SEBHA UNIVERSITY CONFERENCE PROCEEDINGS, VOL.03 NO. 3 2024
DOI: 10.51984/SUCP.V3I3.3839

المؤتمر السادس للعلوم الهندسية والتقنية
The Sixth Conference for Engineering Sciences and Technology (CEST-6)
Conference Proceeding homepage: https://cest.org.ly

دراسة تأثير طريقة المعالجة على خواص الخرسانة المتصلبة

الحسين فرج عليوان[1] و محمد ابراهيم العبود[1] و عبدالخالق عبدالهادي محمد[2]

[1]قسم الهندسة المدنية، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا
[2]قسم الهندسة المدنية، جامعة بنغازي، بنغازي، ليبيا

الملخص

المعالجة هي عملية تتم مباشرة بعد بداية تصلب الخرسانة وهي تمثل اخر مرحلة من مراحل صناعة الخرسانة حيث تحافظ على نسبة رطوبة ودرجة حرارة مناسبة في الخرسانة لفترة من الزمن حتى الوصول الى الخواص المطلوبة. ان خصائص الخرسانة المتصلبة تعتمد بشكل كبير على طريقة المعالجة المتبعة واتباع الطريقة الصحيحة للمعالجة ينتج خرسانة أقوى وأكثر مقاومة للإجهاد والتجمد والذوبان. هذا البحث يعرض نتائج دراسة معملية اجريت لتقييم ومقارنة تأثير المعالجة بالماء العادي، ماء البحر، الهواء، والبلاستيك على مقاومة الخرسانة للضغط، الشد، والانحناء. تم تحضير المكعبات والكمرات الخرسانية بتنويع نسب الماء الى الاسمنت ومعالجتها لمدة 28 يوم. اوضحت النتائج ان المعالجة بماء البحر اعطت نتائج قريبة جدا مقارنة بالمعالجة بالطريقة القياسية وذلك في حالتي مقاومة الخرسانة للضغط والشد في كل حالات نسب الماء للإسمنت المستخدمة. كذلك سجلت النتائج زيادة في خواص الخرسانة وسلوك الانحناء للكمرات الخرسانية العادية في حالة المعالجة بماء البحر حيث سجلت اعلى قيمة مقاومة انحناء ومن ثم المعالجة بغشاء البلاستيك والهواء، وبالتالي يمكن استخدامها كطريقة معالجة التي تندر فيها المياه مع دراسة تأثيرها على قطاعات الحديد في الخرسانة المسلحة.

الكلمات المفتاحية:

الخرسانة
الشد
الديمومة
مقاومة الضغط
الانحناء.
معالجة الخرسانة

Effect of Curing Method on the Properties of Hardened Concrete

Alhussin Aliwan[a], Mohammed Al-Aboud[a], Abdulkhaliq Mohammed[b]

[a]Elmergib University, Civig Engineering, Alkhms, Libya
[b]Benghazi University, Civig Engineering, Benghazi, Libya

Keywords:

Concrete
Compressive Strength
Curing of Concrete
Flexural Strength
Tension Strength

ABSTRACT

At this paper, an experimental investigation was carried out to study the effect of different curing methods and water cement ratio on compressive strength, tension strength, flexural strength, and shrinkage. Four different curing methods were under investigation: water curing (standard curing), sea water curing, air curing, and plastic bags curing. Moreover, the effect of water cement ratio of (0.4, 0.5, 0.6) on the previous properties of concrete were investigated under the different curing methods. The results indicate that the curing by sea water give almost the same results as the standard curing and better than the air curing; whereas, the plastic bags curing presents the least properties of concrete compared with others. On the other hand, decreasing the water cement ratio leads to increase the properties of concrete for all kinds of referenced curing.

1. المقدمة

تعتبر المعالجة احدى الطرق التي تساعد الخرسانة في الوصول الى المقاومة المطلوبة وهي اخر خطوة من خطوات صناعة الخرسانة لذلك يجب ان تعطى العناية الكاملة والقدر الكافي من الأهمية. وقد اتضح أن استخدام مواد جيدة ونسب خلط دقيقة ليس ضمانا للحصول على خرسانة ذات خواص جيدة اذا ما اهملت مرحلة المعالجة [1]. ان التحكم في معدل ومدى فقدان الرطوبة من الخرسانة اثناء ترطيب الاسمنت مع توفر المعالجة المناسبة تصبح الخرسانة أقوى وأكثر مقاومة للإجهاد والتأكل والتجمد والذوبان.

عند زيادة محتوى الاسمنت وتناقص نسبة الماء للإسمنت واستخدام الماء للمعالجة فان ذلك ينتج خرسانة ذات مواصفات جيدة من حيث المقاومة والديمومة [2,3]. يحافظ علاج الخرسانة على نسبة رطوبة ودرجة حرارة معتدلة في الخرسانة خلال مرحلتها المبكرة لإطلاق حرارة الاماهة واستمرار تفاعل الاماهة، وبالتالي تلعب دورا رئيسيا في انتاج خرسانة جيدة من خلال

*Corresponding author:
E-mail addresses: afaliwan@elmergib.edu.ly , (M. Al-Aboud) dr_elabboud@yahoo.com , (A. Mohammed) aamaqsabi@gmail.com
Article History : Received 19 March 2024 - Received in revised form 30 August 2024 - Accepted 21 October 2024

زيادة متانتها وقوتها. العديد من الابحاث اشارت الى أنه عند اضافة الماء الى الاسمنت البورتلاندي يحدث تفاعل كيميائي يسمى الترطيب ويؤثر اكتمال عملية الترطيب على قوة ومتانة الخرسانة [8-4].

أن فترة المعالجة الرطبة المبكرة ذو أهمية كبيرة للحصول على خرسانة ذات جودة عالية, وأن المعالجة الأولية لمدة 7 أيام يكون ذو فائدة عالية لزيادة قوة الخرسانة خفيفة الوزن [9] . ومع ذلك فانه من الضروري استمرار فترة المعالجة الأولية الى 14 يوما عندما يتم استبدال الإسمنت جزيئا بمواد اسمنتية تكميلية [10] مثل الرماد المتطاير, أسمنت الخبث، ودخان السليكا ويرجع ذلك الى تفاعلات الترطيب البطيئة بين المواد الاسمنتية التكميلية وهيدروكسيد الكالسيوم [9,11]. وحيث أن استخدام الماء للمعالجة يعتبر الامثل للحصول علي المقاومة المطلوبة الا ان معالجة الخرسانة باستعمال مركب الأكريليك (acrylic) (بلاستيك حراري شفاف يتميز بمقاومته للتكسر) ينتج خرسانة ذات مواصفات أفضل [11]. مزيد من الاحتياطات يجب أن تؤخذ في الاعتبار عندما تكون درجة الحرارة أعلى من $30\ C^0$ او أقل من $10C^0$ وأن المياه المستخدمة في المعالجة يجب ان لا تكون درجة حرارتها 11 درجة مئوية أقل من درجة حرارة الخرسانة وذلك لتفادي احتمالية حدوث التشققات الناتجة عن الاجهادات الحرارية [12,13].

ان الحفاظ على محتوى رطوبة ودرجة حرارة ملائمتين داخل الخرسانة لفترة زمنية كافية الى جانب تسريع اكتساب قوة الخرسانة فان المعالجة تعمل ايضا على تحسين متانتها والاستقرار الحجمي ويمنع التجمد ويقلل الزحف وينقص من امكانية تكون الترسبات على سطح الخرسانة [14,15]. المعالجة خلال الوقت المناسب تجنب حدوث الجفاف وبالتالي ظهور التشققات والتي قد تمتد الى اعماق متفاوتة من العنصر الانشائي. لأجل الحصول على خرسانة ذات مواصفات جيدة فان صب الخلطة المناسبة يجب ان يتبعها عملية معالجة جيدة وذلك تحت ظروف مناسبة ومحيط ملائم اثناء المرحلة المبكرة من عملية تصلد الخرسانة.

2. البرنامج العملي

يتضمن البرنامج العملي لهذا البحث تجهيز واختبار عينات مكعبة مقاس 150 ملم لإجراء اختبار الضغط والشد للخرسانة وكمرات خرسانية (150*150*450) ملم من أجل دراسة خاصية مقاومة الانحناء والانكماش للعوارض الخرسانية. وللتحقق من دقة النتائج ومقارنتها فانه تم استخدام ثلاثة قيم لنسبة ماء الى اسمنت (0.4, 0.5, 0.6) والتي تغطي اغلب النسب المستخدمة في صناعة العناصر الخرسانية المختلفة.

2. 1 المواد وطرق العمل

اسمنت بورتلاندي عادي من انتاج مصنع الهواري للإسمنت بمدينة بنغازي تم استخدامه في جميع الخلطات الخرسانية والذي يطابق المواصفات القياسية الليبية تحت رقم (340 لسنة 1992 م). كما استخدم ركام خشن من انتاج كسارات محاجر بنغازي والذي حدد مقاسه الأكبر 20 ملم ذو تدرج حبيبي وخواص فيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS882:1992) اما الركام الناعم فقد تم استخدام الرمل المستخدم في اغلب المنشآت الخرسانية في مدينة بنغازي ومصدره محاجر شواطئ البحار وذو تدرج حبيبي وخواص فيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية (BS882:1992). اما الماء المستخدم في الخلطات الخرسانية فهو الماء العادي الصالح للشرب بمدينة بنغازي.

2.2 تجهيز الخلطات والعينات

لإجراء التطبيقات العملية فقد تم اجراء الاختبارات اللازمة على الركام بنوعيه الخشن والناعم وكذلك الإسمنت واستخدام النتائج المتحصل عليها في تصميم الخلطات الخرسانية وتحديد نسب مواد الخلط لكل اختبار تبعا لتغير نسبة الماء الى الإسمنت (w/c) وبالتالي تحديد اوزان المواد اللازمة لكل خلطة خرسانية. وقد تم اعتماد الطريقة البريطانية لتصميم الخلطات الخرسانية (British Method of Concrete Mix Design) والمعتمدة من مركز بحوث البناء بالمملكة المتحدة في هذه الدراسة بحيث لا تقل مقاومة الضغط للخرسانة عن (35 ميجا باسكال). الجدول رقم (1) يبين نسب الخلط المستخدمة ونوع الاختبارات مع طريقة المعالجة المتبعة، حيث تم اعداد 72 مكعب خرساني لاختبار مقاومة الضغط واختبار الشد الغير مباشر للخرسانة. كذلك تم تجهيز عدد 48 كمرة خرسانية من اجل دراسة تأثير طرق المعالجة المتبعة على مقاومة الانحناء والانكماش للعنصر الانشائي. بعد 24 ساعة من صب المكعبات والكمرات الخرسانية تم فك العينات من القوالب الفولاذية والبدء مباشرة في مرحلة المعالجة حسب الخطة الموضوعة مسبقا.

جدول 1: نسب الخلط المستخدمة ونوع الاختبارات مع طريقة المعالجة

w/c	نوع الاختبار	نوع المعالجة			
		ماء عذب	الهواء الطلق	بلاستيك	ماء البحر
0.4	مقاومة الضغط	3 م	3 م	3 م	3 م
	مقاومة الشد	3 م	3 م	3 م	3 م
	الانحناء	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك
	الانكماش	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك
0.5	مقاومة الضغط	3 م	3 م	3 م	3 م
	مقاومة الشد	3 م	3 م	3 م	3 م
	الانحناء	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك
	الانكماش	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك
0.6	مقاومة الضغط	3 م	3 م	3 م	3 م
	مقاومة الشد	3 م	3 م	3 م	3 م
	الانحناء	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك
	الانكماش	2 ك	2 ك	2 ك	2 ك

م. مكعب

ك. كمرة

3.2 الاختبارات المعملية

بعد انتهاء مرحلة المعالجة والتي استمرت (28 يوم) تم البدء في اجراء الاختبارات المعملية على العينات والتي تشمل مقاومة الضغط، الشد، الانحناء، والانكماش.

1.3.2 اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test)

تعتبر مقاومة الضغط للخرسانة دليلا مباشرا لكثير من الخواص الاخرى مثل النفاذية ومقاومة العوامل الجوية وغيرها. ان مقاومة الخرسانة تعطي صورة شاملة عن نوعيتها ودليل جيد لمعظم خواصها الاخرى ذات الأهمية العملية لأن هذه المقاومة تتعلق بصورة مباشرة بهيكل وبنية عجينة الاسمنت المتصلبة. اضافة الى تأثير المواد المكونة للخرسانة، نسب مكونات الخلطات الخرسانية، ودرجة دمك الخرسانة الطازجة فان تأثير ظروف وطريقة المعالجة في مرحلة تصلد الخرسانة له اثر كبير على مقاومة وديمومة الخرسانة. كما يفيد اختبار الضغط في تحديد صلاحية الركام للخرسانة بالتعرف على تأثير الشوائب التي قد يحتويها على مقاومة الخرسانة للضغط [2].

لدراسة تأثير طريقة المعالجة على خاصية مقاومة الضغط للخرسانة المتصلبة تم اختبار (36) مكعب تبعا للمواصفات البريطانية (BS1881:Part 116:83) وتم احتساب متوسط عدد (3) مكعبات لتحديد مقاومة الضغط النهائية

تبعا لطريقة المعالجة المتبعة ونسبة الماء الى الاسمنت (w/c)، و الشكل رقم (1) يوضح العينات المختبرة قبل وبعد التحميل.

2.3.2 اختبار مقاومة الشد الغير مباشر (Tensile Strength Test)

يعتبر اختبار الشد هاما في اذا ما اريد معرفة مدى مقاومة الخرسانة للشروخ التي تسبب في انهيار الخرسانة بالشد مثل حالة الشروخ الناتجة من الانكماش بالجفاف وايضا انخفاض درجة الحرارة [2]. من الصعب اجراء اختبار الشد المباشر للمكعبات الخرسانية ولذلك يتم اجراء الشد الغير مباشر بان يتم التحميل على زوايا المكعب لدراسة هذه الخاصية كما هو موضح في الشكل (2) والذي يوضح ايضا شكل العينة قبل وبعد اجراء الاختبار، حيث تم اختبار (36) عينة مكعبة طبقا للمواصفات البريطانية (BS1881: Part 117:83) صممت بنسب ماء الى اسمنت المحددة مسبقا ومعالجة بالطرق تحت الدراسة.

3.3.2 اختبار تحميل الكمرات الخرسانية (Flexural Strength Test)

يختص هذا الاختبار بتحديد مقاومة الخرسانة المتصلدة للانحناء ودراسة سلوك الكمرات الخرسانية عند تعرضها لأحمال انحناء وكذلك شكل الكسر الناتج من انهيار العينات المختبرة نتيجة التحميل ، ويكون التعبير عن مقاومة الانحناء بمعاير الكسر (Modulus of Rupture) والذي يتم حسابة من المعادلة:

$$f_b = M.y/I$$

حيث M هو أكبر عزم تتعرض له العينة المختبرة والمقابل لحمل الكسر.

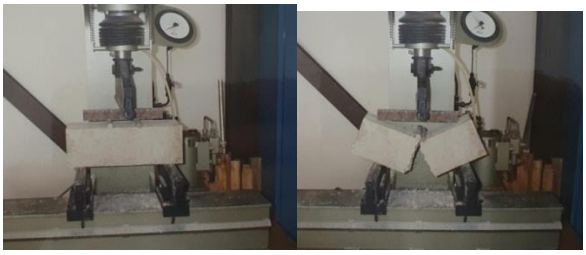
تم اختبار العينات الخرسانية (24 كمرة) في هذه الدراسة طبقا للمواصفات البريطانية (BS1881: Part 118:83)، وقد تم تركيز الحمل على بعد نصف المسافة من الدعامات الجانبية. الشكل (3) يوضح نموذج تسليط الحمل على العينات وشكل الانهيار حيث تم تسليط الحمل تدريجيا بمعدل ثابت (0.8 كيلو نيوتن/دقيقة) حتى الانهيار. في هذا الاختبار تم استخدام نقطة تحميل واحدة لتحديد مقاومة الانحناء وذلك لأن العينات تمثل كمرات غير مسلحة.

4.3.2 اختبار الانكماش الكمرات الخرسانية (Shrinkage Test)

في مرحلة معالجة الخرسانة فان عملية سحب الماء من الخرسانة في الهواء الجاف غير المشبع بالرطوبة تؤدي الى ما يسمى بانكماش الجفاف (Drying Shrinkage) هذا ويكون جزء من تلك الحركة غير قابل للاسترجاع والذي يختلف عن حركة الرطوبة القابلة للاسترجاع والناجمة عن توالي جفاف ورطوبة الخرسانة حيث ان التغير في حجم الخرسانة المتعرضة للجفاف يساوي حجم الماء المفقود [1]. لإتمام هذا الاختبار، تم اختبار عدد (24 كمرة خرسانية) والتي تشمل طرق المعالجة ونسب الماء الى الاسمنت المتبعة في هذا البحث.

شكل 1: يوضح العينات المختبرة قبل وبعد التحميل

شكل 2: يوضح العينات المختبرة قبل وبعد التحميل اختبار الشد

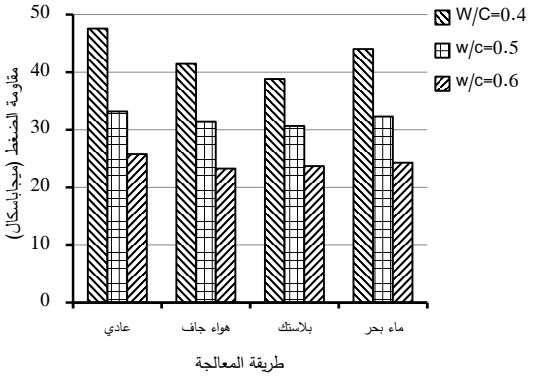


شكل3: يوضح العينات الكمرية قبل وبعد التحميل لاختبار الانحناء

4. النتائج والمناقشة

1.4 مقاومة الضغط

بالنظر الى الشكل رقم (4) والذي يعرض نتائج متوسط مقاومة الضغط لمكعبات الخلطات الخرسانية المصنعة بنسب ماء الى اسمنت مختلفة (0.4، 0.5، 0.6) تحت ظروف معالجة محددة مسبقا. بالأخذ المعالجة بالماء العذب كطريقة مثالية للمعالجة والتي تعطي الخرسانية افضل الخصائص للخرسانة والذي تؤكده جميع النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة، فانه يمكن ملاحظة انه عندما كانت نسبة الماء الى الاسمنت (0.4) واتباع المعالجة بماء البحر قد نقصت فقط بمقدار 8.1%. في حين المعالجة بالهواء الطلق وغشاء البلاستيك كانت 14.6% و 22.5% على التوالي. المعالجة بالهواء الطلق كانت نتائجها قريبة من المعالجة بالماء العذب وهذا قد يرجع الى اجراء هذه الدراسة في فصل الشتاء حيث يكون الهواء مشبع بالرطوبة الطبيعية بخلاف فترة الصيف. أما في حالة نسبة ماء الى اسمنت (0.5) فقد كان النقص في مقاومة الضغط 2.8%، 5.7%، 8.2% على التوالي، وبالمقارنة مع نسبة الماء الى الاسمنت (0.6) فقد بلغ نسب النقص في مقاومة الضغط 6.1%، 10.8%، و 8.8% على التوالي.



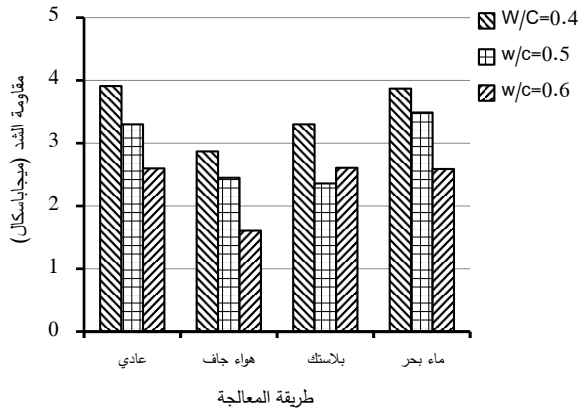
شكل 4: تأثير طريقة المعالجة على مقاومة الضغط للخرسانة

2.4 مقاومة الشد

هناك تباين في نتائج المتحصل عليها من اختبارات العينات المكعبة وذلك تبعا لنسب الماء الى الاسمنت وطريقة المعالجة كما هو مبين في الشكل (5). بالأخذ في الاعتبار ان المعالجة بالماء العذب تمثل الحالة المثالية، فانه في حالة نسبة الماء الى الاسمنت (0.4) كانت نسبة النقص في مقاومة الشد الغير مباشر فقط 1% وهذه النسبة قليلة جدا. اما المعالجة بالهواء الجاف وغشاء البلاستيك كانت المحصلة 36.2% و 18.5% على التوالي.

بمقارنة هذه النسب مع النتائج المتحصل عليها عند تصميم الخلطات الخرسانية اعتمادا على نسبة الماء الى الاسمنت (0.5)، فان المعالجة بماء البحر اعطت زيادة 5.4 % ، اما في حالة الهواء الطلق وغشاء البلاستيك فقد

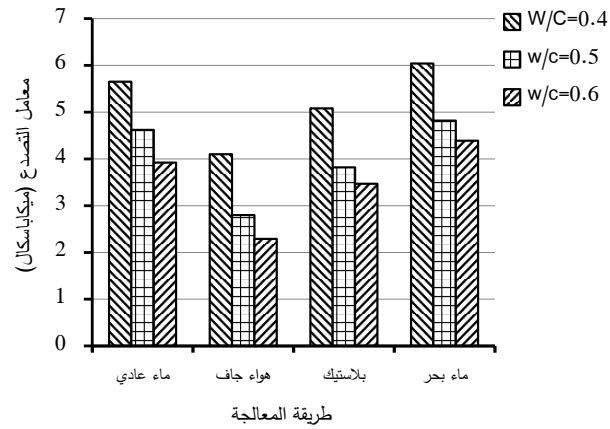
كان النقص كبيرا في مقاومة الشد حيث سجلت 34.7% و 39.8% على التوالي. كذلك في حالة نسبة الماء الى الاسمنت (0.6) فان المعالجة بماء البحر كانت فقط 0.4% اقل من الحالة المرجعية (المعالجة بالماء العذب) بخلاف المعالجة في الهواء الطلق والتي قلت بمقدار 60.4% اما المعالجة بغشاء البلاستيك فقد كانت مقاومة الشد مساوية للماء العذب (0.0%).



شكل 5: تأثير طريقة المعالجة على مقاومة الشد للخرسانة

3.4 سلوك مقاومة الانحناء للكمرات الخرسانية

يوضح الشكل (6) نتائج تأثير طريقة المعالجة ونسبة الماء الى الاسمنت على قدرة تحمل الكمرات لمقاومة الانحناء والمعبر عنها بمعامل التصدع. من هذه النتائج فانه في حالة نسبة الماء الى الاسمنت (0.4) يمكن ملاحظة ان المعالجة بماء البحر ادت الى زيادة في مقاومة الانحناء قدرها 6.9% عنها في حالة المعالجة بالماء العذب ونتج عنها نقص 37.8% و 11.2% في حالة المعالجة بالهواء الطلق وغشاء البلاستيك على التوالي. هذه النتائج كانت قريبة في حالة نسبة الماء الى الاسمنت (0.5) حيث سجلت زيادة 4.3% ونقصان بلغ 65% و 20.9% على التوالي. اما عند نسبة الماء الى الاسمنت (0.6) فقد حققت زيادة قدرها 12% في حالة المعالجة بماء البحر وسجلت نقص 71.2% و 13% في حالة الهواء الطلق والمعالجة بغشاء البلاستيك على التوالي. هذه النتائج تبرز ان المعالجة بماء البحر يعطي مقاومة انحناء للكمرات الخرسانية اكبر منها في حالة الماء العذب وتجدر الاشارة هنا انه يجب عمل المزيد من الابحاث على الاضرار التي قد تسببها المياه المحتوية على كلوريد الصوديوم على الكمرات الخرسانية المسلحة.



شكل 6: تأثير طريقة المعالجة على مقاومة الانحناء للخرسانة

5. الخلاصة

من خلال النتائج المتحصل عليها من هذا البحث والتي تمثل تحقيقا معمليا عن مدى تأثير طريقة المعالجة للخرسانة المتصلدة على خواص الخرسانة المنتجة يتضح ما يلي:

1. مقاومة الخرسانة للضغط لا تتأثر كثيرا في حالة المعالجة بماء البحر والذي انتج نقصا ضئيلا في المقاومة مقارنة مع الماء العذب ويليه المعالجة بالهواء الطلق وغشاء البلاستيك وهذا كان واضحا في كل حالات نسب الماء الى الاسمنت المتبعة.
2. زيادة نسبة الماء الى الاسمنت تؤدي الى نقص في مقاومة الخرسانة للضغط بغض النظر عن طريقة المعالجة المتبعة.
3. المعالجة بالهواء الطلق (بدون معالجة) حققت نتائج افضل من غشاء البلاستيك وهذا قد يرجع الى فترة اجراء هذه الدراسة (فصل الشتاء) حيث الهواء مشبع بالرطوبة وتعرض العينات الى تساقط الامطار من حين لأخر.
4. استخدام غشاء البلاستيك للمعالجة في الأجواء الباردة قد يزيد من حرارة الخرسانة في الايام الاولى وبالتالي زيادة عملية البخر وجفاف الخرسانة والذي يؤدي بدوره على خواص الخرسانة.
5. تأثير طريقة المعالجة على خاصية الشد كان شبه مطابق لتأثيرها على خاصية مقاومة الضغط مع الأخذ في الاعتبار قيم التحميل.
6. المعالجة بماء البحر أثر ايجابيا على مقاومة الانحناء مقارنة بالطرق الاخرى المتبعة للمعالجة في هذا البحث حتى في حالة اختلاف نسبة الماء الى الاسمنت.
7. يمكن استخدام ماء البحر في حالة معالجة الخرسانة العادية ومزيد من الابحاث تكون مطلوبة في حالة اتباع هذا النوع من المعالجة في حالة الخرسانة المسلحة وتحديد مدى تغلغل الأملاح الى داخل الخرسانة واثارها السلبية على حديد التسلح.

6.المراجع

[1]- أحمد فهمي عيدالرحمن، محمود حسن متولي (1985). خواص وتصميم الخلطات الخرسانية. دار الراتب الجامعية. بيروت.

[2]- عمر محمد عبد الكريم (2012). تأثير نسب المزيج الخرساني وأساليب المعالجة على الكثافة، الامتصاص والفراغات في الخرسانة المتصلبة. *مجلة هندسة الرافدين. 20(4)* .117-103 .

[3]- خالد عبدالعزيز زكريا، عشتار صالح احمد الميبي، ورنا بربان عبدالرحمن الشيواني. (2019). دراسة تأثير طرق المعالجة المختلفة ونسب الماء/السمنت على مقاومة انضغاط الخرسانة.

[4]- Richardson, I.G., 1999. The nature of CSH in hardened cements. *cement and concrete research*, *29*(8), pp.1131-1147.

[5]- McCarter, W.J. and Ben-Saleh, A.M., 2001. Influence of practical curing methods on evaporation of water from freshly placed concrete in hot climates. *Building and Environment*, *36*(8), pp.919-924

[6]- Mannan, M.A., Basri, H.B., Zain, M.F.M. and Islam, M.N., 2002. Effect of curing conditions on the properties of OPS-concrete. *Building and environment*, *37*(11), pp.1167-1171.

[7]- Tasdemir, C., 2003. Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete. *cement and concrete research*, *33*(10), pp.1637-1642.

[8]- Ortiz, J., Aguado, A., Agulló, L. and García, T., 2005. Influence of environmental temperatures on the concrete compressive

strength: Simulation of hot and cold weather conditions. *Cement and concrete research*, *35*(10), pp.1970-1979.

[9]- Bonavetti, V., Donza, H., Rahhal, V. and Irassar, E., 2000. Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement. *Cement and Concrete Research*, *30*(5), pp.703-708.

[9]- Haque, M.N., Al, H. and Kayali, O., 2007. Long-term strength and durability parameters of lightweight concrete in hot regime: importance of initial curing. *Building and environment*, *42*(8), pp.3086-3092.

[10]- Nassani, D.E., 2007. *Effect of curing methods on properties of plain and blended cement concretes* (Doctoral dissertation, KFUPM).

[11]- Al-Gahtani, A.S., 2010. Effect of curing methods on the properties of plain and blended cement concretes. *Construction and Building Materials*, *24*(3), pp.308-314.

[12]- Ismail, S., Kwan, W.H. and Ramli, M., 2017. Mechanical strength and durability properties of concrete containing treated recycled concrete aggregates under different curing conditions. *Construction and Building Materials*, *155*, pp.296-306.

[13]- Han, J., Fang, H. and Wang, K., 2014. Design and control shrinkage behavior of high-strength self-consolidating concrete using shrinkage-reducing admixture and super-absorbent polymer. *Journal of sustainable cement-based materials*, *3*(3-4), pp.182-190.

[14]- Siddiqui, M.S., Nyberg, W., Smith, W., Blackwell, B. and Riding, K.A., 2013. Effect of curing water availability and composition on cement hydration. *ACI Materials Journal*, *110*(3), pp.315-322.

[15]- Mamlouk, M.S. and Zaniewski, J.P., 2014. *Materials for civil and construction engineers*. London, UK: Pearson.