

Effect of Increasing sulphate content in sand on concrete compressive strength

تأثير زيادة محتوى الاملاح الكبريتية في الرمل على مقاومة انضغاط الخرسانة

خالد حسن حاوي / هندسة مدنية / الخرسانة / KhalidHawi@Yahoo.com

Abstract : الخلاصة

تعرض البحث لدراسة مشكلة تزايد نسبة الاملاح الكبريتية (SO_3) في الرمل المستخدم في الخرسانة ومحاولة إيجاد الحلول اللازمة لبعض النسب التي تتجاوز الحد المسموح به في المواصفات القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984 من خلال دراسة سلوك خلطتين شائعتي الاستخدام (3:1.5:1) و (4:2:1) حجما وبإضافة نسب مختلفة من املاح الكبريتات للرمل المستخدم (2,1.5,1,0.5) % من وزن الرمل لكلا الخلطتين لمعرفة التأثير السلبي لتلك الاضافات . حيث سجلت الخلطتين انخفاضا بقوة الانضغاط بمقدار (15.4 - 21.7) % على التوالي بإضافة 2% كبريتات وبعمر 28 يوم مقارنة بمثيلاتها المرجعية الخالية من الاملاح المضافة . تم اضافة كميات من السمنت ونسب مختلفة تراوحت بين (3 - 26) % وإضافة ملدن ونسب (3,2,1.5,1) % من وزن الاسمنت المستخدم لكلا الخلطتين وكل على حده لمعالجة هذا الانخفاض في قوة الانضغاط ولمعرفة تأثير كل منهما على انضغاط الخرسانة الحاوية على نسب املاح عالية بينت النتائج التأثير الايجابي وبشكل كبير على قوة انضغاط الخرسانة بمحتوى املاح عالية تصل الى 2% بتحسين قوة الانضغاط بشكل يقارب مثيلاتها المرجعية للخلطة (3:1.5:1) ويقل هذا التأثير في الخلطة (4:2:1). اما عند اضافة الملدن والنسب المختلفة المذكورة ولكلي الخلطتين فقد بينت النتائج قلة تحسن الانخفاض الحاصل في قوة الانضغاط وخصوصا للخلطة (4:2:1) حيث سجلت قوى انضغاط اقل من انضغاط المرجعية ونسب (17.3 - 12.3) % للخلطتين (4:2:1) و (3:1.5:1) على التوالي والحوية على 2% كبريتات و 3% ملدن .

Abstract :

The research is studied the increasing of sulphate problem in fine aggregate of concrete and trying to create the solution for some of high sulphate content out of Iraqi standard specification No. 45 – 1984 through study behavior the two concrete mixes 1:1.5:3 & 1:2:4 by vol. with different proportion additions (0.5,1,1.5,2) % for sulphate in sand for two mixes to know the negative effect for these additions. The two mixes were produced Concrete with lower (-15.4, -21.7) % compression consequently by increasing 2% sulphate in 28 days age in comparison with same referential mixes without sulphate . Adding different proportion additions (3 – 26) % cement and (1,1.5,2,3) % plasticizer from weight of cement to both of mixes to cure this reduction in compressive strength and to know the effect of each them on compression of high sulphate content concrete . The results shows that the large positive effect was happening in compressive strength with high sulphate content up to 2% which is approach to compression of referential mixture 1:1.5:3 and that effect is less in mix 1:2:4 . The different proportion additions of (1,1.5,2,3) % plasticizer from weight of cement to both of mixes gave slightly positive effect on reduction of compressive strength particularly in mix 1:2:4 for the compressive strength percent is (-12.3, -17.3) % less than referential mixes in comparison with 1:1.5:3 & 1:2:4 consequently with 2% sulphate and 3% plasticizer content .

المقدمة: Introduction

ان الخرسانة والمونة السمنتية هي من اهم المواد الانشائية المستخدمة في تنفيذ المنشآت في العالم لكونها تشكل نسبة كبيرة من بين المواد الاخرى المستخدمة في تنفيذ المنشأ . لذلك فان أي ضرر يصيب تلك المادة يسبب ضرر كبير للمنشأ . وتعتبر مشكلة مهاجمة املاح الكبريتات للخرسانة احدى المشاكل الانشائية التي تواجه الاعمال الخرسانية والتي اثاره اهتمام الباحثين بعد ان ظهر تأثير تلك المشكلة على الكثير من المنشآت (يحيى ، 2002) [1] . ان هناك مصدرين للأملاح الكبريتية التي تهاجم الخرسانة هما خارجية وداخلية بالنسبة للخرسانة ، والخارجية منها موجودة في المياه الجوفية والسطحية او التربة المحيطة بالخرسانة (Neville ,1995) [2] . حيث بين (Feras L.Khlef , 2012) [3] في دراسته بنقصان قوة انضغاط الخرسانة بمقدار (11.4 - %) المغمورة بمياه المعالجة الخارجية والحوية على املاح كبريتات بنسبة 6% من وزن الرمل المستخدم في الخرسانة مقارنة بالمعالجة بالمياه الطبيعية الخالية من اضافة الاملاح وبعمر 28 يوم . اما الداخلية فموجودة ضمن تراكيب المواد الداخلية في

الخرسانة كالركام بنوعيه والسمنت والماء والمضافات (Neville, 1995) [2] ان املاح الكبريتات الاعتيادية هي كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) ، كبريتات المغنيسيوم وكبريتات الصوديوم وهذه الكبريتات تتفاعل مع عجينة الاسمنت حيث تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ والومينات ثلاثي الكالسيوم المائية مكونة الجبس وسلفو الومينات الكالسيوم $(CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O)$ وتكون هذه المركبات بحجم اكبر من حجمها قبل التفاعل ، ولذلك فان التفاعلات مع الكبريتات تؤدي الى تولد اجهادات شد في عجينة الاسمنت المتصلبة . تظهر الخرسانة المهاجمة من قبل الكبريتات بمظهر مائل للبياض كما ان الضرر يبدأ عادة في الحافات والأركان ويتبعه تشققات وتنشطي متزايد يجعل الخرسانة هشّة سهلة التفتت (Neville, 1995) [2]. اكد (AL – Kadhimi, 1983) [4] ان محتوى الكبريتات في اغلب الرمال العراقية تكون بنسبة عالية تفوق النسبة المسموح بها في المواصفات (0.5%) حيث لا يمكن استخدام هذه الرمال وفقا للمواصفات المعتمدة . لذلك فان ارتفاع نسبة الاملاح الكبريتية في الرمال العراقية تسبب التآكل المتفقم في كثير من المنشآت والمباني . وهذا ماكداه (مفيد السامرائي) [5] الى ان تفتت الخرسانة بتأثير الاملاح يعتبر من اهم المشاكل التي تواجه المهندس في العراق وان الاملاح توجد في تربة العراق ومياهه الجوفية وخصوصا في المنطقة الوسطى والجنوبية. كما اشاروا (AL- Rawi, 1985, Abdul-Latif, 2001, AL-Kadhimi, 1983) [7,6, 4] بان محتوى الكبريتات في اغلب الرمال في بلدان الشرق الاوسط هو اعلى من الحد المسموح بها في المواصفات . ولذلك فان كميات كبيرة من الرمال في العراق لا يمكن استخدامها بسبب ارتفاع محتوى الكبريتات فيها . لقد بين (Rawi,R.S.) [8] انه من الممكن السماح بزيادة نسبة محتوى الكبريتات الكلي في الخرسانة ومن الممكن تحديد محتوى الكبريتات في الرمل الذي يعطي اعلى مقاومة انضغاط للخرسانة عبر فحص يعرف بالموجبة (Compibilty) وعلى هذا الاساس اكد الباحث من امكانية استخدام رمال او ركام خشن بنسبة محتوى كبريتات اعلى من تلك التي تحددها المواصفات . كما بين (AL- Rawi, 1985) [7] ان مهاجمة الكبريتات الداخلية تعتبر السبب الرئيسي في فشل المنشآت حيث ان اغلب الرمال ملوثة بالكبريتات والتمثلة بالجبس . ان وجود املاح الكبريتات بنسب اعلى من الحد المسموح به في المواصفات يؤثر سلبا على عجينة الاسمنت المتصلبة بسبب تكوين كميات اضافية من الاثرنايت (Ettrengite) حيث تحصل زيادة حجمية كبيرة في العجينة الاسمنتية المتصلبة مؤدية الى حصول اجهادات داخلية تسبب تشققات في الكتلة الخرسانية والتي تؤثر على مقاومة الخرسانة (Soroka, 1986) [9] ان الخرسانة تمتلك مناطق انتقال بينية بين حبيبات الركام وهذه المناطق البينية مناطق ضعيفة في تركيب الخرسانة والتي ستكون اكثر عرضة لهجوم الكبريتات (Zheng, 2005, Yangani, 1994) [11,10] . ان الدراسات المعتمدة على انحراف اشعة X والمسح بتحليلات المجهر الالكتروني وجد تشكيل الجبس كنتيجة لهجوم املاح الكبريتات على الخرسانة مما ساهم بتدهور واضح وبشكل ملحوظ للخرسانة (Tam, 2005) [12]. كما ذكر الباحثين (مفيد السامرائي, 2001) (Abdul-Latif, 2001) [6,5] ان 95% من الكبريتات الموجودة في الرمال هي كبريتات الكالسيوم المائية المتميزة بقلّة ذوبانها بالماء مما يقلل امكانية التخلص منها بالغسل بالماء . اقترحوا (Kattwan, M.H., Nori, S., Al- Kheban, A, 1993) [13] اعتماد المحتوى الكلي للكبريتات من مكونات الخرسانة كنسبة وزنيه من السمنت بدلا من تحديد نسبة الاملاح في كل مادة من المواد الاولية على حده وهذا مقترح جديد اذ يمكن استخدام رمل ذو نسبة املاح عالية نسبيا مع استخدام سمنت وركام خشن ذو نسبة املاح واطنة . لقد قامت الدول بتضمين مواصفاتها حدودا لنسبة محتوى الكبريتات في الخرسانة ومكوناتها تبعا لظروف البلد والخرسانة المنتجة فيه وذلك للسيطرة على مشكلة مهاجمة املاح الكبريتات الداخلية للخرسانة والتقليل من اثارها (مؤيد الخلف 1984 ، المواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984) [15,14] حيث بينت المواصفات الروسية المرقمة 4797 و 4798 لسنة 1969 والبلغارية Bss المرقمة 177 لسنة 1977 واليوغسلافية U.M₂.010 Jus بان نسبة الاملاح المسموح بها كنسبة من وزن الرمل هي 1% كما بينت المواصفة البريطانية B.S المرقمة 1976-5328 بان نسبة الاملاح المسموح بها في الركام الناعم والخشن هي 0.4% وان النسبة الكلية المسموح بها في الخلطة الخرسانية كنسبة من وزن الاسمنت هي 4% [15,14] . اما المواصفات القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984 والخاصة بركام المصادر الطبيعية [15] فقد حددت نسبة الاملاح الكبريتية المسموح بها في الركام والمزجة الاسمنتية بان لا تزيد عن 0.5% من وزن الرمل وللمزجة الاسمنتية 4% من وزن الاسمنت للخلطات ذات محتوى اسمنتي 300 كغم / م³ فأكثر . وأشار (Al-Khafaji J.A., 1992) [17] في دراسته على تأثير هجوم الكبريتات الداخلية على الخرسانة في العراق بان الحدود المسموح بها لأملاح الكبريتات في الرمل قد ترتفع الى 1% بدون أي تأثيرات تدميرية على الخصائص الميكانيكية للخرسانة . كما بين (مؤيد الخلف ، 1984) [14] في دراسته لمقاومة الخرسانة عالية الاداء المعرضة لهجوم الكبريتات الداخلية والخارجية والتي يتم فيها اضافة الجبس الطبيعي كإحلال جزئي من وزن الرمل وبنسب تتراوح بين (0.5 – 2.5)% ان التأثير الضار للكبريتات الداخلية يظهر في الاعمار المبكرة ابتداء من 7 ايام ويزداد مع تقدم العمر خلافا لتأثير الكبريتات الخارجية التي لا يظهر تأثيرها السلبي في الاعمار المبكرة . لقد تضمن هذا البحث إمكانية معالجة واستخدام الركام الناعم بمحتوى أملاح أعلى من حدود المواصفة لكون محتوى الكبريتات في اغلب الرمال العراقية تكون بنسبة عالية تفوق النسب المسموح بها في المواصفات (0.5%) وتحسين مقاومة انضغاط الخرسانة الحاوية على نسب عالية من الأملاح باستخدام تلك الرمال ومعرفة التأثير السلبي لتزايد نسب املاح الكبريتات في الرمل المستخدم في الخرسانة لحد نسبة 2% كألاح مضافة للرمل ولنوعين من الخلطات بمحتوى اسمنتي (300 , 380) كغم / م³ ومعرفة التأثير الايجابي الذي يسببه اضافة كميات من الاسمنت الاضافية والمملن وبنسب مختلفة وكل على حده للخلطات المذكورة لتقليل التأثير السلبي الذي يسببه زيادة املاح الكبريتات في الخلطات وبشكل اكبر من الحد المسموح به في المواصفات العراقية الخاصة بتلك الفقرة .

الجانب العملي : (Experimental program)

أولاً: المواد الأولية المستعملة. (Materials used)

1- الاسمنت: (Cement)

تم استعمال السمنت البورتلاندي المقاوم للأملاح المنتج من معمل سمنت كربلاء والمطابق المواصفة القياسية العراقية رقم 5 لسنة (1984) [16]. والجدول رقم 1 يبين التحليل الكيماوي والجدول رقم 2 يبين الخواص الفيزيائية للسمنت المستعمل .

2 - الركام الخشن (Coarse Aggregate)

استعمل الحصى المدور كركام خشن من منطقة النباعي والمطابق للمواصفة القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984 [15] ذو مقياس أقصى 20 ملم ، ويبين الجدول رقم 3 الخصائص الفيزيائية وتدرج الركام الخشن المستعمل في جميع الخلطات . والشكل رقم 1 يمثل منحني التدرج الحبيبي للحصى المستعمل مع بيان الحدود الدنيا والقصى للتدرج .

3 - الركام الناعم (Fine Aggregate)

تم استعمال رمل الاخضر كركام ناعم في عمل الخلطات الخرسانية. و يبين الجدول رقم 4 التحليل المنخلي والخصائص الفيزيائية للركام الناعم المستخدم والشكل رقم 2 يمثل منحني التدرج الحبيبي للرمل المستعمل مع بيان الحدود الدنيا والقصى للتدرج وضمن منطقة التدرج الثانية وحسب المواصفات القياسية العراقية رقم 45 لسنة 1984 [15] .

4 - ماء الخلط : (Water mix)

تم استعمال الماء الصالح للشرب (ماء الإسالة) في عمل الخلطات الخرسانية والمعالجة .

5 - الملدن : (plasticizer)

استخدم الملدن (سيكامنت) نوع نفثالين فورمالدهيد سلفونات ويستعمل كسائل بلون بني داكن وهو ملدن عالي له تأثير مزدوج لإنتاج خرسانة ذات سيولة وانسيابية عالية وكعامل أساسي لخفض الماء وبنسبة تصل الى 20% . ويتميز بكونه خالي من الكلوريدات ويحسن من قابلية التشغيل للخلطة والمبين مواصفاته في الجدول رقم 5 وحسب الشركة المنتجة وتمت إضافته إلى ماء الخلط ونسب تراوحت بين (1, 1.5, 2, 3) % من وزن الاسمنت المستخدم وهو يتوافق مع نوع السمنت المستخدم .

6 - خامات الكبريتات : Sulphate crude

تم استخدام كتل الاحجار الكبريتية الطبيعية والتي تحتوي على مايقارب 45% من وزنها كبريتات SO_3 وقد سحقت هذه الكتل وطحنت وتم نخلها وغربلتها على المناخل القياسية المستخدمة في تدرج الركام الناعم (الرمل) وإضافتها الى الرمل وبالكميات المبينة في الجدول رقم 8 والمؤشرة ازاء كل خلطة مقاسه ب كغم / م³ وذلك للحصول على صافي النسبة المطلوب اضافتها من الكبريتات الى الخلطة والتي تشكل نسبة 42.3% من وزن احجار الكبريتات الخام المستخدمة وحسب المعادلة التالية :

$$\text{مطحون الحجر المضاف كغم / م}^3 = (\text{الرمل الكلي كغم لكل 1 م}^3 / 0.423) * \text{صافي نسبة الكبريت} \% \text{ المضافة} . \text{----- 1}$$

0.423 حيث = نسبة الكبريت في الحجر المستخدم

ويبين الجدول رقم 6 التحليل الكيماوي (مركبات) خامات الكبريتات المضافة الى الرمل للحصول على صافي نسبة املاح الكبريتات SO_3 المراد اضافتها الى الخلطة .

ثانيا : الخلطات الخرسانية : (Concrete mixtures)

تم عمل خلطتين رئيسيتين من الخرسانية وبنسب خلط مختلفة كما مبين في الجدولين رقم 7 و 8 كانت الأولى بنسبة خلط 3:1.5:1 حجما وبمحتوى إسمنتي 380 كغم/م³ ورمز لها بالرمز (Mix . A₀) والثانية فكانت بنسبة خلط 4:2:1 حجما وبمحتوى إسمنتي 300 كغم/م³ ورمز لها بالرمز (Mix . B₀) باستخدام رمل مطابق للمواصفات وبنسبة املاح 0.4% وزنا طبقا للمواصفة العراقية [15] وبدون أي اضافات لكلا الخلطتين وقد اعتبرتا خلطتين مرجعيتين لكلا النوعين . هذا وقد اضيف نسب اضافية مختلفة من املاح الكبريتات للخلطتين المرجعيتين (2,1.5,1,0.5)% من وزن الرمل المستخدم لكلا الخلطتين لنحصل على الخلطات (A₄, A₃, A₂, A₁) للخلطة نوع A والخلطات (B₄, B₃, B₂, B₁) للخلطة نوع B ، وازدادة كميات اضافية من السمنت وبنسب مختلفة من السمنت المستخدم في الخلطات المذكورة المضافة اليها املاح الكبريتات للحصول على الخلطات (A₁₀, A₉, A₈, A₇, A₆, A₅) و (B₁₁, B₁₀, B₉, B₈, B₇, B₆, B₅) وتم اضافة ملدن وبنسب مختلفة كانت (3,2,1.5,1) للخلطات الحاوية على نسب املاح اضافية للحصول على الخلطات (A₁₄, A₁₃, A₁₂, A₁₁) والخلطات (B₁₅, B₁₄, B₁₃, B₁₂) كما في المخططات (1, 2) .

ثالثا : تحضير قوالب النماذج والصب : moulds samples and mixtures preparing

استخدمت ست قوالب حديدية مكعبة الشكل بطول ضلع 15 سم لتحضير نماذج خرسانية لقياس مقاومة الانضغاط وحسب المواصفة [19] وبالأعمار 7 و 28 يوم ثلاثة لكل عمر. حيث تم تزييت القوالب وملئها بالخرسانة وحرصها ميكانيكيا باستخدام الهزاز الكهربائي المنضدي للتخلص من الفراغات الهوائية داخل الخرسانة بشكل جيد وبعد تسوية وجه القوالب وإنهاء الصب تم تغطية القوالب الخرسانية بالنابيلون لمدة 24 ساعة حيث تم فتح القوالب بعدها. وعولجت بأحواض حاوية على الماء الصالح للشرب وبدرجة حرارة المختبر (24- 28) درجة مئوية بعد 24 ساعة من عملية الصب وفتح القوالب ولحين وقت الفحص بعد 7 أيام لثلاث نماذج و 28 يوم للثلاث الأخرى.

رابعاً : الفحوصات . Tests

فحص مقاومة الانضغاط : Compressive Strength Test

تم إجراء الفحص المختبري على 3 نماذج بعمر (7 و 28) يوم لجميع الخلطات الخرسانية لمعرفة قوة الانضغاط وهي رطبة حال إخراجها من ماء المعالجة وبموجب المواصفة [B. S. 1881, Part 116 , 1989] [19] وكما مبين في الصور رقم 1 باستخدام جهاز فحص الانضغاط بتسليط قوة تحميل مباشرة على النموذج ، سعة الجهاز 100 طن نوع (MARUI) ياباني المنشأ.

النتائج والمناقشة: Results and discussion

يبين الجدول رقم 8 والمخططات 3 و 4 نتائج قوى الانضغاط للخلطات الخرسانية بنوعها A بنسبة خلط 3:1.5:1 و B بنسبة خلط 4:2:1 وبعمري 7 و 28 يوم حيث سجلت الخلطتين المرجعيتين A_0 , B_0 قوتي انضغاط (22.4 , 29.3) MPa على التوالي بعمر 28 يوم لكون محتوى الاسمنت في B_0 300 كغم/م³ وفي A_0 380 كغم/م³ وقد اعتبرنا خلطتين مرجعيتين لكلا النوعين لكونهما خاليتين من اية اضافات وباستخدام رمل مطابق للمواصفات وبنسبة املاح 0.4% . وعند اضافة املاح الكبريتات بنسبة 0.5% من وزن الرمل للخلطة كما في A_1 ازدادت قوة الانضغاط وبنسبتي (+7.3 , +8.7) % وبعمري 7 و 28 يوم على التوالي عن مثيلتها المرجعية A_0 في حين اضافة نفس النسبة من الكبريتات 0.5% في الخلطة B_1 سبب في نقصان الانضغاط وبنسب (-1.2 , -1.8) % وبعمري 7 و 28 يوم على التوالي عن مثيلتها المرجعية B_0 وقد يرجع هذا التفاوت في تأثير نفس النسبة المضافة من الكبريتات للخلطتين على قوة انضغاطهما لما يلي :

- 1 – زيادة المحتوى الاسمنتي في A_1 وبنسبة 26.66% عنه في B_1
- 2 – تجاوز نسبة الكبريتات الحد المسموح به في المواصفة العراقية [15] بنسبة 0.4% من وزن الرمل بينما تبقى اقل من المسموح به لنسبة الكبريتات في الخلطة من وزن الاسمنت لنفس المواصفة للخلطة A_1 . بينما نلاحظ تجاوز نسبة الكبريتات في B_1 في كل من الرمل بنسبة 0.4% وفي الخلطة بنسبة 0.32% من وزن الاسمنت عن الحد المسموح به لنفس المواصفة (جدول رقم 7)

يظهر التأثير السلبي لمهاجمة الكبريتات للخلطة A_2 وذلك باضافة نسبة 1% من الكبريتات لها مما يسبب زيادة في نسبة الكبريتات بمقدار 0.9% من وزن الرمل وبنسبة 0.53% في الخلطة من وزن الاسمنت عن الحد المسموح به للمواصفة [15] حيث تراجع قوة انضغاط الخرسانة وبنسب (-2.7 , -3.1) % وبعمري 7 و 28 يوم على التوالي مقارنة بمثيلتها المرجعية A_0 ولمعالجة هذا التناقص في قوة الانضغاط فقد تم اضافة كمية من الاسمنت ونسبة 3% من وزن الاسمنت المستخدم كما في الخلطة A_5 إلا ان هذه الكمية المضافة من الاسمنت لم تعالج التدهور الحاصل في قوة الانضغاط بشكل كامل للخلطة A_2 بل حسنت وبشكل جزئي من التناقص في قوة الانضغاط لذلك تم زيادة الكمية المضافة من الاسمنت لتصل الى 6% كما في الخلطة A_6 لنحصل على زيادة في الانضغاط وبنسبتي (+0.9 , +0.51) % وبعمري 7 و 28 يوم على التوالي عن مثيلتها المرجعية A_0 . وهذا ما حصل في الخلطتين A_8 بإضافة اسمنت بنسبة 10% والخلطة A_{10} بنسبة اسمنت مضافة 14% حيث زادت قوة الانضغاط للخلطتين بنسبة (+0.83 , +0.30) % وبعمر 28 يوم على التوالي عن مثيلتها المرجعية A_0 بالرغم من تجاوز نسبة المسموح بها من الكبريتات للمواصفة [15] وبمقدار (1 , 1.56) % على التوالي لنسبة الاملاح الكلية في الخلطتين . ان تحسين مقاومة الانضغاط للخرسانة الحاوية على نسب عالية من املاح الكبريتات بزيادة كمية الاسمنت داخل الخلطة يؤدي الى زيادة نواتج الاماهة داخل جسم الخرسانة مما يقلل من الفراغات الداخلية بجسم الخرسانة وبالتالي يؤدي الى تحسين مقاومة الانضغاط وتعويض النقص الحاصل في المقاومة من جراء وجود تلك الاملاح . ان اضافة 1% ملدن للخلطة A_2 الحاوية على املاح مضافة بنسبة 1% كما في الخلطة A_{11} سبب تأثيراً ايجابياً وحسن في قوة انضغاط الخلطة وبعمري 7 و 28 يوم وبنسب زيادة (+1.1 , +0.92) % على التوالي عن مثيلتها المرجعية A_0 وعدم ظهور التأثير السلبي للكبريتات في الخلطة وذلك لان نسبة تجاوز الكبريتات عن المسموح به كانت قليلة بلغت 0.53% في الخلطة من وزن الاسمنت . وهذا عكس ما بينته الخلطات (A_{12} , A_{13} , A_{14}) بالرغم من زيادة الملدن المضاف وبنسب (1.5 , 2 , 3) % على التوالي حيث اصبح هناك تحسن في هبوط قوة الانضغاط الحاصل للخرسانة بدون ملدن ولكن لم يصل الى انضغاط مثيلتها المرجعية A_0 حيث كان النقصان في انضغاط الخلطات المذكورة هي على التوالي (-4.7 , -3.8 , -12.3) % بعمر 28 يوم مقارنة بانضغاط المرجعية . كما نلاحظ زيادة التأثير السلبي للكبريتات على الخلطات نوع B اكثر مما هو عليه في الخلطات نوع A ومن خلال متابعة قوى الانضغاط للخلطات الخرسانية والمبينة تفصيلها في الجدول رقم 8 ومقارنتها بانضغاط الخلطة المرجعية يمكن حساب نسب النقصان الواضحة والكبيرة لانضغاط الخلطات (B_4 , B_3 , B_2 , B_1) وبنسب (-1.8 , -10.4 , -16.8 , -21.7) % على التوالي عن مثيلتها المرجعية B_0 بعمر 28 يوم والتي سجلت قوة انضغاط 22.4 MPa . ان تأثير زيادة كمية الاسمنت في الخلطات نوع B اقل من تأثيره في الخلطات نوع A على قوة انضغاط الخرسانة ويظهر ذلك في الخلطات (B_5 , B_6 , B_7 , B_8 , B_9 , B_{10} , B_{11}) حيث نلاحظ ان نسبة النقصان بقوة الانضغاط للخلطة B_{11} تبلغ 10.2% مقارنة بمثيلتها المرجعية B_0 بعمر 28 يوم بالرغم من اضافة كمية اسمنت اضافية بنسبة 26% من وزن الاسمنت للخلطة مع زيادة نسبة الكبريتات بمقدار 2% من وزن الرمل , بينما في الخلطة A_{10} تم اضافة كمية اسمنت اضافي بنسبة 14% مع زيادة نسبة الكبريتات 2% من وزن الرمل إلا انه تم حصول زيادة في قوة الانضغاط بنسبة (+0.3) % بعمر 28 يوم مقارنة بالمرجعية A_0 مما يبين التأثير الواضح لزيادة كمية الاسمنت على قوة الانضغاط للخلطات نوع A عنه في نوع B . وكذلك زيادة تأثير نسبة الملدن المضاف للخلطات نوع A على انضغاط الخرسانة مقارنة بتأثير نفس نسبة الملدن المضافة للخلطات نوع B على قوة الانضغاط وبنفس كمية الكبريتات المضافة وذلك لزيادة المحتوى الاسمنتي لها . حيث كانت الخلطة A_{14} بنسبة ملدن 3% وبنسبة كبريتات مضافة 2% لها قوة انضغاط تقل عن مثيلتها المرجعية وبعمر 28 يوم بمقدار (-12.3) % , في حين كانت الخلطة B_{15}

بنسبة ملدن 3% وبنسبة كبريتات مضافة 2% لها قوة انضغاط تقل عن مثيلتها المرجعية وبعمر 28 يوم بمقدار (17.3%-) مما يبين زيادة فعالية الملدن للخلطة A اكبر منه في الخلطة B لقلة المحتوى الاسمنتي للخلطة B وزيادة نسبة الركام الناعم فيها وبالتالي زيادة نسبة التجاوز المسموح به لنسبة الاملاح الكلية في الخلطة وفي الرمل مما يظهر التأثير السلبي لأملاح الكبريتات على انضغاط الخرسانة بشكل اكبر من التأثير الايجابي الذي يحدثه اضافة الاسمنت او الملدن للخلطة الخرسانية نوع B .

الاستنتاجات : Conclusions

- 1 - من خلال دراسة النتائج المثبتة في الجدولين 7 و 8 يمكن التوصل الى الاستنتاجات التالية :
1 - امكانية استخدام الركام الناعم الحاوي على نسبة كبريتات اعلى من الحد المسموح به في المواصفة العراقية [15] وهي 0.5% شرط عدم تجاوز نسبة الاملاح الكلية في الخلطة الخرسانية لحدود المواصفة [15] . أي يمكن استخدام سمّنت وحصى بنسبة كبريتات اقل لنتمكن من استخدام رمل بنسبة كبريتات اعلى على ان لا تتجاوز نسبة الكبريتات الكلية المسموح بها في الخلطة. كما ومن الممكن تقليل تأثير الكبريتات على الخرسانة باستعمال الاسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات لاحتوائه على نسبة واطنة من C_4AF و C_3A مقارنة بالأنواع الاخرى من الاسمنت فقلة نسبة الاولومينات وزيادة نسبة السلكات في هذا النوع من الاسمنت يعطيه مقاومة خاصة لأملاح الكبريتات .
- 2 - ينعدم التأثير السلبي لارتفاع نسب املاح الكبريتات المضافة في الرمل وبنسبة تصل الى 2% في الخلطة الخرسانية عما ثبت في المواصفة العراقية [15] وذلك برفع المحتوى الاسمنتي للخلطة الخرسانية وبكمية 433 كغم/م³ ويزداد التأثير السلبي لارتفاع الكبريتات بقلة المحتوى الاسمنتي للخلطة .
- 3 - ان اضافة الملدن للخلطات الخرسانية ذات محتوى كبريتات اعلى من الحد المسموح به في المواصفة العراقية [15] يقلل من التأثير السلبي للاملاح على قوة الانضغاط ولكن بشكل اقل من تأثير اضافة الاسمنت للخلطة ويقل تأثير الملدن على قوة الانضغاط بزيادة نسبة الكبريتات المضافة وقلة المحتوى الاسمنتي للخلطة. ولكن بشكل عام يقلل من التناقص المتزايد في قوة الانضغاط .

الجدول والأشكال البيانية والمخططات :

جدول رقم 1 : التحليل الكيماوي للسمّنت المستعمل

مركبات الاكاسيد	محتوى الاكاسيد %	حدود م.ق. ع. رقم 5 لسنة 1984 %
CaO	63.7	-----
SiO ₂	21.2	-----
Fe ₂ O ₃	4.9	-----
Al ₂ O ₃	4.1	-----
MgO	1.6	5 ≥
SO ₃	2.2	2.5 ≥
الفقدان عند الحرق	1.4	4 ≥
المواد غير القابلة للذوبان	0.89	1.5 ≥
عامل الإشباع الجيري	0.81	1.02 – 0.66
C ₃ S	49.3	-----
C ₂ S	24.8	-----
C ₃ A	2.3	3.5 ≥
C ₄ AF	13.8	-----

جدول رقم 2 : الخواص الفيزيائية للسمّنت المستعمل

نوع الفحص	نتائج فحص السمّنت	حدود المواصفة العراقية رقم 5 لسنة 1984
وقت التماسك		
أ - الابتدائي (دقيقة)	118	45 ≤
ب - النهائي (ساعة)	3.1	10 ≥
تحمل الضغط MPa		
بعمر 3 أيام	18	15 ≤
بعمر 7 أيام	25	23 ≤

جدول رقم 3 التحليل المنخلي والخصائص الفيزيائية للركام الخشن المستخدم بموجب م.ق.ع. 45 لسنة 1984 .

مقياس المنخل ملم	نسبة المواد المارة % للنموذج	حدود المواصفة رقم 45 لعام 1984 / للمقياس 20 – 5 ملم
37.5	100	100
20	98	95 - 100
10	40	30 - 60
5	2	0 - 10
2.36	0	0
الخصائص الفيزيائية		
الوزن النوعي للحصى specific gravity	نتيجة فحص النموذج	حدود المواصفة
نسبة الأملاح SO_3 %	2.66	-----
امتصاص الماء % Water absorption	0.08	$0.1 \geq$
	0.4	----

جدول رقم 4 التحليل المنخلي والخصائص الفيزيائية للركام الناعم (الرمال) بموجب م . ق . ع . 45 لسنة 1984

مقياس المنخل ملم	نسبة المواد المارة % للنموذج	حدود المواصفة رقم 45 لعام 1984 / منطقة التدرج رقم 2
10	100	% 100
4.75	97	90-100
2.36	89	75-100
1.18	72	55-90
0.600	51	35-59
0.300	27	8-30
0.150	3	0-10
الخصائص الفيزيائية		
الوزن النوعي للرمال specific gravity	نتيجة فحص النموذج	حدود المواصفة
نسبة الأملاح SO_3 %	2.63	-----
امتصاص الماء % Water absorption	0.4	$0.5 \geq$
	1.8	----

جدول رقم 6 : التحليل الكيماوي
لخامات الكبريتات (الجبس) المستعملة

المركبات	المحتوى %
CaO	31.81
Fe ₂ O ₃	0.68
SiO ₂	8.68
Al ₂ O ₃	1.40
SO ₃	42.30
MgO	0.98
L . O . I .	14.15

جدول رقم 5 خصائص الملدن المستعمل نوع (Sikament)

Characteristics	Description
Form	Viscous liquid
Color	Dark brown
Relative density	1.18 kg/ L at 20 C
Viscosity	128 + 3 cps at 20 C
PH value	10 - 8
Transport	Not classified as dangerous
dosage	0.6 – 3% by weight of cement depending on desired workability and strength
Shelf life	Up to 1 years

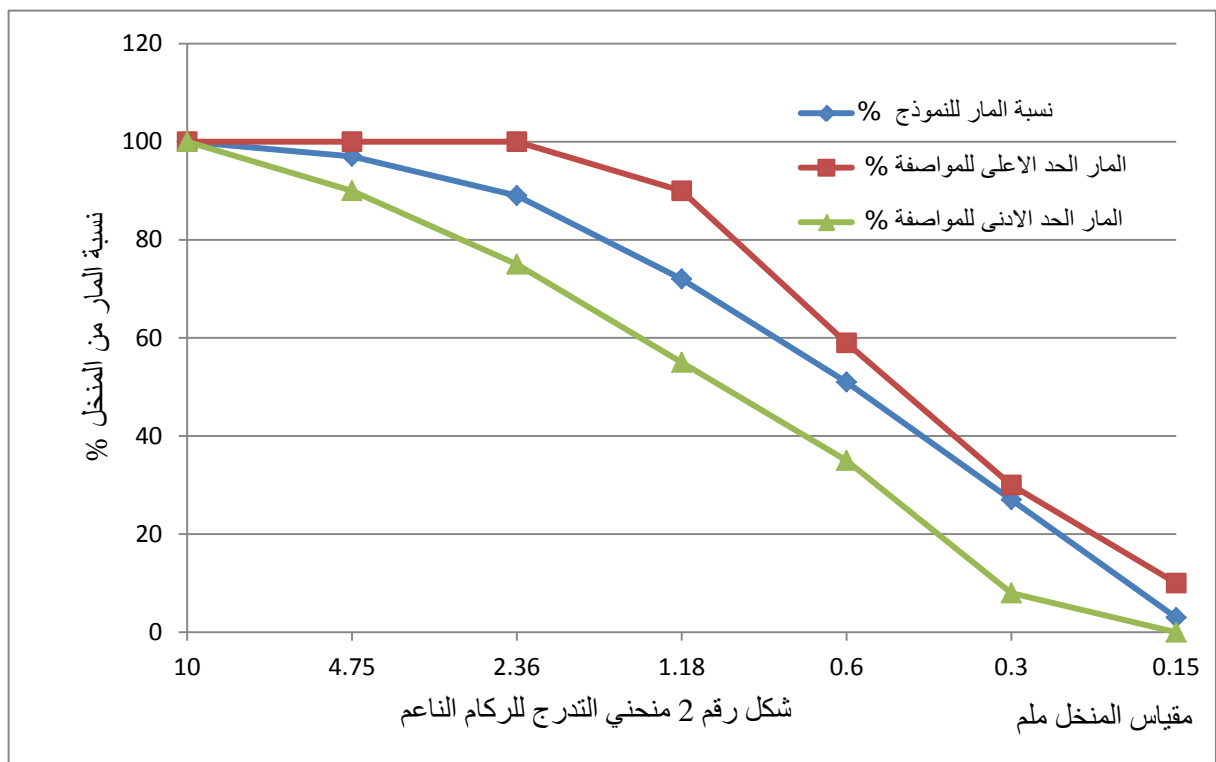
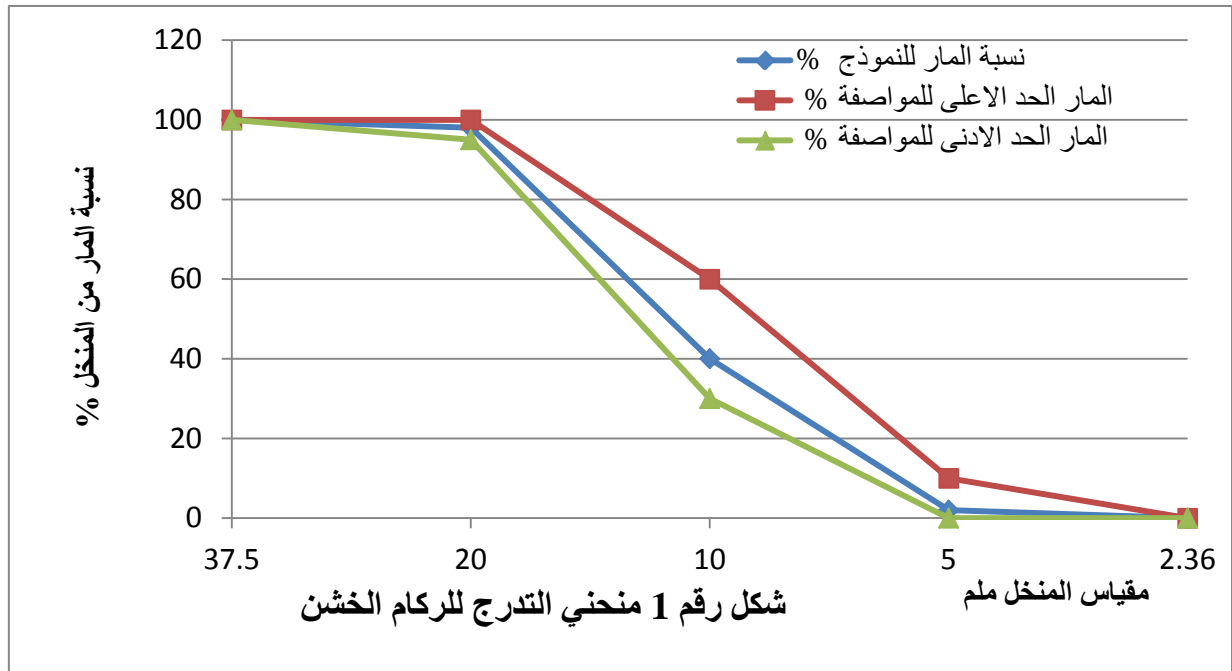
جدول رقم 7 يبين أنواع الخلطات الخرسانية ورموزها وكميات المواد ومحتوى الاملاح الكبريتية الداخلة فيها لكل 1 م³

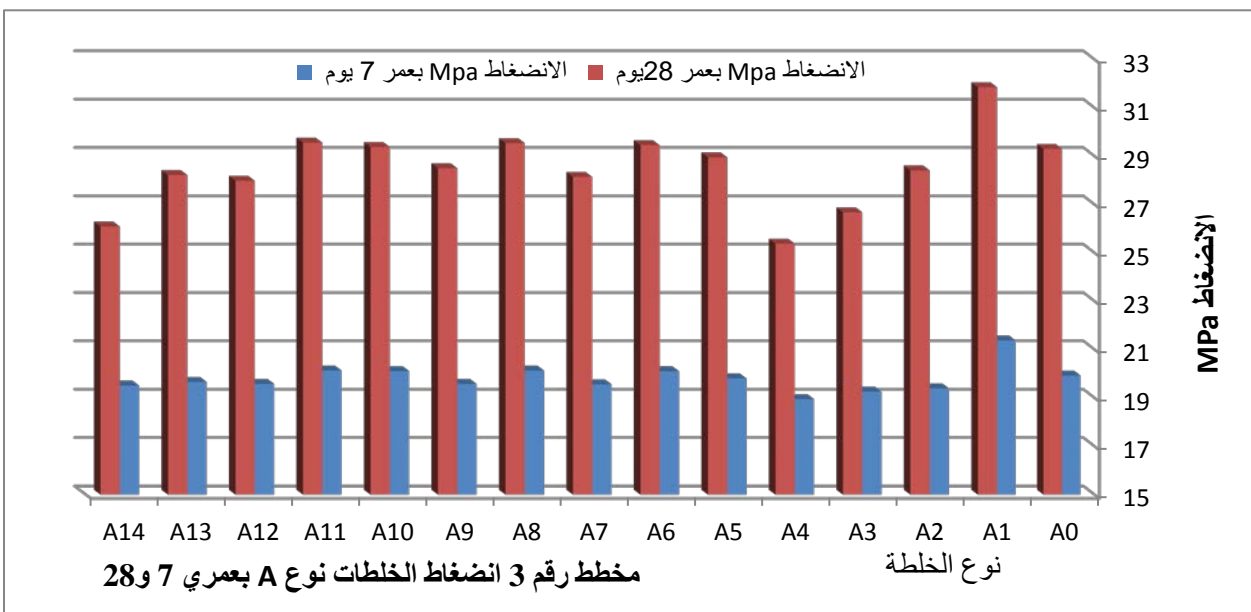
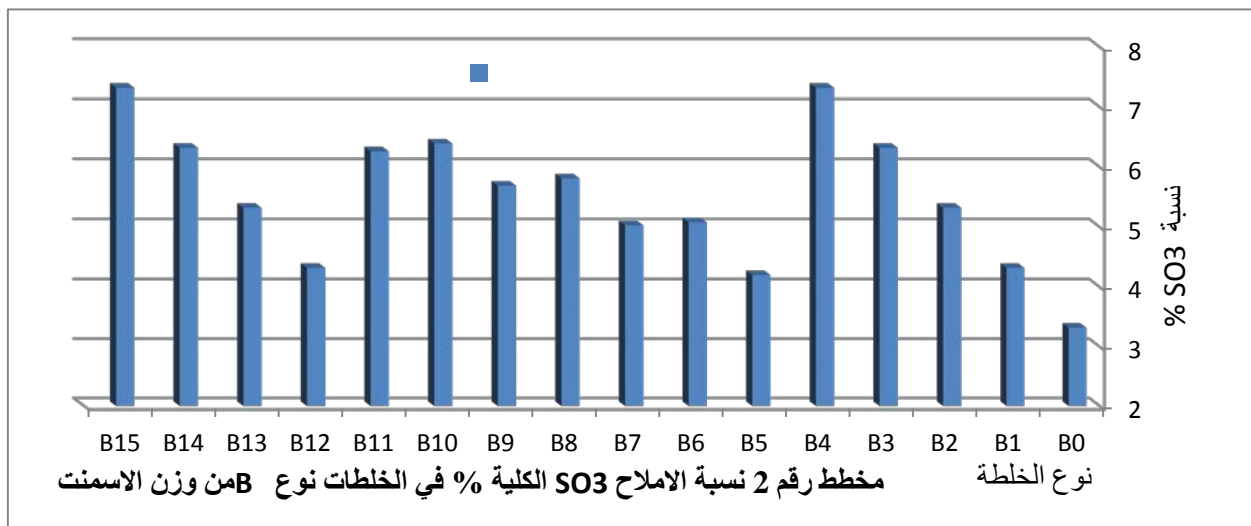
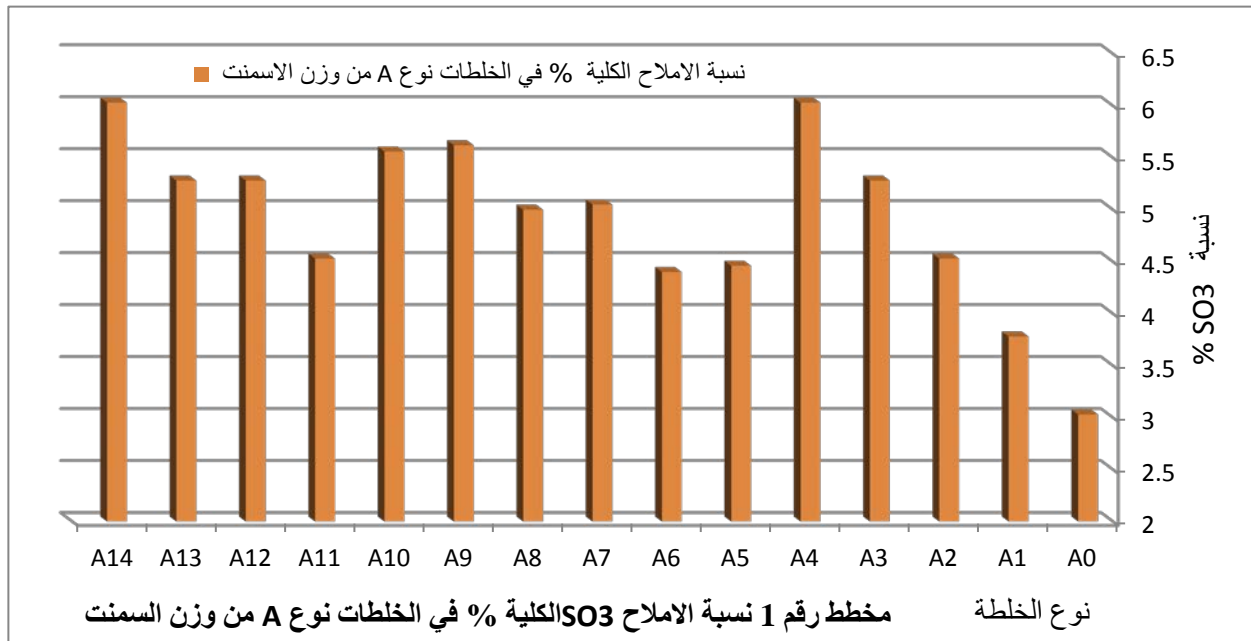
نسبة الخلط	رمز الخلطة	السمت		الركام الناعم		الركام الخشن		نسبة الماء / الاسمنت	الماء / كغم / م ³	نسبة الاملاح الكلية في الخلطة % من وزن السمنت
		% للملاح	المحتوى / كغم / م ³	% للملاح	المحتوى / كغم / م ³	% للملاح	المحتوى / كغم / م ³			
Mix.A 1:1.5:3	A ₀	2.2	380	0.4	570	0.08	1140	0.48	182	3.03
	A ₁	2.2	380	0.9	570	0.08	1140	0.48	182	3.78
	A ₂	2.2	380	1.4	570	0.08	1140	0.48	182	4.53
	A ₃	2.2	380	1.9	570	0.08	1140	0.48	182	5.28
	A ₄	2.2	380	2.4	570	0.08	1140	0.48	182	6.03
	A ₅	2.2	392	1.4	570	0.08	1140	0.48	188	4.46
	A ₆	2.2	403	1.4	570	0.08	1140	0.48	194	4.40
	A ₇	2.2	411	1.9	570	0.08	1140	0.48	198	5.05
	A ₈	2.2	418	1.9	570	0.08	1140	0.48	201	5.00
	A ₉	2.2	426	2.4	570	0.08	1140	0.48	205	5.62
	A ₁₀	2.2	433	2.4	570	0.08	1140	0.48	208	5.56
	A ₁₁	2.2	380	1.4	570	0.08	1140	0.45	171	4.53
	A ₁₂	2.2	380	1.9	570	0.08	1140	0.43	164	5.28
	A ₁₃	2.2	380	1.9	570	0.08	1140	0.43	164	5.28
Mix.B 1:2:4	A ₁₄	2.2	380	2.4	570	0.08	1140	0.42	160	6.03
	B ₀	2.2	300	0.4	600	0.08	1200	0.48	144	3.32
	B ₁	2.2	300	0.9	600	0.08	1200	0.48	144	4.32
	B ₂	2.2	300	1.4	600	0.08	1200	0.48	144	5.32
	B ₃	2.2	300	1.9	600	0.08	1200	0.48	144	6.32
	B ₄	2.2	300	2.4	600	0.08	1200	0.48	144	7.32
	B ₅	2.2	318	0.9	600	0.08	1200	0.48	153	4.20
	B ₆	2.2	324	1.4	600	0.08	1200	0.48	156	5.08
	B ₇	2.2	330	1.4	600	0.08	1200	0.48	159	5.03
	B ₈	2.2	342	1.9	600	0.08	1200	0.48	164	5.81
	B ₉	2.2	354	1.9	600	0.08	1200	0.48	170	5.69
	B ₁₀	2.2	366	2.4	600	0.08	1200	0.48	176	6.39
	B ₁₁	2.2	378	2.4	600	0.08	1200	0.48	181	6.26
	B ₁₂	2.2	300	0.9	600	0.08	1200	0.45	135	4.32
	B ₁₃	2.2	300	1.4	600	0.08	1200	0.45	135	5.32
	B ₁₄	2.2	300	1.9	600	0.08	1200	0.43	129	6.32
	B ₁₅	2.2	300	2.4	600	0.08	1200	0.42	126	7.32

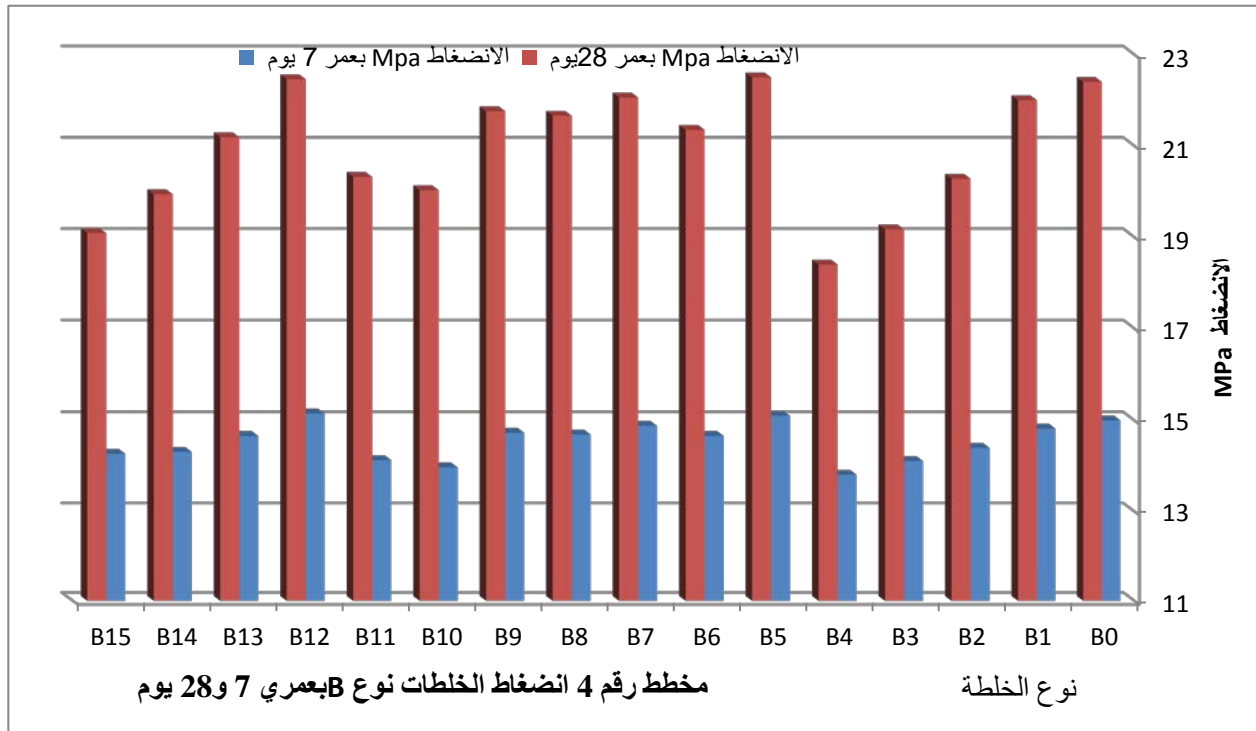
جدول رقم 8 يبين أنواع الخلطات الخرسانية ورموزها والمواد المضافة اليها وتحملها لقوى الانضغاط للأعمار 7 و28 يوم *

الانضغاط 28 يوم MPa	الانضغاط 7 يوم MPa	نسبة الماء / الاسمنت	نسبة الملدن % من وزن الاسمنت	نسبة الاسمنت المضاف % من وزن الاسمنت	نسبة املاح SO ₃ % المضافة من وزن الرمل	مطحون حجر الجبس كغم / م ³	رمز الخلطة	المجموعة ونسبة الخلط
29.30	19.92	0.48	0	0	0	0	A ₀	Mix. A 1:1.5:3
31.85	21.37	0.48	0	0	0.5	6.73	A ₁	
28.41	19.39	0.48	0	0	1	13.47	A ₂	
26.68	19.26	0.48	0	0	1.5	20.21	A ₃	
25.38	18.95	0.48	0	0	2	26.95	A ₄	
28.95	19.80	0.48	0	3	1	13.47	A ₅	
29.45	20.1	0.48	0	6	1	13.47	A ₆	
28.14	19.56	0.48	0	8	1.5	20.21	A ₇	
29.54	20.13	0.48	0	10	1.5	20.21	A ₈	
28.50	19.58	0.48	0	12	2	26.95	A ₉	
29.38	20.11	0.48	0	14	2	26.95	A ₁₀	
29.56	20.13	0.45	1	0	1	13.47	A ₁₁	
27.98	19.58	0.43	1.5	0	1.5	20.21	A ₁₂	
28.22	19.66	0.43	2	0	1.5	20.21	A ₁₃	
26.09	19.51	0.42	3	0	2	26.95	A ₁₄	
22.4	15.00	0.48	0	0	0	0	B ₀	Mix. B 1:2:4
22.0	14.82	0.48	0	0	0.5	7	B ₁	
20.28	14.40	0.48	0	0	1	14.18	B ₂	
19.17	14.11	0.48	0	0	1.5	21.27	B ₃	
18.40	13.81	0.48	0	0	2	28.36	B ₄	
22.5	15.1	0.48	0	6	0.5	7	B ₅	
21.35	14.66	0.48	0	8	1	14.18	B ₆	
22.06	14.88	0.48	0	10	1	14.18	B ₇	
21.66	14.69	0.48	0	14	1.5	21.27	B ₈	
21.76	14.73	0.48	0	18	1.5	21.27	B ₉	
20.03	13.97	0.48	0	22	2	28.36	B ₁₀	
20.32	14.13	0.48	0	26	2	28.36	B ₁₁	
22.46	15.15	0.45	1	0	0.5	7	B ₁₂	
21.19	14.66	0.45	1	0	1	14.18	B ₁₃	
19.94	14.31	0.43	2	0	1.5	21.27	B ₁₄	
19.09	14.27	0.42	3	0	2	28.36	B ₁₅	

* القراءة تمثل معدل فحص ثلاث نماذج







المصادر :

- 1 - يحيى يونس عباس ، 2002 " الية تغلغل الاملاح الكبريتية في الخرسانة " رسالة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية .
- 2 - Neville A.M., 1995 "Properties of Concrete", Long Man Group Limited, London, Fourth Edition.
- 3 - Feras L.Khleif , 2012 "Ultrasonic Pulse Velocity - Strength Relationship for Concrete Subjected to Sulfate Attack" Iraqi Journal of Civil Engineering Vol. 7, NO. 2, pp. 1-14
- 4 - AL – Kadhimi, T. K. and Hamid, F. A.(1983) "Effect of Gypsum Present in Sand on the Properties of Concrete" BRC– Journal VO12, No.2, 1983, pp. (17-41). (ivsl.)
- 5 – مفيد السامرائي ، " مقترح تحديد نسبة الاملاح في الرمل " المركز الوطني للمختبرات الانشائية ، مجلة البناء الحضاري ، العدد 1 ، السنة الاولى ، ص (1 – 3) .
- 6 - Abdul-Latif, A. M. 2001" Mathematical Model for The Optimum Gypsum Content in Concrete,' thesis University of Baghdad, Baghdad 2001, pp. (1-14).
- 7 – AL- Rawi, R. S., 1985 "Internal Sulphate Attack in Concrete Related to Gypsum Content of Cement with Pozzolan Addition", ACI-Rilem, joint symposium, Monterrey, N.L.Mexico, p 543
- 8- Rawi,R.S., "Some problems in Concrete manufacture in Arab Homeland and Suggested Remedial Measures " مؤتمر مواد البناء العربية والتحديات الاقتصادية .
- 9 - Soroka , I. ,and Abayneh ,M. , "Effect of Gypsum on Properties and Internal Structure of PC past " Cement and Concrete Research ,Vol. 16 ,No .4 , pp 495-504, 1986.
- 10 -Yangani, K.,et al. , "Physical Properties of Recycled Concrete using Recycled Coarse Aggregate Made of Construction with Finishing Materials," Demolition and Reuse of Concrete & Masonry, Rilem Proceeding 23, E&FN Spon, pp. 379-390. 1994.
- 11 - Zheng, J.J. et al , "Characterization of Microstructure of Interfacial Transition Zone in Concrete " , ACI Materials Journal , Vol. 102, No. 4, pp. 265- 271. July – August 2005.
- 12 - Tam, V. W. Y.,Gao, X. F.,Tam, C. M. "Micro-Structural Analysis of Recycled Aggregate Concrete Produced from Two Stage Mixing Approach", Cement and Concrete Research, Vol. 35 , NO.6, p.p.1195-1203. (2005).
- 13- نسبة الاملاح الكبريتية في الخرسانة وتعديل المواصفة العراقية رقم 45 وزارة الاسكان والتعمير المركز الوطني للمختبرات ، Kattwan ,M.H.,Nori,S., Al- Kheban,A الانشائية 1993 ،
- 14 – مؤيد الخلف ، هناء عبد يوسف ، 1984 ، " تكنولوجيا الخرسانة " وزارة التعليم العالي والبحث العلمي الجامعة التكنولوجية
- 15 – المواصفة القياسية العراقية رقم (45) لسنة (1984) "ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية - بغداد
- 16 - المواصفة القياسية العراقية رقم (5) لسنة (1984) " الأسمنت البورتلاندي" الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية
- 17 - Al-Khafaji J.A. ,1992." The Effect of Some Admixtures and Water Proof Coatings on The Internal Sulphate Attack in Concrete " Msc . Thesis , Baghdad University , 1992.
- 18 - Al-Robayi, A. H. 2005 "Resistance of High Performance Concrete to External and Internal Sulfate Attack", M. Sc. Thesis University of Technology, Baghdad 2005.p(100-102).
- 19 - British Standards Institute, (1989) British Standards B. S. 1881, Part 116" Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes " , 3 pp,