

## تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية

أوس علي ابراهيم<sup>1\*</sup> طاهر رجب قدار<sup>2</sup>

\*1. طالب دكتوراه في هندسة تكنولوجيا النسيج ومعالجاتها، قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

[aousaliibrahimsy86@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:aousaliibrahimsy86@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. أستاذ، دكتور، مهندس، رئيس قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية . [dr.t-kadd@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:dr.t-kadd@Damascusuniversity.edu.sy)

### الملخص:

شكلت مسألة الضجيج أثراً هاماً على الصعيد البيئي في الآونة الأخيرة، حيث استحوذ تطوير تقانات العزل والامتصاص الصوتي للأبنية الحديثة في العمل والمنزل مقعداً متقدماً ضمن اهتمامات الدول الصناعية والغربية، فبدأ البحث عن أفق جديد لآليات العزل الصوتي لتصبح في دائرة تقانة وعلوم النانو بما يسمى العزل الذكي للأبنية الحديثة. سنسلط الضوء في هذا البحث العلمي على مفاهيم الصوت والضجيج وانتشار الأصوات والعزل الصوتي في الأبنية والمنشآت، كما سندرس الدور الذي تلعبه المواد النسيجية والمركبة منها في عزل الضجيج الصوتي من خلال امتصاص موجة الصوت أو انعكاسها أو تشتيتها ضمن بنية المادة العازلة، كما سنبحث نظرياً وتجريبياً إمكانية تحسين أداء المواد النسيجية المركبة للعزل الصوتي من خلال إضافة مواد وحببيات نانوية البنى والأبعاد إلى مصفوفة المادة النسيجية والمركبة منها، باستخدام أخص أنواع المواد وأكثرها تداولاً في السوق الصناعية والمحلية، والتطبيق الهدف يصب في خدمة تطوير العزل الصوتي للأبنية الحديثة.

تم في هذا البحث تحضير ست عينات من المواد النسيجية المركبة والمعززة بالحببيات النانوية ومادة فوم البولي يوريثان الصلب مغلق الخلايا، ثم تم حماية المواد بطبقة من الإيبوكسي المستخدم في الطلاءات، تم اختيار الأقمشة والألياف (الزجاجية نوع (E) والبالزنتية) التي تحوي في بنيتها على نسب مرتفعة من أكسيد السيليكون (SiO<sub>2</sub>)، استخدمت أقمشة ثلاثية وثنائية الأبعاد، ومن الدراسات المرجعية اعتمدت النسبة (7% وزناً) لكمية الحبيبات النانوية والمسامية البنية من السيليكا، كنسبة كافية وفعالة وظيفياً واقتصادياً لرفع معدل امتصاص الصوت حتى النسبة (99%)، كما لعبت السماكة دور كبير في العزل الصوتي، بما يتوافق مع متطلبات الدليل الشامل لمنتجات عزل الأبنية.

**الكلمات المفتاحية:** المواد النسيجية المركبة، الأقمشة، الألياف التقنية، تقانات النانو، العزل الصوتي، الامتصاص الصوتي، انتشار الصوت، موجة الصوت.

تاريخ الابداع: 2023/2/16

تاريخ القبول: 2023/5/3



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

## Enhancing Acoustic Insulation in Modern Buildings Using Textile Composites Reinforced with Nano Particles

Aous Ali Ibrahim\*<sup>1</sup> Taher Rajab Kaddar<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>. PhD student, Textile Technology Engineering, Department of Textile Industries Mechanical Engineering and Their Techniques Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Syria.

[aousaliibrahimsy86@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:aousaliibrahimsy86@Damascusuniversity.edu.sy)

<sup>2</sup>. Prof. Univ. Dr. Eng. Head of Department of Textile Industries Mechanical Engineering and Their Techniques Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Syrian Arab Republic

[dr.t-kadd@Damascusuniversity.edu.sy](mailto:dr.t-kadd@Damascusuniversity.edu.sy)

### Abstract:

The issue of noise has had an important impact on the environmental level in recent times, as the development of insulation and acoustic absorption technologies for modern buildings at work and at home has occupied an advanced seat among the interests of industrialized and Western countries, so the search for a new horizon for sound insulation mechanisms has begun to become in the circle of nanotechnology and science with what is called smart insulation for modern buildings.

In this scientific research, we will shed light on the concepts of sound and noise, the spread of sounds, and sound insulation in buildings and facilities. We will also study the role that textile and composite materials play in isolating sound noise by absorbing, reflecting, or dispersing the sound wave within the structure of the insulating material. We will also examine theoretically and experimentally the possibility Improving the performance of composite textile materials for sound insulation by adding materials and granules of nanostructures and dimensions to the matrix of the textile material and its composite, using the cheapest types of materials and the most widely circulated in the industrial and local market, and the objective application is in the service of developing sound insulation for modern buildings.

In this research, six samples of composite textile materials reinforced with nanoparticles and closed-cell rigid polyurethane foam were prepared, then the materials were protected with a layer of epoxy used in coatings. E-glass and Basalt chopped strands and fibers with high percentages of silicon oxide (SiO<sub>2</sub>), three-dimensional and two-dimensional fabrics were used, and from the reference studies, the percentage (7% by weight) was adopted for the amount of nano-grained and porous structure of silica, as a sufficient, functionally and economically effective percentage to raise the sound absorption rate up to (99%), as well. Thickness plays a major role in sound insulation, in compliance with the requirements of the Guide of Acoustic and Thermal insulation Products in Building.

**Keywords:** textile composite materials, technical textiles/fibers, nano techniques, acoustic insulation, acoustic absorption, sound propagation, sound pressure level.

Received: 16/2/2023

Accepted: 3/5/2023



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

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية  
المقدمة: ابراهيم، قدار  
مكوناتها منفردة، وأهم مكوناتها مصفوفة المادة الداعمة (ألياف،

منسوجات، حبيبات) المسؤولة عن الأداء الوظيفي للمادة المركبة، ومصفوفة مادة الـريزين (إيبوكسي، بوليستر، فوم) المسؤولة عن ربط باقي المكونات ونقل الاجهادات بتجانس في البنية، (Nesrin et al., 2017,88)، ومع استحضار تكنولوجيا النانو لخواص الألياف والحبيبات، ستضيق موجة الصوت بين تلك السطوح البينية النانوية الأبعاد، وسيسهل بالتالي امتصاصها. لكن حتى نتمكن من الانطلاق في خوض غمار هذه التقنية، لابد من الإحاطة بمفهوم الصوت والضجيج وآلية انتشار موجة الصوت.

### 1- الدراسات المرجعية:

1- Acoustic and Thermal Insulation of Nanocomposites for Building Material:

هدف هذا البحث الى تعزيز خصائص العزل الحراري والصوتي لمادة مركبة بوليميرية، مصنعة من خليط من (الإيبوكسي وبوليستر) كمادة أساس، ومدعمة بكل من الصوف الصخري والحبيبات النانوية بنسبة وزنية (5-7.5) %. أوضحت نتائج اختبار مستويات شدة الصوت أن الخليط المثالي الذي يحوي (7.5) % وزناً، يمتلك أفضل قيمة للعزل الصوتي، (Shanaz et al., 2020,500).

من هنا، ولأسباب اقتصادية ولتحقيق عزل صوتي جيد، تم اعتماد النسبة الوزنية (7%) لمادة حبيبات السيليكا النانوية مسامية البنية من وزن الخليط، كما سنرى في الفقرة (5-1-2) والجدول (2).

2- Sound Absorption of Sustainable Polymer Nanofibrous Thin Membranes Bonded to a Bulk Porous Material:

تم في هذه الدراسة تسليط الضوء على دور إحدى تقانات علم النانو، (العزل الكهربائي spinning-electro)، في تحسين أداء العزل الصوتي، فاستُخدمت في التجارب مواد بوليميرية (بولي أميد PA6، وبولي فينيل الكحول PVA)، (Tomáš et al., 2020,3-4)، لتحضير أغشية من ألياف نانوية غير منسوجة بسماكات وكثافات مختلفة، والتي استُخدمت كمواد تغطية لفوم ببنية مسامية، مما ساعد في رفع قدرة العازل على امتصاص

كما يعد الصوت وسيلة للتواصل والتعبير والتنبيه في الوسط المحيط سواء بين البشر أو مع الآلات، فهو يُعد سبباً للإجهاد والضغط المستمر في الحياة، من هنا برزت شركات صناعية عديدة متخصصة في مجال العزل الصوتي للأبنية ومرفقاتها وللآلات والمركبات، (Seyed et al., 2022,1)، وبدت الحاجة البيئية ملحة، للتدخل في مجال العزل الصوتي للأبنية والمنشآت، بهدف الاستعاضة عن مواد العزل التقليدية كالصوف الصخري والألياف الزجاجية والألياف السيراميكية، والتي تمتاز بأدائها الجيد وسهولة تناولها لكن لها عدة مساوئ ومضار بالأخص بيئية لا يمكن التغاضي عنها، منها الكثافة العالية ( $2.56-3.4 \text{ gr/cm}^3$ ) والوزن الكبير، وسهولة تآثرها في الوسط المحيط وأديتها الصحية الكبيرة على الانسان والبيئة، بالإضافة إلى صعوبة إتلافها كمخلفات صناعية فهي عبارة عن أكاسيد لامعدنية لاعضوية، عدا عن تصنيف بعضها كمواد محرمة دولياً (كالأسبستوس). هنا برز علم النانو وتقانة النانو، (Bharat, 2004,1)، وتداخلها في علم النسيج وصناعة الألياف النانوية، (Sawhney et al., 2009,1)، بطريقة الغزل الكهربائي والطرء المركزي، وتشكيل بنية شبكية نانوية الأبعاد ذات مساحة سطح نوعي كبيرة ( $m^2/gr$ )، ومحضرة من مواد أولية قد تعد صديقة للبيئة وللإنسان، أو يمكن إتلافها أو إعادة تدويرها بآليات أسهل وأقل كلفة، كمعاد مثل (1) (PLA, PVA, PA, PP, PE)، أو إضافة حبيبات نانوية الأبعاد مسامية البنية يشكل الهواء النسبة الأعظم من حجمها، يمكنها التعلق على سطوح الألياف الميكروية أو بين جزيئات المادة الحامية لها كالطلاء (الإيبوكسي والبولي يوريثان).

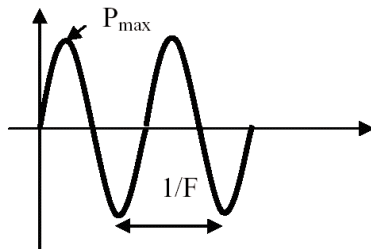
تعني كلمة نانو للوهلة الأولى أبعاد أصغر من (100 nm)، (Kartik et al., 2021,1)، إذاً تتشكل هذه الألياف والبنى النانوية مع الألياف الميكروية كالزجاجية (E-glass) والبالزنتية (BCF)، سطوحاً لانهائية من المادة بأبعاد صغيرة، هنا يأتي دور المواد النسيجية المركبة التي تنتج عن اجتماع مادتين على الأقل للوصول إلى مادة بخواص جديدة لم تكن موجودة في

PE (1): بولي إيثان، PP: بولي بروبيلين، PA: بولي أميد، PVA: بولي فينيل الكحول، PLA: بولي لاكتيك أسيد.

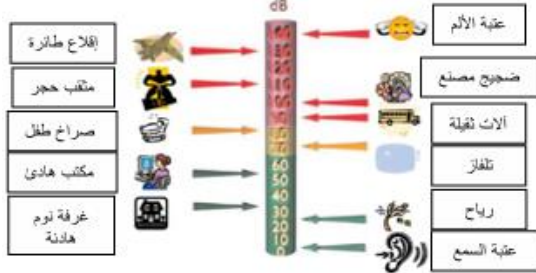
ابراهيم، قدار

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية

إن شدة التواتر الصوتي (F)، الشكل (2)، الذي يمكن للإنسان سماعه يتراوح بين (20 Hz) و (20000 Hz)، وعليه يمكن تقسيم الأمواج إلى تحت صوتية تواترها أقل من (20 Hz) وأمواج منخفضة الحدة، تواترها (20-350 Hz)، وأمواج متوسطة الحدة، تواترها (351-1500 Hz) وأمواج شديدة الحدة، تواترها (1501-20000 Hz)، إذا فإن الأمواج الصوتية التي يجب أخذها بالاعتبار عند دراسة العزل الصوتي في الأبنية الحديثة تواترها ضمن المجال (100-5000 Hz) تقريباً. كما هو مبين في الشكل (3). (Arval, 2009,111).



الشكل (2) يعبر عن تردد وتواتر اهتزاز موجة الصوت، (Arval, 2009,111)



الشكل (3) رسم توضيحي يعبر عن مقياس مستوى الضجيج الصوتي، (Arval, 2009,112).

لننظر لمفهوم الضجيج الناشئ عن الأصوات في الحياة المدنية من منظور مختلف عن المفاهيم المعتادة التي يعبر عنها بين العامة بالديسيبل، أي شدة الضجيج (dB)، أي (مستوى تأثير ضغط طاقة الصوت)، فيمكن للأذن البشرية التقاط الأصوات والضجيج ذي الضغط ( $20 Pa - 2 \times 10^{-5}$  Pa)، الشكل (5)، فيقياس مستوى الضغط الناشئ عن الأصوات بمقياس لوغاريتمي يُعطى بالعلاقة (1):

$$L_p = 20 \times \log \frac{P_{eff}}{P_0} \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن: (Arval, 2009,111)

( $P_{eff}$ )

يعبر عن تأثير ضغط موجة الصوت، ( $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$ ).

مع خفض السماكة، مما خفض استهلاك الطاقة.

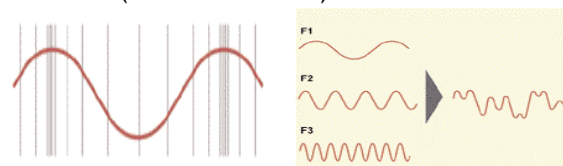
تم الانطلاق من نتيجة هذه الدراسة في إثبات صحة نتائج هذا البحث، في الأثر والفارق الذي يحدثه استخدام تقانة النانو في تطبيقات العزل الصوتي، وأن زيادة سماكة طبقات النسيج سيُحسن أكثر من امتصاص الصوت بسبب زيادة كثافة البنية، لكنه سيسبب زيادة في الوزن والكلفة، وهذا غير مرغوب، خاصة عندما يكون الفارق الذي يحدثه إضافة نسبة ضئيلة من مادة نانوية، كافياً من حيث الأداء ومقبولاً من حيث الكلفة. (Tomáš et al., 2020,13).

### 3- Recent Advances in Woven Spacer Fabric Sandwich Composite Panels: A Review:

ساعدت هذه الدراسة في توصيف بنية وتركيب النسيج ثلاثي الأبعاد (Woven Spacer Fabric WSF)، (Yeran et al., 2022,1)، وكيفية استخدام طريقة التتضيد (hand lay-up) لطبقات هذا النسيج مع مادة بوليميرية كالأيبوكسي، واستخدام مواد الفوم داخل فراغات هذا النسيج، لإكساب السماكة لمادة العازل الصوتي، كما شكلت كلا المادتين (الأيبوكسي والفوم) نسبة (70%) من مصفوفة المادة المركبة، وبالنتيجة أثبتت هذه الدراسة تحسن الخواص الميكانيكية لبنية المادة العازلة، بوجود هذا النسيج، مع حبيبات نانوية. (Yeran et al., 2022,16).

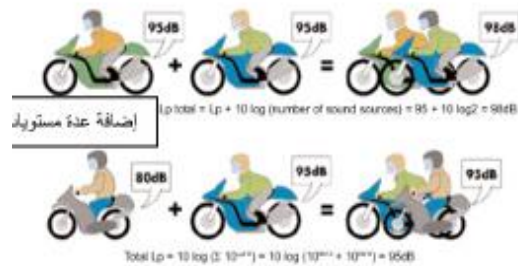
### 3- مفهوم الصوت والضجيج:

الصوت عبارة عن طاقة، أي ضغط مستمر على شكل أمواج طاقية، الشكل (1)، تعبر الأجسام والأوساط الصلبة والسائلة والغازية، كلاً حسب كثافته وخواصه، وتُنشأ هذه الطاقة من مصادر نتيجة اهتزازات متسارعة لجزيئات المادة، هذه الاهتزازات لها تواتر معين يؤدي إلى تواتر اهتزاز لموجة الصوت، الشكل (2)، الذي يسبب ضغطاً هو الضجيج الذي يعبر عن شدته بالديسيبل (dB). إذا كلما ازداد تواتر الموجة كلما ازدادت حدة الصوت. (Arval, 2009,110).

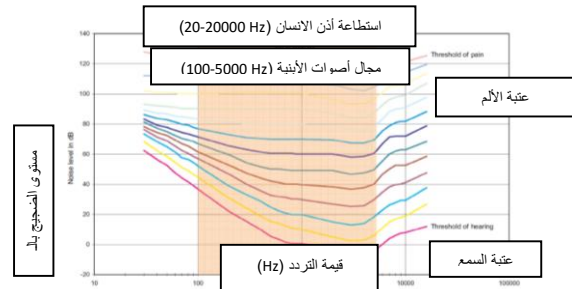


الشكل (1) يعبر عن موجة الصوت، التي قد تتشكل من اجتماع عدة أصوات، (Arval, 2009,110)

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية (4)، مثال يبين ما نقصد به من إضافة مستويات متعددة للضغط الناجم عن الأمواج الصوتية في البيئة المدنية، وبمقياس الديسيبل (dB)، وهذا ما يمكن ملاحظته كونه مفهوم جديد ومغاير للتعريف التقليدي للضجيج.



الشكل (4) مثال يعبر عن مستويات الضغط الناجم عن طاقة موجة الصوت، (Arval, 2009,111)



الشكل (5) مخطط (Fletcher-Munson) البياني الذي يبين شدة الأصوات التي يمكن للأذن البشرية سماعها تبعاً لتواتر اهتزازها، (Arval 2009,113)

### 3-1: انتشار الصوت:

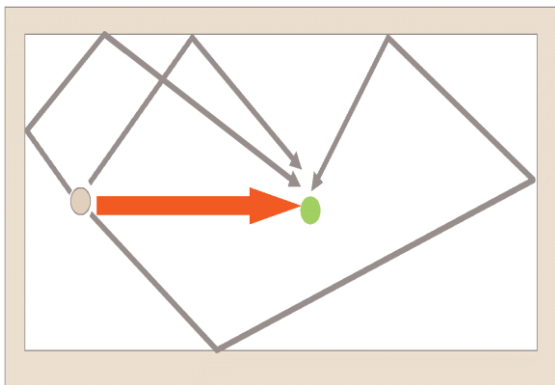
تنشأ الأمواج الصوتية من اهتزاز السطوح، وتنتشر موجة الصوت في الهواء الطلق في جميع الاتجاهات بسرعة تصل (340 m/sec)، وتبدأ طاقة الموجة بالانخفاض كلما ابتعدنا عن المصدر، أي تخف حدة الصوت، لكن عندما يكون المصدر الذي تنبعث منه الأمواج الصوتية في بيئة مغلقة (بناء مثلاً)، سوف تكون طاقة الأمواج بشكل غير منتظم، يعود للسطوح التي ستصدم بها تلك الأمواج حتى تصل للمستقبل في النهاية، وبطاقة أقل بكثير عن تلك التي تتجه مباشرة بكامل طاقتها نحو المستقبل، عند عدم وجود حواجز تعيقها. (Arval, 2009,115)

إن انخفاض طاقة تلك الأمواج الصوتية تدريجياً يعود إلى امتصاص جزء منها واختراق جزء آخر لتلك السطوح (جدران أسقف، أرضيات) ضمن ذلك الحيز المغلق (غرفة، مكتب، حوض سباحة، مدرسة، معمل)، بالنتيجة إن هذا الانتشار

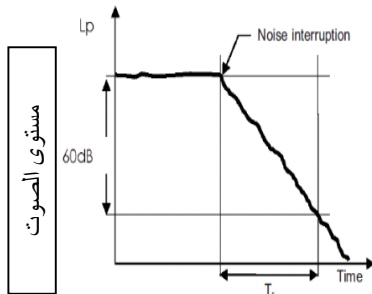
يعبر عن امتصاص الصوت بالرمز  $(a_{Si})$  كما في العلاقة (2)، والذي يرتبط بزمن ارتداد الصدى، اللازم لتخفيض مستوى شدة الصوت (60 dB). الشكل (7). (Arval, 2009,116).

$$T_r = \frac{0.16 \times V}{\sum_i S_i \times a_{Si}} \quad (2)$$

حيث:  $(T_r)$  زمن ارتداد الصدى،  $(V)$  حجم الحيز المغلق (الغرفة مثلاً)،  $(S_i)$  مساحة سطح الجدار  $(i)$ ، معامل امتصاص الصوت الخاص بمادة الجدار  $(i)$ ، وتتراوح قيمته بين (0) و (1) حيث تعبر (0) عن سطح عاكس تام للصوت (صدى تام الطاقة الموجية)، بينما (1) فتعبر عن سطح كلي الامتصاص لطاقة الموجة.



الشكل (6) رسم توضيحي يعبر عن تكاثر الضجيج بانتشار الأمواج الصوتية ضمن حيز مغلق، (Arval, 2009,115).



الشكل (7) مخطط يبين زمن ارتداد الصدى، (Arval, 2009,116)

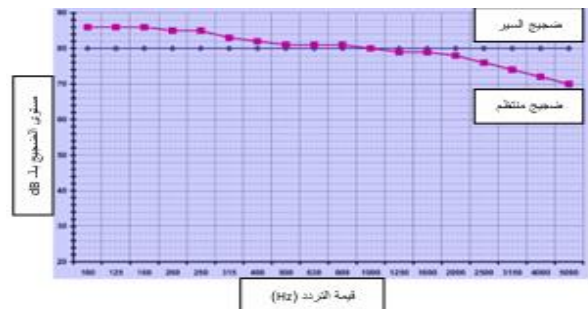
### 3-3: مصادر الأصوات في الأبنية الحديثة:

عندما يُدرس العزل الصوتي في الأبنية الحديثة، يكون الهدف الرئيسي عزل تلك الأبنية عن الوسط الخارجي، الذي يعتبر

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية  
 المنبع الرئيسي لطاقة الأمواج الصوتية المسببة للضغط (الضجيج)، وباقي المصادر تعتبر ثانوية: (Arval, 2009,117).  
 1- (Outdoor airborne sound): الضجيج الصادر عن الطرقات وحركة السير والأبنية والمنشآت المجاورة.  
 2- (Indoor airborne sound): الضجيج الصادر عن المحادثات والآلات والمعدات داخل البناء أو المنشأة.  
 3- (Impact sound): الضجيج الصادر عن اصطدام الأجسام بالأسطح كمشي الأفراد أو حركة الأثاث، أو اهتزاز الآلات، أو الضجيج الصادر عن المنشآت الرياضية...  
 4- الضجيج الصادر عن المرفقات الخدمية الخاصة بالأبنية، كالمراجل والمكيفات وغيرها...



Impact sound (insulation) وفق EN ISO 140-6  
 Airborne sound (insulation) وفق EN ISO 140-3  
 الشكل (9): رسم توضيحي لطريقة اختبار كفاءة عزل الصوت (Arval, 2009,118-119).



الشكل (8): مخطط شدة الضجيج الناتج عن مصادر الصوت الرئيسية والثانوية. (Arval, 2009,117).

الجدول (1) أمثلة عن معامل عزل الصوت لبعض المواد وفق EN ISO 717-1، (Arval, 2009,118).

معامل عزل الصوت ( $R_w$ ) لعدة مواد عزل تقليدية

$R_w$  examples for different material:

Partition	$R_w$
IN227, 49 kg/m <sup>2</sup>	54
CIN323L, 25 kg/m <sup>2</sup>	44
Concrete 16 cm thick, 390 kg/m <sup>2</sup>	56
Concrete 8 cm thick, 390 kg/m <sup>2</sup>	45
Solid brick, 2 cm, 480 kg/m <sup>2</sup>	57
Hollow breeze block 16 cm thick, 230 kg/m <sup>2</sup>	48
Earthenware tile, 56 kg/m <sup>2</sup>	16

وفقاً للمعايير (article 235.2.11-Law of 30.08.1990) المعتمدة في عزل صالات المعامل والمنشآت، الشكل (10)، وعندما تكون شدة الضجيج أكبر من (85 dB)، يجب أن تمتاز الجدران الداخلية لتلك المنشآت بأعلى درجات الامتصاص الصوتي، بما يخفف من شدة الضجيج الداخلي ضمنها، ومستوى الصوت المسموح به ضمن حدود ملكية المنشأة، ويحقق الرضا من المحيط المجاور، من هنا تبدأ انطلاقة

الشكل (8) مخطط شدة الضجيج الناتج عن مصادر الصوت الرئيسية والثانوية، (Arval, 2009,117).  
 يبين المخطط البياني في الشكل (8) شدة الضجيج بالديسيبل الناتج عن بعض تلك المصادر.

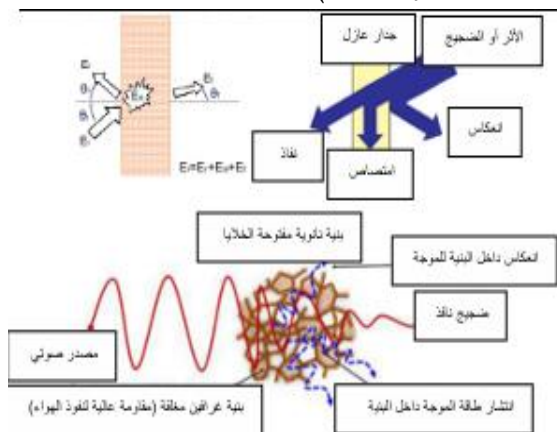
بالنسبة للضجيج الصادر عن المحيط (Airborne sound) يتم اعتماد المعيار الدولي (EN ISO 140-3)، لاختبار أداء العازل الصوتي بين غرفتين أحدهما يحوي منبع صوتي والآخر مستقبل للصوت، الشكل (9)، ومنها يمكن قياس مؤشر عزل الصوت ( $R_w(C; C_{tr})$ ) كما تبين ذلك المواصفة القياسية (EN ISO 717-1)، حيث يعبر المؤشر ( $R_w + C$ ) عن عزل الصوت الصادر عن المنابع داخل المنشأة، والمؤشر ( $R_w + C_{tr}$ ) يعبر عن عزل الصوت الصادر عن المنابع خارج المنشأة. الجدول (1).

أما بالنسبة للضجيج الصادر عن الاصطدام بالسطوح أو حركة الأجسام أو مشي الأشخاص (Impact sound)، فيتم اعتماد

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية  
 البحث عن مواد عازلة للأسطح والجدران والأرضيات قادرة على تحقيق المتطلبات البيئية المذكورة. (Arval, 2009,120). إلى الوجه الآخر. (Alice, 2019,2).

عندما تصادم موجة صوتية بطاقة  $(E_i)$  سطحاً ما، فإن جزءاً من طاقة تلك الموجة  $(E_a)$  يتم امتصاصها، وجزء آخر من الطاقة  $(E_t)$  ينتقل عبر المادة، وجزء آخر من الطاقة  $(E_r)$  ينعكس عنها، الشكل (11)، وباستخدام بعض القوانين النظرية التي تأخذ بالاعتبار سرعة الموجة بالورود والامتصاص والانعكاس وزوايا أشعتها الطاقية. يمكن حساب مردود نقل الطاقة بالعلاقة  $(\tau = E_t/E_i)$ ، إذاً كلما كانت الطاقة الممتصة أكبر كانت الطاقة المنتقلة أقل، أي كلما كانت المادة العازلة للصوت أقل نقلاً لطاقة الموجة الصوتية كانت أفضل، أي يصبح مردود امتصاص الطاقة  $(\alpha = E_a/E_i)$  أكبر ما يمكن، ومردود نقلها  $(\tau)$  أقل ما يمكن. (Alice, 2019,3). أما من حيث البنية، فكلما زادت مسامية بنية المادة كلما قلت الجسيمات الصادة لطاقة موجة الصوت أي ساءت جودة عزلها، وكلما زادت كثافة المادة كلما تحسن عزلها الصوتي. لكن لو كانت المادة مغلقة المسام نسبياً وذات مساحة سطح نوعي عالي فوق  $(200 m^2/gr)$  وأبعاد المسامات من رتبة النانومتر، فستلقي موجة الصوت تحديات كبيرة حتى تخترق بنية المادة حتى لو كانت مسامية ومنخفضة الكثافة.

(Anthony et al., 2018,8).

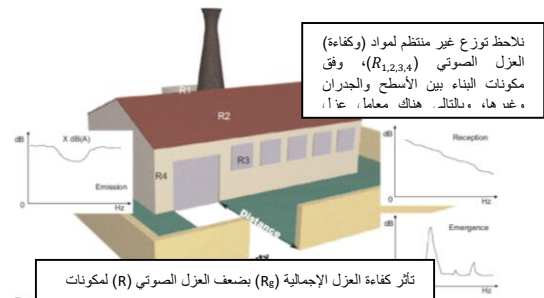


الشكل (11) يوضح مفهوم عزل الصوت ضمن البنية النانوية (Alice, 2019,9 ; Anthony et al., 2018,8)

بالتالي يمكن التعبير عن العزل الصوتي، بالمؤشر  $(R_w)$  والذي يُحسب بالعلاقة: (Alice, 2019,9).

$$R_w = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

(4) .....



الشكل (10) رسم توضيحي يبين توزيع مناطق عزل الصوت للمعامل والمنشآت، (Arval, 2009,120).

أما بالنسبة للصالات والمنشآت الرياضية فيتم اعتماد المعيار (NF P 90.207) والذي يضمن:

- 1- العزل الصوتي الذي يحقق حجياً للضجيج الداخلي (أكبر من 30 dB من الخروج للمحيط الخارجي).
- 2- متوسط زمن ارتداد الصدى يعطى بالقيمة  $(Tr \leq 0,14 \times V^{1/3})$ . حيث أن:

$$T_r = (T_-(r - 125 \text{ Hz}) + T_-(r - 250 \text{ Hz}) + T_-(r - 500 \text{ Hz}) + T_-(r - 1000 \text{ Hz}) + T_-(r - 2000 \text{ Hz}) + T_-(r - 4000 \text{ Hz}))/6$$

(Arval, 2009, 121) (3).

وبالنسبة للمرافق الخدمية والبنى التحتية كالمدارس والمستشفيات والفنادق والمؤسسات، فيتم اعتماد المعيار الدولي (law of 25.04.2003)، والذي يوصف متطلبات العزل الصوتي لهذه الأبنية.

أيضاً هناك المعايير (law of 28.10.1994 (NRA) / (01.01.2000) الخاصة بعزل المنازل السكنية في الأرياف.

(Arval, 2009,121).

#### 4: الصوت والعزل الصوتي:

يُعرّف العزل الصوتي بأنه مقدرة مادة ما طبيعية كانت أو صناعية على امتصاص الأمواج الصوتية أو عكسها، أي تمنع

Jae-Chul et al., (2008,1469). هذا كما في المعادلة (6):

$$I_i(f) = \frac{S_{11}(f) \left\{ 1 + |H_{12}(f)|^2 - 2 \operatorname{Re}[H_{12}(f)] \cos k(x_1 - x_2) \right\}}{4 \rho c \sin^2 k(x_1 - x_2)} \dots (5)$$

$$I_r(f) = \frac{S_{22}(f) \left\{ 1 + |H_{12}(f)|^2 - 2 \operatorname{Re}[H_{12}(f)] \cos k(x_1 - x_2) \right\}}{4 \rho c \sin^2 k(x_1 - x_2)} \dots (6)$$

حيث: (c) و (f) هما سرعة وتردد موجة الصوت في الهواء، أما ( $\rho$ ) فهي كثافة الهواء عند درجة حرارة الاختبار، بينما (Im) و (Re) فهما معاملا الانتقال الصوتي نظرياً (Imaginary) وعملياً (Real).

كما يعبر عن رقم موجة الصوت (K) بالقيمة ( $2\pi f/c$ ) بينما ( $\rho c$ ) يوصف طبيعة وخواص هواء الاختبار داخل الأنبوب. ثم بطريقة تجريبية لحساب ( $\alpha = E_a/E_i$ )، يمكن قياس النسبة بين الموجة الواردة والمنعكسة بالعلاقة: (مصطفى، 2009، 71)

$$\aleph = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{(A + B)}{(A - B)} \dots (7)$$

حيث: (A) غزارة الموجة الواردة على سطح العينة، (B) غزارة الموجة المنعكسة عنها.

ثم يمكن حساب معامل امتصاص الصوت بالعلاقة: (مصطفى، 2009، 71)

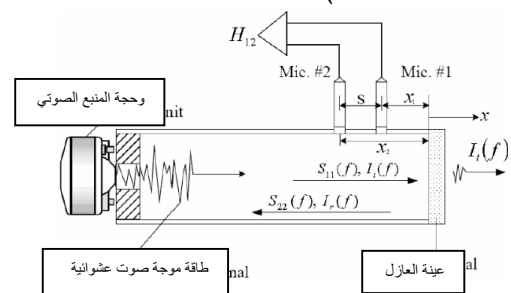
$$\alpha = 4\aleph / (\aleph + 1)^2 \dots (8)$$

### 5: الجزء العملي:

تم في القسم العملي تحضير واختبار عينات مواد نسيجية مركبة محسنة باستخدام تقانة النانو لتطبيقها في العزل الصوتي للأبنية الحديثة، لتكون التجربة خير برهان، حيث أمكن للمادة العازلة ببنيتها النانوية والميكروية، زيادة نسبة امتصاص طاقة موجة الصوت التي ضاعت بين السطوح البينية الكثيرة لتلك البنية النانوية، مما حسن من جودة أداء العزل الصوتي للمادة العازلة.

1-5: المواد الأولية والأدوات المستخدمة وتحضير العينات:

من جهة أخرى يمكن القول إن هناك عدة عوامل تؤثر على أداء المادة العازلة للصوت على مستوى النانو، أهمها كثافة المادة ودرجة مساميتها وقساوتها، وسماكة العازل، ومساحة السطح النوعي للبنية ودرجة تجانسها. هناك دراسات أخرى توصلت لطرق وقياسات مخبرية لتعبر عن العزل الصوتي من خلال معدل فقدان انتقال الصوت عبر بنية المادة العازلة، والذي يعرف بأنه الفرق بين مستوى طاقة موجة الصوت الواردة على سطح العازل وطاقة موجة الصوت المنقلة عبره، ورمزه ((STL) sound transmission loss)، أي معدل امتصاص الصوت، والذي يمكن قياسه مخبرياً من خلال استخدام جهاز بسيط المبدأ، عبارة عن أنبوب معزول عن الوسط الخارجي، وفي بدايته مضخم صوت (عبارة عن مصدر مرسل للموجة الصوتية)، وقبل نهايته توضع العينة وقبل العينة يوجد حساسان لقياس شدة موجة الصوت المنعكسة عن سطح العازل، وفي نهايته (أي بعد العينة) يوجد حساس يستشعر شدة موجة الصوت المنقلة عبر سماكة مادة العازل، الشكل (12). (Jae-Chul et al., 2008,1468).

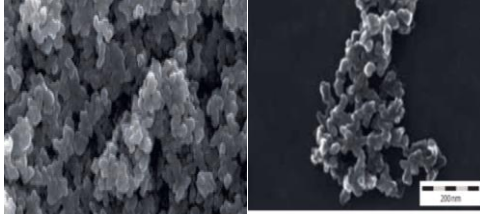


الشكل (12) رسم توضيحي لجهاز اختبار عزل الصوت (Jae-Chul et al., 2008,1469)

هنا تعتبر المسافات ( $x_1, x_2$ ) بين سطح العينة وحساسى القياس قبلها، والمسافة (S) بين حساسي القياس نفسيهما. نظرياً، يُعبر عن شدة موجة الصوت الواردة من المصدر (المضخم) بالرمز ( $I_i(f)$ ) المعادلة (5)، وشدة موجة الصوت المنعكسة عن سطح العينة بالرمز ( $I_r(f)$ ) المعادلة (6)، (Jae-Chul et al., 2008,1469)، والتي يمكن حسابها من معامل انتقال الصوت ( $H_{12}(f)$ ) بين الأبعاد ( $x_1, x_2$ )، حيث يُعبر عن معامل (magnetic spectral density function) بالرمز ( $S_{11}(f)$ ) عند البعد ( $x_1$ ) و ( $S_{22}(f)$ ) عند البعد



تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية  
 تم تحضير ست عينات، الشكل (14)، من المواد النسيجية المركبة من الألياف والنسج التقنية الزجاجية والبازلتية مع فوم البولي يوريثان الصلب مغلق الخلايا (close cell)، والمعززة بشبكة من المواد والحببيات النانوية من السيليكا (SiO<sub>2</sub>) ذات المسامية العالية (80% من حجمها هواء) والسيليكا المُقوِّمة، (Aerosil200)، المستخدمة في دهانات الإيبوكسي كمادة مثخنة ومقوية، ثم يستخدم طلاء الإيبوكسي لحفظ تلك المواد من الاحتكاك بالوسط الخارجي. كما تم توزيع مكونات تلك العينات، الجدول (2)، انطلاقاً من نتائج الدراسات المرجعية.



الشكل (13) صورة ماسح الكتروني (SEM) و (TEM) لحببيات (أبروسيل200)، (Evonik, 2015,36).

• مادة الايبوكسي الطلائية (coating epoxy): تتكون من خليطين (الريزين والمقسي)، نسبة الخلط الوزنية (1:1)، من السوق المحلية.

• مادة فوم البولي يوريثان الصلب: يتكون من خليطين هما (البوليول poly-yol والإيزوسيانات iso-cyanat)، نسبة الخلط الوزنية (1:1)، تُصبُّ المادة بعد الخلط المتجانس في قالب لتتصلب بدرجة حرارة الجو، كثافته (250 كغ/م<sup>3</sup>)، من السوق المحلية.

#### 2-1-5: تحضير وتوصيف العينات:

تم تحضير ست عينات، موصفة في الجدول (2) ومبينة في الشكل (14)، من المواد النسيجية المركبة والمعززة بالحببيات النانوية ذات المسامية العالية (80% من حجمها هواء)، والألياف الميكروية (زجاجية وبازلتية)، لاختبار كفاءة عزلها الصوتي للأبنية، (أسطوانية قطرها 8.5 cm، سماكتها 4 cm)، تم التشكيل ضمن قالب أسطواني معدني، بنفس الأبعاد، أو بقص العينة وفق تلك الأبعاد.

وطريقة تحضير العينات نبينها في الوصف التالي:

تم خلط المواد النانوية مع مادة البوليول (polyol) ثم خلط مادة الايزوسيانات (isocyanate) لتقويم المزيج، فيساعد القوم على إغلاق مسامات السيليكا النانوية التي يشكل الهواء (80% من حجمها)، وفي عينات أخرى تم إضافة طبقة من شبكة الألياف الميكروية المقطعة (زجاجية أو بازلتية)، من هنا أتى تأثير علم النانو في زيادة مساحة السطح النوعي للبنية بالنسبة لواحدة الوزن (m<sup>2</sup>/gr)، فازدادت قدرة بنية العازل على تشتيت وامتصاص طاقة موجة الصوت بين جدرانها وسطحها نانوية الأبعاد، ثم تضاف طبقات من النسج ثنائي أو ثلاثي الأبعاد،

تم تحضير ست عينات، الشكل (14)، من المواد النسيجية المركبة من الألياف والنسج التقنية الزجاجية والبازلتية مع فوم البولي يوريثان الصلب مغلق الخلايا (close cell)، والمعززة بشبكة من المواد والحببيات النانوية من السيليكا (SiO<sub>2</sub>) ذات المسامية العالية (80% من حجمها هواء) والسيليكا المُقوِّمة، (Aerosil200)، المستخدمة في دهانات الإيبوكسي كمادة مثخنة ومقوية، ثم يستخدم طلاء الإيبوكسي لحفظ تلك المواد من الاحتكاك بالوسط الخارجي. كما تم توزيع مكونات تلك العينات، الجدول (2)، انطلاقاً من نتائج الدراسات المرجعية.

#### 1-1-5: توصيف المواد الأولية المستخدمة في تصنيع العينات:

• ألياف زجاجية مقطعة (chopped strands): قطرها (9 ميكرون) طولها (8-12 مم)، صينية المنشأ، متوفرة من السوق المحلية.

• قماش زجاجي (Stitch Bonded Mat) غير منسوج: مصنع من ألياف زجاجية نوع (E)، وزن المتر المربع (300 gr/m<sup>2</sup>)، تم تأمينها من السوق المحلية، والمنشأ صيني.

• نسج زجاجي: ثلاثي الأبعاد مفرغ البنية نوع (3D spacer fabric type E-glass) سماكته (10 مم)، وزن المتر المربع (1480 gr/m<sup>2</sup>)، التركيب النسيجي (plain 1/1)، منشأ صيني.

• نسج زجاجي: ثنائي الأبعاد نوع (woven roving plain 1/1 type E-glass) سماكته (0.4 مم)، وزن المتر المربع (300 gr/m<sup>2</sup>)، التركيب النسيجي سادا (plain 1/1)، تم تأمينها من السوق المحلية، منشأ صيني.

• ألياف بازلتية مقطعة (Basalt chopped fibers): قطرها (9 ميكرون) طولها (8-5 مم)، صناعة محلية.

• مادة حببيات السيليكا النانوية (nano-silica particles): الاسم التجاري (أبروسيل 200)، كثافتها (50 g/l)، مساحة السطح النوعي للبنية (220 m<sup>2</sup>/g)، أبعاد الحببيات (20-12 نانومتر)، محبة للماء، تستخدم في صناعة الدهانات والمواد المركبة كمحسن لزوجة ومثخن للطلاءات، تمتلك خواص حرارية عالية، تتأثر بالرطوبة وتتناثر بسهولة في الوسط إذا ما حفظت ضمن حيز أو كيان أو بنية مغلقة، تم

ابراهيم، قدار

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية

4- العينة الرابعة: مادة فوم بولي يوريثان كثافته (250 كغ/م<sup>3</sup>)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)، ألياف بازلتية مقطعة (Basalt chopped fibers) قطرها (9 ميكرون) طولها (5-8 مم) والمحفوظة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي المستخدمة في طلاء أرضيات المعامل والمخابر.

5- العينة الخامسة: ألياف بازلتية مقطعة (Basalt chopped fibers) قطرها (9 ميكرون) طولها (5-8 مم)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)، والمحفوظة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي المستخدمة في طلاء أرضيات المعامل والمخابر.

6- العينة السادسة: مادة فوم بولي يوريثان كثافته (250 كغ/م<sup>3</sup>) المعزز بالألياف الزجاجية المقطعة، المستخدم في تصنيع ألواح العزل.

بغرض إكساب البنية الجساء والمرونة الكافية لحاجة التطبيق (جدران، أسقف، أنابيب)، أو تم حقن خليط من الإيبوكسي والحبيبات السيليكا داخل فراغات النسيج ثلاثي الأبعاد والمفرغ (ذو السماكة 10 مم).

وتوصيف هذه العينات كما يلي:

1- العينة الأولى: نسيج زجاجي غير منسوج نوع (nonwoven E-glass)، مادة فوم بولي يوريثان كثافته (250 كغ/م<sup>3</sup>)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)، وألياف ميكروية زجاجية نوع (E)، والمحفوظة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي المستخدمة في طلاء أرضيات المعامل والمخابر.

2- العينة الثانية: نسيج زجاجي ثلاثي الأبعاد مفرغ البنية نوع (3D spacer fabric type E-glass) سماكته (10 مم)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)، ألياف زجاجية مقطعة (E-glass) قطرها (9 ميكرون) طولها (8-12 مم)، والمحفوظة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي.

3- العينة الثالثة: نسيج زجاجي ثنائي الأبعاد نوع (woven roving plain 1/1 type E-glass) سماكته (0.4 مم)، مادة فوم بولي يوريثان كثافته (250 كغ/م<sup>3</sup>)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)، ألياف زجاجية مقطعة (E-glass) قطرها (9 ميكرون) طولها (8-12 مم)، والمحفوظة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي المستخدمة في طلاء أرضيات المعامل والمخابر.

التركيب (w%) نسبة وزنية								رقم العينة
E-glass fibers	Basalt fibers	Epoxy resin	nano silica powder	PU <sup>1</sup>	nonwoven E-glass	3D spacer fabric E-glass	woven roving plain E-glass	
1	0	36	7	36	20	0	0	1
1	0	20	7	32	0	40	0	2
1	0	36	7	36	0	0	20	3
0	20	37	7	36	0	0	0	4
0	20	73	7	0	0	0	0	5
0	0	0	0	100	0	0	0	6

<sup>1</sup>PU: Poly Urethane

تم استخدام الأدوات التالية في تحضير العينات:

1. عبوات بلاستيكية لخلط مواد الايبوكسي والفوم.
2. ميزان دقيق، بمجال خطأ رتبة (0.1 gr).
3. فرشاة لإشباع النسيج بالخلائط المحضرة.
4. قالب معدني أسطواني بالأبعاد (8.5 cm Ø، 4 cm).

تم اختبار العينات في جامعة حلب-كلية الهندسة الميكانيكية- قسم هندسة الغزل والنسيج، على الجهاز المصمم والمنفذ وفق المرجع رقم [13]، الشكل (14)، الذي يعمل وفق المواصفة القياسية رقم (ASTM C384-04)، ثم مقارنة كفاءة العزل الصوتي ( $R_w$ %) لكل من العينات الخمس مع العينة السادسة المعبرة لأكثر تقانات عزل الصوت التقليدية انتشاراً (ألواح العزل من الفوم البولي يوريثان الصلب المعزز بالألياف الزجاجية المقطعة).

5-2-2: جهاز اختبار امتصاص الصوت وكفاءة العزل الصوتي ( $R_w$ ): الشكل (15):

يتألف جهاز قياس امتصاص الصوت الذي تم توضيح مبدأ عمله العام وفق الشكل (12)، من الأجزاء التالية: (مصطفى، 2009، 66).

1-طاولة خشبية ثابتة مستوية يتوضع عليها الجهاز دون أي اهتزازات (مزودة بمخمدات).

2-علبة مغلقة (30x30 cm) عازلة للصوت.

3-أنبوب مبطن عازل للصوت.

4-سماعات ذات حساسية عالية.

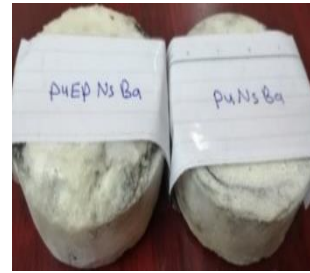
5-جهاز مضخم للصوت. 6-سدادة خشبية.



العينة الثانية



العينة الأولى



العينة الرابعة



العينة الثالثة



العينة السادسة



العينة الخامسة

الشكل (14) صور العينات المحضرة  
لاختبار كفاءة العزل الصوتي وامتصاص الصوت

5-1-3: توافق العينات مع الدليل الشامل للعزل الحراري والصوتي في الأبنية

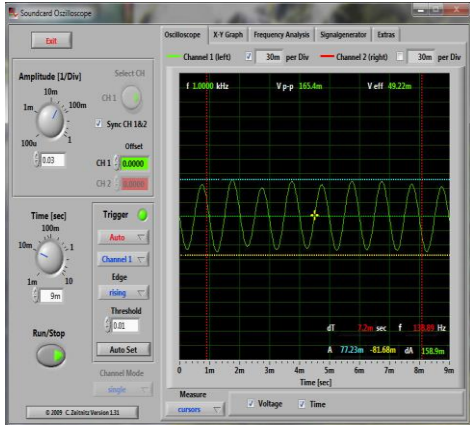
من الدليل، نجد أن أغلب المنتجات العازلة ذات كثافة منخفضة ويشكل الهواء النسبة الأعظم من بنيتها، وتمتلك سماكات كبيرة، (Arval, 2009, 26-54)، لذا تم عند تحضير هذه العينات، ومقارنةً بمنتجات ذلك الدليل، مراعاة أن تتراوح السماكة (35-100 مم)، مأخوذاً بالاعتبار عامل الكلفة، فكانت سماكة العينات (40 مم).

5-2: التجهيزات المستخدمة في التحضير والاختبار:

5-1-2: الأدوات المستخدمة في تحضير العينات:

ابراهيم، قدار

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية



الشكل (16) واجهة البرنامج (Sound card oscilloscope)

لجهاز اختبار عزل الصوت

(مصطفى، 2009، 69)



علبة خشبية مغلقة معزولة جيداً تحوي أربع فتحات لتثبيت الأنابيب من الأمام وتوضع السماعات المحدث لل صوت من الخلف والأمام



طاولة خشبية، ثابتة مزودة بمخمدات اهتزاز



أنبوب عازل للصوت مصنع من مادة (PVC) بقطر (12.5 سم) وطول (2 م) وسماكة (3 مم)

### 3-5: النتائج:

يبين الجدول (3)، نتائج اختبار كفاءة عزل الصوت لكل عينة، من خلال قياس طول موجة الصوت الصفري، والموجة التي يلتقطها ميكروفون استقبال الإشارة عند كل عينة، بتردد (1000 Hz)، ثم بنسبة الفرق بينهما إلى طول موجة الصوت الصفري (276.2 متر)، الشكل (17)، نحصل على معدل امتصاص العينة للصوت ( $R_w$  %).

يبين الشكل (17)، صورة لقطة شاشة لموجة الصوت الصفري، التي تعبر أنبوبة الاختبار دون وجود عازل صوتي، بينما يبين الشكل (18) (a, b, c, d, e, f) صورة لقطة شاشة لموجة الصوت التي تعبر أنبوبة الاختبار بوجود العينات من الأولى وحتى السادسة وبالترتيب.

الجدول (3) نتائج اختبار عزل الصوت لتردد (1000 Hz)

رقم العينة	طول موجة الصوت (متر)، الملتقطة بوجود عينة العزل	(نسبة العزل) معدل امتصاص الصوت $R_w$ %
1	5.941	97.85
2	1.188	99.56
3	3.465	98.75
4	8.455	96.94
5	21.085	92.37
6	39.92	85.55



مضخم الصوت يقوم باستقبال الإشارة الصوتية وتضخيمها وإعادةها عبر السماعات



سماعات لإصدار الصوت بتردد معين وبشدة مطال محددة



السدادة الخشبية

الميكروفون لاستقبال الإشارة الصوتية المنعكسة من العينة

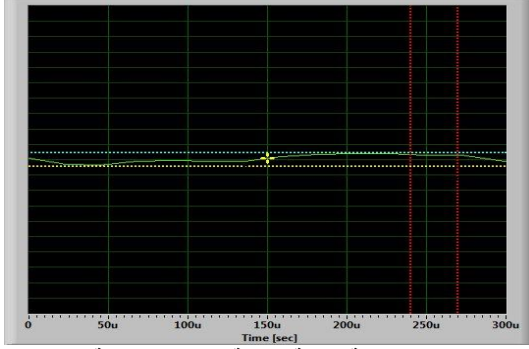
الشكل (15) أجزاء جهاز اختبار امتصاص الصوت وكفاءة العزل الصوتي، (مصطفى، 2009، 66-69)

### 3-2-5: برنامج قراءة امتصاص الصوت:

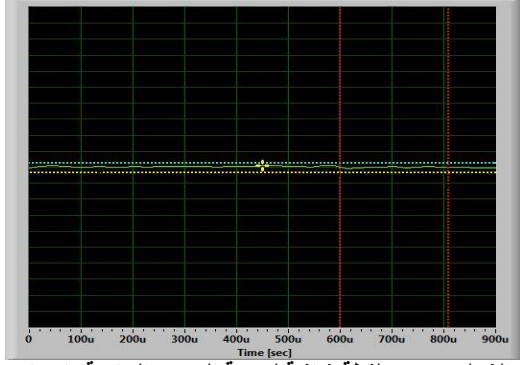
وهو عبارة عن برنامج حاسبي لقراءة وتحليل امتصاص الصوت، اسمه (Sound card oscilloscope) من شركة (Christian Zeitnitz) الألمانية، يوضح الشكل (16) واجهة البرنامج، حيث يقوم بحساب شدة الموجة الصوتية المنعكسة بمعرفة شدة الموجة الصوتية الواردة، ثم باستخدام العلاقات (7) و (8) يمكن حساب معامل امتصاص الصوت لكل عينة، ومنه باستخدام العلاقة (4)، يمكن حساب مؤشر العزل الصوتي ( $R_w$ ) للعينات المختبرة. (مصطفى، 2009، 69).

ابراهيم، قدار

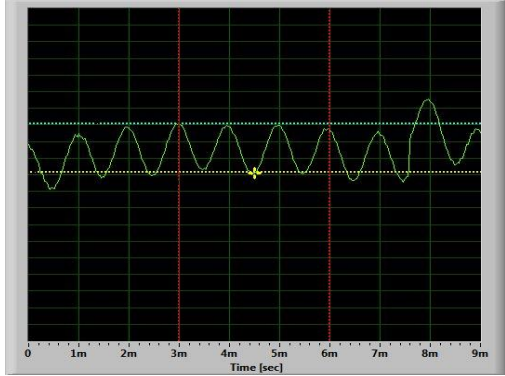
تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية



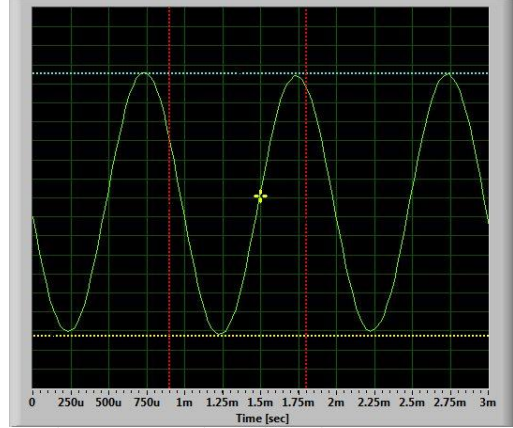
الشكل (d18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة الرابعة



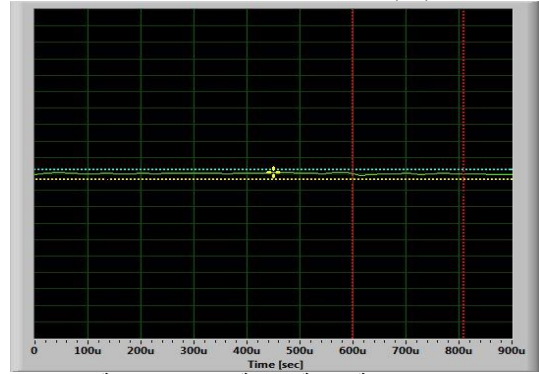
الشكل (e18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة الخامسة



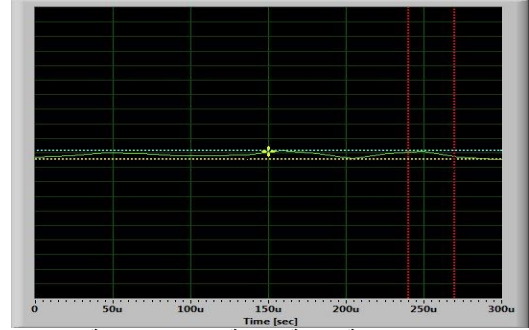
الشكل (f18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة السادسة



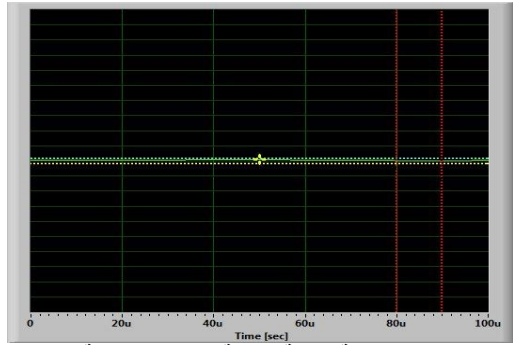
الشكل (17): لقطة شاشة لموجة الصوت الصفرية



الشكل (a18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة الأولى



الشكل (b18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة الثانية



الشكل (c18): لقطة شاشة لموجة الصوت الخاصة باختبار العينة الثالثة

#### 4-5: النتائج:

من نتائج الاختبارات الخاصة بهذا البحث، الجدول (3)، نجد أن أفضل العينات المحضرة هي العينة الثانية حيث انخفض مطال موجة الصوت الواردة بالتردد (1000 Hz) حتى (1.188 م)، ووصلت نسبة عزل الصوت حتى (99.56%)، وهي كفاءة عزل مرتفعة لتردد يعتبر متوسط الحدة، مقارنةً بالدراسات المرجعية. وتتكون هذه العينة من (نسيج زجاجي ثلاثي الأبعاد مفرغ البنية نوع (3D spacer fabric type E-glass) سماكته (10 مم)، مدعمة بحبيبات من السيليكا النانوية مسامية البنية والمحبة للماء (hydrophilic mesoporous-silica powder)،

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية ابراهيم، قدار

ألياف زجاجية مقطعة (E-glass) قطرها (9 ميكرون) طولها (8-12 مم)، والمحفوطة بطبقة طلاء من مادة الايبوكسي المستخدمة في طلاء أرضيات المعامل والمخابر). ونظراً للكثافة المنخفضة للحبيبات النانوية (5 g/L)، ومساحة السطح النوعي لبنيته الداخلية (225 m<sup>2</sup>/gr)، (Evonik, 2015,36)، وبالعودة للمراجع والدراسات المرجعية، في بداية هذا البحث، الفقرة (2)، نلاحظ أن أفضل نسبة وزنية لإضافة الحبيبات والمواد ذات البنى النانوية هي (7%)، (Shanaz et al., 2020,495)، (J. Yan, 7)، وهي النسبة التي تم اعتمادها والانطلاق منها في هذا البحث، وهي متوفرة في السوق المحلية، وقد كانت نسبة كافية لتحسين نسبة العزل الصوتي للعينات إلى أكبر من (92%) كما بينت النتائج، في الجدول (3)، كما أن استخدام مادة فوم البولي يوريثان الصلب مغلق الخلايا أمر ضروري للغاية في جميع العينات، نظراً لانخفاض كثافته وكلفته وبنيته المسامية الميكروية الأبعاد، بالإضافة إلى كثرة انتشاره في السوق المحلية، ومن جهة أخرى، وبالعودة للدليل الشامل لمنتجات العزل الصوتي والحراري، (Arval, 2009,26-54)، لتكون سماكة العازل (35-65 مم)، كما أن وجود مادة الفوم في بنية العازل خفض من الكلفة كما بينت المقارنة بين العينتين (4 و 5) ذلك، الجدول (4)، بالإضافة لانخفاض وزن العازل كون كثافة مادة الفوم (0.25 gr/cm<sup>3</sup>)، بينما كثافة مادة الايبوكسي (1.17 gr/cm<sup>3</sup>) والتي شكلت نسبة (73%) من تركيب العينة رقم (5).

عند استخدام نسيج زجاجي يحوي بتركيبه أكاسيد لاعضوية، ومن أهمها أكسيد السليسيوم (SiO<sub>2</sub>) الذي يشكل نسبة (55%) من تركيبة هذه الألياف، تعززت الألفة الكيميائية بين الألياف الزجاجية وحبيبات السليكا النانوية (SiO<sub>2</sub>)، مما كان سبباً إضافياً في اختيار الألياف الزجاجية والسليكا النانوية كمكونات رئيسية للمادة النسيجية المركبة في تحضير عينات العزل الصوتي.

يبدو واضحاً أن لاستخدام النسيج الزجاجي ذي النوع (E-Glass) المنسوج بتركيبه السادة (1/1)، تأثيراً يعتبر مقبولاً في العينة الثالثة حيث كانت كفاءة العزل حتى (98.75%)، ولكنه ضئيل مقارنة بالعينة الثانية والتي استخدم فيها النسيج ثلاثي

الأبعاد والمفرغ (3D spacer fabric type E-glass)، حيث كفاءة العزل حتى (99.56%)، ولكنه أفضل من استخدام القماش الزجاجي الغير منسوج كما في العينة الأولى، حيث كانت كفاءة العزل حتى (97.85%).

هذا في حال استخدام باقي المكونات (فوم، إيبوكسي، ألياف مقطعة، حبيبات سليكا نانوية) بنفس النسب الوزنية في هذه العينات الثلاث، لكن سوف يتحسن أداء العينات عند زيادة نسبة الألياف الميكروية (زجاجية، بازلتية)، أو زيادة عدد طبقات القماش المنضد على وجهي كل عينة، بسبب زيادة كثافة مادة العازل، لكن ذلك سوف يسبب زيادة في الوزن والكلفة، كما أن زيادة نسبة الحبيبات النانوية من السليكا فوق النسبة (7%) سوف يزيد من الكلفة من جهة، وهو غير محمود حتى النسبة (15%) وفقاً لنتائج الدراسات المرجعية، (J. Yan, 7)، ومن جهة أخرى فإن تحسن كفاءة العزل الذي أبدته العينات الخمس التي شكلت حبيبات السليكا النانوية (7%) من مكوناتها، ممتاز مقارنةً بعينة العزل التقليدي رقم (6)، حيث وصلت نسبة العزل الصوتي حتى (99%) وهو عزل شبه تام، كما أن الاختبار تم باستخدام طاقة موجة صوتية بتردد (1000 Hz)، وهو تردد متوسط الحدية، مما أعطى دقة في النتائج، فإجراء اختبار كفاءة العزل الصوتي عند أصوات بترددات منخفضة يعطي دقة أكبر، (مصطفى، 2009، 77)؛ (D.V. Bihola et al., 2015,9).

تعتبر الأقمشة الغير منسوجة أقل كلفة وأسهل تطبيقاً على المستوى الصناعي، من تلك المنسوجة سواء كانت ثنائية أو ثلاثية الأبعاد، أي أن كلفة استخدام الأقمشة الزجاجية نوع (E-Glass) الغير المنسوجة، في العزل الصوتي أقل بكثير من كلفة استخدام نسيج زجاجي منسوج ثنائي أو ثلاثي الأبعاد، كما يبين الجدول (4) ذلك، وبنفس الوقت فقد كان الفارق الذي أحدثه استخدام نسيج ثنائي أو ثلاثي الأبعاد ضئيل (-0.9%) (1.71%) (كتحسن بنسبة العزل الصوتي) مقارنة باستخدام قماش غير منسوج.

عند المقارنة بين نتائج كفاءة العزل، الجدول (3)، لعينات الألياف الزجاجية (1،2،3) من جهة وعينات الألياف البازلتية (4،5) من جهة أخرى، نلاحظ كفاءة الأداء الذي يمنحه

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية (ساحبات هوائية ينتهي خرجها بأسطح مائية لالتقاط الحبيبات المتناثرة، معدات حماية شخصية). يمكن طحن مخلفات تلك المواد واستخدامها من جديد كمكونات في المواد المركبة، بالتالي يمكن خفض الأثر السلبي لتلك الحبيبات على البيئة، والذي تمت مراعاته أيضاً عند تحضير عينات هذا البحث، باستخدام مادتي النسيج والفوم كحافضة بنوية ميكروية الأبعاد لحبيبات السيليكا النانوية، وكذلك شغل طلاء الايبوكسي طبقة حامية للفوم وحبيبات السيليكا معاً من عوامل الوسط الخارجي (رطوبة، أشعة الشمس)، لكن إعادة تدوير هذه المواد وقابلية استخدامها لاحقاً في تطبيقات مماثلة للعزل الصوتي يتطلب أبحاثاً أخرى مستقلة.

إن تقانات تطبيق علم النانو عديدة، منها عالية الكلفة التي تستخدم لتطبيقات نوعية ومخبرية، ومنها منخفضة الكلفة (مثل تقانة (sol-gel))، حيث يمكن الحصول على مادة السيليكا النانوية المستخدمة في هذا البحث بتقانة (sol-gel)، وتقانة (spray-dry) وهي مكلفة، (Evonik, 2015,8)، هناك أنواع تجارية متعددة من حبيبات السيليكا النانوية (Aerosil)، (Evonik, 2015,60)، ولكل منها تطبيق وخواص وكلف معينة.

من خلال حساب كلفة كل عينة من العينات الخمس وفقاً لأسعار السوق المحلية، (الجدول 4)، نبين الوفرة الاقتصادي على مستوى السوق المحلية بنسبة حتى (18%) لأفضل العينات (العينة 2) التي بلغت كلفتها حتى (25 دولار أمريكي للمتر المربع)، بالمقارنة مع أسعار ألواح العزل من مادة الفوم ((Foam Sandwich Panel 30\$/sqm) المتوفرة في الأسواق، وتعتبر عنها العينة (6) في هذا البحث)، فضلاً عن توافر المواد الأولية في السوق المحلية.

الجدول (4) يبين كلف العينات

رقم العينة	الكلفة \$ بالمتر المربع
1	9.35
2	25
3	17.06
4	5.75
5	6.8

استخدام الألياف الزجاجية في عزل الصوت، لكن استخدام الألياف البازلتية أقل كلفة، (الجدول 4)، ويمنح المنتج العازل خواصاً ميكانيكية أعلى مما تمنحه الألياف الزجاجية، كون معاملات الشد والمتانة الخاصة بالألياف البازلتية أعلى من تلك لدى الألياف الزجاجية نوع (E)، (Jianxun, 2020,882)؛ (Basfiber®)؛ (Yeran, 2022,3)، إذاً يمكن المفاضلة بين العينتين الأولى والرابعة (الزجاجية والبازلتية)، من حيث الكلفة عندما تُهمل الكثافة العالية للألياف البازلتية، واستخدامها لعزل الأرضيات على سبيل المثال.

## 6: الخلاصة:

تعتبر المواد النسيجية المركبة نانوية البنى بدعة خلاقة في مجال صناعة العزل الصوتي الذكي للأبنية الحديثة والمعاصرة، وذلك بالمقارنة مع تقانات العزل التقليدية، حيث تعمل المواد والحبيبات النانوية دور المادة الفعالة التي ترفع من سوية الأداء الوظيفي في العزل، بينما مصفوفة المواد الداعمة فتكون عبارة عن ألياف ميكروية أو نانوية موزعة عشوائياً في بنية المادة المركبة أو نسيج (woven/non-woven) تُحمل عليه هذه الحبيبات النانوية، ومن ثم تأتي المادة البوليميرية الرابطة كالأيبوكسي والبولي إستر و الغينيل إستر لتجمع بين المكونات السابقة بتقنية الغمر والتشريب (Lay-up/Spray-up/Pre-) أو التغطية (Laminating/Coating).

من نتائج هذا البحث، نلاحظ التأثير الكبير الذي يلعبه إضافة النسيج ثلاثي الأبعاد والمفرغ الذي يحوي فراغات مسامية من رتبة المليمتر، وإضافة حبيبات السيليكا النانوية ذات البنية المسامية من رتبة النانو متر، و ثم تعزيز البنية بالألياف الميكروية، حيث اجتمعت معاً في خدمة تحسين الأداء الوظيفي ألا وهو العزل الصوتي، بإكساب بنية العازل مساحة سطح نوعي أكبر من ( $200 m^2/gr$ )، وبالتالي سطوح وأجسام أكثر لتصطدم بها موجة الصوت التي امتصتها البنية وتشتتت بين زواياها، فتزداد نسبة امتصاص الصوت وبالتالي كفاءة العزل الصوتي.

من مساوئ استخدام المواد النانوية في هذا البحث، هو مخاطر التعامل معها وإعادة تدويرها، كونها دقيقة الأبعاد وسهلة التناثر في المحيط، وهي أكاسيد لامعدنية لاعضوية، مما يتطلب توفر

تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية في الختام، لا بد من القول إن اختيار العزل الصوتي الأنسب للأرضيات والأسقف والجدران يتطلب اعتبار كل ما ذكر أعلاه، رهنأ بالسوق (فعندما تدعو الحاجة إلى تحقيق عزل صوتي شبه تام بنسبة تقارب (100%)، سيصبح تأثير الكلفة ثانوياً)، وخطأ لا حياد عنه وموازيأ في هذا البحث لخط استحضار تكنولوجيا النانو لمواد وحببيات مسامية البنى تدخل في تركيب المادة العازلة بنسب كافية لإحداث الفرق من حيث الأداء دون التأثير على الكلفة.

تم في هذا البحث تسليط الضوء على الدور الفعال الذي يلعبه استحضار أبسط تقانات علم النانو ومواده، واتحادها مع المنسوجات والألياف التقنية (زجاجية بازلتية) ميكروية الأبعاد، وتحسين خواص المواد النسيجية المركبة، كبنية متكاملة قادرة على رفع جودة العزل الصوتي في الأبنية الحديثة، وتأمين بيئة عمل مريحة وهادئة.

#### بطاقة شكر:

نتوجه بالشكر للسادة القائمين على تصميم وتصنيع الجهاز المستخدم في التجربة (جهاز قياس امتصاص الصوت) في قسم هندسة الغزل والنسيج في جامعة حلب، والذي ساعد في معرفة كفاءة العزل الصوتي لكل عينة محضرة في هذا البحث، واستند فيه على المواصفة القياسية (ASTM C384-04).

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

#### References:

1. Seyed Hassan Paknejad and Morteza Vadood, (2021), Effective Parameters, Modeling, and Materials in Sound Absorption: A Review, Journal of Textiles and Polymers, Vol. 10, No. 1, P-P: 3-21, Yazd, Iran, ITAST.
2. Bharat Bhushan, (2004), Springer Handbook of Nanotechnology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, SPRINGER, P: 1258.
3. A.P.S. Sawhney and B. Condon, K.V. Singh, S.S. Pang and G. Li, David Hui, (2009), Modern Applications of Nanotechnology in Textiles, Textile Research Journal, Vol 78(8), P-P: 731–739, Los Angeles, USA, SAGE.
4. V Kartik Ganesh, (2021), Nanotechnology in Civil Engineering, ACADEMIA, Department of



- تحسين العزل الصوتي للأبنية الحديثة باستخدام المواد النسيجية المركبة المعززة بالمواد النانوية  
Civil Engineering, SRM University Kattankulathur, Chennai-603203, P-P: 1-11, INDIA, Academia.
13. الرشيد الأحمد، مصطفى. (2009)، العوامل المؤثرة في درجة امتصاص الصوت في المنسوجات، هندسة العزل والنسيج، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب، سوريا. ص:104.
14. Evonik Endustries, (2015), Aerosil®-Fumed Silica, Technical Overview, Hanau-Wolfgang Germany, P: 104.
15. ASTM standard C384-04, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustic Materials by Impedance Tube Method.
16. J. Yan, J.C.Lee, C.W.Lee, D.W.Kang, Y.J.Kang, and S.H.Ahn, Soundproof Effect Of Nanoclay Reinforced Polypropylene Composites, School of Mechanical and Aerospace Engineering and Institute of Advanced Machinery and Design, Seoul National University, Seoul, South Korea, P: 9.
17. Jianxun Liu, Meirong Chen, Jianping Yang, and Zhishen Wu, (2020), Study on Mechanical Properties of Basalt Fibers Superior to E-Glass Fibers, Journal of Natural Fibers, Volume 19, 2022-Issue 3, P-P: 882-894, London, UK., Taylor & Francis.
18. Basfiber®, Kamenny Vek, Advanced Basalt Fiber, Dubna, Moscow reg., Russia.
19. Liangang Zheng, Mohamed Amine Aouraghe, Kun Zhang, Fujun Xu, (2020), Ultra-light 3D fabric Reinforced Composite with Distinct Thermal Insulation and Superior Sound-absorbing Properties, Journal of Physics: Conference Series, 1790 (2021) 012065, P-P: 1-6, Shanghai, PR China, IOP Publishing.
20. D.V. Bihola, H N Amin, V D Shah, (2016), Application of Nano Material to Enhance Acoustic Properties, International Journal of.
21. Engineering Science and Futuristic Technology, IJESFT 12 (2015), P-P: 001-009, Gujarat, India, A D Publication.
22. Chang Penga, Mengyue Chena, James B. Spicerb, and Xiaoning Jianga, (2021), Acoustics at the nanoscale (nanoacoustics): A comprehensive literature Review, ScienceDirect, S0924424721001825, P: 116, Raleigh, and Baltimore, USA, Elsevier.
5. Nesrin Sahbaz Karaduman, Yekta Karaduman, Huseyin Ozdemir and Gokce Ozdemir, (2017), Textile Reinforced Structural Composites for Advanced Applications, Edited: Nesrin Sahbaz Karaduman, Textiles for Advanced Applications, Chapter 4, P-P: 87-133, Yozgat, Turkey, INTECH OPEN.
6. Shanaz Hussein Ahmad, Rana Mahdi Salih, (2020), Acoustic and Thermal Insulation of Nanocomposites for Building Material, Baghdad Science Journal, 17(2), P-P: 494-501, Baghdad, Iraq, Baghdad Science Journal.
7. Tomáš Ulrich, and Jorge P. Arenas, (2020), Sound Absorption of Sustainable Polymer Nanofibrous Thin Membranes Bonded to a Bulk Porous Material, Sustainability 2020, 12, 2361, P-P: 1-15, Liberec, Czech Republic, MDPI.
8. Yeran Wang, Junmei Liu, Lixia Jia and Zhenhong Chen, (2022), Recent Advances in Woven Spacer Fabric Sandwich Composite Panels: A Review, Polymers 2022, 14, 3537, P-P: 1-19, Shijiazhuang, China, MDPI.
9. Arval, (2009), Acoustic and thermal guide (A guide for energy saving and noise comfort in buildings), ArcelorMittal, P: 130.
10. Anthony Zander, Md Ayub, Benjamin Cazzolato, Carl Howard, Md Julker Nine, Dusan Losic, David Huang, Diana Tran, and Hywel Bennett, (2018), Acoustics at the Nanoscale, Acoustics 2018, 7-9 November, P-P: 1-18, Adelaide, Australia, The University of Adelaide.
11. Alice Elizabeth González, (2019), How Do Acoustic Materials Work? Edited: Alice Elizabeth González, Acoustics of Materials, Chapter, P-P: 1-17, Montevideo, Uruguay, INTECH OPEN.
12. Jae-Chul Lee, Young-Sun Hong, and co-authors, (2008), Soundproofing effect of nano particle reinforced polymer composites, Journal of Mechanical Science and Technology, P-P: 1468-1474, Seoul, Korea, KSME & Springer.

23. Xiuhong Li, Yujie Peng, Youqi He, Chupeng Zhang, Daode Zhang, and Yong Liu, (2022), Research Progress on Sound Absorption of Electrospun Fibrous Composite Materials, *Nanomaterials* 2022, 12, 1123, P-P:1-20, Wuhan, and Beijing, China, MDPI.

24. Xiao Qi Jia, Song Yu Li, Hong Jiang Miu, Tuo Yang, Kun Rao, Dong Yang Wu, Bao Ling Cui, Jun Lang Ou and Zu Chao Zhu, (2020), Carbon Nanomaterials: A New Sustainable Solution to Reduce the Emerging Environmental Pollution of Turbo-machinery Noise and Vibration, *Frontiers in Chemistry*, August 2020 | Volume 8 | Article 683, P-P: 1-6, Hangzhou, China, Frontiers.

25. NAIMA, (2009), Building Insulation, Pub. No.NCA101 1/14, P-P: 1-9, Ottawa, Canada.

26. Isover, (2019), The Insulation Handbook; Acoustic and thermal insulation solution guide, P: 50.

27. Tiasa, (2001), Thermal Insulation Handbook, The Thermal Insulation Association of Southern Africa, Lyttelton, Southern Africa, The AAAMSA Studio, P: 60.