مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد42 العدد (2) – 2026: 293-307

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 42 number (2) -2026: 272-307

" تصميم وتقييم أداء حاوية عازلة للصوت لتقليل التلوث الضوضائي الصادر عن المولدات الكهربائية المحمولة "

أمجد مروان زخور [1*] عصام قرقوط[2]

[1*]. مهندس، قسم هندسة التصميم الميكانيكي، جامعة دمشق.
amjad.zakhour@damascusuniversity.edu.sy
[2]. أستاذ، دكتور، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.
EssamKarkout@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تعتبر الضوضاء من المواضيع المهمة التي استقطبت اهتمام المهندسين والباحثين في المجال العملي وذلك للسيطرة عليها والحد من تأثيراتها السلبية على الحياة.

يهدف البحث الى الحد من الضوضاء الصادرة عن المولدات الكهربائية المحمولة وذلك بعزلها بمواد متوفرة محلياً ذات تكلفة منخفضة حيث تم اختيار هذه المواد على أساس الامتصاصية ومعامل تخفيض الضوضاء للمواد الصوتية.

كشف تحليل الموجة الصوتية ان تردد الموجة الواقعة كان أقل من التردد الحرج للحاوية وهذا يدل على أن الحاوية لن يتردد صداها أثناء التشغيل.

من أجل ذلك تم وبشكل تجريبي اجراء تصميم وتقييم اداء لحاوية عازلة للصوت ذات جدران متعددة الطبقات مكونة من الطبقة الخارجية هي هيكل من صفائح الفولاذ St-45 والطبقة الداخلية من الخشب والفوم كمادة ماصة محصورة بينهما.

تم قياس مستوى شدة الصوت الصادر عن المولد قبل وبعد العزل، وتمت مقارنة هذه النتائج العددية عن طريق رسم الخرائط الصوتية لكلتا الحالتين على برنامج Matlab، وأظهرت النتائج أن الحاوية العازلة للصوت ساهمت بشكل فعال في تقليل الضوضاء الصادرة عن المولد، ووجد أن درجة حرارة المولد لم تتأثر كثيراً بإستخدام الحاوية العازلة للصوت مما يدل على فعالية نظام التبريد الهوائي المستخدم.

الكلمات المفتاحية: الحاوية العازلة للصوت، ضوضاء المولدات الكهربائية، مستوى شدة الصوت، رسم الخرائط الصوتية.

تاريخ الإيداع: 2023/8/13
تاريخ القبول: 2023/11/4

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

Design and performance evaluation of a soundproof enclosure to reduce noise pollution from portable generators

Amjad Mrwan zakhour[*1] Essam Karkout[2]

[*1]. Eng, Mechanical Design Department, Damascus university.
amjad.zakhour@damascusuniversity.edu.sy

[2]. Dr, Faculty of Mechanical and Electrical Engeeniring, Damascus university
essamkarkout@damascusuniversity.edu.sy .

Received:13 /8/2023
Accepted: 4/11/2023

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

Abstract:

Noise is considered one of the important topics that attracted the attention of engineers and researchers in the practical field in order to control it and reduce its negative effects on life.

The research aims to reduce the noise emanating from small electric generators by isolating them with locally available low-cost materials. These materials were chosen on the basis of the absorbance and sound reduction coefficient of acoustic materials.

The analysis of the sound wave revealed that the frequency of the incident wave was less than the critical frequency of the container, and this indicates that the container will not resonate during operation.

For this purpose, an experimental design and performance evaluation of a soundproof enclosure with multi-layer walls was conducted, consisting of the outer layer being a structure of St-45 steel sheets and the inner layer of wood and foam as an absorbent material sandwiched between them.

The sound level emitted by the generator was measured before and after isolation, and these numerical results were compared by drawing acoustic maps for both cases on the Matlab program, and the results showed that the soundproof container effectively contributed to reducing the noise emitted by the generator, and it was found that the temperature of the generator It was not affected much by using the soundproof container, which indicates the effectiveness of the air cooling system used.

Keywords: Soundproof containergenerator noisesound intensity level acoustic, mapping.

المقدمة:

إن ما يعاني منه بلدنا الحبيب سوريا بسبب الحصار الجائر عليه وعدم كفاية الطاقة الكهربائية المنتجة لتغطية الحاجات المطلوبة سواء في القطاعات الخدمية أو الصناعية أو الاستهلاك المنزلي.

مما ادى ذلك إلى انتشار ظاهرة استخدام مولدات الطاقة الكهربائية في عموم المدن السورية، فلا نجد بيت أو منطقة صناعية وتجارية تخلو من المولدات الكهربائية وعلى الرغم من أنها قدمت حلولاً لأزمة الكهرباء الا أنها تعد من مصادر التلوث البيئي وتحديداً التلوث الضوضائي، وقد عدت الضوضاء أهم ملوث بيئي تسببه المولدات الكهربائية.

ولهذه الضوضاء الصادرة آثار سلبية على صحة الانسان مثل: الشعور بالضيق والتوتر العصبي، اضطرابات بالنوم، التأثير على الحالة النفسية والذهنية، عدم التركيز والاستيعاب والتأثير السلبي على السمع وغيرها من التأثيرات فهي تعد مشكلة مهددة لراحة المجتمع وهدوئه (مصادر الضوضاء، وزارة البيئة العراقية، قسم نوعية الهواء). لذلك فان الهدف من هذه الدراسة هو تقليل أو تخميد الضوضاء الصادرة من المولدات الكهربائية المحمولة وذلك بعزلها بمواد متوفرة محلياً ذات كلفة منخفضة.

1 . مفهوم التلوث الضوضائي:

التلوث الضوضائي يفهم على أنه : " اصوات غير مرغوب فيها، تسبب إزعاجاً لسامعها لأنه لا يوجد فيها تناسق أو انتظام، بل تتميز بشدتها وبتداخل الأصوات مع بعضها (موسى،2006، 379).

وبمعنى آخر: هي طاقة على شكل أمواج صوتية تنتقل في الأوساط المختلفة وخاصة في الهواء على شكل نبضات من انضغاط وتخلخل في الوسط الناقل للصوت لذا يعد الصوت نوعا من أنواع الطاقة الصادرة عن حركة تذبذب الموجة في أوساط مختلفة (السائلة، الغازية، الصلبة) وينتقل في الهواء على شكل امواج متقدمة اذ تهتز جزئيات الهواء في حركة اهتزازية ينشا عنها انضغاط وتخلخل في الهواء أي تزايد وتناقص في ضغط الهواء وان المسافة بين هذين الضغطين يعرف بطول الموجة ويعرف عدد الموجات المارة عبر نقطة معينة في كل ثانية بالتردد، وإن سرعة الصوت في الهواء تساوي m/s (331.5) في درجة الصفر المئوي وكلما ارتفعت درجة حرارة الهواء درجة مئوية واحدة ارتفعت سرعة الصوت بمعدل m/s (0.6).

(د.المؤمن وأخرون،1993،142-141).

الأذن البشرية السليمة تميز الأصوات التي يتراوح ترددها بين (16−20000)هرتز ولهذا تعرف الموجات الصوتية التي يكون ترددها أقل من (16) هرتز بالموجات تحت الصوتية، والموجات الصوتية التي يزيد ترددها عن (20000)هرتز بالموجات فوق الصوتية.

ويقاس مستوى الصوت (β) بالديسيبل (dB) التي تمثل وحدة لوغاريتمية تعطي النسبة بين كميتين فيزيائيتين مثل القدرة أو الشدة بالنسبة إلى قيمة معيارية ، ويمكن تعريف مستوى شدة الصوت (β) بالديسيبل من خلال المعادلة التالية: (مقرر الكهروصوتيات، بحث الأمواج الميكانيكية، 136).

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0}\right)$$

حيث:

I: هي الشدة تقاس بالواط Watt لكل متر مربع واحدتها . (W/m^2).

I_0: الشدة المرجعية وهي ادنى شدة صوتية تستطيع الاذن البشرية تميزها.

$$I_0=1.00 \times 10^{-12}\ (W/m^2).$$

يصنف التلوث الضوضائي وفق الأثر الصحي إلى ثلاثة انواع:

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854

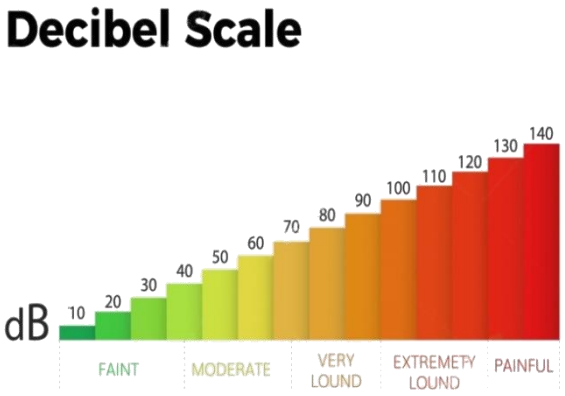
ضوضاء مؤلمة: عندما تزيد مستوياتها عن dB(120) حيث تسبب أضرار صحية وعدم القدرة على تميز الأصوات واتجاهها.

ضوضاء مزعجة – مزعجة جداً: عندما يبلغ مستوياتها بين dB(80-120) مسبباً الآم عند التعرض لها لفترة تزيد عن (8) ساعات يومياً.

ضوضاء متوسطة الإزعاج – رتيبة: عند بلوغ مستوياتها بينdB(45-80) محدثاً أضراراً صحية قد تستمر لشهور أو لسنوات عند التعرض لها لفترات طويلة.

(مصادر الضوضاء، وزارة البيئة العراقية، قسم نوعية الهواء).

حيث أنه تقع معظم ضوضاء المولدات الكهربائية بين dB(80-105) عند 21 قدم، فإن مستوى الضوضاء الصادر عنها يفوق المعدل اليومي للحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية WHO في المناطق السكنية وهو dB(50- 40) وبحسب الشكل (1) هذه الضوضاء تقع في فئة مزعجة إلى مزعجة جداً فيما يتعلق بحساسية الأذن البشرية مما يجعل هذه المولدات مصدر للتلوث الضوضائي للبيئة.



الشكل (1) مستوى شدة الأصوات مقدرة بالديسيبل.

أسباب الضوضاء الصادرة عن المولدات الكهربائية:

ضوضاء محرك الاحتراق الداخلي للمولد: تشير إلى الضوضاء المنبعثة من اهتزاز سطوح تركيب المحرك واجزاء المحرك نتيجة الطاقة العالية المتولدة من احتراق الوقود والتي تشكل معظم الضوضاء الصادرة من المولد.

ضوضاء ديناميك الهواء: الضوضاء المتولدة بواسطة مراوح التبريد وجريان الهواء بصورة عامة.

ضوضاء اخرى مثل خروج غازات العادم، تشكل الاهتزازات وتغير الحمل.

(Krishna et al،1999،3)

2. منهجية البحث:

من أجل دراسة تقليل التلوث السمعي الصادر عن المولدات الكهربائية المحمولة فقد اتبعنا منهج دراسة تجريبية مقارنة بين حالتين:

الحالة الاولى: قياس مستوى شدة الصوت للمولد بدون حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة.

الحالة الثانية: قياس مستوى شدة الصوت للمولد مع حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة.

وبعدها سيتم عرض قيم الضوضاء المقاسة عددياً ب(dB) من أجل رسم خرائط مستوى الصوت على برنامج Matlab حيث سيمكننا ذلك من اجراء مقارنة مباشرة لمستويات ضوضاء المولد لكلتا الحالتين.

3. تصميم وتصنيع الحاوية العازلة للصوت:

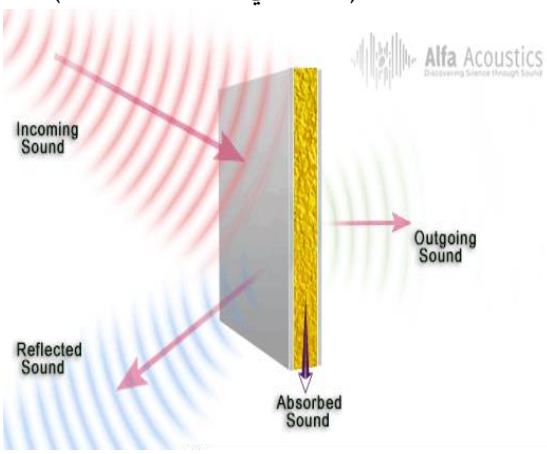
هناك عدة نقاط يجب اخذها في الاعتبار عند تصميم الحاوية العازلة للصوت(اختيار المواد– الحسابات الصوتية– الحسابات الحرارية).

في هذا البحث تم اختيار مواد عازلة للصوت ذات تكلفة قليلة ومتوفرة بشكل واسع، حيث يمكن لهذه المواد أن تمتص طاقة الصوت بشكل فعال، كما ينبغي إيجاد توازن بين خفض الضوضاء ونقل الحرارة من داخل حاوية المولد الى الخارج وتضمن التصميم نظام تبريد هوائي للسيطرة على درجة الحرارة

المحيطة حول المولد. تم استخدام مبدأ التحكم السلبي في الضوضاء عن طريق إقامة حواجز صوتية تفصل بين مصدر الضوضاء والمستقبل، وهي عبارة عن الواح يتم تجميعها لبناء الحاوية العازلة للصوت، ويعتبر التحكم السلبي في الضوضاء الشكل الأكثر فعالية من حيث التكلفة والأكثر استخداماً للحد من الضوضاء(Agbo،2019،2).

اختيار المواد: 4-1-

إن الطاقة الصوتية عندما ترد على أي تركيب فإن جزء منها ينعكس والجزء الآخر يمتص وآخر يمر خلال هذا التركيب وتنتقل هذه الطاقة من مكان أو جانب إلى جانب آخر، كماهو مبين بالشكل(2)، وإن قدرة أي مادة على امرار الصوت يسمى انتقال الصوت، والمواد التي لها القدرة على الامتصاص تسمى المواد الماصة للصوت (د.ملا علي وأخرون،2007،2)



الشكل(2) الاحتمالات الممكنة لتفاعل الموجة الصوتية مع حاجز.

وتعتبر المواد الماصة للصوت من أهم المواد في عزل الصوت، حيث تعتمد على طبيعة الصوت بأنه طاقة موجية وبالتالي لتركيب هذه المواد القدرة على امتصاص طاقة الموجة الصوتية، حيث يكون المقياس الذي يصف هذه المواد هو معامل امتصاص الصوت والذي يعتمد على زاوية سقوط الموجة الصوتية والتردد وتتراوح قيمته من صفر الى واحد.

(Lewis H،1982،3)

ويحدد هذا المعامل مقدار الصوت الذي يتم امتصاصه من قبل المادة الداخلة في العزل والذي يعبر عنه بالعلاقة:

$$\alpha = I_a / I_i$$

حيث ان:

I_a= absorbed sound intensity (W/m^2) شدة الصوت الممتص.

I_i= intensity incident sound (W/m^2) شدة الصوت الوارد.

(Egan، 2007، 52)

ويرتبط معامل امتصاص الصوت ارتباطاً وثيقاً مع معامل تخفيض الضوضاء NRC الذي سنعتمد عليه في اختيارنا للمواد العازلة للصوت.

معامل NRC (Noise Reduction Coefficient) هو متوسط معاملات امتصاص الصوت للمادة عند ترددات مختلفة، ويعتبر مؤشر لتصنيف مدى امتصاص المادة للصوت.

يوضح الجدول (1) معامل تخفيض الضوضاء NRC (النسبة المئوية للصوت التي يمتصها السطح) لعدد من المواد التي سيتم استخدامها لتصميم الحاوية وفق السماكات المحددة.

(AMOS،2018،1976)

الجدول(1) معامل تخفيض الضوضاء للمواد الصوتية المختارة.

المواد	معامل تخفيض الضوضاء NRC
الفوم	0.70
الخشب	0.23
فولاذ	0.23

(https://svetlanaroit.files.wordpress.com)

تحديد التخفيض في الديسيبل:

سيتم اختيار مادة الفوم في التصميم كمادة ماصة للصوت لأنه ذو معامل امتصاص جيد، ولتحديد التخفيض المتوقع لمادة الامتصاص المستخدمة بترددات معينة، يتم استخدام معامل تخفيض الصوت (C)، والذي قيمته موجودة بالجدول (1) وذلك من خلال المعادلة:

$$dB = -20 \log_{10}^{(1-c)}$$

c: معامل تخفيض الصوت.

dB: الانخفاض بمقدار الديسيبل.

dB= -20 $\log_{10}{}^{(1-0.70)}$ = 10

(1976،2018،AMOS)

4-2-الحسابات الصوتية:

(46321)،2017،Okoro et al.،(كودة الصوتيات، الجمعية العلمية الملكية مركز بحوث البناء الاردني).

يكون من المفيد اختيار طبقتين تختلف كثافة احدهما عن كثافة الاخرى وذلك لتجنب حدوث تأثير التوافق لكل من الطبقتين عند التردد نفسه.

نقصان الصوت بالانتقال(Sound Transmission Loss):

تقدير كمي لمقدار الطاقة الصوتية التي يتم منعها من الانتقال من خلال العزل الذي توفره الحاوية العازلة للصوت ويعطى من خلال العلاقة:

$$\mathrm{TL} = 20\log 10\left[\frac{1}{\tau}\right]$$

حيث:

τ: معامل نقصان الصوت بالانتقال.

ويحسب من خلال العلاقة:

$$\tau = \frac{\text{incident pressure}}{\text{Transmitted pressure}}\frac{\mathrm{P_i}}{\mathrm{P_T}}$$

$\mathrm{P_i}$ (Incident pressure): ضغط الموجة الواردة.

$\mathrm{P_T}$ (Transmitted pressure): ضغط الموجة المنتقلة.

P_{rms} (Pressure root mean square): جذر متوسط التربيعات لضغط الصوت الحالي.

$$P_i = P_{rms}\sqrt{2} = 10^{\frac{95}{20}}.\sqrt{2} = 79527.07\ [\mu pa]$$

$$P_T = P_{rms}\sqrt{2} = 10^{\frac{75}{20}}.\sqrt{2} = 7952.01\ [\mu pa]$$

$$P_{rms} = 10^{\frac{level\ dB}{20}}$$

$$\tau = \frac{79527.07}{7952.71} = 9.99$$

$$\mathrm{TL} = 20\log 10\left[\frac{1}{9.99}\right] = -19.99$$

والإشارة السالبة تدل على التناقص (التخفيض).

مستوى ضغط الصوت (Sound Pressure Level)(SPL):

وهو الضغط الذي ينتقل به الصوت عبر الهواء.

$$SPL = 20\log_{10}\left[\frac{P_{rms}}{P_{ref}}\right]$$

P_{rms} (Pressure root mean square): جذر متوسط التربيعات لضغط الصوت الحالي.

$$\mathrm{P_{rms}} = 10^{\left(\frac{95}{20}\right)} = 56234.13$$

P_{ref}: ضغط الصوت المرجعي ويمثل أقل ضغط صوتي مسموح (حافة السمع) ويساوي:

$$P_{ref} = 2\times 10^{-5}[pa]$$

$$\mathrm{SPL} = 20\log_{10}\left[\frac{56234.13}{2\times 10^{-5}}\right] = 188.98[\mu pa]$$

(46322)،2017،Okoro et al.

خسارة الادراج (Insertion Loss) (IL): وهي الخسارة في الإشارة الصوتية نتيجة استخدام الحاوية.

$$IL = 10\log 10\left[\frac{E}{E_T}\right]$$

E: مستوى ضغط الصوت بدون غلاف.

E_T: مستوى ضغط الصوت مع غلاف.

$$E = SPL = 188.98[\mu pa]$$

$$E_T = 20\log_{10}\left[\frac{5623.41}{2\times 10^{-5}}\right] = 168.9\ [\mu pa]$$

$$IL = 10\log_{10}\left[\frac{188.98}{168.98}\right] = 0.486$$ وكنسبة 48.6%

التردد الحرج للحاوية ($\boldsymbol{F_c}$):

(Critical frequency of the enclosure)

أقل تردد تبدأ عنده الحاوية بالاهتزاز، وهو التردد الذي تكون عنده سرعة انتشار أمواج الثني (الأمواج المستعرضة) في ذلك اللوح مساوية لسرعة انتشار الصوت في الهواء.

$$\mathrm{F_c} = \frac{\mathrm{C}^2}{1.8\mathrm{t}}\sqrt{\frac{\rho_p}{\mathrm{E_p}}}$$

حيث:

C: سرعة الصوت في الهواء (m/s).

ρ_p: كثافة مادة اللوح ($\mathrm{Kg/m^3}$).

E_p: معامل يونغ لمادة اللوح($\mathrm{N/m^2}$).

t: سماكة اللوح (m).

سماكة اللوح (t): وهي السماكة المطلوبة لتخفيض الصوت.

$$t = \frac{p_i}{\alpha.TL.E}$$

حيث:

ضغط الموجة الواقعة.P_i:

معامل الامتصاص. α :

: نقصان الصوت بالانتقال.TL

E : متوسط الطاقات لكثافة المواد الصوتية (Average energy density for acoustic material) .

تؤخذ قيمة E من المرجع Okoro et al. ،2017 ،(46322)

$$t = \frac{79527.07}{0.70\times19.99\times272.160\times10^3} = 0.021 = 21[\text{mm}]$$

الفوم:

$$\text{E} = 900[\text{Kpa}]، \rho_1 = 60.49\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

الخشب:

$$E = 117.7[Mpa]، \rho_1 = 120\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$$

$$\boldsymbol{F_c} = \frac{\mathbf{0.556\times343^2}}{\mathbf{0.021}}\sqrt{\frac{\mathbf{60.49+120}}{\mathbf{900\times10^3+117.7\times10^6}}} = 3842.66[Hz]$$

سرعة الموجة الواردة (Incident wave velocity) ،($\mathbf{U^I}$):

وهي السرعة التي تسقط بها الموجة الواردة في الهواء ويتم التعبير عنها بالعلاقة:

$$U^I = \frac{SPL.X}{\rho_0.C_0}$$

حيث:

كثافة الهواء. ρ_0 :

C_0 : سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة20℃.

X : محيط الحاوية.

$$U^I = \frac{188.98\times10^{-6}\times3.321}{1.20\times343} = 1.52\times10^{-6}[m/sec]$$

عدد ماخ (Acoustic Mach number): نسبة سرعة الموجة الواردة الى سرعة الصوت.

$$\text{M} = \frac{\text{U}^\text{I}}{\text{C}_0}$$

$$M = \frac{1.52\times10^{-6}}{343} = 4.4\times10^{-9}$$

حيث$M < 1$

أي أنه دون سرعة الصوت.

سرعة تقوس الموجة (Bending wave velocity) $(\boldsymbol{C_B})$:

السرعة التي تنتشر بها الموجة الصوتية الممتصة باللوح.

$$C_B = \sqrt{\frac{1.8.\text{t.F}.E_p}{\rho_p}}$$

$$\text{C}_\text{B} = \sqrt{\frac{1.8\times0.021\times1891.05\times[900\times10^3+117.7\times10^6]}{(60.49+120)}} = 6853.51\ [\text{m/s}]$$

تردد الموجة الواردة (F):

(Frequency of the incident wave): ويحسب تردد الرنين لجدار فاصل مزدوج من المعادلة التالية:

$$\text{F} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho_0.\text{C}_0^2.\text{m}_1.\text{m}_2}{(\text{m}_1+\text{m}_2.)\text{g}}}$$

حيث:

C: سرعة الصوت في الهواء (m/s).

m_1 : كثافة سطح الطبقة الاولى (Kg/m^2).

m_2 : كثافة سطح الطبقة الثانية (Kg/m^2).

G:عمق التجويف بين الطبقتين (m).

ρ_0: كثافة الهواء (Kg/m^3).

$$\mathbf{m} = \boldsymbol{\rho}.\mathbf{t}$$

$$\text{m}_1 = 60.49\times0.021 = 1.2(\text{Kg}/m^2).$$

$$m_2 = 120\times0.021 = 2.5(\text{Kg}/m^2).$$

$$F = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1.20\times343^2\times(1.2+2.5)}{(1.2+2.5)0.001}} = 1891.05[Hz]$$

الممانعة الصوتية (Acoustic Impedance):

تعرف الممانعة الصوتية بأنها النسبة العقدية (Complex Ratio) بين ضغط الصوت والسرعة الحجمية خلال سطح معين.

$$\boldsymbol{Z} = \frac{\text{complex acoustic presure}}{\text{complex particale velocity}}$$

$$Z = \frac{SPL}{U^I} = \frac{188.98\times10^{-6}}{1.52\times10^{-6}} = 124.32[Pa.s/m]$$

من الحسابات الصوتية السابقة تم تحديد التردد الحرج للحاوية ب $3842.66[Hz]$ وهو أكبر ب 2 مرة من تردد الموجة الصوتية الواردة وبالتالي لن تكون الحاوية عرضة لتأثير التوافق(Coincidence Effect) وبالتالي فإنها ستخدم بشكل فعال غرض التوهين الصوتي.

4-3-الحسابات الحرارية للحاوية واختيار المراوح اللازمة للتبريد:

(AKHAZE et al ،2016،84)؛ Okoro et al.، 2017، 46322) (AMOS، 2018، 1976)

ان تقليل الضوضاء بإستخدام حاوية عازلة للصوت يؤدي الى زيادة درجة الحرارة داخل الحيز المعزول بمرور الزمن مما سيؤثر سلباً على المولد لذلك يجب استخدام نظام تبريد مناسب في هذه الحالة.

سيتم تحديد الحرارة المنبعثة من احتراق الوقود(البنزين) من المولد:

$$Q_c = \dot{m}.c / t$$

$$Q_c = \rho.v.c / t$$

Q_c: الحرارة الناتجة من الاحتراق ṁ [w : معدل التدفق الكتلي للوقود [kg/s].

ρ : كثافة الوقود [kj/kg].

v: حجم الوقود [L].

t: الزمن (hour)1 = 60*60 [sec]

تجريبياً فإن مولد 3KVA عند التحميل الكامل يستهلك 1.3[L] من الوقود في الساعة.

$$\boldsymbol{Q_c} = \frac{\rho .c.v}{t} = \frac{737\times1.3\times10^{-3}\times44\times10^{6}}{60\times60} = 11710.11\ [w]$$

وهي الطاقة الحرارية الداخلة.

بإعتبار أن 30% من الطاقة تضيع من خلال العادم.

و 35% من الطاقة الحرارية تعطى للمحرك.

$$Q_A = 0.35 \times 11710.11 = 4098.53[w]$$

كمية الحرارة المحتجزة في الحاوية بسبب تشغيل المحرك:

$$Q_e = Q_A - Q_M$$

$$Q_e = 4098.53 - 3000 = 1098.53[w]$$

حيث:

الحرارة المحتجزة في الحاوية بسبب تشغيل المحرك.Q_e:

الطاقة المتاحة من محرك المولد.Q_A:

الطاقة الميكانيكية الفعلية.Q_M

حساب معدل التدفق الكتلي للهواء اللازم للتبريد:

$$Q_e = M.C.\Delta T$$

M : معدل التدفق الكتلي لهواء التبريد [kg/s]

C: السعة الحرارية النوعية للهواء تحت حجم ثابت .1[kj/kg ℃]

ΔT: التغير في درجة حرارة الهواء المحيط والهواء داخل الحاوية [℃]

$$\Delta T = T_e - T_{amb}$$

حيث:

درجة حرارة الحاوية.: T_e

درجة الحرارة المحيطة.T_{amb} :

$$M = \frac{Q_e}{C.\Delta T} = \frac{1098053}{1000\times(65-32)} = 0.033[\frac{kg}{s}]$$

حساب معدل التدفق الحجمي للهواء(تصريف الهواء):

$$V = \frac{M}{\rho_a}$$

ρ_a : كثافة الهواء عند درجة حرارة

$$1.045[kg/m^3] = 65[℃]$$

$$V = \frac{M}{\rho_a} = \frac{0.033}{1.045} = 0.031[m^3/s]$$

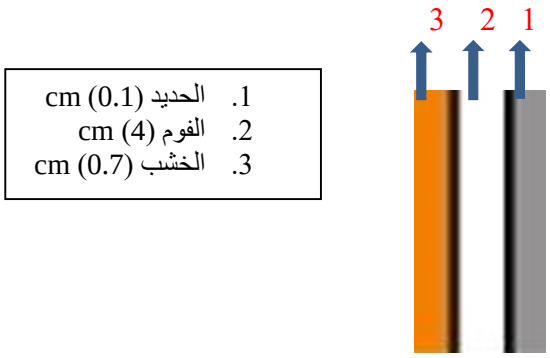
سوف نستخدم نظام تبريد هوائي ومن التحليل الحراري فإن استخدام مراوح ذات معدل التدفق الحجمي $0.31[m^3/s]$ وما فوق سوف يحقق التوازن الحراري المطلوب لعمل محرك المولد بشكل امن وفعال، وهذه المراوح تستمد طاقتها الحركية من طاقة المولد الكهربائي.

المروحة الأولى: من الاسفل وتستخدم لدخول الهواء من الخارج الى داخل الحاوية للتبريد.

المروحة الثانية: من الاعلى لتفريغ الهواء الساخن من داخل الحاوية الى الخارج.

4-5-التصنيع:

جدران الحاوية العازلة للصوت متعددة الطبقات مصنوعة من: الحديد، الفوم، الخشب من الخارج الى الداخل كما هو مبين بالشكل (2):



الشكل(3) طبقات جدار الحاوية المستخدمة بالتجربة.

0.1 cm الجزء الخارجي من صفائح الحديد بسماكة

0.7 cm الجزء الداخلي من الخشب بسماكة المادة الماصة للصوت الفوم بسماكة 4 cm تكون محصورة بين الجزئين.

قمنا بإجراء بعض العمليات الصناعية البسيطة لبناء الحاوية العازلة للصوت.

تم توصيل انبوب مرن بأنبوب العادم لتبديد غاز العادم خارجاً.

وقد تم أخذ البعد الكلي للمولد في الاعتبار من اجل تحديد الابعاد المناسبة لتصنيع الحاوية العازلة للصوت.

وقد تم تصنيع الحاوية العازلة للصوت بأبعاد (810*620*810)mm

5. الدراسة العملية:

من أجل تحقيق هدف هذا البحث المتمثل بالحد من الضوضاء الصادرة عن المولدات الكهربائية المحمولة تم تصنيع حاوية مصنعة من مواد عازلة للصوت ويوضع المولد داخلها. من أجل ذلك تم اختيار مولد كهربائي بقدرة 3KVA المبين بالشكل (3) ومواصفات المولد الكهربائي المستخدم في البحث مبينة في الجدول(2).

الجدول(2) المواصفات الفنية للمولد الكهربائي.

العلامة التجارية	Sunshow
الموديل	SS3600E
اللون	احمر
التردد	50 هرتز
الاستطاعة	3000 واط
الجهد الكهربائي	220 فولت
المحرك	رباعي الاشواط- مكبس واحد
سعة خزان الوقود	12 لتر
الوزن	45 كغ
الابعاد(الطول-العرض-الارتفاع)	(470*420*520)mm

الشكل(3) المولد الكهربائي 3KVA المستخدم بالتجربة.

وقد تم اجراء التجربة واخذ القراءات في 8/5/2023 تم تحديد مساحة اختبار تبلغ[m] 15*15 في بيئة مفتوحة، وفي كلا الحالتين تم وضع المولد في وسط مساحة الاختبار، وبعدها تم قياس مستويات الصوت بإستخدام جهاز قياس ديسيبل المبين بالشكل(4)، وذلك وفق تناسق مصفوفة [6*6] (6 صفوف و 6 اعمدة) اي 36 نقطة قياس.

الشكل(4) جهاز قياس شدة الصوت dB.

حيث تم قياس شدة الصوت في كل نقطة من هذه النقاط وفق حالتين:

الحالة الأولى: المولد بدون حاوية عازلة للصوت.

الحالة الثانية: المولد داخل الحاوية العازلة للصوت.

الحالة الأولى:

قياس مستوى شدة الصوت للمولد بدون حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة:

تم عرض قيم مستوى شدة الصوت المقاسة عددياً بالديسيبل كما هو مبين بالجدول (3) والشكل (5) يبين عملية القياس.

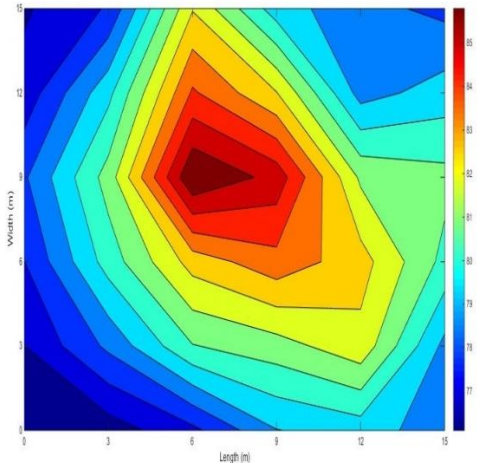
الجدول (3) قيم الضوضاء المقاسة عددياً للمولد الكهربائي بدون حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة.

مستوى شدة الصوت (dB) العرض (m) \ الطول (m)	0	3	6	9	12	15
15	76.1	76.5	77.5	79.3	79.7	78.9
12	76.9	78.7	80.9	81.4	82.3	79.1
9	77.7	80.5	82.9	83.9	82.9	80.7
6	78.4	81.3	86.6	85.5	81.6	81.2
3	77.2	79.9	84.3	82.6	79	79.7
0	76.8	77.8	82.5	79.7	78.8	78.3

وتم تمثيل النتائج العددية وفق مخطط ثنائي الأبعاد بتناسق مصفوفة 6*6 (مخطط طيفي للضوضاء الصادرة عن المولد بدون حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة) كما هو مبين بالشكل (6).

ويشير المخطط ثنائي الأبعاد الى ان الضوضاء الصادرة عن المولد متناظرة تقريباً في جميع الاتجاهات مع وجود اختلافات طفيفة بسبب الشكل الغير متماثل للمولد.

الشكل(5) قياس شدة الصوت للمولد بدون حاوية عازلة للصوت.



الشكل(6) مخطط طيفي للضوضاء الصادرة عن المولد وفق مصفوفة 6*6 بدون حاوية في بيئة مفتوحة.

الحالة الثانية: قياس مستوى الصوت للمولد مع حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة:

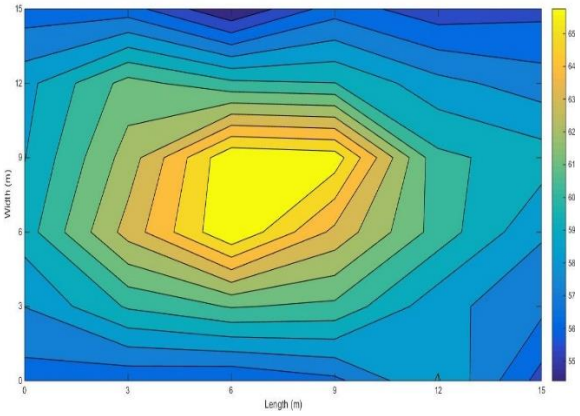
في هذه الحالة تم وضع المولد داخل الحاوية العازلة للصوت وتم قياس مستوى شدة الصوت في 36 نقطة قياس، كما هو موضح سابقاً وتم تبيان القياسات العددية التي تم الحصول عليها وعرضها في الجدول(4)، والشكل(7) يبين عملية القياس.

الجدول (4) قيم الضوضاء المقاسة عددياً للمولد الكهربائي مع حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة.

	مستوى شدة الصوت (dB)						
العرض (m)	15	55.9	59.2	57	56.3	56.5	56.8
	12	57.5	58.5	60.5	61.1	60.2	58.5
	9	58.3	60.6	63.6	66.7	63.3	59.6
	6	59.6	60.3	66.3	66.6	62.4	59.1
	3	57.7	58.5	60.1	60.3	61.4	58.8
	0	56	55.7	56.8	54.4	56.7	56.7
		0	3	6	9	12	15
	الطول (m)						

وأيضاً تم تمثيل النتائج العددية وفق مخطط ثنائي الأبعاد بتناسق مصفوفة 6*6 (مخطط طيفي للضوضاء الصادرة عن المولد مع حاوية عازلة للصوت في بيئة مفتوحة) كما هو مبين بالشكل (8).

الشكل(7) قياس شدة الصوت للمولد مع حاوية عازلة للصوت.



الشكل(8) مخطط طيفي للضوضاء الصادرة عن المولد وفق مصفوفة 6*6 مع حاوية في بيئة مفتوحة.

الشكل(9) المولد الكهربائي داخل الحاوية العازلة للصوت.

قياسات درجة الحرارة: يعد قياس درجة الحرارة امراً هاماً في هذه الدراسة لأنها ستؤثر على تشغيل المولد عند عزله داخل الحاوية العازلة للصوت، ومن أجل تقييم عمل المراوح على درجة حرارة الهواء داخل الحاوية العازلة للصوت تم أخذ عدة قراءات لدرجة حرارة الهواء داخل الحاوية أثناء عمل المولد بواسطة حساس حراري لمدة 25 دقيقة كما هو مبين بالجدول(5).

الجدول(5) قياسات درجة حرارة الهواء داخل الحاوية.

الزمن(دقيقة)	1	5	10	15	20	25
درجة حرارة داخل الحاوية (°C)	27	33	36	39	40	40

وتم ايضاً اخذ عدة قراءات لدرجة حرارة سطح محرك المولد اثناء عمله لمدة 10 دقائق وذلك لكلتا الحالتين ، والقراءات مبينة وفق الجدول(6).

الجدول(6) قياسات درجة الحرارة لسطح محرك المولد

زمن عملية القياس (دقيقة)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
درجة حرارة محرك المولد بدون حاوية	31	37	44	59	77	103	116	120	120	120
درجة حرارة محرك المولد مع حاوية	31	39	48	65	83	110	123	127	127	127

6.النتائج والمناقشة:

من الحسابات الصوتية كشف تحليل الموجة الصوتية أن تردد الموجة الواردة أقل من التردد الحرج للحاوية وهذا يعني أن الحاوية لن يتردد صداها أثناء التشغيل.

ومن الحسابات الحرارية تم تحديد نظام تبريد فعال بإستخدام مراوح ذات معدل تدفق حجمي مناسب من أجل التخلص من الحرارة المتراكمة داخل الحاوية من جهة ومن أجل التبريد داخل الحاوية من جهة اخرى.

بالمقارنة بين القيم العددية لمستويات شدة الصوت الصادر عن المولد والمبينة في الجدولين (3) و (4) يظهر الانخفاض الكبير في مستوى الضوضاء بعد تركيب المولد داخل الحاوية العازلة للصوت، ومن الجدول (7) يمكن اظهار ان الحد الاعلى والحد الادنى لمستويات الضوضاء قد انخفض بشكل كبير بعد تركيب المولد داخل الحاوية العازلة للصوت، حيث نجد انه :

في الحد الاعلى لمستوى شدة الصوت تم التخفيض بمقدار 20 (dB) في الحد الادنى لمستوى شدة الصوت تم التخفيض بمقدار 22 (dB)

الجدول(7) مقارنة مستويات شدة الصوت مقدرة ب(dB).

مستوى الصوت	بدون حاوية dB	مع حاوية dB	التخفيض dB
الحد الاعلى	86.6	66.7	19.9
الحد الادنى	76.1	54.4	21.7

يعتبر تخفيض الضوضاء بمقدار dB (22) الذي تم تحقيقه في هذه الدراسة مهماً جداً وخاصة في المناطق التي لا يسمح فيها بتجاوز حدود الضوضاء المحددة لتشغيل المولدات الكهربائية مثل المناطق السكنية.

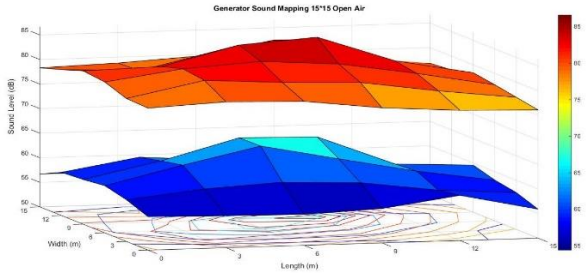
واذا ما تمت مقارنة القيم التي حصلنا عليها بعد تركيب المولد داخل الحاوية العازلة للصوت كما هو مبين بالجدول(4) مع مستويات شدة الصوت المبينة في المبينة في الشكل (1) نجد انه تم تخفيض فئة الضوضاء من (مرتفع جداً) الى (متوسط).

وتمت مقارنة نتائج مستويات شدة الصوت للمولد مع وبدون حاوية عن طريق رسم خريطة صوتية ثلاثية الأبعاد لمساحة الإختبار المحددة وذلك على برنامج Matlab كما هو مبين بالشكل(10).

ويمثل (الشكل في الأعلى) مخطط ثلاثي الأبعاد لتوزع ضوضاء المولد بدون حاوية.

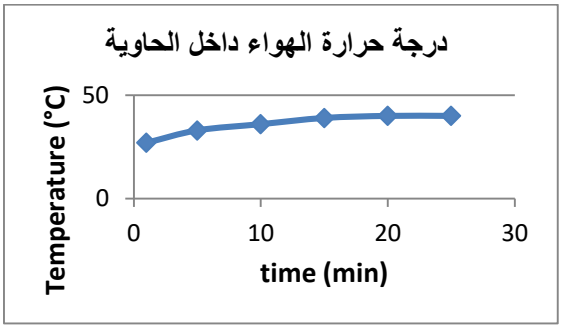
بينما يمثل(الشكل في الأسفل) مخطط ثلاثي الأبعاد لتوزع ضوضاء المولد مع حاوية .

ويظهر بشكل واضح من خلال الشكل (10) الانخفاض الكبير في مستويات الضوضاء وذلك بعد تركيب المولد داخل الحاوية العازلة للصوت.



الشكل (10) مخطط توزع ضوضاء المولد حيث الشكل السفلي (مع حاوية) والشكل العلوي (بدون حاوية)

وقد تم تمثيل قياسات درجة حرارة الهواء داخل الحاوية العازلة للصوت والمبينة في الجدول (5) وذلك من خلال رسم علاقة تصف تغير درجة حرارة الهواء داخل الحاوية مع الزمن كما هو مبين بالشكل (11).

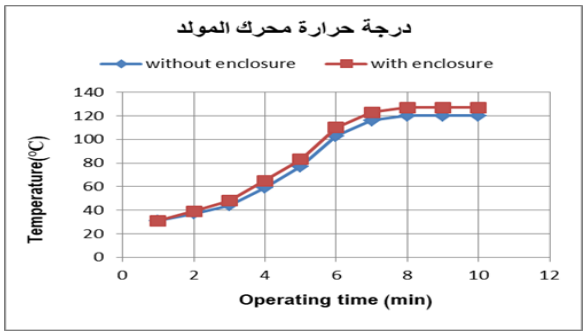


الشكل (11) تغير درجة حرارة الهواء داخل الحاوية مع الزمن.

بمساعدة مراوح التبريد تم الحفاظ على درجة حرارة الهواء داخل الحاوية العازلة للصوت عند [°C]40 وهي درجة حرارة آمنة للتشغيل.

وقد تمت المقارنة بين قيم درجات الحرارة لسطح محرك المولد المبينة في الجدول (6) من خلال رسم تغير درجة حرارة المحرك مع الزمن للحالتين معاً موضحاً بالشكل (12) للصوت لن تتجاوز درجة الحرارة الآمنة للتشغيل.

وذلك للتأكد من أن درجة حرارة المولد داخل الحاوية العازلة وبالتالي تشير المقارنة بين معطيات درجة حرارة سطح محرك المولد الى فعالية نظام التبريد الهوائي المستخدم في التصميم وملائمة اختيار المراوح وفقاً للحسابات الحرارية.



الشكل(12) تغير درجة حرارة سطح محرك المولد قبل وبعد العزل

7. الاستنتاجات:

في هذه الدراسة تم تطبيق حل فعال للتحكم في الضوضاء الصادرة عن المولدات الكهربائية المحمولة من خلال تصميم واختبار حاوية عازلة للصوت لمولد بقدرة 3KVA ،حيث تم تصنيعها من مواد قليلة التكلفة متوفرة بالسوق المحلي.

عمدنا في هذا البحث على إيجاد توازن بين خفض الضوضاء من جهة والموازنة الحرارية داخل الحاوية العازلة للصوت من جهة اخرى.

حيث تم اخذ قياسات مستوى شدة الصوت للمولد وفق حالتين: المولد بدون حاوية ، المولد داخل الحاوية.

تبين من نتائج الدراسة التي أجريناها فعالية الحاوية العازلة للصوت في الحد من التلوث الضوضائي الصادر عن المولدات الكهربائية المحمولة من خلال خفض الضوضاء من مستوى شدة صوت مرتفع جداً الى مستوى شدة صوت معتدل.

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

References:

1. مصادر الضوضاء، وزارة البيئة العراقية دائرة التخطيط والمتابعة الفنية.
2. موسى، علي حسن.(2006). التلوث البيئي (ط .2). دمشق: دار الفكر.
3. د. فؤاد حميد المؤمن، عبد علي حبيب الخياط، الصحة العامة وتلوث البيئة، بغداد: هيئة المعاهد الفنية، 1993، ص 141-142.
4. مقرر الكهروصوتيات، البحث (9) (الأمواج الميكانيكية)، جامعة الأندلس الخاصة للعلوم الطبية.
5. د. ملا علي، صباح ، د. المخيول، زياد محمد مجيد. (2007). دراسة العزل الصوتي لمواد البناء المصنوعة بالعراق عملياً. مجلة الرافدين الهندسية، العدد 15.
6. كودة الصوتيات، الجمعية العلمية الملكية مركز بحوث البناء، لصالح مجلس البناء الوطني الاردني (1980).
7. Bell & Lewis H., "Industrial Noise Control", Fundamental and application, Marcel Dekker, INC NY, 1982.
8. Krishna، C R.; Wegrzyn, J E(1999). Survey of noise suppression systems for engine generator sets. Informal Reports. Energy Efficiency and Conservation Division. Department of of Applied Science, Brookhaven National Laboratory, Brookhaven Science Associates Upton, Long Island، New York 11973 pp1-28.
9. Agbo, C.(2019). Adaptive Design and Performance Evaluation of Compact Acoustic Enclosures Built with GFRP for Portable Mini-generators. Journal of Engineering Research and Reports. 7(3): 1-11.
10. Egan, M. David.(2007). Architectural Acoustics. McGraw-Hill.
11. AMOS, AE; *OLISA, YP; KOTINGO، K.،(December 2018). Design and Performance Evaluation of a Soundproof Enclosure for a 2.5kVA Generator.J. Appl. Sci. Environ. Manage.Vol. 22 (12) 1975–1978 December 2018.
12. Okoro, V.I. & Ogunedo B.M. (March 2018). Design of an Acoustic Enclosure for a 12.5kVA Diesel Engine Electric Generator. Elixir International Journal. 105 (2017) 46319-46323.
13. AKHAZE, A.& JOHN، E.(March 2016). Development of a Soundproof Device for 950 Watt rated Portable Generators. J. Appl. Sci. Environ. Manage.Vol.20 (1) 83-86.
14. Hammad, U.& Dr Ahmad, A.& Dr Khan، A.& Qurehi, T. (December 2013). DESIGN AND DEVELOPMENT OF NOISE SUPPRESSION SYSTEM FOR DOMESTIC GENERATORS. European Scientific Journal. vol.4 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e.
15. https://svetlanaroit.files.wordpress.com/2009/11/visual_values2.pdf

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854