The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 4, Issue 3, 2026
Page No: 240-250
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 معامل التأثير العربي (AIF) 2025: 0.69 ISI 2024: 0.696

Assessing the Quality of Concrete Reinforcing Steel in the Libyan Market and the Impact of Weather Conditions on It

Ahmed Abdelnour Kindi[1*], Atiya Njea Abdulsslam Njea[2]
[1]Department of Civil Engineering, Institute of Engineering Techniques, Zliten, Libya
[2]Department of Civil Engineering, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya

تقييم جودة حديد تسليح الخرسانة في السوق الليبي ومدى تأثير العوامل الجوية عليه

احمد عبد النور كندي[1*]، عطية نجي نجي[2]
[1]قسم الهندسة المدنية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا
[2]قسم الهندسة المدنية، الجامعة الاسمرية الاسلامية، زليتن، ليبيا

*Corresponding author: Ahmedkondi2001@yahoo.com

Received: May 17, 2026 Accepted: July 26, 2026 Published: August 10, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

The Libyan market offers various types of reinforcing steel used in concrete structures. This study focuses on the most widely used types, specifically those produced at the Misrata, Benghazi, and Zliten plants. Given that most sales outlets and project sites in Libya store steel in open areas exposed to various weather conditions, it is essential to evaluate the quality of each type and determine how their mechanical properties are affected after a period of storage. A series of tests, including tensile, hardness, and bending tests, was conducted on each type of reinforcing steel using 12 mm diameter bars. These tests aimed to evaluate the mechanical performance of the steel under various conditions and over different timeframes, covering parameters such as tensile and bending strength, load-bearing capacity prior to permanent deformation, shear strength, elongation, and hardness. The results showed that all samples passed the bending test without cracking or fracturing, while a gradual decline in yield and shear stress values was observed following exposure to atmospheric conditions. Additionally, steel from the Misrata plant exhibited the highest load resistance, whereas steel from the Zliten plant showed the highest elongation values, and steel from the Benghazi plant demonstrated the highest average hardness values.

Keywords: Concrete reinforcing steel; Mechanical properties; Yield stress; Tensile strength; Shear strength.

الملخص

يحتوي السوق الليبي على عدة أنواع من حديد التسليح المستخدم في المباني الخرسانية وفي هذه الدراسة تم تسليط الضوء على أكثر الأنواع استخداما والمتمثلة في حديد مصنع مصراته وحديد مصنع بنغازي وحديد مصنع زليتن وبما ان اغلب محلات البيع ومواقع المشاريع في ليبيا تقوم بتخزين الحديد في أماكن مفتوحة ومعرّضة للعوامل الجوية المختلفة وجب التعرف على جودة كل نوع ومدى تأثر خصائصه الميكانيكية بعد فترة من التخزين. أجريت مجموعة من الاختبارات على كل نوع من حديد التسليح ومن هذه الاختبارات (اختبار الشد، الصلادة، الثني) وقد تم اجراء هذه الاختبارات على اسياخ حديد بقطر12مم، حيث هدفت هذه الاختبارات إلى تقييم الأداء الميكانيكي للحديد تحت ظروف وفترات زمنية مختلفة، وشملت قياس مقاومة الحديد للشد والانحناء و قدرته على التحمل قبل حدوث التشوه الدائم، ومقاومة القص، ومدى استطالته وصلادته. اظهرت النتائج نجاح جميع العينات في اختبار الثني دون حدوث تشققات او كسور، بينما اظهرت انخفاضا

تدريجيا في قيم اجهاد الخضوع واجهاد القص بعد فترة زمنية من التعرض للعوامل الجوية، كما سجل حديد مصنع مصراته اعلى مقاومه للأحمال، في حين سجلت لحديد مصنع زليتن أعلى قيم للاستطالة، واظهر حديد مصنع بنغازي أعلى قيم لمتوسط الصلادة.

الكلمات المفتاحية: حديد تسليح الخرسانة، الخواص الميكانيكية، إجهاد الخضوع، مقاومة الشد، مقاومة القص.

مقدمة:

إن جودة حديد التسليح تمثل عاملاً حاسمًا في سلوك المنشآت الخرسانية وقدرتها على مقاومة الأحمال المختلفة، سواء كانت أحمالاً ثابتة أو متغيرة، إضافة إلى مقاومتها للعوامل البيئية المحيطة، عليه فان اي انخفاض او تغير في قيم خواص الحديد الميكانيكية أو الكيميائية، أو حدوث مشاكل مثل الصدأ والتآكل ينتج عنه ضعف في الترابط مع الخرسانة مما يؤدي الى تقليل العمر الافتراضي للمنشآت وحدوث خسائر إنشائية واقتصادية كبيرة ومع تنوع واختلاف الظروف المناخية والبيئية في ليبيا من ارتفاع نسبة الرطوبة في المناطق الساحلية الى ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الصحراوية تزداد خطورة هذه المشكلة. وتؤثر هذه العوامل الجوية بشكل مباشر على حديد التسليح أثناء التخزين أو بعد الاستخدام، لهذا السبب وجب الحرص على أن يكون حديد التسليح الموجود بالسوق الليبي المحلي مطابق للمواصفات والمعايير القياسية الليبية لضمان جودة وسلامة الأعمال الإنشائية.

تهدف هذه الدراسة الى تقييم جودة الحديد والتعرف على التغيرات التي تطرأ على خواصه نتيجة تعرضه الى العوامل الجوية المختلفة بهدف تحسين ممارسات الاختيار والتخزين والاستخدام في قطاع البناء.

أولا: حديد التسليح:

يعد الحديد أحد الفلزات القوية وأكثرها أهمية للأغراض الهندسية وأبرزها قضبان التسليح المستخدمة في أعمال البناء.ونظرا للتنافس المستمر في السوق الليبي بين القطاعات العامة والخاصة، أنشئت حديثا بعض المصانع الخاصة لتصنيع حديد التسليح ومنها على سبيل المثال لا للحصر مصنع زليتن ومصنع سيدي السائح الخاصين بتصنيع حديد التسليح (الرويمي واخرون، 2019) وعليه فان حديد التسليح يعتبر من أهم المواد الإنشائية في المنشآت الخرسانية المسلحة، حيث يُستخدم لتعويض ضعف الخرسانة في مقاومة قوى الشد، بينما تتحمل الخرسانة قوى الضغط، يعمل الحديد والخرسانة معًا كوحدة واحدة لضمان سلامة المنشآت وقدرتها على تحمل الأحمال المختلفة.

يُصنع حديد التسليح من الفولاذ الكربوني، ويتوفر بأقطار وأطوال متعددة تُختار حسب نوع العنصر الإنشائي والأحمال المؤثرة عليه. ومن أهم خصائصه الميكانيكية مقاومة الشد، وحد الخضوع، والاستطالة، والتي تعكس جودة الحديد وقدرته على التشوه الآمن قبل الانهيار، كما تؤثر التركيبة الكيميائية، خاصة نسبة الكربون، على هذه الخصائص بشكل مباشر. يُستخدم حديد التسليح في جميع عناصر المنشآت الخرسانية مثل القواعد، الأعمدة، الكمرات، والبلاطات، ويختلف توزيعه وكميته حسب وظيفة كل عنصر، ويُعد التماسك الجيد بين الحديد والخرسانة عاملًا أساسيًا لنجاح النظام الإنشائي، ويتم تحقيقه باستخدام أسياخ محززة أو مضلعة.

تخضع صناعة حديد التسليح لمواصفات قياسية محلية وعالمية، كما يتم فحصه مخبريًا من خلال اختبارات مثل الشد والثني للتأكد من مطابقته للمعايير المطلوبة، ويُعتبر الصدأ والتآكل من أخطر المشاكل التي تواجه الحديد، خاصة في البيئات الرطبة والساحلية، حيث يؤديان إلى ضعف المقطع وتشقق الخرسانة. تلعب طرق التخزين والنقل وجودة التنفيذ والالتزام بتفاصيل التسليح والغطاء الخرساني دورًا مهمًا في حماية الحديد وإطالة عمر المنشأة، كما تؤثر جودة حديد التسليح بشكل مباشر على التكلفة الاقتصادية وعمر المشروع الافتراضي

وبشكل عام، فان الخرسانة تتحمل الجزء الأكبر من مقاومة الضغط بينما الحديد يتحمل الجزء الأكبر من مقاومة الشد ولذلك فان نجاح المنشآت الخرسانية المسلحة يعتمد على حسن اختيار حديد التسليح، وجودة تصنيعه، والالتزام بالمواصفات الفنية في جميع مراحل التصميم والتنفيذ، مما يحقق السلامة والمتانة والاستدامة (الزياني واخرون،2023).

أ- المصانع الرئيسية في السوق الليبي (مصراته _ زليتن _ بنغازي _ السائح):

يُعد قطاع صناعة الحديد والصلب من القطاعات الاستراتيجية في ليبيا، نظرًا لدوره الحيوي في دعم مشاريع البناء والبنية التحتية. وتعتمد السوق الليبية بدرجة كبيرة على الإنتاج المحلي لحديد التسليح، والذي يتم توفيره من خلال مجموعة من المصانع الرئيسية المنتشرة في عدة مناطق، أبرزها مصراته، زليتن، بنغازي، والسائح. وتختلف هذه المصانع من حيث الطاقة الإنتاجية، مستوى التقنية، والالتزام بالمواصفات القياسية، إلا أنها تشكل مجتمعة العمود الفقري لإمدادات حديد التسليح داخل البلاد .

- **مصراته – الشركة الليبية للحديد والصلب (LISCO)**

تُعد الشركة الليبية للحديد والصلب، الواقعة في المنطقة الصناعية بمدينة مصراته، أكبر وأهم منشأة لإنتاج الحديد والصلب في ليبيا. تمتلك الشركة طاقة إنتاجية كبيرة تشمل إنتاج حديد التسليح بمقاسات مختلفة، إضافة إلى القضبان والأسياخ ومنتجات فولاذية أخرى. وتعتمد الشركة على خطوط إنتاج متطورة نسبيًا، وتعلن التزامها بتطبيق مواصفات قياسية عالمية مثل (ASTM, 2022) و (BS, 2005) إلى جانب المواصفات الليبية المعتمدة. وبفضل حجم إنتاجها وانتشار منتجاتها في مختلف المدن الليبية، تُعتبر الشركة المرجع الأساسي للمقاولين والاستشاريين، كما تلعب دورًا محوريًا في استقرار أسعار حديد التسليح في السوق المحلي. (LISCO, 2026)

- **زليتن – مصانع القطاع الخاص للحديد والصلب**

تضم مدينة زليتن عددًا من مصانع الحديد الخاصة التي بدأت نشاطها منذ ثمانينات القرن الماضي، ويُعد مصنع زليتن للحديد والصلب من أبرزها وهو مملوك بالكامـل لمجموعة التومي(Altoumigroup, 2026) حيث تنتج هذه المصانع قضبان وأسياخ التسليح ولفائف الأسلاك ومنتجات فولاذية أخرى تُستخدم على نطاق واسع في المشاريع السكنية والخدمية. وتتميز مصانع زليتن بقربها من مناطق الاستهلاك في الغرب والوسط الليبي، مما يجعلها موردًا رئيسيًا وسريعًا للسوق. إلا أن جودة المنتجات قد تختلف نسبيًا من مصنع لآخر تبعًا لمستوى الرقابة الفنية ونوعية المواد الخام المستخدمة.

- **بنغازي – المشروعات والتطورات الحديثة في الشرق الليبي**

تاريخيًا، تركزت صناعة الحديد والصلب في مدينتي مصراته وزليتن، إلا أن السنوات الأخيرة شهدت توجهًا واضحًا نحو تنمية هذا القطاع في المنطقة الشرقية، وخاصة في بنغازي ورأس المنقار. وقد تم الإعلان عن عدد من المشاريع الاستثمارية، بعضها بالشراكة مع شركات عالمية، لإنشاء مجمعات صناعية متكاملة لإنتاج الحديد المختزل مباشر (DRI) ومنتجات الصلب المختلفة. وعلى الرغم من أن بعض هذه المشاريع لا يزال في مراحل الإنشاء أو التشغيل الجزئي، إلا أنها تمثل خطوة مهمة نحو تحقيق التوازن الجغرافي في الإنتاج، وتقليل الاعتماد على مناطق محددة كمصدر وحيد لحديد التسليح.

ب- مشاكل حديد التسليح في السوق الليبي ومدى تأثره بالعوامل الجوية وطرق معالجته وحمايته

يُعتبر حديد التسليح في السوق الليبي من المواد الحيوية التي يعتمد عليها قطاع البناء بشكل كبير. ومع ذلك، أظهرت دراسات ميدانية ومخبرية أن هناك مشاكل متكرّرة في جودة بعض أنواع الحديد المنتشرة في الأسواق، سواء المنتجة محلياً أو المستوردة.

- **تفاوت في جودة الإنتاج**

من أبرز المشكلات المسجّلة هو تفاوت الخواص الميكانيكية والكيميائية بين دفعات الإنتاج المختلفة. بعض العينات المنتجة في مصانع محلية مثل مصنع زليتن وبعض الورش الصغرى أظهرت انحرافاً طفيفاً في مقاومة الشد والاستطالة مقارنة بالمواصفات القياسية الليبية، في حين أن منتجات مصنع مصراته (LISCO, 2022) غالباً ما تكون أكثر استقراراً في الجودة نتيجة نظام رقابة صارم على مراحل الإنتاج.

- **مشاكل القياسات والأبعاد**

لوحظ في بعض الأسواق وجود قضبان يقل وزنها الطولي عن القيمة النظرية بنسبة تتراوح بين (2–5%)، ما يعني أن قطرها الفعلي أقل من المعلن، وهذا يؤدي إلى انخفاض في قدرة التحمل التصميمية للخرسانة المسلحة.

- **مشاكل التخزين والنقل**

كثير من محلات البيع ومواقع المشاريع في ليبيا تقوم بتخزين الحديد في أماكن مفتوحة ومعرّضة للأمطار والرطوبة، مما يؤدي إلى بدء عملية الأكسدة (الصدأ) حتى قبل استعمال الحديد في الصبّ الخرساني. هذه الممارسات الخاطئة تتسبب في خسارة جزء من طبقة الحماية السطحية للحديد.

ثانيا: تأثير العوامل الجوية على حديد التسليح

تُعتبر العوامل الجوية من أهم الأسباب التي تُسهم في تدهور المواد الخرسانية (البزيع، 2024) ومنها حديد التسليح داخل الخرسانة وخاصة في بيئة مثل الدولة الليبية التي تمتاز بتنوع مناخي واضح بين الساحل والصحراء ومن هذه العوامل:

- **الرطوبة ووجود الأملاح**

في المناطق الساحلية (طرابلس، بنغازي، مصراته)، ترتفع نسبة الرطوبة الجوية بشكل كبير، كما تكون الأملاح البحرية (الكلوريدات) منتشرة في الهواء والماء، هذه الأملاح عندما تتغلغل إلى داخل الخرسانة، تبدأ بالتفاعل مع سطح الحديد مسببة تآكل كهروميكانيكي يؤدي إلى تكون أكاسيد الحديد ($Fe_2O_3.NH_2O$) ينتج عن هذا التآكل تمدد في حجم الحديد ليصل إلى أكثر من 6 أضعاف حجمه الاصلي، مما يؤدي إلى تشقق الغطاء الخرساني وانفصاله وتتزايد سرعة التآكل بوجود الرطوبة المتكررة والتجفيف الدوري، وهو ما يحدث عادة في مناطق الساحل الليبي بسبب تغيرات الطقس اليومية وتشير الأبحاث الى ان ارتفاع الرطوبة قد تؤدي الى تدهور أداء الخرسانة بنسبة تصل الى 25% (البزيع، 2024).

- **درجات الحرارة العالية**

في المناطق الداخلية مثل سبها والكفرة، تصل درجات الحرارة صيفاً إلى أكثر من 45 درجة مئوية. هذا يؤدي إلى تمدّد وانكماش متكرر للحديد داخل الخرسانة، مما يولّد إجهادات داخلية دقيقة مع الزمن كذلك تسرّع الحرارة العالية معدّل التفاعلات الكيميائية المسؤولة عن الأكسدة، خاصة إذا وُجدت رطوبة أو مسام مفتوحة في الخرسانة، بالإضافة الى ذلك يمكن ان يؤدي ارتفاع الحرارة الى تبخر المياه داخل الخرسانة الحديثة الصب مما يزيد من تركيز المواد الكيميائية الضارة مثل الاملاح (البزيع، 2024).

- **التغيرات الموسمية والرياح المحملة بالأتربة والأملاح**

الرياح القادمة من البحر أو الصحراء كثيراً ما تكون مشبعة بالأملاح الدقيقة أو الغبار المعدني. عند تراكمها على سطح الحديد المكشوف، تتشكل طبقة موصلة للكهرباء تُسرّع من عملية الصدأ. كما أن تغير المواسم بين فترات الجفاف والأمطار

يُحدث ما يُعرف بدورات (Wet-Dry Cycles) التي تعتبر من أكثر العوامل تسريعاً لتآكل الحديد وبالتالي يؤدي الى تدهور الهيكل (البزيع، 2024).

ثالثا: البرنامج العملي

أجريت مجموعة من الاختبارات على حديد التسليح المستخدم في السوق الليبي بهدف دراسة الفروقات بين الأنواع المتوفرة محليًا، والمتمثلة في حديد مصنع مصراته وحديد مصنع زليتن وحديد مصنع بنغازي، ومعرفة مدى جودة كل نوع وتأثير خصائصه الميكانيكية على سلامة واستدامة المباني الخرسانية وقد تم اجراء هده الاختبارات على حديد بقطر12مم (Ø12mm)، وتهدف هذه الاختبارات إلى تقييم الأداء الميكانيكي للحديد تحت ظروف مختلفة، وتشمل قياس مقاومة الحديد للشد والانحناء، وقدرته على التحمل قبل حدوث التشوه الدائم، بالإضافة الى مقاومته للقص، ومدى استطالته، وصلادته. كما تساعد هذه التجارب على معرفة تأثير العوامل البيئية مثل التعرض للرطوبة على خصائص الحديد، مما يوفر مؤشرات مهمة حول قدرة الحديد على أداء وظيفته في الظروف الواقعية. باختصار تمثل هذه الاختبارات خطوة مهمة في التأكد من مطابقة الحديد للمواصفات القياسية، وضمان سلامة المنشآت، والحد من مخاطر الفشل الإنشائي أو حدوث التشققات أو الانهيار المفاجئ تحت الأحمال المختلفة وتتمثل الاختبارات التي تم اجراؤها فيما يلي:

- اجهاد الخضوع
- اجهاد القص.
- مقدار الاستطالة.
- الثني.
- الصلادة.

1. اجهاد الخضوع:

يطلق على قيمة الإجهاد التي ينتقل عندها حديد التسليح من السلوك المرن إلى السلوك اللدن بإجهاد الخضوع. ويُعد إجهاد الخضوع من الخصائص المهمة لحديد التسليح لكونه يحدد قدرة العنصر الإنشائي على تحمل الأحمال بأمان، إضافة الى أنه يعطي إنذارًا قبل الانهيار، مما يترتب عليه زيادة السلامة الإنشائية للمباني.

تم اجراء الاختبار بالخطوات التالية:

1. اول اختبار اجرئ بتاريخ 1-7-2025 لعينات الحديد وهي بحالتها الجديدة التي لم تتعرض للعوامل الجوية، وبقياس قطر العينات وجد ان قطر عينة حديد مصنع مصراته 12مم، بمساحة مقطع 113مم²، وكان قطر عينه مصنع زليتن 11.5مم، بمساحة مقطع 103.81مم²، وكان قطر عينه مصنع بنغازي 11.2مم وبمساحة مقطع 98.47مم²وتم قص جميع العينات بطول 200مم، اجري اختبار الخضوع (σ) باستخدام آلة اختبار المواد (Universal Testing Machine) كما هو موضح بالشكل (1)، وباستخدام قانون اجهاد الخضوع 9.81 ×(F yield / A) = σ yield

2. اجري ثاني الاختبارات بتاريخ 1-9-2025 للعينات المعرضة للعوامل الجوية وقيس قطر عينة حديد مصنع مصراته فوجدناه 12.48مم ومساحة مقطعه 122.26مم²، اما قطر عينه مصنع زليتن فكان 12.2مم ومساحة مقطعه 116.83مم²، وكان مقاس قطر عينه مصنع بنغازي 11.9مم ومساحة مقطعه 111.16مم² وقد تم اجراء اختبار الخضوع على نفس الاله.

3.اجري الاختبار الاخير بتاريخ 1-12-2025 للعينات المعرضة للعوامل الجوية وقيس قطر عينة حديد مصنع مصراته فوجد ان قطره يساوي 13.05مم ومساحة مقطعه 133.48مم² وقيس قطر عينه مصنع زليتن فوجدناه 12.84مم ومساحة مقطعه 129.41مم² وكان مقاس قطر عينه مصنع بنغازي 13.29مم ومساحة مقطعه 138.44مم²، وقد تم اجراء جميع اختبارات الخضوع لجميع العينات على نفس الاله، وتم مقارنة النتائج بمواصفات الكود الأمريكي (ASTM, 2022) (Grade40, Grade60) وذلك حسب ادنى اجهاد خضوع، وكانت النتائج كما في الجداول التالية:

جدول (1): جدول يوضح إجهاد الخضوع لحديد مصنع مصراته.

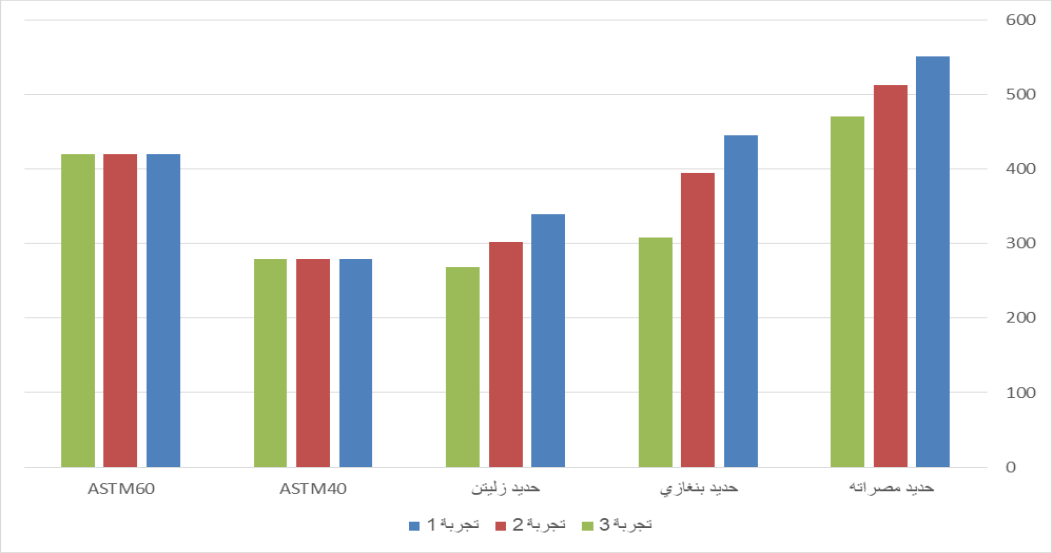
موعد الاختبار	قطر العينة مم	مساحة المقطع مم²	طول العينة مم	الحمل المسلط كيلو جرام	اجهاد الخضوع نيوتن/مم²	ASTM	
						40	60
الاختبار الأول 1.7.2025	12	113	200	6400	555.61	280	420
الاختبار الثاني 1.9.2025	12.48	122.26	200	6400	513.52	280	420
الاختبار الثالث 1.12.2025	13.05	133.48	200	6400	470.36	280	420

جدول (2): جدول يوضح إجهاد الخضوع لحديد مصنع زليتن.

موعد الاختبار	قطر العينة مم	مساحة المقطع مم^2	طول العينة مم	الحمل المسلط كيلو جرام	اجهاد الخضوع نيوتن/مم^2	ASTM	
						40	60
الاختبار الأول 1.7.2025	11.5	103.81	200	3600	340.19	280	420
الاختبار الثاني 1.9.2025	12.20	116.83	200	3600	302.28	280	420
الاختبار الثالث 1.12.2025	12.84	129.41	200	3550	269.10	280	420

جدول (3): جدول يوضح اجهاد الخضوع لحديد مصنع بنغازي.

موعد الاختبار	قطر العينة مم	مساحة المقطع مم^2	طول العينة مم	الحمل المسلط كيلو جرام	اجهاد الخضوع نيوتن/مم^2	ASTM	
						40	60
الاختبار الأول 1.7.2025	11.2	98.47	200	4470	445.32	280	420
الاختبار الثاني 1.9.2025	11.9	111.16	200	4470	394.48	280	420
الاختبار الثالث 1.12.2025	13.29	138.44	200	4350	308.24	280	420



شكل (1): رسم بياني لإجهاد الخضوع.

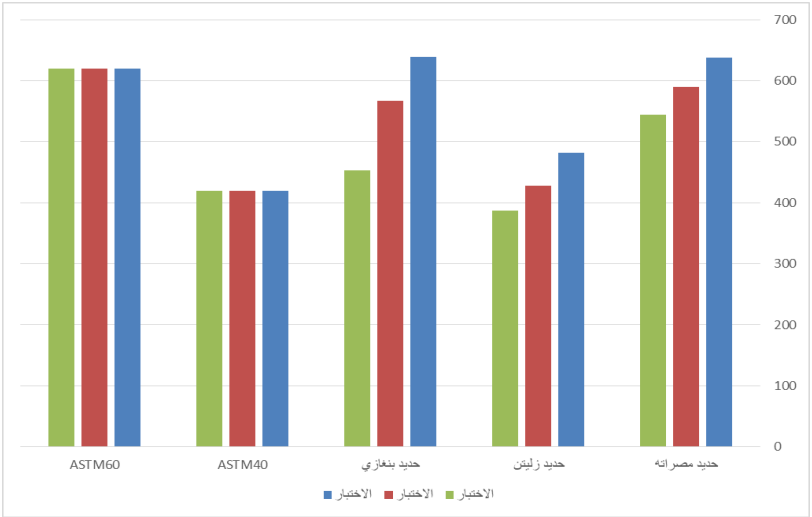
شكل (2): آلة اختبار المواد (Universal Testing Machine).

2. إجهاد القص:

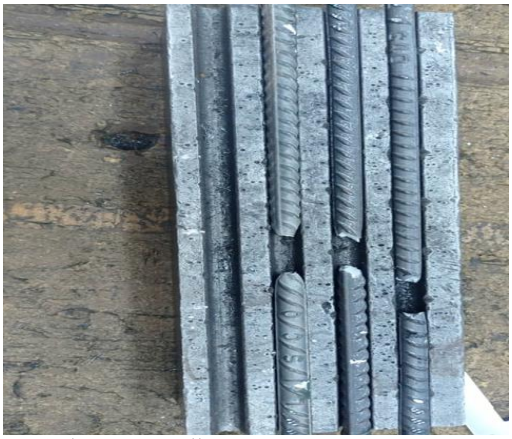
هو الاجهاد الذي ينشأ نتيجة قوى تعمل بشكل موازٍ للمقطع العرضي للعنصر ويكون واضح الظهور عند الكمرات والبلاطات في المنشآت الخرسانية مما يؤثر بشكل مباشر على حديد التسليح. ويُعد التحكم في إجهاد القص من الأمور بالغة الاهمية في التصميم الإنشائي، حيث ان تجاوزه قدرة الحديد أو الخرسانة على المقاومة، قد يحدث فشل مفاجئ. وقد تم اجراء هدا الاختبار على انواع الحديد الممثلة في (حديد مصنع مصراته، حديد مصنع زليتن، حديد مصنع بنغازي). وتم مقارنة النتائج بمواصفات الكود الأمريكي (Grade40, Grade60) (ASTM, 2022) هذا وقد تم اجراء الاختبارات على جميع العينات بنفس التاريخ ونفس الاله التي تم بها اجراء اختبارات اجهاد الخضوع وذلك حسب أدني اجهاد قص وكانت النتائج كما في الجدول التالي:

جدول (4): جدول توضيحي لنتائج اجهاد القص.

مصدر الحديد	الاختبار الاول نيوتن/مم^2	الاختبار الثاني نيوتن/م^2	الاختبار الثالث نيوتن/مم^2	ASTM	
				40	60
حديد مصنع مصراته	638.08	589.75	543.85	420	620
حديد مصنع زليتن	481.99	428.23	386.60	420	620
حديد مصنع بنغازي	639.58	566.57	453.37	420	620



شكل (3): رسم بياني لإجهاد القص.



شكل (4): صوره توضيحيه للعينات بعد القطع.

الاستطالة:

عند تعرض حديد التسليح لقوة شد يحدث له زيادة في الطول ويعبر عن مقدار هذه الزيادة بالاستطالة وغالبًا تحسب كنسبة مئوية من الطول الأصلي وكلما زاد مقدار الاستطالة قبل الكسر، دلّ ذلك على قدرة الحديد على التشوه وامتصاص الطاقة دون حدوث كسر مفاجئ وعليه فان الاستطالة تعتبر مؤشرًا على ليونة الحديد.

اجري اختبار الاستطالة لكل عينه بالتاريخ المذكور سابقا بعد اتمام اختبار الخضوع واجهاد القص، وتم مقارنة النتائج بمواصفات الكود الأمريكي (Grade40, Grade60) (ASTM, 2022) وذلك حسب أدني استطالة مع العلم أن طول العينات التي اجري عليها الاختبار 200مم وكانت النتائج كالاتي:

جدول (5): جدول توضيحي لنتائج الاستطالة.

مصدر الحديد	الاختبار الاول	الاختبار الثاني	الاختبار الثالث	المتوسط	ASTM	
					40	60
حديد مصنع مصراته	%13	%12	%13	%12.6	%18-%14	%14-%9
حديد مصنع زليتن	%25	%10	%25	%20	%18-%14	%14-%9
حديد مصنع بنغازي	%21	%21	%21.6	%21.2	%18-%14	%14-%9

شكل (5): رسم بياني للاستطالة.

اختبار الثني:

يهدف اجراء اختبار الثني الى التحقق من ليونة الحديد وقدرته على التشكل دون حدوث تشققات أو كسور، ويُستخدم هذا الاختبار للتأكد من صلاحية الحديد للاستخدام في الأعمال الإنشائية، خصوصًا في المناطق التي يتعرض فيها الحديد للثني أثناء التنفيذ أو التشغيل.

اجري اختبار الثني على عينات من حديد التسليح ذات قطر 12مم، حول قالب ذو قطر محدد وبزاوية 180° حسب المواصفات القياسية المعتمدة للمصنع، بعد عملية الثني، تم فحص العينة بصريًا للتأكد من عدم ظهور شقوق أو كسور أو انفصال في سطح الحديد، ولوحظ أنه لم يحدث اي تغير والشكل (6) يوضح اختبار الثني والجدول (6) يوضح نتائج الاختبار.

جدول (6): جدول توضيحي لنتائج اختبار الثني.

مصدر الحديد	قطر السيخ	زاوية الثني	شقوق أو كسور أو انفصال
حديد مصنع مصراته	12 Ø	180°	لا يوجد
حديد مصنع زليتن	12 Ø	180°	لا يوجد
حديد مصنع بنغازي	12 Ø	180°	لا يوجد

شكل (6): صوره توضيحيه للحديد اثناء اختبار الثني.

الصلادة:

اختبار الصلادة هو أحد الاختبارات الميكانيكية التي تُجرى على المواد المعدنية، ومنها حديد التسليح، بهدف تحديد مقاومة المادة للخدش أو الاختراق أو التشوه الموضعي عند تعرضها لقوة مركزة. ويُستخدم هذا الاختبار كمؤشر سريع على جودة المعدن وخواصه الميكانيكية.

الادوات المستخدمة في التجربة:

1-عينه من الحديد.

2- جهاز قطع.

3- جهاز تجفيف.

4- جهاز الروكويل.

ب- خطوات اجراء التجربة: -

1- يتم قطع عينات الحديد بطول 2سم باستخدام جهاز القطع.

2- نقوم بتجفيف العينات ونتأكد من سطح العينة.

3- نختار مقياس الروكويل المناسب وبما انه العينات المراد اختبارها هي حديد التسليح فنختار مقياس (Hardness Rock well B).

4- نضع العينة على قاعدة الجهاز بحيث يكون السطح مستويا وثابت.

5- يتم تقريب الكره الفولاذية من سطح العينة حتى تلامسها.

6- يتم تصفير مؤشر الجهاز لضمان دقة القراءة.

7- يضاف الحمل تدريجيا على سطح العينة ويترك لفتره زمنيه قصيره حسب تعليمات الجهاز.

8-بعد أخذ القراءة من الجهاز تم تكرار التجربة في أكثر من موضع لنفس العينة ليتم حساب المتوسط الحسابي للقراءات وكانت النتائج كما هو موضح في الجداول (7) و(8) و(9):

جدول (7): جدول القراءات على جهاز الروكويل لحديد مصنع مصراته.

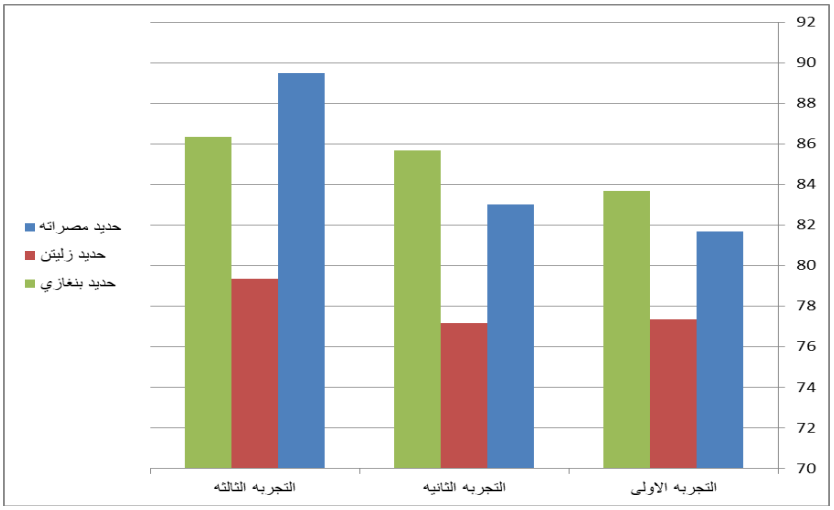
الموضع	التجربة الأولى HRB	التجربة الثانية HRB	التجربة الثالثة HRB
1	80	83	87
2	85	83	93.5
3	80	83	88
المتوسط	81.667	83	89.5

جدول (8): جدول القراءات على جهاز الروكويل لحديد مصنع زليتن.

الموضع	التجربة الأولى HRB	التجربة الثانية HRB	التجربة الثالثة HRB
1	78	78.5	78
2	78	78	79
3	76	75	81
المتوسط	77.33	77.167	79.33

جدول (9): جدول القراءات على جهاز الروكويل لحديد مصنع بنغازي.

الموضع	التجربة الأولى HRB	التجربة الثانية HRB	التجربة الثالثة HRB
1	85	86	88
2	86	86	86
3	80	85	85
المتوسط	83.67	85.67	86.33



شكل (7): رسم بياني للصلادة.

مناقشة النتائج:

أظهرت الاختبارات أن حديد مصنع مصراته ومصنع زليتن يمتازان بمقاومة شد جيدة، حد خضوع واضح، واستطالة مناسبة، مما يمنحهما سلوكًا لدنًا آمنًا للمنشآت الخرسانية، اما حديد مصنع بنغازي يختلف بين الدفعات، وقد يكون أقل لدونة ويحتاج فحصًا دقيقًا قبل الاستخدام.

سلوك الإجهاد والانفعال يوضح قدرة الحديد على التشوه قبل الكسر، والمرحلة اللدنة مهمة لإعادة توزيع الأحمال، خاصة في المباني المعرضة للأحمال الديناميكية والزلازل. والعوامل الجوية مثل الرطوبة العالية والأملاح في المناطق الساحلية ودرجات الحرارة المتغيرة في المناطق الصحراوية تؤثر بشكل كبير على تآكل الحديد وقدرته على تحمل الأحمال.

التآكل يؤدي إلى فقدان مساحة المقطع وحدوث تشققات في الغطاء الخرساني، مما يضعف الترابط بين الخرسانة والحديد ويقلل كفاءة المنشأ. سوء التخزين قبل الاستخدام والتعرض المباشر للرطوبة أو الأمطار يزيد من تدهور الحديد حتى قبل دمجه في الخرسانة. الغطاء الخرساني الجيد ونسبة الماء إلى الأسمنت والمعالجة السليمة ضرورية لحماية الحديد.

الاختبارات المعملية، مثل الشد والانحناء والتحليل الكيميائي، أساسية لتقييم جودة الحديد والتأكد من مطابقته للمواصفات. استخدام الحديد الرخيص دون فحص قد يؤدي إلى فشل إنشائي جزئي أو كلي وتكاليف صيانة مرتفعة. تحقيق السلامة والمتانة يتطلب اختيار حديد مناسب، تنفيذ صحيح، حماية فعالة من البيئة، ومراعاة الظروف المناخية المحلية.

كما أظهرت الدراسات أن اختلاف معامل المرونة بين الأنواع المختلفة يؤثر على توزيع الإجهادات داخل العناصر الخرسانية، ما يجعل بعض الأنواع أكثر ملاءمة للعناصر الحاملة بينما قد تكون أخرى مناسبة للعناصر الثانوية. حديد مصنع مصراته ومصنع زليتن يظهران تجانسًا أكبر في الخصائص الميكانيكية من دفعة إلى أخرى، مما يقلل من احتمالية حدوث تشوهات غير متوقعة، في المقابل يحتاج حديد مصنع بنغازي مراقبة دقيقة لتجنب استخدام دفعات أقل جودة تؤثر على السلامة الإنشائية.

تؤثر درجة الانحناء والتحمل للشد على قدرة العناصر الخرسانية على مقاومة الأحمال المفاجئة، مثل الزلازل أو الرياح القوية، ويعد تقييم منحنى الإجهاد والانفعال أمرًا حيويًا لتحديد مدى الليونة أو الهشاشة. التآكل لا يقل خطورة عن ضعف الخصائص الميكانيكية، حيث يؤدي إلى تقليل قدرة الحديد على نقل الأحمال وتحفيز تشققات إضافية في الخرسانة المحيطة.

تحليل النتائج:

أ- مشكلة التخزين هي السبب الرئيسي لتدهور الحديد قبل الاستخدام

- أغلب المخازن ومواقع البيع لا توفر حماية كافية ضد الرطوبة أو مياه الأمطار، مما يؤدي إلى بدء الأكسدة على سطح الحديد المكشوف.
- هذا التآكل السطحي وإن بدا بسيطاً، إلا أنه يُضعف الالتصاق بين الحديد والخرسانة ويُسهّل اختراق الماء مستقبلاً.

ب. العوامل المناخية في ليبيا تساهم بشكل مباشر في تآكل الحديد

- المناطق الساحلية (مثل بنغازي وطرابلس ومصراته وزليتن) تتأثر بالأملاح البحرية والرطوبة العالية، بينما المناطق الداخلية (مثل سبها وغدامس) تتأثر بارتفاع درجات الحرارة والتغيرات المفاجئة بين الليل والنهار.
- هذا التنوع المناخي يجعل الحديد في مختلف مناطق ليبيا عرضة لأنواع مختلفة من التآكل، مما يتطلب طرق حماية متباينة حسب البيئة المحلية.

ج. ضعف الوعي الفني في مواقع التنفيذ

- الملاحظ في العديد من المشاريع الإنشائية هو عدم اتباع المعايير الهندسية في تنظيف الحديد قبل الصبّ، حيث يُترك الحديد بعد المطر أو الغبار دون إزالة الصدأ، مما يؤدي إلى ضعف الترابط مع الخرسانة وتكوّن فراغات سطحية.

الخاتمة:

من خلال تحليل جودة حديد التسليح في السوق الليبي ودراسة تأثير العوامل الجوية عليه، تم التوصل إلى مجموعة من النتائج العلمية والعملية المهمة التي توضّح واقع سوق الحديد ومشكلاته الأساسية، سواء أثناء التخزين أو بعد استخدامه داخل المنشآت الخرسانية.

ومن خلال الزيارات الميدانية لمصنع الحديد والصلب مصراته والاطلاع على الاختبارات وجدنا أن المصنع يشتغل حسب المواصفات الأمريكية، وحيث انه كما أسلفنا سابقا بأن الاختبارات تمت بالمصنع فقد اعتبرنا بأن مصنع الحديد والصلب مصراته هو العينة المرجعية للمقارنة.

اظهرت النتائج انخفاضا تدريجيا في قيم اجهاد الخضوع واجهاد القص مع زيادة زمن التعرض للعوامل الجوية، كما سجل حديد مصراته اعلى مقاومه للأحمال، في حين تميز حديد زليتن بأعلى قيم للاستطالة، وسجل حديد بنغازي أعلى متوسط للصلادة، ونجحت جميع العينات في اختبار الثني دون حدوث تشققات او كسور.

التوصيات:

- تحسين منظومة الرقابة الصناعية
  - أ. فرض اختبارات إلزامية لكل دفعة إنتاج في المصانع المحلية (زليتن، مصراته، بنغازي) قبل طرحها في الأسواق.
  - ب. إنشاء مختبر وطني موحد لمراقبة جودة حديد التسليح بشكل دوري ومقارنته بالمواصفات القياسية الليبية وبالمواصفات القياسية العالمية.
- تحسين ظروف التخزين والنقل
  - أ. ضرورة إنشاء مخازن مغطاة ومهوّاة للحديد بعيداً عن الأمطار والرطوبة.
  - ب. منع تخزين الحديد مباشرة على الأرض، واستعمال قواعد خشبية أو بلاستيكية لعزله عن التربة والماء.
- التوعية المهنية للمهندسين والفنيين

.تنظيم دورات تدريبية دورية للعاملين في مجال البناء حول طرق التعامل مع الحديد المتآكل ونشر كتيبات إرشادية في البلديات توضّح طرق حماية الحديد داخل الخرسانة حسب المنطقة الجغرافية.

المراجع:

1. البزيع، مزمع. (2024). حماية الهيكل الخرساني من العوامل الجوية. *المجلة العربية للنشر العلمي*، 8 (73).
2. الرويمي، محمد، حميد، معمر، الضبيع، فرج، الصغير، عبد الرزاق. (2019). دراسة بعض الخواص الميكانيكية لحديد تسليح المصانع الليبية الخاصة وممطابقتها للمواصفة القياسية الليبية: دراسة مقارنة لحديد تسليح مصتع سيدي السائح ومصنع زلتين. *المجلة الدولية للعلوم والتقنية*، مج. 2019، ع. 18، ص. 47-62.
3. الزياني، عائشة إبراهيم، شماطة، موسى محمد، المنفي، صالح رزق. (2023). دراسة ومقارنة الخواص الميكانيكية لأنواع حديد التسليح في المصانع الليبية. *مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية*. مج 8 (5)، 297-308.
4. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية الليبية. (2013). *اسياخ الصلب لتسليح الخرسانة*، (ط.1). طرابلس – ليبيا.
5. Altoumi Group. (2026). *Zliten Iron and Steel Factory*. Zliten– LIBYA. https://www.altoumigroup.com.ly/iron/
6. American Concrete Institute Building Code Requirements for Structural Concrete," *(ACI 318) American Concrete Institute Farmington Hills*", MI – USA, 2019.
7. American Society for Testing and Materials," *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement (ASTM A615/A615M)"*, ASTM International West Conshohocken, PA – USA, 2022.
8. British Standards Institution Steel for the Reinforcement of Concrete," *BS 4449 British Standards Institution"*, Place of Publication: London – UK, 2005.
9. LISCO. (2026). *Libyan iron and steel company*. Misrata– LIBYA. https://libyansteel.com/