جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

تأثير خصائص الفراغ المعماري على البيئة الصوتية بالفصول الدراسية لمرحلة التعليم الاساسي في القاهرة

رسالة مقدمة من:

المهندس / معتز عبد الفتاح محمد عبد الفتاح
بكالوريوس الهندسة المعمارية ٢٠٠٤ – جامعة عين شمس

للحصول على درجة

الماجستير في الهندسة المعمارية

تحت إشراف

أ.د. مراد عبد القادرعبد المحسن
أستاذ العمارة والتحكم البيئي
كلية الهندسة – جامعة عين شمس
أ.م.د. أحمد الخطيب
أستاذ (مساعد) العمارة وعلوم البناء
كلية الهندسة – جامعة عين شمس
د. مصطفى رفعت إسماعيل
مدرس العمارة وعلوم البناء
كلية الهندسة – جامعة عين شمس

٢٠١٠

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

تأثير خصائص الفراغ المعماري على البيئة الصوتية بالفصول الدراسية لمرحلة التعليم الاساسي في القاهرة

رسالة مقدمة من:

المهندس / معتز عبد الفتاح محمد عبد الفتاح عبد العال
بكالوريوس الهندسة المعمارية ٢٠٠٤ – جامعة عين شمس

للحصول على درجة الماجستير في الهندسة المعمارية

تاريخ البحث : / / ٢٠١٠

لجنة الحكم

أ.د. سيد محمد التوني (محكماً) **التوقيع**

أستاذ العمارة والتصميم العمراني بكلية الهندسة جامعة القاهرة

أ.د. سيد مدبولي حسن (محكماً) **التوقيع**

أستاذ العمارة بكلية الهندسة جامعة عين شمس

أ.د. مراد عبد القادر عبد المحسن (مشرفاً) **التوقيع**

أستاذ العمارة والتحكم البيئي بكلية الهندسة جامعة عين شمس

د.م.أحمد علي الخطيب (مشرفاً) **التوقيع**

أستاذ (مساعد) كلية الهندسة جامعة عين شمس

الدراسات العليا أجيزت الرسالة بتاريخ:

ختم الإجازة موافقة مجلس الكلية .....

موافقة مجلس الجامعة

....

التاريخ: / /

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

إقـرار

هذا البحث مقدم إلى جامعة عين شمس للحصول على درجة الماجستير في الهندسة ، تم إنجاز هذا البحث بقسم الهندسة المعمارية ، بكلية الهندسة – جامعة عين شمس من عام ٢٠٠٦ إلى ٢٠١٠.

هـذا ولـم يـتم تقـديم أي جـزء مـن هـذا البحـث لنيـل أي مؤهـل أو درجـة علميـة لأي معهـد علمي آخر.

و هذا إقرار مني بذلك ،،،

التوقيع :
الاسم : معتز عبد الفتاح محمد عبد الفتاح
التاريخ : ١٤ / ٣ / ٢٠١٠

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

شكر و تقدير

أتقدم بالشكر و التقدير إلى أساتذتي المشرفين على الرسالة و ذلك لتوجيهاتهم و إرشاداتهم القيمة أثناء إعداد هذا البحث في مراحله المختلفة كما اتقدم بالشكر لإدارة تعليم الوايلي ومديري مدرسة البشاير وراجاك على مساعدتهم في مرحلة القياسات.
واتقدم بالشكر للدكتورة هدى سليمان استاذ الصوتيات بالمركز القومي للبحوث على مساعدتها في إختبار المواد المحليه بالمعمل.

كما اهدي شكري و تقديري الخاصين إلى د/عبد الفتاح محمد عبد الفتاح على مراجعته اللغوية للرسالة و إلى م/ سمية مجدي محمد لما بذلته من مساعدة في الجانب المتعلق بالإخراج، كما اهدي شكري وتقديري إلى كل من ساعدني في جميع مراحل البحث.

أحمد الله أولاً و أخيراً على توفيقه ،،،

الباحث

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

مستخلص الرسالة

مقدمة من / معتز عبد الفتاح محمد عبد الفتاح عبد العال

عنوان البحث : تأثير خصائص الفراغ المعماري على البيئة الصوتية بالفصول الدراسية لمرحلة التعليم الاساسي في القاهرة

تقدم هذه الرسالة دراسة لتأثير خصائص فراغ الفصل المعمارية على متغيرات البيئة الصوتية وذلك من خلال الدراسة الصوتية والمعمارية لعينات من الفصول الدراسية القائمة وتحليل العلاقة بينهما، ثم تطرق الدراسة لتحديد أفضل قيم للمعايير الصوتية وكذلك المحددات لتصميم الفصول معماريا، وذلك بهدف تطوير وتحسين البيئة الصوتية داخل الفصول التعليمية.

الكلمات المفتاحية

الصوت
تصميم الفصول
صوتيات الغرفة
عمارة
وضوح الحديث
زمن الترداد
التعليم الاساسي

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قســـم الهندسة المعمارية

ملخص الرسالة

تعد مرحلة التعليم الاساسي من أهم المراحل التي يمر بها الاطفال لانها تؤثر بشكل مباشر في شخصياتهم وتوجهاتهم المستقبلية. ولا يظهر هذا التأثير إلا في مراحل متأخرة من العمر مخلفا وراءه العديد من المشاكل والسلوكيات التي تحتاج الى حل، ومع تفاقم المشكلة تصبح مشكلة السلوك ظاهرة تعاني منها الأمة بأكملها بل وتتعدى المعاناة حدود أمم.

ترتبط البيئة الصوتية لفراغ الفصل إرتباطا وثيقا بالعملية التعليمية، فهي الموصل الاساسي بجانب النظر للتعليم وبإهمالها تؤثر سلبا على نفسية الطلاب و المعلم، وبظهور المشكلة عالميا كان من اللازم اقتراح الحلول لها،و تسابقت الدول المتقدمة لايجاد حلول لتحسين البيئة الصوتية لفراغات الدراسة وا ٍختبار كفاءتها ووضعت المعايير للتصميم والتقييم لتنفذ مستقبلها القادم.

يدرس البحث البيئة الصوتية لنماذج من فراغات الفصول لمرحلة التعليم الاساسي (اجمعت الدراسات على تفاقم المشكلة في مرحلة التعليم الاساسي)، ويقوم بتحليل الدراسات السابقة ويحدد الإطار العام للبحث ثم يتطرق الى الاشتراطات المعمارية للفصول الدراسية والتي وضعت بواسطة الهيئة العامة للابنية التعليمية.

يتطرق بعد ذلك للربط بين الخصائص المعمارية والمتغيرات الصوتية،ودراسة المعايير العالمية لتصميم وتقييم فراغات الفصول صوتيا. ويقوم بتقييم مجموعة من حالات الدراسة التي تم إختيارها و قياسها صوتيا وعمل محاكاة لنماذج هذه الفصول بواسطة الحاسب الالي وذلك للوصول لصورة عما تقدمه الخصائص المعمارية على نوعية البيئة الصوتية داخل فراغ الفصل.

وينتهي البحث بإقتراح أساليبالحل وكيفية علاج مشاكل البيئة الصوتية وا ٍعادة ضبط قيم متغيراتها، ويشير الى مواد جديدة محلية رخيصة الثمن تصلح بديلا للمواد المستوردة وذلك لتحسين الامتصاص داخل فراغ الفصل.

ويخلص البحث الى موضوعين رئيسين الاول وجوب عمل معايير مصرية لتصميم وتقييم الفصول الدراسية والثاني العلاج الصوتي لفراغات الفصول الدراسية.

محتويات البحث

محتويات البحث.....ن
فهرس الاشكال.....ق
فهرس الجداول.....ت
قائمة المصطلحات.....خ
مقدمة البحث.....ض
الفصل الأول ١
١. التعريف بالمشكل البحثي ١
١-١ العملية التعليمية ٣
١-٢ التعريف بمشكل البحث ٥
١-٣ هدف البحث.....٧
١-٤ منهج البحث ٧
١-٤-١ مرحلة جمع البيانات.....٧
١-٤-١-١ إختيار عينات الدراسة.....٧
١-٤-١-٢ أسلوب القياس ٨
١-٤-٢ مرحلة التحليل.....٩
١-٤-٢-١ برنامج CATT Acoustics المستخدم في محاكاة البيئة الصوتية ٩
١-٤-٢-٢ منهج المطابقة والمحاكاه المستخدم في برنامج CATT ACOUSTICS....٩
١-٤-٢-٣ حساب زمن الترداد للفصل الممتلئ.....٩
١-٤-٢-٤ منسوب ضغط صوت المعلم ١١
١-٤-٢-٥ المؤشرات الصوتية.....١١
أ . زمن الترداد (Reverberation Time) ١١
ب . منسوب ضغط الصوت (SPL) ١٢
ج . التحديد (Definition).....١٢
د . معامل إنتقال الحديث (STI).....١٢
١-٥ الدراسات السابقة.....١٥
١-٦ خلاصة الفصل الاول.....١٨
الفصل الثاني ١٩
٢. الخصائص المعمارية وتأثيرها على البيئة الصوتية بالفصل الدراسي. ١٩
٢-١ تمهيد ٢١
٢-٢ الخصائص المعمارية لفراغ الفصل الدراسي ٢١
٢-٢-١ الخصائص الرئيسة لفراغ الفصل الدراسي.....٢١
٢-٢-١-١ مساحة الفصل ٢١
أ.المرحلة العمرية لطلاب التعليم الاساسي.....٢٢
ب. السعة والمساحة ٢٣
٢-٢-١-٢ التشكيل ٢٤

أ. شكل المسقط الافقي (Shape)..... ٢٤
ب. شكل القطاع ٢٥
٢-٢-١-٣ التوجيه..... ٢٦
٢-٢-١-٤ الملامح العامه للتصميم ٢٦
٢-٢-٢ خصائص فراغ الفصل التكميلية..... ٢٦
٢-٢-٢-١ الفتحات ٢٧
٢-٢-٢-٢ مواد النهو ٢٨
٢-٢-٢-٣ الأثاث ووسائل الايضاح ٢٨
أ. أبعاد الأثاث..... ٢٨
ب. وسائل الايضاح..... ٢٩
٢-٢-٢-٣ الالوان ٣٠
٢-٣ الخصائص المعمارية ومتغيرات البيئة الصوتية ٣١
٢-٣-١ خصائص فراغ الفصل الرئيسة والبيئة الصوتية..... ٣١
٢-٣-١-١ السعة والامتصاص..... ٣١
٢-٣-١-٢ شكل الفصل و البيئة الصوتية..... ٣١
أ- معامل الشكل (Shape Factor) Sh_f ٣٢
ب- معامل التشكيل (Form Factor)..... ٣٣
ج- العيوب الصوتية في الفراغات الصغيرة ٣٣
١. الرنين..... ٣٣
٢. البقع الميتة..... ٣٥
٣. البؤر الصوتية ٣٥
٢-٣-١-٣ تخطيط الموقع العام والبيئة الصوتية..... ٣٥
٢-٣-٢ خصائص الفراغ التكميلية والبيئة الصوتية ٣٦
٢-٣-٢-١ الفتحات والضوضاء..... ٣٦
٢-٣-٢-٢ مواد النهو ٣٦
٢-٣-٢-٣ الأثاث ووسائل الإيضاح ٣٧
٢-٤ خلاصة الفصل الثاني..... ٣٧
الفصل الثالث..... ٣٩
٣. معايير التصميم الصوتي للفصول الدراسية. ٣٩
٣-١ تمهيد ٤١
٣-٢ المعايير الاوروبية ٤٢
٣-٢-١ منسوب الضوضاء الخلفية..... ٤٢
٣-٢-٢ زمن الترداد..... ٤٢
٣-٢-٣ عزل الصوت للحوائط الداخلية والخارجية ٤٣
٣-٣ معدلات الأداء للبيئة الصوتية في المعايير البريطانية BB٩٣[٣٦] ٤٣
٣-٣-١ منسوب الضوضاء المحيطة بفراغ الفصل بدون تواجد طلبة..... ٤٣
٣-٣-٢ عزل الصوت المتولد بين الفراغات..... ٤٥
٣-٣-٣ عزل الصوت المتولد في الهواء بين ممرات الحركة وفراغات تستخدم بواسطة الطلاب:
..... ٤٦
٣-٣-٤ عزل صوت الاصطدام المتولد من الارضيات..... ٤٦
٣-٣-٥ زمن الترداد في الفراغات التعليمية وفراغات الدراسة: ٤٧
٣-٣-٦ إمتصاص الصوت في الممرات وفراغات المداخل وابار السلالم..... ٤٧

٣-٣-٧ معامل وضوح الحديث في فراغات المساقط المفتوحه ٤٨
٣-٤ المعايير الامريكية ANSI S١٢.٦٠-٢٠٠٢ [٣٧] ٤٩
٣-٤-١ معايير الأداء للضوضاء الخلفية وزمن الترداد ٤٩
٣-٤-٢ تصميم العزل الصوتي ٤٩
٣-٥ معايير تقييم البيئة الصوتية في عينات القياس ٥١
٣-٥-١ زمن الترداد للقيم المتوسطة T_{mf} ٥١
٣-٥-٢ منسوب الضوضاء الخلفية ٥١
٣-٥-٣ التحديد ٥١
٣-٥-٤ معامل إنتقال الحديث ٥٢
٣-٥-٥ ملخص معايير تقييم البيئة الصوتية في عينة الفصول الدراسية ٥٢
الفصل الرابع ٥٣
٤. تقويم البيئة الصوتية في عينة من الفصول بمدينة القاهرة الكبرى. ٥٣
٤-١ تمهيد ٥٥
٤-٢ تصميم وتقييم البيئة الصوتية (تقديم) ٥٥
٤-٣ أسباب إختيار العينات السابقة ٥٥
٤-٤ عينة الدراسة ٥٦
٤-٤-١ مدرسة المستقبل التجريبية ٥٦
٤-٤-١-١ الموقع العام للمدرسة ٥٦
٤-٤-١-٢ وصف فراغ الدراسة ٥٧
٤-٤-٢ مدرسة عمار بن ياسر ٥٨
٤-٤-٢-١ الموقع العام للمدرسة ٥٩
٤-٤-٢-٢ وصف فراغ الدراسة ٥٩
٤-٤-٣ مدرسة راجاك ٦١
٤-٤-٣-١ الموقع العام للمدرسة ٦١
٤-٤-٣-٢ وصف فراغ الدراسة ٦٢
٤-٤-٤ مدرسة البشاير ٦٣
٤-٤-٤-١ الموقع العام للمدرسة ٦٤
٤-٤-٤-٢ وصف فراغ الدراسة ٦٤
٤-٥ مناطق (حساب الرنين) الترددات لعينات الدراسة ٦٦
٤-٦ نتائج القياسات ٦٨
٤-٦-١ مواضع القياس ومنحنيات إستجابة الفراغ للنبضات ٦٨
٤-٦-٢ نتائج قياس منسوب ضغط الصوت داخل وخارج الفصل ٦٨
٤-٧ أسباب إستخدام المحاكاة ٧٥
٤-٧-١ التحقق من صحة النموذج ٧٥
أ. معاملات الامتصاص لمواد النهو المستخدمة في الفصول المختارة ٧٥
ب. معاملات الانتشار (Diffuse) المفترضة لمواد النهو السابقة ٧٥
ج. مرحلة الاعداد للمحاكاه (المطابقة – Validation) ٧٦
٤-٨ مناقشة نتائج المحاكاه ٧٧
٤-٨-١ نماذج الفصول ٧٧

٤-٨-٢ زمن التردد ٧٨
٤-٨-٣ منسوب ضغط الصوت ٨٤
٤-٨-٣-١ منسوب الضوضاء الخلفية ٨٤
٤-٨-٣-٢ نسبة الاشارة للضوضاء ٨٥
٤-٨-٢-٣ قيم منسوب ضغط الصوت ٨٦
٤-٨-٣ التحديد ٨٧
٤-٨-٤ معامل إنتقال الحديث ٨٩
٤-٩ خلاصة الفصل الرابع ٩١

الفصل الخامس ٩٣

٥. نحو بيئة صوتية أفضل بالفصل الدراسي ٩٣

٥-١ تمهيد ٩٥

٥-٢ تحسين البيئة الصوتية ٩٥

٥-٢-١ زمن التردد ٩٥
٥-٢-١-١ المواد الماصة للصوت ٩٦
٥-٢-١-٢ حساب مساحة المواد الماصة اللازمة لفراغ الفصل ١٠٠
٥-٢-٢ معامل إنتقال الحديث (STI) ١٠١
٥-٢-٢-١ نماذج الدراسة وتوزيع المادة الماصة ١٠٢
أ. المعلومات التصميمية لنماذج الدراسة ١٠٢
ب. توزيع المادة الماصة ١٠٤
ج. نتائج المحاكاة ١٠٦
٥-٣ خلاصة الفصل الخامس ١٠٧

الفصل السادس ١٠٩

٦. النتائج والتوصيات ١٠٩

٦-١ النتائج ١١١

٦-١-١ الدراسة النظرية: ١١١
٦-١-٢ الدراسة الميدانية: ١١١
٦-١-٢-١ نتائج القياسات ١١١
٦-١-٢-١ نتائج المحاكاه ١١٢
٦-٢ التوصيات ١١٢

٦-٢-١ معايير التقييم الصوتي لفراغات الفصول ١١٢
٦-٢-١-١ تقييم البيئة الصوتيه لفراغات الفصول ١١٢
أ. زمن التردد ١١٢
ب. منسوب الضوضاء الخلفية ١١٣
ج. عزل الضوضاء عن فراغ الفصل ١١٣
٦-٢-١-٢ قياس متغيرات البيئة الصوتية ١١٤

٧. الملحقات ١١٥

٧-١ نماذج توزيع المواد الماصة على أسطح الفراغ ١١٥

٧-١-١ فراغ الفصل المستطيل ١١٥
٧-١-٢ فراغ الفصل المربع ١١٦

٧-١-٣ فراغ الفصل المثمن ١١٧
٧-١-٤ فراغ الفصل القطع من دائرة..... ١١٨
٧-٢ نتائج المحاكاة لنماذج دراسة توزيع المادة الماصة..... ١٢٠
٧-٢-١ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المستطيل..... ١٢٠
٧-٢-٢ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المربع..... ١٢١
٧-٢-٣ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المثمن..... ١٢٢
٧-٢-٣ نتائج المحاكاة لنموذج القطع من دائرة ١٢٣
٨. المراجع ١٢٥

فهرس الاشكال

المقدمة

شكل ٠-١ الاجورا اليونانية القديمة AGORA .....ض
شكل ٠-٢ توزيع المباني حول الفورم FORUM.....ض
شكل ٠-٣ مسجد ومدرسة السلطان حسن.....غ
شكل ٠-٤ المسقط الافقي لمسجد ومدرسة السلطان حسن .....غ
شكل ٠-٥ المساقط الافقية للمدرسة المستنصرية في بغداد .....غ

الفصل الأول

شكل ١-١ النسب المؤية لما يستوعبه الطالب في العملية التعليمية.....٣
شكل ١-٢ النسب المئوية لما يتذكره الطالب من العملية التعليمية.....٤
شكل ١-٣ علاقة حد السمع في الضوضاء بالمرحلة العمرية للاطفال ٥
شكل ١-٤ العلاقة بين المرحلة العمرية والبيئة الصوتية ومعامل وضوح مقاطع الكلمات.....٦
شكل ١-٥ علاقة حد السمع في الضوضاء باللغة الانجليزية كلغة أولى أو ثانية ٦
شكل ١-٦ تحويل الطبيعة الثلاثية الابعاد للمقاعد الى طبيعه ثنائية الابعاد.....١١
شكل ١-٧ تسلسل منهج البحث.....١٤

الفصل الثاني

شكل ٢-١ خصائص فراغ الفصل الرئيسة ٢١
شكل ٢-٢ بدائل تصميمية للمراحل العمرية المختلفة للفصول الدراسية ٢٢
شكل ٢-٣ أبعاد جسم الطفل حسب المرحلة العمرية ٢٣
شكل ٢-٤ نماذج لمساحات الفصول الدراسية.....٢٥
شكل ٢-٥ نماذج لاشكال الفصول الدراسية المتاحة.....٢٥
شكل ٢-٦ خصائص فراغ الفصل التكميلية ٢٦
شكل ٢-٧ سريان الهواء بين نافذتين متقابلتين ٢٧
شكل ٢-٨ المناضد للمراحل العمرية في مرحلة التعليم الاساسي.....٢٩
شكل ٢-٩ الاشكال التي تحمي نفسها من الضوضاء الخارجية ٣٢
شكل ٢-١٠ ظهور البقع الميتة بسبب احتواء السقف على كمرات عريضة ٣٥
شكل ٢-١١ المنحنى الكاوى.....٣٥
شكل ٢-١٢ علاقة توجيه المباني والافنية بالطريق ٣٦

الفصل الثالث

شكل ٣-١ علاقة التحديد بمعامل وضوح الحديث ٥١

الفصل الرابع

شكل ٤-١ دائرة التصميم الصوتي ٥٥
شكل ٤-٢ موقع ومبنى مدرسة المستقبل ٥٦
شكل ٤-٣ الموقع العام ٥٦
شكل ٤-٤ مرحلة القياس بمدرسة المستقبل ٥٨
شكل ٤-٥ موقع وشكل الفصل في مدرسة عمار بن ياسر ٥٩
شكل ٤-٦ الموقع العام ٥٩
شكل ٤-٧ مرحلة القياس بمدرسة عمار بن ياسر ٦١
شكل ٤-٨ موقع وشكل الفصل في مدرسة راجاك ٦١
شكل ٤-٩ الموقع العام ٦١
شكل ٤-١٠ مرحلة القياس في مدرسة راجاك ٦٣
شكل ٤-١١ موقع وشكل الفصل في مدرسة البشاير ٦٤
شكل ٤-١٢ الموقع العام ٦٤
شكل ٤-١٣ مرحلة القياس في مدرسة البشاير ٦٦
شكل ٤-١٤ مناطق الترددات لحساب الرنين ٦٦
شكل ٤-١٥ منحنيات تمثل استجابة النبضات في مدرسة المستقبل (IR) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس ٧١
شكل ٤-١٦ منحنيات تمثل استجابة النبضات في مدرسة عمار بن ياسر (IR) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس ٧٢
شكل ٤-١٧ منحنيات تمثل استجابة النبضات (IR) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس على إرتفاع ١متر ٧٣
شكل ٤-١٨ منحنيات تمثل استجابة النبضات (IR) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس فصل مدرسة البشاير ٧٤
شكل ٤-١٩ زمن الترداد لفصل مدرسة المستقبل قبل وبعد المطابقة ٧٦
شكل ٤-٢٠ منحنيا زمن الترداد لفصل مدرسة عمار بن ياسر قبل وبعد المطابقة ٧٦
شكل ٤-٢١ منحنيا زمن الترداد لفصل مدرسة راجاك قبل وبعد المطابقة ٧٧
شكل ٤-٢٢ منحنيا زمن الترداد لفصل مدرسة البشاير قبل وبعد المطابقة ٧٧
شكل ٤-٢٣ نماذج الفصول المستخدمة في البرنامج لعمل المحاكاة ٧٨
شكل ٤-٢٤ منحنيات زمن الترداد لعينات الدراسة ٧٩
شكل ٤-٢٥ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة المستقبل ٨٠
شكل ٤-٢٦ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة عمار بن ياسر ٨١
شكل ٤-٢٧ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة راجاك ٨٢
شكل ٤-٢٨ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة البشاير ٨٣
شكل ٤-٢٩ خرائط تظهر التغير في قيم منسوب الصوت في الفصول المقاسة ٨٤
شكل ٤-٣٠ منحنيات معيار الضوضاء مقارنة بقيم منسوب ضغط الصوت المقاس ٨٥
شكل ٤-٣١ المنحنيات التراكمية لقيم منسوب ضغط الصوت الناتجه من المحاكاه ٨٦
شكل ٤-٣٢ خرائط توزيع قيم منسوب الصوت في الفصول المقاسة ٨٧
شكل ٤-٣٣ المنحنيات التراكمية لقيم التحديد ٨٨
شكل ٤-٣٤ خرائط توزيع قيم التحديد ٨٩
شكل ٤-٣٥ قيم معامل إنتقال الحديث عند نقاط القياس ٨٩

شكل ٤-٣٦ خرائط توزيع معامل إنتقال الحديث..... ٩٠

الفصل الخامس

شكل ٥-١ متغيرات البيئة الصوتية المرتبطة بتحسين الاداء الصوتي في الفراغ..... ٩٥
شكل ٥-٢ المواد التي تم إختيارها كبدائل للمواد الماصة التقليدية ٩٧
شكل ٥-٣ أنبوب المعاوقة ٩٧
شكل ٥-٤ العينات التي تم قياسها بإستخدام أنبوب المعاوقة ٩٨
شكل ٥-٥ العينات التي تم قياسها بإستخدام أنبوب المعاوقة مقارنة بالمواد المتاحة ٩٩
شكل ٥-٦ سعر المتر المربع من مواد إمتصاص الصوت التقليدية مقارنة بالمواد المحلية التي حققت أعلى قيم إمتصاص ١٠٠
شكل ٥-٧ أفضل توزيع للمواد الماصة على مسطحات الفصل ١٠٢
شكل ٥-٨ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المستطيل..... ١٠٤
شكل ٥-٩ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المربع ١٠٥
شكل ٥-١٠ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المثمن ١٠٥
شكل ٥-١١ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج القطع من دائرة..... ١٠٦
شكل ٥-١٢ البدائل التي حققت أعلى قيم لمعامل إنتقال الحديث..... ١٠٦

الملحقات

شكل ٧-١ توزيع المواد الماصة في الشكل المستطيل ١١٥
شكل ٧-٢ توزيع المواد الماصة في الشكل المربع..... ١١٦
شكل ٧-٣ توزيع المواد الماصة في الشكل المثمن..... ١١٨
شكل ٧-٤ توزيع المواد الماصة في شكل القطع من دائرة..... ١١٩

فهرس الجداول

الفصل الأول

جدول ١-١ بيانات عينات المدارس المختارة..... ٨
جدول ١-٢ قيم إمتصاص الطلاب أثناء جلوسهم على المقاعد وقيم إمتصاص المقاعد ١١
جدول ١-٣ قيم منسوب الضغط لصوت المعلم في حالة الصوت العادي والمرتفع ١١
جدول ١-٤ العلاقة بين معامل إنتقال الحديث ووضوح مقاطع الحديث..... ١٣

الفصل الثاني

جدول ٢-١ أمثلة للحد الادنى لارتفاعات الفصول في بعض دول العالم ٢٦
جدول ٢-٢ بدائل مواد النهو في الفصول الدراسية..... ٢٨

الفصل الثالث

جدول ٣-١ بعض الهيئات الامريكية التي إشتركت في وضع إشتراطات ANSI ٤١
جدول ٣-٢ قيم منسوب الضوضاء الخلفية العالمية..... ٤٢
جدول ٣-٣ قيم زمن الترداد الموصى بها للفصول في بعض دول العالم ٤٣
جدول ٣-٤ قيم عزل الواجهات في المعايير الالمانية ٤٣
جدول ٣-٥ قيم متوسط منسوب الضوضاء المكافئ $L_{Aeq}, 30\,\min$ القصوى ٤٤
جدول ٣-٦ الحدود الدنيا لقيم عزل الصوت المتولد في الهواء بين الفراغات ٤٥
جدول ٣-٧ أقل قيم ممكنة لعزل الصوت المتولد في الممرات ٤٦
جدول ٣-٨ الحدود القصوى لقيم منسوب ضغط صوت الاصطدام ٤٧
جدول ٣-٩ قيم زمن الترداد المسموح بها للفصول الدراسية..... ٤٧
جدول ٣-١٠ الحد الادنى لمعامل إنتقال الحديث في الفراغات المفتوحة..... ٤٨
جدول ٣-١١ الحدود القصوى لقيم زمن الترداد ومتوسط منسوب الضوضاء الخلفية..... ٤٩
جدول ٣-١٢ الحدود الدنيا لقيم معامل نفاذ الصوت STC للحوائط المفرده والمركبة ٥٠
جدول ٣-١٣ الحدود الدنيا لقيم معامل نفاذ الصوت STC للحوائط المفرده والمركبة للفراغات المساعدة للفراغات التعليمية..... ٥٠
جدول ٣-١٤ العلاقة بين معامل إنتقال الحديث ووضوح مقاطع الحديث..... ٥٢
جدول ٣-١٥ معايير تقييم البيئة الصوتية للفصول..... ٥٢

الفصل الرابع

جدول ٤-١ الخصائص المعمارية للمدرسة..... ٥٦
جدول ٤-٢ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة المستقبل ٥٧
جدول ٤-٣ بعض الخصائص لفصل مدرسة المستقبل..... ٥٨
جدول ٤-٤ الخصائص المعمارية للمدرسة..... ٥٩

جدول ٤-٥ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة عماربن ياسر ٦٠
جدول ٤-٦ بعض الخصائص لفصل مدرسة عمار بن ياسر ٦٠
جدول ٤-٧ الخصائص المعمارية للمدرسة ٦١
جدول ٤-٨ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة راجاك ٦٢
جدول ٤-٩ بعض الخصائص لفصل مدرسة راجاك..... ٦٣
جدول ٤-١٠ الخصائص المعمارية للمدرسة ٦٤
جدول ٤-١١ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة البشاير ٦٥
جدول ٤-١٢ بعض الخصائص لفصل مدرسة البشاير ٦٥
جدول ٤-١٣ حدود الترددات لنطاقات الرنين المختلفه ٦٨
جدول ٤-١٤ نتائج قياس منسوب ضغط الصوت في فصول عينة الدراسة ٧٠
جدول ٤-١٥ قيم إمتصاص مواد النهو المستخدمة في عينة الدراسة..... ٧٥
جدول ٤-١٦ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة المستقبل ٧٦
جدول ٤-١٧ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة عمار بن ياسر ٧٦
جدول ٤-١٨ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة راجاك ٧٧
جدول ٤-١٩ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة البشاير ٧٧
جدول ٤-٢٠ زمن الترداد للترددات المتوسطة لعينات الدراسة ٧٨
جدول ٤-٢١ زمن الترداد للترددات المنخفضة لعينات الدراسة ٧٩
جدول ٤-٢٢ قيم منسوب الضوضاء الخلفية بالديسيبل ونسبة الاشارة للضوضاء..... ٨٦
جدول ٤-٢٣ خلاصة الفصل الثالث..... ٩١

الفصل الخامس

جدول ٥-١ مساحات مواد الامتصاص المطلوبة في عينات الدراسة لضبط قيمة زمن الترداد ١٠١
جدول ٥-٢ المعلومات التصميمية لنماذج دراسة توزيع المادة الماصة..... ١٠٤
جدول ٥-٣ قيمة معامل إنتقال الحديث القصوى مقارنة بباقي المتغيرات..... ١٠٦

النتائج والتوصيات

جدول ٦-١ زمن الترداد المثالي لفصل حجمه ١٦٠ – ٢٠٠ م٣ كما ورد بإشتراطات هيئة الابنية التعليمية ١١٣

الملحقات

جدول ٧-١ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المستطيل..... ١٢٠
جدول ٧-٢ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المربع ١٢١
جدول ٧-٣ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المثمن ١٢٣
جدول ٧-٤ نتائج المحاكاة لنموذج القطع من دائرة..... ١٢٤

قائمة المصطلحات

Impulse Response	IR - $g(t)$	إستجابة الفراغ للنبضة
Definition	D٥٠	التحديد
Absorption	A	الامتصاص
Articulation Index	AI	معامل وضوح مقاطع الحديث
Absorption Coefficient	a	معامل الامتصاص
Sound Transmission Index	STI	معامل إنتقال الحديث
Sound Pressure Level	SPL	منسوب ضغط الصوت
Signal to Noise Ratio	S\N	نسبة الاشارة الى الضوضاء
Useful to detrimental ratio	U_{50}	نسبة النافع للضار
Hearing in Noise Test	HINT	إختبار السماع في الضوضاء
Early Decay Time	EDT	زمن التلاشي المبكر
Reverberation Time	RT	زمن الترداد
Sound Transmission Class	STC	مرتبة نفاذية الصوت
Impact Insulation Class	IIC	مرتبة عزل الاصطدام

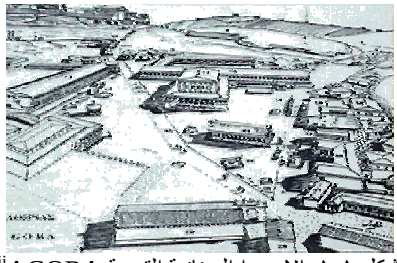
مقدمة البحث

لم تعد المنافسة بين الدول على مستوى العالم منافسة عسكرية فحسب بل منافسة علمية شرسة لضمان التفوق والهيمنة في العديد من المجالات. وإن كانت الدول النامية خارج السباق إلى حد ما فإن إنطلاقتها تبدأ بالنهوض بالعملية التعليمية وبناء أجيال قوية تضمن بها مستقبل أفضل.

وفي البدء كانت عملية التعليم تتم بطريقة فردية غير منظمة حسب الخبرات التي يكتسبها الانسان البدائي في حياته اليومية، إلى أن بدأ الانسان الاول يعيش في تجمعات بشرية ثم ظهرت النواة الاولى للحضارة.

و مما لاشك فيه أن الحضارات القديمة والحديثة قامت نتاج نهضات علمية وفنية إزدهرت ونمت بتناقل العلوم المختلفة المتوارثة والمكتسبة عبر الازمنة من الحضارات السابقة وطوعت كل حضارة معتقداتها وفنونها حسب ظروف المكان والطبيعة التى ظهرت فيها.

مثال ذلك الحضارة اليونانية حيث كانت الاجورا Agora هي فراغ الفصل والاجورا ميدان عام محاط بمباني رئيسية وكان الاغريق يتمتعون بحرية فكرية مما جعل لقاءاتهم مجالا لتبادل الاراء والافكار[i].
وعند الرومان كان الفورم Forum وهو المكان الواسع المحاط بالاعمدة هو مصدر العلم ، وقد منح موقعا متميزا في وسط المدينة الرومانية فهو محاط بالمباني الهامة كالبازليكا، وكان الاهالي يرسلون اطفالهم اليه ليتعلموا القراءة والكتابة وما يختارونة من الفنون كالعزف والشعر.



شكل ١-١ الاجورا اليونانية القديمة AGORA[ii]

شكل ١-٢ توزيع المباني حول الفورم FORUM[iii]

أما في الحضارة المصرية القديمة كانت العملية التعليمية تتم في المعابد وكان العلم حكرا على الكهنة ورجال الدين يتوارثونه بينهم، وكانت فراغات المعبد هي فصول الدراسة في ذلك الوقت.

وفي عصر ماقبل الاسلام كانت مكة وسوق عكاظ مصدرا موسميا لنشر الفنون والشعر وكانا مقصد الكثير من الشعراء والادباء، وبعد الفتح الاسلامي إهتم رسول الله صلى الله عليه وسلم بالعلم وجعله فدية للاسرى من المشركين بأن يعلموا أبناء المسلمين ثمنا لحريتهم ، واصبح المسجد هو المصدر الرئيسي للعلم حيث يلتف الصحابة حول النبي صلى الله عليه وسلم لتلقي العلم والتفقه في الدين والدنيا .

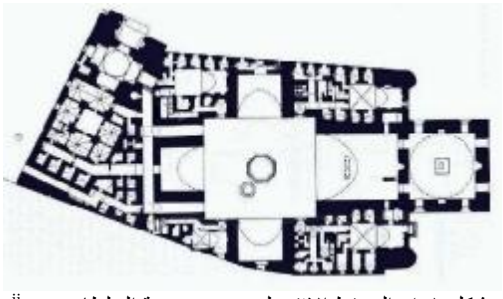
[i] Fletcher's, Banister "A History of Architecture" Architectural Press, Oxford, ٢٠٠١.
[ii] http\\www.greeklandscapes.com
[iii] http\\www.planetware.com

وتوسعت الدولة الاسلامية وامتدت طولا وعرضا ومازال المسجد مصدرا لنشر الثقافة الدينية والدنيوية وظهر العلماء والباحثون، وأنشأت اقدم مدرسة في تاريخ الدولة الاسلامية في نيسابور مدرسة ابن فورك التي يرجع تاريخها الى ماقبل ٤٠٦ هـ ١٠١٥ م ، وانتشر بناء المدارس في العراق وخرسان والشام وذلك في منتصف القرن الخامس الهجري – الحادي عشر الميلادي .

كانت أقدم المدارس في مصر المدرسة الناصرية التي أسسها صلاح الدين الايوبي وفي بغداد المدرسة الشرابية والاقبالية ويظهر في مسقطها الافقي تشابة مع مكونات الجامعه من قاعات دروس ومكتبة وإدارة وغرف دراسين ونزل للطلبة .

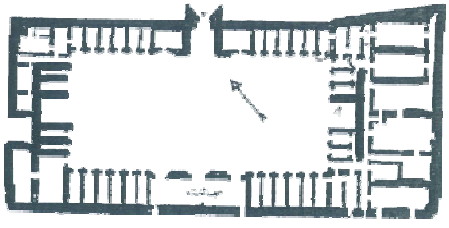
كانت أول مدرسة خصصت للمذاهب الاربعة المدرسة المستنصرية في بغداد شكل (١-٥) حيث كانت مركزية الشكل ويتجمع حول صحنها المذاهب الاربعة ويأخذ كل مذهب ركن من أركانها[١]، وفي مصر كانت مدرسة السلطان حسن شكل (١-٣) التي أنشأت لتعليم المذاهب الاربعة، وبناء المدرسة يتخذ نمطا معتادا في توزيع الفراغات كالفناء المربع المحاط بأربع إيوانات للمذاهب الاربعة.

شكل ١-٣ مسجد ومدرسة السلطان حسن[i]

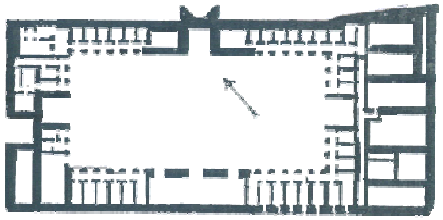


شكل ١-٤ المسقط الافقي لمسجد ومدرسة السلطان حسن[ii]

وفي أوروبا ظهرت الجامعة كتطور للمدرسة الكنائسية واشهرها جامعة باريس وبولونيا واكسفورد وكامبريدج وتلك الجامعات بها فناء اوسط تلتف حوله الفراغات التعليمية والخدمات ومع التطور بدأت الجامعات في التخصص في المجالات العلمية والفنية المختلفة .
ومازال الفراغ التعليمي يلعب دورا هاما في جميع هذه المراحل لأنه من أهم العوامل المساعدة على توصيل العلوم للشعوب ودفع حركة النهضة والتقدم بها.



المسقط الافقي للدور الارضي



المسقط الافقي للدور الاول

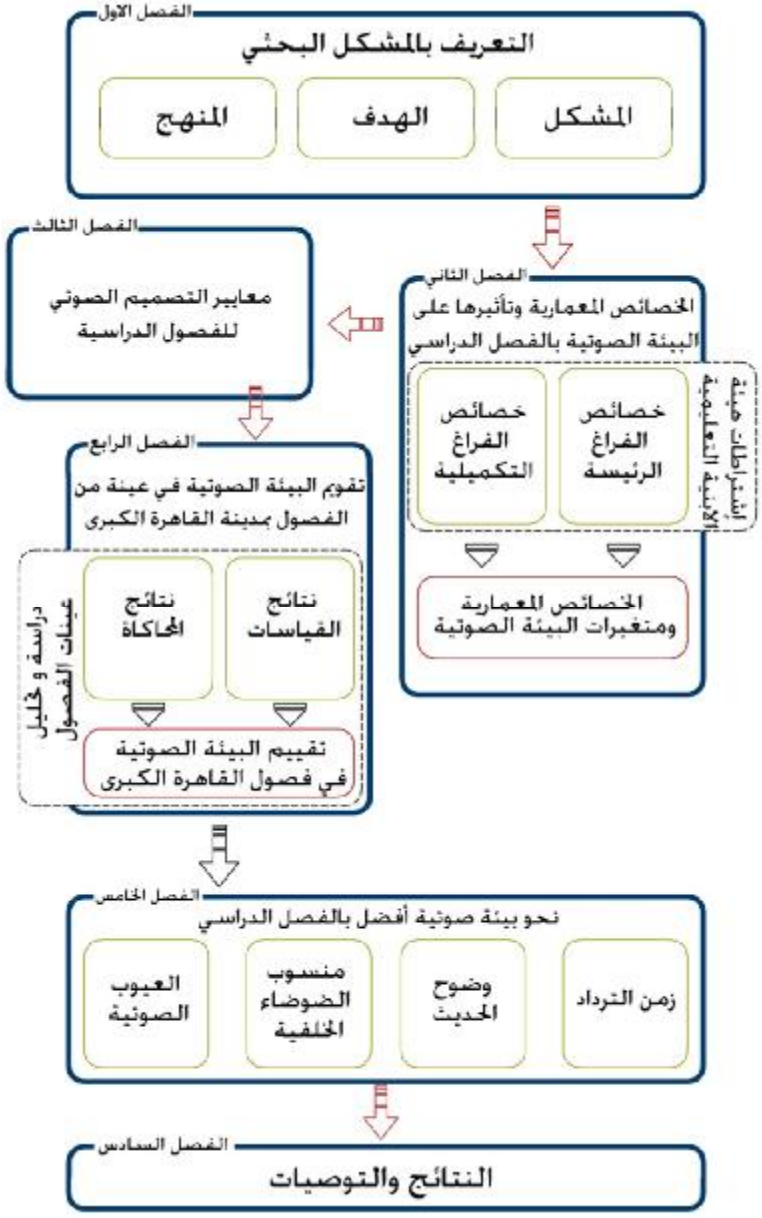
شكل ١-٥ المساقط الافقية للمدرسة المستنصرية في بغداد[iii]

[i] http://alimamalallama.com/gallery.php?album_id=٦

[ii] الموقع السابق.

[iii] خطاب، سعيد علي، التصميم المعماري للابنية التعليمية، الطبعة الاولى، دار الكتب العلمية. ص ١٢.

يتناول البحث دراسة البيئة الصوتية في عينة من فصول الدراسة بالقاهرة في ستة فصول تتناول الفصول الاول والثاني والثالث هدف البحث ومنهجه ثم الدراسة النظرية لفراغ الفصل ويليها معايير التصميم الصوتي للبيئة الصوتية بالفصل.
وتتناول الفصول الرابع والخامس والسادس القياسات الميدانية ومرحلة الحل والتحسين ويليها نتائج وتوصيات الدراسة.
ويوضح الشكل التالي هيكل البحث



الفصل الأول

١. التعريف بالمشكل البحثي

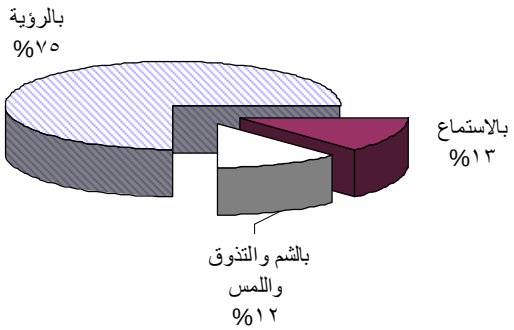
١-١ العملية التعليمية
١-٢ التعريف بمشكل البحث
١-٣ هدف البحث
١-٤ منهج البحث
١-٥ الدراسات السابقة
١-٦ خلاصة الفصل الأول

١-١ العملية التعليمية

أهتم القدماء بدءاً من اليونان والرومان الى العصر الاسلامي بالبيئة الصوتية بشكل كبير، وذلك يظهر في تصميم المسارح الرومانية والمباني العامة ووضعوا بعض القواعد البسيطة لتحسين ظروف الاستماع كما كتب **سير كريستوفر رن** (**Sir Christopher Wren**) في القرن التاسع عشرأن على الوعاظ أن يدركو أن أصواتهم لاتسمع بوضوح على مسافة تزيد عن خمسة عشر متراً من الامام وتسعة أمتار من الجانب وستة أمتار من الخلف [٢] ومازال هناك العديد من الاسرار التي يسعى الباحثون لاكتشافها، وسابقا قام العديد من الباحثين بدراسة فيزياء الصوت وتأثير البيئة الصوتية للفراغ على الطلاب والمعلم على مدارالعقود الماضية بشكل دقيق واضعين الاسس لعملية التصميم الصوتي في الفراغات التعليمية.

تتكون العملية التعليمية من ثلاثة أطراف رئيسة متلقى (طالب) وملقي (مُعَلم) وبيئة تعليمية (الفصل) ويتفاعل الملقي والمتلقي مع بعضهم البعض بواسطه الحواس الخمسة وتؤثر البيئة التعليمية في هذا التفاعل، فالمتلقي يستخدم حواسه لاستقبال ما يمليه عليه من الملقي.

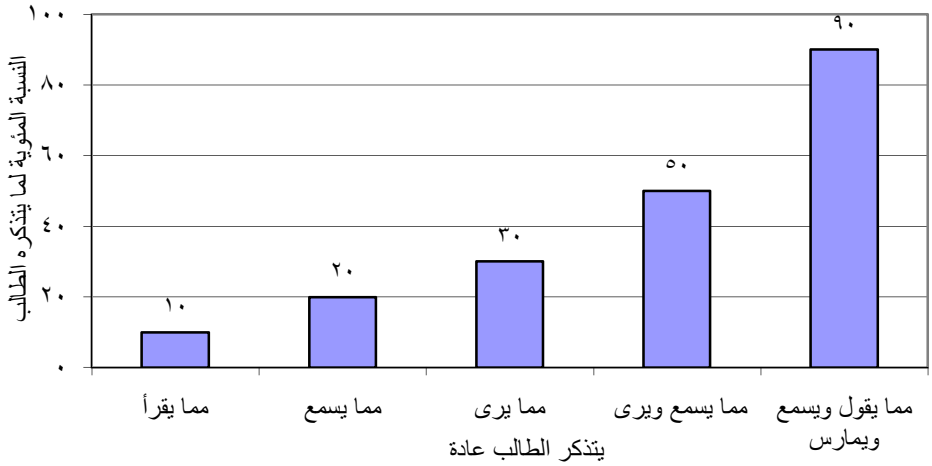
توصل **لارد** **Laird** [٣](١٩٨٥) بدراسته لنظرية تنبيه المستقبلات العصبية (الحواس) الى أن الطالب يستوعب ٧٠% مما يتعلمه بالرؤية و ١٣% بحاسة السمع (يأتي الاستماع في المرحلة الثانية) و١٢% بالطعم والرائحة واللمس وذلك فيما يتعرض له من دراسة شكل (١-١).



شكل ١-١ النسب المؤية لما يستوعبه الطالب في العملية التعليمية

يذكر**دال** **Dale** [٤](١٩٦٩) أن خبرات الطالب تتكون من ١٠% مما يقرأ و٢٠% مما يسمع و٣٠% مما يرى و٥٠% مما يسمع ويرى و ٩٠% ممايسمع ويرى ويمارس (يخبر). ويؤكد دال على أهمية حاسة السمع في العملية التعليمية لانها بمساعدة باقي الحواس تزيد من إستيعاب الطالب شكل (١-٢).

تؤثر البيئة التعليمية على الاتصال بين طرفي العملية التعليمية (الملقي والمتلقي)، فكمية الاضاءة ووضوح الصوت وحرارة الفراغ وغيرها من العناصر التي تعتمد على البيئة التعليمية بشكل مباشر.



شكل ١-٢ النسب المئوية لما يتذكره الطالب من العملية التعليمية

يقصد بالبيئة التعليمية في البحث الحالي فراغ الفصل الدراسي، وتمتد الى محيط المبنى التعليمي بأكمله، وتسهم البيئة المحيطة بالبيئة التعليمية في التأثير عليها وبالتالي على العملية التعليمية بالسلب أو بالايجاب، فمن الممكن أن تسهم البيئة المحيطة في رفع منسوب الضوضاء داخل فراغ الفصل وبالتالي تؤثرعلى الطالب والمعلم بالسلب فالطالب الذي يستخدم فراغ، الفصل لمدة تزيد عن اثنى عشر عاما عام طوال رحلته الدراسية بمعدل ستة ساعات يوميا يتعرض لامراض نفسية وعصبية نتاج البيئة الصوتية السيئة التي يتعرض لها لفترات طويلة، ويتأثرالمعلم بذلك أيضا فيحتاج لزيادة قوة صوته طوال فترة الحصة ليغطي منسوب الضوضاء المرتفع أو يحاول إيضاح مايقول بسبب زمن الترداد الكبير نسبيا مما يعرضة لتأثيرات نفسية وعصبية فضلا عن التهاب الاحبال الصوتية.

يعد هذا البحث إستكمالا للدراسات السابقة المحلية والعالمية في محاولة للوصول لاشتراطات محلية لتحسين أداء البيئة الصوتية في مدارس مرحلة التعليم الاساسي بالقاهرة الكبرى، وذلك بدراسة الخصائص المعمارية لفراغ الفصل وتأثيرها على البيئة الصوتية.

١-٢ التعريف بمشكل البحث

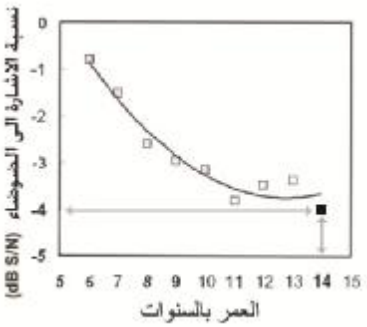
درس العلماء والباحثون البيئة الصوتية للفصول الدراسية نحو ثلاثين عاما أو أكثر مؤكدين وجود مشكل صوتي في فراغ الفصل سواء كان ذلك بسبب زمن بقاء طاقة الصوت المتولدة داخل الفراغ (زمن التردد) او بسبب طاقة الصوت القادمة من محيط الفراغ الخارجي (الضوضاء).

توصل الباحثون الى أن المشكل له تأثير مباشر على المتواجدين في الفراغ (المعلم والطلبة) نفسياً وعلمياً ويزداد تأثيره السيئ بوجه خاص على المراحل العمرية الاولى من سن ٥ : ١١ سنة.

وفي دراسة أقيمت على الفصول الامريكية بواسطة اللجنة الفنية للصوتيات المعمارية في جمعية الصوتيات الامريكية، تم قياس معامل وضوح الحديث وتأثير زمن التردد ومنسوب الضوضاء الخارجية عليه، ووجد أن افضل النتائج كانت ٧٥% لمعامل وضوح الحديث ما يعني أن الاطفال الاصحاء يفهمون ٣ كلمات وأقل من أصل أربعة، وفي عام ١٩٩٨ تم انفاق ٨.٩ بليون دولار على تحسين فراغات الفصول صوتيا ويرى الباحثون أن المشكل يكمن في وعي المصمم وليس في التكاليف. [٥]

ونتيجة لأهمية الموضوع وإرتباطه المباشر بنقل المعلومات وبالتالي قدرة الطلاب على الفهم، فقد شغل الموضوع أذهان الكثير من الباحثين، حيث أكد **سولي وسوليفان Solli & Sullivan** [٦](١٩٩٧) أن فهم الاطفال للحديث في الضوضاء يتطور بشكل كامل في سن المراهقة ، فقد أجريا إختبار السمع في الضوضاء على الاطفال في مراحل عمرية (Hearing in Noise Test) نسبة الى **نلسون وآخرون Nilsson et al.** (١٩٩٤) وتوصل الباحثان إلى أن قدرة الاطفال على السمع في الضوضاء تتطور أثناء الطفولة المبكرة وصولا إلى أداء البالغين وذلك في مرحلة المراهقة.

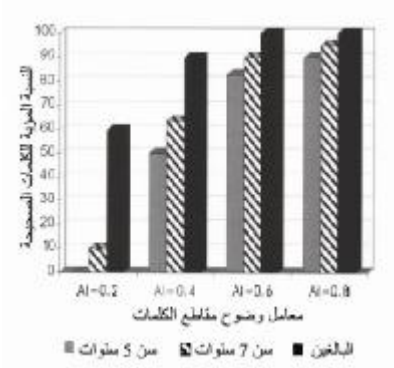
يعبر المربع الأسود عن حد السمع في الضوضاء لدى المراهقين- وهوأقصى تطورله ويماثل البالغين- بقيمة -٤ ديسيبل لنسبة الاشارة الى الضوضاء. ونجد الاطفال في مراحل عمرية مبكرة يحتاجون مابين ١ : ٤ ديسيبل لقيمة نسبة الاشارة الى الضوضاء.(شكل١-٣)



شكل ١-٣ علا ة حد السمع في الضوضاء بالمرحلة العمرية للاطفال[i]

[i] Nelson, Peggy B.; Soli, Sigfrid D.; Seltz, Anne, Classroom Acoustics II, Acoustical Barriers to Learning, The Technical Committee on Architectural Acoustics of ASA ٢٠٠٢, P.٤.

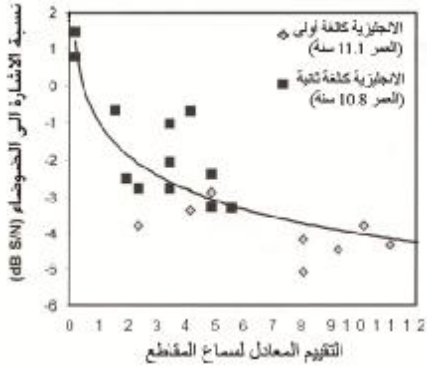
قـــام **ستلمشـــوكز Stelmachowicz**[٦] (٢٠٠٠) بعمل تجارب مشابهة لسولي وسوليفان لقياس معامل وضـوح مقـاطع الكلمـات (AI) علـى مراحـل عمريـة مخـتلفة في بيئات صوتية مختلفة.
أظهر البحث أن الاطفال والبالغين يسمعون في أفضل الظـروف الصـوتية - حيـث يكـون معامـل وضـوح مقـاطع الكلمـات (AI) ٨٠% - جميـع الكلمـات تقريبـا بوضـوح، أمـا فـي أسـوأ الظـروف الصـوتية - حيـث يكـون معامـل وضـوح مقـاطع الكلمـات (AI) ٢٠%- فـإن البـالغين يسـمعون نسـبة كبيـرة مـن المقـاطع بوضوح (حوالي ٦٠%) بينما تنخفض هذه النسبة في الاطفال بشكل كبير حتى تصل الى ١٠% فقط. شكل (١-٤).



شكل ١-٤ العلاقة بين المرحلة العمرية والبيئة الصوتية ومعامل وضوح مقاطع الكلمات[i]

قام **اليوت Elliott**[٦] (١٩٧٩) بإختبار مشابه فقد درس قدرة السمع في الضوضاء لدى الاطفال والمراهقين مـا بين ٩ إلـى ١٧ سـنة، توصـل الـى أن قـدرة السـمع لـدى الاطفـال فـي الضوضـاء متدرجة من العمر الاصغر الى الاكبر تصاعديا فالاطفال في عمر ٩ سنوات قدرتهم على السمع في الضوضاء أقل من أقرانهم في عمر ١١ سنة وكذلك فالاطفال في عمر ١١ سنة قدرتهم أقل من المراهقين مابين ١٥-١٧ سنة.

أقيمـت دراسـة علـى الاطفـال الـذين يتعلمـون الانجليزيـة كلغـة ثانيـة مقارنـة بـأقرانهم الـذين يتحدثون بها كلغة أم وتوصل **جلنت** و **سوميدا وسولي Gelnett, Sumida & Soli**[٦](١٩٩٤) الى أن الاطفال في عمر ١١ سنة والذين يتحدثون الانجليزية كلغة ثانية يحتاجون إلـى نسبة إشـارة إلـى ضوضـاء(S/N) مـا بـين -٣ : ١ ديسيبل وذلك كي يصلوا الى حد السمع في الضوضاء، ويحتاج أقرانهم ممن تمثل لهم اللغة الانجليزية اللغة الام إلى نسبة إشارة الى الضوضاء قيمتها -٤ ديسيبل شكل (١-٥).



شكل ١-٥ علاقة حد السمع في الضوضاء باللغة الانجليزية كلغة أولى أو ثانية [ii]

واجتمعت اراء كل من **هدجسن Hodgson**[٧](١٩٩٩)، **بيكـارد** و **برادلـي Picard & Bradley**[٧](١٩٩٨)، **سـولي وسـوليفان Solli & Sullivan**[٧](١٩٩٧)، **لوبمـان Lubman**[٧](١٩٩٧) على أن البيئة الصوتية في فراغ الفصل تعد بيئة مشوشة بسبب خواص الفراغ نفسه ومنسوب الضوضاء المرتفع في الفصل.

[i] المرجع السابق ص٤.
[ii] المرجع السابق ص٥.

قام **عبد الحميد** [٨](٢٠٠٣) بتقييم مناسيب الضوضاء في المدارس الواقعة على المحاور الرئيسة في القاهرة حيث بلغت قيمة منسوب الضوضاء الخلفية في بعض مناطق القاهرة الى أكثر من الحد المسموح (٣٥:٤٠ ديسيبل) بفارق ١٥:٣٠ ديسيبل.
على ذلك فإن الفصول الدراسية في مصر تعاني من الخلل نفسه حيث تشترك مع الفصول في مختلف انحاء العالم تقريبا في خاصيتين أساسيتين:

- **شكل المسقط الافقي:** فأغلب الاشكال السائده عالميا للمسقط الافقي للفصل هو الشكل المستطيل.
- **مواد النهو:** إذ تستخدم المواد الصلبه بشكل كبير إذ أنها الاطول عمرا وتحملا لانشطة الطلبة المختلفة .

١-٣ هدف البحث

يهدف البحث الى إيجاد معالجات صوتية مناسبة للفصول الدراسية القائمة ووضع معايير التصميم الصوتي للفصول الجديدة وذلك من خلال دراسة تأثير الخصائص المعمارية لفراغ الفصل على بيئته الصوتية.

١-٤ منهج البحث

تضمن منهج البحث مرحلتين الاولى مرحلة جمع البيانات والثانية مرحلة التحليل.

١-٤-١ مرحلة جمع البيانات

مرت مرحلة جمع البيانات بعدة خطوات: الاولى إختيار عينات الدراسة وأسلوب القياس العينات المختارة.

١-٤-١-١ إختيار عينات الدراسة

قام الباحث بعمل مسح ميداني وإداري من خلال هيئة الابنية التعليمية لتحديد عينات الدراسة وذلك من خلال دراسة خصائص فراغات الفصول وعمل تصنيف لها فكل مجموعة فصول تشترك في نفس الخصائص يمكن دراسة البيئة الصوتية لفصل واحد منها، وبشكل عام فإن جميع الفصول في إقليم القاهرة الكبرى تشترك في العديد من الخصائص وذلك بسبب أن أغلب مباني المدارس حكومية أو تجريبية تبنى بواسطة هيئة الابنية التعليمية والاخرى تقوم الهيئة بالاشراف على بنائها. ونجدأن جميع الفصول تتطابق في أغلب هذه الصفات من حيث التوجية ومواد النهو والأثاث والمساحة والحجم وإن ظهر الاختلاف كان طفيفا جدا يمكن إهماله.

وتوصل الباحث الى أن شكل المسقط الافقي لفراغ الفصل هو الخاصية الاكثراختلافا في خصائص الفصل المعمارية حيث لا تضع هيئة الابنية التعليمية شروطا تجاه شكل المسقط الافقي للفصل و يمكن استخدامه للتصنيف وهو ايضا له تأثير ملموس على البيئة الصوتيه. ويوضح جدول (١-١) فصول عينات الدراسة المختارة.

المدرسة الاولى	
إسم المدرسة	مدرسة المستقبل
نوع المدرسة	حكومية (تجريبية)
المسقط الافقي للفصل	مستطيل
نمط البناء	هيكلي/حوائط طوب
إشتراطات البناء	هيئة الابنية التعليمية
الموقع	محور حركة رئيسي (أحمد سعيد)
المدرسة الثانية	
إسم المدرسة	عمارابن ياسر
نوع المدرسة	حكومية
المسقط الافقي للفصل	مستطيل
نمط البناء	هيكلي/حوائط طوب
إشتراطات البناء	نمط قديم
الموقع	منطقه سكنية بالعباسية
المدرسة الثالثة	
إسم المدرسة	مدرسة راجاك
نوع المدرسة	خاصة
المسقط الافقي للفصل	مثمن
نمط البناء	هيكلي/حوائط طوب
إشتراطات البناء	هيئة الابنية التعليمية
الموقع	على أطراف القاهرة (طريق الاسماعيلية الصحراوي)
المدرسة الرابعة	
إسم المدرسة	مدرسة البشاير
نوع المدرسة	خاصة
المسقط الافقي للفصل	قطع من دائرة
نمط البناء	هيكلي/حوائط طوب
إشتراطات البناء	هيئة الابنية التعليمية
الموقع	منطقة جديدة (بجوار كارفور المعادي)

جدول ١-١ بيانات عينات المدارس المختارة

١-٤-١-٢ أسلوب القياس

تم قياس المؤشرات الصوتية في الفصول الدراسية المختارة بواسطة نظام**ميلسّا** **MLSSA** (Maximum Length Sequence System Analyzer) وهو نظام قياس للمؤشرات الصوتية التي تستخدم في تحديد كفاءة البيئة الصوتية بالفراغات المغلقة، وهو معتمد عالميا ويقوم بإستخدام الحاسب الالي.

تم إستخدام نظام**ميلسّا** **MLSSA** للتحليل بمساعدة ميكروفون **إيرث ورك** **Earthwork** ومكبر للصوت **توا** **TOA** قدرة ١٢٠-٢٤٠ وات وحساسيته ٩٨ dB(A) بالاتصال مع مضخم إشارة صوتية من نوع **توا** **TOA**.

تمت القياسات تبعا لمواصفات BB٩٣ ومواصفات BS EN ISO ٣٥٤:٢٠٠٣ وبحضور هيئة الاشراف. وتمت القياسات على مرحلتين:

الاولى: قياس مؤشرات البيئة الصوتية في فراغ الفصل وذلك بوضع الميكروفون Microphone في أربعة مواضع في الفصل وعلى إرتفاعين مختلفين، وذلك ليمثل الطالب الجالس والواقف.

الثانية : قياس منسوب الضوضاء الخلفية والنوافذ مفتوحة في موضعين مختلفين داخل الفصل وقياس منسوب الضوضاء خارج الفصل.

١-٤-٢ مرحلة التحليل

تعد الصوتيات البيانية Geometrical Acoustics أحد أشهر الطرق لتحليل البيانات بواسطة الحاسب الالي ورغم أنها تعطى تصورات دقيقة لسلوك الصوت عند الترددات الكبيرة فإنها لا تستطيع أن تعطى نفس الدقة عند الترددات الصغيرة، ومازالت هي الطريقة الاشهر بين الباحثين لكفاءتها .[٩]

١-٤-٢-١ برنامج CATT Acoustics المستخدم في محاكاة البيئة الصوتية

يعد برنامج "تقنية المسرح بمساعدة الحاسب الالي" (Computer Aided Theater Technique CATT) من أحد أشهر البرامج لمحاكاة البيئة الصوتيه ويعتمد البرنامج على ثلاث طرق لمحاكاة البيئة الصوتية في الفراغ الاولى (audience area mapping) وتعتمد على تتبع مسار الاشعة ودراستها لعمل خرائط ملونة على سطح (يمثل الحضور) يتم إختياره من قبل المستخدم الثانية تقوم بعمل دراسة لصور المصدر ISM (Image Source Model) والثالثة وهي الاكثر دقة والتي تستخدم في عمل التحليلات (RTC) Randomized Tailcorrected approximate cone tracing وقام الباحث باستخدام الطريقتين الاولى والاخيرة في عمل المحاكاة[١٠].

١-٤-٢-٢ منهج المطابقة والمحاكاه المستخدم في برنامج CATT ACOUSTICS

يأتي دور المحاكاه بعد القياسات الحقلية للعينات لتحديد قيم زمن الترداد والمعاملات الاخرى عندما يكون الفصل ممتلئ بالطلبة واهم هذه المعاملات هو معامل إنتقال الحديث الذي لا يمكن تحديده بدون أن يكون الفصل ممتلئ بالطلاب.

١-٤-٢-٣ حساب زمن الترداد للفصل الممتلئ

تمت القياسات للمؤشرات الصوتية وفراغات الفصول خالية من الطلاب، وذلك نظرا لصعوبة قياس زمن الترداد للفصل الممتلئ. يتم حساب زمن الترداد للفصل الممتلئ بإستخدام التسلسل التالي[١٢]:

١- فرض مساحة مقاعد الطلاب وتحويل الطبيعة الثلاثية للطلاب الى مساحة ثنائية الابعاد بطريقة **بارون Barron** [١٣] بحساب الامتصاص الخاص بالطلاب بفرض زيادة مساحة الطلاب ٠.٥ متر حول الطلاب ماعدا الجانب الملاصق للحائط شكل (١-٦).

٢- الحصول على الامتصاص الكلي للغرفة A_T :

$$A_T = \frac{0.16V}{RT_u} Sabins.....Eq.1.9$$

حيث RT_u زمن الترداد والغرفة خالية و V الحجم.

٣- الحصول على الامتصاص الكلي للغرفة بدون إمتصاص المقاعد:

$$A_\Delta = A_T - A_{seats} Sabins.....Eq.1.10$$

٤- تكون قيمة $A_{U.Seats}$ من المعادلة:

$$A_{U.Seats} = a_{Seats} \times S_{Seats} Sabins.....Eq.1.11$$

حيث

$A_{U.Seats}$ الامتصاص الكلي للمقاعد الخالية من الطلاب

a_{Seats} معامل الامتصاص للمقاعد الفارغة

S_{Seats} مساحة المقاعد مضافا اليها ٠.٥ متر كما ذكر **بارون Barron**

٥- يتم إعادة حساب قيمة الامتصاص الكلي ولكن بإضافة قيمة إمتصاص الطلاب الى الامتصاص الكلي من المرحلة ٤ .

$$A_T = A_\Delta + A_{O.Seats} Sabins.....Eq.1.12$$

٦- ونحصل على قيمة الامتصاص الكلي للطلاب أثناء جلوسهم على المقاعد

$$A_{O.Seats} = a_{O.Seats} \times S_{Seats} Sabins.....Eq.1.13$$

حيث

$A_{U.Seats}$ الامتصاص الكلي للطلاب أثناء جلوسهم على المقاعد

$a_{O.Seats}$ معامل الامتصاص للمقاعد الفارغة

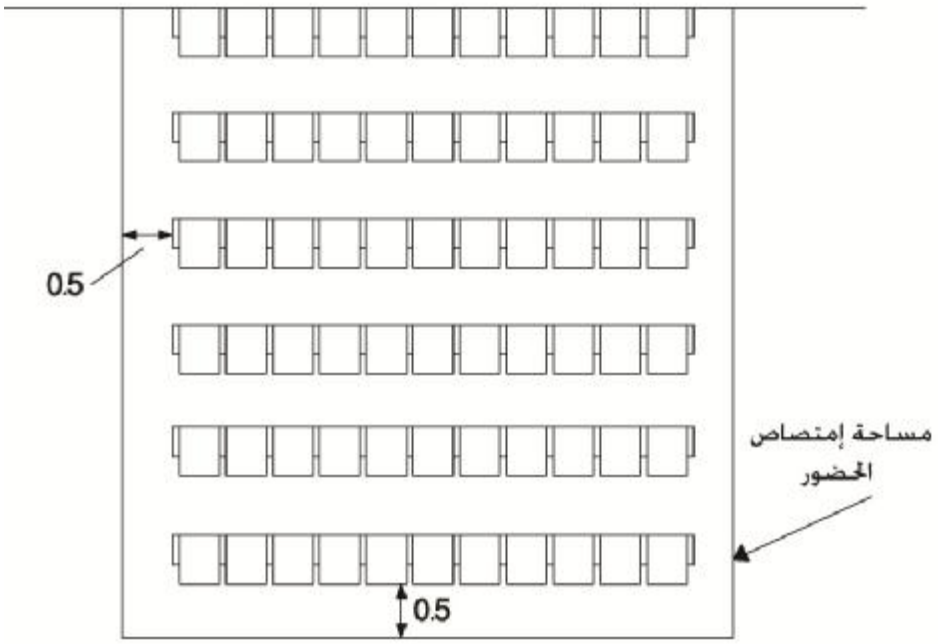
A_Δ الامتصاص الكلي للغرفة بدون إضافة إمتصاص المقاعد

يمثل الجدول (١-٢) قيم الامتصاص للطلاب والمقاعد[١٤]

و بمعلومية الامتصاص الكلي للفصل وحجمه يتم حساب زمن الترداد للفصل الممتلئ بإستخدام المعادلة ١.٩ مرة أخرى.

OBCF (Hz)	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
طالب المرحلة الاساسية (%)	٠.١٧	٠.٢١	٠.٢٦	٠.٣٠	٠.٣٢٥	٠.٣٧
مقعد فارغ خشبي (%)	٠.١٠	٠.١٣	٠.١٤	٠.١٧	٠.١٨	٠.١٥

جدول ١-٢ قيم إمتصاص الطلاب أثناء جلوسهم على المقاعد وقيم إمتصاص المقاعد[i]



شكل ١-٦ تحويل الطبيعة الثلاثية الابعاد للمقاعد الى طبيعه ثنائية الابعاد[ii]

١-٤-٢-٤ منسوب ضغط صوت المعلم

تم إعتماد قيم منسوب ضغط صوت المعلم في الفصل من إشتراطات ANSI ٣.٥:١٩٩٧ [١٥] واستخدمت قيم منسوب الصوت العادي لعمل المحاكاه جدول (١-٣).

منسوب صوت المعلم	ترددات مراكز النطاقات الثمانية (OBCF Hz)							منسوب الصوت المكافئ dB(A)
	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	
الصوت العادي	٥١.٢	٥٧.٢	٥٩.٨	٥٣.٥	٤٨.٨	٤٣.٨	٣٨.٦	٥٩.٥
الصوت المرتفع	٥٥.٥	٦١.٥	٦٥.٦	٦٢.٣	٥٦.٨	٥١.٣	٤٢.٦	٦٦.٥

جدول ١-٣ قيم منسوب الضغط لصوت المعلم في حالة الصوت العادي والمرتفع[iii]

١-٤-٢-٥ المؤشرات الصوتية

يدرس البحث كفاءة البيئة الصوتية من خلال أربعة مؤشرات، وهي على الترتيب وفقا للاهمية:

أ . زمن الترداد (*Reverberation Time*)

[i] Barron, Michael, Industrial Noise Control and Acoustics Marcel Dekker, New York, USA, (٢٠٠٢), (APP D).
[ii] Barron, M., Auditoriums Acoustics & Architectural Design. ١st ed. ١٩٩٣: E & FN Spon.P ٣٠.
[iii] Waston R., Downey O., The Red Book of Acoustics: A Practical Guide, ٢nd edition, Blue Tree Acoustics, ٢٠٠٨. P ١٨٨.

يعرف زمن الترداد بالزمن اللازم لانخفاض منسوب الصوت بمقدار ٦٠ ديسيبل من قيمة إستقراره أو زمن بقاء الصوت في فراغ مغلق حتى يصبح غير مسموع[٢]. ويعرف من معادلة سابين [١٢]:

$$RT = \frac{0.16V}{A + 4mv} \sec \text{.....} Eq.1.1$$

ويمكن تعريف زمن الترداد الامثل عند التردد ٥٠٠ هرتز بواسطة المعادلة[١٢]:

$$RT_{opt@500\,Hz} = 0.3 \log \frac{V}{10} \sec \text{.....} Eq.1.2$$

ويمكن تعريف زمن الترداد الامثل للترددات الاخرى من المعادلة[١٢]:

$$RT_{opt@OBCF} = n \times RT_{opt@500\,Hz} \sec \text{.....} Eq.1.3$$

بالنسبة للترددات أعلى من ٥٠٠ هرتز، فإن قيمة n تساوي الوحدة، بينما تحدد قيمة n للترددات أقل من ٥٠٠ هرتز وبدرجة عالية من الدقة بإستخدام المعادلة[١٢]:

$$n = \frac{5.6716}{F^{0.2856}} \text{.....} Eq.1.4$$

ب . منسوب ضغط الصوت (*SPL*)

ويعرف منسوب ضغط الصوت بلوغاريتم النسبة بين جذر متوسط المربعات لصوت ما ومنسوب ضغط الصوت العياري (وهو أقل ضغط يمكن للاذن سماعه في وسط هادئ). ويعرف من المعادلة[٢]:

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_0} dB \text{.....} Eq.1.5$$

P جذر متوسط مربع الضغط

P_0 ضغط الصوت العياري ويساوي 2×10^{-5} باسكال (أقل ضغط صوت يمكن للأذن سماعه)

ج . التحديد (*Definition*)

يعرف بأنه النسبة بين إستجابة الفراغ للنبضة عند نقطة ما خلال ٥٠ مللي ثانية الاولى من بداية صوت المصدر الى إستجابة الفراغ للنبضة كليا عند نفس النقطة[١٦]. ويعرف من المعادلة [١٦]:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50\,ms} [g(t)]^2 dt}{\int_0^{\infty} [g(t)]^2 dt} 100\% \text{.....} Eq.1.6$$

$g(t)$ إستجابة الفراغ للنبضة

د . معامل إنتقال الحديث (*STI*)

ويعرف من المعادلة[١٧]:

$$STI = \sum_{k=1}^{7} (w_k - TI_k).100\% \text{.....} Eq.1.7$$

وتعرف TI من المعادلة[١٧]:

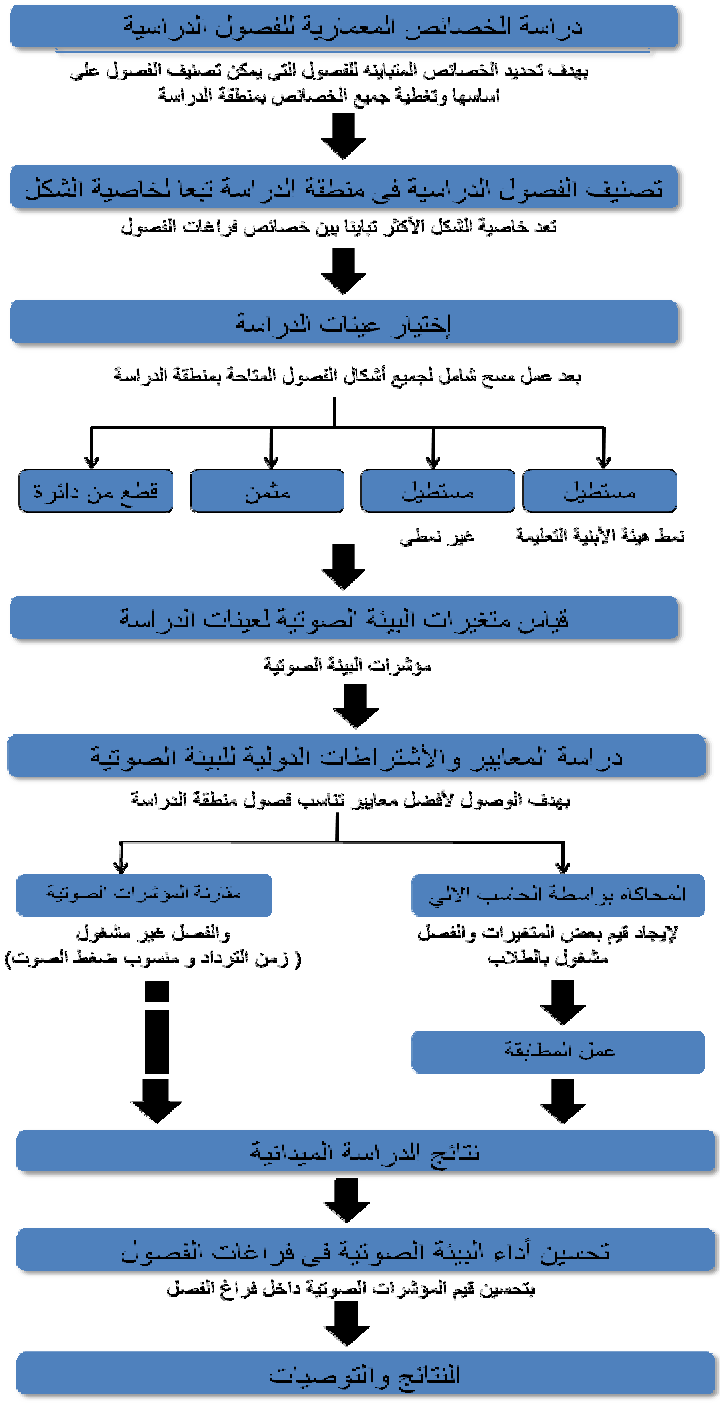
$$TI_k = \frac{SNR_k - S}{R} \text{.....} Eq.1.8$$

وتمثل العلاقة بين معامل إنتقال الحديث ووضوح مقاطع الحديث من الجدول (١-٤)

ضعيف	مقبول	جيد	جيد جدا	ممتاز
% ٣٠ : ٠	% ٤٥ : ٣٠	% ٦٠ : ٤٥	% ٧٥ : ٦٠	% ١٠٠ : ٧٥

جدول ١-٤ العلاقة بين معامل إنتقال الحديث ووضوح مقاطع الحديث[i]

[i] EL-Khateeb, Ahmed A.; Refat, Ismail, Sounds From the Past, The Acoustics of SULTAN HASSAN MOSQUE and MADRASA, Building Acoustics, ١٤(٢),P١٢١.



شكل ١-٧ تسلسل منهج البحث

١-٥ الدراسات السابقة

تعد صوتيات الفصول الدراسية من أهم المجالات العلمية في حقل فيزياء الصوت على مدى الأربعين عاما الماضية، فقد قدمت العديد من الابحاث والكتب والدراسات التي تبحث في تأثير الفراغ على البيئة الصوتية وتأثير البيئة الصوتية على مستخدم الفراغ وفيما يلي عرض لبعض ابحاث صوتيات الفصول الدراسية :

درس **زانين** و **سويرتس** **Zannin & Swirtes** [١٨](٢٠٠٩) فصول المدارس الحكومية في البرازيل وصنف الباحثان المدارس تبعا لتطور إشتراطات البناء المعمارية الى ثلاث مراحل، توصل الباحثان الى ان البيئة الصوتية في الفصول الحكومية البرازيلية بعيدة جدا عن الاشتراطات وغير جيدة صوتيا وذلك بسبب سوء توزيع الفراغات حول الفناء الرئيسي ومناطق اللعب، وبالدراسة وجد الباحثان ان التصميم الاقدم للفصول كان الافضل في قيم زمن الترداد وأشارا الى أن توزيع مواد النهو قديما كان افضل وكذلك إرتفاع قيمة منسوب الضوضاء عموما مع زيادة الإزدحام بشكل كبيرأدى لخفض معامل وضوح الحديث، وقد أوصى الباحثان بضرورة دراسة الامر حيث إن كل المدارس التي بنيت والتي سوف تبنى على هذه الاشتراطات سوف تعاني مشاكل صوتية مما يزيد من عدد الطلبة الذين يعانون من مشاكل في الفهم.
توصل **يانج** و **برادلي** **Yang & Bradley** [١٩](٢٠٠٨) إلى أن زمن الترداد والمرحلة العمرية للطالب يؤثران بشكل مباشر وكبير على وضوح الحديث (وذلك لمرحلة التعليم الاساسي) بعد قيامهما بتجربتين لقياس وضوح الحديث وعلاقته بالمتغيرات الصوتية،في التجربة الاولى تم تثبيت قيمة منسوب الضوضاء الخلفية مع تغيير قيمة نسبة الاشارة للضوضاء وقيم زمن الترداد ووصلت قيمة معامل وضوح الحديث الى اقل من القيمة القصوى بواحد في المائة. وفي التجربة الثانية تم تثبيت قيمة نسبة الاشارة للضوضاء وتغيير زمن الترداد فانخفض معامل وضوح الحديث مع زيادة زمن الترداد وكان التأثير أوضح عند المراحل العمرية الاصغر.

أوضح **برادلي** **Bradley** [٢٠](٢٠٠٥) في دراساته أن مشكلة الفصول الدراسية تكمن في منسوب الضوضاء الخلفية ولا يمثل فراغ الفصل نفسه مشكلة كبيرة إذ يمكن السيطرة على زمن الترداد بتغطية السقف بمواد ماصة للصوت بالقدر المطلوب وذلك عندما لا يتعدى حجم الفصل ٢٥٠ م^{٣} . أما منسوب الضوضاء الخلفية فتصعب السيطرة عليها إذ تحتاج الى معالجة واجهات المبنى ويسبب إرتفاع هذا المنسوب اضرارا صحية للمعلمين بسبب حاجتهم المستمرة لرفع أصواتهم ليكون أعلى من منسوب الضوضاء الخارجية بفارق يصل الى +١٥ ديسيبل ، ويوصي **برادلي** **Bradley** بأخذ ضجيج الطلبة أثناء التفاعل مع المعلم في الاعتبار عند حساب منسوب الضوضاء الخلفية المقاسة والفصل فارغ.

درس **لوسو** و **فيفروس** **Losso & Viveiros** [٢١](٢٠٠٤) البيئة الصوتية في خمسة فصول حكومية جنوب البرازيل، وجد الباحثان أن منسوب الضوضاء الخلفية يتراوح مابين ٥١.٥ : ٧٠.٥ ديسيبل والقيمة اعلى من الحد المسموح به في العديد من الاشتراطات. وأظهرت النتائج أنه للوصول لافضل قيمة لنسبة الاشارة للضوضاء +١٥ ديسيبل يجب أن يرفع المعلم صوته الى ٨٥ ديسيبل (وذلك في بعض حالات الدراسة) مما قد يعرض المعلم لمشاكل صحية بسبب مدة عمله التي تمتد الى ٨ ساعات يوميا، وتراوح زمن الترداد و زمن التلاشي المبكر ما بين ١.١٥ : ١.٦٨ ثانية لزمن الترداد و ٠.٨٣ : ١.٣٠ ثانية لزمن التلاشي المبكر و هي قيم أعلى من المنصوص عليها في الاشتراطات وهي ٠.٥ ثانية لكليهما. وأظهر الباحثان أن معامل وضوح

الحديث يصل في أفضل حالاته الى ٨٨% ومعظم المدارس أقل منها وكذلك فإن الاقتراب من ١٠٠% يعد هدفا مطلوبا.

درس **نوزل** و**هدجسن** **Nosal & Hodgson** [١٢](٢٠٠٢) تأثير الضوضاء الخارجية والضوضاء الناتجة من أنشطة الطلبة على قيمة زمن الترداد الامثل لوضوح الحديث في الفصول الدراسية، الدراسة تشرح و تحقق في التعارض بين التجارب التي أقيمت في ظروف مختلفة من إشارات الحديث ومنسوب الضوضاء الخلفية والتي تلخصت في أن زمن الترداد الامثل قيمته صفر. وبين الحسابات النظرية الخاصة بقياسات المتغيرات المؤثرة على وضوح الحديث والتي تعتمد على نظرية الانتشار والتي تحدد أن زمن الترداد الامثل قيمتة غير الصفر. وتستخدم نظرية مجال الانتشار في تحديد زمن الترداد الامثل في الفراغات غير المأهولة (الفارغة) وذلك للوصول لقيم زمن الترداد في الفراغات المأهولة. وأظهرت الدراسة أن زمن الترداد قيمته تكون صفر في حالة وجود مصدر الصوت قريبا من المستمع أكثر من مصدر الضوضاء وغير الصفر عندما يكون مصدر الضوضاء أقرب من مصدر الصوت . وبالرغم من ذلك فإن قيم زمن الترداد في بعض الحالات لايمكن تحقيقها لان الحضور يمتصون كثيرا من الموجات الصوتية.

قام **ايركولي** و **ازورو** و **مندز** و**سترونيني** **Ercoli, Azzurro, Mendez & Stornini** [٧](٢٠٠١) بدراسة مجموعة من الفصول الدراسية في الارجنتين وكذلك عمل استبانة للمعلمين لتحديد إذا ما شعروا بعيوب صوتية ظاهرة في الفصول كالصدى مثلا وتوصلوا الى أن قيم زمن الترداد ومنسوب الضوضاء الخلفية ونسبة الاشارة الى الضوضاء بعيدة عن الاشتراطات الى حد كبير، وأظهرت نتائج الاستبانة أن اراء المعلمين مؤيدة الى حد ما حيث اجتمع ٦٠% من المعلمين على انهم يسمعون صدى في الفصل اثناء الشرح.

توصل **هدجسن** **Hodgson** [٢٢](٢٠٠١) الى ان العوامل المؤثرة على زمن التلاشي المبكرتتمثل في شكل الغرفة وأبعادها ومواد النهو وكمية المواد الماصه وتوزيعها.

درس **نظيم الدين** [٢٣](٢٠٠٠) البيئة الصوتية لثلاثة فصول دراسية في دكا (بنجلاديش) وتوصل إلى ان قيمة زمن الترداد في الفصول الثلاثة كبيرة جدا عن الحد الاقصى الموصى به للحديث، استخدم الباحث ثلاث وسائل لعلاج الترداد في الفراغ الاولى تقليل حجم الفراغ بإستخدام سقف ساقط من الصوف الزجاجي والثانية توزيع مسطحات من الصوف الزجاجي على الحوائط لزيادة الامتصاص والثالثة استخدام مفروشات مبطنة بالفوم وستائر من اقمشة ثقيلة لزيادة الامتصاص، واستخدم الباحث الصوف الزجاجي بتغطية من الخيش المحلي المصنوع من الالياف النباتية (Partex).

درس **برادلي** و**بيستافا** **Bradley & Bistafa** [٢٤](٢٠٠٠) المتغيرات المؤثرة على وضوح الحديث، وتوصل الباحثان الى ان منسوب الصوت يتلاشى بدالة أسية وثابت التلاشي يتناسب عكسيا مع زمن الترداد في الفراغ ،وأظهرت الدراسة أن الفصل الهادئ يحتاج لزمن ترداد يتراوح مابين ٠.١ : ٠.٣ ثانية وذلك لزيادة قيمة متغيرات معاملات وضوح الحديث ، ويمكن الوصول الى نسبة ١٠٠% لمعامل وضوح الحديث عند زمن ترداد ٠.٤ : ٠.٥ ثانية وهذا هو النطاق المسموح به في الفصول. وأقترح الباحثان منسوب ضوضاء خلفي مثالي للفصول يتراوح مابين ٢٠ : ٢٥ ديسيبل أقل من منسوب صوت المصدر على بعد ١متر أمام المصدر.

درس **برادلي** و **ريك** و**نوركروس** **Bradley, Reich & Norcross** [٢٥](١٩٩٩) التأثير المزدوج لكل من نسبة الاشارة للضوضاء ومتغيرات صوتيات الغرفة على وضوح الحديث، وتوصلوا الى أن نسبة الاشارة للضوضاء لها التأثير الاكبر والاهم عن متغيرات صوتيات الغرفة حيث إن الحفاظ على قيمة منسوب الضوضاء الخلفية في الحدود المسموح بها داخل الفراغ أهم من ضبط قيمة زمن الترداد والمتغيرات الاخرى.
واكد الباحثون على أهمية إستخدام قيمة واحدة معبرة عن نسبة الاشارة للضوضاء ومتغيرات صوتيات الغرفة وهي نسبة المفيد للضار (U_{50} Useful to detrimental ratio) التي تعبر عن النسبة بين طاقة الحديث المبكرة (حتى ٥٠ مللي ثانية) وهي مفيدة للحديث وطاقة الحديث المتأخرة، والقيمة يتم حسابها بثلاث طرق لتغطية جميع متغيرات صوتيات الغرفة.

قارن **أبوت** **Abbot** [٧](١٩٩٧) كفاءة الادراك الصوتي بين الاطفال والبالغين وتوصل الى أن الاطفال الطبيعين يحتاجون الى قيمة نسبة الاشارة الى الضوضاء أعلى من القيمة التي يحتاج اليها البالغين، و يحتاج الاطفال لزمن ترداد أقل من زمن الترداد الذي يحتاج اليه البالغين، توصل الباحث الى ان الاطفال يفهمون ٧١% من مقاطع الحديث في حالة البيئة الصوتية الجيده (زمن ترداد = ٠.٤ ، نسبة الاشارة الى الضوضاء =+٦ ديسيبل). وفي حالة البيئة الصوتية السيئة (زمن ترداد = ١.٢ ، نسبة الاشارة الى الضوضاء =+٠ ديسيبل) تقل قيمة معامل وضوح الحديث الى أقل من ٣٠% من المقاطع.

توصلت **ليلي** **Lilly** [٧](١٩٩٧) بالتجربة إلى أن منسوب الضوضاء الخلفية قيمته ٣٠ ديسيبل و زمن ترداد قدره ٠.٥ ثانية ينتجان قيم اعلى لمعامل وضوح الحديث داخل فراغ الفصل.

درس **سالا** و**فلجانين** **Sala & Viljanen** [٢٦](١٩٩٥) تأثير توزيع المواد الماصة على زمن الترداد ومعامل انتقال الحديث بهدف الوصول لأفضل بيئة صوتية بأقل مساحة من المواد الماصة للصوت، وذلك بقياس زمن الترداد ومعامل انتقال الحديث في فصل ابعاده (١٠م x ٧.٦م x ٣.٣م) ، واستخدم الباحثان الواح من الصوف الصخري مقاس ١.٢م في ٠.٦م وسمك ٥ سم ، وافترضا أن منسوب الضوضاء الخلفية ٣٢:٣٠ ديسيبل وتمت القياسات والفصل خالي من المقاعد و الطلبه. أقيمت القياسات في ٢٠ وضع تم في كل منها تغيير توزيع المواد الماصة ومساحتها، وتوصل الباحثان الى ان تغطية ٣٠% من مساحة اسطح الفراغ تعطى أعلى قيم لمعامل إنتقال الحديث بشرط أن يكون التوزيع على سطحين مختلفين ويفضل الحائط الخلفي والسقف، وتوصل الباحثان الى أن زيادة مساحة المواد الماصة حتى الى ضعف قيمتها يؤثر في قيمة معامل إنتقال الحديث تأثيرات طفيفة.

توصل **كاتروف** **Kuttruff** [٢١](١٩٩١) الى ان زمن الترداد لا يتغير بشكل كبير مع تغير شكل الغرفة وذلك لان منحنى تلاشي الصوت ينتج عن عدة إنعكاسات على مراحل على عكس زمن الاضمحلال المبكر (EDT) الذي ينتج عن إنعكاسات قوية ومعزولة وتعتمد على مواقع القياس لذلك يعتبر الاكثر حساسية لتشكيل الغرفة.

١-٦ خلاصة الفصل الاول

- نظرا لأهمية التعليم وخصوصا في المراحل العمرية الاولى فقد أهتم القدماء على العصور بالعملية التعليمية وخصصوا لها مكان محدد، وغالبا ما يتصل بالمباني التعليمية في معتقداتهم (مسجد، كنيسة، معبد).

- مع تقدم البحث العلمي قامت الدراسات حول تحسين البيئة التعليمية بوجه عام والتي تتضمن البيئة الصوتية وأظهرت الدراسات وجود مشكلة في البيئة الصوتية داخل فراغ الفصل وخصوصا عند الاطفال في المراحل المبكرة من التعليم (التعليم الاساسي).

- يدرس البحث البيئة الصوتية في عينة من فصول مرحلة التعليم الاساسي بالقاهرة من خلال القياس الحقلي بأجهزه معتمدة عالميا.

- وتم إختيار العينات على أساس الاختلاف بينها في الخصائص المعمارية.
- اعتمد البحث على الحاسب الالي في تحليل البيانات بواسطة برامجيات متخصصة.
- واعتمد البحث في تقييمه لنتائج التحليل على الاشتراطات العالمية ونتائج الدراسات السابقة.

الفصل الثاني

٢. الخصائص المعمارية وتأثيرها على البيئة الصوتية بالفصل الدراسي.

٢-١ تمهيد
٢-٢ الخصائص المعمارية وتأثيرها على البيئة الصوتية
٢-٣ الخصائص المعمارية ومتغيرات البيئة الصوتية
٢-٤ خلاصة الفصل الثاني

٢-١ تمهيد

ينقسم الفصل الثاني إلى قسمين الاول يختص بدراسة خصائص فراغ الفصل المعمارية والثاني يدرس علاقة الخصائص المعمارية بمتغيرات البيئة الصوتية.

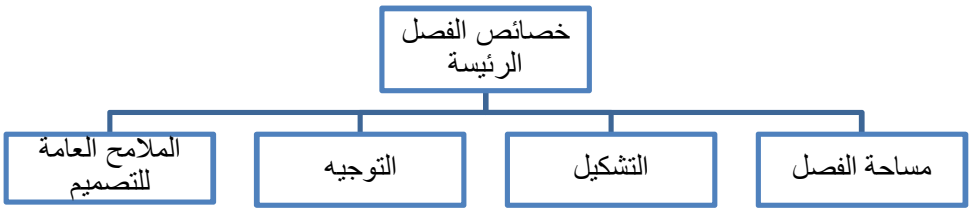
يعرف فراغ الفصل المخصص للاغراض العامة بأنه الفراغ الذي يقضي فيه الطلاب معظم اليوم لدراسة العلوم المختلفة التي لا تحتاج لتجهيزات خاصة [٢٧]، والفصل المخصص للاغراض العامة من أكثر الفراغات التعليمية شيوعا وأقدمها على الاطلاق فهو يعتمد على التواصل الذهني المباشر بين الطلاب والمعلم على عكس الفصول العملية التي تعتمد على المشاهدة الى حد بعيد.

٢-٢ الخصائص المعمارية لفراغ الفصل الدراسي

وتنقسم خصائص فراغ الفصل المعمارية الى خصائص رئيسة وتشمل مساحة الفصل وسعته والتشكيل والتوجيه والنسق العام وخصائص تكميلية وتشمل الفتحات ومواد النهو والاثاث والالوان. وفيما يلي توضيح لعناصر خصائص الفصل.

٢-٢-١ الخصائص الرئيسة لفراغ الفصل الدراسي

تعّرف بأنها الخصائص المميزه التي لايمكن تغيرها بعد تنفيذ (بناء) الفصل إلا بالهدم وإعادة التصميم والبناء، وهي الخصائص المميزة للفراغ عن غيره من الفراغات. شكل (٢-١).



شكل ٢-١ خصائص فراغ الفصل الرئيسة

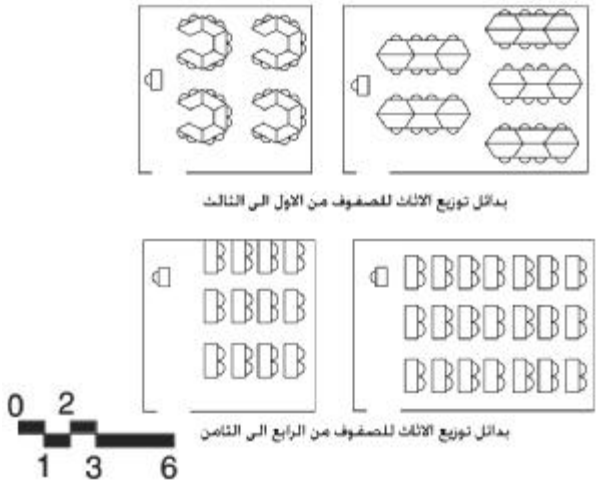
٢-٢-١-١ مساحة الفصل

ترتبط مساحة فراغ الفصل وسعته(قدرته الاستيعابية) بعلاقة مباشرة إذ تعتمد قيمة كل منهما على الاخرى، وتعد سعة فراغ الفصل القيمة الأهم وذلك لأنها تتحدد بسبب إرتباطها الوثيق بالمتغيرات البيئية والنفسية للطلاب ومن السعه يمكن تحديد مساحة الفصل عن طريق تحديد نصيب الطالب من مساحة الفصل، وتتأثر السعة بالمرحلة العمرية للطلاب حيث تختلف قيمتها حسب عمر الطالب في كل مرحلة دراسية.

أ.المرحلة العمرية لطلاب التعليم الاساسي

يتميز الطلاب في مرحلة التعليم الاساسي بالنمو السريع بدنيا ونفسيا وعقليا، مما يؤثر على نصيب الطالب في مساحة الفصل وبالتالي مقاسات الأثاث الخاص بكل مرحلة عمرية (حيث تختلف مقاسات جسد الطلاب في كل مرحلة عمرية عن الاخرى) وقد أدى ذلك الى تباين مساحات الفصول في كل مرحلة عمرية، مما دعى هيئة الابنية التعليمية لتوحيد مقاس الفصل على الأثاث الخاص بالمرحلة العمرية الأكبر سنا، الامر الذي يزيد من مرونة تصميم المدرسة وتجميع الفصول، بحيث يسهل إعادة توظيف الفراغات أثناء التشغيل لمبنى المدرسة.

يمكن تصنيف طلاب مرحلة التعليم الاساسي من حيث مقاسات الجسد الى مرحلتين عمريتين الاولى من ٦: ٩ سنوات والثانية من ١٠: ١٥ سنة ويؤدي توحيد مقاس الفصل على المرحلة الاكبر سنا إلى حدوث فائض في المساحة للمراحل العمرية الأصغر (حيث مقاسات الأثاث الاصغر وثبات المساحة)، ويوظف فائض المساحة في القيام بالانشطة داخل الفصل حيث إن هذه المرحلة العمرية لا تحتاج إلى فراغات متخصصة للانشطة[٢٧].



شكل ٢-٢ بدائل تصميمية للمراحل العمرية المختلفة للفصول الدراسية[i]

ويظهر شكل (٢-٢) توزيع الأثاث في المراحل العمرية الصغرى ومرونة التوزيع حسب الانشطة المختلفة وكذلك التوزيع للمراحل الاكبر سنا حيث التوزيع التكراري لتحقيق السعة المطلوبة[٢٧].

[i] وزارة التربية والتعليم-المعايير التصميمية لمدارس مرحلة التعليم الاساسي بأقليم القاهرة الكبرى- ١٩٩٠. ص ٤٧.

ب. السعة والمساحة

تتراوح سعة فراغ فصل التعليم الاساسي ما بين ٢٠ : ٧٥ طالب . وتحدد مساحة الفصل من العلاقة التالية[٢٨]:

$$Ca = Ta + (Sn \times Sa) meter^2 .....Eq.2.1$$

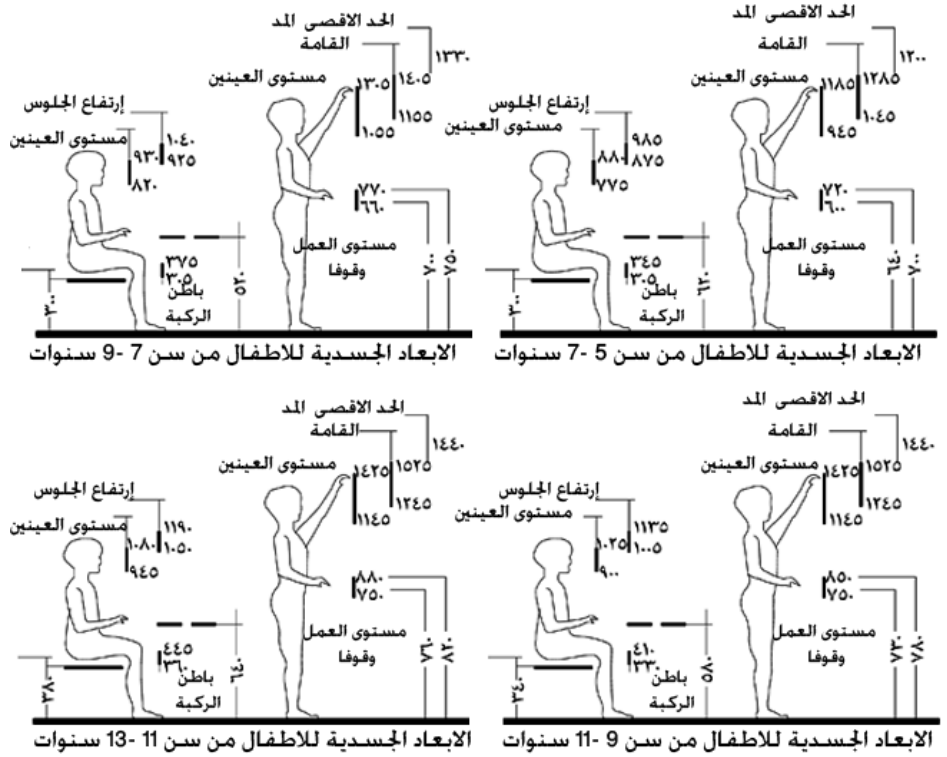
حيث

Ca	مساحة الفصل
Ta	مساحة المعلم
Sn	عدد الطلبة
Sa	المساحة التي يشغلها الطالب

تقدرقيمة المساحة المخصصة للمعلم بحوالي ٤,٥ م^2 وتزيد إلى ٩م^2 عندما يكون الفصل مجهزا بوسائل إيضاح، ويتراوح نصيب الطالب مابين ١,٤ م^2 : ١,٨م^2[٢٨].

حددت هيئة الابنية التعليمية سعة الفصل متعدد الاغراض بعدد ٤٠ طالب للتعليم الأساسي، ولا تقل مساحة الفصل عن ٤٢م^2 على أن يكون نصيب الطالب من مساحة الفصل لايقل عن ١,٤م^2

.



شكل ٢-٣ أبعاد جسم الطفل حسب المرحلة العمرية [i]

[i] خلوصي، محمد و الخريجي، سليمان ،المباني التعليمية،القاهرة،٢٠٠٥. ص ٣٦.

٢-٢-١-٢ التشكيل

يعبر التشكيل عن الطبيعة الثلاثية لفراغ الفصل، أي العلاقة بين المسقط الافقي والقطاع ويكتسب شكل المسقط الافقي أهمية عن شكل القطاع لأن جميع المدارس تقريبا متعددة الطوابق فيصبح التغير في شكل القطاع أمرا صعبا لحتمية إستخدام أسقف أفقية فتغير شكل القطاع يكون اسهل في اخر طابق ويظل القطاع مستو دائما في باقي الطوابق. وبينما يتغير شكل المسقط الافقي بطريقة أسهل عن شكل القطاع حيث لايوجد ما يمنع التغير بأي حال في حدود النجاح الوظيفي للفصل.

أ. شكل المسقط الافقي (*Shape*)

يتغير شكل المسقط الافقي بمرونه حسب هدف المصمم المعماري ولم تضع هيئة الابنية التعليمية أية قيود على شكل المسقط الافقي عدا قيود التصميم التي تشمل المساحة والسعة ما يجعل أي شكل مقبول كفصل شريطة تحقيق السعة المطلوبه والمساحه والتوزيع الجيد للأثاث الامر الذي يسمح بأشكال لانهائية للفصول وليس فقط الأشكال المنتظمة، وفي القاهرة الكبرى يغلب إستخدام الشكل المستطيل في التصميم لما يحققه من مرونه في توزيع الأثاث وتوفير في إستغلال مساحة الفراغ وكذلك إمكانية تغيير الاستخدام، مع وجود بعض الاشكال المنتظمة كالمسدس والقطع من الدائرة للفصول الدراسية في صر.

يعد شكل المسقط الأفقي للفصل من العوامل الهامة في التصميم فهو يؤثر على الطلبة بشكل مباشر من خلال توزيع الأثاث وكذلك الإضاءه والصوت فيجب أن يراعى شكل المسقط الأفقي للفصل ثلاث نقاط هامة أثناء التصميم:

١- دراسة زوايا الرؤية للطلاب و تحقيق الفصل لهدفه الرئيسي من الاتصال بين المعلم والطالب.

٢- تحقيق الترابط بين الطلاب وبعضهم بشكل جماعي وليس كمجموعات متفرقة وذلك بعمل دراسة للأثاث وتوزيعه.

٣- مراعاة التغيرات التي قد تحدث في أساليب التعليم وبحيث يسمح بإضافة طرق جديدة.

يوضح شكل (٢-٤) نموذجين إسترشاديين وضعتهما هيئة الابنية التعليمية لتصميم الفصول الدراسية لمرحلة التعليم الاساسي (المستطيل والمربع) وكإشتراطات عامه أوصت هيئة الأبنية التعليمية بألايزيد عرض الفصل عن ٦ متر في حالة وجود فتحات في جانب واحد وألا يزيد طول الفصل عن ٩ متر.

نموذج للفصل المستطيل نموذج للفصل المربع

شكل ٢-٤ نماذج لمساحات الفصول الدراسية[i]

يوضح شكل (٢-٥) الأشكال الهندسية الممكن إستخدامها كمساقط أفقية للفصول الدراسية

شكل ٢-٥ نماذج لاشكال الفصول الدراسية المتاحة

ب. شكل القطاع

يفضل أن يكون شكل القطاع للفصول منتظم وان يكون امتداد رأسي لشكل المسقط الافقي، وذلك لعدة عوامل أهمها مراعاة الامتداد الرأسي للمدرسة ومرونة التصميم وتوزيع الفراغات ، قامت بعض الدراسات بالربط بين إرتفاع السقف وإنخفاض الحرارة داخل الفصل وذلك بزيادة حمل التبريد. حيث إن الزيادة المطلوبة في الارتفاع لزيادة حمل التبريد غير إقتصادية تماما في التنفيذ وذلك مع الارتفاع المتزايد في تكلفة الانشاء، حيث إن زيادة ارتفاع الفصل من ٣.٤٥ متر الى ٣.٦٥متر أدى لزيادة حمل التبريد ٢% فقط[٢٧].

بدارسة هذا التأثير فقد أوصت هيئة الابنية التعليمية بأن يكون إرتفاع الفصل ما بين ٣.١٠م و ٤.٣٠م إستنادا إلى أن حجم الهواء المطلوب لكل طالب والذي قدر بحوالي ٣.٨٠م^3 ولذلك فإن العامل المسيطر على تحديد ارتفاع الفصل بعد العامل البيئي هو حصول كل طالب على حجم معين من الهواء.

يجب ألا يقل إرتفاع الفصل عن نصف العرض حتى لا يشعر الطلاب بالانضغاط داخل الفصل و يوضح جدول (٢-١) الإرتفاعات الموصى بها للفصول في بعض دول العالم.

[i] وزارة التربية والتعليم-المعايير التصميمية لمدارس مرحلة التعليم الاساسي بأقليم القاهرة الكبرى- ١٩٩٠. ص ٥٠,٥٣.

الدولة	إرتفاع الفصل
أمريكا	٣.٨٥ م
المانيا	٣.٧٥ م
سويسرا	٣.٤٠ م
المتوسط	٣.٦٠ م

جدول ٢-١ أمثلة للحد الادنى لارتفاعات الفصول في بعض دول العالم[i]

٢-٢-١-٣ التوجيه

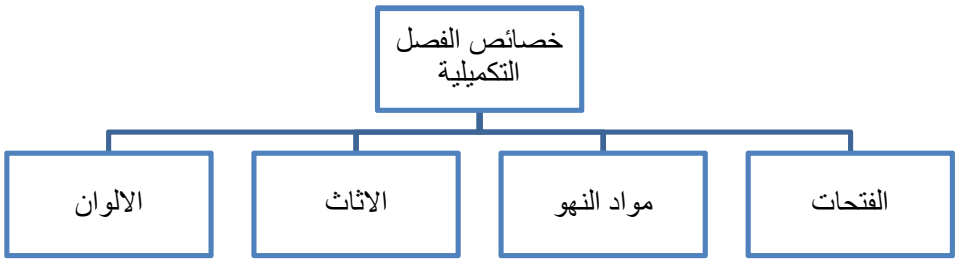
بإستخدام الاضاءة الطبيعية مصدراً لإنارة الفصل؛ يفضل أن تكون النافذة الرئيسية على يسار الطلاب والأفضلية الاولى للتوجية في الاتجاة الشمالي أو الجنوبي وذلك لتجنب التعرض المباشر لأشعة الشمس.(وهذا يعني توجيه المبنى في إتجاه الشرق والغرب مما يقلل الكسب الحراري للكتلة) وعند استخدام التوجية الجنوبي يجب الاستعانة بكواسر أفقية لمنع أشعة الشمس المباشرة من الدخول الى الفصل، والافضلية الثانية للتوجية شمال شرق أو جنوب غرب ويجب استخدام الكواسر في كلا من الاتجاهين.[٢٧]

٢-٢-١-٤ الملامح العامه للتصميم

يشمل النسق العام للتصميم تحديد موقع الفصل في الموقع العام وعلاقتة بالفراغات المحيطة والاستخدامات الاخرى داخل مبنى المدرسة. فيفضل عمل مجموعات فصول منفصلة لكل مرحلة عمرية، ومن الافضل وضع الفصول في الادوار السفلى لسهولة التواصل مع باقي الخدمات الاخرى في المدرسة، وعند تواجد إستخدامات أخرى غير الفصول كالمكاتب والمعامل يجب فصل بطارية الحركة الخاصة بالاستخدامات الاخرى عن بطارية الفصول.[٢٨]

٢-٢-٢ خصائص فراغ الفصل التكميلية

تشمل الخصائص التكميلية العناصرالتي يمكن تغيرها بعد تنفيذ الفصل، دون الإضراربالعناصر الرئيسة بالفراغ .شكل (٢-٦)



شكل ٢-٦ خصائص فراغ الفصل التكميلية

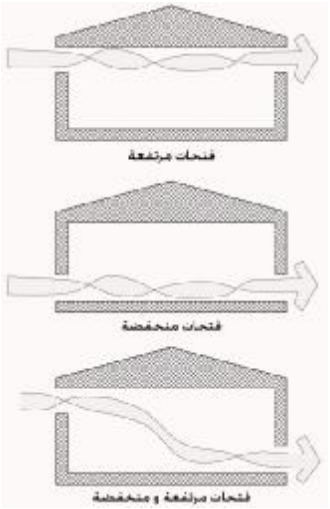
[i] وزارة التربية والتعليم-المعايير التصميمية لمدارس مرحلة التعليم الثانوي بأقليم القاهرة الكبرى- ١٩٩٠. ص ٤٥.

٢-٢-٢-١ الفتحات

يعتمد تحديد مساحة الفتحات وتوزيعها وارتفاعها على عاملين رئيسين وهما مقدار الاضاءة الطبيعية والتهوية المطلوبة داخل الفصل.

والفتحات تشمل الباب والنوافذ وكما تقدم إذا زاد عدد طلاب الفصل عن ٤٠ طالب ينصح بعمل بابين لفراغ الفصل ويفضل ان تكون النوافذ في جهتين متقابلتين احدهما رئيسية والاخرى مطلة على الممر الخاص بالحركة وتكون ذات ارتفاعات صغيرة (شراعات او نظارة).

ووجود نافذتين متقابلتين مقاساتهما مختلفة يولد تيار هواء مستمر ويزيد من سرعة الهواء حسب قاعدة **فنتوري** لسريان الهواء[٢٩] شكل (٢-٧) وذلك مهم لتجديد هواء الفصل بشكل مستمر ويحقق معدل التهوية المطلوبة، حيث إن الفراغات التي تحوي فتحة واحدة فقط تحصل على متوسط سرعة هواء ١٣:١٧ % من سرعة الهواء الخارجي مع الاخذ في الاعتبار اتجاة الرياح وعند وضع نافذتين في حائطين متقابلين تزيد سرعة الهواء لتصل الى ٣٥:٦٥ % من سرعة الهواء الخارجي[٢٩].



شكل ٢-٧ سريان الهواء بين نافذتين متقابلتين[i]

١ . مساحة النوافذ

لتحقيق الإضاءة والتهوية المطلوبين أوصت هيئة الابنية التعليمية بأن تكون مساحة النوافذ التي تحقق تهوية ٦:٨ مرات/ساعة وتحقق الاضاءة المطلوبة منها كما يلي:

أ . الفصل المربع

يجب أن يكون مجموع مسطحات الشبابيك من ١٨:٢٠ % من مساحة الفصل بمعنى أن يكون الشباك الرئيسي من ٩ :١٢% وإذا تعذر وجود شباك على الممر الداخلي تزيد مساحة الشباك الرئيسي الى ٢١ % وذلك بعمل شراعات علوية.

ب . الفصل المستطيل

يجب أن يكون مجموع مسطحات الشبابيك من ١٥:١٨ % من مساحة الفصل بمعنى أن يكون الشباك الرئيسي من ٩ :١٢% وإذا تعذر وجود شباك على الممر الداخلي تزيد مساحة الشباك الرئيسي الى ١٨ % وذلك بعمل شراعات علوية.

ج . الاشكال الاخرى (المسدس والمخمس والمثلث وقطاع الدائرة)

يكون مجموع مسطحات الشبابيك ١٨% ايا كان شكل المسقط الافقي بشرط ان تكون النوافذ غير مواجهه للطلبة ، ويمكن وجود شباك على الممر الداخلي .

أوصت كذلك بأن يكون أقل ارتفاع لجلسة النافذة الرئيسية ٠.٩٠متر والنافذة الثانوية في الحائط المقابل ١.٧٠متر ويكون ارتفاع الاعتاب ٢.١٠متر وعرض فتحة الباب ١متر تفتح للخارج ،

[i] Dekay, Mark ; Brown, G. Z. . "SUN, WIND & LIGHT Architectural Design Strategies" John Wiley & Sons, New York, USA. P

وتكون جلسات الشبابيك على ارتفاع ١.١٠متر وذلك لتكون أعلى من مستوى نظر الطلاب أثناء جلوسهم لعدم تشتيت ذهن الطلاب اثناء الدرس[١].

٢-٢-٢-٢ مواد النهو

تؤثرمواد النهو بشكل مباشر على البيئة الصوتية من حيث نمو وتلاشي الطاقة داخل فراغ الفصل، والفكرة الرئيسة لتوزيع واختيار مواد النهو تكون في أستخدام المواد الاطول عمرا والاكثر تحملا لنشاطات الطلاب وعوامل التعرية الطبيعية. ويوضح جدول (٢-٢) بدائل التشطيبات المقترحة بواسطة هيئة الابنية التعليمية:

العنصر	بديل ١	بديل٢	بديل٣
الارضيات	تكسية بأفرخ الليونوليم	ترابيع فينيل قنالتكس	لياسة أسمنتية
الحوائط	بياض تخشين ودهان بلاستيك	بياض موزايكو	
السقف	بياض مصيص		

جدول ٢-٢ بدائل مواد النهو في الفصول الدراسية[i]

٢-٢-٢-٣ الأثاث ووسائل الايضاح

يعتبر الأثاث والوسائل الايضاحية من العناصر الهامة لاداء العملية التعليمية بكفاءة ويسر ، والأثاث يشمل الأثاث الثابت والمتحرك على اختلاف انواعه وفي مرحلة التعليم الاساسي يحدد نوع الأثاث حسب المرحلة الدراسية وكما سبق ذكره في مساحة الفصل ان مساحة الفصل ترتبط بالمرحلة العمرية الاكبر لسهولة تصميم المدرسة والفصول، كذلك الأثاث يتم تقسيمة الى مرحلتين عمريتين كما أوصت هيئة الابنية التعليمية في اشتراطاتها من سن ٦ : ٩ سنوات ومن سن ١٠ : ١٥ سنة، ونجد ان الأثاث المستخدم للمراحل العمرية الأصغر يجب ان يساعد على مرونة توزيعه في الفصل وذلك لإتاحة الفرصة لإقامة النشاطات المختلفة داخل الفصل . [٢٧]

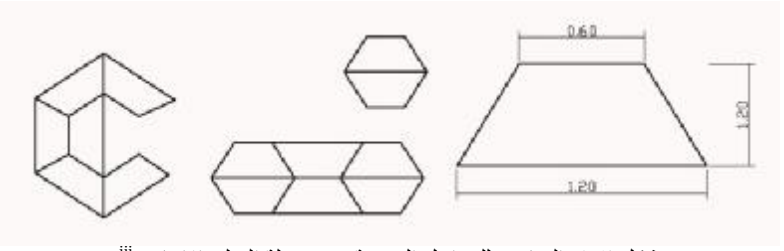
أ. أبعاد الأثاث

يعتبر الأثاث المتصل (الكرسي بالطاولة) افضل من الأثاث المنفصل من ناحية سهولة ترتيب الفصل وتنظيمه ولكن يجب ان يصمم بحيث لايعيق حركة الجلوس والوقوف بسبب ربط الطاولة بالكرسي ومع ذلك يعد الأثاث المنفصل أفضل من ناحية المرونة في توزيع الأثاث داخل الفصل والتحكم في الطاولات ولكنه أصعب في ترتيب الفصل ويحتاج لحماية على الحوائط لمنع احتكاك الكراسي بالحوائط.

[i] وزارة التربية والتعليم-المعايير التصميمية لمدارس مرحلة التعليم الاساسي بأقليم القاهرة الكبرى- ١٩٩٠.ص ١١٣.

مناضد للسن الكبير ١٠ الى ١٥ سنة[i]

مناضد السن الصغير من ٦ الى ٩ سنوات[ii]



شكل ٢-٨ المناضد للمراحل العمرية في مرحلة التعليم الاساسي[iii]

ومقاس الطاولة المزدوجة (طالبين) ١.٢ × ٠.٤٥متر والكراسي الخاصة بالطاولة ١.٢ × ٠.٤٥متر، ويكون مساحة الأثاث لطالب واحد ٠.٦٠ × ٠.٤٥متر بدون حساب مساحة الممرات والفراغ الامامي والتي سيأتي الحديث عنهما في النقطة التالية.

ب. وسائل الايضاح

تعد السبورة وسيلة الايضاح الرئيسية في كل الفصول سواء كانت ثابتة او متحركة تستخدم الطباشير للكتابة عليها أو الأقلام، وتنص هيئة الابنية التعليمية على ألا تقل ابعاد السبورة عن ١.٢ × ٠.٩٠ متر والابعاد المفضلة لها ١.٨ × ١متر [٢٧] ويجب أن تشمل السبورة النقاط الاتية:

- يجب ان يكون لونها غيرمتناقض مع حوائط الفصل
- تجنب الابهار (بعدم تركيزالاضاءة بشكل مباشر عليها) ويمكن علاج ذلك بعمل ميل بسيط للسبورة رأسيا.
- يجب ألا يزيد ارتفاع السبورة عن اقصى ارتفاع يصل إليه ذراع الأستاذ ولا يقل ارتفاعها عن الارض عن ١.١متر .
- كلما زاد عرض السبورة كان افضل ليبقى الشرح عليها أطول فترة ممكنة ويفضل أن تكون برف سفلي .

[i] المرجع السابق. ص٤٢.
[ii] المرجع السابق. ص٤٢.
[iii] المرجع السابق. ص٤٢.

- الا تزيد زاوية الرؤية بين طرفي السبورة وبين الطلاب عن ٣٠ درجة .
- المواد المستخدمة لصناعة السبورة واشهرها الاردواز والخشب والليناوليوم .

٢-٢-٢-٣ الالوان

تعد الالوان من العناصر الهامة في تصميم الفصل داخليا فهي تؤثر في مستخدمي الفراغ بشكل كبير نفسيا وغالبا ما تدهن حوائط الفصول بألوان قاتمة في منتصف الحائط السفلي، وذلك حتى لايظهر الاتساخ بها ويزيد عمرها الإفتراضي، وبدراسة تأثير بعض الالوان وجد أن الالوان القاتمة لها تأثير سلبي على الطلاب، ووجد ان الالوان مثل الاصفر تساعد على النشاط والتركيز، واللون الابيض يهدئ الاعصاب ويبعث على الراحة.[٣٠]

٢-٣ الخصائص المعمارية ومتغيرات البيئة الصوتية

ترتبط الخصائص المعمارية بمتغيرات البيئة الصوتية بشكل كبير، مما يجعل التصميم الصوتي للفراغ مرتبطا بالتصميم المعماري للفراغ.
وفيما يلي توضيح لعلاقة الارتباط بين الخصائص المعمارية ممثلة في الخصائص الرئيسة والخصائص التكميلية ومتغيرات البيئة الصوتية.

٢-٣-١ خصائص فراغ الفصل الرئيسة والبيئة الصوتية

فيما يلي يتعرض البحث لدراسة علاقة الخصائص الرئيسة بالبيئة الصوتية، وعلى الرغم من صعوبة تغييرها إلا أن معالجتها من الناحية الصوتية ممكنه.

٢-٣-١-١ السعة والامتصاص

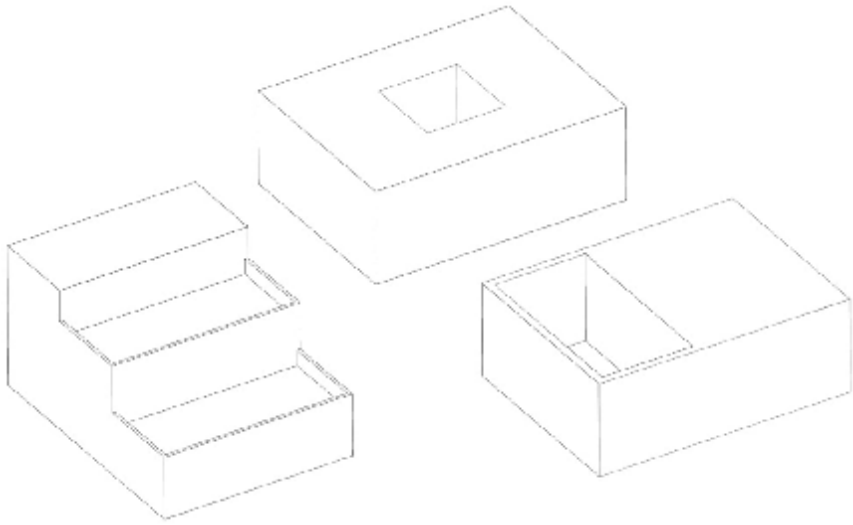
تؤثر سعة الفصل على البيئة الصوتية بشكل مباشر ويظهر ذلك في إمتصاص الاطفال للطاقة الصوتية الذي يؤثر على زمن الترداد وكذلك منسوب ضغط الصوت في الفراغ، ولا يمكن تحديد قيمة ثابته لإمتصاص الافراد للطاقة الصوتية حيث تعتمد قيمة الإمتصاص على عوامل متعددة منها الملابس وأنواعها وكذلك وضع المستمع، ففي دراسة قام بها **الخطيب El-Khateeb واولدهام Oldham** [٣١] (٢٠٠٨) بينت التجربة أن قيم إمتصاص الأفراد تتغيرمن وضع لاخروبشكل ملحوظ، فقد بينت التجربة أن وضع السجود أقل الاوضاع إمتصاصا وذلك لصغر المساحة المعرضة من الجسم للطاقة الصوتية وأكثرها إمتصاصا كان وضع الوقوف لزيادة المساحة المعرضة من الجسم للطاقة الصوتية، الامر الذي يصعب معه تحديد قيمة ثابته تعّرف إمتصاص الافراد بشكل مباشر.

٢-٣-١-٢ شكل الفصل و البيئة الصوتية

يؤثر شكل الفصل على البيئة الصوتية بقدر كبير ولذلك تعد دراسة الشكل قبل التصميم هامة فهي تساعد على تلافي العديد من العيوب الصوتية وتدرس تقوية الانعكاسات المبكرة للطاقة الصوتية.

ومن معادلة سابين نجد أن خفض إرتفاع الفصل تتسبب في خفض زمن الترداد وعلى الرغم من أن ذلك الانخفاض طفيف الا أن هناك حدود لتغيير الارتفاع حسب إشتراطات هيئة الابنية التعليمية وذلك لتجديد الهواء. لذلك يوصى بإستخدام أقل إرتفاع مسموح به تبعا للاشتراطات ٣.١٠ م .

يوصى بإستخدام الاشكال التي تحمي نفسها من مصادر الضوضاء الخارجية (كالفناء والطرق المحيطة بالمدرسة) كما في شكل (٥-١) وتقوم فكرة الحماية على إحتواء هذه الاشكال على فراغ وسيط (فناء) يقوم بخفض الصوت[٣٣].



شكل ٢-٩ الاشكال التي تحمي نفسها من الضوضاء الخارجية[i]

يجب أيضا الابتعاد عن مسببات العيوب الصوتية كالكمرات التي تتسبب في عمل مناطق ظلال خلفها، والاشكال كالدائرة التي تسبب الزحف.

ويعتمد تصميم الفراغ معماريا على الهدف الصوتي المرجو منه سواء كان مخصصا للحديث أو للموسيقى. وينقسم تأثير شكل الفصل الى متغيرين هما معامل الشكل (يرتبط بشكل المسقط الافقي) و معامل الكتلة (يرتبط بشكل القطاع) ويرتبط كل من المتغيرين بعلاقات رياضية مع متغيرات البيئة الصوتية.

أ- معامل الشكل (*Shape Factor*) Sh_f

يؤثر شكل المسقط الافقي (إذا افترضنا ثبات المساحة) على توزيع الصوت في الفراغ، حيث يكون المحيط هو المتغير الوحيد بين الاشكال المختلفة. ورياضيا؛ يتناسب المحيط عكسيا مع عدد الاضلاع والزوايا وهذا يعني ان الدائرة أقل محيط - مقارنة بالمثلث الذي له نفس مساحة الدائرة- حيث يبلغ عدد أضلاعها مالانهاية وعلى عكس المثلث الذي يحوي أقل عدد أضلاع وزوايا وبالتالي أكبر محيط. وبشكل عام تشكل نسبة المحيط للمساحة (Perimeter to Area Ratio) القيمة الرئيسه الحاكمة للبيئة الصوتية في الغرفة.
يتناسب معامل الشكل عكسيا مع زمن الترداد وذلك يعني أنه يتناسب طرديا مع وضوح الحديث، مما يعني أن وضوح الحديث يتناسب عكسيا مع عدد أضلاع الشكل. [٢٤]
يعرف معامل الشكل Sh_f رياضيا من العلاقة:

$$Sh_f = \frac{Per}{Ar} \times Dis_f \ldots\ldots\ldots Eq.2.2$$

حيث

[i] Egan, M.D., Architectural Acoustics, New York: McGraw-Hill Book Company, ١٩٨٨. Page ٢٥٩.

Per محيط الشكل
Ar مساحة الشكل
Dis_f معامل التشوه وهو النسبة بين إجمالي المساحة السطحية للغرفة وإجمالي المساحة السطحية لغرفة عيارية لها نفس الشكل والمساحة والحجم وذات أسطح متعامدة.

ب- معامل التشكيل (*Form Factor*)

يعبر معامل التشكيل عن متغيرين رئيسين شكل المسقط الافقي، والزوايا بين أضلاع الشكل ويعرف رياضيا من العلاقة:

$$F_f = Sh_f \times h \ldots\ldots\ldots Eq.2.3$$

حيث
h إرتفاع الفراغ
Sh_f معامل الشكل

ويتناسب معامل التشكيل طرديا مع زمن الترداد وعكسيا مع وضوح الحديث، ولذا يكون الفصل في أفضل حالاته التصميمية عندما يكون معامل الشكل أكبر ما يمكن ومعامل التشكيل أقل ما يمكن. [٢٤]

ج- العيوب الصوتية في الفراغات الصغيرة

تعد العيوب الصوتية في الفراغات الصغيرة من أهم الظواهر الواجب تفاديها ومعالجتها أثناء التصميم، حتى لايضطر المصمم لاستخدام المعالجات الصوتية بعد تنفيذ الفراغ وهو ما يعني زيادة في التكاليف[٢]. وهذه العيوب تشمل :

١. الرنين.
٢. البقع الميتة.
٣. البؤرالصوتية.

١. الرنين

الرنين عبارة عن تقوية لضغط الصوت عند ترددات معينة تتحدد حسب أبعاد الفراغ ومواد التشطيب بمحيط الفراغ وتحدث عندما يكون الطول الموجي ضعف أحد أبعاد الغرفة حيث تكون سعة الموجه (Amplitude) عند أطراف الغرفة مساوية للصفر وتزيد في وسط الغرفة وتسمى الموجه في هذه الحالة بالموجه الموقوفة (Standing Wave).
يمكن أن يكون هناك عدد من أنساق الاهتزاز للرنين فالوضع الاول عندما يساوي الطول الموجي ضعف أبعاد الغرفة، والوضع الثاني تكون الموجه بكاملها داخل الفراغ محصورة بين الحائطين وهناك رقم لانهائي من الاوضاع [٣٢].
الجدير بالذكر أن الرنين لايتكون إلا في الفراغات المنتظمة فقط والمتوازية الاضلاع والصغيرة والتي يتم تشطيبها كليا بمواد عاكسة للصوت كالحمامات مثلا ، ولا تعد هذه الظاهرة مؤثرة إلا في الفراغات الصغيرة حيث تكون كثافة الأنساق[i] (Modal Density) صغيرة وتكون أقل خطرا في الفراغات الكبيرة حيث تكون قيمة كثافة الأنساق كبيرة.[٣٢]

[i] كثافة الأنساق (Modal Density): تعرف بأنها عدد الانساق عند تردد واحد.

وذلك لان عدد الانساق الكبير يتسبب في رفع منسوب ضغط الصوت بشكل متساوي عكس الاعداد الصغيرة التي تسبب قمماً في منحنى منسوب ضغط الصوت.
ولمعرفة أن الغرفة تحوي كثافة نسق مرتفع أو منخفض يجب معرفة تردد القطع لهذه الغرفة (Cut of frequency) فهو الحد الفاصل لسلوك الغرفة ومن أشهر المعادلات لتحديد تردد القطع معادلة شرودر Schroeder [٣٢] :

$$Fc = K\sqrt{\frac{RT}{V}} \quad .....Eq.2.4$$

حيث

K	ثابت قيمته ١٨٨٥
RT	زمن الترداد ثانية
V	حجم الغرفة م^3

فإن كانت قيمة كثافة الأنساق أقل من قيمة تردد القطع كانت الغرفة بحاجه لعلاج الرنين بها.
ويمكن حساب كثافة الانساق لغرفة ما من المعادلة التالية [٢]:

$$N = 4V(\frac{f_r}{c})^3 \quad .....Eq.2.5$$

أو من المعادلة [٢]

$$N \cong \frac{4pVf_r}{3c^3} + \frac{psf_r}{4c^2} + \frac{Lf_r}{8c} \quad .....Eq.2.6$$

وتستخدم المعادلة ٢.٥ فقط عندما تكون f_r أكبر من $4c/v^{1/3}$ حيث:

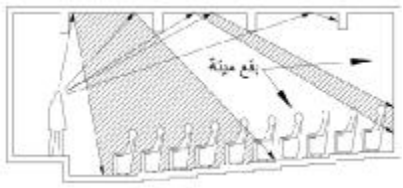
L	محيط الغرفة
f_r	التردد المراد معرفة كثافة الانساق عنده
V	حجم الغرفة م^3
c	سرعة الصوت
S	مساحة الغرفة م٢

الابعاد المفضلة للغرف الصغيرة

يوصى بالابتعاد بشكل واضح عن الغرف المكعبة والتي تتساوى فيها أبعاد أضلاعها الثلاثة الرئيسية، وأيضا يجب الا تتناسب الاضلاع مع بعضها بنسب بسيطة ٣:١ ، ٢:١ ، ٢:٣ لانها تجعل قيمة كثافة الانساق أقل من تردد القطع، وفي دراسة هامة أقيمت لدراسة الرنين في الغرف المستطيله تم التوصل الى مجموعة من النسب أفضلها ١:١.٩:١.٤ العرض والطول والارتفاع بحيث تكون أبعاد غرفة إرتفاعها ٣متر ٥.٧×٤.٢ م[٣٢].

٢. البقع الميتة

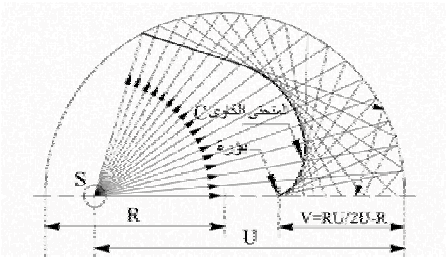
تحدث نتيجة لوجود عوائق في فراغ الفصل كالكمرات العريضة والاعمدة البارزة، و تؤثر في إنتظام توزيع المجال الصوتي في الغرفة، ويكون لها تأثير ملحوظ في أحجام الفراغات الكبيرة.[٢]



شكل ٢-١٠ ظهور البقع الميتة بسبب احتواء السقف على كمرات عريضة[i]

٣. البؤر الصوتية

تحدث عند تركز للطاقة الصوتية في نقطة أو في عدة نقاط تقع على منحنى والناتج من الانعكاس لموجات الصوت على الاسطح الدائرية. [٢]



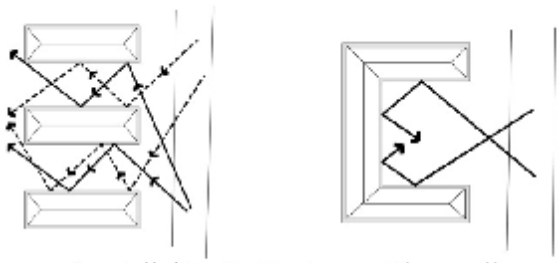
شكل ٢-١١ المنحنى الكاوى[ii]

٢-٣-١-٣ تخطيط الموقع العام والبيئة الصوتية

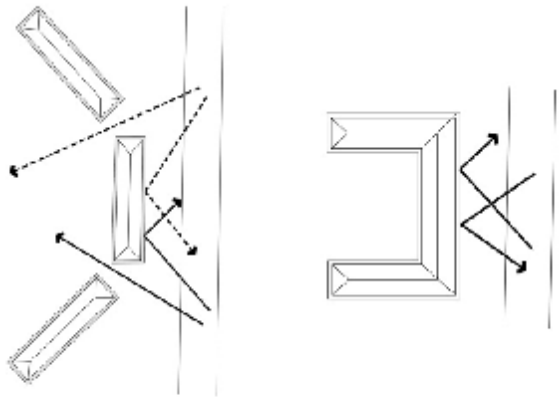
يؤثر تخطيط المبنى بشكل مباشر على منسوب الضوضاء الخلفية وبالتالي على المتغيرات الصوتية داخل الفراغ، وبإعتبار ضوضاء محاور الحركة هي الضوضاء الرئيسة التي يجب تجنبها يجب مراعاة أن لا يقوم المبنى بتضخيمها ونقلها ايضا (عن طريق الانعكاسات). مثال ذلك شكل (٢-١١) المباني التي بها فناء داخلي؛ فوضعية هذا الفناء يمكن ان تساهم في زيادة الضوضاء وكذلك حدوث الصدى، ولذلك يفضل إن وجد هذا الفناء توجيهه الى الداخل وليس مواجها للطريق مصدر الضوضاء[٣٣].

يمكن التخلص من مشكلة الفناء نهائيا بزيادة ميل المباني اكثر من ٩٠ درجة وذلك لمنع الانعكاسات من الحدوث وزيادة المسافة بين أطرافها. وعموما فإن المباني المتوازية تتسبب في زيادة ونقل الضوضاء من الطريق فإنها تعمل كأنبوب ينقل الضوضاء من المصدر للمناطق التي خلفها، وبمنع هذا التوازي من الحدوث يمكن تقليل الضوضاء حتى ١٠ ديسيبل في المباني الخلفية.

[i] الخطيب، أحمد "الصوتيات المعمارية النظرية والتطبيق" مكتبة الانجلو المصرية- القاهرة-٢٠٠٣. ص ٢٩٤.
[ii] المرجع السابق. ص ٢٩٥.



التوجيه المتسبب في تقوية ونقل الضوضاء



التوجيه الصحيح الذي يساعد على خفض الضوضاء

شكل ٢-١٢ علاقة توجيه المباني والافنية بالطريق[i]

وكذلك يعد الابتعاد عن مصدر الضوضاء من أفضل الطرق لتقليل منسوب الضوضاء الخلفية داخل الفراغات.

٢-٣-٢ خصائص الفراغ التكميلية والبيئة الصوتية

فيما يلي نتعرض لدراسة علاقة الخصائص الرئيسة بالبيئة الصوتية، وعلى الرغم من صعوبة تغييرها إلا أن معالجتها صوتيا ممكنه.

٢-٣-٢-١ الفتحات والضوضاء

تعتبر التهوية الطبيعية المصدر الرئيسي لتجديد الهواء داخل الفصل، ولكي تتم عملية التهوية يجب أن تكون النوافذ مفتوحة الامر الذي يتسبب في زيادة معدلات الضوضاء بصورة كبيرة داخل الفصل والذي يستدعي معالجة مباشرة للمحيط حول المبنى للحد من قيمة الضوضاء عند المصدر.

٢-٣-٢-٢ مواد النهو

يلاحظ من جدول (٢-٢) أن جميع مواد النهو المقترحة صلبة وذات ملمس خشن وذلك لتتحمل فترة أطول وتزيد تلك الخصائص من عمرها الافتراضي، وبسبب تلك الخصائص ينخفض

[i] Egan, M.D., *Architectural Acoustics*. ١٩٨٨, New York: McGraw-Hill Book Company. P ٢٧١.

إمتصاص الصوت داخل الفصل حيث تعد جميع هذه المواد عاكسة للصوت حيث لا تزيد أكبر قيمة الإمتصاص لاي مادة من هذه المواد عند أي تردد عن ١٢ %[١٤]، مما يلزم إعادة النظر في هذه المواد ومحاولة إيجاد بدائل مرضية.

٢-٣-٢-٣ الأثاث ووسائل الإيضاح

يؤثر الأثاث ومادته وتوزيعه في الامتصاص بشكل مباشر[١٤] فالأثاث المعدني يختلف عن الأثاث الخشبي والأثاث المفرد يختلف عن المزدوج وذلك لزيادة المساحة السطحية المعرضة للصوت، ومع وجود العديد من القيم في كتب الصوتيات لمعاملات إمتصاص الأثاث إلا إن تحديد قيم ثابته حسب نوع الأثاث يعد أمر مستحيلا.

٢-٤ خلاصة الفصل الثاني

تعبر خصائص فراغ الفصل المعمارية عن ملامح كفاءة فراغ الفصل ومن الخصائص التي قيدتها الاشتراطات بحدود قصوى أو دنيا المساحة والسعة ومواد النهو و من الخصائص المرنة في التصميم التشكيل والمساحة إلا أن تغير الخصائص المعمارية يصحبه تغير مؤثر على متغيرات البيئة الصوتية داخل الفراغ.

لذلك يتوجب على المعماري أن يدرس العلاقة جيدا بين الخصائص المعمارية ومتغيرات لبيئة الصوتية وذلك ليأخذ في إعتباره أثناء التصميم المعماري متغيرات البيئة الصوتية، ويقلل من الحاجة الى العلاج صوتي للفراغ بعد إنشائه.

الفصل الثالث

٣. معايير التصميم الصوتي للفصول الدراسية.

٣-١ تمهيد
٣-٢ المعايير الاروبية
٣-٣ معدلات الأداء للبيئة الصوتية في المعايير البريطانية.
٣-٤ المعايير الامريكية
٣-٥ معايير تقييم البيئة الصوتية في عينات القياس

٣-١ تمهيد

تؤثر البيئة الصوتية في تنشئة الاطفال وبنائهم العقلي والجسدي وبرغم ذلك لايشعر الاطفال بتأثيرها حتى يبلغوا سن المراهقة ومن المشاكل المعقدة التي تخلفها البيئة الصوتية السيئة لدى الصغار [٣٥] :

١- تقليل القدرة على إستماع الاطفال لدروسهم .
٢- تشتيت الذهن وصعوبة في التركيز.
٣- تأخر في سن تعلم القراءة.
٤- التأثير السلبي على السلوك كالخشونة والخمول وعدم الاهتمام.

أعلنت فرنسا مؤخرا أن نسبة ١٠% من سكانها (٦مليون شخص) يعيشون في منسوب ضوضاء مرتفع وظروف صوتية سيئة من بينهم ٤٥٠.٠٠٠ طفل معرضين لمناسيب ضوضاء مرتفعة تتعدى أحيانا ٧٠ ديسيبل (A)[٣٥]، مما يؤثر بالسلب على نسبة غير بسيطة من الاجيال القادمة.

ولذلك قامت مجموعة من الدول والهيئات بإتخاذ إجراءات تجاه تحسين البيئة الصوتية والحد من الارتفاع الملحوظ لقيم منسوب الضوضاء الخلفية الذي تعدى ٦٥ ديسيبل (A) وتم وضع إشتراطات وإرشادات تهدف إلى خفض منسوب الضوضاء داخل المباني وتحسين البيئة الصوتية حسب نوع المبنى ونشاطه .

وفيما يلي بعض الدول التي وضعت معايير صوتية لفصول :
١- بريطانيا BB٩٣ .
٢- أمريكا ANSI S١٢.٦٠-٢٠٠٢.
٣- دول مثل بلغاريا وفرنسا والمانيا وايطاليا والسويد وتركيا والبرازيل.

وقد إشتركت ٢٠ هيئة في أمريكا في وضع معايير ANSI S١٢.٦٠-٢٠٠٢ من بينها الهيئات التاليه :

ASA	The Acoustical Society of America
EAA	The Educational Audiology Association
SHHH	Self Help for Hard of Hearing People
NACA	The National Council of Acoustical Consultant
AAA	The American Academy of Audiology
ASHA	The American Speech Hearing and Language Association
ANSI	American National Standard Institute
AIA	American Institute of Architects
AFT	The American Federation of Teachers
CEFPI	Council for Educational Facility Planners International

جدول ٣-١ بعض الهيئات الامريكية التي إشتركت في وضع إشتراطات ANSI[i]

[i] Nixon, M.T. An Overview of The Development of Classroom Acoustics Guidelines in The United States. in International Symposium on Noise Control & Acoustics for Educational Buildings. ٢٠٠٠. Yildiz Technical University.P. ٥.

يستعرض البحث في هذا الفصل بعض المعايير الدولية للتصميم الصوتي للفصول الدراسية.

٣-٢ المعايير الاوروبية

قامت العديد من الدول الأوروبية والعالمية بوضع معايير صوتية ملزمة لتصميم الفصول الدراسية ومبنى المدرسة وذلك بهدف توفير بيئة صوتية مريحة في الفصول للمعلم والتلاميذ، وتشمل هذه المعايير ضمن ما تشمل ثلاث عناصر منسوب الضوضاء الخلفية وزمن الترداد وعزل فراغ الفصل.

٣-٢-١ منسوب الضوضاء الخلفية

تعتمد قيمة منسوب الضوضاء الخلفية بشكل كبير على خصائص عناصر المبنى (قانون الكتلة) عندما يكون مصدر الصوت خارج الفراغ، وعلى مقدار الامتصاص الكلي لمسطحات الفراغ الداخلية عندما يكون مصدر الصوت داخل الفراغ.
وذكر **جيبس Gibbs** [٢١] (١٩٩٨) ان عزل الصوت يجب ان يتعامل معه من خلال تخطيط المبنى وإن إستخدام مواد عازلة لمعالجة غلاف المبنى يفضل ان يكون اخر الحلول، ويتفق ذلك مع الوضع القائم في الدول النامية التي لاتملك ميزانيات لعزل المباني التعليمية صوتيا.
ويوضح جدول (٣-٢) قيم منسوب الضوضاء الخلفية الموصى بها في بعض دول العالم[٣٥].

الدولة	عام صدور المعيار	مقياس الضوضاء	قيمة منسوب الضوضاء الموصى به داخل الفصل
بلغاريا	١٩٧٨\١٩٧٧	Leq(A)	٣٠ : ٤٥
البرازيل	١٩٨٧	dB(A)	٤٠ : ٥٠
فرنسا	١٩٩٥	Leq(A)	٣٨
المانيا	١٩٨٩	-	٣٠
ايطاليا	١٩٧٥	-	٣٦
البرتغال	-	-	٣٥
السويد	١٩٩٥	Leq	٣٠
تركيا	١٩٨٦	Leq	٤٥
بريطانيا	١٩٩٧	Leq ١Hour	٤٠

جدول ٣-٢ قيم منسوب الضوضاء الخلفية العالمية[i]

٣-٢-٢ زمن الترداد

أكد **برادلي Bradley** [٢١](١٩٨٦) أن المحافظة على قيمة زمن الترداد منخفضة مهمه جدا ولكن يجب أن تكون قيمة زمن الترداد أعلى من الصفر وذلك لأهمية الإنعكاسات الاولى في تقوية الصوت الأصلي وتوزيعه. يوضح جدول (٣-٣) قيم زمن الترداد الموصى بها في بعض دول العالم.

[i] Vallet, m., Some European Standards on Noise in Educational Buildings, in International Symposium on Noise Control & Acoustics for Educational Buildings. ٢٠٠٠: Yildiz Technical University.P. ١٤.

الدولة	زمن الترداد بالثواني	المعيار	ملاحظات
فنلدا	٠.٦ : ٠.٩	-	-
فرنسا	٠.٤ : ٠.٨	-	حجم الغرفة ٢٥٠م٣
ايطاليا	٠.٥ : ٠.٢	-	يتوقف على الحجم والتردد
البرتغال	٠.٦ : ٠.٨	Lei ٢٥١/٨٧	٥٠٠ – ٤٠٠٠ هرتز
بريطانيا	٠.٥ : ٠.٨	BB٩٣	-
امريكا	٠.٦ : ٠.٧	ANSI	نسبة الاشارة الى الضوضاء اكبر او تساوي ١٥ ديسيبل
امريكا	٠.٤	ASHA	

جدول ٣-٣ قيم زمن الترداد الموصى بها للفصول في بعض دول العالم[i]

٣-٢-٣ عزل الصوت للحوائط الداخلية والخارجية

تعد المانيا الدولة الأولى التي أهتمت بوضع معايير لقيم عزل واجهات المباني التعليمية [٣٥] وفيما يلي قيم العزل المطلوبه حسب منسوب الصوت المقاس خارج الواجهه. كما هو موضح جدول (٣-٤)

منسوب الضوضاء الخارجية dB	مقدار عزل الواجهه (STC)dB
من ٥٥ وأقل	٣٠
٥٦ : ٦٠	٣٠
٦١ : ٦٥	٣٥
٦٦ : ٧٠	٤٠
٧١ : ٧٥	٤٥
٧٦ : ٨٠	٥٠
أعلى من ٨٠	يحتاج لتصميم خاص

جدول ٣-٤ قيم عزل الواجهات في المعايير الالمانية[ii]

٣-٣ معدلات الأداء للبيئة الصوتية في المعايير البريطانية BB٩٣[٣٦]

أصبحت المعايير الصوتية البريطانية ملزمة لبناء وتصميم المدارس في بريطانيا منذ عام ٢٠٠٣ ، تشمل المعايير البريطانية الفصول الدراسية وجميع فراغات المدرسة التي يستخدمها الطلبة. وتنقسم معايير الأداء الصوتي الى سبع متغيرات:

٣-٣-١ منسوب الضوضاء المحيطة بفراغ الفصل بدون تواجد طلبة

يهدف المعيار الى تحقيق منسوب ضوضاء خلفية مناسب لتحقيق إتصال جيد وواضح بين المعلم والطالب، وكذلك تيسير أداء الانشطة المختلفة في الفصل.

أ- مصادر الضوضاء

تتضمن مصادر الضوضاء المتوقعة خارج الفصول ما يلي:

[i] المرجع السابق
[ii] المرجع السابق

- مصادر ضوضاء خارج محيط المدرسة (مثل حركة السيارات، القطارات، الطائرات وكذلك المناطق الصناعية أو التجارية) القائمة بجوار مبنى المدرسة.
- مصادر ضوضاء داخل محيط المدرسة كنظام التهوية الصناعي إن وجد.

ولا تعد المصادرالتالية ضمن مصادر الضوضاء التي يتم أخذها في الاعتبار:
- الضوضاء الناتجة من المعلمين، والانشطة التعليمية و كذلك الضوضاء المنتقلة من فراغات مجاورة.
- ضوضاء الاجهزة المستخدمة في الشرح والتوضيح داخل الفصل.
- الضوضاء الناتجة عن المطر ولا تؤخذ في الاعتبار إلا عند إستخدام تغطيات خفيفة تسبب إرتفاع في منسوب الضوضاء الداخلية في الفصل عند إصطدام المطر بها.

ويحتوي الجدول (٣-٥) على قيم متوسط منسوب الضوضاء المكافئ L_{Aeq},30 min القصوى لفراغ الفصل بشرط أن يكون الفصل فارغا بدون طلاب، والقيمة لا تشمل الضوضاء المفاجئة غير الاعتيادية.

ب- توصيات لقياس منسوب الضوضاء الخلفية

١- يتم قياس غرفة من كل أربعة غرف تشترك معا في الوظيفة، على أن يشمل القياس فراغات تطل على الواجهه الاكثر ضوضاء.
٢- تكون الغرف خالية من الطلبة ومفروشة أو غير مفروشة، ويتم القياس أثناء ساعات النهار في نفس مواعيد عمل المدرسة.
٣- يجب التأكد أن اجهزة التكييف تعمل إن وجدت وأن تكون النوافذ مفتوحة إن كانت التهوية طبيعية.
٤- يتم القياس في طقس جاف، ويجب الا يتواجد أكثر من شخص بداخل الفراغ أثناء القياس.
٥- يوضع الجهاز على إرتفاع ١.٢٠متر ولايقل بعده عن أقرب سطح له عن ١ متر.
٦- يمكن تخفيض مدة القياس عن ٣٠ دقيقة وذلك في حالة وجود تغيرات طفيفة في منسوب الضوضاء أو الثبات النسبي.

نوع الغرفة	تصنيف الفصول بغرض عزل الصوت المتولد في الهواء (جدول ٣-٦)		الحد الاقصى لمنسوب الضوضاء المحيطة بفراغ الفصل الفارغ LAeq,٣٠min (dB)A
	ضوضاء الانشطة غرفة المصدر	حد الضوضاء الغرفة المستقبلة	
مرحلة التعليم الاساسي : الفصول الدراسية ، فراغات التدريس العامة.	متوسط	منخفض	٣٥

جدول ٣-٥ قيم متوسط منسوب الضوضاء المكافئ L_{Aeq},30 min القصوى[i]

[i] DFES Project Team, *Building Bulletin ٩٣ Acoustic Design of Schools*, Department of Education and Skills, The Stationary Office: London, ٢٠٠٣, P ٩.

٣-٣-٢ عزل الصوت المتولد بين الفراغات

يهدف المعيار لتخفيض إنتقال الصوت بين الفراغات المختلفة بواسطة الحوائط والارضيات، يحتوي جدول (٣-٦) على الحدود الدنيا المطلوبة لعزل الصوت المتولد في الهواء بين الفراغات. تم تحديد هذه القيم بناء على منسوب الصوت الذي تصدره الانشطة المختلفة في فراغ المصدرومنسوب الضوضاء المطلوب في غرفة المستقبل.

تعرف قيمة فرق المنسوب القياسي بين غرفتين $D_{nT(Tmf,\max)}$ بأنها القيمة المقاسه بالديسيبل لعزل الصوت المتولد في الهواء بين الغرف وتعتمد على قيمة زمن التردد في غرفة المستقبل، تعرف من المعادلة [٣٦]:

$$D_{nT(Tmf,\max)} = D + 10\log\frac{T}{T_{mf,\max}} \quad .....Eq.3.1$$

حيث D فرق المنسوب بالديسيبل

T زمن التردد في غرفة المستقبل (Rec.)

$T_{mf,\max}$ زمن التردد العياري وهو القيمة القصوى لزمن التردد في غرفة المستقبل

ويقاس فرق المنسوب القياسي بين فراغين بمعايير (BS EN ISO ١٤٠-٤:١٩٩٨) .
وتكون النتائج معرفة بدلالة النطاقات الثمانية أو ثلث الثمانية وتوزن على المنحنى A ثم تحول لقيمة واحدة مطابقة لمعايير (BS EN ISO ٧١٧-١٨:١٩٩٧).
يتم القياس في الغرف المجاورة رأسيا وأفقيا وذلك في الغرف المخصصة للدراسة و الشرح، يتم قياس غرفة من كل أربعة غرف ويجب أن تكون الفتحات (الابواب والنوافذ) مفتوحة إن كانت التهوية طبيعية، يتم القياس في الفراغين المتجاورين بالتبادل.

اقل قيمة $D_{nT(T_{MF,MAX}).W(dB)}$		ضوضاء الانشطة في غرفة المصدر			
		مرتفع	متوسط	منخفض	منخفض جدا
ضوضاء الغرفة في المستقبلة	مرتفع	٣٠	٣٥	٤٥	٥٥
	متوسط	٣٥	٤٠	٥٠	٥٥
	منخفض	٤٠	٤٥	٥٥	٥٥
	منخفض جدا	٤٥	٥٠	٥٥	٦٠

جدول ٣-٦ الحدود الدنيا لقيم عزل الصوت المتولد في الهواء بين الفراغات[i]

[i] المرجع السابق ص ١٠.

٣-٣-٣ عزل الصوت المتولد في الهواء بين ممرات الحركة وفراغات تستخدم بواسطة الطلاب:

يهدف المعيار لخفض إنتقال الضوضاء من ممرات الحركة الى فراغات الطلاب ويوضح الجدول (٣-٧) أقل قيم ممكنة لعزل الصوت المتولد في الممرات والذي يؤثر في فراغات الفصول.

نوع الفراغ المستخدم بواسطة الطلبة	أقل قيمة لمعامل خفض الضوضاء Rw(dB)		أقل قيمة لمعيار أداء الفتحات الداخلية
	الحوائط شاملة النوافذ	الابواب	
جميع الفراغات عدا غرف الموسيقى	٤٠	٣٠	٣٩
غرف الموسيقى	٤٥	٣٥	٤٥

جدول ٣-٧ أقل قيم ممكنة لعزل الصوت المتولد في الممرات[i]

والقيم تعبر عن عزل الصوت المتولد في الهواء للحوائط والابواب بمعامل خفض الضوضاء الموزون Rw (A) والذي يقاس معمليا، أما الفتحات الداخليه على الممر فتقاس بفرق منسوب العنصر المعاير الموزون $D_{n,e,w}$ ويعرف معيار أداء الفتحات الداخليه من المعادلة [٣٦]

$$D_{n,e,w} - 10\log N \ldots\ldots\ldots Eq.3.2$$

حيث N عدد الفتحات ويقاس Rw بمطابقة المواصفه BS EN ISO ١٤٠-٣:١٩٩٥ وفرق منسوب العنصر المعاير الموزون بمطابقة المواصفه BS EN ISO ٧١٧-١:١٩٩٧ .

٣-٣-٤ عزل صوت الاصطدام المتولد من الارضيات

ويهدف هذا المعيار إلى خفض صوت الاصطدام المتولد من أرضية فراغ ما فوق الفراغ المراد دراسة الصوت به مثل صوت الخطوات والحركة في الفصل.

يحتوي جدول (٣-٨) الحد الاقصى لمنسوب ضغط صوت الاصطدام القياسي الموزون على المنحنى A ويعبر عنه $L'_{nT(Tmf,\max)}$ وهومنسوب ضغط صوت الاصطدام بالديسيبل ويعتمد على زمن الترداد في الغرفة المستقبله ويمكن تعريفه من المعادلة [٣٦]:

$$L'_{nT(Tmf,\max)} = L_i - 10\log\frac{T}{T_{mf,\max}}(dB) \ldots\ldots\ldots Eq.3.3$$

حيث L_i منسوب ضغط صوت الاصطدام

T زمن الترداد في الغرفة المستقبلة

$T_{mf,\max}$ زمن الترداد المرجعي ويساوي الحد الاقصى في الاشتراطات من الجدول (٣-٩)

ويتم قياس منسوب ضغط صوت الاصطدام بمطابقة الاشتراطات BS EN ISO ١٤٠-٧:١٩٩٨ ويتم وزن النتائج ويعبر عنها في نتيجة واحده بواسطة الاشتراطات BS EN ISO ٧١٧-٢:١٩٩٧

[i] المرجع السابق ص ١٢.

ويجب قياس وتصميم عزل صوت الاصطدام للارضيات بدون تغطيات ناعمة (كالموكيت) الا في حالة أن تكون تلك التغطية عنصر رئيسي في الارضية بأن تكون الارضية على الخرسانة مباشرة.

نوع الغرفة (المستقبله للضوضاء)	أقصى قيمة لمنسوب ضغط صوت الاصطدام $L'_{nT(Tmf,\max)}$
فصول التعليم الاساسي	٦٠
فصول التعليم الثانوي	٦٠
المكتبه	٦٠

جدول ٣-٨ الحدود القصوى لقيم منسوب ضغط صوت الاصطدام[i]

٣-٣-٥ زمن التردد في الفراغات التعليمية وفراغات الدراسة:

والهدف منه تحديد زمن التردد المناسب الذي يساعد على تقوية صوت المعلم وفي نفس الوقت لا يسبب تشويش لطول فترة بقاء الانعكاسات في الفراغ .
وتعبر قيم جدول (٣-٩) عن قيم زمن التردد المسموح بها للفصول الدراسية كحد أقصى بشرط أن يكون خالياً من الطلبه وغير مفروش.

ويعرف زمن التردد للقيم المتوسطة بأنه المتوسط الرياضي لزمن التردد المقاس في الترددات ٥٠٠,١k,٢k ويجب الاخذ في الحسبان معامل إمتصاص السبورة ولوحة الملاحظات وإذا تعذر الوصول لقيم الامتصاص الخاصة بهم يتم فرض أن قيم إمتصاصهم هي قيم إمتصاص الحائط الذي خلفهم ويتم التعامل معهم على انهم مطليين. عند الترددات المنخفضة تزيد قيمة المعيار بمقدار ٣٠% وذلك للترددات أقل من ٥٠٠ هرتز.

نوع الغرفة	T_{mf} (sec)
فصول التعليم الاساسي	٠.٦ >
فصول التعليم الثانوي	٠.٨ >
المكتبة	١ >

جدول ٣-٩ قيم زمن التردد المسموح بها للفصول الدراسية[ii]

٣-٣-٦ إمتصاص الصوت في الممرات وفراغات المداخل وابار السلالم

ويهدف هذا المعيار إلى خفض منسوب الصوت في الفراغات الانتقالية وذلك حتى لايتم التشويش على العملية التعليمية في الفراغات المحيطة.
يتم حساب مقدار الامتصاص المطلوب بواسطة الفصل السابع في الوثيقه E ويشرح طريقتين A,B لحساب زمن التردد في أغلب الفراغات الداخلية في المدرسة وأحد هذه الطرق يشرح حساب زمن التردد في الممرات والمداخل والسلالم .

[i] المرجع السابق ص١٣.
[ii] المرجع السابق ص١٤.

٣-٣-٧ معامل وضوح الحديث في فراغات المساقط المفتوحه

يهدف المعيار لتقييم وضوح الحديث في تواصل الطالب بالمعلم في العملية التعليمية، يستخدم هذا المعيار فقط في الفراغات المفتوحه (Open Plan) لان الضوضاء المتولدة من المجموعات المختلفه تسبب زيادة منسوب الضوضاء الخلفية.

تصمم المساقط المفتوحه لتحقق مرونه كبيرة في استغلال الفراغ للعملية التعليمية وتكمن المشكلة في أن الفراغ من النادرأن يكون منتهي التشطيب أثناء عملية القياس قبل التنفيذ، لذلك يجب الاتفاق على جميع عناصر المسقط الافقي قبل التنفيذ

١- مكان وقوف المعلم عند الشرح لمجموعات الطلبه.
٢- أماكن جلوس كل مجموعه من الطلبه والمعلم.
٣- حدود المجموعات الدراسية.

يجب أن يوضح المصمم خريطة للانشطة التي تتم مثل

١- عدد المدرسين الذين يقومون بالشرح في ان واحد.
٢- عدد الطلبه المتوقع منهم المشاركة في الحديث في ان واحد.
٣- عدد الماره المتوقع مرورهم اثناء العملية التعليمية.
٤- اي اجهزة تصدر ضوضاء اثناء العملية التعليمية كالتهوية والعرض.

ويتم حساب STI معامل انتقال الحديث بواسطة الحاسب الالي (Prediction) لذلك يشمل جميع المصادر المتوقعة للضوضاء.

ويعبر جدول (٣-١٠) عن الحد الادنى لمعامل إنتقال الحديث في الفراغات المفتوحة

نوع الغرفة	معامل إنتقال الحديث STI
الفراغات التعليمية المفتوحه	< ٠.٦

جدول ٣-١٠ الحد الادنى لمعامل إنتقال الحديث في الفراغات المفتوحة[i]

- نجد أن جميع القيم المقاسة يتم حسابها بإضافة لوغاريتم النسبة بين زمن الترداد المقاس واقصى قيمة لزمن الترداد بمعنى أن المعايير البريطانية تربط جميع القيم بزمن الترداد لان أي انخفاض لزمن الترداد عن القيمة القصوى سوف يخفض معه القيم الاخرى و وإذا كانت قيمة زمن الترداد المقاسة مطابقة تماما للقيمة القصوى يصبح الجزء المضاف الى المعادلة مساو للصفر (لوغاريتم الواحد).

[i] المرجع السابق ص١٥.

٣-٤ المعايير الامريكية ٢٠٠٢-١٢.٦٠ ANSI S[٣٧]

(معايير الأداء الصوتي ومتطلبات واشتراطات تصميم عزل الضوضاء)

تطبق هذه المعايير على الفصول الدراسية وجميع الفراغات التعليمية الاخرى الخالية من الطلاب والمفروشه حسب الاستخدام ويشترط أن تكون النوافذ والابواب مغلقه. ولا تطبق على الفصل الذي لا يمكن إغلاقه بالكامل.

٣-٤-١ معايير الأداء للضوضاء الخلفية وزمن الترداد

يجب الا يتعدى زمن الترداد و متوسط منسوب الضوضاء الخلفية المنتظم لمدة ساعة (الموزون A) القيم الموضحة بالجدول (٣-١١)

الفراغات التعليمية	أقصى قيمة لمتوسط منسوب الضوضاء الخلفية المنتظم بالديسيبل	أقصى قيمة لزمن الترداد بالثواني عند الترددات المتوسطة (٥٠٠,١K,٢K)
فراغ تعليمي له حجم أقل من ٢٨٣ م٣	٣٥	٠.٦
فراغ تعليمي له حجم أكبر من ٢٨٣ م٣	٣٥	٠.٧

جدول ٣-١١ الحدود القصوى لقيم زمن الترداد ومتوسط منسوب الضوضاء الخلفية[i]

٣-٤-٢ تصميم العزل الصوتي

يعتبرتصميم مبنى المدرسه من أهم الخطوات في العزل الصوتي فتوزيع الفصول الدراسية والفراغات التي تحتاج للهدوء بعيداً عن الفراغات المسببه للضوضاء يوفر العديد من مشاكل العزل الصوتي وكذلك يقلل تكلفة العزل بشكل كبير.

تختص اشتراطات ANSI لعزل الضوضاء بتحديد حد أدنى لقيم (Sound Transmission Class) معامل نفاذ الصوت، (Impact Insulation Class) معامل عزل الاصطدام لعناصر المبنى البسيطة والمركبة.

تزيد الحاجه للعزل الصوتي بين الفصول وبعضها بسبب زيادة منسوب الضوضاء الخلفية الناتج من أنشطة اليوم الدراسي، لذلك حددت معايير ANSI قيم لمعامل نفاذية الصوت لعزل الفصول عن بعضها البعض.

١- مرتبة نفاذية الصوت (STC)

يبين الجدول (٣-١٢) قيم معامل نفاذية الصوت المطلوبة للفراغات التعليمية المغلقة حسب الفراغ المجاور.

i ASA, ANSI S١٢.٦٠, New York, ٢٠٠٢, P.٥

قيم مرتبة نفاذية الصوت STC بالديسيبل للحوائط المفردة والمركبة للفراغ المجاور لفراغ الفصل			
الفراغات التعليمية المجاورة، العيادة، الفراغات التعليمية ذات المساقط المفتوحة	فراغات الاستخدامات العامة كالحمامات	الممرات، السلالم، المكاتب وغرف الاجتماعات	غرف الموسيقى، غرف الخدمات الميكانيكية، الكافيتريا، صالة الالعاب
٥٠	٥٣	٤٥	٦٠

جدول ٣-١٢ الحدود الدنيا لقيم معامل نفاذ الصوت STC للحوائط المفرده والمركبة[i]

يتم استخدام القيم في الجدول (٣-١٢) لتصميم الحوائط ، الاسقف والارضيات التي تفصل بين فصل واخر، يجب ان توافق قيم مرتبة نفاذية الصوت للعناصر المركبة (كالحوائط التي بها نوافذ او فتحات تهوية) القيم العيارية وان لم تصل تلك الحوائط للقيم المطلوبة لزم معالجة الفتحات التي تحويها الحوائط صوتيا.
تعطى الحدود الدنيا لقيم مرتبة النفاذية للحوائط والاسقف البسيطة والمركبة للفراغات المساعدة للفراغات التعليمية من الجدول (٣-١٣)

الفراغ المساعد المستقبل للصوت	قيم مرتبة نفاذية الصوت STC بالديسيبل				
	ممرات الحركة، السلالم، الحمامات والفراغات العامة	غرف الموسيقى	مكاتب وغرف إجتماعات	الفراغ الخارجي	غرف الخدمات، الكافتريا، صالة الالعاب
ممرات الحركة	٤٥	٦٠	٤٥	٤٥	٥٥
غرف الموسيقى	٦٠	٦٠	٦٠	٤٥	٦٠
المكاتب وغرف الاجتماعات	٤٥	٦٠	٤٥	٤٥	٦٠

جدول ٣-١٣ الحدود الدنيا لقيم معامل نفاذ الصوت STC للحوائط المفرده والمركبة للفراغات المساعدة للفراغات التعليمية[ii]

٢- مرتبة عزل الاصطدام (IIC)
تكون قيمة معامل عزل الاصطدام لارضية الفراغ الذي يعلو الفراغ التعليمي ٤٥ ديسيبل وذلك بدون ان تكون الارضيه المقاسه مفروشه.

[i] المرجع السابق ص٧
[ii] المرجع السابق ص٨

٣-٥ معايير تقييم البيئة الصوتية في عينات القياس

يقوم البحث بتقييم عينات الدراسة من خلال أربعة متغيرات صوتية رئيسة بعد تحليل النتائج إستنادا الى القيم التالية:

٣-٥-١ زمن الترداد للقيم المتوسطة T_{mf}

تم إختيار زمن الترداد المتوسط من المعايير البريطانية لأنه يعتمد على متوسط قيم الترددات وليس القيم في صورة مجردة وذلك يتيح مرونة كبيرة بحيث يمكن أن تكون هناك قيم ترددات مرتفعة وأخرى منخفضة وتعطي متوسط جيد.

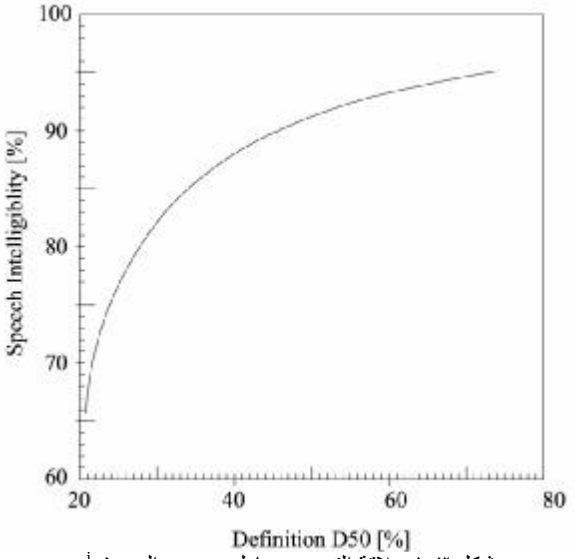
٣-٥-٢ منسوب الضوضاء الخلفية

إجتمعت الاشتراطات على قيمة ٣٥ ديسيبل كحد أقصى لمنسوب الضوضاء الخلفية المقاسة داخل الفصل والنوافذ مفتوحة.

٣-٥-٣ التحديد

تعبر قيم التحديد عن النسبة بين الطاقة الاولى في خلال ٥٠ مللي ثانية والطاقة الكلية في الفراغ، والهدف منها دراسة الانعكاسات الأولى في الفراغ وهي الاهم في تقوية صوت المصدر وتحسينه.

قام **بوريه Bore** [١٦] بعمل دراسة لإيجاد العلاقة بين التحديد و وضوح الحديث (SI) على مجموعة من الفراغات وبإستخدام مكبرات صوت وبدون وذلك لقياس إستجابة الفراغ للنبضه (IR) وتوصل الى المنحنى في شكل (٣-١).



شكل ٣-١ علاقة التحديد بمعامل وضوح الحديث [i]

[i] Kuttruff, Heinrich, Room Acoustics, ٣rd Edition, Elsevier Applied Science, London, U.K, P.١٩٠.

وسيتم دراسة التحديد بقيمة ٩٠% من المنحنى التراكمي وهي معبرة عن ٩٠% من طلاب الفصل أي أن ٩٠% من الطلاب أقل من قيمة التحديد المناظرة لها.

٣-٥-٤ معامل إنتقال الحديث

وهو معامل يقيس مدى تشوه الاشارة الصوتية عند إلتقاطها بواسطة الميكروفون بعد مرورها في الفراغ يتم قياسها والفصل ملئ بالطلبة وترتبط مع وضوح الحديث بالعلاقة التالية:

ضعيف	مقبول	جيد	جيد جدا	ممتاز
% ٣٠ : ٠	% ٤٥ : ٣٠	% ٦٠ : ٤٥	% ٧٥ : ٦٠	% ١٠٠ : ٧٥

جدول ٣-١٤ العلاقة بين معامل إنتقال الحديث ووضوح مقاطع الحديث[i]

٣-٥-٥ ملخص معايير تقييم البيئة الصوتية في عينة الفصول الدراسية

يعبر الجدول (٣-١٥) عن مجموعة المعايير التي سوف تقيم عينة الفصول الدراسية على أساسها

المعيار	القيمة العيارية			
قيمة زمن الترداد المتوسطة	٠.٦ ثانية			
منسوب الضوضاء الخلفية مكافئة لمدة ٣٠ دقيقة	٣٥ ديسيبل			ما يناظرها من قيم منحنى NC
قيمة وضوح الحديث المناظرة لقيمة التحديد				
معامل إنتقال الحديث				
ضعيف	مقبول	جيد	جيد جدا	ممتاز
% ٣٠ : ٠	% ٤٥ : ٣٠	% ٦٠ : ٤٥	% ٧٥ : ٦٠	% ١٠٠ : ٧٥

جدول ٣-١٥ معايير تقييم البيئة الصوتية للفصول

[i] EL-Khateeb, Ahmed A.; Refat, Ismail, Sounds From the Past, The Acoustics of SULTAN HASSAN MOSQUE and MADRASA, Building Acoustics, ١٤(٢),P١٢١.

الفصل الرابع

٤. تقويم البيئة الصوتية في عينة من الفصول بمدينة القاهرة الكبرى.

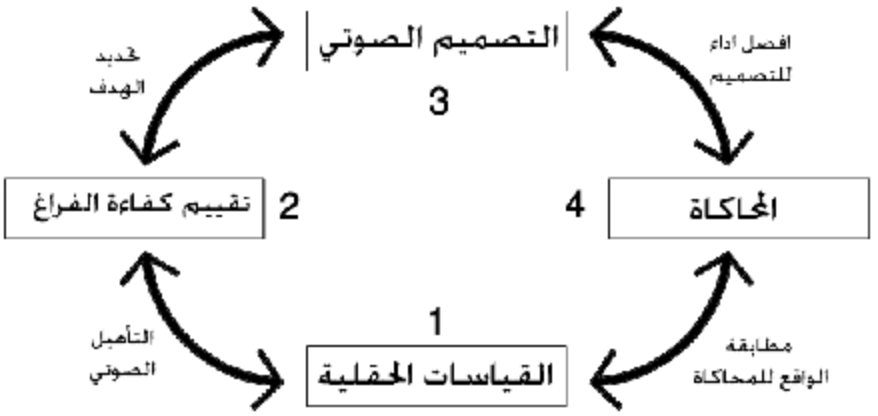
٤-١ تمهيد
٤-٢ تصميم وتقييم البيئة الصوتية
٤-٣ عينة الدراسة
٤-٤ أسباب إختيار العينات السابقة
٤-٥ أسباب إستخدام المحاكاة
٤-٦ مناقشة نتائج المحاكاة
٤-٧ خلاصة الفصل الرابع

٤-١ تمهيد

يتناول الفصل الرابع دراسة البيئة الصوتية في فصول القاهرة

٤-٢ تصميم وتقييم البيئة الصوتية (تقديم)

تعد دراسة البيئة الصوتية في فراغ ما عملية متصلة متتابعة تتم على أربعة مراحل لكل مرحلة هدفها انظر شكل (٤-١)، فالانتقال من القياسات الحقلية الى تقييم كفاءة الفراغ تتم بهدف تأهيل الفراغ صوتيا والانتقال من تقييم كفاءة الفراغ الى التصميم الصوتي تتم لتحقيق الهدف المرجو من بيئة الفراغ الصوتية والانتقال من التصميم الى المحاكاة تتم لدراسة أفضل اداء للتصميم الصوتي قبل تنفيذه والانتقال من المحاكاه الى القياسات مرة اخرى تتم للتحقق من سلامة النتائج وهكذا تستمر عملية التصميم الصوتي في دائرة متصلة فالفراغ بحاجة الى تقييم دائم على فترات متباعدة بعد الانتهاء من تصميمه صوتيا في المرة الاولى.[٣٨]



شكل ٤-١ دائرة التصميم الصوتي[i]

تمر دراسة الفصول المختارة بالمراحل الاربع حيث تمت القياسات الحقلية كمرحلة أولى ثم ينتقل البحث الى تحليل سلوك البيئة الصوتية في فراغ الفصل (وذلك عن طريق عمل مطابقة بواسطة الحاسب الالي ثم المحاكاه لاستخلاص النتائج) وينتقل البحث لمرحلة التصميم الصوتي ووضع الحلول الصوتيه المتاحه واخير التأكد من الحلول بواسطة المحاكاه.
واستكمالا للدائرة يتم تنفيذ الحلول الصوتية على الفراغ ثم نعود مرة أخرى للقياسات الحقليه لعمل تأكيد على جدوى وكفاءة الحلول.(وذلك خارج إطار البحث).

٤-٣ أسباب إختيار العينات السابقة

تم إختيار العينات على أساس الاختلاف في الخصائص المعمارية، فكل مجموعة فصول تشترك في نفس الخصائص يمثلها فصل واحد.وبعد عمل دراسة ومسح لمدارس القاهرة فإن الخاصية الاكثر تغيرا هي الشكل في المسقط الافقي بفرض **ثبات تأثير تغير الموقع**.

[i] Fürjes, A. T., E. A. Borsi, et al. (٢٠٠٠). "Evaluation and Design of Small Rooms." Buildings Acouustics, ٧(٤). P.٢٧٨.

لذلك فإن الفصل التقليدي المستطيل الذي يمثل نمط هيئة الابنية التعليمية يعبر عنه فصل مدرسة المستقبل، ويعبر فصل مدرسة عمار بن ياسر عن الفصل المستطيل الذي تم بناءوه قبل صدور الاشتراطات من هيئة الابنية التعليمية.
ويعبر فصل مدرسة راجاك عن الشكل المثمن وتم إختيارها بسبب أن جميع فصول المدرسة تتبع الشكل المثمن (تعميم الاختيار)، وتم إختيار مدرسة البشاير لتعبر عن الشكل القطع من دائرة حيث شكل مبنى المدرسة الدائري.

٤-٤ عينة الدراسة

فيما يلي دراسة وتحليل البيئة الصوتية لكل فراغ من الفصول المختارة.

٤-٤-١ مدرسة المستقبل التجريبية

تقع المدرسة بشارع أحمد سعيد بالعباسية أمام مستشفى الدفاع الجوي . تتألف كل فصول المدرسة من النموذج المستطيل، تم بناء المدرسة بواسطة هيئة الابنية التعليمية لذلك فهي تتبع الشكل النمطي للهيئة.

موقع المدرسة

مبنى المدرسة

شكل ٤-٢ موقع ومبنى مدرسة المستقبل

٤-٤-١-١ الموقع العام للمدرسة

تقع مدرسة المستقبل التجريبية على شارع أحمد سعيد وشارع سبيل الخازندار

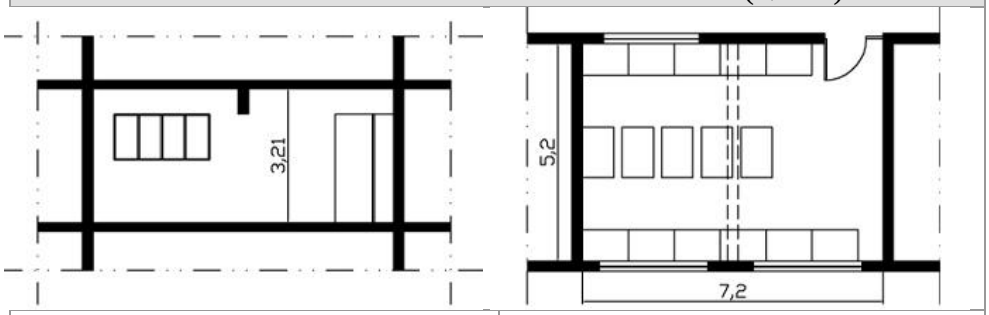
مساحة المدرسة	٢٦٠٤ متر ربع
متوسط عدد فصول المدرسة	٣٦ فصل
متوسط عدد الطلاب	١٠٠٠ طالب

جدول ٤-١ الخصائص المعمارية للمدرسة

شكل ٤-٣ الموقع العام

٤-٤-١-٢ وصف فراغ الدراسة

يقع الفصل المستطيل (محل الدراسة) في الدور الاول من مبنى المدرسة التي تتبع إدارة الوايلي التعليمية، طلاب الفصل من المرحلة الثانية الابتدائية، مواد النهو في الفصل صلبه وجميع المفروشات من الخشب والصلب وتمثل المدرسة العينة المختارة على محور حركة مزدحم بسبب إطلالها المباشر على شارع أحمد سعيد. ويوضح جدول (٤-٢) بعض خصائص الفصل المعمارية.

موقع الفصل	الدور الاول			
مساحة الفصل	٣٧.٥٠ م٢			
سعة الفصل	٣٠ طالب			
المرحلة العمرية	المرحلة الابتدائية (التعليم الاساسي)			
شكل الفصل (مستطيل)				
المسقط الافقي		القطاع		
فتحات الفصل				
مجموع مساحة الفتحات	١٤.٤٥م٢	مساحة الباب	٣.٧ م٢	
الفتحات على الواجهه	٨.١ م٢	الفتحات على الممر	٢.٦٥ م٢	
نسبة مساحة الفتحات لمساحة المسقط الافقي		٢٨.٦%		
مواد النهو				
الارضيات	بلاط أسمنتي	الحوائط والسقف	دهان على بياض أسمنتي	
مساحة المقاعد	٢٧.٦ م٢	نهو المقاعد	خشب و صلب	
مساحة السبورة	٣.٣ م٢	نهو السبورة	فورميكا	

جدول ٤-٢ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة المستقبل

يوضح الجدول (٤-٣) بعض الخصائص الثابتة للفصل وبعض المتغيرات أثناء عملية القياس

خصائص الفراغ العامة			الزمن الامثل	البيئة داخل الفصل	
m^{-1} Sh_f	F_f %	Volume m^3	$RT_{OPT@500\,Hz}$ Sec	C^o Temp	RH %
معامل الشكل	معامل التشكيل	حجم الفصل	زمن الترداد الامثل عند تردد ٥٠٠ هرتز	درجة الحرارة	الرطوبة النسبية
٠.٦٦	٢.١	١٢٠.٣٨	٠.٣٢	١٨.٨٥	% ٤٠

جدول ٤-٣ بعض الخصائص لفصل مدرسة المستقبل[i]

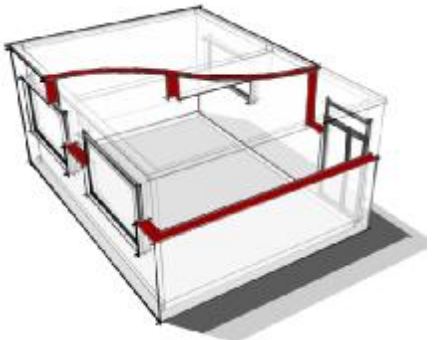
شكل ٤-٤ مرحلة القياس بمدرسة المستقبل

٤-٤-٢ مدرسة عمار بن ياسر

تقع المدرسة بشارع داخلي موازي لشارع أحمد سعيد، مباني المدرسة قديمة لذلك الفصول لا تتبع نمط هيئة الابنية التعليمية، تتألف جميع فصول المدرسة من الشكل المستطيل بمقاسات ونسب مختلفة.

[i] أخذ تصميم الجدول من المرجع رقم ١٦ صفحة ١١٤.

موقع المدرسة



شكل الفصل

شكل ٤-٥ موقع وشكل الفصل في مدرسة عمار بن ياسر

٤-٤-٢-١ الموقع العام للمدرسة

تقع مدرسة عمار بن ياسر على شارع الشرفاء الموازي لشارع احمد سعيد

مساحة المدرسة	٢٧٠٠ متر مربع
متوسط عدد فصول المدرسة	٤٥ فصل
متوسط عدد الطلاب	١٣٥٠ طالب

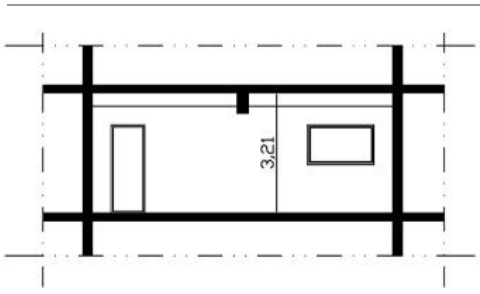
جدول ٤-٤ الخصائص المعمارية للمدرسة

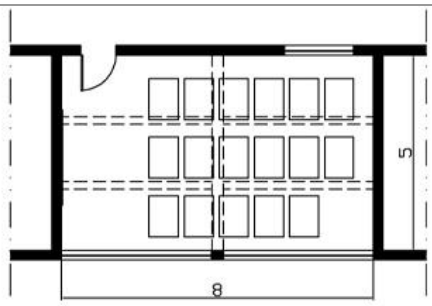
شكل ٤-٦ الموقع العام

٤-٤-٢-٢ وصف فراغ الدراسة

يقع الفصل المستطيل (محل الدراسة) في الدور الاول من مبنى المدرسة التي تتبع إدارة الوايلي التعليمية، طلاب الفصل من المرحلة الاعدادية، مواد النهو في الفصل صلبه وجميع المفروشات من الخشب والحديد وتمثل المدرسة العينة المختارة في منطقة سكنية تقليدية. ويوضح جدول (٤-٥) بعض خصائص الفصل المعمارية.

موقع الفصل	الدور الاول
مساحة الفصل	٤٠ م٢
سعة الفصل	٣٠ طالب
المرحلة العمرية	المرحلة الابتدائية (التعليم الاساسي)
شكل الفصل (مستطيل)	





المسقط الافقي		القطاع	
فتحات الفصل			
مجموع مساحة الفتحات	١٢ م٢	مساحة الباب	١.٨٥ م٢
الفتحات على الواجهه	٨.٨ م٢	الفتحات على الممر	١.٣٥ م٢
نسبة ساحة الفتحات لمساحة المسقط الافقي		٢٥.٤%	
مواد النهو			
الارضيات	بلاط أسمنتي	الحوائط والسقف	دهان على بياض أسمنتي
مساحة المقاعد	٢٨.١ م٢	نهو المقاعد	خشب
مساحة السبورة	٢.٩٥ م٢	نهو السبورة	خشب

جدول ٤-٥ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة عماربن ياسر

يوضح الجدول (٤-٦) بعض الخصائص الثابتة للفصل وبعض المتغيرات أثناء عملية القياس

خصائص الفراغ العامة			الزمن الامثل	البيئة داخل الفصل	
m^{-1} Sh_f	F_f %	Volume m^3	$RT_{OPT@500\,Hz}$ Sec	C^o Temp	RH %
معامل الشكل	معامل التشكيل	حجم الفصل	زمن الترداد الامثل عند تردد ٥٠٠ هرتز	درجة الحرارة	الرطوبة النسبية
٠.٦٥	٢	١٢٤	٠.٣٢٨	١٧.٥	% ٣٨.٥

جدول ٤-٦ بعض الخصائص لفصل مدرسة عمار بن ياسر[i]

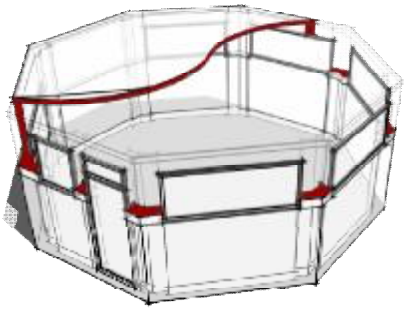
[i] أخذ تصميم الجدول من المرجع رقم ١٦ صفحة ١١٤.

شكل ٤-٧ مرحلة القياس بمدرسة عمار بن ياسر

٤-٤-٣ مدرسة راجاك

تقع المدرسة على طريق مصر الاسماعيلية الصحراوي، المدرسه لجميع المراحل العمرية وجميع الفصول بها مثمنة الشكل.

موقع المدرسة



شكل الفصل

شكل ٤-٨ موقع وشكل الفصل في مدرسة راجاك

٤-٤-٣-١ الموقع العام للمدرسة

تقع مدرسة راجاك على طريق الاسماعيلية الصحراوي الكيلو ٣٠

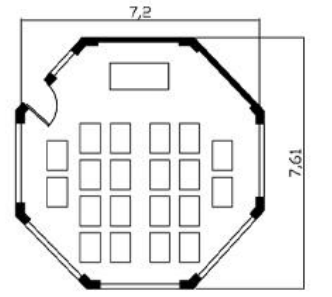
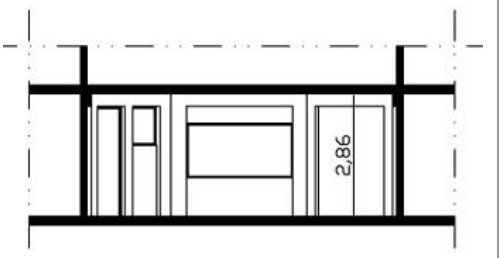
مساحة المدرسة	٣٧٤٠١ متر مربع
متوسط عدد فصول المدرسة	٦٥ فصل
متوسط عدد الطلاب	١٣٥٢ طالب

جدول ٤-٧ الخصائص المعمارية للمدرسة

شكل ٤-٩ الموقع العام

٤-٤-٣-٢ وصف فراغ الدراسة

يقع الفصل المثمن في الدورالارضي من مبنى المدرسة المكون من طابقين ، طلاب الفصل من المرحلة الابتدائية، مواد النهو في الفصل صلبه وجميع المفروشات من الخشب والحديد وتمثل المدرسة العينة المختارة على أطراف القاهرة. ويوضح جدول (٤-٨) بعض خصائص الفصل المعمارية.

موقع الفصل	الدور الارضي		
مساحة الفصل	٤١.٥ م٢		
سعة الفصل	٢٠ طالب		
المرحلة العمرية	المرحلة الابتدائية (التعليم الاساسي)		
شكل الفصل (مثمن)			
			
المسقط الافقي للفصل		قطاع للفصل	
فتحات الفصل			
مجموع مساحة الفتحات	١٤.٩ م٢	مساحة الباب	٢.٥ م٢
الفتحات على الواجهه	١٢.٤ م٢	الفتحات على الممر	----------
نسبة مساحة الفتحات لمساحة المسقط الافقي		%٢٩.٩	
مواد النهو			
الارضيات	بلاط أسمنتي	الحوائط والسقف	دهان على بياض أسمنتي
مساحة المقاعد	٣٣.٤ م٢	نهو المقاعد	خشب و معدن
مساحة السبورة	٣.١٥ م٢	نهو السبورة	فورميكا

جدول ٤-٨ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة راجاك

يوضح الجدول (٤-٩) بعض الخصائص الثابتة للفصل وبعض المتغيرات أثناء عملية القياس

خصائص الفراغ العامة			الزمن الامثل	البيئة داخل الفصل	
m^{-1} Sh_f	F_f %	Volume m^3	$RT_{OPT\,@\,500\,Hz}$ Sec	C^o Temp	RH %
معامل الشكل	معامل التشكيل	حجم الفصل	زمن الترداد الامثل عند تردد ٥٠٠ هرتز	درجة الحرارة	الرطوبة النسبية
٠.٥٦	١.٦	١٣٩.١٥	٠.٣٢٩	١٧.١	%٤٣

جدول ٤-٩ بعض الخصائص لفصل مدرسة راجاك[i]

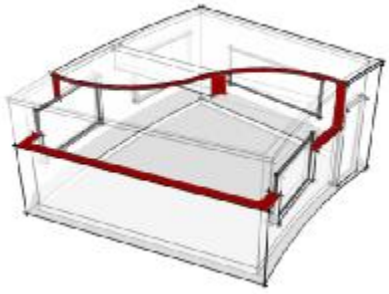
شكل ٤-١٠ مرحلة القياس في مدرسة راجاك

٤-٤-٤ مدرسة البشاير

تقع مدرسة البشاير في المعادي الجديدة على إمتداد مدخل كارفور المعادي من الطريق الدائري (القوس الغربي) وشكل مبنى المدرسة أسطواني لذ ك كل فصول المدرسة شكلها قطع من دائرة.

[i] أخذ تصميم الجدول من المرجع رقم ١٦ صفحة ١١٤.

موقع المدرسة



شكل الفصل

شكل ٤-١١ موقع وشكل الفصل في مدرسة البشاير

٤-٤-٤-١ الموقع العام للمدرسة

تقع مدرسة البشاير خلف منطقة البكري التاسعه بالمعادي الجديده

مساحة المدرسة	٢٨٥٠ متر مربع
متوسط عدد فصول المدرسة	٣٠ فصل
متوسط عدد الطلاب	٦٠٠ طالب

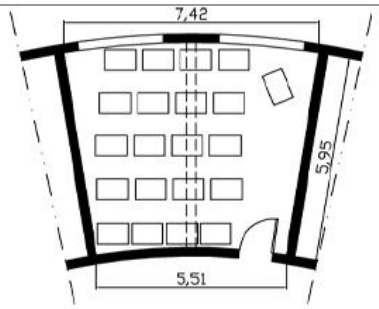
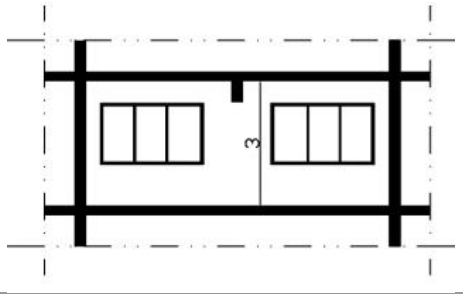
جدول ٤-١٠ الخصائص المعمارية للمدرسة

شكل ٤-١٢ الموقع العام

٤-٤-٤-٢ وصف فراغ الدراسة

يقع الفصل القطع من دائرة (محل الدراسة) في الدورالاول من مبنى المدرسة، طلاب الفصل من المرحلة الاعدادية، مواد النهو في الفصل صلبه وجميع المفروشات من الخشب والصلب وتمثل المدرسة العينة المختارة في منطقة جديدة بالقاهرة. ويوضح جدول (٤-١١) بعض خصائص الفصل المعمارية.

موقع الفصل	الدور الاول
مساحة الفصل	٣٩.٥ م٢
سعة الفصل	٢٠ طالب
المرحلة العمرية	المرحلة الابتدائية (التعليم الاساسي)
شكل الفصل (قطع من دائرة)	

	
المسقط الافقي	القطاع

فتحات الفصل			
مجموع مساحة الفتحات	١٢.١ م٢	مساحة الباب	٢.٢٥ م٢
الفتحات على الواجهه	٧.٢ م٢	الفتحات على الممر	٢.٦ م٢
نسبة مساحة الفتحات لمساحة المسقط الافقي	٢٥%		
مواد النهو			
الارضيات	بلاطات فينيل	الحوائط والسقف	دهان على بياض أسمنتي
مساحة المقاعد	٣٠.١ م٢	نهو المقاعد	خشب و معدن
مساحة السبورة	٤.١ م٢	نهو السبورة	فورميكا

جدول ٤-١١ الخصائص المعمارية لفصل مدرسة البشاير

ويوضح جدول (٤-١٢) بعض الخصائص الثابته للفصل وبعض المتغيرات أثناء عملية القياس

خصائص الفراغ العامة			الزمن الامثل	البيئة داخل الفصل	
m^{-1} Sh_f	F_f %	Volume m^3	$RT_{OPT\,@\,500\,Hz}$ Sec	C^o Temp	RH %
معامل الشكل	معامل التشكيل	حجم الفصل	زمن الترداد الامثل عند تردد ٥٠٠ هرتز	درجة الحرارة	الرطوبة النسبية
٠.٦٤	١.٩	١٢٢	٠.٣٢٥	١٨	% ٣٨

جدول ٤-١٢ بعض الخصائص لفصل مدرسة البشاير[i]

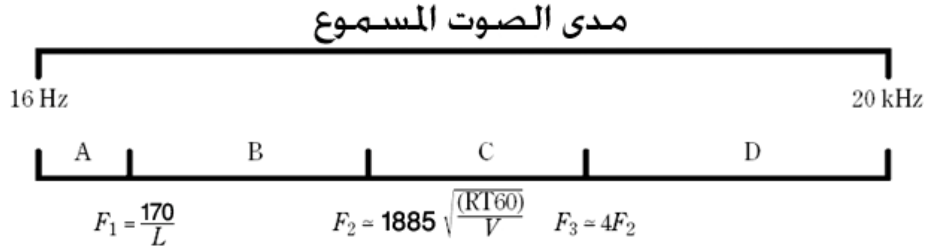
[i] أخذ تصميم الجدول من المرجع رقم ١٦ صفحة ١١٤.

شكل ٤-١٣ مرحلة القياس في مدرسة البشاير

٤-٥ مناطق (حساب الرنين) الترددات لعينات الدراسة

يعد المدى المسموع عريضا عندما يعرض بصورة الطول الموجي، حيث يعد تردد ١٦ هرتز أقل تردد يمكن لاي أذن سماعه ويناظر ذلك طول موجي مساو ٢٢.٥٩٢ متر وأقصى تردد مسموع يصل الى ٢٠٠٠٠ هرتز يناظر طول موجي مساو ٠.٠١٨ متر.[٩]

وبشكل عام يتأثر سلوك الصوت بالطول الموجي مقارنة بمقاسات العناصر التى يصطدم بها، يكمن مشكل البيئة الصوتية في عدم وجود مدخل محدد لتحليل وتغطية المدى العريض من الاطوال الموجيه.



شكل ٤-١٤ مناطق الترددات لحساب الرنين

وعند الحديث عن الغرف الصغيرة يمكن تقسيم المدى المسموع من الصوت الى ٤ مناطق A,B,C,D من الترددات حيث يختلف سلوك الصوت من منطقة لاخرى شكل (٤-١٤).

المنطقة A وتبدأ من التردد ١٦ هرتز الى تردد F١ والذي يعبر عنه من المعادلة (٤-١) [٩]

$$F_1 = \frac{0.5c}{L} .....Eq.4.1$$

حيث

c سرعة الصوت ٣٤٠ م/ث

L أطول أضلاع الفراغ

وتعد المنطقة A خالية من الرنين حتى الحد الاقصى لها والمعبر عنه بالتردد F١ (يسمى ايضا اقل نسق محوري) وهذا لايعنى خلو الفراغ من تلك الترددات. [٩]

تتثل المنطقة B هامة لانها تربط ابعاد الغرفه بالطول الموجي وتبدأ من الحد الادنى F_1 الى الحد الاقصى F_2 ويسمى تردد القطع، ويسيطر النموذج الموجي Wave model على هذه المنطقه بسبب أطوالها الموجيه الكبيرة والتي لايمكن ان تتبع النموذج البياني Geometrical model . ويعبر عن F_2 من المعادلة (٤-٢) [٩]

$$F_2 \cong 1885\sqrt{\frac{RT_{60}}{V}} .....Eq.4.2$$

حيث

RT_{60} زمن الترداد

V حجم الفراغ

تمثل المنطقة C منطقة إنتقاليه بين المنطقة B والمنطقة D والمنطقة C تتميز بصعوبة تصنيفها الى اي من النموذجين البياني او الموجي حيث يسيطر عليها الحيود والانتشار فأطوالها الموجيه طويله على إستخدام النموذج البياني وقصيرة على إستخدام النموذج الموجي.

حدها الادنى هو تردد القطع والحد الاقصى لها F_3 يمثل من المعادلة (٤-٣)

$$F_3 = 4F_2 .....Eq.4.3$$

واخيرا المنطقة D وهي المنطقة من F_3 الى نهاية تردد حد السمع وهي منطقة تتبع النموذج البياني والذي يتبع نظرية تتبع مسارات الاشعه (مثل الضوء) [٩]

ويوضح الجدول (٤-١٣) قيم حدود مناطق الترددات لعينات الدراسة عند زمن الترداد ٠.٦

اسم المدرسة	F_1	F_2	F_3
مدرسة المستقبل	٢٣.٦	١٣٣.٠٦	٥٣٢,٢٤
مدرسة عماربن ياسر	٢١.٢٥	١٣١.١	٥٢٤,٤
مدرسة راجاك	٢٢.٣٦	١٢٣.٧٨	٤٩٥,١٢
مدرسة البشاير	٢٢.٦٧	١٣٢.١٩	٥٢٨,٧٦

جدول ٤-١٣ حدود الترددات لنطاقات الرنين المختلفه

تعبر النتائج السابقة عن مناطق الترددات، قيم الترددات التي اقل عن F_1 لا تسبب اي رنين في الغرفه، قيم ترددات F_2 تعبر عن تردد القطع. المنطقة B تقع بين F_1 و F_2 تتبع النموذج الموجي بمتوسط ٢٤ هرتز الى ١٣٠ هرتز والمنطقة الانتقالية C بين ترددات F_2 و F_3 بمتوسط ١٣٠ الى ٥٠٠ هرتز واخير المنطقه الهامه D وهي أكبر من قيمة F_3 بمتوسط ٥٠٠ هرتز وهي الترددات الاهم في الحديث ٥٠٠:٤٠٠٠ هرتز والذي يسود فيه النموذج البياني.

٤-٦ نتائج القياسات

تشمل نتائج القياسات قياسات البيئة الصوتية بإستخدام نظام الميلسا ونتائج قياس منسوب الضوضاء الخلفية.

٤-٦-١ مواضع القياس ومنحنيات إستجابة الفراغ للنبضات

توضح الاشكال من (٤-١٥) الى (٤-١٨) مواضع القياس التي تمت في عينات الدراسة مدرسة المستقبل ومدرسة عمار بن ياسر ومدرسة راجاك ومدرسة البشاير على الترتيب، وكذلك منحنيات توضح إستجابة الفراغ للنبضه (Impulse Response) عند كل موضع من مواضع القياس على إرتفاعين مختلفين عدا مدرسة راجاك مواضع القياس على إرتفاع واحد.

٤-٦-٢ نتائج قياس منسوب ضغط الصوت داخل وخارج الفصل

تمت قياسات منسوب ضغط الصوت لكل فصل في حالتين الاولى عندما تكون النوافذ مفتوحة (كما تقرر الاشتراطات وضع التهوية الطبيعية) والثانية والنوافذ مغلقة وتم قياس منسوب ضغط الصوت أمام واجهة الفصل في الشارع او فناء المدرسة.

يوضح الجدول (٤-١٤) قيم منسوب ضغط الصوت لكل فصل في ثلاثة حالات وكذلك منسوب ضغط الصوت المكافئ لكل حالة.

مدرسة المستقبل التجريبية								
	OBCF (Hz)							
حـــــالات القياس	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	١٦٠٠٠
مفتوح (ديسيبل)	٦٠.٥	٥٤.٧	٤٩.٦	٤٨.٣	٤٧.٢	٤٢.٩	٤٢.٤	٢٥	١٦.٧
مغلق (ديسيبل)	٦١.٦	٥٣.٣	٤٥.٥	٤٤.٣	٤٢.٨	٤١.٨	٣٢.٥	٢٤.٧	١٩.٣
خـــــارج الفصل (ديسيبل)	٧٠.٢	٦٣.٨	٦١.٨	٦١.٢	٥٩.٩	٥٨	٥٧.٩	٤٣.٦	٣٨.١

$L_{eq(5\,min)}$ منسوب ضغط الصوت المكافئ (٥ دقائق)	
$L_{eq(5\,min)}$ مفتوح (ديسيبل)	٥٨.١
$L_{eq(5\,min)}$ مغلق (ديسيبل)	٥٣.٤
$L_{eq(5\,min)}$ خارج الفصل (ديسيبل)	٧٠.٧

مدرسة عمار بن ياسر									
	OBCF (Hz)								
حـــــالات القياس	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	١٦٠٠٠
مفتوح (ديسيبل)	٥٧.٧	٤٩.٤	٤٥.٣	٤٦.٥	٤٧.٩	٤٢.٧	٣٧.١	٢٦.٤	١٦.٣
مغلق (ديسيبل)	٥٤.٩	٥٣.٨	٣٨.٩	٣٦.٥	٣٣.٤	٣١.٦	٢٨	١٥.٣	١٠.٩
خـــــارج الفصل (ديسيبل)	٦٠	٦٣.٢	٤٥.٣	٤٣.١	٤٢	٣٩	٣٦	٢٢	١٦.٣

$L_{eq(5\,min)}$ منسوب ضغط الصوت المكافئ (٥ دقائق)	
$L_{eq(5\,min)}$ مفتوح (ديسيبل)	٥٥.٥
$L_{eq(5\,min)}$ مغلق (ديسيبل)	٤٦.٦
$L_{eq(5\,min)}$ خارج الفصل (ديسيبل)	٥٤.٥

مدرسة راجاك									
	OBCF (Hz)								
حـــــالات	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	١٦٠٠٠

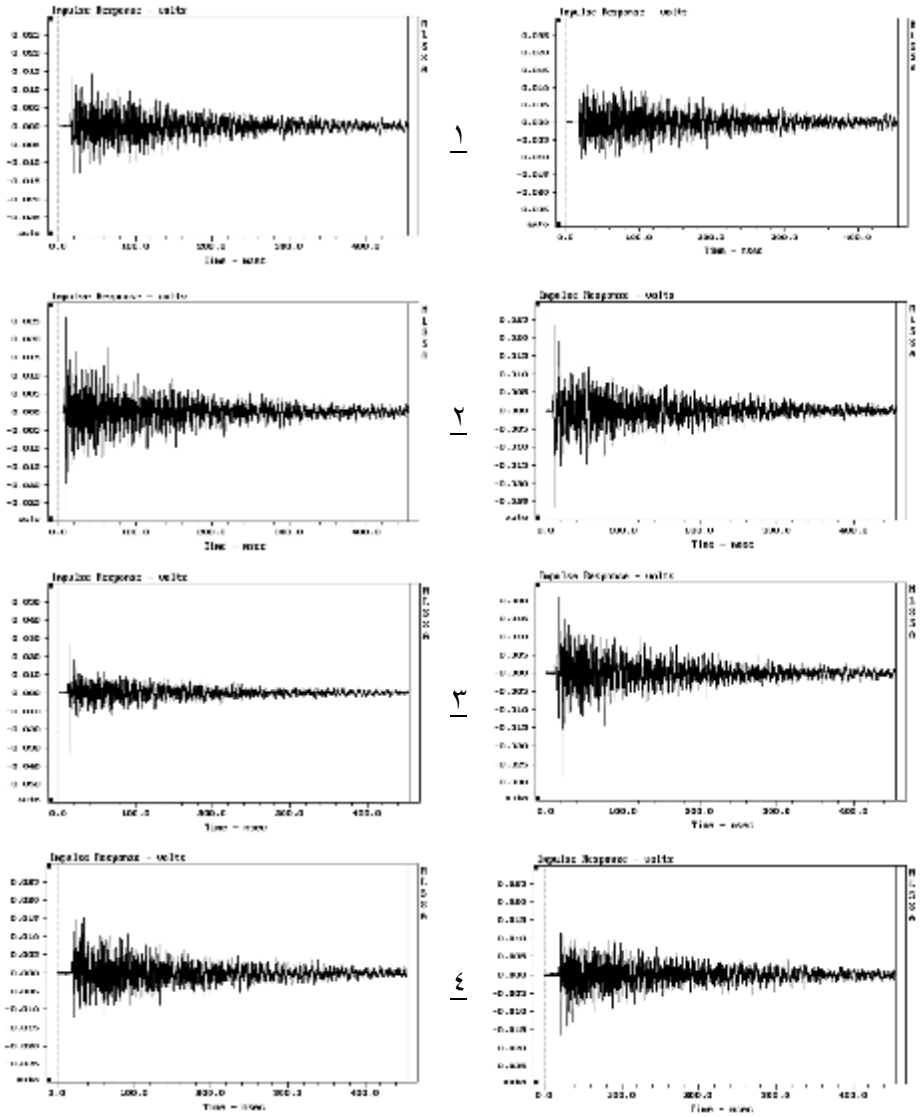
القياس									
مفتوح (ديسيبل)	٤٦.٥	٥٠	٥١.٤	٥٢.٣	٤٩.٢	٤٤.٢	٣٣.٨	٢٤.٩	١٦.٧
مغلق (ديسيبل)	٤٢.٧	٥١.٢	٥٢.٩	٥٣.٣	٤٩.٨	٤٤.٢	٣٣	٢٤.٩	١٧.٤
خـــــارج الفصل (ديسيبل)	٥٤.٤	٤٨.٤	٤٦	٤٢.١	٣٨.٥	٣٦.٧	٣٨.٥	٢١.٩	٩.٨

$L_{eq(5\,min)}$ منسوب ضغط الصوت المكافئ (٥ دقائق)	
$L_{eq(5\,min)}$ مفتوح (ديسيبل)	٥٨
$L_{eq(5\,min)}$ مغلق (ديسيبل)	٥٨.٩
$L_{eq(5\,min)}$ خارج الفصل (ديسيبل)	٥٠.٣

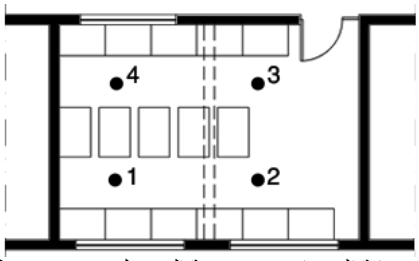
مدرسة البشاير									
	OBCF (Hz)								
حـــالات القياس	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠	١٦٠٠٠
مفتوح (ديسيبل)	٤٦	٤٢.٢	٤٤.٣	٤٤.٣	٣٩.٥	٣٤.٣	٢٨.٧	٢٣	١٤.٤
مغلق (ديسيبل)	٤٢.٤	٣٢.٢	٣٦.٤	٣٣.٤	٣٦.٤	٣٢.٤	٢٥.٤	١٧.٣	١١.٦
خـــارج الفصل (ديسيبل)	٥٣.٣	٥٠.٨	٤٩.١	٤٧.٦	٤٧.٦	٤٢.٩	٣٦.٥	٢٧.٥	١٤.٣

$L_{eq(5\,min)}$ منسوب ضغط الصوت المكافئ (٥ دقائق)	
$L_{eq(5\,min)}$ مفتوح (ديسيبل)	٤٩.٥
$L_{eq(5\,min)}$ مغلق (ديسيبل)	٤٥.٢
$L_{eq(5\,min)}$ خارج الفصل (ديسيبل)	٥٦.٤

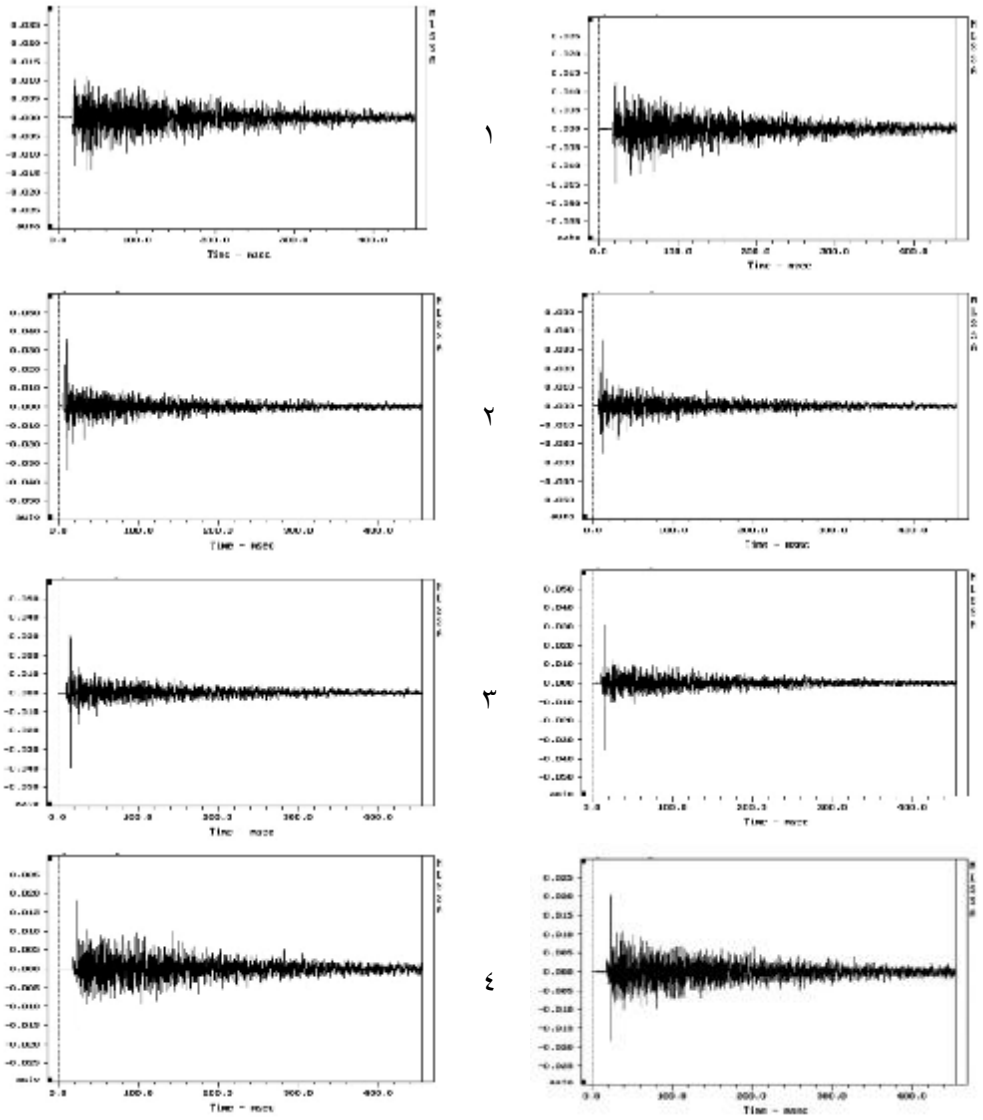
جدول ٤-١٤ نتائج قياس منسوب ضغط الصوت في فصول عينة الدراسة



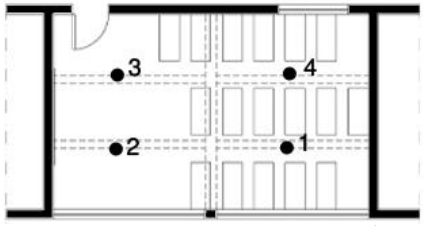
نقط القياس على ارتفاع ١.٢٠م نقط القياس على ارتفاع ١م



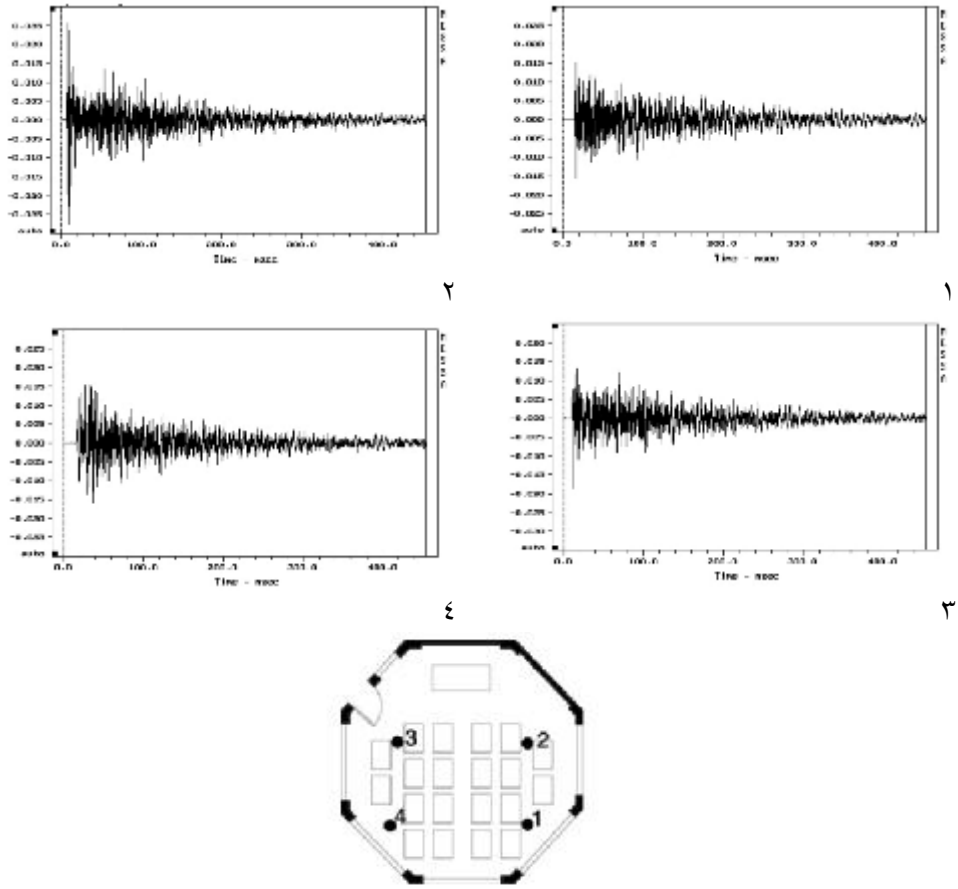
شكل ٤-١٥ منحنيات تمثل استجابة النبضات في مدرسة المستقبل (**IR**) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس



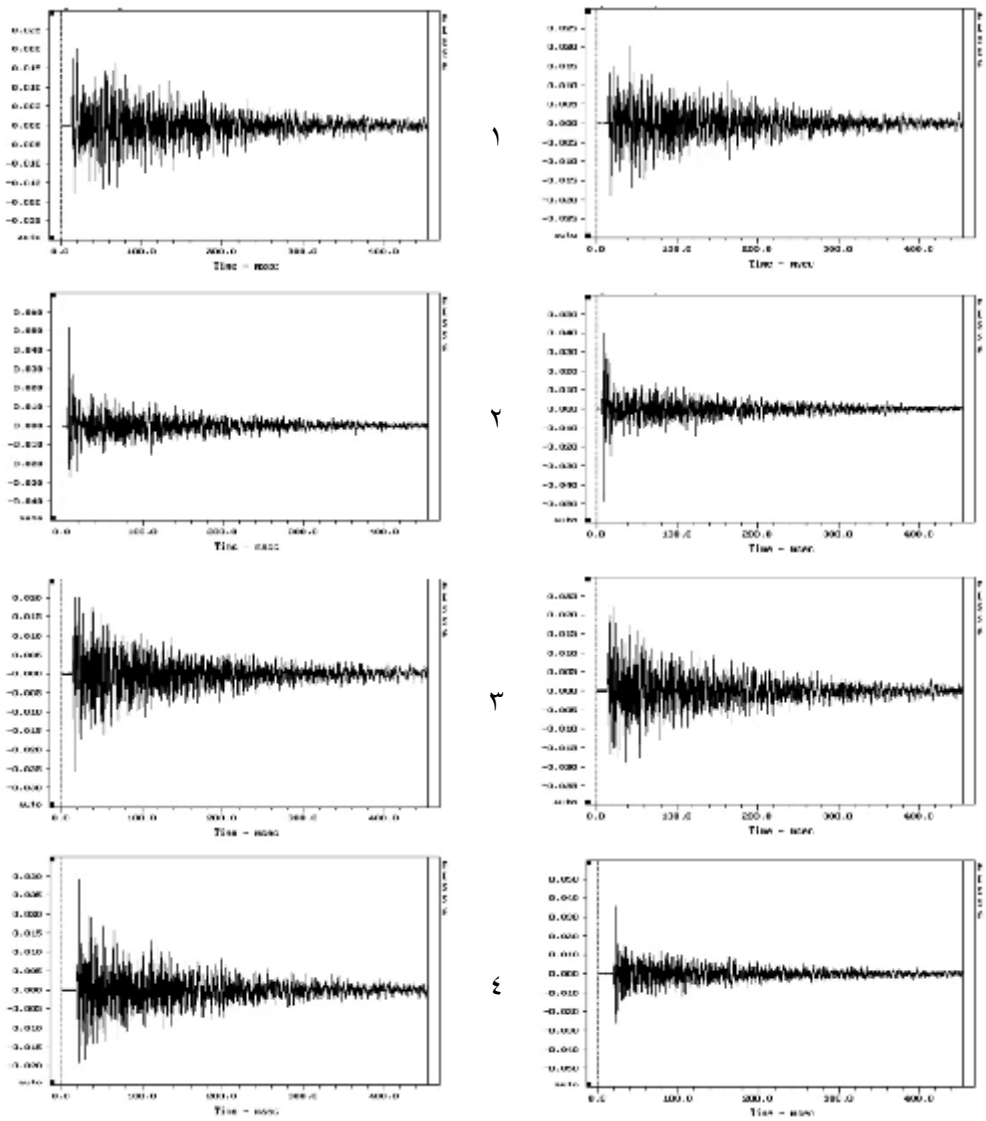
نقط القياس على ارتفاع ١.٢٠م نقط القياس على ارتفاع ١م



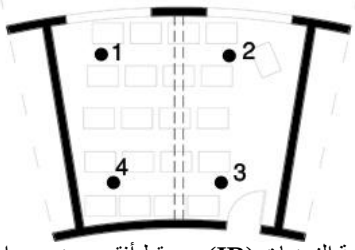
شكل ٤-١٦ منحنيات تمثل استجابة النبضات في مدرسة عمار بن ياسر **(IR)** ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس



شكل ٤-١٧ منحنيات تمثل استجابة النبضات (**IR**) ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس على إرتفاع ١متر لفصل مدرسة راجاك



نقط القياس على ارتفاع ١.٢٠م نقط القياس على ارتفاع ١ م



شكل ٤-١٨ منحنيات تمثل استجابة النبضات **(IR)** ومسقط أفقي يوضح مواضع القياس فصل مدرسة البشاير

٤-٧ أسباب إستخدام المحاكاة

يتم إستخدام المحاكاة بواسطة برامج الحاسب الالي نظرا لصعوبة قياس الفصل المأهول بالطلاب والحاجة لنتائج بعض المتغيرات التي تعتمد على أن يكون الفصل مأهول وليس خاليا ويجب التحقق من صحة النموذج قبل البدء في المحاكاة.

٤-٧-١ التحقق من صحة النموذج

يعتمد التحقق من صحة النموذج على تطابق قيم زمن الترداد (في حالة الفصل وهو فارغ) للنموذج المرسوم بواسطة الحاسب قيم زمن الترداد بالفصل المقاس على الواقع، وذلك بتغيير قيم إمتصاص المادة الاكبر مساحة وهي الحوائط (حتى تكون التغيرات بسيطة وايضا وجود بعض اللوحات والزينات المعلقة على هذه الحوائط والتي سوف تؤثر بالتأكيد على إمتصاصها).

أ. معاملات الامتصاص لمواد النهو المستخدمة في الفصول المختارة

يبين جدول (٤-١٥) معاملات الامتصاص المستخدمة بواسطة الحاسب الالي ومصادرها

مواد النهو المستخدمة في عينات الدراسة	معاملات الامتصاص (%) لترددات النطاقات الثمانية بالهرتز						المرجع
	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	
ألآرضيات							
بلاط موزايكو	١	١	٢	٢	٢	٢	[٣٩]
أرضيات فينيل	٢	٤	٥	٥	٥	٥	[٢]
بلاط أسمنتي	١	١	١	٢	٢	٢	[٣٩]
الحوائط والسقف							
بياض اسمنتي ودهان	١	١	٢	٣	٤	٥	[١٤]
كسوات من السيراميك	٥	٥	٥	٥	٥	٥	[٤٠]
مواد أخرى							
النوافذ	٣٥	٢٥	١٨	١٢	٧	٤	[٣٣]
الابواب الخشبية	١	٧	٥	٤	٤	٤	[١٤]
طاولة فارغة (للطالب الواحد)	١	١٣	١٤	١٧	١٨	١٥	

جدول ٤-١٥ قيم إمتصاص مواد النهو المستخدمة في عينة الدراسة

ب. معاملات الانتشار(*Diffuse*) المفترضة لمواد النهو السابقة

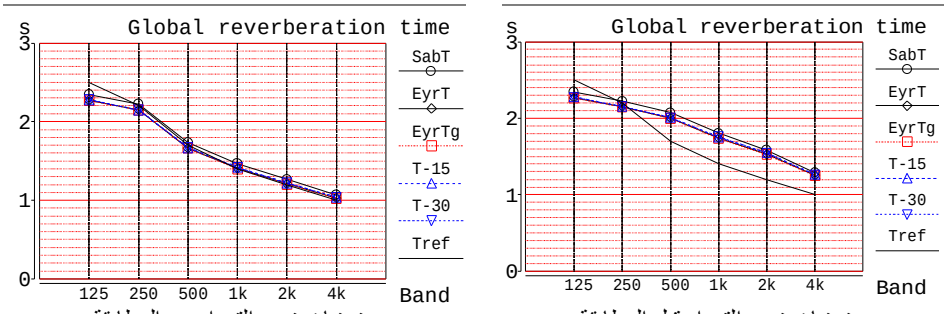
يؤثر الانتشار بشكل كبير ومباشر على قيم زمن الترداد وقيم أخرى متعدده لذلك ينصح مصمم البرنامج [١١] بالاتي عند فرض قيم معاملات الانتشار:

١- يفضل إستخدام قيمة ٢٠% للاسطح المتوسطة الابعاد والملساء وتصل القيمة الى ١٠% للاسطح الملساء كبيرة الابعاد.
٢- معاملات الانتشار للحضور تفرض بالقيم ٣٠% الى ٨٠% بالتدريج حيث يتم وضع قيمة ٣٠% عند أقل تردد (١٢٥ هرتز) والقيمة ٨٠% عند أعلى تردد(٤٠٠٠ هرتز).

٣- الاسطح الخشنة جدا يفضل وضع قيم كبيرة لها تصل الى ٨٠% وبشكل عام فإن القيم الكبيرة أفضل من القيم الصغيرة لهذه المواد.
وهذه القيم أيضا موصى بها في الاشتراطات البريطانية BB٩٣.

ج. مرحلة الاعداد للمحاكاه (المطابقة – *Validation*)

المنحنيات التالية توضح الفروق في منحنيات زمن الترداد للنماذج المرسومة والعينات المقاسة، توضح الاشكال (٤-١٩، ٢٠,٢١، ٢٢) منحنيات زمن الترداد قبل وبعد المطابقة وتوضح الجداول (٤-١٦، ١٧، ١٨، ١٩) التغير في قيم معاملات الامتصاص لمادة البياض للوصول للمطابقة.

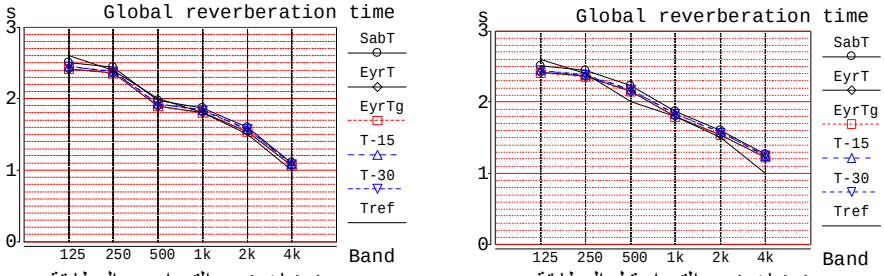


منحنيات زمن الترداد بعد المطابقة — منحنيات زمن الترداد قبل المطابقة

شكل ٤-١٩ زمن الترداد لفصل مدرسة المستقبل قبل وبعد المطابقة

المادة	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
بياض أسمنتي ودهان	١	١	٥	٧	٩	١٠

جدول ٤-١٦ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة المستقبل

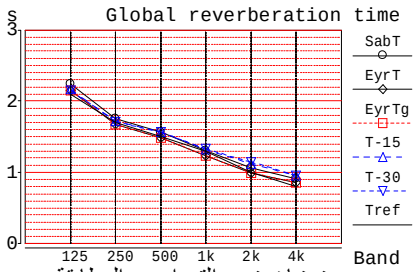


منحنيات زمن الترداد بعد المطابقة — منحنيات زمن الترداد قبل المطابقة

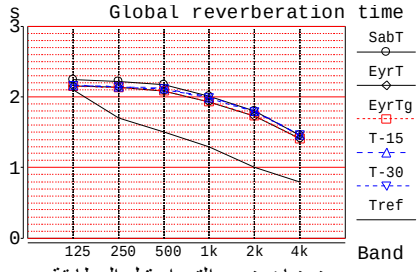
شكل ٤-٢٠ منحنيا زمن الترداد لفصل مدرسة عمار بن ياسر قبل وبعد المطابقة

المادة	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
بياض أسمنتي ودهان	١	١	٣	٣	٤	٧

جدول ٤-١٧ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة عمار بن ياسر



منحنيات زمن التردد بعد المطابقة

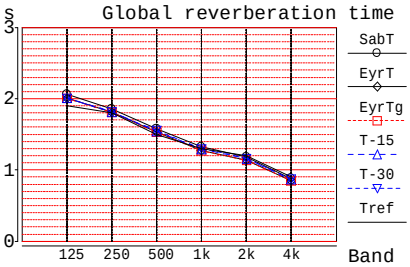


منحنيات زمن التردد قبل المطابقة

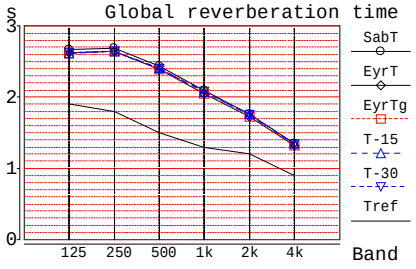
شكل ٤-٢١ منحنيا زمن التردد لفصل مدرسة راجاك قبل وبعد المطابقة

المادة	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
بياض أسمنتي ودهان	١	٥	٨	١٢	١٧	١٩

جدول ٤-١٨ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة راجاك



منحنيات زمن التردد بعد المطابقة



منحنيات زمن التردد قبل المطابقة

شكل ٤-٢٢ منحنيا زمن التردد لفصل مدرسة البشاير قبل وبعد المطابقة

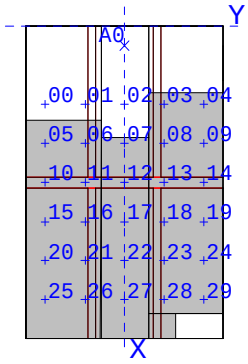
المادة	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
بياض أسمنتي ودهان	٣	٤	٦	٨	٩	١٢

جدول ٤-١٩ التغير في قيم إمتصاص الحوائط لفصل مدرسة البشاير

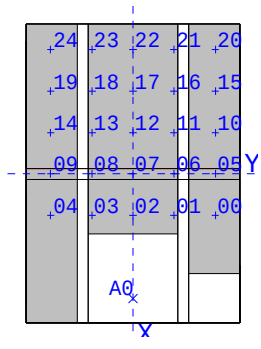
٤-٨ مناقشة نتائج المحاكاه

٤-٨-١ نماذج الفصول

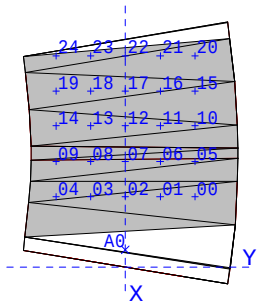
يوضح شكل (٤-٢٣) نماذج الفصول المستخدمة في المحاكاة في برنامج CATT Acoustics وكذلك نقط القياس التي تم عندها حساب المتغيرات المختلفة بواسطة البرنامج.



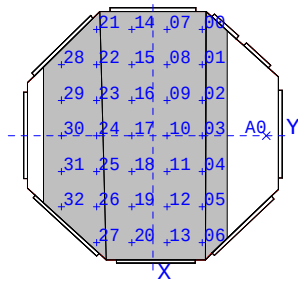
مدرسة عمار بن ياسر



مدرسة المستقبل



مدرسة البشاير



مدرسة راجاك

شكل ٤-٢٣ نماذج الفصول المستخدمة في البرنامج لعمل المحاكاة

٤-٨-٢ زمن الترداد

تظهر نتائج القياسات الارتفاع الكبيرفي قيم زمن الترداد (الذي يصل الى ضعف القيمة المطلوبة) ويظهر من الجدول (٤-٢٠) قيم زمن الترداد المتوسطة للفصول الخالية من الطلاب.

المدرسة	قيم زمن الترداد بالثواني عند الترددات المتوسطة			T_{mf} ثانية	T_{mf-OPT} ثانية
	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠		
مدرسة المستقبل	١.٧٥	١.٣٥	١.٢٥	١.٤٥	٠.٦
مدرسة عمار بن ياسر	٢	١.٨	١.٥	١.٧٥	
مدرسة راجاك	١.٥	١.٣	١	١.٢٥	
مدرسة البشاير	١.٤٤	١.٣	١.١٨	١.٣	

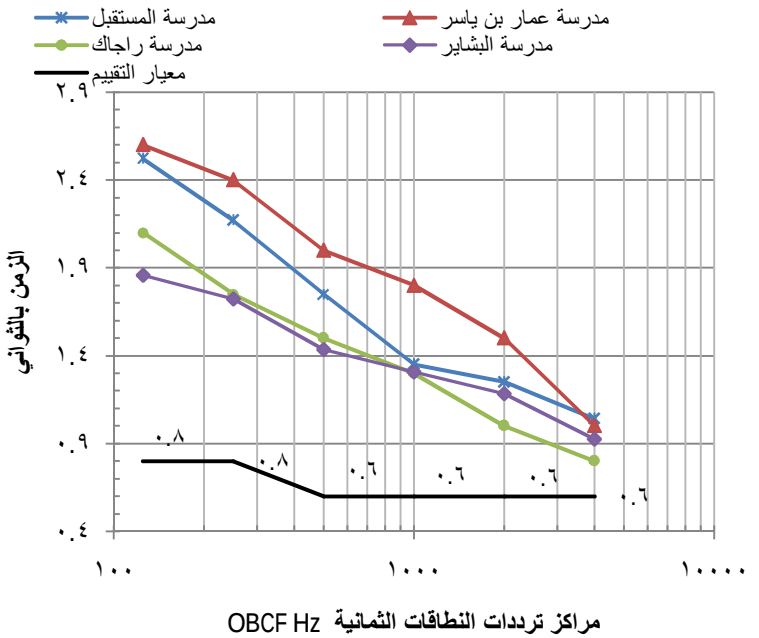
جدول ٤-٢٠ زمن الترداد للترددات المتوسطة لعينات الدراسة

وبدراسة قيم زمن الترداد للترددات المنخفضة نجد انها ايضا مرتفعه عن الحد الاقصى الموصى به كما يظهر في جدول (٤-٢١)

عينات الدراسة	قيم زمن الترداد بالثواني عند الترددات المنخفضة (Hz)		T_{mf-OPT} ثانية
	١٢٥	٢٥٠	
مدرسة المستقبل	٢.٥ ثانية	٢.١٧ ثانية	٠.٨ ثانية
مدرسة عمار بن ياسر	٢.٦ ثانية	٢.٤ ثانية	
مدرسة راجاك	٢.١ ثانية	١.٧٥ ثانية	
مدرسة البشاير	١.٨٦ ثانية	١.٧٢ ثانية	

جدول ٤-٢١ زمن الترداد للترددات المنخفضة لعينات الدراسة

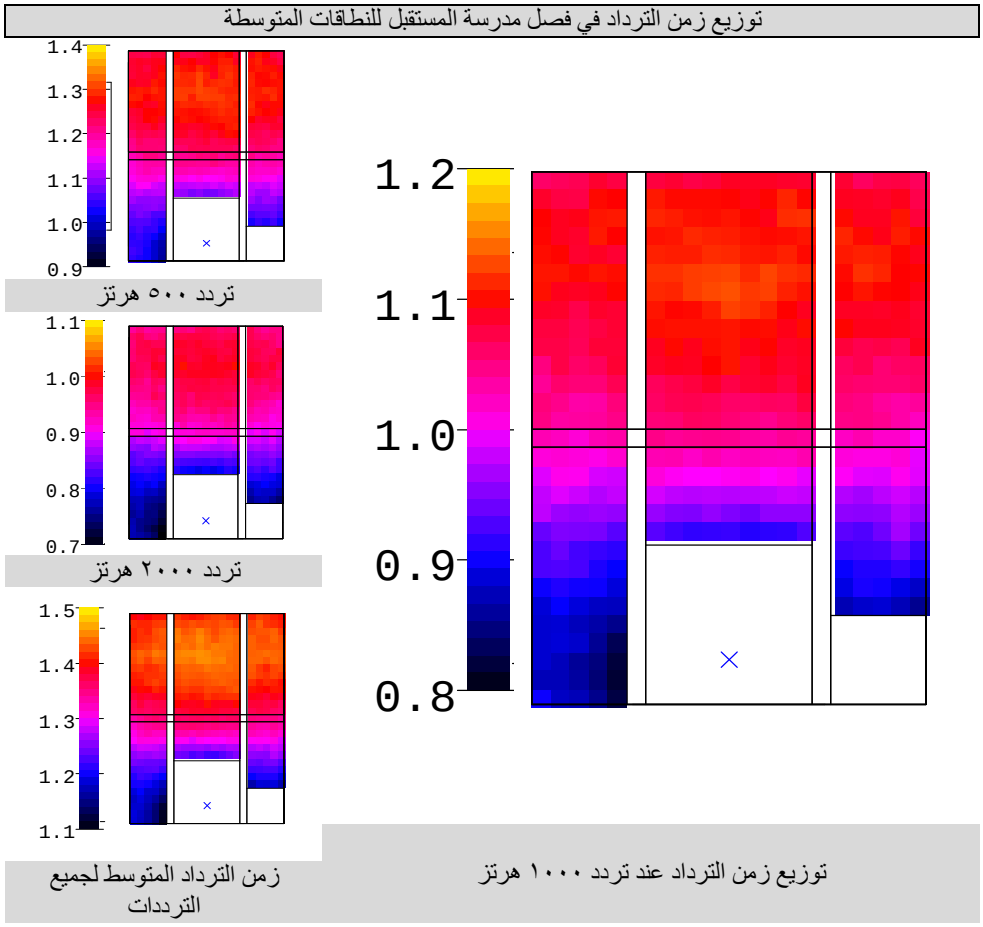
يوضح شكل (٤-٢٤) منحنيات زمن الترداد المقاسة للمدارس الاربعة وقياسا على المعايير البريطانية والامريكية اللتان اتفقتا على قيمة ٠.٦ ثانية للترددات المتوسطة و ٠.٨ للترددات المنخفضة للفصل الفارغ نجد أن القيم مرتفعة جدا عن الحد المطلوب، وتظل كذلك حتى بعد دراسة الإشغال وحساب إمتصاص الطلبة في المحاكاه؛ ويعود ذلك الارتفاع الكبير بسبب أن جميع مواد نهو الفصل صلبة وتعد مواد عاكسة للصوت.



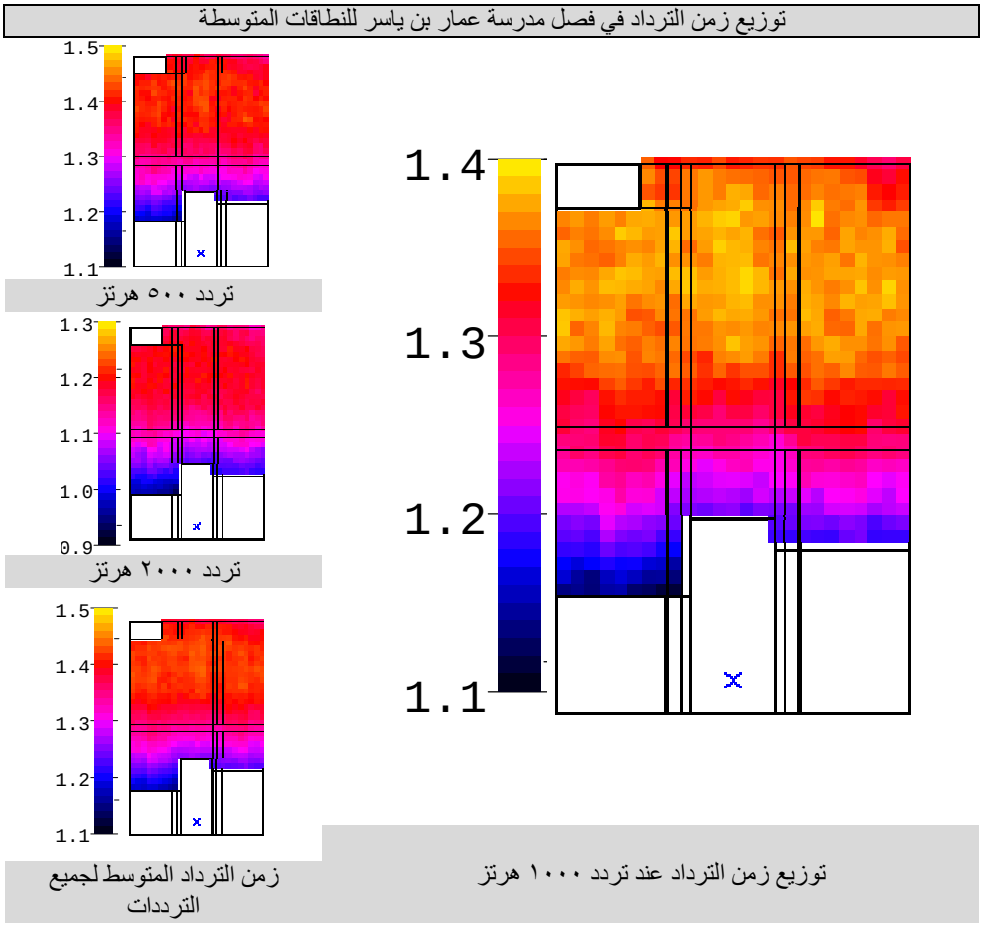
شكل ٤-٢٤ منحنيات زمن الترداد لعينات الدراسة

يوضح الاشكال (٤-٢٥,٢٦,٢٧,٢٨) خرائط لتوزيع قيم زمن الترداد عند الترددات المتوسطة ٥٠٠ و ١٠٠٠ و ٢٠٠٠ هرتز وتوزيع زمن الترداد المتوسط، تعبر الخرائط عن توزيع زمن بقاء الطاقة الصوتية وكلما زاد زمن بقاء الطاقة يعني ذلك زيادة تركز الطاقة بسبب الانعكاس في هذه المناطق والمؤثر الاول يكون شكل الفراغ حيث جميع أسطح تلك الفراغات صلبة وعاكسة للصوت.

يظهر في خريطة زمن الترداد المتوسط لمدرسة المستقبل شكل (٤-٢٥) إرتفاع في زمن الترداد في الثلث الخلفي من الفصل بسبب تركز الانعكاسات في الخلف ويعود ذلك للكمرات البارزه ومواد النهو الصلبة.

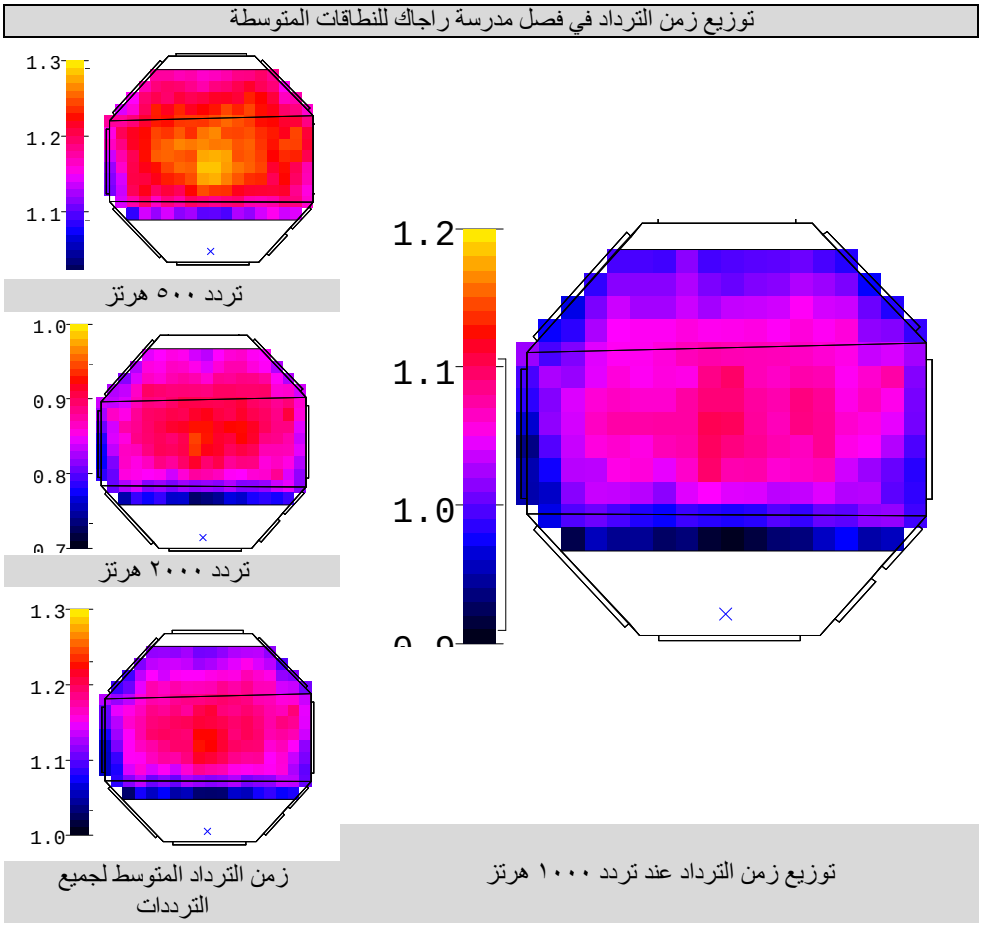


شكل ٤-٢٥ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة المستقبل



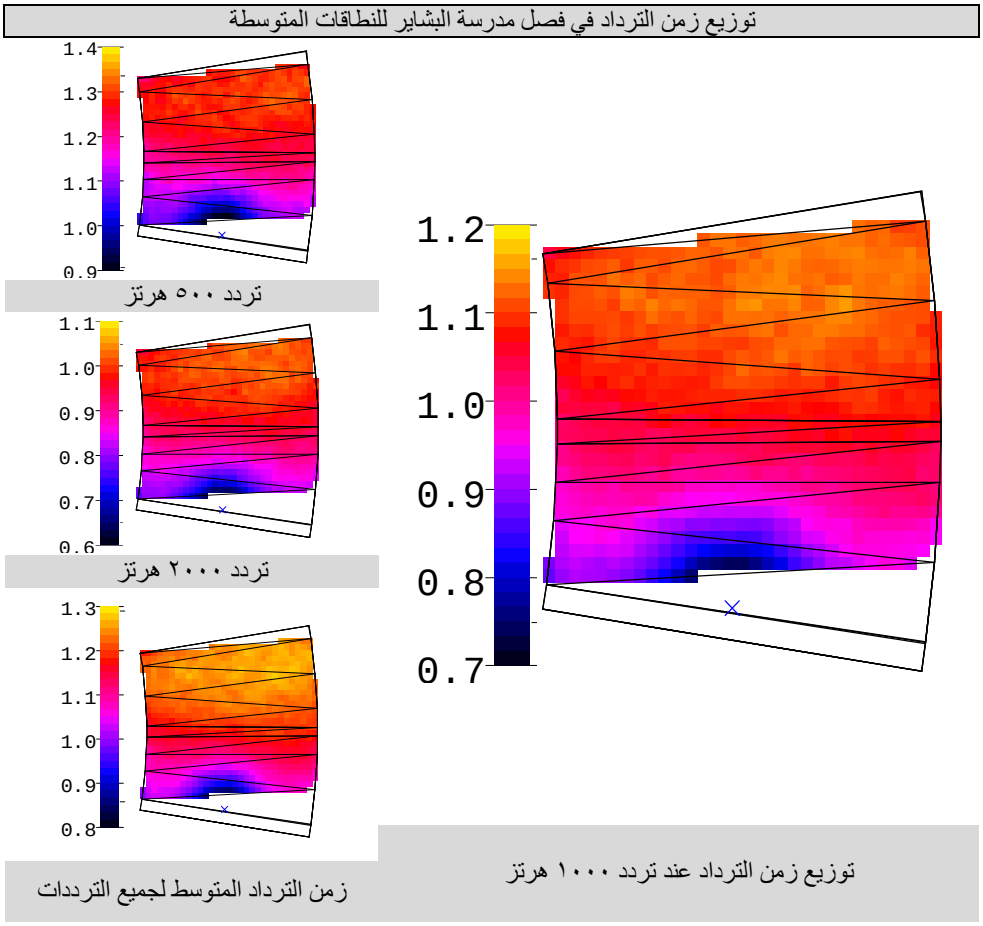
شكل ٤-٢٦ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة عمار بن ياسر

يظهر إرتفاع زمن الترداد بشدة في فصل مدرسة عمار بن ياسر عند التردد ١٠٠٠ هرتز والارتفاع ويعود ذلك لانخفاض إمتصاص الفراغ عند تردد ١٠٠٠ وأيضا تتركز الانعكاسات في الثلث الاخير من الفصل وذلك من خصائص الشكل المستطيل. شكل (٤-٢٦).



شكل ٤-٢٧ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة راجاك

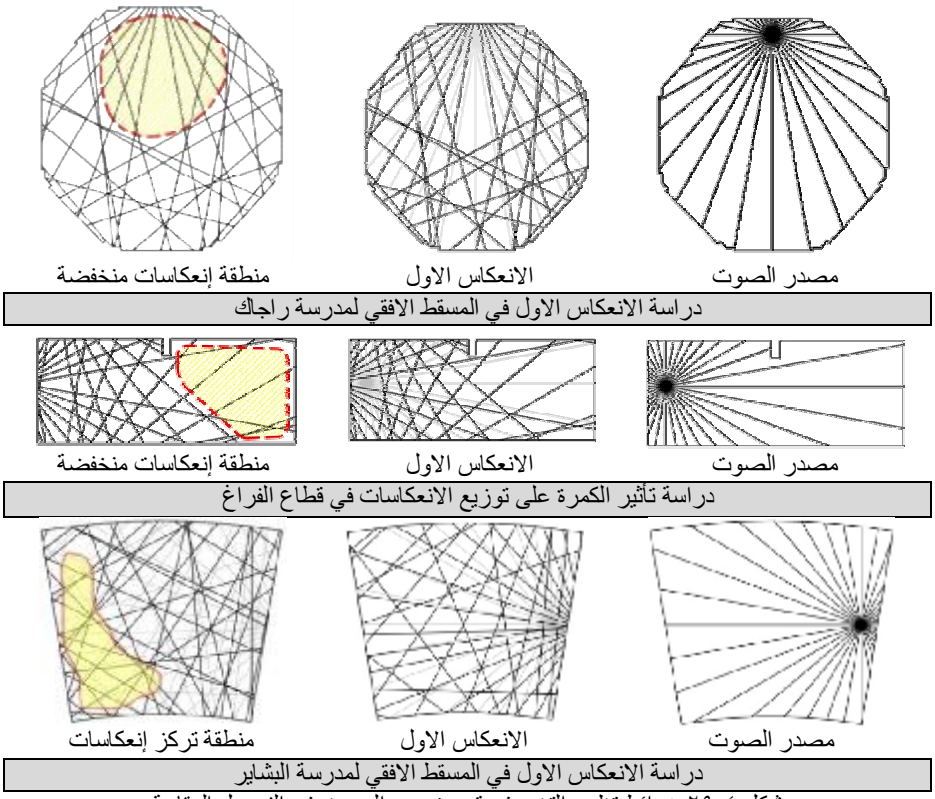
في مدرسة راجاك يقوم الشكل المثمن بتأثير يشبه تأثير الشكل الدائري الذي يقوم بتركيز الاشعة في المنتصف شكل (٤-٢٧) ويفسر ذلك دراسة مسارات الاشعة في شكل (٤-٢٩).



شكل ٤-٢٨ خرائط توزيع زمن الترداد في فصل مدرسة البشاير

يتركز إرتفاع زمن الترداد في مدرسة البشاير- شكل (٤-٢٨) -في آخر فراغ الفصل بالقرب من الزاوية الحاده عند التردد ١٠٠٠ هرتز ويفسر ذلك تركز الاشعة عند الزاوية الحادة في دراسة مسارات الاشعة.

يظهر من الشكل (٤-٢٩) دراسة لمسارات الانعكاسات (Ray Diagram) ويظهر وجود بعض العيوب الصوتية في بعض الفصول مثل تأثير وجود الكمرة (التي تسبب منطقة ظلال) في وسط فصول كل من مدرسة المستقبل ومدرسة عمار بن ياسر ومدرسة البشاير كذلك في مدرسة راجاك يسبب الشكل المثمن توزيعا على الاطراف للإنعكاسات الاولى.



شكل ٤-٢٩ خرائط تظهر التغير في قيم منسوب الصوت في الفصول المقاسة

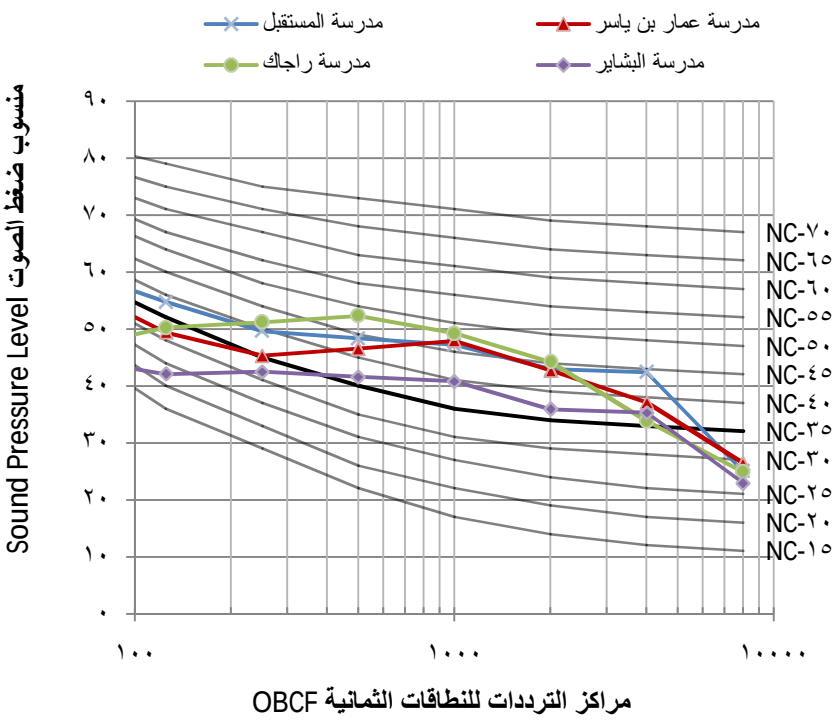
٤-٨-٣ منسوب ضغط الصوت

ينقسم منسوب ضغط الصوت الى مجموعة عوامل مؤثرة على البيئة الصوتية في الفراغ وهي منسوب الضوضاء الخلفية (منسوب ضغط الصوت والفصل خالي من الطلبة) ونسبة الاشارة للضوضاء(الفرق بين صوت المعلم ومنسوب الصوت في الفراغ) وقيم منسوب ضغط الصوت والفصل مشغول بالطلاب.

٤-٨-٣-١ منسوب الضوضاء الخلفية

بالرغم من أن منسوب الضوضاء الخلفي خارج نطاق هذا البحث لكونه يتوقف على مجموعة من العوامل الخارجية أهمها موقع المدرسة ثم موقع الفصل في المدرسة. غير أن نظرة سريعة على قيم مناسيب الضوضاء الخلفية المقاسة في عينة الدراسة ربما تكون ذات دلالة هامة خصوصا عند مناقشة النتائج.

يوضح جدول (٤-١٤) قيم منسوب الضوضاء الخلفية (منسوب ضغط الصوت) للفصول المقاسة بدون طلاب والنوافذ مفتوحة ويظهر من الجدول الارتفاع الكبير الذي يتراوح منسوب ضغط الصوت المكافئ لها $L_{Eq(5\min)}$ ما بين ٤٩.٤ الى ٥٨.١ ديسيبل حيث تنص الاشتراطات على الا يتعدى منسوب الصوت في الفراغ الخالي عن ٣٥ ديسيبل.



شكل ٤-٣٠ منحنيات معيار الضوضاء مقارنة بقيم منسوب ضغط الصوت المقاس

يظهر من الشكل (٤-٢٥) أن منحنيات الضوضاء لجميع الفصول المقاسة في الاربعة مدارس تقع تحت منحنى NC٥٠ عدا مدرسة البشاير فيقع منحنى الضوضاء تحت منحنى NC٤٠ ويعود ذلك لموقع المدرسة في منطقة جديدة غير مزدحمة.

٤-٨-٣-٢ نسبة الاشارة للضوضاء

تبلغ قيمة منسوب صوت المعلم المكافئة ٥٩.٥ ديسيبل (A) على بعد ١متر امام المعلم وبفرض ثبات منسوب صوت المعلم حتى ابعد طالب في الفصل يمكن حساب نسبة الاشارة للضوضاء بحساب الفرق بين صوت المعلم ومنسوب ضغط الصوت عند الطالب وتتراوح قيمة نسبة الاشارة للضوضاء مابين + ١.٤ الى + ١٠.١ والقيم بعيدة عن القيمة الموصى بها وتصل الى +١٥ عدا مدرسة البشاير(التي تقع في منطقة حديثة) وعلى الرغم من صعوبة الوصول لهذه القيمة فقد أكد **سولي Solli** و**سوليفان Sullivan** [٦](١٩٩٧) أن الاطفال يحتاجون كحد أدنى نسبة إشارة للضوضاء تتروح مابين +١ الى +٤ على عكس البالغين – ٤ ومن الجدول (٤-٢٢) نجد أن المعلم يحتاج لرفع صوته الى ٧٣.١ ديسيبل ليصل الى القيمة المنصوص عليها في المعايير +١٥ ديسيبل.

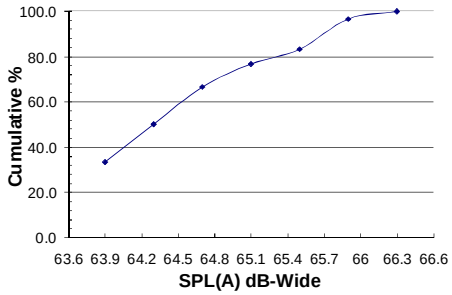
المدرسة	قيم منسوب الضوضاء الخلفية بالديسيبل	نسبة الإشارة للضوضاء بالديسيبل *SNR*
مدرسة المستقبل	٥٨.١ (A)	١.٤ +
مدرسة عمار بن ياسر	٥٥.٥ (A)	٤ +
مدرسة راجاك	٥٨ (A)	١.٥ +
مدرسة البشاير	٤٩.٤ (A)	١٠.١ +

جدول ٤-٢٢ قيم منسوب الضوضاء الخلفية بالديسيبل ونسبة الاشارة للضوضاء

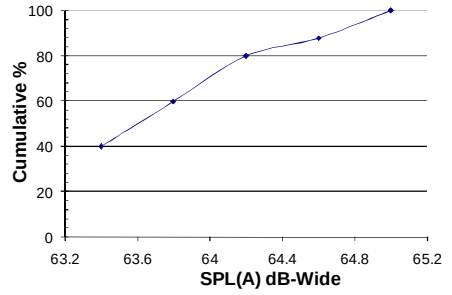
٤-٨-٢-٣ قيم منسوب ضغط الصوت

يظهرشكل (٤-٣١) التوزيع التراكمي لقيم منسوب ضغط الصوت الناتج من المحاكاة للفصول الاربعة حيث تتراوح جميع القيم في الفصول الاربعة ما بين ٦٦.٣ الى ٦٣ ديسيبل والقيم تعبرعن الفصل المشغول بالطلاب، وفي دراسة قام بها **ماكنيز MacKenzie** [٤١] على مدارس التعليم الاساسي توصل الى أن متوسط منسوب الصوت الممتلئ بالطلبة غير المعالج صوتيا يصل الى ٥٦ ديسيبل وتنخفض القيمة الى ٤٦.٥ ديسيبل في الفصول المعالجة صوتيا.
وبذلك يكون منسوب الصوت داخل الفصل مرتفع جدا حيث يبلغ منسوب صوت المعلم ٦٠ ديسيبل ويظل منسوب الصوت مرتفعا عن منسوب صوت المعلم بسبب منسوب الضوضاء الخلفية

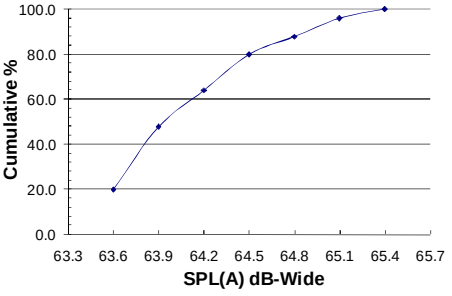
في مدرسة المستقبل نجد أن ٤٠% من القراءات قيمتها ≤ ٦٣.٤ ديسيبل وباقي القراءات ≤ ٦٥ ديسيبل تصل النسبة الى ٣٠% في مدرسة عمار ابن ياسر وتكون قيمتها ≤ ٦٣.٩ ديسيبل وفي مدرسة راجاك نفس النسبة السابقة ≤٦٣.٦ ديسيبل ويرتفع منسوب ضغط الصوت في مدرسة البشاير ليكون ٢٠% فقط ≤ ٦٣.٦ ديسيبل .



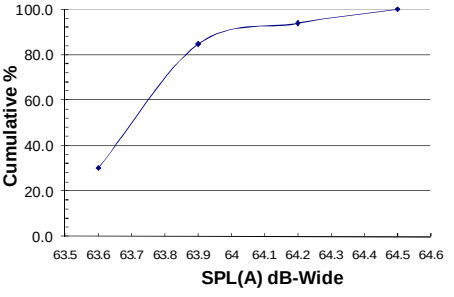
مدرسة عمار بن ياسر



مدرسة المستقبل



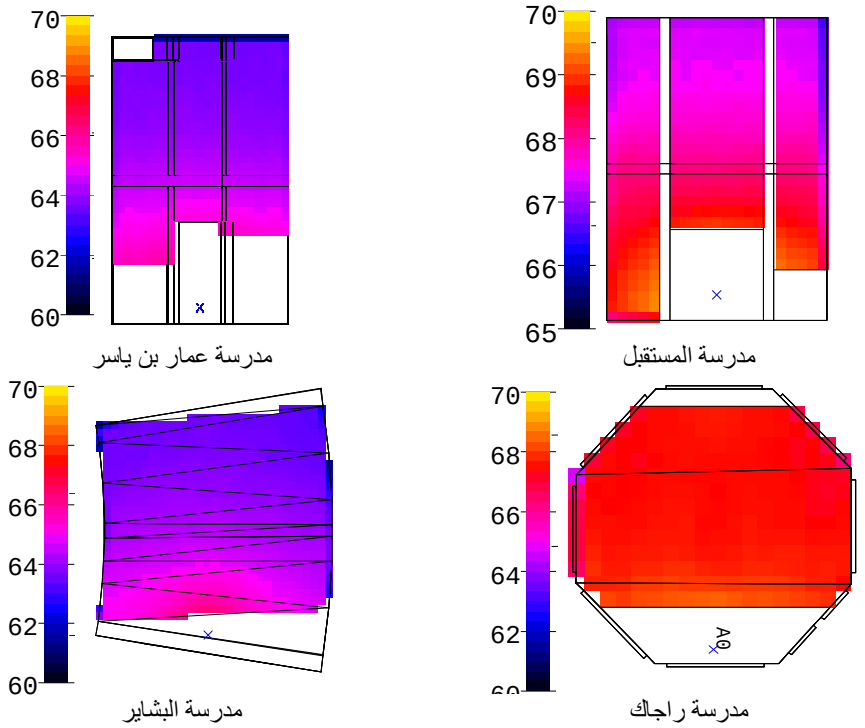
مدرسة البشاير



مدرسة راجاك

شكل ٤-٣١ المنحنيات التراكمية لقيم منسوب ضغط الصوت الناتجه من المحاكاه

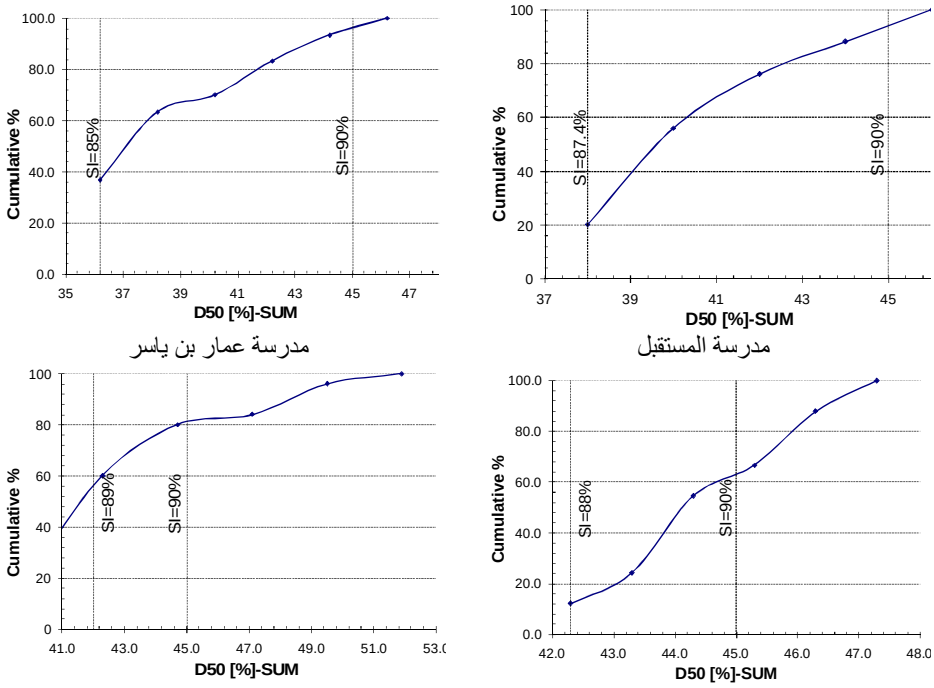
يوضح شكل (٤-٣٢) خرائط لتوزيع قيم منسوب الصوت في فراغات الدراسة ويظهر في كل من مدرسة عمار بن ياسر ومدرسة البشاير ثبات نسبي لمنسوب الصوت في أغلب الفصل على عكس مدرسة المستقبل حيث يظهر توزيع متدرج ينخفض في اخر الفصل ويظهر في مدرسة راجاك ثبات قيمة منسوب الصوت وبقيمة مرتفعه ويعود ذلك لمواد النهو الصلبة (السيراميك المستخدم في الحوائط) .



شكل ٤-٣٢ خرائط توزيع قيم منسوب الصوت في الفصول المقاسة

٤-٨-٣ التحديد

يظهرالشكل (٤-٣٣) أن قيم التحديد تتراوح مابين ٣٦ الى ٥٢ % وبإيجاد قيم وضوح الحديث من المنحنى نجد أنها تتراوح ما بين ٨٥ و٩٠ % وهي قيم جيده حيث تشترك مدرسة المستقبل وعمار بن ياسر في قيم تحديد تتراوح ما بين ٣٦ الى ٤٦ % ويظهر أن ٩٠% من نقط القياس تبلغ قيمة معامل وضوح الحديث لها ٩٠% وأقل وبالنسبة لمدرسة راجاك و البشاير تتراوح قيم التحديد مابين ٤١ و٥٢ % ففي مدرسة راجاك نجد أن ٦٤% من نقاط القياس تبلغ قيمة معامل وضوح الحديث لها ٩٠% وأقل وباقي النقاط قيمة معامل الحديث لها ٩٠% وأعلى وبالنسبة لمدرسة البشاير نجد أن ٨٢% من نقاط القياس تبلغ قيمة معامل وضوح الحديث لها ٩٠% وأقل. وبالرغم من القيم المرتفعة لوضوح الحديث فإن القيمة الفضلى لمعامل وضوح الحديث مابين ٩٧% و ١٠٠% و مازال زمن التردد المرتفع في الفراغ يتسبب في رفع منسوب الصوت داخل الفراغ الى قيم مرتفعة عن القيم المناسبة .

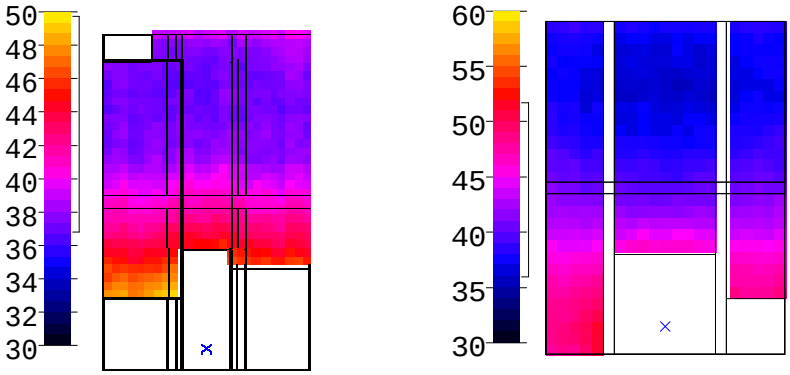


مدرسة عمار بن ياسر — مدرسة المستقبل

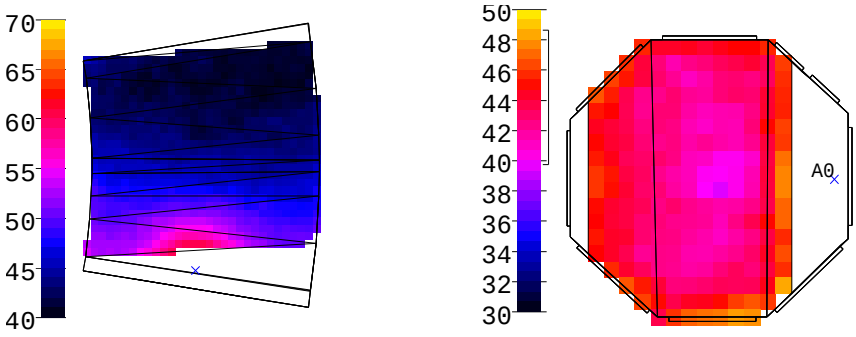
مدرسة البشاير — مدرسة راجاك

شكل ٤-٣٣ المنحنيات التراكمية لقيم التحديد

يظهر من شكل (٤-٣٤) خرائط لتوزيع قيم التحديد في فصول الدراسة ويظهر الانخفاض في قيم التحديد بشكل واضح في نفس مناطق الارتفاع في زمن الترداد في شكل (٤- ٢٥: ٢٨).



مدرسة عمار بن ياسر — مدرسة المستقبل

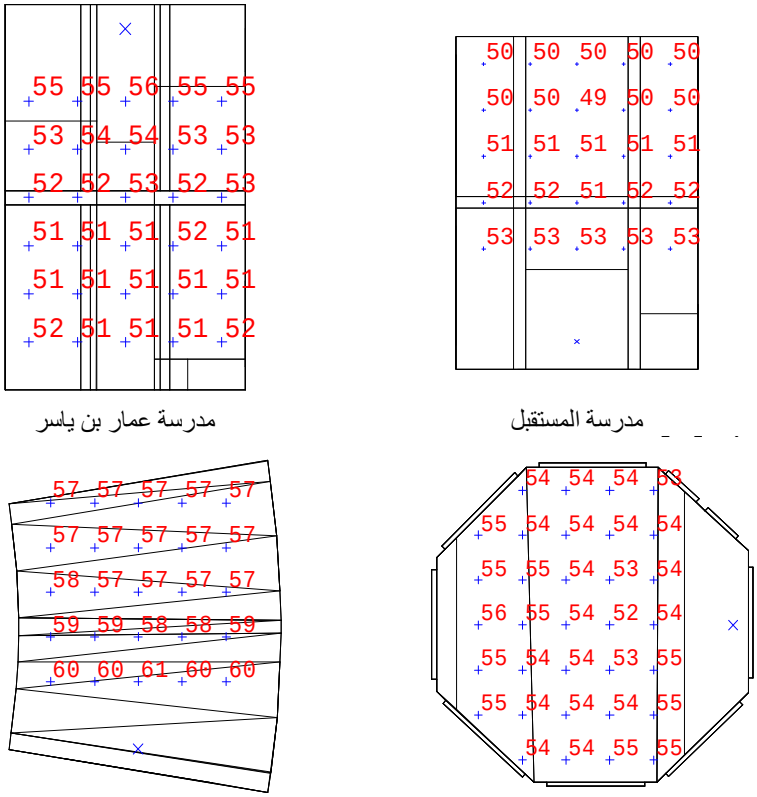


مدرسة البشاير مدرسة راجاك

شكل ٤-٣٤ خرائط توزيع قيم التحديد

٤-٨-٤ معامل إنتقال الحديث

يظهر من الشكل (٤-٣٥) أن درجة وضوح الحديث (جيده) في جميع فراغات الفصول حيث تقع كامل نقاط الدراسة ما بين معامل إنتقال حديث ٤٠% - ٦٠% وتمثل هذه الارقام الوضع الطبيعي أثناء الشرح (المعلم واقف مواجه للطلاب والطلاب في وضع الجلوس).

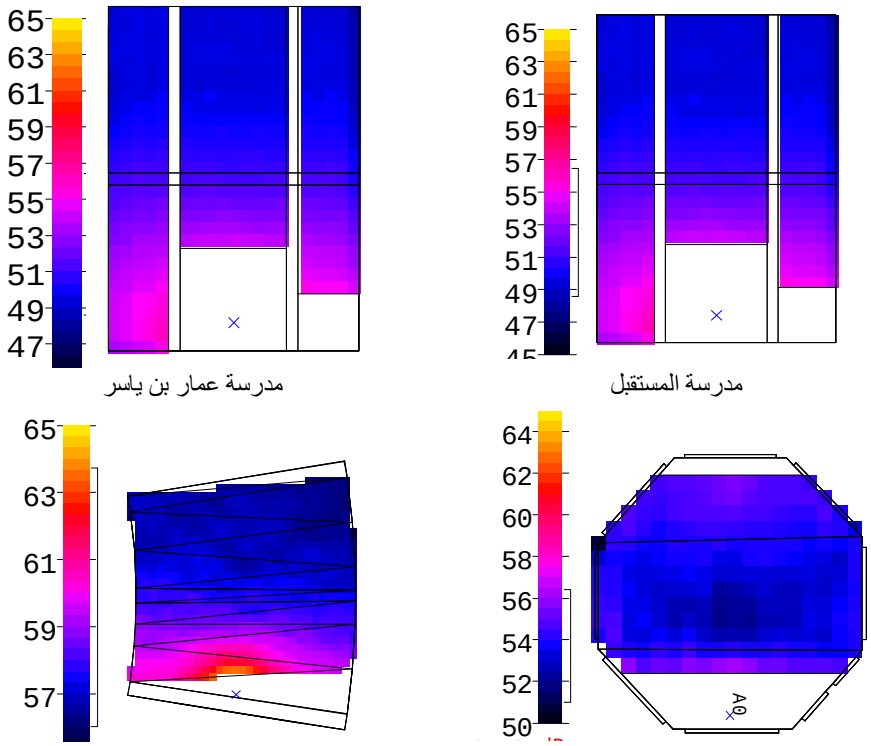


مدرسة عمار بن ياسر مدرسة المستقبل

مدرسة البشاير مدرسة راجاك

شكل ٤-٣٥ قيم معامل إنتقال الحديث عند نقاط القياس

يوضح شكل (٤-٣٦) خرائط توزيع قيم معامل وضوح الحديث في فراغات الفصول التي تم دراستها.
نجد في مدرستي عمار بن ياسر والمستقبل إنخفاض في قيم معامل وضوح الحديث في اخر الفراغ وهي نفس المناطق التي زادت فيها قيم زمن الترداد وكذلك في منتصف فصل مدرسة راجاك بسبب تركز الانعكاسات وينخفض زمن الترداد في مدرسة البشاير في اخر الفصل وبالاخص عند الزاوية الحادة بسبب تركز الاشعة.



شكل ٤-٣٦ خرائط توزيع معامل إنتقال الحديث

٤-٩ خلاصة الفصل الرابع

يتضمن الفصل الثالث صورة عامة عن المعايير الدولية التي يتم تقييم البيئة الصوتية في الفصول الدراسية على أساسها وكذلك الى نتائج دراسة العينات مقارنة بالمعايير العالمية.

المعيار	القيمة العيارية	مدرسة المستقبل		مدرسة عمار بن ياسر		مدرسة راجاك		مدرسة البشاير	
قيمة زمن الترداد المتوسطة (ثانية)	٠.٦	١.٤٥		١.٧٥		١.٢٥		١.٣	
منسوب الضوضاء الخلفية مكافئة لمدة ٣٠ دقيقة (ديسيبل)	٣٥	٥٨.١		٥٥.٥		٥٨		٤٩.٤	
قيمة وضوح الحديث المناظرة لقيمة التحديد		٣٩.٨	٨٧.٥	٣٧	٨٦	٤٤.١	٨٩	٤٢	٨٨.٨

معامل إنتقال الحديث لكل الفصول				
ضعيف	مقبول	جيد	جيد جدا	ممتاز
% ٣٠ : ٠	% ٤٥ : ٣٠	% ٦٠ : ٤٥	% ٧٥ : ٦٠	% ١٠٠ : ٧٥

جدول ٤-٢٣ خلاصة الفصل الثالث

والجدول (٤-٢٣) يوجز نتائج البيئة الصوتية لعينة الدراسة التي تظهر أن هناك متغيرات بحاجة لعلاج بسبب زيادة قيمتها المفرطة كزمن الترداد ومنسوب الضوضاء الخلفية ومتغيرات أخرى جيده بحاجة الى تحسي لتكون أفضل.

الفصل الخامس

٥. نحو بيئة صوتية أفضل بالفصل الدراسي

٥-١ تمهيد
٥-٢ تحسين البيئة الصوتية
٥-٣ خلاصة الفصل الرابع

٥-١ تمهيد

إستعرض الفصل السابق أهم العيوب الصوتية في العينة المختارة من الفصول الدراسية، ويعرض هذا الفصل مرحلة التصميم الصوتي وهي المرحلة الثالثة (قبل الاخيرة) من مراحل تصميم وتقييم البيئة الصوتية وتبدأ هذه المرحلة بعد تقييم كفاءة الفراغ وعمل المحاكاه و يهدف التصميم الصوتي الى تحسين البيئة الصوتية في فراغ الفصل موضوع الدراسة وذلك بالوصول بقيم المتغيرات الصوتية الى القيم المناسبة لوظيفة الفراغ ومعالجة العيوب الصوتية.

٥-٢ تحسين البيئة الصوتية

تعتمد عملية التحسين على ضبط قيم المتغيرات الصوتية غير المطابقة لمتطلبات وظيفة الفراغ، ونجد في الفصول التي تمت دراستها أن قيم زمن التردد بحاجة الى ضبط (خفض) وقيم وضوح الحديث جيدة وبحاجة الى تحسين وكذلك قيم منسوب الضوضاء الخلفية تحتاج الى ضبط (خفض)، ومعالجة بعض العيوب الصوتية في بعض الفصول نتيجة لبعض خصائصها المعمارية.

شكل ٥-١ متغيرات البيئة الصوتية المرتبطة بتحسين الاداء الصوتي في الفراغ

٥-٢-١ زمن التردد

يعتمد زمن التردد بشكل مباشر على عاملين رئيسين؛ قدرة المواد المستخدمة في نهو الفراغ و الهواء على إمتصاص الصوت حيث يتناسب زمن التردد عكسيا مع قيم الامتصاص.

$$RTa \frac{1}{A} .....Eq.5.1$$

ويتناسب طرديا مع ١٦% من حجم الفراغ فتقليل حجم الفراغ يسبب إنخفاض قليل لزمن التردد ربما يكون غير مؤثر بالدرجة المطلوبة.

$$RTa 0.161V .....Eq.5.2$$

ولذلك يعد المتغير الاهم في عملية ضبط قيمة زمن التردد هو الامتصاص وقد أظهرت الدراسة أن المواد المستخدمة في النهو (أنظر الفصل الثاني والثالث) أو الموصى بها للفصول الدراسية في مصر تعد مواد عاكسة للصوت لان قيم الامتصاص لها لا تزيد بأي حال من الاحوال عن ٣٠%.[٣٣]

وتعتمد عملية ضبط قيمة زمن التردد على عاملين رئيسين الاول المادة المستخدمة في زيادة الامتصاص والاخر المساحة المطلو بة من هذه المادة.

٥-٢-١-١ المواد الماصة للصوت

تعد المادة ماصة للصوت إذا كانت قيمة إمتصاصها ≤ ٥٠% [٣٣]، وبالرغم من توافرمواد تقليدية لامتصاص الصوت كالصوف الزجاجي والصوف الصخري إلا أن تكلفتهما مازالت مرتفعة وهما من المواد غير قابلة للتدويروتحتاج الى معالجات خاصة قبل إستخدامها في الفصول.

بالبحث عن مواد بديلة رخيصة في المقام الاول (لان الاحجام عن معالجة البيئة الصوتية في اي فراغ ينتج بسبب قصور التكاليف) يجب أن يتحقق فيها شروط المواد الماصة للصوت وهي[٢] :

١- المسامية (Porosity).
٢- مقاومة التدفق (Flow Resistance).
٣- معامل البنية (Structure Factor).
٤-الكثافة (Density).
٥- السمك (Thickness).
٦- إتصال الالياف ببعضها وتوجيهها.

وفي محاولة للبحث عن مواد محلية رخيصة الثمن، قام الباحث بإختيارمجموعة مواد محلية تتوافر بها الخصائص المذكورة سابقا وسعرها منخفض وهي كالتالي شكل (٥-٢):

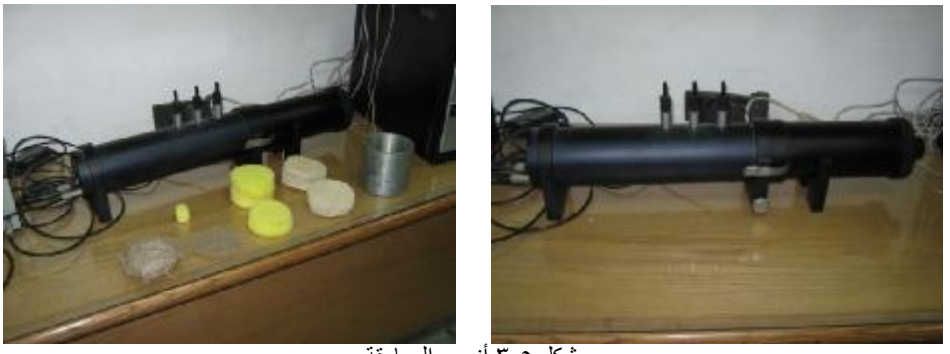
يستخدم لاغراض الاثاث في مصر وبشكل عام يتم إستخدامة لاغراض زراعية	لوف الاستحمام العادي وهو ثمرة نبات اللوف المتسلق	الاسفنج المصنع محليا لاغراض الاثاث كثافة ٣٠ كجم /م^3	ألياف بيضاء مصنعة لاغراض الاثاث يستخدم كحشو للوسائد
الخيش (Jute)	اللوف (Luffa)	الاسفنج (Sponge)	الالياف البيضاء (White Fibre)

غطاء فراش تقليدي صناعة محلية منسوج من الصوف	لوف النخل المنتج من الصدف الذي يغطي جذع النخلة ويصنع منه المقشات التقليدية	ينسج اللوف السابق ويتم تحويلة الى حبال ويستخدم في عمل المشايات أمام المداخل	يتم تحويله الى الواح كونتر بعد معالجته أو الى أعمده خشبية.
بطانية (نسيج)	لوف النخل	حبال من لوف النخل	الجريد

شكل ٥-٢ المواد التي تم إختيارها كبدائل للمواد الماصة التقليدية

كل المواد السابقة مرشحة لتكون مواد ماصة للصوت عدا الخشب المنتج من جريد النخل فهو مقترح لان يكون المادة المستخدمة في التثبيت او تغطية المواد الماصة (ليكون مادة الحماية للمواد الماصة المقترحة) بشرط أن يكون النسبة المؤية للثقوب باللوح مساوية لقيمة ١٠% من مساحة اللوح [٣٣] وذلك في إطار البحث عن مواد منخفضة التكاليف.

بإشراف دكتور أحمد الخطيب ودكتورة هدى سليمان (دكتورة الصوتيات بالمركز القومي للبحوث) قام الباحث بعمل إختبار للعينات من المواد السابقة بإستخدام أنبوب المعاوقة (Impednce Tupe) للحصول على معامل الامتصاص العمودي a_n لهذه المواد.



شكل ٥-٣ أنبوب المعاوقة

يعمل أنبوب المعاوقة كالتالي: توضع العينة المختبرة في طرفي الانبوب ويتم توليد نغمة نقية (مقدار من الطاقة) من طرف الانبوب ويتم قياسها من الطرف الاخر لمعرفة مدى الفقد في الطاقة بسبب إمتصاص المادة، ويرتبط معامل الامتصاص العمودي a_n مع معامل الامتصاص العشوائي $\bar{a}$ بالعلاقة التالية [٢]:

عندما تكون قيمة الامتصاص كبيرة تكون قيمة الامتصاص العمودي مساوية تقريبا لقيمة الإمتصاص العشوائي $a_n \cong \bar{a}$

وعندما تكون قيمة الامتصاص صغيرة تكون قيمة الامتصاص العمودي مساوية تقريبا لنصف قيمة الإمتصاص العشوائي $a_n \cong \bar{a}/2$

تم بالفعل إختبار الخيش (كمادة ماصة) والألياف والبطانية ولوف النخل والاسفنج، تم وضع المواد غير المتماسكة الشكل في كيس من الخيش كتغطية لها وذلك أثناء اختبارها.شكل (٥-٤).

عينة الخيش سمك ٢ مم

عينة الاسفنج سمك ٣سم

عينة الألياف البيضاء المغطاة بالخيش سمك ٤ سم

عينة لوف النخل سمك ٣ سم

عينة اللوف سمك ٥ سم

عينة البطانية (نسيج الصوف)
سمك ١.٦ سم

عينة حبال لوف النخل
سمك ٤ سم

شكل ٥-٤ العينات التي تم قياسها بإستخدام أنبوب المعاوقة

أظهرت نتائج القياس - شكل (٥-٥)- قيم مواد الامتصاص للعينات المختبرة، أن جميع المواد المختبرة تعطي قيم متقاربة لمعامل الامتصاص العمودي عند الترددات الصغيرة وتتشعب عند زيادة التردد تساوي ١٠%.

حققت الألياف البيضاء المغلف بالخيش أعلى قيم إمتصاص يليه الاسفنج ثم حبال ليف النخل المغلفة بالخيش ثم ليف النخل المغلف بالخيش ثم البطانيه وخلفها فراغ ثم لوف الاستحمام ثم بطانية مباشرة على السطح وأخيرا الخيش الذي تم إختباره بمفرده على ثلاث طبقات.

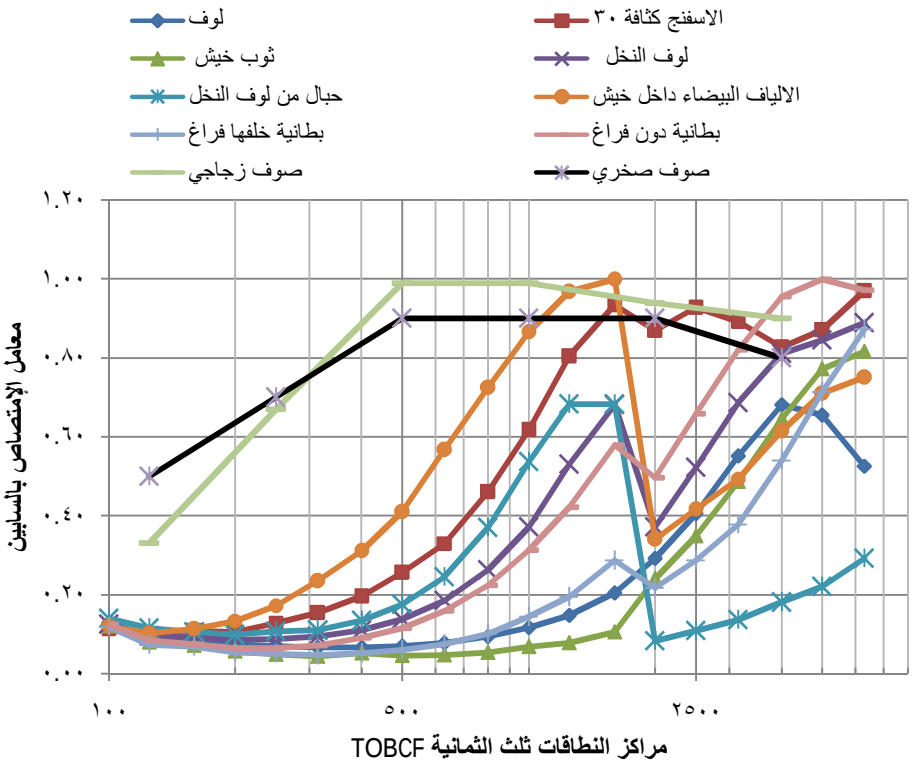
تبدو المواد المختبرة ذات سلوك محدد وواضح المعالم حتى تردد ١٦٠٠ هرتز حيث يمكن ترتيبها تصاعديا من حيث قيم معامل الامتصاص العمودي a_n كالتالي:

١- ثوب من الخيش.
٢- اللوف.
٣- بطانية خلفها فراغ.
٤- بطانية بدون فراغ.
٥- لوف النخل.
٦- حبال من لوف النخل.
٧- الاسفنج المحلي كثافة ٣٠ كجم/م^3.
٨- الباف بيضاء داخل خيش.

ثم يتبدل هذا السلوك بعد تردد ١٦٠٠ هرتز ليصبح غير محدد المعالم كما يتضح من الشكل (٤-٥) فيحدث إنهيار مفاجئ لمادة "الالياف البيضاء داخل الخيش" فتنخفض قيمة a_n من ٨٠%

الى مادون ٤٠% ويحدث نفس الامر تقريبا مع باقي المواد بإستثناء الاسفنج حيث يظل محتفظا تقريبا بمعامل إمتصاص a_n ثابت تقريبا بمتوسط قدره ٨٥% عند الترددات المرتفعة.

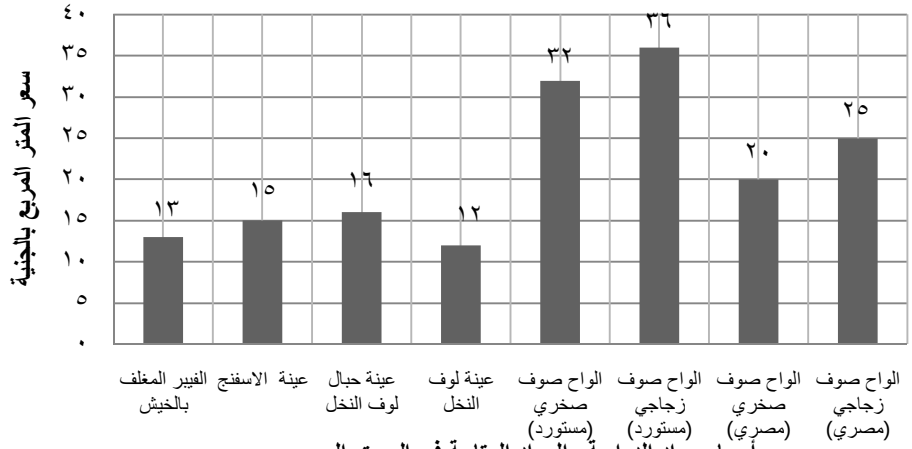
وتتراوح قيم الامتصاص عند تردد ١٠٠٠ هرتز للألياف البيضاء داخل الخيش ٩٠% ثم يليه الاسفنج بإنخفاض مفاجئ ٦٠% وحبال ليف النخل ٥٥% ثم ليف النخل ٣٧%وابتداء من ليف النخل تعد باقي المواد مواد عاكسة غير ماصة للصوت.



شكل ٥-٥ العينات التي تم قياسها بإستخدام أنبوب المعاوقة مقارنة بالمواد المتاحة

تتميز المواد المحلية والطبيعية بأنها الاقل سعرا وتلوثا والاكثر فائدة من حيث إعادة الاستخدام، ولذلك يمثل الألياف الابيض والذي يصنع محليا وكذلك الخيش (أرخص نسيج في العالم) الذي يتم إستيراده من أرخص المواد الماصة للصوت. ويوضح شكل (٥-٦) أسعار المواد المحلية مقارنة بالمواد العالمية.

ويمكن وضع المواد الماصة على الحوائط الطوب مباشرة وذلك يوفر التكلفة حيث تكلفة الدهانات والمحارة مجتمعين تصل الى حوالي ٣٠ جنية وتكلفة المتر المربع من الألياف المغطى بالخيش تصل الى ١٦ جنية بالتركيب وذلك يوفر ١٤ جنية وتكلفة الاسفنج ١٩ جنية للمتر المربع بالتركيب وذلك يوفر ١١ جنية وهو مايعني أن إضافة المواد الماصة للصوت موفرة ماديا وفيدة صوتيا حتى وإن تم إستخدام المواد التقليدية لامتصاص الصوت لن يسبب ذلك أي زيادة في التكاليف.



شكل ٥-٦ سعر المتر المربع من مواد إمتصاص الصوت التقليدية مقارنة بالمواد المحلية التي حققت أعلى قيم إمتصاص

٥-٢-١-٢ حساب مساحة المواد الماصة اللازمة لفراغ الفصل

يمكن تحديد مساحة المواد الماصة من معادلة سابين بتحديد قيمة الامتصاص عند التردد المطلوب.

يمكن إستخدام قيمة إمتصاص الاسفنج عند تردد ١٠٠٠ هرتز كتردد متوسط بين ٥٠٠ و٢٠٠٠ هرتز.

يتم تحديد الامتصاص الكلي من معادلة سابين :

$$A = \frac{0.161V}{RT} - 4mvSabins.....Eq.5.3$$

وبفرض ثبات إمتصاص الهواء داخل نفس الفراغ يمكن إهمال الشق $4mv$ – من المعادلة السابقة.

$$A = \frac{0.161V}{RT} Sabins.....Eq.5.4$$

وبمعرفة قيمة a يمكن الحصول على S وهي مساحة السطح الواجب تغطيتها تقريبا للوصول لزمن التردد المطلوب.

وبتطبيق المعادلة (٥-٤) على عينات الدراسة من الفصول وذلك للوصول لزمن تردد قيمته ٠.٦ ثانية بإستخدام الاسفنج وقيمة إمتصاصة عند تردد ١٠٠٠ هرتز ٨٧% تكون المساحة اللازم تغطيتها من كل فصل كما في جدول (٥-١):

عند التردد ١٠٠٠ هرتز	فصل مستطيل	فصل مستطيل	فصل ثمن	فصل قطع من دائرة
زمن الترداد المطلوب ثانية	٠.٦	٠.٦	٠.٦	٠.٦
٠.١٦١V m٣	١٩.٣٥	٢٠	٢٢.٤	١٩.٩٥
A	٣٢.٢٥	٣٣.٥	٣٧.٣٤	٣٣.٢٥
a	٠.٧	٠.٧	٠.٧	٠.٧
مساحة السطح المطلوب تغطيتها بالمادة م٢	٤٦.٠٧	٤٧.٨٥	٥٣.٣٤	٤٧.٥
مجموع مساحة مسطحات الفصل م٢	١٥٤.٥	١٦١.١٢	٢٤٨.٨	٢٣٧
النسبة المؤية للتغطية	%٣٠	%٢٩.٧	%٢١.٥	%٢٠

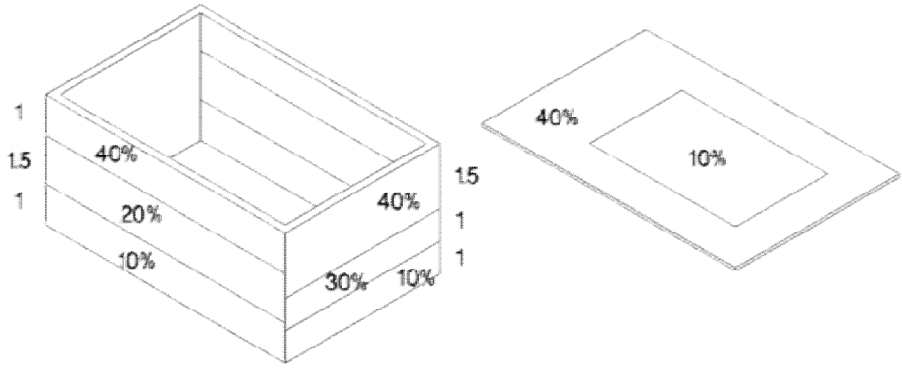
جدول ٥-١ مساحات مواد الامتصاص المطلوبة في عينات الدراسة لضبط قيمة زمن الترداد

٥-٢-٢ معامل إنتقال الحديث (*STI*)

تتأثر قيم معامل إنتقال الحديث بتغير توزيع المواد الماصة في الفراغ أكثر من تأثرها بزيادة مساحة المادة الماصة نفسها، وتوزيع المادة الماصة داخل الفصل يجب أن يأخذ في الاعتبار أن توزع على الحوائط بإرتفاع مناسب حتى لايقوم الطلبة بالعبث بها ويستغل موقعها جيدا بمواجهتها مع مصدر الصوت دون وجود عائق مثل الطاولات.

أوصى مجتمع الصوتيات الامريكي (ASA) بأسلوب مفضل وغير تقليدي لتوزيع المواد الماصة على أسطح الفصل المختلفة ويشمل تغطية أرض الفصل بالموكيت وذلك لزيادة إمتصاص الصوت عند الترددات المرتفعة وتقليل قيمة ضوضاء الاصطدام الناتجة من تحريك الطلبه للمقاعد، توزع المواد الماصة على أطراف السقف ويترك الجزء الاوسط من السقف بقيم إمتصاص صغيرة لزيادة إنعكاس صوت المعلم وتوصيله الى اخر الفصل يفيد توزيع بعض المواد الماصة على الحوائط في القضاء على الصدى في الفصل إن وجد[٤].

وقد درس كل من **سابير Sabeer** و**عبدو** [٤٢] (٢٠٠٥) التوصية السابقة على فصل يعتمد على الحاسب الالي في العمليه التعليمية وقاما بالعديد من التجارب لتوزيع المادة الماصه على أسطح الفراغ وتوصلا إلى أفضل توزيع كما هو موضح في شكل (٥-٧).



شكل ٥-٧ أفضل توزيع للمواد الماصة على مسطحات الفصل

درس **سالا Sala** و**فلجانين Viljanen** [٢٦](١٩٩٥) أيضا تأثير التوزيع وتوصلا إلى أن تغطية سطحين متعامدين في الغرفة يرفع قيم معامل إنتقال الحديث السريع (RASTI) قام الباحثان بتغطية الحائط الخلفي و ٣٥% من مساحة السقف ووصلت قيم معامل إنتقال الحديث الى ٧٥ % وهي قيم تقع في المنطقة "جيد جدا".

و لدراسة توزيع المادة الماصة وتأثيرها على معامل إنتقال الحديث قام الباحث بعمل محاكاة لنماذج الفصول في حالات متعددة حيث تم تغيير توزيع المواد الماصة على أسطح الفراغ.

٥-٢-٢-١ نماذج الدراسة وتوزيع المادة الماصة

تم تحديد نماذج الدراسة وتوزيع المواد الماصة بناءً على النقاط التالية:

١- أن تشمل جميع أشكال الفصول المحتملة، والتي تمت دراستها في العينات.
٢- أن تطابق النماذج إشتراطات هيئة الابنية التعليمية، كما هو منصوص عليه.
٣-أن يكون توزيع المواد الماصة مناسباً (بأن يكون بعيدا عن الاطفال في منسوب مرتفع أو على الحائط الخلفي والسقف).

تم عمل بدائل للأسقف وبدائل للحوائط، وتم الجمع بينهما (وفقا لما ذكره سالا وفالجانين من أهمية وجود سطحين متعامدين) للوصول للنماذج المقترحة.

أ. المعلومات التصميمية لنماذج الدراسة

يمثل جدول (٥-٢) المعلومات التصميمية الكاملة لكل نموذج من نماذج الدراسة، حيث يمثل النموذج الاول والثاني الشكل المستطيل والمربع كما هو منصوص عليه في إشتراطات هيئة الابنية التعليمية كمثال إسترشادي، والنموذج الثالث والرابع المثمن والقطع من دائرة مصمم حسب إشتراطات الهيئة المعطاه.

النموذج الاول – الفصل المستطيل نموذج هيئة الابنية التعليمية					
أبعاد الفراغ		سعة الفراغ		الفتحات	
الطول	٨.١٥ م	مساحة الفصل	٤٩ م^2	عرض الباب	١ متر
العرض	٦ م	حجم الفصل	١٥٢ م^3	مساحة النوافذ الرئيسية	٧.٣م^2 (١٥%)
الارتفاع	٣.١٠ م	نصيب التلميذ	٣.٨ م^3	مساحة نوافذ الممر	٢.٤م^2 (٥%)
			١.٢ م^2	إرتفاع جلسة النوافذ الرئيسية	٠.٩ م
		سعة الفصل (تلميذ)	٤٠	إرتفاع جلسة نوافذ الممر	١.٧ م
مجموع مساحة الاسطح			١٨٥.٥٣ م^2	إرتفاع الاعتاب	٢.١ م

النموذج الثاني – الفصل المربع نموذج هيئة الابنية التعليمية					
أبعاد الفراغ		سعة الفراغ		الفتحات	
الطول	٧.٢٥ م	مساحة الفصل	٥٢ م^2	عرض الباب	١ متر
العرض	٧.٢٥ م	حجم الفصل	١٦١ م^3	مساحة النوافذ الرئيسية	٦.٣م٢ (١٢%)
الارتفاع	٣.١٠ م	نصيب التلميذ	٤ م^3	مساحة نوافذ الممر	٣.١٥م٢ (٦%)
			١.٣ م^2	إرتفاع جلسة النوافذ الرئيسية	٠.٩ م
		سعة الفصل (تلميذ)	٤٠	إرتفاع جلسة نوافذ الممر	١.٥ م
مجموع مساحة الاسطح			١٩٥.٢ م^2	إرتفاع الاعتاب	٢.١ م

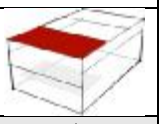
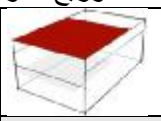
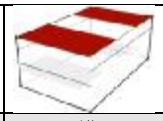
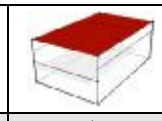
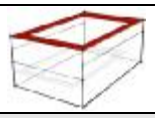
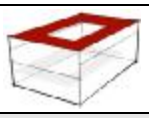
النموذج الثالث – الفصل المثمن (مصمم بناء على إشتراطات هيئة الابنية التعليمية)					
أبعاد الفراغ		سعة الفراغ		الفتحات	
طول ضلع المثمن	٣.٣٢م	مساحة الفصل	٥٣.٤ م^2	عرض الباب	١ متر
		حجم الفصل	١٦٥.٥٤ م^3	مساحة النوافذ الرئيسية	٦.٤م^2 (١٢%)
الارتفاع	٣.١٠ م	نصيب التلميذ	٤.١٣ م^3	مساحة نوافذ الممر	٣.٢م^2 (٦%)
			١.٣٤ م^2	إرتفاع جلسة النوافذ الرئيسية	٠.٩ م
		سعة الفصل (تلميذ)	٤٠	إرتفاع جلسة نوافذ الممر	١.٤ م
مجموع مساحة الاسطح			٣١٩.٨٥م^2	إرتفاع الاعتاب	٢.١ م

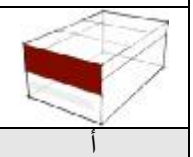
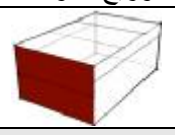
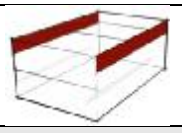
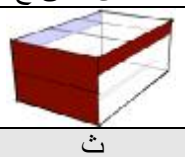
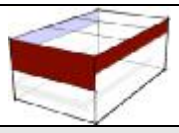
النموذج الرابع – الفصل القطع من دائرة (مصمم بناء على إشتراطات هيئة الابنية التعليمية)					
أبعاد الفراغ		سعة الفراغ		الفتحات	
طول القوس	١٠.٥ م	مساحة الفصل	٦٢.١٥ م^{٢}	عرض الباب	١ متر
العرض	٦.٦ م	حجم الفصل	١٩٢.٦٦ م^{٣}	مساحة النوافذ الرئيسية	٩.٣م^{٢} (١٥%)
الارتفاع	٣.١٠ م	نصيب التلميذ	٤.٨ م٣	مساحة نوافذ الممر	٣.١م^{٢} (٥%)
			١.٥٥ م^{٢}	إرتفاع جلسة النوافذ الرئيسية	٠.٩ م
		سعة الفصل (تلميذ)	٤٠	إرتفاع جلسة نوافذ الممر	١.٧ م
مجموع مساحة الاسطح		٢٠٣.١٣ م^{٢}		إرتفاع الاعتاب	٢.١ م

جدول ٥-٢ المعلومات التصميمية لنماذج دراسة توزيع المادة الماصة

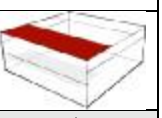
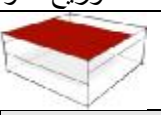
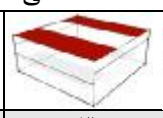
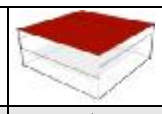
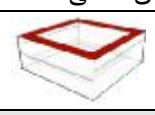
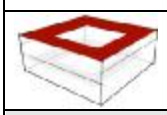
ب. توزيع المادة الماصة

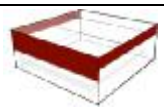
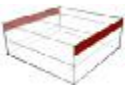
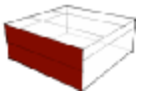
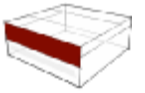
تمثل الاشكال (٥-٨) و (٥-٩) و(٥-١٠) و(٥-١١) بدائل توزيع المادة الماصة على الحوائط والاسقف، والبدائل المقاسه بواسطة المحاكاه هي توزيع بدائل الاسقف مع بدائل الحوائط (أنظر الملحقات ٦-١).

١- نموذج الشكل المستطيل					
توزيع المواد الماصة على الاسقف الحالات من ١ الى ٦					
					
١	٢	٣	٤	٥	٦

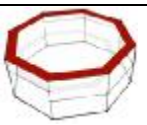
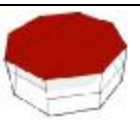
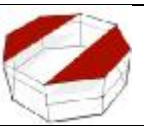
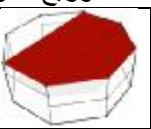
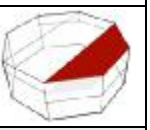
توزيع المواد الماصة على الحوائط الحالات من أ الى ج				
				
أ	ب	ت	ث	ج

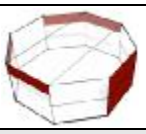
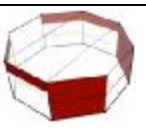
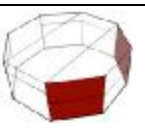
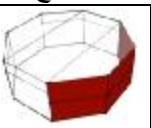
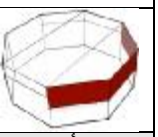
شكل ٥-٨ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المستطيل

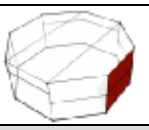
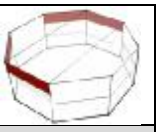
٢- نموذج الشكل المربع					
توزيع المواد الماصة على الاسقف الحالات من ١ الى ٦					
					
١	٢	٣	٤	٥	٦

توزيع المواد الماصة على الحوائط الحالات من أ الى ج				
				
ج	ث	ت	ب	أ

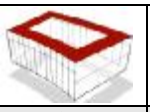
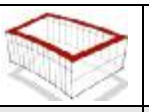
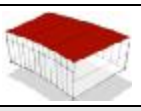
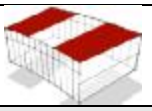
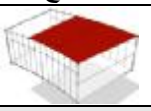
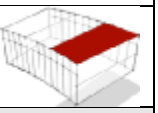
شكل ٥-٩ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المربع

٣- نموذج الشكل المثمن					
توزيع المواد الماصة على الاسقف الحالات من ١ الى ٦					
					
٦	٥	٤	٣	٢	١

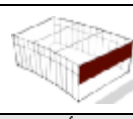
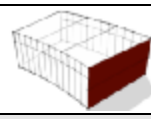
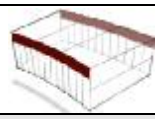
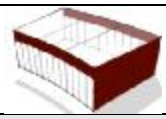
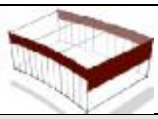
توزيع المواد الماصة على الحوائط الحالات من أ الى د					
					
ح	ج	ث	ت	ب	أ

	
د	خ

شكل ٥-١٠ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج المثمن

٤- نموذج الشكل المربع					
توزيع المواد الماصة على الاسقف الحالات من ١ الى ٦					
					
٦	٥	٤	٣	٢	١

توزيع المواد الماصة على الحوائط الحالات من أ الى ج

				
أ	ب	ت	ث	ج

شكل ٥-١١ توزيع المواد الماصة على السقف و الحوائط للنموذج القطع من دائرة

ج. نتائج المحاكاة

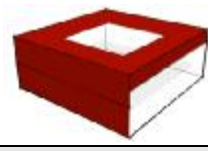
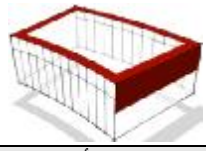
بتحليل نتائج المحاكاة (انظر ملحق رقم ٦-٢) للنماذج المذكورة (ملحق ٦-١) والتي تعبر عن المتوسط الرياضي لنقط القياس داخل الفصل الذي يعبرعن ٥٠% من القراءات وذلك لقيم كل من معامل إنتقال الحديث ومنسوب ضغط الصوت والتحديد، أما زمن الترداد فهو يعبر عن المتوسط الرياضي للترددات المتوسطة (٥٠٠ و ١٠٠٠ و٢٠٠٠ هرتز).

والقيمة الاهم هي قيمة معامل إنتقال الحديث فزيادة هذه القيمة مؤشر على زيادة وضوح الحديث و نجد كما يوضح جدول (٥-٣) أقصى قيمة لمعامل إنتقال الحديث في كل شكل وعلاقتها بالقيم الاخرى

	المستطيل	المربع	المثمن	قط من الدائرة
أقصى قيمة لمعامل إنتقال الحديث (%)	٧٠	٦٨.٦٦	٧٠.٨٣	٦٨.١٥
زمن الترداد (ثانية)	٠.٣٢	٠.٣٢	٠.٣	٠.٥٤
منسوب ضغط الصوت (dB)	٥٧.٥	٥٦.٥	٥٦.٣٣	٥٨.٥
التحديد (%)	٨٥.٤	٨٥.٢	٨٨.٥	٦٥.٨١
البديل	٦-ث	٦-ث	٦-ج	٥-أ
المساحة السطحية المغطاة (%)	%٣٦.٨٤	%٣٩.١٤	%٢٥.٢٢	%١٨.٨٥

جدول ٥-٣ قيمة معامل إنتقال الحديث القصوى مقارنة بباقي المتغيرات[i]

نجد أن أقصى قيمة لمعامل إنتقال الحديث حققتها البدائل الاكثر تغطية بشرط واحد وهو وجود فراغ أوسط في منتصف السقف بدون مواد ماصة لزيادة الانعكاسات الى مؤخرة الفصل كما نصت عليه توصيات مجتمع الصوتيات الامريكي (ASA).شكل (٥-١٢)

			
٦-ث	٦-ث	٦-ج	٥-أ

شكل ٥-١٢ البدائل التي حققت أعلى قيم لمعامل إنتقال الحديث

بمراجعة قيم معامل إنتقال الحديث في ملحق رقم (٦-٢) نجد أن جميع القيم متقاربة في كل عينة حيت تتراوح الفروق بين أقصى قيمة وأقل قيمة مابين ٧% الى ٩% ونجد أن زمن الترداد يتأثر

[i] بواسطة الباحث.

بشكل كبير حتى يصل الى قيم منخفضة مع العلم بأن قيمة زمن الترداد ٠.٦ ثانية كمعيار تستخدم لتقييم الفصل بدون طلبه أي من المتوقع أن تنخفض هذه القيمة وخصوصا أن البدائل تمت محاكاتها على أنها مأهولة بالطلاب.

٥-٣ خلاصة الفصل الخامس

تكمن مشكلة تحسين وعلاج البيئة الصوتية في النفقات في المقام الاول حيث تقوم كل مؤسسة بمحاولة تنفيذ أقصى ما يمكن في المبنى بأقل نفقات متاحة الامر الذي يؤدي الى إهمال المشاكل الغير ظاهرة كمشكلة البيئة الصوتية.
لذلك اتجه البحث في علاجه لزيادة زمن الترداد لإختبار مواد ماصة جديدة محلية ورخيصة في نفس الوقت وافضل المواد كان الاسفنج كثافة ٣٠ كجم على المتر المكعب يليه الألياف البيضاء داخل الخيش.
واقترح البحث بأن يتم وضع المواد الماصة مباشرة على الحوائط بدون بياض ويتم تكسيته بالالواح الخشبية المثقبة من جريد النخل ليوفر بذلك تكلفة البياض. و يمكن ان يوفر المتر المربع حوالي ١١ : ١٤ جنية، ويمكن إستخدام مواد مستوردة بدون أي زيادة في التكلفة.

يتبقى توزيع المواد الماصة حيث إن إختلاف التوزيع يؤثر في تحسين معامل إنتقال الحديث وهو أحد العناصر الهامة لدراسة وضوح الحديث بالحاسب الالي.
وكانت أفضل النتائج التجربة التي تمت على ٢٥٠ حالة دراسة (انظر ملحق ٦-١) تلك التي اوصت بها مجتمع الصوتيات الامريكي في منشوراته (شكل ٥-١٢).

الفصل السادس

٦. النتائج والتوصيات

٥-١ النتائج
٥-٢ التوصيات

٦-١ النتائج

خلص البحث الى نتيجه رئيسه وهي أن البيئة الصوتية لفصول القاهرة بحاجه الى تحسين وعلاج ثم يخلص البحث الى مجموعة من النتائج الفرعيه تنقسم الى نتائج الدراسة النظرية ونتائج الدراسة الميدانية وهي كالتالي:

٦-١-١ الدراسة النظرية:

- أهمية تحسين البيئة الصوتية في فصول مرحلة التعليم الاساسي عن باقي مراحل التعليم الاخرى، وذلك لتأثر الاطفال الكبير بالبيئة الصوتية السيئة.
- مراعاة إنتقال وتوزيع الصوت عند تصميم المدرسة معماريا :

أ. دراسة الموقع العام وعلاقة مصادر الضوضاء بالفصول.
ب. تجميع الفصول الدراسية مع بعضها وابعادها عن فراغات الانشطة المسببه للضوضاء.
ج. إستخدام الحواجز عند الحاجه لخفض الضوضاء.
د. الابتعاد عن الاشكال المسببه للعيوب الصوتية.

- إستخدام مواد نهو صلبه وغير ماصة للصوت في الفصول الدراسية بمصر(إشتراطات الهيئة العامة للابنية التعليمية).
- تقليل مسطحات الفتحات المفتوحه الى اقل ما يمكن، ويمكن فتح الشراعات العلويه فقط (لتقليل الضوضاء من البيئة المحيطة).
- دراسة المعايير والاشتراطات الاجنبية كنموذج يساعد على وضع المعايير الخاصه بالفصول في صر.

٦-١-٢ الدراسة الميدانية:

تنقسم نتائج الدراسة الميدانية الى نتائج القياسات ونتائج المحاكاه

٦-١-٢-١ نتائج القياسات

- يظهرالارتفاع المفرط في قيم زمن الترداد الذي يصل الى ضعف القيمة المنصوص عليها في الاشتراطات الاجنبية، وذلك بسبب إستخدام مواد تشطيب سيئة صوتيا تؤثر سلبا على البيئة الصوتية في الفراغ.
- توضح نتائج قياس قيم الضوضاء في الفصول الدراسية والتي تبلغ قيمتها مابين ٥٠ الى ٥٨ ديسيبل (منسوب الصوت المكافئ لمدة خمسة دقائق) أن منسوب الضوضاء الخلفية مرتفع في حين تنص الاشتراطات على قيمة ٣٥ ديسيبل.
- يمكن إستخدام مواد ماصه محلية وبيئية (يمكن إعادة استخدامها) كالاسفنج والفيبر الابيض داخل الخيش في فراغات الفصول الدراسية، وذلك لتحسين البيئة الصوتية بدون تكلفه إضافيه.

٦-١-٢-١ نتائج المحاكاه

- من المحاكاه نجد أن قيم معامل وضوح الحديث جيدة (وبحاجه الى تحسين) على الرغم من إرتفاع زمن الترداد ومنسوب الضوضاء الخلفية (وذلك لصغر حجم الفراغ)، ويجب معالجة زمن الترداد ومنسوب الضوضاء الخلفية لأنهما العاملين الرئيسين في معالجة البيئة الصوتية.
- توزيع المواد الماصه الافضل هو ما نصت عليه الجمعية الامريكيه ASA ، وبشكل عام توزع المواد الماصه على الاسقف والاجزاء العلوية من الحوائط بعيدا بقدر الامكان عن ايدي الطلبه.
- يتم تغطية ٣٠:٢٥ % من إجمالي مساحة مسطحات الفراغ بالمواد الماصه.

٦-٢ التوصيات

توصي الدراسة بأن يكون هناك **معايير صوتية واضحة وملزمة** لتقييم التصميمات المعمارية المقدمة لهيئة الابنية التعليمية من الناحية الصوتية. ويقترح كبداية أن تكون المعايير الصوتية ملزمة لمباني التعليم الخاص (بسبب توافر الامكانات لديها ووجوب حصول الطلبة على خدمة تعليمية تليق بتكاليف هذه المؤسسات)، وأن تقتصر حاليا على طلبة التعليم الاساسي (من بداية التعليم الى نهاية المرحلة الاعدادية).

٦-٢-١ معايير التقييم الصوتي لفراغات الفصول

ينقسم تقييم البيئة الصوتية الى مرحلتين الاولى تختص بمراجعة التصميم الصوتي لفراغات الفصول أثناء التصميم المعماري والثانية تختص بقياس متغيرات البيئة الصوتية بعد تنفيذ الفصل وذلك للتحقق من مطابقة المعايير وكذلك قياس كفاءة التصميم الصوتي.

٦-٢-١-١ تقييم البيئة الصوتيه لفراغات الفصول

يتم عمل تقييم للبيئة الصوتية للفراغات على أساس قيم عيارية ثابتة تم إختيارها بسبب كفائتها كما ورد في العديد من الابحاث والاشتراطات السابقة.وهي كالتالي:

أ. زمن الترداد

تعد قيمة زمن الترداد هامة جدا في تقييم كفاءة الفراغ، يجب أن لا تكون قيمة زمن الترداد صفر يجب أن تكون قيمة مناسبة لتقوية مصدر الصوت الرئيسي عن طريق الانعكاسات الاولى للصوت في الفراغ، لان زيادة زمن الترداد يسبب تداخل وتغطية على مصدر الصوت بسبب الصوت المنعكس والذي يبقى في الفراغ لمدة طويلة يؤثر ويغطى على صوت المصدر المستمر.

وبما أن حجم فراغ الفصل دائما صغير يتراوح ما بين ١٦٠ الى ٢٠٠ م٣ نجد أن زمن الترداد الامثل يتراوح ما بين ٠,٣٥ الى ٠,٤٠ ثانية وذلك للفراغ غير الممتلئ، وحاليا اثبتت الدراسات أن قيمة ٠,٦ ثانية للفصل الفارغ تحقق نتائج جيدة مع باقي متغيرات البيئة الصوتية.

ويمكن الاستقرار على القيمة الاعلى لانها سوف تقلل من المواد الماصة التي سوف تستخدم في حوائط الفصل للمعالجة، ويفضل الاعتماد على المتوسط الرياضي لزمن الترداد عند الترددات المتوسطة ٥٠٠ و١٠٠٠ و٢٠٠٠ كما في المعايير البريطانية وذلك لصعوبة ضبط الترددات المتوسطة عند قيمه واحده.
لذلك يوصى بأن يكون المتوسط الرياضي لقيم زمن الترداد عند الترددات المتوسطة ٥٠٠ و١٠٠٠ و٢٠٠٠ مساو أو أقل من ٠,٦ ثانية. ولا يزيد عن ٠.٨ ثانية لقيم زمن الترداد عند الترددات المنخفضة.
وذلك مخالف لما تم إقتراحه لقيم زمن الترداد لفصل حجمه ما بين ١٦٠ الى ٢٠٠ م٣ في إشتراطات هيئة الابنية التعليمية كما هو موضح في جدول (٦-١)

التردد	ترددات النطاقات الثمانية بالهرتز					
	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
زمن الترداد بالثواني	١.٤	١	٠,٩	٠,٩	١	١,٤

جدول ٦-١ زمن الترداد المثالي لفصل حجمه ١٦٠ – ٢٠٠ م٣ كما ورد بإشتراطات هيئة الابنية التعليمية[i]

ب. منسوب الضوضاء الخلفية

يعبر منسوب الضوضاء الخلفية عن منسوب ضغط الصوت المقاس داخل الفصل الفارغ الخالي من الطلاب، وقد أوصت العديد من الاشتراطات الا يتعدى منسوب الضوضاء الخلفية عن ٣٥ ديسيبل.
ولكن لصعوبة وزيادة تكلفة المعالجات لخفض منسوب الضوضاء لقيمة ٣٥ ديسيبل يمكن رفع القيمة لتصل الى ٤٥ الى ٥٠ ديسيبل كما هو منفذ في البرازيل لأن علاج الضوضاء مكلف جدا في الدول النامية وخصوصا للوضع القائم.
كما أن العديد من الابحاث أكدت ان الوصول لنسبة إشارة الى الضوضاء قيمتها ١٥ ديسيبل تكاد تكون مستحيله وأتت بعض نتائج الدراسات الاخرى تؤكد قدرة الاطفال على الاستماع في نسبة إشارة الى الضوضاء تبلغ ١ الى -٣ ديسيبل وعندما يكون منسوب صوت المعلم تقريبا ٦٠ ديسيبل نجد أن قيمة منسوب الضوضاء ٤٥ ديسيبل جيده لان الفارق يبلغ ١٥ ديسيبل لصالح المعلم وهذه قيمة غير صحيحه فقيمة ٤٥ ديسيبل لمنسوب الضوضاء تقاس والفصل فارغ وتعبر فقط عن ضوضاء البيئة المحيطة بالمدرسة ولكن عند الاشغال ترتفع القيمة بمقدار ٥ ديسيبل بسبب وجود الطلبة ونشاطاتهم داخل الفصل بالاضافة الى ما يتسرب الى داخل الفصل من ضوضاء من الفصول المجاورة، وضوضاء الفناء الرئيسي.

ج. عزل الضوضاء عن فراغ الفصل

ينقسم عزل الصوت عن فراغ الدراسة الى قسمين الاول عزل الصوت من الفراغات المجاورة والثاني عزل صوت الاصطدام من الفراغات العلوية والسفلية.

[i] وزارة التربية والتعليم-المعايير التصميمية لمدارس مرحلة التعليم الاساسي بأقليم القاهرة الكبرى- ١٩٩٠. ص ٢٠٩

وعند عزل الصوت عن فراغ ما فإن ذلك يتوقف على الجدران الفاصلة بينه وبين الفراغات المراد عزل الصوت المتولد فيها.
ويعتمد عزل الصوت في المرتبة الاولى على خصائص الفاصل واهمها كتلة الفاصل حيث إن مضاعفة وزن الفاصل يضاعف قيمة معامل نفاذية الصوت STC (للمرة الاولى فقط) [٢].
ويوصى بأن يكون معامل نفاذية الصوت ٤٥ الى ٥٠ ديسيبل للحوائط المفردة والمركبة للفراغات المجاورة لفراغ الفصل ويمكن تحقيق ذلك بواسطة المواد التاليه:

أما بالنسبة لعزل صوت الاصطدام فيمكن إهماله طالما إعتبرنا أن جميع الفصول تعمل في ان واحد وأن العملية التعليمية لن تعتمد على تطبيق الطلبة المباشر(لن يكون هناك حركة من الطلبة أثناء الحصة) وأيضا يمكن تقليلها بالاعتماد على الاثاث المتصل (لان ذلك يقلل من إحتكاك المقاعد بالارض عندما يقوم الطالب بالاعتدال وتجهيز نفسه لتلقي الحصة).

٦-٢-١-٢ قياس متغيرات البيئة الصوتية

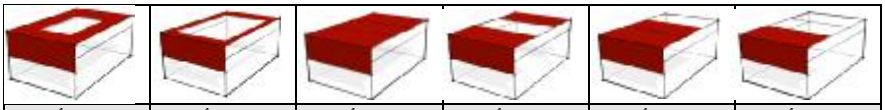
وأهمية القياس تكمن في التأكد من مطابقة التصميم للواقع (للمدارس المنفذه) والتأكد من صلاحية التصميم الصوتي للمدارس التي تم عمل تصميم صوتي لها.
أغلب المتغيرات يتم تقييمها والفصل فارغ ويجب أن يتواجد شخص واحد فقط أثناء القياس داخل الفراغ.
بالنسبة لزمن الترداد يقاس تبعا للمواصفة BS EN ISO ٣٥٤:٢٠٠٣ ، ويقاس منسوب الصوت لمدة ٣٠ دقيقة والنوافذ مفتوحة ويجب إن وجد هناك أجهزه كهربائية أن تعمل جميعها للحصول على أقصى ضوضاء يمكن أن تصدر من داخل الفصل أثناء اليوم الدراسي.

٧. الملحقات

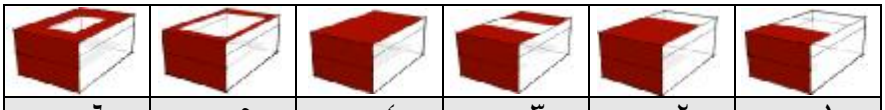
٧-١ نماذج توزيع المواد الماصة على أسطح الفراغ

توضح الاشكال التالية توزيعات المواد الماصة المختبرة واسفل كل توزيع مساحة المادة الماصة المستخدمة وكذلك نسبتها المؤية من مجموع مساحة أسطح الفراغ.

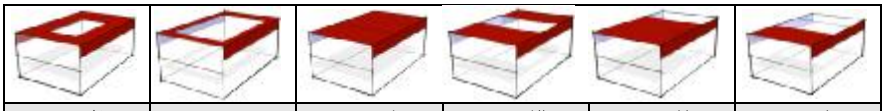
٧-١-١ فراغ الفصل المستطيل



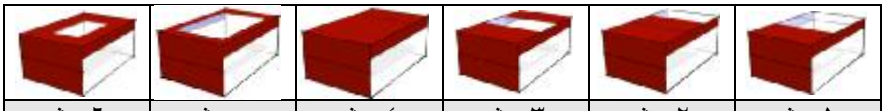
١-أ	٢-أ	٣-أ	٤-أ	٥-أ	٦-أ
٢٥.٦ م٢	٤١.٩ م٢	٤١.٩ م٢	٥٨.٢ م٢	٣٣.٦ م٢	٤٢.٧٥ م٢
١٣.٨٠ %	٢٢.٥٨%	٢٢.٥٨ %	٣١.٣٧ %	١٨.١١ %	٢٣.٠٤%



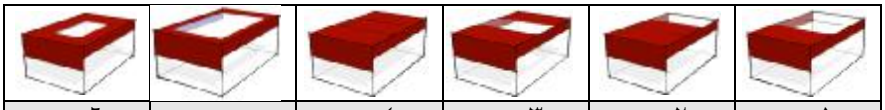
١-ب	٢-ب	٣-ب	٤-ب	٥-ب	٦-ب
٣٤.٩ م٢	٥١.٢ م٢	٥١.٢ م٢	٦٧.٥ م٢	٤٢.٩ م٢	٥٢.٠٥ م٢
١٨.٨١ %	٢٧.٦٠ %	٢٧.٦٠ %	٣٦.٣٨ %	٢٣.١٢ %	٢٨.٠٥ %



١-ت	٢-ت	٣-ت	٤-ت	٥-ت	٦-ت
٣٢.٦ م٢	٤٨.٩ م٢	٤٨.٩ م٢	٦٥.٢ م٢	٤٠.٦ م٢	٤٩.٧٥ م٢
١٧.٥٧ %	٢٦.٣٦ %	٢٦.٣٦ %	٣٥.١٤ %	٢١.٨٨ %	٢٦.٨٢ %



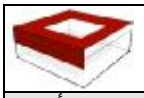
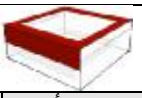
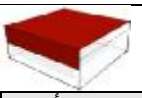
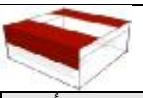
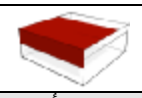
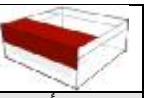
١-ث	٢-ث	٣-ث	٤-ث	٥-ث	٦-ث
٥١.٢ م٢	٦٧.٥ م٢	٦٧.٥ م٢	٨٣.٨ م٢	٦٨.٣٥ م٢	٦٨.٣٥ م٢
٢٧.٦٠ %	٣٦.٣٨ %	٣٦.٣٨ %	٤٥.١٧ %	٣٦.٨٤ %	٣٦.٨٤ %

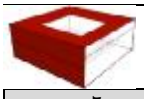
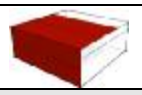
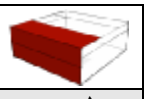


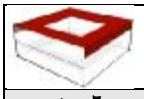
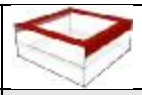
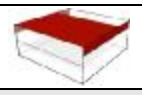
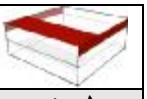
١-ج	٢-ج	٣-ج	٤-ج	٥-ج	٦-ج
٤١.٩ م٢	٥٨.٢ م٢	٥٨.٢ م٢	٤٩.٩ م٢	٥٩.٠٥ م٢	٥٩.٠٥ م٢
٢٢.٥٨ %	٣١.٣٧ %	٣١.٣٧ %	٢٦.٩٠ %	٣١.٨٣ %	٣١.٨٣ %

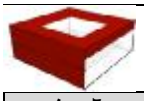
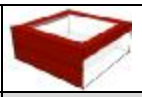
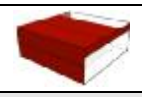
شكل ٧-١ توزيع المواد الماصة في الشكل المستطيل

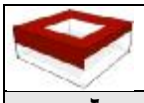
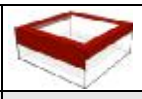
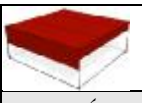
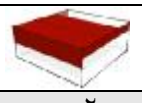
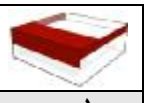
٧-١-٢ فراغ الفصل المربع

					
٦-أ	٥-أ	٤-أ	٣-أ	٢-أ	١-أ
٥٠.٦ م٢	٣٦.٢ م٢	٤٠.٢ م٢	٣٠.٥ م٢	٣٠.٥ م٢	٢٠.٩ م٢
% ٢٥.٩٢	% ١٨.٥٥	% ٢٠.٥٩	% ١٥.٦٣	% ١٥.٦٣	% ١٠.٧١

					
٦-ب	٥-ب	٤-ب	٣-ب	٢-ب	١-ب
٦١.٩ م٢	٤٧.٥ م٢	٥١.٥ م٢	٤١.٨ م٢	٤١.٨ م٢	٣٢.٢ م٢
% ٣١.٧١	% ٢٤.٣٣	% ٢٦.٣٨	% ٢١.٤١	% ٢١.٤١	% ١٦.٥٠

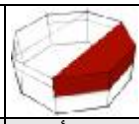
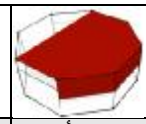
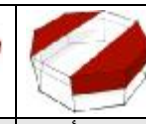
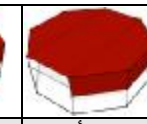
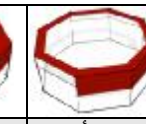
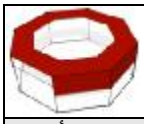
					
٦-ت	٥-ت	٤-ت	٣-ت	٢-ت	١-ت
٥٣.٩ م٢	٣٩.٥ م٢	٤٣.٥ م٢	٣٣.٨ م٢	٣٣.٨ م٢	٢٤.٢ م٢
% ٢٧.٦١	% ٢٠.٢٤	% ٢٢.٢٨	% ١٧.٣٢	% ١٧.٣٢	% ١٢.٤٠

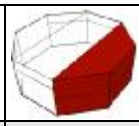
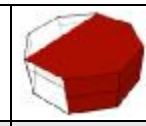
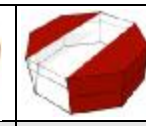
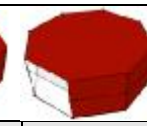
					
٦-ث	٥-ث	٤-ث	٣-ث	٢-ث	١-ث
٧٦.٤ م٢	٦٢ م٢	٦٦ م٢	٥٦.٣ م٢	٥٦.٣ م٢	٤٦.٧ م٢
% ٣٩.١٤	% ٣١.٧٦	% ٣٣.٨١	% ٢٨.٨٤	% ٢٨.٨٤	% ٢٣.٩٢

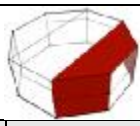
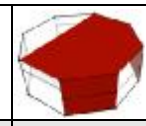
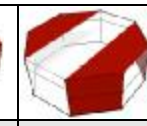
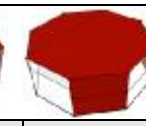
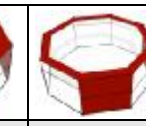
					
٦-ج	٥-ج	٤-ج	٣-ج	٢-ج	١-ج
٦٥.١ م٢	٥٠.٧ م٢	٥٤.٧ م٢	٤٥ م٢	٤٥ م٢	٣٥.٤ م٢
% ٣٣.٣٥	% ٢٥.٩٧	% ٢٨.٠٢	% ٢٣.٠٥	% ٢٣.٠٥	% ١٨.١٤

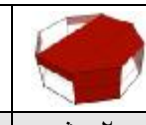
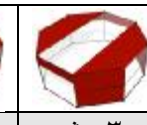
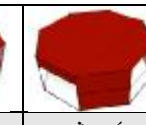
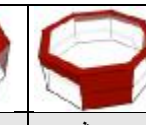
شكل ٧-٢ توزيع المواد الماصة في الشكل المربع

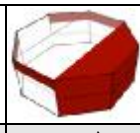
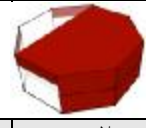
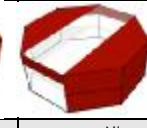
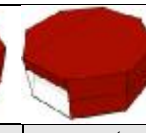
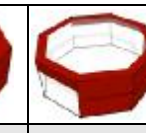
٧-١-٣ فراغ الفصل المثمن

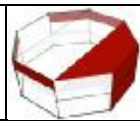
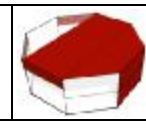
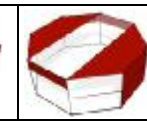
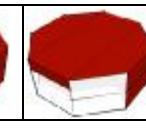
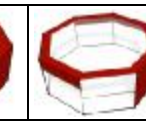
					
١-أ	٢-أ	٣-أ	٤-أ	٥-أ	٦-أ
٢٣.٣ م٢	٥٠ م٢	٣٦.٧ م٢	٦٣.٤ م٢	٣٣.٣ م٢	٤٦.٤ م٢
% ٧.٢٩	% ١٥.٦٥	% ١١.٤٨	% ١٩.٨٤	% ١٠.٤٢	% ١٤.٥٢

					
١-ب	٢-ب	٣-ب	٤-ب	٥-ب	٦-ب
٣٣.٣ م٢	٦٠ م٢	٤٦.٧ م٢	٧٣.٤ م٢	٤٣.٣ م٢	٥٦.٤ م٢
% ١٠.٤٢	% ١٨.٧٧	% ١٤.٦١	% ٢٢.٩٧	% ١٣.٥٥	% ١٧.٦٥

					
١-ت	٢-ت	٣-ت	٤-ت	٥-ت	٦-ت
٣٣.٩ م٢	٦٠.٦ م٢	٤٧.٣ م٢	٤٣.٩ م٢	٤٣.٩ م٢	٥٧ م٢
% ١٠.٦١	% ١٨.٩٦	% ١٤.٨٠	% ١٣.٧٤	% ١٣.٧٤	% ١٧.٨٤

					
١-ث	٢-ث	٣-ث	٤-ث	٥-ث	٦-ث
٤٧.٣ م٢	٧٤ م٢	٦٠.٧ م٢	٨٧.٤ م٢	٥٧.٣ م٢	٧٠.٤ م٢
% ١٤.٨٠	% ٢٣.١٦	% ١٨.٩٩	% ٢٧.٣٥	% ١٧.٩٣	% ٢٢.٠٣

					
١-ج	٢-ج	٣-ج	٤-ج	٥-ج	٦-ج
٥٧.٥ م٢	٨٤.٢ م٢	٧٠.٩ م٢	٩٧.٦ م٢	٦٧.٥ م٢	٨٠.٦ م٢
% ١٧.٩٩	% ٢٦.٣٥	% ٢٢.١٩	% ٣٠.٥٤	% ٢١.١٢	% ٢٥.٢٢

١- ح	٢- ح	٣- ح	٤- ح	٥- ح	٦- ح
٣٦.٩ م٢	٦٣.٦ م٢	٥٠.٣ م٢	٧٧ م٢	٤٦.٩ م٢	٦٠ م٢
% ١١.٥٥	% ١٩.٩٠	% ١٥.٧٤	% ٢٤.٠٩	% ١٤.٦٨	% ١٨.٧٧

١- خ	٢- خ	٣- خ	٤- خ	٥- خ	٦- خ
٢٦.٦ م٢	٥٣.٣ م٢	٤٠ م٢	٦٦.٧ م٢	٣٦.٦ م٢	٤٩.٧ م٢
% ٨.٣٢	% ١٦.٦٨	% ١٢.٥٢	% ٢٠.٨٧	% ١١.٤٥	% ١٥.٥٥

١- د	٢- د	٣- د	٤- د	٥- د	٦- د
٢٣.٦١ م٢	٥٠.٣١ م٢	٣٧.٠١ م٢	٦٣.٧١ م٢	٣٣.٦١ م٢	٤٦.٧١ م٢
% ٧.٣٩	% ١٥.٧٤	% ١١.٥٨	% ١٩.٩٤	% ١٠.٥٢	% ١٤.٦٢

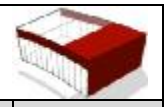
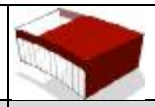
شكل ٧-٣ توزيع المواد الماصة في الشكل المثمن

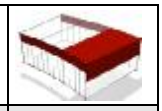
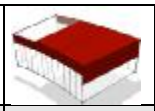
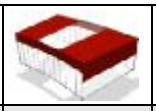
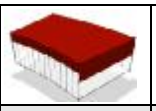
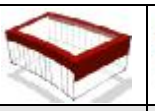
٧-١-٤ فراغ الفصل القطع من دائرة

١- أ	٢- أ	٣- أ	٤- أ	٥- أ	٦- أ
٣٠.٥ م٢	٥٠.٨ م٢	٥٠.٨ م٢	٧٢.٤ م٢	٣٨.٣ م٢	٤٩.٣ م٢
% ١٥.٠٢	% ٢٥.٠١	% ٢٤.٨٦	% ٣٥.٦٤	% ١٨.٨٥	% ٢٤.٢٧

١- ب	٢- ب	٣- ب	٤- ب	٥- ب	٦- ب
٤٠.٨ م٢	٦١.١ م٢	٦٠.٨ م٢	٨٢.٧ م٢	٤٨.٦ م٢	٥٩.٦ م٢
% ٢٠.٠٩	% ٣٠.٠٨	% ٢٩.٩٣	% ٤٠.٧١	% ٢٣.٩٣	% ٢٩.٣٤

١- ت	٢- ت	٣- ت	٤- ت	٥- ت	٦- ت
٣٩.٢ م٢	٥٩.٥ م٢	٥٩.٢ م٢	٨١.١ م٢	٤٧ م٢	٥٨ م٢
% ١٩.٣٠	% ٢٩.٢٩	% ٢٩.١٤	% ٣٩.٩٣	% ٢٣.١٤	% ٢٨.٥٥

					
١- ث	٢- ث	٣- ث	٤- ث	٥- ث	٦- ث
٥٩.٦ م٢	٧٩.٩ م٢	٧٩.٦ م٢	١٠١.٥ م٢	٦٧.٤ م٢	٧٨.٤ م٢
% ٢٩.٣٤	% ٣٩.٣٣	% ٣٩.١٩	% ٤٩.٩٧	% ٣٣.١٨	% ٣٨.٦٠

					
١- ج	٢- ج	٣- ج	٤- ج	٥- ج	٦- ج
٤٩.٤ م٢	٦٩.٧ م٢	٦٩.٤ م٢	٩١.٣ م٢	٥٧.٢ م٢	٦٨.٢ م٢
% ٢٤.٣٢	% ٣٤.٣١	% ٣٤.١٧	% ٤٤.٩٥	% ٢٨.١٦	% ٣٣.٥٧

شكل ٧-٤ توزيع المواد الماصة في شكل القطع من دائرة

٧-٢ نتائج المحاكاة لنماذج دراسة توزيع المادة الماصة

فيما يلي نتائج المحاكاة لجميع النماذج والاشكال السابقة

٧-٢-١ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المستطيل

بدائل التوزيع	معامل إنتقال الحديث	منسوب ضغط الصوت	التحديد	زمن الترداد
	STI	SPL (dB)	D-٥٠%	Tmf (sec)
١-أ	٦١.٣٣	٦١.٥٥	٥٦.٢٢	٠.٦٢
٢-أ	٦٥.٤٧	٥٩.٧٦	٦٩.٨٨	٠.٤٢
٣-أ	٦٥.٧٩	٥٨.٨١	٧١.٥٧	٠.٤٦
٤-أ	٦٧.٥٧	٥٧.٣٥	٨٠.٣٦	٠.٣٤
٥-أ	٦٥.٢٨	٥٩.٧٦	٦٨.١٩	٠.٥١
٦-أ	٦٦.٦٥	٥٨.٨٨	٧٣.٥٣	٠.٤٤
١-ب	٦٣.٦٦	٦٠.٥٣	٦٣.٩٩	٠.٥٢
٢-ب	٦٦.٩٤	٥٨.٨٠	٧٥.٥٢	٠.٣٧
٣-ب	٦٧.٥٥	٥٧.٩٠	٧٨.٣٣	٠.٤٠
٤-ب	٦٩.٢٦	٥٦.٣٣	٨٦.٢٠	٠.٣١
٥-ب	٦٧.٦٢	٥٨.٧٥	٧٦.٠٣	٠.٤٤
٦-ب	٦٨.٦٧	٥٧.٨٨	٨٠.٩٩	٠.٣٨
١-ت	٦٤.٣٥	٦٠.٢٣	٦٥.٦٧	٠.٥٤
٢-ت	٦٦.٧٧	٥٨.٩٢	٧٤.٨١	٠.٣٨
٣-ت	٦٦.٥٥	٥٨.٢٨	٧٥.٠٣	٠.٤٢
٤-ت	٦٧.٣٨	٥٧.١٧	٨١.٠٢	٠.٣٢
٥-ت	٦٥.٨٩	٥٩.٤٨	٧٠.٧١	٠.٤٦
٦-ت	٦٦.٩٨	٥٨.٦٦	٧٥.٧١	٠.٣٩
١-ث	٦٧.٣٨	٥٩.٠٢	٧٥.٣٩	٠.٤٠
٢-ث	٦٨.٨٩	٥٧.٧٥	٨٢.٧٤	٠.٣١
٣-ث	٦٩.٢٤	٥٧.٠٩	٨٤.٥١	٠.٣٣
٤-ث	٦٩.٧٥	٥٥.٩٨	٨٩.٠٧	٠.٢٧
٥-ث	٦٩.٢٣	٥٨.٠٢	٨١.٧٥	٠.٣٦
٦-ث	٧٠.٠٣	٥٧.٤٢	٨٥.٣٨	٠.٣٢
١-ج	٦٥.٤٦	٥٩.٩١	٦٨.٦٠	٠.٤٧
٢-ج	٦٧.٤٢	٥٨.٧١	٧٦.٨٨	٠.٣٥
٣-ج	٦٧.٥٩	٥٨.٠٣	٧٨.٣٩	٠.٣٧
٤-ج	٦٨.٠٨	٥٦.٩٧	٨٣.٢٢	٠.٢٩
٥-ج	٦٧.٢٤	٥٩.٠٠	٧٤.٩٧	٠.٤٠
٦-ج	٦٨.٠٧	٥٨.٢٩	٧٨.٨٩	٠.٣٥

جدول ٧-١ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المستطيل

٧-٢-٢ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المربع

بدائل التوزيع	معامل إنتقال الحديث	منسوب ضغط الصوت	التحديد	زمن الترداد
	STI	SPL(dB)	D-٥٠%	Tmf (sec)
١- أ	٥٩.٨٦	٦١.١٦	٥٥.٣٢	٠.٦٢
٢- أ	٦٤.٣٥	٥٩.١١	٦٩.٨٢	٠.٤١
٣- أ	٦٤.٤٤	٥٨.٥١	٧٠.٣٨	٠.٤٧
٤- أ	٦٦.١٦	٥٧.٠٣	٧٩.٦٦	٠.٣٤
٥- أ	٦٤.٢٧	٥٩.٥٤	٦٦.٨٧	٠.٥٢
٦- أ	٦٥.٩١	٥٨.٢٦	٧٤.٢٧	٠.٤٢
١- ب	٦٢.٣٢	٥٩.٧٠	٦٤.٠٢	٠.٥١
٢- ب	٦٥.٦٥	٥٧.٨٤	٧٦.٧٨	٠.٣٦
٣- ب	٦٦.٢٦	٥٧.١٥	٧٨.٤٠	٠.٤٠
٤- ب	٦٧.٤٥	٥٥.٦٤	٨٦.٢٥	٠.٣٠
٥- ب	٦٦.٤٣	٥٨.١٤	٧٥.٥٠	٠.٤٤
٦- ب	٦٧.٦١	٥٦.٩٤	٨١.٣٣	٠.٣٧
١- ت	٦٢.٣٢	٦٠.٢٠	٦١.٨٩	٠.٥٩
٢- ت	٦٥.٤٥	٥٨.٦٠	٧٣.٤٤	٠.٤٠
٣- ت	٦٤.٩٠	٥٨.٢٤	٧٢.٨٠	٠.٤٥
٤- ت	٦٦.٠٠	٥٧.٠١	٧٩.٤٦	٠.٣٣
٥- ت	٦٤.٢٣	٥٩.٤٨	٦٧.٥٢	٠.٥٠
٦- ت	٦٥.٨٠	٥٨.٢٢	٧٤.٤٠	٠.٤٠
١- ث	٦٥.٤٦	٥٨.٤٦	٧٣.٧٤	٠.٤٢
٢- ث	٦٧.٥١	٥٧.٠٧	٨٢.٦٣	٠.٣١
٣- ث	٦٧.٦٨	٥٦.٤٨	٨٣.٧٧	٠.٣٤
٤- ث	٦٨.٠٢	٥٥.٣٥	٨٨.٩٠	٠.٢٧
٥- ث	٦٧.٩٧	٥٧.٥٩	٨٠.٤٩	٠.٣٧
٦- ث	٦٨.٦٦	٥٦.٥٦	٨٥.٢١	٠.٣٢
١- ج	٦٣.٧٢	٥٩.٨٣	٦٦.١٤	٠.٤٩
٢- ج	٦٦.١٨	٥٨.٣٩	٧٥.٦١	٠.٣٥
٣- ج	٦٦.٠٠	٥٧.٩٢	٧٦.٠٧	٠.٣٨
٤- ج	٦٦.٤٦	٥٦.٧٥	٨١.٥٠	٠.٣٠
٥- ج	٦٥.٩٤	٥٩.٠٢	٧٢.٤٨	٠.٤٢
٦- ج	٦٧.٠٧	٥٧.٩٠	٧٨.٠٩	٠.٣٥

جدول ٧-٢ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المربع

٧-٢-٣ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المثمن

بدائل التوزيع	معامل إنتقال الحديث	منسوب ضغط الصوت	التحديد	زمن الترداد
	STI	SPL(dB)	D-٥٠%	Tmf (sec)
١-أ	٦٣.٤٤	٦٠.٨٣	٦٢.٤٥	٠.٦٠
٢-أ	٦٧.٤٦	٥٨.٨٢	٧٦.٠٤	٠.٤٠
٣-أ	٦٥.٤٤	٥٨.٨٥	٧٠.٦٥	٠.٤٨
٤-أ	٦٧.٤١	٥٧.١١	٨٠.٣٦	٠.٣٤
٥-أ	٦٥.٦٩	٥٩.٣٤	٧٠.١١	٠.٥٠
٦-أ	٦٦.٩٩	٥٨.٢٩	٧٥.٥٣	٠.٤٢
١-ب	٦٧.٨٠	٥٩.٠٧	٧٥.٥٥	٠.٤٧
٢-ب	٧٠.٢٤	٥٧.٢٤	٨٥.٥٥	٠.٣٣
٣-ب	٦٩.١٨	٥٧.٠٦	٨٢.٦٩	٠.٣٩
٤-ب	٧٠.٢٤	٥٥.٤٠	٨٩.٦٥	٠.٣٠
٥-ب	٦٩.٤٩	٥٧.٥٢	٨١.٨٧	٠.٤٠
٦-ب	٧٠.٢٧	٥٦.٦٣	٨٦.١٠	٠.٣٥
١-ت	٦٥.٣٦	٥٩.٨٩	٦٨.٠١	٠.٥٥
٢-ت	٦٨.٧٠	٥٧.٩٢	٨٠.٢٥	٠.٣٧
٣-ت	٦٦.٩٩	٥٧.٨٧	٧٥.٨١	٠.٤٥
٤-ت	٦٨.٧٥	٥٦.١٦	٨٤.٩٠	٠.٣٢
٥-ت	٦٧.٠١	٥٨.٥١	٧٤.٤٥	٠.٤٧
٦-ت	٦٨.٢٠	٥٧.٤٧	٧٩.٨٤	٠.٣٩
١-ث	٦٧.٥٩	٥٨.٧٧	٧٥.٥٠	٠.٤٥
٢-ث	٦٩.٤٦	٥٧.٢٥	٨٤.١٠	٠.٣٢
٣-ث	٦٨.٣٩	٥٧.٢٥	٨١.١٤	٠.٣٧
٤-ث	٦٩.٠٢	٥٥.٨٣	٨٧.٠٠	٠.٢٩
٥-ث	٦٨.٣٢	٥٨.٠٠	٧٨.٧٨	٠.٣٩
٦-ث	٦٩.٠٠	٥٧.١٣	٨٣.٢٨	٠.٣٤
١-ج	٦٩.٢٩	٥٨.٠٥	٨١.٤٧	٠.٣٩
٢-ج	٧٠.٦٤	٥٦.٦٠	٨٨.٥٢	٠.٣٠
٣-ج	٧٠.٠٨	٥٦.٤٩	٨٦.٥٨	٠.٣٣
٤-ج	٧٠.٥٥	٥٥.١٨	٩١.٥٥	٠.٢٦
٥-ج	٧٠.٢٨	٥٧.١٥	٨٥.٢٠	٠.٣٥
٦-ج	٧٠.٨٣	٥٦.٣٣	٨٨.٥٠	٠.٣٠
١-ح	٦٦.٢٧	٥٩.٥٩	٧١.٠٠	٠.٥٢
٢-ح	٦٨.٨٣	٥٧.٨٢	٨١.٥٧	٠.٣٦
٣-ح	٦٧.٣٠	٥٨.٠٠	٧٦.٨٨	٠.٤٣

٤- ح	٦٨.٥٥	٥٦.٤٤	٨٤.٥٦	٠.٣٢
٥- ح	٦٧.٠٩	٥٨.٧٢	٧٤.٦٩	٠.٤٥
٦- ح	٦٨.٢٦	٥٧.٧٨	٧٩.٨٠	٠.٣٨
١- خ	٦٣.٥٨	٦٠.٣٨	٦٣.٥٠	٠.٦٢
٢- خ	٦٦.٧٧	٥٨.٤٧	٧٥.١٧	٠.٤١
٣- خ	٦٤.٨٧	٥٨.٧٨	٦٩.٦١	٠.٥٠
٤- خ	٦٦.٥٥	٥٧.١٥	٧٨.٤٩	٠.٣٥
٥- خ	٦٤.٢٨	٥٩.٧٣	٦٧.٠١	٠.٥٢
٦- خ	٦٥.٧٥	٥٨.٦٢	٧٢.٩٠	٠.٤٣
١- د	٦٢.٧٨	٦٠.٨٧	٦١.٠٤	٠.٦٦
٢- د	٦٧.٦٣	٥٨.٥٥	٧٦.٧٢	٠.٤٣
٣- د	٦٥.٣٠	٥٨.٨٣	٧٠.٠٧	٠.٥٢
٤- د	٦٨.٠١	٥٦.٧٨	٨١.٩٦	٠.٣٦
٥- د	٦٥.١٧	٥٩.٣٤	٦٨.٦٨	٠.٥٥
٦- د	٦٨.٢٦	٥٧.٧٣	٧٩.٧٦	٠.٣٨

جدول ٧-٣ نتائج المحاكاة لنموذج الشكل المثمن

٧-٢-٣ نتائج المحاكاة لنموذج القطع من دائرة

بدائل التوزيع	معامل إنتقال الحديث	منسوب ضغط الصوت	التحديد	زمن الترداد
	STI	SPL(dB)	D-٥٠%	Tmf (sec)
١- أ	٥٩.١٦	٦٠.١٧	٥٤.٨٨	٠.٦٣
٢- أ	٦٢.٤٤	٥٨.٢٨	٦٧.١٨	٠.٤٣
٣- أ	٦٢.٦٠	٥٧.١٧	٧٠.٠٤	٠.٤٧
٤- أ	٦٣.٧٧	٥٥.٦٧	٧٨.٤٧	٠.٣٥
٥- أ	٦٨.١٥	٥٨.٥٠	٦٥.٨١	٠.٥٤
٦- أ	٦٣.٤١	٥٧.٦١	٧٠.٧٥	٠.٤٧
١- ب	٦١.٠٥	٥٩.٠٤	٦١.٨٩	٠.٥٤
٢- ب	٦٣.٧٤	٥٧.٢٧	٧٣.٦١	٠.٣٩
٣- ب	٦٣.٩٣	٥٥.٩٩	٧٧.٠٨	٠.٤١
٤- ب	٦٤.٨١	٥٤.٤٧	٨٤.٦٦	٠.٣٢
٥- ب	٦٤.٣٠	٥٧.٣٢	٧٣.٢٩	٠.٤٨
٦- ب	٦٥.٠٢	٥٦.٥٥	٧٧.٩٤	٠.٤١
١- ت	٦١.٧٩	٥٨.٨٥	٦٣.٤٣	٠.٥٦
٢- ت	٦٣.٨٤	٥٧.٤٥	٧٢.٥٠	٠.٣٩
٣- ت	٦٣.٢٤	٥٦.٦٣	٧٣.٣٨	٠.٤٢
٤- ت	٦٣.٥٦	٥٥.٤٦	٧٩.٠٩	٠.٣٣
٥- ت	٦٣.٠٥	٥٨.١٠	٦٨.٢٧	٠.٤٩
٦- ت	٦٣.٨٩	٥٧.٣٨	٧٣.٠٠	٠.٤٢

١- ث	٦٤.٢٢	٥٧.٤٨	٧٣.٢١	٠.٤٣
٢- ث	٦٥.٣٠	٥٦.٢١	٨٠.٦٦	٠.٣٣
٣- ث	٦٤.٩٧	٥٥.١٦	٨٢.٧٠	٠.٣٥
٤- ث	٦٥.١٧	٥٤.١٢	٨٧.٨٦	٠.٢٨
٥- ث	٦٥.٧١	٥٦.٥٩	٧٩.٤٧	٠.٣٨
٦- ث	٦٦.٢٢	٥٦.٠٠	٨٢.٩٠	٠.٣٤

١- ج	٦٢.٧٢	٥٨.٥٢	٦٦.٥٠	٠.٤٨
٢- ج	٦٤.٣٧	٥٧.٢٥	٧٤.٧٧	٠.٣٦
٣- ج	٦٣.٨٣	٥٦.٣٤	٧٦.٣١	٠.٣٨
٤- ج	٦٣.٩١	٥٥.٢٦	٨٠.٥٨	٠.٣٠
٥- ج	٦٤.٠١	٥٧.٧٠	٧٢.٣٣	٠.٤٣
٦- ج	٦٤.٧٦	٥٧.١٠	٧٥.٩٣	٠.٣٨

جدول ٧-٤ نتائج المحاكاة لنموذج القطع من دائرة

٨. المراجع

All References with Star(*) in Arabic Language.

١ خطاب، سعيد علي (٢٠٠٧):
"التصميم المعماري للمباني التعليمية" دار الكتب العلمية، مصر.

٢ الخطيب، أحمد علي (٢٠٠٣):
"الصوتيات المعمارية، النظرية والتطبيق" مكتبة الانجلو المصرية، القاهرة، مصر.

٣http://www.bookes.ac.uk/services/ocsd/٢_learntch/theories.html
Last checked: ١٣-١٢-٠٩

٤http://www.nigelpain.com/blog/٢٠٠٨/١٠/٣١/learning-٢٠٠٨-chales-fadel.html
Last checked: ١٣-١٢-٠٩

٥ Seep, Benjamin; et al. (٢٠٠٠):
"Classroom acoustics: a resource for creating learning environment with desirable listening conditions" The Technical Committee on Architectural Acoustics of ASA.

٦ Nelson, Peggy B.; Soli, Sigfrid D.; Seltz, Anne (٢٠٠٢):
"Classroom Acoustics II, Acoustical Barriers to Learning" The Technical Committee on Architectural Acoustics of ASA.

٧ Ercoli, Liberto; et al. (٢٠٠١):
"Case study: The Acoustical Characteristics of Typical Argentinean Classrooms" Building Acoustics, ٨(٤), P. (٣٠١-٣١٠).

٨* Abd El-Hamid, Jamal (٢٠٠٣):
"An Approach for Evaluate the Educational Buildings" PHD Thesis Architecture Department, Cairo University.

٩ Everest, F. Alton (٢٠٠١):
"The Master Handbook of Acoustics" ٤th Edition, McGraw-Hill, New York, USA.

١٠ http://www.catt.se
Last checked: ١٣-١٢-٠٩

١١ (٢٠٠٢):
"CATT-Acoustic V٨, User Manual" ١st edition, Spectra D'Sign Kapiering AB, Gothenburg, Sweden.

١٢ EL-Khateeb, Ahmed A. (٢٠٠٥):
"Sounds in Lecture Rooms in Ain Shams University,Part ١" Scientific Bulletin Faculty of Engineering ASU.

١٣ Barron, Michael (١٩٩٣):
"Auditoriums Acoustics & Architectural Design" ١st Edition, E & FN Spon, New York, USA.

١٤ Barron, Michael (٢٠٠١):
"Industrial Noise Control and Acoustics" Marcel Dekker, New York, USA.

١٥ Waston R., Downey O. (٢٠٠٨):
"The Red Book of Acoustics: A Practical Guide" ٢nd edition, Blue Tree Acoustics.

١٦ EL-Khateeb, Ahmed A.; Refat, Ismail (٢٠٠٧):
"Sounds From the Past, The Acoustics of SULTAN HASSAN MOSQUE and MADRASA" Building Acoustics, ١٤(٢), P. (١٠٩ -١٣٢).

١٧ Kuttruff, Heinrich (١٩٩١):
"Room Acoustics" ٣rd Edition, Elsevier Applied Science, London, U.K.

١٨ Zannin, Paulo; Zwirtes, Daniele (٢٠٠٩):
"Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools" Applied Acoustics, ٧٠, P. (٦٢٦-٦٣٥).

١٩ Yang, W.; Bradley, John (٢٠٠٨):
"Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children" JASA, ١٢٥, P. (٩٢٢-٩٣٣).

٢٠ Bradley, John (٢٠٠٥):
"Does the Classroom Assist or Impede the Learning Process" Canadian Association of Principals Journal, ١٣(١), P. (٣٢-٣٤).

٢١ Losso, Marco; Viveiros, Elvira (٢٠٠٤):
" Acoustical Quality in Educational Buildings: Measurements in Brazilian Public Schools" Eleventh International congress on Sound and Vibration.

٢٢ Hodgson, Murray (٢٠٠١):
"Empirical Prediction of Speech Levels and Reverberation in Classroom" Building Acoustics, ٨(١), P. (١ -١٤).

٢٣ Ahmed, Nizamuddin (٢٠٠٠):
"Acoustic Design to Correct Poor Listening Conditions of Some Buildings in Dhaka with Locally Available Materials" International Symposium on Noise Control & Acoustics for Educational Buildings, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.

٢٤ EL-Khateeb, Ahmed A. (٢٠٠٢):
"Acoustical Environment Assessment in Enclosures" PHD, Ain Shams university, in Architecture, Cairo, Egypt.

٢٥ Bradley, John S.; Reich R. D. and Norcross, S. G. (١٩٩٩):
"On the combined effect of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility" JASA, ١٠٦, P. (١٨٢٠-١٨٢٨).

٢٦ Sala, E.; Viljanen, V. (١٩٩٥):
"Improvement of Acoustic Conditions for Communication in Classrooms Speech" Applied Acoustics, ٤٥, P. (٨١-٩١).

٢٧ إشتراطات الهيئة العامة للابنية التعليمية لمرحلة التعليم الاساسي بالقاهرة، ١٩٩٠.

٢٨ Allen, Robert L.; et al. (١٩٩٦):
"Classroom Design Manual" ٣rd edition, Academic Information Technology Services, University of Maryland, USA.

٢٩ Browns, G. Z.; Dekay, Mark (٢٠٠٠):
"SUN, WIND & LIGHT Architectural Design Strategies" John Wiley & Sons, New York, USA.

٣٠ Olds, Anita Rui (٢٠٠٠):
"Child Care Design Guide" McGraw-Hill, New York, USA.

٣١ Oldham, D.J.; El-khateeb, Ahmad A. (٢٠٠٨):
"The Absorption Characteristics of Muslim Worshippers" Building Acoustics, ١٥(٤), P. (٣٣٥-٣٤٨).

٣٢ Mehta, Mandan; Johnson, James and Rocafort, Jorge (١٩٩٩):
"Architectural Acoustics Principles and Design" Prentice-Hall, New Jersey, USA.

٣٣ Egan, M. David (١٩٨٨):
"Architectural Acoustics" McGraw-Hill, New York, USA.

٣٤ شعبان، رزق نمر (١٩٩٦):
"الهندسة الصوتية في العمارة" جامعة الاردن، عمان، الاردن.

٣٥ Vallet, Michel (٢٠٠٠):
"Some European Standards on Noise in Educational Buildings" International Symposium on Noise Control & Acoustics for Educational Buildings, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.

٣٦ DFES Project Team (٢٠٠٣):
"Building Bulletin ٩٣ Acoustic Design of Schools" Department of Education and Skills, The Stationary Office: London.

٣٧ The Acoustical Society of America (٢٠٠٢):
"ANSI S١٢.٦٠, American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and guidelines for Schools" ASA, New York, USA.

٣٨ Fürjes, Andor T.; Borsi, Eva Arato and Augusztinovicz, Fülop (٢٠٠٠):

"Evaluation and Design of Small Rooms" Building Acoustics, ٧(٤), P. (٢٧٧-٢٩٦).

٣٩ Kinsler, Lawrence E.; et al. (٢٠٠٠):
"Fundamentals of Acoustics" ٤th Edition, John Wiley & Sons, New York, USA.

٤٠ Tempelton, Duncan; Saunders, David (١٩٨٧):
"Acoustics Design" Architectural Press, London, U.K.

٤١ Shield, Bridget M.; Dockrell, Julie E. (٢٠٠٣):
"The Effects of Noise on Children at School: A Review" Building Acoustics, ١٠(٢), P. (٩٧-١١٦).

٤٢ Mir, Sabeer H.; Abdou, Adel A. (٢٠٠٥):
"Investigation of Sound-absorbing Material Configuration of a Smart Classroom Utilizing Computer Modeling" Building Acoustics, ١٢, P. (١٧٥ – ١٨٨).