مجلة الهندسة والتنمية المجلد العاشر/العدد الثالث- أيلول ٢٠٠٦
ISSN 1813-7822

حماية الأسس الخرسانية المسلحة من تأثير المياه الجوفية باستخدام مانـــع الرطوبة

أ.م.د. محمود رشيد محمود
قسم هندسة البناء والإنشاءات
الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

المدرس علاء مهدي درويش الخطيب
قسم هندسة البناء والإنشاءات
الجامعة التكنولوجية، بغداد،

الخلاصـــــة

أشارت الدراسات السابقة إلى أن إضافة المواد المانعة للرطوبة إلى الخلطة الخرسانية يزيد من قابلية الخرسانة المتصلبة على منع نفاذ المياه لداخلها ولكن في نفس الوقت يقلل من قابلية تحملها للإجهادات.

لمعرفة مقدار إنخفاض مقاومة الخرسانة للإجهادات ومقدار تقليل نفاذيتها ولغرض حماية الأسس الخرسانية المسلحة من مهاجمة المياه الجوفية ذات التأثير السلبي على ديمومة خرسانة الأسس وتآكل حديد تسليحها. تم إضافة مادة السيكا، وهي إحدى المواد المانعة للرطوبة الشائعة الإستخدام، إلى نماذج من الخرسانة المسلحة وغير المسلحة بنسب (2, 4, 6)% من وزن الاسمنت المستعمل في الخلطة الخرسانية، وتم تهيئة نماذج لإجراء فحوصات الإنضغاط، الإنشطار، الإنثناء والنفاذيه.

بينت النتائج مقدار الإنخفاض الكبير في نفاذية الخرسانة بزيادة نسبة المادة المضافة، كما بينت مقدار الضعف الحاصل في كل من مقاومتي إنضغاط وانشطار الخرسانة وكذلك مقدار انخفاض مقاومة إنثناء الخرسانة المسلحة.

أخيراً تم تحديد النسبة الأفضل الواجب إضافتها من مانع الرطوبة إلى خرسانة الأسس لحمايتها من مهاجمة المياه الجوفية، كما تم التوصيه بتخفيض قابلية تحمل الخرسانة عند تصميم ألاسس الخرسانية الواقعة ضمن تأرجح منسوب المياه الجوفية.

Abstract

Previous researches indicated that; the addition of water-proof additives to a concrete mix will increase the hardened concrete water tightness, but it will reduce its strength.

Normally, reinforced concrete footings are subjected to wetting and drying cycles due to the rise and fall of underground water levels. These cycles considerably reduce concrete durability، and also reduce the effective service life of reinforcement, due to its corrosion. In this research experiments have been done to monitor the effect of adding different percentages of water-proof additive (2, 4, and 6) % by weight of cement used in the concrete mix.

Results have shown the reduction percentages of permeability, compression, splitting, and flexural strengths in the hardened concrete.

Finally, the optimum percentage of the water-proof additive is reached, and a reduction percentage of concrete strength is suggested to be used during reinforced concrete footings design.

١. المقدمـــــــة

لوحظ خلال أعمال هدم المباني القديمة، ذات الأُسس الخرسانية المسلحة الواقعة ضمن منسوب تأرجح المياه الجوفية صعوداً ونزولاً، وجود أضرار كبيره في خرسانة الأُسس وحديد تسليحها. تشمل هذه الأضرار تشقق الخرسانة

وتغير لونها وسهولة تهشيمها إضافةً إلى فقدانها لتلاصقها مع حديد التسليح وانخلاعها عنه، أما الأضرار الملحوظة على حديد التسليح، الصدأ الذي يبدأ بالطبقة الخارجية للحديد، وبسبب دورات الترطيب والجفاف تتشقق الطبقة المتصدئه مما يؤدي إلى نفاذ الرطوبة وبوجود الأوكسجين تتصدأ طبقه أخرى وهكذا تتكرر العملية مسببةً تآكل حيد التسليح، حيثُ شوهدت قضبان تسليح فقدت ما يقارب نصف قطرها التصميمي [1] . إنَ الطبقة أو الطبقات المتأكسدة من الحديد إضافة إلى عدم تمتعها بقابلية السحب ومقاومة الشد الذي يمتاز بها الحديد فإنها تأخذ حجم أكبر من حجم الحديد غير المتأكسد وبذلك تسلط إجهادات داخليه كبيره داخل الخرسانة المسلحة تفضي إلى تشقق الخرسانة. نتيجةً لضعف مقاومة الخرسانة المتشققة وضمور مساحات الحديد التصميمية وضعف التلاصق بين الخرسانة والحديد ولفقدان الحديد مرونته وقابليته لتحمل قوى الشد واقترابه من الحالة الهشة القابلة للكسر، تعجز الخرسانة المسلحة المستخدمة لتنفيذ الأُسس عن القيام بدورها التصميمي.

لحماية خرسانة الأُسس المسلحة من الأضرار المذكورة أعلاه. شاع إستخدام الخرسانة المقاومة للأملاح الكبريتية في تنفيذ أعمال الأسس الواقعة ضمن مستوى المياه الجوفية وفي المواقع التي تشير فحوصات تربتها إلى وجود نسبه كبيره من الأملاح الكبريتية، كما شاع استخدام المواد القيريه لطلاء السطوح الخارجية للأسس قبل دفنها، أملاً في وقايتها من الرطوبة والأملاح الذائبة الضارة وفي بعض الأحيان يتم فرش طبقات من النايلون تحت الأسس لتقليل التماس بين الخرسانة والتربة. إلا أَنَ هذه المعالجات لم تنجح في وقاية خرسانة الأُسس المسلحة من تعرضها للرطوبة وأضرارها، حيثُ أن المياه الجوفية تنجح بطريقة الخاصية الشعرية من التسلق عبر طبقات النايلون التي لابد أن تحدث فيها ثقوب خلال التنفيذ أو بعد نفاذ عمر إستخدامها وتهاجم الأساس من الأسفل وبالتالي لا تكون لطبقات النايلون أو طبقة الطلاء القيري أي تأثير.

إنَ الحصول على خرسانة ذات نفاذية واطئه أو معدومة لمرور الرطوبة والهواء يعتبر من العوامل الهامة لوقاية حديد التسليح من التآكل والخرسانة من التشظي، حيثُ أَنَ الطبيعة القلوية للخرسانة تؤدي إلى تكوين طبقه واقيه غير فعاله كيميائياً على السطح البيني للخرسانة وحديد التسليح، هذا المحيط القلوي ناشئ عن هيدروكسيدات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم التي تتفاعل في محيط رطب خلال فتره من الزمن مع ثاني أوكسيد الكاربون لتكوين الكاربونات، وإن أي تشقق في الطبقة الواقية يسبب زيادة احتمالية تآكل حديد التسليح بسبب تفاعله مع حامض الكاربونيك وتكوين كاربونات الحديدوز وفق المعادلة التالية:

$$Fe + H_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + \uparrow H_2$$

كما أن الرطوبة لوحدها تؤدي إلى تأكسد الحديد وفق المعادلة:

$$Fe + H_2O \rightarrow FeO + \uparrow H_2$$

إن هجوم الكاربونات والكلوريدات يحدث داخل الكتلة الخرسانية ويجب على العامل المهاجم أن يكون قادراً على التغلغل كمحلول خلال الخرسانة التي يجب أن تكون مُنفذه للماء مما يوفر وسطاً ملائماً لهذه التفاعلات الكيميائية التي تسبب تلف حديد التسليح [2]. من خلال ذلك نلاحظ أهمية السيطرة على نفاذية الخرسانة لوقايتها وبالتالي الحصول على أُسس خرسانية مسلحه ذات ديمومة أفضل بحيث تحافظ على متانتها التصميمية وبذلك يمكن تلافي كثير من الأضرار المتوقع حدوثها في الأبنية كالتشقق والهبوط والتصدع.....الخ.

إعتمدت فكرة البحث لمعالجة مهاجمة الرطوبة للأُسس الخرسانية المسلحة على إضافة مادة مانع الرطوبة (السيكا) إلى الخلطة الخرسانية المستخدمة لتنفيذ الأُسس ودراسة الإيجابيات والسلبيات من خلال إجراء سلسله من الفحوص المختبرية تضمنت فحص معامل نفاذية الخرسانة المقاومة للأملاح الكبريتية وفحص مقاومة إنضغاطها وفحص مقاومة شدها كما تضمن البرنامج العملي فحص عتبات خرسانة مسلحه قياسيه مقاومه للأملاح ومقاومه للرطوبة كل هذه الفحوصات تم تكرارها بإضافة نسب مختلفة من مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية.

٢. البرنامـــج العملـــي

٢-١ المـواد الأوليـــة ألمســـتخدمة

تم إستخدام المواد الأولية المذكورة أدناه لإعداد نماذج الفحوصات ألمختبريه وكما يلي:

أ- الإسمنت البورتلاندي المقاوم للأملاح المطابق للمواصفة العراقية رقم (5) لسنة 1984، وقد كان زمن تجمده الابتدائي 80 دقيقه وزمن تجمده النهائي 345 دقيقه.

ب- الركام الخشن النهري ذو التدرج المطابق للمواصفة العراقية (45) لسنة 1980، وكان ذو مقاس أقصى مقداره 10 ملم وذو وزن نوعي 2.6 والنسبة المئوية لأملاح الكبريتات 0.2.

ج- الركام الناعم ذو التدرج المطابق للمواصفة العراقية رقم (45) لسنة 1980، وضمن منطقة التدرج الثانية، وكان وزنه النوعي يساوي 2.65، النسبة المئوية لأملاح الكبريتات 0.2 وقد كان كل من الركام الناعم والخشن نظيفاً وخالياً من الشوائب والمواد العضوية.
د- حديد تسليح بقطر6.25 ملم لتسليح العتبات الخرسانية، وكانت مقاومة خضوعه مقدارها 414 نيوتن/ملم^{٢}.
هـ- ماء الشرب لخلط الخرسانة ومعالجتها.
و- مسحوق مانع الرطوبة (السيكا) ذو التسمية التجارية **(Interaplast Z.)**، صناعة فرنسا.

٢-٢ الخلطـــات الخرســـانية المســـتعملة

أ- الخلطة الأولى: وهي الخلطة الشائعة الإستخدام بنسبة خلط (1 أسمنت:2 رمل:4 حصى) مع نسبة ماء خلط 50% لم يضاف لها مانع الرطوبة لجعلها مرجع قياسي للمقارنة مع الخلطات الثلاثة اللاحقة.
ب- الخلطة الثانية: وتحتوي على مانع رطوبة بنسبة 2% من وزن الإسمنت وقد تمت إضافة مسحوق مانع الرطوبة بعد وَزنْ الكميه المطلوبة إلى الإسمنت وبعد مزجها بصوره متجانسة تم خلط الركام الناعم والخشن بالطريقة الإعتياديه ومن ثم أُضيف ماء الخلط.
ج- الخلطة الثالثة: وتحتوي على مانع رطوبة بنسبة 4% من وزن الإسمنت.
د- الخلطة الرابعة: وتحتوي على مانع رطوبة بنسبة 6% من وزن الإسمنت.

٢-٣ نمـــاذج الفحـــص

أ- لدراسة تأثير إضافة مانع الرطوبة على معامل نفاذية الخرسانة المقاومة للأملاح تم تهيئة نماذج قياسيه أسطوانية قطر 36ملم وارتفاع 27ملم وتم فحصها بعد تصلبها لأزمنة معينه ابتداءاً من 24ساعة، 48ساعة، 96ساعة، 120ساعة و144ساعة، وتم تسجيل معدل معامل النفاذية.
ب- لدراسة تأثير إضافة مانع الرطوبة على مقاومة شد الخرسانة المقاومة للأملاح تم تهيئة اثنا عشر أسطوانة قياسيه بأبعاد(150×300)ملم، ثلاثة أسطوانات لكل نوع من الخلطات (أ،ب،ج،د) المذكورة في (2-2) أعلاه. وقد تم تسجيل مقدار الإجهاد المؤدي إلى الفشل بالإنشطار.
ج- لدراسة تأثير إضافة مانع الرطوبة على مقاومة إنضغاط الخرسانة المقاومة للأملاح تم تهيئة اثنا عشر مكعب قياسي بأبعاد(150×150×150)ملم، ثلاثة مكعبات لكل نوع من الخلطات (أ،ب،ج،د) المذكورة في (2-2) أعلاه. وقد تم تسجيل مقدار الإجهاد المؤدي إلى الفشل بالإنضغاط.
د- لدراسة تأثير إضافة مانع الرطوبة على مقاومة إنثناء الخرسانة المسلحة المقاومة للأملاح، تم تهيئة اثنا عشر عتبه قياسيه بأبعاد(150×150×750)ملم، ثلاثة عتبات لكل نوع من الخلطات (أ،ب،ج،د) المذكورة في (2-2) أعلاه. تم تسليحها بأقل نسبة حديد تسمح بها المواصفة الأمريكية [3]، بواقع قضيبي تسليح بقطر 6.25ملم. وقد تم الأخذ بنظر الاعتبار تصميمها بحيث تفشل بالإنثناء دون القص خلال مراحل الفحص. أُجري الفحص لكافة العتبات وهي ترتكز على مسندين بسيطين بفضاء مقداره 600 ملم وبتسليط حملين مركزين يؤثران في ثلثي الفضاء. وقد تم تسجيل الحمل المؤدي إلى الفشل بالإنثناء وتمت المقارنة على أساسه.

٣. النتائـــج والمناقشـــــة

إن نتائج إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية المقاومة للأملاح بنسب (2%, 4%, 6%) من وزن الإسمنت ومقارنتها مع نتائج فحوص الخلطة الخرسانية القياسية وبيان تأثير ذلك على خواص الخرسانة، تم بالإعتماد على معدل نتائج فحص كل ثلاثة نماذج وكما يلي:

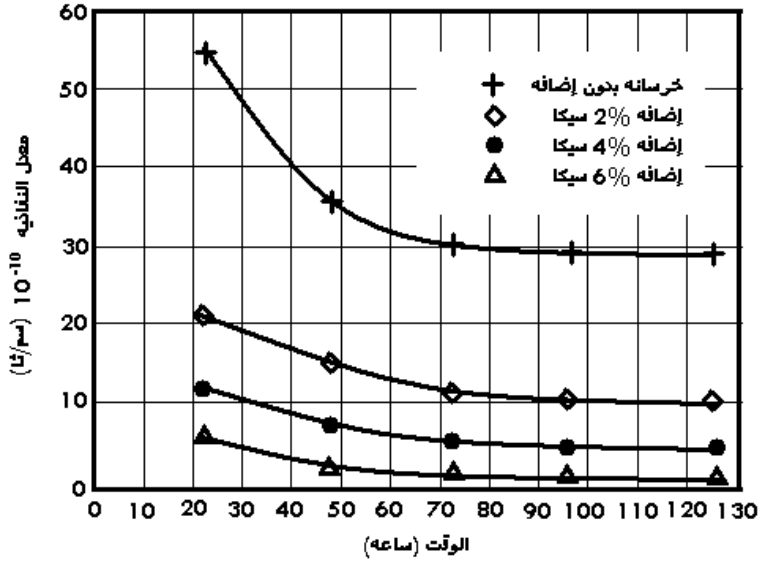
٣-١ فحـــص النفاذيـــة

لوحظ إنخفاض معدل معامل النفاذية كلما زادت كمية مانع الرطوبة المضافة حيثُ وَصَلَ إنخفاض معامل النفاذية للنموذج الذي يحتوي على ٦% سيكا من وزن الإسمنت في الخلطة إلى 95.5% نسبةً إلى معامل نفاذية الخرسانة التي لا تحتوي على سيكا، كما في الجدول (1). الشكل(1) يمثل إنخفاض معدل نفاذية الخرسانة للماء مع الزمن بزيادة نسبة المادة ألمانعه للرطوبة، في حين إنخفضَ معامل النفاذية للنموذج الذي يحتوي على 4% سيكا من وزن الإسمنت في الخلطة إلى 85.5%.

جدول (١) معدل إنخفاض معامل النفاذية بإضافة نسب مختلفة من مانع الرطوبة/الإسمنت

نسبة إضافة المادة ألمانعة	معدل معامل النفاذية(k)* 10^{10} سم/ثانيه	نسبة إنخفاض

للرطوبة/الإسمنت%	زمن الفحص (ساعة)						معامل النفاذية في حالة الإستقرار %
	24	48	72	96	120	144	
0	54.8	36.4	30.2	29.1	29		0
2	20.4	13.5	10.8	10.4	10.1		65.1
4	10.5	7.1	5.4	4.5	4.1		85.8
6	5.5	2.5	1.5	1.5	1.3		95.5



الشكل (١) إنخفاض معدل معامل نفاذية الخرسانة للماء مع الزمن بزيادة نسبة إضافة مانع الرطوبة/الاسمنت (وزناً)

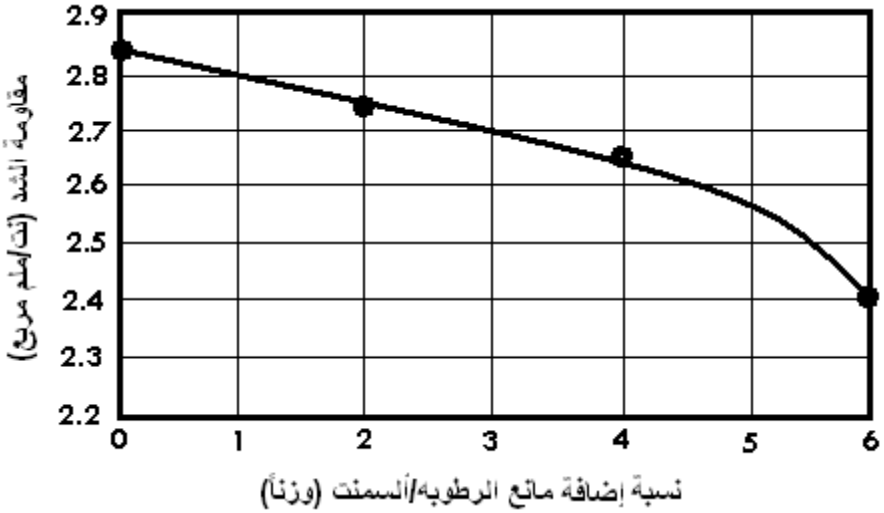
٣-٢ مقاومة شد الخرسانة

لوحظ إنخفاض في مقاومة الشد بمقدار 9.1% للنموذج الحاوي على 4% مانع رطوبة من وزن الإسمنت مقارنه مع النموذج الذي لايحتوي على مانع رطوبة وكما موضح في الجدول(2). الشكل(2) يوضح نسبة إنخفاض معدل مقاومة الشد للإِسطِوانات مع زيادة نسبة إضافة المادة المانعة للرطوبة.

جدول (٢): مقاومة الشد للأُسطوانات الخرسانية

رمز النموذج	نسبة إضافة مانع الرطوبة/الإسمنت %	مقاومة الشد نت/ملم^2	معدل مقاومة الشد نت/ملم^2	النسبة المئوية للإنخفاض %
1-a	0	2.75	2.84	0
2-a	0	2.85		
3-a	0	2.92		
1-b	2	2.74	2.75	3.1
2-b	2	2.72		
3-b	2	2.76		

9.1	2.58	2.57 2.59 2.58	4 4 4	1-c 2-c 3-c
15.4	2.4	2.4 2.44 2.36	6 6 6	1-d 2-d 3-d



الشكل (٢) إنخفاض معدل مقاومة الشد للخرسانة عند زيادة نسبة إضافة المادة المانعة للرطوبة/الاسمنت (وزناً)

٣-٣ مقاومة إنضغاط الخرسانة

لوحظ إنخفاض في مقاومة إنضغاط الخرسانة مع زيادة نسبة إضافة مانع رطوبة وقد بلغ 11.9% للنموذج ذو نسبة إضافة 4% مانع رطوبة/إسمنت مقارنه مع النموذج الذي لايحتوي على مانع رطوبة وكما موضح في الجدول(3). الشكل(3) يوضح نسبة إنخفاض معدل مقاومة الخرسانة مع زيادة نسبة إضافة المادة المانعة للرطوبة.

جدول (٣) مقاومة إنضغاط المكعبات الخرسانية

رمز النموذج	نسبة إضافة مانع الرطوبة/الإسمنت %	مقاومة الشد نت/ملم^2	معدل مقاومة الإنضغاط نت/ملم^2	النسبة المئوية للإنخفاض %
1-a 2-a 3-a	0 0 0	24.2 26.3 25.2	25.2	0
1-b 2-b 3-b	2 2 2	24.6 24.0 23.4	24	4
1-c 2-c 3-c	4 4 4	22.7 22.3 21.6	22.2	11.9

1-d	6	19.8	19.4	23
2-d	6	19.4		
3-d	6	19.0		

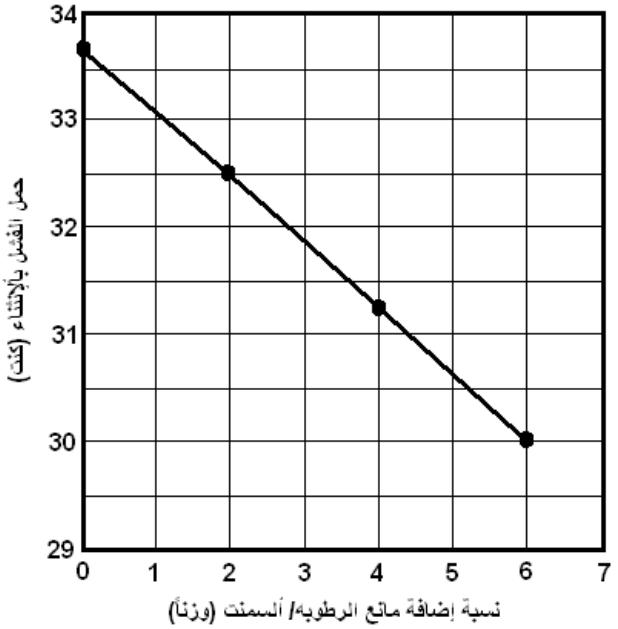
الشكل (٣) إنخفاض معدل مقاومة ألإنضغاط للخرسانة مع زيادة نسبة إضافة مانع الرطوبة/ الاسمنت (وزناً)

٤-٣ مقاومة إنثناء الخرسانة المسلحة المقاومة للأملاح

من خلال إجراء فحص الإنثناء على العتبات الخرسانية المسلحة المقاومة للأملاح لوحظ فشل كافة النماذج بالإنثناء، حيثُ حدثت تشقُقات في الثُلث الوسطي من الجهة السفلى ومن ثم إزدادت التشققات إتساعاً مع زيادة التحميل لحين حدوث تهشم في المنطقة الوسطية من الجهة العليا المعرضة للإنضغاط تلا ذلك حدوث الفشل النهائي. هذا وقد تم إعتماد الأحمال المؤدية للفشل بالإنثناء كأساس لإجراء المقارنة بين المجاميع الأربعة بدلاً من حساب مقاومة إنثناء العتبات. وقد بلغ إنخفاض الأحمال المؤدية إلى الفشل بالإنثناء 7.2% للعتبات الخرسانية المسلحة المحتوية على مانع رطوبة بنسبة 4% من وزن الإسمنت مقارنةً مع نماذج العتبات الخرسانية المسلحة المقاومة للأملاح القياسية التي لا تحتوي على مانع رطوبة وكما موضح في الجدول رقم (٤). مما يشير إلى ترجع مقاومة إنثناء العتبات الخرسانية المسلحة كلما زادت نسبة إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية. الشكل (٤) يمثل نسبة إنخفاض معدل الحمل المؤدي إلى فشل العتبات الخرسانية المسلحة.

جدول (٤) الحمل المؤدي إلى فشل العتبات الخرسانية المسلحة بالإنثناء

رمز النموذج	نسبة إضافة مانع الرطوبة/الإسمنت %	الحمل المؤدي إلى الفشل بالإنثناء كنت	معدل الحمل المؤدي إلى الفشل بالإنثناء كنت	النسبة المئوية للإنخفاض %
1-a	0	33.5	33.7	0
2-a	0	33.9		
3-a	0	33.7		
1-b	2	32.5	32.5	3.5
2-b	2	32.7		
3-b	2	32.3		
1-c	4	31.3	31.25	7.2
2-c	4	31.5		
3-c	4	30.95		
1-d	6	30.5	30	10.9
2-d	6	30.1		
3-d	6	29.4		



الشكل (٤) إنخفاض معدل الحمل المؤدي لفشل العتبات الخرسانية المسلحة بالإنثناء عند زيادة نسبة إضافة مانع الرطوبة/ الاسمنت (وزنا)

إعتماداً على ما ورد أعلاه، وبعد مراعاة تأثيرات إضافة مادة مانع الرطوبة على خواص الخرسانة، يمكن إعادة النظر بتصميم الأسس الخرسانية المسلحة المعرضة لمهاجمة الرطوبة أو الواقعة ضمن مستوى تأرجح المياه الجوفية وذلك بالتضحية بجزء من مقاومة إنضغاط وانشطار إنثناء الخرسانة المسلحة مقابل الحصول على خرسانة واطئة النفاذية لحمايتها من التآكل التشظي.

المثال اللاحق يتضمن إجراء مقارنه بين تصميم أساس بالطريقة الإعتياديه وإعادة تصميم نفس الأساس بالطريقة المقترحة باستخدام خرسانة مقاومه للأملاح مضافاً لها مانع الرطوبة بنسبة ٤% من وزن الإسمنت في الخلطة مع مراعاة أَنَ مقاومة إنضغاط الخرسانة المستخدمة لأغراض التصميم قد تم تخفيضها بمقدار ١٢% .

٤. مثـال تصـميمـــــي [4,5]

لتصميم أساس يسند عمود بأبعاد 0.4× o.4 م وبموجب المعلومات التالية:

الحمل الميت (D.L.) = 300 كنت
الحمل الحي (L.L.) = 450 كنت
الضغط المسموح به على التربة (q_{all}) = 200 كنت/م^2
مقاومة إنضغاط الخرسانة (fc′) = 20 نت/ملم^2
مقاومة خضوع الحديد (fy) = 346 نت/ملم^2

أولاً: **تصميـم الأسـاس بـدون إضافـة مانـع الرطوبـة:**

مساحة الأساس = (D.L.+L.L.)/q_{all} = (٣٠٠+٤٥٠)/٢٠٠= 3.75 م^2

∴ يمكن إستعمال أساس مربع بأبعاد 2×2م يعطي مساحة 4م^2 > 3.75م^2.

لتحديد سمك الأساس نفرض أَنَ الأساس يعمل باتجاهين (Two-Way Action)

إيجاد الحمل الأقصى q_{alt}

$$q_{alt}=(450\times1.7+300\times1.4)=296kN/m^2$$

مقاومة الخرسانة للإجهادات القص Vc

$$Vc = o.34\times\phi\sqrt{fc'} = o,34\times o.85\sqrt{20} = 1.3MPa$$

وبمساواة إجهادات القص التي توفرها الخرسانة مع إجهادات القص المسلطة من التربة على الأساس يمكن حساب سمك الأساس وكما يلي:

$$VC\times 4(a+d)\ d = q_u\ [B^2-(a+d)^2]$$

بالتعويض نحصل على المعادلة التالية:

$$1366d^2 + 576d=284.4 \rightarrow d=0.292m.$$

العزوم المسلطة القصوى Mu

$$Mu = \frac{q_{alt}l^2}{2} = \frac{296.25\times(0.8)^2}{2} = 94.8kN.m$$

حساب مساحة حديد التسليح As

$$As = \frac{Mu}{\phi fy(d-\frac{a}{2})} \qquad a = \frac{As\times fy}{0.85fc'b} = \frac{As\times 346}{0.85\times 20\times 1} = 20.35As$$

$$\therefore As = \frac{94.8}{0.9*346000\left(0.3-\frac{20.35}{2}As\right)}$$

$$33423As^2-985.4As+1=0 \qquad \rightarrow As=10.5cm^2/m$$

ثانياً: أما عند إضافة مانع رطوبة بنسبة 4% سوف تنخفض مقاومة الإنضغاط للخرسانة بنسبة 12% فتصبح قيمة fc′ المستعملة في المثال التصميمي 17.6نت/ملم٢، وهذه القيمة يدخل تأثيرها في حساب سمك الأساس ومساحة حديد التسليح فيصبح في هذه الحالة سمك الأساس:

$$Vc = 0.34\times 0.85\sqrt{17.6} = 1.212MPa$$

بمساواة إجهاد القص الذي توفره الخرسانة مع إجهاد القص المسلط من التربة على الأساس

$$Vc\times 4(a+d)d=q_u\ [B^2-(a+d)^2]$$

بالتعويض نحصل على المعادلة التالية:

$$1286.06d^2+544.05d=284.4 \rightarrow d=0.305m.$$

أي أَنَ هناكَ زيادةً بمقدار سمك الأساس الفعال بمقدار**5%** في حالة إضافة مانع الرطوبة لخرسانة الأساس بالمقارنة بمقداره بدون إضافة مانع الرطوبة.

أما بالنسبة لمساحة التسليح المستعملة فتكون قيمة As في حالة إضافة مانع الرطوبة كالآتي:

$$a = \frac{As\times fy}{o.85fc'b} = \frac{As\times 346}{o.85\times 17.6\times 1} = 23.12As$$

$$\therefore As = \frac{94.8}{0.9\times 346000\left(0.3-\frac{17.6}{2}As\right)}$$

$$28906As^2-985.44As+1=0$$

$$As=10.4cm^2/m$$

أي إن هناك نقصان في مساحة حديد التسليح بمقدار 1%.

٥. الإســـــتنتاجات

من خلال نتائج البرنامج العملي تم إستنتاج ما يلي:

١. إنخفاض في مقاومة إنضغاط الخرسانة بمقدار(١٢%) حين إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية.
٢. إنخفاض في مقاومة إنثناء الخرسانة بمقدار(٧%) حين إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية.
٣. إنخفاض في معامل نفاذية الخرسانة بمقدار(٨٦%) حين إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية. أي بعبارة أُخرى زيادة مقاومة الخرسانة لنفاذ الماء.
٤. أفضل نسبة إضافة لمادة مانع الرطوبة تبلغ (٤%) من وزن الإسمنت في الخلطة الخرسانية.

٥. لغرض وقاية الأُسس الخرسانية المسلحة الواقعة ضمن منطقة تأرجح منسوب المياه الجوفية من أخطار التفتت بسبب:
أ- تبلور الأملاح المذابة بالماء عند جفاف الأُسس.
ب- صدأ حديد التسليح بسبب دورات الترطيب والجفاف.
ولغرض زيادة ديمومة الأُسس يمكن إجراء الآتي:
١. إضافة مانع الرطوبة إلى الخلطة الخرسانية بنسبة (٤%) من وزن الإسمنت.
٢. تخفيض مقاومة إنضغاط الخرسانة بنسبة (١٢%) حين إعداد تصاميم الأُسس الواقعة ضمن منطقة تأرجح منسوب المياه الجوفية.

٦. المصـــــادر

1. Moskivin, V. and F. Ivonov, ***"Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection"***, Miv. Pup., Moscow, 1980.

2. Neville, A. M., and Brooks, J. J., ***"Concrete Technology"***, Wiley & Sons, Inc., New York, 1995, pp. 326- 330.

3. ***Building Code Requirements of Reinforced Concrete***, ACI, Pup.318-89, American Concrete Institute, Detroit, 1995.

4. يوسف الشكرجي، نوري المحمدي، **"هندسة الاسس"**، مطبعة جامعة بغداد، ١٩٨٥.

5. Bowles, J. E., ***"Foundation Analysis and Design"***, 5th Edition, McGraw Hill Book Co., New York, 1996.