Journal of
Design Sciences and Applied Arts

الإعتبارات التصميميةُ للحواجزِ الصوتيةِ الزجاجيةِ لعزلِ الصوت علي الكباري القريبة من المناطق السكنية

Design considerations for glass sound barriers to isolate bridges near the residential areas

غادة نبيل محمود [١]* منى سيد رمضان [٢] هناء القزاز [٣]

١- مدرس مساعد في المعهد العالي للفنون التطبيقية (التجمع الخامس).
٢- أستاذ مساعد بقسم الزجاج, كلية الفنون التطبيقية, جامعة حلوان.
٣-أستاذ تصميم الزجاج المعماري - وكيل شئون خدمة المجتمع وتنمية البيئة- كلية الفنون التطبيقية - جامعة ٦ أكتوبر.

Submit Date: 2023-07-10 12:07:55 | Revise Date: 2025-06-03 08:39:38 | Accept Date: 2024-12-3111:28:57

DOI: 10.21608/jdsaa.2024.222150.1335

ملخص البحث:-

في ظل إعادة تخطيط وتهيئة الطرق في مصر، تم إنشاء عدد من الكباري الجديدة المتداخلة مع العمائر، الموجودة بالقرب منها. لذا أصبحت الحواجز الصوتية عنصرًا معماريًا هامًا، يعمل على عزل التلوث السمعي والبيئي (عوادم السيارات) في الكوبري عن العمائر الملاصقة له. لذا كان من الضروري البحث عن حلول بديلة للحواجزالصوتية الإسمنتية الشائعة الاستخدام واستبدالها بحواجز أخرى شفافة زجاجية تقوم بنفس الوظيفة، مع رؤية أفضل من الداخل والخارج، مما يبعث على الراحة النفسية لقاطني تلك المناطق. لذا اتجه البحث لدراسة أنواع المصدات الصوتية- تطورها وتقييم فاعليتها، مع دراسة الأنواع الشفافة منها، وخاصة الحواجز الزجاجية الشفافة، وأنواع الزجاج المستخدم، وخواصه وخصائصه، وتحديد أهم الإعتبارات التصممية الهامة لتصميم حواجز صوتية زجاجية للكباري القريبة من المناطق السكنية بالقاهرة.

الكلمات المفتاحية:-

حواجز الصوت1#، أجهزة تقليل الضوضاء2#، الزجاج العازل3# .

المقدمة :

تتجاوز مستويات الضوضاء في مصر المعدلات المقبولة بسبب ارتفاع عدد السكان, وفقًا لقياسات الضوضاء التي أجرتها "الشبكة الوطنية لقياس مستوى الضوضاء في القاهرة الكبرى "معظم المناطق التى تم فحصها (الساحات الرئيسية، المناطق الصناعية، الطرق الرئيسية، المناطق السكنية، المناطق التجارية والإدارية بمحافظة القاهرة) وجد أن مستويات الضوضاء فاقت معيار المستويات المسموح بها، التي حددها قانون البيئة ١٩٩٤/٤ ولائحته التنفيذية. حيث تصل مستويات الضوضاء إلى ٧٥-٨٥ (ديسيبل)، وهو ما يعتبر غير مقبول, لأن مستويات الضوضاء يجب ألا تتجاوز ٦٥ ديسيبل أثناء النهار و ٥٥ ديسيبل أثناء الليل وفقًا للقانون رقم ١٩٩٤/٤ ، من ناحية أخرى تعتبر الأسوار سمة مشتركة في السياق الحضاري المصري وهي مبنية بشكل أساسي لأسباب تتعلق بالسلامة والخصوصية. تقيم هذه الدراسة فعالية مصدات الضوضاء وتحدد العوامل التي تقلل مستويات الضجيج، لوضع مصدات ضوضاء بديلة عن المصدات الإسمنتية ذات الكتل الصلبة، مما يزيد من التضخم الكتلي للكباري، وخاصة في المناطق الضيقة القريبة من المباني السكنية في تلك المناطق.

https://sjam.journals.ekb.eg/article_158549_474c5e93939105e9803be43015c76d72.pdf

أصبحت مصدات الصوت مطلوبة بشكل متزايد على الطرق السريعة والسكك الحديدية والجسور التي تعبر المناطق الحضرية المأهولة بالسكان(Wagner, Kate (8 December 2016 . أصبحت الحواجز الصوتية الشفافة هي البديل الأمثل لحل مشاكل الرؤية بالنسبة لسائقي المركبات على عكس الحواجز الصوتية المعدنية أو الخرسانية ذات الكتل البنائية، التي تؤثر بشكل كبير على رؤية السائقين في السير على هذه الطرق, فالحاجز الصوتي الشفاف لا يمنع استمرارية الرؤية، كما يتحكم أيضًا في الرياح من خلال السماح بتدفق الهواء عبر الحواجز وقد وضع أول حاجز للضوضاء في منتصف القرن العشرين في الولايات المتحدة، وذلك عندما ازدهرت حركة مرور المركبات في مدينة ميلبايتس، وتعد كاليفورنيا صاحبة أول حاجز للضوضاء, في هذا البحث تم وضع حلول وفرضيات لمشكلة التلوث السمعي والبصري الناتج من ملاصقة الكباري للعمائر السكنية، ومحاولة الحد من آثارهما باستخدام حواجز صوتية زجاجية عازلة للصوت وأنواع التلوث الأخرى.

واستخدام الحواجزالصوتية الزجاجية بديل للمصدات الإسمنتية ذات الكتل الصماء مما يزيد من كفاءة الكوبري ويضيف لمسة جمالية (تطبيق الوظيفية والجمالية)، ووضع الإعتبارات اللازمة لتصميم الحواجز الزجاجية العازلة للصوت وأنواع التلوث الأخرى كبديل للحواجز الإسمنتية على الكباري.وترجع أهمية البحث في دعم منظومة التخطيط والبناء العمراني بما يتناسب مع العصر الحديث والتقدم التكنولوجي الهائل وبما يحقق الجانب الوظيفي والجمالي في آن واحد.

تعريف الضوضاء:

هي الصوت غير المرغوب فيه، ويعتمد تأثيرها على شدتها وفترة التعرض لها، وطبيعة النشاط الذي يقوم به المتلقي، وهوما يعرف بانتقال الضوضاء داخل المباني, عن طريق الهواء ومع الزيادة المطروحة في كثافة البناء واستخدام نمط الوحدات السكنية المجمعة، بالإضافة إلى الميكنة (من أجهزة تكييف، وسخانات،وتلفاز) أدي إلى تضخم مشكلة الضوضاء في معظم المدن بكل أنحاء العالم.

التأثيرات الفسيولوجية للضوضاء:

تبدأ التأثيرات الفسيولوجية للضوضاء عند ٦٥ ديسيبل بإجهاد ذهني وجسدي وعند ٩٠ ديسيبل يجهد القلب والجدول رقم (١) يوضح الحد المسموح به لمستوي الضوضاء بالديسيبل.

https://journals.ekb.eg/article_81504_fccaffe59bf278d64e16873dc9d4c571.pdf

نوع المنطقة	الحد المسموح به لمستوى الضوضاء المكافئة بالديسبل (أ)		
	صباحاً	مساءً	ليلاً
	من ٧ ص إلى ٦ م	من ٦ م إلى ١٠ م	من ١٠ م إلى ٧ ص
مناطق مستشفيات ومساكن	٤٥	٤٠	٣٥
المناطق السكنية في المدينة	٥٥	٥٠	٤٥
مناطق سكنية بها بعض الأعمال التجارية أو على طريق عام	٦٠	٥٥	٥٠

جدول رقم (١) يوضح الحد المسموح به لمستوى الضوضاء المكافئة بالديسبل

طرق تجنب وصول الضوضاء إلى داخل المبنى:

١. زيادة المسافة بين مصادر الضوضاء والبناء المراد حمايته من الضوضاء.
٢. وضع فراغات لا تتأثر بالضوضاء بالجهة القريبة منها.
٣. زراعة الأشجار من جهة الضوضاء.
٤. إنشاء حواجز للصوت على الطرقات السريعة.
٥. العزل الصوتي للحوائط الداخلية والأرضيات الماصة للصوت.

تأثير الحواجز الصوتية على مستويات التلوث السمعي:

أظهرت الدراسات على حواجز الضوضاء على جانب الطريق أنها تعمل على تقليل مستويات تركيز التلوث في الهواء على المناطق المجاورة للطرقات في نطاق من ١٥-٥٠ متر من الطريق, حيث تنخفض مستويات تركيز تلوث الهواء بنسبة تصل إلى حوالي ٥٠٪ مقارنة بالطرق المفتوحة, حيث تعمل مصدات الضوضاء على إجبار مسارات التلوث؛ سواء الغبار أو الصوت, على اتخاذ مسار رأسي لأعلي, مما يعمل على تشتيت التركيز لهذه الملوثات بشكل كبير.

الحواجز الصوتية:

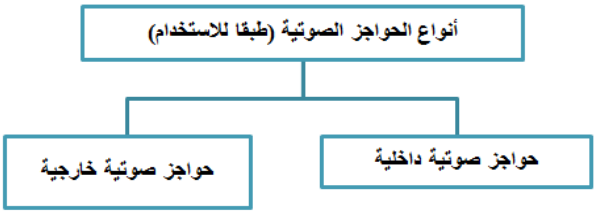
يقصد بالحواجز الصوتية: التحكم بمستوي الضجيج المنتقل من الداخل إلى الخارج أو العكس حيث ينتقل الصوت من مكان إلى آخر, ويتم عزل المنازل والمباني القريبة من مناطق الازدحام, لتخفيف تلك الأصوات المزعجة أو القضاء عليها تماما. وهي تختلف في خصائصها عن عملية العزل، فالعزل: هو مجموعه من الإجراءات التي تطبق على مبني أو مستشفى أو بعض القاعات, كما في قاعات الموسيقي والإذاعة, حيث تتطلب عزلا خاصا بها, لفصلها تماما عن حيز الفراغ الخارجي، بينما الحواجز الصوتية ترتبط عامة بالطرق والكباري, ولها من الجانب الوظيفي الجانب الأكبر, إلا أنه مع تداخل الطرق وزيادة انتشار الكباري, تتطلب الحاجة إلى حواجز صوتية تهتم بالجانب الجمالي في الاعتبارات

التصميمية, بدون الإخلال بالجانب الوظيفي والإنشائي من اختيار المواد وأسس البناء ودوريات الصيانة واعتبارات المتانة والصلابة (Noise Barriers, 1999)

شكل رقم (١) يوضح نسب الضوضاء في التوقيتات الزمنية المختلفة خلال اليوم

تصنيف حواجز الضوضاء:

صنف البحث الحواجز العازلة للصوت إلى حواجز صوتية داخلية،وأخرى خارجية طبقا لطبيعة الاستخدام.



شكل رقم (٢) يوضح أنواع المصدات الصوتية

أ ـ حواجز الضوضاء الداخلية :

معظم طرق نقل الاهتزاز الصوتي من الغرفة إلى الخارج، يحدث من خلال الوسائل الميكانيكية. حيث يمر الاهتزاز بشكل مباشر من خلال الطوب والخشب, وغيرها من العناصر الهيكلية الصلبة. وعندما تصطدم مع جسم مثل الجدار، أو السقف، أوالأرضية أو النافذة، التي تعمل كموجات صوتية، يتم تضخيم الاهتزازات وسماعه في المحيط الخارجي. ويعد ناقل الحركة الميكانيكي أسرع وأكثر كفاءة، وبإمكانه تضخيم الصوت بسهولة أكثر من انتقال الموجات الصوتية في الهواء، بحيث يصبح ضغط الصوت أكثر من القوة الأولية، ويُعد استخدام الإسفنج الواقي للصوت وغيره من الوسائل التي تمتص الصوت أقل فعالية ضد الاهتزازات التي يتم نقلها. ويُنصح المستخدمون باستخدام طريقة **"قطع الاتصال"** بين الغرفة التي تحتوي على مصدر صوت الضجيج والمحيط الخارجي. وهذا ما يسمى بعملية **"العزل/ الفصل الصوتي"**. إذ تعد هذه العملية مثالية لأنها تنطوي على منع نقل الاهتزازات في كل من المواد الصلبة وفي الهواء، لذلك يتم التحكم في تدفق الهواء في الغرفة، في كثير من الأحيان عند استخدام هذه الطريقة يجب ضمان وجود تهوية مناسبة داخل المنطقة الفاصلة.

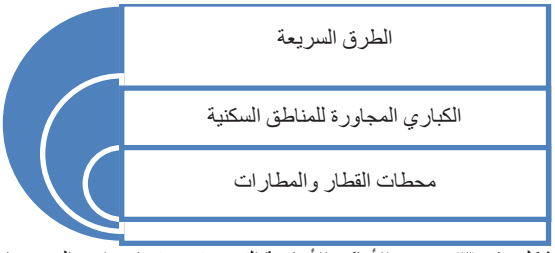
المواد المستخدمة في العزل الصوتي داخليًا: (إبراهيم، أحمد، ٢٠١٩)

المواد المستخدمة في العزل الصوتي الداخلي	الوصـــف
١ـ الفوم العازل للصوت	وهي عبارة عن قطع مربعة هرمية الشكل يتم تركيبها على الجهة الداخلية من الباب وهي مادة ممتازة جدا في امتصاص الصوت، ويشيع استخدام ألواح الفوم العازل من هذا النوع في استوديوهات تسجيل الصوت، أو الملاهي الليلية التي تستخدم الموسيقى الصاخبة، وتستخدم ألواح الفوم العازلة للصوت غالبا في الغرف متوسطة وصغيرة المساحة، ومن الجدير بالذكر أن ألواح الفوم العازلة للصوت لها ميزة أنها مقاومة للحرائق (انعام وادي وطن، ٢٠١٨).
٢ـ الصوف الزجاجي والصوف الصخري العازل للصوت	وهو عبارة عن مجموعة ألياف يتم وضعها على الجدران بين مجموعة من المسامير، بحيث يتم وضع المسامير أولا بشكل منتظم على مساحة الحائط ثم يتم حشو الصوف الزجاجي العازلة للصوت لشغل حيز الهواء، مما يساعد على امتصاص انتقال الصوت عبر الحائط لان الهواء وسط ينقل الصوت.
٣ـ الألواح العازلة للصوت	وهي ألواح لها ألوان متعددة ويتم صناعتها من مادة الفوم المستخدمة في العزل الصوتي ليتم استخدامها في التطبيقات التجارية والتطبيقات المنزلية.
٤ ـ الأقمشة العازلة للصوت	هناك أنواع من الأقمشة تستخدم لعزل الصوت وامتصاصه ومنع انتقاله من مكان إلى آخر وهو قماش ذو سمك ووزن ثقيل مختلف عن القماش التقليدي ويستخدم على هيئة ستائر أو بطانات عازلة للصوت تستخدم في الاستوديوهات.
٥ ـ الطلاء العازل للصوت	هناك أنواع من الطلاءات يتم استخدامها لعزل الصوت ودهان الجدران لعزل الصوت وتستخدم هذه الأنواع من العزل في غرف ماكينات القوارب والبخوت لعزل صوت ضجيج المحركات عن سطح السفينة.
٦ ـ اللباد (طبقة الاسفنج) العازلة للصوت	ويتم استخدام رولات من اللباد سمكها يصل إلى ٤ ميليمتر أسفل أرضيات البازكيه أو الأرضيات الخشبية لتقليل معدل انتقال الصوت من الأرضيات. وهذه الطبقة غير مكونة للرطوبة أو بخار الماء فلا يوجد قلق منها في تكوين رطوبة أو ظهور رائحة منها.
٧ ـ ألواح من الألياف الزجاجية	عادة يتم استخدام ألواح من الألياف الزجاجية في عزل الصوت الخاص بالمسارح والإستوديوهات والكنائس والشركات.
٨ ـ الصوف الزجاجي	ويلعب الصوف الزجاجي هنا دورا رئيسيا حيث يتم استخدامه كعازل للصوت وكعازل للحرارة. كما يمتاز بمقاومة الحرائق حيث يتحمل درجة حرارة تصل إلى ٢١٥٠ درجة فهرنهايت، ويتم استخدامه في جميع التطبيقات المنزلية أو التجارية.
٩ ـ الزجاج العازل للصوت	وتكمن فكرة عمل الزجاج العازل للصوت في أنه مُصنّع من طبقتين زجاجيتين وبينهما فراغ خالٍ من الهواء، أو يتم وضع عازل خامل ليمتص موجات الصوت الخارجية ليمنعها من الدخول إلى المنزل و القواطع الزجاجية الفاصلة.

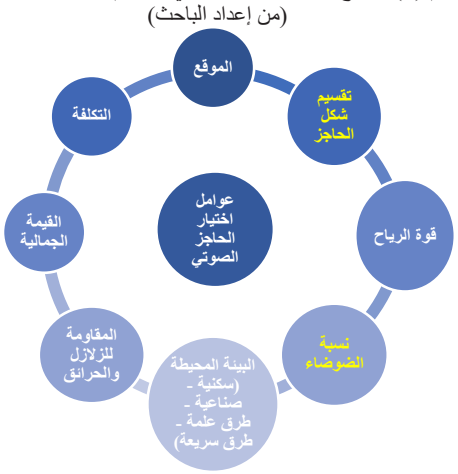
جدول رقم (٢) يوضح المواد المستخدمة في العزل الصوتي الداخلي

ب ـ حواجز الضوضاء الخارجية:

حواجز الضوضاء ممكن أن تُصنع من مواد مختلفة حسب نوع التطبيق ومعايير التصميم حيث إن المتطلبات تحدد المواد المستخدمة في كل مكان ويتم اختيارها عادة بناء على عدة عوامل منها:



شكل رقم (٣) يوضح الأماكن الأساسية التي يستخدم فيها حواجز الضوضاء (من إعداد الباحث)



شكل رقم (٤) يوضح معايير اختيار المواد المستخدمة في حواجز الضوضاء (من إعداد الباحث)

أنواع حواجز الضوضاء الخارجية:

بدأت الحواجز الصوتية بإستخدام الحواجز الخرسانية ككتل صلبة معتمة تفتقد للجانب الجمالي والجانب التقني، من حيث سهولة التنظيف ومقاومة العوامل المناخية ثم تطورت إلى الحواجز المعدنية كما في الشكل (٥) وهي عبارة عن شرائح معدنية أفقية تثبت من الأطراف بواسطة أعمدة حديد، ومن ثم تطورت الحواجز إلى الحواجز الشفافة وفيما يلي مراحل التطور التكنولوجي للحواجز(Road Directorate. Report 282, 2004)

١ــ الحواجز الخرسانية:

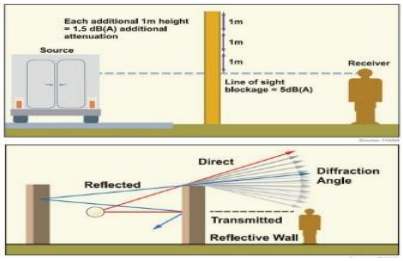
تلعب الحواجز الخرسانية المانعة للصوت السابقة التجهيز دورًا أساسيًا في توفير حاجز ضوضاء، يتكون من نظام الجدار الخرساني مسبقة الصب من ألواح عالية تصل إلى ٥٠ قدمًا مع مادة امتصاص الصوت (الضوضاء) ويزن أكثر من ٦٥٠٠٠ رطل.
تعتبر الجدران الفولاذية المُشكَّلة على البارد المملوءة بمواد خفيفة الوزن، مركبات جديدة تم تطويرها، وتتميز بجودة عالية، وخفة الوزن، سهولة التركيب والنقل، علاوة على ذلك، فإن الحشوات خفيفة الوزن عادة ما تكون مصنوعة من النفايات الصناعية، والتي تلبي طلب المباني الخضراء ومجتمعا منخفض الكربون(Stephen D. Grumbach and Clay Naito).

وظيفة الحواجز الصوتية الخرسانية:

الحواجز الصوت الخرسانية (الممتصة للصوت والعاكسة للصوت) تأخذ موجات الصوت مسارًا أطول (فوق المصدات وحولها) وبالتالي تقلل كمية الصوت التي تصل إلى منطقة الإستقبال وتحدث هذه الظاهرة عندما تمر الموجات الصوتية على حافة مصدات الصوت الخرسانية، وتعتبر الحواجز الصوت الخرسانية أكثر كفاءة في القضاء على الترددات الصوتية العالية والحد من وصولها إلى المستقبل، حيث تنحرف الترددات لأعلى عند قمة الحواجز الخرسانية.

شكل رقم (٥) يوضح حاجز للضوضاء من الكتل الخرسانية

ويوضح الشكل(٦) حركة إنتقال الموجات الصوتية الناتجة عن حركة المركبات وتأثير إرتفاع الحاجز عن مستوى الطول الطبيعي للأشخاص بحوالي ثلاث أمتار، ولذلك عند اصطدام الصوت في الحاجز تنعكس، ويحدث تشتت للموجات الصوتية العالية وينتقل جزء بسيط من تردد هذه الموجات الصوتية للمناطق المحيطة
(https://www.motorwaycare.com/how_does_a_noise_barrier_work.html)



شكل رقم (٦) يوضح تصميم وفاعلية مصدات الضوضاء من الكتل الخرسانية

٢ـ حواجز صوتية معدنية:

هي حواجز مصنعة من المعدن مثل الحديد المقاوم للصدأ أوالألومنيوم أوالفولاذ الخفيف يكون مثقبًا وخفيفَ الوزنِ, ويستخدم كحواجز للضوضاء، وهو نوع من حواجز الصوت المستخدم في الطرق السريعة والسكك الحديدية والمساكن وغيرها لعزل الصوت أو تقليله.

تركيب هيكل حواجز الضوضاء المعدني:

عبارة عن هيكل من ثلاث طبقات:
الطبقة الأولى: هي الشرائح المعدنية المثقبة. وتتكون من الألومنيوم والفولاذ، والصلب المقاوم للصدأ أو ألواح الصلب المطلية. الشرائح المعدنية المثقبة عبارة عن فتحات صغيرة أو فتحات تهوية. كما في الشكل (٧).

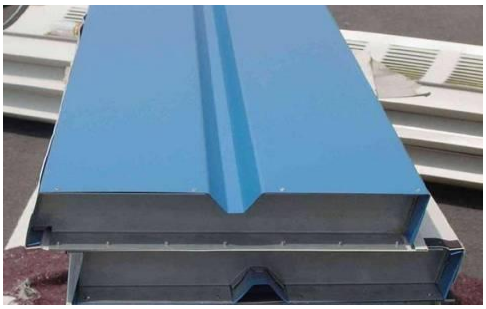
شكل رقم (٧) يوضح حاجز الضوضاء من الألومنيوم المثقب

الطبقة الثانية عبارة عن حشو من مواد ممتصة للصوت. تتميز مادة امتصاص الصوت بأداء ممتاز في امتصاص الصوت أو الضوضاء، ويمكنها تقليل الضوضاء. مادة الحشو الرئيسية هي الصوف الزجاجي، كما في الشكل (٨).

شكل رقم (٨) يوضح عزل الصوت داخل حاجز الضوضاء

الطبقة الثالثة عبارة عن شريحة معدنية. وخصائص الشريحة المعدنية هي نفس خصائص الشريحة المعدنية المثقبة، لكن لا تكون مثقبة. كما في الشكل(٩).

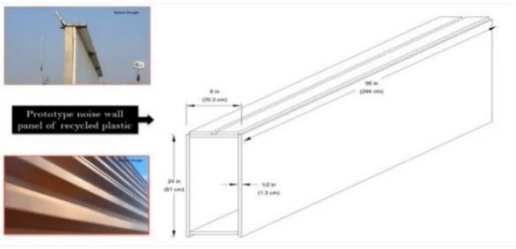
(https://www.perforated-sheet.com/perforatedsheetapplication/noise-barrier.html)



شكل رقم (٩) يوضح الجهة الخلفية من الألومنيوم المصمت

أبعاد الحواجز المعدنية:

إرتفاع الحواجز المعدنية يصل من ٥:٧ متراً وهو مكون من عدة شرائح أبعادها (الإرتفاع ١,٣٠ سم) (السمك ٢٠سم) (طول الشريحه٢,٤٤سم)كما في الشكل (١٠).



شكل رقم (١٠) يوضح أبعاد الشريحة الواحدة

٣-الحواجز الصوتية المختلطة:

وتكون مكونة من مزيج من الشرائح الشفافة والشرائح المعتمة سواء خشب أو معدن كما في الشكل (١١) لحواجز الضوضاء في هولندا ويحتوي على جزء شفاف في مستوي نظر السائق لمراعاة التأثير البصري للسائقين مستخدمي الطريق.

شكل رقم (١١) لحواجز الضوضاء في هولندا من الحواجز المختلطة

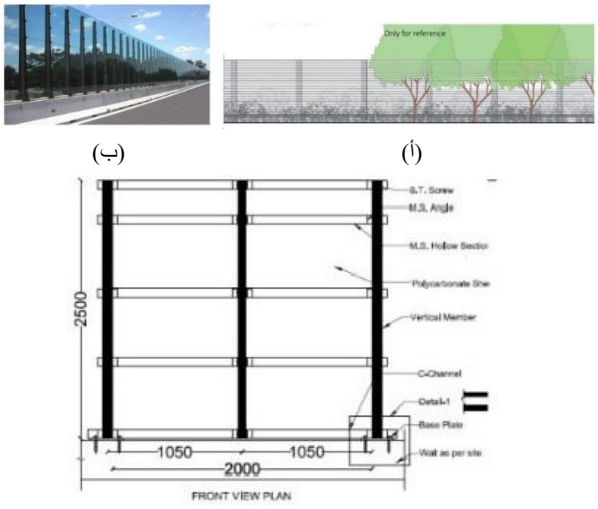
٤- حواجز الصوت الشفافة:

تتميز الحواجز الشفافة (الزجاجية) عن غيرها من الحواجز الأخرى بعدة مميزات :

أولا: الحفاظ على الرؤية والضوء حيث تنقل حتى٨٨٪ من الضوء بصورة نقية ولا يوجد بها انعكاسات لونية تؤثر على رؤية السائقين.

ثانيا: مقاومة الطقس حيث إنها تقاوم الأشعة فوق البنفسجية حيث يضاف للحاجز فيلم سمكة ٤٠ ميكرون يعمل على إمتصاص الأشعة فوق البنفسجية ثم تحويلها إلى مرئية .

ثالثا: مقاومة الصدمات حيث إن قوة الحواجز الشفافة تصل إلى ٢٥٠- ٣٠٠ بالمقارنة بقوة الزجاج العادي ومن٢٠-٣٠ للزجاج المقوي حراريا(Babisch W., 2006)



(ج)

شكل (١٢) يوضح حواجز الضوضاء المصنوعة من الزجاج وأبعاد الشريحة الواحدة

الشكل (١٢) يوضح في (أ) العلاقة بين حواجز الضوء الشفافة والمساحات الخضراء المحيطة به, وذلك من المميزات الخاصة بالحواجز الشفافة، أنها تظهر الطبيعة المحيطة وهذا له تأثير نفسي إيجابي على السائقين بعكس الحواجز الخرسانية المصمتة، وفي (ب) هي صورة طبيعية لشكل الحواجز الشفافة وعلاقتها بالطريق، (ج) توضح تركيب وأبعاد الشرائح المستخدمة في الحواجز.

-أهم معايير الحواجز الصوتية الزجاجية:

تم تصميم المعايير EN-1793 و EN-1794 لإختبار جميع الخصائص المطلوبة للحواجز الصوتية، **المعيار الأول** يتعلق بالخصائص الصوتية، **والثاني** للمتطلبات الأخرى، مثل حمل الرياح وقابلية الاشتعال ومقاومة الصدمات وإنتقال الضوء

(https://www.palram.com/au/wp-content/up loads/sites/3/2020/03/Palram_Trans_Acoustic_Barriers_69454.pdf).

سان جوبان هو زجاج متوفر في مصر ويخضع لهذه المعايير.
(https://eg.saint-gobain-glass.com/downloads)

وتتمثل المعايير في عدة نقاط:

١- تقليل التلوث السمعي:

أظهرت الدراسات أن مستويات الضوضاء التي تتجاوز ٨٠ ديسيبل، تسبب مستويات عالية من التوتر، وفقدان الانتباه، وتغيرات فسيولوجية. بينما يبلغ مستوى الصوت المحتمل، حوالي ٣٠ ديسيبل، والضوضاء البيئية العادية بين ٤٠-٦٠ ديسيبل, الناتجة عن ٦ حارات مزدحمة ويمكن أن يصل مستوى الصوت على طول الطريق السريع إلى ١١٥ ديسيبل، وهذه النسبة تؤدي إلى عديد من المشكلات الصحية والنفسية،عند التعرض لمدة طويلة لذلك، ويمكن أن تقلل الحواجز الصوتية الشفافة مستويات الضوضاء إلى حوالى ٣٠ ديسيبل، والتي يمكن أن تحدث فرقًا بين بيئة محتملة وغير محتملة.

(https://fuje.journals.ekb.eg/article_344047_bbabe761f27b30e19624ba886ab8f13d.pdf)

٢- **مقاومة حواجز الصوت للصدمات :**

يجب أن يؤخذ في الإعتبار أن تكون الشرائح مقاومة للكسر، عند تصميم حاجز صوتي شفاف. وأن تشمل مقاومة حوادث السيارات، والاصطدامات المختلفة المتوقعة، والتعرض للضغوط الكبيرة الناجمة عن حركة الناقلات.

٣- **زيادة العمر الافتراضي للحواجز الصوتية :**

أ- القدرة على مقاومة الطقس ومقاومة الأشعة فوق البنفسجية، فقد تتسبب الأشعة فوق البنفسجية الضارة والعوامل الجوية في تدهور أداء ومظهر وملاءمة الحاجز لفترات طويلة.

ب- المقاومة الكيميائية في بيئة الطريق السريع: المواد الكيميائية الرئيسية الموجودة في بيئة الطرق السريعة من مركبات الكبريت: أكاسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، و H_2O.

تصنيف الحواجز الصوتية الشفافة :

أوجه المقارنة	الزجاج المقوى (laminated glass)	الأكريليك [Poly-Methyl-Meta- Acrylate (PMMA)]
المتانة	يعتبر الزجاج المقوى أكثر متانة من الألواح الأكريليك لأنه يمكن أن يتحمل درجات الحرارة العالية دون أن يتحطم.	بينما قد تتكسر ألواح الأكريليك عند تعرضها لمصادر حرارة شديدة مثل المواقد والمدافئ.
التكلفة	يعتبر الزجاج أقل تكلفة بالمقارنة بالاكريليك	تعتبر الألواح الاكريليك أكثر تكلفة بشكل عام لأنها تتطلب مواد إضافية وساعات عمل أثناء التثبيت.
الوزن	الزجاج الرقائقي أثقل من الواح الاكريليك، وذلك يفضل طبقاته السميكة. هذا يجعلها خياراً أفضل لعزل الصوت عن المساحات الكبيرة.	الواح الأكريليك خفيفة الوزن وسهلة النقل، ومثالية للمساحات الصغيرة.
المظهر	عادة ما يكون الزجاج الرقائقي شفافاً مع صبغة خضراء خفيفة، ولكن قد يبدو الزجاج الرقائقي أكثر جاذبية إذا كنت قلقاً بشأن الجماليات.	بينما تكون الألواح الأكريليك شفافة. يوفر كلا الخيارين رؤية خالية من العوائق.
التثبيت	تم تصميم الزجاج الرقائقي ليتم تثبيته في النوافذ أو الأبواب. يمكنك أيضًا استخدامه على الجدران بمساعدة إطار، لكن هذا يتطلب مواد إضافية وساعات عمل أثناء التثبيت.	تعتبر الألواح الاكريليك أسهل في التركيب لأنها لا تتطلب أي إطار للدعم.
عوامل الأمان	يعتبر الزجاج المقوى أكثر أمانًا لأنه أقل عرضة للكسر أثناء الاصطدام من الواح الاكريليك https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/SUG2018e.pdf.	بينما ألواح الأكريليك قد تتكسر بسهولة عند سقوطها على الأسطح الصلبة مثل الأرصفة الخرسانية. لذلك يوصي معظم المصنّعين بسمك لا يقل عن ٠,٧٥ بوصة لألواح الصوتية المصنوعة من الاكريليك.
الصيانة	يتأثر بعوامل المناخ وتراكم الأتربة عليه كما أنه غير ذاتي التنظيف وبالتالي مع مرور الوقت يصبح معتما وتتأثر شفافيته.	يتميز أفضل لأنه يوجد به خاصية التنظيف الذاتي كما أن مسامه معلقة فلا يتسبب في تراكم الشحنات الكهربائية عليه وبالتالي لا تترسب الأتربة عليه.
تقليل الضوضاء	أقل كفاءة من الزجاج المقوى. حيث يعمل على تقليل مستويات الضوضاء بشكل فعال لكن الزجاج المقوى أقل من ألواح الأكريليك لحجب الأصوات عالية التردد حيث تصل نسبة تقليل الضوضاء إلى ٧٠٪.	يعمل كلا الخيارين على تقليل مستويات الضوضاء بشكل فعال. حيث يعمل على تقليل مستويات الضوضاء بشكل فعال بنسبة تصل إلى ٥٠-٦٠٪.

جدول (٣)يوضح مقارنة بين الزجاج المقوي حرارياً والأكريلك (file:///C:/Users/user/Desktop/nada/Jurnal_TechUTM_elwaleed_JT60SK_Jan2013_01.pdf)

- أمثلة على أهم أنواع الزجاج المقوى المستخدم في المصدات الصوتية:

(/HAMMER%20GLASS/hammerglass_infra_20p_continental-line_EN.pd)

- تعريف الزجاج الشاكوشي: هو زجاج غير قابل للكسر فهو عبارة عن شرائح من الزجاج تم تطويرها بشكل كبير من خلال تقنية النانو لتوفير خامة فريدة من الزجاج العازل للصوت، فهو مطلي بطبقة سطحية شديدة الصلابة من أكسيد السيليكون، يوفر طلاء السطح أيضًا حماية من الأشعة فوق البنفسجية بنسبة ٩٩,٩٦٪ وكانت بداية استخدامه في النرويج والسويد وفنلندا.يوجد في مصر زجاج يعادل هذا النوع ومتوفر في السوق المصري المخصص للزجاج العازل للصوت مثل زجاج سان جوبان.
(file:///C:/Users/user/Desktop/nada/acoustic-glass.pdf)

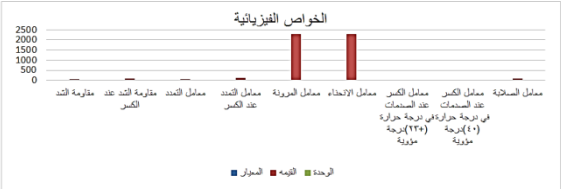
- الخواص الكيميائية: الزجاج الشاكوشي نجد أن السطح مطلي بمعالج للسطح حتي يكون السطح مقاوما للمواد الكيميائية والعوادم مثل البنزين والأسيتون وغيرها، وهو يتميز أيضا بسهولة نظافته ولن يؤدي التعرض للطقس والرياح إلى فقدان الزجاج الشاكوشي لقوة تأثيره خلال فترة 40 سنة من تاريخ التركيب. لن يُظهر الزجاج الشاكوشي أي تغيير في اللون أو تلف السطح الناجم عن الطقس.

- انتقال الضوء: يصنع الزجاج الشاكوشي من خامات عالية الجودة والنقاء ولذلك نجد أنها تعزز من انتقال الضوء بشكل كبير.

- الخواص الفيزيائية:

الخواص الميكانيكية	المعيار	القيمة	الوحدة
مقاومة الشد	ISO 527	63	N/Mm2
مقاومة الشد عند الكسر	ISO 527	70	N/Mm2
معامل التمدد	ISO 527	6	%
معامل التمدد عند الكسر	ISO 527	110	%
معامل المرونة	ISO 527	2300	N/Mm2
معامل الانحناء	ISO 178	2300	N/Mm2
معامل الكسر عند الصدمات في درجة حرارة (+٢٣) درجة مئوية	ISO 179/2D		kj/Mm2
معامل الكسر عند الصدمات في درجة حرارة (٤٠-)درجة مئوية	ISO 179/2D	11,5	kj/Mm2
معامل الصلابة	ISO 20392	95	

جدول (٤)يوضح الخصائص الفيزيائية للزجاج الشاكوشي



شكل (١٣) يوضح الخواص الفيزيائية للزجاج الشاكوشي

-عزل الضوضاء: يعتمد تأثير حاجز الضوضاء جزئيا على ارتفاع وسمك الحاجز, وجزئيا على سرعة المركبات المارة. يبلغ ارتفاع حاجز الضوضاء الفعال ٤-٦ أمتار، الجدول التالي يوضح سمك الزجاج الشاكوشي وعلاقته بالضوضاء.

سمك الزجاج الشاكوشي(HAMMER GLASS)	مستويات الضوضاء
Hammer glass 8 mm	31 dBRw
Hammer glass 10 mm	31 dBRw
Hammer glass 12 mm	31 dBRw
Hammer glass 15 mm	31 dBRw
Hammer glass 17 mm	31 dBRw
Noise reduction HMG 12 mm + Hammer foam 55 mm	37 dBR 31 DLR

جدول (٥) يوضح علاقة سمك الزجاج بتقليل الضوضاء
(https://www.hammerglass.com/en/noise-barriers)

- نظام تركيب حاجز الضوضاء للزجاج الشاكوشي(HAMMER GLAS):

- يستخدم مجموعة من البراغي للتثبيت في الأرض أو على الجدران على طول الطرق ويكون ارتفاع الحاجز ٦أمتار كما في الشكل (١٤).

شكل (١٤) يوضح تركيب الزجاج والقطاعات المستخدمة من الحديد

- يتم تثبيت ألواح الزجاج الشاكوشي بين عمودين من أعمدة مجلفنة على الساخن ويتم تثبيتها بسلك من أعلي اذا لزم الأمر كما في الشكل (١٥)

شكل (١٥) يوضح تركيب شرائح الزجاج والأعمدة المستخدمة للتدعيم

ـ عند التثبيت يجب أن تدفن الألواح على عمق حوالي ٢٠سم لمنع انتقال الضوضاء من أسفل الحاجز كما في الشكل(١٦).

شكل (١٦) يوضح تركيب الشرائح .

- يعمل الانحناء بمقدار ٤٥ درجة في الجزء العلوي من ألواح الزجاج الشاكوشي على تعزيز الهيكل وفي نفس الوقت يساهم في تقليل ضوضاء التردد المنخفض من الناقلات.

-تزود الالواح برسومات مطبوعة من أجل منع تصادم الطيور بالحاجز كما في الشكل (١٧).

شكل (١٧) يوضح الرسومات المستخدمة لتفادي تصادم الطيور في الحاجز

ـ يوجد طريقة تركيب مختلفة يتم فيها الاستغناء عن الأعمدة المجلفنة باستخدام دعائم من الزجاج الشاكوشي نفسه بشكل يعمل على دعم الحاجز كما في مدينة إستوك هولم كما في الشكل (١٨).

شكل (١٨) يوضح الاستغناء عن الأعمدة المجلفنة باستخدام دعائم من الزجاج الشاكوشي

الإعتبارات التصميمية لحاجز الضوضاء :

يطلق على حواجز الضوضاء بشكل عام، معالجات فنية، وعادة ما يتم تحديد الأبعاد والأنواع والأشكال وإخضاعها لقانون البيئة ودراسة تقييم تأثير الضوضاء غير القانونية.

ويهدف هذا الجزء إلى تغطية جوانب مختلفة في مرحلة التصميم التفصيلي والتي تؤكد على تحديد الخصائص الصوتية لحواجز الضوضاء بمقدار حجب الضوضاء ونوع المواد المستخدمة.

الاعتبارات التصميمية:

تتمثل الوظيفة الأساسية لحواجز الضوضاء في حماية المباني المستقبلة للضوضاء المفرطة، الناتجة عن حركة المرور, ولذلك تعتبر حواجز الضوضاء هي أكثر الحلول الفعالة المتاحة لتخفيف هذه الضوضاء.

ولكن يجب مراعات عديد من العوامل في التقييم التفصيلي لحواجز الضوضاء :

أولا: يجب أن يكون الحاجز فعال في تقليل الانبعاث الصوتي طبقا للدراسات البيئية.

ثانيا: موقع الحاجز وأبعاده التصميمية وشكلة.

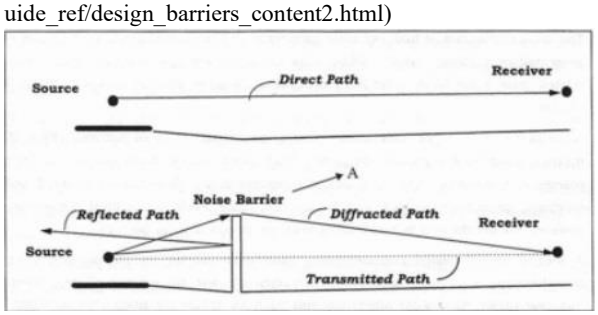
ثالثا: توفير إمكانية الصيانة بسهوله وضمان السلامة الهيكلية للحاجز.

رابعا: العوامل الجمالية ومدي تماشي الحاجز مع البيئة المحيطة.

(https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html)

الشكل (١٩) هو عبارة عن رسم تخطيطي مبسط يوضح ما يحدث نتيجة للضوضاء الناتجة عن حركة المرور حيث يتم وضع الحاجز بين مصدر الضوضاء (السيارات) والمستقبل (المباني المحيطة)

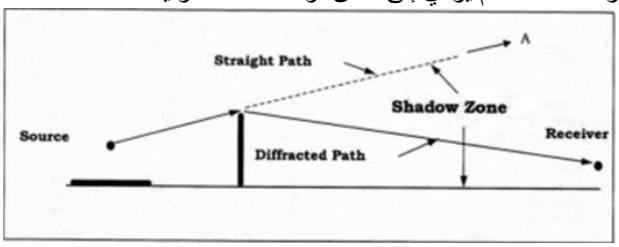
(https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html)



الشكل (١٩) تغيير مسارات الضوضاء بحاجز ضوضاء.

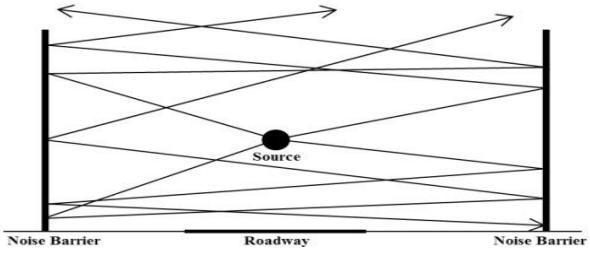
مسار الخط المستقيم من مصدر الصوت إلى المستقبل يعتمد على مدى إرتفاع حاجز الضوضاء،وعلي نوع مادة الحاجز، والمعالجات السطحية، حيث ينعكس جزء من الضوضاء في اتجاه المصدر (المباني) ويتم إمتصاص الأجزاء الأخرى، بواسطة حاجز الضوضاء، ويعبَّرعن كمية الضوضاء بالديسيبل, وتسمي الضوضاء المحجوبة (بخسارة الإرسال), والتي تعتمد على نوع مادة الحاجز ووزنه وطيف التردد لمصدر الصوت.

نجد في الشكل (٢٠) الضوضاء المرسلة من المصدر كما في المسار A تصطدم في نهاية الحاجز وتنعكس على المصدر المستقبل وهذا الاصطدام يؤدي إلى فقدان قوة الطاقة الصوتية.



الشكل (٢٠) يوضح حيود الضوضاء بواسطة الحاجز.

وهكذا تعتمد الضوضاء على الموقع والشكل، وأبعاد الحواجز. ففي حالة وجود أجهزة استقبال حساسة للضوضاء على جانبي الطريق، يفضل استخدام الحواجز المتوازية، ومع ذلك فإن الصوت المنعكس بين الحواجز العاكسة المتوازية، قد يتسبب في تدني أداء الحاجز، بسبب الانعكاسات المتعددة التي تحيد على الحواجز الفردية كما في الشكل (٢١) , لذلك يجب أن تكون المسافة بين الحواجز المتوازية على الأقل ١٠ أضعاف متوسط ارتفاع الحاجز, كما تشمل عوامل تصحيح الانعكاس، الارتفاع النسبي للحواجز، والمسافة الأفقية بينها،وارتفاع نقطة الاستقبال، والمسافة الأفقية من الحافة الأفقية من الحاجز، إلى نقطة الاستقبال ودرجة ميل الحاجز العاكس.



الشكل (٢١) يوضح مسارات الضوضاء العاكسة بسبب الحواجز المتوازية تسمح جميع المواد بمرور الطاقة الصوتية ، ولكن بدرجات متفاوتة إعتمادًا على المادة المستخدمة وتردد الصوت، ولكي يكون الحاجز فعالًا يجب أن تكون كمية الطاقة الصوتية التي تمر عبره أكبر بكثير من الطاقة الصوتية التي تنبعث منه.
يعطي الجدول (٦) قيم TL (Transmission Loss) التقريبية, لبعض المواد الشائعة, التي تم اختبارها من أجل قياس أطياف تردد الضوضاء،ويمكن استخدامه كدليل تقريبي, في تصميم حواجز الضوضاء.

Material	Thickness mm	Surface Density kg/m^2	Transmission Loss* (TL) dB
Polycarbonate	8 – 12	10 – 14	30 – 33
Acrylic [Poly-Methyl-Meta-Acrylate (PMMA)]	15	18	32
Concrete Block 200x200x400 light weight	200	151	34
Dense concrete	100	244	40
Light concrete	150	244	39
Light concrete	100	161	36
Brick	150	288	40
Steel, 18 ga	1.27	9.8	25
Steel, 20 ga	0.95	7.3	22
Steel, 22 ga	0.79	6.1	20
Steel, 24 ga	0.64	4.9	18
Aluminium Sheet	1.59	4.4	23
Aluminium Sheet	3.18	8.8	25
Aluminium Sheet	6.35	17.1	27
Wood	25	18	21
Plywood	13	8.3	20
Plywood	25	16.1	23
Absorptive panels with polyester film backed by metal sheet	50 – 125	20 – 30	30 – 47

جدول (٦) يوضح قيم خسارة الأرسال TL للصوت بالخامات المختلفة.
* القيم تفترض عدم وجود فتحات أو ثغرات في الحواجز
(https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html)

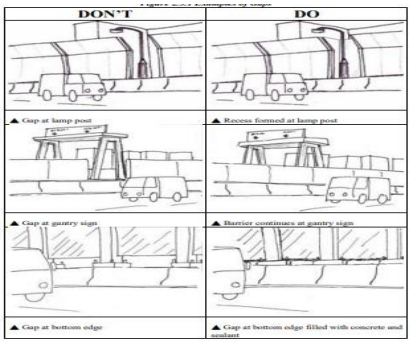
وبناء على الجدول, فإن القيمة القصوى التي يمكن تحقيقها نظريًا لتقليل الضوضاء المنبعثة, هي ٢٠ ديسيبل وذلك في حواجز ضوضاء ذات سماكة متوسطة، ولذلك نجد أن تعديلات صغيرة في كثافة السطح تؤدي للوصول إلى مقياس مادة تقلل الانبعاث الصوتي بشكل أكبر, على غرار بعض البلدان التي تستخدم كثافة سطح المادة التي تبلغ ١٠ كجم / م^2 ولكن يجب مراجعة ذلك على أساس كل حالة على حدة لتلبية متطلبات المشروع.

٢ـ انخفاض أداء حاجز الضوضاء بسبب الثقوب أو الشقوق أو الفجوات:

يمكن أن يؤدي "تسرب" الصوت، بسبب الثقوب؛ أو الشقوق؛ أو الفجوات, عبر حاجز الضوضاء أو تحته، إلى تقليل أداء الحاجز، مما يوجب تجنبه أي فجوات تمثل أجزاء من الحاجز، ويجب بذل جهود إضافية في مراحل التصميم والبناء لتجنب تلك الفجوات أو الثقوب، سواء في تركيب الألواح المتجاورة، أم الفجوات مع التقاء الحاجز بأعمدة الإنارة، ووصلات البناء،كما في الشكل (٢٢) بينما يتطلب الوضع الخاص بالموقع وجود بعض الفتحات لسهولة أعمال الصيانة خاصة مع ازدياد طول الحاجز، ويتم تقليل فقدان الانبعاث الصوتي للحاجز كما في الجدول (٧).

% area occupied by leaks	Transmission Loss without leaks at 500 Hz			
	10 dB*	15 dB*	20 dB*	25 dB*
	↓ reduction in transmission loss, dB ↓			
50	10+	15+	20+	25+
25	10	15	20	25
13	8	12	17	22
6	5	10	14	19
3	4	7	11	16
1.5	2	5	9	13
0.78	1	3	6	10
0.39	1	2	4	8
0.20	0	1	3	5
0.10	0	1	1	4
0.05	0	0	1	2

جدول (٧) يوضح نسب امتصاص الصوت المطلوبة للحواجز المقترحة



شكل (٢٢) يوضح أمثلة على معالجات الفجوات بين ألواح الحواجز, وتوضيح الشكل الصحيح والشكل الخطأ

بالنسبة لحواجز الضوضاء المصنوعة من الخرسانة أو غيرها من "الألواح"، يجب أن تكون الألواح مغلفة بعناية، ومغطاة بشكل جيد للغاية، لضمان عزل الهواء جيدًا عند الفواصل. ويجب عدم استخدام الألواح المثبتة على جوانب بديلة من الدعامات الأفقية.
لذلك، ولتجنب انخفاض الأداء الصوتي لحواجز الضوضاء، يجب أن تكون تصميمات الحواجز مدروسة بشكل جيد مع إشغالات الطريق مثل إشارات المرور وأعمدة الإضاءة كما في الشكل (٢٣) والشكل (٢٤) كما يجب مراعات المساحة الكافية للصيانه .

الشكل (٢٣)

الشكل (٢٤)

بناءً على هذه الدراسة اتضح ما يلى :

١- أن حواجز الضوضاء كلما ازداد ارتفاعها, ازداد تأثير حجب الضوضاء.
٢- تأثير الضوضاء يكون له أثر كبير على طوابق المباني الأول والثاني والثالث .
٣- كثافة الحاجز لها دور أيضا في تأثير حجب الضوضاء فعند كثافة ٢٠كجم /م٢ يحقق هذا انخفاضًا قدرة ٥ديسيبل (ا) من خلال حاجز طويل بما يكفي لكسر خط الزاوية من الطريق .
٤- يمكن الوصول إلى خفض إضافي للضوضاء بمقدار ١,٥ ديسيبل عند زيادة الارتفاع مترا إضافيا.
٥- الحاجز لابد أن لا يقل ارتفاعه عن ٧:٥ أمتار كما أن المسافة مرتبطة بارتفاع الحاجز, فكلما زادت المسافة تطلب ذلك ارتفاع الحاجز .
٦- المسافة بين شرائح الحاجز والفجوات, يجب أن تعالج جيدا, وكذلك الفراغات في أسفل الحاجز, في تثبيته, على الطريق أيضا, حتى لا تؤثر على كفاءة الحاجز في حجب الضوضاء بشكل كبير.
٧- ينحرف الصوت غالبا عند حواف حاجز الضوضاء, وذلك يؤدي غالبا إلى تدهور يصل لنسبة ٥ديسيبل من كفاءة الحاجز, ويحدث ذلك دائما عند نهاية الحاجز, ولذلك يجب أن تشكل نهاية الحاجز مع الخط العمودي زاوية ٨٠ درجة.

***-طريقة حساب انتقال الصوت من الحواجز الضوضاء المختلفة الخامة:**

بناءً على ما سبق يتم حساب الانتقال الصوتي من خلال المعادلة الأتية:

وذلك باستخدام فرق طول المسار، وهي المسافة الإضافية التي ينتقل فيها الصوت بسبب وجود الحاجز، كما في الشكل (٢٥). في حالة عدم وجود حاجز، ينتقل الصوت مباشرة من مصدر الصوت إلى جهاز الاستقبال، تظهر المسافة (د). من ناحية أخرى، عند وجود الحواجز يتم تصنيفها إلى رقيقة وسميكة. بالنسبة للحواجز الرقيقة، يجب أن ينتقل الصوت من مصدر الصوت إلى أعلى الحاجز المشار إليه (المسافة أ) ثم من أعلى الحاجز إلى المستقبل المشار إليه (المسافة ب)، مما يعطي المسافة الإجمالية (أ + ب). لذلك، يتم الحصول على فرق طول المسار Path Length (PLD)Difference باستخدام المعادلة:

$$PLD= (A+B)-D$$

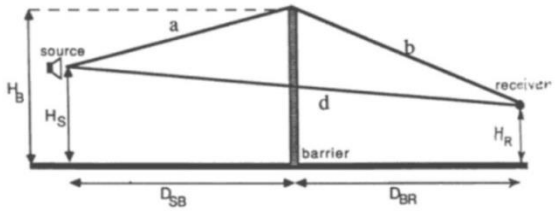
وفقًا للحواجز السميكة، يمكن استخدام فرق طول المسار للإشارة إلى تقليل الصوت: حيث يتم تعريف سماكة الحاجز على أنها (T)، يتم حساب PLD على النحو التالي في المعادلة :

$$PLD = (A + B + T) - D$$

يمكن الآن حساب تشتت الصوت للحاجز باستخدام الطول الموجي للصوت أو تردد الصوت

أولًا حساب رقم فرينل (N) كما هو موضح في المعادلة ٤، حيث λ هو الطول الموجي للصوت، و δ هو فرق طول المسار.

$$N = \frac{2\sigma}{\gamma}$$



شكل(٢٥) توضح فرق طول المسار (PLD)

٣-الاعتبارات الهيكلية:

يتم تقديم التصميم الهيكلي لحواجز الضوضاء كما هو مفصل في كتاب **"دليل تصميم الحواجز للطرق السريعة والسكك الحديدية "** (SDMHR 2013) لتحقيق التقييم الهندسي ومنها:

-التكلفة ومدة التنفيذ: يجب على المصمم تقييم تكلفة حواجز الضوضاء, بهدف تحقيق تصميم اقتصادي, والتي تتطلب توفير الحد الأدنى من الارتفاع حيث يجب فحص النظام بالكامل بعناية تحت تأثير حركة المركبات.

- **الفولاذ الإنشائي**: يكون عالي القوة (فولاذ صنفه S690) معظم المكونات الهيكلية لحواجز الضوضاء مصنوعة من الصلب بدرجة S355 أو S275. وتم تطوير واعتماد الفولاذ الهيكلي عالي القوة مثل الفولاذ من الدرجة S690 هو الفولاذ المخصص للتصميمات الهيكلية ذات القوة العالية، يتم إنتاجه وفقًا لمعايير المواد المقبولة، المعتمدة في الطرق الرئيسية، للصين؛ وأستراليا؛ واليابان؛ والولايات المتحدة الأمريكية؛ والإصدارات البريطانية، من معايير الاتحاد الأوروبي.

٤-أشكال حواجز الضوضاء:

الحواجز ذات المقاطع العرضية ذات الزوايا والأشكال المنحنية ليست فعالة في تقليل الضوضاء مثل تلك (ذات الحواف الحادة), أشكال الوتد بزوايا داخلية أكبر من ٩٠ درجة, والأشكال المستديرة, هي الأقل فعالية. يمكن أن تؤدي زيادة عدد حواف الانعراج إلى تحسين التوهين الصوتي إلى حد كبير. ومع ذلك ففي معظم الحالات سيكون من المكلف نسبيا توفير تعديل شكل الحافة العلوية لحاجز الضوضاء.

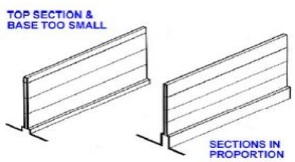
تشمل أشكال الحواجز عدة أشكال: شكل حرف T، وشكل Y، ومتعدد الحواف، والشكل الأنبوبي، وما إلى ذلك نفس الارتفاع الكلي للحواجز، يمكن للحواجز المعدلة على الحافة، تحسين تشتت الضوضاء بقدر ٣ ديسيبل في منطقة الظل مقارنةً بالحاجز العمودي العاكس البسيط.

لا يجب بالضرورة أن تكون الحواجز ذات ارتفاع ثابت - فقد يكون من المفيد زيادة التكلفة لزيادة ارتفاع الحاجز، بالقرب من المناطق السكنية، حيث تكون حساسة للضوضاء، وقد يساعد تباين ارتفاع الحاجز أيضًا في التخفيف من المظهر الرتيب الطويل .

- **التصميم المعماري:** ظهور الحواجز سيكون محكومًا باختيار "الشكل"،في ضوء الطبيعة الخطية لحاجز الضوضاء، يبدو الشكل العمودي التقليدي يخلق تأثيرًا رتيبا على الحاجز. الجودة المرئية

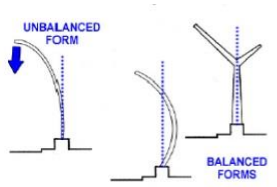
يمكن إثراؤها، من خلال معالجة الشكل الخطي مثل التجزئة والتقويس والتعبير عن السطح ولونه. يمكن توضيح المظهر العام للحواجز بشكل أكبر، من خلال تطبيق مفاهيم الهندسة المعمارية؛ مثل المقياس، والنسبة، والتوازن، والإيقاع، والتكرار، هذه الاعتبارات مفيدة بشكل خاص، عندما تكون الحواجز الطويلة أو الممتدة في المناطق الحضرية.

- تعتبر النسبة أيضا جزءًا مهمًا آخر في التصميم الجمالي لحواجز الضوضاء. نسبة تشير إلى علاقة الحجم النسبي بين العناصر المختلفة لحاجز الضوضاء. بشكل عام، يجب أن يُنظر إليه على أن تكون القاعدة أكثر سمكًا وأقصر من القسم الأوسط والعلوي. كما يجب تقليل سمك الأعمدة الداعمة إلى الحد الأدنى قدر الإمكان كما في الشكل (٢٦)، خاصة على حاجز واضح، مع الحفاظ دائمًا على السلامة اللازمة.



شكل (٢٦) يوضح قسم علوي قصير وقاعدة كبيرة, شكل يوضح الخصائص العلوية والمتوسطة والقاعدة.

ـ الشكل التالي(٢٧), (٢٨) يشير إلى التوازن المرئي للحواجز حول محوره مما يؤثر على المظهر، خاصة للحواجز المنحنية أو الكابولية:



شكل(٢٧) يوضح صورة لطرق متوازنة. شكل(٢٨) يوضح أشكال متوازنة وغير متوازنة.

٥-الإيقاع والتكرار: الإيقاع هو تقنية تصميمة مهمة، تم إنشاؤها عن طريق تكرار عناصر التصميم في فترات مختلفة، ويضيف إحساسًا إضافيًا بالانسجام للتكرار البسيط، ويخلق مستوًى جديدًا من إهتمام المشاهدين، خاصة بالنسبة للمستقبلات المرئية, في التصميم الجمالي لحواجز الضوضاء، يمكن إنشاء الايقاع باستخدام تكرار أعمدة الحواجز. والشكل (٢٩) (٣٠) يوضح أمثلة على الإيقاع المطبق على حواجز الضوضاء:

الشكل (٢٩) يوضح الإيقاع باستخدام زوايا منحنية

شكل (٣٠) يوضح إيقاع غير متماثل.

الشكل (٣١) الإيقاع باستخدام اللون

٦-التأثير البصري:

لا شك أن الحواجز ستؤثر على التصور الجمالي، لمستخدمي الطرق والأشخاص الذين يعيشون في هذا المكان وهذا يسمى التأثير البصري. ولذلك يجب تصميم الحواجز باستخدام الحجم المناسب والمطابقة مع البيئة المحلية بحيث يكون الهدف هو عكس بعض من مميزاتها،مثل المواد والألوان والأشكال، في شكل حواجز لها جاذبية جمالية، دون أن تكون مهيمنة على مجال الرؤية ولذلك فان الألواح الشفافة يمكن استخدامها لتخفيف التأثيرات السلبية على المتلقي.

يميل السكان المحليون إلى قبول الحواجز التي لها علاقة بما يحيط بها ومتوافقة مع مظهر الأحياء المجاورة في السياق الحضري مثل انتشار طرز أو نمط معين في البنايات قد تعكس الكتل بشكل أفضل. بالنسبة للوضع الريفي والمدن الجديدة. يجب أن يأخذ تصميم الحواجز حساب التأثيرات المرئية لحركة المرور.ولكن غالبًا ما تفسد الوحدة البصرية بعناصرغير المنسقة على الطريق, مثل اللافتات وأعمدة الإنارة ولذلك يجب أن يكمل التصميم الهندسي هذه المعالجات حتي يصل التصميم لأنسب الحلول الجمالية والعملية.

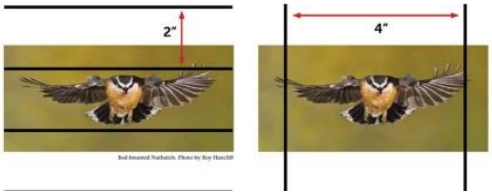
كما يجب على المصمم أيضًا أن يكون على دراية بالتوافق بين إيقاع العناصر المختلفةعلى طول الطريق لتحديد الوحدة المناسبة للحاجز. وهناك عديد من المزايا التي يمكن اكتسابها من تحديد وحدة مناسبة للحاجزحيث تساعد على تنسيقه مع العناصر الأخرى فضلا عن كونها فعالة من حيث التكلفة والتركيب والصيانة كما أن تكرار الوحدات يُمكِّن من خلق إحساسٍ بالنظام والانسجام تفضي إلى السلامة على الطرق كما في الشكل(٣٢).

شكل (٣٢) يوضح تنسيق الحاجز مع إشغالات الطريق مثل تعليق الإضاءة على حاجز الضوضاء.

الألواح الشفافة ستعمل جميعها كعلامات مرئية، تساعد السائقين على التعرف على مكان وجودهم على طول الطريق. ولكن عند استخدام الألواح الشفافة في حواجز الضوضاء، يمكن إضافة نمط معين إليها لتجنب اصطدام الطيور. على سبيل المثال، نمط القاعدة "٢ × ٤" الذي يستخدمه ملف شريط أفقي بمسافة قصوى ٢ بوصة (٥٠ مم) أو الشريط العمودي يمكن اعتماد مسافة قصوى تبلغ ٤ بوصات (١٠٠ مم) كما في الشكل(٣٣). يجب أن يكون لون العلامات / الخطوط المرئية قدمت أكبر قدر ممكن من التباين. كما تعد لعبة زاوية الألواح طريقة بديلة لتجنب اصطدام الطيور كما في الشكل(٣٤). يمكن أن تكون اللوحة الشفافة بزاوية عند ٢٠ إلى ٤٠

درجة من الوضع الرأسي لتقليل الانعكاس من السماء والبيئة المحيطةوقد تقلل الزاوية أيضًا من قوة الاصطدام لتقليل نفوق الطيور.

شكل (٣٣) يوضح شكل الحواجز الشفافة



شكل (٣٤) نمط القاعدة في وضع الإستيكر لحماية الطيور

ـ دراسة تطبيقية سابقة في السويد:

شكل(٣٥)يوضح حاجز الضوضاء علي كوبري في السويد

ـهي عبارة عن حاجز من الزجاج الشفاف حول خطوط السكك الحديدية في كارلسكرونا , هيئة النقل في السويد وتم توصيفه كما يلي:

١ـ يتكون الحاجز من شرائح من زجاج الشكوشي سمك ١٢ مم, مركب على نظام الأعمدة, الزاوية المستخدمة من الحديد مثبتة بمسامير على جانب الطريق.

٢ـ الحاجز مانع لتسريب المياه ومقاوم للتآكل.

٣ـ يلبي متطلبات حواجز الضوضاء المنصوص عليها في معيار CE EN-14388. (CEDR Technical Report 2017)

٤ـ تم حساب قوة الحاجز حتي يتحمل الثلوج والرياح الناتجة عن حركة القطارات وكذلك مراعاة إرشادات السلامة . (hammerglass.com)

٥ـ يوفر الزجاج الشاكوشي الحماية من الأشعة فوق البنفسجية بنسبة ٩٩,٩٦٪. (hammerglass_product_electricshield_EN.pdf)

سنة الإنشاء	نظام الإنشاء	اسم الشركة المصممة	نوع الزجاج المستخدم	اسم الشركة المنفذة
2015	شرائح من الزجاج الشاكوشي سمك ١٢مم	Centerlöf & Holmberg	الزجاج الشاكوشي	PEAB

جدول (٨) يوضح المواصفات الفنية (www.hammerglass.com)

عرض الزجاج الشاكوشي	2000 mm
ارتفاع الزجاج الشاكوشي	2000 mm
ابعاد الشريحة المسطحة	120*120*8 mm
ابعاد الشريحة على شكل حرف U	44*26*4 mm
سمك الزجاج الشاكوشي	12mm
عرض الحاجز على امتداد الطريق	1000mm

جدول (٩)يوضح أبعاد الزجاج الشاكوشي

ـدراسة حاله كوبري شارع البطراوي الجديد, وكوبري شارع يوسف عباس, في مدينة نصر .

تهدف هذه الدراسة الي تطوير الحاجز الصوتي المعدني الموجود علي الكوبري باستبداله بحاجز زجاجي يعمل علي تحسين كفاءة المكان من حيث حجب الضوضاء وأكسيد النيتروجين اللذان يشكلان أكبر مشكلة علي المنطقة السكنية المحيطة.

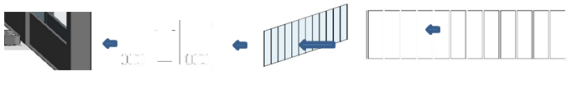
شكل (٣٦)يوضح صورة الكوبري موضع الدراسة ويوضح الحواجز المعدنية الموجودة حالياً

ـفي هذه الدراسة نقدم اقتراح بشأن تقليل الضوضاء وتقليل التلوث الناتج عن أكسيد النيتروجين باستخدام الحاجز الزجاجي في مقترحين تصميم :

المقترح الأول:

تم عمل تصميم من الشرائح الزجاجية المدعمة بقطاعات من الحديد لضمان التثبيت الجيد والمتانة للحاجز.

المراحل التصميمية:



الشكل(٣٦)يوضح المراحل التصميمية للحاجز الزجاجي

شكل (٣٧)يوضح مرحلة تغيير الحاجز من الحاجز المعدني الي الحاجز الزجاجي (من إعداد الباحث)

أوجه المقارنة	الحاجز الزجاجي	الحاجز المعدني
ارتفاع الحاجز	يصل إرتفاع الحاجز من ٥أمتار :٧أمتارولكن عامل الشفافية يؤثر بشكل إيجابي علي الشكل جمالي .	يصل ارتفاعة الي ٧أمتار مما يؤدي الي تشوية الشكل الجمالي
المسافة بين الحاجز والمصدر	مسافة كافية من ١٥:٢٠ متراً متر طبقا لقواعد سلامة الطريق	مسافة كافية تصل من ١٥:٢٠متراً متر طبقاً لقواعد سلامة الطريق
الشفافية	شفافية عالية	مصمت
البنية المعمارية	سهل الصيانة ولا يحتاج للتنظيف الدائم	يصعب صيانتة وعندما يحدث عطل يحتاج الي وقت كبير للصيانه مما يؤثرعلي حركة المرور كما أنه الي التنظيف الدائم
الامتصاص /الانعكاس	يمتص جزء من الضوضاء ويعكس جزء أخر	يعكس الضوضاء إلي المستقبل

جدول (١١)يوضح أوجه المقارنة بين الحاجز الزجاجي والحاجز المعدني

-الاعتبارات التصميمية في الحاجز الزجاجي:

- حاجز الضوضاء المعدني الحالي مرتبطة باللوائح المتعلقة بالعديد من الجوانب المختلفة:

١- السلامة. يجب أن يكون الحاجز له أبعاد مناسبة لتجنب التأثير المحتمل من السيارة، كما يجب أن تكون كتلة الحاجز ثقيلة حتي يتحمل الأحوال المناخية المختلفة مثل الرياح ،الثلج ،الحرارة وغيرها.

٢- المسافة. يجب أن يتم تركيب الحاجز على مسافة آمنة من حافة الطريق.

٣- تقليل الصوت. يجب أن تخفض مستويات الديسيبل من حركة المرور بنسبة لا تقل عن ٢٠ديسيبل.

٤- سهل الصيانة. لا يحتاج الي تغيير بمتوسط عمر لا يقل عن ٥٠ عامًا.

٥- من الناحية الجمالية. يجب أن يكون التصميم يعبر عن المنطقة المحيطة ويكون له غرض وظيفي وفي هذا التصميم تم إضافة لوحات زجاجية دعائية حتي يتناسب مع المنطقة التجارية حيث يوجد مول تجاري قريب من الكوبري.

في هذا المقترح، يجب تطبيق جميع المتطلبات المذكورة أعلاه على حاجز الضوضاء الزجاجي الجديد بالإضافة إلى بعض المميزات الإضافية:

١- تقليل أكاسيد النيتروجين. يجب أن تقلل من مستوى جزيئات أكسيد النيتروجين في الهواء المحيط ،

وبالتالي مطابقة لوائح التلوث التي تعمل علي زيادة جودة المناخ في المنطقة السكنية المجاورة.

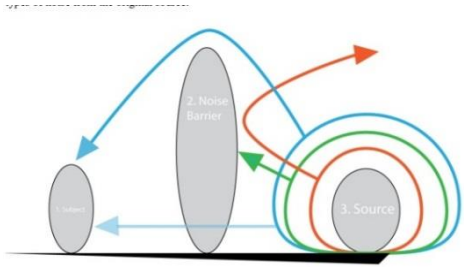
٢- سهل التجميع والبناء. في الموقع حتي لا يعطل حركة المرور أثناء التركيب.

٣-سهولة النقل والإصلاح.

٤ - أن يكون لها قاعدة من الخرسانة وشاسيه من الحديد الصلب المعالج المقاوم للصدأ.

-في هذا الشكل يوضح العلاقة بين حاجز الضوضاء ومصدر الصوت والمتلقي(السكان):

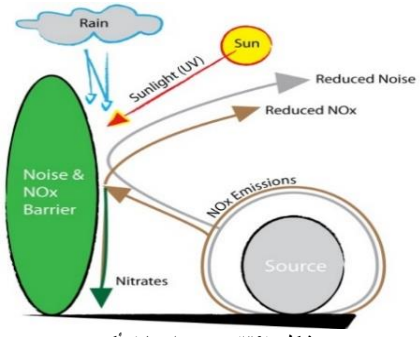
يعتمد تردد الصوت المنبعث علي درجة قوة الصوت المنبعث من المصدر وكذلك علي كفاءة حاجز الضواء ومدي ثباته الذي يثبت بالشاسيه الحديد وسمك الزجاج فكلما زاد سمك وارتفاع الحاجز كلما زادت كفاءته وزادة قدرته علي حجب الترددات الصوتية التي تتجاوز الحد المسموح به.



شكل(٣٨)يوضح العلاقة بين مصدر الصوت وفعالية الحاجز في امتصاص وعكس الصوت بعيد عن المتلقي.

-عن طريق إضافة المزيد من الوظائف إلى النظام ، فإنه يؤدي أحيانًا إلى رفع القيمة الإجمالية للمنتج. وهذا ما يتم عملة في الشكل (٣٩):

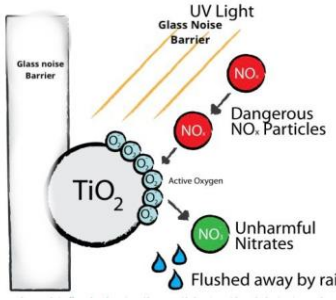
في هذا الشكل يوضح أن الشاحنات والسيارات لا يقتصر الأمر علي انبعاث الصوت فقط ولكن أيضاً انبعاث أكسيد النيتروجين وهنا لا يقتصر دور الحاجز علي حجب الضوضاء فقط ولكن أيضا حجب الغازات المضرة مثل أكسيد النيتروجين كما في الشكل (٣٩).



شكل (٣٩)يوضح انبعاث أكسيد

جدول (٤)يوضح الخصائص الفيزيائية للزجاج الشاكوشي

كما هو مبين في الشكل(٤٠)نجد أن العنصر النشط هو ثاني أكسيد التيتانيوم الذي يتفاعل مع سطح الزجاج وتحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية وضوء الشمس يتفاعل الأكسجين النشط من سطح الزجاج مع جزيئات أكسيد النيتروجين مما ينتج نترات غير ضارة علي سطح الحاجز الزجاجي تزول بسهولة من تأثير مياه المطر أو أثناء تنظيف السطح والصيانة. (Ullman, D. G., 2002)



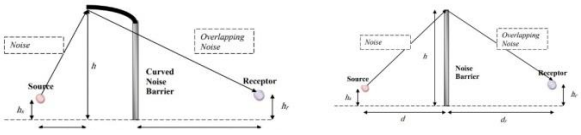
الشكل (٤٠)يوضح كيفية تفاعل سطح الزجاج مع أكسيد النيتروجين

-المقترح التصميمي الثاني:

يعتمد هذا التصميم علي استخدام تصميم للحاجز الزجاجي مختلف عن الشكل المسطح التقليدي يسمي الحاجز المائل وهذا الشكل التصميمي يساهم بشكل كبير في تحسين كفاءة الحاجز لأنها تعمل علي تقليل الانبعاث الصوتي بشكل أكبر من الحاجز المسطح الذي يتطلب أن يكون بارتفاع يصل الي ٧متر حتي يحسن من أداءه بينما الحاجز المنحني يكون أقصر بحوالي ٢متر ويؤدي دورة بكفاءة أعلي ،كما تم وضع خلايا شمسية في التصميم كما في الشكل (٤١)حتي يتم الاستفادة منها في الاضاءة الليلية للكوبري وهذا يحقق الجانب الجمالي والوظيفي للتصميم.

(ب) (أ)

الشكل (٤١)يوضح تصميم الحاجز ويمثل (أ) اللقطة النهارية و(ب)اللقطة الليلية من (إعداد الباحث)



(ب) (أ)

الشكل (٤٢)يوضح أن الشعاع الضوضاء المنعكس علي المصدر في حالة الحاجز المنحني يأخذ مسار أطول من الحاجز المستقيم وبالتالي يكون تأثير الضوضاء في حالة الحاجز المنحني أقل في الديسيبل من الحاجز المستقيم

نتائج البحث

١- حواجز الضوضاء أصبحت ضرورة حتمية, وذلك بسبب التضخم العمراني داخل المناطق السكنية.

٢- حواجز الضوضاء مصممة لتكون جذابة بصريًا, وللحفاظ على القيم الجمالية والمناظر الخلابة, ولذلك يعد الحاجز الشفاف له الأفضلية, في اختيار خامات وخصائص الحاجز.

٣- ضرورة تصميم الصرف المخصص للأمطار, والعوامل المناخية لما له من تأثير على بنية الحاجز وطريق المرور.

مراجع البحث :

أولا : المراجع العربيه

١- إبراهيم، أحمد- العزل المائي للمباني- مكتبة الهندسة للنشر والتوزيع- القاهرة ٢٠١٩ -Ibrahim Ahmad al-a'zl al-maee lilmabani- maktabat alhandasa lilnashr- alqahira 2019.

٢- أنعام وادي وطن م. ضحى سعدي عبد المجيد كلية التربية قسم علوم الفيزياء / كلية التربية العوازل الصوتية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم / جامعة بغداد .

٣- أنعام وادي وطن، العوازل الصوتية للعلوم – ابن الهيثم / جامعة بغداد ٢٠١٨.

٤- التقنيات الحديثة للحيزات الداخلية وأثرها على نظام الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED New technologies for interior space and the impact on LEED rating system)

٥- محمود الجارحي (التقنيات الحديثة للحيزات الداخلية وأثرها على نظام الريادة في الطاقة والتصميم البيئي)، نشر ١يناير ٢٠٢٠.

ثانيا: المراجع الأجنبيه :

1- Asdrubali, F., & Pispola, G. (2007). Properties of transparent soundabsorbing panels for use in noise barriers. The Journal of the Acoustical Society of America, 121(1), 214-221.

2- BS EN 179303:1998, Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance, Part 3. Normalized traffic noise spectrum, British Standard.

3- /HAMMER%20GLASS/hammerglass_infra_20p_continental-line_EN.pd

4- Babisch W. (2006) Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. Noise & Health. 8: 1-29

5- G. R. Watts, "Acoustic performance of parallel traffic noise barriers," Applied Acoustics 47(2), pp. 95-119 (1996).

6- H. S. Na, Y. G. Kim, and T. R. Seong. "Reduction of traffic noise using soundproof tunnel (in Korean)," Proceedings of the autumn Conference of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 75-80 (1999).

7- J. DeMoss, B. J. Landsberger and M. T. McNerney, Improving the acoustical performance of porous asphalt pavements, The University of Texas at Austin, Research Report Number 2957-1 (1999).

8- J. H. Kim, A study on the traffic noise reduction effect of sound barrier tunnel in downtown apartment buildings (in Korean),

M.Sc. thesis, Changwon National University (2005).
9- Noise Barriers – Examples and Experiences (“Støjskærme - Eksempler og Erfaringer” in Danish language). Road Directorate. Report 183, 1999. www.vd.dk.
10- Noise Barriers – Examples and Experiences (“Støjskærme - Eksempler og Erfaringer” in Danish language). Road Directorate. Report 183, 1999. www.vd.dk.
11- P. J. Lee, Y. H. Kim, J. Y. Jeon and K. D. Song, “Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise,” Building and Environment 42(10), pp. 3517-3528 (2007).
12- palaram. Transparent Sound Barrier Resolves Noise .(2007).
13- palaram. Transparent Sound Barrier Resolves Noise .(2007).
14- Road Directorate. Report 282, 2004. www.vd.dk
15- Road Directorate. Report 282, 2004. www.vd.dk
16- Rocchi, S. E., & Pedersen, S. (1990). Feasibility of transparent noise barriers. Transportation Research Record, (1255).
17- SDM2013 (1).pdf
18- Stephen D. Grumbach and Clay Naito Applied Research Associates P.O. Box 40128 Tyndall Air
19- Stephen D. Grumbach and Clay Naito Applied Research Associates P.O. Box 40128 Tyndall Air Force Base, FL 32403 Dr. Robert J. Dinan, Ph.D. Air Force Research Laboratory.
20- T. M. Kim and J. T. Kim, “Noise Protection Roof: Partial Opening Effect for Noise Reduction (in Korean),” Journal of the Korean Society for Railway, 18(6), pp. 522-532 (2015).
21- Wagner, Kate (8 December 2016). "Building the Wall: Highway Sound Barriers and the Evolution of Noise". 99 Percent Invisible. Retrieved 21 March 2017.
22- Wagner, Kate (8 December 2016). "Building the Wall: Highway Sound Barriers and the Evolution of Noise". 99 Percent Invisible. Retrieved 21 March 2017.
23- SDMHR 2013 Continuously updated version (May 2021).pdf
24- CEDR Technical Report 2017-02 Noise barriers
25- Reference | Electrical protective shield for railway (hammerglass.com)
26- hammerglass_product_electricshield_EN.pdf

ثالثا : مواقع أنترنت :

1- https://www.hammerglass.com/en/noise-barriers /
2- https://www.motorwaycare.com/how_does_a_noise_barrier_work.html
3- https://www.perforated-sheet.com/perforatedsheetapplication/noise-barrier.html
4- www.vd.dk. [2] Noise Barriers – Examples and Experiences II (“Støjskærme - Eksempler og Erfaringer II” in Danish language).
5- www.vd.dk. Road Directorate, Report 282, 200
6- https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html
7- https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content2.html
8- Hammerglass AB • Åkagårdsvägen 9 • SE-269 71 Förslöv, SWEDEN • +46 (0) 431 25 000 • www.hammerglass.com