Journal of Azzaytuna University (JAZU)
JAZU Homepage: https://azzujournal.azu.edu.ly
ISSN (Print):2523-1006, ISSN (Online): 3105-4420 **DOI: 10.35778/k7qrb555**

دراسة الخصائص الميكانيكية وتكلفة بعض أنواع حديد التسليح الليبي والمستورد

Jihan A. Eldaoor*

Department of Mechanical Engineering - Azzaytuna University -Tarhouna - Libya

j.aldaoor@azu.edu.ly

المؤلف المرسل: (*)

تاريخ النشر : 31 مارس 2026

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة مقارنة للمواصفات الميكانيكية والاقتصادية لبعض أنواع حديد التسليح المتوفرة في السوق الليبي، مع التركيز على المنتجات المحلية من مصانع مصراته، سيدي السائح وزليتن، بالإضافة إلى الحديد المستورد من الجزائر وتركيا. حيث يتضمن البحث اختبارات ميكانيكية منها (الشد، الأنحناء، الصلادة)، وتحليلاً للتركيب الكيميائي، وأخيرا تقييماً اقتصادياً لتحديد العلاقة بين الجودة والسعر، مما يوفر معلومات قيمة للمهندسين والمستهلكين في السوق الليبي. حيث أظهرت نتائج اختبار الصلادة أن حديد الجزائري سجل أعلى قيمة (HRB72.66)، يليه حديد مصراته (HRB72)، بينما سجل حديد سيدي السائح أقل قيمة (HRB56)، مما يشير إلى ليونة أعلى. وفي اختبار الشد، تميز حديد مصراته بأعلى مقاومة شد بلغت 893.57 N/mm² مع أعلى إجهاد خضوع 750N/mm² ، بينما كان حديد سيدي السائح الأقل مقاومة 578.04 N/mm² لكنه الأعلى في نسبة الاستطالة (17%)، مما يدل على مرونة جيدة. وقد اجتازت جميع العينات الخمس اختبار الثني بنجاح دون ظهور أي تشققات أو كسور، مما يؤكد ملاءمتها للاستخدام في الهياكل الخرسانية .كما كشف التحليل الكيميائي أن جميع العينات تحتوي على نسب مقبولة من العناصر الأساسية وفقاً للمواصفةASTM A615 ، مع ملاحظة أن ارتفاع نسبة الكربون في حديد مصراته والجزائري أدى إلى زيادة الصلادة ومقاومة الشد، بينما انخفاضه في حديد سيدي السائح والتركي أدى إلى زيادة الليونة. أما الفحص المجهري فأظهر وجود طوري الفيرايت والبيرلايت بنسب متفاوتة، حيث ترتبط الحبيبات الصغيرة بزيادة مقاومة الشد. ومن الناحية الاقتصادية، أظهر حديد مصراته أعلى الأسعار في السوق الليبي خلال الأعوام 2023–2025 م، مما يعكس جودته العالية وتكاليف إنتاجه المرتفعة، بينما كان حديد سيدي السائح الأقل سعراً. وتوصي الدراسة باختيار نوع حديد التسليح بناءً على متطلبات المشروع الهندسي، مع مراعاة التوازن بين القوة والليونة والتكلفة، وضرورة إجراء فحوصات دورية للتأكد من مطابقة الحديد للمواصفات القياسية.

الكلمات المفتاحية **:قضبان حديد التسليح – إختبار روكويل للصلادة – مقاومة الشد – نسبة الأستطالة – الفحص المجهري**

ABSTRACT

This research aims to study and evaluate the mechanical and chemical properties of five types of reinforcement steel bars commonly used in Libyan markets: Sidi Al-Sayeh, Misurata, Zliten, Algerian (imported), and Turkish (imported). A series of standard tests were conducted, including Rockwell hardness testing (HRB scale), tensile testing according to ASTM E8, bending testing, chemical analysis using Optical Emission Spectroscopy (OES), and microscopic examination to study the microstructure.

The hardness test results revealed that Algerian steel recorded the highest value (72.66 HRB), followed by Misurata steel (72 HRB), while Sidi Al-Sayeh steel recorded the lowest value (56 HRB), indicating higher ductility. In the tensile test, Misurata steel exhibited the highest tensile

 This is an open access article under the CC BY-SA license.

strength of 893.57 N/mm² with the highest yield stress (750 N/mm²), while Sidi Al-Sayeh steel showed the lowest strength (578.04 N/mm²) but the highest elongation percentage (17%), indicating good flexibility. All five samples successfully passed the bending test without any cracks or fractures, confirming their suitability for use in concrete structures. Chemical analysis revealed that all samples contained acceptable proportions of essential elements according to ASTM A615 standards. The higher carbon content in Misurata and Algerian steel contributed to increased hardness and tensile strength, while lower carbon content in Sidi Al-Sayeh and Turkish steel resulted in higher ductility. Microscopic examination showed the presence of ferrite and pearlite phases in varying proportions, where smaller grain sizes are associated with increased tensile strength, while larger grains enhance ductility.
From an economic perspective, Misurata steel showed the highest market prices in Libya during 2023-2025, reflecting its superior quality and higher production costs, while Sidi Al-Sayeh steel was the most affordable. The study recommends selecting reinforcement steel based on engineering project requirements, balancing strength, ductility, and cost, and emphasizing the necessity of periodic testing to ensure compliance with standard specifications.
Keywords: **Reinforcement steel bars – Rockwell hardness testing – Tensile strength – Elongation percentage – Microscopic examination**

I. المقدمة

تعتبر ليبيا دولة غنية بالموارد الطبيعية، ولكنها تواجه تحديات كبيرة في قطاع البناء والتشييد، بما في ذلك نقص المواد الأساسية مثل حديد التسليح. وفي السنوات الأخيرة، شهدت البلاد زيادة في الاعتماد على الحديد المستورد، مما يثير تساؤلات حول جودة هذا الحديد مقارنةً بالحديد المحلي. لذا، فإن دراسة الخصائص الميكانيكية لكلا النوعين من الحديد ستساعد في فهم الفروق المحتملة بينهما، مما يمكن أن يؤثر على قرارات الشراء والتوريد. علاوة على ذلك، فإن التوجه نحو استخدام الحديد المحلي يمكن أن يسهم في تعزيز الاقتصاد الوطني من خلال تقليل الاعتماد على الواردات، مما يعزز من قدرة الصناعة المحلية على المنافسة. لذا، فإن دراسة التكلفة المرتبطة بحديد التسليح المحلي والمستورد تعد خطوة مهمة نحو تحقيق الاستدامة الاقتصادية. وفي السوق الليبي، تتنوع مصادر حديد التسليح بين الإنتاج المحلي والاستيراد من دول مختلفة، مما يستدعي إجراء دراسات مقارنة شاملة لتقييم الخواص الميكانيكية لهذه الأنواع المختلفة وضمان مطابقتها للمعايير الدولية والمحلية.

وبناءاً على ما ذكر سابقاً فأن دراسة الخصائص الميكانيكية وتكلفة حديد التسليح تعتبر من المواضيع الحيوية في مجال الهندسة المدنية، حيث يلعب حديد التسليح دورًا أساسيًا في تعزيز الهياكل الخرسانية وضمان استدامتها وقوتها. في ليبيا، كما هو الحال في العديد من الدول، يعتمد قطاع البناء بشكل كبير على حديد التسليح، سواء كان محليًا أو مستوردًا. لذا، فإن فهم الخصائص الميكانيكية لكل من حديد التسليح الليبي والمستورد يعد أمرًا ضروريًا لتقييم أدائه في التطبيقات الهندسية المختلفة، حيث يوجد في السوق الليبي العديد من المصانع المحلية مثل (مصراته، زليتن، سيدي السائح، بنغازي) بالإضافة إلى الحديد المستورد. ونظراً للمنافسة المستمرة في السوق الليبي بين القطاعين العام والخاص، وتأثير ذلك على الجودة والمواصفات، فإن دراسة الاختلافات في الخواص الميكانيكية والتكلفة بين هذه المصادر

المختلفة تمثل أهمية كبيرة للصناعة المحلية. ووفقاً للدراسات السابقة، فقد أظهرت نتائج بعض الأبحاث أن إجهادات الخضوع لحديد قطر 14 ملم من مصنع زليتن هي الأقرب للمواصفات القياسية الليبية، بينما كان حديد مصنع مصراته هو الأقرب للمواصفات بالنسبة للحديد قطر 12 ملم (الزياني،2023 ، ص. 297).

تتضمن الخصائص الميكانيكية لحديد التسليح مجموعة من العوامل مثل مقاومة الشد، مقاومة الضغط، والمرونة، والتي تؤثر بشكل مباشر على قدرة المواد على تحمل الأحمال المختلفة. إن دراسة هذه الخصائص تساعد المهندسين والمصممين في اختيار النوع المناسب من حديد التسليح الذي يتناسب مع متطلبات المشروع، مما يضمن سلامة الهياكل وجودتها.

علاوة على ذلك، فإن تكلفة حديد التسليح تعد من العوامل الحاسمة في اتخاذ القرارات الهندسية. في ظل الظروف الاقتصادية المتغيرة، قد تتفاوت أسعار حديد التسليح المستورد والمحلي بشكل كبير، مما يؤثر على ميزانيات المشاريع. لذا، فإن دراسة التكلفة تعتبر جزءًا لا يتجزأ من تقييم الخيارات المتاحة، حيث يجب على المهندسين والمقاولين مراعاة التوازن بين الجودة والتكلفة.

في الختام، تعتبر دراسة الخصائص الميكانيكية وتكلفة حديد التسليح الليبي والمستورد موضوعًا ذا أهمية كبيرة في مجالات الهندسة الميكانيكية والمدنية على حد سواء. من خلال فهم هذه الخصائص والتكاليف، يمكن للمهندسين والمصممين اتخاذ قرارات مستنيرة تساهم في تحسين جودة البناء وتعزيز الاقتصاد المحلي. إن هذه الدراسة ليست مجرد تحليل للبيانات، بل هي خطوة نحو تحقيق مستقبل أفضل لقطاع البناء في ليبيا.

II. الدراسات السابقة

تعتبر الخصائص الميكانيكية للمواد المعدنية، وخاصة الحديد، من الموضوعات الحيوية في مجالات الهندسة والعلوم التطبيقية، حيث يتمثل الهدف من هذه المراجعة في استعراض الدراسات السابقة التي تناولت الخصائص الميكانيكية لبعض أنواع الحديد الليبي والمستورد، بهدف تسليط الضوء على الفروقات والتشابهات بينهما، وأثر ذلك على التطبيقات الصناعية المختلفة.

تتضمن الخصائص الميكانيكية للحديد عدة جوانب، مثل المقاومة للشد، والصلابة، والمرونة، والقص، والتشوه. وقد أظهرت العديد من الدراسات أن هذه الخصائص تتأثر بشكل كبير بالتركيب الكيميائي للحديد وعمليات التصنيع المستخدمة (Elhaj, 2020,P.112–120). على سبيل المثال، أظهرت دراسة قام بها عبد الله وآخرون (عبد الله، 2018، ص. 45–58) أن الحديد المستورد يتمتع بمقاومة شد أعلى مقارنةً بنظيره المحلي، مما يجعله أكثر ملاءمة للاستخدام في التطبيقات التي تتطلب قوة تحمل عالية.

كما تعد صناعة الحديد في ليبيا من الصناعات الأساسية، حيث تعتمد البلاد على مواردها المحلية لتلبية احتياجات السوق. وقد أظهرت الدراسات أن الحديد الليبي يعاني من بعض التحديات في الجودة، مما يؤثر على خصائصه الميكانيكية. في دراسة قامت بها عياد (محمد،

2020، ص. 90-102)، تم تحليل عينة من الحديد الليبي، وأظهرت النتائج انخفاضاً في الصلابة مقارنةً بالمعايير الدولية، مما يشير إلى الحاجة إلى تحسين عمليات الإنتاج.

على الجانب الآخر، يتم استيراد الحديد من دول متعددة، مثل تركيا والصين، حيث تتميز هذه الأنواع بجودة عالية وخصائص ميكانيكية متفوقة. وفقاً لدراسة قام بها السعيدي (السعيدي، 2021، ص. 78-89)، فإن الحديد المستورد يتمتع بمقاومة عالية للتآكل وخصائص ميكانيكية متفوقة، مما يجعله الخيار المفضل في مشاريع البناء الكبرى. كما أظهرت دراسات أخرى أن الحديد المستورد يتوافق مع المعايير الدولية، مما يجعله أكثر موثوقية في التطبيقات الهندسية (Ehan, 2020, P.200- 210).

وفي دراسة شاملة قام بها الفقيه (الفقيه، 2022، ص. 150- 165)، تم إجراء اختبارات على عينات من الحديد المحلي والمستورد، وتم قياس الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الشد والصلابة. أظهرت النتائج أن الحديد المستورد يتفوق بشكل ملحوظ على الحديد الليبي في معظم الخصائص الميكانيكية، مما يشير إلى أهمية اعتماد معايير جودة صارمة في الإنتاج المحلي.

ويعتبر التركيب الكيميائي للحديد أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على خصائصه الميكانيكية. وفقاً لدراسة أجراها محمد وآخرون (محمد، 2020، ص. 90-102)، فإن الحديد الليبي يحتوي على نسب أعلى من الشوائب مقارنةً بالحديد المستورد، مما يؤثر سلباً على قوته وصلابته. كما أظهرت الدراسة أن تحسين عمليات التنقية والتصنيع يمكن أن يؤدي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية للحديد المحلي. ومن المعروف أيضاً، أنه تتعدد التطبيقات الصناعية للحديد، بدءًا من البناء والتشييد وصولاً إلى الصناعات الثقيلة. وقد أظهرت دراسة قام بها الزاوي (الزاوي، 2021، ص. 34-50) أن استخدام الحديد المستورد في المشاريع الكبرى أدى إلى تقليل التكاليف وزيادة الكفاءة. وفي المقابل، فإن استخدام الحديد المحلي قد يساهم في دعم الاقتصاد الوطني، ولكنه يتطلب تحسينات في الجودة.

وأخيراً تشير الدراسات إلى أن الحديد المستورد يتمتع بخصائص ميكانيكية متفوقة مقارنةً بالحديد الليبي، مما يجعله الخيار المفضل في العديد من التطبيقات الصناعية. ومع ذلك، فإن تحسين جودة الحديد المحلي يمكن أن يسهم في تعزيز الصناعة المحلية وتقليل الاعتماد على الاستيراد. يتطلب ذلك استثمارات في التكنولوجيا والتدريب لتحسين عمليات الإنتاج وضمان توافقها مع المعايير الدولية.

III. المواد والمنهجية

في هذا المشروع تم أخذ خمس عينات مختلفة الصنع من حديد التسليح لهم نفس القطر تقريبا (12 مليمتر)، تم ترميز كل عينة برقم على النحو التالي:

العينة (1): من مصنع في منطقة سيدي السايح الواقعة في مدينة طرابلس – ليبيا.

العينة (2): من مصنع في مدينة مصراته – ليبيا.

العينة (3): من مصنع في مدينة زليتن – ليبيا.

العينة (4): حديد تسليح جزائري.

العينة (5): حديد تسليح تركي.

تم إجراء الفحوصات المعملية بالمركز الليبي العالي المهني للسباكة بسيدي السائح. حيث تم العمل في هذا المشروع وفق التسلسل التالي:

1– إختبار الصلادة

تم تنفيذ اختبار الصلادة لجميع العينات الخمس باستخدام جهاز روكويل (Rockwell Hardness Tester) وفقًا للمواصفة القياسية ASTM E18، وبمقياس HRB، الذي يُستخدم لقياس صلادة الفولاذ منخفض ومتوسط الكربون، وكانت النتائج كالتالي:

في العينة (1) سيدي السائح، كانت قراءة الجهاز (56 HRB)

في العينة (2) مصراته، كانت قراءة الجهاز (72 HRB)

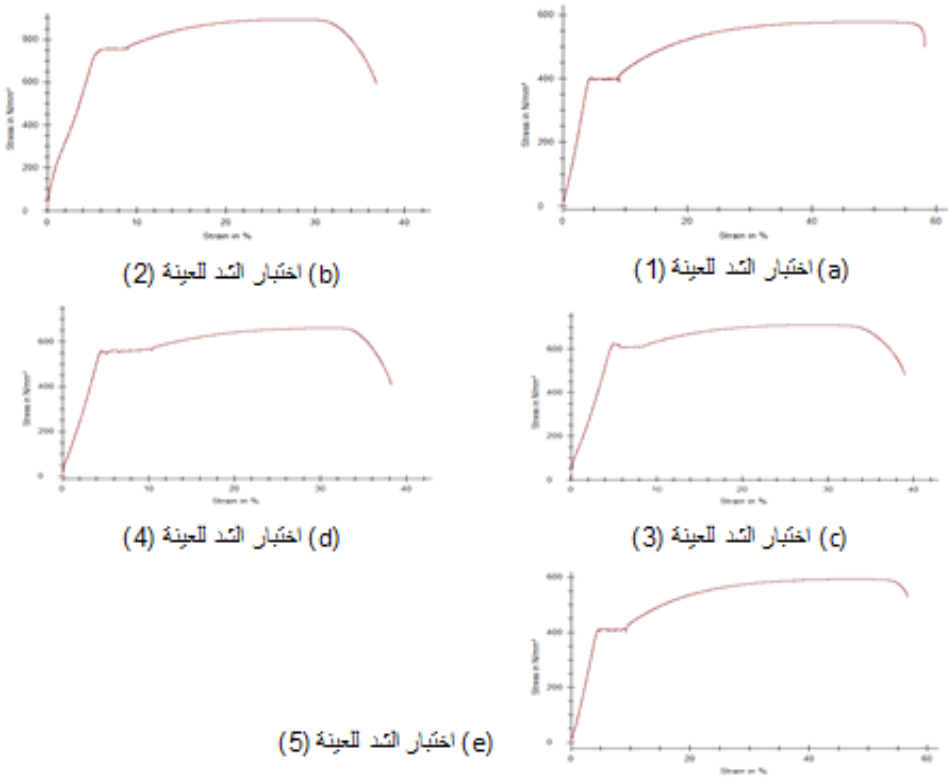
في العينة (3) زليتن، كانت قراءة الجهاز (68.66 HRB)

في العينة (4) الجزائري، كانت قراءة الجهاز (72.66 HRB)

في العينة (5) التركي، كانت قراءة الجهاز (58.33 HRB)

2– إختبار الشد

تم تشغيل آلة الاختبار (Universal Testing Machine – Zwick/Roell Z1000)وفق المواصفة ASTM E8 على العينة المراد إختبارها، مع مراعاة ضرورة التحميل التدريجي وعلى أن يكون معدل التحميل ثابت من بداية الإختبار حتى حدوث القطع بعينة حديد التسليح و أن يكون الحمل مناسبا لحدوث الكسر. عند حدوث القطع في عينة حديد التسليح تؤخذ القراءات من على الحاسوب مع الحصول على منحنى الإجهاد (Stress) والانفعال (Strain)، الشكل (1) يبين منحنيات الإجهاد والإنفعال للعينات الخمس؛ حيث تظهر نقطة الكسر (Break Point)، أقصى إجهاد (Max. Stress)، ونقطة الخضوع العليا (Upper Yield Point)، وكذلك تم تحديد الثلاث قيم الرئيسية: إجهاد الكسر – حد الخضوع – أقصى إجهاد ليتم صياغة الجدول (1).



شكل (1) نتيجة اختبار الشد للعينات الخمس

الجدول (1) يوضح مقارنة لنتائج أختبار الشد للعينات الخمس

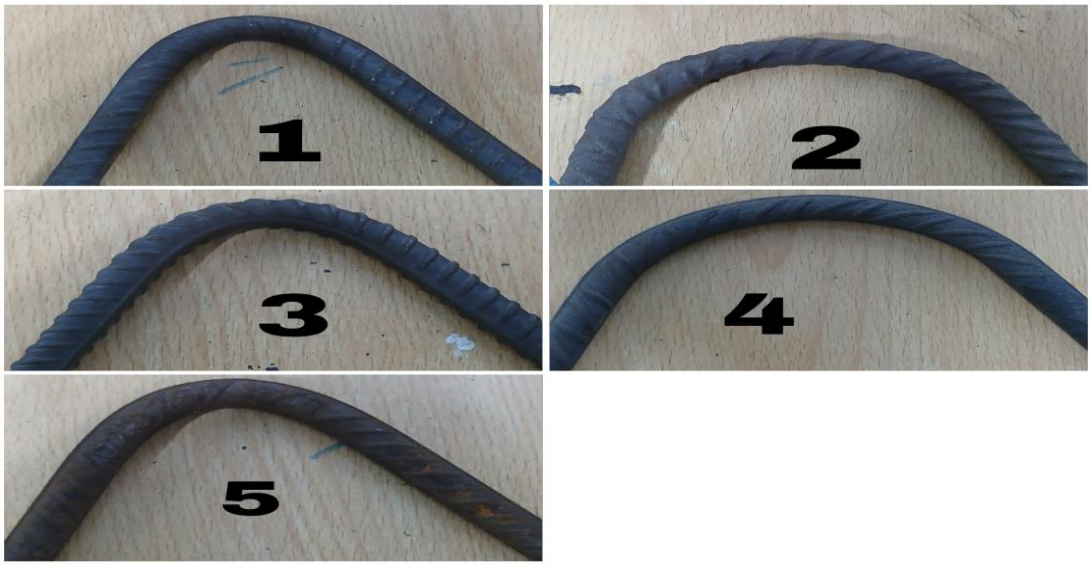
رقم العينة	النوع	إجهاد الكسر (N/mm^2)	الخضوع العلوي (N/mm^2)	أقصى إجهاد (N/mm^2)	الاستطالة %
1	**سيدي السائح**	416.23	440	578.04	17
2	**مصراته**	770.23	750	893.57	14
3	**زليتن**	640.21	605.25	710.01	15
4	**الجزائري**	556.58	559.73	660.7	15.5
5	**التركي**	410.68	407.46	592.96	16

من الشكل (1) وكذلك الجدول (1) أظهر حديد مصراته أعلى مقاومة شد (893.57 N/mm²)، مما يعكس صلابة ومتانة عالية، بينما حديد زليتن جاء بعده بمقاومة جيدة (710.01 N/mm²)، مع توازن بين المقاومة والليونة. أما حديد سيدي السائح والحديد التركي فقد أظهرا مقاومة أقل ولكن بنسبة استطالة أعلى، مما يشير إلى ليونة أعلى. وأخيرا كان الحديد الجزائري متوسط الخواص بين المجموعتين.

3- إختبار الثني (الأنحناء)

تم إجراء اختبار الثني على العينات بنفس الجهاز المستخدم في اختبار الشد بعد إعداد وتجهيز الجهاز لممارسة قوة ضغط على العينات، بهدف التحقق من قدرة الحديد على التحمل دون ظهور شقوق أو كسور عند تعرضه لقوى الإنحناء. أجري هذا الاختبار لجميع العينات وفقا للمواصفة القياسية ASTM E8، وذلك للتحقق من قدرة القضبان على التحمل دون ظهور تشققات أو كسور. وكذلك لتقييم جودة المادة والتأكد من أن الحديد يمكن إستخدامه في المنشآت أو عمليات التشكيل دون مخاطر ميكانيكية. مما يتيح الحكم على سلامة ومتانة القضبان قبل الإستخدام الفعلي.

حيث كانت نتائج الاختبار إيجابية بعدم وجود تشققات أو كسور على أي من العينات الخمس شكل (2) حيث أظهرت النتائج أن جميع العينات اجتازت اختبار الانحناء بنجاح دون حدوث أي كسر أو تشقق سطحي، مما يدل على أن الحديد يتمتع بمرونة كافية ومقاومة عالية للانثناء وهي خاصية مهمة جدًا في حديد التسليح المستخدم في الهياكل الخرسانية.



شكل (2) شكل العينات الخمسة بعد إجراء إختبار الثني

4- التحليل الكيميائي

تم تحليل العينات باستخدام جهاز التحليل الطيفي- (OES) لتحديد نسب العناصر الكيميائي كما ذكر أنفا، والنتائج موضحة في الجدول (2).

جدول (2) نسب بعض العناصر المكونة لكل عينات حديد التسليح

النسبة المئوية للعناصر%	العينة (1) سيدي السائح	العينة (2) مصراته	العينة (3) زليتن	العينة (4) الجزائر	العينة (5) تركيا
Fe	98.6	98.7	98.6	98.5	97.7
C	0.111	0.155	0.136	0.160	0.109
Si	0.151	0.984	0.153	0.178	0.166
Mn	0.789	0.807	0.707	0.799	0.656
P	0.0084	0.0009	0.0109	0.0040	0.0159
S	0.0059	< 0.0005	0.0083	0.0173	0.0281
Cr	0.0292	0.0211	0.0177	0.0158	0.0183
Mo	0.0065	< 0.0010	0.0024	< 0.0010	0.0293
Ni	0.0140	0.0106	0.0111	0.0114	0.0154
Al	0.0012	0.0063	< 0.0010	0.0026	0.0192
Co	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0077
Cu	0.0188	0.0046	0.0111	0.0132	0.431
Nb	0.0073	0.0068	0.0046	0.0038	0.0085

توضح النتائج أن جميع العينات تحتوي على نسب مقبولة من الكربون والمنغنيز والسيليكون ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفات ASTM A615. كما أن ارتفاع نسبة الكربون في العينة (مصراته والجزائري) يُفسر ارتفاع الصلادة ومقاومة الشد، بينما انخفاضه في (سيدي السائح والتركي) أدى إلى زيادة الليونة.

5- الفحص المجهري

البنية الميكروسكوبية لحديد التسليح تعكس بشكل مباشر خصائصه الميكانيكية، فالفحص المجهري ليس مجرد إجراء مخبري، بل هو أداة أساسية لفهم جودة الحديد وتوقع أدائه في المنشآت. فالصلب منخفض الكربون والذي أساساً يمثل مادة حديد التسلح يعتمد بشكل كبير على توازن الفيرايت والبيرلايت إضافة إلى حجم الحبيبات، وهي عوامل تحدد قوة الحديد، ليونته، وصلابته، وقدرته على تحمّل الظروف التشغيلية.

ومن المعروف أن الصلب منخفض الكربون (0.05 – 0.25% C) يتكون أساسًا من:

فيرايت (Ferrite) طور لين، ذو مقاومة منخفضة، لكنه يمنح ليونة عالية ومطيلية ممتازة.

بيرلايت (Pearlite) طور طبقي متكون من فيرايت + سمنتايت. أكثر صلابة ومقاومة للشد من الفيرايت. كلما زادت نسبة البيرلايت زادت مقاومة السبيكة. وكلما سيطر الفيرايت زادت الليونة. فعند فحص عينات حديد التسليح الخمس تحت المجهر، نرى أن البنية الميكروسكوبية للعينات التي هي من صلب منخفض الكربون. وهذا النوع من الحديد يتكون غالبًا من فيرايت مع كمية صغيرة من البيرلايت. الفيرايت ناعم، والبيرلايت طبقي ومقاوم أكثر. ومن المعروف أنه كلما كانت الحبيبات أصغر وأدق، زادت مقاومة الحديد للشد. الحبيبات الكبيرة تعني ليونة أعلى لكن مقاومة أقل. لذلك حجم الحبيبات يعطينا فكرة مباشرة عن قوة الحديد ومتانته. كذلك نسبة الكربون المنخفضة تجعل الحديد أكثر ليونة وأسهل في التشكل. لكنها تقلل من مقاومته مقارنة بالصلب عالي الكربون، أيضا كلما زادت طبقات البيرلايت تحسنت القوة، وكلما سيطر الفيرايت زادت الليونة. وهذا ما أظهرته الصور الناتجة من الفحص المجهري شكل (3) لكل العينات حيث أظهرت وجود طوري الفيرايت ذو اللون الأبيض والبيرلايت ذو اللون الداكن.

شكل (3) التركيب المجهري للعينات الخمس بقوة تكبير 20X

IV. النتائج والمناقشة

أولا / الدراسة المعملية

من خلال تحليل النتائج لأختبار الصلادة و الشد ، يمكن استخلاص عدد من الرؤى والتوجهات التي تعكس خصائص الأنواع المختلفة من العينات. حيث يتضح أن في اختبار روكويل للصلادة بمقياس HRB، تدل القيم الأعلى في الصلادة على مقاومة سطحية أعلى للخدش والتشوه، إلا أن الزيادة الكبيرة في الصلادة غالبًا ما تكون على حساب الليونة. و في هذا الإختبار أعلى قراءة كانت للعينة رقم 4 (الجزائري) تليها العينة 2(مصراته) ثم العينة 3(زليتن) فالعينة 5(التركي) ، وكانت أقل قراءة للعينة 1 (سيدي السائح) مما يشير إلى ليونة أكبر. كذلك نوع "مصراته" يتميز بأعلى إجهاد كسر (770.23 N/mm²) وأعلى إجهاد خضوع علوي (750N/mm²)، مما يشير إلى أنه الأكثر قوة بين الأنواع التي تم إختبارها. وفي المقابل، يظهر نوع "سيدي السائح" أدنى إجهاد كسر (416.23 N/mm²) مما يجعله الأقل قوة.

أيضاً هناك تباين ملحوظ في نسبة الاستطالة بين عينات الأختبار، حيث يظهر نوع "سيدي السائح" أعلى نسبة استطالة (17%)، مما يدل على مرونته الجيدة مقارنة بالأنواع الأخرى. بينما نوع "مصراته" يظهر نسبة استطالة أقل (14%)، مما قد يشير إلى أن هذا النوع

أكثر صلابة وأقل مرونة. كذلك يمكن تفسير هذه النتائج من خلال خصائص المواد المستخدمة في كل نوع. قد يكون نوع "مصراته" مصنوعًا من مواد عالية الجودة، مما يجعله أقوى ولكنه أقل مرونة. بينما نوع "سيدي السائح" قد يكون مصنوعًا من مواد تتيح له الاستطالة بشكل أكبر، مما يجعله أكثر مرونة ولكنه أقل قوة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤثر طرق التصنيع والمعالجة الحرارية على هذه الخصائص. فالتقنيات المستخدمة في الإنتاج قد تؤدي إلى اختلافات في التركيب الميكانيكي، مما يفسر التباين في الإجهادات ونسب الاستطالة. كذلك فأن تأثير البنية الميكروسكوبية على الخواص الميكانيكية كانت وفق التالي:

مقاومة الشد تتأثر بنسبة البيرلايت، حيث أن البيرلايت يعزز القوة بسبب تركيبته الطبقية. أما الفيرايت يخفض القوة لكنه يحسّن قابلية التشكيل، أما **الليونة والمطيلية** تزداد عندما تكون الحبيبات صغيرة ومسيطر عليها حراريًا. وعليه فالصلب منخفض الكربون مناسب للثني واللحام بسبب ليونته العالية. **الصلادة** منخفضة بشكل عام بسبب قلة الكربون، لكن يمكن زيادتها بالمعالجة الحرارية.

ثانياً / الدراسة الاقتصادية

بالأستناد للجدول (3) والذي يوضح متوسط الأسعار السوقية لحديد التسليح قطر 12 مم (القنطار = 100 كجم) في ليبيا للأعوام 2023، 2024، و2025م، وفقاً التقديرات السوقية المتاحة.

الجدول (3) متوسط الأسعار السوقية لحديد التسليح قطر 12مم

السنة	مصنع زليتن	مصنع السايح	مصنع مصراتة	الاستيراد الجزائري	الاستيراد التركي
2023	325 د.ل/قنطار	285 د.ل/قنطار	360 د.ل/قنطار	290 د.ل/قنطار	310 د.ل/قنطار
2024	330 د.ل/قنطار	280 د.ل/قنطار	370 د.ل/قنطار	300 د.ل/قنطار	340 د.ل/قنطار
2025	345 د.ل/قنطار	295 د.ل/قنطار	385 د.ل/قنطار	320 د.ل/قنطار	340 د.ل/قنطار

من خلال تحليل النتائج، يمكننا ملاحظة بعض الاتجاهات والاختلافات الملحوظة في الأسعار بين المصانع المختلفة والاستيرادات.

1. **زيادة الأسعار** :بشكل عام، هناك زيادة ملحوظة في أسعار القنطار على مدار السنوات الثلاث. مصنع زليتن ومصنع السايح يظهران زيادة مستمرة، بينما مصنع مصراته يظهر أعلى الأسعار في جميع السنوات.
2. **الاختلاف بين المصانع** :مصنع مصراته يحتل أعلى سعر في كل عام، مما يشير إلى أنه قد يكون لديه تكاليف إنتاج أعلى أو جودة أفضل. بينما مصنع السايح يظهر أقل الأسعار في عام 2024، مما قد يشير إلى استراتيجيات تسعير مختلفة أو تكاليف إنتاج أقل.

3. **الاستيراد** :أسعار الاستيراد الجزائري والتركي تظهر تباينًا، حيث أن الاستيراد التركي يبدأ بسعر أعلى في عام 2023 ولكنه يتساوى مع الاستيراد الجزائري في عام 2025.

الزيادة المستمرة في الأسعار قد تعكس زيادة في تكاليف الإنتاج أو ارتفاع الطلب على المنتجات. قد يكون لمصنع مصراته تكاليف أعلى بسبب جودة المواد الخام أو تكنولوجيا الإنتاج المتقدمة، مما يفسر ارتفاع أسعاره. أما بالنسبة لمصنع السايح، فقد يكون لديه استراتيجيات تسعير تهدف إلى زيادة حصته في السوق، خاصة في عام 2024.

الاختلاف في أسعار الاستيراد قد يعكس تقلبات في السوق العالمية أو تكاليف الشحن. الاستيراد التركي قد يوفر جودة أعلى، مما يفسر الأسعار المرتفعة.

كذلك من خلال تحليل النتائج، يمكننا أن نستنتج بعض النقاط الهامة. منها أن أسعار القنطار من مصنع زليتن ومصنع السايح تتجه نحو الارتفاع بشكل تدريجي على مدار السنوات الثلاثة. بينما مصنع مصراته يظهر أعلى الأسعار في كل عام، مما يشير إلى أنه قد يكون له تكلفة إنتاجية أعلى أو جودة أفضل.

بالإضافة إلى ذلك، تظهر أسعار الاستيراد الجزائري والتركي تنافسية نسبياً، حيث أن الأسعار تتقارب مع بعضها، مما قد يشير إلى وجود تنافس بين المنتجات المحلية والمستوردة. من الملاحظ أن سعر الاستيراد التركي قد شهد ارتفاعاً ملحوظاً في عام 2024 مقارنة بعام 2023، مما قد يشير إلى تغييرات في السوق أو في تكاليف الإنتاج.

الارتفاع التدريجي في أسعار القنطار من مصانع زليتن والسايح قد يكون نتيجة لزيادة تكاليف الإنتاج أو ارتفاع الطلب على المنتجات. كما أن مصنع مصراته، الذي يقدم أعلى الأسعار، قد يكون لديه مزايا تنافسية مثل تقنيات إنتاجية أفضل أو جودة أعلى، مما يبرر هذه الأسعار المرتفعة.

أما بالنسبة للاستيراد، فإن الأسعار القريبة من بعضها قد تشير إلى استراتيجيات تسعير مماثلة من قبل الموردين الأجانب، أو قد تعكس تكاليف الشحن والتوزيع المتشابهة. من المهم أيضاً النظر في العوامل الاقتصادية الأكبر مثل التضخم، والضرائب، والسياسات التجارية التي قد تؤثر على الأسعار.

V. الخاتمة

- من النتائج المتحصل عليها من المركز نخلص للنقاط التالية:
- سجل حديد الجزائري أعلى قيمة صلادة بمتوسط HRB72.66 ، يليه حديد مصراته بمتوسط HRB72 ، بينما سجل حديد سيدي السائح أقل قيمة بمتوسط HRB.56 ، القيم المرتفعة في الصلادة تدل على مقاومة أعلى للخدش والتشوه السطحي، إلا أن ذلك يأتي على حساب الليونة.

- **حديد مصراته** الأعلى مقاومة شد (893.57 N/mm²) وأعلى إجهاد خضوع (750N/mm²) ، ونسبة استطالة 14.%، أما **حديد سيدي السائح** كان الأقل مقاومة شد (578.04 N/mm²) لكن الأعلى في نسبة الاستطالة بـ 17.%.
- اجتازت جميع العينات الخمس اختبار الانحناء بنجاح دون حدوث أي تشققات أو كسور، مما يدل على مقاومة عالية للانثناء وملاءمة جيدة للاستخدام في الهياكل الخرسانية.
- جميع العينات تحتوي على نسب مقبولة من الكربون، المنغنيز، والسيليكون ضمن حدود المواصفة.ASTM A615 ، ارتفاع نسبة الكربون في حديد مصراته (0.155%) والجزائري (0.160%) يفسر ارتفاع الصلادة ومقاومة الشد. أما انخفاض نسبة الكربون في حديد سيدي السائح (0.111%) والتركي (0.109%) أدى إلى زيادة الليونة والمرونة.
- أظهر الفحص المجهري وجود طوري الفيرايت (ناعم وذو مقاومة منخفضة لكنه يمنح ليونة عالية) والبيرلايت (طبقي ومقاوم أكثر). الحبيبات الصغيرة ترتبط بزيادة مقاومة الشد، بينما الحبيبات الكبيرة تعزز الليونة.
- حديد مصراته يحتل أعلى سعر في السوق الليبي (385 د.ل/قنطار في 2025)، يليه حديد التركي (340 د.ل/قنطار) وحديد زليتن (345 د.ل/قنطار)، ثم الجزائري (320 د.ل/قنطار)، وأخيراً حديد سيدي السائح (295 د.ل/قنطار). وبشكل عام هناك زيادة مستمرة في الأسعار خلال الأعوام 2023–2025 لجميع الأنواع.
- تكمن أهمية البحث في توفير معلومات دقيقة وموثوقة عن المواصفات الميكانيكية لحديد التسليح المتاح في السوق الليبي كذلك في مساعدة المهندسين والمستهلكين على اتخاذ قرارات مستنيرة عند اختيار حديد التسليح لمشاريعهم.
- تشجيع المنافسة الإيجابية بين المصنعين المحليين لتحسين جودة منتجاتهم ودعم الصناعة المحلية من خلال توفير معلومات دقيقة عن جودة المنتجات المحلية مقارنة بالمستوردة.

المراجع

[1] ع. الزياني، م. شماطه، و ص. المنفي, *دراسة و مقارنة الخواص الميكانيكية لأنواع حديد التسليح في المصانع الليبية* ,مجلة جامعة بني وليد ,2023, ص. 297.

[2] Elhaj, M., Khan, A., & Zaid, H. (2020). *Mechanical properties of imported steel: A comparative study*. International Journal of Materials Science, 15(2), 112–120.

[3] عبد الله، ع.، عياد، م.، & الفقيه، س. (2018). *دراسة الخصائص الميكانيكية للحديد المحلي*. مجلة العلوم الهندسية، 12(3)، 45–58.

[4] محمد، ع.، عياد، م.، & الفقيه، س. (2020). *تأثير التركيب الكيميائي على الخصائص الميكانيكية للحديد*. مجلة المواد المعدنية، 11(2)، 90-102.

[5] السعيدي، م. (2021). *الخصائص الميكانيكية للحديد المستورد: دراسة حالة*. مجلة الهندسة المدنية، 14(1)، 78-89.

[6] Khan, A., Elhaj, M., & Zaid, H. (2020). *Comparative analysis of steel grades in construction applications*. Journal of Construction Engineering, 22(5), 200-210.

[7] الفقيه، س. (2022). *الاختبارات الميكانيكية للحديد: مقارنة بين المحلي والمستورد*. مجلة الأبحاث الهندسية، 18(3)، 150-165.

[8] الزاوي، ع. (2021). *تأثير استخدام الحديد المستورد على كفاءة المشاريع الكبرى*. مجلة الاقتصاد الوطني، 9(4)، 34-50.

السيرة المهنية للكاتبة

جيهان عبد الرحيم الداعور حاصلة على درجة البكالوريوس في تخصص هندسة المواد والمعادن من جامعة طرابلس (الفاتح سابقاً) ليبيا 1996م، ودرجة الماجستير في تخصص هندسة المواد والمعادن من جامعة طرابلس – ليبيا 2007م، أعمل كأستاذ مساعد في قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية بجامعة الزيتونة – سوق الأحد منذ 2013م، نشرت عدة ورقات بحثية في مجال المعالجات الحرارية والسباكة والمواد النانوية وفي العديد من المجلات العلمية المحكمة، وهذا رابط حسابي في الجوجل سكولر: Jihan Eldaoor

https://scholar.google.com/citations?hl=ar&user=kCV8LacAAAAJ&utm