مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية – المجلد (16) العدد (2) 1414 هـ 1994 م

الأسس العامة في الهندسة الصوتية لتصميم وتقييم الفراغات المعمارية

د. رزق نمر شعبان حماد*
د. علي علي حسين العمايرة**
د. توفيق أبو غزة***

❑ ملخص ❑

تبحث هذه الورقة في الأسس الصوتية العامة لتصميم وتقييم الفراغات المعمارية والتي إذا ما أُخذت في الإعتبار، في المراحل الأولى من التصميم، فإن تلك الفراغات سوف تؤدي وظائفها الصوتية والسمعية بشكل مرضي. وأهم تلك الأسس هي زمن التردد والذي يعتمد على حجم الفراغ و كمية المواد الماصة في داخل ذلك الفراغ. وقد عملت منحنيات قياسية تربط بين حجم الفراغات وزمن التردد فيها. وإذا ما صممت تلك الفراغات بحيث كان زمن التردد قريباً من هذه الأزمان القياسية، أمكن مسبقاً الحكم على أن الفراغ المعماري سوف يحقق الراحة السمعية للمستعملين.

ومن الأسس العامة أيضاً أشكال تشتت الموجات الصوتية وأخرى تعمل بؤراً في أماكن معينة. وتساعد بعض الأشكال على عمل تقوية طبيعية للصوت داخل الفراغ المعماري. أما الأشكال الدائرية فإنها تعمل تركيزاً للطاقة الصوتية في بؤر معينة، يصعب معالجتها. كما يفضل الابتعاد عن الحوائط المتوازية، في المسقط والمقطع، لأنها تساعد على تكوين الرنين في بعض الترددات.

ومن هذه الأسس ضجيج الخلفية الذي يعتمد على المحيط الذي تتواجد فيه تلك الفراغات، وهنالك حدود قصوى لذلك الضجيج، لتحقيق الراحة وعدم التداخل، والتشويش على المستمعين. ومن تلك الأسس دليل المفهومية الذي يمكن قياسه الآن باستعمال بعض الأجهزة و كذلك معيار انتقال الحديث وغيرها من المعايير التي تُستَخدم لتقييم الفراغات المعمارية بعد استكمال إنشائها لتحقيق الراحة السمعية بها والتي نوقشت أيضاً في هذه الورقة.

---

* الدكتور رزق نمر شعبان حماد أستاذ مشارك في كلية الهندسة – جامعة الإمارات العربية المتحدة – الإمارات العربية المتحدة.

** الدكتور علي علي حسين العمايرة أستاذ مساعد في كلية الهندسة – جامعة الإمارات العربية المتحدة – الإمارات العربية المتحدة.

*** أستاذ مساعد في كلية العمارة والتخطيط – جامعة الملك سعود – السعودية.

مقدمة:

على الرغم من أن علم الصوتيات هو علم حديث لم يتعدَّ السبعين عاماً {1} إلا أنه قد حظي باهتمام الباحثين من مختلف التخصصات الهندسية والفيزيائية، وهنالك عشرات الأبحاث في مختلف مراكز البحوث العالمية، تغطي معظم جوانب هذا العلم وخصوصاً في الهندسة الصوتية في العمارة وفي الجانب التطبيقي منها بوجه الخصوص. وذلك للحاجة الملحة لوضع الحلول العملية للمعضلات الصوتية التي ظهرت نتيجة للفراغات المعمارية ذات الأحجام الكبيرة والتي ليس لها مثيل سابق، وكذلك نظراً للأصوات الناتجة من الآليات والمعدات التي كانت نتيجة للثورة التكنولوجية التي شهدها هذا القرن. فهنالك مئات الأبحاث النظرية والعملية في وصف أداء الحواجز الصوتية ومدى فعاليتها في تقليل ضجيج المرور {2،3،4} وتأثيراته المختلفة على الفراغات المعمارية والإنسان {5،6،7}. وكذلك الخاصة بضجيج الطائرات {7،8}، والأبحاث الخاصة بالاختبارات العملية على خواص المواد من حيث امتصاصها للطاقة الصوتية ومرور الصوت منها {9،10}. كما أن هنالك العديد من الأبحاث في تصميم وتقييم الأداء الصوتي للفراغات المعمارية. وقد وضعت وطبقت كودات الهندسة الصوتية في مجال تصميم الفراغات المعمارية وفي مجال السلامة العامة وفيما يختص بالضجيج ومؤثراته{11،12،13،14}.

وعلى الرغم من النقل المتواصل للتكنولوجيا الغربية إلى البلاد العربية، إلا أن مجال الصوتيات بشكل عام والهندسة الصوتية بشكل خاص، مازال في مراحله الأولى وهو بحاجة لمزيد من الاهتمام والبحوث من قبل تخصصات عدة، ودول عربية مختلفة، لبناء قاعدة معلومات عريضة يبنى عليها كود خاص بالممارسة ومعايير تصميم وتقييم للفراغات المعمارية وبقية فروع هذا العلم.

وتأتي هذه الورقة لتسد جزءاً من هذا النقص، لتناقش الأسس التصميمية العامة للفراغات المعمارية المختلفة وأسس تقييمها للحكم على مدى ملاءمتها للمهام الصوتية المصممة من أجلها. تلك الأسس والمعايير التي أصبحت هامة في تصميم تلك القاعات، لا يمكن الاستغناء عنها أو تجاهلها. وإذا أخذت هذه المعايير في الاعتبار في المراحل الأولى للتصميم فإنها توفر الجهد والتكاليف والوقت، وإذا أهملت فإنها ربما تؤدي إلى عواقب، قد يكلف تصحيحها تكلفة الإنشاء نفسه وإذا لم تصحح فإن الفراغات المعمارية تفشل في أداء مهامها التي صممت من أجلها. وأهم هذه الأسس:

1- الشكل:

تنتقل الموجات الصوتية في الفراغات المعمارية بطريقة تشابه انتقال موجات الضوء وخصوصاً إذا كانت أطوال الموجات صغيرة مقارنة بقياسات الفراغ. فتنعكس بطريقة مشابهة لانعكاس الضوء عن الأسطح المستوية، حيث تتساوى زاوية السقوط وزاوية الانعكاس. وتفقد الموجات الصوتية من طاقتها بقيمة امتصاص الأسطح التي تنعكس عليها. كما أن الأشكال المحدبة تنشر الموجات الصوتية، بطريقة مشابهة لانتشار الموجات الضوئية، وكأنها خارجة من البؤرة. وتعتبر الأشكال المقعرة لامة للموجات الصوتية تؤدي إلى بؤر تتركز فيها الطاقة الصوتية بشكل يصعب فيه الاستمتاع بالأصوات في تلك الفراغات {15}.

يوضح الشكل (1) انعكاس الموجات الصوتية عن بعض الأشكال المعمارية، كما يوضح الشكل (2) طريقة استغلال الموجات المنعكسة عن

الأسطح الداخلية لتقوية الصوت، تقوية طبيعية في الأماكن البعيدة، والتي تكون بحاجة لهذه التقوية، دون الحاجة إلى استعمال الأجهزة الصناعية والتي لها محاذيرها.

ويمكن إيجاد شدة الصوت في نقطة معينة للأصوات المباشرة (Id) والمنعكسة (Ir) من المعادلة:

$$Itot = Id + Irn \quad Watt/m^2 \quad (1)$$

حيث (Itot) هي شدة الأصوات الكلية عند نقطة معينة في لحظة معينة، (n) عدد الأصوات المنعكسة وتحسب شدة كل صوت من المعادلة:

$$I\theta = \frac{WQ\theta}{r^2} \quad (2)$$

حيث W هي قدرة الصوت بالواط، ($Q\theta$) هي معامل اتجاهية الصوت في اتجاه (θ)، r بعد المستمع عن مصدر الصوت بالمتر.

ويحسب منسوب ضغط الصوت عند النقطة المحددة (Sound Pressure Level) (SPL) بالديسبل (dB) من المعادلة {16}:

$$SPL = 20\ Log_{10}\ P + 94\ (ref\ 2\times10^{-5}\ N/m^2) \quad (3)$$

حيث $P = (I\theta.Z)^{\frac{1}{2}}$ و Z هي قيمة الممانعة الخاصة والتي تساوي حوالي 410 وحدة عالمية في ظروف الفراغات المعمارية (الضغط ودرجات الحرارة).

وإذا كانت الفراغات المعمارية ناشرة للصوت فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$SPL = SWL + 10\ Log_{10}\left(\frac{Q}{4\Pi r^2} + \frac{4}{R}\right)dB \quad (4)$$

حيث $R = \frac{S\alpha^-}{1-\alpha^-}$ هو ثابت الغرفة.

S: مساحة أسطح الغرفة م^2.

α^-: معدل امتصاص الغرفة للصوت. وبقية المتغيرات كالسابق.

$$SWL = 10\ Log_{10}\ W + 120\ dB\ (ref\ 10^{-12}\ W)$$

2- المقاسات:

تتحكم في المقاسات الداخلية للفراغات المعمارية الموجات الواقفة (Standing Waves) أو ما يطلق عليه بالرنين (Resonance) ويحدث الرنين عندما تتطابق إحدى مقاسات الفراغ أو جميعها مع طول إحدى الموجات الصادرة في داخل الفراغ.

وفي هذه الحالة تنعكس الموجات فتتطابق الموجات الصادرة والمنعكسة في نقطة معينة، فترتفع شدتها. ولأن ذلك يحدث في موجات معينة فإن هذا الارتفاع يؤدي إلى عدم وضوح الأصوات واختلافه عن الأصوات الصادرة. وأسوأ ما يحدث الرنين إذا توافقت أطوال الفراغات الثلاثة (X,Y,Z) مع أطوال إحدى الموجات. ويمكن حساب موجات الرنين (Fres) من المعادلة {17}:

$$Fres = \frac{C}{Z}\left\{\left(\frac{N}{X}\right)^2 + \left(\frac{m}{y}\right)^2 + \left(\frac{P}{Z}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

حيث C: سرعة الصوت في الهواء.

n,m,P: أعداد صحيحة.

ولإيجاد أول تردد يحدث فيه الرنين بالاتجاهات الثلاثة يعوض عن قيم n,m,P بقيمة واحد لكل منها. والواضح أن الفراغات المعمارية التي تكون بين مقاساتها نسبة محددة، يحدث فيها الرنين بشكل واضح ومتكرر، مثل نسبة 4:2:1، كما أنه من الواضح أن الفراغات التي تكون حوائطها غير متوازية (في المسقط والمقطع) تقلل من احتمال وجود الرنين {18}.

يوضح الشكل (3) النسب الموصى بها لاختيار مقاسات الفراغات المعمارية والترددات التي يحتمل أن يحدث فيها الرنين. كما يمكن حساب ترددات الرنين بين حائطين متوازيين بتعويض قيمة صفر للحائط أو للحائطين الآخرين في المعادلة (5).

3- زمن الترديد:

يعرف زمن الترديد (Reverberation Time) بأنه الزمن اللازم للصوت أن يقل بمقدار 60 ديسبل عن مستواه بعد توقف مصدر الصوت الأصلي عن البث {19}. ومن الواضح أن الصوت الذي يصل إلى المستمع هو خليط من الموجات المباشرة والمنعكسة عن الحوائط مرة أو مرات متعددة. وحين توقف الصوت المباشر، يتوقف وصول الموجات السمعية المباشرة بعد فترة زمنية قليلة تساوي To حيث:

$$Td = \frac{Dd}{C} \quad (6)$$

Dd: المسافة بين المصدر والمستمع بالمتر.

C: سرعة الصوت م/ثا.

ولكن الموجات المترددة والمنعكسة عن الحوائط تتوارد في الوصول إلى المستمع في فترات زمنية متلاحقة تساوي Tri حيث:

$$Tri = \frac{Dri}{C} \quad (7)$$

ويعتمد زمن وصول هذه الموجات على عدد الانعكاسات وبالتالي المسافة Dri أو بطريقة أخرى على مقاسات الفراغ المعمارية نفسه ويمكن ايجاد المسافة Dri الناتجة عن الانعكاسات الأولى من الشكل (4) كما يمكن بنفس الطريقة ايجاد ممرات الصوت المنعكسة على سطحين وثلاثة أسطح... الخ. بنفس الطريقة {20}.

وتظهر الأصوات المنعكسة على أنها تقوية طبيعية للصوت الأصلي طالما أن زمن وصول هذه الموجات المنعكسة أقل من 50 ميللي ثانية بالنسبة لوصول الصوت المباشر أي أن:

$$Tri < 50 \text{ ms}$$

وهذه الخاصية ليس لها علاقة بخواص الصوت أو خواص الفراغات المعمارية ولكنها خاصية الأذن والزمن اللازم لتحليل الإشارة من قبل الدماغ {2،1}.

إن وصول الصوت إلى المستمع يعتمد أيضاً على نوعية الأسطح الداخلية للفراغات المعمارية، أي معامل امتصاصها للصوت. ومن الواضح أنه لو فرض أن معامل امتصاص الأسطح للصوت يساوي واحد، أي أن جميع الطاقة الصوتية الساقطة على جدرانه تمتص، فإن هذا الزمن يساوي صفراً. ومثل هذا المحيط يطلق عليه الظروف الحرة (Free Field Conditions) تتواجد في ظروف صناعية، كالغرف عديمة الصدى (Anechoic Chambre) حيث تصل سماكة المواد الماصة على جميع أسطحها الداخلية حوالي 1.20م، كما أنها مصممة بحيث تمنع دخول الأصوات من الخارج إلى الداخل بعمل حوائط ذات سماكات كبيرة وكثيفة. وفي المقابل إذا كانت الجدران عاكسة تماماً فإن هذا الزمن يكون كبيراً. وقد تم ربط متغيرات الفراغ المعمارية بهذا الزمن من خلال بعض الدراسات العملية، والتي وصفت بمعادلة سابين {23}، حيث تم ربط زمن الترديد (RT60) وحجم الفراغ (V) وكمية المواد الماصة (A):

$$RT60 = \frac{0.16V}{A} \text{ Seconds} \quad (8)$$

حيث:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \ldots S_n\alpha_n$$

وتقاس بالمتر المربع سابين، (وحدة م^2 سابين تساوي الطاقة الصوتية الممتصة -المفقودة- من نافذة مفتوحة مساحتها 1م^2).

وقد تم إجراء دراسات عملية على قاعات معدة لأغراض سمعية في أنحاء متفرقة من العالم صاحبها دراسة لتحديد ملائمة كل فراغ معماري للمهمة الصوتية والسمعية المعد لها. نتج عن هذه الدراسة تحديد زمن التردد المثالي، الذي ربط بين زمن الترديد من جهة والحجم وملاءمة الفراغ من ناحية الصوت من جهة أخرى. وقد وضعت منحنيات

مثالية لزمن الترديد، لكل نشاط من الأنشطة السمعية، كما هو موضح في شكل(5).

وقد أصبح بالإمكان، بالاستعانة بهذه المنحنيات وباستعمال معادلة سابين (معادلة 8) من تصميم القاعات المختلفة وتحديد أحجامها ونوعية المواد المستعملة لمعالجة جدرانها والحكم على مدى ملاءمتها للمهمة الصوتية المعدة لها مسبقاً. كما طورت معادلة سابين من قبل عدة باحثين، مثل المعادلة (9) من قبل ايرنج وفيتزردي {23}.

$$RT60 = \frac{0.161V}{-S\ln(1-\bar{\alpha})} \quad (9)$$

كما يمكن باستخدام زمن الترديد ، ايجاد معامل امتصاص المواد في المختبر في ظروف ترددية، كما هو موصى به في المواصفات العالمية (ISO) {24}، حيث يحسب معامل الامتصاص من المعادلة {25}:

$$\alpha = \frac{\Delta A}{S} = \frac{55.3}{CS} \mathrm{V} \{\frac{1}{RT_1} - \frac{1}{RT_2}\} \quad (10)$$

4- دليل المفهومية (Articulation Index):

يعتمد هذا المعيار على قياس وضوح الصوت في الفراغات المعمارية بالقياس المباشر لوضوح المقاطع الصوتية {26}، حيث يقوم المتكلم بإحداث مقاطع لأصوات معينة ليست ذات معنى أمام مستمعين مدربين ومنتشرين داخل الفراغ، وبالسؤال المباشر لهم عن الأصوات التي حدثت، ودراسة مدى مطابقتها للحقيقة، يمكن حساب نسبة المقاطع الصحيحة إلى عدد المقاطع المذاعة، سواء مباشرة أم من خلال تقوية صناعية. وقد وضع هذا المعيار كنسبة مئوية للمقاطع التي سمعها الفريق المدرب صحيحة إلى العدد الكلي للمقاطع المبثوثة، فإذا زادت هذه النسبة عن 90٪ فإن الوضوح في الفراغ المعمارية يعتبر ممتازاً، بينما إذا كانت النسبة تقل عن 70٪ فأن الوضوح يكون ضعيفاً.

ويعتمد هذا الدليل على زمن الترديد وبالتالي حجم الفراغ وكمية المواد الماصة فيه وعلى الأصوات التي تصل إلى المستمع من الخارج وبالتالي تشوش على فهمه لتلك المقاطع. واعتمدت المقاطع التي ليس لها معنى مترابط حتى لا تفهم المقاطع من سياق الحديث، وهذه المقاطع مثل ما، صه دال وغيرها. وكما هو واضح فإن هذا الدليل هو معيار نهائي للحكم على القاعات والفراغات المعمارية بعد تنفيذها بشكل نهائي. ولذلك فهو يصلح كمعيار للحكم على مدى صلاحية الفراغات المعمارية ولا يساهم في وضع الحلول العملية في مراحل التصميم أو التنفيذ.

5- معيار انتقال الحديث (Speech Transmission Index, STI):

وهو معيار يعتمد على فكرة بث الحديث من خلال ترددات التغيير (Modulation Frequency) وقياس معامل التغيير في الحديث (Modulation Factor, F) بعد بثه على تلك الترددات، وهي فكرة مشابهة لقياس معيار انتقال الحديث على الموجات المرئية أو المسموعة في الهندسة الكهربائية ومتطورة عنها.

وقد جرت دراسة موسعة لهذا المعيار، عملية ونظرية، ودراسة مقارنة بالمعايير السابقة ويأخذ في الاعتبار زمن الترديد والضوضاء الخارجية (Background Noise, N) والتي سوف يتم الحديث عنها لاحقاً، وكذلك إلى منسوب الإشارة (Signal, S) أي صوت المتكلم أو الموسيقى أو الأصوات ذات العلاقة باستعمال الفراغ ويحسب هذا المعامل من المعادلة {27}:

$$STI = (S/N) + 15)/30 \quad (11)$$

وتحسب S/N من المعادلة:

$$S/N = 10\ Log_{10}\ (M/(1-M))\ dB \quad (12)$$

وتحسب قيمة M من المعادلة:

$$M(F) = (1+(\ 2\Pi F(RT/13.8)^2\ )^{\frac{1}{2}}\ (1+10^{(-S/N)10})^{-1} \quad (13)$$

F: ترددات التغيير وهي ترددات محددة.

وقد طورت بعض الأجهزة لقياس هذا المعامل مباشرة في الفراغات المعمارية {28}، كما جرت مقارنة بين قيم دليل انتقال الصوت STI وبين الوضوح السمعي في فراغات معمارية مختلفة في عدة بلدان وكانت النتائج متطابقة {29}.

كما تم تطوير دليل انتقال الصوت (STI) في معيار آخر خاص بالحديث هو معيار انتقال الحديث السريع(RASTI)، وهي اختصار للعبارة (Rapid Speech Transmission Indo)، ليأخذ في اعتباره الترددات 500، 2000 هرتز باعتبارهما أهم ترددين في حديث الإنسان، ووضع مقياس خاص بهذا المعيار بحيث إذا كانت قيمته أقل من 0.3 فإن وضوح الحديث بالنسبة للمستمع يكون رديئاً وإذا زاد عن 0.75 فإن الوضوح يكون ممتازاً وما بين 0.6-0.75 جيداً، وما بين 0.45-0.5 متوسطاً{29}، كما تمت مقارنة عملية بالأدلة السابقة وكانت النتائج متطابقة وتم تصميم جهاز خاص بهذا الدليل يمكن من الحكم على نوعية الصوت في الفراغات المعمارية بطريقة عملية وسريعة {30}.

وهنالك معايير قياس أخرى مثل معامل الوضوح (Defintion): والذي يحسب من المعادلة {31}:

$$D = 100 \int_0^{T+50} Ir \int_0^{N} Ir \quad (14)$$

حيث Tr هي شدة الصوت المنعكسة، N عدد الانعكاسات المحسوبة.

وهو معيار يعتمد بشكل كبير على الانعكاسات من الجدران وبالتالي على حجم الفراغ ومعالجة أسطحه الداخلية.

كما أن معامل النقاء (Clearity Coefficient) مازال حتى الآن يستعمل كمعيار لقياس وضوح الحديث والنشاطات السمعية المختلفة في الفراغات المعمارية. ويحسب معدل هذا المعامل من المعادلة{30}:

حيث تحسب قيمة Ck من المعادلة:

$$Ck = \frac{\int_0^{50} P^2 dt}{\int_0^{} P^2 dt}$$

ويجب أن لا يقل معدل معامل النقاء عن 60٪ حتى يكون الوضوح في القاعات المختلفة جيداً وحوالي 50-55 في قاعات الموسيقى. ويصعب قياس هذين المعاملين مباشرة في داخل الفراغات المعمارية ولا بد من حسابهما بعد قياس شدة الصوت أو منسوب ضغط الصوت وزمن الترديد.

5- ضجيج الخلفية (Background Noise):

ويعرف ضجيج الخلفية بأنه قيمة الضجيج في داخل الفراغ المعماري الناتج من ضجيج المصادر المختلفة المحيطة به. ويقاس هذا الضجيج في فراغ معين بقياس منسوب ضغط الصوت في حالة ما تكون القاعة خالية من أي مصدر صوت، ويفضل أن تكون القياسات في ظروف مشابهة لظروف استخدام تلك القاعات. كما يمكن حساب ضجيج الخلفية إما بقياس أو تقدير منسوب ضغط الصوت الناتج في المحيط القريب لذلك الفراغ المعماري وطرح قيمة نقصان انتقال الصوت (Sound

(Transmisson Loss) في داخل الحوائط لذلك الفراغ.

فلو قيس الضجيج المحيط بتلك القاعة وكان مساوياً 80 ديسيبيل في تردد معين واستخدمت حوائط طوب مصمتة قيمة الفقد بالنقل في نفس التردد 45 ديسيبيل (يمكن إيجاد قيمة الفقد بالنقل لمعظم عناصر المباني من جداول خاصة متوفرة في غالبية الكتب المرجعية في الصوتيات مثل مرجع 32). فإن قيمة ضجيج الخلفية المتوقع في هذه القاعة هو ما بين 35-40 ديسيبيل تقريباً.

ويؤثر هذا الضجيج على نوعية الأصوات والنشاطات السمعية في الفراغات المعمارية من عدة وجوه:

فهو كما مرّ في تعريف معيار انتقال الحديث (STI) ومعامل الراستي (RASTI) يؤثر على قيمة S/N والتي بدورها تؤثر على الوضوح. وإذا بلغت قيمة $S/N \leq 0$ فإن قيمة الراستي لا تزيد عن 0.5، أي أن وضوح الحديث ما بين الضعيف والمقبول. وإذا بلغت هذه القيمة أقل من (-0.6) فإن قيم الراستي تكون أقل من 0.3، أي أن وضوح الحديث يكون ضعيفاً مهما كانت معالجات الأسطح.

كما أنه يتداخل في نوعية بعض النشاطات فيؤثر عليها تأثيراً جذرياً كأن تسمع أصوات المركبات في القاعات الموسيقية أو التمثيليات فتعمل تشويشاً صوتياً أو فكرياً أو قد تخرج النشاط الصوتي عن مضمونه كأن تظهر بعض أصوات الطائرات أو المركبات عند تسجيل بعض المسلسلات التاريخية أو الدرامية، فتفسد العمل بأكمله. كما أن لضجيج الخلفية ضرراً فيزيائياً في بعض الأحيان، فهو يؤثر على الراحة وساعات الاستجمام، مثل أوقات النوم، والراحة مما يسبب اليقظة أو تغيير في مستويات النوم.

وكذلك الحال بالنسبة للمرضى وغيرها من الحالات والنشاطات المشابهة.

وقد حددت المواصفات الخاصة (الخاصة بكل قطر والعالمية) قيماً قصوى لقيم ضجيج الخلفيات للنشاطات الانسانية المختلفة، تعتمد على الحالة الصحية للانسان وعلى النشاط السمعي في تلك الفراغات. يوضح الجدول (1) قيم ضجيج الخلفية الموصى به بعض النشاطات السمعية، ويلاحظ أنه كلما كان النشاط الانساني يعتمدعلى السماع والتركيز الذهني كلما قلت قيم ذلك الضجيج. بينما يمكن أن تزيد هذه القيم في حالة النشاطات البدنية، كالمصانع والمعامل وغيرها{33}.

الخلاصة:

هنالك محددات صوتية أساسيةلتصميم وتقييم الفراغات المعمارية لا بدّ من أخذها في عين الاعتبار في المراحل الأولى لعملية التخطيط والتصميم. أهم تلك الأسس: اختيار الشكل المعماري الذي يساعد على نشر الصوت بانتظام والابتعاد عن الأشكال الدورانية والمقعرة. وكذلك اختيار المقاسات التي لا تساعد على تكون الرنين والتي تكون ناتجة من الحوائط المتوازية والمقاسات التي بينها علاقة هندسية مضاعفة. كما أن زمن الترديد يلعب دوراً هاماً في تحديد مدى وضوح الصوت إلى المستمع وخلو القاعات من الصدى. ويعتمد زمن الترديد على حجم الفراغ وطول ممرات الصوت وعلى المواد الداخلية النهائية في تشطيب القاعة إن كانت عاكسة للصوت أو ماصة له. كما يعتمد الناتج النهائي لنوعية الصوت ومدى ملاءمته للمهام المصمم من أجلها على ضجيج الخلفية والذي يعتمد على مدى انتقال الضجيج الخارجي إلى داخل تلك الفراغات.

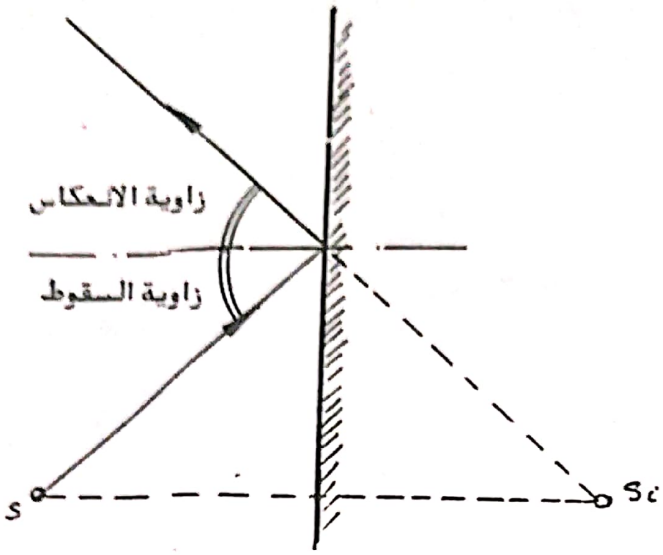
إن الأسس التصميمية السابقة، يمكن معرفتها وحسابها قبل البدء في عمليات التصميم، وبالتالي التحكم بها وبنوعية الصوت المنتشر في داخل تلك الفراغات. فإذا ما أخذت تلك الأسس في الاعتبار في المراحل الأولى للتصميم فإنه من المؤكد أن يكون أداء تلك الفراغات للمهام الصوتية المصممة من أجلها مقبولاً وإذا أهملت تلك الأسس فإنه من الصعب تصحيح ذلك الأداء وقد يكون مكلفاً للغاية وليس بالتأكيد حل المعضلات الصوتية بشكل أمثل.

كما أن هنالك معايير أخرى فيما بعد، بعد اكتمال انشاء المبنى، مثل زمن الترديد ودليل انتقال الصوت ومعامل الرستي والوضوح ودليل المفهومية كلها للحكم على مدى ملائمة تلك الفراغات للمهام الصوتية المصممة من أجلها.

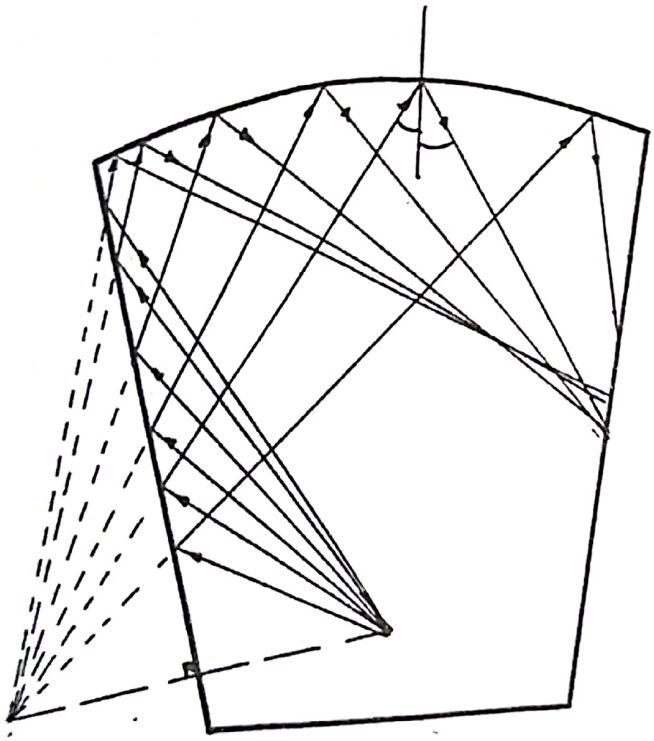
جدول (1)

الحدود القصوى لضجيج الخلفية

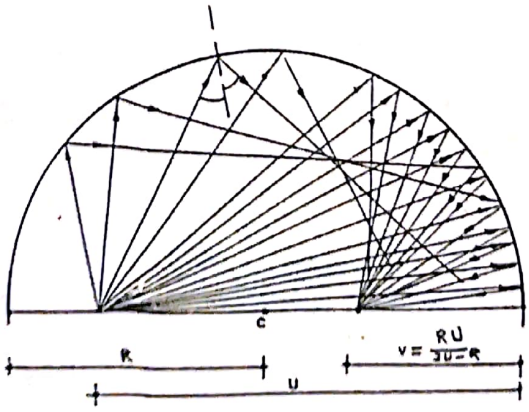
النشاط	قيم منحنيات NC/NR/PN
1. ظروف عمل مقبولة مع تداخل في الحديث حدود دنيا، استعمال الحديث بشكل قليل أو نادر، مثل مصنع ذي ماكنات خفيفة، المناطق الصناعية والتجارية كالكراجات ومواقف السيارات والغسالات.	55-45
2. ظروف استماع متوسطة ومقبولة، مثل مناطق الأعمال الصناعية، كافتيريا، مناطق المعامل والمراسم.	50-40
3. ظروف استماع متوسطة مطلوبة، مثل المكاتب الكبيرة مطاعم ومحلات تجارية.	40-35
4. ظروف استماع جيدة مطلوبة، مثل مكاتب خاصة وقاعات التدريس، مكتبات قاعات المحاضرات المتوسطة المساحة.	35-30
5. المنامات، مناطق الاستجمام والراحة كالمنازل والشقق والفنادق.	30-20
6. ظروف استماع جيدة جداً مطلوبة كالمسارح وقاعات المحاضرات وقاعات المؤتمرات الكبيرة.	25
7. ظروف استماع ممتازة مطلوبة، مثل قاعات استماع الموسيقى واستديوهات التلفزيون.	20
8. ظروف استماع بالغة الحساسية مطلوبة مثل استديوهات الراديو الدرامية ومعامل الصوتيات وقياس السمع.	15



الانعكاسات عن الأسطح المستوية

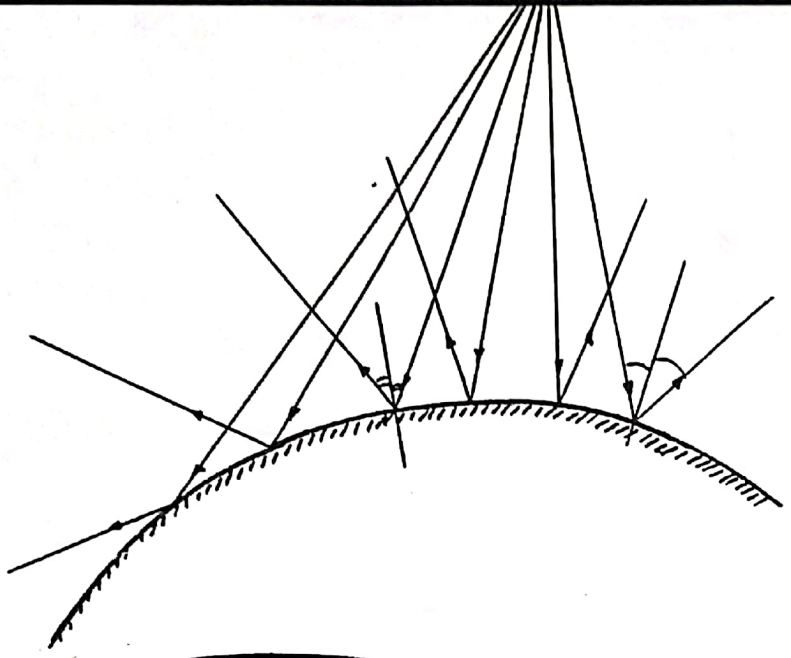


الانعكاسات في الأشكال المروحية

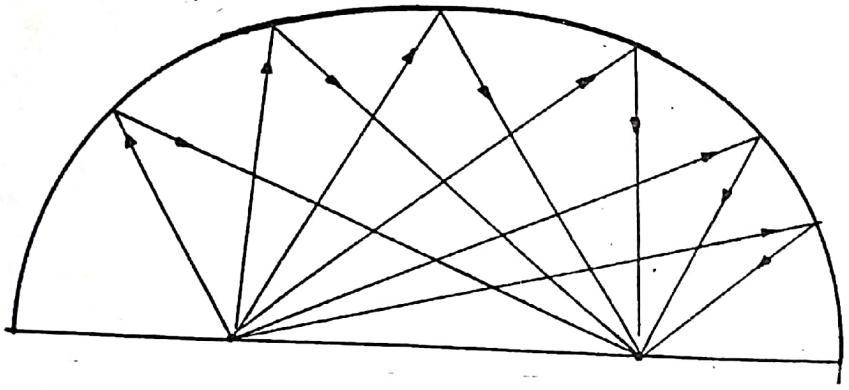


الانعكاسات في القباب

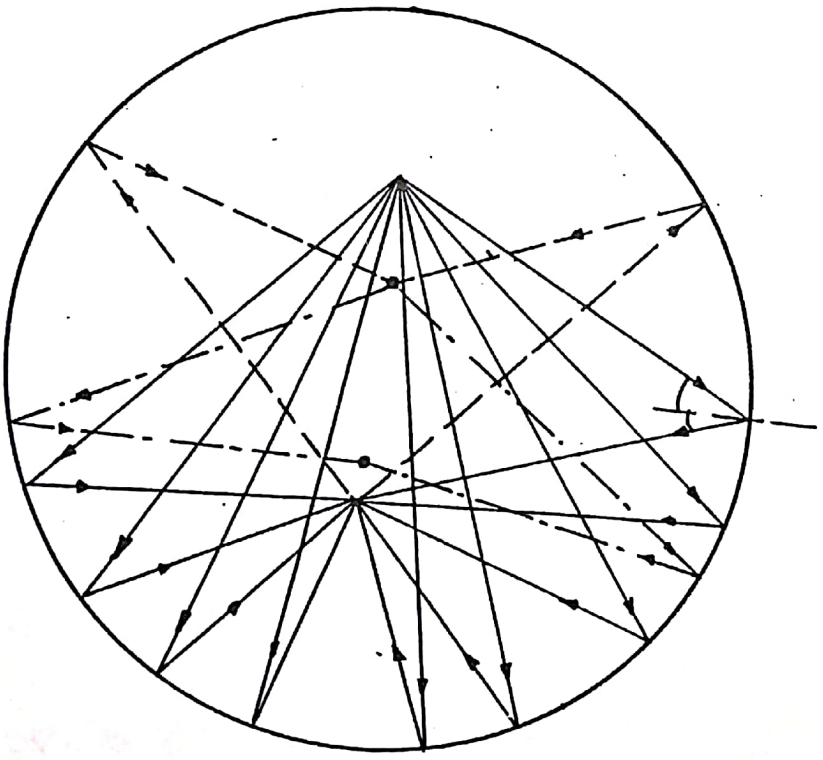
شكل (1) الانعكاسات عن بعض الأشكال المعمارية



الانعكاسات عن الأشكال المحدبة

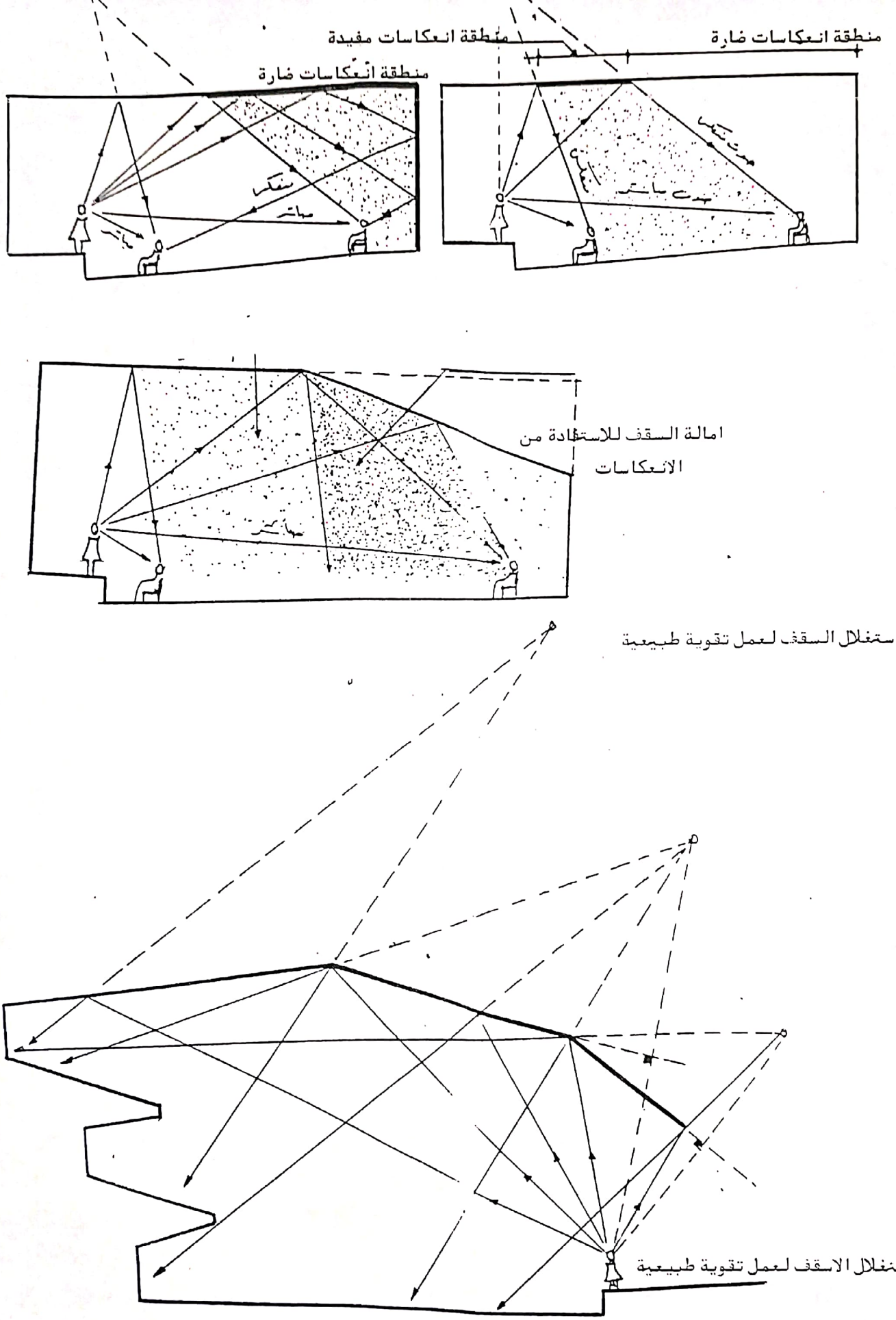


الانعكاسات في الأشكال القطع الناقص

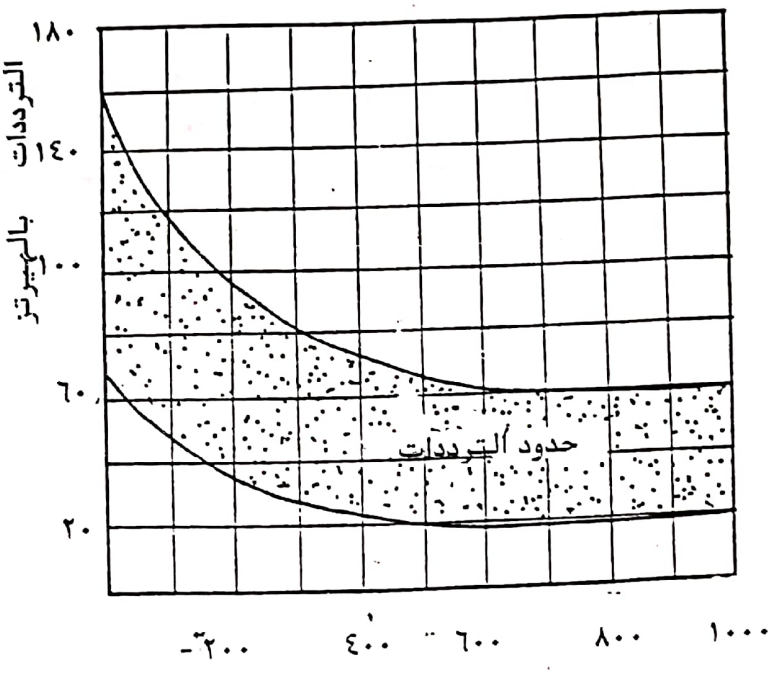


الانعكاسات في الأشكال الدائرية

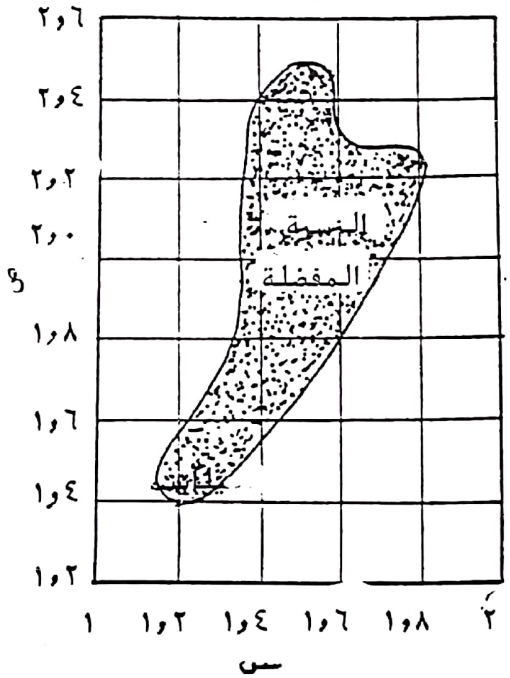
تابع شكل (1)



شكل (2) استغلال الأسقف لعمل تقوية طبيعية للصوت

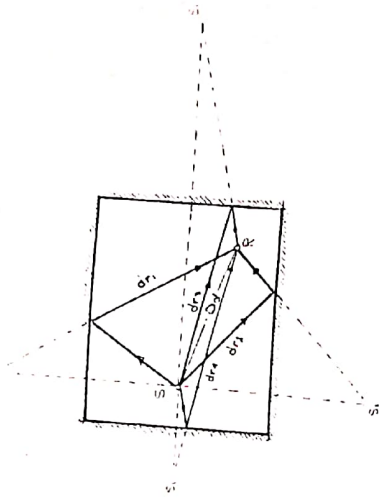


الحجم - متر مكعب

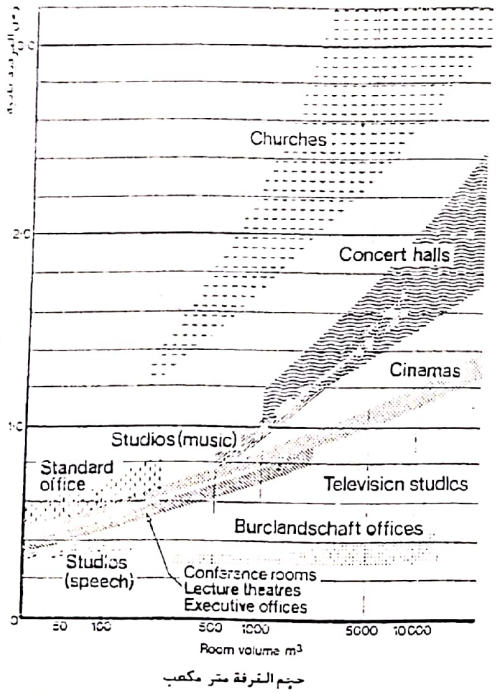


نسبة 1:س:ص

شكل (3) النسب الموصى بها في تصميم الفراغات المعمارية



شكل (4) إيجاد ممرات الصوت في المسقط الأفقي



شكل (5) المنحنيات المعيارية لزمن الترديد

❑ ABSTRACT ❑

This paper discusses the main acoustic principles which are used to design and evaluate architectural spaces, to ensure acceptable aural conditions in these spaces. The reverberation time is the most important factor, which is dependent upon the volume and the amount of absorption inside the enclosure. Standard curves of the reverberation times are produced which relate these times and the volumes of the enclosures. If the architectural spaces are designed such that the reverberation times are close to the standard curves, then the aural conditions in these spaces will be acceptable.

Other principles are also important, such as the shape of the spaces in plan and section. Circular shapes are focusing sound waves in the same locations, resulting in unacceptable aural conditions, while other shapes diffuse sound waves and cause natural reinforcement to the sound. It is also recommended to use parallel walls to minimize resonance frequency occurrence inside the spaces. Other criteria are also discussed; the background noise which depends upon the acoustic environment, articulation index, speech transmission index and other indexes which are used to evaluate the acoustic conditions in an enclosure.

المراجع

1. Sabinx, P. E. "Acoustic & Architecture" McGraw Hill N. Y. 1932 PP 60-70.
2. Kurze, U. J. & Anderson, G. S. "Sound Attenuation by Barriers" App. Acoustics 4 (1971) PP 35-53.
3. Scholes, W. E. Vulkan, G. H. Mackle, A. M. & Harland, D. G. "Performance of a Motorway Noise Barrier at Heston" App. Acoustics 7 (1974) PP 1-13.
4. Hammad, R.N.S. "The Acoustic Performance of Building Facades in Hot Climates" Ph.D. Thesis Liverpool University, 1982, PP 8-33.
5. Hammad, R.N.S. & Abdelazeez, M.K. "Measurements and analysis of the Traffic Noise in Amman, Jordan, and its Effects" Applied Acoustics, 21 (1987) PP 309-320.
6. محمد كامل عبد العزيز ورزق نمر شعبان حماد، "ضجيج المرور في مدينة عمّان وقياس الإزعاج المصاحب له" دراسات (مجلة الجامعة الأردنية) المجلد الرابع عشر، العدد التاسع، 1987 ص 23-47.
7. Croome, D.J. "Noise Buildings & People" Pergamon Press, Oxford, U.K. 1973 PP 136-146.
8. Hmmad, R.N.S. Abdelazeez, M.K. and Sharqawi, B. "Measurement of Noise Level at Queen Alia Airport & Effect on Employed Person" App. Acoustics 28 (1989) PP. 221-228.
9. محمد كامل عبد العزيز ورزق نمر شعبان حماد، "قياس معامل الامتصاص للمواد المختلفة المستخدمة في المعالجة الصوتية" دراسات (مجلة الجامعة الأردنية) المجلد السابع عشر (ب)، العدد الأول، 1990 ص 7-22.
10. Evans, E.j. & E.N. "Sound Absorbing Materials" HMSO, 1964.
11. Bazley, E.N. "The Airborn Sound Insulation of Partitions" HMSO, 1966.
12. British Sandard Code of Practice, C.P.3 Chapter 3 (1960) "Sound Insulation and Noise Redution" British Standards Institution, 1960.
13. وزارة الأشغال العامة والاسكان "كود الصوتيات" المجلد الرابع عشر - دستور البناء الوطني الأردني - الطبعة الأولى 1988 م.
14. International Stanndard Organization: Damage Risk Criteria" R 1999.
15. Rettinger, M. "Acoustic Design & Noise Control" Chemical Pub. Co. Inc. N. Y. 1973, PP. 387-395.
16. Beranek, L.L. "Noise Reduction" Mc Graw Hill, N.Y. & London, 1960, PP 167-181.
17. Kinsler, L.E. & Frey, A.R. "Fundamental of Acoustics" Second Ed. John Willey & Sons. N.Y. 1962 PP 438-444.
18. Sound Research Laboratories Limited "Practical Building Acoustics" HolbrookHall, Sudbury U.K. 1970 P. 30.
19. Kinslewr et al P. 418.
20. رزق شعبان ويحيى الزعبي "تمثيل انتشار الموجات الصوتية داخل الفراغات المعمارية باستعمال الحاسوب: ايجاد زمن الترديد والوضوح" مجلو جامعة دمشق - المجلد الرابع، العدد الخامس عشر ص 27-50.
21. Rettenger, M. "Acoustic..." P. 75-84.
22. Sabin, P.E. " Acoustic..." P. 60-70.
23. Davis, D. & Davis, C. "Sound System Engineering" Howard W. Sams & Co Inc. USA, 1978 PP 63-64.

24. International Standard Organization "Measurement of Absoption Coefficients in a Reverberation Room" ISO/R 354-1963.

25. محمد كامل ورزق شعبان (قياس معامل...) ص 7-22.

26. Kryter, K.D. "Methods for calculation and use the Abticulation Index." J. Acoustical Soc. Am. USA, 34 (1962), PP 1689-1997.

27. Houtgast, T, Steeneken, H.J. and Plomp, R. "Predcting Speech Intellingibility in Rooms from the Modulation Transfere Function: General Room Acoustics" Acoustica 46 (1980), PP 60-72.

28. Tech Note "Device for Measuring the STI" J. Acoustical Soc. Am. USA, 71 (1982) P. 1612.

29. Houtgast, J. and Steeneken, H.J. "A Review of the MTF concept in Room Acoustics and its use for Estimating Speech Intellingibility in Audtoria" J. Acoustical Soc. Am. USA, 77 (1985), PP 1060-1077.

30. Houtgast, T and Steeneken, H.J. "A Multi - Langnage Evaluation of the RASTI Method for Estimating Speech Intellingibility in Auditoria. "Acoustica 54 (1984) PP 185-199.

31. Bruel & Kjaer "Instruction Manual. Speech Transmission MeterType "Naerum, Denmark, 1986.

32. Cremer, L. & Muller, H.A. "Principal and Applications of Room Acoustics" Applied Science Scince Pub. 1982, P. 937.

33. Maukousky, V.S. "Acoustics of Studios & Auditoria" Edited by Dr. Christopher Gilford, Focal Press, London & N.Y. 1971 P. 358.

34. Sound Research Laboratories "Practical Building Acoustics" Holbrock Hall, Sudbury, UK, 1970.