

## تأثير الصدأ على إجهاد التماسك في البيتون المسلح

الدكتور علي تريكية \*\*  
الدكتور نزيه منصور \*\*  
الشريفة بهيجة آل الفضل \*\*\*

(تاريخ الإيداع 13 / 6 / 2010. قُبل للنشر في 13 / 2 / 2011)

### □ ملخص □

إن الخسائر الاقتصادية الكبيرة ، التي يسببها تآكل الفولاذ في البيتون المسلح، قد جعلت منه المشكلة الأكبر للبنية التحتية في كثير من الدول، وقد درس الكثير من الباحثين، الدور الضار الذي يسببه تآكل فولاذ التسليح على ديمومة المنشآت البيتونية المسلحة. حالما تصل شوارد الكلوريد إلى مستوى قضيبي التسليح ، فإنها تزيل سلبيته عن طريق التحطيم الموضعي للطبقة الحامية السلبية التي تتشكل نتيجة القلوية العالية للخرسانة ( PH~13) . و بعد بدء عملية التآكل ، يشغل تجمع نواتج التآكل ( أكاسيد وهيدروكسيدات حديد ) حجماً أكبر بعدة مرات من حجم الحديد الأصلي ، مما يسبب نشوء إجهادات داخلية تؤدي إلى تشقق وتشظي الغطاء الخرساني .

يهدف البحث إلى دراسة تأثير الصدأ على إجهاد التماسك لفولاذ التسليح في المنشآت البيتونية في الساحل السوري عن طريق إجراء اختبار تماسك وطريقة إجراء اختبار تجارب شد مباشر واختبار التآكل المسرع عن طريق تغلغل الكلوريدات فيها. وإجراء اختبار تماسك عن طريق تجربة الشد المباشر على عينات تعرضت للصدأ خلال عملية تغلغل الكلوريدات فيها وذلك من أجل قياس إجهاد التماسك. تمت دراسة كل من المتغيرات ( مقاومة البيتون - أقطار وأشكال قضبان التسليح - عملية تطويق القضبان) في العينات الصحيحة والمخرية.

الكلمات المفتاحية: التآكل - الكلوريد - التماسك - إجهاد التماسك.

\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## The Influence of Corrosion on the Bond Stress in the Reinforced Concrete

Dr. Ali Trekeh\*

Dr. Nazih Mansour\*\*

Al Shareefa Baheeja Al Fadel\*\*\*

(Received 13 / 6 / 2010. Accepted 13 / 2 / 2011)

### □ ABSTRACT □

The large economic losses caused by the corrosion of steel in reinforced concrete makes it the largest infrastructure problem for a lot of countries. A lot of researchers have been studying the harmful role which the corrosion of reinforced concrete practices on the durability of reinforced concrete. Once chloride have reached bar level, they depassivate the embodied steel by locally breaking down the passive protective layer formed due to the high alkalinity of concrete pore solution (PH~13). After initiation of the corrosion process, the accumulation of corrosion products (iron oxides and hydroxides) , occupying a volume several times larger than of the original iron, leads to internal stresses that result in cracking and spalling of the concrete cover.

The research aims to study the effect of corrosion on reinforced concrete bond stress in reinforced concrete structures on the Syrian coast by performing bond experiments and the way of performing direct tensioned experiments and accelerated corrosion test through chloride access, and by performing the bond test through direct tensioned experiment on specimens exposed to rust with chloride access procedure in order to measure the bond stress. All the following changes (concrete resistance, diameters and shapes of reinforced bonding bars- stirrup around the bars) in good and corrupted specimens are studied.

**Key words:** corrosion-chloride - Bond - Bond stress.

---

\* Associate Professor , Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering- Tishreen University – Lattakia - Syria .

\*\* Assistant Professor , Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering- Tishreen University – Lattakia - Syria .

\*\*\*Post graduate student Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering- Tishreen University – Lattakia - Syria .

**مقدمة:**

إن البيتون المسلح هو المادة الأوسع استخداماً في الإنشاء وذلك يعود إلى المزايا العديدة التي يتميز فيها، فالتركيبية بين البيتون والفولاذ يمكن اعتبارها تركيبية مثالية ليس فقط من ناحية السلوك الميكانيكي وإنما أيضاً من ناحية الديمومة والمقاومة مع الزمن، ولكنها تتعرض أحياناً للتدهور المبكر علماً أن تآكل الفولاذ من المسببات الرئيسية لهذا التدهور ومن بين المنشآت الأكثر عرضة لهذا التدهور المنشآت الواقعة في البيئات العدوانية ( aggressive environments ) للخرسانة في المنشآت البحرية والجسور..... الخ.



صورة جدار في جبلة (يبين تسليح طبقات البيتون وتكشف فولاذ التسليح)

ظروف القلوية العالية للخرسانة (PH=13) التي تنشأ في أثناء تفاعلات الإماهة للأسمنت تؤدي وبسرعة إلى تشكل طبقة رقيقة (passive film) من أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد سماكتها 15 أنغستروم تقريباً [1] على فولاذ التسليح المغموس تحميه من التآكل وتبقى هذه الطبقة طالما بقي الأس الهيدروجيني لمحلول مسام الخرسانة مرتفعة  $PH > 11.5$  [2]. إلا أن حالة السلبية هذه يمكن أن تدمر نتيجة لحدوث عمليات مثل عملية الكرنية للغطاء الخرساني [2]. التي يمكن أن تخفض قيمة الأس الهيدروجيني لخرسانة الغطاء إلى قيمة أقل من 10 أو تغلغل الكلوريدات ضمن محلول المسام بنسبة كافية لبدء حدوث التآكل أو حتى وجودها ، وهذه النسبة مرتبطة بقيمة (PH) لمحلول المسام عند السطح البيني للخرسانة وفولاذ التسليح وهذا يسبب صدأ الفولاذ الذي يؤدي إلى تكون مكونات من أكاسيد الحديد التي تتميز بازدياد حجمها وتسبب في حدوث انسلاخ لطبقة التغطية البيتونية ويؤدي بدوره إلى فقدان السلامة الإنشائية للمنشأة على المدى الطويل .

ومن العوامل التي تؤثر في الديمومة أيضاً وجود التماسك بين البيتون وحديد التسليح وبما أن التماسك هو الخاصية المميزة التي تؤمن انتقال الاجهادات ما بين مادتي الخرسانة والفولاذ ، لذا وجب تصميم مقاطع قضبان التسليح بصورة تؤمن تلاحم هاتين المادتين المتواصل وعدم انفلات أي انفصال الواحدة عن الأخرى في أي مكان تحت تأثير الاجهادات المحتملة .

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى دراسة تأثير الصدأ على إجهاد التماسك لفولاذ التسليح في المنشآت البيتونية في الساحل السوري. وتأتي أهمية هذه الدراسة من أجل تحديد إجهاد التماسك الذي يحقق التلاحم المطلوب بين البيتون وفولاذ التسليح بوجود الصدأ.

## الدراسة المرجعية:

## آلية تآكل فولاذ التسليح في الخرسانة:

## خلية التآكل (corrosion cell):

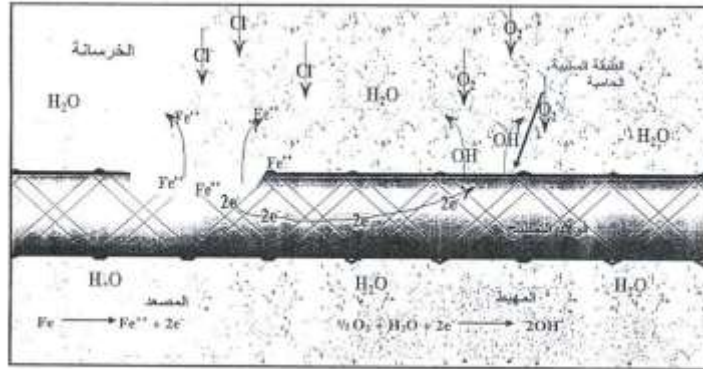
إن تآكل فولاذ التسليح المغموس (embedded reinforcing steel) في الخرسانة هو عملية كهروكيميائية (electrochemical process) في معظم الحالات ، مشابهة للفاعل الذي يحدث في البطارية الضوئية ويشترط لحدوث هذه العملية توافر ثلاثة شروط في آن معاً وهي كما يلي [3]:

a. وجود متحلل كهربائي ذو ناقلية شاردية عالية ويمثله في الخرسانة محلول المسام.

b. وجود الأوكسجين في المنطقة المهبطية (Cathodic region) .

c. انحلال في المنطقة المصعدية (anodic region) ، والمقصود بذلك هو إزالة السلبية التي كان قد

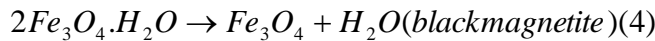
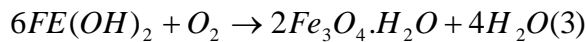
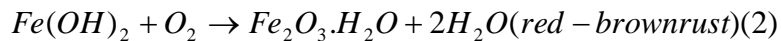
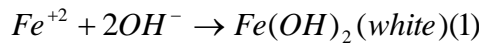
اكتسبها السطح الفولاذي في الوسط عالي القلوية وذلك عند مهاجمتها من قبل شوارد الكلوريد أو تخريبها نتيجة تآكل قلوية الخرسانة الناجم عن عملية الكربنة على سبيل المثال . عند توافر هذه الشروط يعمل سطح الفولاذ كإلكترود مختلط (mixed electrode) ، مركب من مصاعد ومهابط متصلة فيما بينها كهربائياً ، من خلال جسم الفولاذ ذاته ، الذي تحدث على سطحه تفاعلات الأزواج المصعدية و المهبطية ، شكل (1) ويمثل اختلاف الكون بين المصعد والمهبط القوة الكهربائية المحركة لتآكل الفولاذ (Driving electrical force) .



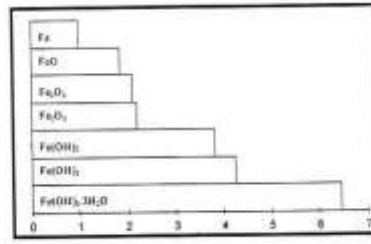
الشكل (1) شكل تخطيطي لآلية تآكل فولاذ التسليح في الخرسانة ، الذي تسببه شوارد الكلوريدات [3]

## نواتج التآكل (corrosion products):

تحدث جملة من التفاعلات لتشكيل نواتج تآكل فولاذ التسليح في الخرسانة ومن أكثرها شيوعاً [4]:

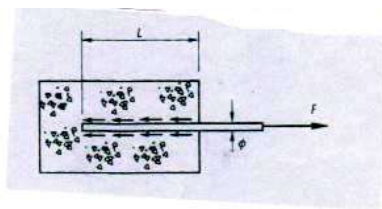


إن جميع هذه النواتج ذات حجم أكبر من حجم الحديد الذي تشكلت منه و قد يصل هذا الحجم في بعض هذه النواتج إلى ستة أو سبعة أضعاف شكل (2) مما يجعلها تولد ضغوط (إجهادات) كبيرة على الخرسانة المحيطة بها، تؤدي عند تجاوزها قدرة التحمل على الشد للبيتون المحيط إلى تشقق الخرسانة وفي النهاية إلى تدهورها

الشكل (2) شكل تخطيطي يظهر حجوم نواتج تآكل فولاذ تسليح الخرسانة<sup>[5]</sup>

### التماسك بين الفولاذ والبيتون.

المنشأة الخرسانية المسلحة (reinforced concrete) هي منشأة مركبة من مادتين مختلفتين بالخواص، هما الفولاذ والبيتون . ونظراً لقدرة البيتون الكبيرة على مقاومة إجهادات الضغط ( compressive stresses ) وقدرته المنخفضة على تحمل إجهادات الشد (Tensile stresses) كان لزاماً إدخال مادة أخرى قادرة على مقاومة إجهادات الشد هذه ، وقد كانت المادة الأكثر تناسباً هي الفولاذ، وذلك نتيجة لقدرتها الكبيرة على تحمل إجهادات الشد الكبيرة<sup>[6]</sup>. إن التماسك ظاهرة معقدة تنتقل من خلالها الاجهادات ما بين البيتون والفولاذ لكي نحصل على عنصر إنشائي مفيد، ولا يمكن للبيتون المسلح أن يعمل كمادة مركبة ما لم يكن التماسك جيداً بين مكوناته الأساسية من بيتون وفولاذ . يمكن توضيح ظاهرة التماسك وبيان أهمية دراستها في المثال الموضح بالشكل (3) من خلال تجارب الشد المباشر التي أجراها مجموعة من الباحثين وذلك من أجل تحديد التماسك ثم طول الإرساء إذ قاموا بصب عنصر من البيتون يحتوي قضيب تسليح واحد قطر  $\emptyset$  ، مغموس في كتلة البيتون بطول مقداره (L) لو طبقنا على القضيب قوة شد N ، إذ يمرر القضيب المشدود من خلالها كما في الشكل (3). وقمنا بزيادة قوة الشد N حتى الوصول إلى الانهيار . يفترض عادة أن الانهيار سيحدث بوصول الفولاذ إلى حد السيلان ( $F_y$ ) ، إلا أنه يمكننا تصور وضع يكون فيه (L) صغيراً ، إذ يحدث انزلاق قضيب التسليح المشدود من خلالها كما في الشكل وقمنا بزيادة قوة الشد (N) حتى الوصول إلى الانهيار .

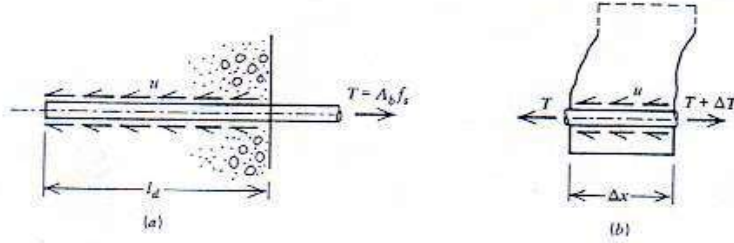
الشكل (3) يبين انغماس قضيب الفولاذ في البيتون المسلح (ظاهرة التماسك)<sup>[7]</sup>

### آلية التماسك في القضبان الملساء:

نجد أن إجهاد التماسك في القضبان الملساء متناسب مع محيط هذه القضبان وهو يتألف من:

- أ- التلاصق ما بين المونة الإسمنتية والقضبان الفولاذية.
- ب- التداخل الناشئ ما بين البيتون والهبوطات والارتفاعات الناتجة عن عدم انتظام سطح القضبان .

ت- الاحتكاك بين البيتون والفولاذ والمقاومة الاحتكاكية<sup>[6]</sup> ومع أن انكماش البيتون قد يزيد من الالتصاق بين الملاط الاسمنتي والقضيب الفولاذي إلا أن هذا التلاصق صغير عموماً بالمقارنة مع التداخل الميكانيكي أو قوى الاحتكاك. والشكل رقم(4) يبين آلية إجهاد التماسك في القضبان الملساء.

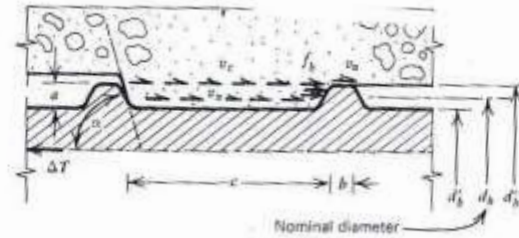


الشكل(4) يوضح آلية إجهاد التماسك في القضبان الملساء<sup>[6]</sup>

#### آلية التماسك في القضبان المحلزنة:

يختلف التماسك جذريا ما بين القضبان الملساء والمحلزنة بسبب التداخل بين أسنان الحلزون والبيتون المحيط كما في الشكل (5) و يتألف التماسك في القضبان المحلزنة من المركبات التالية<sup>[6]</sup>:

- أ- مقاومة القص العائدة للالتصاق الكيميائي بين البيتون والفولاذ.
- ب- قوى الترابط الميكانيكي الناتج عن مقاومة الاحتكاك وبعد زوال مقاومة الالتصاق.
- ت- ضغط البيتون على أسنان الحلزون.



الشكل(5) يبين توزيع الإجهادات بين نتوين من قضيب محلزن<sup>[6]</sup>

#### الاعتبارات الأساسية:

إن إجهاد التلاحم هو الاسم الذي يطلق على الإجهاد المطبق على السطح البيني بين الفولاذ والبيتون<sup>[7]</sup>، ويجب أن يكون هذا التلاحم بين البيتون وفولاذ التسليح كافياً بشكل يجعل هاتين المادتين قادرتين على تحمل القوى الخارجية. ومن العوامل التي تؤثر في ظاهرة التماسك :

- a. نوع فولاذ التسليح إذا كان من القضبان المحلزنة أو من القضبان الملساء.
- b. مقاومة البيتون المحيط بالفولاذ .
- c. يتأثر التماسك بسماكة التغطية المحيطة بالقضيب الفولاذي في البيتون وبشروط صبه.

- d. كما يتأثر بموقع القضيب في أثناء الصب.  
 e. ويتأثر إجهاد التماسك مع محيط قضبان التسليح، وتتغير بتغير أقطار هذه القضبان.  
 f. يتأثر إجهاد التماسك بوجود التطويق أو الحصر.  
 ويمكن حساب إجهاد التماسك الوسطي ( Average bond stress ) باستعمال العلاقة التالية :

$$\zeta b = F / \pi \phi L \quad (1)$$

حيث أن F هي الحمولة الخارجية المطبقة على التسليح .

Ø: قطر القضيب m.m bar diameter

L: طول التثبيت.

كما هو موضح في الشكل (3).

### طرائق البحث ومواده:

نقوم بإجراء مجموعة من التجارب:

- 1- اختبار تماسك عن طريقة تجربة الشد المباشر على عينات تماسك سليمة.
- 2- اختبار التآكل المسرع لجزء من العينات السابقة عن طريق تغلغل الكلوريدات فيها.
- 3- إجراء اختبار تماسك عن طريق تجربة الشد المباشر على عينات تعرضت للصدأ خلال عملية تغلغل الكلوريدات فيها وذلك من أجل قياس إجهاد التماسك .
- 4- دراسة كل من المتغيرات ( مقاومة البيتون - أقطار وأشكال قضبان التسليح - عملية تطويق القضبان ) على إجهاد التماسك في العينات الصحيحة والمخرية .  
 حيث تضمن البرنامج التجريبي:

تم صبّ ثلاث مجموعات من خلطات بيتونية مختلفة المقاومة وكل واحدة من هذه المجموعات الثلاثة ثم فيها صب أربع مجموعات:

- a- مجموعتان تحتويان على عينات مكعبية أبعادها ( 15 × 15 × 15 ) cm ( مشابهة لتلك الموصفة من المواصفة الأميركية ( A st M designation 234-91 )<sup>[8]</sup> مسلحة بشكل محوري بقضيب مركزي وحيد . وفيها المجموعة الأولى تحتوي على قضبان محلزنة ذات نتوءات بقطر 14mm . المجموعة الثانية تحتوي على قضبان ملساء بقطر 10mm. كما في الشكل (6).



الشكل (6) عينة اختبار التماسك.

b - مجموعتان تحتويان على عينات مكعبية مطوقة مشابهة للعينات المذكورة والموصفة عند GUERRIN<sup>[9]</sup> أبعادها ( 20 × 20 × 20 ) Cm مسلحة بشكل محوري بقضيب تسليح مركزي وحيد وفيها المجموعة الأولى تحتوي على قضبان محلزنة ذات نتوء بقطر 14mm ومطوقة والمجموعة الثانية تحتوي على قضبان ملساء بقطر 10mm ومطوقة.

- مقاومة البيتون : تم تصميم الخلطات على المقاومات المميزة التالية:  
30MPa , 35 MPa , 40 MPa<sup>[10]</sup> .

- أقطار وأشكال التسليح : حيث تم استخدام قضبان محلزنة عالية المقاومة  $F_y=42\text{Mpa}$  قطر 14 mm وقضبان ملساء  $F_y=24\text{Mpa}$  بقطر 10mm.

- عدد العينات :

- (6) عينات من كل نوع من الخرسانة ذات المقاومات (  $F_c = 30 , 35 , 40$  ) MPa موضوع في وسطها قضيب فولاذي بقطر 14mm محلزن،

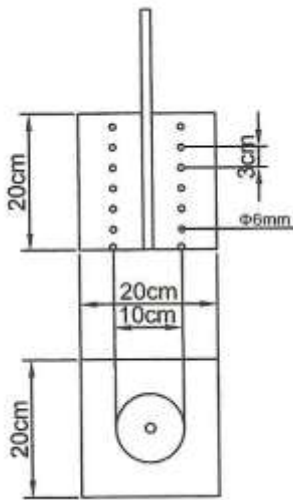
- (6) عينات من كل نوع من الخرسانة ذات المقاومات المختلفة موضوع في وسطها قضيب فولاذي بقطر 10mm أملس .

- (6) عينات مكعبية مطوقة من كل نوع من الخرسانة، ذات المقاومات المختلفة موضوع في وسطها قضيب فولاذي بقطر 14mm محلزن .

- (6) عينات مكعبية مطوقة من كل نوع من الخرسانة، ذات المقاومات المختلفة موضوع في وسطها قضيب فولاذي بقطر 10mm أملس. أي بمجموع كلي مساوٍ إلى 72 عينة مخبرية.

- عملية تطويق القضبان : إذ تم تطويق القضبان في المجموعتين اللتين تحتويان على مكعبات أبعادها cm ( 20 × 20 × 20 ) واستعمل فيها حلزونات من قضبان ملساء بقطر 6mm أقطار هذه الحلزونات 10mm والتباعد بين الحلزونات 3cm كما في الشكلين (7،8).

- تم تعريض عينات من المجموعتين الأولى والثانية لعملية تغلغل الكلوريدات وذلك باستخدام الخلية الغلفانية. إذ تم تسليط تيار كهربائي مستمر (12volt) من بداية التجربة وإلى حدوث التشقق للعينة، وارتفاع مفاجئ في شدة التيار الكهربائي.



الشكل (8) مسقط شاقولي وأفق لعيونة البيتون المطوقة



الشكل (7) تطويق وثبيت القضيب بشكل عمودي في المركز



تم تسجيل شدة التيار خلال فواصل زمنية قدرها 6 ساعات<sup>[11]</sup> واستخدام محلول يحتوي NaCl بتركيز 150g في الليتر<sup>[12]</sup>، إذ كانت مدة التجربة للعينات ذات المقاومة 30 Mpa هي 192 ساعة للعينات المحلزنة و144 ساعة للعينات الملساء. أما بالنسبة للعينات ذات المقاومة 35MPa كانت المدة 480 ساعة للعينات المحلزنة و360 ساعة للعينات الملساء ، أما بالنسبة للعينات (المحلزنة) ذات المقاومة 40 MPa تم وضعها في نفس شروط التجربة لمدة ثلاثة أشهر ولم يحدث ارتفاع مفاجئ في شدة التيار أو ظهور أي تغيرات ملحوظة على بنية العينات.

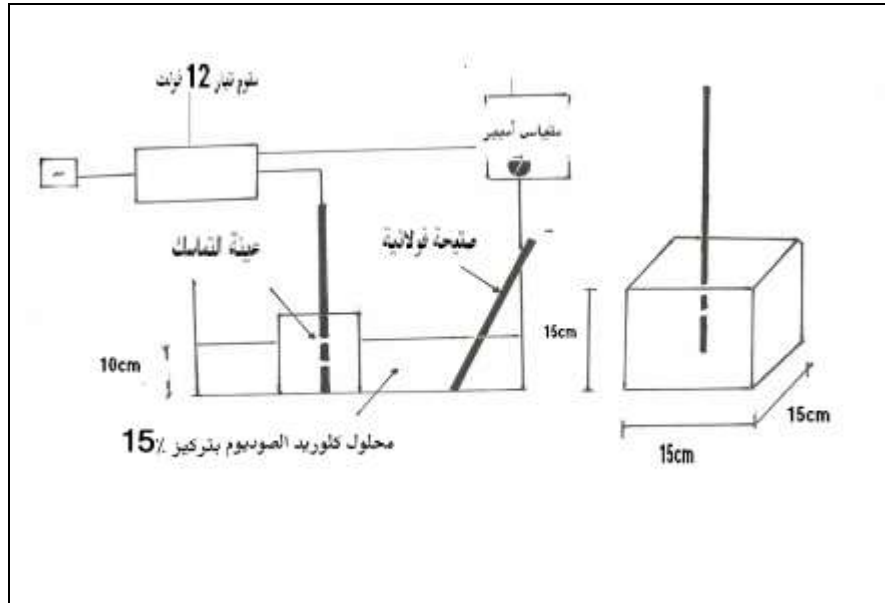
- القيام بتجارب التماسك على هذه العينات المخربة وغير المخربة ،ومن ثم حساب إجهاد التماسك الوسطي (average bond stress)

#### إجراء الاختبار ( Test Procedure ):

بعد صب عينات التماسك الكلية من المقاومات المختلفة ، وغمرها إلى نصف ارتفاعها في محلول لمح كلوريد الصوديوم بتركيز ( 15 % )<sup>[11]</sup>، وذلك لمدة ثلاثة أيام ، وبعدها استعمال منبع أو مزود طاقة تيار مستمر ( Dc power supply ) ذي مخرج قدرة (12VDC) لإحداث التآكل إذ جرى وصل المخرج الموجب (positive out put) بقضيب التسليح على نحو يعمل التسليح خلال الاختبار كمصعد (anode) في حين أن المخرج السالب ( negative out put) قد وصل إلى صفيحة الفولاذ على نحو تعمل هذه الصفيحة خلال الاختبار كمهبط (cathode) ( كما في الشكلين (9،10) .وتم تسليط كمون مصعدي ثابت قدره (12v) من بداية الاختبار إلى حدوث تشقق للعيينة الخرسانية بعرض 0.3mm (cracking of the specimen)<sup>[13]</sup> وارتفاع مفاجئ في شدة التيار الكهربائي.



الشكل(9) صورة لنظام اختبار تآكل الفولاذ المسرع



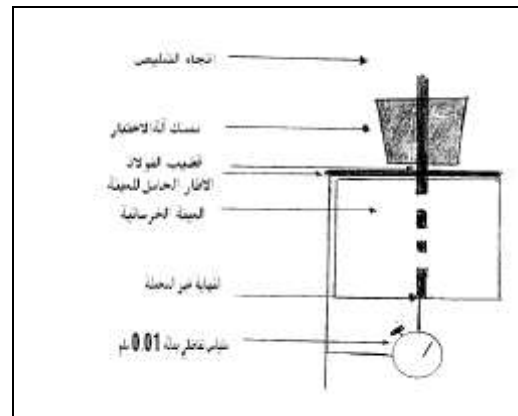
الشكل (10) تمثيل تخطيطي لنظام اختبار تآكل الفولاذ المسرع في العينات الخرسانية.

#### • إجراء اختبار التماسك: ( Bond test Procedure )

تم تصنيع جهاز اختبار التماسك من أجل إجراء اختبار التماسك و هو مؤلف من صفيحة فولاذية أبعادها 30×30 cm تفرغ بالمركز بدائرة قطرها 10cm لتحرير قضيب التسليح سماكة الصفيحة 1cm. إضافة إلى تهيئة حامل على سطح الصفيحة السفلي بطول 30 cm لتركيب مقياس تشوه تفاضلي يثبت الجهاز على أسفل الذراع بواسطة برغي كما في الشكلين (11 ، 12).



الشكل(12) صورة لنظام اختبار الشد



الشكل(11) مخطط تخطيطي للهيكل

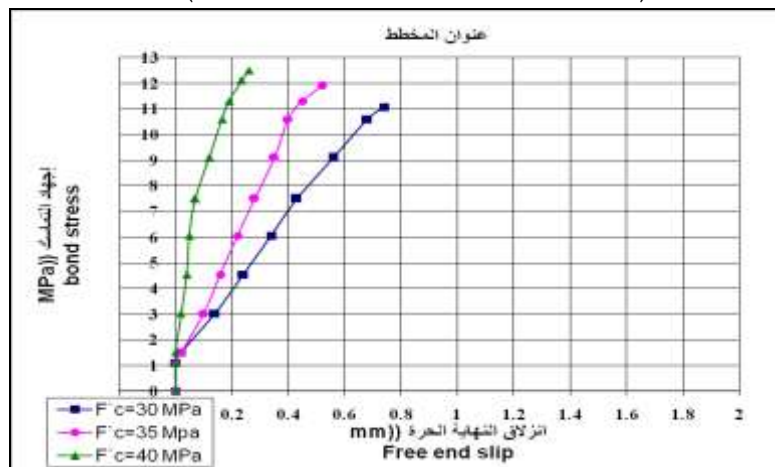
جرى تطبيق الحمولة بمعدل تقريبي (  $25 \text{ KN} / \text{min}$  ) وقد استمر التحميل حتى الوصول إلى الانهيار ونظراً للمقدار الكبير من البيانات المجموعة، فقد تم تبني فاصل حمولة قدره (4KN) إذ أخذت قراءة انزلاق النهاية الحرة ( Free – end slip ) عند كل فاصل بواسطة مقياس التشوه التفاضلي الذي وضع عند النهاية الحرة كما جرى تحميل قضيب التسليح في الشد. أما قوة التمليص فقد أخذت قراءتها عن آلة الاختبار الموجودة في مخبر كلية الهندسة المدنية .

- بعد الحصول على القيم الوسطية لأحمال التمليص جرى حساب إجهاد التماسك لكل عينة على حدة ثم حساب إجهاد التماسك الوسطي للعينات المتماثلة وهي العلاقة رقم (1) المعطاة من قبل Hughes<sup>[14]</sup>.  
حيث L الطول المغموس ويساوي (150 mm) في العينات المكعبية ذات الأبعاد (150\*150\*150 mm) ويساوي (180 mm) في العينات المكعبية المطوقة ذات الأبعاد (200\*200\*200 mm).  
- نرسم العلاقة بين إجهاد التماسك (bond stress) وانزلاق النهاية الحرة كما في الأشكال التالية.

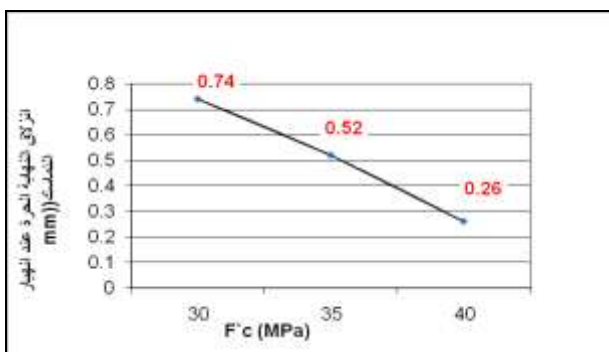
### النتائج والمناقشة:

إجهادات التماسك والانزلاقات للعينات الفولاذية السليمة :

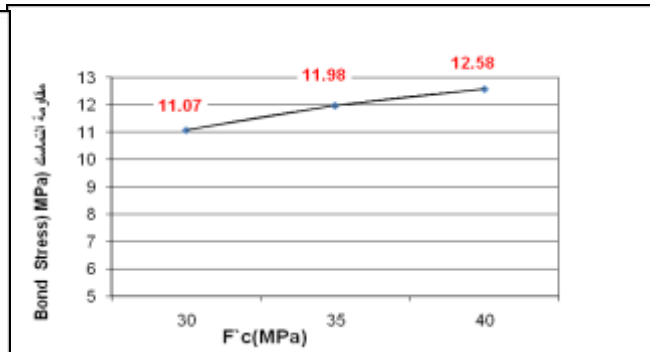
عينات القضبان المحلزنة ( Deformed / ribbed bar samples ):



شكل (13) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومات الثلاثة المستخدمة



شكل (15) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان فولاذية



شكل (14) قيم إجهاد التماسك الوسطي عند انهيار التماسك

### المغموسة في العينة الخرسانية

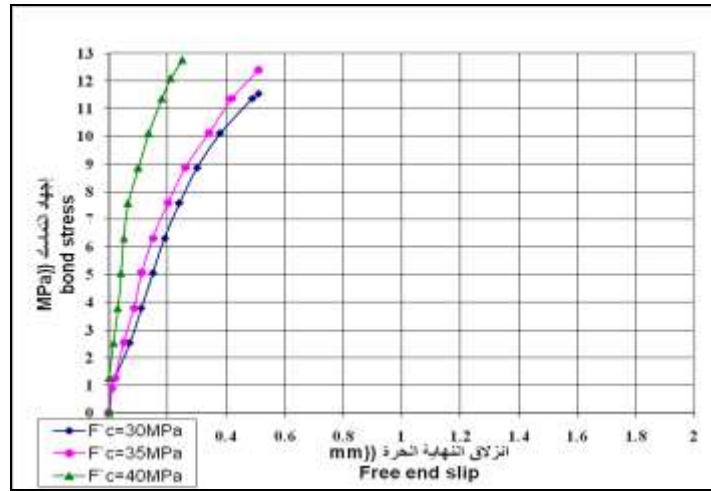
من الأشكال (13) و (14) و (15) نلاحظ أن :

a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 11.07MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة وذات مقاومة تصميمية 35MPa مساوياً للقيمة 11.98MPa أي بزيادة 8 % في إجهاد

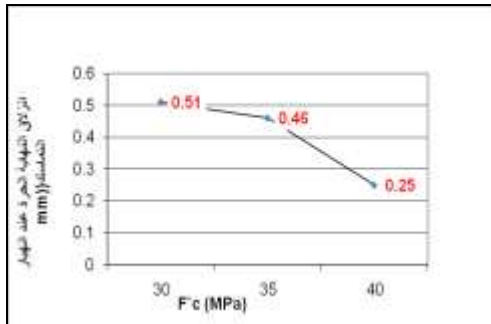
التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa وإجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة وذات مقاومة تصميمية 40MPa. مساوياً للقيمة 12.85 MPa أي بزيادة 5% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 35MPa وبزيادة قدرها 13.6% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30MPa. أي أنه عند ازدياد المقاومة يزداد إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار لعينات الخرسانية.

b-العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.74mm. وبالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 35MPa كانت قيمة الانزلاق مساوية 0.52mm إي بانخفاض مقداره 30%. أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 40 MPa كانت قيمة الانزلاق مساوية 0.26mm أي بانخفاض مقداره 50% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 35 MPa وانخفاض مقداره 64.8% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa. أي أن زيادة مقاومة البيتون تزيد إجهاد التماسك وبالتالي تقل قيم الانزلاقات المقابلة له.

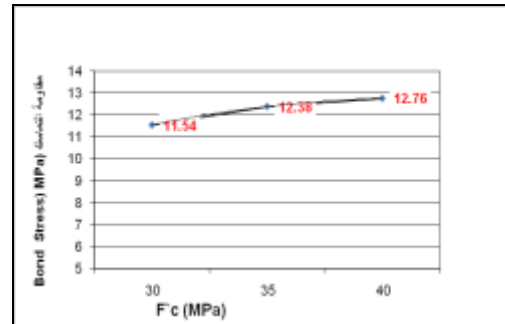
#### عينات القضبان المحلزنة والمطوقة Deformed / ribbed confinement bar samples



شكل (16) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومات الثلاثة المستخدمة



شكل (18) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية



شكل (17) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك

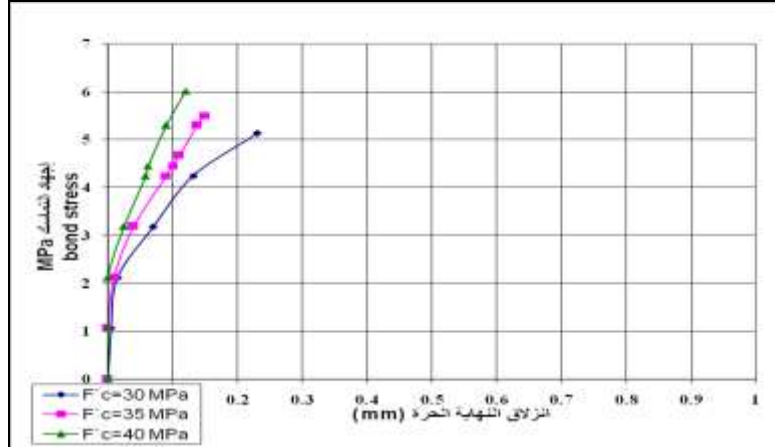
من الأشكال ( 16 ) و ( 17 ) و ( 18 ) نلاحظ أن:

a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 30MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 11.54 MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 35MPa مساوياً للقيمة 12.38 MPa أي بزيادة 7.27% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa وإجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 40MPa مساوياً للقيمة 12.76 MPa أي بزيادة 3.1% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 35 MPa وبزيادة قدرها 10.5% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 Mpa أي أنه عند ازدياد المقاومة في العينات الخرسانية المطوقة يزداد إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار .

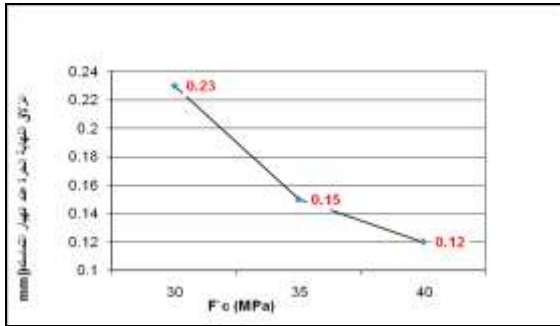
b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق ( slip ) عند انهيار التماسك مساوية 0.51mm وبالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.46mm إي بانخفاض قدره 9.8% أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 40 MPa كانت القيمة مساوية 0.25mm إي بانخفاض قدره 45.6% كذلك وبالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 35MPa وانخفاض قدره 50.9% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 30 MPa أي أنه عند ازدياد المقاومة تقل قيم الانزلاقات المقابلة لقيم انهيار التماسك الوسطي ( average bond failure ) للعينات الخرسانية المدروسة وبالتالي يزداد إجهاد التماسك .

c- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك عند الانهيار 11.54 MPa . أما العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة وذات مقاومة تصميمية 30MPa فكان إجهاد التماسك عند الانهيار 11.07% أي أن عملية التطويق قد زادت من إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 30MPa بمقدار 4.2%. وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa هو 12.38 MPa أما إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات المحلزنة وذات المقاومة نفسها كان 11.98 MPa أي أن عملية التطويق قد زادت إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 35 MPa بمقدار 2.02% . وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 40 MPa هو 12.76 MPa أما إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات المحلزنة وذات المقاومة نفسها فكان 12.58 MPa أي أن عملية التطويق قد زادت إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 40 MPa بمقدار 1.43%. نلاحظ من هذه النتائج أن عملية التطويق تزيد إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة وذلك نتيجة قوة الحصر التي يقوم بها التطويق على البيتون المحيط بالقضيب الفولاذي مما يزيد من قوة التلاحم بين البيتون وقضيب الفولاذ المغموس في العينة.

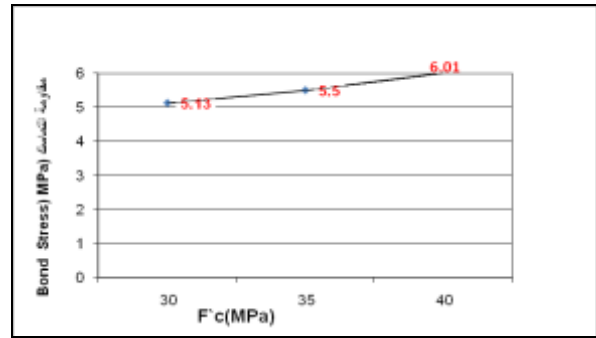
## عينات القضبان الملساء ( Plain bar samples ) :



شكل (19) يبيّن العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومات الثلاثة المستخدمة



شكل (21) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية



شكل (20) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك

من الأشكال (19) و (20) و (21) نلاحظ أن:

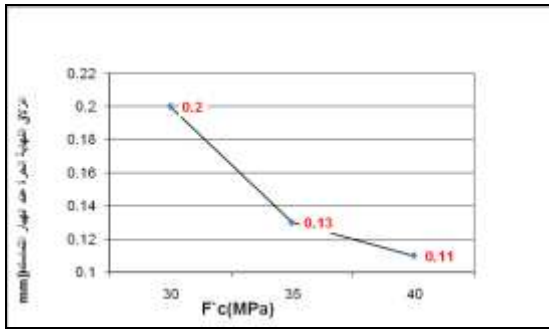
a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء وذات مقاومة تصميمية كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساو للقيمة 5.13 MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء وذات مقاومة تصميمية  $350\text{kg/cm}^2$  مساوياً للقيمة 5.5 MPa أي بزيادة ~ 7% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa وإجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء وذات مقاومة تصميمية 40 MPa مساو للقيمة 6.01 MPa أي بزيادة ~ 9% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 35 MPa وبزيادة قدرها ~ 17% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa. أي أنه عند ازدياد المقاومة يزداد إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار.

b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق (slip) مساوية 0.23 mm، وبالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق مساوية 0.15 mm أي بانخفاض مقداره ~ 35%. أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 40 MPa كانت قيمة الانزلاق مساوية 0.12 mm أي بانخفاض مقداره 13% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 35 MPa وانخفاض مقداره ~ 48% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa.

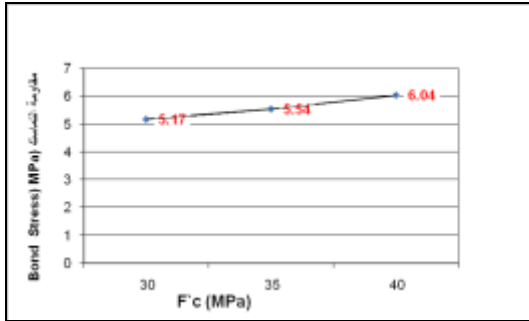
عينات القضبان الملساء والمطوقة : Plain confinement bar samples



شكل (22) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومات الثلاثة المستخدمة



شكل (24) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية



شكل (23) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك

من الأشكال (22) و (23) و (24) نلاحظ أن:

a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 5.17 MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa مساوياً للقيمة 5.54 MPa أي بزيادة ~ 7 % في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa وإجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة وذات مقاومة تصميمية 40 MPa مساو للقيمة 6.04 MPa أي بزيادة ~ 9 % في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 35 MPa وبزيادة قدرها ~ 17 % في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 Pa .

أي أنه عند ازدياد المقاومة في العينات الخرسانية المطوقة يزداد إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار .  
b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق (slip) كان إجهاد التماسك عند الانهيار 0.2 mm وبالنسبة للعينات الخرسانية وذات مقاومة تصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية لـ 0.13 mm أي بانخفاض قدره 35 % أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 40 MPa فكانت القيمة مساوية 0.11 mm أي بانخفاض قدره ~ 15% وذلك بالنسبة للعينات الخرسانية وذات مقاومة تصميمية 35 MPa وانخفاض قدره 45% وذلك بالنسبة للعينات

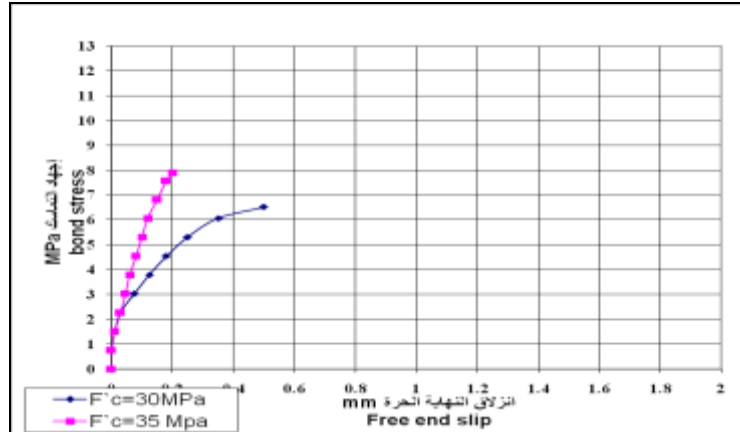
الخرسانية وذات مقاومة تصميمية 30 MPa. أي أنه عند ازدياد المقاومة تقل قيم الانزلاقات المقابلة لقيم انهيار التماسك الوسطي ( average bond failure ) للعينات الخرسانية المدروسة وبالتالي تزداد المقاومة.

C- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة ذات مقاومة تصميمية 30MPa كان إجهاد التماسك عند الانهيار 5.17MPa أما العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء وذات مقاومة تصميمية 30 MPa فكان إجهاد التماسك عند الانهيار 5.13MPa أي أن عملية التطويق قد زادت من إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 30MPa بمقدار 0.78% . وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة وذات المقاومة التصميمية 35 MPa 5.54 MPa . أما إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات الملساء وذات المقاومة نفسها فكان 5.5MPa أي أن عملية التطويق قد زادت من إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 35 MPa بمقدار 0.72% . وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومطوقة وذات المقاومة التصميمية 40 MPa مساو للقيمة 6.04 MPa . أما إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات الملساء وذات نفس المقاومة كان 6.01% أي أن عملية التطويق قد زادت من إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات ذات المقاومة 40 MPa بمقدار 0.5%.

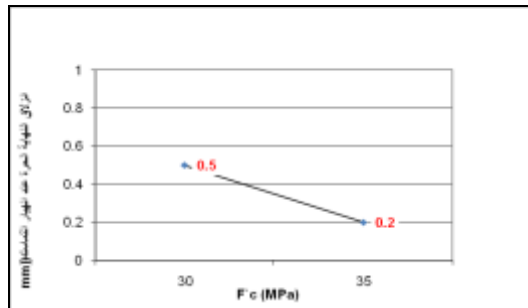
نلاحظ من هذه النتائج أن عملية التطويق تزيد من إجهاد التماسك بقيمة قليلة جداً ويمكن اهمالها.

إجهادات التماسك والانزلاق للعينات الفولاذية المتآكلة:

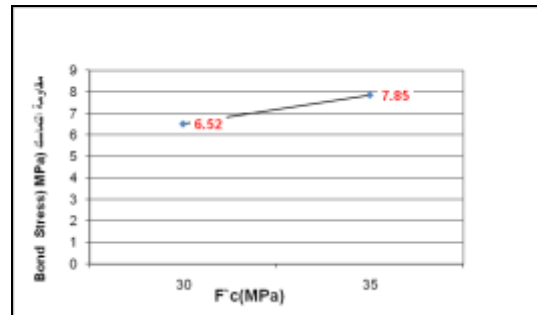
عينات القضبان المحلزنة المتآكلة ( Corrosion Deformed / ribbed bar samples ):



شكل (25) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومتين الاثنتين المستخدمتين



شكل (27) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية



شكل (26) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك



من الأشكال (25) و (26) و (27) نلاحظ أن :

a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة متآكلة وذات مقاومة تصميمية 30MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 6.52MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة متآكلة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa مساوياً للقيمة 7.85MPa أي بزيادة 20.3% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 40 Mpa فلم يحدث الصداً للقضبان المحلزنة ضمن شروط التجربة نفسها، إذ يمكن اعتبار البيتون ذي المقاومة 40MPa بيتون ذا مقاومة جيدة للصداً.

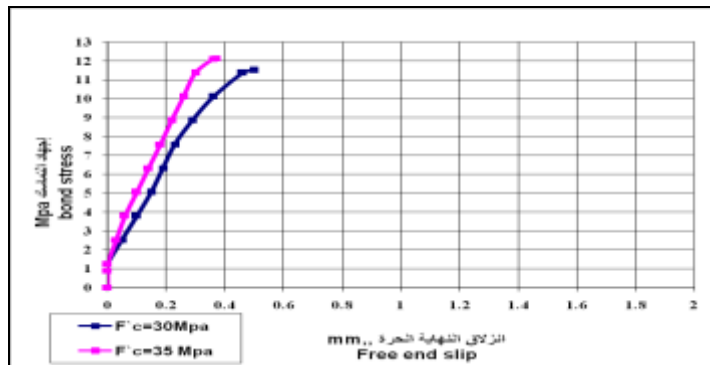
b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة متآكلة ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.5mm. وبالنسبة للعينات المحلزنة السليمة ذات المقاومة نفسها التصميمية كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.74mm أي انه نتيجة الصداً قد انخفض إجهاد التماسك للعينات ذات المقاومة نفسها وبالتالي انخفضت قيمة الانزلاق المرافق له بمقدار  $\sim 32.4\%$ . و العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة متآكلة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية للقيمة 0.2mm. أما بالنسبة للعينات المحلزنة السليمة ذات المقاومة التصميمية نفسها كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية للقيمة 0.52mm.

أي نتيجة الصداً قد انخفض إجهاد التماسك للعينات ذات المقاومة نفسها وبالتالي انخفضت قيمة الانزلاق المرافق له بمقدار 61.53%.

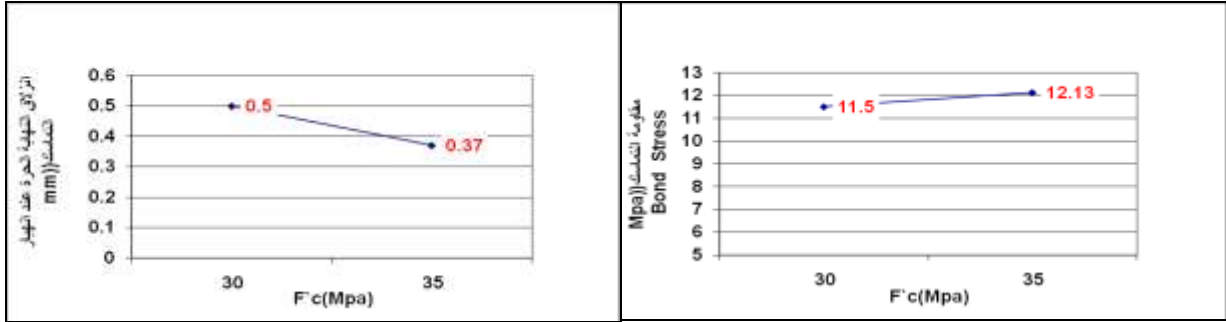
c- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ذات مقاومة تصميمية 30MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً 6.52mm. وبالنسبة للعينات المحلزنة السليمة وذات المقاومة التصميمية نفسها كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً 11.07MPa أي أن عملية الصداً قد قللت من إجهاد التماسك للعينات ذات المقاومة التصميمية نفسها بمقدار  $\sim 41.1\%$ . أما بالنسبة للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة متآكلة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 7.85MPa أما بالنسبة للعينات المحلزنة السليمة وذات نفس المقاومة التصميمية كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 11.98 MPa أي ان عملية الصداً قد قللت من إجهاد التماسك للعينات ذات المقاومة التصميمية نفسها بمقدار 34.47%.

عينات القضبان المحلزنة والمطوقة المتآكلة ( Corrosion Deformed / ribbed confinement bar )

:( samples



شكل(28) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومتين الاثنتين المستخدمتين



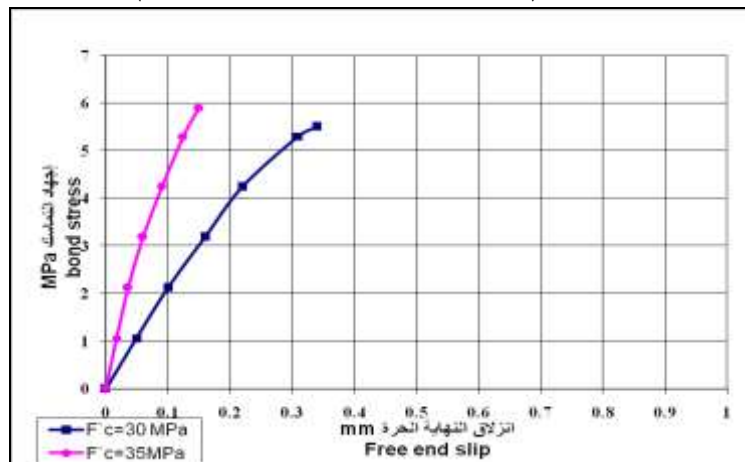
شكل (29) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك شكل (30) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية

من الأشكال (28) و (29) و (30) نلاحظ أن :

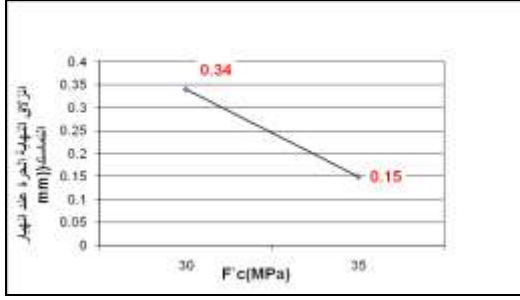
a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة ومتآكلة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 11.5 MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة ومطوقة ومتآكلة وذات مقاومة تصميمية 35MPa مساوياً للقيمة 12.13MPa أي بزيادة ~ 5.47 % في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 40 MPa فلم تحصل حادثه الصدأ للقضبان المحلزنة فيها ضمن شروط التجربة حيث إنه تركت العينات أكثر من ثلاثة أشهر ولم تظهر عليها تشققات ولم يحدث فيها ارتفاع في التيار الكهربائي وهذا دليل على عدم حدوث الصدأ في قضيب التسليح المغموس في العينة. حيث يمكن اعتبار البيتون ذي المقاومة 40MPa بيتون ذا مقاومة جيدة للصدأ.

b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان محلزنة مطوقة ومتآكلة ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.5 mm . أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة التصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.37 mm إي بانخفاض مقداره 26%.

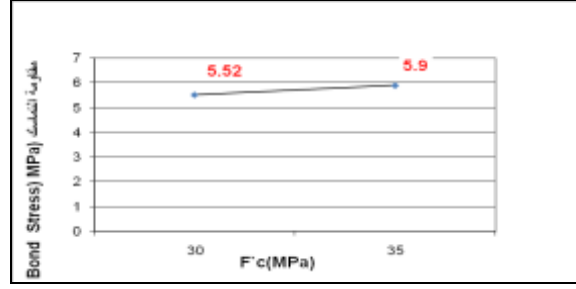
عينات القضبان الملساء والمتآكلة (Corrosion plain bar samples):



شكل (31) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومتين الاثنتين المستخدمتين



شكل (33) قيم انزلاقات النهايات الحرة للقضبان الفولاذية المغموسة في عينة التماسك الخرسانية



شكل (32) قيم إجهادات التماسك الوسطية عند انهيار التماسك

من الأشكال (31) و (32) و (33) نلاحظ أن :

a- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساو للقيمة 5.52 MPa وكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة وذات مقاومة تصميمية 35 MPa مساوياً للقيمة 5.9 MPa أي بزيادة 6.88% في إجهاد التماسك بالمقارنة مع العينة الخرسانية ذات المقاومة 30 MPa. أما بالنسبة للعينات الخرسانية ذات المقاومة 40 MPa فلم تحصل حادثة الصدأ للقضبان المحلزنة فيها ضمن شروط التجربة حيث إن تركت العينات أكثر من ثلاثة أشهر ولم يحدث فيها ارتفاع في التيار الكهربائي.

b- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة وذات مقاومة تصميمية 30 MPa كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساو 5.52 MPa. وبالنسبة للعينات الملساء السليمة وذات المقاومة التصميمية نفسها كان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً 5.13 MPa أي أن عملية الصدأ قد زادت من إجهاد التماسك للعينات ذات نفس المقاومة التصميمية بمقدار ~ 7.6%.

أما بالنسبة للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة ذات مقاومة تصميمية 35 MPa فكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 5.9 MPa. أما بالنسبة للعينات الملساء السليمة وذات نفس المقاومة التصميمية فكان إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار مساوياً للقيمة 5.5 MPa أي أن عملية الصدأ قد زادت إجهاد التماسك للعينات ذات المقاومة التصميمية 35 MPa بمقدار 7.27%.

c- العينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة ذات مقاومة تصميمية 30 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.34 mm. أما بالنسبة للعينات الملساء السليمة وذات المقاومة التصميمية نفسها فكانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية للقيمة 0.23 mm أي أن نتيجة عملية الصدأ فقد ازداد مقدار الانزلاق بمقدار 47.8%. أما بالنسبة للعينات الخرسانية التي تحتوي على قضبان ملساء ومتآكلة ذات مقاومة تصميمية 35 MPa كانت قيمة الانزلاق عند انهيار التماسك مساوية 0.15 m وهي قيمة الانزلاق نفسها للعينات الملساء السليمة عند المقاومة نفسها.

أي أنه نتيجة الصدأ يزداد انزلاق القضبان الملساء ونقل قيمته مع ازدياد المقاومة التصميمية بحيث إنه يبقى على ما هو عليه أو يزداد بمقدار ضئيل.

## قانون إجهاد التماسك في البيتون المسلح في حالة الصدا:

من الشكلين (14) و (26) واللذين يمثلان العلاقة بين إجهاد التماسك والمقاومة التصميمية  $F'_c$  تم استخلاص معادلة إجهاد التماسك المقترحة بدلالة المقاومة للعينات المحلزنة السليمة المعادلة (2) والمتآكلة المعادلة (3):

$$\zeta_{b1} = -0.0062F'_c{}^2 + 0.585F'_c - 0.9 \quad (2)$$

$$\zeta_{b2} = 0.266F'_c - 1.46 \quad (3)$$

ومن الشكلين (20) و (32) تم استخلاص إجهاد التماسك للعينات الملساء السليمة المعادلة (4) والمتآكلة المعادلة (5):

$$\zeta_{b1} = 0.0028F'_c{}^2 - 0.108F'_c + 5.85 \quad (4)$$

$$\zeta_{b2} = 0.076F'_c + 3.24 \quad (5)$$

وبحساب العامل C والذي يمثل نسبة تغير إجهاد التماسك للعينات نتيجة التآكل

$$C = \frac{\zeta_{b2}}{\zeta_{b1}} \quad (6)$$

تكون قيمة العامل C للفضبان المحلزنة (7)

$$C = 0.266F'_c - 1.46 / (-0.0062F'_c{}^2 + 0.585F'_c - 0.9)$$

وتساوي 0.59 عند مقاومة البيتون 30 MPa وتساوي 0.65 عند مقاومة البيتون 35 Mpa.

وتكون قيمة C للفضبان الملساء (8)  $C = 0.076F'_c + 3.24 / (0.0028F'_c{}^2 - 0.108F'_c + 5.85)$

وتساوي 1.08 عند مقاومة البيتون 30 Mpa وتساوي 1.07 عند مقاومة البيتون 35 Mpa.

من المعادلة رقم (1) وبعد إدخال المعامل C نستنتج أن إجهاد التماسك بوجود الصدا يمكن أن يمثل بالعلاقة

التالية:

$$\zeta b = F / (\pi \phi L) \times C \quad (9)$$

وبمقارنة نتائج التجارب المدروسة نجد أن إجهاد التماسك ينخفض نتيجة التآكل للعينات المحلزنة بنسبة 41.1% عند المقاومة 30MPa ، وبنسبة 34.4% عند المقاومة 35MPa. ويزداد إجهاد التماسك نتيجة التآكل للعينات الملساء بنسبة 7.6% عند المقاومة 30 MPa وبنسبة 7.27% عند المقاومة 35MPa، وهذا ما يتوافق مع قيمة العامل C عند المقاومتين (30-35 MPa).

## الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن عملية التطويق تزيد من إجهاد التماسك عند الانهيار للعينات الخرسانية المحلزنة والملساء وتقلل من قيمة الانزلاقات عند انهيار التماسك لنوعي العينة الخرسانية المدروسة ولكن أهميتها تقل مع ازدياد المقاومة للبيتون المحيط.

2- إن عملية الصدا تقلل من إجهاد التماسك وذلك للعينات المحلزنة (المطوقة والعادية).

3- إن الصدا الخفيف لفولاذ التسليح الأملس الذي يحدث عند الارتفاع المفاجئ لشدة التيار الكهربائي يزيد من إجهاد التماسك.

- 4- يزداد إجهاد التماسك الوسطي عند الانهيار بزيادة مقاومة البيتون وذلك للعينات الخرسانية (المطوقة والعادية) و ذات القضبان (الملساء والمحلزنة).
- 5- للتنبؤ الأكثر دقة بالأداء المرضي ( Satisfactory Performance ) للعينات الفولاذية المعرضة للصدأ والمغموسة في العينات الخرسانية ذات المقاومات العالية 40 MPa وما فوق لا بد من إجراء اختبارات طويلة الأمد ( Long – term test ) لهذه العينات فيما يخص تأثير الصدأ والتآكل عليها.

### المراجع:

- 1 MEYER, C. *Design of Concrete Structures*. Prentice, Hall, Inc, New Jersey, 1996, 70-75.
- 2 A REVEL, G.TACHE. *Rôle et Déterminâtes de a chlorures dans le béton conférence*. CE FRANCON, France, 12-13 Oct. 1998 , 58-65.
- 3 BRETHERTON,N.,THOMPSON,G.E.andTURGOOSE S. *An Electrochemical Investigation of the Development of Phosphate Corrosion Coating*. Corrosion Science, Vol. N° .35(5-9), 1993,1297-1303.
- 4 BENTUR, A.; DIAMOND, S. ;BERKE, N. *Steel Corrosion in Concrete* . E& FN Spon London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 1997,85-97.
- 5 أ.د أبو المجد، شريف؛ أ.د. سلامة ، عمرو ؛ أ.د. كمال، منير. ؛ أ.م.د. الايباري، شادية . *تصدع المنشآت الخرسانية ، وطرق إصلاحها*. دار النشر للجامعات المصرية ، مكتبة الوفاء، مصر، 1993، 200-250.
- 6 KANKAM, B . *Strength of Reinforcing Steel Bars Milled From Scrap Metals*. Materials & Design, Vol.N° .25 , 2004, 231-238.
- 7 PARK ,P.; PAULAY, T. *Reinforced concrete structure* . John WILEY & Sons ,New York , London , Sydney, Toronto, 1975,392-407.
- 8 ASTM Designation: C234, *Bond Strength of Concrete Developed with Reinforcing Steel* . Philadelphia, 1991,102-117.
- 9 GUERRIN ,A.; LAUAUR, R.C. *Traite de Béton Arme I*.DUNOD, 1973,33-65.
- 10 ACI Committee(211-22) . *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal , Heavy Weight, and Mass Concrete*. American Concrete institute , 1991,part-1.
- 11 L. Chung , et al., *Correction Factor Suggestion for ACI Development Length Provision based on flexural testing of RC slabs 3 with various levels of corroded reinforcing bars*, Engineering Structures, Vol. N° .26(8)(2004)1013-1026.
- 12 SOYLEV, T.A.; FRANCOIS R. *Quality of Steel- Concrete Interface and Corrosion of Reinforcing Steel*, Cement and Concrete Research, Vol. N° .33,2003,1407-1415.
- 13 SARICIMEN,H.*Effectiveness of Concrete Inhibitors in Retarding Rebar Corrosion*, Cement and Concrete Composites, Vol. N° .24,2002,89-100.
- 14 HUGHES, B.P. *Limit State Theory for Reinforced Concrete Design*. Pitman Publishing Pty LTD, Melbourne, Petman Publishing New Zealand LTD, Wellington Copp Clark Pitman , Toronto, third edition ,1980,133-156.

