مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد40 العدد(4) – 2024: 89-106

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 40 number (4) -2024: 89-106

التطبيقات العمليّة لأهم منتجات تصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة

"دراسة حالة المنسوجات البازلتيّة السوريّة"

حسام نضال غانم[1]* باسل محمد عمر صنّوفة[2]

*[1].طالب دكتوراه – قسم هندسة التصميم الميكانيكي والإنتاج /هندسة صناعية/ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

[2].أستاذ مساعد – قسم هندسة الإنتاج /أنظمة الجودة وتكاليفها/ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

Basel62.sanofa@gamil.com

الملخص:

تُعتبر الألياف والخيوط البازلتية المستمرة والناتجة بتقنية الغزل بعد الصهر، بالمقارنة مع غيرها من الألياف الصناعية الأخرى مثل: (الألياف الكربونية وألياف الأراميد والألياف الزجاجية وألياف الاسبستوس ..إلخ) هي المادة المستقبلية الواعدة للعديد من التطبيقات المختلفة، للعديد من التطبيقات المختلفة، قلة تكاليفها وخواصها التقنية والفنية المميزة، لذلك جاء هذا البحث لتسليط الضوء على التطبيقات العمليّة لأهم منتجات تصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة. يعتبر هذا البحث وبحسب معرفة الباحث من أولى الأبحاث التي تدرس بعض خواص المنسوجات البازلتيّة السورية (المنسوجات العادية "النسيج السادة")، وذلك من خلال إجراء عدة اختبارات عليه مثل: اختبار نفوذية الهواء، واختبار مقاومة الانفجار، واختبار قوى الشد للمنسوجات البازلتية ومقارنتها مع منسوجات ألياف الأراميد والمنسوجات الممزوجة (بازلت/أراميد)، والتي أظهرت تفوق المنسوجات البازلتية، بالإضافة إلى تمتعها بمقاومة انفجار عالية تصل إلى (k. pas) 3800 ونفوذية عالية للهواء تصل إلى (m/s) 508.33، لتكون نتائج هذا البحث انطلاقةً أوليّةً لبقيّة الباحثين في هذا المجال كي يتم الاستفادة منها والعمل على تطويرها وتوصيفها بشكلٍ أدق.

كلمات مفتاحية: الألياف البازلتية السورية المستمرة **(SBCF)**، الخيوط البازلتية، المنسوجات البازلتية السورية، منسوجات الأراميد، المنسوجات الممزوجة (بازلت/أراميد)، اختبار نفوذية الهواء، اختبار مقاومة الانفجار، اختبار الشد.

تاريخ الايداع: 2022/9/4
تاريخ القبول:28 /2022/9

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

Practical Applications of The Most Important Products for The Manufacture of Basalt Fibers And Yarns "A Case Study of Syrian Basalt Textiles"

Hossam Nedal Ghanem[1*] Basel Mohamed Omar Sanoufeh[2]

[*1] **Eng**. PhD Student in Dept, Of Mechanical Design & Production / Industrial Engineering/- Faculty of Mechanical & Electrical engineering – Damascus university.

[2]. **Dr, Eng,** Assistant Prof. in Dept. Of Production / Quality systems and costs/ Faculty of Mechanical & Electrical engineering – Damascus university.

Basel62.sanofa@gamil.com

Abstract:

Basalt fibers and yarns resulting from the melting of natural basalt rocks at high temperatures ranging from (1400-1650 C˚) compared to other synthetic fibers such as: (carbon fibers, aramid fibers, glass fibers, asbestos fibers, etc.) is the most promising future material for many from different applications, as the global market for basalt fibers
and yarns began to grow very rapidly due to their low costs and their distinctive technical and technical properties, so this research came to shed light on the practical applications of the most important products for manufacturing basalt fibers and yarns.

This research, according to the researcher's knowledge, is considered one of the first studies to study some of the properties of Syrian basalt textiles (normal textiles "Plain Weave"), by conducting several tests
on it, such as: air permeability test, explosion force test, and tensile forces test for basalt textiles and comparing them with other textiles. Aramid fibers and mixed textiles (Basalt / Aramid), which showed the superiority of basalt textiles, in addition to having a high explosion resistance up to 3800 (k. pas) and a high air permeability up to 508.33 (m/s), so that the results of this research are an initial start for the rest of the researchers in this field in order to benefit from them and work on developing and describing them more accurately.

Key words: Syrian Basalt Continuous Fibers (SBCF), Basalt Yarns (Roving), Syrian Basalt Textiles, Aramid Textiles, Mixed Textiles (Basalt/Aramid), Air Permeability Test, Explosion Force Test, Tensile.

Received: 4/9/2022
Accepted: 28/9/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدّمة:

تُعتبر الصخور البازلتيّة الطبيعية المادة الأولية والأساسية الوحيدة التي تدخل في إنتاج وتركيب الألياف والخيوط البازلتيّة والتي من خلالها يتم تصنيع كافة المنتجات البازلتية الأخرى حيث أدى تزايد الاهتمام العالمي بتلك المنتجات الطبيعيّة إلى تعددها وتنوعها وزيادة استخداماتها خاصة في البلدان الصّناعية حيث تتصف المنتجات البازلتيّة بخصائص كيميائية وفيزيائية جيدة كالعازلية الحرارية والمقاومة العالية للاحتكاك والتآكل ومقاومة الأوساط القلوية والحمضية والرطوبة، لذلك فهي تتمتع بجودة عالية واقتصادية بنفس الوقت إذا ما قورنت ببدائلها من المواد الأخرى مثل: (الألياف الكربونية وألياف الأراميد والألياف الزجاجية وألياف الاسبستوس ..إلخ) من حيث الثبات الحراري وخصائص العزل الحراري والصوتي ومقاومة الاهتراء وعمرها الزمني المديد[1]، وبنفس الوقت فإن البازلت بشكلٍ عام ومنتجاته ليس لها تفاعلات سامة مع الهواء والماء ومادة غير قابلة للاشتعال ولا يتفاعل مع المواد والأوساط الكيميائية وليس له أضرار على صحة الإنسان وغير ملوث للبيئة، كما أن الخيوط البازلتيّة سهلة التركيب مع الألياف والمواد الأخرى حيث تشكل مواد تركيبية ذات مواصفات نوعية عالية وتكاليف أقل [2]، وبالتالي فإن الخصائص الطبيعيّة للبازلت ستجعله في المستقبل القريب من الخامات الأساسية لإنتاج المواد الطبيعيّة المقاومة والنظيفة [1]، ويعود السبب الرئيسي في ذلك لما تتمتع به الصخور البازلتية من مواصفات مميّزة نذكر على سبيل المثال: تتميز من الناحية الصّناعية بثبات حراري وكيميائي عاليين، وعازلية جيدة للحرارة وقدرة عالية لامتصاص الصوت والضجيج، ومقاومة عالية للعوامل الجوية ولعوامل الاهتراء وللأوساط الكيميائية والرطوبة، ومقاومة شديدة للكسر، وقساوة وصلابة عالية تقترب من قساوة الألماس، بالإضافة إلى أنها خامات طبيعية نظيفة وغير ملوثة للبيئة وتتمتع بمواصفات جماليّة عالية.

وتغطي الصخور البازلتيّة مساحاتٍ شاسعةٍ من أراضي الجمهورية العربية السورية، إذ تركزت الفعاليات البركانية في المناطق الجنوبية والوسطى والمنطقة الساحلية وحلب وشمال شرق سورية [3]، وأثبتت دراسات المؤسسة العامة للجيولوجيا بدمشق وذلك من خلال عملية التحليل الكيميائي للصخور البازلتيّة في سورية بأنها ملائمة جداً لتصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة المستمّرة خاصة بمحتوى SiO_2 والذي يبلغ 46% وأكثر والذي يعتبر الشرط الرئيسي في عملية التصنيع.

1- أهميّة البحث:

- تسليط الضوء على التطبيقات العمليّة لأهم منتجات تصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة.
- يعتبر هذا البحث وبحسب معرفة الباحث من أولى الأبحاث التي تدرس خواص المنسوجات البازلتيّة السورية، حيث قامت شركة روسية تدعى **BASELTECO** بأخذ عينات من الصخور البازلتيّة في سورية– محافظة السويداء– لإنتاج عينات من الألياف البازلتيّة المستمّرة، وتمّ تزويد الباحثين بكونة خيوط بازلتيّة سورية المنشأ Syrian Basalt Fiber Roving.

2- أهداف البحث:

1- تصنيع عينات من المنسوجات البازلتية السورية (المنسوجات العادية "النسيج السادة") وفق الإمكانيات المتاحة.

2- تحديد بعض خواص المنسوجات البازلتيّة السورية من خلال إجراء عدة اختبارات في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية في دمشق، وهذه الاختبارات هي:

- اختبار مقاومة الانفجار.
- اختبار نفوذية الهواء.
- اختبار الشد.

3- مقارنة قوى الشد لثلاثة أنواعٍ من المنسوجات:

- منسوجات الألياف البازلتية.
- منسوجات ألياف الأراميد.

- المنسوجات الممزوجة (بازلتية/آراميدية).

3- مشكلة البحث:

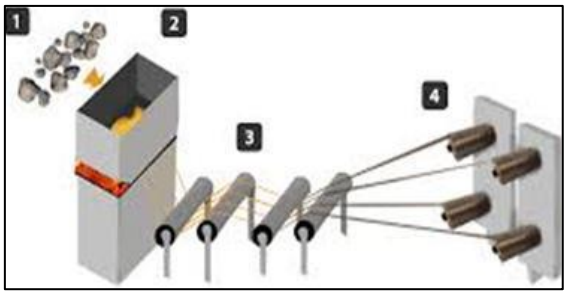
- عدم القدرة على تصنيع العينات (المنسوجات) على نول آلي ويعود السبب في ذلك إلى عدم توفر كمية من الخيوط لتشغيله، لذلك تم الاستعاضة عنه بنول مخبري يدوي.
- أشارت الاختبارات الأولية إلى أن السحب المباشر للمنسوجات البازلتيّة ضمن فكي آلة اختبار الشد يؤدي إلى انزلاقها وتقطعها ضمن الفكوك أثناء تطبيق الاختبار، ولمعالجة هذه المشكلة تمّ الاستعاضة عن اللقم الفولاذية لفكي آلة الاختبار بلقم مصنوعة من المطاط القاسي (الكاوتشوك).

4- الإطار النظري:

1.5 – تكنولوجيا (تقنية) تصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة:

وتدعى بتقنية "الغزل بعد الصهر" حيث يتم تكسير الصّخور البازلتيّة التي يتم الحصول عليها من المقالع القريبة إلى حصى بأقطار صغيرة (2–5 cm)، بحيث تكون الصّخور المكسرة نقية جداً وخالية من الشوائب ومتجانسة في التركيب، ثم تمرر عبر سير ناقل إلى فرن الصهر الرئيسي حيث يتم صهر البازلت وبدرجات حرارة (1400-1650 C°) بشكله الطبيعي ودون أية إضافات كيمائية أو تعديلات أو غيرها، ثم يتحول البازلت في فرن الصهر إلى مصهور بازلتي يترك المصهور ليتجانس حتى درجة عدم التبلور المطلوبة حيث يتحول في درجات (1500-1600 C°) بشكلٍ كامل من بازلت مبلور (أي تصطف الأيونات في الاتجاهات الثلاثة بشكل هندسي منتظم) إلى بازلت، ثم يتم تحضير المصهور البازلتي للمعالجة حسب درجة اللزوجة المطلوبة ويصب في أفران تغذية صغيرة ثم يمرر عبر وحدات سحب الخيوط البلاتينية (هذه الوحدات عبارة عن صفائح مثقبة مصنوعة من البلاتين والروديوم تحتوي على 200 ثقب، 400، 800، أو أكثر) ويمكن سحب الألياف من المصهور تحت الضغط الهيدروستاتيكي ثم يتم تطبيق التحجيم على سطح الألياف بواسطة قضيب تحجيم (معدّل حجمي لأبعاد الخيوط وأقطارها) ثم يتم سحب الخيوط البازلتيّة الأوليّة والتي تمرر عبر آلة غزل ولف الخيوط التي تحولها إلى بكرات ولفائف من الخيوط البازلتيّة والتي تعتبر المنتج الأول في عملية التصنيع ويدعى خصل الألياف البازلتيّة "Basalt Fiber Roving" [4] [5] كما هو موضح بالشكل رقم (1)، ليتم بعد ذلك مرحلة التصنيع على البارد، وفق طريقتين: [6]

- إضافة مادة غرائية من مشتقات السيلكون (SiH4) SILANE رابطة للألياف الميكرونيّة، وإضافة مادة أخرى زيتية تغمر بها الألياف بغية اكسابها الطراوة لعمليات الغزل والنسيج اللاحقة لصناعة ما يلي: (الخيوط المنسوجة والأقمشة غير المنسوجة والخيوط المفتولة والحبال ..الخ).
- الغمر بمادة الإيبوكسي لصناعة ما يلي: (القضبان والأنابيب البازلتيّة والشبكات ..إلخ).



الشكل رقم (1) مخطط توضيحي لتكنولوجيا تصنيع الألياف البازلتيّة

(1) حجارة بازلتية، (2) فرن الصهر، (3) وحدات سحب بلاتينية ، (4)آلات لف الخيوط البازلتيّة

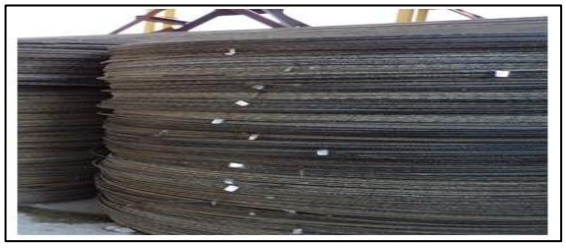
2.5 – التطبيقات العمليّة لأهم منتجات تصنيع الألياف والخيوط البازلتيّة:

1.2.5 – القضبان البازلتية المركبة:

صممت باستخدام ألياف البازلت وراتنج الإيبوكسي حيث تتكون من (80% ألياف بازلتية، و20% إيبوكسي) لتحل محل الفولاذ والفيبرغلاس كعناصر تقوية في صناعة الخرسانة والبناء والصناعات الأخرى، والتي تتمتع بما يلي:

- غير قابلة للتآكل، ومقاومة للعوامل الكيميائية وهنا تبرز أهميتها في البيئة البحرية بالإضافة إلى مقاومتها العالية للتآكل القلوي.
- مقاومة شد ثلاثة أضعاف تلك الموجودة في القضيب الفولاذي.
- يمكن استخدامها بفعالية في تطبيقات مختلفة مثل حواجز الطرق السريعة والهياكل البحرية وأسطح الجسور نتيجة أدائها الميكانيكي العالي. [7]
- وزن القضيب البازلتي يبلغ ثلث وزن القضيب الفولاذي ومعامل التمدد الحراري قريب جداً من الخرسانة، ونظراً لخفة الوزن فإن تكاليف نقلها من المستودع إلى مواقع العمل قليلة مقارنة بنقل القضبان الفولاذية، وإذا احتاج العامل يوماً كاملاً لتشبيك أربعة أعمدة من القضبان الفولاذية فإنه يستطيع تشبيك أربع أضعاف الكمية من القضبان البازلتية أو أكثر في نفس الفترة، وهذا يعني توفير في الوقت والجهد والتكلفة.

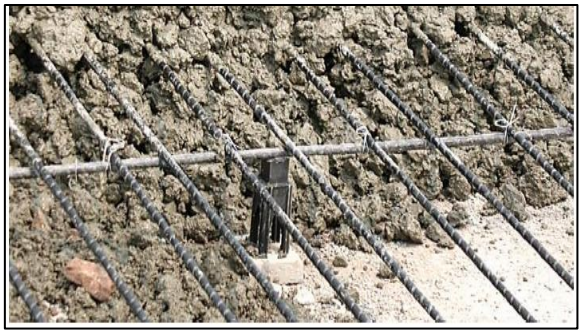
ويتم إنتاج القضبان البازلتية في لفات طولها (500-800)m ويتم تقطيعها وفقا لمتطلبات العملاء، حيث أن (كل 50 m طول من القضبان البازلتية بقطر 10 mm يبلغ وزنها 6 kg) والموضحة بالشكل رقم (2) [8]، كما وتتفوق خاصية الشد لقضبان الألياف البازلتية على القضبان الفولاذية فمثلاً: قوة الشد للبازلت عند قطر يبلغ 10 mm تبلغ 74.700 N بينما للفولاذ فهي 28.300 N أي تتفوق عليها بمقدار 2.6 مرة.



الشكل رقم (2)، القضبان البازلتية المركبة [39]

أما الاستخدام الأكثر شيوعاً للقضبان البازلتية هو تقوية الهيكل الخرساني والموضح بالشكل رقم (3)، وهو عبارة عن خليط من الإسمنت والركام والماء، وفي الآونة الأخيرة تمت إضافة مواد مركبة جديدة إلى الخرسانة عند البناء مثل: الألياف البازلتية، وذلك للأسباب التالية: [9]

- ✓ زيادة قوة الخرسانة بحيث تحافظ على قوة عالية، بالإضافة إلى المقاومة العالية للعزل والحرائق دون الحاجة إلى مواد إضافية مقاومة للحريق.
- ✓ التقليل من معدل الأضرار التي قد تلحق بالأبنية أثناء الكوارث الطبيعية مثل (الزلازل والرياح).
- ✓ التقليل من كمية الإسمنت المستخدمة وهذا يؤدي إلى أبنية مستدامة خضراء من ناحية أخرى.
- ✓ الأرضيات الخرسانية المصنوعة من ألياف البازلت هي موصلات رديئة للتيار والحرارة مما يمنحها ميزة للاستخدام في المناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة.



الشكل رقم (3) خرسانة الألياف البازلتية في البناء، [9]

2.2.5 – الألياف البازلتية المقطعة: Basalt fiber chopped

تتمتع بثبات عالٍ ضد تأثير البيئات المختلفة والاختلافات في درجات الحرارة والأحمال الشديدة والظروف القلوية، ولا تتعرض للتآكل وتتميز بخصائص قوة أعلى بمقدار 2.5–2 مرة مقارنة بالألياف الفولاذية، كما أنها ليست غالية الثمن والطول المتاح منها هو:

(3, 6, 12, 14, 18, ...24 to 70 mm ∓1.5 mm) حيث توفر إضافتها للخرسانة المسلحة التحسين في قوة الالتواء والضغط بشكل كبير وعند إضافتها للخرسانة الإسفلتية تعمل على تحسين أسطح الطرقات بحيث تجعلها مقاومة للصدمات ومقاومة لنمو الشقوق ومقاومة الأحمال وفترة عمر التشغيل. [10]والشكل رقم (4) يوضح الألياف البازلتية المقطعة.

الشكل رقم (4)، الألياف البازلتية المقطعة

3.2.5 – الأنابيب البازلتيّة: Basalt Pipes

يتم الحصول عليها عن طريق لف الخيوط البازلتية المشبعة بمادة رابطة ويوضح الشكل رقم (5) الأنابيب البازلتية.

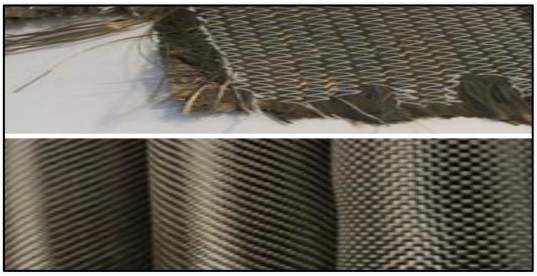
الشكل رقم (5)، الأنابيب البازلتيّة Basalt Pipes

وتستخدم في أنظمة التدفئة حيث تتحمل درجة حرارة تشغيل تصل إلى 115 درجة مئوية وضغط يصل إلى 1.5 ميجا باسكال مع فترة استغلال لا تقل عن 25 عاماً، وتستخدم لنقل السوائل والغازات المسببة للتآكل، ونقل النّفط الخام والغاز المياه الجوفية والصرف الصحي ...إلخ [4]، ونتيجة لتآكل الأنابيب الصناعية في ظروف التشغيل المختلفة فقد تم استخدام الألياف البازلتية في عمليات تبطين تلك الأنابيب، كما ويوجد نوع آخر من الأنابيب (أنابيب الضغط العالي) تصنع من تركيبات البازلت والبلاستيك وتستخدم لنقل الخبث والذي يعتبر من أشد الضغوط التي تتعرض لها الأنابيب ومكوناتها، والتي يمكنها تحمل أكثر من 1000 ضغط جوي.[11]

4.2.5 – الملابس والأقمشة البازلتيّة: Basalt Cloth/ Fabrics

تتمتع الأقمشة البازلتية والموضحة بالشكل رقم (6) بقوة عالية كما أنها غير قابلة للاشتعال، وتحافظ على سلامتها حتى 980+ درجة مئوية، وتتمتع بمقاومتها العالية للإشعاع الكهرومغناطيسي والرطوبة والتآكل والمواد الكيميائية (الوسط الحمضي والقلوي والأملاح) ولها خصائص عزل كهربائي جيدة [12]، ولها العديد من الاستخدامات: [2]

- تستخدم في إنتاج مواد تركيبية ومنتجات ذات متانة عالية وعازلية جيدة للكهرباء ومقاومة للنار والحرائق ومواد تدعيم وعزل للأبنية والمنشآت.
- الدروع الواقية من الرصاص والألبسة المقاومة للنار (ألبسة رجال الإطفاء).
- صناعة أقمشة الستائر والسجاد والمفروشات بشكلٍ عام وطاولات التنس وغيرها.
- الأبنية الصّناعية والزراعية والإنشاءات المعدنية كعوازل حرارية وصوتية.
- هياكل الشاحنات والسيارات والبرادات.
- شفرات لمراوح توليد الكهرباء من الرياح ولواقط الأشعة الشمسية وخلايا الطاقة الشمسية وغيرها الكثير



الشكل رقم (6)، الأقمشة البازلتيّة

5.2.5 – الحصر والشبكات البازلتية: / Basalt mesh Geogrid

وهي عبارة عن شبكات مصنوعة من الألياف البازلتية المستمرة والمخصصة لتقوية الخرسانة الاسفلتية للطرق واصلاحها وتقوية جدران التربة ومنحدرات الطرق وأسطح الأبنية، لما تتمتع به من القوة اللازمة لمقاومة القلويات والأملاح وتحمل تقلبات درجة الحرارة العالية والمنخفضة وارتفاع الأحمال، بالإضافة إلى قدرتها على المحافظة على خواصها على المدى الطويل، كما أنها غير قابلة للاحتراق، وتكلفتها أقل بمقدار (3–2.5) مرات مقارنةً بشبكة الألياف الزجاجية، ومن أجل زيادة قوة ومتانة وجودة أسطح الطرق في الظروف الجيولوجية الصعبة وبشكل خاص (المستنقعات والانهيارات الأرضية)، تم تصميم نسيج البازلت الكامل المترابط بالخيوط ويدعى: NPB ويتم وضعه بين طبقات الرمل والحجر المتكسر والموضح بالشكل (7)، كما وتسمح شبكة NPB التي يتم وضعها وتثبيتها على الأرض بزراعة الحشائش والشجيرات والأشجار وهذه الطريقة هي الأكثر فعالية وليست مكلفة وتتوافق مع المتطلبات البيئية من خلال إعادة الغطاء النباتي للتربة وحماية الانهيارات الأرضية (المناجم المفتوحة، والوديان، وتعزيز ضفاف الأنهار ....إلخ) وغيرها من الأعمال. [10]

الشكل رقم (7)، نسيج البازلت NPB

أما نسيج البازلت الشبكي لبناء الطرق ويدعى: PCB–D حيث يتم وضعه بين طبقات الحجر المتكسر والخرسانة الاسفلتية والموضح بالشكل رقم (8). [10]

الشكل رقم (8)، نسيج البازلت PCB–D

6.2.5 – ألياف بالاتجاه الطولي (الغلاف البازلتي): Basalt Sleeve

يستخدم الغلاف البازلتي والموضح بالشكل رقم (9) في حماية الأسلاك والكابلات والخراطيم وخطوط النفط من درجات الحرارة العالية بالإضافة إلى تحقيق أداء العزل الكهربائي بطريقة مرنة، والتي تستخدم على نطاق واسع في صناعة المعادن الحديدية، والأفران الصناعية، والفضاء، والطاقة النووية ...إلخ، تعتبر Basalt Sleeve هي الخيارات النهائية لظروف الحرارة الشديدة والتي يسهل تركيبها وقطعها بالإضافة إلى توفير حماية من التآكل والعزل الحراري الجيد والأداء المقاوم للحريق لسنوات متعددة، حيث تتحمل درجات حرارة تصل لـ 760C° مما يوفر زيادة بمقدار 500C° بالمقارنة مع منتجات الألياف الزجاجية. [8]

الشكل رقم (9)، الغلاف البازلتي

6 – الدراسات المرجعية:

أظهرت دراسة (Singha) بأن المواد الأكثر شيوعاً واستخداماً لتقوية النسيج هي الألياف الزجاجية والكربونية ولكن لهذان

النوعان بعض القيود في الاستخدام، فعند إنتاج الألياف الزجاجية يتم استخدام المكون النادر وهو أكسيد البورن (B2O3)، في حين أن ألياف الكربون تراجع تطبيقها نظراً لتكلفتها العالية. [13]

كما وأظهرت بعض الدراسات الخاصة بمركبات البوليمر المقواة بالألياف أهمية الألياف البازلتية كمواد تقوية جديدة محتملة مثل دراسة (Chou & Yeh) ودراسة (Park, & Kim) . [15] [14] وبحسب (Basaltfm) [8] فإن ألياف البازلت المستمرة تتوافق بشكلٍ جيدٍ مع المواد الأخرى ويمكن صنع العديد من المواد المعقدة معها، كما وأنها قابلة للمقارنة مع ألياف الزجاج الالكتروني لتقوية البوليمرات المتصلدة بالحرارة.

وأوضح (Czigány) في دراسته الخواص المتعددة للبازلت مثل: معامل المرونة العالي، ومقاومة الحرارة وقدرة أليافه على التخميد الحراري والصوتي والعزل الجيد [16]، وتوصل إلى أنه يمكن التنبؤ بأن ألياف البازلت قد تصبح مستقبل بديل للألياف الزجاجية المهيجة للجلد، والألياف الأسبستية المحظورة بالفعل بسبب خصائصها المسببة للسرطان، ليس فقط بسبب خصائصها الممتازة ولكن أيضًا نتيجة لسعرها المتناقص باستمرار .[17]

ودرس (LiU & Shaw) الخصائص الميكانيكية لمركب البازلت والألياف الزجاجية ولم يجدوا أي اختلاف يُذكر في معامل يونغ وقوة الشد وقوة الانثناء وقوة القص وقوة الانضغاط [18]. وأكد ذلك (Deak & Czigány) [19] بأن الخصائص الهندسية والميكانيكية للألياف البازلتية المستمرة والزجاجية متشابهة تقريباً مع بعضها البعض من حيث القطر وقوة الشد والمعامل مع تفوق للألياف البازلتية المستمرة من حيث الجودة والخصائص الميكانيكية بينما الألياف البازلتية القصيرة كانت أضعف وتمتعت بمتوسط قطر أقل بكثير وأداء ميكانيكي أقل.

أما (Yao & Zhu) [20] قاموا بالتحقيق في تأثير معدل الإجهاد على سلوكيات الشد للأقمشة الزجاجية أحادية الاتجاه والبازلت والكربون والمنسوجة بشكل عادي تحت معدلات إجهاد مختلفة ووجدوا أن معدل الإجهاد كان له تأثيرات كبيرة على قوة الشد والصلابة ومعامل يونغ ، وقام (Zuhaib & Brigita) [20] بدراسة خصائص الشد للهياكل المنسوجة البازلتية والزجاجية وأظهرت النتائج بأنه من الممكن استخدام مادة البازلت بالمقارنة مع الزجاج الإلكتروني لأنها تظهر خصائص شد جيدة في حالة الأقمشة ذات الطبقة الواحدة والطبقتين (المخيطة وغير المخيطة) كما وأن قيم استطالة الحمل متقاربة من بعضها البعض.

وأوضح (Matchonova & Rakhimov) [12] قدرة الألياف البازلتية العالية لإنشاء مواد غير تقليدية ومنتجات ذات قيمة مضافة، حيث تتميز الأقمشة البازلتية ومنتجاتها بقوة عالية، وعدم قابليتها للاشتعال، ومقاومتها العالية للإشعاع الكهرومغناطيسي والرطوبة والتآكل ومقاومة التأثيرات الكيمائية (الحمضية والقلوية والأملاح) وخصائص عالية للعزل الكهربائي مقارنة مع الأقمشة والمنتجات المصنوعة من الألياف الزجاجية، حيث أن قوة شدها تتفوق بمقدار 25%، كما وتناولت دراسة (Xing & Cheng) [21] الأثر الذي تشكله إضافة ألياف البازلت إلى ألياف البوليمير المقوى (FRP) والمستخدمة في الكثير من الصناعات كصناعة الطائرات والسيارات نظراً لخصائصها العالية وقوتها وأدائها المميز، وذلك من خلال مقارنتها مع مثيلاتها من الألياف (الألياف الكربونية – الألياف الزجاجية – السيراميك) وأظهرت النتائج أن إضافة البازلت لمصفوفة البوليمير له دوراً مميزاً مقارنةً مع ألياف الكربون والزجاج.

ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات المرجعية:

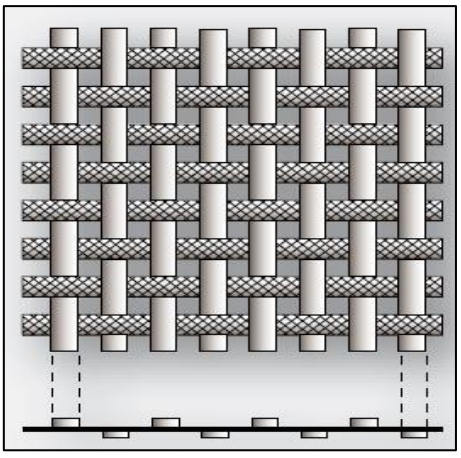
تعد هذه الدراسة وبحسب معرفة الباحث من أولى الدراسات التي تقوم بتصنيع أول منسوج بازلتي سوري المنشأ (Syrian Basalt Fibers fabrics) وإجراء بعض الاختبارات عليه، بالإضافة إلى مقارنة قوى الشد لثلاثة أنواع من المنسوجات: (بازلتية،

أراميديـة، ممزوجـة) تـم تصـنيعها وفـق الشـروط نفسـها والتـي سـنتطرق لهـا فـي القسـم العملـي للبحـث وذلـك للحصـول علـى موثوقية في النتائج المستخلصة، حيث تبيّن أن معظم الدراسات المرجعية تناولت مقارنة الألياف البازلتية مع الألياف الزجاجية وأهملت مقارنتها بألياف الأراميد.

7 – القسم العملي:

1.7 – تحضير (إعداد) العينات:

العينـات عبـارة عـن منسـوجات بازلتيـة عاديـة (النسـيج السـادة) والـذي يعـد مـن أبسـط أنـواع التراكيـب النسـيجية التـي يمكـن الحصـول عليها، وتمتاز بأنها أكثر المنسوجات تماسكاً وتكون خيـوط السـداء (الخيـوط الشـاقولية) وخيـوط الحـدف (الخيـوط الأفقية) متقاطعـة مـع بعضـها البـعض بزوايا قائمـة (°90) كمـا هو مبين بالشكل رقم (10) الذي يوضح طريقة تركيب النسيج السادة بحيث يكون امتداد خيوط السداء متوازيـة مـع بعضـها البعض وكل خيط يمر فوق أو تحت خيوط الحدف. [22]



الشكل (10)، التركيب النسيجي العادي (النسيج السادة)

الجدول رقم (1) يوضح أبعاد العينات وكثافتها وفق كل اختبار تم تطبيقه في هذه الدراسة:

الاختبارات	أبعاد العينة (X x Y x Z) (mm)	الكثافة Density: عـــدد الخيـــوط (Threads) للسداء والحدف في 1 cm من النسيج		
		خيـــوط السداء Warp	خيـــوط الحدف Weft	الكلي Total density
مقاومـــــة الانفجار	100 x100 x0.95	4 T	2 T	6 T
نفوذية الهواء	100 x100 x0.95	4 T	2 T	6 T
الشـــــد للمنســوجات البازلتية	200 x50 x0.95	4 T	2 T	6 T
الشـــــد للمنســوجات الأراميدية	200 x50 x 1.05	6 T	3 T	9 T
الشـــــد للمنســوجات الممزوجة	200 x50 x1.0	5 T	3 T	8 T

ولتحضـير العينـات وإجـراء المقارنـة بالشـكل الأمثـل لموثوقيـة النتائج المستخلصة، تم القيام بما يلي:

- **أولاً: تحديد نمرة الخيوط:**

تمّ هذا الإجراء من خلال قطع طول 1m من الخيوط البازلتيّة وتمّ حساب وزن كل منها على ميزان إلكتروني حساس وتبين أنها مساوية لـ (g) 1.200 وبقسمة طول العيّنة على وزن العيّنة نحصل على النمرة المترية: (1/1.200= 0.83333) وبالاستعانة بجدول تحويل النمر تمّ تحويل النمرة المترية إلى tex وفق ما يلي: (tex 1200 = 1000/0.83333) وتم نفس الإجراء للخيوط الأراميدية وتبين أن نمرتها مساوية لـ 1228 tex.

- **ثانياً: تحديد متوسط قطر الشعيرات:**

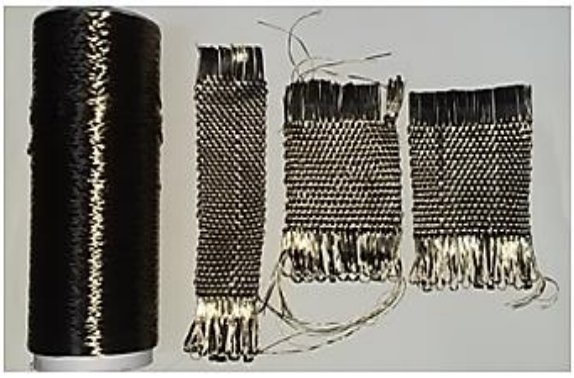
تمّ هذا الإجراء باستخدام المجهر الضوئي (المايكروسكوب) حيث تمّ وضع عدة عينات على عدسة المجهر لقياس متوسط قطرها Filament average diameter وتبين أن متوسط قطر هذه الشعيرات هو (**μ**m) 13

- **ثالثاً: حفظ الخيوط في شروط متماثلة قبل عملية النسج:**

حيث تم حفظ جميع الخيوط لمدة h 24 عند درجة حرارة قياسية C° (2∓20) ورطوبة نسبية %(2∓65).

- **رابعاً: نسج جميع الخيوط بطريقة متماثلة:**

وذلك من خلال استخدام نفس النول (نول يدوي مخبري بعرض 1m وبـ 4 درآت) ونفس عدد الخيوط في السداء والحدف لكافة المنسوجات ووفق أبعاد كل عينة، والشكل رقم (11) يوضح عينات المنسوجات البازلتية علماً أن أبعادها وكثافتها تم توضيحها في الجدول (1)



الشكل رقم (11)، عينات المنسوجات البازلتية

2.7 – الاختبارات المطبقة على العينات البازلتية:

حيث تم تطبيق كافة الاختبارات في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية في دمشق.

1.2.7 – اختبار قوة الانفجار:

قوة الانفجار: وهي مقدار الضغط السائل المطلوب للتمزق باستخدام قوة مفاجئة مطبقة على القماش وتعتبر أحد أهم الاختبارات الفيزيائية في صناعة النسيج لأنها مقياس موثوق لقوة وأداء الأقمشة الصناعية، وتختلف باختلاف نوع ونسبة وكمية الألياف الموجودة في المادة، وتعمل هذه الأجهزة بضغط الزيت (هيدروليكي) أو ضغط الهواء (هوائي) [23]، وتم إجراء الاختبار على جهاز الاختبار نوع GESTER موديل GT–C12A والموضح بالشكل (12) وذلك عن طريق تطبيق الضغط الهيدروليكي تحت غشاء مطاطي وفقاً للمواصفة (ASTM D3786).

الشكل (12)، جهاز GT–C12A لتحديد قوة الانفجار

وللحصول على موثوقية في النتائج فقد تم تكرار الاختبار خمس مرات وتم أخذ المتوسط الحسابي لنتائج النسيج البازلتي والجدول رقم (2) يوضح نتائج الاختبار:

الجدول رقم (2)، نتائج اختبار قوة الانفجار للنسيج البازلتي

رقم العينة	قوة الانفجار K. Pas	مدة حدوث الانفجار Sec
العينة 1	3850	24
العينة 2	3800	23
العينة 3	3700	22
العينة 4	3750	22
العينة 5	3900	25
Average	3800	23.2

من نتائج الجدول رقم (2) تبين أن البازلت يتحمل قوة انفجار مرتفعة وتبلغ 3800 k. pas وبزمن يبلغ 23.2 sec وبالتالي يتمتع بمتانة عالية، كما وأظهرت جميع العينات نفس سلوك الفشل حيث أنها لم تتمزق أو تنثقب ولكن تم حدوث انتفاخ فيها وظهور بعض الفراغات فقط في النسيج، والشكل رقم (13) يوضح عينة بازلتية بعد الاختبار.

الشكل رقم (13)، عينة بازلتية بعد تطبيق اختبار قوة الانفجار

2.2.7 – اختبار نفوذية الهواء للأنسجة:

تعتبر من الصفات الهامة للأقمشة في الكثير من الاستعمالات (الأقمشة الصناعية أو الأقمشة المستعملة في صناعة الملابس)، وتعرف بأنها سرعة جريان الهواء التي تمر عمودياً خلال عينة اختبار معيارية ضمن شروطٍ محددةٍ لمساحة الاختبار وهبوط الزمن والضغط. [22]

تحسب نفوذية الهواء ويعبر عنها بـ (mm/s) أو (cm/s) أو (m/s) بالعلاقة التالية: [22]

$$\text{نفوذية الهواء } (cm^3/cm^2.\,Sec) = \frac{\text{معدل تدفقات الهواء}}{\text{مساحة الاختبار}} \quad ..(1)$$

1.2.7.2 – المبدأ العام للاختبار:

هو إحداث فرق ضغط معين بين وجهي القماش عن طريق سحب الهواء وقياس التدفق عند الوجه الخارج للهواء.

2.2.7.2 – طريقة الاختبار:

تم إجراء هذا الاختبار باستخدام الجهاز TF164E وفقاً للمواصفة (ASTM D737–86) حيث تم وضع العينة تحت المثبت الدائري والذي بدوره يقوم بالشد على القماش بشكلٍ مناسب ثم يشغّل ضاغط الهواء لنفاذ الهواء من العينة الاختبارية ويُعيّر جريان الهواء بالتدرج حتى يهبط الضغط المطلوب عامودياً على سطح العينة، ويسجل جريان الهواء بعد دقيقة واحدة من الزمن ثم يعاد هذا الإجراء في مواضع مختلفة من العينات الاختبارية وذلك بحدود (5) مرات ، والشكل رقم (14) يوضح جهاز اختبار نفوذية الهواء.

الشكل (14)، جهاز اختبار نفوذية الهواء TF164E .

3.2.7.2 – نتائج الاختبار:

تم تنفيذ الاختبار عند الضغط 20 mm عامود ماء وزمن قدره 1 min ومساحة سطح الاختبار $0.12\ m^2$ والجدول رقم (3) يوضح نتائج الاختبار:

الجدول رقم (3)، نتائج اختبار نفوذية الهواء للنسيج البازلتي

رقم العينة	تدفق الهواء m^3/s	نفوذية الهواء m/s
العينة 1	60.0	500.00
العينة 2	62.5	520.83
العينة 3	58.5	487.50
العينة 4	64.0	533.33
العينة 5	60.0	500.00
Average	61.0	508.33

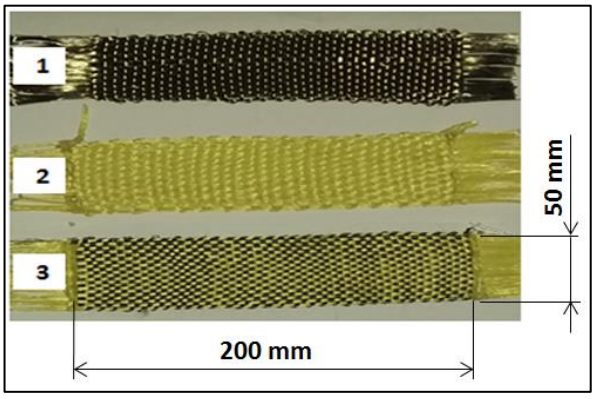
من نتائج الجدول رقم (3) تبين أن المنسوجات البازلتية تتمتع بنفاذية عالية للهواء تبلغ وسطياً (m/s) 508.33 وهذا يفسر بحسب وجهة نظر الباحث سبب استخدام الخيوط البازلتية في تصنيع الفلاتر، بالإضافة إلى استخدامها في تنجيد مقاعد وسائط النقل العامة وذلك لأن نفاذية الهواء في النسيج مهمة في الحفاظ على راحة الجسم وحمايته من الرطوبة فكلما كانت

نفاذية الهواء أفضل للنسيج كلما تم نقل درجة حرارة الهواء في جميع أنحاء الجسم وعلى نحو أكثر سهولة خارج الجسم.

3.2.7 – اختبار الشد للمنسوجات:

في هذا الاختبار تم نسج ثلاثة أنواع من المنسوجات لمقارنة قوى الشد بينها حيث بلغ طولها 200 mm وعرضها 50 mm، وهذه الأنواع هي:

1. منسوجات من الألياف البازلتية بنمرة 1200 tex.
2. منسوجات من ألياف الأراميد بنمرة 1228 tex.
3. منسوجات ممزوجة (بازلتية/آراميدية) "خيوط السداء من الأراميد نمرتها 1228 tex، وخيوط الحدف من البازلت نمرتها 1200 tex " والشكل رقم (15) يوضح العينات الثلاثة على الترتيب.



الشكل رقم (15)، العينات المنسوجة والمخصصة لاختبار الشد

1.3.2.7 – تحديد سماكة المنسوجات:

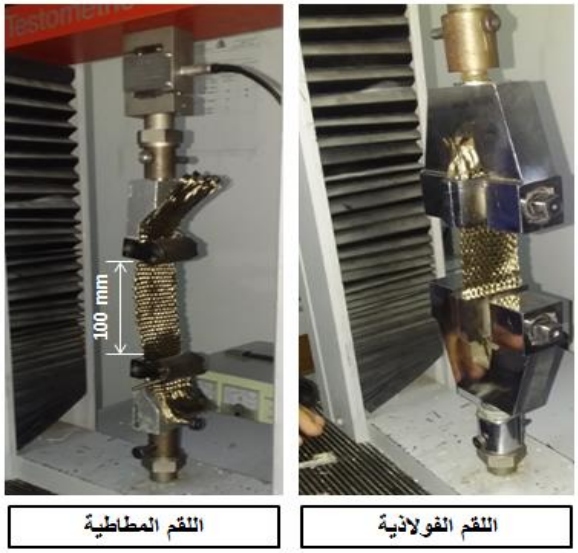
تم هذا الإجراء باستخدام جهاز قياس السماكة TESTEX والموضح بالشكل رقم (16) طبقاً للمواصفة (ASTM D1777–96) حيث تم تحديد سماكة عدة مناطق من كل عينة وحساب المتوسط الحسابي لها، وكانت النتائج كما يلي:

- سماكة النسيج البازلتي = 0.95 (mm)
- سماكة نسيج الأراميد = 1.05 (mm)
- سماكة النسيج الممزوج (بازلت/ أراميد) = 1.0 (mm)

الشكل رقم (16)، جهاز تحديد سماكة المنسوجات

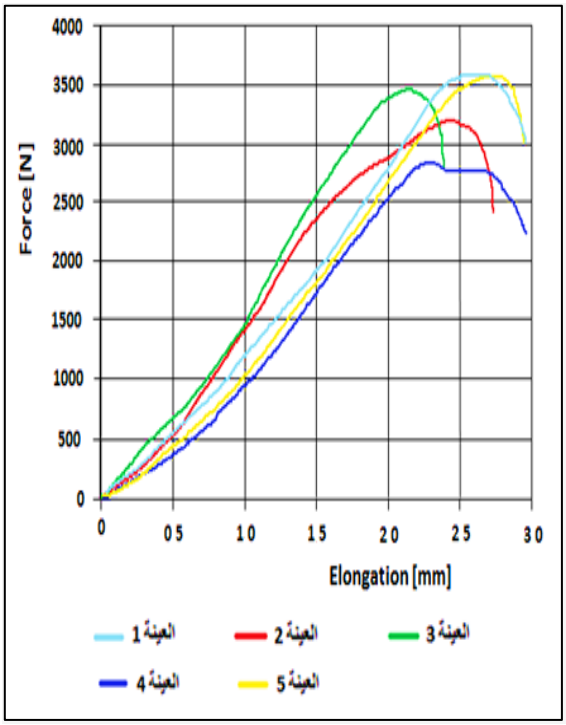
2.3.2.7 – طريقة إجراء اختبار الشد للمنسوجات:

تمّ استخدام جهاز الشد Testometric M350–10CT وتم تطبيق الاختبار وفقاً لمعيار EN ISO 13934–1 حيث تم تثبيت الطرف العلوي للعينة على الفك العلوي للجهاز، ثم تمّ وضع الطرف السفلي حيث بلغ الطول الفعال للعينة بين فكي جهاز الشد Lo= 100 mm، ثم تمّ تطبيق الحمل بسرعة ثابتة تبلغ (mm/min) 25 حتى فشل العيّنة مما يتوجب إيقاف الاختبار، وأشارت الاختبارات الأولية إلى أن السحب المباشر للمنسوجات البازلتيّة ضمن فكي آلة اختبار الشد يؤدي إلى انزلاقها وتقطعها ضمن الفكوك أثناء تطبيق الاختبار، ولمعالجة هذه المشكلة تمّ الاستعاضة عن اللقم الفولاذية لفكي آلة الاختبار بلقم مصنوعة من المطاط القاسي (الكاوتشوك) كما هو موضح بالشكل رقم (17)،

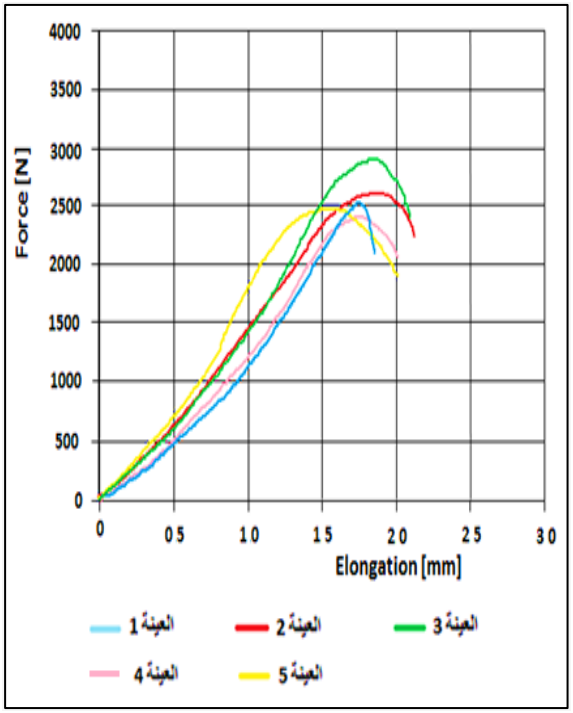


الشكل رقم (17)، آلة اختبار الشد للمنسوجات

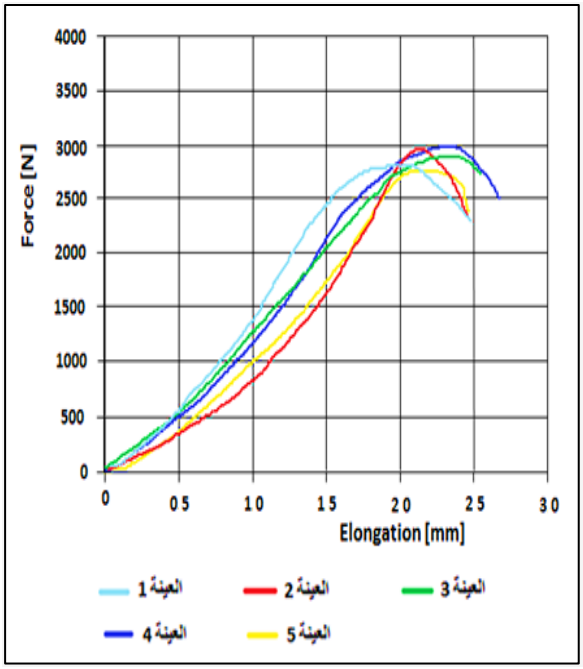
ويوضح الشكل رقم (18) و(19) و(20) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للمنسوجات (البازلتية، الأراميدية، الممزوجة) على الترتيب، كما ويوضّح الجدول رقم (4) ورقم (5) ورقم (6) نتائج اختبار الشد للعينات الثلاث.



الشكل رقم (18) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للمنسوجات البازلتيّة



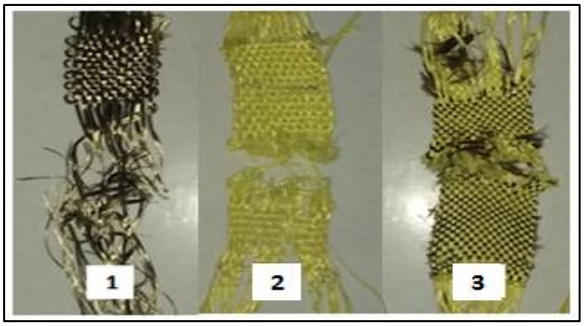
الشكل رقم (19) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للمنسوجات الأراميدية



الشكل رقم (20) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للمنسوجات الممزوجة (بازلت/ أراميد)

بمقارنة الأشكال رقم (18) و(19) و(20) نستنتج ما يلي:

إن سلوك الفشل لجميع العينات (المنسوجات بأنواعها المختلفة) متماثل، ولكن تفوقت المنسوجات البازلتية على غيرها من المنسوجات المدروسة من خلال القيم الوسطية لقوة الانقطاع لكل منسوج، كما وتمتعت باستطالة أعلى، والشكل رقم (21) يوضح العينات الثلاث بعد فشلها.



الشكل رقم (21)، العينات الثلاث بعد فشلها

الجدول رقم (4)، نتائج اختبار الشد للمنسوجات البازلتية (Basalt Fabrics)

رقم العينة	أبعاد العينة (mm) (L x Y x T)	Elong break ΔL_{Fmax}(mm) الاستطالة	Force Break F_{max} (N) قوة الانقطاع	Strain Break $\varepsilon_{max} = (\Delta L / Lo)$ الانفعال عند الانقطاع	Stress Break $\delta_{max} = F/A$ (MPa) الإجهاد عند الانقطاع
1	200 x 50 x 0.95	29.18	3611.12	0.194	76.023
2	200 x 50 x 0.95	27.39	3240.55	0.182	68.222
3	200 x 50 x 0.95	23.88	3498.46	0.159	73.651
4	200 x 50 x 0.95	29.36	2790.99	0.195	58.757
5	200 x 50 x 0.95	28.67	3605.89	0.191	75.913
Average	200 x 50 x 0.95	27.69	3349.40	0.184	70.513

الجدول رقم (5)، نتائج اختبار الشد لمنسوجات الأراميد (Aramid Fabrics)

رقم العينة	أبعاد العينة (mm) (L x Y x T)	Elong break ΔL_{Fmax}(mm) الاستطالة	Force Break F_{max} (N) قوة الانقطاع	Strain Break $\varepsilon_{max} = (\Delta L / Lo)$ الانفعال عند الانقطاع	Stress Break $\delta_{max} = F/A$ (MPa) الإجهاد عند الانقطاع
1	200 x 50 x 1.05	17.98	2526.11	0.119	53.047
2	200 x 50 x 1.05	21.76	2618.89	0.145	54.995
3	200 x 50 x 1.05	21.32	2909.24	0.142	61.092
4	200 x 50 x 1.05	20.11	2416.82	0.134	50.752
5	200 x 50 x 1.05	20.09	2498.96	0.133	52.477
Average	200 x 50 x 1.05	20.25	2594.00	0.136	54.472

الجدول رقم (6)، نتائج اختبار الشد للمنسوجات الممزوجة (البازلت/ الأراميد) (Basalt/Aramid Fabrics)

رقم العينة	أبعاد العينة (mm) (L x Y x T)	Elong break ΔL_{Fmax}(mm) الاستطالة	Force Break F_{max} (N) قوة الانقطاع	Strain Break $\varepsilon_{max} = (\Delta L / Lo)$ الانفعال عند الانقطاع	Stress Break $\delta_{max} = F/A$ (MPa) الإجهاد عند الانقطاع
1	200 x 50 x 1.00	24.82	2794.82	0.165	55.896
2	200 x 50 x 1.00	24.56	2980.18	0.163	59.603
3	200 x 50 x 1.00	25.75	2900.11	0.171	58.002
4	200 x 50 x 1.00	27.32	3000.05	0.182	60.001
5	200 x 50 x 1.00	24.90	2750.98	0.166	55.019
Average	200 x 50 x 1.00	25.47	2885.29	0.169	57.704

– نتائج الدراسة:

أولاً: بمقارنة نتائج الجدول رقم (4) ورقم (5) ورقم (6) نستنتج ما يلي:

– احتلت المنسوجات البازلتية المركز الأول وتفوقت على بقية المنسوجات وبلغت القيمة الوسطية لقوة الانقطاع 3349.40 N ثم جاء في المرتبة الثانية المنسوجات الممزوجة وبلغت القيمة الوسطية لقوة الانقطاع 2885.29 N وهذا يعكس ارتباطاً رائعا بين ألياف البازلت وألياف الأراميد في المنسوجات، وفي المركز الأخير المنسوجات الأراميدية حيث بلغت القيمة الوسطية لقوة الانقطاع 2594.00 N.

– هناك علاقة تناسب طردي بين قوة الانقطاع، والاستطالة والاجهاد والانفعال عند الانقطاع حيث تزداد تلك القيم بازدياد قوة الانقطاع للمنسوجات.

– قيم استطالة المنسوجات المدروسة كانت تقريباً متماثلة مع تفوق بسيط للمنسوجات البازلتية.

ثانياً: المنسوجات البازلتية تتحمل قوة انفجار مرتفعة وتبلغ 3800 k. pas وبالتالي تتمتع بمتانة عالية.

ثالثاً: المنسوجات البازلتية تتمتع بنفاذية عالية للهواء تبلغ وسطياً (m/s) 508.33 وهذا يفسر بحسب وجهة نظر الباحث سبب استخدام البازلت في تصنيع الفلاتر، بالإضافة إلى استخدامه في تنجيد مقاعد وسائط النقل العامة.

رابعاً: بحسب وجهة نظر الباحث ومن الناحية الاقتصادية تعتبر المنسوجات الممزوجة (البازلت/الأراميد) ذات جدوى اقتصادية فعالة في حال كانت تلبي متطلبات العملاء من ناحية الشد ومن ناحية بقية خواصها، حيث أن السعر العالمي للطن الواحد من الألياف البازلتية 3500-3000 $US بينما سعر الطن من ألياف الأراميد 700-600 $US، وبالتالي عند المزج بين النوعين نحصل على منسوجات ممزوجة منخفضة التكلفة وتتمتع بخواص جيّدة.

خامساً: نظراً لما تتمتع به الألياف والخيوط البازلتيّة من خواص متميزة ستجعلها في الوقت القريب من المواد الخام المطلوبة في السوق العالمية خاصةً وأنها باتت تعتبر الحل الأمثل مقارنة بالألياف الكربونيّة وألياف الفيبرجلاس، وسيكون لها استخدامات واسعة وكبيرة في الصناعة والبناء ووسائط النقل المختلفة وفي مجالات الطاقة والصناعات الكيميائية والنفطية والميتالوجينية والنسيجية والدفاعية والإنشائية والبحرية وغيرها. وبحسب وجهة نظر الباحث سيكون لهذه الألياف دوراً كبيراً في سورية خاصةً في مرحلة إعادة الإعمار وذلك في حال تم استثمار الصخور البازلتيّة والمتوفرة بكميات هائلة في سورية تقدر بمليارات الأمتار المكعبة، وانطلاقاً من ذلك لا بد من رفع شعار (تحويل الحجر البازلتي السوري إلى الذهب) لما له من دور في تحقيق قفزاتٍ نوعيةٍ في العديد من القطاعات في سورية بالإضافة إلى تحسين عملية الإسراع بالتنمية وفي دعم الاقتصاد الوطني من حصيلة قَطِع أجنبي وغيره من خلال تصدير منتجات الصخور البازلتيّة المتعدّدة، وما ينجم عن ذلك في تحسين الوضع التنافسي لوطننا الحبيب سورية لتمكنه من الدخول في حلقات القيمة المضافة التي تعتبر قوام التنمية الاقتصادية لجميع الدول حالياً.

9 – مقترحات وتوصيات:

أجري البحث الحالي لدراسة المنسوج البازلتي السوري العادي (النسيج السادة) وتحديد بعضاً من خواصه: (مقاومة الانفجار والنفوذية للهواء والشد) وذلك وفق الإمكانيات المتاحة، كما وتبين أن المنسوجات الممزوجة (البازلت/الأراميد) ذات جدوى اقتصادية فعّالة وانطلاقاً من ذلك يمكن اقتراح بعض الدراسات المتعلقة والمكملة لموضوع هذا البحث على الشكل الآتي:

1– تصنيع عدة أنواع مختلفة من المنسوجات البازلتية نذكر على سبيل المثال: (أنسجة الباناما، النسيج المبرد، النسيج الأطلس ..إلخ) والمقارنة بين خواصها لأن اختلاف طريقة النسج وعدد طبقات الخيوط تغير من خواص المنسوجات،

وذلك لربط كل منسوج بازلتي بالصناعة الملائمة له بعد تحديد خواصه.

2- العمل على دراسة الخواص المتعددة للمنسوجات البازلتية السورية مثل: (اختبار ثبات الأبعاد، ومقاومة التآكل والاهتراء، واختبارات السطح، واختبارات درجة الحموضة، واختبار القابلية للاشتعال، واختبار مقاومة النسيج للحرارة وبخار الماء وغيرها الكثير...) لأن اختبارات المنسوجات تساعد على تقليل المخاطر لكل من المنتَج والمستهلك وحماية مصالحهما في ظل تنامي متطلبات الأمن والسلامة المهنية وحماية البيئة والرغبة بالحصول على الجودة الأعلى وبأقل التكاليف الممكنة.

3- العمل على مزج الألياف البازلتية بألياف أخرى (الألياف الزجاجية والألياف الكربونية وألياف الإسبستوس) لتشكيل منسوجات ممزوجة والمقارنة بينها من خلال دراسة سلوك المزيج والتنبؤ بالخواص المتعددة لها وربطها بالاستخدام النهائي.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق
وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

[1] Osnos, S.P. (2016) - Present and future of continuous basalt fiber- Development of technology, equipment, manufacturing, and sales, "Basalt Fiber Materials Technology Development Co." pp. 1-8.

[2] شرف، مزيد. (2009) "البازلت مادة أولية لصناعات هامة ونوعية في سوريا" /ابتكارات للقرن الواحد والعشرين/ . قدم إلى المؤتمر الجيولوجي الثاني، سوريا، دمشق.

[3] أسعد، ماجد. (2013) تقييم الحصويات البازلتية (بالمناطق الشمالية الغربية– جسر الشغور) للاستخدام في أعمال الخرسانة 29 (2)، 80–67.

[4] Regar, M. &Amjad, A. (2016) Basalt Fibre – Ancient Mineral Fibre for Green and Sustainable Development. Tekstile, Indiac, 2016, 59(4), 321-334

[5] Harraz,H. Z. (2019) Basalt Rock Fiber, https://www.researchgate.net/publication/336702805

[6] Rathod N. & Gonbare M. & Pujari M. (2013) Basalt Fiber Reinforced Concrete (IJSR) Volume 4 Issue 5, May 2015 www.ijsr.net

[7] Ólafsson, H. & Þórhallsson, E (2009**)** Basalt fiber bar-Reinforcement of concrete structures- pp. 1-14. REYKJAVÍK UNIVERSITY, pp 3-14

[8] Basaltfm. (2016). Retrieved Octobet 12, 2016, from Basalt fiber and composite materials technology development: https://basaltfm.com/eng/

[9] Adejuyigbe, I. B. & Chiadighikaobi, P. C. & others (2019) Sustainability Comparison for Steel and Basalt Fiber www.CivileJournal.org, Vol. 5, No. 1, January, 2019.PP. 172-188

[10] Osnos S.P. & Koval P. N. & others**:** Appliancation of basalt fiber based materials in road building. "Basalt Fiber & Composite Materials p.p 1-7

[11] Saravanan. (2006) Spinning the Rocks - Basalt Fibers**.** (Vol 86, February 2006, pp 39- 45).

[12] Matchonova N. & Rakhimov F. (2020) Basalt Fiber and Capabilities for Creating Added Produc**t**, Solid State Technology, Volume:63 Issue: 5. *Archives Available @ www.solidstatetechnology.us*

[13] Singha, K. (2012). A short review on basalt fiber. International Journal of Textile Science,1, 19 28

[14] Chou, S., Lin, L., & Yeh, J. (1999**). Effect of surface treatment of glass fibers on adhesion to phenolic resin**. *Polymers & Polymer Composites, 7*, 21–31.

[15] Park, J., Kim, D, Kong, ., Kim, M, Kim, W, & Park, I. (2002). Interfacial adhesion and microfailure modes of electrodeposited carbon fiber/ epoxy–PEI composites by microdroplet and surface wettability tests. Journal of Colloid and Interface Science, 249, 62–77.

[16] Czigány, T. (2005). Discontinuous basalt fiber-reinforced hybrid composites. In Polymer composites (pp. 309–328). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-26213-X_17

) Trends in fiber reinforcements – 2007] Czigány T. (17[the future belongs to basalt fiber. eXPRESS Polymer Letters Vol.1, No.2 (2007) 59. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2007.11 www.expresspolymlett.com

[18] Liu, Q., Shaw, M. T., Parnas, R. S., & McDonnell, A. M. (2006). Investigation of basalt fiber composite mechanical properties for applications in transportation. Polymer Composites, *27*, 41–48.

[19] Deák T. & Czigány T. (2009) Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: A comparison. in SAGE Journals, Vol 79, Issue 7, 2009 https://doi.org/10.1177/0040517508095597

[20] Yao, Y., Zhu, D., Zhang, H., Li, G., & Mobasher, B. (2016). Tensile behaviors of Basalt, Carbon, Glass, and aramid fabrics under various strain rates. Journal of Materials in Civil Engineering, *28*, 04016081.

[20] Ahmad, Z. &Sirková, B. (2017) Tensile behavior of Basalt/Glass single and multilayer-woven fabrics. https://www.researchgate.net/publication/319156756

[21].Xing, D. Cheng.p & other (2019) Factors governing the tensile strength of basalt fiber, Elsevier (119) p.p(127-133)

[22] عمر، ربيع. (2011) دراسة تأثير نوعية الخيط والنسيج على **نفوذية الأقمشة للهواء**، جامعة حلب – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم ميكانيك الغزل والنسيج. ص 1–85.

[23] Web: https://www.intertek.ae/textiles/testing/