

Simulate four main models of holes to make in the forage mower knife and find out the least noisy

Shrouq Alkaddour^{1*}, Ahmed Boushi¹, Alaa Sayed Bakeer²

¹Department of Agricultural Machinery, Faculty of Mechanical Engineering, University of Aleppo; ²Department of Spinning and Weaving, Faculty of Mechanical Engineering, University of Aleppo, Syria.

DOI: <https://doi.org/10.58309/96xk2g38>

KEYWORDS:

forage mower knife, noise levels, acoustic power level, flow simulation, flow, holes.

ABSTRACT:

The research aims to study four models of holes in the forage mower knife or the so-called lawn mower cutting blade (rectangle, square, circle, ellipse) within a virtual environment (SolidWorks software environment) by determining the size of the virtual environment and the conditions necessary for the simulation process. Studying the holes shows which ones produce the least noise in order to make the holes in the feed mower knife. This is because the holes contribute greatly to reducing the noise of rotating mechanical parts. The results showed that the rectangular hole achieved less air turbulence when the area was equal, reaching 45 dB. In addition, if the edge of the hole was slanted outward, the noise decreased and reached 35.27 dB. Additionally, rounding the corners using the "Fillet" feature, which makes the corners of the rectangle curved, reduced the noise to 32.05 dB. This simulation was based on the law of calculating the Reynolds number for flow, which relates to the fluid density, velocity, and dynamic viscosity, which are constants in this case. The equivalent diameter, which is directly proportional to the Reynolds number, varies from one hole to another. By calculation, the equivalent diameter of the rectangle is smaller than that of the rest of the holes, and therefore, it produces less noise.

محاكاة أربعة نماذج رئيسية من الثقوب لجعلها في سكين محشّة الأعلاف ومعرفة الأخفّ ضجيجاً

شروق القدور¹، أحمد بوشي¹، علاء سيد باكير²

¹قسم الآلات الزراعية، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب، ²قسم الغزل والنسيج، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب، سوريا.

الكلمات المفتاحية:

آلة، ثقب، جريان، حش الأعلاف، سكين القصّ، ضجيج، محاكاة التدفق، مستويات الضجيج.

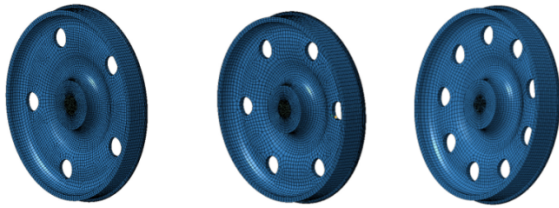
المستخلص:

يهدف البحث إلى دراسة أربعة نماذج من الثقوب في سكين محشّة الأعلاف أو ما يُسمّى شفرة قطع حاصدة العشب (المستطيل، المربع، الدائرة، القطع الناقص) ضمن بيئة افتراضية (بيئة عمل برنامج SolidWorks) من خلال تحديد حجم البيئة الافتراضية والظروف اللازمة لعملية المحاكاة. إنّ دراسة الثقوب يُبين أنّها يُصدر ضجيجاً أقلّ من أجل جعل الثقوب في سكين محشّة الأعلاف؛ وذلك لأن الثقوب تساهم بشكل كبير في تخفيف ضجيج القطع الميكانيكية الدوّارة. وقد أظهرت النتائج أنّ الثقب ذو الشكل المستطيل حقق اضطراباً هوائياً أقلّ عند تساوي المساحة، وصل إلى 45 dB. بالإضافة إلى ذلك، فإذا كانت حافة الثقب مائلة نحو الخارج فإن الضجيج انخفض ووصل إلى 35.27 dB، كما أنّ تدوير الزوايا باستخدام خاصية "Fillet"، أي جعل زوايا المستطيل منحنية خفف الضجيج إلى 32.05 dB. استندت هذه المحاكاة إلى قانون حساب رقم رينولدز للجريان الذي يتعلّق بكثافة المائع وسرعته ولزوجته الديناميكية وهي ثوابت في هذه الحالة، أما القطر المكافئ الذي يتناسب طردياً مع رقم رينولدز فهو يختلف من ثقب إلى آخر. وبالحساب، فإن القطر المكافئ للمستطيل أصغر من القطر المكافئ لبقية الثقوب، وبالتالي ضجيج أقل.

انحناءات الأفقية أو في شفرات المراوح. وقد استخدم في هذه الدراسة لوح مثقب مصنع من المعدن بسمك يتراوح بين 0.5 إلى 2 [mm]، تغطيه ثقوب بقطر أقل من ملليمتر واحد بنسبة توزيع تتراوح بين 2%~0.5) وذلك اعتماداً على نوع التطبيق الذي سيستخدم لأجله ونوعية البيئة التي سيتم تركيب الثقب فيها (Abom & Allam, 2012).

يُمكن الاستنتاج مما سبق أن توزع الثقوب وعددها يلعب دوراً كبيراً في التحكم بالضجيج الصادر عن الآلات.

ومن جهة أخرى، فقد أجرى باحثون دراسةً تجريبية من أجل تقليل ضجيج عجلات القطار عالي السرعة، إذ تراوحت السرعة الدورانية لعجلات القطار بين 1580 إلى 1900 [r.p.m]. تم في هذه الدراسة جعل ثقوب في عجلات القطار، كما في الشكل (2)، بحيث أنشأوا ستة نماذج؛ نموذج عجلة قطار بحوي 5 ثقوب دائرية الشكل، وآخر بحوي 6 ثقوب، ونموذج ثالث حاوي على 9 ثقوب. أما النماذج الثلاثة الباقية فقد احتوت أعداد الثقوب نفسها ولكن تم تغيير شكل الثقوب من الدائرة إلى القطع الناقص. وُجد أن العجلات ذات الثقوب تصدر ضجيجاً أقل من تلك التي لا تحتوي ثقوباً، بالإضافة إلى أن العجلات ذات الثقوب دائرية الشكل حققت ضجيجاً أقل مقارنةً بتلك ذات شكل القطع الناقص (Tong et al., 2016).



شكل: 2. ثلاثة نماذج من عجلات القطار المثقبة (5, 6, 9)

الأهم من ذلك، فقد عمل الباحثون في عام 2019 على اختراع ما يُسمى بـ "الثقب الأسود الصوتي" - Acoustic Black Hole - كما هو موضح في الشكل (3)، وهو ثقب مقعر الشكل يعمل على تقليل سرعة انتشار الموجة الصوتية إلى الحد الذي تنتهي فيه إلى الصفر. إنه مبدأ مشابه جداً لمبدأ عمل الثقوب السوداء في الفضاء التي تعمل على سحب كل شيء حولها، حتى الضوء، وهنا يقوم الثقب الأسود الصوتي بسحب الموجة الصوتية أثناء الدوران وتخميدها (Sumesh & Jothi, 2019).

وفي دراسة أخرى، عمل باحثون على دراسة الثقوب السوداء الصوتية ذات الأشكال الدائرية والحلقية والمستطيلة لتخفيف الاهتزاز، وقد توصل الباحثون إلى أن الثقب الأسود الصوتي ذو الشكل الحلقي والمستطيل يتميزان بأداء أفضل مقارنةً بأداء الدائري التقليدي (Deng & Zheng, 2022).

المقدمة

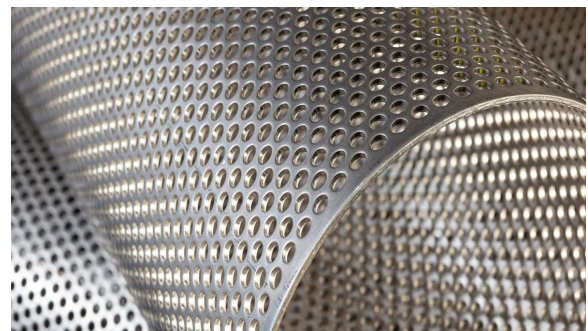
تُستخدم آلات حش الأعلاف في قصّ النباتات على ارتفاعات محدودة، ومن أجل إتمام هذه العملية تستخدم هذه الآلات سكيناً أو أكثر. لقد بدأ اختراع وتطوير حاصدات العشب منذ زمن طويل، هذا وقد حصل Edwin Budding على أول براءة اختراع في هذه الآلة عام 1830 ومن ثم اخترعت أول محشة كهربائية من قبل شركة Ideal Power Lawn Mower عام 1915 (Daniyan et al., 2020).

هنالك عدة أنواع من المحشات، فالأصغر حجماً تُستخدم في حصاد الحقائق الصغيرة المساحة. بينما، تُستخدم تلك الأكبر حجماً التي تعمل بالطاقة الكهربائية للمروج الأكبر مساحةً. بالإضافة إلى ذلك، فإنه تم تصنيف هذه الآلات حسب مصدر القدرة؛ فمنها ما تكون ذاتية الحركة، أو مقطورة بالجرار، وثالث الأنواع يتم دفعها بواسطة عامل، وتندرج تحت نوع المحشات نصف الآلية (Daniyan et al., 2020).

إن هذه المحشات تصدر ضجيجاً يزيد عن 85 [dB] [1]، وهو ضجيجٌ مضرٌ بصحة سمع الإنسان (Spielman et al., 2017).

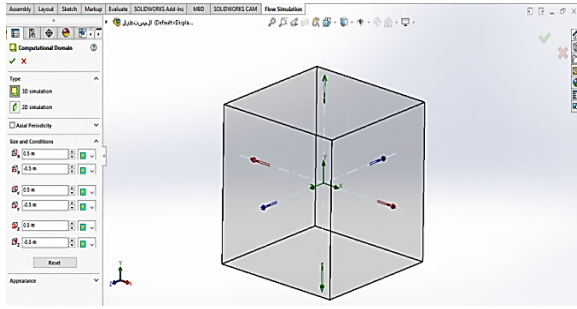
إن تخفيف الضجيج هو عنوانٌ بحثي مهم يتطرق إليه الباحثون منذ القدم وفي مختلف المجالات والاختصاصات بشكل عام وفي الاختصاصات الميكانيكية بشكل خاص. ففي عام 2011 أُجريت دراسة تناولت الهياكل المثقبة الدقيقة (MPPs) من أجل فهم كيفية تصرف هذه الهياكل المعقدة عند التعرض للاهتزاز والصوت.

عملت هذه الدراسة على تحليل الاهتزازات الصوتية للهياكل الأسطوانية المثقبة الدقيقة، كما في الشكل (1)، المستخدمة في صناعة المركبات الفضائية للحد من الضجيج من أجل فهم الكلام الجاري بين أفراد الطاقم داخل المقصورة ومنع احتمالية فقدان السمع مع مرور الوقت (Omrani & Tawfiq, 2011).



شكل: 1. اللوح المثقب الدقيق

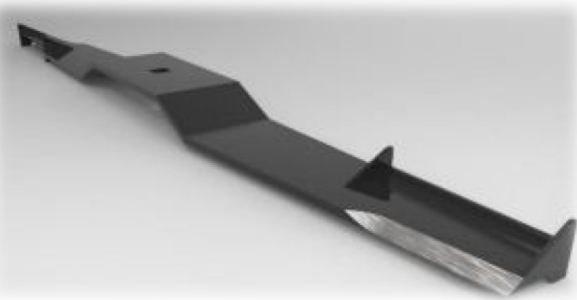
نشرت الجمعية الصوتية الأمريكية عام 2012 دراسة بيّنت أن الألواح ذات الثقوب الدقيقة المصنوعة من المعدن مناسبة جداً للتحكم في ضوضاء الآلات والمركبات؛ وذلك لامتلاكها مقومات تدفق كبيرة وهذا ما يساعد في امتصاص الصوت عند



شكل: 4. أبعاد البيئة الافتراضية التي تمثلت فيها عملية المحاكاة

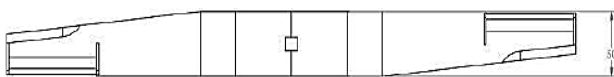
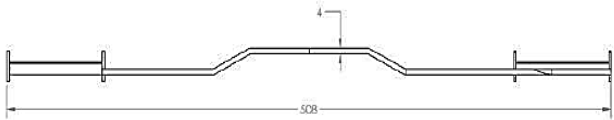
للتأكد من صحة المحاكاة، اخترنا شفرة قطع مدروسة ضمن دراسة مرجعية قام بها Revi وآخرون عام 2016 اختبروا فيها ضجيج شفرة قطع سكين محتشة الأعلاف أثناء دورانها الموضحة في الشكل (5) وأبعادها موضحة في الشكل (6)، وقد استخدموا ظروفاً ومحددات خاصة مرفقة بالجدول رقم (1)، ونحن بدورنا قمنا بإعادة التجربة بنفس الظروف لبيان دقة بيئة العمل.

تم في الدراسة المرجعية دراسة السرعة الكلية الصادرة عن كل من سرعة الرياح وسرعة دوران شفرة القطع ضمن بيئة عمل برنامج ANSYS الموضحة في الشكل (7).

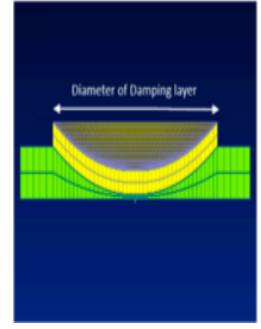
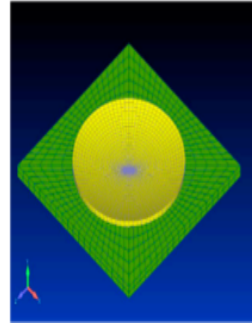


شكل: 5. شفرة القطع المدروسة في الدراسة المرجعية

أما أبعاد شفرة القطع هذه فهي موضحة في الشكل (6) بوحدة [mm]:



شكل: 6. أبعاد شفرة القطع في الدراسة المرجعية



شكل: 3. الثقب الأسود الصوتي

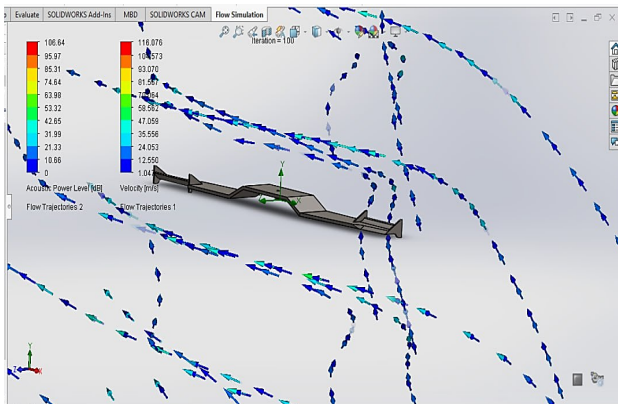
وفي دراسة تناولت التحقق التجريبي لأداء تخفيف الضجيج في تطبيقات مقصورة الطائرة، تم استخدام لوح مثقب بمقاومة تدفق عالية لتخفيف الضجيج. ذلك اللوح المثقب هو نوع من المواد العازلة للصوت مكون من ثقوب صغيرة متساوية في الحجم. إن هذا النوع من المواد العازلة للصوت يعمل على تخفيف الضوضاء عن طريق تحويل الطاقة الصوتية إلى حرارة عندما تمر الموجات الصوتية عبر الثقوب في اللوح المثقب بسبب الاحتكاك بين الهواء وحواف الثقوب (Ghinnet et al., 2020).

بناءً على الدراسات المرجعية السابقة، لتخفيف ضجيج سكين القص في آلة حش الأعلاف فإنه تم طرح فكرة وضع الثقوب في شفرة القطع ولكن بشرط البقاء ضمن حدود نطاق العمل عالي الكفاءة. لذلك، فإن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة الثقوب التي ستحجز حيز سكين القص. وهنا، تم اختيار أربعة أشكال رئيسية بسيطة غير معقدة للثقوب، المستطيل والدائرة والمربع والقطع الناقص، من أجل تحديد أي نوع من أنواع الثقوب هذه يُصدر ضجيجاً أخف من غيره ليتم اعتماده في سكين القص.

المواد وطرق البحث

من أجل دراسة أشكال الثقوب الرئيسية الأربعة هذه فقد تم اختيار برنامج SolidWorks الذي يُعتبر من أفضل برامج التصميم الميكانيكي في رسم القطع الميكانيكية ثلاثية الأبعاد بدقة. بالإضافة إلى ذلك، فهو يقدم مساحة عمل افتراضية تتمكن من خلالها من تجريب محاكاة أي نموذج أولي بطريقة أقرب إلى الواقع. الأهم من ذلك، فإن هذا العمل يُعتبر الأول من نوعه الذي يجري فيه تجارب المحاكاة ضمن بيئة عمل برنامج SW كما في الشكل (4) إذ أن جميع الأبحاث السابقة اعتمدت في دراسة محاكاة مثل هذه المواضيع على بيئة عمل برنامج ANSYS.

أما بالنسبة للضجيج الصادر عن شفرة القطع هذه فقد وصل إلى القيمة 106.64 [dB] كما هو موضح في الشكل (9):



شكل: 9. مستويات الضجيج الصادرة عن شفرة القطع ضمن بيئة عمل برنامج SolidWorks

بعد أن تقاربت النتيجة المدروسة مع النتيجة في الدراسة المرجعية التي أجراها Revi وآخرون، يُمكن القول أن بيئة عمل برنامج SolidWorks جاهزة لإجراء التجارب.

الجدير بالذكر أننا اخترنا مقارنة السرعة وليس الضجيج لأنه تم ذكر السرعة في الدراسة المرجعية وليس مستويات الضجيج، أما نتائج تجربتنا فقد أظهرت السرعة والضجيج معاً، وهذا من مميزات برنامج SolidWorks أيضاً.

ولكي تتم عملية محاكاة الثقوب، يجب تحديد حدود مساحة وظروف عمل البيئة الافتراضية، التي من المفترض أن تكون شبيهة إلى حد ما ببيئة العمل الواقعية. وفي هذا البحث تم اختيار البيئة ثلاثية الأبعاد بطول 0.5 [m] لكل بُعد. بالإضافة إلى ذلك، فإنه تم تحديد سرعة دوران الثقب وهي نفس سرعة دوران سكين محشنة الأعلاف المثالية وهي 3300 دورة في الدقيقة (Carr, 2016). هذا عدا عن أنه تم تحديد سرعة الهواء كقيمة وسطية أولية 6 متر في الثانية، وهي سرعة وسطية في مدينة حلب (The Weather Channel, 2023).

بالإضافة إلى ذلك، فإنه تم تحديد نوع المادة المصنوع منها سكين القص، وهي $1023 \text{ Carbon Steel Sheet SS}$ ، وهي الموافقة لنوع المادة $St 42$. أخيراً، فإنه تم توحيد مساحة مقطع كل الثقوب $50.26 \text{ [mm}^2\text{]}$ من أجل المقارنة فيما بينها وإيجاد أيها يصدر ضجيجاً أخف.

النتائج

بإجراء عملية النمذجة، في البيئة الافتراضية نفسها (طول بُعد البيئة الافتراضية 0.5 [m] ، وسرعة دوران الثقب 3300 [r.p.m] ، وسرعة الهواء 6 [m/s] ، ونوع المادة $St 42$ ، كانت النتائج كالآتي:

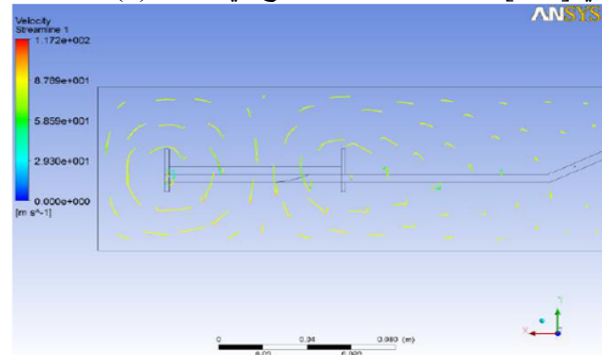
أصدر المستطيل ضجيجاً وصل إلى 45 [dB] .

وبالنسبة لظروف التجربة ومحدداتها المذكورة في الدراسة المرجعية التي أجراها Revi وآخرون فهي موضحة في الجدول (1):

جدول: 1. ظروف ومحددات التجربة المذكورة في الدراسة المرجعية

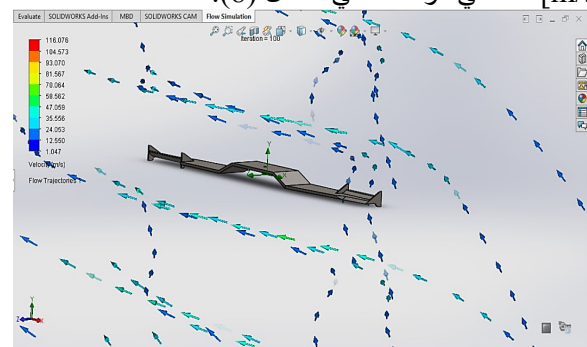
المُحدد	القيمة
أبعاد الغرفة الافتراضية	$X=0.6 \text{ [m]}$, $Y=1 \text{ [m]}$, $Z=1.2 \text{ [m]}$
سرعة دوران شفرة القطع	3000 [r.p.m]
سرعة الرياح	6 [m/s]
جهة الرياح	شمالية غربية
تدفق الهواء	Laminar and Turbulent
المادة المصنعة منها شفرة القطع	Steel 42
نوع الشبكة	Automatic, Level: 4, Uniform Mesh, Advanced Channel Mesh
نوع الجريان	مضطرب

فكانت السرعة التي توصل إليها الباحثون في شفرة القطع هذه هي 117.2 [m/s] كما هو موضح في الشكل (7).



شكل: 7. السرعة الكلية الناتجة عن دوران شفرة القطع

أما نتائج التجربة المماثلة التي قمنا بها ضمن بيئة عمل برنامج SolidWorks بنفس الظروف والمحددات، فكانت 116.076 [m/s] كما هي موضحة في الشكل (8):

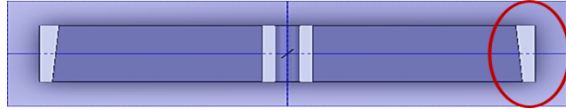


شكل: 8. السرعة التي تم التوصل إليها ضمن بيئة عمل برنامج SolidWorks

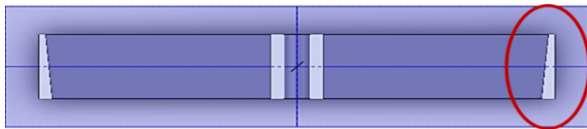
"المستطيل"

حيث أن كل الثقوب التي تم تجريبيها بالمحاكاة سابقاً هي ثقوب بحافة مستقيمة، أما الحافة المائلة فقد أعطت نتائج مختلفة، وهي كالآتي:

استخدام حافة مائلة نحو الداخل بزاوية 4 درجة، كما في الشكل (9)، أعطت ضجيجاً وصل إلى:
APL = 46.93 [dB]

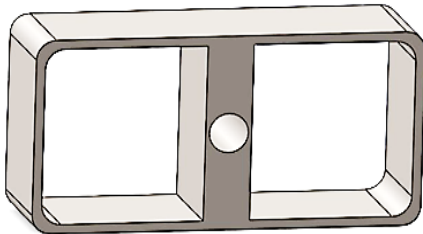


شكل: 9. مستطيل بحافة مائلة نحو الداخل بمقدار 4 درجة
استخدام حافة مائلة نحو الخارج بزاوية 4 درجة، كما في الشكل (10)، أعطت ضجيجاً وصل إلى:
APL = 35.27 [dB]



شكل: 10. مستطيل بحافة مائلة نحو الداخل بمقدار 4 درجة
نستنتج أن الثقب ذو المقطع المستطيل بحافة مائلة نحو الخارج يعطي ضجيجاً أقل من المستطيل بحافة مستقيمة. من ناحية أخرى فإن تدوير زوايا المستطيل أي جعل الحواف منحنية، كما في الشكل (11)، أعطى ضجيجاً أقل:

$$APL = 32.05 [dB]$$

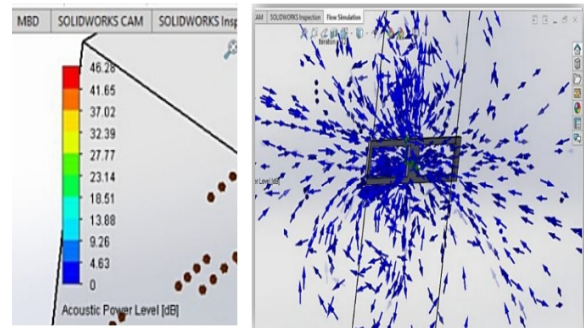


شكل: 11. الثقب المستطيل مع Fillet للزوايا

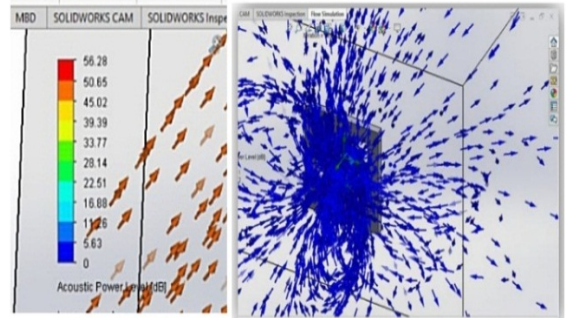
يمكن الاستنتاج أن الثقب الأمثل هو المستطيل بحافة مائلة نحو الخارج ومع Fillet للزوايا يعطي ضجيجاً أقل.

المناقشة

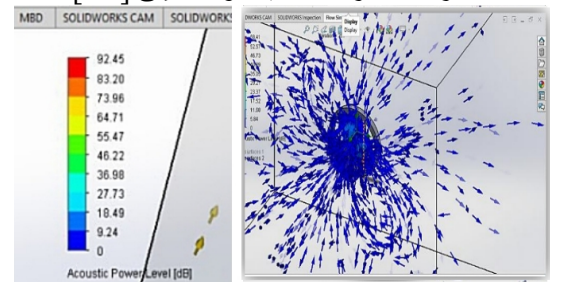
تم إثبات ذلك بناءً على رقم رينولدز للجريان الذي يُشير إلى نسبة قوى العطالة إلى قوى اللزوجة وعندها يصف الجريان فيما إذا كان صفحي أم مضطرب (الحمد، 2009).



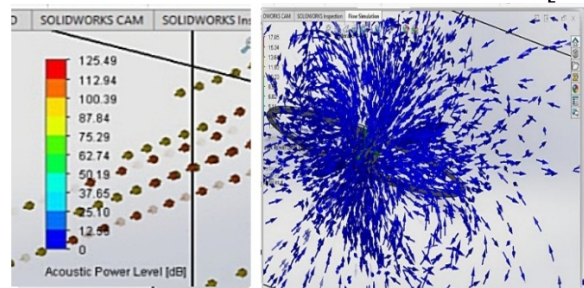
شكل: 9. المستطيل ومستويات الضجيج الصادرة عنه
المربع، أصدر ضجيجاً وصل إلى [dB] 56.



شكل: 10. المربع ومستويات الضجيج الصادرة عنه
الدائرة، أصدرت ضجيجاً وصل إلى [dB] 92.



شكل: 11. الدائرة ومستويات الضجيج الصادرة عنها
أما القطع الناقص، فقد أصدر ضجيجاً وصل إلى [dB] 125.



شكل: 12. القطع الناقص ومستويات الضجيج الصادرة عنه

نستنتج أن شكل الثقب الأمثل هو الذي يُصدر ضجيجاً أقل مقارنة بغيره من الثقوب هو:

نوع الثقب	مستويات الضجيج [dB]
المستطيل	45
المربع	56
الدائرة	92
القطع الناقص	125
مستطيل بحافة مائلة نحو الداخل	47
مستطيل بحافة مائلة نحو الخارج	35.27
ثقب مستطيل مع Fillet	32

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

حيث:

 ρ : كثافة المائع، ويُقدَّر بـ $[kg/m^3]$. v : سرعة المائع، ويُقدَّر بـ $[m/s]$.

D : البُعد الخطي المميز لمسار المائع والذي يُمثل القطر المكافئ في حالة الثقوب، ويُقدَّر بـ $[m]$.

بذلك، تم حساب القطر المكافئ لكل ثقب من الثقوب (المستطيل، الدائرة، القطع الناقص، المربع) ففي حالة الدائرة يكون القطر المكافئ للدائرة مساوٍ لقطر الدائرة $D = 8$ $[mm]$ وفي حالة المستطيل:

$$D = \frac{2a \cdot b}{a + b} = 6.6 [mm]$$

المربع:

$$D = a\sqrt{2} = 7.089 [mm]$$

القطع الناقص:

$$D = \frac{4(2B^2)(64 - 16e^2)}{(3B)(64 + 3e^2)}$$

حيث:

$$e = \frac{B - A}{B + A}$$

ومنه:

$$D = 14.81 [mm]$$

وأخيراً، تم التوصل إلى أنّ القطر المكافئ للمستطيل أصغر من القطر المكافئ للدائرة والقطع الناقص والمربع (بشرط تساوي المساحة) وهذا ما يدل على أنّ رقم رينولدز في الثقب المستطيل الشكل يحقق قيمة أقل من غيره من الثقوب، وبالتالي فهو يحقق اضطراب جريان أقل. وعند تدوير زوايا الثقب المستطيل جعل القطر المكافئ للثقب المستطيل أقل ومنه ضجيج أقل. هذا عدا عن أنّ الحافة المائلة نحو الداخل تؤدي إلى اصطدام موجات الهواء بها عند دخولها إلى الثقب، بينما الحافة المائلة نحو الخارج تعطي مجاًلاً أكبر لمرور موجات الهواء وتمنع اصطدامها بأي حاجز. والجدول الآتي يوضح النتائج جميعها التي تم التوصل إليها:

الاستنتاجات

نستنتج مما سبق أنّ الثقوب تعمل على تخفيف الضجيج، ولكن ليس كل الثقوب متساوية في نتائج تخفيف الضجيج؛ فقد حقق الثقب المستطيل الشكل ضجيجاً أقل $[45 dB]$ لأن القطر المكافئ للمستطيل أصغر من القطر المكافئ لكل من الدائرة $92 [dB]$ والمربع $56 [dB]$ والقطع الناقص $125 [dB]$ عند تساوي المساحة، حتى أنّ الثقب المستطيل بحافة مائلة نحو الخارج وتدوير زواياه قد حقق اضطراباً هوائياً أقل، وبالتالي ضجيجاً أقل وصل إلى $32,05 [dB]$.

المراجع

[1] Daniyan I; Balogun, V; Adeodu, A; Oladapo, B; Peter, J; Mpohu, K. 2020 - **Development and Performance Evaluation of a Robot for Lawn Mowing**. ELSEVIER / Science Direct. Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920316462>.

[2] Spielman, R., Dumper, K., Jenkins, W., Lacombe, A., Lovett, M. & Perlmutter, M. 2017 - Psychology. OpenStax College, Rice University. Download for free at <https://openstax.org/details/books/psychology>.

[3] Omrani, A & Tawfiq, I. 2011 - **Vibro-acoustic analysis of micro-perforated sandwich structure used in space craft industry**. Research Gate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/222237412_vibro-acoustic_analysis_of_micro-

Noise of a Rotary Lawn Mower Blade.

Purdue University. Link:

<https://docs.lib.purdue.edu/herrick>.

[10] The Weather Channel. (2023, June 23). **Aleppo Weather - AccuWeather Forecast for Aleppo Syria**. Retrieved from <https://weather.com/weather/today/1/36.20,37.13?par=google>.

[11] الحمد، عبد الله، 2009 - ديناميك الغازات. منشورات جامعة حلب، كلية الهندسة الميكانيكية، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.

[12] Revi, V; Antony, A; Varghese, K. A; Rahul, P. R; Jaison, K. A. (2016). Design and Analysis of Cutting Blade for Rotary Lawn Mowers. IJERT Site. Link: <http://www.ijert.org>.

[perforated sandwich structure used in space craft industry](#).

[4] Abom, M & Allam, S. 2012 - **On the use of micro-perforates for machinery and vehicle noise control**. Research Gate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/230858399_On_the_use_of_micro-perforates_for_machinery_and_vehicle_noise_control.

[5] Tong, X; Lin, J; Zhang, G. 2016 - **Influence of web plate holes on the radiation noise characteristics of wheels of the high speed train**. Research Gate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/310753962_Influence_of_web_plate_holes_on_the_radiation_noise_characteristics_of_wheels_of_the_high_speed_train.

[6] Sumesh, C & Jothi, T. 2019 - **Aerodynamic noise characteristics of a thin airfoil with line distribution of holes adjacent to the trailing edge**. Research Gate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/334837707_Aerodynamic_noise_characteristics_of_a_thin_airfoil_with_line_distribution_of_holes_adjacent_to_the_trailing_edge.

[7] Deng, J & Zheng, L. 2022 - **Noise reduction via three types of acoustic back holes**. Research Gate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/353702695_Noise_reduction_via_three_types_of_acoustic_back_holes.

[8] Ghinet; Bouche, P; Padios, Th; Pires, L. 2020 - **Experimental validation of acoustic metamaterials noise attenuation performance for aircraft cabin applications**. Research Gate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/343889158_Experimental_validation_of_acoustic_metamaterials_noise_attenuation_performance_for_aircraft_cabin_applications.

[9] Carr, D. 2016 - **Revisiting Applegate and Croker 's 1976 NCEJ paper: Reducing the**