المحاضرة الثالثة والعشرون

متانة الخرسانة

متانة الخرسانة Durability of Concrete

- تعرف المتانة بقدرة الخرسانة على مقاومتها للظروف التي صممت من اجلها أو عن قابليتها لإتمام او تأدية وظيفتها المطلوبة خلال عمر المنشأ دون أن يصيبها تلف أو فقدان في المقاومة. بكلمات اخرى، هي قدرة الخرسانة على الاحتفاظ بخصائصها ومنها المقاومة خلال فترة زمنية معينة تدعى بالعمر التصميمي او الخدمي (Service or span life) رغم التعرض للظروف المحيطة.
- تتميز الخرسانة بديمومة عالية الا ان هناك اسباب عديدة تؤدي الى فقدان الديمومة مع مرور الوقت وتتلخص هذه الاسباب بالتالي: اسباب خارجية و بيئية و اسباب داخلية
- **الأسباب الخارجية والبيئية هي :**

- اسباب فيزيائية: مصدر التدهور الفيزيائي قد يتضمن التغيير في درجات الحرارة وما يرافقها من تمدد او انكماش، حركة الرطوبة وما يرافقها من انكماش او تمدد وكذلك تاثير الانجماد والذوبان (Freeze- thaw) وما يرافقه من تمدد.

- اسباب كيميائية: مصدر التدهور الكيمائي يتضمن مهاجمة الخرسانة من قبل املاح الكبريتات او الكلوريدات (Chloride ans sulfate attacks) وتفاعل الكربنة (Carbonation reaction) . .

- اسباب ميكانيكية: مصدر التدهور الميكانيكي يتضمن تعرض الخرسانة الى احمال صدمية عالية ، هبوط تفاضلي للاس ، التعرض الى الهزات الارضية وما يرافقها من احمال (secmic loads)، الكلل نتيجة احمال دورية متكررة او تأثير البري (abrasion) الذي يحدث لخرسانة الطرق .

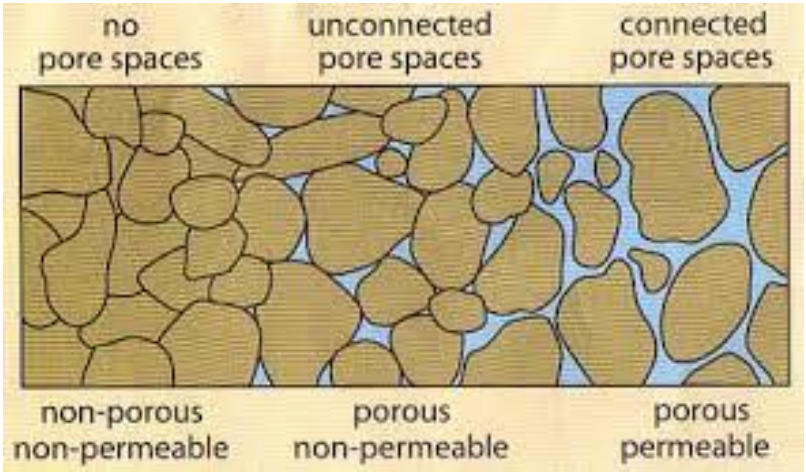
- إن مدى التلف الذي يصيب الخرسانة بتأثير العوامل السابقة يعتمد على جودة الخرسانة بالرغم من ان التلف يصيب أية خرسانة عند تعرضها لظروف قاسية .
- **الأسباب الداخلية هي :**

- وجود أملاح الكبريتات في بعض أنواع الركام .
- التفاعل القلوي للركام (Alkali- silica reaction) أو عدم ثبات حجم الاسمنت (unsoundness of cement).
- صدأ وتاكل حديد التسليح (Corrosion of steel).
- نفاذية الخرسانة وهي الخاصية التي تسمح بمرور الماء ، الغاز او اي سائل اخر خلال مدة زمنية معينة. علاقة الديمومة بالنفاذية هي علاقة عكسية فكلما كانت الخرسانة ذات نفاذية عالية كلما ادى ذلك الى فقدان ديمومتها بصورة اسرع.

نفاذية الخرسانة Permeability of Concrete

- هي الخاصية التي تسمح بنفاذ أي سائل أو غاز خلال أية مادة خلال وحدة زمنية معينة .وتكون هذه الخاصية ذات أهمية كبيرة في المنشات الهيدروليكية التي تكون بتماس مباشر مع الماء كالخزانات والسدود وأنابيب المياه .
- أن دخول الرطوبة والهواء نتيجة للنفاذية العالية إلى داخل الخرسانة المسلحة يسبب صدأ حديد التسليح وذلك يؤدي إلى زيادة حجمه نتيجة لتكوين طبقة من الصدأ (الذي يرافقه زيادة حجمية مقدارها 7 اضعاف) مما يؤدي الى تشقق وتشظي غطاء الخرسانة Concrete cover. او قد ينجمد الماء الداخل مسببا اجهادات شد داخلية تؤدي الى تشقق وتلف الخرسانه، اي انه يمكن القول ان نفاذية الخرسانة دالة لديمومتها.
- .إن نفاذية الخرسانة ليست بدالة بسيطة لمساميتها Porosity ولكن تعتمد على مقاس وتوزيع واستمرار المسامات ،لذا بالرغم من أن مسامية جل الاسمنت هي 28% فان نفاذيته قليلة وتقدر بحوالي 7×10^{-16} m/s فقط وذلك بسبب عدم اتصال مسامات الجل بعضها من البعض.
- يمكن تميز ثلاث انواع من المواد وفقا للنفاذية والمسامية وهي :

- مادة غير مسامية وغير منفذة ، مادة مسامية غير منفذة ، ومادة مسامية منفذة (الخرسانة)



انواع المواد وفقا للنفاذية والمسامية

- إن نفاذية الركام ليست دالة لنفاذية الخرسانة ككل فعلى الرغم من ان كل من الركام وعجينة الاسمنت تحوي على مسامات الا انه يمكن تحديد نفاذية الركام باستخدام عجينة اسمنت قليلة النفاذية. وعلى الرغم من ذلك فان المنطقة البينية بينهما ITZ قد تلعب دورا كبيرا في تحديد النفاذية بسبب مساميتها العالية مقارنة بمسامية عجينة الاسمنت.

العوامل المؤثرة على نفاذية الخرسانة Factors affecting permeability of Concrete

1- كمية الماء او w/c: علاقة نسبة الماء الى الاسمنت بالنفاذية هي علاقة طردية فكلما زادت هذه النسبة زادت النفاذية لان الماء الفائض هة مصدر تكوين المسامات في عجينة الاسمنت.

2- خواص الاسمنت : بشكل عام فان زيادة محتوى الاسمنت تقلل من النفاذية ولنفس نسبة الماء الى الاسمنت فان نعومة الاسمنت تلعب دورا في تحديد النفاذية اذ ان الاسمنت الانعم يسبب تقليل في نفاذية عجينة الاسمنت وبالتالي تقليل نفاذية الخرسانة.

3- الركام : توثر نفاذية الركام على نفاذية الخرسانة فاذا كان الركام ذو نفاذية قليلة جدا فهذا سيؤدي الى تقليل المساحة المؤثرة للجريان.

4- المضافات : تساهم المضافات الخرسانية عموما في تقليل نفاذية الخرسانة وخاصة المضافات المعدنية الفعالة وكذلك الملدنات والمضافات الصادة للماء.

5- العمر والمعالجة: اذا عولجت الخرسانة بشكل جيد فان نفاذيتها ستقل بازدياد العمر نتيجة لاستمرار عملية الاماهة وغلق المسامات بنواتجها.

6- تجانس الخرسانة ودرجة الرص: ان عدم تجانس الخرسانة يؤدي الى زيادة النفاذية بسبب تكون الفجوات الكبيرة ولدرجة الرص اهمية كبرى في طرد الفراغات والماء وبالتالي تقليل النفاذية.

فحص نفاذية الخرسانة Test of permeability of Concrete

- يقاس معامل نفاذية الخرسانة (K) باستخدام معادلة دارسي للجريان في الاوساط النفاذة وحسب المعادلة التالية

معادلة دارسي Darcy Equation

$$\frac{Q}{A} = K\,\frac{\Delta h}{L} \quad \text{.....}$$

Q: water discharge m^3/sec

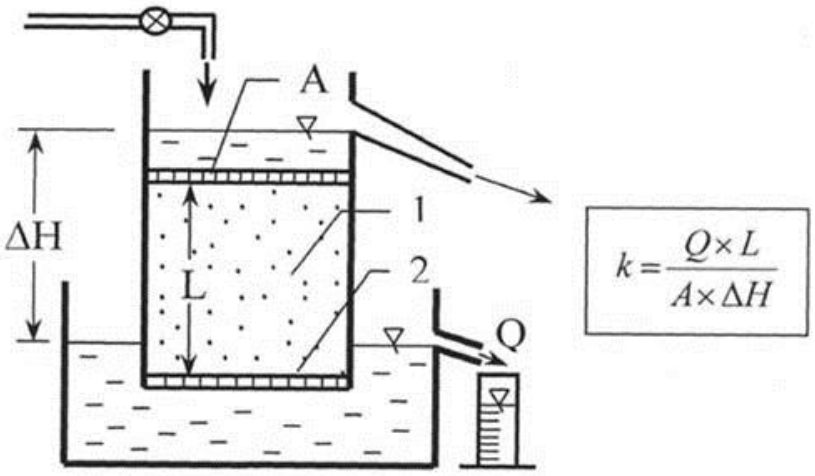
A: cross section area of the specimen m^2

K: permeability coffecient m/sec

L: length of the specimen m

Δh = h2-h1 fluid head difference across the sample m

- الشكل التالي مخطط مبسط يوضح طريقة اجراء الفحص :



تطبيق قانون دارسي لحساب معامل النفاذية

تاثير املاح الكلوريدات والكبريتات على ديمومة الخرسانة Chloride and sulphate attacks

- بشكل عام فان الاملاح بنوعيها لا تهاجم الخرسانة بالحالة الصلبة ولكنها توثر بصورة كبيرة على الخرسانة عندما تكون على شكل محاليل ذائبة في الماء.
- ولهذه الاملاح تاثيرات فيزيائية ايضا عدا عن التاثيرات الكيميائية على الخرسانة اذ يتسبب وجود الاملاح كمحاليل بالقرب من الخرسانة الى دخولها الى المسامات وفي حالة جفاف الخرسانة سوف تتبلور هذه الاملاح في الفجوات . عند استمرار تعرض الخرسانة الى دورات من الغمر والتجفيف فان الاملاح المتبلورة داخل المسامات سيزداد حجمها عن حجم المسامات الحاوية لها مما يؤدي الى تولد اجهاد شد داخلية قد تتسب بزيادة الحجم وتشقق الخرسانة.
- من الناحية الكيميائية فان املاح الكلوريدات (التي تتواجد بصورة كبيرة في مياه البحار) سوف تؤثر على حديد التسليح بصورة كبيرة بينما يتركز عمل املاح الكبريتات (التي تتواجد عادة في الترب) على الخرسانة نفسها:

<u>تاثير املاح الكبريتات :</u>

- المؤثرة منها على الخرسانة تكون على نوعين : كبريتات الصوديوم_$Na_2SO_4.10H_2O$ وكبريتات المغنيسيوم $MgSO_4.7H_2O$.
- تهاجم الاولى نواتج اماهة الاسمنت وخاصة هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سلفوالومينات الكالسيوم (الجبس المائي) الذي يسبب زيادة حجمية قد تؤدي الى التشقق والتلف للخرسانة كما في التفاعل التالي:
- $Na_2SO_4.10H_2O + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH + 8H_2O$

- يهاجم النوع الثاني من املاح الكبريتات نواتج اماهة الاسمنت وخاصة CSH مكونة سلفوالومينات الكالسيوم (الجبس المائي) الذي يسبب زيادة حجمية قد تؤدي الى التشقق والتلف للخرسانة بالضافة الى تحلل جل الاسمنت وتقليل الترابط كما في التفاعل التالي:
- $MgSO_4.7H_2O + 3CaO.2SiO_2.aq \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + Mg(OH)_2 + SiO_2.aq$

تاثير املاح الكلوريدات على:

- ان اختراق املاح الكلوريدات للخرسانة يدخل كعامل مساعد في عملية صدا وتاكل حديد التسليح.
- اذ ان وصول ايون الكلوريد الى سطح حديد التسليح سيساعد في الغاء طبقة لحماية له من خلال تحويل الوسط المحيط الى وسط حامضي بتكوين حامض الهيدروكلويك HCl.
- عند توفر الرطوبة والاوكسجين بعد الغاء حماية حديد التسليح سوف يؤدي الى بداية صداه ومن ثم تاكله.

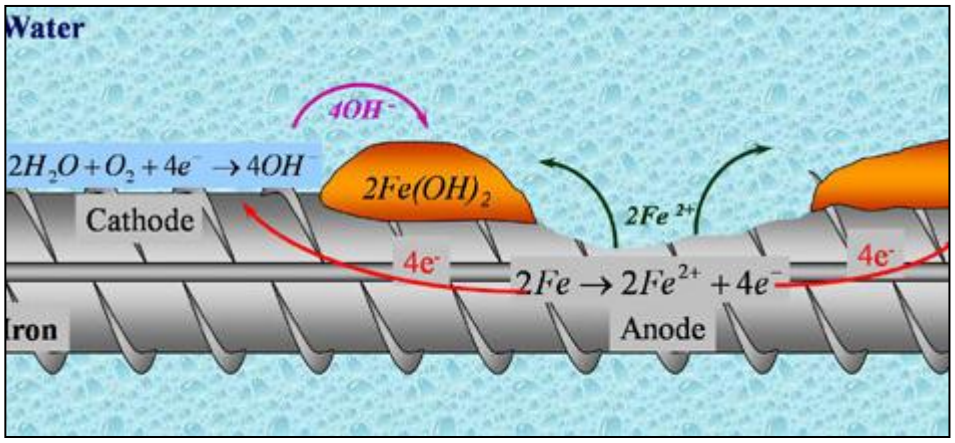
تاثير تفاعل الكربنة على ديمومة الخرسانة CO_2 attack (carbonation reaction)

- تفاعل الكربنة يتلخص بتفاعل غاز CO_2 من الجو مع ماء المسام الاموجود في الخرسانة والناتج الرئيس لهذا التفاعل هو حامض الكاربونيك كما فى المعادلى ادناه:
- $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$
- سيتبع تكوين هذا الحامض تفاعلى مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في هيكل عجينة الاسمنت مكونا كاربونات الكالسيوم الغير ذائبة والتي ستترسب في المسامات القريبة من السطح كما في التفاعل التالي:
- $H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + 2H_2O.$
- يبدأ تفاعل الكربنة في المسامات القريبة من السطح ويتجه بمرور الزمن الى داخل الخرسانة وهو تفاعل بطئ جدا ويحتاج فترة زمنية طويلة للوصول الى داخل الخرسانة ويعتمد ذلك على تركيز غاز CO_2.في الجو المحيط بالخرسانة وكذلك نسبة الرطوبة داخل وخارج الخرسانة.
- لايحدث التفاعل عندما تكون مسامات الخرسانة مشبعة او جافة بحيث لايتوفر الماء للتفاعل. بكلمات اخرى اذا كانت الرطوبة اعلى من 75% او اقل من 25% فان احتمالية حدوث هذا التفاعل ضعيفة جدا.
- يهاجم حامض الكاربونيك المتكون نتيجة لهذا التفاعل جل الاسمنت ايضا CSH مسببا تحلله كما في التفاعل التالي:
- $H_2CO_3 + CaO.SiO_2.H_2O \longrightarrow CaCO_3 + 2H_2O + SiO_2.$
- لعملية الكربنة فائدة في تقليل نفاذية الطبقة السطحية المتكربنة بسبب ترسب كاربونات الكالسيوم في المسامات الى ان مقاومة هذه الطبقة تصبح قليلة بسب تحلل جل الاسمنت.

- يعادل تفاعل الربنة الطبيعة القلوية للخرسانة مسببا تحول الوسط الخرساني الى الوسط الحامضي مسببا الغاء طبقة اوكسيد الحديد الحامية لحديد التسليح من التاكل حين وصول هذا التفاعل الى سطح حديد التسليح.
- لذلك تعتبر الكربنة احد العوامل الرئيسة اضافة الى اختراق ايون الكلوريد في شروع عملية الصدا والتاكل لحديد التسليح حين توفر الاوكسجين والرطوبة.

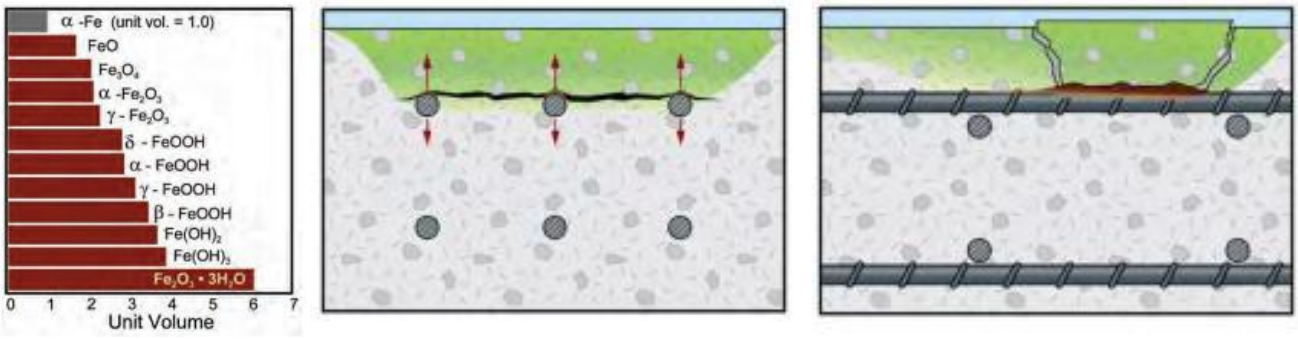
صدا وتاكل حديد التسليح Corrosion of Steel in concrete

- الشروط الرئيسة لحدوث صدا حديد التسليح في الخرسانة هو توفر الاوكسجين والرطوبة عند سطح حديد التسليح. وهما العاملان الرئيسان لحدوث الصدا.
- يعتبر اختراق ايون الكلوريد وتفاعل الكربنة من العوامل المسرعة لحدوث الصدا كما تم ذكره سلفا حيث يلغيان طبقة الحماية لحديد التسليح المتكونة نتيجة للقاعدية العالية للخرسانة.
- الصدا في حديد التسليح عملية كهروكيميائية تتلخص بتكون قطبين على حديد التسليح احدهما انود (مكان بداية الصدا وتحدث فيه عملية اكسدة الحديد وفقدان الاليكترونات) والاخر كاثود (سطح حديد التسليح ويحدث فيه عملية الاختزال اي تقليل الاوكسجين وتكوين مجموعة الهيدروكسيل السالبة).
- تتكون مناطق الانود بسبب بداية الصدا فى مناطق معينة نتيجة لتوفر الاوكسجين والرطوبة.
- تفاعل الانود : $Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2\,e^{-}$ Anodic reaction (Oxidation)
- تفاعل الكاثود: $2H_2O + O_2 + 4e^{-} \longrightarrow 4\,(OH)^{-}$ cathodic reaction (Oxygen reduction)
- يتم انتقال الاليكترونات خلال الخرسانة من مناطق الانود الى مناطق الكاثود مسببة تيار كهربائي يسمى تيار التاكل. ونتيجة لذلك فان مناطق الصدا ستستمر بعملية الاكسدة وفقدان الاليكترونات مما يؤدي الى انتشار مناطق الصدا على سطح حديد التسليح.



الية صدا حديد التسليح في الخرسانة

- يرافق عملية الصدا لحديد التسليح زيادة حجمية للحديد بما يقارب سبعة اضعاف حجمه الاصلي مما يسبب ضغطا داخلسا يؤدي الى تسقق وتشظي غطاء الخرسانة.



تاثير الزادة الحجمية للصدا على غطاء الخرسانة

- ماهي مقترحاتك لتقليل تاثير هجوم الاملاح بنوعيها الكلوريدات والكبريتات على الخرسانة؟
- ماهي مقتحاتك لتقليل صدا وتاكل حديد التسليح في الخرسانة؟

التفاعل القلوي للركام Alkali –Silica Reaction (ASR)

- تفاعل يحدث بسبب تواجد السليكا الفعالة في الركام حيث تتفاعل مع القويات الموجودة في الاسمنت مسببة زيادة حجمية تؤدي الى تشقق الخرسانة.
- هذا التفاعل بطئ ويظهر تاثيره في اعمار متاخرة من عمر الخرسانة :

$$SiO_2 + 2\ NaOH + H \longrightarrow Na_2SiO_{32}H \quad -$$

- يتسبب هذا التفاعل في تشقق الخرسانة ، فقدان المقاومة والجساءة ، تقليل لبعمر الخدمي و زيادة النفاذية

التفاعل القلوي للركام على المستوى المرئي وغير المرئي (Macro and micro)

- ماهي مقترحاتك لتقليل تاثير هذا التفاعل؟