مقالات غيرمحكمة, ندوة عمارة المساجد، م ١٠ أ، ص ص٢٧٧-٢٨٦، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود (١٤١٩ هـ/ ١٩٩٩م)

ملامح هندسية في التصميم الصوتي للمساجد

محمد بن عبد الفتاح عبيد

قسم الهندسة الكهربائية، كلية الهندسة

جامعة الملك سعود

الرياض ، المملكة العربية السعودية

ملخص البحث: الهدف من هذه الورقة هو إبراز الملامح الهندسية في التصميم الصوتي الجيد في المساجد والذي يعتمد على ما يلي:

أولاً: تحقيق الراحة السمعية كماً ونوعاً. فمن حيث الكمية يجب أن يصل الصوت إلى المصلين بعلو معقول ليس بالخافت ولا بالجهور، أما من حيث النوعية فيكون الصوت مفهوماً وواضحاً.

ثانياً: تقليل الضوضاء الداخلية والخارجية.

ثالثاً: توضيح الأساليب الهندسية للوصول إلى الصوت الجيد في المساجد بوجه عام وإبرازها في الحرمين الشريفين بوجه خاص.

المقدمة

أهم سمة في المدينة الإسلامية نواتها التي تتكون من المسجد الجامع وساحاته الداخلية والخارجية وبجانبه السوق وقصر الحكم. وقد اهتم المسلمون على مرّ العصور بتصميم مدنهم. وكان اهتمامهم بالمسجد الجامع اهتماماً كبيراً، فهو دار العبادة ﴿وأن المساجد لله فلا تدعوا مع الله أحداً﴾. [الجن، آية ١٨]

وهو منبر الحكمة والسياسة والمدرسة التي تعلم أمور الدنيا والدين وهو ساحة القضاء ومنطلق الجهاد .. كان كل شيء في حياتهم.

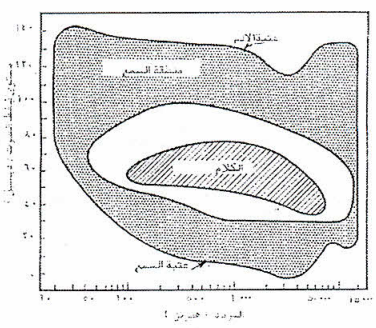
ويتكون المسجد الجامع عادة من أماكن مفتوحة وأخرى مغلقة. ففي الأماكن المفتوحة توجد الأفنية الداخلية والساحات الخارجية حيث المئذنة التي تعمل كعلامة للدلالة عليه فضلاً عن كونها في بعض الأحيان علامة مميزة للمدينة كلها كما هو الحال في مدينة الرسول ﷺ.

أما الأماكن المغلقة فهي داخل المسجد حيث الإيوانات تحت القباب والأروقة والبواكي الجانبية التي تفصل بين الفناء المفتوح وبين الفراغات الداخلية.

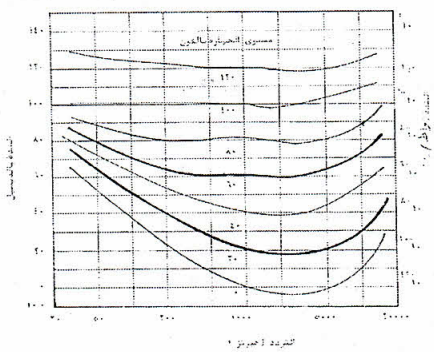
ومن هذا المنطلق تظهر أهمية التصميمات الصوتية في المساجد لإيصال الأذان إلى أكبر عدد من سكان المدينة وإيصال صوت الإمام إلى المصلين في فراغات المسجد الداخلية وساحاته الخارجية.

تحقيق كمية الصوت المناسبة

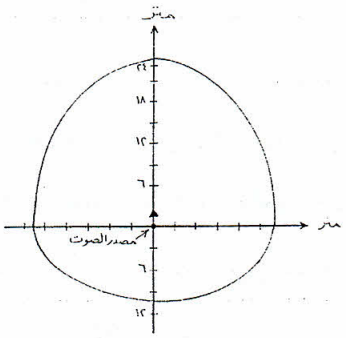
مصدر الصوت الأساسي في المساجد هو كلام الإنسان . إما أن يكون إماما أو خطيبا أو مؤذنا. وأصوات الكلام عبارة عن موجات صوتية متراكبة يتراوح ترددها من ٢٠ هيرتز إلى ٢٠ كيلوهيرتز (شكل ١)، تصل هذه الموجات إلى الأذن ومن ثم إلى المخ الذي يترجمها ويدرك كنهها ودلالتها. ومعظم كلام الإنسان أي حوالي ٩٥٪ منه يقع حول التردد ١٠٠٠ هيرتز أما باقي الكلام فيقع في الترددات العالية فهي المسئولة عن رخامة الصوت وعذوبته.[١،ص ٧٥] أما من حيث كمية الصوت المناسبة فتعتمد على إحساس الأذن وإدراكها بعلو الصوت الذي لا يعتمد فقط على منسوب الصوت بالديسبل بل على تردده أيضا. ومن هنا نشأ مفهوم الجهارة الصوتية وهي مقدار الإحساس السمعي الناتج من سعة اهتزازات الموجات الصوتية التي تدركها الأذن. فالجهارة إذن إحساس سيكلوجي بحت وهي كمية ذاتية من الصعب قياسها ولكن يمكن معرفتها بمقاييس نسبية بوحدتي الفون والسون. ومن هذا المفهوم كانت خطوط الجهارة المتساوية بوحدة الفون والتي تدركها الأذن بنفس العلو (شكل ٢). والجهارة الصوتية المناسبة في المساجد – ليست خافته ولا جهورة – تتراوح في رأي من ٣٠ إلى ٦٠ فون.[١،ص ٧١] وقد قام كندسن وهاريس[٢،ص ٨٩] بإجراء تجارب ميدانية لتحديد الخطوط الكنتورية المتساوية الجهارة لوضوح صوت الإنسان فكانت أكبر مسافة أمام المتكلم العادي حوالي ٢٦ مترا بينما كانت المسافة على الجانبين حوالي ١٨مترا (شكل ٣).



شكل ١: المناطق السمعية المختلفة.

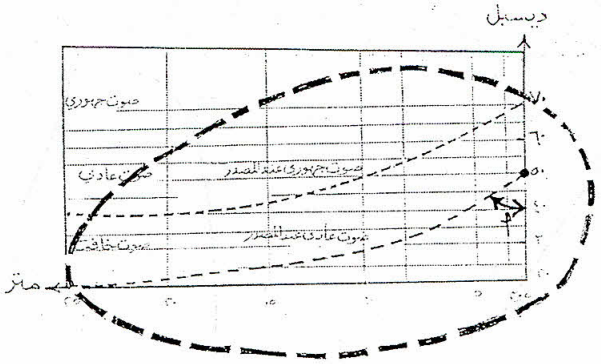


شكل ٢: خطوط الجهارة المتساوية بالفنون وعلاقتها بمستوى الصوت بالديسبل مع التردد.



شكل ٣: خطوط الصوت الكنتورية لكلام الإنسان (المستوى الأفقي).

ومن ناحية أخرى فإن القدرة المبذولة في كلام الإنسان العادي تقدر بحوالي ٥٠ ميكروواط أي ما يعادل ٦٥ ديسبل وذلك على بعد متر واحد من المتكلم. هذه الطاقة موزعة على المنحنى المجسم المبين في شكل (٤). والتصميم الصوتي الجيد هو الذي يحقق الاستفادة من القدرة الكلامية كلها وتوصيلها إلى المصلين وذلك بالتحكم السليم في منحنى اتجاهية صوت الإنسان وذلك باستخدام العواكس الصوتية وغيرها.



شكل ٤: منحنى توزيع طاقة الكلام.

تحقيق نوعية الصوت الجيد

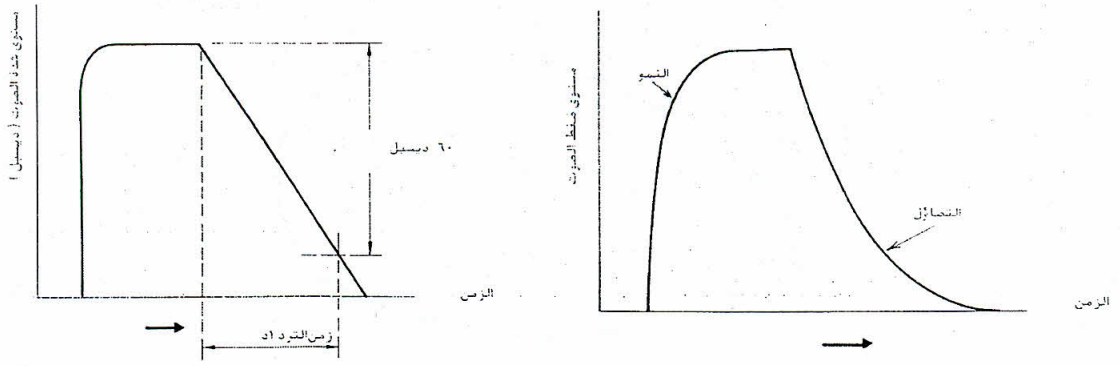
نوعية الصوت الجيد هي التي يجب أن يكون الصوت فيها مفهوماً و واضحاً ونقياً من الصدى والتشويش الناتج من التداخلات الموجية.

يصل إلى المصلي صوت الإمام الطبيعي الذي يخرج من فمه بطيفه كاملاً غير منقوص، أو يصله الصوت المنقول عبر الميكروفون ومكبرات الصوت ويختلف قليلاً عن الصوت الطبيعي وذلك لعجز الأجهزة الألكترونية على نقل وتضخيم الصوت بأمانة كاملة ولكن بأمانة فائقة. وإذا كان هذا الأمر يهم أهل الموسيقى والغناء فإن أهميته أقل بالنسبة إلى الأئمة والخطباء.

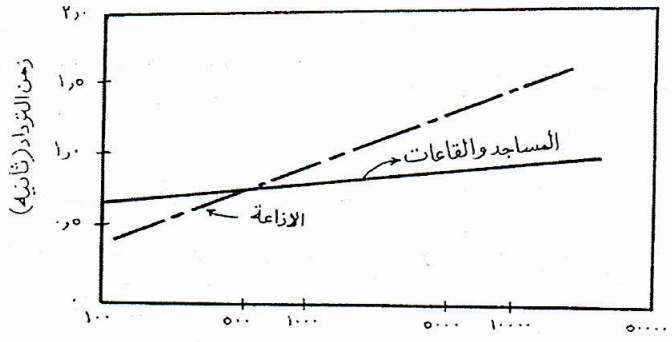
أما إذا وصل الصوتان إلى المصلي فيجب أن تكون الفترة الزمنية بينهما أقل من ٣٠ ملي ثانية وإلا شعرت الأذن بوجود نوع من الصدى.

ومن ناحية أخرى، فإن نوعية التصميم الجيد للفراغات الداخلية يعتمد أيضاً على الزمن الترادي. والزمن الترادي هو مصطلح يتفق مع خصائص أذن الإنسان، وقد تم تعريفه على أنه الزمن اللازم لانخفاض مستوى الصوت بمقدار ٦٠ ديسبل (شكل ٥). ومن المعلوم أن زيادة الزمن الترادي يؤدي إلى اختلاط حروف الكلام وبالتالي فقدان مفهوميته، بيد أن قصر الزمن الترادي يؤدي إلى كتمان الصوت وبالتالي فقدان نصوعه ووضوحه. لذلك كانت هناك ضرورة لمعرفة الزمن الترادي المفضل لكل فراغ معماري حسب وظيفته.

أما بالنسبة إلى المساجد فإنني أرى أن الزمن الترادي المناسب يقارب الزمن الترادي للقاعات[٣، ص ٤٧] (شكل ٦) ويعتمد على حجم الفراغ ووظيفته، ولتحقيق النوعية الجيدة للصوتيات في الفراغات المعمارية على المصمم تحقيق الزمن الترادي المفضل. ويتم ذلك بالتحكم في حجم الفراغ ومساحة أسطحه الداخلية وحسن اختيار موادها لامتصاص الصوت في جميع الترددات ومن ثم تطبيق القواعد الرياضية المعروفة مثل قاعدة سابين أو غيرها.



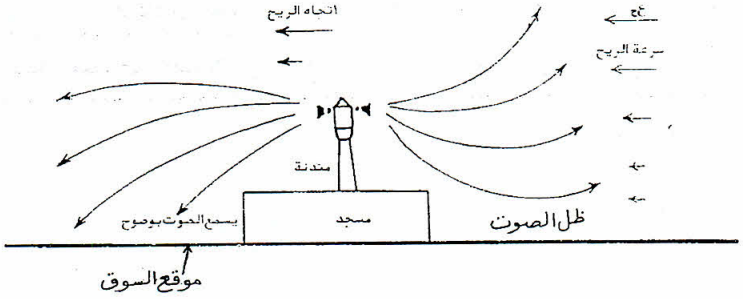
شكل ٥: نمو الصوت وتضاؤله وقياس زمن التردد.



شكل ٦: علاقة زمن الترداد بكل من حجم الفراغ ووظيفته.

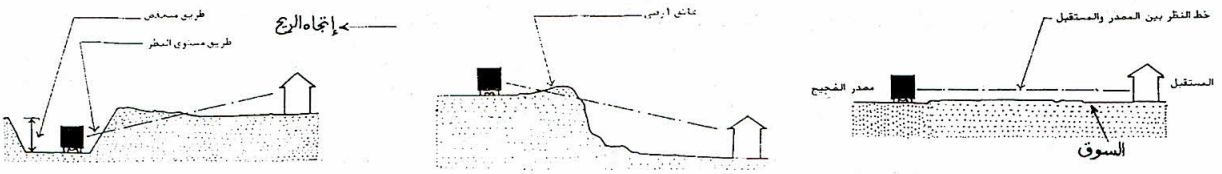
تخفيض الضجيج أو الضوضاء

يعرف الضجيج بأنه مجموع الأصوات الغير مرغوب فيها، أي مجموع الأصوات في أي فراغ معماري عدا الصوت الأصلي. وللضجيج مصدران: مصدر خارجي وآخر داخلي، فالمصدر الخارجي هو الضجيج المحمول في الهواء من خارج المسجد حيث الأسواق والمباني المجاورة والمرور. ويتم تقليل هذا النوع من الضجيج بحسن اختيار موقع المسجد ليكون المسجد بعيدا عن مصادر الضجيج المؤذية. مع ملاحظة اتجاه الرياح السائدة ليكون اتجاهها من المئذنة إلى السوق. وذلك لتوصيل الآذان إلى من في السوق، وفي نفس الوقت تقليل ضجيج السوق من الوصول إلى المسجد لوقوعه في منطقة ظل الصوت[١٧٨،١] (شكل ٧).



شكل ٧: تركيب مكبرات الصوت في الأماكن العالية.

ومن ناحية أخرى يجب الاستفادة من عناصر البيئة المختلفة كاختلاف المناسيب ليكون مستوى ارتفاع المسجد أعلى من السوق ومن الطريق أيضا مما يساعد على وصول الآذان إلى أكبر مساحة ممكنة فضلا عن رؤية المسجد بسهولة (شكل ٨). ونؤكد أيضا حسن تخطيط المناطق المجاورة للمسجد وتزويدها بالمنتزهات والأشجار وكذلك العناية باختيار المواد المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني لتكون ماصة للصوت أو خشنة تشتت الأمواج الصوتية، وكل ذلك يقلل الضجيج الخارجي.



شكل ٨: تأثير المناسيب على الضجيج.

أما مصادر الضجيج داخل المسجد فهي كثيرة أيضا أهمها الضجيج الناتج عن أجهزة التكييف وغيرها ويتم تخفيض هذا النوع من الضجيج عادة من مصدره وإعاقة مساره لمنع انتقاله فضلا عن العناية بالصيانة الدائمة.

هذا وقد حرص الإسلام على منع الضجيج الناتج من الإنسان. فقد منعت تعاليم الإسلام البيع والشراء أثناء الصلاة ولاسيما صلاة الجمعة ﴿يا أيها الذين آمنوا إذا نودي للصلاة من يوم الجمعة فاسعوا إلى ذكر الله وذروا البيع﴾. [الجمعة، آية ٩]

وأيضا في داخل المسجد منع الإسلام البيع والشراء، "فقد نهى رسول الله ﷺ عن الشراء والبيع في المسجد، وأن تنشد فيه ضالة، أو ينشد فيه شعرا " رواه أبو داود والترمذي.

كما أمرنا الله بالاستماع والإنصات عند سماع القرآن ﴿وإذا قرئ القرآن فاستمعوا له وأنصتوا لعلكم ترحمون﴾. [الأعراف، آية ٢٠٤]

كل ذلك يؤكد ضرورة وجود الجو الهادئ في المساجد مما يساعد على خشوع المصلين. لذلك أرى أن يكون منسوب الضجيج في المساجد منخفضا وفي الحدود المسموح بها عالميا لغرف الاجتماعات وقاعات المحاضرات والتي حددتها الأيزو(ISO) بمنحنيات معيار الضجيج (Noise Rating NR)، لتكون أقل من ٢٥ وكذلك منسوب الضجيج الموزون بأقل من ٣٠ ديسبل (30dB). [١، ص ٢٥٩] هذا وقد صدر عن الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس المواصفة رقم ٣٨٢ والخاصة بالضوضاء وقياسها. [٤]

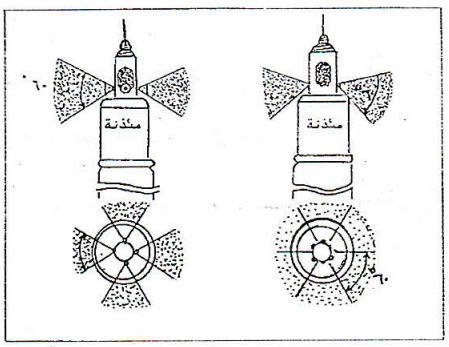
الأسباب الهندسية في تصميم الصوتيات في المساجـــد

اختيار الأبعاد المفضلة للفراغات المعمارية في المساجد

من أهم الاعتبارات الأساسية عند اختيار أبعاد الفراغات الداخلية هو تجنـــب الرنـــين والموجـــات الواقفـــة والـــتي تظـــهر عادة عند وجود الحوائط المتوازية والعاكسة للصوت. ويحدث الرنين عندما تتطـــابق المســـافة بـــين الحوائـــط مـــع طـــول الموجة الصوتية أو مضاعفاتها وينتج عن ذلك تشويش للصوت. الأمر الـــذي يؤكـــد دراســـة كـــل فـــراغ علـــى حـــده ودراسة أبعاده والاستفادة باستخدام الحاسوب في تحديد الأنماط المحوريـــة عنـــد التصميـــم الصـــوتي[٥، ص ٥٨] للحصـــول على الأبعاد المفضلـــة.

تجنب الصدى والتجمعات الصوتية تحت القباب

يظهر الصدى في الفراغات الواسعة نتيجة الانعكاسات الصوتية المتـــأخرة. أمـــا في الفراغـــات الصغـــيرة نســـبيا فتظـــهر الأصداء القريبة فتشعر بها الأذن كامتداد للصوت الأصلي مما يسبب عدم وضـــوح الكـــلام. ويظـــهر الصـــدى عـــادة إذا كانت المسافة بين وصول الصوت المباشر والصوت المرتد إلى المستمع أكثر مـــن ٢٧ مـــترا ويتبـــع ذلـــك فـــترة زمنيـــة حوالي ٥٠ ملي ثانية أو أكثر. يجب مراعاة ذلك عـــند تثبيت مكـــبرات الصـــوت في الأمـــاكن العاليـــة مثـــل المـــآذن. فيجب توجيهها إلى الأرض ليغطى منحنى اتجاهيتها المنطقة المطلـــوب تغطيتـــها مـــع تجنـــب توجيهـــها نحـــو الحوائـــط المجاورة، وذلك لتجنب حدوث الصدى. كما يجب ملاحظة أن تكـــون المكـــبرات في مســـتوى واحـــد تجنبـــا لتداخـــل الصوت (شـــكل ٩).



شكل ٩: استخدام ستة مكبرات للصوت لتغطية المساحة حول المئذنة. (اتجاه مكبرات الصوت إلى الأسفل)

أما إذا كانت المسافة بين الصوت المباشر والصوت المرتد من ١٢ إلى ٢٥ مترا فتســـمع الأصـــداء القريبـــة والـــتي تظـــهر عادة من الحوائط المتعامدة ولاسيما عند الأركان ويمكن تجنبـــها باســـتخدام المـــواد الممتصـــة والمشـــتتة للصـــوت. [٦، ص ١١٦] أما الأسطح المقعرة مثل القباب، التي تمثل عنصرا أساسيا في المســـاجد – فتســـبب تجمعـــا للصـــوت الأمـــر الـــذي يكون فيه الصدى عاليا وأعلى من الصوت الأصلي مما يسبب تشويشـــا كـــبيرا. وقـــد يظـــهر الصـــدى أيضـــا نتيجـــة زحف الموجات الصوتية على سطح القبة الداخلي فتصل متأخرة عن الصـــوت الأصلـــي. ولتـــلافي ذلـــك نؤكـــد أهميـــة

استخدام السطوح ذات الامتصاص العالي للصوت وأيضاً السطوح الخشنة والناشرة التي تشتت الأمواج الصوتية فتضعفها مع استخدام الزخارف والكتابة البارزة لإظهار معالم القباب.

تجنب ظل الصوت

في عالم الإضاءة تظهر مناطق الظل عند اعتراض حاجز لمصدر الضوء، وكذلك الحال في عالم الصوتيات تظهر مناطق ظل الصوت عند اعتراض حاجز للأشعة الصوتية. يظهر ذلك واضحاً في الشرفات وخلف الجدران والأعمدة والأماكن النائية. ويجب على المصمم التعرف على هذه المناطق وذلك بدراسة سلوك الأشعة الصوتية ومن ثم تزويد هذه المناطق بمكبرات صوت مساعدة.

توصيل صوت الإمام الطبيعي إلى المصلين

يجب الاهتمام بتوصيل الصوت الطبيعي المباشر والمنعكس إلى أكبر عدد ممكن من المصلين. ففي حالة الصوت المباشر فإن الارتفاع بمستوى المتحدث يزيد من الاستفادة من الصوت المباشر وبالتالي فعند اعتلاء الخطيب المنبر فإن الصوت المباشر يصل إلى عدد أكبر من المصلين فضلاً عن تحسين الرؤية. الأمر الذي جعل المنبر عنصراً أساسياً في أثاث المسجد والذي تفنن في تصميمه الفنانون والصناع على مرّ العصور.

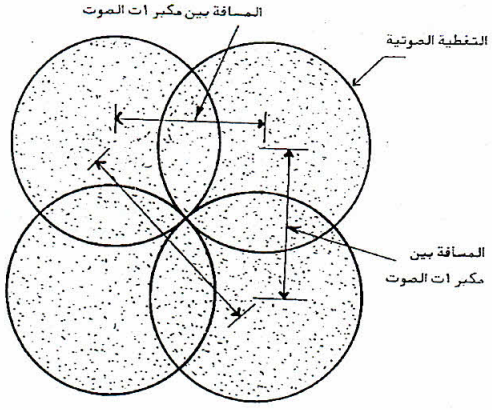
ومن ناحية أخرى فإن توصيل صوت الإمام الطبيعي إلى المصلين عن طريق الانعكاس كان له دور كبير في تصميم المحراب الذي يعكس الجزء الأمامي من منحنى اتجاهية صوت الإمام إلى الخلف مدعماً الصوت الأصلي. لذلك يعتبر المحراب عنصراً أساسياً أيضاً في عمارة المساجد بأشكاله المتعددة وزخارفه الجميلة، ويعطي المحراب الدلالة على اتجاه القبلة فضلاً عن كونه مدعماً لصوت الإمام الطبيعي.

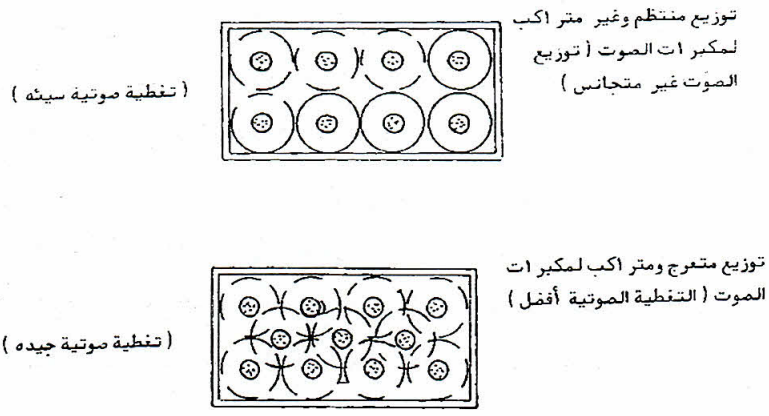
وقد يستفيد المصمم كذلك من العواكس المتتالية لتوصيل الصوت الطبيعي إلى الفراغات البعيدة في المسجد. وبعد الانتهاء من تحديد العواكس الصوتية يجب أن تكون بقية الأسطح الداخلية من حوائط وأسقف وأرضيات من مواد ماصة للصوت أو مشتتة له.

توصيل الصوت إلى المصلين عبر مكبرات الصوت

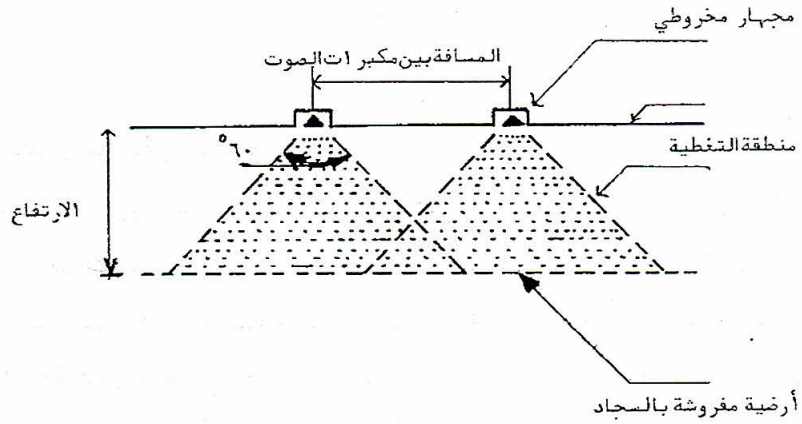
في معظم الأحيان تكون هناك ضرورة لتوصيل الصوت إلى أماكن بعيدة وبمستويات عالية الجهارة الأمر الذي يؤكد ضرورة استخدام مكبرات الصوت ذات الكفاءة العالية والأمانة الفائقة التي تحقق باستخدام مجهار الترددات المنخفضة (ووفر) ومجهار الترددات العالية (تويتر) بالإضافة إلى الدوائر الالكترونية عالية الكفاءة والأداء. وللحصول على الاتزان الالكتروني والصوتي الجيد يجب تجنب التغذية الخلفية الموجبة التي تظهر عندما يكون مصدر الصوت (مثل الميكروفون) مقابلاً لمكبرات الصوت. وفي المساجد يجب اختيار الأسلوب المناسب لتوزيع مكبرات الصوت والذي يعتمد على الطريقة المركزية وذلك بوضع مكبرات صوت ذات قدرات عالية فوق مصدر الصوت أو وضع مكبرات صوت ذات قدرات صغيرة وتوزيعها في الفراغ المعماري توزيعاً عادلاً فوق المصلين

ومتجهة إلى أسفل ليصل صوت مكـــبرات الصـــوت إلى المصلـــين في الحـــالتين بـــالطريق المباشـــر لتجنـــب حـــدوث الصدى.[٦،ص ٣٥٦] (شـــكل ١٠).





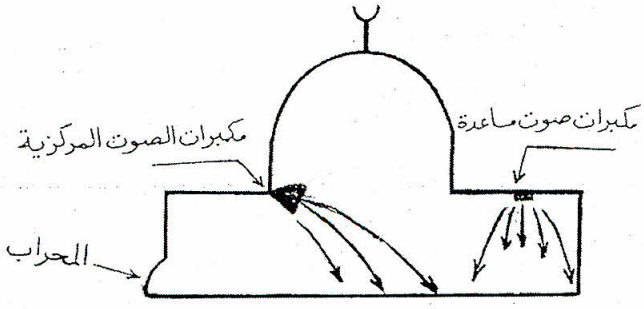
شكل ١٠ أ: كيفية توزيع مكبرات الصوت في الفراغ الداخلي.



شكل ١٠ ب: توزيع مكبرات الصوت المخروطية.

تحقيق التكامل بين الصوت الطبيعي ومكبرات الصوت

يتم ذلك بدراسة سلوك الصوت ومساراته في انتقاله ووصوله إلى المصلين بوضوح. وبالتالي تحديد الأماكن التي تتمتع بالصوت الطبيعي المباشر والمنعكس والأماكن الأخرى التي يصل إليها الصوت المباشر عن طريق مكبرات الصوت وأيضاً الأماكن التي يصل إليها الصوت عن طريق مكبرات الصوت المساعدة (شكل ١١). كما يجب



شكل ١١: عند استخدام مكبرات الصوت المركزية، ربما يكون من الضروري استخدام مكبرات صوت مساعدة للأماكن البعيدة عن وصول صوت مكبرات الصوت المركزية.

تحديد الأماكن التي يصل إليها الصوت من أكثر من مصدر والتأكد من أن الفترات الزمنية بينها لا تزيد عن ٢٠ملي ثانية لضمان نوعية الصوت الجيد.

التصميم الداخلي للوصول إلى الزمن الترددي المناسب

أهمية دراسة الجهارة الصوتية والتأكد بأنها مناسبة لأذن الإنسان وأن الطاقة الصوتية موزعة توزيعاً منتظماً في الفراغ الداخلي والذي يتحقق عندما يكون الصوت ممزوجاً حيث يغلب الحقل الترددي وبالتالي يمكن تطبيق قاعدة سابين ومن الممكن الاستفادة من برامج الحاسوب.[٧]

وبمعلومية حجم الفراغ يتم تحديد الزمن الترددي المفضل باستخدام منحنى شدة الصوت (شكل ٥). وباستخدام قاعدة سابين يتم معرفة امتصاص فراغات المسجد المختلفة بالسابين المتري (متر^{٢} سابين). عندئذ يقوم المصمم بتعديل مكونات الفراغات الداخلية وتزويدها بالمواد الممتصة للصوت لجميع الترددات (الخشب للترددات المنخفضة والأقمشة والسجاد للترددات العالية) وتوزيعها بلمسات فنية وجمالية على جميع الأسطح الداخلية بحيث يتحقق زمن الترداد المطلوب.

المراجع

[١] عبيد ، محمد عبد الفتاح، *أسس تصميم صوتيات العمارة*. الرياض، مطابع جامعة الملك سعود، ١٩٨٨.

[٢] Moore, J.E. *Design for Good Hcoustics*. Architecturol Press, London, 1967.

[٣] Ginn, K. B. *Architectural Acoustics.* Bruel and Kjaer, Denmark, 1978.

[٤] الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، مواصفة رقم ١٩٨٣/٣٨٢، *دليل المواصفات القياسية السعودية الخاصة بقياس الضوضاء*. السعودية ١٤٠٣/٧/٧.

[٥] Everest, A. *Acoustic Techniques for Home and Studios*. Tab Books No. 646, Blue Ridye PA. 1973.

[٦] Egan, D. *Architectural Acoustics.* McGrow Hill, N.Y. 1988.

[٧] Obeid, M. A. *Design of Auditorium Using Personal Computer for Good Acoustics Performance*, Final Research Report No. E02/13/18, Research Center, College of Engineering, KSU, June 1997.

Engineering Features in Mosques Acoustical Design

Mohammad Bin AbdulFatah Obeid

Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, King Saud University
Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract: The aim of this paper is to underline engineering features in successful acoustical designs in mosques. This depends on the following:

Firstly, achieving auditory comfort, both quantity and quality wise. As far as quality is concerned, the sound must reach the worshippers at a reasonable pitch, and it must be clear and comprehensible from a quality point of view.

Secondly, minimizing internal and external noise levels.

Finally, clarifying engineering methods that permit achieving good acoustical quality in mosques in general, and in the Two Holy Mosques in particular.