

اختيار الأبعاد المفضلة للقاعات الكلامية من الأساليب المعمارية للوصول إلى التصميم الصوتي
المثالي⁺

SELECTION OF FAVORITE AUDITORIUM HALLS DIMENSIONS ACCORDING TO THE ARCHITECTURAL STYLES TO REACH THE IDEAL AUDIO DESIGN

نداء نعمان مجيد *

المستخلص :

إن تحقيق عملية الترابط بين التصميم الهندسي المعماري والتصميم الصوتي لعناصر القاعة هو الأساس لغرض الوصول إلى الأداء الصوتي الأمثل. ومن هنا تظهر أهمية التصميمات الصوتية بداية من اختيار أبعاد الفراغات المعمارية ، وانتهاء باختيار الفرش الضرورية لها لتحقيق الصوت الجيد. وقد ركز البحث على أهم الاعتبارات الأساسية عند اختيار ابعاد القاعة واجريت ثلاثة اختبارات لثلاث قاعات موجودة في المعهد التقني /الانبار شيدت حديثاً وبابعاد مختلفة (الطول العرض الارتفاع) وتحديد الترددات المزعجة من منات الترددات الاخرى الناتجة من تعدد موجات انماط الرنين المختلفة (المحورية ، المماسية ، المائلة) والتي بدورها تجعل القاعة غير كفوءة صوتياً ، ومن ثم طريقة معالجتها ان وجدت للوصول الى كفاءة صوتية جيدة في القاعة .

ويهدف هذا البحث التوصل الى طريقة متواضعة وبسيطة للحصول على كفاءة اداء صوتي من خلال التناسب باختيار ابعاد القاعة منعاً لحدوث ظاهرة التلويين الصوتي.
كلمات رئيسية : قاعة ، كلامية ، تصميم ، صوت ، أبعاد

Abstract:

The realization of the connecting process between engineering architectural design and acoustic design for full elements is the basic to reach the optimum acoustic performance .The importance of acoustic design begin from selecting dimensions of architectural spaces and up to selecting appropriate carpeting to achieve a good sound. The research focused on about the important basic factors at the selection of hall dimensions. Three tests when conducted for three halls in Al Anbar technical institute newly constructed with different dimensions (length, width and height) and determination of the noising frequencies from hundreds of frequencies resulted variety of waves of resonance (axial, tangential and inclined) which make hall inefficient acoustically, then fixing it if found to reach a good efficient acoustic of the hall. This research aim is to find a simple way to get an efficient acoustic performance through proportionality of selecting dimensions for the hall to reduce or prevent that sound coloring phenomenon.

⁺ تاريخ استلام البحث ٢٠١١/٣/٢٠ ، تاريخ قبول النشر ٢٠١٢/١/١٠ .

* مدرس /المعهد التقني /الانبار

المقدمة:

إن الهدف من التصميم الصوتي للقاعات هو تحقيق الارتياح السمعي كماً ونوعاً ، فمن حيث الكمية يجب أن يصل الصوت إلى جميع المستمعين داخل القاعة بعلو معقول تقبله الإذن أي ليس بالخافت ولا بالجهور. أما من حيث النوعية فيكون الصوت مفهوماً وخالياً من التشويش وإذا تعرضت القاعة إلى أطيايف صوتية مثل الكلام يتسبب عنها موجات رنينية واقفة تعتمد على أبعاد القاعة ، هذه الموجات تسبب بدورها تشويهاً للصوت الأصلي ويزداد هذا التشويش بترام الترددات الرنينية وبعد هذه الترددات عن بعضها بأكثر من ٢٠ هرتز. كما يغلب حدوثها في الفراغات المعمارية (القاعات) والتي تكون النسب بين ارتفاعها وعرضها وطولها نسبة متضاعفة ولحساب العلاقة بين أبعاد القاعة والموجات الصوتية والتعرف على الرنين ومكوناته وكيفية تجنبه علينا أن نتناول الاهتزازات القسرية والرنين والتلوين الصوتي .

الاهتزازات القسرية:

تحدث الاهتزازات القسرية عندما يختلف تردد النبضات المستخدمة عن التردد الطبيعي أو المميز للجسم المستجيب ، وان كان واضحاً إلا أنه قصير البقاء وإذا كان تردد النبضات المؤثرة مساوياً تماماً للتردد الطبيعي للجسم المستجيب فيحدث الرنين.[١]

الرنين (resonance) :

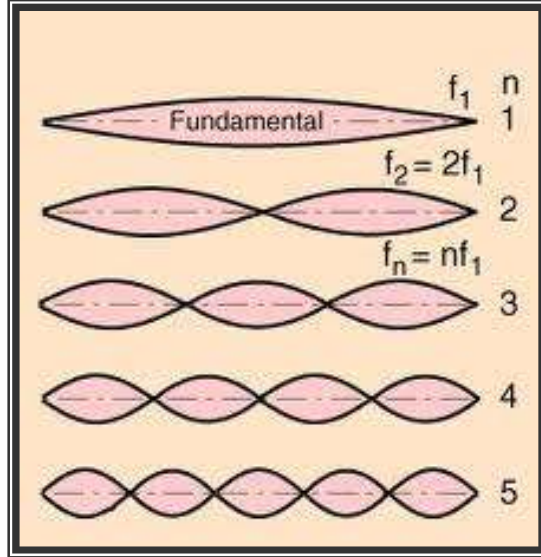
إن الأمواج الصوتية المنبعثة من مصدر صوتي داخل القاعة السمعية على شكل متوازي مستطيلات تتكون من سلسلة عديدة من الترددات السمعية ، والتي تصطم بجدران القاعة وسقفها وأرضيتها وهذه بدورها تنذب متأثرة بالأمواج التي اصطدمت بها . فتعتبر القاعة رنينية معقدة (complex resonator) وتولد الأمواج الصوتية المصطدمة بالسطوح الداخلية للقاعة أمواجاً واقفة قسماً منها يحاذي المحاور المتعامدة الثلاثة في القاعة.[٢]

التلوين الصوتي (coloration of sound) :

وهي ظاهرة تؤثر على وضوح الكلام خاصة في سماع بعض الترددات السمعية ، وتولد بسبب الفرق الزمني بين سماع الأمواج المباشرة من مصدر الصوت والأمواج المنعكسة المبكرة (early reflection) من جدران القاعة أو سقفها ، وتتأثر المقاعد الأمامية في القاعة بما يسمى بالفجوة الزمنية (initial time delay gap) بين الأمواج المباشرة إلى السامع والمنعكسة إليه من جدران القاعة أو من سقفها ونقل هذه الفجوة كلما ابتعدنا عن مقدمة القاعة.[٣]

تمثيل الموجات الواقفة في أعمدة الهواء :

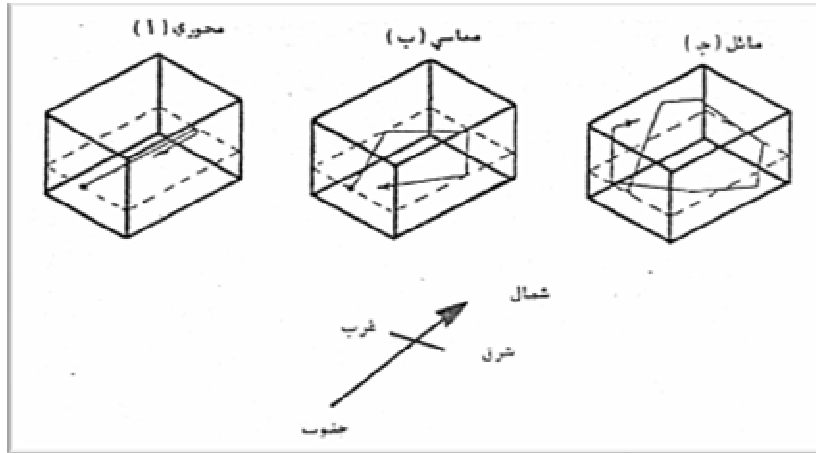
إن الموجات الواقفة تظهر وكما موضح بالشكل رقم (١) بحيث يكون طول الأنبوب مساوياً لنصف طول موجة الصوت الرئيسية (fundamental) ، والمسماة بالموجة التوافقية الأولى (first harmonic) أما الموجة التوافقية الثانية فإن طول الأنبوب يكون مساوياً لطول موجة الصوت وهكذا بالنسبة لموجات الصوت التوافقية الأخرى . وسيتم حساب التردد في الجانب العملي.[٤]



شكل رقم (١) يوضح تمثيل الموجات الواقفة في انبوب مغلق من الطرفين . [٤]

الموجات الواقفة في الفراغات الداخلية (القاعات) في المباني:

تظهر ظاهرة الرنين والموجات الواقفة في القاعات بحيث تكون هذه الظاهرة مزعجة من ناحية السمع ، وذلك لأنها تقوي الصوت في ترددات معينة دون ترددات أخرى الأمر الذي يظهر الصوت بصورة مشوهة تختلف كلياً عن الصوت الأصلي ، ففي الفراغ الداخلي الموضح في الشكل رقم (٢) فإن مصدر الصوت موضوع عند الحائط الجنوبي ومن الممكن أن يتسبب هذا المصدر عن ثلاثة أنماط من الموجات الواقفة . [٥]



شكل رقم (٢) يوضح الموجات الواقفة في القاعة أ- النمط المحوري ، ب- النمط المماسي ، ج- النمط المائل

فإذا اعتبرنا احد اركان القاعة نقطة الاصل (0) فالمقصود بالامواج المحورية (axial waves) وهي الامواج المتولدة باتجاه سطوح القاعة (Iz , Iy , Ix) بين كل سطحين متوازيين في القاعة ، ولها ترددات رنينية عدة. الامواج المماسية (Tangential waves) وهي الامواج المتولدة باتجاه سطوح القاعة (YZ,ZX,XY).

الأمواج المائلة (Oblique waves) وهي الأمواج المائلة باتجاه قطر القاعة .

ان هذه الامواج ذات الترددات الرنينية المختلفة والموزعة في القاعة ذات قيم مختلفة وسيكون اضمحلال كل منها مختلف ايضاً ، وتسمى هذه الترددات بالترددات الطبيعية الاتجاهية (Normal Modes) أو تسمى احياناً (Eigen frequencies) . [٦]

ومن الناحية العملية فان نمط الموجات المحورية (axial waves) يعد أهم هذه الموجات ولاسيما إذا كانت جدران الغرف والقاعات متوسطة الامتصاص الصوتي ، ومن هنا تظهر أهمية معرفة تأثير ذلك على نوعية الصوت في القاعات ، الأمر الذي يتطلب معرفة الترددات المزعجة من مئات الترددات الأخرى الناتجة من تعدد موجات أنماط الرنين المختلفة مما يسبب ما يعرف بالتلوين الصوتي . [٧]

ومن ناحية أخرى تظهر أهمية معرفة اقل تردد ممكن يفصل بين الموجات الرنينية بحيث لا يؤثر على الارتياح السمعي ولتحديد ذلك تم إجراء التجارب والتحليلات الرياضية لمعرفة ذلك ، وتم التوصل انه إذا كان التردد الذي يفصل بين الموجات الرنينية أكثر من ٢٠ هرتز تسبب إزعاجا للصوت ويجب معالجتها ، أما إذا كان هذا الفاصل الترددي أقل من ٢٠ هرتز فإن ذلك لا يؤثر على الارتياح السمعي . [٨]

اختيار الأبعاد المفضلة للقاعات :

إذا تعرضت الفراغات المعمارية الى اطياف صوتية مثل الكلام يتسبب عنها ظهور موجات رنينية واقفة تعتمد على ابعاد الفراغ المعماري . هذه الموجات تسبب تشويهاً للصوت الاصلي ويزداد هذا التشوه بتراكم الترددات الرنينية وبعد هذه الترددات عن بعضها بأكثر من ٢٠ هرتز، كما يغلب حدوثها في الفراغات المعمارية التي تكون النسب بين ارتفاعها وعرضها وطولها نسباً متضاعفة .

الجانب العملي :

يمكن التعبير عن التردد بالعلاقة التالية وكما ذكرت في تمثيل الموجات الواقفة في اعمدة الهواء [٥]:

$$f = \frac{c}{2L}$$

وبالتالي فان التردد الرئيسي = $t_1 = (ع \ ١ \ ٢ف)$

والصيغة العامة للتردد الرنيني تر ، هي :

التردد الرنيني (هرتز) = تر = (ن . ع) (ع ١ ٢ف

حيث ان :

تر = التردد الرنيني (هرتز)

ع = سرعة الصوت م / ثانية أو قدم / ثانية = ٣٤٠ م/ثا

ل = طول الموجة متر أو قدم

ف = طول الأنبوب = المسافة بين الجدارين بالمتر أو القدم .

ن = تقبل الاعداد ١ ، ٢ ، ٣ ، ٠ . ٠ . الخ .

وبالتالي فان :

$t_1 =$ التردد الرئيسي = (ع ١ ٢ف) هرتز .

$$ت٢ = ٢١ع٢ = ٢١ف٢ = ٢١ه٢$$

$$ت٣ = ٢١ع٣ = ٢١ف٣ = ٢١ه٣$$

وهكذا لبقية الترددات التوافقية فأن حجم القاعة يضم عدة امواج رنينية مختلفة في تردداتها ومختلفة بطريقة انتشارها في القاعة وان توزيع الطاقة الصوتية لا يكون منتظماً داخل القاعة اذا كانت ابعاد القاعة متساوية بسبب تداخل الامواج المنبعثة من مصدر الصوت مع الامواج المنعكسة من سطوح القاعة فتكون الامواج الرنينية متفاوتة في ازمان اضمحلالها وبالاتجاهات المختلفة كما لايجوز تساوي أي بعدين من ابعادها ولنفس السبب السابق . [٩]

سنقوم بحساب الترددات الرنينية وحسب ما ذكر في المعادلات أعلاه لمعرفة التردد الذي يفصل بين الموجات الرنينية ان كان اكثر من ٢٠ هرتز أو أقل كما تم ذكره في الجانب النظري وللقاعات الثلاث المنتخبة لايجاد الأفضل من ناحية الابعاد المستخدمة لتحقيق كفاءة صوتية جيدة .

القاعة الاولى : (الطول = ٨,٥ م ، العرض = ٤,٨٦ م ، الارتفاع = ٣,٠٤ م)

الجدول رقم (١) يوضح انماط الرنين المحورية للقاعة رقم (١)

الترددات المصاحبة للمسافة بين كل حائطين (ف)			التردد الرنيني
الارتفاع ف = ٣,٠٤	العرض ف = ٤,٨٦	الطول ف = ٨,٥	
٥٦	٣٥	٢٠	ت١ = ٢١ع١ف
١١٢	٧٠	٤٠	ت٢ = ٢١ع٢ف
١٦٨	١٠٥	٦٠	ت٣ = ٢١ع٣ف
٢٢٤	١٤٠	٨٠	ت٤ = ٢١ع٤ف
٢٨٠	١٧٥	١٠٠	ت٥ = ٢١ع٥ف
	٢١٠	١٢٠	ت٦ = ٢١ع٦ف
	٢٤٥	١٤٠	ت٧ = ٢١ع٧ف
	٢٨٠	١٦٠	ت٨ = ٢١ع٨ف
	٣١٥	١٨٠	ت٩ = ٢١ع٩ف
		٢٠٠	ت١٠ = ٢١ع١٠ف
		٢٢٠	ت١١ = ٢١ع١١ف
		٢٤٠	ت١٢ = ٢١ع١٢ف
		٢٦٠	ت١٣ = ٢١ع١٣ف
		٢٨٠	ت١٤ = ٢١ع١٤ف
		٣٠٠	ت١٥ = ٢١ع١٥ف

جدول رقم (٢) يوضح الترتيب التصاعدي لرنين الترددات المحورية والفرق بينهم للقاعة رقم (١)

التردد	الفرق	التردد	الفرق	التردد	الفرق
٢٠		٢٠		٢٤٠	
	١٥		١٤٠	٥	
٣٥		٠		٢٤٥	
	١٥		١٤٠	١٥	
٤٠		٢٠		٢٦٠	
	١٦		١٦٠	٢٠	
٥٦		٨		٢٨٠	
	٤		١٦٨	٠	
٦٠		٧		٢٨٠	
	١٠		١٧٥	٠	
٧٠		٥		٢٨٠	
	١٠		١٨٠	٢٠	
٨٠		٢٠		٣٠٠	
	٢٠		٢٠٠	١٥	
١٠٠		١٠		٣١٥	
	٥		٢١٠		
١٠٥		١٠			
	٧		٢٢٠		
١١٢		٤			
	٨		٢٢٤		
١٢٠		١٦			

القاعة الثانية : (الطول = ٤,٨٨ م ، العرض = ٤,٥٧ م ، الارتفاع = ٣,٠٥ م)

الجدول رقم (٣) يوضح أنماط الرنين المحورية للقاعة رقم (٢)

الارتفاع ف = ٣,٠٥	العرض ف = ٤,٥٧	الطول ف = ٤,٨٨	أنماط الرنين المحورية
٥٦	٣٧	٣٥	ت _١ = ع (٢ × ف)
١١٢	٧٤	٧٠	ت _٢ = ٢ ت _١
١٦٨	١١١	١٠٥	ت _٣ = ٣ ت _١
٢٢٤	١٤٨	١٤٠	ت _٤ = ٤ ت _١
٢٨٠	١٨٥	١٧٥	ت _٥ = ٥ ت _١
٣٣٦	٢٢٢	٢١٠	ت _٦ = ٦ ت _١
	٢٥٩	٢٤٥	ت _٧ = ٧ ت _١
	٢٩٦	٢٨٠	ت _٨ = ٨ ت _١

جدول رقم (٤) يوضح الترتيب التصاعدي لرنين الترددات المحورية والفرق بينهم للقاعة رقم (٢)

التردد	الفرق	التردد	الفرق	التردد	الفرق
٣٥	٢	١٢٠	٢	١٢٠	٢
٣٧	٢٠	١٤٠	٣	١٤٠	٣
٤٠	٨	١٤٨	١٦	١٤٨	١٦
٥٦	١٢	١٦٠	١٤	١٦٠	١٤
٧٠	٨	١٦٨	٤	١٦٨	٤
٧٤	٧	١٧٥	٦	١٧٥	٦
٨٠	١٠	١٨٥	٢٥	١٨٥	٢٥
١٠٥	١٥	٢٠٠	٦	٢٠٠	٦
١١١	١٠	٢١٠	١	٢١٠	١
١١٢	١٢	٢٢٢		٢٢٢	
	٣٣٦				

القاعة الثالثة : (الطول = ٩ م ، العرض = ٦,٣ م ، الارتفاع = ٣,٨٥ م)
الجدول رقم (٥) يوضح انماط الرنين المحورية للقاعة رقم (٣)

الارتفاع ف = ٣,٨٥	العرض ف = ٦,٣	الطول ف = ٩	أنماط الرنين المحورية
٤٤	٢٧	١٩	١ ت
٨٨	٥٤	٣٨	١ ت = ٢ ت
١٣٢	٨١	٥٧	١ ت = ٣ ت
١٧٦	١٠٨	٧٦	١ ت = ٤ ت
٢٢٠	١٣٥	٩٥	١ ت = ٥ ت
٢٦٤	١٦٢	١١٤	١ ت = ٦ ت
٣٠٨	١٨٩	١٣٣	١ ت = ٧ ت
	٢١٦	١٥٢	١ ت = ٨ ت
	٢٤٣	١٧١	١ ت = ٩ ت
	٢٧٠	١٩٠	١ ت = ١٠ ت
	٢٩٧	٢٠٩	١ ت = ١١ ت
		٢٢٨	١ ت = ١٢ ت
		٢٤٧	١ ت = ١٣ ت
		٢٦٦	١ ت = ١٤ ت
		٢٨٥	١ ت = ١٥ ت

جدول رقم (٦) يوضح الترتيب التصاعدي لرنين الترددات المحورية والفرق بينهم للقاعة رقم (٣)

التردد	الفرق	التردد	الفرق	التردد	الفرق
١٩		١٨		٢٢٠	
	٨		١٣٢		٨
٢٧		١		٢٢٨	
	١١		١٣٣		١٥
٣٨		٢		٢٤٣	
	٦		١٣٥		٤
٤٤		١٧		٢٤٧	
	١٠		١٥٢		١٧
٥٤		١٠		٢٦٤	
	٣		١٦٢		٢
٥٧		٩		٢٦٦	
	١٩		١٧١		٤
٧٦		٥		٢٧٠	
	١٥		١٧٦		١٥
٨١		١٣		٢٨٥	
	٧		١٨٩		١٢
٨٨		١		٢٩٧	
	٧		١٩٠		١١
٩٥		١٩		٣٠٨	
	١٣		٢٠٩		
١٠٨		١٧			
	٦		٢١٦		
١١٤		٤			

الاستنتاجات الخاصة بالقاعات :

بالنسبة للقاعة رقم (١) :

١. ليس هناك فواصل ترددية تزيد عن ٢٠ هرتز .
٢. التجمعات الرنينية تحدث عند الترددات التالية :

١٤٠ هرتز موجتان متجمعتان

٢٨٠ هرتز ثلاث موجات متجمعة.

٣. نلاحظ ايضاً ان ثمة ترددات اخرى ناتجة عن الموجات المماسية والموجات المنحرفة ولكن شدتها ضعيفة نسبياً ويمكن اهمالها . ولعلاج الامواج ذات التردد (٢٨٠، ١٤٠) هرتز فمن الممكن استخدام الواح امتصاص الصوت والمصممة لامتصاص هذه الترددات . ففي الترددات المنخفضة يمثل الخشب افضل المواد لامتصاص الصوت ، بينما يكون امتصاص الصوت للترددات العالية كبيراً في المواد المسامية مثل الستائر والسجاد والمفروشات.

بالنسبة للقاعة رقم (٢) :

وجود تراكم للترددات عند التردد ٢٨٠ هرتز كما يلاحظ ايضاً ان الفرق بين الترددات الرنينية والتي تزيد عن ٢٠ هرتز تقع بين :

الفرق بينهما = ٢٥ هرتز ٨٠ و ١٠٥ الترددين
الفرق بينهما = ٢١ هرتز ٢٥٩ و ٢٨٠ الترددين
الفرق بينهما = ٢٤ هرتز ٢٩٦ و ٣٢٠ الترددين

ونظراً لأن الفرق ٢٥ هرتز أعلى بقليل من ٢٠ هرتز وايضاً ان الترددات المقابلة ليست متراكبة . فربما لاتحدث مشاكل صوتية كبيرة . أما عند التردد ٢٨٠ هرتز والذي عنده ثلاث ترددات فضلاً عن ان الفرق الترددي بين هذا التردد والتردد السابق له ٢١ هرتز فقد يسبب نوعاً من انواع التلون الصوتي الذي تحسه الاذن ويشوه الصوت الاصيلي ولمعالجة ذلك يجب استخدام المواد التي تمتص هذه الترددات مثل الاسطح الماصة والمشفوقة.

بالنسبة للقاعة رقم (٣) :

بملاحظة الترتيب التصاعدي للترددات حتى التردد ١٠٨ هرتز نجد ان الترددات غير متراكبة كما ان الفرق بينها لايزيد عن ٢٠ هرتز .

لذلك فان ابعاد القاعة رقم (٣) مناسبة جداً ونسبة الطول إلى العرض إلى الارتفاع جيدة . أي ان القاعة رقم(٣) ذات كفاءة صوتية جيدة ولا تحتاج لمعالجة صوتية بالمقارنة مع القاعتين رقم (١) ورقم (٢) .

الاستنتاجات :

- (١) تجنب الحوائط المتوازية داخل القاعة لانها تولد ظاهرة الرنين
- (٢) تلافي تضخم احد الترددات دون الترددات الاخرى لانها تحدث تشوه بالصوت الاصيلي أي تراكم الترددات الرنينية والتي تنشأ من اختيار ابعاد القاعة بحيث تكون كفاءتها الصوتية غير جيدة.
- (٣) تلافي عند حساب الترددات المتولدة ان تتباعد الترددات المتراكبة عن الترددات المجاورة باكثر من ٢٠ هيرتز
- (٤) الترددات التي تعلق ٣٠ هيرتز تكون قريبة من بعضها فتندمج مع بعضها ولا تسبب ازعاجاً للصوت
- (٥) الترددات المنخفضة والتي تقل عن ٣٠ هيرتز تكون بعيدة عن بعضها نسبياً وبالتالي تظهر المشاكل الصوتية عند تجمع هذه الترددات الامر الذي يجب اخذه بنظر الاعتبار عند التصميم

التوصيات :

- ١- على المصمم المعماري الاستفادة من الحوائط المائلة والاركان الغير متعامدة لابعاد الموجات المرتردة ولتقليل الترددات الرنينية .
- ٢- عند تشييد قاعة يجب الابتعاد عن الشكل المنتظم لان انتشار الصوت في الشكل غير المنتظم سيكون احسن لمنعه تقوية الصوت في ترددات معينة دون الترددات الاخرى ، الامر الذي يظهر الصوت بصورة مشوشة.
- ٣- استخدام السطوح ذات الامتصاص الصوتي الجيد ومن الممكن استخدام السطوح التي لها قدرة كبيرة على تشتيت الموجات واضعافها.

المصادر :

1. Beranek, L. L.: *Concert Halls and Opera Houses – Music, Acoustics and Architecture* 2nd edition. Springer, New York, 2004.
2. D.Van Maercke , and J.Martin ,”The prediction of Echograms and Impulse within Epidaure software” *Journal of Applied Acoustics* .1993.
٣. كرجية، محمد منهل ، *محددات التصميم بالبيئة الصوتية للقاعات الكلامية سعة ٢٠٠-٤٠٠ مقعد، رسالة ماجستير قسم الهندسة المعمارية ، جامعة الموصل ٢٠٠٠.*
٤. عبيد ، محمد عبد الفتاح ، *اسس تصميم صوتيات العمارة، جامعة الملك سعود. الرياض، ١٩٩٨.*
5. Graham Naylor and Jens Holger Rindel, *Predicting Room Acoustical Behavior with ODEAN Computer Model* . New Orleans , 1992.
6. Madon,M.Jim,J,Jorge R.:*Architectural acoustics principles and Design*. Inc. New Jersey 1999.
7. Kuttruff, H.: *Acoustics An introduction* . Talyor & Francis e-Library Germany 2006.
8. Kuttruff, H.: *Room Acoustics*, 4th Edition. Spon Press, London 2000.
9. Trevor J. Cox: *Acoustic Absorbers and Diffusors. Theory, Design and Application*. Spon Press, London 2004.