Studying The Physical And Mechanical Properties Of Roller Compacted Concrete Used In The Construction Of Gravity Dams

Dr. Mounzer Hammad*
Dr. Ali Kheirbek**
Ali Fissal Blidi***

(Received 27 / 2 / 2023. Accepted 12 / 4 / 2023)

□ ABSTRACT □

Roller Compacted Concrete (RCC) is usually used in paving roads and airports and building block structures as a result of its quality represented by high strength , speed of implementation and low construction cost.

In order to reduce the amount of building materials (portland cement) thus achieving economic savings, the tendency was to use Roller Compacted Concrete RCC to build gravity dams, several concrete mixtures have been designed with local materials and inexpensive additives (marble powder), which are used as a substitute for fly ash and natural pozzolan, which are commonly used in building RCC dams.

In this research, the physical and mechanical properties of the produced concrete were studied, and we reached a mixture using low quantity cement 150 kg/m^3, which achieved a high density 2540 Kg/m^3 and compressive strength 14.6 MPa, which is very good for the requirements of concrete used in dams, as well as achieving direct tensile strength 1.56 MPa and impermeability to water penetration.

Keywords: Roller Compacted Concrete, Marble Powder, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Permeability.

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

*Professor, Department Of Water Engineering And Irrigation, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, lattakia, Syria.

** Professor, Department Of Management Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Postgraduate Student (Master), Department Of Water Engineering And Irrigation, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, lattakia, Syria.

دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المرصوص بالدحي المستخدم في تشييد السدات المائية

د. منذر حماد*

د. علي خيربك **

علي فيصل بليدي ***

(تاريخ الإيداع 27 / 2 / 2023. قُبِل للنشر في 12/ 4 / 2023)

□ ملخّص □

عادةً مايستخدم البيتون المرصوص بالدحي (Roller Compacted Concrete) RCC في أعمال رصف الطرق والمطارات وبناء المنشآت الكتلية، نظراً لجودته المتمثلة بالمقاومة العالية وسرعة التنفيذ وإنخفاض كلفة إنشائه.

وبهدف التقليل من كميات مواد البناء (الإسمنت البورتلاندي) وبالتالي تحقيق الوفر الاقتصادي، تم التوجه نحو استخدام البيتون المرصوص بالدحي لبناء السدود الثقلية، حيث تم العمل على تصميم عدة خلطات بيتونية بمواد محلية وإضافات رخيصة الثمن (الفيلر الكلسي) والمستخدمة بديلاً عن الرماد المتطاير والبوزولان الطبيعي الشائع استخدامهما في بناء سدود RCC.

تم في هذا البحث دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المنتج وقد توصلنا إلى خلطة بعيار إسمنت منخفض $150\ Kg/m^3$ حقق كثافة عالية $2540Kg/m^3$ ومقاومة على الضغط البسيط 14.6 MPa والتي تعدّ جيدة جداً لمتطلبات البيتون المستخدم في السدود، وكذلك حقق مقاومة على الشد المباشر 1.56 MPa ، وكتامة لاختراق الماء.

الكلمات المفتاحية: البيتون المرصوص بالدحي، الفيلر الكلسي، مقاومة الضغط البسيط، مقاومة الشد بالفلق، النفاذية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* أستاذ- قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

**أستاذ- قسم هندسة وإدارة التشييد- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

***طالب دراسات عليا (ماجستير)- قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

مقدمة:

يعرف البيتون المرصوص بالدحي RCC (Roller Compacted Concrete) بأنه عبارة عن مزيج خاص من البيتون يحتوي على المكونات الأساسية للبيتون التقليدي ولكن بنسب متفاوتة مع استبدال جزئي للإسمنت البورتلاندي بالرماد المتطاير(Fly Ash) أو خبث الأفران العالية (FurnacSlag)، وهو بيتون جامد نسبياً يتم تجميع مواده باستخدام الضغط الاهتزازي المطبق من قبل المداحي، و من أجل تحقيق التماسك الفعال يجب أن يكون جامداً بدرجة كافية لدعم وزن المعدات الاهتزازية (المداحي) ولكن طرياً بما يكفي للسماح بالتوزيع المناسب للخلطة الإسمنتية على كامل الكتلة المراد صبها (عملية الفرش)، حيث يتم تشييد المقاطع البيتونية على طبقات أفقية متعاقبة بسماكة (30 سم) للطبقة الواحدة لتشكل ميولاً باتجاه التيار المائي على شكل درج خرساني، وبمجرد فرش الطبقة وضغطها يمكن تنفيذ الطبقة التي تليها **[1-2]**.

يعد استبدال الإسمنت البورتلاندي بالرماد المتطاير(Fly Ash) أو خبث الأفران العالية (FurnacSlag) ركيزة هامة في هذه التكنولوجيا لأن الحرارة الناتجة عن تفاعلات الإماهة للرماد المتطاير أقل بكثير من نظيرتها الناتجة عن إماهة الإسمنت البورتلاندي، والذي بدوره يقلل من الأحمال الحرارية على المنشأة كما يقلل من إمكانية حدوث التشققات التي تعد من أخطر المشاكل التي تواجه المنشآت المائية **[3-4]**.

نتيجة لعدم توافر الرماد المتطاير في سوريا تم استخدام الفيلر الكلسي كإضافة صلبة وناعمة للمزيج تملأ الفراغات لتأمين المزيد من الرص بالإضافة إلى تحسين المقاومة والديمومة نتيجة لزيادة اكتناز الخلطة وزيادة كثافتها **[5-6-7-8-9-10-11]**.

استخدم البيتون المرصوص بالدحي RCC في البداية لسد الفجوات وبناء الأساسات التحتية وفي أعمال الرصف البيتوني، وقد ازداد استخدامه مع الوقت في بناء السدود الثقالية نظراً لجودته والتي تتمثل بالمقاومة العالية وانعدام الهبوطات وكذلك لسرعة تنفيذه وانخفاض كلفة إنشائه **[12-13]**.

أهمية البحث وأهدافه:

مبررات البحث والهدف منه:

نتيجة الحصار الاقتصادي على سوريا وما خلفه من تداعيات كان أبرزها ارتفاع كلف مواد البناء، وبهدف تخفيض الانبعاثات الضارة الناجمة عن صناعة الإسمنت البورتلاندي مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون، أصبح من الضروري التوجه نحو استخدام البيتون المرصوص بالدحي بديلاً عن البيتون التقليدي وذلك لما يقدمه من وفر اقتصادي كبير نتيجة استخدام عيارات منخفضة من الإسمنت لتحقيق مقاومات مقبولة توصي بها طرق صناعة هذا البيتون وكذلك الحد من التلوث البيئي.

يمكن تحديد الهدف الرئيسي للبحث **بدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للبيتون المرصوص بالدحي المستخدم في تشييد السدات المائية حيث تم تصميم عدة خلطات بيتونية ومن ثم اجراء الاختبارت التالية عليها(المقاومة على الضغط البسيط- مقاومة الشد بالفلق- النفاذية).**

أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من الخصائص والمزايا الفريدة التي يقدمها البيتون المرصوص بالدحي خاصة في مجال المنشآت البيتونية الضخمة مثل السدود والسدات الثقلية، والتي تتطلب عادة عند استخدام البيتون التقليدي كميات كبيرة من مواد البناء (الإسمنت) وكذلك وقتاً أكبر للتنفيذ وطاقة بشرية أعلى على نقيض البيتون المرصوص بالدحي الذي يقدم جودة عالية في البناء وتوفيراً في كمية الإسمنت المستخدمة والسرعة في التنفيذ.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التجريبية في إجراء البحث من خلال تحضير عدة خلطات بيتونية بنسب مختلفة من الإسمنت والفيلر، وذلك لدراسة تأثير إضافة الفيلر إلى بيتون بعيارات إسمنت منخفضة حيث يشير الرمز (C200F0) إلى خلطة بعيار إسمنت ($200Kg/m^3$) دون إضافة الفيلر الكلسي، والرمز (C200F50) إلى خلطة بعيار إسمنت ($200Kg/m^3$) مع كمية فيلر ($50\ Kg/m^3$) وهكذا...

ومن ثم دراسة خصائص هذه الخلطات المصبوبة مخبرياً (المقاومة على الضغط البسيط– مقاومة الشد بالفلق–النفاذية).

1- الإحضارات:

- **الإسمنت:**

سنستخدم إسمنت بورتلاندي عادي أسود تصنيف [I] صنع معمل إسمنت طرطوس، مصنع وفق المواصفة السورية رقم 1987/63 بصنف (32.5) وبوزن نوعي ($3100\ Kg/m^3$).

- **الفيلر الكلسي:**

وهو عبارة عن مطحون الكتل الرخامية الكلسية ويعرف أيضاً بـ بودرة الرخام (Marble Powder) ويعد ثاني أنقى مصادر كربونات الكالسيوم في الطبيعة حيث تصل فيه نسبة كربونات الكالسيوم إلى 97% ، وهو ذو لون أبيض نعومته قريبة من نعومة الإسمنت ووزنه الحجمي الصلب يماثل الوزن الحجمي الصلب للحصويات الكلسية 2650 (Kg/m^3)، تم نخله على المنخل رقم 30 (0.6 mm) ، تم الحصول عليه من معامل الرخام في محافظة اللاذقية.

- **الماء:**

يجب أن يكون الماء المستعمل نظيفاً رائقاً وخالياً من المواد الضارة مثل الزيوت والمواد القلوية أو الحمضية والمواد النباتية والعضوية ولذلك سنستخدم المياه العذبة الصالحة للشرب دون الحاجة لاختبارها **[14]**.

- **الحصويات:**

تم استخدام الحصويات التالية:

- **بحص طبيعي** بقطر أعظمي Dmax=25mm وبمعامل لوس أنجلوس مقبول LA=27%.
- **رمل خشن (حسياء)** نسبياً بمعامل نعومة قدره Mf=3.76 ، نظيف جداً بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي تعادل Es=97.9%.
- **رمل سيليسي ناعم** نسبياً بمعامل نعومة قدره Mf=1.49 ، نظيف بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي تعادل Es=87.7%.

بين الجدول(1) الكتل الحجمية الظاهرية والصلبة للمواد المستخدمة:

الجدول(1) الكتل الحجمية الظاهرية والصلبة للمواد المستخدمة

نوع المادة	الكتلة الحجمية الظاهرية Kg/m^3	الكتلة الحجمية الصلبة Kg/m^3
إسمنت	-	3100
فيلر كلسي	-	2650
بحص طبيعي	1463	2730
رمل خشن (حسياء)	1715	2720
رمل سيليسي ناعم	1489	2620

2- تصميم الخلطة البيتونية لعينات البيتون المرصوص بالدحي:

لقد تم تصميم الخلطة بالاعتماد على الطريقة الفرنسية (دروغوريس – Dreux-Goriss) حيث تم تحديد نسب مختلف مكونات الخليط باستخدام قانون بولومي وقانون الحجم المطلق **[15-16]**.

ومن ثم تم إجراء اختبار بروكتور المعدل من أجل الوصول بشكل دقيق إلى الكتلة الحجمية الأعظمية والتي تتوافق مع نسبة الماء المثالية والتي تم اعتمادها بغية الوصول الى التصميم النهائي الذي يقود إلى أفضل مواصفات ممكنة للـ RCC **[15-16-17]** .

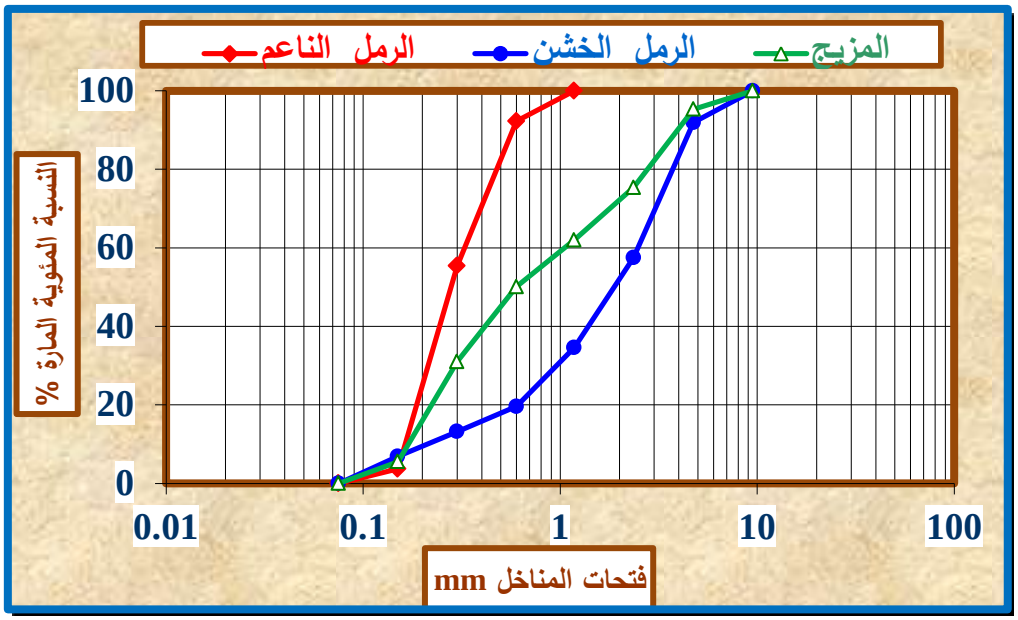
- **مزيج الرمل:**

تم استخدام نوعين من الرمل لإنجاز الدراسة التجريبية وهما الرمل الخشن (حسياء) والرمل السيليسي الناعم، حيث تم إيجاد نسب المزج المثلى بحيث نحقق معامل نعومة لمزيج الرمل (Mf=2.8) فكانت نسبة الرمل الناعم 42% والرمل الخشن 58%.

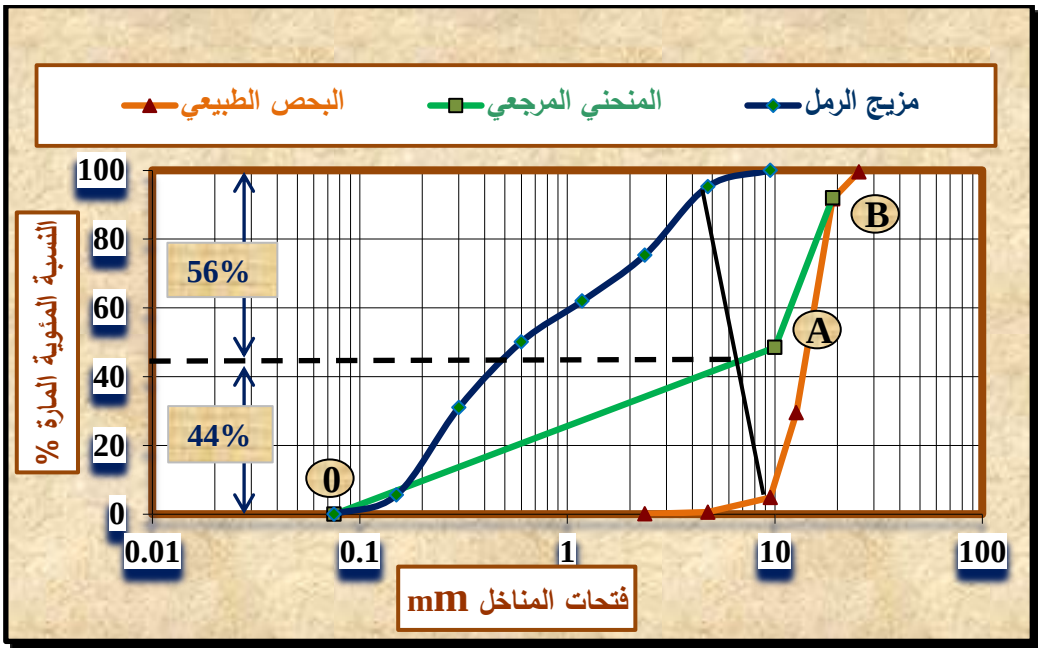
ويبين الشكل(1) منحني التدرج الحبي لمزيج الرمل.

- **تحديد النسب المئوية المثالية للحصويات:**

بالاعتماد على الطريقة الفرنسية تم استنتاج منحني التدرج الحبي المرجعي كما هو مبين في الشكل(2) وتحديد نسبة البحص الطبيعي ونسبة مزيج الرمل، وبالتالي يمكن تلخيص النسب المئوية المثالية للحصويات كما هو موضح في الجدول(2):



الشكل (1) منحني التدرج الحبي لمزيج الرمل



الشكل(2) منحني التدرج الحبي المرجعي

الجدول(2) النسب المئوية المثالية للحصويات

مزيج الرمل		بحص طبيعي
% 44		% 56
رمل خشن (حسياء)	رمل سيليسي ناعم	
% 25.52	% 18.48	

- **التصميم الأولي وفق قانون بولومي وقانون الحجم المطلق:**

يعطى قانون بولومي بالعلاقة **[15-16]**: $$Rcm = G * \sigma_c * (\frac{C}{W} - 0.5)$$

R_{cm}: المقاومة التصميمية المطلوبة بعد التصعيد حيث يتم تصعيدها بمقدار 15%، **σ_c:** صنف الإسمنت المستخدم،

G: معامل يتعلق بقطر الحصويات ويقدر بناءً على نتائج تجربة لوس أنجلوس (0.35-0.55)،

C: عيار الإسمنت المستخدم، **W:** كمية المياه المطلوبة للمتر المكعب.

للخلطة ($C_{200}F_0$): $$180 * 1.15 = 0.55 * 325 * (\frac{200}{W} - 0.5)$$

وبالتالي تكون كمية المياه اللازمة للخلطة المرجعية **(121)** لتراً للمتر المكعب وهكذا لباقي الخلطات....

ويعطى قانون الحجم المطلق بالعلاقة **[15-16]**:

$$1000 = Vc + Vg + Vw + Vv + Vs$$

Vc: حجم الإسمنت ويساوي (وزن الإسمنت/ الوزن الحجمي الصلب للإسمنت).

Vg: حجم الحصويات ويساوي (وزن الحصويات/ الوزن الحجمي الصلب للحصويات).

Vw: حجم الماء ويساوي (وزن الماء/ الوزن الحجمي للماء).

Vv: حجم الهواء ويقدر بناءً على عاملين (القطر الأعظمي للحصويات- قوام البيتون).

Vs: حجم الفيلر ويساوي (وزن الفيلر/ الوزن الحجمي الصلب للفيلر).

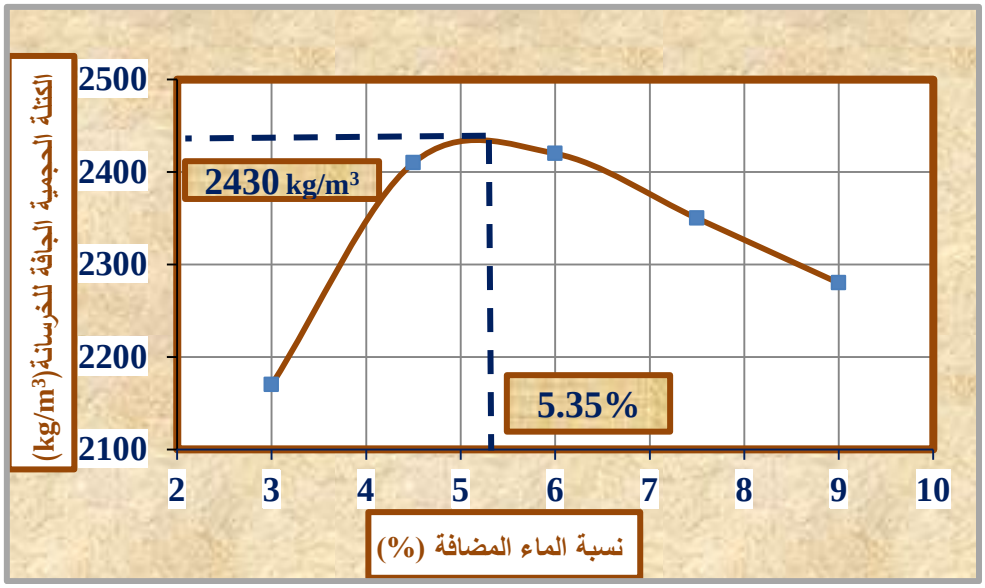
بالتالي وفقاً للقوانين السابقة مع الأخذ بعين الإعتبار حجم الهواء يساوي ($20\ l/m^3$) نقوم بتحديد الأوزان الأولية اللازمة لصناعة متر مكعب من الخليط مقدرة بالـ (Kg).

ومن ثم استخدام هذه الأوزان الأولية للوصول إلى المحتوى الأمثل للرطوبة اعتماداً على إجرء اختبار بروكتور المعدل وبإضافة نسب مياه مختلفة كما في حالة رص التربة، وبعد إجراء اختبار بروكتور والحصول على نسبة الماء المثالية الموافقة للكثافة الجافة العظمى تم حساب أوزان المواد النهائية اعتماداً على هذه النسبة **[15-16-17].**

يبين الجدول(3) نتائج اختبار بروكتور المعدل للخلطة $C_{200}F_0$ ، ويبين الشكل (3) نتائج اختبار بروكتور المعدل للخلطة $C_{200}F_0$.

الجدول(3) نتائج اختبار بروكتور المعدل للخلطة $C_{200}F_0$

نسبة الماء (%)	وزن القالب m_1 (فارغ) (gr)	وزن القالب m_2 (مليء) (gr)	$M = m_2 - m_1$ (gr)	$\gamma b = \frac{M}{v}$ (kg/m^3)	$\gamma d = \frac{\gamma b}{1 + w\%}$ (kg/m^3)
3	5763.2	10952.8	5189.6	2234.997	2169.9
4.5	5763.2	11611	5847.8	2518.45	2410
6	5763.2	11719.5	5956.39	2565.2	2420
7.5	5763.2	11629	5865.9	2526.25	2350
9	5763.2	11533.8	5770.6	2485.2	2280



الشكل(3) منحني (الرطوبة، الكتلة الحجمية الجافة) للخلطة $C_{200}F_0$

يبين الجدول(4) نسبة الرطوبة المثالية الموافقة لأعلى كثافة جافة لمجمل الخلطات:

الجدول (4) نسبة الرطوبة المثالية الموافقة لأعلى كثافة جافة لمجمل الخلطات

الخلطة	نسبة الماء المثالية %	كمية الماء الموافقة Kg/m^3	الكثافة الجافة العظمى Kg/m^3
$C_{200}F_0$	5.35	130	2430
$C_{200}F_{50}$	5.43	131	2409
$C_{200}F_{100}$	5.42	130	2395
$C_{150}F_0$	5.37	129	2401
$C_{150}F_{50}$	5.39	130	2410
$C_{150}F_{100}$	5.44	131	2409
$C_{100}F_0$	5.55	129	2321
$C_{100}F_{50}$	5.5	130	2360
$C_{100}F_{100}$	5.5	130.5	2369.5

- **التصميم النهائي لخلطة البيتون المرصوص بالدحي:**

إن التصميم النهائي لخلطة البيتون المرصوص بالدحي يتم بالاعتماد على نسبة الماء المثالية المقابلة لأعلى كثافة جافة والتي حصلنا عليها من اختبار بروكتور المعدل ومن ثم العودة إلى التصميم الأولي وإجراء التعديلات اللازمة بحساب وزن وحجم الحصويات الجديد.

توضح الجداول (5)، (6)، (7) الأوزان والحجوم النهائية اللازمة لصناعة متر مكعب من الخلطة:

الجدول (5) الأوزان والحجوم النهائية اللازمة لصناعة متر مكعب من الخلطة

الخلطة	$C_{200}F_0$		$C_{200}F_{50}$		$C_{200}F_{100}$	
اسم المكون	وزناً (كغ)	حجماً (لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)
بحص طبيعي	1200	821	1170.5	800	1143	781
رمل سيليسي ناعم	380	255.4	371	249	362	243
رمل خشن (حسياء)	545	318	531	310	519	303
إسمنت	200	–	200	–	200	–
ماء	130	130	131	131	130	130
هواء	–	20	–	20	–	20
فيلر	0	–	50	–	100	–
نسبة الماء	% 5.59		% 5.64		% 5.59	

الجدول (6) الأوزان والحجوم النهائية اللازمة لصناعة متر مكعب من الخلطة

الخلطة	$C_{150}F_0$		$C_{150}F_{50}$		$C_{150}F_{100}$	
اسم المكون	وزناً (كغ)	حجماً (لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)
بحص طبيعي	1226	839	1197	818	1166	797
رمل سيليسي ناعم	388	261	379	254.5	369	248
رمل خشن (حسياء)	557	325	543.3	317	529.5	309
إسمنت	150	–	150	–	150	–
ماء	129	129	130	130	131	131
هواء	–	20	–	20	–	20
فيلر	0	–	50	–	100	–
نسبة الماء	% 5.55		% 5.6		% 5.66	

الجدول (7) الأوزان والحجوم النهائية اللازمة لصناعة متر مكعب من الخلطة

الخلطة	$C_{100}F_0$		$C_{100}F_{50}$		$C_{100}F_{100}$	
اسم المكون	وزناً (كغ)	حجماً (لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)	وزناً (كغ)	حجماً(لتر)
بحص طبيعي	1251.6	855.5	1221.3	835	1192	814.56
رمل سيليسي ناعم	396.4	266	387	260	377.4	253.5
رمل خشن (حسياء)	568.3	331.4	554.5	323.3	541	315.5
إسمنت	100	–	100	–	100	–
ماء	129	129	130	130	130.5	130.5
هواء	–	20	–	20	–	20
فيلر	0	–	50	–	100	–
نسبة الماء	% 5.56		% 5.62		% 5.65	

3- صب عينات البيتون المرصوص بالدحي مخبرياً:

تلخصت منهجية صب العينات مخبرياً وفق آلية الرج والرص المتزامن الموضحة في الشكل (4) بإضافة الوزن الأعظمي الذي يتلقاه القالب على طبقات بحيث لا يتجاوز سمك الطبقة 50mm وبحيث تتلقى كل طبقة (50 ضربة موزعة على كامل مساحة القالب) بواسطة قضيب فولاذي (ϕ25mm) وذلك بالتزامن مع وضع القالب على الطاولة الرجاجة التي تساعد على ملئه بشكل تدريجي للوصول إلى الكثافة التصميمية المستهدفة **[16]**.

يحدد الوزن الأعظمي الذي ستتم إضافته لكل قالب اعتماداً على نتائج اختبار بروكتور المعدل كالتالي:

حجم القالب × الكثافة الحجمية الرطبة المقابلة لأعلى كثافة جافة

الشكل(4) آلية الرج والرص المتزامن

النتائج والمناقشة:

- **المقاومة على الضغط البسيط:**

أنجز اختبار المقاومة على الضغط البسيط على عينات مكعبية (10×10×10)cm، حيث تم اختبار العينات على الضغط باستخدام المكبس الهيدروليكي الموجود في مخبر كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين.

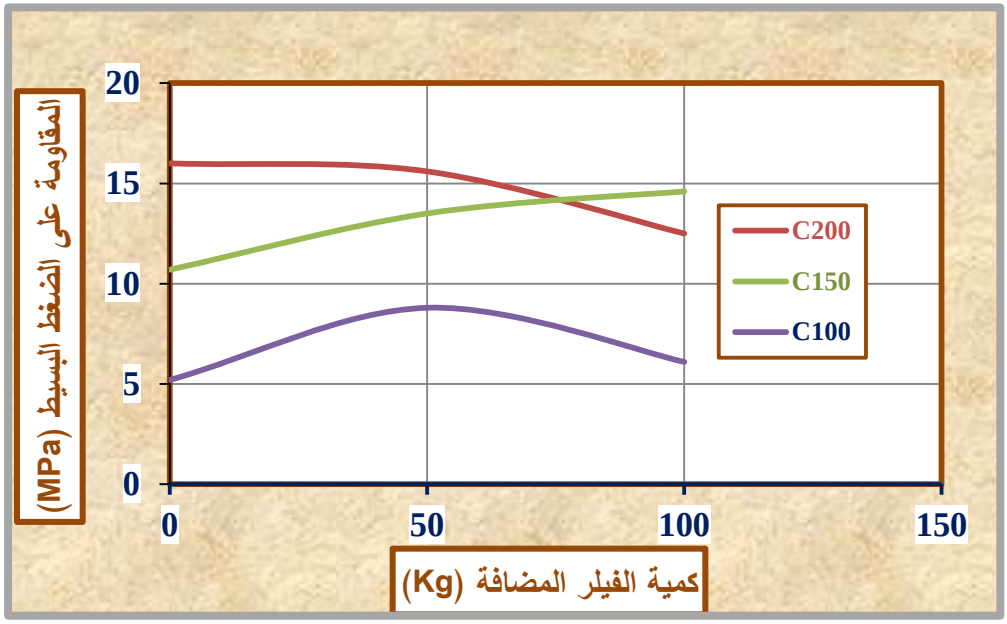
يبين الجدول (8) نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط بعمر 28 يوم.

الجدول(8) نتائج اختبار المقاومة على الضغط البسيط بعمر 28 يوم

رقم الخلطة	نوع الخلطة	الكثافة Kg/m^3	عمر العينات (يوم)	متوسط قوة الكسر (KN)	متوسط المقاومة المكعبية (MPa)	متوسط المقاومة الإسطوانية (MPa)
1	$C_{200}F_0$	2560	28	205	20.5	16
2	$C_{200}F_{50}$	2540	28	200	20	15.6
3	$C_{200}F_{100}$	2525	28	160	16	12.5
4	$C_{150}F_0$	2530	28	137	13.7	10.7
5	$C_{150}F_{50}$	2540	28	173	17.3	13.5

14.6	18.7	187	28	2540	$C_{150}F_{100}$	6
5.2	6.7	67	28	2450	$C_{100}F_{0}$	7
8.8	11.2	112	28	2490	$C_{100}F_{50}$	8
6.1	7.8	78	28	2500	$C_{100}F_{100}$	9

يمثل الشكل (5) تغير قيم المقاومة على الضغط البسيط بدلالة كميات الفيلر المضافة للبيتون المرصوص بالدحي لعيارات الإسمنت الثلاثة.



الشكل(5) المنحني بدلالة (مقاومة الضغط– كمية الفيلر)

- يبدو على الشكل (5) من المنحني باللون الأخضر والذي يمثل قيم المقاومة على الضغط البسيط للعينات ذات عيار الإسمنت 150 kg/m^3، ازدياد قيم المقاومة مع ازدياد كمية الفيلر المستخدمة، وتستمر هذه الزيادة حتى أعلى قيمة لها 14.6 MPa عند محتوى الفيلر 100 kg/m^3، يمكن تفسير هذا السلوك بالتأثير الإيجابي للفيلر الناعم والذي يعدّ مادة مالئة تعمل على رفع اكتناز العجينة الرابطة عند استخدامها بنسب محددة من الأفضل أن لا تتجاوز الـ 40% من المكونات الناعمة للعجينة الرابطة، مما سيسهم في ازدياد قيمة المقاومة الميكانيكية للبيتون.
- في حين كان للفيلر تأثير سلبي لـ عيار الإسمنت 200 kg/m3 (المنحني باللون الأحمر) وذلك عند زيادة كمية الفيلر أكثر من 50 Kg/m^3، ويفسر بزيادة حجم العجينة الرابطة بالنسبة للحجم الكلي للخلطة.
- أما عند عيار الإسمنت 100 kg/m^3 (المنحني باللون الأزرق) ازادت المقاومة بزيادة كمية الفيلر حتى بلغت أعلى قيمة لها عند كمية فيلر 50Kg/m^3 والتي تعادل حوالي 35% من حجم العجينة الرابطة ثم عاودت التناقص.

- **مقاومة الشد بالفلق:**

تعدّ آلية اختبار الشد المباشر للخرسانة المرصوصة مشابهة للخرسانة التقليدية وتعطي قيم أقل من قيم مقاومة الشد بالفلق لذلك فهي تمثل خصائص الشد الأصغرية للخرسانة، كما أكدت الخبرات السابقة أن إجراء اختبارات الشد المباشر

للخرسانة المنفذة أكثر صعوبة من إجراء اختبارات الشد بالفلق، فهي تتأثر بشكل كبير بطبيعة العينات (جفافها- تشققها...) وبالتالي فإن نتائجها تتغير وتتقلب ضمن مجال أوسع وبسبب الصعوبات التي تعترض إجراء اختبارات الشد المباشر اعتبر من الشائع أن تمثل مقاومة الشد بالفلق المعيار الأساسي لتقييم مقاومة الشد للخرسانة المرصوصة، حيث يتم استنتاج مقاومة الشد المباشر وفق المعادلة التالية **[14]**:

$$Fct = 0.85 \times Fct'$$

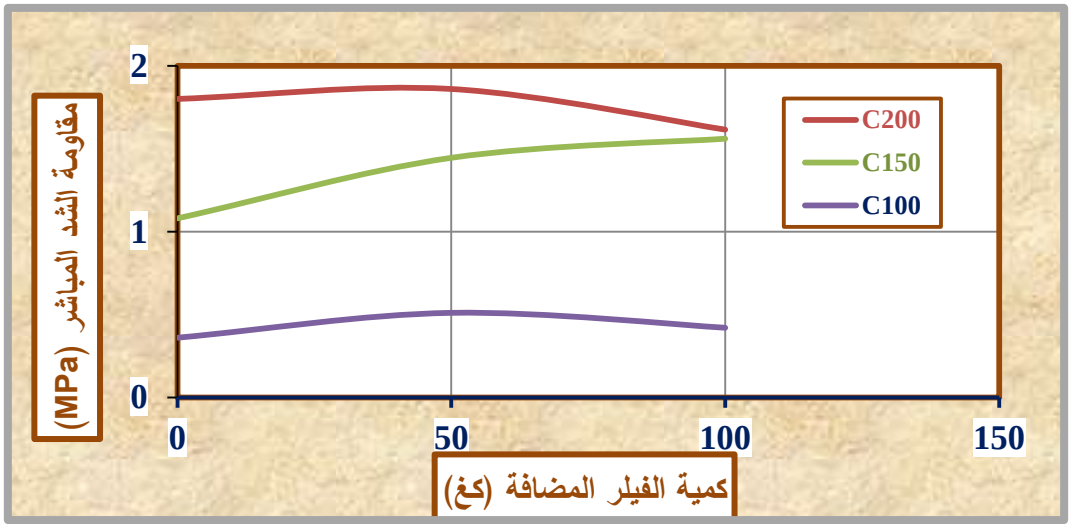
Fct: مقاومة الشد المباشر ، Fct' : مقاومة الشد بالفلق.

يوضح الجدول(9) نتائج اختبار مقاومة الشد بالفلق والشد المباشر بعمر 28 يوم.

الجدول (9) نتائج اختبار مقاومة الشد المباشر بعمر 28 يوم

رقم الخلطة	نوع الخلطة	متوسط P (KN)	متوسط مقاومة الشد بالفلق (MPa)	متوسط مقاومة الشد المباشر (MPa)
1	$C_{200}F_0$	150	2.1	1.8
2	$C_{200}F_{50}$	155	2.22	1.86
3	$C_{200}F_{100}$	135	1.9	1.6
4	$C_{150}F_0$	90	1.273	1.08
5	$C_{150}F_{50}$	120	1.7	1.44
6	$C_{150}F_{100}$	130	1.84	1.56
7	$C_{100}F_0$	30	0.4	0.36
8	$C_{100}F_{50}$	43	0.6	0.51
9	$C_{100}F_{100}$	35	0.5	0.42

يمثل الشكل (6) تغير قيم المقاومة على الشد المباشر بدلالة كميات الفيلر المضافة للبيتون المرصوص بالدحي لعيارات الإسمنت الثلاثة.



الشكل (6) المنحني بدلالة (مقاومة الشد المباشر – كمية الفيلر)

- يبدو على الشكل (6) من المنحني باللون الأخضر والذي يمثل قيم المقاومة على الشد المباشر للعينات ذات عيار الإسمنت 150 kg/m^3، ازدياد قيم المقاومة مع ازدياد كمية الفيلر المستخدمة، وتستمر هذه الزيادة حتى أعلى قيمة لها 1.56 MPa عند محتوى الفيلر 100 kg/m^3، ويمكن تفسير هذا السلوك بالتأثير الإيجابي للفيلر الناعم والذي يعدّ مادة مالئة تعمل على رفع اكتناز العجينة الرابطة عند استخدامها بنسب محددة من الأفضل أن لا تتجاوز الـ 40% من المكونات الناعمة للعجينة الرابطة، مما سيسهم في ازدياد قيمة المقاومة الميكانيكية للبيتون.
- في حين كان للفيلر تأثير سلبي لـ عيار الإسمنت 200 kg/m3 (المنحني باللون الأحمر) وذلك عند زيادة كمية الفيلر أكثر من 50 Kg/m^3، ويفسر بزيادة حجم العجينة الرابطة بالنسبة للحجم الكلي للخلطة.
- أما عند عيار الإسمنت 100 kg/m^3(المنحني باللون الأزرق) ازادت المقاومة بزيادة كمية الفيلر حتى بلغت أعلى قيمة لها عند كمية فيلر 50Kg/m^3 ، والتي تعادل حوالي 35% من حجم العجينة الرابطة ثم عاودت بالتناقص.
- **النفاذية:**

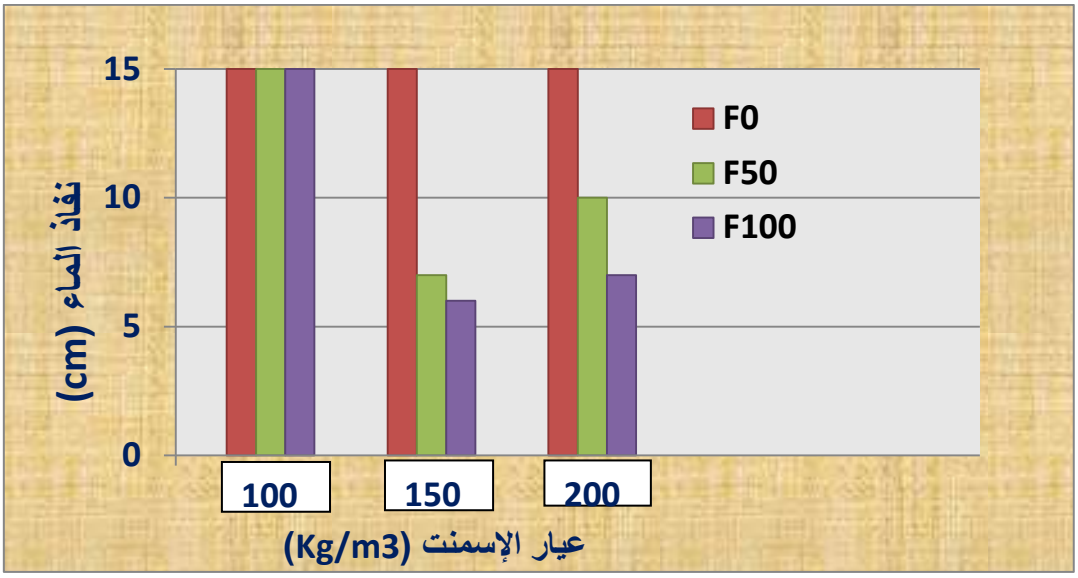
يمكن التحكم في نفاذية البيتون من خلال درجة الرص ونعومة المزيج، حيث تشترط المواصفات القياسية أن تكون نسبة الركام الناعم (18–22)% من حجم المزيج الكلي لتحقيق تناسب للحبيبات الناعمة والتي تقلل من الفراغات الهوائية وبالتالي تحقيق الكتامة **[2]**.

أجريت تجربة النفاذية على عينات أسطوانية بقطر 15cm وارتفاع 15cm ، حيث تم إجراء الاختبار بعد 28 يوماً من تاريخ صب العينات وادراج النتائج في الجدول (10).

الجدول(10) نتائج اختبار النفاذية بعمر 28 يوم

رقم الخلطة	نوع الخلطة	قيمة الضغط المطبق (Bar)	متوسط عمق اختراق الماء (Cm)
1	$C_{200}F_0$	4	اختراق كامل
2	$C_{200}F_{50}$	4	10
3	$C_{200}F_{100}$	4	7
4	$C_{150}F_0$	4	اختراق كامل
5	$C_{150}F_{50}$	4	7
6	$C_{150}F_{100}$	4	6
7	$C_{100}F_0$	4	اختراق كامل
8	$C_{100}F_{50}$	4	اختراق كامل
9	$C_{100}F_{100}$	4	اختراق كامل

يمثل الشكل (7) قيم نفاذ الماء لعينات البيتون المرصوص بالدحي بدلالة عيارات الإسمنت وكميات الفيلر.



الشكل (7) مخطط نفاذ الماء للعينات المختبرة

- نلاحظ من الشكل (7) أن الفيلر لعب دوراً هاماً في خفض قيمة اختراق الماء للبيتون عند عياري الإسمنت C_{200} و C_{150} حيث بيّنا سابقاً أن ذلك يعود إلى تحسن قيم اكتناز العجينة الرابطة والذي سيعمل بدوره على تخفيض نفاذية البيتون للماء.
- في حين كان الاختراق كاملاً للتراكيب ذات عيار الإسمنت C_{100} و هو ما يمكن إرجاعه الى ضعف تأثر الاكتناز بفعل عدم كفاية العجينة الرابطة لتغليف الهيكل الحصوي بالشكل الأمثل.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- حققت جميع خلطات البيتون المرصوص بالدحي المختبرة قيماً عالية للكتلة الحجمية تجاوزت الـ $2450Kg/m^3$ ووصلت الى $2560\ kg/m^3$، بينما تتراوح قيم الكتلة الحجمية للبيتون التقليدي عادةً بين $(2350-2450)\ kg/m^3$، وهو ما يقدم دليلاً واضحاً ومؤشراً إيجابياً على نجاح وتكامل عمليتي تصميم و صب عينات البيتون المرصوص بالدحي في هذا البحث.
- بالمقارنة مع المواصفات القياسية لهذا النوع من البيتون المستخدم في السدود تبين أن التركيب $C_{150}F_{100}$ (إسمنت$150\ Kg/m^3$، فيلر $100\ Kg/m^3$) قد حقق ما يلي:

✓ مقاومة أسطوانية 14.6 MPa بعمر 28 يوم والتي تعدّ مقاومة جيدة جداً لمتطلبات البيتون المرصوص بالدحي المستخدم في السدود الكبيرة.

✓ مقاومة على الشد المباشر 1.56 MPa بعمر 28 يوم والتي تصنف هذا النوع من البيتون وفقاً لمتطلبات السدود بأنه بيتون عالي الأداء.

✓ احتواء نسبة ركام ناعم (رمل ناعم – فيلر) فاقت 18% من حجم المزيج الكلي بالرغم من المحتوى المنخفض للإسمنت والذي أدى إلى تناسب المزيج وتقليل الفراغات الهوائية.

✓ تقليل كمية الإسمنت المستخدم إلى النصف مقارنةً مع البيتون التقليدي والذي يستخدم فيه عادةً عيار إسمنت 300 Kg/m^3.

✓ قيماً مقبولة و كافية للنفاذية إذ لم يحصل اختراق كامل للعينات التي أجري عليها اختبار النفاذية بالماء، وهو ما يعدّ مؤشراً واضحاً على صلاحية هذا التركيب للاستخدام في بناء السدود بشكل آمن و خصوصاً فيما يتعلق بمشاكل التسرب التي تمثل هاجساً كبيراً في السدود.

❖ التوصيات:

- يمكن و بشكل آمن استخدام الخلطة $C_{150}F_{100}$ (عيار إسمنت 150 Kg/m^3، فيلر 100 Kg/m^3) في إنشاء السدود الثقلية الصغيرة والكبيرة وفق منهجية البيتون المرصوص بالدحي نظراً لما حققه من مقاومات جيدة جداً، و اقتصاد في استهلاك الإسمنت، و كتامة لتسرب الماء.
- نوصي بإجراء المزيد من الأبحاث حول استخدام هذه التقنية والتعمق في الخصائص الأخرى للبيتون المرصوص بالدحي RCC كالديمومة مثلاً (اختبار حلقات الترطيب و التجفيف– اختبار حلقات التسخين والتبريد– اختبار أثر التعرض للأحماض الكيميائية – اختبار الكربنة).
- بينت الدراسات التي تم إجراؤها سابقاً على البيتون المرصوص بالدحي إمكانية استخدام الحصويات المعاد تدويرها (مخلفات الهدم) في إنتاج البيتون المرصوص بالدحي كبديل للحصويات الطبيعية و هو ما يبدو مشجعاً لدراسة جدوى استخدام هذا النوع من البيتون مع الحصويات المعاد تدويرها في إنشاء السدود و السدات المائية و دراسة فعاليتها عند استخدام عيارات منخفضة من الإسمنت.

References:

1- HANSEN, K.D.;SCHRADER,E. *"Roller-Compacted Mass Concrete"*, ACI 207.5-99.

2-AL BAGHDADY,S.; KHAN,L." *Designing Roller Compacted Concrete (RCC) Dams"*,Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2018, Royal Institute of Technology(KTH).

3-WANG,L.;YANG,H.Q.;ZHOU,S.H.;CHEN,E.;TANG,S.W.*" Mechanical properties, long-term hydration heat, shinkage behavior and crack resistance of dam concrete designed with low heat Portland (LHP) cement and fly ash*",Construction and Building Materials 187(2018)1073-1091.

4-JUNCKES, R.;GRAEFF, E.;JR, L.R. " *Effectiveness of fly ash in reducing the hydration heat release of mass concrete*",Journal of Building Engineering (2019).

5- PANESAR, D.K.;ZHANG, R. " *Performance comparison of cement replacing materials in concrete: Limestone fillers and supplementary cementing materials – A review"*, Construction and Building Materials251(2020)118866.

6- BEDERINA,M.;MAKHLOUFI,Z.;BOUZIANI,T.*"Effect of limestone fillers the physic-mechanical properties of limestone concrete*", physics procedia 21(2011)28-34.

7-TSIVILIS,S.;TSANTILAS,J.;KAKALI,G.*"The permeability of Portland limestone cement concrete*", Cement And Concrete Research 33(2003)1465-1471.

8-CHEN,J.J.;KWAN,A.K.H.;JIANG,Y." *Adding limestone fines as cement paste replacement to reduce water permeability and sorptivity of concrete*", Construction and Building Materials 56 (2014) 87-93.

9-LOTHENBACH, B.;SAOUT, G.L.;GALLUCCI, E. ; SCRIVENER, K. *"Influence of limestone on the hydration of Portland cements"* ,Cement And Concrete Research38(2008)848-860.

10-AQEL,M.;PANESAR,D.K." *Hydration kinetics and compressive strength of steam-cured cement pastes and mortars containing limestone filler*", Construction and Building Materials 113(2016)359-368.
11-DEMIRHAN, S.;TURK, K.;ULUGERGER, K. *"Fresh and hardened properties of self consolidating Portland limestone cement mortars: Effect of high volume limestone powder replaced by cement"*, Construction and Building Materials 196(2019)115-125.
12- ABDEL-HALIM, M.A.;AL-OMARI, M.A.;ISKENDER, M.M.; "*Rehabilitation of the spillway of Sama El-Serhan dam in Jordan, using roller compacted concrete*",Engineering Structures 21(1999) 497-506.
13-ABU-KHASHABA, M.I.;ADAM,I.;EL-ASHAAL,A. *"Investigating the possibility of constructing low cost roller compacted concrete dam*" ,Alexandria Engineering Journal(2014) 53,131-142.
14- Syrian Arabic Code, Fourth Edition, Damascus-2012
15-KherBeck, Ali; Sultan, Bassam; Dayoup, Nouma; "The effect of adding filler on the properties of cement-packed concrete", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume (37), Issue (1) 2015.
16-Khairbak, Ali; Hanna, Rami; Ibrahim Ali; A study of the use of recycled demolition products in the manufacture of compacted concrete, Tishreen University, Faculty of Civil Engineering.
17- Roller-Compacted Concrete Quality Control Manual.