

The Role of Compaction Energy in Increasing the Bearing Capacity of Paving Layers Constructed from Recycled Materials from Concrete Demolition Rubble

Dr. Rami Hanna *

(Received 28 / 1 / 2024. Accepted 23 / 4 / 2024)

□ ABSTRACT □

In the last twenty years, the phenomenon of using recycled materials from demolition rubble (especially materials from the products of recycling concrete rubble) has spread in the construction of road paving layers, whether in flexible road pavement or solid pavement. The recycled aggregates from the products of concrete demolition may have geotechnical and engineering properties. Various, some of them limit their use in creating the base layer, including maximum dry density, relative bearing capacity, C.B.R, and Los Angeles wear. In our research, we tested the development of the maximum dry density and the bearing capacity of the C.B.R depending on the applied energy, which in turn gave good results, as the maximum dry density increased by 18% when a number of strokes of 65 were applied to each of the five layers forming the Proctor mold, which was offset by an increase in the relative bearing capacity. The C.B.R. by 23%. However, the maximum increase rates for these materials stopped increasing steadily with the number of blows (70-75) blows, meaning that the increase reached 5.7% for the maximum dry density and 82.1% for the relative bearing capacity of the C.B.R.

Keywords: compaction energy - recycled materials - C.B.R - Proctor - road paving

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor , Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Lattakia, Syria .ramihanna@gmail.com

دور طاقة الرص في زيادة قدرة تحمل طبقات الرصف المنفذة من المواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون

د. رامي حنا*

(تاريخ الإيداع 28 / 1 / 2024. قُبِلَ للنشر في 23 / 4 / 2024)

□ ملخص □

انتشرت في العشرين سنة الأخيرة ظاهرة استخدام المواد المعاد تدويرها من أنقاض الهدم (وخاصة المواد من نواتج تدوير أنقاض البيتون) وذلك في إنشاء طبقات الرصف الطرقية إن كان في الرصف الطريقي المرن أو الرصف الصلب. قد يكون للحصويات المعاد تدويرها من نواتج هدم البيتون خواص جيوتكنيكية وهندسية متنوعة، حد بعضها من الاستخدام في إنشاء طبقة الأساس يذكر منها الكثافة الجافة العظمى وقدرة التحمل النسبية الـ C.B.R. واهتراء لوس انجلوس. اختبرنا في بحثنا هذا تطور الكثافة الجافة العظمى وقدرة التحمل الـ C.B.R. تبعاً للطاقة المطبقة والتي بدورها أعطت نتائج جيدة، حيث ازدادت الكثافة الجافة العظمى بمقدار 18 % عند تطبيق عدد ضربات 65 على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لقالب بروكتور قابلها زيادة في قدرة التحمل النسبية الـ C.B.R. بنسبة مقدارها 23%. لكن نسب الزيادة العظمى للمواد هذه توقفت عن الزيادة المتطردة بعدد ضربات (70-75) ضربة أي أن الزيادة بلغت 5.7% للكثافة الجافة العظمى و 82.1% لقدرة التحمل النسبية الـ C.B.R. .

الكلمات المفتاحية : طاقة الرص- المواد المعاد تدويرها - C.B.R - بروكتور- الرصف الطريقي

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
ramihanna@gmail.com

مقدمة:

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق نتيجة الطلب المتزايد على النقل إلى تزايد استهلاك المواد الأولية و خاصة الحصويات الصناعية من ناتج طحن الصخور الطبيعية القاسية، الأمر الذي نتج عنه تناقص متزايد في الكميات المتوافرة من الحصويات الجيدة عدا عن ارتفاع تكاليف إنتاجها ونقلها، مما خلق مشكلة جدية اعترضت منفذي الطرق تضاف إلى مشكلة التلوث البيئي الكبير الذي تسببه الكميات الكبيرة من المواد المحضرة من الصخور الطبيعية، والتي تتطلب نحت الجبال وتخريب التوازن البيئي، كل تلك العوامل مجتمعة أدت إلى خلق تحد كبير لإنجاز أعمال المواصلات والبناء بمراد طبيعية وكميات أقل، لكن ببدائل مفيدة متوفرة وتسد العجز الحاصل. دفع هذا التحدي إلى تطوير تقانات جديدة خفضت التكاليف من جهة و حققت المواصفات المطلوبة للمواد البديلة من جهة أخرى، فتم تركيز الجهود على إيجاد تكنولوجية تحقق الغرض من الإنشاء والصيانة و إعادة التأهيل لطرق المواصلات وبكلفة أقل، فكان من أهم التكنولوجيات التي حققت نتائج جيدة، تكنولوجية إعادة تدوير المواد من أنقاض الهدم أو من مواد ناتجة من تصنيع المعادن وبقايا إنشاء المباني والطرق. تجدر الإشارة أن عملية إعادة تدوير المواد بغية إعادة استخدامها في الإنشاء الطرقي وأعمال البناء والموجودة في المنشآت الهندسية وأنقاضها بكافة أنواعها، بدأت تأخذ حيزاً هاماً من اهتمام الدول المتقدمة بغية إعادة استخدام نواتجها بشكل ممنهج وسليم، وبدأت في معظم الدول كالولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا وفرنسا والسويد وكندا وأستراليا والدنمارك أبحاث عديدة حول إعادة استخدام المواد وتدويرها واستخدمت كميات كبيرة منها في إنشاء الرصف الطرقي والأعمال البيتونية الطرقية والهندسية[1,3,4,7]. لكن رغم التوسع الكبير في استخدام نواتج الهدم في إنشاء الطرق إلا أنه لا توجد مواصفات محددة يمكن تعميمها حتى ضمن البلد الواحد وذلك للتنوع الكبير في نواتج الهدم عدا عن اختلاف شكل التشظي لنواتج الهدم باستخدام الكسارات الأوتوماتيكية عدا عن اختلاف كمية وحجم المونة وقساوتها والتي تغطي عادة الحصويات في أنقاض هدم البيتون. بتقديرنا هذا يقودنا إلى أن استخدام المواد المعاد تدويرها من أنقاض الهدم وخاصة من أنقاض البيتون في بناء وإنشاء الطرق (طبقات الرصف)، تتطلب تقنيات رص محددة ديناميكية أو استاتيكية أو كليهما معا .

تعتبر عملية وآلية رص التربة غاية في الأهمية لنجاح مهمة إنشاء الرصف الطرقي والردميات الطرقية. خاصة لإنشاء طبقات الرصف، يجب رص جميع المواد المشكلة لها وتحقيق درجات رص وكثافات معينة تحقق مواصفات وشروط خاصة بالطريق وطبقات رصفه [12,13]، وعادة تحدد تجربة بروكتور المواصفات الفنية للمادة المرصوفة ومعالمها الرئيسية(الكثافة الجافة العظمى γ_{dmax} والرطوبة الأصولية w) [1,2,6]. عموماً وبنتيجة تطبيق طاقة الرص التصميمية المطلوبة تحصل المواد المنفذة على الكثافة الجافة المثالية، وتكتسب عندها المواد المرصوفة مسامية وقوة قص تكونان بمثابة انعكاس مباشر لقدرة تحملها الجيدة. وكما هو معلوم أيضاً أن للرص النظامي التصميمي تأثير كبير على قدرة تحمل الرصف، فالرص الجيد هو ضمان لمستوى خدمة الطريق على المدى الطويل وخاصة خلال العمر التصميمي[3,5,9]، وينفذ الرص عادة باستخدام أنواع مختلفة من الإليات، منها خاصة المداحي لإسطوانية المعدنية والمطاطية ومداحي أرجل الغنم، وأخيراً تستخدم على نطاق واسع الكتل الثقيلة الساقطة،وزن الكتل الساقطة يصل إلى (7-15)طن وارتفاع سقوطها على الطبقة الخاضعة للرص يصل إلى ما بين (5-15) م. ولتحقيق الكثافة المطلوبة للمواد الخاضعة لطاقة رص ما في الطبقة المنفذة، تنفذ آليات الرص عدد محدد من الأشواط(عدد مرات عبور آلة الرص على الطبقة المنفذة من أي مادة أو تربة ضمن مسافة محددة) لينتج منها طاقة الرص المطلوبة التي يجب أن تحاكي بالنتيجة طاقة رص بروكتور أو أي طاقة رص تصميمية[4,5,8,9].

هناك أبحاث تشير إلى أن الضغط الديناميكي الإهتزازي الناجم عن حركة المداحي المعدنية الملساء أو ما شابهها على طبقات رصف الطرق، تعطي أفضل نتائج عند رص المواد الغير متماسكة أو التي تتمتع بتماسك قليل و تحوي مواد ناعمة بنسب منخفضة وذلك على كامل عمق الطبقة المرصوفة (هذا المثال ينطبق على بحثنا في تحديد جدوى زيادة طاقة الرص للمواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون لزيادة كثافتها وقدرة تحملها)، بالمقارنة مع نتائج الرص مع العمق للمواد التي تحوي مواد ناعمة، وبكلام آخر يتناقص تأثير نفس طاقة الرص مع العمق لكلا المادتين مع زيادة تماسك (أي زيادة نسبة المواد الناعمة في الخليط الحصى) المواد المرصوفة أو المضغوطة. [5,6]

أثبتت العديد من التجارب ومنها تجارب الرص الديناميكي أن تقوية أساس التربة الحبيبية الخشنة تكون بزيادة طاقة الرص حيث تؤدي بالنتيجة الطاقة المصروفة إلى تكسير الحبيبات الخشنة للتربة من خلال تأثير الإجهاد المنقول إليها بما يضمن "التوازن المكاني الحدي المناسب" بين الجزيئات قبل وبعد التكسير بما يسمى طريقة التداخل، مع العلم أن الحصى المعاد تدويرها من بيتون الهدم محاطة على الأغلب بملاط اسمنتي بنسبة (10-30) % وهذا كاف إلى أحداث تغير جوهري في كثافة التربة وقدرة تحملها .

تعتبر طريقة الرص الديناميكي هذه باستخدام الكتل الساقطة أو المداحي الرجاجة ذات الوزن الثقيل مفيدة في تحسين السلوك الميكانيكي الأساسي لطبقات التربة ، وخاصة التربة المشكلة من المواد الحبيبية قليلة التماسك . حيث في الآونة الأخيرة ، تم استخدام طريقة الرص الديناميكي على نطاق واسع في العديد من المجالات الهندسية ، مثل إنشاء المطارات والموانئ البحرية والسدود والسكك الحديدية [4,6,13].

في بحثنا هذا كان التفكير بزيادة طاقة الرص عن الطاقة التي حددتها بروكتور المعدلة لمواد إنشاء الطرق (56) ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس وبمطرقة وزنها 4.5كغ وارتفاع سقوط 45 سم) وذلك بتطبيق عدد ضربات (65 و 70 و 75) على كل طبقة من الطبقات المشكلة لقلب بروكتور المعدل، مع المحافظة على وزن المطرقة وارتفاع سقوطها، بالمقابل كان علينا استنتاج التطور الحاصل للكثافة الجافة العظمى للمواد والمقابلة لكل رطوبة أصولية ولكل طاقة على التوالي من عدد الضربات المطبقة على كل طبقة (65 و 70 و 75)، بعدها تحتم علينا عند كل كثافة جافة عظمى مقابلة لكل من عدد الضربات (65 و 70 و 75) حساب تطور قدرة التحمل النسبية ال C.B.R.

أهمية البحث و أهدافه :

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (مواد الردميات و طبقات الرصف الطرقية) ويتخصص في تجريب الاستخدام الأمثل للمواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون . يهدف هذا البحث إلى التحقق من إمكانية زيادة طاقة الرص المطبقة على المواد المعاد تدويرها لتحسين خواص بروكتور وخواص قدرة التحمل النسبية (ال C.B.R)، حيث أننا اعتبرنا طاقة الرص المعدلة لبروكتور غير كافية لاكتساب المواد في الطبقة الإنشائية أن كان في الرصف الطرقي أو الردميات الطرقية المنفذة منها، الكثافة الجافة العظمى وقدرة التحمل النسبية المثالية، وخاصة للمواد المعاد تدويرها من أنقاض البيتون.

طرائق البحث ومواده:

1-المواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون : تم استرجار كمية محددة من أنقاض الهدم من أحد مكبات مدينة اللاذقية وبعد استبعاد حديد التسليح والشوائب المعدنية والخشبية وغيرها، تم تكسيرها في كسارة بمخابر كلية الهندسة المدنية شكل رقم (1) وتم توجيه العفاسات بحيث نحصل على تدرج حبي أقطار حصوياته الأعظمي 63م شكل رقم (2).



شكل رقم (1) الكسارة المستخدمة في البحث الشكل (2) مادة الحصى المعاد تدويرها من أنقاض البيوتون

تم تحديد التركيب الحبي الوسطي للمزيج النهائي وأجريت عليها سلسلة التجارب المطلوبة بالبحث.

2- أجهزة الرص و ال C.B.R الآلية : تم الاعتماد على أجهزة بروكتور المعدلة وجهاز ال **C.B.R** في إنجاز مراحل البحث حيث تم إعداد وتنفيذ تجارب بروكتور وفق المراحل التالية [12] :

- 1- "تجربة بروكتور المعدلة حسب نظام ال AASHTO T-180 ورقمت ب 1، نوضح ذلك بالجدول رقم (1)،
 - 2- "تجربة بروكتور بال قالب المعدل حسب نظام ال AASHTO T-180 لكن مع تعديل طاقة الرص لتصبح 65 ضربة على طبقة ورقمت ب 2، نوضح ذلك بالجدول رقم (1)،
 - 3- "تجربة بروكتور بال قالب المعدل حسب نظام ال AASHTO T-180 لكن مع تعديل طاقة الرص لتصبح 70 ضربة على طبقة ورقمت ب 3، نوضح ذلك بالجدول رقم (1)،
 - 4- "تجربة بروكتور بال قالب المعدل حسب نظام ال AASHTO T-180 لكن مع تعديل طاقة الرص لتصبح 75 ضربة على طبقة ورقمت ب 4، نوضح ذلك بالجدول رقم (1)،
- جدول رقم (1) يبين آلية تنفيذ تجارب بروكتور بطاقات رص مختلفة (56 و 65 و 70 و 75) ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لقالب بروكتور

فتحة المنخل	المواد		المطرقة			القالب Mould			1-تجربة الأستو المعدلة AASHTO T 180
	عدد الطرقات لكل طبقة	عدد الطبقات	القطر cm	ارتفاع السقوط cm	الوزن kg	الحجم cm ³	الارتفاع cm	القطر cm	
19	56	5	5	45	4.5	2066	11.7	15.2	2-تجربة بروكتور المعدلة بطاقة رص 2
19	65	5	5	45	4.5	2066	11.7	15.2	
19	70	5	5	45	4.5	2066	11.7	15.2	3-تجربة بروكتور بطاقة رص 3
19	75	5	5	45	4.5	2066	11.7	15.2	4-تجربة بروكتور بطاقة رص 4

العمل المخبري التجريبي :

حرصنا في هذا البحث على انتقاء عينات عشوائية من مجموعة كتل بيتونية منقولة إلى موقع المكب أحجامها 30-50 سم تكفي عند نقلها إلى المخبر وبعد تكسيدها بإتمام التجارب المخبرية كاملة وفق المخطط الموضوع لذلك. تم تكسير الكتل البيتونية إلى أحجام تسمح بتمريرها على عفاص الكسارة الموجودة بمخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين. يستند البحث إلى دراسة مخبرية تجريبية على عينات الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون حصراً، وقسم العمل المخبري التجريبي إلى مرحلتين:

الأولى: تحديد مكونات وأقطار الحصويات وسطياً بالإضافة لتحديد خواص لوس انجلوس والمكافئ الرملي وحدود اتربرغ ونسبة التشرب والوزن النوعي الواسطي و بروكتور المعدلة ، إلا أن طاقة الرص تنتج من تطبيق 56 ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة للقالب يليه، تحديد قدرة التحمل ال C.B.R المقابلة لتلك الطاقة، **الثانية:** تحديد خواص بروكتور للمواد المعاد تدويرها وفق طاقات رص مختلفة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لقالب بروكتور أي عدد ضربات (65 و 70 و 75) ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لقالب بروكتور المحددة مواصفاته بالجدول رقم (1) أعلاه، ومن بعد تحديد الكثافة الجافة العظمى والرطوبة الأصولية عند كل طاقة رص تصميمية من الطاقات المذكورة تم تحديد تطور قدرة التحمل ال C.B.R كلا على حده، وفيما يلي نتائج تسلسل خطوات العمل المخبري :

1- المرحلة الأولى :اختبارات الوزن النوعي والتركيب الحبي المنخلي وحدود اتربرغ و بروكتور المعدلة وال C.B.R

ولوس انجلوس والمكافئ الرملي على عينات الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون:

نبين في الجدول رقم (2) النتائج الواسطية لاختبارات الوزن النوعي والتركيب الحبي المنخلي وحدود اتربرغ و بروكتور المعدلة وال C.B.R ولوس انجلوس والمكافئ الرملي على عينات الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون **جدول رقم (2) يمثل الخصائص الواسطية للحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون وفق المرحلة الاولى**

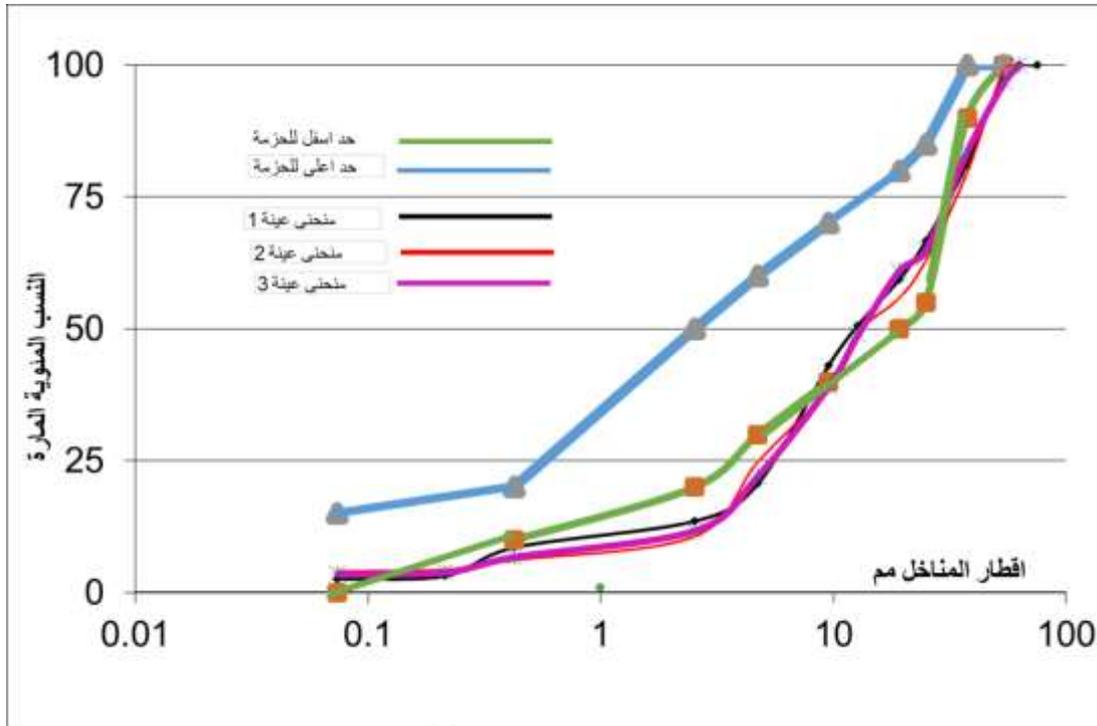
وسطي ثلاث عينات	خصائص المواد الحصوية
25.21	G _S -1 الوزن النوعي ASTM 854- 58 KN/M ³ [12]
5.39	2-تجربة التشرب للحصويات %
الجدول 3	3-التركيب الحبي ASTM 422-63 [11,12]
NLL	حد السيولة LL% [11,12]
NPL	حد اللدونة PL %
NPI	قربنة اللدونة PI %
19.3	5-نتائج تجربة بروكتور المعدلة الكثافة الجافة العظمى AASHTO T-180 $\gamma_{dmax}(KN/M^3)$
9.8	الرطوبة الأصولية W% [11,12]
76	6-نسبة التحمل الكاليفورنية C.B.R% بعد الاشباع
0.0	الانتفاخ النسبي % ASTM 1883-94 [11,12]
LA=39.2	7-اهتراء لوس انجلوس [11,12] ASTM-T 96-77 %
87	8- المكافئ الرملي % [11,12] ASTM-D 2419-74

نوضح على الجدول رقم (3) والشكل رقم (3) نتائج التحليل الحبي لثلاث عينات من الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون مع الحزمة المقترحة لمواد طبقة ما تحت الأساس.

جدول (3) تجربة التحليل الحبي لعينات الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون

رقم المنخل	فتحة المنخل mm	نسبة المار %			الحزمة المقترحة نسبة المار %	
		عينة رقم 3	عينة رقم 2	عينة رقم 1	الدنيا	العظمى
2,5Inch	63	100	100	100		
2 Inch	50	99.2	96.7	98.2	100	100
1,5 Inch	37.5	79.6	83.6	81.3	90	100
1 Inch	50	63.0	65.1	66.7	55	85
3/4 Inch	19	55.8	61.0	59.3	50	80
1/2 Inch	12.5	49.3	48.8	50.6		
3/8 Inch	9.5	38.7	39.1	43	40	70
No 4	4.75	24.8	22.2	20.7	30	60
No8	2.54	10.7	11.8	13.6	20	50
No40	0.475	6.2	6.8	8.6	10	20
No80	0.23	4.4	3.9	3.2		
No200	0.075	4.1	3.6	2.6	0	15

نمثل على الشكل رقم (3) نتائج التركيب الحبي المسجلة ومقارنتها بالحزمة النظامية وفق المتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 .



شكل رقم (3) نتائج التركيب الحبي لثلاث عينات حصوية معاد تدويرها من أنقاض البيتون مع الحزمة المقترحة من مواد طبقة ما تحت

الأساس بحسب المواصفات العامة للمواصلات الطريقية [12]2002

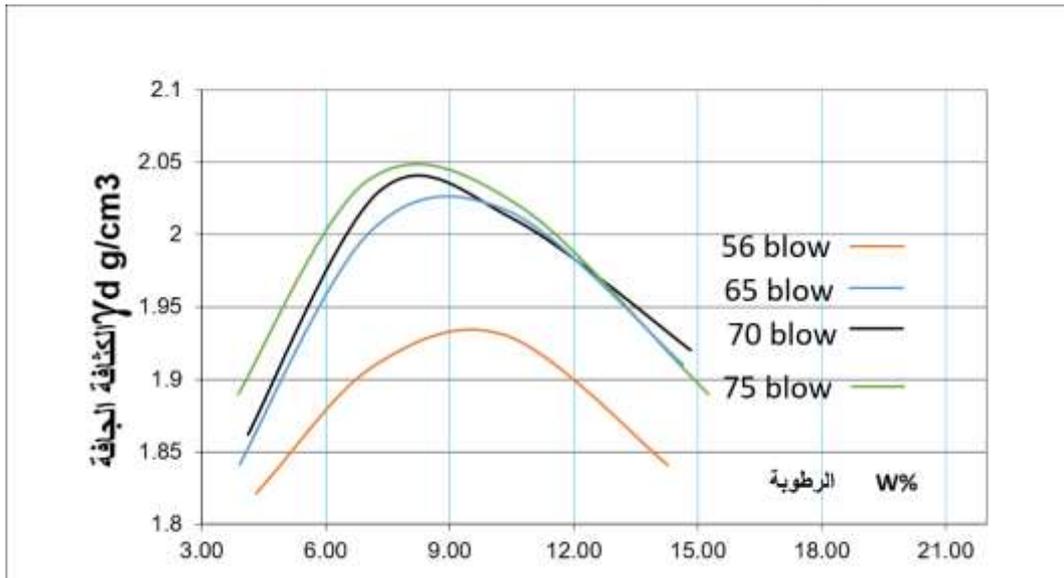
4-2- المرحلة الثانية: اختبارات بروكتور وفق طاقات رص من عدد ضربات (65-70-75) لكل طبقة وال C.B.R الموافقة لكل منها على حدة :

4-2-1 - اختبارات بروكتور على المواد المعاد تدويرها وفق طاقات رص على طبقة (65-70-75) ضربة تم في هذه المرحلة تنفيذ اختبارات بروكتور بطاقات رص أكبر من طاقات بروكتور المعدلة (AASHTO T-180)، أي أنه تم تطبيق عدد ضربات على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة للقالب (65 و 70 و 75) ضربة، وتم تحديد الكثافة الجافة العظمى والرطوبة الاصلوية عند كل طاقة رص على التتالي كل على حدة [12].
نمثل على الجدول رقم (4) نتائج بروكتور لطاقات الرص (56 و 65 و 70 و 75 ضربة على كل طبقة)

جدول رقم (4) نتائج بروكتور وفق طاقات الرص (56 و 65 و 70 و 75 ضربة على كل طبقة)

الطاقة على كل طبقة (عدد الضربات)	56	65	70	75
الكثافة الجافة العظمى γ_{dmax} (gr/cm ³)	1.93	2.03	2.04	2.05
الرطوبة المثالية الاصلوية W%	9.8	8.5	7.5	7.3

نبين على الشكل رقم (4) نتائج ومخططات بروكتور لكل من طاقات الرص (56 و 65 و 70 و 75) ضربة،



شكل رقم (4) يمثل نتائج تجربة بروكتور وفق طاقات الرص (56 و 65 و 70 و 75) ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة للقالب بروكتور نلاحظ من الشكل رقم (4) تزايداً ملحوظاً في الكثافة الجافة العظمى مع تزايد طاقة الرص إلى أن الطاقتين المقابلتين لعدد ضربات 70 و 75 ضربة كانت نتائجها متشابهة تقريباً مما دفعنا إلى الاكتفاء بعدد ضربات 75 وذلك للحفاظ على الحصويات القاسية من التهشم والتكسير المفرط وحفاظاً على النسيج الحصوي.

4-2-2 - اختبارات قدرة التحمل ال C.B.R على المواد المعاد تدويرها الموافقة لطاقات رص على طبقة (65-70) ضربة:

بعد تحديد خصائص بروكتور للمواد المعاد تدويرها من أنقاض الهدم والممثلة نتائجها بالجدول رقم (4) والشكل رقم (4)، تم تحضير قوالب ال C.B.R وفق الكثافة الجافة العظمى والرطوبة الاصلوية المقابلة لكل طاقة رص مذكورة سابقاً،

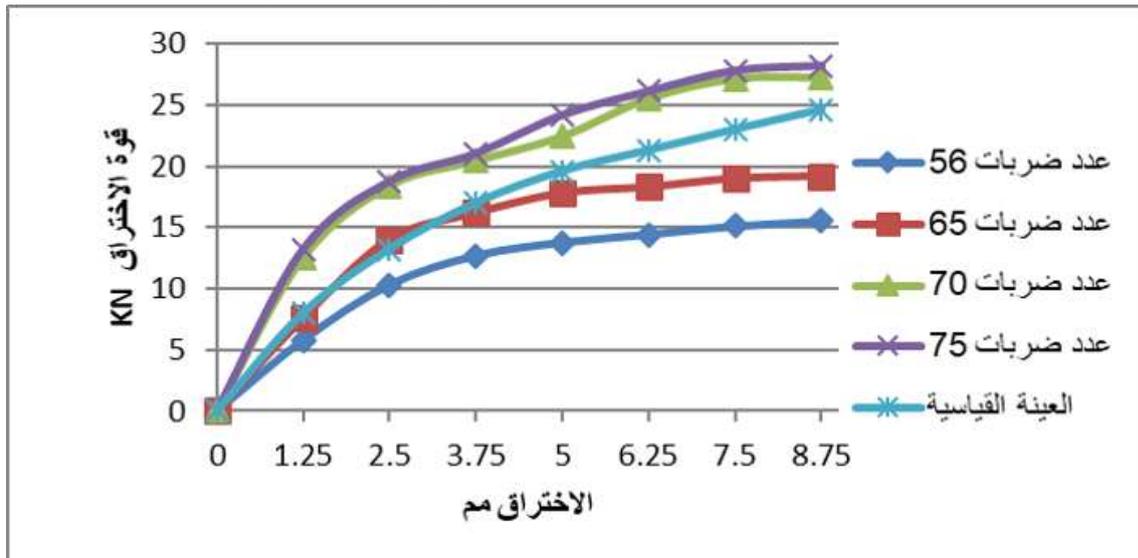
وتم تنفيذ تجارب الـ **C.B.R** لكل منها على حدة. نوضح بالجدول رقم (5) النتائج الرقمية لتجارب الـ **C.B.R** وعلى الشكل رقم (5) منحنيات الـ **C.B.R**، أما على الشكل رقم (6) فيمثل القيم النهائية التصميمية لنتائج الـ **C.B.R** لكل طاقة رص من الطاقات (56 و 65 و 70 و 75 ضربة) على حدة.

جدول (5) يمثل نتائج اختبارات الـ **C.B.R** وفق مراحل زيادة طاقة الرص على عينات الحصى المعاد تدويرها من هدم البيوتون

قوة الاختراق المسجلة لعينات الـ C.B.R وفق عدد الضربات المطبقة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لكل قالب مقدرة ب KN								
الـ C.B.R%	75 لكل طبقة	الـ C.B.R%	70 لكل طبقة	الـ C.B.R%	65 لكل طبقة	الـ C.B.R%	56 لكل طبقة	الاختراق مم
	0		0		0		0	0
	13.2		12.5		7.6		5.8	1.25
142.0	18.76	139	18.38	106	14.03	78	10.32	2.5
	21.01		20.42		16.2		12.7	3.75
124	24.17	115	22.4	91	17.82	71	13.77	5.0
	26.12		25.5		18.32		14.43	6.25
	27.8		27.1		19.01		15.1	7.5
	28.2		27.22		19.2		15.5	8.75

ملاحظة :

ان قوة الاختراق المقابلة لاختراق 2.5 مم للعينة النظامية القياسية من مقال كاليفورنيا تساوي 13.24 KN و قوة الاختراق المقابلة لاختراق 5.0 مم للعينة النظامية القياسية من مقال كاليفورنيا تساوي 19.6 KN.



شكل رقم (5) منحنيات الـ **C.B.R** وفق طاقات رص مقابلة لعدد ضربات (56-70-75) على كل من الطبقات الخمس المشكلة لقالب الـ **C.B.R**



الشكل رقم (6) يمثل القيم النهائية التصميمية لنتائج الـ C.B.R لكل طاقة رص من الطاقات المقابلة لـ (56 و 65 و 70 و 75) ضربة على حدة

النتائج والمناقشة:

1- أظهرت النتائج التي توصل إليها البحث تزايداً ملحوظاً في كثافة المواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون وفي قدرة التحمل النسبية الـ C.B.R، وبتقديرنا أن كل الزيادات المذكورة مع تزايد الطاقة المطبقة، كانت بسبب أن الحصىات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون هذه محاطة بمادة الملاط الاسمنتي القابلة للتحطم والتي بنتيجة الرص أعادت هيكله النسيج الحصى الكلي بنتيجة تكسيورها إلى وضع أفضل من حيث الكثافة والترابط والتجميع، عدا عن أن طاقة الرص هذه تحفز نشاط السمنت الذاتي للملاط بفضل وجود مادة الاسمنت فيها [7, 8, 9]

2- بينت نتائج بروكتور أنه مع زيادة الطاقة المطبقة تزداد الكثافة الجافة العظمى وتتنخفض الرطوبة الأصولية علماً أن نسب الانخفاض أصبحت شبه ثابتة من الطاقة المقابلة لعدد ضربات (70-75 ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس المشكلة لقالب بروكتور) وبلغت 25.5%. قابليها زيادة في الكثافة الجافة العظمى قيمة مقدارها 6.22% كل ذلك بالمقارنة مع نتائج بروكتور وفق طاقة رص 56 ضربة على كل طبقة. علماً أنه تراوحت الزيادة في الكثافة الجافة العظمى من الطاقة 65-70 بالمقارنة مع الطاقة 56 قيم مقدارها 5.2 إلى 5.7% على التوالي. هذا يدل على الدور الهام لطاقة الرص في زيادة الكثافة الجافة العظمى والتي حتماً سيقابلها زيادة في ثبات ومقاومة الطبقات المشكلة منها لاحقاً.

3- بينت نتائج تجارب الـ C.B.R أنه مع زيادة طاقة الرص المطبقة تزداد قدرة التحمل للمواد المعاد تدويرها من أنقاض الهدم ويمكن أن تمثل تطور قدرة التحمل الـ C.B.R وفق زيادة الطاقة المطبقة في قوالب الـ C.B.R بالجدول رقم (7):

طاقة الرص (ضربة على كل طبقة من الطبقات الخمس)	75	70	65	56
قدرة التحمل الـ C.B.R	142	139	106	78
الزيادة بقدرة التحمل ب %	2.16←	31.1←	35.9←	
الزيادة بقدرة التحمل ب %	82.1←			

نستنتج من الجدول رقم (7) أن تطور قدرة التحمل بين 70 و 75 ضربة أصبح ضئيلاً ولم تتجاوز الزيادة في قدرة التحمل عن 2.16% وهذا يدل على أن الحصىات أخذت التموضع الحدي بين بعضها البعض وبالتالي لا حاجة

لتطبيق ضربات أعلى من 70 ضربة على كل طبقة حرصاً على تطبيق طاقة رص مثالية عند تنفيذ طبقات الرصف المرن (ما تحت الأساس أو الأساس) تحقق شروط تنفيذ جيدة باستخدام مداحي زجاجة باستطاعات تؤمن الكثافة التصميمية المطلوبة.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- هناك جدوى من تطبيق طاقة رص تزيد عن طاقة رص بروكتور المعدلة على الحصويات المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون بسبب وجود المونة الإسمنتية المحيطة بكل حصوية وينسب تتراوح بين (10-35) %.
- 2- لا ينصح بزيادة طاقة الرص بزيادة عدد الضربات على كل طبقة من طبقات قالب بروكتور عن 75 ضربة وذلك لعدم جدوى من صرف الطاقة الإضافية كما أن زيادة الطاقة عن هذا الحد ممكن أن تتسبب بتهديم الحصويات وإحداث خللاً كبيراً في التحليل الحبي.
- 3- إن حالة الدراسة هذه تعتبر إفرادية وكل نوع حصويات معاد تدويرها من أنقاض الهدم تتطلب دراسة مفصلة لتحديد قدرة التحمل التصميمية وخواص المواد المقابلة لطاقة رص محددة، كون المواد المعاد تدويرها من أنقاض هدم البيتون تختلف حصوياتها من حيث التدرج الحبي ومن حيث حجم المونة الإسمنتية المحيطة بها .

References:

- [1]-Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M. M. & Bo, M. B. (2013). Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications. Originally published in *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1077-1088.
- [2](Poon and han 2006).Tam, V. W. Y., and Tam, C. M. (2007). “Crushed aggregate production from centralized combined and individual waste sources in Hong Kong.” *Constr. Build. Mater.*, 21(4), 879-886.
- [3]- **Sajjad Pourkhorshidi 1,2,***, **Cesare Sangiorgi 1** , **Daniele Torreggiani 2** and **Patrizia Tassinari 2** Using Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in Unbound Layers of Pavements Sustainability 2020, 12, 9386; doi:10.3390/su12229386
- [4] **Xi Li , Jing Li, Xinyan Ma, Jidong Teng, and Sheng Zhang** Numerical Study of the Dynamic Compaction Process considering the Phenomenon of Particle Breakage Hindawi Advances in Civil Engineering Volume 2018, Article ID 1838370, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2018/1838370>
- [5] **Cezary Kraszewski, Leszek Rafalski and Beata Gajewska**- Effect of Compaction Ratio on Mechanical Properties of Low-Strength Hydraulically Bound Mixtures for Road Engineering. *Materials* 2022, 15, 1561. <https://doi.org/10.3390/ma15041561>
- [6] Yesim GURTUG, Asuri SRIDHARAN Prediction of Compaction Behaviour of Soils at Different Energy Levels -Marmara University, grant number FEN-D-110315-0073
- [7] Andrew Ghea Mahardika - Analysis of Soil Compaction using Proctor Standards in Highway Construction Design. *Journal of Physics: Conference Series* 1933 (2021) 012084 IOP Publishin doi:10.1088/1742-6596/1933/1/012084
- [8] **Laura Garach et al** -improvement of Bearing Capacity in Recycled Aggregates Suitable for Use as Unbound Road Sub-Base-Material 2015 Academic Editor: Jorge de Brito

- [9] Shaun Tolsma, Ingrid Torfgård -RECYCLING OF CONCRETE FOR SUSTAINABLE ROAD CONSTRUCTION ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2018/08-SE Department of Engineering sciences, Construction engineering, Uppsala University.
- [10] Sajjad Pourkhorshidi , Cesare Sangiorgi , Daniele Torreggiani and Patrizia Tassinari -Using Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in Unbound Layers of Pavements. Sustainability 2020, 12, 9386; doi:10.3390/su12229386
- [11] Glaydson Simões dos Reis *et al* -Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition- Materials 2021, 14,1700.<https://doi.org/10.3390/ma14071700>.
- [12] The Technical Conditions and Specifications Issued by the General Institution of Road Transportation, Damascus, 2002.
- [13] Vahid AYANA et al -COMPACTION ASSESSMENT OF RECYCLED AGGREGATES FOR USE IN UNBOUND SUBBASE APPLICATION- JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT ISSN 1392-3730 print/ISSN 1822-3605 online 2014 Volume 20(2): 169–174