

## مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن والحاوية على ابخرة السليكا للحوامض

أ.م.د. عزيز ابراهيم عبدالله  
قسم الهندسة المدنية / كلية الهندسة / جامعة تكريت  
E-mail: aziz\_914@yahoo.com

### الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير محاليل حامضي الهيدروكلوريك والكبريتيك ومزيجهما على نوعين من الخرسانة خفيفة الوزن الاولى منتجة بواسطة استخدام ركام خفيف الوزن والثانية باستخدام مادة رغوية. و تم دراسة تأثير استخدام ابخرة السليكا مع او بدون الملدن الفائق في الخرسانة خفيفة الوزن على مقاومتها للحوامض. تم استخدام طريقة جديدة مقترحة في قياس تأثير الحوامض على الخرسانة اضافة الى الطريقة التقليدية، كما تم اقتراح ادخال فحص المطرقة لقياس مقاومة الخرسانة المتصلدة في قياس مدى تأثير الخرسانة بالحوامض. جميع النماذج تم غمرها لمدة ٦٠ يوما في المحاليل الحامضية. افرزت الدراسة استنتاجات مهمة حول تأثير الحوامض على الخرسانة خفيفة الوزن مع او بدون المضافات. فبالرغم من ان استخدام ابخرة السليكا تزيد من مقاومة الخرسانة الا انها لاتعمل دائما على زيادة مقاومتها للحوامض بل على العكس قد تقلل من مقاومتها للحوامض وخصوصا عند مزجها مع الملدن الفائق. كان معدل النسبة المئوية للنقصان بمقاومة الانضغاط للخرسانة خفيفة الوزن ٤٣.٦% و ٢٧.٧٤% و ٤٩.٨% بينما كانت النسب للخرسانة الرغوية ٤١.٢٢% و ٤٢.١٥% و ٤١.٠٩% وللخرسانة الاعتيادية ٥٠% و ٤٠% و ٥٨.٠٧% تحت تأثير محاليل HCL, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and HCl+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. كما اثبتت الدراسة كفاءة طريقة المطرقة لتحمين مدى تآثر الخرسانة بالحوامض.

الكلمات الدالة:- خرسانة خفيفة الوزن، حامض الكبريتيك، حامض الهيدروكلوريك، الملدنات الفائقة، المادة الرغوية، الفحوصات اللاتلافية.

## Acidic Attack Resistance of Lightweight Concrete with SF

Aziz Ibrahim Abdulla  
Civil Eng. Dept./College of Eng./Tikrit University  
E-mail: aziz\_914@yahoo.com

### Abstract

Present research includes studying the effect of hydrochloric acid, sulfuric acid, and hydrochloric + sulfuric acid solutions on the lightweight concrete. The lightweight concrete produced in two ways first by the use of lightweight aggregate and the second using foam. Also studied the effect of the use of silica fume with or without a superplasticizer in the ultra-lightweight concrete on the

*resistance to acids solution. The author proposed to use a new method to measure the effect of acid on the concrete in addition to the traditional way, as has been proposed the introduction of hammer test to measure the resistance of hardened concrete. The study has produced important conclusions about the effect of acid on the light-weight concrete with or without additives. Although the use of silica fume increases the resistance of concrete, it's not working always to increase its resistance to acids, but on the contrary may reduce resistance to acids, especially when mixed with superplasticizer. The averages percentage decreasing in compressive strength are 43.6%, 27.74, and 49.8 for lightweight concrete, and 41.22, 42.15, and 41.09 for foam concrete and 50%, 40%, and 58.07% for normal concrete under the effect of HCL, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and HCL+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions respectively. The study proved the efficiency of hammer method to estimate the resistance of concrete to acidic solution.*

**Key Word:** *lightweight concrete, sulfuric acid, Hydrochloric acid, Superplasticizer, Lightcrete, non-destructive testes.*

## ١. المقدمة

تتكون الخرسانة من ثلاث مكونات رئيسية وهي السمنت والركام والماء. بالإضافة الى ذلك هناك مواد اخرى تسمى المضافات قد تضاف للحصول على خصائص معينة وتتضمن اضافات الهواء المقصود والمعجلات والمبطنات والكاربون الاسود والرماد البركاني والمواد البوزولونية وابخرة السليكا ومضافات تقليل الماء والملدنات الفائقة وغيرها<sup>[1]</sup>. من أهم الاضافات وأكثرها شيوعا الملدنات الفائقة (SP) والتي تكون عموما سائلة وتضاف إلى الخلطة بنسبة تتراوح من (١-٣)% من وزن السمنت حيث تقوم هذه الملدنات بزيادة قابلية التشغيل لتحسين خواص الخرسانة المتصلبة عن طريق تقليل نسبة الماء إلى السمنت مع ثبات قابلية التشغيل.

في المنشآت الخرسانية يمثل الوزن الذاتي نسبة عالية جدا من الحمل الكلي المؤثر على المنشأ، لذا فمن الواضح بان هناك فوائد كثيرة من تقليل كثافة الخرسانة ومن اهمها استعمال مقاطع اصغر وبالتالي تقليل مقاس الاسس اضافة الى ذلك فان استعمال الخرسانة خفيفة الوزن يؤدي الى ضغط اقل على القوالب المستخدمة كما ان الخرسانة خفيفة الوزن لها عزل حراري وصوتي جيدان<sup>[2]</sup>.

يتم انتاج الخرسانة خفيفة الوزن بعدة طرق منها أ-استعمال ركام مسامي خفيف الوزن وتسمى الخرسانة في هذه الحالة الخرسانة ذات الركام الخفيف ب-استحداث فراغات كبيرة ضمن الكتلة الخرسانية او الملاط السمنتي ومن أنواعها الخرسانة المهواة والخرسانة الخلوية والخرسانة الرغوية. ج-الطريقة الثالثة للحصول على الخرسانة خفيفة الوزن هي عن طريق حذف الركام الناعم وبهذا سيكون عدد من الفراغات الخلوية.

تعني متانة الخرسانة او ديموميتها تحمل الخرسانة للظروف التي صممت من اجلها وبمعنى اخر فان متانة الخرسانة تعني مقاومة الخرسانة للتدهور ومن اهم الاسباب التي تؤدي الى تدهور الخرسانة هي مهاجمة الحوامض والاملاح من التربة او مياه البحر والامطار او مياه المجاري او المخلفات الصناعية<sup>[3]</sup>.

وقد اثبت Stock واخرون [4] ان نسبة الماء الى السمنت (w/c) تلعب دورا كبيرا في مقاومة عجينة السمنت المعرضة للكبريتات حيث تزداد مقاومة عجينة السمنت للكبريتات كلما قلت نسبة الماء الى السمنت. وهو نفس الاستنتاج الذي توصل اليه Boyd و Mindess [5] اللذان قاما بغمر اسطوانات خرسانية بابعاد (١٠\*١٠\*٢٠ سم) في محلول كبريتات الصوديوم بتركيز ٥% وباستخدام سمنت مقاوم وسمنت عادي ولنسب مختلفة من الماء الى السمنت الا انها ايضا ان تقليل الماء يزيد من مقاومة الخرسانة للكبريتات اكثر مما يزيده استخدام السمنت المقاوم.

قام Narayana واخرون [6] بالاعتماد على النسبة المئوية للفقدان بالوزن والمقاومة كمقياس اساسي في قياس مقاومة الخرسانة الحاوية على ملدنات فائقة ورماد بركاني ومواد ناعمة لحامض الهيدروكلوريك. ومن خلال مراقبة المكعبات الخرسانية المغمورة بالكامل في محلول حامض الهيدروكلوريك بتركيز (٥%) لمدة (٦٠) يوم تمت ملاحظة تأثير الحامض على المكعبات والذي يقل بعد (١٠) أيام وذلك بسبب تكون طبقة تمنع اختراق الحامض للخرسانة.

اما Vuk واخرون [7] فقد قاموا بدراسة تأثير كبريتات المغنسيوم على عجينة السمنت الحاوية على مسحوق حجارة الجير، مع او بدون المضافات. حيث اثبتوا من خلال التجارب العملية أن السمنت الحاوي على نسبة قليلة من C3A و C3S يعطي مقاومة جيدة كما ان استخدام ابخرة السليكا والرماد البركاني يزيد من مقاومة عجينة السمنت للكبريتات.

قام Irassar [8] بدراسة مقاومة عجينة ومونة السمنت والخرسانة الحاوي على الجير للكبريتات باستخدام محلولي كبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم. واستنتج بأن نسبة الماء/ السمنت عندما تكون قليلة تزيد من المقاومة للأملاح وكذلك نسبة C3A.

قام Guadalupe واخرون [9] بدراسة تأثير حامض الكبريتيك البايوجينيك على انابيب مياه الفضلات الخرسانية. كما تم دراسة تأثير وجود البكتريا في مياه الفضلات على الخرسانة. اثبت الباحثون ان لهذا الحامض تأثير كبير على الخرسانة وهو حامض يكون موجودا في مياه فضلات المستشفيات.

يسلط تقرير مؤسسة السمنت والخرسانة والركام الاسترالية [10] الضوء على تأثير كبريتات الصوديوم على مواشير واسطوانات الخرسانة الحاوي على سمنت مقاوم وسمنت عادي ولفترات طويلة ويخلص الى التوصية باستخدام السمنت المقاوم بالاضافة الى طلاء الخرسانة بموانع الرطوبة.

اثبت احمد [11] ان لوجود الملدن الفائق تأثير ايجابي في زيادة مقاومة الخرسانة للحوامض ومياه الفضلات الصناعية.

## ٢. الهدف من البحث

في هذا البحث تم اقتراح طريقة جديدة واقتصادية لقياس مقاومة الخرسانة للحامض. حيث يتم الاستفادة من مواشير الخرسانة (بابعاد ١٠\*١٠\*٤٠ سم) المستخدمة لفحص مقاومة الشد غير المباشر في الخرسانة في قياس مقاومة الخرسانة للأحماض. يتم الاستفادة من قطعتي الموشور بعد فحص الشد غير المباشر (والتي غالبا ما ترمى مع نفايات المختبر بعد الفحص) اذ ينكسر الموشور الى قطعتين وذلك عن طريق غمر احدى القطع بشكل كامل وغمر القطعة الاخرى بشكل جزئي (توضع بشكل عمودي داخل المحلول الحامضي لمراقبة صعود الأملاح) ويتم الاعتماد على النسبة المئوية للفقدان بالوزن ومقاومة الانضغاط للقطعة المغمورة كليا، في حين يتم مراقبة صعود الاملاح على القطعة المغمورة جزئيا.

كما تم قياس تأثير صعود الأملاح في قطعة الموشور المغمورة جزئياً بواسطة جهاز المطرقة إضافة الى الطريقة المكافئة لمقاومة الانضغاط باستخدام جهاز مقاومة الانضغاط والموصوفة لاحقاً. وحسب معلومات الباحث فان استخدام فحص المطرقة لمراقبة تأثير صعود الأملاح على مقاومة الانضغاط هي فكرة غير مطروقة سابقاً إضافة إلى أن فكرة الاستفادة من المواشير المفحوصة والتي غالباً ماترمى مع نفايات المختبرات الانشائية هي فكرة جديدة أيضاً. يضاف الى هذا البحث ايضاً قياس تأثير الحوامض على نوعين من الخرسانة خفيفة الوزن مع او بدون المضافات (ابخرة السليكا والملدن الفائق) وهما الخرسانة ذات الركام خفيف الوزن والخرسانة الرغوية.

تكمن اهمية البحث في المنشآت الصناعية والمنشآت البحرية والملاحي، والتي تكون معرضة للحوامض والأملاح، كما ان هناك توجه عالمي لاستخدام الخرسانة خفيفة الوزن في كافة المنشآت كالجسور والملاحي والمنشآت البحرية وغيرها.

### ٣. البرنامج العملي

#### ٣-١ المواد المستخدمة

- سمنت بورتلاند اعتيادي , نوع طاسلوجة انتاج الشركة المتحدة لصناعة السمنت في السليمانية، وهو مطابق للمواصفة رقم ٥ لسنة ١٩٨٤، والتحليل الكيميائي له كالاتي:  $\text{CaO}=65\%$ ،  $\text{SiO}_2=12\%$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3=3.3\%$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3=3.3\%$ ،  $\text{MgO}=2.2\%$ ،  $\text{SO}_3=1.2\%$ ،  $\text{L.O.I}=0.87\%$ ، في حين كانت النعومة ٣٠٠ م<sup>٣</sup>/كغم، والتجمد الابتدائي ٥٥ دقيقة، والنهائي ٦:٣٠، ومقاومة الانضغاط بعمر ٣ ايام تساوي ٢٩ ميكاباسكال .

-رمل مدرج تدرج (٢) حسب المواصفة العراقية رقم (٤٥) لسنة ١٩٨٤، ومحتوى  $\text{SO}_3=0.08\%$ ، والمواد الناعمة ١.١%، والكثافة النوعية ٢.٥٥.

-حصى مدرج حسب المواصفة العراقية رقم (٣٠) لسنة ١٩٨٤ .

-حصى مكسر مدرج حسب المواصفة العراقية رقم (٣٠) لسنة ١٩٨٤ .

-ابخرة سليكا من انتاج شركة سيكا العالمية (SikaFume® HR/TU).

-الملدن الفائق من انتاج شركة سيكا العالمية نوع (Sikament® FFN - HRWRA).

-الحجر الجيري المكسر والمدرج من منطقة الصينية-بيجي-صلاح الدين ويستخدم كركام خشن واحياناً كركام ناعم للحصول على خرسانة خفيفة الوزن.

-حامض الهيدروكلوريك المخفف بالماء المقطر الى تركيز (٥%).

-حامض الكبريتيك المخفف بالماء المقطر الى تركيز (٥%).

-مزيج الحامضين المخففين بنسب متساوية.

-مادة رغوية (Sika® lightcrete I- 50), تستخدم للحصول على خرسانة رغوية.

-ماء صالح للخرسانية وحسب المواصفة العراقية رقم ٢٥ المعدلة لسنة ١٩٨٦ [12].

### ٢-٣ الخلطات المستخدمة

يوضح الجدولان (١) و (٢) انواع الخلطات الخرسانية المستعملة والمكونة للمواشير الخرسانية.

### ٣-٣ الفحوصات المختبرية

#### ١-٣-٣ النقصان بالوزن

يتم قياس الوزن الجاف للمواشير قبل الغمر ثم يتم غمر قطعة واحدة كلياً والقطعة الأخرى توضع بشكل عمودي بحيث يغمر منها فقط (١٠سم) لمراقبة صعود الأملاح في المحاليل الحامضية وكما موضح بالاشكال (٢-٧). يتم استخراج النماذج المغمورة كلياً بعد ٦٠ يوماً وغسلها وتجفيفها، وقياس وزنها لمعرفة نسبة النقصان بالوزن تحت تأثير المحاليل أعلاه.

#### ٢-٣-٣ النقصان بالمقاومة

يتم غمر النماذج كلياً في المحاليل الحامضية وبعد ٦٠ يوماً يتم استخراجها من المحاليل وغسلها وغمرها كلياً في الماء لمدة ٤٨ ساعة ثم يتم فحص مقاومة الانضغاط لها حسب المواصفة البريطانية (B.S.1881 Part 4) [14]. كما يتم فحص مقاومة الانضغاط للمواشير (المرجعية) المناظرة لها والتي لم تغمر في اي محلول بعد غمرها لمدة ٤٨ ساعة في الماء ويتم قياس مقاومة الانضغاط لها بنفس الطريقة اعلاه ليتم بعدها احتساب النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة.

#### ٣-٣-٣ فحص المطرقة

يتم اجراء فحص المطرقة على المشور المغمور جزئياً لبيان مدى تاثير صعود الاملاح على مقاومة الانضغاط للجزء غير المغمور من المشور. الشكل (١) يمثل صورة لعمود خرساني معرض لأملاح موجودة في تربة حديقة احد المنازل وهي توضح شكل والى حد ما مدى تأثر خرسانة العمود من هذه الأملاح وتمثل مدى ضرورة إيجاد طريقة لتقدير مدى تأثر العمود والاساس الذي تحته بهذه الأملاح.

### ٤. النتائج ومناقشتها

#### ٤-١ شكل ولون الأملاح

تباين شكل ولون الأملاح إلى عدة حالات وألوان حسب نوع الحامض ويمكن إجمالها بالاتي:-

أ-أملاح تترسب في أسفل سطح أحواض الغمر وهي تحدث عند استخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف كما في

الشكل (٢).

ب- أملاح تتشكل على سطح الجزء المغمور من الموشور بالإضافة إلى الأملاح التي تترسب أسفل حوض المعالجة وتكون بيضاء اللون باستثناء المناطق التي تفصل الجزء المغمور عن الجزء غير المغمور حيث يكون لونها اصفرًا (ويكون اللون اصفرًا أيضًا عند تعرض الجزء المغمور كليًا من الموشور للهواء) وهي تحدث عند استخدام حامض الكبريتيك كما في الشكل (٣).

جدول (١) الخلطات الخرسانية المكونة للمواشير.

Mixing name	Cement kg	Sand kg	Limestone (Lightweight Coarse Aggregate) kg	SP/c %	SF/c %	W/c
MW1	20.54	11.96	53.74	0	0	0.487
MW2	20.5	14	48.82	0	5	0.418
MW3	20.87	9.5	48.82	0	10	0.423
MW4	17.45	12	48.82	0	15	0.499
MW5	20.54	12	48.82	1	0	0.329
MW6	20.54	12	48.8	2	0	0.365
MW7	20.54	12	48.8	3	0	0.343
MW8	19.5	12	48.8	1	2.5	0.415
MW9	18.49	12	48.8	1	10	0.419
MW10	17.46	12	48.8	1	15	0.460
MW11	19.5	12	48.8	2	5	0.341
MW12	18.49	12	48.8	2	10	0.351
MW13	17.44	12	48.8	2	15	0.380
MW14	19.5	12	48.8	3	5	0.292
MW15	18.49	12	48.8	3	10	0.316
MW16	17.4	12	48.8	3	15	0.342
MW17	20.5	L12	48.8	3.00	0	0.356
MW18	131	90	366	1	15	0.467
MWR	157.8	205	NC 472.5	0	0	0.399

الإشارة L تعني رمل خفيف الوزن، الإشارة NC تعني ركام خشن اعتيادي، الإشارة MWR تعني خرسانة اعتيادي<sup>[13]</sup>

جدول (٢) الخرسانة الرغوية (جميع الاوزان بال كغم)

Mixing name	Cement	Sand	Crush Stone	SP/C	SF/C%	Lc/C	W/CM
FW1	23	27.5	59.86	0	0	1	0.370
FW2	17.25	20.63	44.9	0	0	2	0.359
FW3	14.6	20.64	44.9	0	15.00	1	0.466
FW4	14.6	20.64	44.9	0	15.00	1.5	0.437
FW5	17.25	20.64	44.9	1.00	0	1	0.261
FW6	14.6	20.64	44.9	1.00	15.00	1.3	0.349

Lc تعني المادة الرغوية<sup>[13]</sup>

ج- أملاح تتشكل على شكل طبقة ملساء شبه شفافة تُلجية اللون على سطح المحلول بالإضافة إلى طبقة كثيفة من الأملاح التي تتشكل على سطح الجزء المغمور من المواشير والتي تكون ذات لونين حيث بعض المناطق تكون بيضاء والآخرى صفراء اللون وهي تحدث عند استخدام محلول يتكون من مزيج الحامضين المخففين في حالة وجود ابخرة السليكا والملدن الفائق في تركيبة المواشير اما في حالة عدم وجود السليكا والملدن الفائق في تركيبة المواشير فلا تظهر الطبقة شبه الشفافة على سطح المحلول وانما تظهر الطبقة ذات اللونين على سطح الجزء المغمور من المحلول فقط كما في الشكلين (٤ و ٥).

#### ٤-٢ صعود الأملاح

أثناء مراقبة صعود الأملاح على المواشير المغمورة جزئياً تم ملاحظة أن صعود الأملاح فيها لمدة (١٠ أيام) يكون سريعاً ثم تقل سرعة الصعود الى ان تتوقف تماماً بعد ٢٠ يوماً من الغمر. كما تم ملاحظة أن صعود الأملاح بالنسبة للنماذج المغمورة جزئياً في حامض الـ  $H_2SO_4$  يكون أكثر وأكثف منه بالنسبة للنماذج المغمورة في حامض الـ HCL وكذلك ظهور الأملاح ذات اللون الأصفر كما موضح في الشكلين (٢ و ٣). ومن الملاحظات المهمة أيضاً أن ظهور الأملاح على سطح المواشير كان أكثر ما يكون عند غمر المواشير في مزيج من حامضي الهيدروكلوريك والكبريتيك المخففين وتبلغ ذروتها بعمر عشرة أيام كما هو واضح في الشكل (٥) حيث تتكون طبقة كثيفة من الأملاح فوق سطح المحلول الحامضي بالنسبة للأحواض التي تحتوي على مواشير يوجد في تركيبها ابخرة السليكا والملدن الفائق، والسبب هو تفاعل هذين المادتين مع بعضهما من جهة ومع الحوامض من جهة أخرى. أما بالنسبة لسرعة صعود الأملاح على طول المواشير فقد لوحظ عدم وجود فرق كبير في سرعة صعود الأملاح لجميع النماذج بالنسبة للحامضين. كذلك فإن من الملاحظات المهمة ان حجر الجير ذو مقاومة قليلة لحامض الهيدروكلوريك وقد ذاب كلياً في بعض المواشير كما هو واضح في الشكل (٢) بحيث أصبحت بعض المواشير منخورة وتحتوي على فجوات أشبه بخلايا النحل أما المواشير التي كان فيها ذوبان حجر الجير في حامض الهيدروكلوريك اقل من نظيراتها فيعود ذلك إلى وجود الملدن الفائق أو ابخرة السليكا وكما سيتم شرحه لاحقاً.



شكل (١) عمود خرساني في حديقة احد المنازل وتبدو عليه آثار الأملاح



شكل (٢):- صور بعض المواشير قبل وبعد المعاملة بحامض الهيدروكلوريك المخفف (صور المعالجة بعمر ٢٠ يوم)

## ٣- الفقدان بالمقاومة للمواشير المغمورة في حامض الهيدروكلوريك المخفف

بعد قياس مقاومة الانضغاط للنماذج المغمورة كليا في حامض الهيدروكلوريك بتركيز ٥% ومقارنتها مع مقاومة الانضغاط للمواشير المناظرة (غير المغمورة) تم ملاحظة أن الخرسانة خفيفة الوزن ذات الركام خفيف الوزن أو الخرسانة الرغوية ذات معدل مقاومة لحامض الهيدروكلوريك أفضل من الخرسانة الاعتيادية إلا في حالة استخدام حجر الجير كركام خشن وركام ناعم لأن حجر الجير ذو مقاومة قليلة لحامض الهيدروكلوريك، حيث كانت النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة للخرسانة الاعتيادية ٥٠% بينما كانت للخرسانة خفيفة الوزن تتراوح من ٢٦.٥% الى ٥٩.٦% اذا تم استبعاد الحالتين التاليتين وهما الحالة الأولى المشار إليها أعلاه والتي تمثل الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام ركام ناعم وخشن من حجر الجير والحالة الثانية هي في حالة استخدام نسبة عالية من الملدن الفائق وابخرة السليكا (بسبب المقاومة الضعيفة لحجر الجير لحامض الهيدروكلوريك والمقاومة الضعيفة لهذا الحامض التي تبديها الخرسانة الحاوية على ابخرة السليكا والملدن الفائق حيث تتكون املاح ذائبة يشكل كبير في هذين الحالتين).



شكل (3):- صور تبين المواشير المعاملة بحامض الكبريتيك المخفف اثناء وبعد المعاملة (صور المعالجة بعمر ٢٠ يوم)



شكل (4):- صور تبين مواشير قبل وبعد المعاملة بمزيج من حامضي الهيدروكلوريك والكبريتيك المخففين (صور المعالجة بعمر ٥ ايام)



شكل (5):- صور تبين زيادة ظهور الأملاح بشكل ملحوظ على المواشير بعد مرور عشرة ايام للنماذج المغمورة في مزيج حامضي الهيدروكلوريك والكبريتيك المخففين

ان لوجود ابخرة السليكا بمفردها بدون الملدن الفائق تأثير ايجابي على الخرسانة خفيفة الوزن مما ادى الى زيادة مقاومتها لحمض الهيدروكلوريك وتزداد هذه المقاومة مع زيادة نسبة ابخرة السليكا، اما عن تأثير اضافة الملدن الفائق فقد كان لزيادة نسبة الملدن الفائق تأثير سلبي مما ادى الى الزيادة في النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة مع زيادة نسبة الملدن الفائق كما لوحظ زيادة النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة حتى في حالة وجود ابخرة السليكا وكما موضح في الشكل (٦)، ولكن النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة لمختلف نسب الملدن الفائق هي اقل من النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة في حالة عدم وجود ملدن فائق عندما تكون نسبة ابخرة السليكا صفرا، والسبب هو كما مذكور اعلاه حيث ان الحامض يتفاعل مع الخرسانة الخاوية على الملدن الفائق ليكون املاح ذائبة بشكل كبير.

اما بالنسبة للخرسانة الرغوية فقد كانت مقاومتها لحمض الهيدروكلوريك اعلى من مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن المنتجة باستخدام حجر الجير، وقد كان لوجود الملدن الفائق اثر ايجابي مما ادى الى تقليل النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة الى ١٩.٦٥% كما ان لوجود ابخرة السليكا مع او بدون الملدن الفائق اثر ايجابي الا ان تأثيرها اقل من تأثير الملدن الفائق وان اكبر نسبة مئوية للنقصان بالمقاومة حدثت في حالة عدم وجود الملدن الفائق حيث كانت بمقدار ٥٨.٨٧%. ومن الملاحظات المهمة ايضا ان زيادة نسبة المادة الرغوية تقلل من مقاومة الخرسانة الرغوية لحمض الهيدروكلوريك كما في الجدول (٣).

#### ٤-٤ الفقدان بالوزن للمواشير المغمورة في حامض الهيدروكلوريك المخفف

ان الخرسانة خفيفة الوزن ابدت فقدا بالوزن أكثر من الخرسانة الاعتيادية حيث كانت النسبة المئوية للفقدان بالوزن تتراوح من (٦-١٦%) بينما كانت للخرسانة الاعتيادية (٣٦-٥%) .

في حالة عدم استخدام ملدن فائق لوحظ نقصان النسبة المئوية للفقدان بالوزن عندما ( $SF > 5$ )، اما عند استخدام الملدن الفائق فان النسبة المئوية للفقدان بالوزن تزداد عندما ( $SF = 0$ ) وتقل عندما ( $SF > 5$ ) ويعود ذلك الى التأثير السلبي للملدن الفائق والتاثير السلبي لمزج الملدن الفائق مع ابخرة السليكا على المقاومة كما موضح اعلاه حيث ان توقف النقصان بالوزن عندما ( $SF = 5$ ) ونقصانه بعد هذه النسبة لم يؤدي الى النقصان في النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة كما موضح في الشكل (٧) وبشكل عام فان زيادة نسبة ابخرة السليكا تقلل النسبة المئوية للنقصان بالوزن بالرغم من التأثير السلبي لوجود الملدن الفائق. كما لوحظ أن أعلى نسبة مئوية للفقدان بالوزن كانت عندما تم استخدام ركام خشن وناعم من حجر الجير.

اما بالنسبة للخرسانة الرغوية فقد كانت النسبة المئوية للفقدان بالوزن اقل من الخرسانة خفيفة الوزن المنتجة باستخدام حجر الجير، وقد كان لوجود الملدن الفائق اثر ايجابي مما أدى إلى تقليل النسبة المئوية للنقصان بالوزن، الا ان من المثير للانتباه أن لوجود ابخرة السليكا اثر سلبي وان اكبر نسبة مئوية للنقصان بالوزن حدثت في حالة عدم وجود الملدن الفائق. ومن الملاحظات المهمة أيضا أن زيادة نسبة المادة الرغوية تزيد من النسبة المئوية للنقصان بالوزن كما في الجدول (٣)، والسبب هو كما مذكور اعلاه من ان ابخرة السليكا بمفردها او عند تفاعلها مع السمنت تتحد مع الحامض لتكون املاح ذائبة في المحلول الحامضي كما انها تكون ذائبة في الماء.

**٤-٥ الفقدان بالمقاومة للمواشير المغمورة في حامض الكبريتيك المخفف**

ان لزيادة نسبة ابخرة السليكا تأثير ايجابي حيث كلما زادت نسبة ابخرة السليكا كلما قلت النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة وكذلك بالنسبة للملدن الفائق. الا ان لوجود ابخرة السليكا مع الملدن الفائق تأثير سلبي كما موضح في الشكل (8). لذلك يجب عدم استخدام الملدن الفائق مع ابخرة السليكا بالنسبة للخرسانة خفيفة الوزن والحاوية على الحجر الجيري اذا كانت معرضة لحامض الكبريتيك.

ويحدث الشي نفسة بالنسبة للخرسانة الرغوية فان لوجود ابخرة السليكا مع الملدن الفائق تأثير سلبي، وكذلك الحال بالنسبة لوجود الملدن الفائق بمفرده وابخرة السليكا بمفردها، وان اقل فقدان بالمقاومة حدث عندما كانت نسبة المادة الرغوية قليلة اي ان المادة الرغوية تقلل من مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن للحامض.

أما بالنسبة للخرسانة الاعتيادية فان النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة كانت (٤٠%) وهي اقل من النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة بالنسبة للخرسانة الاعتيادية تحت تأثير حامض الهيدروكلوريك والتي بلغت (٥٠%) وبشكل عام فان مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن الحاوية على حجر الجير لحامض الكبريتيك أفضل من مقومتها لحامض الهيدروكلوريك وافضل من مقاومة الخرسانة الاعتيادية لحامض الكبريتيك.

**٤-٦ الفقدان بالوزن للمواشير المغمورة في حامض الكبريتيك المخفف**

ان لزيادة ابخرة السليكا تأثير ايجابي حيث ادت زيادة نسبتها الى تقليل النسبة المئوية للنقصان بالوزن وكذلك بالنسبة للملدن الفائق كما في الشكل (٩) كما لوحظ أن الملدن الفائق يؤدي الى تقليل النسبة المئوية للفقدان بالوزن بمعدل اكبر من معدل تأثير زيادة ابخرة السليكا، ولكن وجود ابخرة السليكا مع الملدن الفائق يؤدي الى نتائج عكسية حيث تزداد النسبة المئوية للنقصان بالوزن مع زيادة نسبة الملدن الفائق وابخرة السليكا، وبشكل عام فان زيادة الملدن الفائق تقلل من نسبة النقصان بالوزن بوجود ام بعدم وجود ابخرة السليكا.

إن لزيادة المادة الرغوية تأثير سلبي على مقاومة الخرسانة الرغوية لحامض الكبريتيك المخفف حيث تؤدي الى زيادة النسبة المئوية للنقصان بالوزن كما هو الحال عند استخدام حامض الهيدروكلوريك ولكن هنا تكون النسبة اقل وتصل الى النصف(اي ان النسبة المئوية للنقصان بالوزن تحت تأثير حامض الكبريتيك تكون نصف النسبة المئوية للنقصان بالوزن للمواشير تحت تأثير حامض الهيدروكلوريك). كذلك فان استخدام ابخرة السليكا والملدن الفائق سواء كل على حدة او مجتمعة تعطي نتائج عكسية حيث تؤدي إلى زيادة النسبة المئوية للنقصان بالوزن كما في الجدول (٣).

جدول (٣) :- النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة والوزن للخرسانة الرغوية

مزيج الحامضين المخففين		محاليل حامضية مخففة				ت
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HCL		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		HCL		
الفقدان بالوزن	الفقدان بالمقاومة	الفقدان بالوزن	الفقدان بالمقاومة	الفقدان بالوزن	الفقدان بالمقاومة	
5.59	59.70	2.68	26.42	7.15	33.88	FW1
6.1٠	54.4	4.66	55.59	7.64	37.81	FW2
5.83	55.71	3.71	47.75	6.08	58.87	FW3
6.52	35.63	3.75	47.44	7.76	46.35	FW4
12.67	9.96	3.00	35.18	7.23	١٩.٦٥	FW5
4.15	59.70	3.98	40.49	7.40	29.21	FW6

جدول (٤) :- معدل النسبة المئوية للنقصان بالوزن والمقاومة لانواع مختلفة من الخرسانة

معدل النسبة المئوية للنقصان بالوزن			معدل النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة			نوع الخرسانة
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCL	
3.15	7.64	11.76	49.80	27.74	43.60	خرسانة خفيف الوزن
6.81	3.63	7.21	41.09	42.15	41.22	خرسانة رغوية
3.34	7.37	5.36	58.07	40	50	خرسانة اعتيادية

اما بالنسبة للخرسانة الاعتيادية فقد كانت النسبة المئوية للنقصان بالوزن (٧.٣٧%) أي أكثر من النسبة المئوية للنقصان بالوزن تحت تأثير حامض الهيدروكلوريك (٥.٣٤٦%) وهي اقل من معدل النسبة المئوية للنقصان بالوزن للخرسانة خفيفة الوزن والمستخدم فيها حجر الجير (٤.٢٩-١٠.٦٣%) وأكثر من النسبة المئوية للفقدان بالوزن بالنسبة للخرسانة الرغوية، وكما مبين في الجدول (٤).

## ٤-٧ فقدان المقاومة والوزن للمواشير المغمورة في محلول مزيج الحامضين المخففين

على عكس تأثير حامض الهيدروكلوريك وحامض الكبريتيك المخففين كل على حدة فان تأثير مزيج الحامضين المخففين يقل بوجود ابخرة السليكا والملدن الفائق سوية، كما ان زيادة ابخرة السليكا بمفردها وكذلك الملدن الفائق بمفرده يؤدي الى زيادة المقاومة لمزيج الحامضين كما موضح في الشكل (١٠) وكذلك الحال بالنسبة للنسبة المئوية للنقصان بالوزن الا ان لوجود الملدن الفائق بمفرده تأثير سلبي، كذلك الحال بالنسبة للسليكا فوم باستثناء النسبة العالية منها كما في الشكل (١١).

أما بالنسبة للخرسانة الرغوية فقد كان كما في الحالات السابقة لوجود المادة الرغوية تأثير سلبي على النقصان بالوزن والمقاومة. وكذلك فان زيادة ابخرة السليكا بمفردها او مع الملدن الفائق تزيد المقاومة وتقلل النسبة المئوية للنقصان بالوزن، على عكس وجود الملدن الفائق بمفرده الذي يؤدي الى تقليل المقاومة كما في الجدول (٣).

## ٤-٨ نتائج فحص المطرقة

تم إجراء فحص المطرقة بالنسبة للجزء غير المغمور من الموشور وذلك لقياس مدى تأثير مقاومة الانضغاط للخرسانة الاعتيادي والخرسانة خفيف الوزن بالمحاليل الحامضية نتيجة صعود الأملاح، مع ملاحظة عدم امكانية اجراء الفحص على الجزء المغمور لان سطحه يكون متعرجا. وقد تم إجراء فحص المطرقة بعد جفاف النماذج بشكل كامل بسبب ان الكثير من النماذج تكون رطبة بالمحاليل الحامضية وشبه اسفنجية ولا يمكن اجراء الفحص عليها، والسبب الثاني هو ان اجراء الفحص بعد جفاف النماذج يمثل افضل حالة اذ انها تمثل اكبر فرق في المقاومة بين الاجزاء المعرضة للمحاليل الحامضية (الاسس والاجزاء المدفونة من الاعمدة) وبين الأجزاء غير المعرضة للمحاليل (الأعمدة والجدران الخرسانية)، وفي حالة وجود فرق كبير في المقاومة قد يحدث فشل مفاجئ.

كما تم اقتراح الأخذ بالانحراف المعياري كمقياس رئيسي لقياس تأثير المحاليل الحامضية بالإضافة إلى النسبة المئوية للنقصان في المقاومة. يتم اخذ عدة قراءات وقياس الانحراف المعياري لها حيث تكون المقاومة قليلة كلما اقتربنا من الجزء المغمور من الموشور.

## ٤-٨-١ حامض الكبريتيك المخفف

جميع النماذج اعطت زيادة في المقاومة نتيجة صعود الاملاح باستثناء النماذج التي لاحتوي على سليكا فوم او ملدن فانق ويرجع السبب في ذلك الى تفاعل الحامض مع الخرسانة والذي يكون مواد صلبة خصوصا عندما تكون كميته قليلة ولكن هذا المواد تكون دائبة ولها تأثير سلبي عند تعرض المنشأ للماء ففي حالة عدم تعرض الجزء العلوي من المنشأ للماء تكون المقاومة عالية ولكنها تكون فرقا كبيرا مع الأسس وهي حالة خطيرة وعند تعرضها للماء فانها سوف تتلف وتقل مقاومتها للأحمال التي صممت من اجلها. نتائج الفحص والانحراف المعياري كما في الشكل (١٢) والشكل (١٣). يمكن الملاحظة بوضوح من خلال الشكل (12) مدى تأثير الحامض على الاجزاء غير المغمورة من خلال احداث فروقات في المقاومة لنفس الموشور، ويزداد الانحراف المعياري والفرق في الانحراف المعياري بين موشور واخر مع زيادة نسبة الملدن الفائق حيث يكون الانحراف المعياري قليلا عندما يكون الملدن الفائق صفرا، والسبب كما موضح في الفقرات السابقة. كذلك بالنسبة للخرسانة الاعتيادية المعرضة للحامض اعطت انحرافا معياريا مقداره ٦ وزيادة في المقاومة بمقدار ٤٧%.

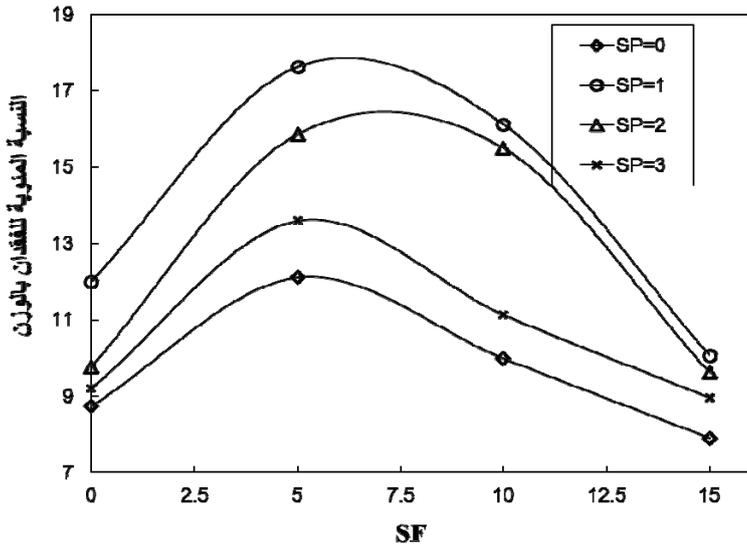
**والشكل (12)** يحاكي الى حد كبير **الشكل (8)**، مما يدل على ان الطريقة المقترحة من قبل الباحث لاعتماد الانحراف المعياري جيدة وفعالة للاجزاء غير المغمورة في محاكات مدى تاثر الاجزاء المغمورة بالحوامض عن طريق الاجزاء غير المغمورة.

اما بالنسبة للخرسانة الرغوية فاعلمت اغلب النماذج لم تعطي قراءة (السطح شبه اسفنجي حتى بعد جفافه وبالتالي فاجهاز المطرقة لايعطي قراءة) وكانت اما تحتوي على مادة رغوية بنسبة عالية او سليكا فوم أما النماذج التي تحتوي على ملدن فائق فاعطت مقاومة عالية. **الشكل (١٤)** يبين طريقة قياس مقاومة الانضغاط بواسطة جهاز المطرقة.

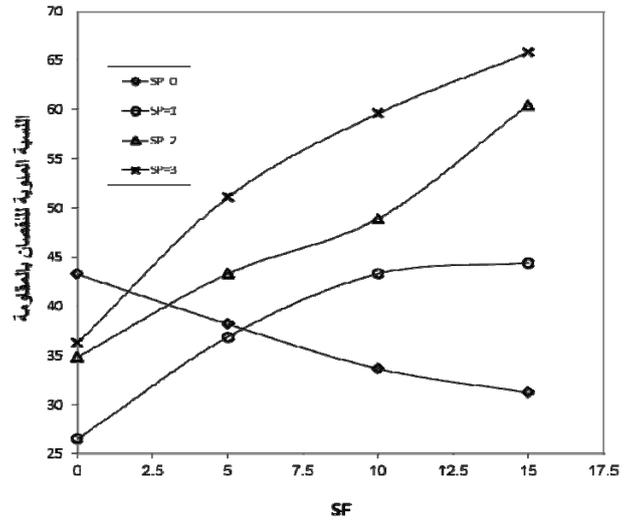
#### ٤-٨-٢ حامض الهيدروكلوريك المخفف

جميع النماذج اعطت زيادة في المقاومة نتيجة صعود الاملاح باستثناء النماذج التي تحتوي على سليكا فوم مع ملدن فائق بنسبة عالية ويرجع السبب في ذلك الى تفاعل الحامض مع الخرسانة والذي يكون مواد صلبة خصوصا عندما تكون كميته قليلة وكما تمت الاشارة اعلاه فان هذه المواد تكون دائبة ولها تاثير سلبي عند تعرض المنشأ للماء ففي حالة عدم تعرض الجزء العلوي من المنشأ للماء تكون المقاومة عالية ولكنها تكون فرقا كبيرا مع الأسس وهي حالة خطيرة وعند تعرضها للماء فانها سوف تتلف وتقل مقاومتها للأحمال التي صممت من اجلها. نتائج الفحص والانحراف المعياري كما في **الشكل (١٥)** و**الشكل (١٦)**. يمكن الملاحظة بوضوح من خلال **الشكل (١٥)** مدى تاثير الحامض على الاجزاء غير المغمورة من خلال احداث فروقات في المقاومة، وكلما كانت الزيادة في المقاومة قليلة كلما زاد الانحراف المعياري والعكس صحيح، ولكن هذه القاعدة لا تنطبق دائما عندما تكون نسبة ابخرة السليكا اعلى من ١٠%. كذلك الخرسانة الاعتيادية المعرضة للحامض اعطت انحرافا معياريا مقداره ٣.٢ وزيادة في المقاومة بمقدار ٢٧%.

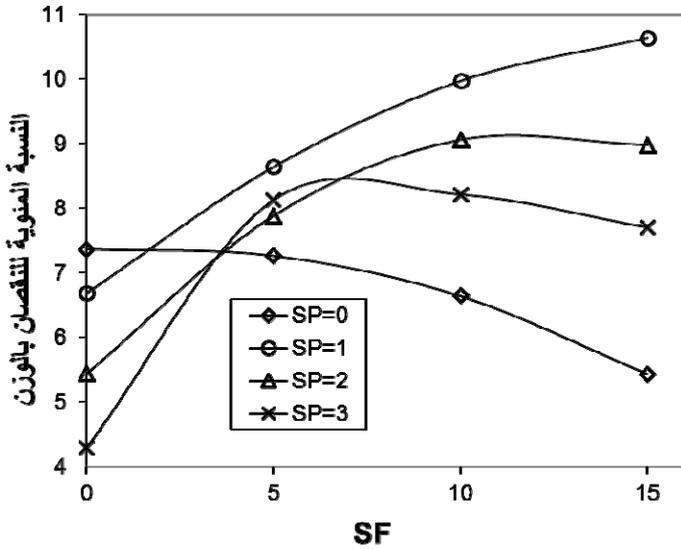
بالنسبة للخرسانة الرغوية فجميع النماذج لم تعطي قراءة بسبب كون السطح شبه اسفنجي حتى بعد جفافه وبالتالي فاجهاز المطرقة لايعطي قراءة. اما بالنسبة لمزيج الحامضين المخففين فلم يتم اجراء فحص المطرقة لكي لايتوسع البحث اكثر من اللازم اذ ان النتائج السابقة تكفي لاثبات كفاءة الطريقة للخرسانة الاعتيادية وخفيفة الوزن مع او بدون المضافات وتحت تاثير محلولين حامضيين.



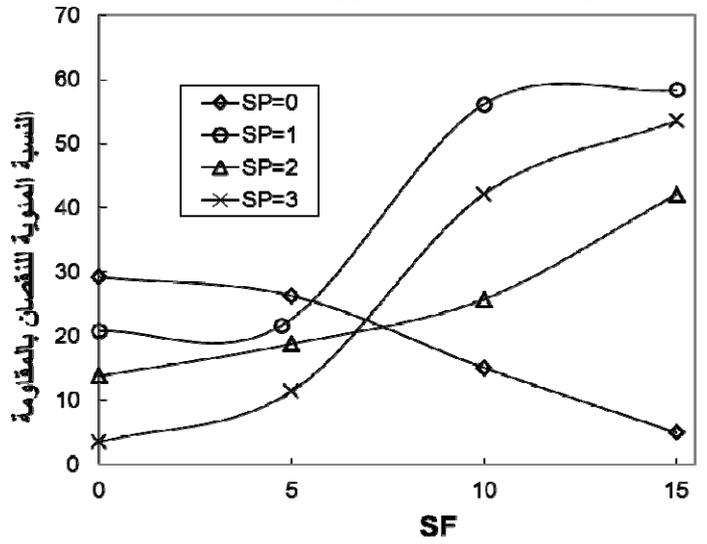
شكل(7)النسبة المئوية للفقان بالوزن للخرسانة خفيفة الوزن تحت تأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف



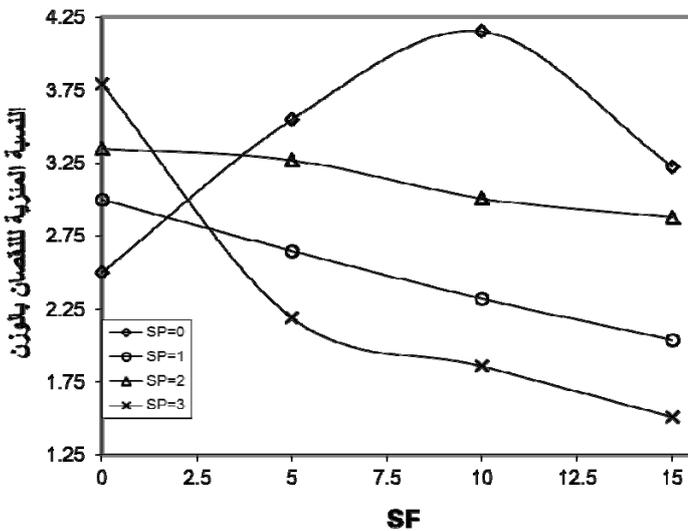
شكل (6) تأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف على مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن



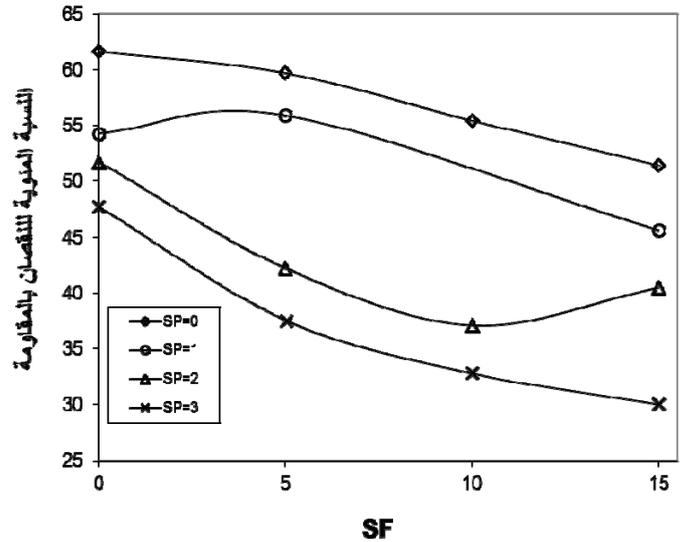
شكل(9)النسبة المئوية للفقان بالوزن للخرسانة خفيفة الوزن تحت تأثير حامض الكبريتيك المخفف



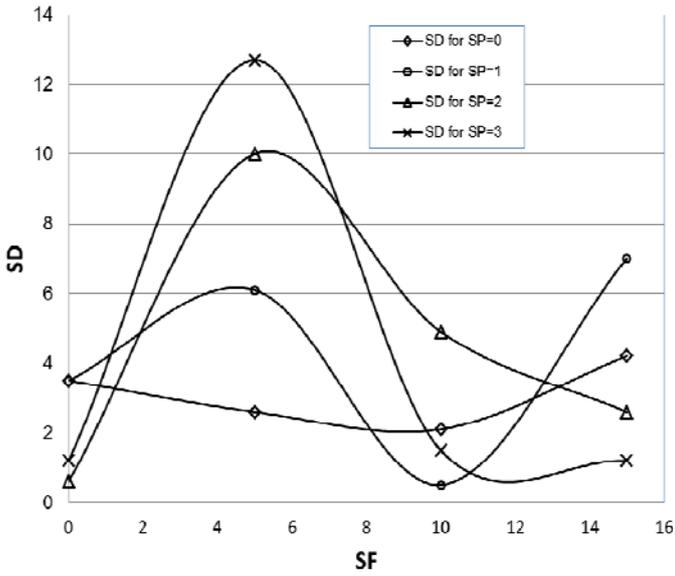
شكل(8)النسبة المئوية للفقان بالمقاومة للخرسانة خفيفة الوزن تحت تأثير حامض الكبريتيك المخفف



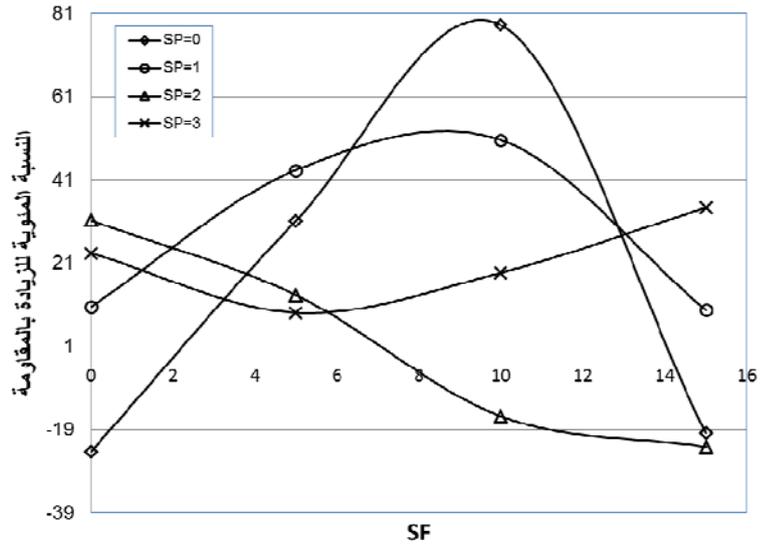
شكل (11) تأثير مزيج الحامضين المخففين على النسبة المئوية للفقان بالوزن للخرسانة خفيفة الوزن



شكل(10)تأثير مزيج الحامضين المخففين على النسبة المئوية للفقان بالمقاومة للمواشير الخرسانية خفيفة الوزن



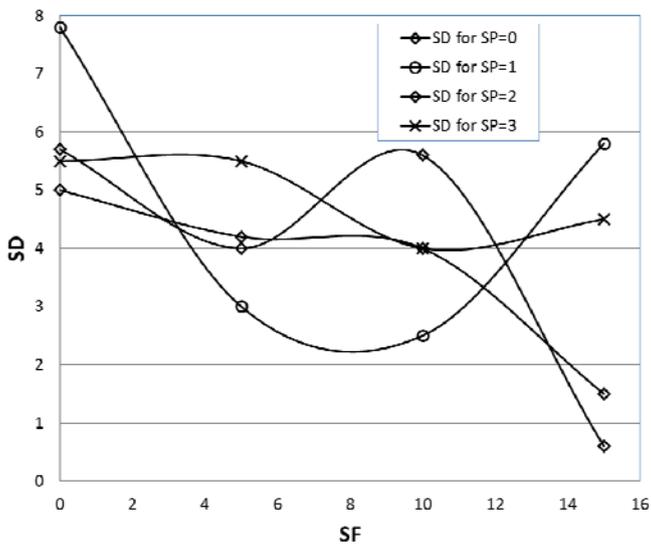
شكل (13) الانحراف المعياري لقراءات مقاومة الانضغاط نتيجة تأثير حامض الكبريتيك المخفف



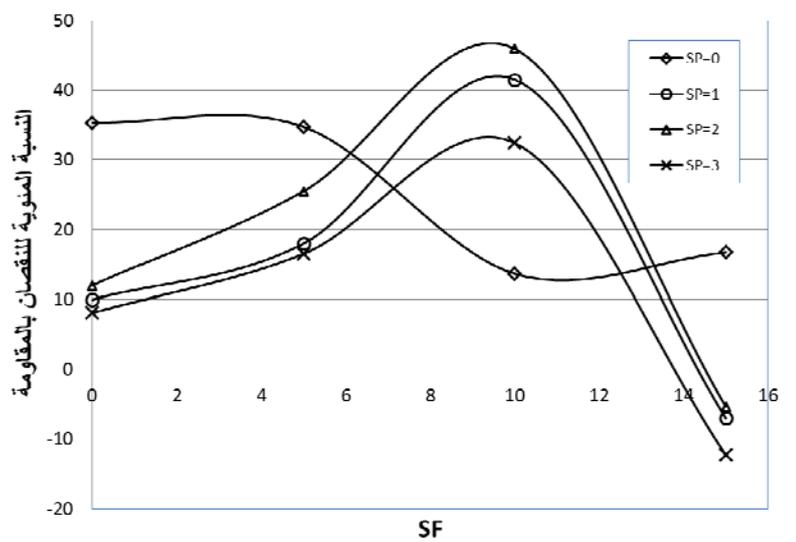
شكل (12) تأثير حامض الكبريتيك المخفف على مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن بواسطة فحص المطرقة



شكل (14) فحص المطرقة للجزء غير المغمور من النماذج المغمورة في حامض الكبريتيك المخفف



شكل (16) الانحراف المعياري لقراءات مقاومة الانضغاط نتيجة تأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف



شكل (15) تأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف على مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن بواسطة فحص المطرقة

**٥. الاستنتاجات****٥-١ شكل ولون الاملاح**

يختلف شكل ولون وكثافة الاملاح التي تظهر على سطح الجزء غير المغمور من المواشير او التي تظهر فوق سطح المحلول الحامضي او التي تترسب في اسفل قاع حوض المحلول باختلاف المحاليل الحامضية، وحسب نوع الخرسانة والمضافات التي تحتويها.

**٥-٢ تأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف على الخرسانة خفيفة الوزن**

١-تعتبر الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام ركام خفيف الوزن او المادة الرغوية ذات مقاومة جيدة لتأثير حامض الهيدروكلوريك المخفف وافضل من الخرسانة الاعتيادية، باستثناء الحالات التي يتم فيها استخدام حجر الجير كركام خشن وناعم.

٢-ان لاضافة ابخرة السليكا بمفردها الى الخرسانة خفيفة الوزن اثر ايجابي في زيادة مقاومتها لحامض الهيدروكلوريك.

٣-اضافة الملدن الفائق له تأثير سلبي سواء بمفرده او مع ابخرة السليكا.

٤- الخرسانة الرغوية لها مقاومة لحامض الهيدروكلوريك اعلى من مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن المنتجة باستخدام حجر الجير، وقد كان لوجود الملدن الفائق اثر ايجابي مما ادى الى تقليل النسبة المئوية للنقصان بالمقاومة كما ان لوجود ابخرة السليكا مع او بدون الملدن الفائق اثر ايجابي.

**٥-٣ تأثير حامض الكبريتيك المخفف على الخرسانة خفيفة الوزن**

١-ان لزيادة نسبة ابخرة السليكا تأثير ايجابي وكذلك بالنسبة للملدن الفائق. الا ان لوجود ابخرة السليكا مع الملدن الفائق تأثير سلبي، لذلك يجب عدم استخدام الملدن الفائق مع ابخرة السليكا بالنسبة للخرسانة خفيفة الوزن الحاوية على الحجر الجيري او الخرسانة الرغوية.

٢-كانت النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة للخرسانة الاعتيادية (٤٠%) وهي اقل من النسبة المئوية للفقدان بالمقاومة بالنسبة للخرسانة الاعتيادية تحت تأثير حامض الهيدروكلوريك والتي بلغت (٥٠%) وبشكل عام فان مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن الحاوية على حجر الجير لحامض الكبريتيك أفضل من مقاومتها لحامض الهيدروكلوريك وافضل من مقاومة الخرسانة الاعتيادية لحامض الكبريتيك.

٤-غالبا وليس مطلقا يعطي الفقدان بالوزن مؤشرا للفقدان بالمقاومة. حيث كلما زاد الفقدان بالوزن فان ذلك يعني زيادة الفقدان بالمقاومة.

## ٥-٤ تأثير مزيج الحامضين المخففين على الخرسانة خفيفة الوزن

١- على عكس تأثير حامض الهيدروكلوريك وحامض الكبريتيك المخففين كل على حدة فان تأثير مزيج الحامضين المخففين يقل بوجود ابخرة السليكا والملدن الفائق سوية، كما ان زيادة ابخرة السليكا بمفردها وكذلك الملدن الفائق بمفرده يؤدي الى زيادة المقاومة لمزيج الحامضين.

٢- وجود المادة الرغوية في الخرسانة له تأثير سلبي على النقصان بالوزن والمقاومة، اما زيادة ابخرة السليكا بمفردها او مع الملدن الفائق فتؤدي الى زيادة المقاومة وتقلل النسبة المئوية للنقصان بالوزن، على عكس وجود الملدن الفائق بمفرده الذي يؤدي الى تقليل المقاومة.

## ٥-٥ فحص المطرقة

١- يمكن استخدام الطريقة المقترحة في هذا البحث على الاجزاء غير المغمورة من المواشير لتخمين مدى تاثر الاجزاء المغمورة بالمواشير الحامضية.

٢- يعتبر فحص المطرقة فحصا سريعا وسهلا ويمكن اجراءه في موقع العمل بسهولة.

٣- لا يمكن استخدام هذه الطريقة للخرسانة الرغوية في اغلب الحالات.

## ٦. المصادر

1-Kett, Irving, "Engineered Concrete : mix design and test methods", CRC Press LLC,2000.

٢- الخلف، مؤيد نوري و يوسف، هناك عبد، "تكنولوجيا الخرسانة"، مركز التعريب والنشر، الجامعة التكنولوجية، بغداد ١٩٨٤.

٣- الامام، محمود "تكنولوجيا الخرسانة"، جامعة المنصورة، مصر (٢٠٠٢).

4-Stock, S. R.; Naik, N. K.; Wilkinson, A.P.; Kurtis, K. E.; "X-rar Microtomography (micro CT) of the progression of sulphate attach of cement paste", Cement and Concrete Research 32, 1673-1675, 2002.

5-Boyd , Andrew J. and Mindess , Sidney ,"The use of tension testing to investigate the effect of w/c ratio and cement type on the resistance of concrete to sulfate attack", Cement and Concrete Research 34, 373 – 377, 2004.

6 - Narayana , SMV ; Svamy , N. Kumara ; Abbaiah , G. , "Enhancement of Durability of Normal Strength Concrete using Fly ash and Heavy weight Microfine Barytes Filler – study of Acid Resistance " , IE (I) Journal – CV , January 31,2008.

7- Vuk ,T. ; Gabrorssek , R. ; Kaucic , V. , "The influence of mineral admixtures on sulfate resistance of limestone cement pastes aged in cold  $MgSO_4$  solution" , Cement and Concrete Research 32, 943–948, 2002.

8-Irassar , E.F , " Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler — A review " , Cement and Concrete Research 39, 241–254, 2009.

9- Ma. Guadalupe D. Gutiérrez-Padilla, Angela Bielefeldt , Serguei Ovtchinnikov, Mark Hernandez, Joann Silverstein "Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes", Cement and Concrete Research Journal, 40 (2010) 293–301.

10-Cement Concrete & Aggregates Australia (CCAA), "Sulfate Resisting Concrete; Technical Note", May 2011.

١١- احمد ، سلوى هادي، "مقاومة الخرسانة خفيفة الوزن الحاوية على المملدن الفائق للتأثير الكيماوي الحامضي"، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد ١٨ ، العدد ٣ ، ايلول ٢٠١١ .

١٢- عباوي ، سعاد عبد و حسن محمد سلمان، " الهندسة العملية للبيئة : فحوصات الماء"، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل (١٩٩٩) .

13-Ghane, A. A., "Mechanical Properties and Dynamic Response of Lightweight Reinforced Concrete Beams", M.Sc. thesis, Tikrit University, Iraq, 2010.

١٤- يوسف، هناء عبد ، " فحوصات في تكنولوجيا الخرسانة " ، مطبعة الجامعة التكنولوجية ، بغداد (١٩٨٤) .

٧. الرموز : C سمنت ، HRWRA مضافات تقليل الماء ذات المدى العالي، LWC خرسانة خفيفة الوزن LWFA ركام ناعم خفيف الوزن، SF: Silica Fume ابخرة السليكا، SP : superplasticizer المملدات الفائق.