

Using TNM3 Software in a Traffic Noise Barrier Design for the Southern Side of Tishreen University

Dr. Habib Mahmoud*

Dr. Samia Shibani**

Narjes Fawzi*

(Received 20 / 5 / 2022. Accepted 21 / 6 / 2022)

□ ABSTRACT □

Traffic overcrowding is the main source of noise pollution in major cities, which causes severe health risks to humans. Noise barriers are the main tool for reducing traffic-related noise. In this study, field measurements were performed to calculate the levels of traffic noise in a section of the street overlooking the College of Education _ Tishreen University _ Lattakia, which is 15m far from the road axis, using an Audio and Acoustic Analyzer XL2-NTi, and to determine the amount of noise reaching the affected rooms inside the college, which overlooks the Street, the average results of the measurements in the three floors were $(68.64 \pm 0.55, 69.42 \pm 0.31, 69.98 \pm 0.24)$ dB, respectively, at two o'clock in the afternoon, which was considered peak hour, so these values exceed the permissible limits according to the Syrian standard specifications (55dB) for residential areas. Traffic density data on both directions of the road as well as spatial dimensions, elevations, weather conditions (temperature, humidity) and pavement type in the study area were employed in an engineering program used to predict and analyze noise levels associated with highways (FHWA TNM®, Traffic Noise Model) version 3.0. The noise simulations generated by the software were in agreement with field measurements and the difference between the results did not exceed 0.5dB. After verification, the program was used to evaluate the effectiveness of different models of noise barriers in reducing noise, where several barrier heights from 1m to 4m, and several types of barriers varies by the Noise Reduction Coefficient (NRC) were tested. The research showed the benefit of using traffic noise prediction programs and designing barriers before constructing noise-sensitive facilities. It is also necessary to take into account the aesthetic and economic aspect by employing local evergreen plants.

Keywords: Traffic Noise, Noise Barriers, TNM3 Model, NRC (Noise Reduction Coefficient).

*Professor, Mechanical and Electrical Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria. habib1321965@gmail.com

**Assistant Professor, Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria. Samia982@yahoo.com

***Master Student, Department of Environmental Systems Engineering, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University. E-mail: jouliafawzy@gmail.com

استخدام برنامج TNM3 في تصميم حاجز ضوضاء مرورية للجهة الجنوبية من جامعة تشرين

د. حبيب محمود*

د. سامية شيبان**

نرجس فوزي***

(تاريخ الإيداع 20 / 5 / 2022. قُبِلَ للنشر في 21 / 6 / 2022)

□ ملخّص □

يعتبر الازدحام المروري المصدر الرئيسي للتلوث الضوضائي في المدن الكبرى، والذي يتسبب في مخاطر صحية شديدة على الإنسان. وتعد حواجز الضوضاء الأداة الرئيسية للحد من الضوضاء المرتبطة بحركة المرور. تم في هذه الدراسة إجراء قياسات ميدانية لحساب مستويات الضوضاء المرورية في قسم من الشارع المقابل لكلية التربية_جامعة تشرين_ مدينة اللاذقية والتي تبعد مسافة 15m عن محور الطريق، باستخدام جهاز قياس صوت من نوع XL2 ، وتحديد مقدار الضوضاء الواصلة إلى القاعات المتأثرة في الطوابق الثلاثة داخل الكلية والتي تطل على الشارع، فكان متوسط نتائج القياسات للطوابق الأول والثاني والثالث (68.64 ± 0.55 ، 69.42 ± 0.31 ، 69.98 ± 0.24 dB) على الترتيب في الساعة الثانية ظهراً والتي اعتُبرت ساعة الذروة، أي أن هذه القيم تتجاوز الحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية السورية 55dB للمناطق السكنية. تم توظيف بيانات الكثافة المرورية باتجاهي الطريق إضافة إلى الأبعاد المكانية والارتفاعات، الظروف الجوية (درجة الحرارة، الرطوبة) ونوع الرصيف في منطقة الدراسة ضمن برنامج هندسي يُستخدم للتنبؤ بمستويات الضوضاء المرتبطة بالطرق السريعة وتحليلها (FHWA TNM, Traffic Noise Model الإصدار 3.0). كانت محاكاة الضوضاء الناتجة عن البرنامج قريبة من القياسات الحقلية وكان الاختلاف بين النتائج لا يتجاوز 0.5dB. بعد التحقق من أداء البرنامج تم الاستعانة به لتقييم فعالية نماذج مختلفة لحواجز الضوضاء في تخفيض الضوضاء حيث تم اختبار عدة ارتفاعات للحاجز من 1m إلى 4m، وعدة أنواع للحاجز تختلف بقيمة معامل تخفيض الضوضاء (NRC (Noise Reduction Coefficient). أظهر البحث فائدة استخدام برامج التنبؤ بالضوضاء المرورية وتصميم الحواجز قبل إنشاء المنشآت الحساسة للضوضاء. كما لا بد من مراعاة الناحية الجمالية والاقتصادية وذلك بتوظيف النباتات المحلية دائمة الخضرة.

الكلمات المفتاحية: الضوضاء المرورية، حواجز الضوضاء، TNM3 model، NRC (معامل تخفيض الضوضاء).

* أستاذ - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. habib1321965@gmail.com

** مدرس - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

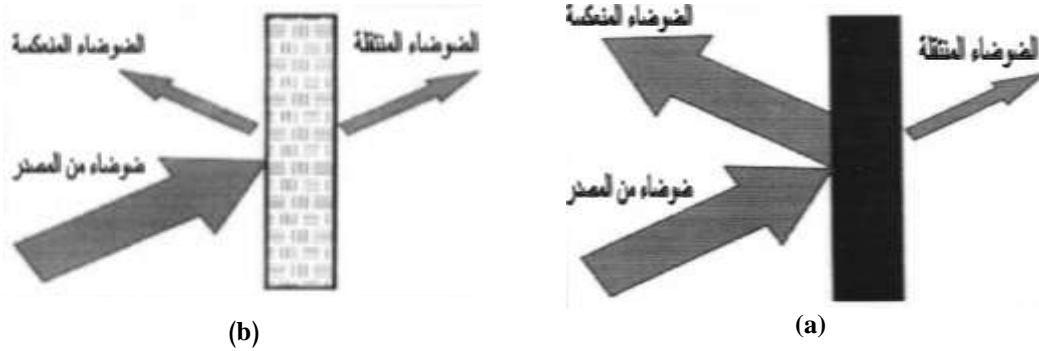
Samia982@yahoo.com

*** طالبة ماجستير - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. البريد الإلكتروني:

jouliafawzy@gmail.com

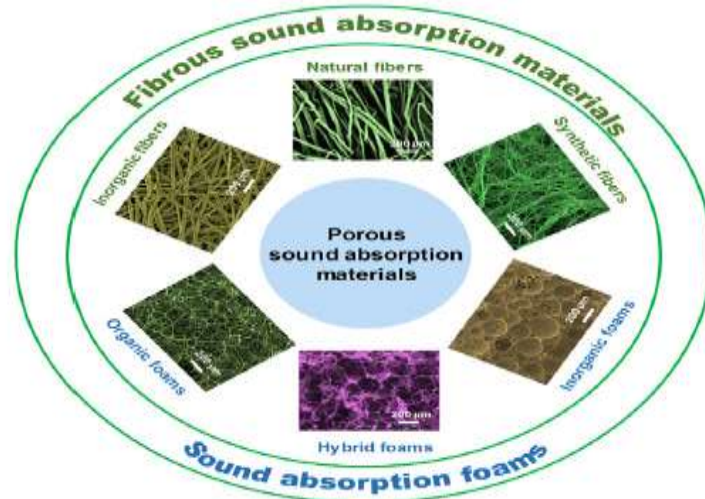
مقدمة:

يواجه البشر في جميع أنحاء العالم عادة المشاكل الخطيرة الناجمة عن التلوث الضوضائي الناجم عن التوسع الحضري السريع وتطور النقل، والذي يتسبب في مخاطر صحية شديدة مثل الانزعاج، وطنين الأذن، واضطراب النوم، وأمراض القلب، ويؤثر بشكل كبير على كفاءة العمل. وتعد حواجز الضوضاء إجراء تقني يستخدم على نطاق واسع للحد من انبعاث الضوضاء من النقل البري والسكك الحديدية. يعتمد أداء حاجز الضوضاء بشكل أساسي على شكله، ارتفاعه، وخصائصه في امتصاص الصوت. في حين أن الارتفاع يجب أن يكون محدوداً لأسباب جمالية واقتصادية، يجب أن يتبع شكل الحاجز إرشادات معمارية وثابتة وعملية (Reiter et al., 2017)، وهناك أنواع للحواجز منها العاكسة كما هو موضح في الشكل (1a)، تقوم هذه الأنواع من الحواجز بنشر الأصوات، وإذا ما أسيء استعمال هذه الحواجز فإنها قد تترك آثاراً سلبية، ومنها الحواجز الامتصاصية كما في الشكل (1b) تقلل من انعكاس الأصوات أو ما يسمى بالصدى Echoing، وتشتت من قوة الضوضاء وتعمل على إخمادها (Atheer, 2011).



الشكل (1) الحواجز العاكسة (a) والحواجز الامتصاصية (b) (Atheer, 2011)

يمكن استخدام أنواع مختلفة من المواد لامتصاص الصوت منها المواد المسامية المستخدمة لامتصاص الصوت الموضحة في الشكل (2)، بشكل عام، يمكن تصنيف مواد امتصاص الصوت المسامية الشائعة الاستخدام على أنها رغوة لامتصاص الصوت ومواد ليفية لامتصاص الصوت. تتكون الرغوي الماصة للصوت من هياكل خلوية متصلة ببعضها البعض، بينما تحتوي مواد امتصاص الصوت الليفية على الكثير من القنوات بين الألياف المركبة، ويمكن تصنيف رغوي امتصاص الصوت وفقاً للتركيب الكيميائي للمواد إلى ثلاث مجموعات وهي (رغوي عضوية (Organic foams)، رغوي غير عضوية (Inorganic foams)، رغوي هجينة (Hybrid foams) يتم فيها تغيير هياكل قنوات الرغوة وتصنيع الرغوي بأنواع مختلفة من الحشوات، أما ألياف امتصاص الصوت تصنف إلى (ألياف طبيعية عضوية (Natural fibers)، ألياف تركيبية اصطناعية (Synthetic fibers)، ألياف غير عضوية (Inorganic fibers)، حيث يكون لكل مادة معامل امتصاص خاص بها، وتشتت الطاقة الصوتية بسبب الفقد الحراري الناجم عن احتكاك جزيئات الهواء بجدران المسام (Cao et al., 2018).



الشكل (2) المواد المسامية المستخدمة لامتصاص الصوت (Cao et al., 2018).

وتتجلى أهمية البحث من خلال تصديه لهذه المشكلة، حيث تقوم هذه الدراسة على إجراء قياسات ميدانية لحساب مستويات الضوضاء المرورية في قسم من شارع عبد القادر الحسيني المقابل لكلية التربية _جامعة تشرين_ مدينة اللاذقية باستخدام جهاز من نوع XL2 ومقارنة هذه النتائج مع المستويات المسموح بها حسب المواصفة القياسية السورية الموضحة في الجدول (1)، حيث تكون مستويات الضوضاء بوحدة الديسيبل (dB) وهي كلمة مكونة من مقطعين:

← ديس وهي كلمة لاتينية تعني ($I/10$) لوغاريتم النسبة بين الضغط الناجم عن

موجة الصوت، والضغط المرجعي (0.00002 dyn/cm^2).

← ويل هو اسم الشهرة لمخترع الهاتف الكسندر غراهام بل (Beranek, 2009).

الجدول (1) المعايير المسموح بها لشدة الضوضاء في القطر العربي السوري
(Ministry of Local Administration and Environment No. 573, 2002)

الحد المسموح به لشدة الضوضاء في المناطق المختلفة dB			نوع المنطقة
7 صباحاً حتى 10 مساءً	6 مساءً حتى 10 مساءً	7 صباحاً حتى 6 مساءً	
55-45	60-50	65-55	المناطق التجارية والإدارية ووسط المدينة
50-40	55-45	60-50	المناطق السكنية وبها بعض الورش أو الأعمال التجارية أو على طريق عام
45-35	50-40	55-45	المناطق السكنية في المدينة
40-30	45-35	50-40	الصواحي السكنية مع وجود حركة ضعيفة
35-25	40-30	45-35	المناطق السكنية الريفية مستشفيات وحدائق
60-50	65-55	70-60	المناطق الصناعية (صناعات ثقيلة)

ومن ثم تصميم نموذج لحاجز باستخدام برنامج حاسوبي يقوم بإعطاء نتائج مستويات الضوضاء في مكان معين قبل وبعد وجود الحاجز اعتماداً على بيانات محددة، ثم مقارنة النتائج مع القياسات الميدانية للتأكد من دقة النموذج المصمم، وتصميم النموذج الأمثل لحواجز الضوضاء المرورية اعتماداً على هذه النتائج وتعميم النتائج على حالات مشابهة. وتوجد عدة برامج لنمذجة الضوضاء والتنبؤ بفعاليتها لحواجز الضوضاء المرورية منها Traffic Noise

Model (TNM) برنامج حاسوبي يُستخدم للتنبؤ بمستويات الضوضاء المرتبطة بالطرق السريعة، وتصميم حواجز الضوضاء المرورية، يشمل قاعدة بيانات واسعة لانبعاثات الضوضاء وخوارزميات صوتية حديثة لحساب مستويات الضوضاء على الطرق، يسمح هذا البرنامج بتقييم مستويات الضوضاء الحالية ويتنبأ بمستويات الضوضاء المستقبلية المتوقعة، ويمكن تحديد نوع الحاجز بإدخال معامل امتصاص الصوت للبرنامج واختبار عدة أنواع للوصول إلى نتائج التخفيض المطلوبة واختيار النوع الأفضل (Hastings, 2019).

ومن البرامج أيضاً Cadna A (Computer Aided Noise Abatement; DataKustik, Germany) وهو برنامج يستخدم للتنبؤ بمستوى الضوضاء مع حساب وتقييم وتوقع الضوضاء البيئية الناتجة عن (الصناعة، الطرق، السكك الحديدية)، ويقوم بتحسين تلقائي لحاجز ضوضاء واقف على طول شارع أو سكة حديدية، كما يقوم بمراقبة توزيع الضوضاء على جميع المسارات الموجودة وعرض سيناريوهات الحد من الضوضاء.

Predictor-LimA Software suite برنامجان تم دمج بياناتهما لتوفير أداة في التنبؤ بأي نوع من أنواع الضوضاء الذي يمكن أن يحدث (الصناعة، الطرق، السكك الحديدية) ومقارنة سيناريوهات الحد من الضوضاء (EMS Brüel & Kjær, 2019).

SoundPLAN برنامج من أوائل برامج تصميم نماذج حواجز الضوضاء، التي ظهرت لأول مرة في عام 1986، يقوم بالتنبؤ والتقييم ورسم خرائط لتوزيع الضوضاء البيئية، ويفيد في مشاريع تشييد الطرق الجديدة وتخطيطها لأنه يقدم خصائص تتعلق بتحسين حواجز الضوضاء باستخدام أدوات لتحليل العلاقة بين الكلفة والمردود، حيث تُظهر أدوات البرنامج المساحة التي يمكن تقليلها من الحاجز بالتالي تقليل تكاليف البناء (SoundPLAN software, 2019).

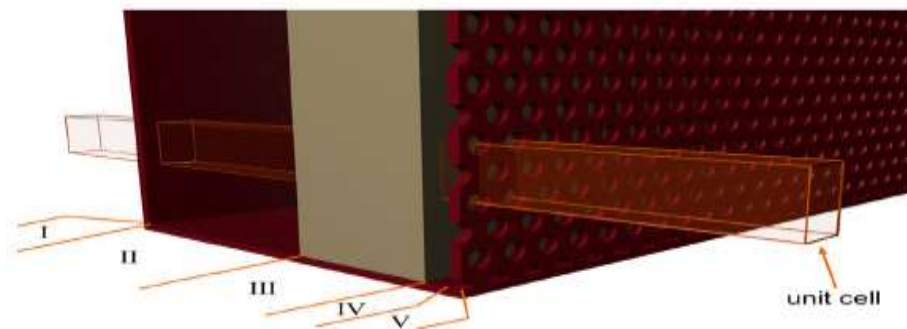
STAMINA برنامج تم تصميمه لتبسيط عملية نمذجة الضوضاء وتم تطويره مع برنامج المرافق OPTIMA الذي يحدد ارتفاعات حواجز وأطوال أكثر فاعلية، كما يمكن استخدام STAMINA للتنبؤ بمستويات الضوضاء المستقبلية من مشاريع الطرق المقترحة، يقوم البرنامج بنمذجة الضوضاء المرورية بمقارنة قيم STAMINA المحسوبة بمستويات الضوضاء المقاسة، فيشير إلى شدة تأثير مشروع الطريق على المستقبلات القريبة (Sonaviya et al., 2016).

وتم إجراء عدة دراسات لتقييم فاعلية حواجز ضوضاء مرورية باستخدام البرامج الحاسوبية السابقة منها دراسة فعالية حواجز الضوضاء ومقارنة دقة التنبؤ بمستوى الصوت بواسطة برنامج (TNM)، مع برنامج (STAMINA) بإصداراته 2.0 و 2.1، حيث تم قياس مستويات الصوت بالقرب من 20 حاجز في فلوريدا، ونتج عن المشروع 844 قياس لمستوى الصوت المكافئ (LAeq) لمدة 20 دقيقة قبل وبعد الحواجز الموجودة، وسمحت قاعدة البيانات الكبيرة

للقياسات بتقييم فعالية الحاجز واختبار دقة نموذج الكمبيوتر، وتبين تفوق برنامج TNM على إصدارات (STAMINA 2.0, 2.1) في التنبؤ بمستويات الصوت ومقدار التخفيض من قبل الحاجز وتوقع نتائج أفضل، ويُعتقد أن هذه النتيجة مرتبطة ارتباطاً مباشراً بحقيقة أن TNM يأخذ بعين الاعتبار تأثير الأرض ونوع الرصيف في وجود حاجز ضوضاء طويل، بينما STAMINA لا تفعل ذلك (Wayson et al., 2003).

كذلك تم تقييم فاعلية حواجز ضوضاء مرورية باستخدام طرق رياضية مثل طريقة العناصر المنتهية (FEM; Finite Element Method) والتي تتطلب حسابات رياضية كثيرة، ومن هذه الدراسات أجريت دراسة في فيينا لمحاكاة البنية الداخلية وقياس خصائص الامتصاص لحاجز ضوضاء بواسطة طريقة العناصر المنتهية (FEM) وهي طريقة تسمح بمحاكاة الهياكل الهندسية الدقيقة والمواد المختلفة في حواجز الضوضاء مثل الألواح المثقبة والألواح المسامية الامتصاصية، ويوضح الشكل (3) عرض ثلاثي الأبعاد لحاجز ضوضاء يعتمد مبدأ الكاسيت (Cassette) حيث أن

حاجز ضوضاء عنصر الكاسيت هو نظام صوتي قد يتكون من طبقات متعددة بمواد مختلفة ماصة للصوت (لوحة خلفية من الألمنيوم، لوحة أمامية مثقبة من الألمنيوم، فجوات هواء، وسائط مسامية عبارة عن مواد تحتوي على نسبة عالية من الهواء في حجمها، مثل الرغوي الاصطناعي أو المواد اللبيفية مثل الصوف الصخري، وتسبب مقاومة التدفق للهواء المتحرك الذي يحول جزءاً من الطاقة الحركية إلى حرارة، إذا تم وضعها في مسار انتشار الموجة الصوتية فإنها تعمل كاصوات صوتية)، يقوم بضبط وتحسين نسبة الإشارة والضوضاء الواردة أثناء التشغيل، وتم التوصل إلى أن نموذج FEM الذي تم تطويره في هذه الدراسة، يمكن استخدامه لأي نظام طبقات صوتية، وبالنسبة لمصنعي حواجز الضوضاء، تكمن فائدة هذا النموذج في إمكانية التنبؤ بمؤشر انعكاس الصوت الموجود بالفعل في مرحلة تطوير المنتج. لذلك، يمكن استخدامه لتحسين الهيكل الداخلي لحواجز الضوضاء ومواد الامتصاص دون نفقات بناء واختبار النموذج الأولية لحاجز الضوضاء (Reiter et al., 2017).



الشكل (3) عرض ثلاثي الأبعاد لحاجز ضوضاء يعتمد مبدأ الكاسيت (Cassette) (Reiter et al., 2017)

أما بالنسبة للنباتات فقد تم تقييم فاعلية تثبيت النباتات على الجدران كنظام عزل صوتي للمباني، حيث تركز الدراسة على وضع النباتات ومادة ماصة كركيزة قابلة لإعادة التدوير وصديقة للبيئة مثل ألياف جوز الهند، بحيث تمنع تبخر المياه من جذور النباتات، في صناديق إما من البلاستيك أو المعدن أحياناً، تكون مزروعة مسبقاً ومثبتة إلى هيكل أو مباشرة إلى جدار واجهة المبنى كما في الشكل (4)، تم إجراء اختبار امتصاص الصوت وفقاً لمعايير (UNE-EN ISO 354)، وأظهرت النتائج أن المادة الماصة تقوم بمنع ترددات الصوت المنخفضة، أما النباتات تقوم بمنع الترددات الأعلى، مؤشر خفض الصوت (Rw) (weighted sound reduction index) بمقدار 15dB ومعامل امتصاص الصوت (a) (weighted sound absorption coefficient) يبلغ $a=0.4$ (Azkorra et al., 2015).



الشكل (4) طريقة تثبيت النباتات على الجدران كنظام عزل صوتي للمباني (Azkorra et al., 2015).

وفي دراسة لـ (Halim et al., 2015)، تم مقارنة ثلاثة أنواع من حواجز الضوضاء هي: الغطاء النباتي، الكتل المجوفة الخرسانية الشكل (a) (5)، ولوحة خرسانية مسبقة الصب الشكل (b) (5)، حيث تم إجراء قياسات ميدانية باستخدام جهاز قياس الصوت (SLM) Sound level meter، وتم استخدام طريقة BEFORE غير المباشرة في موقع مكافئ. تتطلب الطريقة قياس الضوضاء في موقع به حاجز لتحديد مستويات الضوضاء بعد وجوده، ومجموعات أخرى من القياسات في موقع مكافئ دون وجود حاجز لتحديد المستويات المكافئة قبل، يجب قياس مجموعتي BEFORE و AFTER لقياس الضوضاء بطريقة BEFORE غير المباشرة في وقت واحد لضمان الظروف المكافئة لحركة المرور والأرصاء الجوية. ومع ذلك، من الصعب العثور على موقع مكافئ مثالي. تراوح فقدان الإدخال (IL) المسجل بواسطة الغطاء النباتي بين (0.3 و 2.2) dB(A)، وسجلت الكتل الخرسانية المجوفة أوسع نطاق لفقدان الإدخال تراوح بين (4.5 و 9.4) dB(A)، أما الألواح الخرسانية مسبقة الصب أظهرت قيمة ثابتة لفقدان الإدخال تجاوزت الحد الأدنى لقيمة فقدان الإدخال في النطاق من (5.8 و 8.2) dB(A) لجميع القياسات. سجلت حواجز الضوضاء للنباتات، والكتل المجوفة الخرسانية، واللوح الخرسانية مسبقة الصب، قيم فقدان إدخال تتراوح بين (0.2 و 1.5) dB(A) و (3.8 و 9.2) dB(A) و (7.0 و 8.4) dB(A) على التوالي خلال عطلات نهاية الأسبوع، أي أنّ الغطاء النباتي سجل أقل مقدار تخفيض للضوضاء في هذه الدراسة، على الرغم من أنّ الغطاء النباتي قد تم اقتراحه كمادة طبيعية لتقليل مستوى الضوضاء الخارجية، إلا أنه ليس مرتفعاً وكثيفاً بما يكفي لحماية المستقبلات بشكل فعال من ضوضاء الطريق السريع.



(b)



(a)

الشكل (5) الكتلة الخرسانية المجوفة (a) والألواح الخرسانية مسبقة الصب (b) (Halim et al., 2015)

وفي إسبانيا تم دراسة فاعلية تصميم نموذج للحواجز الصوتية المعتمد على أنابيب مصفوفة مبعثرة للصوت تسمى SCAS شاشات كريستال سونيك الصوتية مبينة في الشكل (6) وهي عبارة عن هياكل اصطناعية مكونة من أسطوانات صلبة (PVC) مشقوقة وملفوفة بطبقة من مادة مسامية (الصوف الصخري) ذات مقاومة عالية للصوت، وتم الاعتماد على 3 آليات لامتصاص الصوت (الفجوات (BG) Band Gaps التي تقوم بتشتيت الصوت، الامتصاص بطريقة Tunability أي التوليف وهي تقنية تسمح بضبط الموجة الواردة، والانكسار الانعراج عند الحافة العلوية للأسطوانات)، وتم التوصل إلى أن استخدام هذه التكنولوجيا يمكن من التحكم في الضوضاء لتقليل أهم أنواع الضوضاء التي تظهر في المدن وهي الضوضاء المرورية إضافة للجوانب الجمالية (Castiñeira-Ibañez et al., 2015).



الشكل (6) واجهات SCAS (Peiró-Torres *et al.*, 2016).

كما تم دراسة نموذج أولي لإعداد اختبار حاجز الضوضاء الكهروضوئي في مدينة Den Basch في هولندا، حيث تم الاستفادة من الحاجز من الجهتين كحاجز ضوضاء من جهة ومن الطاقة الشمسية من جهة أخرى (Faturrochman *et al.*, 2018).

وتم دراسة الفاعلية من تصميم حواجز الصوت المستوحاة من الأوريغامي (Origami) (تقنية طي الورق)، من قبل عدة باحثين من سنغافورة والصين، حيث تم استخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) لإجراء المقارنة بين فاعلية الحاجز الأوريغامي العاكس (ORB) (Origami Rigid Barrier)، والحاجز الأوريغامي الامتصاصي (Origami Absorptive Barrier) (OAB) المؤلف من حاجز أوريغامي عاكس وفوقه غشاء دقيق مثقب مصنوع من ألياف الكربون كمادة امتصاصية، كما هو موضح في الشكل (7)، تم عرض معامل الامتصاص المتوقع باستخدام طريقة FEM، كانت قيمة معامل الامتصاص ($a > 0.5$) عند الترددات من 700 هرتز إلى 1400 هرتز لوحدة الامتصاص ذات تجويف الأوريغامي، وتم التوصل إلى أنها تقل بشكل كبير من انتقال الصوت، يمكن أن توفر هذه الحواجز المستوحاة من الأوريغامي تخفيضاً صوتياً محسناً عن الحواجز التقليدية، وفي الوقت نفسه تقدم مزايا عملية من حيث البساطة، إمكانية النقل، إعادة التشكيل والتكلفة المنخفضة (Yu *et al.*, 2019).



الشكل (7) حاجز أوريغامي عاكس صلب (ORB)، وحاجز أوريغامي امتصاصي (OAB) (Yu *et al.*, 2019).

2-1 مشكلة البحث

تتمثل المشكلة العملية في معاناة الطلاب في الكليات القريبة من باب المواصلات من الضوضاء الناجمة عن الازدحام المروري في المنطقة.

أما المشكلة العلمية تتمثل بعدم توظيف نماذج تصميم حواجز ذات فعالية في منع وصول الضوضاء للكليات في الجهة الجنوبية من الجامعة القريبة من باب المواصلات، وتراعي النواحي الجمالية والاقتصادية بنفس الوقت.

أهمية البحث وأهدافه:

3-1 أهمية البحث

تتجلى أهمية البحث من خلال تصديه لمشكلة كبيرة وهي الضوضاء، حيث سيتم اختبار النموذج الأمثل لتصميم حواجز الضوضاء المرورية وتخفيض هذه الضوضاء الواصلة للمستقبلات وتعميم النتائج على حالات مشابهة.

4-1 أهداف البحث

- تقييم واقع الضوضاء المرورية في المنطقة ومقارنته مع المواصفة القياسية السورية للمناطق السكنية والواقعة على طريق عام.
- التحقق من أداء برنامج التنبؤ بالضوضاء المرورية TNM3، واقتراح التصميم الأمثل لحاجز الضوضاء (ارتفاع، سماكة، نوع المادة) الذي يقوم بتخفيف الضوضاء المرورية بين الطريق ومباني الجامعة بمساعدة هذا البرنامج، والذي يتناسب مع الناحية المعمارية الجمالية لواجهة الجامعة الجنوبية.

طرائق البحث ومواده:

1-2 منطقة الدراسة

واجهة كلية التربية المظلة على شارع عبد القادر الحسيني _ جامعة تشرين_ مدينة اللاذقية، حيث أن الكلية تبعد مسافة 15m عن الشارع كما هو مبين في الشكل (8).



الشكل (8) صورة جوية لمنطقة الدراسة _اللاذقية_ جامعة تشرين_ كلية التربية المظلة على شارع عبد القادر الحسيني.

2-2 الجهاز المستخدم في عملية القياس

تم قياس مستوى الضوضاء المرورية بواسطة جهاز قياس الصوت (Audio and Acoustic Analyzer XL2-NTi) والمبين في الشكل (9) مع الأدوات المساعدة المرفقة به.



الشكل (9) جهاز قياس الصوت (Audio and Acoustic Analyzer XL2-NTi)

يتم تركيب جهاز القياس XL2 في المكان المراد حساب مستوى ضغط الصوت فيه، ويتم وضع فلتر على ميكروفون القياس لإلغاء تأثير الرياح، وقبل إجراء القياسات تتم معايرة الجهاز باستخدام جهاز معايرة من نوع Qc-20 (quietcomfort-20). ويعرض XL2 ثلاث أو خمس نتائج في وقت واحد حيث نلاحظ في الشكل (9) صفحة النتائج الرقمية التي تعرض ما يلي:

L_{Aeq} نتائج مستوى ضغط الصوت المكافئ، ويعرف بأنه الضجيج الثابت والمستمر خلال فترة التعرض لمصدر الضوضاء والذي يعطي بمجموعه نفس الشدة الصوتية للضجيج الحقيقي المتغير وذلك خلال نفس الفترة الزمنية، حيث أن مستوى الضجيج يتحدد بقوة الصوت ومدّة التعرض له، والمؤشر الأساسي لذلك هو مستوى الضجيج المكافئ، ويشيع استخدام النطاق A -weighted في تحليل حركة المرور من أجل محاكاة استجابة الأذن البشرية للضوضاء، ويتم إعادة تجميع النتائج لإعطاء مستويات الضوضاء في النطاق A (Mahmoud, Issa, 2013).

L_{Amax} نتائج الحد الأقصى لمستوى ضغط الصوت بواسطة المرشح A.
 L_{Cpeak} مرشح التردد C وفقاً للمواصفة IEC 61672 قابل للتطبيق على مستويات ضغط الصوت العالية جداً (XL2) (NTi Audio, 2019).

تعتمد الأجهزة التي تستخدم لقياس شدة الضوضاء على قياس ضغط الصوت، ويعطى مستوى ضغط الصوت بالعلاقة:

$$L = \text{Sound Pressure Level} = 10 \log \left(\frac{\text{Signal Power}}{\text{Reference Power}} \right)$$

إن قدرة الإشارة الصوتية تتعلق بمربع الضغط لذلك يمكن كتابة هذه المعادلة بالشكل:

$$L = 10 \log \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

إذ يرمز P ضغط الصوت من المصدر، P_{ref} قيمة مرجعية للضغط وهي تعادل عتبة السمع لدى الإنسان وهي 20 ميكروباسكال. عندما تكون $P = P_{ref}$ أي أن $L = 0$ [dB(A)] فهي تقابل الصمت الكلي تقريباً. ويكون الصوت الذي شدته 10 [dB(A)] أكبر ب 10 مرات، والصوت الذي شدته 20 [dB(A)] أكبر ب 100 مرة وهكذا. أي أنه عند ارتفاع ضغط الصوت بمقدار 10 [dB(A)] فإن مستوى الضوضاء يزيد بمقدار 10 أمثال، هذا يعني أنه عند وجود فارق بسيط في المقياس فهذا يعني ارتفاع صوت كبير على أرض الواقع (Saleh, 2013).

2-3 تطبيق برنامج TNM3 للتنبؤ بالضوضاء المرورية

تم اختيار برنامج TNM التطبيق البرمجي للإدارة الفيدرالية للطرق السريعة للتنبؤ بالضوضاء المرورية على الطرق السريعة وتحليلها (FHWA TNM) (Federal Highway Administration's Traffic Noise Model)

الإصدار 3.0 في المنطقة، وهو نموذج هندسي يُستخدم للتنبؤ بمستويات الضوضاء المرتبطة بالطرق السريعة، يعتمد على تقسيم الطريق إلى قطاعات صغيرة ويقوم بإعطاء نتائج مستويات الضوضاء في مكان معين قبل وبعد وجود الحاجز اعتماداً على بيانات محددة تتعلق بنوع السيارة وسرعتها، انحدار الطريق ونوع الطريق، الكثافة المرورية، الإحداثيات الجغرافية لكل من المستقبلات، الحاجز، والطريق، بالإضافة إلى الظروف الجوية. يسمح هذا البرنامج بتقييم مستويات الضوضاء الحالية ويتنبأ بمستويات الضوضاء المستقبلية المتوقعة بعد إدخال البيانات السابقة. يتضمن TNM قاعدة بيانات لمستويات انبعاث الضوضاء المتعلقة بالسرعة لمجموعة متنوعة من أنواع المركبات (السيارات والشاحنات المتوسطة والشاحنات الثقيلة). يقوم بحساب التعديلات على تدفق حركة المرور والحجم والسرعة وهندسة الطرق، والحماية بواسطة الحواجز وغيرها بين المصدر والمستقبل، وترتبط هذه العوامل بالمعادلة الآتية:

$$LA_{eq,1h} = EL_i + A_{traff(i)} + A_d + A_s$$

حيث تمثل EL_i مستوى انبعاث الضوضاء من العربة حسب نوع العربة.

$A_{traff(i)}$ تمثل الضبط لحجم العربة وسرعتها حسب نوع العربة.

A_d تمثل تعديلات المسافة بين الطريق والمستقبل وطول الطريق.

A_s تمثل الضبط لجميع تأثيرات الحماية بواسطة الحواجز بين المصدر والمستقبل، وتأثيرات الأرض بين الطريق والمستقبل.

تعتمد الخوارزميات الصوتية التي يستخدمها البرنامج على مجالين رئيسيين هما تأثيرات الأرض، والانكسار (Diffraction) عن سطح الحاجز، ويفترض نموذج التأثيرات الأرضية أن الصوت ينتشر من مصدر الصوت إلى المستقبل على طول نوعين من المسارات، مباشر وغير مباشر. تتبع المسارات المباشرة خطاً مستقيماً من المصدر إلى المستقبل. يمكن أن تكون المسارات غير المباشرة مزيجاً من الانعكاسات أو الانحرافات أو كليهما. يتم حساب انتشار الصوت من قبل البرنامج من خلال حساب تأثير امتصاص الأرض والغلاف الجوي، والانتشار الهندسي للطاقة الصوتية عبر المسافة، والتضاريس، والحواجز التي من صنع الإنسان، والنباتات، وصفوف المباني. ويشمل برنامج TNM الإصدار 3.0 تحسينات عن الإصدارات السابقة منه أهمها مساعدة المستخدم في تصميم الطرق بدقة عن طريق استخدام الخرائط، والقدرة على التعامل مع كافة نقاط الطريق حتى التي تختلف بالعرض، والقدرة على التحكم في التدفق المروري في أي نقطة من الطريق في كافة الأوقات الصباحية والمسائية، كما يدرس حالات مختلفة لنوع الرصف للطريق، ويختلف كل نوع من هذه الأنواع في قدرته على امتصاص الصوت أو انعكاسه، ويعد حساب الحماية من الضوضاء بواسطة الحواجز أحد الأهداف الأساسية لـ TNM، حيث يمثل الحواجز بنقاط أساسية (أرضية)، وارتفاع، ومعامل تقليل الضوضاء Noise Reduction Coefficients (NRC) لسطح الحاجز، ويحدد المساحة الكلية للحاجز، والتكلفة الإجمالية حسب المواصفات المقترحة له، حيث إنّ معامل تقليل الضوضاء (NRC) هو التصنيف القياسي لتحديد قدرة مادة ما على امتصاص الصوت، والذي يتراوح بين [0 – 1]، يدلنا على مقدار الصوت الذي تمتصه المادة وكذلك مدى انعكاسه، فإذا كانت مادة لديها NRC يساوي 0.90 أي أنها تمتص 90% من الصوت وتعكس الـ 10% المتبقية من الموجات الصوتية مرة أخرى باتجاه المصدر.

النتائج والمناقشة:**3-1 نتائج القياسات الميدانية بالجهاز**

تم قياس مستوى الضوضاء الواصلة إلى القاعات المتأثرة داخل الكلية (مستقبلات الضوضاء) والتي تطل على الشارع في الطوابق الثلاثة (الأول والثاني والثالث) والتي تقع على ارتفاعات (4m، 7m، 10m) على التوالي وتقع على مسافة 15m عن الطريق، باستخدام جهاز قياس الصوت XL2 على فترات متفاوتة (1-12) ظهراً، (2-3) ظهراً، وفي أيام مختلفة من فصول السنة، تبين أن متوسط قيم الضوضاء الواصلة إلى المستقبل التي تحدث في الفترة بين (2-3) ظهراً أكبر منها في الفترة (1-12) ظهراً، لذلك تم اعتمادها كساعة الذروة، ويبين الجدول (2) متوسط مستويات الضوضاء في الطوابق الثلاثة في ساعة الذروة في شهر تشرين الثاني، للمقارنة بين النتائج عند نفس الظروف الجوية، حيث تم القياس لمدة 5 أيام لكل طابق وحساب المتوسط الحسابي لكل منها.

الجدول (2) متوسط قيم الضوضاء dB(A) خلال 5 أيام لكل طابق في شهر تشرين الثاني في ساعة الذروة (2-3) ظهراً

متوسط القيم	اليوم الخامس	اليوم الرابع	اليوم الثالث	اليوم الثاني	اليوم الاول	ساعة القياس 2-3 ظهراً	ارتفاع الطابق
68.64	68.1	68	68.9	69.2	69	dB(A)	الأول 4m
69.42	69.1	69.5	69.9	69.4	69.2	dB(A)	الثاني 7m
69.98	69.63	69.9	70.27	70.11	70	dB(A)	الثالث 10m

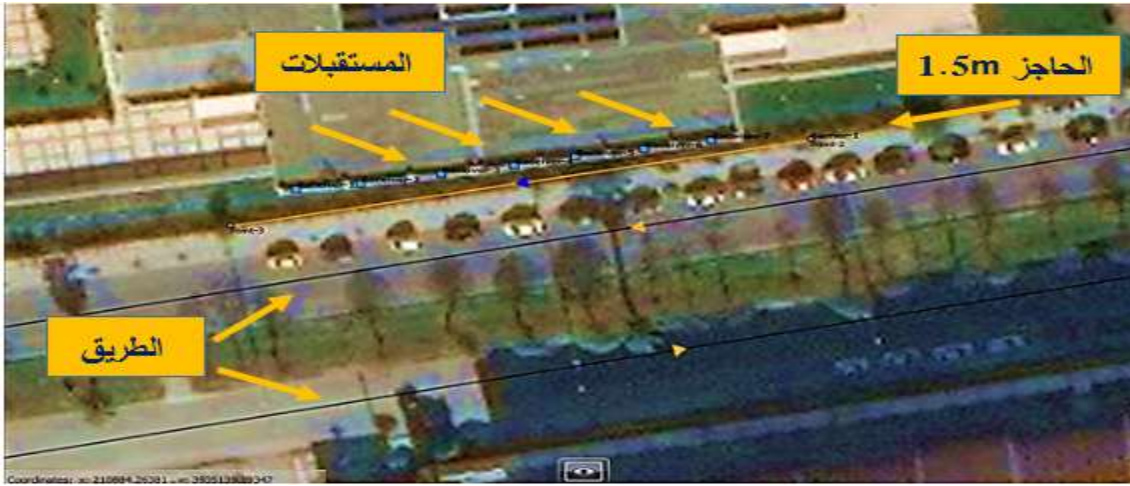
تبين من الجدول (2)، أن مستويات الضوضاء في الطابق الثالث هي الأكبر لأنه الأكثر ارتفاعاً، ومتوسط نتائج القياسات الميدانية للطوابق الأول والثاني والثالث (68.64 ± 0.55 ، 69.42 ± 0.31 ، 69.98 ± 0.24) dB على الترتيب في ساعة الذروة، في شهر تشرين الثاني 2021، أي أنّ هذه القيم تتجاوز الحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية السورية 55dB للمناطق السكنية (وزارة الإدارة المحلية والبيئة، 2002). كما تم حساب متوسط قيم الضوضاء dB(A) الواصلة إلى المستقبل ذي الارتفاع 1.5m على بعد 10m عن الحاجز ذي الارتفاع 1.5m، خلال 5 أيام من الأسبوع في شهر تشرين الثاني، فكانت النتائج موضحة في الجدول (3)

الجدول (3) متوسط مستويات الضوضاء الواصلة إلى مستقبل بارتفاع 1.5m ومسافة 10m عن الحاجز ذي الارتفاع 1.5m خلال 5 أيام من شهر تشرين الثاني في ساعة الذروة (2-3) ظهراً

أيام القياس	ارتفاع المستقبل m	ارتفاع الحاجز m	بعد المستقبل عن الحاجز m	مستوى الضوضاء بعد الحاجز dB
اليوم الأول	1.5m	1.5m	10m	69.5
اليوم الثاني				69.7
اليوم الثالث				69.9
اليوم الرابع				70.3
اليوم الخامس				69
متوسط قياسات الأيام الخمسة				ave= 69.67

3-2 نتائج النموذج المصمم في برنامج TNM3.0

بإدخال البيانات المتعلقة بموقع المنطقة حسب النظام الجيوديزي العالمي 1984 World Geodetic System، ونظام الإحداثيات UTM (Universal Transverse Mercator) الذي يقسم العالم إلى ستين منطقة، (WGS1984UTMZone37N). والوحدات المستخدمة بالمتري (Units: Meter)، والظروف الجوية (الحرارة الوسطية $20^{\circ}C$ ، والرطوبة النسبية (50%)، ونوع الأرض Pavement، ومستوى الضوضاء المطلوب إعطاؤه $L_{Aeq}[dB]$ ، للبرنامج، بافتراض درجة الحرارة الوسطية $20^{\circ}C$ ، والرطوبة النسبية (50-70)% في فصل الشتاء، و(70-80)% في فصل الصيف في اللاذقية حسب محطة الأرصاد الجوية (weather-forecast, 2022). وإدخال الإحداثيات الجغرافية للطريق، والحاجز، والمستقبلات، وتحديد عرض الطريق ونوعه، وارتفاعات كل من الحاجز والمستقبلات، حصلنا على الشكل (10).



الشكل (10) موقع المستقبلات والطريق والحاجز بعد إدخال الإحداثيات الحقيقية لكل منها

وبإدخال البيانات الحقيقية المتعلقة بالكثافة المرورية على الطريق بالاتجاهين لثلاثة أنواع من المركبات (خفيفة، متوسطة، وثقيلة) في وقت الذروة، حصلنا على قيم الكثافة المرورية المبينة في الجدول (4)، حيث تم حساب متوسط حركة المرور اليومية (Average Daily Traffic) (ADT)، وهو متوسط عدد المركبات التي تسافر عبر نقطة معينة من الطريق خلال فترة زمنية قصيرة (غالباً 7 أيام أو أقل)، يتم تقديرها بقسمة إجمالي الأحجام اليومية خلال فترة زمنية محددة على عدد أيام هذه الفترة، وهي الوحدة الأساسية المستخدمة لمراقبة حركة المرور والتنبؤ بها، ثم حساب حجم التصميم الساعي للطريق ثنائي الاتجاه (Design Hour Volume) (DHV)، والذي يكون عادة (8-12)% من ADT، أي:

$$DHV=K*ADT$$

حيث أن K عامل يدل على نسبة متوسط حركة المرور اليومية التي تحدث في ساعة الذروة، أي حجم التصميم الساعي (DHV). ويتراوح من 8% إلى 12% اعتماداً على ما إذا كانت المنشأة في منطقة حضرية أو ضواحي أو ريفية، حيث تكون قيمته الأعلى للمرافق الترفيهية، تليها المرافق الريفية، والأدنى للمرافق الحضرية (Hastings, 2019).

الجدول (4) الكثافة المرورية في ساعة الذروة على الطريق المقابل لكلية التربية-جامعة تشرين - اللاذقية، بالاتجاهين لثلاثة أنواع من المركبات (خفيفة، متوسطة، وثقيلة)، وبافتراض أن سرعة السيارات (40 Km/h) على الطريق السريع، و $k=10.5\%$

نوع العربة	متوسط حجم التدفق المروري للاتجاه الشرقي للطريق	متوسط حجم التدفق المروري للاتجاه الغربي للطريق
سيارات خفيفة	2150	1750
عربات متوسطة الحجم	509	504
شاحنات ثقيلة	10	10

بعد إدخال البيانات السابقة للبرنامج نحصل على مستويات الضوضاء قبل وبعد وجود حاجز wall بمعامل تخفيض ضوضاء 0.4، بارتفاع 1.5m، وارتفاع مستقبل 1.5m وبعد مستقبل 10m عن الحاجز، كما هو موضح في الجدول (5).

الجدول (5) مستويات الضوضاء قبل وبعد وجود حاجز wall بارتفاع 1.5m وارتفاع مستقبل 1.5m وبعد مستقبل 10m عن الحاجز ومتوسط النتائج average

ارتفاع المستقبل m	ارتفاع الحاجز m	معامل تخفيض الضوضاء للحاجز dB	بعد المستقبل عن الحاجز m	L _{Aeq} (dB) قبل وجود حاجز dB	L _{Aeq} (dB) بعد وجود حاجز dB	مقدار التخفيض dB
1.5	1.5	0.4	10	69.64	69.67	لا يوجد
				70.00	70.00	
				70.13	70.13	
				70.23	70.23	
				69.98	69.98	
				70.24	70.24	
				70.57	70.57	
				ave = 70.11	ave = 70.11	

بمقارنة النتائج بين مستويات الضوضاء الواصلة إلى المستقبلات بعد وجود حاجز بارتفاع 1.5m، التي يعطيها البرنامج والموضحة في الجدول (5)، ونتائج القياسات الميدانية الموضحة في الجدول (3)، عند نفس البارامترات، نلاحظ أن الاختلاف بين النتائج لا يتجاوز 0.5dB، وبذلك تم التحقق من أداء البرنامج في المنطقة. ثم تم اختبار عدة معاملات امتصاص للصوت تختلف باختلاف المادة بدءاً من 0.4 الموافقة لحاجز نباتي على سبيل المثال انتهاءً بـ 0.95 الموافق لحاجز مكون من عدة طبقات من ألياف مواد عالية الامتصاص للصوت، كما تم اختبار عدة ارتفاعات للحاجز من 1m إلى 4m، واختبار تغير المسافة بين المستقبل والحاجز، حتى التوصل إلى الأبعاد المناسبة وارتفاع ونوع الحاجز الأمثل، فتم الحصول على النتائج المبينة في الجداول (6)، (7)، (8)

الجدول (6) متوسط قيم الضوضاء الواصلة إلى المستقبل (الطابق الأول 4m) قبل وبعد وجود الحاجز مع اختبار أبعاد مختلفة للمستقبل
عن الحاجز ولارتفاع الحاجز ومعامل تخفيضه للضوضاء NRC

ارتفاع الطابق الأول 4m									
40m		30m		20m		10m		بعد المستقبل عن الحاجز	
بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	مستويات الضوضاء dB	ارتفاع الحاجز
8	7	6	5	4	3	2	1	معامل الامتصاص	
60.06	60.82	62.36	62.36	64.7	64.7	69.03	69.13	0.4	1m
60.05	60.82	62.36	62.36	64.7	64.7	69.03	69.13	0.6	
60.05	60.82	62.36	62.36	64.7	64.7	69.03	69.13	0.95	
57.04	60.82	60.18	62.36	62.52	64.7	69.2	69.13	0.4	2m
57.04	60.82	60.17	62.36	62.52	64.7	69.2	69.13	0.6	
57.01	60.82	60.16	62.36	62.51	64.7	69.2	69.13	0.95	
53.76	60.82	54.96	62.36	57	64.7	67.22	69.13	0.4	3m
53.74	60.82	54.95	62.36	56.99	64.7	67.21	69.13	0.6	
53.69	60.82	54.91	62.36	56.95	64.7	67.21	69.13	0.95	
50.61	60.82	51.81	62.36	53.67	64.7	59.97	69.13	0.4	4m
50.51	60.82	51.71	62.36	53.56	64.7	59.83	69.13	0.6	
50.21	60.82	51.41	62.36	53.26	64.7	59.45	69.13	0.95	

الجدول (7) متوسط قيم الضوضاء الواصلة إلى المستقبل (الطابق الثاني 7m) قبل وبعد وجود الحاجز مع اختبار أبعاد مختلفة للمستقبل
عن الحاجز ولارتفاع الحاجز ومعامل تخفيضه للضوضاء NRC

ارتفاع الطابق الثاني 7m									
40m		30m		20m		10m		بعد المستقبل عن الحاجز	
بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	مستويات الضوضاء dB	ارتفاع الحاجز
8	7	6	5	4	3	2	1	معامل الامتصاص	
61.72	61.72	63.42	63.42	65.43	65.43	69.13	69.2	0.4	1m
61.72	61.72	63.42	63.42	65.43	65.43	69.13	69.2	0.6	
61.72	61.72	63.42	63.42	65.43	65.43	69.13	69.2	0.95	
60.12	61.72	61.69	63.42	64.64	65.43	69.13	69.2	0.4	2m
60.12	61.72	61.69	63.42	64.64	65.43	69.13	69.2	0.6	
60.12	61.72	61.69	63.42	64.64	65.43	69.13	69.2	0.95	
56.74	61.72	59.48	63.42	62.58	65.43	69.13	69.2	0.4	3m
56.74	61.72	59.47	63.42	62.57	65.43	69.13	69.2	0.6	
56.73	61.72	59.47	63.42	62.57	65.43	69.13	69.2	0.95	
53.41	61.72	55.52	63.42	59.37	65.43	69.13	69.2	0.4	4m
53.4	61.72	55.52	63.42	59.36	65.43	69.13	69.2	0.6	
53.39	61.72	55.49	63.42	59.35	65.43	69.13	69.2	0.95	

الجدول (8) متوسط قيم الضوضاء الواصلة إلى المستقبل (الطابق الثالث 10m) قبل وبعد وجود الحاجز مع اختبار أبعاد مختلفة للمستقبل عن الحاجز ولا ارتفاع الحاجز ومعامل تخفيضه للضوضاء NRC

ارتفاع الطابق الثالث 10m									
40m		30m		20m		10m		بعد المستقبل عن الحاجز	
بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	مستويات الضوضاء dB	
8	7	6	5	4	3	2	1	معامل الأمتصاص	ارتفاع الحاجز
62.54	62.54	63.94	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.4	1m
62.54	62.54	63.94	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.6	
62.54	62.54	63.94	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.95	
61.02	62.54	63.88	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.4	2m
61.02	62.54	63.88	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.6	
61.02	62.54	63.88	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.95	
59.33	62.54	61.93	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.4	3m
59.33	62.54	61.93	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.6	
59.33	62.54	61.93	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.95	
57.06	62.54	60.2	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.4	4m
57.06	62.54	60.2	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.6	
57.05	62.54	60.19	63.94	65.77	65.77	69.4	69.4	0.95	

تبيّن من النتائج الموضحة في الجداول (6، 7، 8) أنه لم يتحقق تخفيض الضوضاء المطلوب للطوابق الثلاثة عند بعد للمستقبل 10m عن الحاجز حسب موقع كلية التربية عن السور الموجود في المنطقة، مهما كان ارتفاع الحاجز ونوعه، بينما حقّق الحاجز نو الارتفاع 4m بمعاملات التخفيض المختلفة، عند بعد مستقبل 40m عن الحاجز، التخفيض المطلوب في الفترة النهارية حسب المواصفة القياسية السورية لجميع الطوابق المذكورة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. إن متوسط نتائج القياسات الميدانية للطوابق الأولى والثاني والثالث (68.64± 0.55 ، 69.42± 0.31 ، 69.98± 0.24) dB على الترتيب في الساعة الثانية ظهراً والتي اعتُبرت ساعة الذروة، أي أن هذه القيم تتجاوز الحدود المسموح بها حسب المواصفات القياسية السورية 55dB للمناطق السكنية.
2. أعطى البرنامج مستوى الضوضاء المكافئة LAeq في حالة الدراسة حسب البيانات المدخلة (الكثافة المرورية، الأبعاد المكانية للمستقبلات والحاجز والطريق والارتفاعات، درجة الحرارة، الرطوبة ونوع الرصيف) وتمت مقارنة هذه القيم مع قيم الضوضاء الحقيقية الناتجة عن القياس بالجهاز وكان الاختلاف لا يتجاوز (0.5dB).
3. عند اختبار عدة ارتفاعات لحاجز الضوضاء المقترح باستخدام المحاكاة، حسب الأبعاد الحقيقية أي ترك المسافة بين المستقبل والحاجز (10m) وبين الحاجز والمصدر (5m) كما هي في الواقع، لم نحصل على أي تخفيض معنوي إلا عند ارتفاعات عالية غير اقتصادية للحاجز ولكن عند تعديل المسافة على البرنامج بين المستقبل والحاجز بزيادتها، وبين الحاجز والطريق، واختبار عدة ارتفاعات للحاجز، أمّن ارتفاع الحاجز 4m التخفيض المطلوب حيث أصبح مستوى الضوضاء الواصلة إلى المستقبلات ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفة القياسية السورية.

وأظهرت المحاكاة أن الجدار ذو معامل تخفيض الضوضاء ($NRC=0.95$) كان الأفضل مقارنة مع الحواجز التي تملك معامل تخفيض أقل ($NRC=0.4$)، تشير النتائج إلى أن مستويات الصوت تتغير باختلاف المسافة بين المستقبل والحاجز ومع الارتفاع فوق مستوى الأرض، مما يبين فائدة استخدام برامج التنبؤ بالضوضاء المرورية وتصميم الحواجز قبل إنشاء المنشآت الحساسة للضوضاء كالجوامع والمدارس والمشافي. إذ في حال القرب الشديد للمستقبل من مصدر الضوضاء لا تؤمن الحواجز الحماية اللازمة مهما كان ارتفاعها أو نوع المادة المصنوعة منها، كما لا بد من مراعاة الناحية الجمالية والاقتصادية وذلك بتوظيف النباتات المحلية دائمة الخضرة.

أظهرت نتائج القياسات الميدانية تجاوز الحدود المسموح بها للضوضاء وفق المواصفة القياسية السورية لذلك لا بد من البحث عن طرق لمكافحة هذه الضوضاء وتخفيضها في المنشآت القائمة وتجنب هذه المشكلة من أجل المناطق المحدثة لاحقاً، وهناك عدة توصيات تتلخص بما يلي:

1. يوصى بالنسبة لحالة الدراسة من أجل تحقيق التخفيض المطلوب للمستقبلات التي تقع على بعد 10m عن الحاجز، بتحسين مواصفات الجدران الخارجية بتركيب مواد عازلة للصوت، تركيب نوافذ زجاجية مزدوجة لحمايتها من الضوضاء، فمن خلال الفراغ الموجود بين الألواح، يتم تشتيت الصوت وفقدان معظمه. كما يمكن استخدام مواد لرصف الطريق تكون عازلة وماصة للصوت، حيث يلعب نوع الرصيف دور كبير في امتصاص الصوت أيضاً، وهو من العوامل التي يأخذها البرنامج TNM3 بعين الاعتبار، حيث تتضمن قاعدة البيانات مستويات انبعاث الضوضاء من المركبات على أنواع رصيف متعددة. كما يوصى بتقييد دخول السيارات الشاحنة من الطريق المقابل للجزء الجنوبي من الجامعة في فترة الدوام حتى الساعة الثالثة ظهراً، بشكل لا يعيق الحركة التجارية أو الصناعية فيها.
2. إعادة النظر بنظام البناء وتدرجه في المقطع العرضي، حيث من الأفضل أن تكون الأبنية الأقل ارتفاعاً واقعة بالقرب من الطريق، ومن ثم الأبنية الأكثر ارتفاعاً متدرجة إلى الداخل.
3. أهمية أخذ الآثار السلبية للضوضاء بعين الاعتبار عند دراسة الأثر البيئي واختيار الموقع المناسب للمنشأة، للتأكد من أن مستويات الضوضاء ستكون ضمن الحدود المسموحة وفق المواصفات القياسية السورية والموافقة لنوع المنشأة.
4. تركيز الأبحاث باتجاه استخدام الحواجز الخضراء التي تستخدم التربة والنباتات ذات معاملات تخفيض الضوضاء العالية للتخفيف من ضوضاء حركة المرور (المقارنة بين أنواع النباتات الداخلة في التصميم، تصاميم مختلفة للحاجز، استدامة الحاجز، التنفيذ الإنشائي). من المتوقع أن يقدم هذا النوع من الحواجز العديد من الفوائد عند مقارنته بحواجز الضوضاء التقليدية. من بين هذه الفوائد: عملية البناء التي من المتوقع أن يكون لها تأثير أقل على البيئة؛ هيكل يوفر الجمال الجمالي للمنطقة المحيطة؛ هيكل يمكنه حجب وامتصاص كمية كبيرة من ملوثات الهواء؛ والأهم من ذلك هيكل يوفر خفضاً تنافسياً للضوضاء نظراً لكونه الأساسي مصنوع من التربة وسطحه النباتي الذي يمكن أن يمتص ويعكس ضوضاء المرور.
5. تجربة الأسطح غير التقليدية كالأوريغامي والألواح المثقبة إضافة إلى الحشوات الجديدة كالبيتون الرغوي والمواد المسامية، ومراعاة وجود فراغات هوائية ضمن الحاجز وذلك مخبرياً، حاسوبياً وبالابعاد الحقيقية إن أمكن.

References:

- ATHEER, M. (2011). The effect of using the theory of barriers to reduce the level of internal noise of the factory in raising the efficiency of performance (a case study in the Al-Furat State Company for Chemical Industries / Plastic Bags Factory). *Journal of Management and Economics*, Volume 34, Issue 90.
- AZKORRA, Z, PÉREZ, G, COMA, J, CABEZA, LF, BURÉS, S, ÁLVARO, JE, ERKOREKA, A, URRESTARAZU, M. *Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings*. *Applied Acoustics*. 2015 Mar 1;89:46-56.
- BERANEK, L. 2009. *Phonetics*, (translated by Yousra Mustafa, Mohamed Touhami), Faculty of Science, University of the Seventh of April, 1986.
- CAO, L, FU, Q, SI, Y, DING, B, YU, J. *Porous materials for sound absorption*. *Composites Communications*. 2018 Dec 1;10:25-35.
- CASTIÑEIRA-IBÁÑEZ, S, RUBIO, C, SÁNCHEZ-PÉREZ, JV. Environmental noise control during its transmission phase to protect buildings. Design model for acoustic barriers based on arrays of isolated scatterers. *Building and Environment*. 2015 Nov 1;93:179-85.
- EMS Brüel & Kjær, Download Predictor-LimA Software, <https://www.emsbk.com/predictor-lima-download>, Accessed at 12/3/2019.
- FATURROCHMAN, GJ, DE JONG, MM, SANTBERGEN, R, FOLKERTS, W, ZEMAN, M, SMETS, AH. *Maximizing annual yield of bifacial photovoltaic noise barriers*. *Solar Energy*. 2018 Mar 1;162:300-5.
- HALIM, H, ABDULLAH, R, ALI, AA, NOR, MJ. *Effectiveness of existing noise barriers: comparison between vegetation, concrete hollow block, and panel concrete*. *Procedia Environmental Sciences*. 2015 Jan 1;30:217-21.
- HASTINGS, AL. *Traffic Noise Model 3.0: Technical Manual*. United States. Federal Highway Administration; 2019 Dec 31.
- MAHMOUD, H, ISSA, H. *Analysis and mapping of road traffic noise in Lattakia city*. *Tishreen University Journal*, 35, 7, 2013.
- Ministry of Local Administration and Environment, Public Authority for Environmental Affairs "Noise, permissible limits for sound intensity and duration of safe exposure", Resolution No. 573. approved by the Environmental Protection Council on 10/13/2002.
- PEIRÓ-TORRES, MD, REDONDO, J, BRAVO, JM, PÉREZ, JS. *Open noise barriers based on sonic crystals*. *Advances in noise control in transport infrastructures*. *Transportation research procedia*. 2016 Jan 1;18:392-8.
- REITER, P, WEHR, R, ZIEGELWANGER, H. *Simulation and measurement of noise barrier sound-reflection properties*. *Applied Acoustics*. 2017 Aug 1;123:133-42.
- SALEH, K. "*Study and Modeling of Noise from Transportation Vehicles in the City of Lattakia*", Master's Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. 2013.
- SONAVIYA, D, TANDEL, B. A Quick review on noise propagation models and software. Conference ICSBE. Dec 2016. Srilanka.
- SOUND FIGHTER SYSTEM, Roads and Highways, www.Soundfighter.com, Accessed at 13/3/2019.
- Wayson R, MacDonald J, EI-Assar A, Lindeman W, Berrios M. Florida Noise barrier evaluation and computer model validation. *Transportation research record*. 2003;1859(1):72-8.

XL2 NTi Audio, Operating Manual Handheld Audio and Acoustic Analyzer, Version 4.21.02 / 23. July (2019). <https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/XL2-TA-Manual.pdf>.

YU, X, FANG, H, CUI, F, CHENG, L, LU, Z. Origami-inspired foldable sound barrier designs. Journal of Sound and Vibration. 2019 Mar 3;442:514-26.