه وكذلك قد تتواجد الشوائب الدقيقة العالقة به ذات المساحة السطحية الكبيرة بالنسبة لحجمها والذي يسبب زيادة استهلاك الماء الفعال للخلطة وبالتالي تقليل التشغيلية للخلطة. مقارنة مع المواصفات نجد ان قيم الهطول لانواع الركام اعطت تشغيلية متوسطة كما موضح بالجدول رقم (5).

**جدول رقم (5):** المواصفات الاميركية لتحديد نوع تطبيقات الركام حسب قيم الهطول,ASTM C143 and AASHTO T 119.

| الهطول | درجة التشغيلية | التطبيقات |
|---|---|---|
| 50–100 | متوسط | خلطات ذات قابلية تشغيل متوسطة يتم تدعيم الألواح المسطحة يدويًا. الخرسانة المسلحة العادية الموضوعة يدويًا؛ المقاطع المعززة بشدة مع الاهتزاز الميكانيكي. |
| 100–175 | مرتفع | خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية للمقاطع ذات التسليح المزدحم؛ قد لا تستجيب جيدًا للاهتزاز. |

### 4.2 نتائج الاختبارات الخرسانة الصلبة

#### 4.2.1 اختبار الضغط (Compressive sstrength)

بعد مرور فترة المعالجة و اختبار جميع العينات في الفترات الزمنية 3, 7, 14 و28 يوم 28 يوم كانت النتائج كالتالي جدول رقم (6). نلاحظ تقارب نتائج مقاومة الضغط للثلاثة عينات بعمر 7 ايام, مع أفضلية بسيطة لعينة الخلطة القياسية NA, وتبدأ الفروق في الاتساع بعد مرور 14 يوم حتى تصل مقاومة الضغط للعينات التي تستخدم الركام المعاد تدويره (RTT وRCA) الى ما يقارب 25% أقل من مقاومة الضغط للخلطة القياسية NA في نهاية الاسبوع الرابع. متوسط المقاومة كانت 17.32, 24.74, 32.72 و38.08 ميجا بسكال بعمر 3, 7, 14 و28 يوم علي التوالي. وصول مقاومة ا الضغط لمكعبات الخلطة المعدة من الركام المعاد تدويره من بقايا الخرسانة RCA بقيم متوسطة 15.72, 23.42, 28.43و31.73 ميجا باسكال خلال الفترات 3, 7, 14 و28 يوم على التوالي وهذا يعطي مؤشر على جودة الخرسانة وإمكانية استخدامها في الأعمال الانشائية التي لا تتطلب مقاومة الضغط عالية بشرط ضبط الخلطة و فرز بقايا الخرسانة من الشوائب.

نتائج مقاومة الضغط لمكعبات الخلطة المعدة من بقايا كسر بلاط التيرازو RTTجاءت مقاربة لنتائج لمكعبات الخلطة المعدة من الركام المعاد تدويره من بقايا الخرسانة RCA ,حيث جاءت بقيم متوسطة 13.66, 21.93, 25.35 و30.06 ميجا باسكال خلال الفترات 3, 7, 14 و28 يوم على التوالي,

من هذه النتائج نلاحظ ان استخدام الركام المعاد تدويره أمر ممكن تطبيقه بسهولة في الاعمال الخرسانية التي لا تتطلب مقاومة الضغط عالية مثل صب الأرضيات والأرصفة وأعمال الطرق وتعتبر هذه الانواع من أكثر العناصر استهلاكا للمواد في المشاريع الهندسة. يمكن كذلك استعمال الركام المعاد تدويره في العناصر الانشائية بخلطه بنسب محددة مع الركام الطبيعي وتوفير كميات ركام طبيعي تصل الى 50%. مع التطور في تقنيات عملية اعادة التدوير والفرز وضبط الجودة تتحسن مواصفات الركام معاد تدويره بشكل واضح، يجب الاستمرار والتوسع في هذا المجال وإجراء التعديلات في نسب الخلط أو نسبة الماء أو زيادة أضافات محسنة لاكتشاف تجاوب الركام معها ودراسة النتائج.

**جدول رقم (6):** قيم نتائج اختبار الانضغاط للخلطات الخرسانية حسب نوع الركام المستخدم.

| زمن التجربة (يوم) | NA | | RCA | | RTT | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\sigma_c$ ) ميجا (بسكال | الانحراف المعياري | $\sigma_c$ ) ميجا (بسكال | الانحراف المعياري | $\sigma_c$ ) ميجا (بسكال | الانحراف المعياري |
| 3 | 16.7 | 0.7 | 15.1 | 0.54 | 13.75 | 1.61 |
| | 18.1 | | 16.1 | | 15.95 | |
| | 17.1 | | 15.95 | | 12.82 | |
| 7 | 24.2 | 1.9 | 22.64 | 0.71 | 20.63 | 1.16 |
| | 23.2 | | 24.01 | | 22.3 | |
| | 26.9 | | 23.62 | | 22.85 | |
| 14 | 32.6 | 1.1 | 27.24 | 1.20 | 25.34 | 0.26 |
| | 31.7 | | 29.64 | | 25.09 | |
| | 33.9 | | 28.41 | | 25.61 | |
| 28 | 38.4 | 1.0 | 30.62 | 4.60 | 30.29 | 0.57 |
| | 37.0 | | 31.23 | | 29.41 | |
| | 38.9 | | 38.87 | | 30.49 | |

تظهر نتائج هذه الدراسة أنه مع تقدم تقنيات الفرز وإعادة التدوير ومراقبة الجودة، تحسنت جودة الكتل الخرسانية المعاد تدويرها بشكل كبير. لمعرفة كيفية استجابة الكتل الخرسانية لها ودراسة النتائج، يحتاج هذا المجال إلى الاستمرار في التوسع، وضبط نسب الماء أو الخلط، أو إضافة إضافات متميزة إضافية. يمكن الاستفادة من الكتل الخرسانية المعاد تدويرها (RCA) لبناء المباني الخرسانية، اعتمادًا على مصدر وجودة الكتل الخرسانية. هناك طريقة أخرى لحماية البيئة في المباني الخضراء وهي استخدام الكتل الخرسانية المعاد تدويرها للبناء ككتلة خشنة للخرسانة. كما هو موضح في الجدول 6، مقاومة الضغط عند 28 يومًا، كنتائج مقارنة.

## 5. الخاتمة

اظهرت النتائج في هذه الدراسة ان اعادة تدوير مخلفات الهدم عملية ذات جدوى واعطت نتائج مقبولة، يمكن استخدام الخرسانة المنتجة من ركام

معاد تدويره في العناصر الخرسانية الغير حاملة كالأرضيات الخرسانية، تصنيع البلوك، وأيضا في أعمال الطرق، كما يمكن استخدامها في هياكل انشائية عند خلطها بنسب معينة مع الركام الطبيعي او باستخدام الاضافات المناسبة. بينت ان تقليل التلوث البيئي ممكن من خلال إعادة تدوير مخلفات الهدم الخرسانية يساهم بشكل كبير في تقليل التلوث البيئي الناتج عن تراكم المخلفات في مواقع الدفن والنفايات، كذلك المحافظة على الموارد الطبيعية: تكلفة منخفضة :عادة ما تكون تكلفة معالجة وإعادة تدوير مخلفات الهدم أقل من تكلفة استخراج ونقل المواد الجديدة. إعادة استخدام الركام المعاد تدويره يقلل من استنزاف الموارد الطبيعية مثل الحصى والرمل.

## 6. التوصيات

تحسين جودة الركام المعاد تدويره بالفرز الجيد والتنقية من الشوائب أو بخلطه بنسب معينه مع الركام الطبيعي، كذلك استخدام الاضافات لتحسين خواص الخلطة للوصول الى نتائج مماثلة للخلطات التي تستخدم الركام الطبيعي.

دراسة تأثير نسبة الماء الي الاسمنت والإضافات الكيمائية وتغليف الركام بالبلويمر لتحسين خواص الخرسانة والتقليل من المسامية. العمل على دراسة هذا البحث في حالة خرسانة مسلحة بالحديد او بالألياف. تشجيع السياسات الحكومية :يجب على الحكومات وضع سياسات تشجع على إعادة تدوير مخلفات الهدم الخرسانية من خلال تقديم حوافز وتشريعات داعمة. العمل علي زيادة التوعية :ضرورة رفع مستوى الوعي بين المقاولين والمطورين حول فوائد استخدام الركام المعاد تدويره وتأثيره الإيجابي على البيئة.

## 7. المراجــع


[1]- Poon, C.S., (2007). Management of Construction and Demolition Waste. Waste Management, 27(2), 159-160.

[2]- Bansal, S., Singh, S.K., (2014). A Sustainable Approach towards the Construction and Demolition Waste. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 3, Issue 2, February ISSN: 2319-8753.

[3]- T. C. Hansen, Recycling of Demolished Concrete and Masonry. Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete. RILEM, 1992, E & FN Spon, London.

[4]- M. Surya, VVL Kanta Rao, P. Lakshmy, Recycled aggregate concrete for Transportation Infrastructure, Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG), 2013, 104, 1158 – 1167, Available on: https://www.researchgate.net/publication/275542909_Recycled_Aggregate_Concrete_for_Transportation_Infrastructure

[5]- Hansen, T.C. and Narud, H.,(1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse Aggregate. Concrete International, 5, 79-83.

[6]- M. Malešev, V. Radonjanin, G. Broćeta, Properties of recycled aggregate concrete, Contemporary Materials, 2014, 2, 239 – 249.

[7]- F. Debieb, S. Kenai, The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, Construction and building materials. 2008, 22, 886-893.

[8]- M..C Limbachiya, A. Koulouris, J.J. Roberts, and A.N Fried, Performance of recycled aggregate concrete, In: RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development; 6-7 Sep 2004, Koriyama, Japan. ISBN 2912143551

[9]- Bolden, J., Abu-Lebdeh, T., and Fini, E., (2013). Utilization of recycled and waste materials in various construction applications, American Journal of Environmental Science, 9 (1), 14-24, ISSN: 1553-345X.

[10]- Katz, A., (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, Cement and Concrete Research, 33(5), 703-711.

[11]- Hansen, T.C., (1986). Recycled Aggregates and Recycled Aggregate Concrete, Second State- of-the-Art Report Developments 1945-1985. Materials and Structures, 19, 201-246. Available on: http://dx.doi.org/10.1007/BF02472036

[12]- Marinković, S. Radonjanin, V. Malešev, M. Ignjatović, I. (2010). Comparative Environmental Assessment of Natural and Recycled Aggregate Concrete, Waste Manag. 30, 2255–2264.

[13]- Safiuddin, M. Alengaram, U.J. Rahman, M.M. Salam, M.A. Jumaat M. Z., (2013). Use of recycled concrete aggregate in concrete: a review, Journal of civil engineering and management, 19(6), 796–810.


### المراجع العربية


[14]- د. أحمد محمد، د. خالد عبد الله, (2018). استخدام الركام المعاد تدويره في الخرسانة, ,مجلة جامعة العلوم والتكنولوجيا – اليمن.

[15]- د. عبد الله صالح، د. محمد عمر,(2017). إعادة تدوير مخلفات البناء والهدم واستخدامها في إنتاج الخرسانة, مجلة جامعة الملك سعود – السعودية.

[16]- د. حسين عبد الله، د. فاطمة محمد. (2020) .استخدام الركام المعاد تدويره في تصنيع الخرسانة المستدامة, مجلة جامعة القاهرة, مصر.