

دراسة تحسين العزل الحراري للصبية الاسمنتية باستخدام ألياف بوليميرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ

د.م. أنس قرمو

الملخص

في ظل السعي الدائم لإيجاد سبل لترسيخ مبادئ الاستدامة وترشيد الطاقة، وتماشياً مع التطور والتقدم التكنولوجي والبحث العلمي بهدف تطبيق النظم البيئية السليمة، يندرج هذا البحث من خلال استخدام طريقة جديدة لإنتاج ألياف نانوية بوليميرية بتقنية النفخ بهدف استخدامها في مجال العزل الحراري للصبات الاسمنتية.

تم في هذا البحث دراسة تحسين العزل الحراري لعينات اسمنتية تم تصنيعها خصيصاً لهذا الغرض، وقد تم تصنيع العينتان بأبعاد 21 X 21 X 2 cm ، وتم قياس معامل التوصيلية الحرارية لهما وقد بلغت 1.595 W/m.K، ثم تم وضع العينة الأولى على جهاز عزل الألياف النانوية بطريقة النفخ، ثم تم إضافة طبقة عزل من الألياف البوليميرية النانوية على العينة بسماكة معينة، والألياف هي من البوليسترين PS ، تم بعدها قياس سماكة طبقة الألياف المتشكلة على سطح العينة وإجراء قياس معامل التوصيلية الحرارية الجديد للعينة، ثم تم إعادة العينة لجهاز العزل وإضافة طبقة ثانية من الألياف وإعادة قياس السماكة ومعامل التوصيل الحراري، ثم إضافة طبقة ثالثة ورابعة وخامسة وتكرار الخطوات تسجيل نتائج القياس، وبذلك أصبح لدينا خمس قراءات لعينات معزولة بالألياف PS بالإضافة لقراءة العينة المرجعية. تم تطبيق نفس الإجراءات على العينة الثانية وذلك باستخدام بوليمير مختلف وهو ABS لإنتاج الياف نانوية بوليميرية من ABS وعزل العينة الثانية وفق نفس الآلية مع أخذ القياسات في كل مرحلة عزل، وبذلك أصبح لدينا 12 عينة لكل عينة قراءاتها الخاصة. تم حساب المقاومة الحرارية الاجمالية لكل عينة وحساب معامل التوصيل الحراري لطبقات العزل بمفردها حيث

بلغ معامل التوصيل الحراري لطبقة ألياف PS 0.07 W/m.K بينما بلغ لألياف ABS 0.085 W/m.K .

أظهرت النتائج تفوق ألياف PS النانوية على ألياف ABS النانوية بنسبة 19.84% من حيث المقاومة الحرارية، وتفوقت أيضاً ألياف PS النانوية على ألياف ABS النانوية بنسبة 13.5% من حيث معامل التوصيل الحراري الأقل، وبالتالي إن استخدام الألياف النانوية المصنعة بتقنية النفخ من نوع PS في العزل الحراري له جدوى جيدة، يليه ألياف ABS النانوية التي حققت أداءً حراريًا أقل.

الكلمات المفتاحية: الألياف النانوية، العزل الحراري بالنفخ، ABS، PS، قياس الموصلية الحرارية، المقاومة الحرارية الاجمالية.

A study on improving the thermal insulation of cement concrete using polystyrene (PS) and ABS nano-polymer fibers using blow molding technology

Dr. Anas Qarmo

Abstract

In the ongoing pursuit of sustainability and energy conservation, and in line with technological advancements and scientific research aimed at implementing sound environmental systems, this research focuses on a novel method for producing polymer nanofibers using blow molding technology for use in thermal insulation of concrete slabs.

This research studied improving the thermal insulation of cement samples that were specially manufactured for this purpose. The two samples were manufactured with dimensions of 21 cm x 21 cm x 2, and their thermal

conductivity coefficient was measured and reached 1.595 W/m.K. Then the first sample was placed on a nanofiber spinning machine by blowing, and then an insulation layer of polymer nanofibers of a certain thickness was added to the sample. The fibers are polystyrene PS. Then the thickness of the fiber layer formed on the surface of the sample was measured and the new thermal conductivity coefficient of the sample was measured. Then the sample was returned to the spinning machine and a second layer of fibers was added and the thickness and thermal conductivity coefficient were measured again. Then a third, fourth and fifth layer were added and the steps were repeated and the measurement results were recorded. Thus we had five readings for samples insulated with PS fibers in addition to the reading of the reference sample. The same procedures were applied to the second sample, using a different polymer, ABS, to produce polymeric nanofibers. The second sample was then insulated using the same mechanism, with measurements taken at each insulation stage. This resulted in 12 samples, each with its own readings. The total thermal resistance of each sample was calculated, as well as the thermal conductivity coefficient of the insulation layers individually. The thermal conductivity coefficient for the PS fiber layer was 0.07 W/m·K, while for the ABS fiber it was 0.085 W/m·K. The results showed that the PS nanofibers outperformed the ABS nanofibers by 19.84% in terms of thermal resistance. Furthermore, the PS nanofibers outperformed the ABS nanofibers by 13.5% in terms of lower thermal conductivity. Therefore, using PS nanofibers manufactured using the blow molding technique for thermal insulation is highly feasible, followed by ABS nanofibers, which exhibited lower thermal performance.

Keywords: Nanofibers, thermal insulation, ABS, PS, thermal conductivity measurement, total thermal resistance

1. مقدمة:

في ظل الازدياد المضطرد في عدد سكان العالم، وتزايد الطلب على المباني السكنية، أصبح من الضروري الاهتمام بشكل جدي في النواحي البيئية، وتطبيق معايير بيئية سليمة في البناء، وجعل السلوكيات البيئية السلمية محورياً أساسياً في التطوير العمراني والسكني، ولا سيما في دول الناهضة والخارجة من حروب وأزمات والتي تتم فيها عمليات إعادة إعمار. وتبرز هنا إحدى أهم المشاكل الحاصلة وهي المشاكل المتعلقة بهدر الطاقة في المباني السكنية، ولا سيما الهدر الحراري عبر أغلفة الأبنية، والتي يكون مصدرها الأساسي هو عدم تطبيق الأسس والمعايير البيئية السليمة أثناء تشييد تلك المباني. تعد تطبيقات أنظمة الغلاف الذكي للأبنية من أهم سبل التقليل من الهدر الحراري الحاصل على هذا الصعيد، لذلك وجب التركيز في الدراسات والأبحاث على كل ما يحسن من الأداء الحراري والبيئي لأغلفة المباني.

تعد الخرسانة الاسمنتية من أهم المكونات الهيكلية للمباني السكنية، لذلك وجب تسليط الضوء على خصائصها وتحسين تلك الخصائص بما يتماشى المعايير البيئية المتبعة، ومن أهم تلك الخصائص هي خصائص العزل الحراري، لأن ارتفاع معايير تلك الخصائص يساعد بشكل كبير على تطبيق متطلبات ترشيد الطاقة في المباني. تمتلك الخرسانة الاسمنتية معامل توصيل حراري مرتفع نسبياً يتراوح بين [1] 1400 – 2400 W/m.K، مما يجعلها ناقلاً فعالاً للحرارة ويسبب فقداناً كبيراً للطاقة الحرارية في الأبنية والمنشآت. هذا القصور في العزل الحراري يُعدّ تحدياً كبيراً في التصميم المعماري الحديث الذي يسعى لتحقيق كفاءة طاقة عالية وتقليل الانبعاثات الحرارية بما يتوافق مع معايير الاستدامة البيئية الحديثة كالمعيارين:

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) و

(Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM . [2],[3]

لقد سعت العديد من الدراسات خلال العقد الماضي إلى تحسين الخواص الحرارية للخرسانة عبر استخدام مواد مضافة مثل: الجسيمات النانوية، والركام خفيف الوزن، والمواد العضوية المعزولة، والبوليمرات ذات الخصائص العازلة. ومن بين هذه الاتجاهات، برز استخدام الألياف البوليمرية كأحد الحلول الواعدة لتحسين الأداء الحراري دون التأثير السلبي على مقاومة الضغط أو المتانة الإنشائية. تتميز الألياف البوليمرية مثل البوليسترين (PS)، والبولي بروبيلين (PP)، والأكربونيتريل بيوتاديين ستايرين (ABS) بخفة وزنها [4] وانخفاض معامل توصيلها الحراري، مما يجعل دمجها في المصفوفة الأسمنتية وسيلة فعالة لتقليل انتقال الحرارة عبر المقطع الخرساني.

تُظهر الأبحاث أن دمج الألياف البوليمرية في الخلطة الخرسانية يؤدي إلى تشكيل مسارات حرارية منقطعة داخل البنية المجهرية للخرسانة، ما يقلل من تواصل الجسيمات المعدنية والركامية التي عادةً ما تنقل الحرارة بسرعة. كما أنّ الألياف تخلق فراغات دقيقة (Microvoids) تُسهم في احتجاز الهواء الجاف، وهو عازل طبيعي للحرارة، وبالتالي تُحسن من المقاومة الحرارية الكلية للخرسانة، إلى جانب ذلك، فإن استخدام الألياف البوليمرية لا يُعدّ مجرد وسيلة لتحسين الأداء الحراري، بل يُسهم أيضاً في تعزيز الخصائص الميكانيكية للخرسانة مثل مقاومة الشد والانحناء والانكماش الحراري، حيث تعمل الألياف كموزّع للإجهادات الداخلية وتمنع انتشار الشقوق الدقيقة الناتجة عن تغيرات الحرارة. هذا التكامل بين الأداء الحراري والميكانيكي يجعل الخرسانة البوليمرية من المواد المركبة الواعدة في تطبيقات الأبنية الخضراء والمنشآت الذكية.

ورغم هذه النتائج الإيجابية، ما تزال هناك فجوة بحثية واضحة تتعلق بفهم التأثير المتبادل بين نوع الألياف، ونسب إضافتها، وطريقة توزيعها داخل المصفوفة الاسمنتية، ومدى تأثيرها على معامل التوصيل الحراري عبر الاتجاهات المختلفة للمقطع الخرساني. كما لم تُدرس

بعد بشكل كافٍ أداء الألياف المصنعة بتقنيات النفخ الحراري أو البثق في تحسين العزل، رغم ما تتمتع به هذه التقنيات من قدرة على إنتاج ألياف دقيقة ومنتظمة البنية.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية هذا البحث من خلال دراسة تأثير استخدام ألياف بوليمرية مصنّعة بتقنية النفخ من بوليمري البوليسترين (PS) و (ABS) على العزل الحراري للخرسانة الاسمنتية، من خلال قياس معامل التوصيل الحراري في مراحل مختلفة من التغليف والسماكة. تسعى الدراسة إلى مقارنة الأداء الحراري لكلا البوليمرين وتحليل العلاقة بين السماكة وفعالية العزل لتحديد أنسب المكونات لتطبيقات الأبنية الحديثة ذات الكفاءة الطاقية العالية.

الهدف الأساسي لهذا البحث هو تحليل وتقييم تأثير الألياف البوليمرية المصنّعة بتقنية النفخ من نوعي البوليسترين (PS) و (ABS) على الأداء الحراري للخرسانة الاسمنتية من خلال دراسة سلوك انتقال الحرارة عبر العينات تحت ظروف معملية مضبوطة. وقد تم تحديد الأهداف التفصيلية كما يلي:

1. تحسين العزل الحراري للخرسانة الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية منخفضة التوصيل الحراري.
2. تقييم مدى فعالية سماكة العزل باستخدام طبقات متعددة الاتجاهات من المواد البوليمرية في خفض معامل التوصيل الحراري.
3. مقارنة الأداء الحراري بين مادتي البوليسترين (PS) و (ABS) لتحديد الأنسب من حيث الكفاءة الحرارية والتكلفة.
4. تقدير الكفاءة الحرارية الإجمالية ($\eta\%$) لكل بوليمر عبر مقارنة نسبة الانخفاض في التوصيل الحراري قبل وبعد العزل.

3. الدراسات المرجعية:

أجرى ميسكي ورفاقه بحث في العام 2022 بعنوان خرسانة رغوية عازلة معدلة بتقنية النانو باستخدام السيليكا الدقيقة ومعززة بألياف البولي بروبيلين لتحسين خصائصها، درس فيه بعض مشاكل العزل الحراري للخرسانة الرغوية، وهدفت هذه الدراسة إلى تطوير خرسانة رغوية عازلة للحرارة ذات خصائص محسنة من خلال اختيار الجرعة المثلى من ألياف البولي بروبيلين ومادة السيليكا النانوية المعدلة تجريبياً. استُخدمت الطرق القياسية لتحديد خصائص الخرسانة الرغوية الليفية، بالإضافة إلى طريقة المجهر الضوئي لدراسة بنية المركب. وقد ثبت أن استخدام ألياف البولي بروبيلين بنسبة تدعيم مثالية تتراوح من 1% إلى 3% يُحسن الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة الرغوية الليفية. تم تحديد الجرعة المثلى للمعدّل النانوي المُضاف بدلاً من جزء من المادة الرابطة 10% وألياف البولي بروبيلين 2% من وزن المادة الرابطة. بلغت أعلى قيم الزيادة في الخصائص الميكانيكية 44% لمقاومة الضغط و 73% لمقاومة الشد في الانحناء. انخفضت قيم معامل التوصيل الحراري عند الجرعات المثلى للمعدّل النانوي والألياف بنسبة 9%. لوحظ غياب التشققات الدقيقة عند الحد الفاصل بين ألياف البولي بروبيلين ومصفوفة الأسمنت والرمل المتصلبة نتيجةً للتعديل النانوي. [5]

درس ماهان ورفاقه في عام 2025 تأثيرات إضافة الصوف الصخري والرمل إلى خليط من البوليستر والأسمنت على مقاومة الضغط والعزل الحراري من خلال إعداد أربع عينات مختلفة. تكونت العينة الأولى من 70% أسمنت و 30% بوليستر. أما العينة الثانية، فتكونت من 60% أسمنت و 20% بوليستر و 20% رمل، بدون صوف صخري. وتألّفت العينة الثالثة من 60% أسمنت و 19% بوليستر و 19% رمل و 2% صوف صخري. واحتوت العينة الرابعة على 58% أسمنت و 19% بوليستر و 19% رمل و 4% صوف صخري. أشارت النتائج إلى أن العينة الأساسية (70% أسمنت و 30% بوليستر) تتمتع بمقاومة ضغط تبلغ 74.233 MPa ، وأعلى موصلية حرارية تبلغ 0.797 W/m.K . من بين العينات الثلاث المعدلة، حققت العينة الثانية

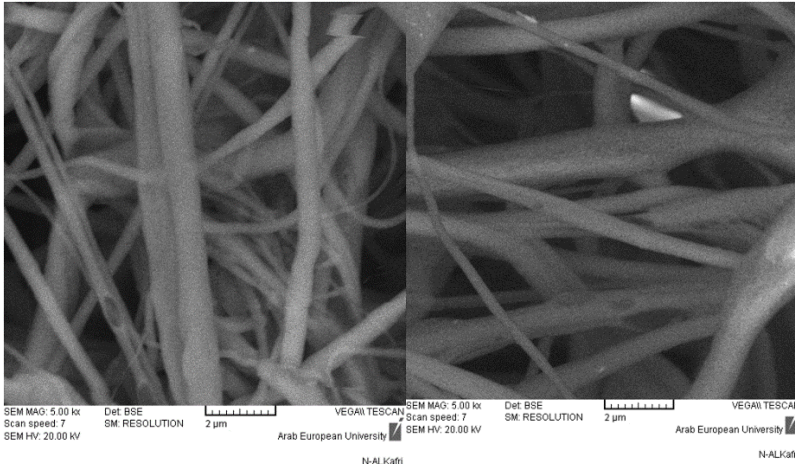
(20% رمل بدون صوف صخري) أعلى مقاومة ضغط بلغت 89.34 MPa . في المقابل، أظهرت العينة الرابعة، التي تحتوي على 4% صوف صخري، أدنى قيم الموصلية الحرارية، مما يجعلها أفضل عينة للعزل الحراري. يُعزى هذا الأداء المتميز في العزل إلى إضافة الصوف الصخري، الذي يتمتع بخصائص عزل حراري ممتازة، مما يساعد على الحفاظ على استقرار درجات الحرارة الداخلية وتقليل تكاليف الطاقة في المباني. [6]

درس فيلازي وزملاؤه في عام 2025 تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية للخلطة الخرسانية الخفيفة الوزن باستخدام الألياف الاصطناعية، تم في هذه الدراسة، إضافة ألياف صناعية - البولي بروبيلين (PP) والزجاج (PG) والبازلت (PB) - إلى خلطة خرسانية خفيفة الوزن مع ركام البيرلايت الخام لدراسة أدائها الميكانيكي والحراري والنيوبي الدقيق في آن واحد. على عكس العديد من الدراسات السابقة، حُدثت كمية الألياف نسبةً إلى وزن الاسمنت، مما يضمن ثبات نسبة الألياف إلى الاسمنت في جميع الخلطات. أُجريت اختبارات شاملة، بما في ذلك اختبارات مقاومة الضغط والانحناء، والتوصيل الحراري، وتحليلات SEM/EDS. ، كشفت النتائج عن اختلافات واضحة في التوصيل الحراري تبعاً لنوع الألياف ومحتواها: أظهرت ألياف البازلت أعلى قيمة وهي 0.4026 W/m.K عند محتوى ألياف 0.5% ، بينما أظهرت ألياف البولي بروبيلين أدنى قيمة وقد بلغت 0.2180 W/m.K عند محتوى ألياف 2% ، في حين أظهرت ألياف الزجاج نتائج متوسطة 0.2805 W/m.K عند محتوى 2% . من حيث الخواص الميكانيكية، أدى إضافة الألياف بنسبة تصل إلى 1% إلى تحسين ملحوظ في مقاومة الضغط والانحناء، حيث حققت ألياف البولي بروبيلين بنسبة 1% أفضل النتائج مقاومة ضغط 36.05 MPa ومقاومة انحناء 8.98 MPa . عند نسب ألياف أعلى، تباينت التأثيرات، مما يُبرز أهمية تحسين جرعة الألياف. أكدت الملاحظات المجهرية تحسن الترابط بين الألياف والمصفوفة وانخفاض انتشار الشقوق. بشكل عام، وفرت ألياف البولي بروبيلين أفضل تحسين ميكانيكي، بينما قدمت ألياف الزجاج

والبازلت توازناً بين العزل الحراري والمتانة. تُظهر هذه النتائج إمكانيات الخلطات الاسمنتية خفيفة الوزن المُدعمة بالألياف في تطوير مواد بناء متينة وموفرة للطاقة. [7]

وبالنظر للدراسات المرجعية التي اهتمت بدراسة خصائص الألياف.

وجد بأنه قامت التركي ومن يرافقها في البحث في العام 2025 بدراسة عملوا خلاله على تصنيع وتحسين أغشية من الألياف النانوية من البوليسترين و ABS بطريقة النفخ ودراسة خصائصها وتوصيفها مورفولوجياً، حيث تم أخذ صور لأغشية الألياف المصنعة بجهاز المجهر الالكتروني الماسح وتوصيف الألياف بالاعتماد عليها وعلى برنامج Image J، ويبين الشكل (1) والشكل (2) صور المجهر الالكتروني المأخوذة لكل من ألياف البوليسترين (PS) و (ABS) على الترتيب.



الشكل (2) صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني لألياف

الشكل (1) صورة مأخوذة بالمجهر الالكتروني

لألياف ABS [8]

لألياف بوليسترين [8]

من خلال صور المجهر الالكتروني تم توصيف أغشية الألياف المصنعة، حيث تراوح متوسط أقطار ألياف البوليسترين بين 381.9–644.6 nm بينما بلغ هذا المتوسط في ألياف

ABS قيمة 302.3 nm وهي تعتبر ألياف نانوية وفقاً لتعريف المعهد الياباني للألياف في طوكيو [8] ، وبلغت الكثافة الخطية لأغشية ألياف البوليسترين 17 fiber/10 µm بينما بلغت هذه الكثافة في ABS 89 fiber/10 µm. وأعطت الدراسة مواصفات أخرى للألياف متعلقة بالخواص الميكانيكية ومدى قدرتها على معالجة المياه. [9]

وجد من خلال الدراسات أن معظم التحسينات التي جرت على الصبات الإسمنتية باستخدام الألياف تمت ضمن الصبة الاسمنتية وهذا لا يسمح بأن تجري عملية التحسين بعد الصبة أو في الصبات المنشأة سابقاً، على خلاف البحث الحالي الذي يعتمد على تحسين الصبات المنشأة سابقاً، أي أن الألياف ليست موجودة ضمن الصبة وإنما تشكل طبقة إضافية. ونجد أيضاً أن أياً من الدراسات لم تستخدم طريقة النفخ في اعداد الألياف النانوية وإنما تم استخدام طرق أخرى، وأنهم لم يستخدموا مادة ABS و PS لإنتاج ألياف نانوية لاستخدامها للعزل الحراري بطريقة النفخ.

إن كل ما ذكر من اختلاف عن الدراسات السابقة يعطي البحث قيمة مضافة ويميزه عن الأبحاث السابقة.

4. طرائق البحث:

1.4. المواد المستخدمة:

1- المواد البوليمرية: تم استخدام نوعين مختلفين من البوليمرات وهما:

(a) بوليسترين (PS): تم الحصول عليه على شكل حبيبات كروية سائبة تتراوح أقطارها بين 3-4 mm وهي حبيبات تستخدم كمواد أولية لصناعة منتجات مختلفة من البوليسترين كألواح العزل الحراري ومواد تغليف. ويبين الشكل (3) أحد البوليمرات المستخدمة وهو حبيبات البوليسترين.

(b) بولي أكريلونتريل بوتادين ستايرن (ABS): وهو نوع من البوليميرات الحرارية المشتركة، يتمتع بخصائص متانة عالية، مقاوم للصدمات. تم الحصول عليه على شكل شريط كثافته: $1.04-1.06 \text{ g/cm}^3$ ، ودرجة انصهاره بين: $210-250 \text{ c}^\circ$.

تم اختيار هاذين النوعين من البوليميرات بسبب تمتعها بمعامل توصيل حراري منخفض، بالإضافة لسهولة التعامل معها وتشغيلها خاصةً مع جهاز توليد الألياف النانوية بالفخ، والسبب الأهم هو أنه لم يتم استخدام هاذين البوليميرين من قبل لهذا الغرض.



الشكل (3) يبين حبيبات البوليستيرين

2- المذيب: تم استخدام الأسيتون كمذيب، وهو مذيب يستخدم عادةً لإزالة الطلاء الأظافر وإزالة طلاء السيارات لأنه يعتبر مذيب فعال.

2.4. الأجهزة والمعدات المستخدمة:

تم في البحث الحالي استخدام مجموعة متنوعة من الأجهزة والمعدات. فقد استُخدمت بعض منها لتحضير العينات الاسمنتية، والبعض الآخر لتحضير الألياف البوليميرية، بالإضافة لأجهزة ومعدات قياس، وفيما يلي استعراض للأجهزة المستخدمة:

1- قالب صب العينات البيتونية: هو قالب خشبي صُمم خصيصاً لاحتواء الخلطة الخرسانية أثناء عملية الصب بهدف منحها الشكل والأبعاد المطلوبة لإجراء الاختبارات المخبرية. تم في

دراسة تحسين العزل الحراري للصبية الاسمنتية باستخدام ألياف بوليميرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ

هذا البحث استخدام قالب بأبعاد (21 × 21 × 6) cm، وهي الأبعاد القياسية المتوافقة مع متطلبات جهاز قياس الموصلية الحرارية المستخدم في التجربة، وذلك لضمان دقة القياسات، ويبين الشكل (4) القالب الخشبي المستخدم لصب العينات.



الشكل (4) يبين القالب الخشبي المستخدم لصب العينات الاسمنتية

2- ميزان الكتروني: تم استخدام ميزان الكتروني دقيق من نوع sartorius بدقة تصل إلى 0.1 mg من أجل وزن المواد البوليميرية المستخدمة في تصنيع الألياف. الميزان مبين في الشكل (5).

3- خلاط مغناطيسي: هو عبارة عن خلاط يعمل بمبدأ عمل مغناطيسي، ويحتوي هذا الخلاط أيضاً على سخان كهربائي لتسخين العينات التي بحاجة لذلك، ويحتوي على مفتاحين لضبط درجة الحرارة وسرعة الدوران، وشاشة رقمية يظهر عليها درجة الحرارة وسرعة الدوران. الشكل (6) يبين الخلاط المغناطيسي.



الشكل (5) يبين ميزان الكتروني المستخدم الشكل (6) يبين الخلاط المغناطيسي المستخدم

5- جهاز الغزل بالنفخ لإنتاج الألياف النانوية: يُستخدم هذا الجهاز في تصنيع ألياف نانوية دقيقة من محاليل بوليميرية متنوعة وفق مبدأ يعتمد على نفخ المحلول البوليميري بواسطة تيار من الهواء المضغوط. تبدأ عملية التشغيل بفتح صمام الضاغط الهوائي، مما يؤدي إلى خروج الهواء المضغوط عبر الأنابيب باتجاه رأس النفخ الموضوع في وضعية التشغيل، حيث يُنفخ المحلول البوليميري لتكوين خيوط نانوية دقيقة، في الوقت ذاته، يؤدي تفعيل مفاتيح لوحة التحكم إلى تشغيل كل من الحركة الترددية لحامل رأس النفخ والحركة الدورانية للأسطوانة التجميع. يُولّد المحرك المخصص للأسطوانة حركةً دورانية منتظمة تُمكنها من جمع الألياف المتشكلة على سطحها، بينما يقوم المحرك الثاني بنقل الحركة عبر ذراع ميكانيكي إلى الحامل، ليحدث حركة ترددية خطية ذهاباً وإياباً. تبلغ السرعة الخطية لرأس النفخ حوالي 12 m/min، أي ما يعادل 40 شوطاً في الدقيقة (حيث يُعرّف الشوط بأنه حركة الرأس في الاتجاهين المتعاكسين) [4],[10]. يبين الشكل (7) جهاز الغزل بالنفخ المستخدم، كما يبين الشكل (8) رأس النفخ.

دراسة تحسين العزل الحراري للصبية الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ



الشكل (8) يبين رأس النفخ



الشكل (7) يبين جهاز الغزل بالنفخ المستخدم

6- جهاز قياس الموصلية الحرارية: من أجل تحديد معامل التوصيل الحراري للعينات المحضرة، تم استخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية الموضح في الشكل (9). يعتمد هذا الجهاز في عمله على مبدأ التدفق الحراري عبر العينة قيد الاختبار، حيث يتم تمرير تدفق حراري منتظم من أحد وجهي العينة إلى الوجه الآخر.

يقوم الجهاز بقياس درجتي حرارة سطحي العينة بدقة عالية، إضافة إلى معدل التدفق الحراري المار خلالها. وبمعرفة مساحة سطح العينة وسماكتها، يمكن حساب معامل التوصيل الحراري (λ) للعينة باستخدام قانون فورييه للتوصيل الحراري، والذي يُعبّر عن العلاقة الرياضية

بين كمية الحرارة المتدفقة والزمن والمسافة كما يلي: [11]

$$Q = A \cdot \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\delta} \rightarrow \lambda = Q \cdot \frac{\delta}{A \cdot \Delta T}$$

حيث:

Q : التدفق الحراري يقدر بـ W .

ΔT : فرق درجة حرارة سطحي العينة $(T_H - T_C)$ ، يقدر بـ $^{\circ}C$.

λ : عامل التوصيل الحراري يقدر بـ W/mK .

A : مساحة سطح العينة تقدر بـ m^2 .

δ : سماكة العينة تقدر بـ m .

$$Q = V \cdot I \quad (2)$$

حيث:

V : جهد تغذية المنبع الحراري يقدر بـ V .

I : شدة تيار تغذية المنبع الحراري يقدر بـ A .



الشكل (9) يبين جهاز قياس الموصلية الحرارية

توصيف جهاز قياس الموصلية وطريقة القياس والطرز والمعايرة في المرجع [11]

7- بياكوليس رقمي: من أجل تحديد سماكات العينات وسماكات الطبقات بعد أن تم تجهيزها بشكل نهائي في كل مرحلة.

3.4. تحضير العينات:

1.3.4. تحضير العينات الاسمنتية:

تم في هذه المرحلة تحضير عدد من العينات الاسمنتية لجعلها عينات اختبارية، العينات المحضرة كانت بأبعاد 21 X 21 X 2 cm ، حيث تم تحضير خلطة اسمنتية مكونة من اسمنت ورمل كلسي وماء، تم خلط المكونات بشكل جيد يدوياً واستمرت عملية الخلط فترة زمنية جيدة حتى تجانس الخليط بشكل جيد، من ثم تم صب العينات في قوالب خشبية وتركها ما يقارب 28 يوماً حتى تجف بشكل جيد، وبذلك تكون العينات الاسمنتية جاهزة لإتمام العمل.

في هذه المرحلة من البحث، تم إعداد عدد من العينات الإسمنتية بغرض استخدامها في الاختبارات الحرارية اللاحقة. حي تم تحضير العينات الاسمنتية بأبعاد قياسية كانت 21) cm (21 × 21 × 2)، وهي الأبعاد التي تُمكن من إجراء قياسات دقيقة لعامل التوصيل الحراري باستخدام جهاز قياس معامل التوصيل الحراري المعتمد في البحث. تم تحضير الخلطة الإسمنتية الأساسية من الاسمنت البورتلاندي العادي كمادة رابطة، والرمل الكلسي الناعم كمادة مالئة، بالإضافة إلى ماء الخلط النقي بنسبة ملائمة لتحقيق قابلية تشغيل مناسبة للخليط وضمان تجانس البنية الداخلية للعيونة. أُجريت عملية الخلط يدوياً باستخدام الأدوات المناسبة، واستمرت لمدة كافية لضمان تجانس تام بين مكونات الخلطة وتحقيق توزيع موحد لحبيبات الرمل داخل الخليط الاسمنتي. بعد الحصول على خليط متجانس ذي قوام مناسب، تم صب الخليط في القوالب الخشبية المخصصة، ثم جرى تسوية السطح العلوي بعناية لإزالة أي فراغات هوائية أو تفاوتات في السماكة قد تؤثر لاحقاً على دقة القياسات، بعد عملية صب العينات، تُركت العينات داخل القوالب لفترة زمنية ثم أُزيلت من القوالب بعناية ونُقلت إلى مكان التجفيف تحت أشعة الشمس،

واستمرت عملية التجفيف فترة زمنية كافية لمدة 28 يوماً مع المحافظة على سقيها بالماء بشكل يومي ومنتظم، ومدة 28 يوم هي المدة القياسية المطلوبة لاكتمال الجفاف وفقاً للمعايير المتبعة، وبعد انتهاء فترة التجفيف، أصبحت العينات الإسمنتية جاهزة تماماً لإجراء الاختبارات المتعلقة بقياس معامل التوصيل الحراري وتطبيق طبقات العزل البوليمرية عليها ضمن المراحل التجريبية اللاحقة من البحث. ويبين الشكل (10) مراحل صب العينات الإسمنتية.



الشكل (10) يبين مراحل صب العينات الإسمنتية

2.3.4. تحضير الألياف البوليمرية النانوية:

تم في هذه المرحلة تحضير الألياف البوليمرية من نوعي البوليسترين (PS) والأكريلونيتريل بيوتاديين ستايرين (ABS) بتركيز وزني بلغ 12% لكل من البوليمرين، وفق منهجية دقيقة تضمنت مرحلتين رئيسيتين:

المرحلة الأولى تحضير المحلول البوليمري: بدأت عملية التحضير بتجهيز المحلول البوليمري الأساسي المستخدم في تصنيع الألياف. تم اختيار الأسيون كمذيب عضوي فعال لقدرته على إذابة كلا البوليمرين بفعالية عالية وتشكيل محلول متجانس القوام، حيث جرى وزن كمية محددة من البوليمر تتناسب مع كمية المذيب للحصول على التركيز المطلوب 12%، ثم وُضعت المكونات في بيشر زجاجي مقاوم للحرارة، وُثبت بعد ذلك على خلاط مغناطيسي مزوّد بسخان حراري. تم ضبط درجة الحرارة عند $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ للحفاظ على ثبات اللزوجة ومنع تبخر المذيب بسرعة، بينما ضُبِطت سرعة الدوران على المستوى المتوسط لتأمين تجانس الخلط دون إحداث فقاعات هوائية في المحلول. استمرت عملية الخلط لمدة 15 min تقريباً إلى حين الحصول على محلول متجانس تماماً وخالٍ من أي تكتلات بوليمرية.

تم تطبيق الخطوات نفسها على كل من محلولي PS و ABS بنفس الظروف التشغيلية لضمان توحيد خصائص الألياف الناتجة عند المقارنة التجريبية اللاحقة.

المرحلة الثانية: تشكيل الألياف البوليمرية على العينات الاسمنتية: بعد تحضير المحاليل، نُقلت إلى حجرة التغذية الخاصة بجهاز الغزل بالنفخ، حيث تم ملء الحجرة بالمحلول وإغلاقها بإحكام لمنع تسرب المحلول أو فقدان الضغط. نُبِتت العينة الإسمنتية بشكل شاقولي في مواجهة رأس النفخ، لضمان تغطية متجانسة لسطحها أثناء عملية الرش. عند تشغيل ضاغط الهواء، بدأ تدفق الهواء المضغوط عبر رأس النفخ، مما أدى إلى بَحّ المحلول البوليمري على سطح العينة حيث تم تحريك رأس البخ ذهاباً وإياباً بحركة ترددية منتظمة تقريباً، مولداً بذلك طبقات متراكمة من الألياف الدقيقة التي تكوّنت على سطح العينة فور تبخر المذيب. تشكّلت الألياف تدريجياً على هيئة غشاء بوليمري متجانس يغطي

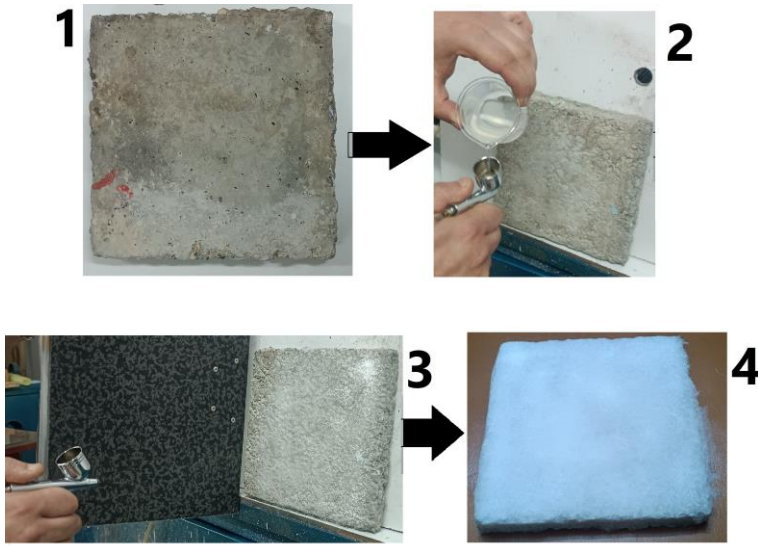
سطح العينة بالكامل. تم تطبيق هذا الإجراء على عدة عينات كل عينة منها يُستخدم فيها نوع من أنواع البوليميرات (PS,ABS) لتشكيل طبقات من الألياف المتراكمة التي تعمل كعازل حراري.

تكررت عملية تشكيل طبقات الألياف وقياس معامل التوصيل الحراري على مراحل متتابعة؛ إذ جرى في البداية قياس الخصائص عند سماكة أولية محددة، ثم أُعيدت عملية النفخ لتشكيل طبقة إضافية مضاعفة السماكة، تلتها قياسات جديدة، وهكذا حتى الوصول إلى عدة مستويات من السماكة تم عندها تسجيل قيم الموصلية الحرارية لكل حالة. تم تشكيل خمس سماكات مختلفة لكل العينات المغطاة بألياف البولسترين PS وألياف ABS

يبين الجدول (1) بارامترات عملية تشكيل الألياف البوليميرية باستخدام جهاز الغزل بالنفخ، ويبين الشكل (11) مراحل تغطية العينات بطبقة من الألياف البوليميرية.

الجدول (1) بارامترات عملية تشكيل الألياف البوليميرية

تركيز المحلول [%]	مسافة الرأس عن العينة [cm]	قطر الفوهة [mm]	ضغط الهواء [bar]	مادة الألياف
10	20	1.8	2	PS
10	20	1.8	2	ABS



الشكل (11) يبين مراحل تغطية العينات بطبقة من الألياف البوليمرية

4.4.4. اجراء الاختبارات:

1.4.4. قياس السماكات:

تم قياس سماكات العينات المدروسة باستخدام بياكوليس رقمي دقيق، وجرت هذه العملية عقب كل مرحلة يتم فيها زيادة في طبقة الألياف التي تغطي العينة، حيث تمت في البداية قياس العينة الاسمنتية قبل تغطيتها بطبقة الألياف، ثم تم تغطيتها بالطبقة الاولى وإعادة قياس السماكة، ثم تغطيتها بطبقة ثانية وإعادة القياس، هكذا حتى الوصول إلى السماكة النهائية. وتم تطبيق هذا الإجراء على جميع العينات المدروسة.

2.4.4. قياس معامل التوصيل الحراري:

تم قياس الموصلية الحرارية للعينات باستخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية، حيث تم وضع عينة ضمن الجهاز وتشغيله، وعند استقرار التدفق الحراري العابر للعينة تم أخذ القراءات لقيمة معامل التوصيل الحراري (تراوح زمن استقرار التدفق الحراري في العينات بين 3 - 4.30 ساعات وفقاً لكل عينة).

تم تطبيق هذا الإجراء على 12 عينة، عينتان دون عزل وهما العينتان المرجعيتان، وخمس عينات تم عزلها بشكل متتالي وبسماكات مختلفة بألياف البوليسترين وخمس عينات أخرى تم عزلها بشكل متتالي وبسماكات مختلفة بألياف ABS، حيث تم إجراء القياس عقب كل زيادة في سماكة في طبقة الألياف. تم أخذ عدة قياسات لكل عينة و أخذ المتوسط الحسابي واعتماده كنتيجة نهائية.



الشكل (12) يبين قياس معامل التوصيل الحراري للعينات.

5. النتائج والمناقشة:

تم اختبار 12 عينة، عينتان مرجعيتان تم قياس معامل التوصيل الحراري لهما من ثم تم عزل كل منهما بألياف بوليميرية بطريقة النفخ، الأولى ألياف بوليسترين والثانية ألياف ABS حيث تم عزل كل عينة بطبقة بسماكة معينة من كل نوع ألياف، وقياس معامل التوصيل لهما من ثم زيادة سماكة الطبقة وإعادة القياس، وهكذا حتى تطبيق خمس سماكات من كل نوع من أنواع

دراسة تحسين العزل الحراري للصبة الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ

الألياف، وبذلك تم إجراء القياسات على 12 عينة بهدف تقييم تأثير نوع الألياف البوليمرية وسماكتها على معامل التوصيل الحراري والمقاومة الحرارية الكلية. استخدم في المجموعة الأولى ألياف البوليسترين (PS) ، وفي المجموعة الثانية ألياف ABS ، مع ثبات المساحة السطحية لجميع العينات عند 0.0441 m^2 .

تم تحديد معامل توصيل حراري للعينتان الأولى والثانية (العينات المرجعية) تجريبياً حيث بلغت مقداره $1.595 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ، من ثم تم إتمام قياس المعامل للعينات بعد وضع طبقة الألياف على العينات، من ثم حساب معامل الموصلية الحرارية لكل طبقة ألياف فبلغت لألياف البوليسترين $0.07 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (PS)، ولألياف ABS بلغت $0.085 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

تم ترتيب معامل التوصيل الحراري الإجمالي والمقاومة الحرارية الاجمالية وسماكات العينات في الجدول (2) وفقاً لكل نوع من أنواع الألياف وسماكتها.

الجدول (2) يبين معامل التوصيل الحراري الإجمالي والمقاومة الحرارية الإجمالية وسماكات

العينات

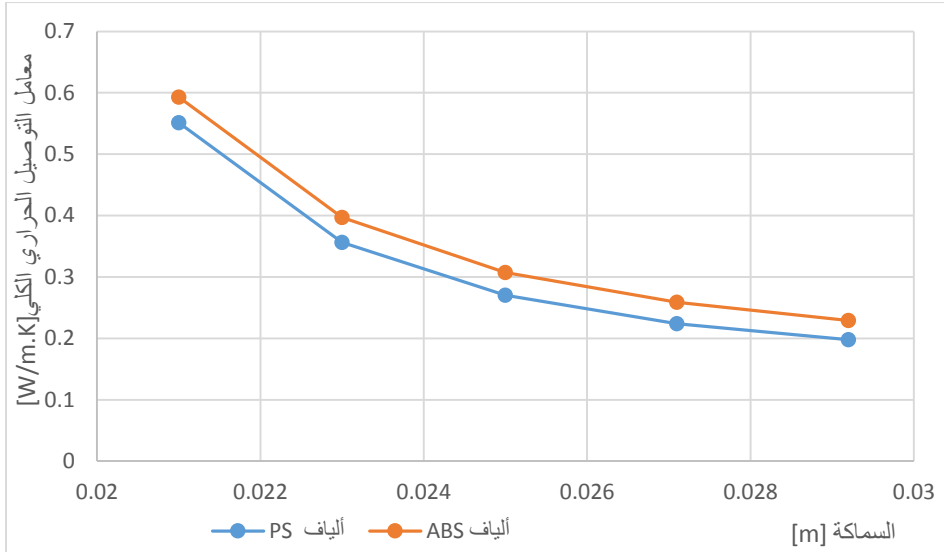
المقاومة الحرارية الكلية بعد العزل [K/W]	معامل التوصيلية الحرارية الكلية للعازل [W/m.K]	معامل التوصيل الحراري [W/m.K]		السماكة [m]		مادة الألياف	
		للعيينة الاسمنتية	للعازل	العزل	كاملة	رقم	نوع
0.298552	1.595	1.595	-	0	0.021	A	بوليسترين PS
0.946	0.551	1.595	0.07	0.002	0.023	1	
1.594	0.356	1.595	0.07	0.004	0.025	2	
2.275	0.270	1.595	0.07	0.0061	0.0271	3	
2.955	0.224	1.595	0.07	0.0082	0.0292	4	
3.570	0.198	1.595	0.07	0.0101	0.0311	5	ABS
0.298552	1.595	1.595	-	0	0.02	B	
0.845	0.593	1.595	0.085	0.0021	0.0221	6	
1.378	0.397	1.595	0.085	0.0041	0.0241	7	
1.938	0.307	1.595	0.085	0.0062	0.0262	8	
2.472	0.259	1.595	0.085	0.0082	0.0282	9	10
2.979	0.229	1.595	0.085	0.0101	0.0301		

من خلال تحليل البيانات الواردة في الجدول، يتضح أن كلا ألياف PS وألياف ABS المادتين العازلتين وأظهرتا تحسناً تدريجياً في الأداء الحراري مع زيادة سماكة طبقة الألياف، حيث انخفض معامل التوصيل الحراري الكلي (λ_{TOTL}) وارتفعت المقاومة الحرارية الكلية (R_{TOTL})

دراسة تحسين العزل الحراري للصبة الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ

ومع ذلك، فقد تفوقت عينات ألياف البوليسترين (PS) بشكل ملحوظ على عينات ألياف ABS في كفاءة العزل، وهو ما يتفق مع الخصائص الفيزيائية الأساسية لكل بوليمر. في حالة PS: انخفض λ_{TOTL} من 0.551 إلى 0.198 W/m.K بزيادة السماكة من 0.002 m إلى 0.0101 m تحسن بنسبة 64% وبنسبة 87.6% عن العينة قبل العزل.

في حالة ABS: انخفض λ_{TOTL} من 0.593 إلى 0.229 W/m.K بزيادة السماكة من 0.0021 m إلى 0.0101 m تحسن بنسبة 61% وبنسبة 85% عن العينة قبل العزل.



الشكل (13) يبين العلاقة بين معامل التوصيل الحراري الكلي والسماكة في كل من ألياف PS و ABS

يفسر انخفاض معامل التوصيل الحراري إلى وجود طبقة ألياف بوليمرية، تعمل الألياف البوليمرية ذات الموصلية المنخفضة كحاجز أمام تدفق الحرارة الصادر من الطبقة الإسمنتية.

مما يوضح الفرق عند السماكات الصغيرة ($\geq 0.004 \text{ m}$): يكون انتقال الحرارة ما زال متأثراً بشكل كبير بالطبقة الإسمنتية، لذلك تكون الفروقات بين PS و ABS محدودة. عند السماكات المتوسطة ($0.006\text{m}-0.008\text{m}$): تبدأ طبقة الألياف بالسيطرة على السلوك الحراري العام، ويظهر أثر نوع المادة بوضوح.

عند السماكات الكبيرة ($\leq 0.0101 \text{ m}$): يصل النظام إلى حالة شبه مستقرة حرارياً، حيث يصبح معدل الانخفاض في λ_e بطيئاً رغم زيادة السماكة، نتيجة تشبع تأثير الطبقة العازلة. في كفاءة العزل بين المادتين.

إن كل زيادة في سماكة الطبقة العازلة تعمل على زيادة المقاومة حرارية جديدة، مما يرفع من المقاومة الحرارية الكلية للعينات ويخفض معامل التوصيل الحراري الكلي، ونظراً لأن معامل التوصيل الحراري للألياف أصغر بكثير من معامل التوصيل الحراري للطبقة الاسمنتية، فإن تأثير الألياف يزداد بشكل كبير حتى عند زيادات طفيفة في السماكة.

من أجل مقارنة أداء ألياف البوليسترين PS وألياف ABS نجد أن:

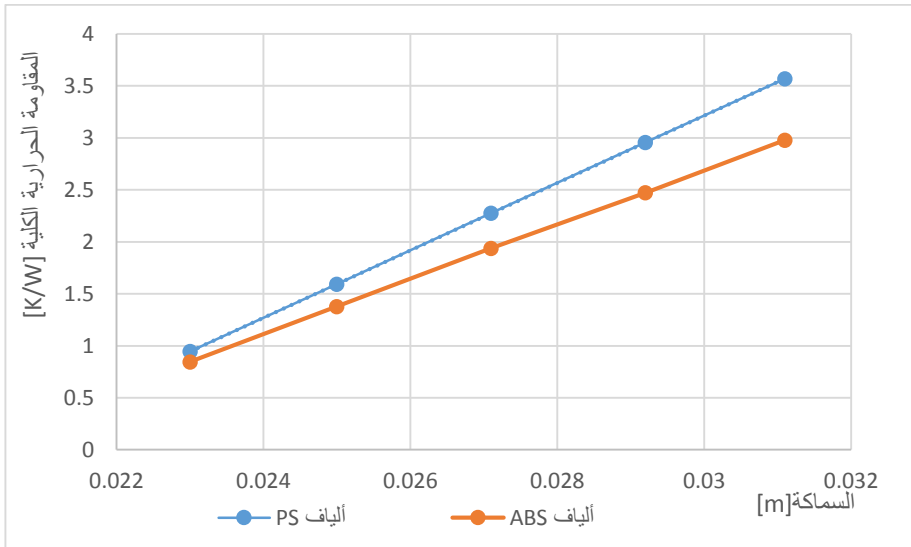
ألياف PS: تتميز ببنية خلوية هوائية ومسامية مرتفعة، مما يجعلها أكثر قدرة على احتجاز الهواء الساكن، وتعتبر عازل حراري جيد. بالتالي، فإن زيادة السماكة تُضعف المقاومة بشكل أسرع وتحقق انخفاضاً أكبر في λ_{TOTL} الكلي.

ألياف ABS: تتمتع ببنية أكثر صلابة وكثافة من PS، ولهذا فهو ناقل أفضل نسبياً للحرارة، إلا أن انتظام بنيته الجزئية ومتانته العالية يمنحانه أداءً حرارياً مستقرًا على المدى الطويل ويقلل من التشققات أو الانكماش الحراري.

يبين الشكل (14) العلاقة بين المقاومة الحرارية الكلية والسماكة في كل من ألياف PS

و ABS.

دراسة تحسين العزل الحراري للصبة الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ

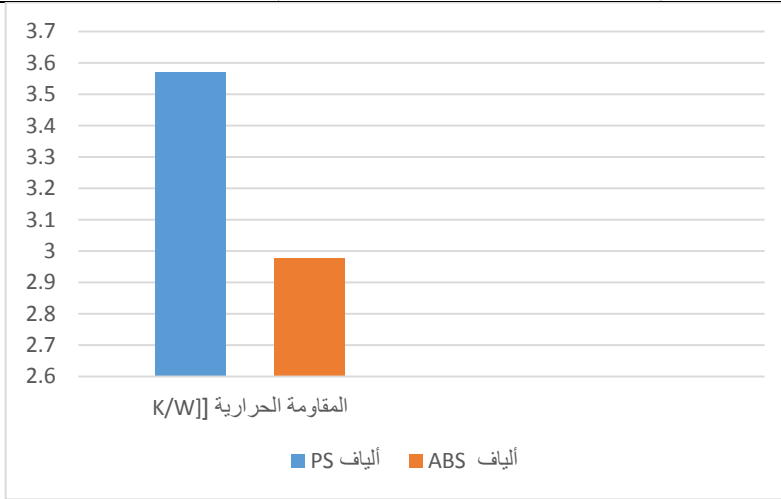


الشكل (14) يبين العلاقة بين المقاومة الحرارية الكلية والسماكة في كل من ألياف PS و ABS

بالنظر للمقاومات الحرارية، يتضح أن المقاومة الحرارية R_{TOTL} تزداد بمعدل شبه خطي مع سماكة الألياف، وهو ما يتوافق مع معادلة فورييه للتوصيل الحراري. ففي عينات PS، ارتفعت المقاومة من 0.946 K/W إلى 3.57K/W عند زيادة السماكة من 0.002 m إلى 0.0101 m، أي بمعدل زيادة يقارب 0.65 K/W لكل 2 mm من الألياف. أما في عينات ABS، فارتفعت المقاومة من 0.845 K/W إلى 2.979 K/W لنفس المجال من السماكة، بمعدل زيادة 0.53 K/W لكل 2 mm تقريباً.

ويوضح الشكل (15) مقارنة المقاومة الحرارية الكلية لـ PS مع المقاومة الحرارية الكلية لـ

ABS.

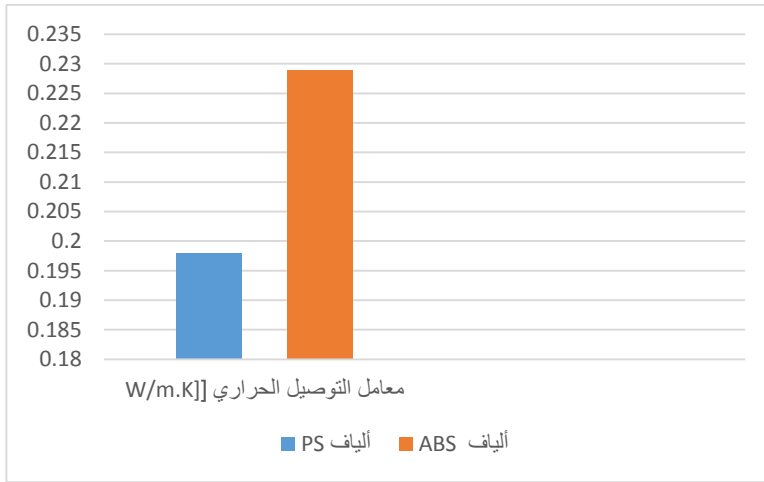


الشكل (15) يبين مقارنة المقاومة الحرارية الكلية لـ PS مع المقاومة الحرارية الكلية لـ

ABS

بإجراء مقارنة بين قيمة المقاومة الحرارية لـ PS مع قيمة المقاومة الحرارية لـ ABS عند أكبر قيم للمقاومات الحرارية (عند أكبر سماكات للألياف البوليميرية 0.0101 m) نجد بأن المقاومة الحرارية لألياف PS تفوقت بشكل واضح وكبير على المقاومة الحرارية لألياف ABS، حيث فاقتها بنسبة % 19.84، كما أن المقاومة الحرارية لذات عينة PS فاقت في قيمتها أكثر من عشرة أضعاف العينة التي لا تحتوي على عزل.

دراسة تحسين العزل الحراري للصبة الاسمنتية باستخدام ألياف بوليمرية نانوية من البوليسترين PS و ABS باستخدام تقنية النفخ



الشكل (16) يبين مقارنة المقاومة الحرارية الكلية لـ PS مع المقاومة الحرارية الكلية لـ

ABS

بإجراء مقارنة بين قيمة معامل التوصيل الحراري لـ PS مع قيمة معامل التوصيل الحراري لـ ABS عند أصغر قيم لمعاملات التوصيل الحراري (عند أكبر سماكات للألياف البوليمرية 0.0101 m) نجد بأن معامل التوصيل الحراري لألياف PS أصغر بشكل واضح من معامل التوصيل الحراري لألياف ABS، حيث كانت أصغر بنسبة % 13.5، كما أن معامل التوصيل الحراري للعينة التي لا تحتوي عزل أكبر من معامل التوصيل الحراري لذات عينة PS بأكثر من ثمانية أضعاف.

تطابقت نتائج البحث الحالي مع نتائج كل من ميسكي [5] و ماهان [6] اللذان استخدموا أليافاً لتحسين الأداء الحراري للعينات الإسمنتية، حيث استخدم ميسكي ألياف البولي بروبيلين بينما استخدم ماهان ألياف الصوف الصخري لتحسين الخواص الحرارية، حيث تم تحسين في الأداء الحراري للعينات الاسمنتية المدروسة مع وجود تفاوت في نسب التحسين الذي جرى، ووجود فرق في طريقة تطبيق العزل.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الدراسة التي تمت أصبح من الممكن صياغة بعض الاستنتاجات على النحو الآتي:

1. أثبتت الدراسة أنه يمكن تصنيع ألياف بوليميرية نانوية من البوليسترين PS وألياف ABS بطريقة النفخ تعمل على تحسين الأداء الحراري (العزل الحراري) للعينات الاسمنتية.
2. تفوقت ألياف البوليسترين PS على ألياف ABS من حيث فعاليتها للعزل الحراري، حيث فاقتها بنسبة % 19.84 من حيث المقاومة الحرارية الكلية وبنسبة % 13.5 من حيث معامل التوصيل الحراري.
3. أكدت الدراسة أن زيادة سماكة طبقة الألياف تعمل على زيادة المقاومة الحرارية للعينات، حيث أزدادت المقاومة الحرارية من قيمة 0.946 K/W إلى 3.57K/W عند زيادة السماكة من 0.002 m إلى 0.0101 m عند استخدام ألياف PS، بينما ازدادت من 0.845 K/W إلى 2.979 K/W عند استخدام ABS عند نفس المجال من السماكة.
4. أدت زيادة سماكة الألياف البوليميرية إلى انقاص معامل التوصيل الحراري للعينات المدروسة في كلا النوعين من الألياف، حيث انخفض معامل التوصيل الحراري عند زيادة السماكة من 0.002 m إلى 0.0101 m بنسبة %64 عند استخدام PS، بينما انخفض هذا المعامل بنسبة %61 عند استخدام ABS.
5. تكون نسبة التحسن في الأداء الحراري مرتفعة عند العمل في مجال سماكات صغير، وتبدأ النسبة التحسن بالانخفاض مع الانتقال لمجال سماكات متوسطة، وتصبح نسبة التحسن صغيرة جداً عند العمل في مجالات سماكات كبيرة.

التوصيات:

من خلال ما سبق يمكن أن نوصي بما يلي:

- 1- اعتماد تقنية النفخ في تصنيع ألياف بوليميرية بغرض تحسين العزل الحراري.
- 2- اجراء تجارب بغرض تصنيع ألياف من مواد أخرى بطريقة النفخ لاستخدامها بالعزل الحراري.
- 3- العمل على ادخال الألياف التي تم تصنيعها ضمن الخلطة الخرسانية واجراء الاختبارات اللازمة لمعرفة فعالية هذه الألياف في العزل الحراري.
- 4- تشجيع الباحثين ومراكز الأبحاث والشركات العامة والخاصة على البدء بشكل جدي بإجراء أبحاث مشابهة تشجع الاستدامة وترشيد الطاقة.

المراجع

References

1. **Syrian Arab Code for the design and implementation of installations in reinforced concrete.**
2. **Leadership in Energy and Environmental Design** – (LEED), U.S. Green Building Council. (2023). LEED v4.1 Building Design and Construction. <https://www.usgbc.org/leed>.

3. **Building Research Establishment Environmental Assessment Method**– (BREEAM), BREEAM UK New Construction V7,2025, [Institution of Environmental Sciences](https://breeam.com/standards). <https://breeam.com/standards>
4. Hilal M and Asaad M and AlTurki F. (2025), **Studying the Effect of Different Membrane Material Types on the Efficiency of Water Purification**. *homs University Journal – Series for Chemical and Petroleum Engineering*.
5. Meskhi B et al. (2022), **Insulation Foam Concrete Nanomodified with Microsilica and Reinforced with Polypropylene Fiber for the Improvement of Characteristics**. *MDPI, Journal of Polymers, 2022, Volume 14, 4401, Page 1–21*.
6. Mahan H et al. (2025), **Analyzing thermal insulation of concrete polymer by adding mineral wool**. *Advances in Science and Technology Research Journal, 2025, 19(5), Page 430–439*.
7. Filazi A et al. (2025), **Enhancing Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Mortar With Synthetic Fibers: A Comprehensive Study**. *Journal of The Structural Design of Tall and Special Buildings: Volume 34, Issue 16*,
8. Tanioka A and Takahashi M, (2016), **High-Performance and Specialty Fibers, Nanofibers**. *Springer. Department of Organic Polymeric Materials, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, Society of F.S. Technology, Japan (ed.), Book. Page 273– 283*.
9. AlTurki F and Hilal M and Asaad M. (2025), **Improving the properties of manufactured and used membranes in water**

treatment. *homs University Journal – Series for Chemical and Petroleum Engineering.*

10.Hossen Sh et al. (2024), **Development of a spinning device that works with blowing technology and combining it with electrospinning to produce non-woven networks from polymeric materials.** Homs University.

11.Qarmo A, et al. (2019) – **Design and manufacture a thermal conductivity measurement device with an Arduino controller to manage data input and output operations.** *homs University Journal – Series for Chemical and Petroleum Engineering, 41(2019), Pages 113-140.*