

العلاقات الهندسية للمكونات الفضائية لدور الاوبرا وأثرها في الكفاءة الصوتية

بحث معد من قبل

الدكتورة صبا جبار الخفاجي المهندس بطرس خمومي المهندسة سارة منذر الخوجه
 استاذ مساعد - القسم المعماري مدرس - القسم المعماري القسم المعماري
 جامعة بغداد جامعة بغداد جامعة بغداد

ملخص البحث

تعد دور الأوبرا من أكثر الأبنية السمعية تخصصاً وغنى وتعقيداً في العلاقات الفضائية بين مكوناتها الرئيسية والثانوية ولا سيما فضائي القاعة والمنصة. ولما كان العرض الأوبرالي يتسم بتعدد المستويات الأدائية والتي تؤثر بدورها في تعدد المتطلبات الوظيفية والخدمية لكل من جموع المؤدين والحضور، لذا فإن كفاءة وشهرة الدار الأوبرالي مرتين بعدد من المؤشرات التصميمية المتعلقة بعدد من العلاقات الهندسية والتي تحدد العلاقة بين المكونات الفضائية للقاعة (قطاع الحضور) ومنصة العرض (قطاع المؤدين) والتي تؤثر في تحديد كفاءة الأداء الوظيفي للدار من الناحية البصرية والسمعية إضافة إلى شروط الراحة والأمان.

والبحث يستقرأ تلك المؤشرات عبر دراسة تحليلية تعتمد أسلوب المقارنة لعدد من الحالات الدراسية والتي شملت عدد من أشهر دور الأوبرا في العالم ولعدة علاقات هندسية بين المكونات الفضائية للقاعة والمنصة ليتم تحديد مدى تأثيرها على أهم المؤشرات الصوتية لأهميتها في إنجاح الفعل الأدائي لدور الأوبرا.

The Effect of the Geometrical Relations of the Opera Spaces on the Acoustical Performance

By

Dr. Saba Jabar Al-Khafaji **Eng. Peter Khammu** **Eng. Sara M. Al-Khoja**
 Architecture Dept. Architecture Dept. Architecture Dept.
 Baghdad University Baghdad University Baghdad University

Abstract

This study is about a specific type of buildings-opera houses, which discuss the aspects of architectural acoustics limits in the closed space of the audience and performs that depend upon geometrical parameters that have great effect on the acoustical performance.

To improve the effect of the geometrical relations of opera spaces on the acoustical performance was done by observing (6) geometrical relations concerning space of hall and stage, and testing them mathematically to extract final formulas that could be used to predict the most important acoustical parameters which can improve the efficiency of the performance.

مقدمة:

فضاء⁽¹⁾ يحتوي جميع فعالياته بعدما كان في العهود السابقة عبارة عن منشآت مفتوحة إلى الهواء الطلق كما في مسارح الإغريق والرومان، حيث ظهرت الحاجة إلى إيجاد حماية جديّة نتيجة لتعاظم إعداد المشاهدين وكبر حجم المنصات الخاصة (Stages) بالأداء المسرحي وتعدّ المعدات التقنية المسرحية، ويعتبر تياترو فارنيس (Teatro Farnese) 1618 أول مسرح بني بسقف يغطي الكل وهو يعتبر في الواقع الرابط الوحيد والانتقال الأولي إلى الفضاء الداخلي[16].

1.1 التطور الوظيفي لأبنية دور الأوبرا:

إن تخصيص فضاء كافي لكل فعالية وتصميم ملائم للمنصة والأوركسترا التابعة لها، وخلفية المسرح وقاعة مشاهدة ضخمة من أجل استيعاب الأعداد الكبيرة من الجمهور أمر ضروري من أجل تغطية الكلفة العالية والإسهاب الطويل للأداء الأوبرالي[16].

أن كل نوع من أنواع الدراما كأن تكون كوميديا⁽²⁾، أوبرا، أوبريتا، رقص، تراجيديا⁽³⁾، موسيقى، تحتاج إلى متطلبات خاصة بها وعلاقة مع المتلقي وكل واحدة تختلف من خلال علاقتها مع المحيط وأن منشأ معمارياً مستقلاً هو الذي يحقق جميع هذه المتطلبات[37].

إن المعيار الأساسي لتصميم مثل هذه المنشآت التي هي في حد ذاتها أشكالاً فنية يتحدد في كونها يجب أن توفر فضاءً ملائماً يمكن أن يعبر فيه المؤدون

(1) عرف ذلك الحيز المكاني بالفضاء المسرحي (Theatrical Space) لدى المصريين القدماء قبل الإغريق ولكنه لم يكن صرحاً معمارياً حقياً[31].

(2) كوميديا (Comedy): الاسم جاء من الكلمتين الإغريقيتين "Komos" بمعنى المرح (Revel) والأخرى "Ode" بمعنى أغنية (Song)[16].

(3) تراجيديا (Tragedy): ظهرت في أواخر القرن السادس قبل الميلاد وبدأت من أغاني الكورس المنغاة احتفاءً بالآلهة Dionysus ثم تحولت إلى إلقاء كلمات تقابل بجواب وكانت تلك بداية الدراما الإغريقية[37].

تعد دور الأوبرا من الأبنية السمعية العالية التخصص والتي تلزمها العديد من المحددات التصميمية التي تلعب الدور الرئيسي في التأثير على درجة كفاءتها الأداية بشكل عام.

يهدف البحث بشكل رئيسي إلى استخلاص أهم المؤشرات التصميمية المرتبطة بشكل مباشر وصريح مع العديد من العلاقات الهندسية الخاصة بالمكونات الفضائية لهذه الأبنية ولا سيما القاعة والمنصة ليتم تحديد مدى تأثيرها على عدد من المؤشرات الصوتية وذلك نتيجة أهمية تلك المؤشرات في نجاح في فعل الأداء الصوتي لها.

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن وبالاعتماد على الفرضية البحثية التي تعتبر هندسية الفضاء من أهم العوامل التي تتحكم في كفاءة الأداء الوظيفي للعرض الأوبرالي بإضافة إلى العوامل التصميمية الأخرى كالشكل والحجم والسعة المرتبهة بالفضاء الأوبرالي.

أختص البحث في جانبه النظري على دراسة عامة ومختصرة عن أهم المكونات الفضائية لدور الأوبرا وهما فضائي القاعة والمنصة ودراسة لأهم المحددات التصميمية والمرتبطة بمؤشرات كفاءة الأداء الصوتي، واختص البحث في جانبه التطبيقي على(6) علاقات هندسية ثمانية نماذج من أشهر دور الأوبرا في العالم المتنوعة في أشكال قاعاتها وسعاتها وأبعادها وخصوصيتها الصوتية بالاعتماد على الطريقة التنبؤية من خلال إيجاد المعادلات الرياضية والتي تلعب الدور المؤثر الرئيسي لإيجاد قيم جديدة لهندسية الفضاء السمعي الأوبرالي.

الباب الأول: مفهوم الفضاء الأوبرالي

بحلول القرن السابع عشر حدث تغير جذري ومهم تمثل في جلب المسرح إلى الداخل وإيجاد

بعلاقة مباشرة وفي حيز واحد ولمدة أربعة قرون كانت قد اختفت. حتى جاءت العصور الوسطى بقطع كامل ونهائي لكل رابط بين الأداء والمتلقي.

إن عملية التطور هذه وصلت إلى حالة من التوقف التام ولم تستأنف حتى بمجيء عصر الرينواسانس اعتماداً على النمط الروماني ومكماً له، حتى مجيء المسرح ذو إطار الفتحة (Proscenium Theatre) في عهد الباروك حيث بدأ المسرح يأخذ توجهاً آخر باعتماد المقصورات [16].

وفي العهد الحديث ظهر شكلاً آخرًا للمسرح تكون من تفاعل الأشكال السابقة للمسرح الكلاسيكي ويدعى بالمسرح التجريبي (Experimental Theatre) من قبل جورج أيزنور⁽¹⁾ [16](G. Izenour).

3.1 التوجهات الفكرية في التطور الشكلي

للمسرح الأوبرالي:

لقد حصلت بعض التوجهات الفكرية في اختيار شكل المسرح المختص بالعرض الأوبرالي منها:
أ. التوجه الفكري لواكتر (Wagner)⁽²⁾: لقد حاول واكتر إخراج المسرح من حالة الركود ورغب في خلق فضاء بسيط بدون اعتماد نظام المقصورات واختزال في الزخرف ولكنه بإخلاص ألتصق بالمنصة الإيطالية من حيث اعتماده اطار فتحة المنصة (Proscenium) كما في دار أوبرا واكتر في مدينة بيبروث (Bayreuth) عام 1876 [16].

(1) ايزنور هو من المهندسين في القرن العشرين والذي اهتم بتصميم معاصر للفضاء المسرحي يمتاز بمرونة عالية [16].
(2) ريتشارد واكتر (R. Wagner) من أشهر مؤلفي الموسيقى العالمية في القرن التاسع عشر. قام بتصميم أول دار للأوبرا بقاعة مروحية الشكل في دار أوبرا واكتر فستيلهاوس عام 1876م [18].

بحرية وتأثير وفي المقابل يمكن فيه المتلقي أن يستقبل ذلك التعبير بدون تشويه أو إعاقة.

2.1 التطور الشكلي لأبنية دور الأوبرا:

كانت البدايات المسرحية من الأصول الكلاسيكية لبلاد الإغريق القديمة وتغيرت نتيجة لمؤثرات اجتماعية وسياسية وتطورت أشكالها حسب الأحوال الثقافية لكل حقبة زمنية مرت من خلالها [46] وكما يلي:

1. أن عملية التطور كانت قد بدأت منذ القرن الخامس قبل الميلاد من مسرح أثينا الكلاسيكي (Athenian) وهو مسرح ديونيس (Dionysus) في أثينا [16]. العلاقة بين المؤدي والمتلقي علاقة مباشرة، وتمتاز دراما ذلك العصر بتكامل الشكل مع الكلام والمعنى ومرت هذه العلاقة مع المسرح الهيليني (Hellenistic) ومسرح الإغريقي - الروماني (Greco-Roman) مع اختلافات بسيطة عادة في موقع الأوركسترا وحجم المنصة.

2. ان تأثير المسرح الإغريقي - الروماني ظهر واضحاً عندما تحرك حيز الأداء إلى فضاء محدد بإطار أو فتحة (proscenium) وقلت أهمية الأوركسترا وهذا ظهر واضحاً في مخطط مسرح ماكنيزيا (Magnesia) في القرن الثاني قبل الميلاد بعد ان كانت ترتب الأجزاء خلال الفترة الهلينية معطية شكلاً متوحداً يمتاز بالمبالغة في حجم وشكل باحة المشاهدين.

3. الشكل خضع إلى تغير رئيسي في الفترة الرومانية تميز ذلك التغير في العلاقة بين المؤدي والمتلقي التي حددت من شكل الأوركسترا وحولتها إلى حلقة وصل وسطية وانفصلت عن منطقة الأداء.

4. وبظهور تقنيات جديدة كالجدار السميك الحامل للمبنى، سمح للمسرح بالانتقال من المنحدرات الطبيعية في أطراف المدينة إلى قلب المدينة وجعلت منه مبنىً مستقلاً، هذه التغييرات حددت الشكل الأصلي للمسرح وأصبح أقل مرونة - ثقيل وغير رشيق والعلاقة التي كانت توحد المؤدي والمتلقي

إلى المعماريين من أجل البحث والتجربة وتفاعل المسرح الشامل لكروبيوس مع جهود مسرح بيروث لواندر سمح بمسرح مشهدي متقدم [16].

الباب الثاني: المكونات الرئيسية لفضاء

المسرح الأوبرالي.

1.2 قاعة المشاهدين (Auditorium):

1.1.2 تصنيف القاعات حسب أشكالها:

القاعات في دور الأوبرا يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أشكال رئيسية هي [16]:

أ. شكل حدوة الفرس (Horse Shoe Auditorium):

وهو أسلوب بناء قاعة المشاهدين في العهد الباروكي وخاصة في إيطاليا وفرنسا وإنجلترا ويمكن توضيح أهم خصائص هذا الشكل من خلال المقارنة بين دار الأوبرا الإيطالية تيساترو ألاسكالو (Teatro alla Scala) 1778م ودار أوبرا باريس الوطنية (National Opera House) 1875م وقد تبين من المقارنة ما يلي، شكل (1).

1. القاعتين ذات شكل حدوة الفرس.
2. اختلاف في استيعاب القاعتين لأعداد المقاعد.
3. تقارب حجم القاعتين.
4. اختلاف في حجم الكتلتين، فقاعة دار أوبرا باريس مغطاة بالبناء الباروكي وبمقياس كاتدرائي أكثر من كونه مقياس مسرحي.
5. تقارب في مساحة الأرض المخصصة لكل مقعد لكنتا القاعتين.
6. اعتماد نظام المقصورات في الشرفات.

الجدول التالي يوضح المقارنة في الخصائص:

ب. التوجه الفكري لرينارد (Reinhardt)⁽¹⁾: تأثر رينارد بالميول المتطورة في أوائل القرن العشرين محاولاً أحياء الأوركسترا الكلاسيكية وكان ذلك من وجهة نظره تنمى إلى العمارة الإيطالية التقليدية خدمة للفخامة والإثارة [16]، باعتماد قاعة ذات المسرح المفتوح (Amphitheatre) مع الالتصاق بنظام الفتحة المؤطرة للمنصة (Proscenium) وتتأطر في المخطط الأفقي ومحتواه في فضاء قشري الشكل (A Heavy Traditional Shell) [30]، كما في خوسبيلهوس في برلين عام 1919 [32].

ج. التوجه الفكري الحديث: وفي عهد مدرسة الباوهاوس⁽²⁾ حصل حدث هام يمثل مرحلة مهمة من مراحل التاريخ أو الحياة الإنسانية خصت عملية تطور شكل المسرح فمسرح مولنار (Molnar U. Theatre) دليل على شكل المنصة المفتوحة (Open stage) الذي جعل من فكرة المسرح الفضائي⁽³⁾ فكرة حقيقية في حين أعطى كروبيوس (W. Gropius) فكرة أن شكل المسرح يجب أن يكون مرناً أي أنه يجب أن يخدم جميع أشكال الفنون التشكيلية وأن لا يكون مقتصر على واحدة [26]. والمسرح الشامل لكروبيوس (Total Theatre) لم يبن أبداً ولكنه أعطى المجال

(1) صمم ماكس رينارد (Max Reinhardt) مبنى الأوبرا كروسس خوسبيلهوس (Grosses Schauspielhaus) 1919 وكان تصميمه محاولة للخروج عن حالة الركود في عمارة الأوبرا [16].

(2) هي مدرسة للفنون الجميلة ظهرت في الفترة التي تلت الحرب العالمية الأولى وكان من أهم أهدافها الاعتماد على إدخال الصناعة في عملية التصميم واعتماد نظام توحيد القياس (Standardization) ومن خلال رئاسة والتر كروبيوس لهذه المدرسة 1918-1928 قدم أهم مشروعاته في تلك المرحلة وهي المسرح الشامل (Total Theatre) باستخدام المكننة والتقنية الحديثة في تحقيق المرونة في التغيير [30].

(3) المسرح الفضائي (Spatial Theatre) يعنى بالبعد الثالث للفضاء [16].

3. تقارب في حجم القاعتين بالرغم من الاختلاف الكبير في السعة وهذا ما يجعل قاعة آلتو في إشكال في خواصها الصوتية.

4. حجم كتلة مبنى آلتو حوالي ضعف حجم كتلة مبنى واكنر وهذا يعني وجود فضاءات تكميلية غير موجودة في قاعة واكنر إضافة إلى المعيار الحجمي المعتمد للمنصة عالي جداً.

5. اختلاف في مساحة الأرض المخصصة لكل مقعد بين القاعتين مما يدل على ضيق الحركة داخل كواليس القاعة وصغر مقاعدها في أوبرا واكنر.

6. اعتماد نظام الشرفات الضيقة واختلاف عددها بين القاعتين. كما موضح في جدول (2.2).

جدول (2.2): مقارنة بين قاعة دار أوبرا واكنر وقاعة دار أوبرا آلتو.

اسم المبنى	سعة القاعة (مقعد)	حجم القاعة م ³	مساحة كل مقعد م ²	عدد المستويات
أوبرا واكنر 1876	1925 [18]	10300	0.44 [18]	2 [18]
أوبرا آلتو 1988	1125 [19]	11730	0.60 [45]	3 [45]

ج. الشكل المستطيل (Rectangular Auditorium):

استخدم هذا الشكل في بعض قاعات دار الأوبرا الحديثة بسبب نجاحه في الكثير من القاعات الموسيقية لما يوفره هذا الشكل من غنى في الانعكاسات الجانبية والتي تغني الحدث الموسيقي وتساعد في عملية التجسيم الصوتي واكتمال النغمة الموسيقية وقد تم استخدام هذا الشكل مع انحراف في بعض أضلاعه بزوايا قليلة وذلك في أوبرا سدن [16] وغالبا ما تحاط القاعات المستطيلة بشرفات تعمل على تقريب الحضور إلى المنصة وتقلل في مسار الطاقة الصوتية المباشرة والمنعكسة وتوفر وحدات ماصة وناشرة توفر زمن ترديد

جدول (1.2): مقارنة بين قاعة دار أوبرا الأسكالا وقاعة دار أوبرا باريس.

اسم دار الأوبرا	سعة القاعة (مقعد)	حجم القاعة م ³	مساحة كل مقعد م ²	عدد الشرفات
دار أوبرا تياترو الأسكالا 1778م	2800 [19]	11200	0.5 [18]	6 [18]
دار أوبرا باريس الوطنية 1875م	1979 [19]	11730	0.52 [39]	5 [39]

ب. الشكل المروحي Fan Shape Auditorium:

تذكر الدراسات ان أول مبنى دار أوبرا اعتمد هذا الشكل في تصميم قاعة المشاهدين كان من قبل المؤلف الموسيقي واكنر (R. Wagner) حيث الجلوس عبارة عن مصاطب مدرجة وطبقتين من الشرفات تقع إلى الخلف من القاعة ولها محاور بصرية ممتازة كما تمتاز القاعة بأدائها الصوتي المتميز [18]. ان الجدران الجانبية بتباعدها تعطي منظورا غير حقيقي بحيث يبدو البعد عن المنصة مبالغ فيه، وقد جلب المشاهدين بالإحاطة على الجوانب الداخلية للقاعة بحيث ساعد ذلك على تقوية خطوط النظر نحو منطقة الأداء وتجنب التأثير الاتجاهي للشكل المروحي الحقيقي وتم تحقيق ذلك من خلال استخدام الخطوط المنحنية وذلك للتخفيف من الزوايا الحادة والاتجاهية العالية للشكل المروحي [16].

كما تعتبر الأوبرا المصممة من قبل المعمار الفارالتو (Alvar Alto) من التصاميم المعاصرة لمثل هذا النوع من القاعات وسيتم إجمال أهم خصائص الشكل المروحي للقاعات من خلال المقارنة بين أوبرا واكنر وأوبرا الفارالتو وكما يلي، شكل (2):

1. قاعة المشاهدين لكل منهما ذات شكل مروحي ولكن خرج المصمم التو في قاعته عن التناظر الكلاسيكي المعتاد.
2. استيعاب القاعتين للمقاعد غير متطابق.

حسب نوع الأداء كأن يكون موسيقى، رقص، باليه، أوبرا [28].

ان الصفات الصوتية للفضاء تعتمد على سلوك انعكاسات الصوت وزمن التردد (Reverberation Time) ففي القاعات الكلامية يجب ان يكون زمن التردد قصير كي لا يؤثر على درجة المفهومية (Intelligibility Of Sound) ويفضل في قاعات الأوبرا ان يكون زمن التردد أطول في حين ان في العروض الغنائية الكورالية تكون أكثر طولاً وسيتم توضيح ذلك في الفصل الثالث من البحث. تعتمد الحدود الصوتية على عاملين رئيسيين [28]:

1. كمية الصوت الممتص والمنعكس من السطوح المبطننة لقاعة المشاهدين.
2. حجم فضاء قاعة المشاهدة ومنصة المسرح.

3.1.2 سعة قاعة المشاهدين (Capacity)

ومحدداتها الخاصة:

يمكن تحديد سعة القاعة بمقدار ما تستوعبه من مقاعد وعلى هذا الأساس ارتبطت سعة القاعة بعدد مقاعد الجلوس (Seating Capacity)⁽¹⁾ والتي تشغل الجزء الأكبر في تحديد حجم المبنى إضافة إلى حجم المنصة وحجم الخدمات التي تدعم عمل المنصة ومساحات التجمع العامة، ويمكن تقسيم حجوم المسارح نسبة إلى سعة الجلوس [18]. كما في الجدول (4.2):

مناسب لعروض الأوبرا [8]. تعتبر أوبرا سدني من الأبنية المتميزة ذات العمارة المعاصرة وسيتم توضيح أهم خصائص الشكل المفتوح أو المستطيل من خلال مقارنتها مع أوبرا القاهرة والتي تعتبر المبنى الوحيد في العالم العربي والغربي الذي صمم داراً للأوبرا حسب خصائص العمارة العربية الإسلامية وكما في الجدول (3.2) وشكل (3).

1. تقارب في حجم القاعتين.
2. شكل القاعة في أوبرا سدني مستطيل طولي في حين شكل قاعة أوبرا القاهرة قريب من المربع.
3. تقارب في مساحة كل مقعد في كلا القاعتين.
4. اختلاف في عدد مستويات كل قاعة كما تم استخدام الشرفات المعلقة في كلتا القاعتين.
5. حجم الكنتنين مختلف مما يدل على إعطاء معايير عالية لدار أوبرا القاهرة نسبة إلى منصة المسرح وخلفيتها وكذلك المبالغة في مساحات بهو الاستراحة والخدمات التكميلية الأخرى.
6. تقارب في استيعاب القاعتين للمقاعد.

جدول رقم (3.2): مقارنة بين قاعة دار أوبرا

سدني وقاعة دار أوبرا القاهرة.

اسم الأوبرا	سعة القاعة (مقعد)	حجم القاعة م ³	مساحة كل مقعد م ²	عدد المستويات
أوبرا سدني 1973	1547 [19]	6400	0.56 [17]	3 [17]
أوبرا القاهرة 1988	1300 [19]	6900	0.53 [5]	4 [5]

2.1.2 الحدود الصوتية لفضاء القاعة:

ان أقصى بعد من نقطة المركز المؤثر (Effective Centre) لمنطقة المنصة إلى أبعد نقطة، أي أبعد مقعد في القاعة لها حدود صوتية وهي متنوعة

(1) الأوبرا تمتاز بكون حجم خشبتها وخلفيتها ونسلك لكون الأداء الذي تقدمه يخص العديد من الممثلين والراقصين ومغني الكوراس والمغنيين وبذلك فهي بحاجة إلى متطلبات فضائية ذات سعة كبيرة حسب أسلوب الأداء الأوبرالي. وهي عادة تستخدم ثلاثة أو أربعة مرات في السنة وبذلك فهي تختلف عن تلك التي تقدم عروض درامية على مدار السنة [28].

3. حيز العمل والخزن، خلفية المنصة (Working & Storage Space).

تصنف المكونات الرئيسية للمنصة كما يلي:

1.2.2 إطار فتحة المنصة (Proscenium):

وهو نمط يرتبط مع دور الأوبرا الإيطالية على وجه التحديد، وهو إطار يحيط بفتحة المنصة ويكون ضمن المشهد العام لمقدمة المسرح، وهو يحدد موقع المؤدي على المنصة ويدخل في تحديد الكم النسبي للطاقة الصوتية المنبعثة عبره والمتجهة نحو القاعة [20].

ان استخدام هذا الشكل هو تجسيد للجدار الرابع حيث يأخذ الأداء مكانا أو حيزا من خلال رفع هذا الجدار وتحقيق استمتاع الحضور [16]، ويعتمد تصميم الإطار على عنصرين مهمين هما [20]:

1. بصريا (Visually) يركز انتباه المتلقين نحو المنصة.
2. ماديا (Physically) يحجب ويظهر المنصة والأداء حسب ما يقتضي الأمر.

صمم الإطار التقليدي للمسارح الحديثة المشيدة من خلال تضيق الجدران الجانبية لقاعة المشاهدين فتحة محددة ضمن الجدار الفاصل بين قاعة المشاهدين والمنصة الذي من خلاله يرى الجمهور العوض⁽¹⁾، أي ان الشكل التقليدي لإطار فتحة المنصة يمثل الشكل النهائي الموجود في مسارح القرن العشرين الناتج من تطور تاريخي طويل، وان أساسه الوظيفي يقع في افتراض ان جميع المتلقين يحتلون حيزا محددا متمثلا بفضاء القاعة ومنعزلين بواسطته عن منطقة العرض.

(1) ان المشاهد ينظر إلى الأداء من خلال هذه الفتحة وفي بعض الأحيان يمتد الأداء من خلال هذه الفتحة نحو الأمام وعلى الجانبين وهو ما يدعى بالمنصة الممتدة (Extended Stage) [16].

جدول (4.2): حجوم قاعات المشاهدة [18].

حجم كبير جدا	1500 مقعد وأكثر	تخص دور الأوبرا
حجم كبير	900 حتى 1500 مقعد	تخص العروض الموسيقية
حجم متوسط	500 حتى 900 مقعد	تخص العروض الدرامية
حجم صغير	أقل من 500 مقعد	تخص القاعات الكلامية

وفيما يلي أهم المحددات التصميمية الداخلة في تحديد سعة القاعة [20].

1. يمثل الاستيعاب الأقصى الحالة المثلى.
2. يجب ان يكون هناك حدود للنظر أو حد أقصى للبعد عن المنصة.
3. ملاءمتها للسمع الصوتي الجيد وتوفير الراحة والأمان.
4. مراعاة الحالة النفسية للمودين من ناحية عدم رؤيتهم لنسبة كبيرة من المقاعد الفارغة (عندما تستوعب أعداد كبيرة من الجمهور في المناسبات مثلا وتبقى خالية في الأيام الاعتيادية).

2.2 المنصة المسرحية (Stage):

تعرف المنصة بأنها ذلك الجزء من المسرح الذي يتم فيه تقديم الأداء وان تكامل خصائصها يعتمد على طبيعة الأداء [28]. في كل المسارح ومنها دور الأوبرا تقسم المكونات (المرئية) إلى نوعين [16]:

1. المؤدون (الكائن الحي على المنصة).
 2. الاكساء المشهدي (الجزء المادي على المنصة).
- في حين ان المكونات الوظيفية للمنصة تقع في ثلاثة أشكال [20]:

1. الحيز الذي يعمل فيه المؤدون ويدعى بمنطقة العرض (Acting Area).
2. الحيز الذي تنظم فيه المشاهد ويطلق عليه فضاء المشاهد أو برج المسرح (Scenery Space).

2.2.2 منطقة العرض (Acting Area):

يقصد بحجم منطقة العرض هو مقدار ما يستوعبه الحيز من المؤدين وطبيعة الأداء الذي يقدموه إن المساحة التي يحتاجها كل مؤدي على المنصة ضمن منطقة العرض تتوقف على نوع الأداء الذي يقوم به [15].

ان شكل وأسلوب ترتيب منطقة العرض يعتمد على الطبيعة الوظيفية لكل أداء ومقدار الحركة المطلوبة لذلك النوع إضافة إلى طبيعة العلاقة بين المتلقي والأداء بحيث تحقق تأثير منتظم كامل [20].

وعادة الجزء الفاصل بين منصة المسرح الأساس ومقدمة المنصة هو الستارة التي تقع عادة مباشرة أو على بعد لا يزيد عن متر واحد من فتحة إطار المنصة باتجاه المنصة وان ذلك الجزء من المنصة والذي يقع بين خط الوضع وحافة مقدمة المنصة (Apron) يدعى بالمنصة الأمامية (Forestage)⁽¹⁾ وعندما يمتد ذلك الجزء إلى داخل القاعة يطلق عليه بالمنصة الممتدة (Extended Stage) وهذا يعني جلب منطقة العرض (Acting Area) في نفس فضاء المشاهدين وهنا يصعب توفير خطوط نظر مرضية [18] إضافة إلى ان أية صورة مشهدية توضع أمام الستارة الأمنية⁽²⁾ تكون قابلة للاختراق ويفضل ان تكون المنصة الممتدة متحركة لتحقيق المرونة المناسبة [28].

3.2.2 البرج (Flying Tower):

وهو الفضاء الذي يعلو المنصة ويضم المشاهد المسطحة القابلة للتحرك العمودي بواسطة منظومة من الحبال والبكرات والأثقال الموازنة وهو يستخدم أيضا في تعليق أجهزة الإنارة وجسور الصيانة وغيرها من الخدمات. وهو يشكل حجما كبيرا قد يفوق حجم القاعة

(1) المنصة الأمامية هي امتداد لأرضية قاعة المشاهدين أو خندق الأوركسترا الغاطسة عبارة عن مقاطع منظمة تصعد أو تخفض بطريقة ميكانيكية أو يدوية تساعد على زيادة أو توسع في حجم المنصة [20].

(2) وهي من مكونات اطار فتحة المنصة.

أحيانا، وهذه من أهم مميزات دور الأوبرا في حاجتها لكم كبير من خدمات المنصة [6]. كما يجب ان يكون البرج ذو حجم مناسب يكفي لرفع جميع المشاهد (Scenery) المستخدمة في العروض الحية بعيدا عن النظر عندما ينتهي استخدامها أو عند تغيير المشاهد، وهذا يحدد ارتفاع نظام التحميل (Grid System) أعلى المنصة ضمن فضاء البرج [28]. ويتطلب ان يكون ارتفاع البرج (3) مرات ارتفاع إطار فتحة المنصة (Proscenium) وبالنسبة إلى مستوى الخدمات الخاصة بالمنصة يتراوح الارتفاع ما بين (1.5-2.5) هذا الارتفاع [36].

الباب الثالث: المحددات السمعية للأداء

الأوبرالي

سيتم دراسة المحددات السمعية للفضاء السمعي الأوبرالي على صعيد المحاور الثلاثة الآتية:

1.3 مؤشرات كفاءة الأداء الصوتي:

إن خصائص الصوت الصادر من المؤدي على المنصة والمنتقل عبر الفضاء والواصل إلى المتلقي لا تتطابق تماما بسبب مجموعة من التأثيرات المشوهة التي تؤدي إلى تغيير في الخصائص النوعية لأصل الصوت مما يؤثر على درجة المفهومية (Intelligibility of Speech) كدالة كفاءة الأداء الصوتي [4].

ومن مؤشرات الكفاءة الصوتية [11]:

1.1.3 توزيع الطاقة الصوتية

(Sound Distribution):

إن تباين منسوب الضغط الصوتي (SPL) من موقع إلى آخر يؤدي إلى تباين في توزيع الطاقة الصوتية في الفضاء السمعي [4] وإن من أهم متطلبات تحقيق الكفاءة في درجة المفهومية للصوت الصادر من مصدره هو التوزيع المتساوي للطاقة الصوتية بكافة

أ. نوع الفعالية: بالنسبة إلى القاعات الموسيقية تتراوح قيمة زمن التردد ما بين (1-2) ثانية اعتماداً على نوع الموسيقى⁽²⁾[13].

ب. حجم الفضاء ومقدار الامتصاص: يعتمد زمن التردد بشكل أساسي على حجم الفضاء (V) ومقدار الامتصاص فيه (A) حيث يتناسب طردياً مع الأول وعكسياً مع الثاني[41]، والذي يدخل ارتفاع القاعة كمتغير رئيسي في تحديد قيمة زمن التردد والذي يؤثر بشكل مباشر على مقدار امتصاصيتها من خلال زيادة عدد الشرفات والقيمة الاستيعابية للقاعة[9] جدول (1.3).

جدول (1.3): علاقة الفعالية بالارتفاع المطلوب للفضاء[28].

الارتفاع المطلوب للفضاء	المساحة/ شخص	الحجم/ شخص	سعة القاعة	الفعالية
5 م بدون إضافة مواد ماصة	0.6 م ²	3 م ³	300 مقعد	كلامية
10 م إضافة مواد ماصة	0.9 م ²	9 م ³	أكثر من 300 مقعد	موسيقية

في حين وجد أن النسبة الحجمية (Volume per Person) ما بين (4-6) م³ يعطي الامتصاص الكلي، أي الامتصاص من قبل الحضور ومن قبل السطوح لإعطاء زمن التردد للقاعات السمعية عموماً والتي حددت أدنى قيمة له في القاعات الأوبرالية (1) ثانية وأعلى قيمة له (1.6) ثانية[44]، والذي يدخل استيعاب القاعة كمتغير رئيسي مؤثر في تحديد قيمة زمن التردد بدلالة النسبة الحجمية للقاعة وبثبوت حجمها.

(2) بالنسبة إلى القاعات الكلامية يجب أن لا يتجاوز زمن ارتداد الصوت وبحضور المشاهدين عن (1) ثانية ولا يقل عن (1/2) ثانية للوصول إلى المفهومية الكلامية [Intelligibility of Speech][14].

مكوناتها الترددية إلى جميع المشاهدين[7]. إن السيطرة على التوزيع الصوتي يرتبط بالخصائص الشكلية والحجمية واختيار الأبعاد والنسب الملائمة إضافة إلى التبطين الداخلي للفضاء السمعي[8].

2.1.3 زمن التردد (Reverberation Time):

يعرف بأنه الزمن اللازم لتلاشي الصوت بمقدار (60 dB) عن شدته الأصلية بعد التوقف الفجائي لبث الصوت من مصدره[41]. إن الزيادة في زمن التردد الصوتي عن حدود معينة يسبب في إحداث ظاهرة اللغط الصوتي (Blurring) وإضعاف في مفهومية الكلام، كما أنه من الضروري أن يكون متساوي لجميع المكونات الترددية لأن الامتصاص المتفاوت للمكونات الترددية يؤدي أيضاً إلى تشويه في أصل الصوت[10]. لقد حددت بعض الدراسات المختصة حدود الأزمان الترددية الملائمة للاستعمالات السمعية المختلفة كمعايير لتحقيق الكفاءة الصوتية وحسب نوع الأداء [44]، كما طرحت عدة صيغ رياضية لحساب زمن التردد نظرياً وتعتبر صيغة سابين (Sabine) هي الصيغة الأساس التي تم اشتقاق الصيغ الأخرى منها وهي $(RT = 0.16IV/A)$ حيث أن (V) هو حجم الفضاء م³ و (A) هو مقدار الامتصاص له ووحدته (م². سابين)[41].

ومن محددات حساب قيم زمن التردد (RT) ما يلي:

يلي:

(1) إن صيغة سابين $RT = 0.16IV/A$ لا تأخذ امتصاص الهواء بنظر الاعتبار والذي تظهر أهميته عند الترددات العالية والحجوم الكبيرة كقاعات الأوبرا، الذي تم إضافته على هذه الصيغة بعد حين كما أنها تتعامل مع معدل معامل الامتصاص لذا تعتبر أحياناً غير دقيقة لحساب قيمة زمن التردد للفضاء السمعي الأوبرالي[41].

3.1.3 الفجوة الزمنية الحرجة (Initial Time Delay Gap):

هي الفترة الزمنية بين وصول الصوت المباشر وكل من الانعكاسات الصوتية⁽¹⁾ الأولية إلى أذن المستمع [24]. ان الزمن تاخير وصول الانعكاسات الصوتية الأولية دوراً مهماً في تحديد المميزات السمعية للفضاء السمعي [14]، الجدول (2.3) يوضح علاقة نوع الفعالية بالفجوة الزمنية الحرجة.

جدول (2.3): علاقة فعالية القاعة السمعية بالفجوة الزمنية الحرجة [40].

السميات السمعية	الفجوة الزمنية الحرجة	فعالية القاعة السمعية
تجنب حدوث ظاهرة الصدى	35 ملي ثانية	الكلام
تعتبر من أهم مميزات القاعة الموسيقية	80 ملي ثاني	الموسيقى

ان أساليب السيطرة على مقدار الفجوة الزمنية الحرجة للانعكاسات السقفية الأولية والانعكاسات الجانبية⁽²⁾ كالآتي [11]:

1. تقليل ابتعاد موقع المتلقي عن المصدر الصوتي.
2. زيادة انحدار أرضية منطقة الجلوس.
3. رفع مصدر الصوت عن أرضية منصة العرض.
4. بُعد المتلقي الجالس على الخط المركزي لأرضية منصة الجلوس في القاعة عن جدرانها الجانبية، يدخل ارتفاع السقف وعرض القاعة كمتغيرين رئيسيين في تحديد قيمة الفجوة الزمنية الحرجة.

(1) تصنف الانعكاسات الصوتية إلى صنفين رئيسيين: الانعكاسات الأولية المبكرة (Early Reflection) والانعكاسات الأولية المتأخرة (Long-delayed Reflection) في النوع الأول تندمج هذه الانعكاسات مع الصوت المباشر بينما في النوع الثاني تسمع منفصلة عن الصوت المباشر [10].

(2) يكون زمن التأخير الصوتي بالنسبة للانعكاسات الجانبية أقل من الانعكاسات السقفية في حالة كون ارتفاع منطقة الجلوس أكبر من نصف عرضها [10].

4.1.3 العيوب الصوتية المتوقعة في دور الأوبرا:

يعتبر تقليل العيوب الصوتية أو اختزالها أحد أهداف التصميم الصوتية ومن المتوقع حدوثها في دور الأوبرا [8]:

1.4.1.3 الصدى (Echo):

يعرف الصدى على انه سماع الصوت مرتين متتاليتين نتيجة الفرق في خط مسار الصوت المباشر والمنعكس من السطوح الداخلية للقاعة وبمسافة تزيد على (17) م [23] ويتحدد تأثير الصدى على السامع بالعوامل التالية:

1. طول الفترة الزمنية لسماع الصوت المنعكس بعد الصوت المباشر.
 2. ارتفاع علو الصدى مقارنة بالصوت الأصلي.
 3. زمن التردد حيث كلما كان طويلاً يقل تأثير الصدى ويكون الصدى للأمواج الصوتية ذات الترددات العالية أكثر تأثيراً لحساسية الأذن لها.
- ويحدث الصدى للإشارة الصوتية عندما تكون الفترة الزمنية بعد صدور الصوت المباشر وإلى وصول الصوت المنعكس إلى المتلقي أكثر من (50) ملي ثانية لدور الأوبرا [24]. ومن العيوب التصميمية التي تولد الصدى [24] والتي تم وضع البدائل لها تظهر في الجدول (3.3):

جدول (3.3): العيوب الصوتية المتوقعة والبدائل

التصميمية [24].

العيوب	البدائل
1. الجدار الخلفي يكون مصمماً من مواد عاكسة.	1. تغليفه بمواد ماصة أو ناشرة للصوت.
2. الجدار الخلفي ذو مساحة كبيرة مكشوفة.	2. استخدام القاعات المدرجة المحتوية على شرفات خلفية.

المباشر عن نطاق معين ضمن الفضاء السعوي. وتسبب هذه الظاهرة في انخفاض كبير في منسوب الضغط الصوتي عن منسوبة في المواقع الأخرى[40].

4.4.1.3 الضوضاء (Noise):

يؤدي ازدياد منسوب الضوضاء بدرجة كبيرة عن الحدود المعيارية الموضوعية بهذا الخصوص إلى فشل الأداء الصوتي ودرجة المفهومية في الفضاء السعوي بشكل عام[21]. عادة ما يكون تأثير الصوت النافذ من الفضاء السعوي إلى الخارج محدود الأهمية، أما الصوت النافذ من الخارج إلى الفضاء السعوي فيكون ذا تأثير سلبي، حيث تعمل زيادة منسوبة واختلاف طبيعة إشارته إلى تشويه العملية السعوية في الفضاء السعوي ويتطلب ذلك تقليله أو حجب[11].

هنالك أنواع مختلفة من الضوضاء اعتماداً على استقرار زمنها: (ثابتة، متموجة، متناوبة، نبضية)[24]. وتصنف الضوضاء بحسب موقع مصدرها نسبة إلى موقع المستلم داخل المبنى إلى نوعين رئيسيين:

أ. الضوضاء الداخلية: والتي يكون منشأها من داخل المبنى.

ب. الضوضاء الخارجية: والتي يكون منشأها من خارج المبنى عبر حدوده إلى داخل الفضاءات السعوية لقاعة العرض.

ج. الضوضاء الخلفية⁽¹⁾: ويقصد بها الأمواج الصوتية غير المرغوب بها والتي مصدرها الحضور أو الخدمات. ويكون منسوب الضوضاء الخلفية مختلفاً حسب نوع القاعة، فالمعيار الضوضائي (Noise Criteria) للقاعات الأوبرالية يكون بحدود

العيوب	البدايل
3. استخدام السطوح المقعرة.	3. الابتعاد عن استخدامها.
4. التقاء السقف بالجدار بزوايا قائمة حيث تعكس الصوت إلى مصدره وتسبب مشاكل نهاية القاعة.	4. تغليف هذه الزاوية بمادة ماصة أو استعمال السقوف المعلقة (الغيوم الصوتية) المصممة لتوجيه الانعكاسات.
5. السقف الموازي لأرضية القاعة والمرتفع يولد الصدى وذلك لطول مسار الموجة المنعكسة منه ووصولها إلى المتلقي بعد فترة زمنية تزيد على 50 ملي ثا وخاصة للمقاعد الأمامية.	5. يفضل تدريج السقف وتصميم العاكسات الصوتية بحيث يعكس الصوت إلى الجزء الخلفي من القاعة وذلك لتقوية الصوت على المقاعد الخلفية واستخدام سطوح معلقة عاكسة لتقليل الفرق في ارتداد الأمواج المنعكسة دون ان تقلل الحجم الكلي للفضاء ويمكن أن تكون متغيرة بزوايا الميلان وبالارتفاع والانخفاض.

2.4.1.3 تركيز الصوت

(Sound Concentration):

تسبب السطوح المقعرة ذات الأشكال الهندسية الأساسية بشكل عام وكما موضح مسبقاً على تركيز الطاقة الصوتية في نقطة ما في الفضاء، وقد تزداد هذه الظاهرة إلى حد ما يسمى بالبقع الحارة (Hot Spots) وبالمقابل يؤدي ذلك إلى خفوت كبير في الطاقة الصوتية على حساب مواقع أخرى مما يؤدي إلى خلل كبير في عملية توازن وتوزيع الطاقة على الحاضرين[10].

3.4.1.3 الظل الصوتي (Sound Shadow):

هي عبارة عن خفوت الطاقة الصوتية نتيجة لحجب جسم أو سطح للانعكاسات أو حتى الصوت

(1) الضوضاء الخلفية مفيدة أحياناً إذا كانت ذات منسوب معقول إذ تعمل كحاجب (Masking Effect) لحجب الأصوات العالية مثل صوت اندفاع الهواء من مجرى الهواء (Duct) حيث يحجب أصوات مرور السيارات مثلاً[44].

1.2.3 حجم الفضاء السمعي وأثره على الأداء الصوتي:

يمكن توضيح أهم ما يؤثر به عامل الحجم على كفاءة الأداء الصوتي كما يلي:

1. حسب الصيغة المشهورة للعالم (سابين) يتضح ان زمن التردد الصوتي (RT) أي زمن تلاشي الصوت يتناسب طردياً مع حجم الفضاء (V) وبشأن كمية الامتصاص الكلي للفضاء [41].
2. ان الزيادة في حجم الفضاء يترتب عليه زيادة في المساحات الداخلية للفضاء وزيادة الحجم الهوائي وغير ذلك من العناصر التي يحتويها الفضاء [42]، وتتناسب كمية امتصاص الصوت طردياً مع زيادة مساحات السطوح [41]. إن الحجم الكبير للفضاءات السمعية الخاصة بالأداء الأوبرالي يتطلب فيها استخدام نظم التقوية الكهروصوتية في فضاء المنصة و مواد ماصة للسيطرة على زمن التردد الصوتي المطلوب في فضاء القاعة [21].
3. ان نسبة كبيرة من الامتصاص تحصل من قبل الحضور أنفسهم، وان مقدار ذلك الامتصاص يتغير نتيجة تغير أعدادهم وتغير المساحة المخصصة لهم ولنفس الحجم حسب خصوصية التصميم، فقد عمدت الدراسات إلى وضع معايير لحدود الحجم بدلالة عدد المشاهدين (Volume per Person) حيث تتراوح النسبة في دور الأوبرا الإيطالية ما بين (4-5.7) م³/مقعد للقاعات الصغيرة الحجم وذات الكثافة العالية بينما يتراوح المعيار في عموم دور الأوبرا ما بين (4.5-7.4) م³ / مقعد للقاعات الكبرى، وحسب الجداول (4.3، 5.3) الآتية:

(NC 20)⁽¹⁾ [23]. من الاعتبارات التصميمية التي

يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار لتقليل الضوضاء: [27]

1. استعمال العزل الصوتي للهيكل الإنشائي أو استعمال مواد عازلة على الجدران والأرضيات لتقليل منسوب الضوضاء المنقولة من خارج المبنى ومن الفضاءات الملحقة إلى داخل فضاء القاعة.
2. تبطين النوافذ في حال استخدامها بمواد عازلة مطاطية كما يفضل استخدام الزجاج المزدوج لخفض المنسوب الضوضائي المتسرب من خلالها.
3. استخدام أبواب ثقيلة وصلدة ويجب أن تكون محكمة الغلق.
4. فصل الهيكل الإنشائي للقاعة عن باقي أجزاء هيكل البناية في حال قرب الموقع من السكك الحديدية أو الطرق السريعة وذلك لتقليل انتقال الاهتزازات الصادرة عنها.
5. أبعاد وفصل الفضاءات الضوضائية (كالمطعم والكافتيريا وغرف التدريب الخ).
6. عزل تام للمصاعد والسلالم ومجاري الخدمات الميكانيكية عن الهيكل الإنشائي للقاعة.

2.3 الخصائص التصميمية للفضاء السمعي وأثرها على الأداء الصوتي له:

تؤثر الخصائص التصميمية لعموم الفضاءات السمعية على الأداء الصوتي لها تأثير مباشر، حيث ان عند تصميم الفضاء السمعي يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار حجم وشكل القاعة إضافة إلى دراسة خاصة عن التدرج في الجلوس إضافة إلى دراسة التبطين الداخلي له من حيث توزيع أماكن العاكسات وزوايا توجيهها ومساحة وأماكن المواد الماصة [34].

(1) ان منسوب الضوضاء الخلفية للقاعات الموسيقية (الكونسرت) تتراوح (NC 15-20) وبالنسبة إلى الصفوف والقاعات التكريسية (NC 25) [12].

جدول (4.3): النسبة الحجمية لدور الأوبرا

الإيطالية[43].

نوع القاعة	النسبة الحجمية م ³ /مقعد	
	الدنيا	الملائمة
دور الأوبرا الإيطالية	4 م ³	5.1-4.2 م ³ (المعدل 4.65)
القصى		5.7 م ³

جدول (5.3): النسبة الحجمية لدور الأوبرا ذات

القاعات الكبرى[23].

نوع القاعة	النسبة الحجمية م ³ /مقعد	
	الدنيا	الملائمة
دور الأوبرا الكبرى	4.5 م ³	5.7 م ³
القصى		7.4 م ³

وبأخذ الوسط الحسابي للنسبة الملائمة لكلا المصدرين نستنتج ان المعيار الأمثل لحدود الحجم بدلالة عدد المتلقين هو (5.2 م³/مقعد)، ان زيادة حجم القاعة قد لا يعني الزيادة في استيعابها اعتمادا على طبيعة تنظيم الجلوس في القاعة[9].

2.2.3 شكل الفضاء وأثره على الأداء الصوتي:

تأولت بعض الدراسات السابقة خصائص شكل الفضاء وحددت بعض التوصيات فيما يخص الأبعاد الثلاثة للفضاء وأفضلية الأشكال المختلفة وطبيعتها ضمن الأبعاد الملائمة وللأبعاد الثلاثة العرض (X) والعمق (Y) والارتفاع (Z)[25].

أما بالنسبة إلى أفضلية الأشكال المختلفة فقد حددت ثلاثة أشكال أساسية مثلى شائعة الاستعمال للأداء الأوبرالي وهي شكل المروحة (Fan Shape) وشكل حدوة الفرس (Horse Shoe Shape) والشكل المستطيل (Rectangular Shape)[43] ويقع جميعها ضمن المدى $X < Y$ وحسب الاختبار في الجدول (6.3):

جدول (6.3): الأبعاد الملائمة لقاعات الأوبرا[9].

اسم الأوبرا ⁽¹⁾	عرض القاعة W1, W2 م/(x)	عمق القاعة م/D(Y)	النسبة Y/X	الملاحظات
أوبرا القاهرة 1988	20	23	0.9 تقريبا	W=X الشكل المفتوح[5]
أوبرا واكتر 1876	$\frac{31+15}{2}$	28	0.8 تقريبا	W2 + W1 2 مروحية الشكل[21]
أوبرا باريس الوطنية	23	34	0.7 تقريبا	W = X الفرس[57]

نستنتج ان علاقة البعدين العمق (Y) والعرض (X) وهي Y/X تتراوح ما بين (0.7-0.9)، ويمكن إجمال أهم المحددات التصميمية لشكل الفضاء السمي بما يلي:

1. البرج الأكبر حجما (Stage House)⁽²⁾ الأكثر إضاءة للطاقة الصوتية وهدرا في صوت المؤدي ولذلك يفضل تقليص الحجم قدر المستطاع وتكون خاضعة إلى حدود دنيا للقياس[28].
2. ان محاولة تقليل المسافة بين المتلقي والمؤدي يخدم الصوت[2].
3. عدم استخدام الأشكال المقعرة داخل الفضاء السمي وذلك لان الانعكاسات الصوتية القادمة من الاحتواءات المقعرة هذه (الدائرة، الشكل البيضاوي،

(1) W = عرض القاعة ذات شكل حدوة الحصان أو الشكل المستطيل.

W1 = عرض القاعة الصغير ذات الشكل المروحي يؤخذ المعدل.

W2 = عرض القاعة الكبير ذات الشكل المروحي يؤخذ المعدل.

(2) المقصود هنا بالفضاء الكلي للمنصة مع الفضاءات الخدمية الخاصة بالجيوب الجانبية والبرج وفضاءات المسرح.

3.2.3 تدرج أرضية الفضاء السمعي وأثره على

الأداء الصوتي:

يلعب التدرج في أرضية القاعة دورا فعالا في العملية السمعية فبالإضافة إلى تقوية خطوط النظر والإشراف على المنصة هناك خصائص تصميمية في تدرج أرضية القاعة تساعد على تقوية الأداء الصوتي منها:

1. تقليل الخسارة في الطاقة الصوتية المنزلة أسفل المقاعد [8].
2. تغيير شكل المقطع والتخلص من مشكلة التوازي بين السقف والأرضية من أجل معالجة عيب الصدى المتكرر [7].
3. ان تغطية الأرضية المدرجة للقاعة يقلل من الانعكاسات الصوتية التي يسببها التدرج كما يدعو ذلك إلى تغليف المقاعد (Seats) بمواد ماصة لموازنة حسابات زمن التردد الصوتي وإعطاء نفس القيمة حتى إذا كانت القاعة غير ممتلئة أثناء أحد العروض [8].

4.2.3 موقع مصدر الصوت في الفضاء السمعي

وأثره على الأداء الصوتي:

ان أهمية موقع مصدر الصوت يقع في توفير مجال لانتقال الصوت المباشر نحو الحضور في كل صف من الصفوف بدون إعاقة الصف الأمامي له فبالإضافة إلى أحداث انحدار بأرضية القاعة بزواوية تصل إلى $(35)^\circ$ [22]، هناك محددات أخرى لاختيار موقع مصدر الصوت هي:

1. رفع مصدر الصوت بحيث يؤمن على الأقل مسافة (10) سم بين خطوط النظر المرتبطة مع مصدر الصوت [40].
2. يعول في معظم تصاميم القاعات السمعية على تصميم الجدران الأمامية المحيطة بالمصدر الصوتي

القطع المكافئ) داخل السقوف وجدران الفضاء تسبب في تركيز الطاقة الصوتية في بؤره محددة داخل الفضاء [23].⁽¹⁾

4. عدم عمل فضاءات ضمنه ضمن الفضاء الرئيسي أو فضاءات مضافة أو متداخلة مع الفضاء الرئيسي لأنها تسبب إعاقة في خطوط النظر إضافة إلى تقليل في كفاءة الأداء الصوتي نتيجة الانعكاسات غير المدروسة، في حين تمتاز الشرفات الموجودة في القاعات السمعية لدور الأوبرا بالانفتاح الفضائي على الفضاء الرئيسي بحيث تكون جزءا من الفضاء ولا يمكن اعتبارها فضاء منفصل. وقد تكون بشكل مقصورات صغيرة و متعددة يستطيع المتلقي ان يشرف منها على الفضاء الرئيسي ويتصل مع مصدر الصوت بخط نظر مباشر ولا تشكل حدودها أي تكوين فضائي يذكر [1].

5. ضرورة خلو الفضاء السمعي من العناصر الإنشائية في وسط الفضاء أو الجوانب لأهمية العامل البصري وعدم وجود أي أهمية معمارية لوجود مثل هذه العناصر كما تخفي السقوف الثانوية العناصر الإنشائية للسقوف بتصاميمها المختلفة ضمن الحلول والتوصيات المطروحة للنظم الإنشائية التقليدية لأبنية المسارح [35] أو ضمن دراسات خاصة للنظم الإنشائية مثل النظام الإنشائي لدار الأوبرا في سيدني [38].

6. عدم استخدام السطوح العاكسة (Reflected Surfaces) في مواضع خلف جلوس المشاهدين وذلك لأنها تعمل على انعكاس الموجات الصوتية بشكل تام [27].

(1) تساهم الأشكال المقمرة أيضا في حدوث ظاهرة الصدى الزاحف (Creep Echo) [24].

أوبرا القاهرة حيث تمت معالجة السقف بصورة حديثة وعلى درجة عالية من التقنية حيث تميز السقف بتشكيله المصمم على شكل زهرة مكونه من وحدات على ثلاث مستويات واستغلت فروق المستويات في التركيبات الفنية للصالة من وحدات إضاءة وتكييف، هذه الزهرة التي صنعت من مادة الفايبركلاس لها خاصيتان الجزء المواجه للمنصة عاكس للصوت بينما الجزء الأخر المواجه للجمهور ماص للصوت مما يساعد على إيجاد توزيع مناسب للصوت[5].

2. استخدام المواد الماصة في أرضية القاعة والمقاعد التابعة لها[28].

3. استخدام المواد العاكسة في الجدران الخلفية للقاعة لتقوم بعكس الصوت وتقويته بالنسبة إلى مستخدمي الشرفات[20].

4. إحاطة المصدر الصوتي بالسطوح العاكسة (المصنوعة من الجص، الخشب المعاكس، البلاستيك المزجج، الألواح البلاستيكية الصلبة... الخ) لتوفير الطاقة الصوتية المنعكسة والضرورية لاسيما للأجزاء الخلفية[12]، علما بأن أبعاد السطوح العاكسة ينبغي ان تكون من مضاعفات الأطوال الموجية للأصوات السائدة في القاعة[3]، كما ان توجيه الألواح ينبغي ان يكون إلى أجزاء القاعة التي تفتقر إلى الطاقة الصوتية المباشرة، كما ينبغي ان تصل الأمواج المنعكسة مع المباشرة ضمن فرق زمني لا يتجاوز (30) ملي ثا، لتجاوز حدوث ظاهرة الصدى[8].

5. ان تحديد مسارات الصوت المباشر و المنعكس وزوايا سقوط وانعكاس الأشعة الصوتية وتحديد مساحات السطوح العاكسة يتم من خلال قانون الانعكاس الصوتي والذي تكون فيه زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس كما ان الخط الساقط و المنعكس، والعمود عليهما يقع في مستوى واحد، وهذا ضمن محددات النظرية الهندسية للصوت[24].

ليؤمن انعكاسات أولية جيدة⁽¹⁾ مكونه بذلك فضاء ضمنى عاكس (Stage Enclosure) ضمن المنصة[33].

3.3 المعالجات الداخلية للفضاء السمعي:

عند تولد الصوت في الفضاء ينتشر على شكل موجات كروية منبعثة من المصدر الصوتي⁽²⁾ وتقل شدته كلما ابتعدنا عن المصدر حسب قانون التربيع العكسي وعند انتشار الصوت في الفضاء فإنه ينتقل وينعكس ويمتص في طرق مختلفة اعتمادا على طبيعة تصميم الفضاء[40]. ان للمحددات التصميمية الدور المباشر في السيطرة على نفوذ الصوت داخل الفضاء السمعي اعتمادا على نوع مادة الفاصل وطبيعة تكوين سطحه (Texture) والذي له الأثر في تقليل نسبة الصوت النافذ من خلاله[29] كما ان زيادة سمكه ووجود الفواصل الهوائية يرفع من فاعليته للعزل الصوتي والتي قد تصل إلى (50 dB)[29]، وان اهم الظواهر التي تفسر سلوك الصوت في الفضاء المغلق هي (الانعكاس، الامتصاص، الانتشار، الحيود، النفوذ)[11]، وقامت العديد من الدراسات بتمثيل انتشار الموجات الصوتية داخل الفراغات المعمارية من خلال الحاسوب[3].

ويمكن اجمال المحددات التصميمية التي تخص المعالجات الداخلية بما يلي:

1. تمتاز القاعات الأوبرالية بكبير حجمها وهنا يتضح ضرورة اعتماد المواد العاكسة في سقف القاعة وذلك لتقوية الصوت نتيجة لابتعاد المتلقي عن مصدر الصوت بما يزيد عن (20) م[28]، كما في

(1) تعتبر هذه الانعكاسات الأولية مهمة جدا في تقوية الصوت المباشر بسبب الفرق الضئيل بين زمن وصولها عن زمن وصول الصوت المباشر[11].

(2) المصادر الصوتية في القاعات اتجاهية مثل صوت الإنسان و الآلات الموسيقية، حيث ان صوت الإنسان ينتشر بزوايا 140° أفقيا على خلاف المصادر النقطية التي تهب لجميع الاتجاهات[7].

الرمز	البيانات	حجم القاعة (3م) V	استيعاب القاعة C (مقعد)	المتغير الاول V/C	المتغير الثاني Rt
e	أوبرا القاهرة	6900	1300	5.3	1.3
f	أوبرا سدني	6400	1547	4.1	1.3
g	أوبرا باريس الوطنية	11730	1979	5.9	1.1
h	أوبرا الباستيل	31600	2700	11.7	1.3

(1) قوة العلاقة: 0.040492627

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الثاني (Rt) بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الاول (V/C) وحسب المعادلة التالية:

$$Rt = -0.005(V/C)^4 + 0.159(V/C)^3 - 1.8099(V/C)^2 + 8.6058(V/C) - 13.139$$

2.1.4 العلاقة بين ارتفاع القاعة وزمن التردد الخاص بالقاعة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول ارتفاع القاعة (H)

المتغير الثاني زمن التردد (Rt).....المطلوب وحسب البيانات في الجدول (2.4):

جدول (2.4): البيانات الخاصة بارتفاع القاعة وزمن التردد.

الرمز	البيانات	ارتفاع القاعة H	زمن التردد Rt
a	أوبرا واكنر	16	1.55
b	أوبرا ألتو	17	1.3
c	تياترو الأسكالا	20	1.2
d	متروبوليتان	22	1.2
e	أوبرا القاهرة	15	1.3

الباب الرابع: الجانب التطبيقي واختبار الفرضية البحثية:

يشمل هذا الجانب على اجراء (6) اختبارات لعلاقات هندسية تخص مكونات الفضاء السمعي الأوبرالي وتم الاختبار على (8) نماذج مختلفة ومتنوعة من دور الأوبرا المتميزة عالميا وتم الاعتماد على الفرضية البحثية التالية:

(إن العلاقات الهندسية لمكونات الفضاء السمعي الأوبرالي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة الأداء الصوتي لدور الأوبرا)، ليتم التوصل إلى مؤشرات تصميمية تلعب الدور الرئيسي في التأثير على كفاءة الأداء الفعلي لهذه الأبنية.

1.4 العلاقات الخاصة بالمحددات الصوتية للفضاء السمعي:

1.1.4 العلاقة بين النسبة الحجمية لكل مقعد

وزمن التردد الخاص للقاعة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول النسبة الحجمية لكل مقعد (V/C) المتغير الثاني زمن التردد (Rt).....المطلوب وحسب البيانات في الجدول (1.4):

جدول (1.4): البيانات الخاصة بالنسبة الحجمية وزمن التردد.

الرمز	البيانات	حجم القاعة (3م) V	استيعاب القاعة C (مقعد)	المتغير الاول V/C	المتغير الثاني Rt
a	أوبرا واكنر	10300	1925	5.35	1.55
b	أوبرا ألتو	11730	1125	10.4	1.3
c	تياترو الأسكالا	11200	2800	4	1.2
d	متروبوليتان	19700	3045	6.5	1.2

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الثاني (Rt) بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الاول (C) وحسب المعادلة التالية:

$$Rt = - 5E-05C + 1.3881$$

4.1.4 العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة

وعرض القاعدة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول الفجوة الزمنية الحرجة (I.T.D) المطلوب

المتغير الثاني عرض القاعدة (W)

وحسب البيانات في الجدول (4.4):

جدول (4.4): البيانات الخاصة بالفجوة الزمنية الحرجة وعرض القاعدة.

الرمز	البيانات	المتغير الاول I.T.D	المتغير الثاني W
a	أوبرا واكنر	14.4	23
b	أوبرا آتو	18.3	30
c	تياترو الأسكالا	15.12	20
d	متروبوليتان	22.18	28
e	أوبرا القاهرة	18.3	20
f	أوبرا سدن	18.3	20
g	أوبرا باريس الوطنية	17.15	23
h	أوبرا الباستيل	18.3	43

(1) قوة العلاقة: 0.316897661

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الاول (I.T.D) بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الثاني (W) وحسب المعادلة التالية:

$$I.T.D = 0.0977W + 15.184$$

الرمز	البيانات	ارتفاع القاعة H	زمن التردد Rt
f	أوبرا سدن	16	1.3
g	أوبرا باريس الوطنية	15	1.1
h	أوبرا الباستيل	21	1.3

(1) قوة العلاقة: - 0.208548744

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الثاني (Rt) بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الاول (H) وحسب المعادلة التالية:

$$Rt = - 0.0097H + 1.4532$$

3.1.4 العلاقة بين استيعاب القاعدة وزمن التردد

الخاص بالقاعدة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول استيعاب القاعدة (C)

المتغير الثاني زمن التردد (Rt).....المطلوب وحسب البيانات في الجدول(3.4):

جدول (3.4): البيانات الخاصة باستيعاب القاعدة وزمن التردد.

الرمز	البيانات	استيعاب القاعة C	زمن التردد Rt
a	أوبرا واكنر	1925	1.55
b	أوبرا آتو	1125	1.3
c	تياترو الأسكالا	2800	1.2
d	متروبوليتان	3045	1.2
e	أوبرا القاهرة	1300	1.3
f	أوبرا سدن	1547	1.3
g	أوبرا باريس الوطنية	1979	1.1
h	أوبرا الباستيل	2700	1.3

(1) قوة العلاقة: - 0.288550796

وحسب البيانات في الجدول (6.4):

جدول (6.4): البيانات الخاصة بالفجوة الزمنية الحرجة وعمق القاعة.

الرمز	البيانات	المتغير الاول I.T.D	المتغير الثاني L
a	أوبرا واكنز	14.4	28
b	أوبرا آلتو	18.3	23
c	تياترو الأسكالا	15.12	28
d	متروبوليتان	22.18	32
e	أوبرا القاهرة	18.3	23
f	أوبرا سدني	18.3	20
g	أوبرا باريس الوطنية	17.15	34
h	أوبرا الباستيل	18.3	35

(1) قوة العلاقة: 0.087848191

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الاول (I.T.D)

بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الثاني (L) وحسب

المعادلة التالية:

$$I.T.D = 0.0376L + 16.709$$

الباب الخامس نتائج الاختبارات:

خص هذا الباب على استقرار ومناقشة نتائج كل

علاقة تم اجراؤها في الباب السابق وكما يلي:

1.5 نتائج العلاقات الخاصة بالمحددات

الصوتية للفضاء السمعي:

1.1.5 نتائج العلاقة بين النسبة الحجمية وزمن

التريد:

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الأول

(النسبة الحجمية (V/C) في المعادلة

$$[Rt = -0.005(V/C)^4 + 0.159(V/C)^3 - 1.8099(V/C)^2 + 8.6058(V/C) - 13.139]$$

5.1.4 العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة

وارتفاع سقف القاعة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول الفجوة الزمنية الحرجة

(I.T.D).....المطلوب

المتغير الثاني ارتفاع سقف القاعة (H)

وحسب البيانات في الجدول (5.4):

جدول (5.4): البيانات الخاصة بالفجوة الزمنية الحرجة

وارتفاع سقف القاعة.

الرمز	البيانات	المتغير الاول I.T.D	المتغير الثاني H
a	أوبرا واكنز	14.4	16
b	أوبرا آلتو	18.3	17
c	تياترو الأسكالا	15.12	20
d	متروبوليتان	22.18	22
e	أوبرا القاهرة	18.3	15
f	أوبرا سدني	18.3	16
g	أوبرا باريس الوطنية	17.15	15
h	أوبرا الباستيل	18.3	21

(1) قوة العلاقة: 0.413554582

(2) استخراج القيمة الحسابية للمتغير الاول (I.T.D)

بدلالة القيمة الحقيقية للمتغير الثاني (H) وحسب

المعادلة التالية:

$$I.T.D = 0.0441H^3 - 2.214H^2 + 36.418H - 179.16$$

6.1.4 العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعمق

القاعة:

حسب الفرضية التالية:

المتغير الاول الفجوة الزمنية الحرجة

(I.T.D).....المطلوب

المتغير الثاني عمق القاعة (L)

2.1.5 نتائج العلاقة بين ارتفاع القاعة وزمن التردد:

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الاول (ارتفاع القاعة H) في المعادلة الحسابية للمتغير الثاني المطلوب (زمن التردد Rt) و حسب الجدول (2.5):

جدول (2.5): القيم الحسابية لزمن التردد.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية Rt ↓	Rt الحسابية H الحقيقية	النتائج
a	واكثر	1.3	16\1.3	0.08
b	التو	1.29	17\1.29	0.08
c	الاسكالا	1.26	20\1.26	0.06
d	متروبوليتان	1.24	22\1.24	0.06
e	القاهرة	1.31	15\1.31	0.09
f	سدني	1.3	16\1.3	0.08
g	باريس	1.31	15\1.31	0.09
h	الباستيل	1.25	21\1.25	0.06

وبإيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 0.075 ثا م.

أ. استقراء نتائج اختبار العلاقة: تعني العلاقة بين ارتفاع القاعة وزمن التردد الخاص بها وقوة العلاقة بين المتغيرين المستخرجة حسب معامل الارتباط (-0.21) ان العلاقة ضعيفة وعشوائية وتميل العلاقة إلى التناسب العكسي لأنه إذا كان ارتفاع القاعة يسبب زيادة في عدد الشرفات وزيادة في الاستيعاب فإن العلاقة عكسية حيث يؤدي ذلك إلى زيادة في الامتصاص الصوتي للفضاء وبالتالي نقصان في قيمة Rt وإذا كان الارتفاع لا يسبب زيادة في عدد الشرفات فإن العلاقة طردية بدون تأثير المتغير الثالث وهو استيعاب القاعة والذي يتناسب عكسيا مع Rt.

يتم استخراج القيم الحسابية للمتغير الثاني المطلوب (زمن التردد Rt) وحسب الجدول (1.5):

جدول (1.5): القيم الحسابية لزمن التردد.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية Rt ↓	Rt الحسابية (V/C) الحقيقية	النتائج
a	واكثر	1.35	5.35\1.35	0.25
b	التو	0.96	10.4\0.96	0.09
c	الاسكالا	1.22	4\1.22	0.31
d	متروبوليتان	1.07	6.5\1.07	0.16
e	القاهرة	1.36	5.3\1.36	0.26
f	سدني	1.27	4.1\1.27	0.31
g	باريس	1.23	5.9\1.23	0.21
h	الباستيل	0.75	11.7\0.75	0.06

وبإيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 0.21 ثا. شخصاً م³.

أ. استقراء نتائج اختبار العلاقة: قوة العلاقة بين المتغيرين المستخرجة حسب معامل الارتباط (0.04) تعني ان العلاقة ضعيفة جدا والتغير عشوائي وذلك لوجود متغير رئيسي ثالث وهو استيعاب القاعة والذي يتغير عكسيا مع (Rt) حيث ان زيادة الحجم قد يسبب زيادة في استيعاب القاعة وزيادة في الامتصاص الكلي وبالتالي يؤدي إلى نقصان قيمة Rt. والمعادلة تفيد في استخراج قيم المتغير الثاني بدلالة المتغير الأول فقط. ان النسبة الحسابية بين المتغيرين وهي 0.21 ثا. شخصاً/م³ أي ان بزيادة النسبة الحجمية يزداد زمن التردد في حالة ثبوت استيعاب القاعة.

ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين النسبة الحجمية لكل مقعد في القاعة وزمن ترديدها إلى تحديد قيمة زمن التردد المناسبة للعرض الأوبرالي اعتمادا على حجم القاعة ومقدار امتصاصية مقاعدها.

ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين استيعاب القاعة وزمن التردد الخاص بها إلى تحديد قيمة زمن التردد المناسبة في القاعة نسبة إلى استيعابها وبثوث حجمها حيث يؤدي زيادة استيعاب القاعة إلى زيادة في مقدار امتصاصيتها للطاقة الصوتية وبالتالي التقليل من قيمة زمن التردد.

4.1.5 نتائج العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة و

عرض القاعة:

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الثاني (عرض القاعة W) في المعادلة $[I.T.D = 0.0977W + 15.184]$ يتم استخراج القيم الحسابية للمتغير الأول المطلوب (I.T.D) وحسب الجدول (4.5):

جدول (4.5): القيم الحسابية للفجوة الزمنية الحرجة.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية I.T.D	القيم الحسابية W	النتائج
a	واكتر	17.4	23\17.4	0.76
b	التو	18.1	30\18.1	0.60
c	الاسكالا	17.1	20\17.1	0.86
d	متروبوليتان	17.9	28\17.9	0.64
e	القاهرة	17.1	20\17.1	0.86
f	سدني	17.1	20\17.1	0.86
g	باريس	17.4	23\17.4	0.76
h	الباستيل	19.4	43\19.4	0.45

وبإيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 0.72م.

أ. استقراء نتائج اختبار العلاقة: ان العلاقة بين المتغيرين علاقة مؤثرة وتميل إلى التغير الطردي بنسبة 0.72م.

ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعرض القاعة إلى تحديد نسبة الانعكاسات الأولية للصوت المباشر حيث ان

ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين ارتفاع القاعة وزمن التردد الخاص بها إلى تحديد قيمة زمن التردد المناسبة للعرض الأوبرالي اعتمادا على ارتفاع القاعة حيث زيادته (مع إهمال الزيادة في استيعاب القاعة) تزداد رحلة انعكاسات الصوت مما يعني زيادة في زمن تلاشي الترددات الصوتية.

3.1.5 نتائج العلاقة بين استيعاب القاعة و زمن

التردد:

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الأول (استيعاب القاعة C) في المعادلة $Rt = -5E-05C + 1.3881$ يتم استخراج القيم الحسابية للمتغير الثاني المطلوب (زمن التردد Rt) وحسب الجدول (3.5):

جدول (3.5): القيم الحسابية لزمن التردد.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية Rt	القيم الحسابية C	النتائج
a	واكتر	1.29	1925\1.29	0.0007
b	التو	1.33	1125\1.33	0.0012
c	الاسكالا	1.25	2800\1.25	0.0005
d	متروبوليتان	1.24	3045\1.24	0.0004
e	القاهرة	1.32	1300\1.32	0.0010
f	سدني	1.31	1547\1.31	0.0008
g	باريس	1.29	1979\1.29	0.0007
h	الباستيل	1.25	2700\1.25	0.0005

وبإيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 0.0058

أي ثا شخص.

أ. استقراء نتائج اختبار العلاقة: العلاقة مؤثرة بين المتغيرين وهي علاقة عكسية أي ان زيادة استيعاب القاعة يقل زمن التردد الخاص بها و بنسبة 0.0058 ثا\الشخص الواحد وبثوث الحجم الكلي للقاعة.

6.1.5 نتائج العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة**وعمق القاعة:**

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الثاني (عمق القاعة L) في المعادلة [I.T.D = 0.0376L + 16.709] يتم استخراج القيم الحسابية للمتغير الأول المطلوب (I.T.D) و حسب الجدول (6.5):

جدول (6.5): القيم الحسابية للفجوة الزمنية الحرجة.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية I.T.D ل	I.T.D الحسابية L الحقيقية	النتائج
a	واكثر	17.8	28\17.8	0.64
b	التو	17.6	23\17.6	0.77
c	الاسكالا	17.8	28\17.8	0.64
d	متروبوليتان	17.9	32\17.9	0.56
e	القاهرة	17.6	23\17.6	0.77
f	سدني	17.5	20\17.5	0.88
g	باريس	18	34\18	0.53
h	الباستيل	18	35\18	0.51

وبيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 0.66 تام. أ. استقرار نتائج اختبار العلاقة: ان العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعمق القاعة هي علاقة ضعيفة وتميل إلى التغير الطردي وبنسبة 0.66 تام. ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعمق القاعة إلى تحديد نسبة الانعكاسات المتأخرة للصوت من الجدار الخلفي للقاعة والتي بزيادتها تؤدي إلى حدوث ظاهرة الصدى والصدى المتكرر.

بزيادة عرض القاعة تزداد رحلة الانعكاسات والتي قد تسبب حدوث ظاهرة الصدى.

5.1.5 نتائج العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة**وارتفاع القاعة:**

عند التعويض عن القيم الحقيقية للمتغير الثاني (ارتفاع القاعة H) في المعادلة [I.T.D = 0.0441H³ - 2.214H² + 36.418H - 179.16] يتم استخراج القيم الحسابية للمتغير الأول المطلوب (I.T.D) و حسب الجدول (5.5):

جدول (5.5): القيم الحسابية للفجوة الزمنية الحرجة.

الرمز	الاوبرا	القيم الحسابية I.T.D ل	I.T.D الحسابية H الحقيقية	النتائج
a	واكثر	17.4	16\17.4	1.09
b	التو	16.8	17\16.8	0.99
c	الاسكالا	16.4	20\16.4	0.82
d	متروبوليتان	20	22\20	0.91
e	القاهرة	17.8	15\17.8	1.19
f	سدني	17.4	16\17.4	1.09
g	باريس	17.8	15\17.8	1.19
h	الباستيل	17.7	21\17.7	0.84

وبيجاد الوسط الحسابي للنماذج الثمانية وهو 1.02 تام. أ. استقرار نتائج اختبار العلاقة: ان العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وارتفاع القاعة هي علاقة مؤثرة وتميل إلى التغير الطردي وبنسبة (1.02 تام). ب. مناقشة نتائج اختبار العلاقة: تشير العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وارتفاع القاعة إلى تحديد نسبة الانعكاسات الأولية للصوت المباشر حيث أن بزيادة ارتفاع القاعة تزداد رحلة الانعكاسات والتي قد تسبب حدوث ظاهرة الصدى.

الباب السادس: الاستنتاجات**1.6 المؤشرات التصميمية الخاصة باختبار****العلاقات الهندسية:**

1. (العلاقة بين النسبة الحجمية وزمن التردد) وهي علاقة ضعيفة وتتغير عشوائيا وحسب النسبة 0.21 ثا/شخص/م³ وحسب معادلة الانحدار المتعدد:

$$[Rt = - 0.005(V/C)^4 + 0.159(V/C)^3 - 1.8099(V/C)^2 + 8.6058(V/C) - 13.139]$$

2. (العلاقة بين ارتفاع القاعة وزمن التردد) وهي علاقة ضعيفة وتميل إلى التغير العكسي وبنسبة 0.075 ثا/م وحسب معادلة الانحدار البسيط:

$$[Rt = - 0.0097H + 1.4532].$$

3. (العلاقة بين استيعاب القاعة وزمن التردد) وهي علاقة مؤثرة وتتغير عكسي وبنسبة 0.0058 ثا/شخص وحسب معادلة الانحدار البسيط:

$$[Rt = - 5E - 05C + 1.3881].$$

4. (العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعرض القاعة) وهي علاقة مؤثرة وتميل إلى التغير الطردي وبنسبة 0.72 ثا/م وحسب معادلة الانحدار البسيط:

$$[I.T.D = 0.0977W + 15.184].$$

5. (العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وارتفاع القاعة) وهي علاقة مؤثرة وتميل إلى التغير الطردي وبنسبة 1.02 ثا/م وحسب معادلة الانحدار المتعدد:

$$[I.T.D = 0.0441H^3 - 2.214H^2 + 36.418H - 179.16]$$

6. (العلاقة بين الفجوة الزمنية الحرجة وعمق القاعة) وهي علاقة ضعيفة وتميل إلى التغير الطردي وبنسبة 0.66 ثا/م وحسب معادلة الانحدار البسيط:

$$[I.T.D = 0.0376L + 16.709]$$

2.6 استنتاجات البحث:

1. ان اعتماد الدراسة على (6) علاقات هندسية لثمانية نماذج من أشهر دور الأوبرا في العالم والمتنوعة في أشكال قاعاتها وسعاتها وأبعادها وخصوصيتها

الصوتية ومن خلال اتباع المنهج التحليلي المقارن يؤكد على أهمية اعتماد الدراسة التطبيقية على الطريقة التنبؤية باستخدام المعادلات الرياضية ذات الانحدار البسيط والمتعدد لإيجاد قيم جديدة لهندسية الفضاء السمعي واستخلاص مؤشرات تصميمية جديدة تؤدي إلى تحسين الأداء الوظيفي وتفيد في المراحل الأولية لتصميم جديد للفضاء الأوبرالي.

2. تعتبر هندسية الفضاء من العوامل الرئيسية التي تتحكم في كفاءة الأداء الوظيفي السمعي والبصري للعرض الأوبرالي إضافة إلى عامل الحجم وزمن التردد والتبطين الداخلي للفضاء.

3. ان إمكانية التحصيل على معادلات رياضية خطية وغير خطية تشير إلى إمكانية التنبؤ بقيم ومحددات جديدة لها هندسية معينة ومحددات سمعية وبصرية يمكن توقعها واعتمادها في أوليات تصميم الفضاء الأوبرالي. وأن اعتماد الطريقة التنبؤية لإيجاد قيم هندسية جديدة للفضاء الأوبرالي باعتماد المعادلات الرياضية يمكن ان تحقق نتائج واقعية إذا كانت القيم الحسابية للبيانات مطابقة أو مقاربة للقيم الحقيقية لها.

4. ان اتباع طريقة القياس الحقيقي والقياس الحسابي أو التوقعي في اختبارات البحث يؤكد على أهمية الطريقتين في حسابات كفاءة الأداء السمعي والبصري للفضاءات الأوبرالية.

5. تعتبر قيمة الوسط الحسابي لمجموع البيانات بين نسب القيم الحقيقية للمتغير المعوض في المعادلة الرياضية والقيم الحسابية للمتغير المطلوب مؤشرا مؤثرا في العملية التصميمية.

6. ان معامل الارتباط يفيد في استخراج قوة العلاقة بين القيم الحقيقية للمتغيرين المؤثرين في كل علاقة هندسية، اذا كانت العلاقة قوية دليل على ان العلاقة مباشرة بين المتغيرين واذا كانت العلاقة ضعيفة بين المتغيرين دليل على دخول متغيرات اخرى مؤثرة في العلاقة.

2. حماد، رزق شعبان، عبد العزيز، محمد كامل "التصميم الصوتي لمسجد الملك عبد الله الحسين"، عمان - الأردن، مجلة دراسات - المجلد 16 العدد 1989-5.
3. حماد، رزق شعبان، الزعبي، يحيى تمثيل انتشار الموجات الصوتية داخل الفراغات المعمارية باستعمال الحاسوب"، مجلة جامعة دمشق، المجلد الرابع، العدد 15-1988.
4. حماد، رزق شعبان "الصوت والعمارة"، مطبعة جامعة دولة الإمارات العربية، 1987.
5. خلوصي، محمد مهجد " لأبنية الثقافية الفنية - معارض - قاعات مؤتمرات وبرلمانات"، الموسوعة الهندسية المعمارية - دار قيس، بيروت، 2001.
6. الخفاجي، صبا جبار نعمة "دراسة المحددات التخطيطية والتصميمية لأبنية المسارح وتقييمها في العراق"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية، جامعة بغداد، 1986.
7. الخفاجي، صبا جبار نعمة "الهندسة الصوتية والعمارة - تأثير المواصفات الشكلية للفضاءات السمعية على كفاءة أدائها الصوتي"، رسالة دكتوراه في الهندسة المعمارية، جامعة بغداد، 1996.
8. الخفاجي، صبا جبار نعمة، مراد، فهمي بشير "أثر التخصص الوظيفي لدور الأوبرا على محددات التصميم المعماري والصوتي"، بحث مقدم إلى كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1997.
9. الخوجة، سارة منذر عبد الله "أثر المحددات التخطيطية والتصميمية لدور الأوبرا على أدائها الوظيفي"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية، امعة بغداد، 2001.
10. الرواس، نزار، احمد، محمد "دورة في مبادئ الهندسة الصوتية والقاعات السمعية"، بحث مقدم إلى كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1983.
11. الرواس، باسل عدنان "تأثير الخصائص التصميمية الخاصة بعمارة المساجد في كفاءة الأداء الصوتي
7. ان زيادة حجم القاعة قد لا يلحقه زيادة في استيعابها وذلك اعتمادا على أسلوب تنظيم الجلوس وعلى النسب بين الأبعاد الثلاثة للقاعة. فإذا كان زيادة حجم القاعة لا يلحقه زيادة في استيعابها فإنه بسبب زيادة في قيمة زمن التردد وذلك بسبب الزيادة في زمن تلاشي الصوت. وإذا كان زيادة حجم القاعة يلحقه زيادة في استيعابها فإن قيمة زمن التردد تقل وذلك بسبب الزيادة في مقدار الامتصاص الصوتي.
8. ان زيادة ارتفاع القاعة قد لا يعني الزيادة في حجمها إلا في حالة ثبوت المساحة الأرضية لها وبالتالي فإنه قد لا يسبب في رفع من قيمة زمن التردد. فإذا كانت زيادة ارتفاع القاعة يسبب زيادة في عدد الشرفات فإن العلاقة عكسية بين ارتفاع القاعة وزمن التردد لأن ذلك يؤدي إلى زيادة في مقدار امتصاصيتها وبالتالي خفض من قيمة زمن التردد، في حين إذا كان زيادة ارتفاع القاعة لا يسبب زيادة في عدد الشرفات فالعلاقة طردية بين ارتفاع القاعة وزمن التردد وبثبوت المساحة الأرضية لها.
9. عند تقليل حجم القاعة يزداد مقدار الانعكاسات الصوتية الأولية مما يقلل من الفجوة الزمنية الحرجة ويعزز الصوت.
10. ان دخول متغير ثالث وهو استيعاب القاعة في العلاقة بين النسبة الحجمية وزمن التردد الذي تؤدي زيادته إلى زيادة نسبة الامتصاص الصوتي للقاعة مما يقلل من قيمة زمن التردد والانعكاسات يجعل من العلاقة تميل إلى التغير الطردي في ظروف معينة وتميل إلى التغير العكسي في ظروف أخرى.

المصادر

المصادر العربية:

1. حسين، وضاح عبد الصاحب "أثر المتطلبات الصوتية في تصميم القاعات السمعية المتوسطة الحجم"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية، الجامعة التكنولوجية، 1987.

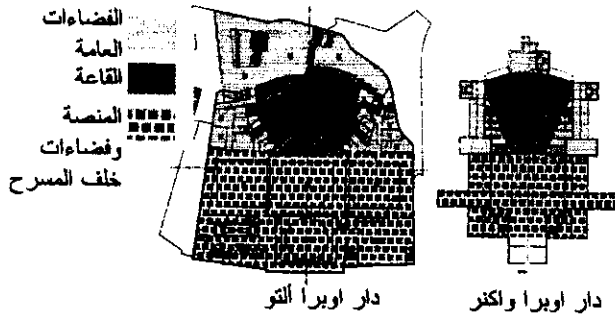
23. Doelle, L. L; "Environmental Acoustics", McGraw Hill Book Company, New York, 1972.
24. Egan, M. David; "Architectural Acoustics", McGraw Hill Book Company, New York, 1988.
25. Furrer, W.; "Room and Building Acoustics and Noise Abatement", Batterworths, London, 1964.
26. Gropius, Walter, Gropius, Ise & Bayer, Herbert; "Bauhaus 1919-1925", Teufen, Switz, Verlag Arthur Niggli, 1955.
27. Hall, D. E.; "Basic Acoustic", Harper & Row Publishers Inc., New York, 1987.
28. Ham, Roderick; "Theater Planning", The Architectural Press, London, 1974.
29. Harries, C. M.; "Hand Book of Noise Control", New York, Toronto, London, 1978.
30. Hatje, Gerd; "Encyclopedia of Modern Architecture", Thames and Hudson. London, 1963.
31. Herodutus, "Histories", Vol. 2, and Translation by A. Theophilos-Athens: Epistimonike Ekdoseis Papyros, 1953, pp.
32. Izenour, George; "Theatre Design", New York, McGraw-Hill, 1977.
33. Knudsen, V. O., Harris, C. M.; "Acoustical Designing in Architecture", John Wiley & Sons, New York, 1962.
34. Lawrence, Anita; "Architectural Acoustics", Elsevier Publishers Ltd., Amsterdam, 1979.
35. Mackenzie, R.; "Auditorium Acoustics", Applied Science Publishers Ltd., London, 1975.
36. Neufert, E.; "Architect's Data", The New International Edition, BSP Professional Books, British Library, 1988.
37. Nietzsche, Friedrich; "The Birth of Tragedy", Greek Translation, and Athens: Govostis.
38. Norton, Charles Eliot; "Spare, Time and Architecture, the growth of a new tradition", Cambridge, Massachusetts,

فيها"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية، الجامعة التكنولوجية، 1994.

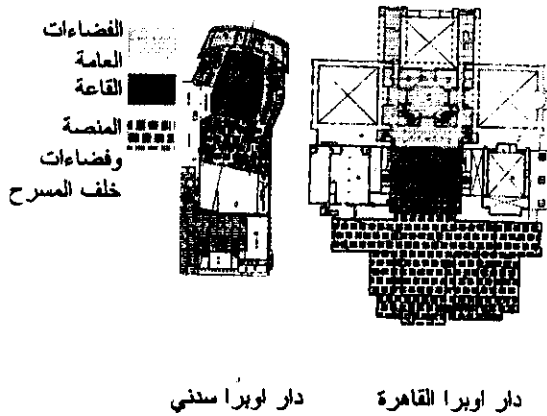
12. شاهين، بهجت رشاد، الخفاجي، صبا جبار نعمة "المحددات الأساسية في تصميم قاعات المحاضرات متوسطة الحجم 120-240 مقعد" المؤتمر العلمي الأول لوزارة الإسكان والتعمير، 1989.
13. الطائي، احمد حميد "عمارة القاعات الموسيقية"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية، جامعة بغداد، 1995.
14. كرجيه، محمد منهل عبد الغني "محددات التصميم للبيئة الصوتية في القاعات الكلامية سعة (200-400) مقعد"، رسالة ماجستير في الهندسة المعمارية - جامعة بغداد 2000.
15. مجلة عمارة، العدد الثالث، 1989.

المصادر الأجنبية:

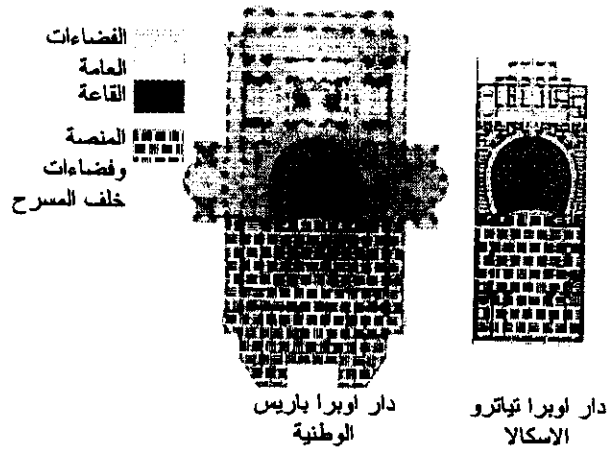
16. Athanasopoulos, Christos G.; "Contemporary Theatre", A Wiley interscience Publication, John Wiley & Sons, 1983.
17. Bennett, Paul; "Sydney-Opera-House", Produced by the Publicity Department, Sydney Opera House Trust, GPO Box 4274, Sydney, Australia, 1983.
18. Beranek, Leo L.; "Music, Acoustics & Architecture", John Wiley and Sons, INC., New York, London, 1962.
19. Beuvertt, Thierry; "Opera Houses Of The World", The Vendome Press., 1996.
20. Burris, Harold-Meyer and Edward C. Cole; "Theaters and Auditoriums", Second Edition, Robert E. Krieger Publishing Co., INC. Huntington, New York, 1975.
21. Callender, J. H.; "Time-Saver Standards for Architectural Design Data", McGraw Hill Book Company, New York, 1982.
22. Chiara & Callender, J.; "Time-Saver Standards for Building Types", McGraw Hill Book Company, New York, 1980.



شكل (2): مقارنة بين دار أوبرا واكنز ودار أوبرا ألتو.



شكل (3): مقارنة بين دار أوبرا القاهرة ودار أوبرا سدني.



شكل (1): مقارنة بين دار أوبرا تياترو أسكالا ودار أوبرا باريس الوطنية.

- Harvard University Press, Fifth Edition, 1971.
39. Paris National Opera, a special issue of "Connaissance des Arts", 1996.
 40. Parkin, P. H.; "Acoustics, Noise, and Buildings", Faber and Faber Ltd., London, 1971.
 41. Porges, G.; "Applied Acoustics", Edward Arnold, London, 1977.
 42. Purkes, H. J. "Building Physics: Acoustics", Pergamon Press Ltd., First Edition, Oxford, 1966.
 43. Smith, B. J., Peters, P. J. and Owen, S.; "Acoustic and Noise Control", Longman Grool Ltd., New York, 1982.
 44. Templeton, Duncan; "Acoustics in the Built Environment", Advice for the design team, Second Edition, Great Britain, 1997.
 45. The Architectural Review; "Performance", 1108. June 1989 Consultant Editor, Dennis Sharp.
 46. Whiting, Frank; "An Introduction To The Theatre", Harper & Row, New York, 1954.