تأثير استخدام الرمل السيليكي على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة

نهلة ناجي هلال — **مدرس مساعد**
مجيد مطر الدليمي — **مدرس مساعد**
اسيل حسام الدين عبدالله — **مدرس مساعد**
جامعة الانبار-كلية الهندسة

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير استخدام الرمل السيليكي (الزجاجي) بنسب مختلفة ومقارنتها مع خلطة مرجعية حاوية على الرمل الاعتيادي بالكامل لمعرفة مدى تأثير ذلك على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة مثل مقاومة الانضغاط ، الكثافة الرطبة، الامتصاص ومقاومة الانثناء.

تم استبدال الرمل العادي بالرمل السيليكي بنسب مختلفة هي (25%، 50%، 75%، 100%) ولغرض معرفة تأثير إضافة المضافات الى خلطة الرمل السيليكي تم إضافة محلول سليكات الصوديوم بنسب وزنية مئوية من وزن الأسمنت وتقليل نسبة الماء الى الإسمنت بنفس النسبة. أظهرت النتائج تحسن في خصائص الخرسانة إن أفضل قيمة للنتائج كانت عند استبدال (75%) من الرمل الاعتيادي بالرمل السيليكي حيث تم دراسة بعض الخواص الميكانيكية ومنها مقاومة الانضغاط، الكثافة الرطبة، الامتصاص ومقاومة الانثناء لهذه الخلطات ولأعمار (3، 7، 14، 28) يوم للخلطات الأربعة اعلاه .

أظهرت النتائج إن النسبة المئوية المثالية لسيليكات الصوديوم من وزن الأسمنت كانت (1.75 %)، حيث بينت النتائج أن أعلى قيمة للكثافة الرطبة (التي تم إضافة محلول سليكات الصوديوم كمضاف) (2493كغم/م3) لعمر (28) يوم وبنسبة زيادة في الكثافة (1.22.59%). وكانت أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط مقارنة مع الخلطة المرجعية (85.76 ميكاباسكال) لعمر (28) يوم وبنسبة زيادة مئوية (42.9%)، وكانت أفضل قيمة لنسبة الامتصاص مقارنة مع الخلطة المرجعية (0.77) لعمر (28) يوم وبنسبة نقصان مئوية (33.8%). وكانت أعلى قيمة لمقاومة الانثناء مقارنة مع الخلطة المرجعية (8.02 ميكاباسكال) لعمر (28) يوم وبنسبة زيادة مئوية (150.6%) على التوالي.

الكلمات الدالة : الرمل السيليكي، سليكات الصوديوم، التركيب الكيميائي للرمل السيليكي، الخواص الميكانيكية للخرسانة .

The Effect of use the Silica Sand on Some Mechanical Properties of Concrete

Abstract:

This research includes study the effects of use the silica sand at different rates and comparison some characteristics with other concrete mixture contains ordinary sand to investigate the effect on some mechanical properties of concrete such as compressive strength, density absorption and flexural strength after (3, 7, 14 and 28) days for four mixtures. , the ordinary sand was replaced by the (Silica Sand) at different rates (25%, 50%, 75%, 100%). Sodium Silicate solution at percentage of cement ratio(water to

cement ratio is decreased on same ratio) added to the Ideal silica sand mixture to study the effect of addition of some additives on concrete. The study showed that the best results of mixture was when replaced (75%) of the ordinary sand by silica sand , then study some mechanical properties of mixtures such as compressive strength, density absorption and flexural strength after (3, 7, 14 and 28) days .

The study showed the optimum percentage of sodium silicate was (1.75%). The study showed that the best result of Density was (2493Kg/m3) after (28) days, and the increment ratio in Density was (2.95%), and the large value in compressive strength was (85.76 MPa) which was (42.9%) after (28) days. The study showed also that the best results of absorption were (0.77) after (28) days, and the decrement ratio in Absorption was (33.8%). The study showed that the best result of flexural strength was (8.02 MPa) after (28) days, and the maximum increment ratio in Flexural Strength was (150.6%) after (28) days.

Key Words: Silica Sand, Sodium silicate, Silica Sand Chemical Composition, Mechanical properties of concrete.

المقدمة

لا تزال الخرسانة تحتل مكان الصدارة في مواد البناء منذ استخدامها لأول مرة حتى وقتنا الحالي ، إذ تطورت وتحسنت طرق إنتاجها وصناعتها بصورة هائلة كما تعددت أنواع الخرسانة المنتجة تبعا لمتطلبات الأغراض المستعملة لأجلها ووفق المجالات المختلفة وتم ذلك عن طريق تنوع مكوناتها أو باستعمال المضافات أو تنوع طرق الإنتاج ومن هنا تظهر أهميتها بصفتها العامل المهم لبناء المنشآت المهمة لذلك يجب أخذ المواد الداخلة في صناعة الخرسانة ونسبها بنظر الاعتبار وإعطائها الأهمية المناسبة[1،2] .

إن الهدف من هذا البحث هو معرفة مدى تأثير استخدام مادة الرمل السيليكي في خلطة الخرسانة على خواصها الميكانيكية باستبدال الرمل الاعتيادي به ، حيث إن لهذا الموضوع أثر كبير من الناحية الاقتصادية بسبب رخص سعر الرمل السيليكي وتوفره مقارنة بالرمل الاعتيادي.

الرمل السيليكي

ويعرف برمل أرضمه السيليكي (Urdhumaa Silica Sand) وهي صخور رملية بيضاء اللون تتكون بشكل رئيسي من حبيبات (المرو) المتوسط والناعم، إذ تتراوح أحجام حبيباتها بين (0.1 −0.5) مايكرون وتكون ذات شكل كروي جيد وتصل درجة نقاوتها إلى أكثر من (98%) والصيغة الكيميائية لهذه الصخور هي (SiO_2). يستخدم الرمل السيليكي بشكل كبير في الصناعات السيليكية والسيراميكية لأنه يمنع حدوث التشققات (لكونه يقلل نسبة التقلص ويخفض اللدونة كما يساعد على خروج الغازات المتحررة داخل الجسم السيراميكي)، يبين الجدول(1) التركيب الكيمياوي للرمل السيليكي، بينما يوضح الجدول (2) التحليل الحجمي للرمل السيليكي، علما أن هذه المادة تتوفر محليا بكميات كبيرة في مقلع عكاشات في منطقة عكاشات غربي العراق العائد إلى هيئة المسح الجيولوجي والتعدين.

سليكات الصوديوم

تم استخدام عينة من محلول سليكات الصوديوم الذائبة المنتجة بالطريقة الرطبة من الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك ، وهي من البوليمرات المذابة ومواصفاتها موضحة في جدول (3) . إن أجزاء السيليكا والقاعدة في السيليكات الذائبة يعبر عنها بنسبة وزنية على أساس اعتبار (Na_2O)

تساوي واحداً، تكون أيونات السيليكات البوليمرية (الزجاجية) على شكل سلاسل غير معدودة أو صفائح أو شبكات ثلاثية الأبعاد، إن التركيب العام هو ترتيب عشوائي لجزيئات (SiO_4) مع أيونات الصوديوم، حيث تتبلمر السيليكات مع ثلاث ذرات أوكسجين والصيغة الكيميائية هي ($Na_2 SiO_3 . 5H_2O$)[3، 4]. تم استخدام هذه المادة لتوفرها محلياً ورخص ثمنها.

الدراسات السابقة

من خلال الاطلاع على الدراسات السابقة نجد أن الباحثين (الدليمي و المحمدي2007)[5] قد توصلا إلى أنه بالإمكان إنتاج خرسانة الإسمنت بإبدال جزء من الركام الناعم أو جزء من الأسمنت أو أجزاء من كليهما بمسحوق فضلات الزجاج بعد طحنها إلى مقاسات معينة ، حيث يعتبر الرمل السيليكي من المكونات الرئيسية للصناعات الزجاجية.

درس (المهنا)[6] تأثير الاستبدال الجزئي للاسمنت بمسحوق الرمل السيليكي بنسب مئوية (0%، 12.5%، 25%) والاستبدال الجزئي للرمل الاعتيادي بالرمل السيليكي بنسبة (0%، 25%، 50%) كركام ناعم، تبين من البحث إن استبدال (25%) من الإسمنت بمسحوق رمل السيليكا فأن مقاومة الانضغاط لا تتأثر، وإن استبدال (50%) من الرمل الطبيعي برمل السيليكا فأن مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء سوف تزداد بنسبة (9% و 16.9%) على التوالي مقارنة مع خلطة الرمل الاعتيادي.

تشير الباحث (الجيلاوي) [7] الى ان إضافة طين البنتونايت العراقي بنسب وزنية (15 كغم/م3) الى الخرسانة الملدنة يعطي أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط وان زيادة البنتونايت أكثر من هذا المحتوى يؤدي الى خفض مقاومة الانضغاط للخرسانة مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية وللأعمار كافة، حيث بلغت نسبة الانخفاض للنماذج بعمر (28) يوم (30%). أما الباحث (RIXOM)[8] فيشير الى ان اضافة المضافات المقللة للماء من اصل (النكتوسلفونات) أو (الحامض الكاربوكسيلي الهيدروكسيلي) عند نسبة ماء معينة سيؤدي الى زيادة في مقاومة الانضغاط مقارنة بالخلطات المرجعية. يشير الباحثان (العريان وعطا)[9] الى إن كل من سليكات الصوديوم (الماء الزجاجي Water glass)، كبريتات النشادر، كبريتات الزنك، كلوريد الكالسيوم وكلوريد الألمنيوم مواد فعالة كيميائياً والتي بتفاعلها مع الأسمنت تكون جيل (gel) لمليء الفراغات داخل الخرسانة لأن سليكات الصوديوم تعتبر من اللواصق المحلولة وهي عبارة عن بوليمر مذاب[9].

يبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للرمل السيليكي بينما يبين الجدول (2) نتائج التحليل الحجمي للرمل السيليكي، حيث تم الحصول على النتائج من الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك في الرمادي.

العمل المختبري

تضمن هذا البحث ثلاث مراحل مختبريه رئيسية:

المرحلة الأولى: إنتاج خرسانة الإسمنت للرمل السيليكي .

المرحلة الثانية: إعداد النماذج وشملت القولبة (Molding)، إنهاء السطح (Finishing Surface)، الرفع من القوالب (Moved from Molds) وأخيراً المعالجة.

المرحلة الثالثة : فحص مقاومة الانضغاط، مقاومة الانثناء، الكثافة الرطبة والامتصاص للخلطة المرجعية وخلطات الرمل السيليكي وإيجاد النسبة المثلى لاستبدال الرمل الاعتيادي بالرمل السيليكي.

المرحلة الرابعة : إضافة محلول سليكات الصوديوم بنسب وزنية مختلفة الى النسبة المثلى لاستبدال الرمل الاعتيادي بالرمل السيليكي مع تقليل المحتوى المائي بقدر كمية سليكات الصوديوم المضافة.

علما أن جميع الفحوصات تمت في مختبر الخرسانة التابع للمعهد الفني (في مدينة الصقلاوية)

إنتاج خرسانة الرمل السيليكي

اولا: الأجهزة المستخدمة

أ:القوالب: تم اعتماد المواصفة (B.S.1881.Part 116) لسنة (1989)[10] في إعداد النماذج لهذا البحث وفيها أن تكون القوالب المستخدمة من مادة غير قابلة للامتصاص ولا تسمح بمرور الماء وغير قابلة للتفاعل مع محتويات خرسانة الإسمنت وقد تم استخدام مكعبات بأبعاد (50 x 50 x 50) ملم لعمل نماذج فحص مقاومة الانضغاط .

ب:الهزاز: تم استخدام المنضدة الهزازة لغرض عملية رص النماذج .

ج:المالج (Trowel): تم استخدام المالج لغرض تسوية وإنهاء السطح .

ثانيا : المواد الأولية المستخدمة

أ:الأسمنت : في هذا البحث تم استخدام الاسمنت البورتلاندي الإعتيادي نوع (I) المصنوع في معمل أسمنت كبيسة[11]، يوضح الجدولان (4) و (5) التركيب الكيمياوي و الخصائص الفيزياوية للأسمنت المستخدم في هذا البحث، علماً بأن قيم الجدولين أعلاه تم الحصول عليهما من معمل سمنت كبيسة.

ب-الركام(Aggregate): تم استخدام الركام (المكسر) الناعم والخشن بمقاس أقصى (10) ملم، الجدولان (6) و(7) يوضحان التحليل المنخلي للركام الناعم والخشن وحسب المواصفة (IQs : NO.45: 1984)[12]. الجدولان (8) و (9) يوضحان الخصائص الفيزيائية للركام الناعم والخشن وحسب المواصفة (IQs :NO.45:1984).

ج- الماء: تم إستخدام الماء الصالح للشرب في الخلطات الخرسانية وفي معالجة النماذج، وأن نسبة تركيز ايون الكبريتات كانت (210 ملغم/لتر) وهي أقل من الحد الأعلى المسموح للمواصفة القياسية العراقية رقم 1703 لسنة 1992 والتي تحدد أن لا يزيد تركيز الكبريتات في الماء المستعمل في خلط ومعالجة الخرسانة عن (1000 ملغم/لتر)[13] .

ثالثا : نسب الخلط

يوضح الجدول (10) تفاصيل نسبة الخلط المستخدمة، مع ملاحظة انه في الخلطة (m2) تم استبدال (25%) من الرمل الاعتيادي برمل زجاجي، و في الخلطة (m3) تم استبدال (50%) من الرمل الاعتيادي برمل زجاجي، و في الخلطة (m4) تم استبدال (75%) من الرمل الاعتيادي برمل زجاجي و في الخلطة (m5) تم استبدال (100%) من الرمل الاعتيادي برمل زجاجي، وتمثل الخلطة (m6) أفضل خلطة بين الخلطات أعلاه مع تحسين في الخواص من خلال إضافة محلول سليكات الصوديوم كمضاف وبنسب مئوية من وزن الإسمنت.

إعداد النماذج

تم اعتماد المواصفة الأمريكية (ASTM-C-192-1980) في إعداد النماذج لهذا البحث[13].

أ- القولبة : بعد اكتمال عملية الخلط تم وضع خرسانة الاسمنت بالقوالب ثم ترص باستخدام الهزاز الكهربائي لوقت مناسب (دقيقة واحدة لكل طبقة) لحين استواء خرسانة الإسمنت داخل القالب مع التأكد من جوانب القوالب بعد كل عملية رص[14].

ب- إنهاء السطح : بعد مليء القوالب تم تعديل سطح النماذج باستخدام المالج (Trowel). ومن ثم تغطية كل النماذج بالنايلون السميك لمنع تبخر الماء وللحصول على سطح مناسب للفحص[14].

ج- الإزالة من القوالب : تم رفع جميع النماذج من القوالب بعد مرور (24) ساعة من وقت الصب[14].

د- المعالجة : بعد رفع النماذج من القوالب غمرت بالماء لحين مدة الفحص[14].

الفحوصات

تم إجراء فحوصات الكثافة الرطبة، الامتصاص، مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء على الخلطة المرجعية والخلطات الحاوية على الرمل السيليكي وكانت أعمار الفحص (3، 7، 14، 28) يوم، ولكافة الفحوصات والخلطات.

اولا : فحص الكثافة الرطبة

تم إيجاد الكثافة الرطبة لكل نموذج بقسمة وزن النموذج قبل الفحص على الحجم المقاس لذلك النموذج، يوضح الجدول (11) معدل النتائج لجميع الخلطات ولكل عمر .تم حساب الكثافة حسب المعادلة (1) :

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الوزن}(\text{كغم})}{\text{الحجم}(\text{م}^3)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

ثانيا : فحص الامتصاص

تم إجراء فحص الامتصاص باستخدام مكعبات (100x100x100)ملم، وفقا ًللمواصفة الأمريكية (ASTM C-642)[15]، وتم استخدام فرن كهربائي لتجفيف النماذج ذا حرارة (110°م)، حيث تمثل النتائج النهائية معدل لثلاثة مكعبات لكل عمر للخلطات المختارة وكما موضح في الجدول (11) . تم حساب نسبة الامتصاص حسب المعادلة (2) :

$$\text{الإمتصاص} = \frac{\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} \times 100\% \ldots(2)$$

ثالثا : فحص مقاومة الانضغاط

تم إجراء الفحص لجميع الخلطات بأعمار (3، 7، 14، 28) يوم حيث تم فحص ثلاث نماذج مكعبة بأبعاد (100x100x100) ملم لكل عمر وأخذ معدلها ليمثل مقاومة الانضغاط لذلك العمر، وتم في هذا الفحص اعتماد المواصفة البريطانية (B.S.1981.part(116):1983)[16]. وفي الجدول (11) معدل النتائج المستحصلة من العمل المختبري لجميع الخلطات ولكل عمر .الجهاز المستخدم يفحص بسعة (3 KN/sec).

رابعا : فحص مقاومة الانثناء

تم استخدام مواشير بأبعاد (500x100x100) ملم لغرض فحص مقاومة الانثناء ووفقاً للمواصفة البريطانية (BS 1881 : 1983 : (118) Part)[17]، وباستخدام ماكينة سعة (50) كيلو نيوتن ثلاثية التحميل، والجدول (11) يوضح معدل النتائج المستحصلة من العمل المختبري لجميع الخلطات ولكل عمر.

النتائج والمناقشـــة

بعد الانتهاء من العمل المختبري والحصول على نتائج الفحوصات،يبين الجدول رقم (11) نتائج الفحوصات، ندرج في أدناه تحليل هذه النتائج ومناقشتها وكما يلي :

أولاً: الكثافة الرطبة

تزداد الكثافة الرطبة مع العمر بسبب استمرار عملية إماهة الإسمنت مع العمر مما يؤدي إلى تكوين نواتج الإماهة التي ستأخذ بدورها حجماً أكبر من حجم العناصر المكونة لها وبالتالي تسد الفراغات الدقيقة الموجودة ومن ثم يزداد وزن العينة وبثبوت الحجم فأن الكثافة الرطبة تزداد مع العمر وهذا واضح من خلال الشكل (1) الذي يبين علاقة الكثافة الرطبة مع العمر للخلطات المختارة . ويبين الجدول (12) نسب الزيادة المئوية في الكثافة الرطبة للخلطات وبالأعمار المختارة . وقد كانت قيم الكثافة الرطبة للخلطة (m2) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2419، 2447، 2452، 2480)(كغم/ م^3) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة

زيادة في الكثافة (0.79%، 1.115%، 1.113%، 2.05%) على التوالي، قيم الكثافة الرطبة للخلطة (m3) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2435، 2442، 2460، 2496) (كغم/ م^3) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة في (1.45%، 0.9%، 1.44%، 2.7%) على التوالي، وكانت قيم الكثافة الرطبة للخلطة (4m) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2405، 2420، 2442، 2447) (كغم/م^3) للأعمار(3، 7، 14، 28) يوم على التوالي. وكانت قيم الكثافة الرطبة للخلطة (m5) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) وبقيم (2450، 2461، 2490، 2505) (كغم/م^3) للأعمار(3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة في الكثافة (2.08%، 1.69%، 2.68%، 3.08%) على التوالي. قيم الكثافة الرطبة للخلطة (m6) (التي تم إضافة محلول سليكات الصوديوم كمضاف) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2429، 2453، 2483، 2493) (كغم/م^3) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة في الكثافة (1.2%، 1.3%، 2.39%، 2.59%) على التوالي. كما يوضح الشكل (2) علاقة الكثافة الرطبة مع مقاومة الانضغاط للخلطات المختارة ويتبين بأنه مع تقدم عمر خرسانة الإسمنت فأن مقاومة الانضغاط تزداد بزيادة الكثافة الرطبة. يبين الشكل (3) علاقة الكثافة الرطبة مع مقاومة الانثناء للخلطات المختارة . يبين الشكل (4) علاقة الكثافة الرطبة مع نسبة الامتصاص للخلطات المختارة .

ثانياً : مقاومة الانضغاط

تعتمد مقاومة الانضغاط للخرسانة على عدة عوامل منها الكثافة، العمر، محتوى الإسمنت، نسبة الماء إلى الإسمنت والتي تم تثبيتها عند (0.3)، نسبة الرمل إلى الإسمنت، المعالجة، المضافات و غيرها.

الشكل (5) يوضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط والعمر للخلطات المختارة، و الجدول (13) يبين نسب الزيادة المئوية في مقاومة الانضغاط للخلطات وبالأعمار المختارة، حيث يظهر من خلال الشكل بأن مقاومة الانضغاط تزداد مع العمر للخلطات (m6,m5,m4,m3,m2). وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m2) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (36، 45، 47، 70.1) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (19.6%، 18.42%، 9.3%، 16.83%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m3) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (37، 49.1، 50.3، 71) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (22.92%، 29.2%، 16.97%، 18.33%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m4) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (47.7، 56.9، 63.7، 72) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (58.89%، 49.7%، 48.1%، 20%) على التوالي. وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m5) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (40، 50، 53، 72) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (22.92%، 31.57%، 23.20%، 18.33%) على التوالي. وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (51.13، 62.6، 69.5، 85.76) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (69.8%، 64.7%، 61.6%، 42.9%) على التوالي.

والشكل (5) يوضح أيضاً أنه بثبوت عمر الفحص فأن مقاومة الانضغاط لخلطة الرمل السيليكي

تكون أعلى بقليل من مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية ويعزى ذلك لنقاوة الرمل السيليكي ونعومته العالية السبب في هذه الزيادة وإن كان قليل يعود إلى عملية إماهة الإسمنت حيث أن نواتج تفاعل الإسمنت مع الماء للخلطات (m5,m4,m3,m2) تكون اكبر من الخلطة المرجعية (m1)، كما أن إَضافة سليكات الصوديوم أدى إلى تحسين بعض خصائص الخلطة الخرسانية (m6) وذلك لأن سليكات الصوديوم مادة فعالة كيميائياً[9] وتتفاعل كيميائياً لتكون جيلاتيناً (gel) لملئ الفراغات داخل الخرسانة. أن مقاومة الانضغاط تزداد لعجينة الإسمنت الحاوية على كلوريد الكالسيوم في الأعمار المبكرة مقارنة بالخلطات المرجعية نتيجة لزيادة معدل سرعة التفاعلات الكيمياوية بين الماء والإسمنت، وكما أثبت في بحوث سابقة أن الزيادة في المقاومة في الأعمار المبكرة بوجود كلوريد الكالسيوم لا يمكن أن تعزى فقط لزيادة كمية نتاج الإماهة المتكونة دائماً وإنما لصلتها بعوامل أخرى كالمسامية، المورفولوجية (أي شكل الجسيمات مقاسها وطبيعة نظامها التشابكي)، التركيب الكيمياوي والمساحة السطحية لعجينة الإسمنت الحاوية على كلوريد الكالسيوم بدرجة كبيرة في المراحل المبكرة . كذلك الشكل (2) يوضح علاقة الكثافة الرطبة مع مقاومة الانضغاط للخلطات المختارة، حيث نلاحظ بزيادة الكثافة تزداد قيمة مقاومة الانضغاط .

ثالثاً : الامتصاص

يتبين من الجدول (11) والشكل (6) إن الامتصاص يقل مع تقدم العمر ، إن قيم الامتصاص للخلطات الحاوية على الرمل السيليكي كانت أقل مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1)، ويبين الجدول (14) النسب المئوية للنقصان في نسب الامتصاص للخلطات وبالأعمار المختارة، وكانت قيم نسب الامتصاص للخلطة (m2) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.62، 1.45، 1.23، 1.1) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (10.98%، 12.12%، 12.14%، 8.33%) على التوالي، قيم نسب الامتصاص للخلطة (m3) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.5، 1.3، 1.15، 1.0) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (17.58%، 21.21%، 17.85%، 16.67%) على التوالي، قيم نسب الامتصاص للخلطة (m4) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.31، 1.26، 1.12، 0.82) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (31.31%، 27.27%، 21.24%، 33.33%) على التوالي، قيم نسب الامتصاص للخلطة (m5) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.25، 1.2، 1.1، 0.8) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (51%، 23.6%، 20%، 31.6%) على التوالي، إن سليكات الصوديوم مادة فعالة كيميائياً وتتفاعل كيميائياً لتكون جيلاتيناً (gel) لملئ الفراغات داخل الخرسانة السبب الرئيسي في ذلك يعزى إلى النعومة العالية للرمل السيليكي، وهذا يقلل من نفاذية الخرسانة ويجعلها أكثر مقاومة للتأثيرات البيئية. كما يبين الشكل (5) علاقة كل من الكثافة الرطبة مع الامتصاص للخلطات المختارة حيث يتبين وجود علاقة عكسية بينهما أي كلما زادت قيمة الكثافة قلت قيمة نسبة الامتصاص. قيم نسب الامتصاص للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.25، 1.19، 1.05، 0.77) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (31.3%، 27.8%، 25%، 33.8%) على التوالي وذلك لأن إضافة سليكات الصوديوم أدى إلى تحسين بعض خصائص الخلطة الخرسانية (m6) وذلك لأن سليكات الصوديوم مادة فعالة كيميائياً وتتفاعل

كيميائياً لتكون جيلاتيناً (gel) لملئ الفراغات داخل الخرسانة .

رابعاً : مقاومة الانثناء

إن زيادة مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية تؤدي إلى زيادة مقاومة الانثناء وبكافة الأعمار، وأن الزيادة في قيم معاير الكسر يعود إلى تقليل نسبة الحصى في الخلطة والذي يؤدي إلى الحصول على خليط متجانس ويقلل تأثير منطقة الانتقال والتي تؤدي إلى حدوث ضعف في الخلطة الخرسانية ،وقد يعزى مقدار الزيادة إلى الترابط الجيد بين الركام وعجينة الاسمنت وان مقدار الزيادة تذكر كنسب مئوية. ويبين الجدول (14) النسب المئوية للزيادة في مقاومة الانثناء للخلطات وبالأعمار المختارة، يتبين من الجدول (11) والشكل (7) إن مقاومة الانثناء تقل مع تقدم العمر وكانت قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m2) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2.1، 2.4، 3.1، 4.2) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (31.25%، 20.0%، 14.8%، 31.25%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m3) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2.6، 3، 4، 5.1) ميكاباسكال (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (62.5%، 50.0%، 448.14%، 59.375%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m4) مقارنة مع الخلطة المرجعية(m1) (3.9، 4.95، 5.87، 6.98) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (143.75%، 147.5%، 117.4%، 118.1%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m5) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (3.7، 5.2، 5.7، 6.4) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (131.25%، 160.0%، 111.11%، 100.0%) على التوالي، وكانت قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (4.13، 5.39، 6.5، 8.02) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (158.1%، 169.5% ، 141.1%، 150.6%) على التوالي كما يبين الشكل (3) علاقة كل من الكثافة الرطبة مع مقاومة الانثناء للخلطات المختارة ، حيث يتبين وجود علاقة طردية بينهما، أي كلما زادت قيمة الكثافة زادت قيمة مقاومة الانثناء.

خامساً : تأثير سليكات الصوديوم

يوضح الشكل (8) تأثير إضافة سليكات الصوديوم الى الخلطة (m4) وبنسب مئوية مختلفة من وزن الإسمنت، حيث يتبين أن إضافة سليكات الصوديوم بنسبة مئوية (1.75%) من وزن الأسمنت هي النسبة المثالية لإضافة سليكات الصوديوم ، قيم الكثافة الرطبة للخلطة (m6) (التي تم إضافة محلول سليكات الصوديوم كمضاف) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (2429، 2453، 2483، 2493) (كغم/م^3) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة في الكثافة (1.2%، 1.3%، 2.39%، 2.59%) على التوالي. وكانت قيم مقاومة الانضغاط للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (51.13، 62.6، 69.5، 85.76) ميكاباسكال للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (69.8%، 64.7%، 61.6%، 42.9%) على التوالي. قيم نسب الامتصاص للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (1.25، 1.19، 1.05، 0.77) للأعمار (3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة نقصان مئوية (31.3%، 27.8%، 25%، 33.8%) على التوالي وذلك لأن سليكات الصوديوم مادة فعالة كيميائياً وتتفاعل كيميائياً لتكون جيلاتيناً

(gel) لملئ الفراغات داخل الخرسانة. قيم مقاومة الانثناء للخلطة (m6) مقارنة مع الخلطة المرجعية (m1) (4.13، 5.39، 6.5، 8.02) ميكاباسكال للأعمار(3، 7، 14، 28) يوم على التوالي وبنسبة زيادة مئوية (158.1%، 169.5%، 141.1%، 150.6%) على التوالي.

الاستنتاجات

اعتمادا على نتائج العمل المختبري والذي شمل إنتاج خرسانة الاسمنت الحاوية على الرمل السيليكي ودراسة بعض خواصها والمقارنة مع نتائج الخلطة المرجعية يمكن استنتاج مايلي :

1- بالإمكان إنتاج الخرسانة السيليكية بإبدال الرمل الاعتيادي بالرمل السيليكي.
2- كثافة خلطات الرمل السيليكي أعلى مقارنة بكثافة الخلطة المرجعية.
3- مقاومة الانضغاط لخلطات الرمل السيليكي أعلى مقارنة بمقاومة الانضغاط الخلطة المرجعية.
4- نسبة الامتصاص لخلطات الرمل السيليكي أقل مقارنة بنسبة الامتصاص للخلطة المرجعية.
5- مقاومة الانثناء لخلطات الرمل السيليكي أعلى مقارنة بمقاومة الانثناء للخلطة المرجعية.
6- بالإمكان الاستغناء عن الرمل الاعتيادي وإبداله بالرمل السيليكي، وان الخلطة المثالية لإستبدال الرمل الاعتيادي يتم باستبدال (75%) من الرمل السيليكي (m4)، حيث أعطت نتائج أفضل من نسبة استبدال (100%,50%,25%)، حيث تحسنت الخواص الميكانيكية للخرسانة وهذا جيد من الناحية الاقتصادية لأن الرمل السيليكي مادة محلية متوفرة ورخيصة الثمن مقارنة بالمواصفات الأخرى.
6- بالإمكان تحسين بعض الخصائص لخرسانة الرمل السيليكي الخلطة (m4) بإضافة سليكات الصوديوم وبنسبة (1.75%) من وزن الإسمنت

التوصيات

أهم التوصيات للدراسات المستقبلية:

1- استخدام مواد بوليمرية مذابة ومحلولة أخرى مثل النشأ والدكسترين وملاحظة تأثيرهما في خواص الخرسانة .
2-إستخدام مسحوق الرمل السيليكي بدرجات نعومة مختلفة كبديل عن السمنت ومعرفة تأثيره على خواص الخرسانة .

المصادر

1- خلف، مؤيد نوري و يوسف، هناء عبد ، "تكنولوجيا الخرسانة"، مركز التعريب والنشر، الجامعة التكنولوجية، 1984.
2- A.M, Neville,. "Properties of Concrete", Pitman publishing limited, London, 3ed, 1981.
3- W.C.Breck, "Chemistry for Science and engineering", McGraw- Hill Book Company , New York,(1981).
4-R.N,Sherve, "Chemical Process Industries", McGraw- Hill Book Company , New York, 3rd Ed ,1967.
5- الدليمي، أمير و المحمدي، سعدي، "دراسة أنتاج خرسانة الزجاج ومقاومة انضغاطها"، المجلة العراقية للهندسة المدنية، العدد التاسع، السنة السابعة ، ص1 ، 2007 .
6- المهنا، محمد حمود، " الخواص الميكانيكية للخرسانة الفائقة الأداء " ، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة، جامعة الأنبار، (2008).
7- الجيلاوي، انتصار كاظم، "خواص الخرسانة المسلحة بمشبكات البولي بروبلين"، رسالة

ماجستير، هندسة البناء والإنشاءات، الجامعة التكنولوجية، (1989).

8- M.R.Rixom, "Concrete admixture: Use and Applications", The Construction Press LTD., Lancaster, England, (1977).

9- العريان، أحمد علي و عطا، عبدالكريم محمد، "تكنولوجيا الخرسانة المسلحة وصناعتها"، الجزء الأول، جامعة القاهرة، الطبعة الثانية، (1974).

10- B.S 1881, Part 116, "Method of Determination of Compressive Strength of Concrete Cube", British Standard Institution, 3PP, 1989.

11- المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة 1984، "الإسمنت البورتلاندي".

12- المواصفة القياسية العراقية رقم (45) لسنة 1984، "ركام المصادر الطبيعية المستخدمة في الخرسانة والبناء".

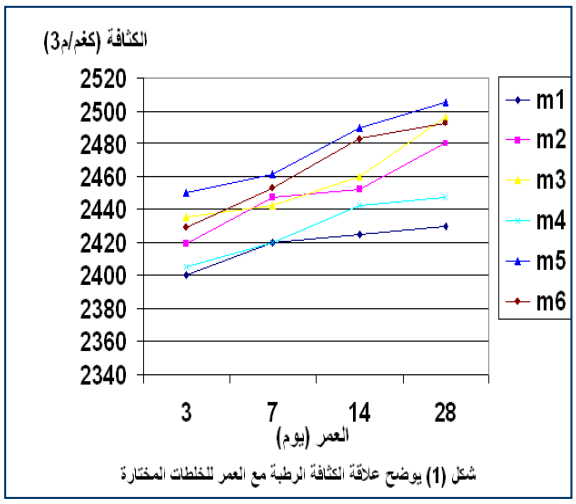
13- المواصفة القياسية العراقية رقم (1703) لسنة 1992، "المياه المستعملة في الخرسانة".

14 - ASTM: C 192-87: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory ", 1980.

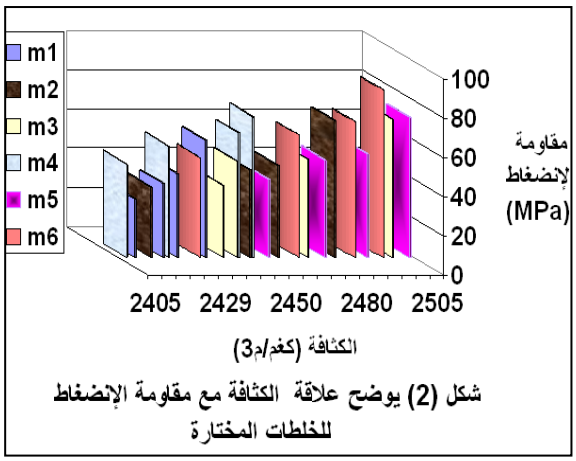
15 - ASTM Designation C642 -86 "Standard Test Method for Absorption of Concrete ", 1989, Annual Books of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, Section (4), Vol. (02), PP. (100-101).

16-British standard Institution, "Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes", BS 1881: Part (116), 1983, PP (215-217).

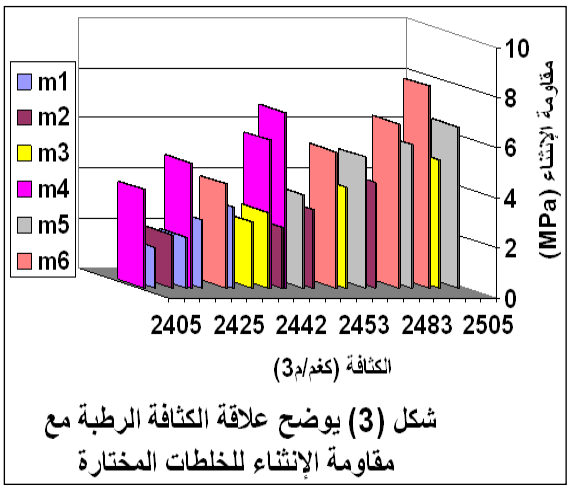
17- British standard Institution, "Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Two Point loading)", BS 1881: Part (118), 1983, PP (40-42).



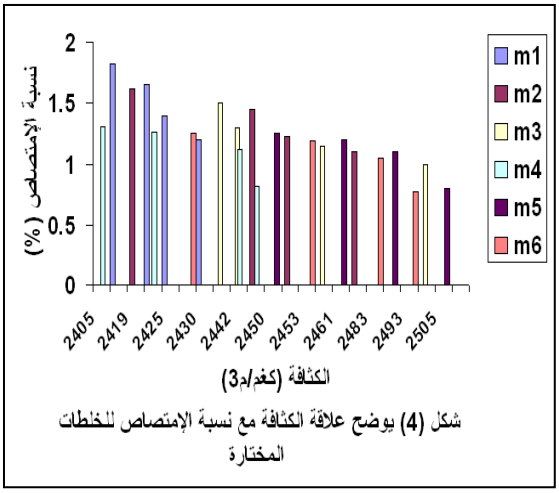
شكل (1) يوضح علاقة الكثافة الرطبة مع العمر للخلطات المختارة



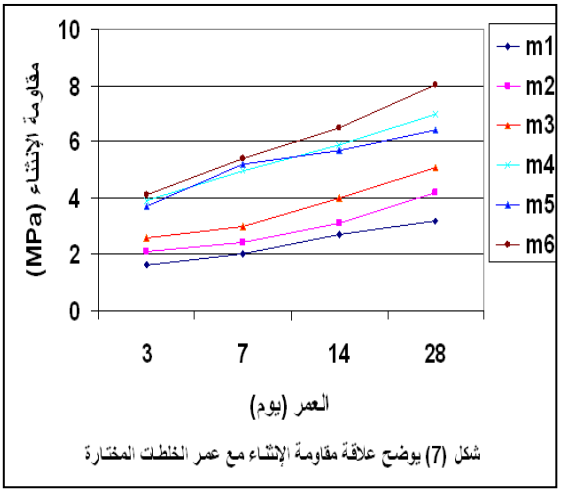
شكل (2) يوضح علاقة الكثافة مع مقاومة الإنضغاط للخلطات المختارة



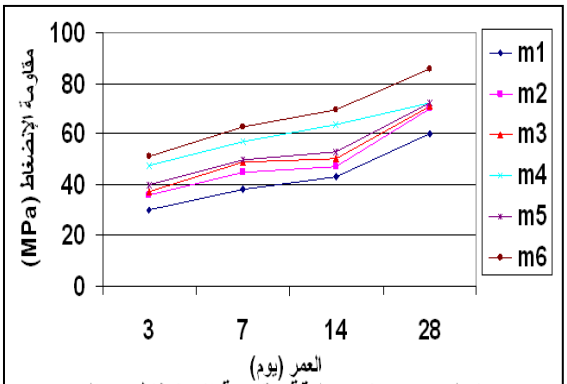
شكل (3) يوضح علاقة الكثافة الرطبة مع مقاومة الإنشاء للخلطات المختارة



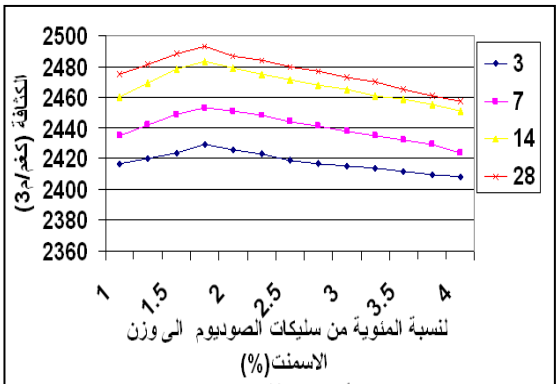
شكل (4) يوضح علاقة الكثافة مع نسبة الإمتصاص للخلطات المختارة



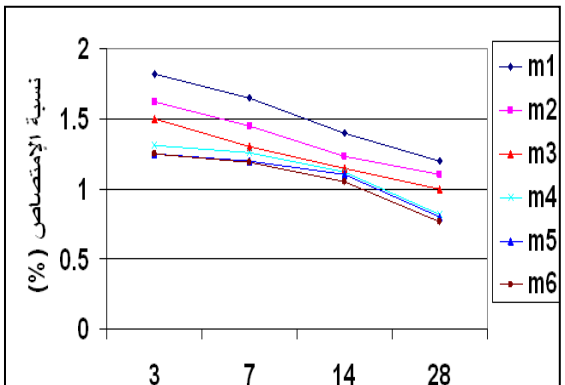
شكل (7) يوضح علاقة مقاومة الإنشاء مع عمر الخلطات المختارة



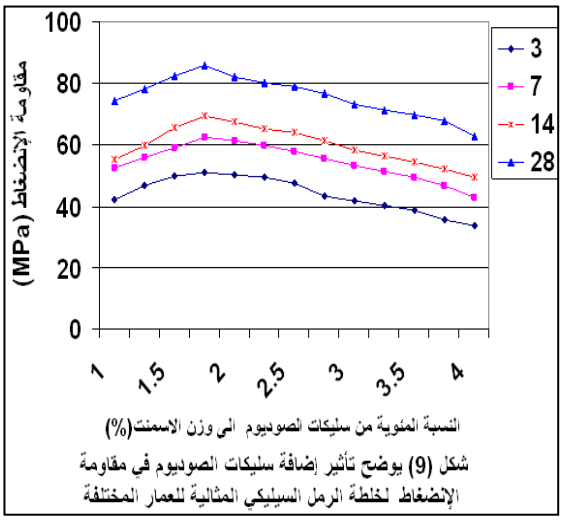
شكل (5) يوضح علاقة مقاومة الإنضغاط مع العمر للخلطات المختارة



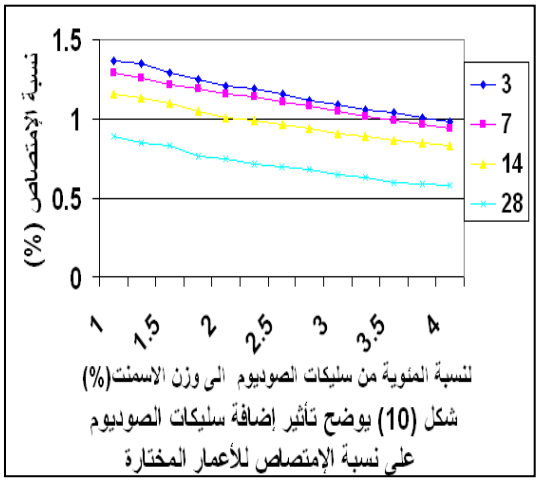
شكل (8) يوضح تأثير إضافة سليكات الصوديوم على الكثافة للأعمار المختارة



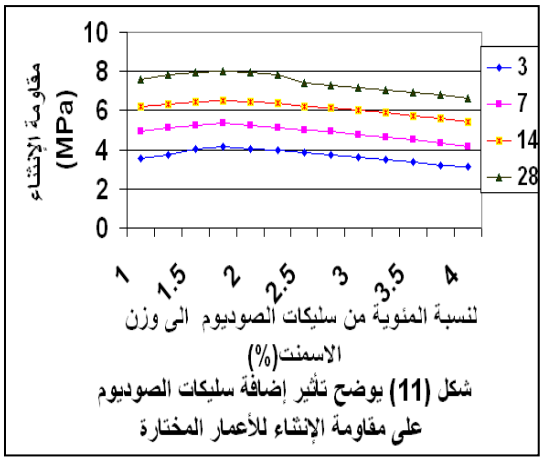
شكل (6) يوضح علاقة نسبةالإمتصاص مع عمر الخلطات المختارة



شكل (9) يوضح تأثير إضافة سليكات الصوديوم في مقاومة الإنضغاط لخلطة الرمل السيليكي المثالية للعمار المختلفة



شكل (10) يوضح تأثير إضافة سليكات الصوديوم على نسبة الإمتصاص للأعمار المختارة



شكل (11) يوضح تأثير إضافة سليكات الصوديوم على مقاومة الإنشاء للأعمار المختارة

جدول (1) التركيب الكيميائي للرمل السيليكي

التركيب الكيمياوي	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2
المحتوى %	0.4	0.7	0.7	0.7	97.5

* الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك في الرمادي

جدول (2) نتائج التحليل الحجمي للرمل السيليكي

معدل القطر (مايكرون)	النسبة (%)	النسبة التراكمية (%)
2.1	85.3	68.3
2.5	10.0	96.3
2.8	2.1	98.4
3.2	0.7	99.1
3.7	0.4	99.4
4.2	0.2	99.6
4.9	0.1	99.7
5.6	0.1	99.8
6.4	0.1	99.9
7.3	0	100.0

* الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك في الرمادي

جدول (3) بعض خصائص سليكات الصوديوم

الخاصية	القيمة
الوزن النوعي	1.419
اللزوجة عند (30° م)	1845 سنتي بويز
نسبة (Na_2O) الوزنية	%13.9
نسبة (SiO_2) الوزنية	%29.5

* الشركة العامة لصناعة الزجاج والسيراميك في الرمادي

جدول (4) التركيب الكيمياوي للإسمنت المستخدم

NO.	Oxide Chemical Composition	Weight %	IQs:NO.:1984[11]
1	SiO_2	21.0	
2	Al_2O_3	5.40	
3	Fe_2O_3	3.0	
4	CaO	61.0	
5	MgO	2.82	5 *
6	SO_3	2.37	2.8 *
7	Insoluble Residue	1.22	1.5 *
8	Loss on Ignition	2.5	4 *
9	L.S.F	0.83	0.66 - 1.2 *
10	C_3S	41.33	
11	C_2S	29.1	
12	C_3A	9.25	
13	C_4AF	9.12	

*: أعلى قيمة مسموح بها.(معمل سمنت كبيسه)

جدول (5) الخصائص الفيزياوية للإسمنت المستخدم

NO.	Physical characteristics	Test Results	IQs:NO:1984 [11]
1	Fineness by Blain air permeability apparatus (m^2/kg)	300	** 230
2	Soundness by Autoclave Method	0.41 %	0.8 %
3	Setting time by victas method INITIAL (min) FINAL (hr)	190 4.5	45 ** 10 *
4	Compressive Strength Cube(70.7)mm at(3 Days) Mpa (7 Days) Mpa (28 Days) Mpa	19.4 27.2 41.5	15 ** 23 **

* : أعلى قيمة مسموح بها .

**: اقل قيمة مسموح بها. .(معمل سمنت كبيسه)

جدول (6) تدرج الركام الناعم

ت	فتحة المنخل (ملم)	النسبة الوزنية للعابر %	IQs:NO.:1984[12]
1	4.75	100	90-100
2	2.36	90.4	85-100
3	1.18	85.6	75-100
4	0.60	68.8	60-79
5	0.30	22.4	12-40
6	0.150	8.15	0-10

جدول (7) الخصائص الفيزيائية للركام الناعم

ت	الخاصية	القيمة	IQs:NO.:1984[12]
1	معامل النعومة	3.18	...
2	الوزن النوعي	2.7	...
3	الكبريتات	%0.19	(0.5 -1)%
4	الامتصاص	%1.5	...

جدول (8) تدرج الركام الخشن

فتحة المنخل (ملم)	النسبة الوزنية للعابر (%)	IQs:NO.:1984[12]
12.5	100	100
9.5	99	85-100
4.75	20.3	10-30
2.36	4.1	0-10
1.18	0	0-5

جدول (9) الخصائص الفيزيائية للركام الخشن

ت	الخاصية	القيمة
1	**الوزن النوعي**	2.66
2	**الإمتصاص**	%0.8

جدول (10) نسب الخلط والعناصر الفيزياوية الإسمنت المستخدم

الخلطة	سمنت:الرمل:الحصى	نسبة الماء إلى الإسمنت
(m1)	1:1.42 :1.86	0.3
(m2)	1:1.42 :1.86	0.3
(m3)	1:1.42 :1.86	0.3
(m4)	1:1.42 :1.86	0.3
(m5)	1:1.42 :1.86	0.3
(m6)	1:1.42 :1.86	متغيرة

جدول (12) نسب الزيادة المئوية في الكثافة الرطبة للخلطات وبالأعمار المختلفة

الخلطة	العمر (يوم)			
	3	7	14	28
(m2)	0.79	1.11	1.11	2.05
(m3)	1.45	0.90	1.44	2.71
(m4)	0.2	0.83	1.75	1.95
(m5)	2.08	1.69	2.68	3.08
(m6)	1.2	1.3	2.39	2.59

جدول (15) يوضح نسب الزيادة المئوية في مقاومة الانشاء للخلطات وبالأعمار المختارة

الخلطة	العمر (يوم)			
	3	7	14	28
(m2)	31.25	20	14.8	31.25
(m3)	62.5	50	48.1	59.3
(m4)	143.7	147.5	117.4	118.1
(m5)	131.25	160	111.1	100
(m6)	158.1	169.5	141.1	150.6

جدول رقم (13) يوضح نسب الزيادة المئوية في مقاومة الانضغاط للخلطات وبالأعمار المختارة

الخلطة	العمر (يوم)			
	3	7	14	28
(m2)	19.60	18.4	9.30	16.8
(m3)	22.9	29.23	16.97	18.33
(m4)	58.89	49.7	48.1	20
(m5)	32.8	31.57	23.25	20
(m6)	69.8	64.7	61.6	42.9

جدول رقم (14) نسب النقصان المئوية في الامتصاص للخلطات وبالأعمار المختارة

الخلطة	العمر (يوم)			
	3	7	14	28
(m2)	10.98	12.12	12.14	8.33
(m3)	17.58	21.21	17.85	16.66
(m4)	27.37	23.63	20.0	31.63
(m5)	31.31	27.27	21.42	33.33
(m6)	31.3	27.8	25	33.8

جدول (11) يوضح نتائج فحص الكثافة الرطبة الامتصاص ، مقاومة الانضغاط ومقاومة الانثناء للخلطات المختارة

الخلطة	الكثافة الرطبة (كغم /م3) لأعمار				مقاومة الإنضغاط (MPa) لأعمار				الإمتصاص (%) لأعمار				مقاومة الإنثناء (MPa) لأعمار			
	3 يوم	7 يوم	14 يوم	28 يوم	3 يوم	7 يوم	14 يوم	28 يوم	3 يوم	7 يوم	14 يوم	28 يوم	3 يوم	7 يوم	14 يوم	28 يوم
(m1)	2400	2420	2425	2430	30.1	38	43	60	1.82	1.65	1.4	1.2	1.6	2.0	2.7	3.2
(m2)	2419	2447	2452	2480	36	45	47	70.1	1.62	1.45	1.23	1.1	2.1	2.4	3.1	4.2
(m3	2435	2442	2460	2496	37	49.1	50.3	71	1.5	1.3	1.15	1.0	2.6	3.0	4.0	5.1
(m4)	2405	2420	2442	2447	47.79	56.97	63.76	72.07	1.31	1.26	1.12	0.82	3.9	4.95	5.87	6.98
(m5)	2450	2461	2490	2505	40	50	53	72.0	1.25	1.2	1.1	0.8	3.7	5.2	5.7	6.4
(m6)	2429	2453	2483	2493	51.13	62.6	69.5	85.76	1.25	1.19	1.05	0.77	4.13	5.39	6.51	8.02