المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
journal homepage:www.ijeit.misuratau.edu.ly

صب الخرسانة تحت الماء باستخدام تقنية الخرسانة ذات المرحلتين

نورالهدي سالم الشعاب
جامعة صبراتة ، قسم الهندسة المدنية ، صبراتة ، ليبيا
Nooralhoda1127@gmail.com

خولة محمد إشطيبة
جامعة صبراتة ، قسم الهندسة المدنية ، صبراتة ، ليبيا
Khawlam342@gmail.com

نوري محمد الباشا
جامعة صبراتة ، قسم الهندسة المدنية ، صبراتة ، ليبيا

***الملخص*— يعتبر صب الخرسانة تحت الماء أمرًا ضروريًا في تنفيذ معظم الهياكل الداخلية والخارجية، ويعتبر تحديًا كبيرا للمهندسين، أثناء مرحلة التصميم أو التنفيذ والإشراف. هذا يرجع إلى أنه يجب اتخاذ العديد من الاحتياطات لنجاح عملية الصب، أهم الاحتياطات هو حماية الخرسانة الطازجة أثناء عملية الصب في الماء لتجنب مخاطر انجراف الإسمنت، هناك تقنيات جديدة للخرسانة تحت الماء مثل الركام المحقون والذي يعرف باسم طريقة الخرسانة ذات المرحلتين** .Two-Stage Concrete
والهدف الرئيسي من الدراسة هو تقديم إمكانية صب الخرسانة تحت الماء باستخدام طريقة الخرسانة ذات المرحلتين(TSC) ، حيث تم استخدام نوع من الاضافة (Sika ViscoCrete-5930) و تعمل كمادة تمنع اختلاط الاسمنت بالماء ودراسة الخواص الميكانيكية للخلطات المنفذة وذلك باجراء اختبار الموجات فوق الصوتية واختبار مقاومة الضغط واختبار مقاومة الشد غير المباشر.
حيث تم إعداد ثلاث خلطات، الخلطة الأولي :(R)احتوت على خلطة مونة اسمنتية عادية بنسبة (W/C=0.45%) ،الخلطة الثانية :(SV-0.8) احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة Sika ViscoCrete-5930 بنسبة (0.8%) من وزن الاسمنت، الخلطة الثالثة :(SV-2) احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة Sika ViscoCrete-5930 بنسبة (2%) من وزن الاسمنت، ، تم صب جميع الخلطات في قالب بأبعاد 600×300، تم استخراج العينات الأساسية وفحصها بصريًا وإجراء اختبار الضغط واختبار الشد غير المباشر واستخدام اختبار سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية،
من النتائج التي تم الحصول عليها، لوحظ أنه من الممكن صب الخرسانة تحت الماء باستخدام الخرسانة ذات المرحلتين بطريقة ناجحة.

الكلمات المفتاحية: **الخرسانة ذات المرحلتين، صب الخرسانة تحت الماء، مقاومة الضغط، مقاومة الشد الغير مباشر.**

1. المقدمة

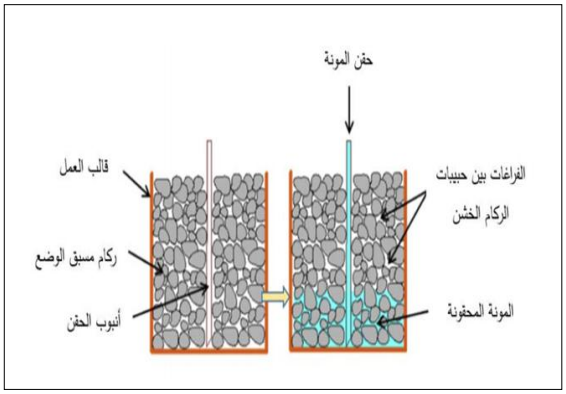
صب الخرسانة تحت الماء مطلوب على نطاق واسع في العديد من المشاريع، ولا سيما في المشاريع البحرية والهياكل الساحلية مثل :الموانئ ومصافي النفط والأرصفة البحرية فضلا عن بعض الهياكل القريبة من الساحل او في حالة ارتفاع منسوب المياه الجوفية بالقرب من سطح الأرض.

يعتبر وضع الخرسانة المسلحة تحت الماء مشكلة كبيره للمهندسين الّذين يعتبرون الخرسانة الموجودة تحت الماء تحدياً كبيرا لهم حتى اثناء التصميم او التنفيذ والأشراف، ويجب اتخاذ العديد من الاحتياطات لنجاح عملية الصب، ويمكن تنفيذ هذه العملية بنجاح وإنتاج الخرسانة ذات النوعية الجيدة اذا تم إبداء اهتمام كافي للمزيج الخرساني نفسه وطريقة وضعه. ومعظم الخرسانات المغمورة تم خلطها علي السطح بالطريقة التقليدية ثم توضع بواسطة احدي تقنيات التموضع المتنوعة، والقواعد والتوصيات المتعلقة بصب الخرسانة المغمورة هي نفسها القواعد والتوصيات المتعلقة بصب الخرسانة التقليدية، لأن الهواء ليس ضروريا لوضع الخرسانة وزمن تصلبها كما تتصلب الخرسانة ، وفي اغلب الأحيان تتحسن تحت الماء.

استلمت الورقة بالكامل في 30 اكتوبر 2021 وروجعت في 16 نوفمبر 2021 وقبلت للنشر في 00 نوفمبر 2021،

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 14 ديسمبر 2021.

وبالتالي فان الهدف عند وضع الخرسانة تحت الماء ينبغي ان يكون إبقاء الخرسانة غير ملامسة للماء قدر الإمكان وان تتجنب بقدر الإمكان الحركة السريعة، والسبيل الى النجاح في وضع الخرسانة تحت الماء هو تجنب الوقوع الحر- أي سقوط الخرسانة في الماء مما يؤدي الي فصل المزيج او الانجراف من المونة الاسمنتية.[1] و تعرف طريقة الخرسانة ذات المرحلتين وفقا للمعهد الامريكي للخرسانة (Report ACI 116) بانها الخرسانة المنتجة عن طريق وضع الركام الخشن في قالب العمل ومن ثم حقنه بمونة الاسمنت البورتلاندي والرمل وفي العادة تكون مع استخدام إضافات لضمان ملئ الفرغات [2] والشكل (1) يوضح الية صب الخرسانة.



شكل (1) الية صب الخرسانة.[3]

قد نواجه صعوبة في عملية الصب او التنفيذ لبعض المنشآت الخرسانية سواء كان المنشأ موجود في المياه او في المناطق التي تكون فيها المياه السطحية قريبة من سطح الأرض، يتطلب الأمر تقنيات لإستخراج المياه ذات تكلفة عالية وصعوبة في التنفيذ، تأتي أهمية هذه الدراسة لتسهيل عملية الصب وذلك باستخدام تقنية الخرسانة ذات المرحلتين كوسيلة من وسائل صب الخرسانة تحت الماء.

تتكون الخرسانة ذات المرحلتين من ركام خشن ومونة خاصة. المونة المستخدمة في الخرسانة ذات المرحلتين عادة ما تحتوي على اسمنت بورتلاندى صافي او مخلوط وركام ناعم جيد التدرج وماء. قدرة المونة على التدفق حول الركام الخشن امر ضروري لذا عادة ما يتم استخدام إضافات كيميائية للتحسين من قدرتها على التغلغل. تقريبا جميع المواد التي تتوافق مع المواصفات المستخدمة في الخرسانة التقليدية يمكن استخدامها أيضا في الخرسانة ذات المرحلتين.

عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على فصل الإسمنت من الخرسانة وينتج عن ذلك نقص شديد في مقاومتها، ولهذا السبب يتم استخدام نوع من الإضافات يسمي Anti-washout admixture وهو يعتبر من أحدث أنواع الإضافات للخرسانة في حالة استخدامها للمنشآت التي تقام فوق سطح الماء مثل الكباري والجسور وغيرها. حيث تعمل هذه الإضافة على تكوين مادة مثل الجل داخل المياه المحيطة بحبيبات الإسمنت فتحميه من الفصل بسبب المياه، كما تعمل على زيادة اللزوجة والتماسك بين جزئيات الخرسانة وتحسن من مقاومتها للانفصال.

استخدمت هذة التقنية في العديد من التطبيقات المهمة على مدي السنوات الماضية. ومن اهم هده التطبيقات ترميم سد هوفر باريزونا واعادة تأهيل سد باركر في كولورادو وبناء ركائز جسر ماكيناك بالولايات المتحدة [3].

وتستخدم الخرسانة ذات المرحلتين عند وجود صعوبة في صب الخرسانة التقليدية على سبيل المثال عند صب المقاطع الخرسانية ذات الكثافة العالية من حديد التسليح. كما انها مفيدة بشكل خاص في صب وترميم الخرسانة تحت الماء والخرسانة الثقيلة الوزن. وبصفة عامة تستخدم في التطبيقات التي تحتاج الي خرسانة ذات تغير حجمي منخفض[3].

(Abdelgader et.al,2010) هدفت الدراسة إلى عرض امكانية صب الخرسانة تحت الماء باستخدام الخرسانة ذات المرحلتين، حيث تم تجهيز نموذج معملي، تم اختباره بواسطة استخراج عينة (core sample) واجراء كلا من اختبار الضغط واختبار الشد الغير مباشر واختبار الموجات فوق الصوتية للعينات المستخرجة ولمكعبات 100×100×100مم.

وتوصلت الدراسة إلى أنه يمكن استخدام طريقه الخرسانة ذات المرحلتين لصب الخرسانة تحت الماء، كما أوصت الدراسة باستخدام نسب مختلفة من نسبة ماء إلى الاسمنت ونسبة الاسمنت إلى الرمل للحصول على الخلطة التصميمية الأمثل، واستخدام نوع مختلف للركام مع امكانية استخدام الركام المحلي.

(Hiroyshi et.al ,2020) درسوا أداء صفيحة من الخرسانة ذات المرحلتين لمقاومة الانفجار بتعريضها إلى انفجار ملامس، وقد توصل الباحثون إلى نتائج كان أهمها أن اختيار الركام الخشن قد يكون أحد الحلول لتحسين أداء الخرسانة ذات المرحلتين في مقاومة الانفجارات، حيث أظهرت الدراسة نتائج مرضية بخصوص استخدام الركام الخشن نوع الحجر الجيري المسامي ويعود السبب إلى الملمس السطحي لهذا النوع وحجم الفراغات الكبير، ومع ذلك هذا النوع من الركام قد لا يكون مناسباً تحت تأثير الأحمال المعتادة، كما أن زيادة المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن يصاحبها زيادة الفشل بسبب الانفصال لحبيبات الركام عن بعضها. وقد أوصى الباحثون بضرورة الأخذ في الاعتبار أهمية شكل حبيبات الركام الخشن ونسبة الفراغات على مقاومة الصفيحة تحت الدراسة.

(Rajabi et.al,2020) قاموا بإجراء دراسة للخواص الميكانيكية للخرسانة ذات المرحلتين والخرسانة العادية باستخدام اختبارات غير إتلافية.

حيث وجدوا معادلات تجريبية من أجل تقدير المتغيرات الميكانيكية للخرسانة ذات المرحلتين والخرسانة العادية، قاموا بتجهيز 216 مكعب من الخرسانة ذات المرحلتين، و108 مكعب من الخرسانة العادية بعمر 28 يوم، وتم إجراء الاختبارات:- الضغط المحوري (uniaxial compression)، اختبار الشد البرازيلي (Brazilian tensile strength)، اختبار نقطة التحميل (point load tests) كاختبارات إتلافية (destructive testing)، واختبار مطرقة شميديت (Schmidt hammer)، اختبار الموجات فوق الصوتية (ultrasonic pulse velocity tests) كاختبارات غير إتلافية، وقد توصلوا إلى أن هذه النظرية يمكن التوصية بها لتقدير المتغيرات الميكانيكية.

حيث تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على تقنية الخرسانة ذات المرحلتين وايضا المقارنة بين تأثير اكبر نسبة وأقل نسبة بين (Sika ViscoCrete-5930.

2. منهجية الدراسة

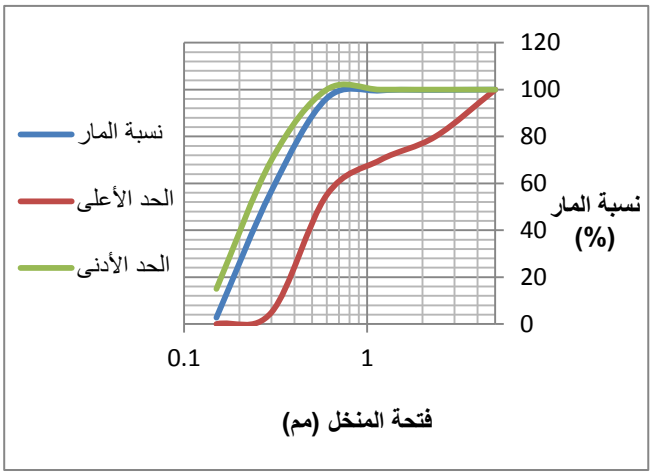
تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المورد من دولة تونس (شركة الصفصاف، وهو مطابق للمواصفة القياسية الليبية م. ق. ل (2009/340) [7].

استخدم في هذا البحث رمل زليتن الرمل المتوفر محلياً من منطقة زليتين بمعامل نعومة 1.86 و وزن نوعي 2.65، كما استخدم ركام مورد من منطقة وادي الحي ومقاسة الاعتباري الاكبر 37 مم نو وزن نوعي 2.603.[8]

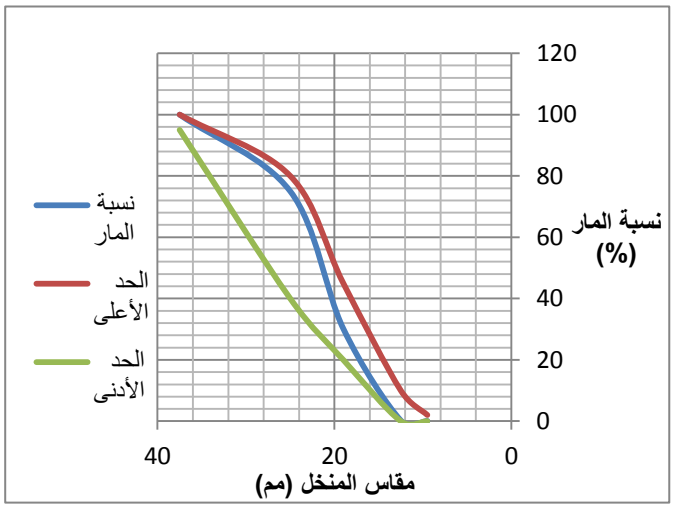
واجراء التحليل المنخلي طبقا للمواصفات[3] ACI 304 limits، والجدول (1) يبين نتائج اختبار الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام، والشكل (2) يبين منحني تدرج الركام الناعم ، والشكل (3) يبين منحني التدرج الحبيبي.

الجدول (1) يبين نتائج اختبار الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات
الوزن النوعي	2.603	2.7 – 2.6
نسبة الامتصاص	2.529	لا تزيد عن 3%
معامل الصدم	18.55	لا تزيد عن 30%
معامل التهشيم	27.14	لا تزيد عن 30%



الشكل (2) منحنى تدرج الركام الناعم



الشكل (3) يبين منحني التدرج الحبيبي

تم في هذه الدراسة استخدام نوع من الإضافات Sika ViscoCrete 5930_ كمادة ملدنه فائقة من الجيل الثالث للخرسانة تستعمل كعامل عالي الكفاءة لتقليل المياه بشكل كبير وأيضا تعطى للخرسانة قابلية تدفق ممتازة.

اشتملت هذه الدراسة على ثلاثة خلطات :

الخلطة الاولي(R): احتوت على خلطة مونة اسمنتية عادية بنسبة (W/C=0.45%)

الخلطة الثانية (SV-0.8): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة Sika ViscoCrete-5930بنسبة (0.8%) من وزن الاسمنت .

الخلطة الثالثة (SV-2): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة Sika ViscoCrete-5930 بنسبة (2%) من وزن الاسمنت.

الخطوات العمليه التي تم تنفيذها لصب الخرسانة تحت الماء:-

تم ملئ القالب الفولاذي بالماء والتأكد من عدم حدوث أي تسرب.

تم وضع ماسوره من مادة PVC بشكل عمودي داخل الماء حيث كان ارتفاع الانبوب 300 مم و بنفس ارتفاع القالب وترك 100 مم فوق مستوي الماء كما موضح بالشكل (4).

الشكل (4) كيفية وضع الانابيب

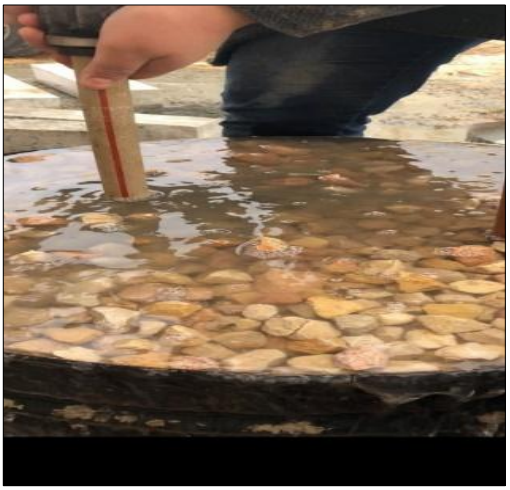
1. تم صب الركام تدريجيا يدوياً وببطء وتوزيعه بشكل منتظم قدر الإمكان حول القاع كما موضح بالشكل (5)

الشكل (5) ***كيفية صب الركام في القالب***

2. تمت تعبئة القالب بشكل كامل بالركام وتسويه السطح الضاهركما موضح بالشكل (6).

الشكل (6) كيفية ملئ القالب

3. تم تحضير خليط المونة الاسمنتية ثم ضخها مباشرة من خلال انابيب الحقن. يبدأ الماء بتدفق خارج القالب كما موضح بالشكل (7).



الشكل (7) خليط المونة الإسمنتية وضخها في القالب.

4. تم قص القوالب لاستخراج القالب الخرساني بابعاد 150×600 بعد 28 يوم من صب الخلطات، ولاجراء اختبار مقاومة الضغط والشد الغير مباشر والموجات فوق الصوتية تم قص القوالب المستخرجة بأبعاد 150×300مم وتم تسوية سطح القوالب لإجراء الاختبارات، كما موضح في الشكل(8).

الشكل (8) قص القالب لاستخراج القالب الخرساني بعد 28يوم

3. النتائج والمناقشة

اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة:

- اختبار Flow con زمن الإنسياب:

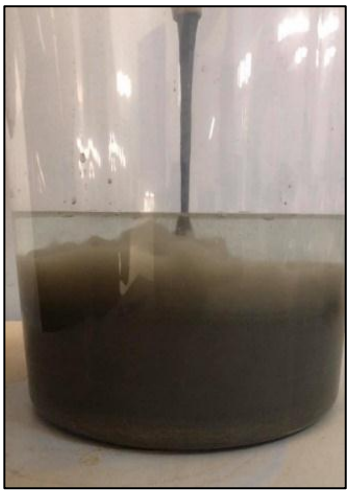
يستخدم هذا الاختبار لقياس قدرة الخرسانة على الانسياب بدون حدوث انفصال حبيبي للخلطة.

تم في هذا الاختبار فحص العينات بصريا كالاتي:

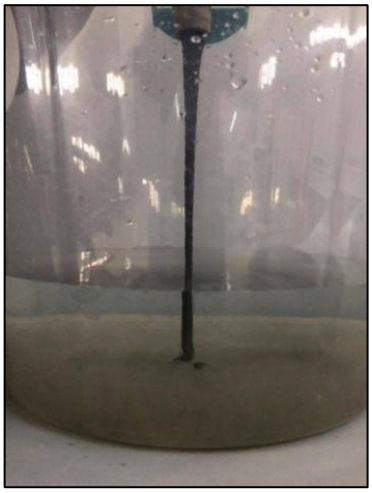
- تم تجهيز حوض مملوء بالماء
- بعد ذلك تم تجهيز خلطتين من المونة الإسمنتية وكانت الخلطة الاولي عبارة عن مونة اسمنتية عادية بدون اضافات، والخلطة الثانية عبارة عن مونة اسمنتية مضافة اليها Sika ViscoCrete _5930.
- تم خلط كل خلطة على حدا ومن ثم تفريغها في الحوض بواسطة مخروط وملاحظة ماذا يحدث من تغيرات بصريا، والشكل (10) يوضح نتيجة الاختبار عند استعمال مونه أسمنتيه فقط والشكل (11) يوضح نتيجة الاختبار عند استعمال مونه اسمنيه مضاف اليها Sika ViscoCrete _5930

الجدول(2) يوضح النتائج المتحصل عليها في اختبار Flow con زمن الإنسياب الاختبار البصري:

W/C 0.45	زمن الانسياب
الخلطة المرجعية (R)	34.26 ثانية
(SV-0.8) بإضافة سيكا بنسبة	32.12 ثانية
(SV-2) بإضافة سيكا بنسبة	29.37 ثانية



الشكل (10) نتيجة الاختبار البصري



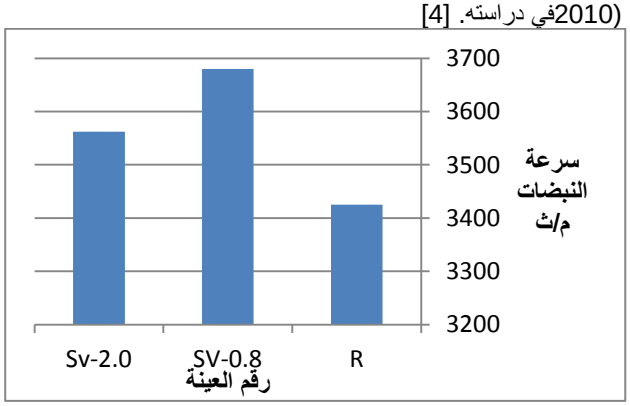
الشكل (11) نتيجة الاختبار عند استعمال مونه اسمنتيه مضاف أليها Sika ViscoCrete _5930

نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة الغير اتلافية:

- اختبار سرعة النبضات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity Test

الشكل(12) يوضح نتائج اختبار سرعة النبضات فوق الصوتية بعد 28 يوم للخلطة المرجعية وخلطات السيكا على التوالي. حيث نلاحظ ارتفاع لنتائج العينات مقارنة بالعينة المرجعية (R)التي كانت نتيجتها مقبولة، كما نلاحظ أنه بزيادة نسبة السيكا تقل سرعة الموجات فوق الصوتية، وهذا يوضح أنه العينات ذات نسب الاضافة الأقل (SV-0.8) أفضل من الخلطات ذات نسب الإضافة الأعلى (SV-2) مما يعني أنها متجانسة و خالية من الفجوات ، حيث كانت نسبة الزيادة للخلطات(SV-2 و SV-0.8)على التوالي (7% و4%).

وبنسبة للخلطات (SV-0.8) كانت الزيادة (7% و3%)، وهذه النتائج متقاربة مع النتائج التي تحصل عليها الباحث (Abdelgader et.al, 2010)في دراسته. [4]



الشكل (12) نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية بعد 28 يوم للخلطة المرجعية وخلطات السيكا

- نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة

- اختبارمقاومة الضغط:

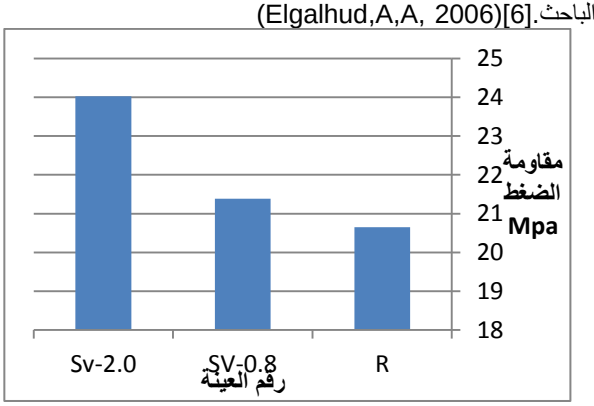
تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة البريطانية (BS 1881-Part 116) [5]عند العمر 28.

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة البريطانية[5 BS 1881-Part)] (116عند العمر 28، وقبل وضع الاسطوانات في جهاز الاختبار تم تسوية سطحها.

من خلال مقارنة النتائج نلاحظ أن مقاومة الضغط تتحسن للخلطات (SV-0.8و SV-2) بنسبة (4% و 16%) على التوالي عن الخلطة المرجعية، وكانت نسبة الزيادة للخلطة 12% (SV-2)على الخلطة،

والشكل (13) يبين نتائج اختبار الضغط بعد 28 يوم لعينات القوالب المستخرجة..(SV-0.8)

عند استخدام الحد الاعلى من (Sika ViscoCrete-5930) اعطى افضل نتيجة في مقاومة الضغط , 24.02 Mpa تعتبر مقاومة الضغط التي تم الحصول عليها جيدة مع النتائج التي تحصل عليها الباحث [4](Abdelgader et.al, 2010) في دراسته، والباحث.[6](Elgalhud,A,A, 2006)

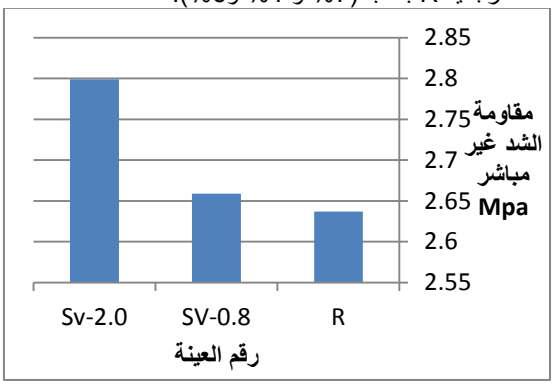


الشكل (13) نتائج اختبار الضغط بعد 28 يوم لعينات القوالب المستخرجة.

- اختبار مقاومة الشد الغير مباشر

أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة الأمريكية (ASTM C496/C496M-04)، على عينات اسطوانية ذات قطر150مم وارتفاع300مم، بين رأسي الجهاز ثم يتم التحميل تدريجياً حتى حدوث الانهيار ويتم تسجيل الإجهاد المسبب للكسر.

الشكل (14) يوضح نتائج اختبار الشد بعد 28 يوم، حيث اظهرت النتائج الخلطات (SV-2 , SV-0.8) زيادة في مقاومة الشد الغير مباشر عن الخلطة المرجعية R بنسب (7% و 1% و6%).



الشكل (14) نتائج اختبار الشد الغير مباشر، بعد 28 يوم لعينات القوالب المستخرجة .

4. الخاتمة والتوصيات

من خلال هذا البحث تم التوصل إلى أنه يمكن استخدام المواد المحلية لصناعة الخرسانة تحت الماء باستخدام تقنية الخرسانة ذات المرحلتين، حيث أنه من خلال نتائج الفحص البصري للعينات تم ملئ الفرغات كليا بين جزيئات الركام الخشن بالمونة الاسمنتية، كما أن اختبار الموجات فوق الصوتية لا يعد اختبارا دقيقا لتقنية الخرسانة ذات المرحلتين لان كمية الركام الخشن كبيرا جدا، وتعتبر نتائج الاختبار مؤشر على الركام نفسه .

اعلي نتيجة لاختبار موجات فوق الصوتية كان للخلطة SV-0.8 المستخدم فيه (SikaViscoCrete-5930)بنسبة 0.8% بين جميع الخلطات وأفضل نسبة سيكا تعطي أعلى مقاومة للضغط والشد الغير مباشر هي 0.2%.

من خلال الاختبارات التي تم تنفيذها تبين أنه يمكن تنفيذ وصب الخرسانة تحت الماء باستخدام الملدن (SikaViscoCrete-5930) وبنسبة ماء إلى الاسمنت 0.45، حيث كانت النتائج المتحصل عليها مرضية.

توصي هذه الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث حول تأثير تدرج الركام ، كما توصي بتطوير هذا البحث باستخدام نسب مختلفه W/C و C/S والاضافات للحصول على افضل تصميم للخلطات ، أيضاً توصي بإجراء الاختبارات التي لم يتم تنفيذها في هذا البحث لدراسة خواص الخرسانة تحت الماء كاختبار معامل المرونة وغيرها من الاختبارات.

المراجـــــــــع

[1] McLeish A., Advisor E., *'Underwater Concrete and repair'*, first Edition, 1992.

[2] Sam X. yao, Dale E. Berner, Ben C. Gerwick, *' Assessment of Underwater Concrete Navigation Structures*', Technical Report, INP-SI, 1999.

[3] ACI 304, *'Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete'*, Reported by American Concrete Institute, ACI Committee 304, 2005.

[4] H. S. Abdelgader, M. F. Najjar and T. M. Azabi, *'Study of underwater concrete using two-stage (preplaced aggregate) concrete In Libya'*,Structural concrete, 2010.

[5] British Standard Instiurion, *'BS 1881 part 203, Recommendations for Measurement of Velocity of ultrasonic pulses in Concrete'*, London, 1986.

[6] H. S. Abdelgader and A. A. Elgalhud,' *Effect of grout proportions on strength of two-stage concrete'*,Structural Concrete, 2008.

[7] المواصفة القياسية الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلاندي، 2009ف.

[8] المواصفة القياسية الليبية رقم 49 ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، 2002ف.