صب الخرسانة المستدامة تحت الماء

خولة محمد إشطيبة[1]، نورالهدي سالم الشعاب[2]، نوري محمد الباشا[3]

[1،3،2] قسم المدنية ، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة ، المدينة صبراتة، الدولة ليبيا

ملخـــــــص البحـــــــث

الهندسة المستدامة عملية تتمثل في استخدام الموارد بطريقة لا تعرض البيئة للخطر ولا تقضي الي استنفاذ المواد من اجل الاجيال القادمة. 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 (TSC).

من خلال البرنامج العملي تم استخدام نوعين من الإضافات(Sika ViscoCrete-5930 , MasterMatrix UW 404) تعملان كمادة تمنع اختلاط الإسمنت بالماء، حيث تم إعداد خمس 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، الخلطة الرابعة(MM-0.8): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة

MasterMatrix UW 404 بنسبة (0.8%) من وزن الاسمنت، الخلطة الخامسة MM-1.6): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافةMasterMatrix UW 404 بنسبة (1.6%) من وزن الإسمنت. وإجراء اختبار الضغط واختبار الشد واستخدام اختبار سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية.

يعتبر مجال الهندسة المدنية هو الجزء الرئيسي من الاقتصاد، فمن الضروري ان يتم انشاء البناء المستدام بدلا من انشاء البناء بطريقة تقليدية متبعة في الماضي، ومن خلال نتائج هدا البحث، لوحظ أنه من الممكن صب الخرسانة تحت الماء باستخدام الخرسانة ذات المرحلتين بطريقة ناجحة، واستخدام البناء المستدام سيكون اقل تكلفة.

الكلمات الدالة: الخرسانة ذات المرحلتين، صب الخرسانة تحت الماء، مقاومة الضغط، مقاومة الشد.

1. المقدمـة

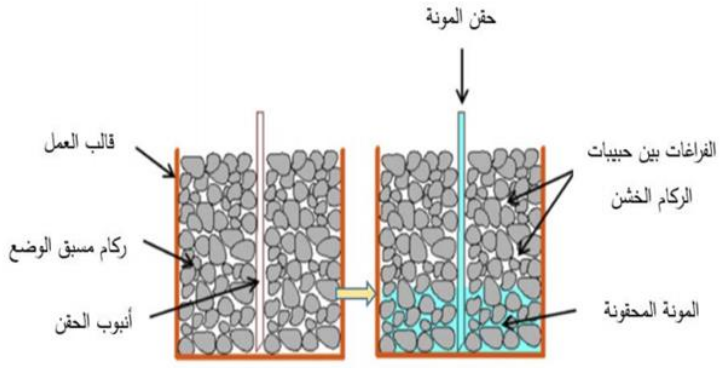
صب الخرسانة تحت الماء مطلوب على نطاق واسع في العديد من المشاريع، ولا سيما في المشاريع البحرية والهياكل الساحلية مثل :الموانئ ومصافي النفط والأرصفة البحرية فضلا عن بعض الهياكل القريبة من الساحل او في حالة ارتفاع منسوب المياه الجوفية بالقرب من سطح الأرض.

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 اتخاد 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

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) يوضح الية صب الخرسانة[3]

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على تقنية الخرسانة ذات المرحلتين وايضا المقارنة بين تأثير اكبر نسبة وأقل نسبة بين (Sika ViscoCrete-5930 ، Master Matrix (UW 404)).

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.

(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.[4]

(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 الميكانيكة 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).[5]

(Najjar, and Nehdi 2016)الهدف من هذه الدراسة هو تطوير تكنولوجيا TSC من خلال استخدام المواد التكميلية المواد الأسمنتية (SCMs) ، واستخدام الألياف، ومن مميزات الاستدامة الخاصة بها تطوير أرصفة جديدة ذات محتوى معاد تدويره، وإنشاء نماذج باستخدام القدرة التنبؤية لخصائصها الهندسية. لذلك تشتمل الخصائص الطازجة والمتصلبة لخلطات العجينة الإسمنتية على أنواع مختلفة من المضافات، بما في ذلك الرماد المتطاير (FA) ، ودخان السيليكا (SF) والميتاكولين (MK).

تم إجراء محاولة لتحديد النسبة المثلى للماء إلى المادة الرابطة (w/b)والمدى العالي لجرعات المضافات التي تقلل الماء (HRWRA) للعجينة الإسمنتية التي تفي بالتوصيات الموصى بها وقت التدفق (أي 35-40 ± 2 ثانية) وفقًا لـ(2005) ACI 304.1. علاوة على ذلك، فإن تأثير المضافات SCMs المختلفة بجرعات مختلفة على تطوير الخواص الميكانيكية لـ .TSC وبالعكس، فان التأثير السلبي للألياف على قابلية التشغيل للخرسانة التقليدية يتم التخلص منه في TSC حيث يتم وضع الركام والألياف الخشنة مسبقًا في القوالب وثم يتم حقنها بجص قابل للتدفق، هذا يسمح باستخدام جرعات الألياف أعلى من المستويات

المعتمدة عادة في الخرسانة المخلوطة تقليديًا، بالنسبة للخواص الميكانيكية فإن أداء الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية ذات المرحلتين (TSSFRC) المصنوعة من مواد مختلفة تم استخدام جرعات من الألياف الفولاذية بأطوال مختلفة لأول مرة وبنجاح.[6]

(Abdelgader and Elgalhud ,2008) قام بدراسة تأثير نسب خلط العجينة الاسمنتية(Grout) على قوة الخرسانة ذات المرحلتين باستخدام مواد مضافة مختلفة لتحسين انسيابية العجينة الاسمنتية. يتناول هذا البحث تأثير أنواع مختلفة من المواد المضافة على قوة الخرسانة، يقدم البحث أيضًا نتائج تجريبية لخرسانة باستخدام 36 نسبة مختلفة من مواد العجينة الاسمنتية. تم اختبار إجمالي 360 أسطوانة خرسانية قياسية بعد 28 يومًا، تم اشتقاق علاقة إحصائية بين قوة الشد وقوة الضغط للخرسانة ذات المرحلتين ،الشكل(2-5) و(2-6) و(2-7) والشكل (2-8) يبين العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد لكل من الخلطات التي بدون ملدن، مع الملدنات الفائقة و الخلطات التي استخدم فيها اضافات التوسيع واالتي استخدم فيها إضافات التوسيع والمضافات معاً على التوالي.[7]

2. الجانب العملي و المنهجية:

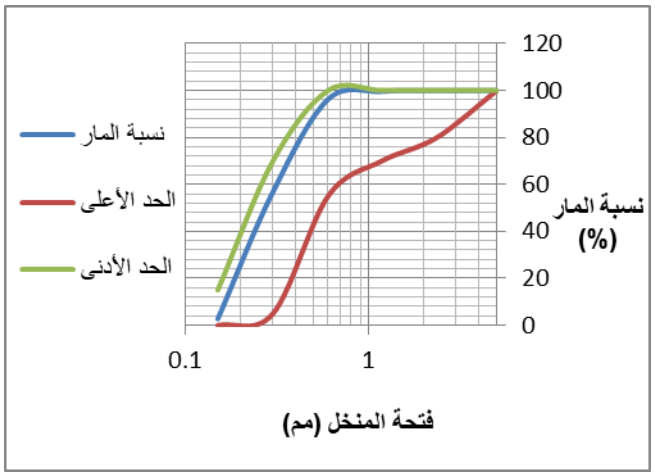
تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المورد من دولة تونس (شركة الصفصاف- موضح بالشكل (2-4)، وهو مطابق للمواصفة القياسية الليبية م. ق. ل (2009/340)

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 ذو وزن نوعي 2.603

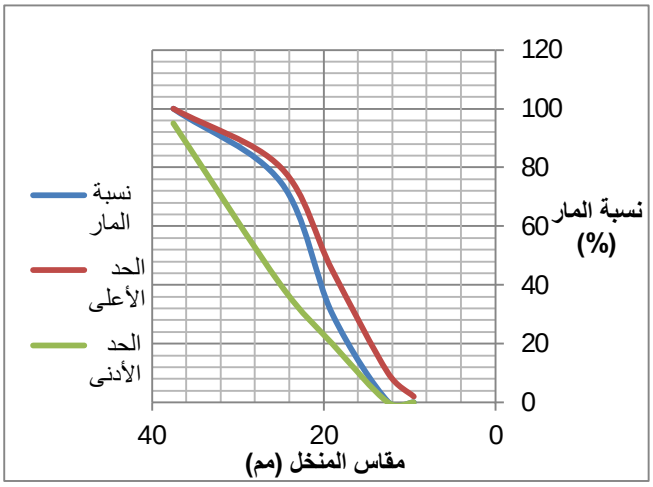
واجراء التحليل المنخلي طبقا للمواصفات ACI 304 limits [3] والشكل (2) يوضح الركام المستخدم، الجدول (2) يبين نتائج اختبار الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام، والجدول (3) يبين نتائج التحليل المنخلي للعينه، والشكل (3) يبين منحني التدرج الحبيبي.

والجدول (2) يبين نتائج اختبار الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام

الأختبار	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)يوضح منحنى تدرج الركام الناعم



الشكل (3) يبين منحني التدرج الحبيبي

تم في هذه الدراسة استخدام نوعين من الإضافات **Sika ViscoCrete _5930 , MasterMatrix UM 404** وهما يعملان 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 خمس 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-5930 بنسبة (0.8%) من وزن الاسمنت.
- الخلطة الثالثة (SV-2): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة Sika ViscoCrete-5930بنسبة (2%) من وزن الاسمنت.
- الخلطة الرابعة(MM-0.8): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافةMasterMatrix UW 404 بنسبة (0.8%) من وزن الاسمنت.

- الخلطة الخامسة (MM-1.6): احتوت على خلطة مونة اسمنتية بإضافة MasterMatrix UW 404 بنسبة (1.6%) من وزن الإسمنت.

3. النتائج والمناقشة

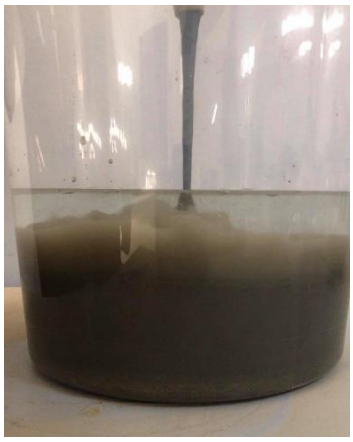
- **اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة:**

- **اختبار Flow con زمن الإنسياب:**

الجدول(3)يوضح النتائج المتحصل عليها في اختبار Flow con زمن الإنسياب

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
(MM-0.8) بإضافة ملدن بنسبة	30.19 ثانية
(MM-1.6) بإضافة ملدن بنسبة	28.05 ثانية

الاختبار البصري:



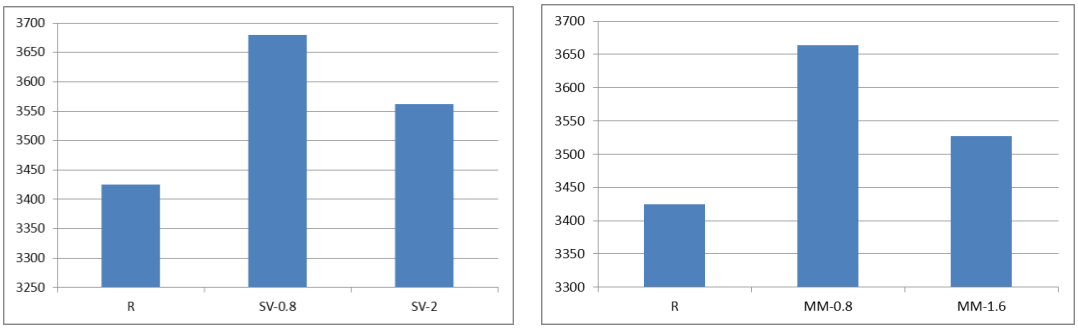
الشكل (4) يوضح نتيجة الاختبار البصري

الشكل (5) يوضح 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(6) يوضح نتائج اختبار سرعة النبضات فوق الصوتية بعد 28 يوم للخلطة المرجعية وخلطات السيكا والملدن على التوالي. حيث نلاحظ ارتفاع لنتائج العينات مقارنة بالعينة المرجعية (R) التي كانت نتيجتها مقبولة، كما نلاحظ أنه بزيادة نسبة كل من الملدن والسيكا تقل سرعة الموجات فوق الصوتية، وهذا يوضح أنه العينات ذات نسب الاضافة الأقل (SV-0.8 و MM-0.8) أفضل من الخلطات ذات نسب الإضافة الأعلى (SV-2 و MM-1.6) مما يعني أنها متجانسة و خالية من الفجوات ، حيث كانت نسبة الزيادة للخلطات (SV-2وSV-0.8) على التوالي (7% و4%).

وبنسبة للخلطات (MM-1.6وSV-0.8) كانت الزيادة (7% و3%)، وهذه النتائج متقاربة مع النتائج التي تحصل عليها الباحث (**Abdelgader et.al, 2010**) في دراسته. [4]



الشكل (6) نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية بعد 28 يوم للخلطة المرجعية وخلطات السيكا والملدن

- **نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة**
- **اختبارمقاومة الضغط :**

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة البريطانية (BS 1881-Part 116) [8] عند العمر 28.

- **نتائج اختبارات الخرسانة المتصلدة**
- **اختبارمقاومة الضغط :**

تم إجراء هذا الاختبار طبقاً للمواصفة البريطانية (BS 1881–Part 116) [8] عند العمر 28، وقبل وضع الاسطوانات في جهاز الاختبار تم تسوية سطحها.

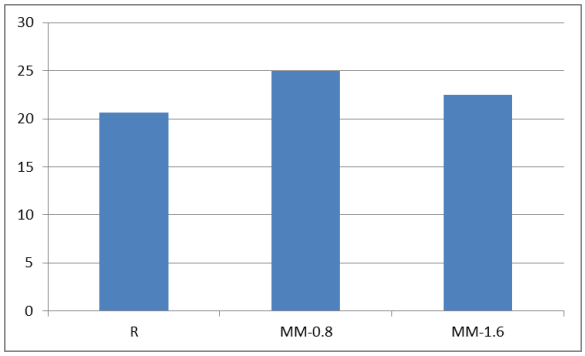
من خلال مقارنة النتائج نلاحظ أن مقاومة الضغط تتحسن للخلطات (SV-0.8و SV-2) بنسبة (4% و 16%) على التوالي عن الخلطة المرجعية، وكانت نسبة الزيادة للخلطة(SV-2) 12% على الخلطة (SV-0.8).

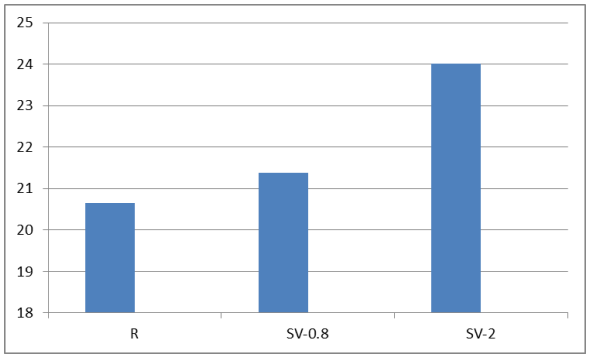
و عند استخدام اعلى نسبة Master Matrix UM 404) حسب الجهة المصنعة والتى كانت 0.8% اعطت افضل النتائج في مقاومة الضغط وبلغتMpa 24 بنسبة زيادة 21% على الخلطة المرجعية R وكانت بنسبة زيادة 13% على الخلطة (MM-1.6) التى تزيد بنسبة 9% عن الخلطة المرجعية R.

نلاحظ ان الحد الادنى من(Master Matrix UM 404) اعطى افضل النتائج في مقاومة الضغط Mpa 24.98 وعندما تم الاستخدام 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 (Abdelgader et.al, 2010)[4] في دراسته، والباحث(Elgalhud,A,A, 2008)[7].

بناء على ذلك نستطيع القول بان استعمال(Master Matrix UM 404) افضل من

(Sika ViscoCrete-5930) في اعمال الخرسانة تحت الماء



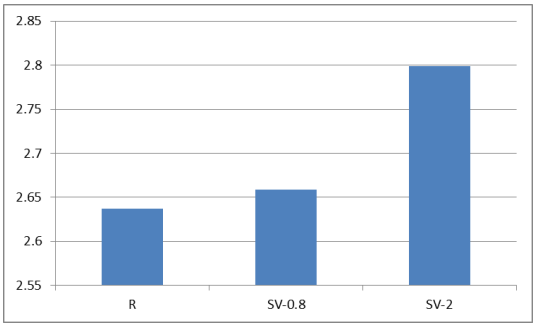


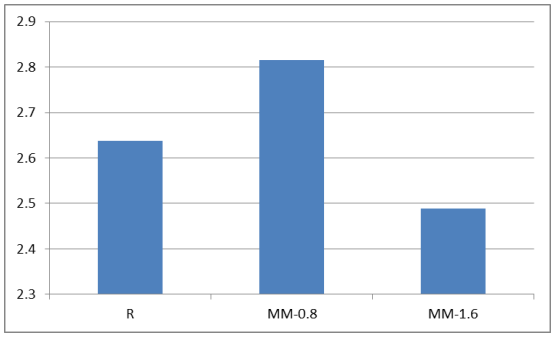
الشكل (7) نتائج اختبار الضغط بعد 28 يوم للاسطوانات ولعينات القوالب المستخرجة

- **اختبار مقاومة الشد**

أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة الأمريكية (ASTM C496/C496M–04) [9] ، علي عينات اسطوانية ذات قطر150مم وارتفاع300مم، بين رأسي الجهاز ثم يتم التحميل تدريجياً حتى حدوث الانهيار ويتم تسجيل الإجهاد المسبب للكسر.

الشكل (8) يوضح نتائج اختبار الشد بعد 28 يوم، حيث اظهرت النتائج الخلطات (MM-0.8، SV-0.8 ، SV-2) زيادة في مقاومة الشد عن الخلطة المرجعية R بنسب (7% و 1% و6%)، بينما تنخفض في (MM-1.6) بنسبة (-6%) مقارنه بالخلطة المرجعية R.





الشكل (8) نتائج اختبار الشد بعد 28 يوم لعينات القوالب المستخرجة و للاسطوانات

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 لختبار موجات فوق الصوتية كان للخلطة SV-0.8 المستخدم فيه (SikaViscoCrete-5930) بنسبة 0.8% حيث كانت سرعة النبضة 3680 م/ث بين جميع الخلطات، وافضل مقاومة ضغط كانت للخلطه MM-0.8 بنسبة زيادة 21% عن الخلطة المرجعية R ، افضل مقاومة شد كانت للخلطه MM-0.8 بنسبة زيادة 7% عن الخلطة المرجعية R، إن تأثير (MasterMatrix(UW 404) على خواص الخرسانة ذات المرحلتين افضل من (SikaViscoCrete-5930).

4. المراجـــــع

[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] Ali M. Rajabi, Farzam Omidi Moaf, and Hakim S. Abdelgader, 'Evaluation of Mechanical Properties of Two-Stage Concrete and Conventional Concrete Using Nondestructive Tests',J- Master, Civil Eng.2020.32(7):04020185,ASCE.

[6] Manal F. Najjar & Moncef Nehdi,' Innovating Two-Stage Concrete with Improved Rheological, Mechanical and Durability Properties', 2016.

[7] H. S. Abdelgader and A. A. Elgalhud,' Effect of grout proportions on strength of two-stage concrete',Structural Concrete, 2008, 9

[8] British Standard Instituri on, 'BS 1881 part 203, Recommendations for Measurement of Velocity of ultrasonic pulses in Concrete', London, 1986.

[9] ASTM International,100 Barr Harbour Drive ،PO Box C700 ،West Conshohocken ،PA.19428-2959 ،United States.