

كفاءة الاداء الصوتي في قاعات المسارح

قاعة الثقافة في مدينة السليمانية حالة دراسية

اعداد المهندس المعماري

سوران مصطفى سليمان

تشرين الاول 2011

المقدمة

ان الهدف من تصميم القاعات هو مايتعلق بمشكلة وضوح الكلام ، بحيث نضمن ان السامع يستطيع التجاوب مع نبرات الصوت دون ان يحدث لها تشويه .

وبرغم من التوسع في استخدام الاجهزة والانظمة الصوتية الكهربائية في معظم القاعات الآن ، ألا ان ذلك لا يعفي المصمم من دراسة الخصائص الصوتية لهذه القاعات ، ومحاوله تصميمها بشكل جيد . ان الطريق الامثل في التصميم هو البدء بدراسة الغرض الذي أنشئت القاعة من أجله وفهم الخصائص الصوت في تلك القاعة ، ثم الانطلاق الى دراسة عناصر التصميم المعماري لتحقيق المتطلبات لتلك القاعة .

وفيما يتعلق بالمسارح ، وأحد أهم الامور هو تنظيم المقاعد أقل مايمكن ، ويفضل ان لا تزيد على 20 متر ، وكذلك يجب العناية بخطط النظر للمقاعد بحيث تكون الرؤيه واضحة .

ومن الامور المهمة عند تصميم المسارح الانتباه الى تغطية الارضية بالسجاد ، حيث يعتبر السجاد من المواد الجيدة الامتصاص للصوت ، وكذلك يؤدي استخدامها الى التخلص من الضجيج الحضور عند حركتهم داخل المسرح .

اما بالنسبة للقاعات الموسيقية حيث تتأثر المتطلبات الموسيقية التالية في مرحلة التصميم الصوتي وهي : ((الوضوحية ، جمهورية النغمة ،الموازنة ، التوليفة ، أخطاء غير واضحة مثل الصدى ، مستوى منخفض للصوت المتطفل)) .

فان الوضوحية تتعلق بالسماع الواضح لكل أداة الموسيقية ، وكذلك تتعلق أيضا بسماع مميز لكل نغمة موسيقية .

معنى الصوت

الصوت عبارة عن مجموعة من الذبذبات المركبة وهذه الذبذبات هي نتيجة للتغيرات التي تحدث في الضغط الجوي ابتداء من مصدر الصوت حتي ما يسمى بالرق أو طبلة الأذن . فعندما يتحدث الإنسان أو يعزف علي آلتة الموسيقية تهتز كمية الهواء الملاصقة للفم أو لمصدر الصوت اهتزازات تحدث تغيرا في الضغط الجوي - الذي ينتقل بالتالي (عن طريق التضغط والتخلخل) إلي مكان استقبال هذه الاهتزازات سواء كان ميكروفون المسجل أو أذن المستمع . لقد عبر المهندسون عن هذه الاهتزازات بطريقة المنحنيات الجيبية وسميه كل منحنى له شكل الموجه الجيبية واحد بالذبذبة حتي تسهل عملية حساب عدد الذبذبات ودراسة طبيعة الصوت من الناحية النظرية كل موجه جيبية تسمي ذبذبة (أو سيكل) ويلاحظ أن نصف الذبذبة يقع في الإتجاه الموجب والنصف الآخر فالإتجاه السالب كما أن للذبذبة حد أقصى لارتفاعها وحد أدني عند انخفاضها . ويتركب الصوت عادة من مجموعة من الذبذبات ذات أطوال موجة مختلفة وإرتفاعات مختلفة أيضا مما ينتج عنه تنوع في حده وغلظه وشدة الصوت حسب المصدر الصادر منه . لا تستطيع الأذن البشرية سماع الذبذبات المنخفضة التي تقل عن 15 ذبذبة/ ثانية ولا تستطيع سماع الذبذبات التي تزيد عن 20000 ذبذبة/ثانية ولهذا يمكن القول بأن كفاءة أجهزة الصوت قد تحددت حسب قدرتها على تسجيل وسماع تلك الذبذبات بين 15 ذبذبة , 20000 ذبذبه/ثانية وبحسب عدد الذبذبات علي أساس طول الموجه وسرعة الصوت . وبحسب أن سرعة الصوت ثابتة وهي 1120 قدم/ثانية أو 340 متر/ثانية إذن فيمكننا حساب طول الموجه كالاتي

$$\text{سرعة الصوت} = \text{طول الموجه} \times \text{عدد الذبذبات}$$

ونستنتج من ذلك أن الأصوات الغليظة يكون عدد ذبذباتها منخفض وطول موجاتها أطول من الذبذبات العالية في الأصوات الحاده . ولنضرب علي ذلك مثلا مشابها في الآلات الموسيقية فنجد أن آلات القانون أو البيانو بها أوتار طويلة وسميكة للأصوات ذات الطبقات الصوتية المنخفضة وتندرج هذه الأصوات وتقصر حتي تصبح رفيعة لإعطاء الأصوات الحادة ذات الذبذبات العالية . وعلي ذلك يمكن القول بأن الأحوال الصوتية عند الإنسان ليس من نوع واحد وفيها الغليظ وفيها الرفيع , ويستطيع الإنسان عن طريق كمية الهواء المار بالقصبه الهوائية وعن طريق العضلات الخاصة بالأحبال الصوتية التحكم في ذبذبات صوته

شدة الصوت

هى التعبير عن قوة الصوت أو ضعفه وهذا يتوقف على سعة الذبذبة الصوتية amplitude وعندما يكون الصوت قويا مثل صوت الطائرات والقنابل مثلا تكون سعة الذبذبة كبيرة وعما يكون الصوت خافتا مثل حفيف الأشجار تكون سعة ذبذبته صغيرة وتقاس شدة الصوت بوحدة الديسيبل (نسبة إلى العالم جراهام بل مخترع جهاز التليفون). و قد إتفق العلماء على أن تبدأ هذه الوحدة من الصفر عند ضغط جوى مقداره عشرون ميكروبار 20 MPa وهى أقل شدة صوت يستطيع الإنسان العادى سماعها . كما ان الأذن العادية للإنسان تستطيع تحمل شدة صوت حتى 120 ديسيبل وبعدها

إنتشار الصوت

عندما تهتز أوتار الألة الموسيقية ويصدر منها صوت النغمات , فإن هذه الإهتزازات تنتقل عبر الهواء (على شكل موجات من التضاضعات والتخلخلات) حول مصدر الصوت على شكل كرات تتسع تدريجيا الى الخارج - وكلما ابتعدت الموجة عن المصدر قلت شدتها تدريجيا الى أن تضمحل تماما وعندما تقابل هذه الموجات سطحا ما مثل حائط أو جبل أو خلافة , فإن جزء من هذا الصوت ينعكس (زاوية السقوط تساوى زاوية الإنعكاس) وجزءا آخر يمتص داخل المادة المصنوع منها الحائط ويتبقى جزء آخر ينفذ من هذا الحائط الى الجانب الآخر .

الأذن و حاسة السمع

تحدثنا عن الأذن البشرية وعدد الذبذبات التى يمكن للأذن التعرف عليها والإحساس بها وكذلك شدة الصوت أى قوة أو ضعف هذه الذبذبات . ولكن كيف نتعرف على هذه الأصوات (الذبذبات) باستخدام الأذن

تتركب الأذن من ثلاثة أجزاء رئيسية هى :

الأذن الخارجية - الأذن الوسطى - الأذن الداخلية

وتتكون الأذن الخارجية من صيوان الأذن الذى يجمع الموجات الصوتية ويدخلها إلى القناة السمعية حتى تصل إلى طبلة الأذن . وهذه الطبلة عبارة عن غشاء رقيق جدا يستطيع أن يهتز بفعل هذه الموجات الصوتية القادمة من خلال القناة السمعية . وعندما تهتز هذه الطبلة تهتز أيضا العظمت الثلاثة التى خلفها (أذن الأذن الوسطى) وهذه العظمت هى المطرقة , السنندان والركاب , إهتزازا ميكانيكيا مما

يجعل هذه الإهتزازات تؤثر على أطراف الأعصاب السمعية في الأذن الداخلية و داخل القوقعة السمعية في الأذن الوسطى يوجد بها سائل يتصل بقناة إستاكيوس وعندما يصاب الإنسان بالبرد وترتفع درجة حرارته فإننا نجد أنه لا يقوى على السمع الجيد نظراً لتأثر العظام الثلاثة في الأذن الوسطى بدرجة الحرارة فيتأثر إنتقال الموجات الصوتية من الأذن الخارجية الى الداخلية أى إلى الأعصاب السمعية . وهذه الأعصاب السمعية عبارة عن شعيرات رقيقة جداً تتأثر كل منها بذبذبة معينة ويوصلها الى مركز الإحساس في المخ لكي يقوم بالتعرف عليها والتصرف بناء على ماتحملة هذه الموجات الصوتية من إشارات دالة على الصوت الذى تسمعه الأذن

الانعكاس , التردد , الصدى

ان الهدف من دراسة صوتيات المباني هو تحسين عملية انتشار الصوت في كافة الاتجاهات و التخلص من الازعاج و الضجيج. لذلك لا بد من الانتباه الى العناصر المعمارية التي تشوه الصوت في المباني و من اهم هذه العناصر الفتحات و الابواب حيث تقلل العازلية الصوتية.

نحن في الحيز المغلق نتعامل مع الصوت المباشر و الصوت الغير المباشر او الصوت المنعكس , و الناتج عن انعكاس الصوت المباشر على سطوح القاعة و اذا كان الفرق الزمني بين وصول الصوتين الى اذن السامع اقل من 50 ميلي ثانية , فان الصوت غير المباشر يعتبر تقوية للصوت المباشر , اما اذا كان الفرق الزمني بين الصوتين اكثر من 50 ميلي ثانية فان السامع يسمع الصوت المباشر اولاً ثم الصوت غير المباشر ثانياً و نسمي هذه الظاهرة بالصدى.

فان اهم صفات الحيو المغلق هو ضاهرة تردد او ترجيع الصوت و من هنا يمكننا الحديث عن زمن التردد و الذي يعرف بانه الزمن اللازم للصوت حتى تقل شدته بمقدار 60 ديسبل عن الشدة الاصلية . فعند انقطاع مصدر الصوت فجأة فان الصوت المباشر يتلاشى مباشرة اى ان الزمن اللازم لتلاشي الصوت المباشر هو صفر, و لكن في نفس الوقت فهناك صوت غير مباشر لا يزال يتردد على السطوح و يلزم هذا الصوت فترة زمنية حتى يتلاشى , و هذه الفترة الزمنية اصطلاح على تسميتها بزمن التردد.

و حسب معادلة سابين ان زمن التردد لاية قاعة هو عدد ثابت بغض النظر عن موقع مصدر الصوت او عن موقع السامع داخل القاعة. و شكل و هندسة الغرفة لا يتاثر كثيرا على زمن التردد لكن العوامل التي تؤثر على زمن التردد هي كمية المواد الماصة و حجم الغرفة .

ان معادلة سابين الاصلية هي:

$$R_{t60} = \frac{0.049V}{Sa}$$

و قاس العالم سابين التغير في زمن التردد في قاعة لكل قدم مربعة من المواد الماصة التي وضعها في الغرفة , و تقديرا له سميت وحدة القدم المربعة للامتصاص بوحدة سابين. و باستخدام وحدات SI فان معادلة سابين تتخذ الشكل الاتي:

$$R_{t60} = \frac{1}{6} \frac{V}{A}$$

حيث ان : R_{t60} = زمن التردد , ثانية

V = الحجم, متر مكعب.

A = مجموع امتصاصية الغرفة بوحدات الشباك المفتوح.

معادلة ستيفانز - بات

ذكرنا ان زمن التردد يعتمد على حجم القاعة و يمكن حسابه باستخدام معادلة سابين و هناك العديد من المعادلات الامبيريقية المقترحة من قبل العلماء لحساب زمن التردد , و من اشهر هذه المعادلات اضافة الى معادلة سابين , المعادلة المقترحة من قبل ستيفانز - بات و هي كما يلي:

$$t = r (0.0118 \sqrt{V} + 0.107)$$

t = زمن التردد, ثانية

V = حجم القاعة, متر مكعب

r = معامل و يعتمد على استخدام القاعة: و يساوي 4 للحديث و يساوي 5 للجوقة الموسيقية و

يساوي 6 للغناء الجماعي.

و يجذب زيادة زمن التردد الذي نحصل عليه من المعادلة السابقة بمقدار 40% و ذلك للترددات الصغيرة و نفس النتائج يمكن الحصول عليها باستخدام شكل ()

المتطلبات الصوتية للقاعات

ان الهدف الرئيسي من تصميم القاعات هو ضمان ان كل مستمع في القاعة يفهم ما يقول المحاضر , و بتعبير اخر يتعلق ذلك بمشكلة وضوح الكلام , اما الهدف الاخر فهو حفظ الصفات الطبيعية لصوت المتكلم , بحيث نضمن ان السامع يستطيع التجاوب مع نبرات الصوت و انفعالات المحاضر دون ان يحدث لها تشويه.

و بالرغم من التوسع في استخدام الاجهزة و الانظمة الصوتية الكهربائية في معظم القاعات الان, الا ان ذلك لا يعفي المصمم من دراسة الخصائص الصوتية لهذه القاعات , و محاولة تصميمها بحيث يضمن الاهداف المذكورة اعلاه.

ان الطريق الامثل فب التصميم هو البدء بدراسة الغرض الذي انشئت القاعة من اجله و فهم خصائص الصوت في تلك القاعة, ثم الانطلاق الى دراسة عناصر التصميم المعماري لتحقيق المتطلبات لتلك القاعة.

ان الطريقة المثلى لدراسة تصميم القاعات تكمن في دراسة التخطيط العام للقاعات من حيث الشكل و الحجم و الشكل العام لها و دراسة سطوح القاعة من حيث الامتصاص. يهدف العامل الاول الى مراعاة الامور التالية:

تجنب الانعكاسات الطويلة زمنيا و هذا ينتج عن طريق المحافظة على اقصر مسافة بين المتكلم و السامع و هنا نحتتم فقط بالانعكاس الاول التي تزيد مسافتها 17 مترا على مسافة الصوت المباشر حتى لا يحصل صدى. و بمعنى اخر ان تكون الفترة الزمنية بين الصوت المباشر و الصوت المنعكس لا تزيد عن 35-50 ميلي ثانية حيث ان :

$$\text{المسافة} = \text{الزمن} \times 343 = 17 \text{ متر}$$

قاعة الثقافة الجماهيرية في مدينة السليمانية

قاعة الثقافة ، هي قاعة حفلة موسيقية و مسرح ، صمم خصوصا للمناسبات الاحتفالية و عرض المسارح في مدينة السليمانية , قاموا باعادة تأهيل القاعة سنة 2006 و تحتوي القاعة على 537 مقعد للجلوس و مدخل واحد و مخرجين . بالنسبة للمعالجات الصوتية للقاعة سنقوم بحساب زمن التردد في القاعة اعتمادا على حجم القاعة , و حساب طول المسار الصوتي لنرى اذا كانت تجنب ظاهرة وصول صوتين للجالس (المباشر و المنعكس).



المدخل الرئيسي للقاعة

في بداية تحليل قاعة الثقافة نحسب زمن التردد للقاعة حيث يتعلق بحجم القاعة و المواد المستخدمة

لأنهاء و تغليف الجدران , حجم القاعة = 2785

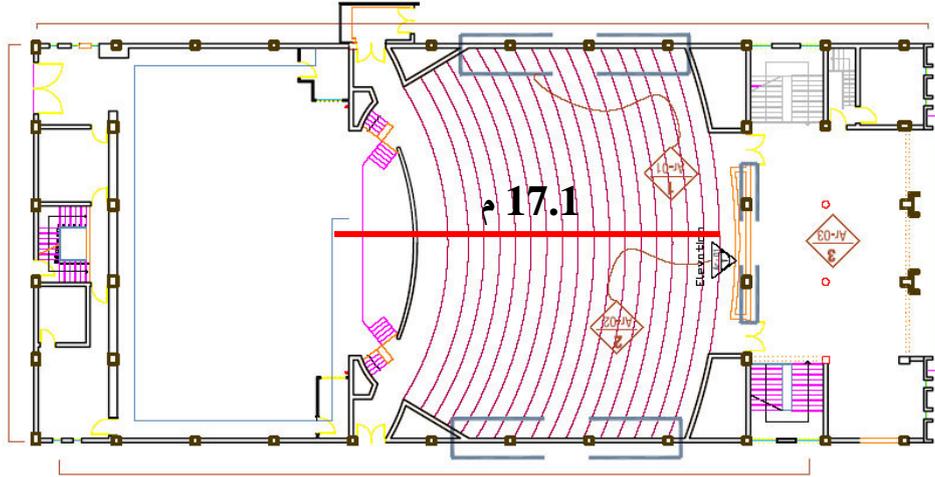
$$t = r (0.0118 \sqrt[3]{V} + 0.107)$$

$$t = 5 (0.0118 \sqrt[3]{2785} + 0.107)$$

$$r = 5 \text{ for orchestral music}$$

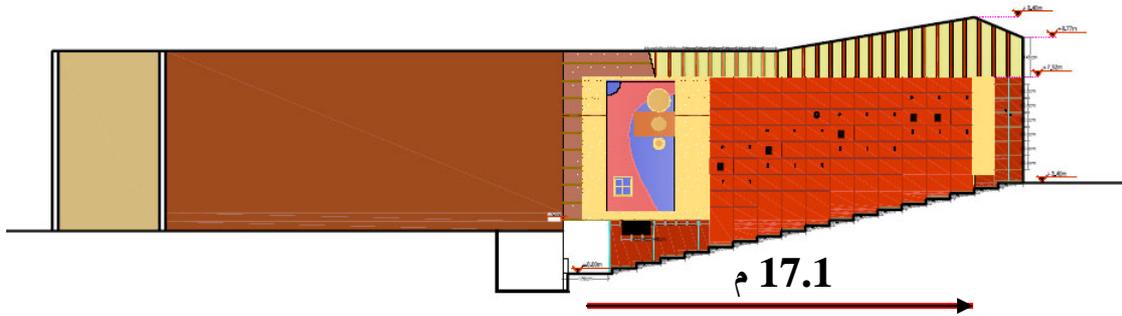
$$t = 1.36 \text{ s}$$

و حسب جدول زمن التردد لزمن التردد المثالي لقاعات من حجوم مختلفة نرى ان هذا الزمن التردد ضمن المثاليات و هو جيد لقاعة موسيقية.



المخطط

لتجنب الانعكاسات الطويلة زمنيا يجب حساب المسافة بين المتكلم و السامع و هنا نهتم فقط بالانعكاس الاول التي تزيد مسافتها 17 مترا على مسافة الصوت المباشر حتى لا يحصل صدى. و نرى في قاعة الثقافة بان المسافة بين المصدر الصوتي و السامع تساوي 17.1م و بمعنى اخر ان الفترة الزمنية بين الصوت المباشر و الصوت المنعكس لا تزيد عن 35-50 ميلي ثانية , و لا يحصل ظاهرة الصدى في هذه القاعة.



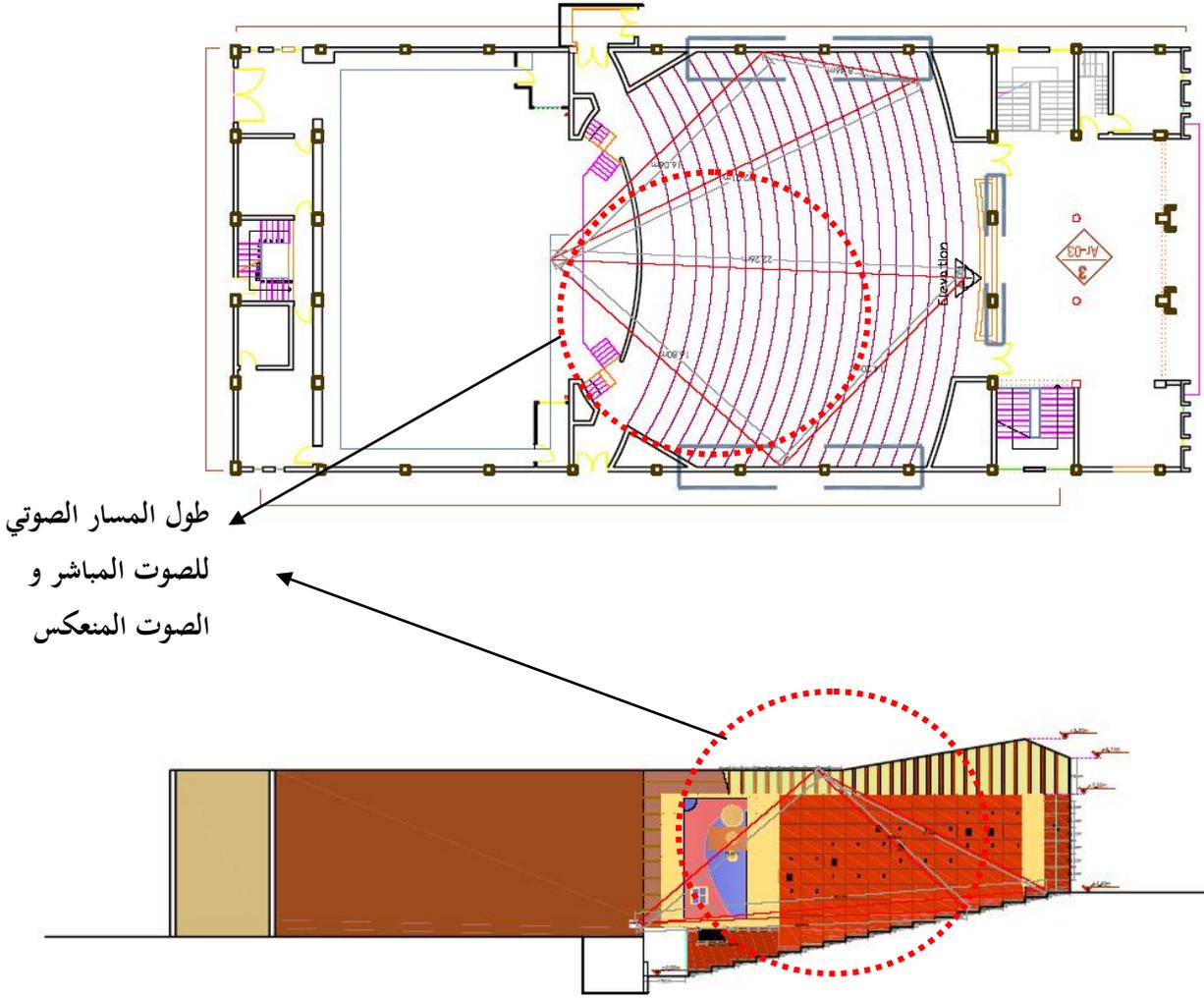
المقطع



كافتريا عند مدخل القاعة



Lobby المدخل للقاعة



طول المسار الصوتي
للصوت المباشر و
للصوت المنعكس

نلاحظ ان قيمة $((ST+ RT)-SR \leq 14)$ هي اقل من 14 متر , وبهذا تكون ضمن الحدود المقبولة للقاعات والتي لا يحدث فيها وصول صوتين للجالس (الاول مباشر والثاني معكوس) حيث في هذه القاعة كان التصميم جيد بحيث تجنب هذه الظاهرة

1- في المخطط

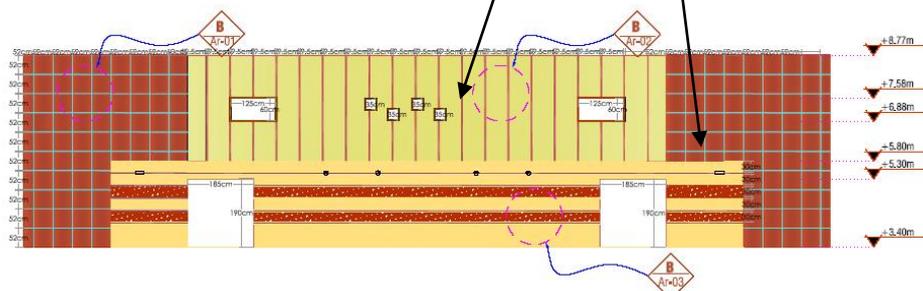
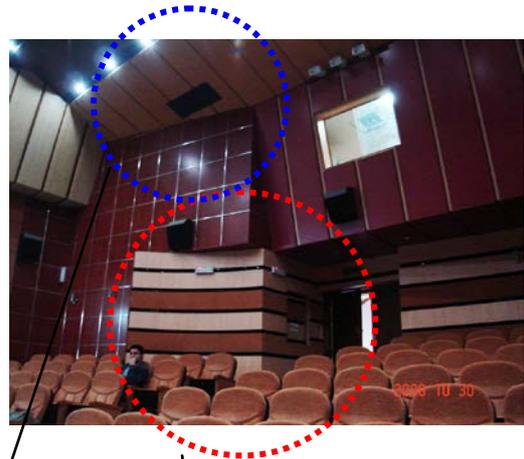
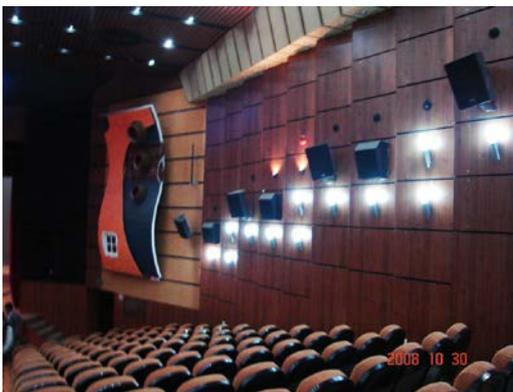
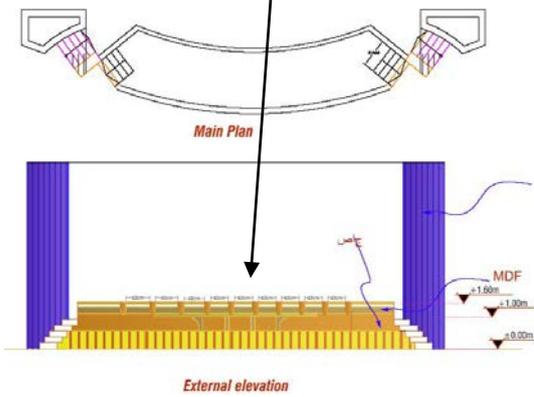
$$(14.2 + 16.8) - 22.26 \leq 14$$

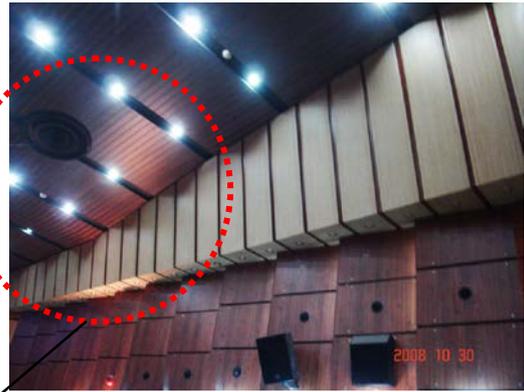
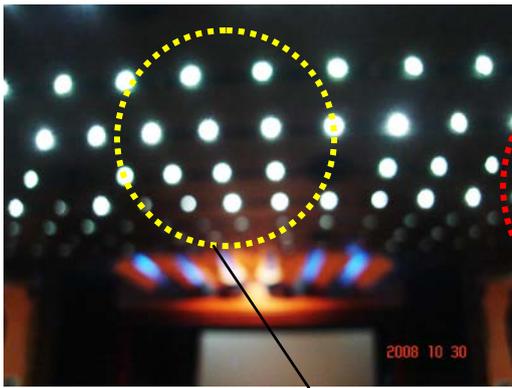
$$(8.46 + 16.06) - 22.01 \leq 14$$

2- في المقطع

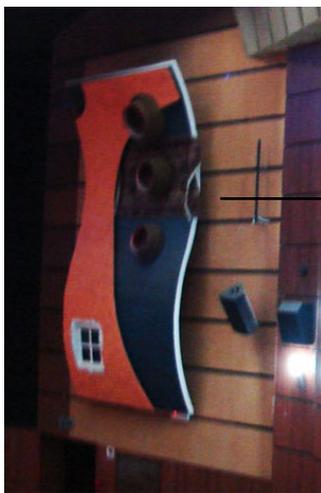
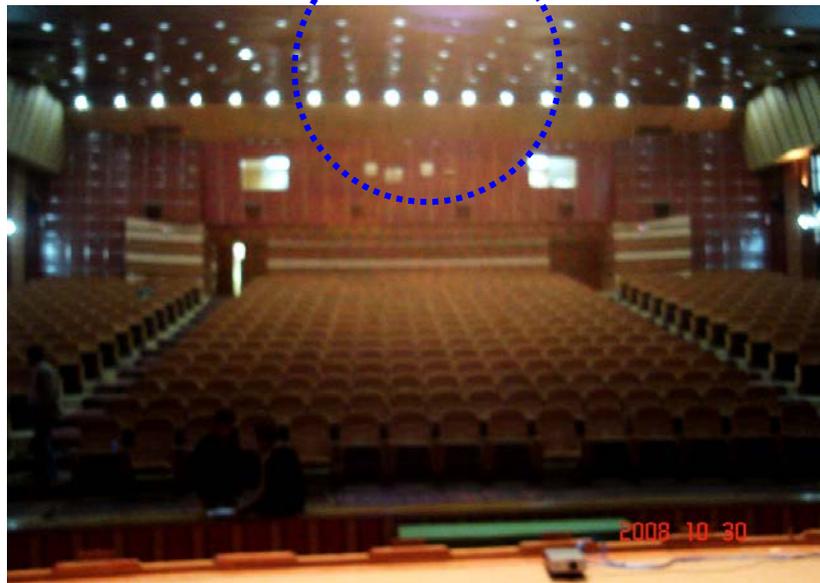
$$(28.6 + 31.51) - 49.77 \leq 14$$

$$(28.6 + 24.91) - 39.99 \leq 14$$

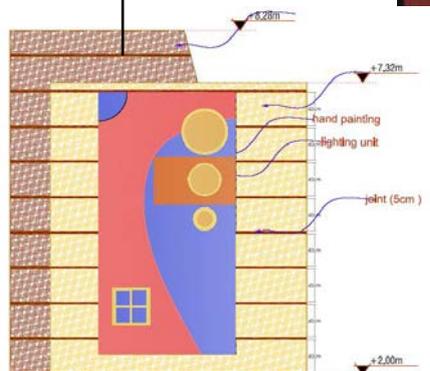




انكسار في شكل سقف القاعة لتقليل
ظاهرة انعكاس الصوت



تفصيل في بداية
جدار القاعة



الاستنتاجات

- ان قاعة الثقافة في السليمانية تتوفر فيها المتطلبات الصوتية من ناحية الحجم بحيث زمن التردد الصوتي للقاعة يقع ضمن الترددات المسموحة لقاعات الموسيقى و المسارح.
- ان اهم وسيلة لقياس مؤشرات كفاءة الاداء الصوتي يعتمد على طريقة حسابية معروفة عالميا وقد امتازت هذه الطريقة بمراعاتها للظروف المؤثرة على وضوحية الصوت في القاعة .
- هناك محاولة لتقليل الانعكاس الصوتي في قاعة الثقافة في السليمانية و هذا باستخدام المواد و بالتغيرات في التصميم في جدران القاعة كالبروزات في المواد النهائية.
- ابعاد المسار الصوتي صمم بشكل جيد في قاعة الثقافة في السليمانية بحيث لا يسمح بظهور ظاهرة الصدى في القاعة.

المصادر

- عبيد. هاني, (الصوتيات للمهندسين المعماريين) , التصميم الصوتي للمباني و القاعات , جامعة البنات الاردنية, 1996.
- الخفاجي. صبا جبار نعمة, (المحددات التخطيطية و التصميمية لابنية المسارح و تقييمها في العراق), رسالة ماجستير, جامعة بغداد, 1986.