جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
كلية الدراسات العليا
برنامج ماجستير الهندسة المعمارية

تقييم مساحات الإمتصاص في القاعات الكبرى
(نموذج قاعة أوبرا سيدني ، استراليا)..

An Evaluation of the Absorption Areas in Large Halls
(Sydney Opera as an Example)

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الهندسة المعمارية

تخصص خدمات مباني

اعداد : محنّه الوليد سيدأحمد محمود

اشراف : أ.د سعود صادق حسن

2022 م

الآية

قال الله تعالى :﴿ اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذي خَلَقَ ﴿١﴾ خَلَقَ الْإِنسَانَ منْ عَلَقٍ ﴿٢﴾ اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ﴿٣﴾ الَّذيَ عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ﴿٤﴾ عَلَّمَ الْإِنسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ﴿٥﴾

سورة العلق الآيات (١ – ٥)

الإهــدء ...

إلى من لايمكن للكلمات أن توفي حقها

إلى من لايمكن للأرقام أن تحصي فضائلهما

إلى والدي العزيزين أدامهما الله لي

من ربتني وأنارت دري وأعانتني بالصلوات والدعوات ، إلى اغلى إنسان في هذا الوجود، أمي الحبيبــة

إلى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح وأوصلني إلى مـا انا عليه، أبي الكريم أدامه الله لــي

إلى اخوتي واخواتي

إلى من كان بجانبي في كل تفاصيلي بكل حب .. زوجي العزيز

أصدقائي ..

وإلى كل من سقط من قلمي سهوا

شكـرا من القلب

شكــر وعرفـــان ...

يسرني بعد إتمام هذا البحث بتوفيق من الله أن اتقدم بأخلص الشكر والعرفان والتقديـر إلى الأستاذ سعود صادق حسن ، له مني الشكر الجزيل والإمتنان العميق على سمـاحة خلقه وتوجيهاته السديدة من أجل أن يرى هذا البحث النور.
كما أقدم شكري لكل أساتذتي بكلية العمارة والتخطيط..
أشكر جميع الأشخاص الذين ساهمو في إنجاح هذا البحث سواء بتوجيه أو معونة معنوية .. وفي مقدمتهم تلك التي هي جزء من روحي ... أمي الحبيبـة التي لم يغمض لها جفن طيلة مسيرتي في هذا العمل، وابي الحبيب منبع الحب وسر نجاحاتي في هذة الحياة،،
ايضا كل الشكر الى تلك الروح التي لم تفارق تفاصيلي رغم المسافات ..

شكـــــرا...

الباحـث : محنّــه الوليد سيدأحمد

المستخلص:

تم اختيار موضوع البحث لما اصبحت تلعبه دور الاوبرا والمسارح من دور هادف ومؤثر لتنمية الوعي الفني والثقافي للافراد داخل المنظومة المجتمعية، وايضا لتسليط الضوء على هذا النوع من الفنون الراقيه التي يفتقرها السودان من اجل مواكبة العالم الخارجي وتطوير مستوى الفنون في السودان . لذلك تم أختيار قاعة أوبرا سيدني لما فيها من تنوع صوتي ومعالجات صوتية صممت بواسطة خبراء مختصين.

على الرغم من أهمية هذا النوع من المباني التى تعتمد على مفهوم الراحة الصوتية الا انه من القليل جدا وجود المصممين الملمين بمحددات التصميم الصوتى الناجح لذا كان لابد من التطرق للعوامل المؤثرة على التصميم الصوتى لقاعات الأوبرا والتى تحقق منسوب صوتي مناسب وخال من العيوب ويعتمد ذلك على مدى إلمام المصمم بسلوك الصوت داخل هذه الفراغات ومدى تأثير الأشكال التصميمية منذ بداية مرحلة التصميم.

اهدف البحث الى تحقيق التوافق بين التصميم او التشكيل الداخلي ومعدل الصوت المطلوب في قاعات الأوبرا عن طريق دراسة ووضع محددات تصميمية لتحقيق منسوب صوت مناسب وخالي من العيوب مثل (الصدى ، الطنين ...) داخل هذه القاعات . ايضا لتعرف على العوامل المؤثره على التصميم الصوتي للقاعات (عوامل داخلية وخارجية). ومعرفة مدى اهمية مدى تأثير شكل القاعة على البيئة الصوتية داخلها ، ووضع حلول تصميمية لمشاكل اشكال القاعة المختلفة والشائعة الاستخدام والمؤثرة على البيئة الصوتية وكيفية الاستفادة من عناصر المبنى لتقليل الضجيج .

تتمثل منهجية البحث في الإطار النظرى على المنهج التاريخى والوصفى من خلال جمع معلومات من المصادر والمراجع بشتى اللغات عن البيانات المتصلة بالموضوع ، وذلك من خلال اختيار حالة واختبارها وتحليلها و دراسة النتائج وتحديد مردود كفاءة الاداء الصوتي للقاعات و المسارح للتوصل لخلاصات في تطوير نظم الصوتيات والعزل الصوتي الجيد والاستخدام الامثل للمواد الماصة وتحديد اثرها علي القاعات والمسارح .

تشمل الخطوات والطرق والاساليب المستخدمة ، ودراسة الجوانب النظرية وعمل تحاليل للاداء الصوتي ونوعية المواد المستخدمة للمساعدة علي خلق بيئة مثالية للمسارح والقاعات .

ومن النتائج التي توصل اليها البحث هي مدي الاهتمام بمجال التصميم الصوتي عالميا ، ووجود أخصائيين في مجال الصوتيات .

أهم الخلاصات للبحث هى ان درجة وضوح الصوت في مثل هذه القاعات يكون افضل عندما يكون زمن التردد الصوتي فيها ملائما مما يترتب ضمان الحجم المناسب للقاعة ، وتحديد أماكن الأمتصاص والانعكاس بالقاعه .. وأن الشكل الداخلي ومكونات القاعة يؤثران على جودة الصوت داخلها ، وانه ليس من الضروري استخدام عواكس اضافية ومواد ماصة حديثة ومعقده للوصول لافضل اداء صوتي ولكن يلعب التصميم الداخلي المدروس دورا مهما لتوفير ذلك .

ومن اهم التوصيات في هذا البحث للمصممين المعماريين هو تعزيز جانب التصميم الصوتي منذ مراحل التصميم الأولى وإستخدام تقنيات مختلفة لمعرفة سلوك الصوت داخل الفراغات وإستخدام أشكال هندسية منتظمة بدراسة توجيه الصوت وإنتشاره في كل أجزاء القاعة، ويجب عمل الاختبارات حسابيا للمواد المختارة لتحقيق زمن الإرتداد الأمثل .

اما التوصيات الخاصة بحالة الدراسة فهي تقليل مساحات الخشب المضغوط العاكس للصوت المستخدمة في القاعة لزيادة مساحات المواد الماصة للصوت ، ويمكن استبدال المقاعد المعدنية بمقاعد منجدة تنجيد كامل للزيادة من أمتصاص الصوت .

ABSTRACT:
The theme of the research was chosen because the role of opera and theatres has become meaningful and influential to develop the artistic and cultural awareness of individuals within the community system, and also to highlight the kind of fine arts that Sudan lacks in order to keep up with the outside world and develop the level of arts in Sudan. The Sydney Opera Hall was therefore selected for its vocal diversity and audio processors designed by specialists.
Despite the importance of this type of building that depends on the concept of acoustic comfort, it is very little that designers are familiar with the determinants of successful acoustic design, so it was necessary to address the factors affecting the acoustic design of opera halls, which achieve a suitable and flawless sound level and depends on the extent to which the designer is familiar with the behavior of the sound within these spaces and the extent to which the design shapes affect from the beginning of the design phase.
The research aims to achieve compatibility between the design or internal composition and the required sound rate in opera halls by studying and developing design parameters to achieve a suitable and flawless sound level such as (echo, buzz...) within these halls. Also, to learn about the factors affecting the acoustic design of the halls (internal and external factors).
To know how important, the shape of the hall affects the acoustic environment within it, and to develop design solutions to the problems of the different and commonly used hall shapes affecting the acoustic environment and how to use the elements of the building to reduce noise.
The methodology of research is the theoretical framework on the historical and descriptive approach by collecting information from sources and references in various languages on the data related to the subject, through the selection of case, testing and analysis, study of results and determining the results of the efficiency of the acoustic performance of halls and theaters to reach conclusions in the development of sound systems and good acoustic isolation and the optimal use of absorbent materials and determine their impact on halls and theaters.

These include steps, methods and methods used, study of theoretical aspects and analysis of acoustic performance and quality of materials used to help create an ideal environment for theatres and halls.

One of the findings of the research is the extent of interest in the field of acoustic design globally, and the presence of acoustic specialists.

The most important conclusion of the research is that the degree of sound clarity in such halls is better when the time of the sound frequency is appropriate, which entails ensuring the appropriate size of the hall, and locating the absorption and reflection of the hall. The interior and components of the hall affect the sound quality within it, and it is not necessary to use additional axs and modern and complex absorbent materials to reach the best sound performance, but the thoughtful interior design plays an important role in providing this.

One of the most important recommendations in this research for architects is to strengthen the aspect of acoustic design from the early stages of design and use different techniques to learn the behavior of sound within the spaces and the use of regular geometric forms by studying the guidance of sound and its spread throughout the hall, and the tests must be done mathematically for the materials selected to achieve the optimal recoil time.

The recommendations for the study case are to reduce the volume-reflecting compressed wood areas used in the hall to increase the space of the absorbents of sound, and the metal seats can be replaced by fully upholstered upholstery seats to increase the absorption of sound.

قائمة المحتويـات

	الموضوع	الصفحة
	الاية..	I
	الإهداء	II
	شكـر وعرفان	III
	المستخلص	IV
	ABSTRACT	V
	قائمـة المحتويات	VI
	الفصل الأول	
1-1	تمهيد	1
2-1	أهداف البحث	1
3-1	أهمية البحث	2
4-1	مشكلة البحث	2
5-1	فرضية البحث	2
6-1	أسئلة البحث	2
7-1	منهجية البحث	2
8-1	هيكل البحث	3
	الفصل الثاني	
1-2	مقدمة	4
2-2	مفهوم الصوتيات	4
3-2	الصفات المميزة للموسيقى	11
4-2	الخصائص الصوتية للموسيقى	12
5-2	التصنيف الصوتي لقاعات الأوبرا	13
6-2	الخلاصة	14
	الفصل الثالث	
1-3	مقدمة	15
2-3	تطور المسارح عبر التاريخ	15
3-3	تعريف الاوبرا	20
1-3-3	نشأة الاوبــرا	21
2-3-3	أنواع الاوبرا	21
4-3	تصميم قاعات الأوبرا	22
5-3	تحديات المعماري في دراسة الصوتيات في العمارة	23
6-3	التصميم الداخلي لقاعات الأوبرا	24

7-3	أهداف التصميم لقاعات الأوبرا.....	35
8-3	خطوات التصميم الصوتي لقاعات الأوبرا.....	35
9-3	أهداف التصميم الصوتي الناجح.....	36
10-3	دراسة وتحليل لبعض قاعات الاوبرا العالمية	36
1-10-3	أوبرا غوانزو – الصين –2011.....	37
2-10-3	سكالا ميلانو أوبرا.....	38
3-10-3	قاعة نيويورك للهارمونيكا.....	39
4-10-3	قاعة برلين للهارمونيكا.....	40
11-3	الخلاصة	41
	الفصل الرابع	
1-4	مقدمة.....	42
2-4	مكونات المشروع	43
3-4	دراسة التصميم الداخلي والصوتي للقاعة	48
4-4	التحليل الصوتي للقاعة.....	49
5-4	الخلاصة	54
	الفصل الخامس	
1-5	مقدمة.....	55
2-5	الخلاصات.....	55
3-5	التوصيات.....	56
4-5	المراجع.....	57

قائمة الصـور

الصورة	أسم الصورة	الصفحة
1-3	المسرح الكلوزيوم.....	16
2-3	المسرح الروماني.....	16
3-3	مسرح العربة في العصور الوسطى.....	17
4-3	المسارح في العصور الوسطى.....	17
5-3	المسرح الأولمبي.....	18
6-3	واجهة خشبة المسرح الأولمبي.....	18
7-3	منظور خارجي لأوبرا قوانزو.....	36
8-3	منظور داخلي لأوبرا قوانزو.....	36
9-3	الحوائط الداخلية المنحنية لأوبرا قوانزو.....	36
10-3	الواجهه الرئيسية لسكالا ميلانو أوبرا.....	38
11-3	مناظير داخلية لمسرح سكالا ميلانو أوبرا.....	38
12-3	منظور داخلي لقاعة نيويورك للهارمونيكا.....	39
13-3	الواجهة الرئيسية لقاعة برلين للهارمونيكا.....	40
1-4	منظور خارجي لأوبرا سيدني.....	42
2-4	تصميم التغطية لأوبرا سيدني.....	43
3-4	فكرة تصميم كتلة أوبرا سيدني	43
4-4	مناظير داخلية لقاعة الأوبرا.....	45
5-4	توضح قطاع فى القاعة الرئيسية تظهر المعالجات فى التغطية لتقليل صدى الصوت.....	46
6-4	توضح مناظير داخلية لقاعة الأوركسترا.....	46
7-4	مكبرات الصوت فى السقف.....	48
8-4	مجموعة حلقات الاكريلك.....	48
9-4	حلقة الاكريلك.....	40
10-4	طريقة تثبيت حلقات الاكريلك	48
11-4	يوضح تشكيل السحب مع الواح الخشب الرقائقي.....	48
12-4	العواكس المربعة في القاعة.....	48
13-4	مسقط أفقي يوضح توزيع حلقات الاكريلك.....	49
14-4	تجهيزات السقف من إضاءه مكبرات صوت.....	49

قائمة الأشكال

الشكل	أسم الشكل	الصفحة
1-1	هيكل البحث.....	3
1-2	الأمواج التقدمية للصوت	5
2-2	الموجات الصوتية في حالة حدوث تخلخلات وتضاغطات	5
3-2	الطول الموجي _ إهتزاز جزيئات الصوت في الهواء	6
4-2	جهاز ميكروفون موصل بمصدر تيار متردد	6
5-2	المدى الصوتي للكلام والموسيقى المسموع للانسان	7
6-2	انعكاس الصوت في الاسطح	8
7-2	علاقة زمن التردد بحجم الفراغ	9
8-2	استغلال الاسطح العاكسة المحيطه بالأوركسترا	13
1-3	يوضح المسقط الافقي لمسرح الإله دينوزيوس	15
2-3	يوضح المسقط الافقي للمسرح الاغريقي القديم	15
3-3	يوضح مسقط افقي لمسرح الكلوزيوم	16
4-3	مقطع راسي لمسرح الكلوزيوم	16
5-3	المسقط الافقي للمسرح الاولمبي	18
6-3	مكونات قاعات الأوبرا	23
7-3	نسبة طول وعرض الفضاءات	25
8-3	تحسين الشكل المروحي	25
9-3	اشكال القاعات بمكوناتها الثلاث على اختلاف وظائفها	26
10-3	الشكل السداسي للقاعات	26
11-3	الشكل المروحي للقاعات.....	26
12-3	شكل حذوة الحصان للقاعات.....	26
13-3	تقنية استخدام السقف للانعكاسات وتوزيع الصوت	28
14-3	تقنية ميل السقف للاعلى	29
15-3	دار أوبرا قوانزو واستخدام الحوائط الداخليه للقاعة للتوزيع الامثل للصوت	29
16-3	إستخدام اسفل الشرفات لتقوية الموجات الصوتية.....	30
17-3	نسب الاعماق المثلى لتصميم الشرفات.....	30
18-3	ميل ارضية الصاله وايضا البالكون.....	30
19-3	مقطع رأسي بأحد المقاعد في البالكون.....	31
20-3	حجرة الأوركسترا الظاهرة.....	31
21-3	حجرة الأوركسترا العميقة.....	32
22-3	تدرجات قاعة الأوركسترا وطريقة حفظ البيانو اسفل القاعة عندما لا يكون قيد الاستخدام.....	32

23-3	المواد المستخدمة في تغطية أرضية المسرح.....	33
24-3	طريقة رص المقاعد على المائل والمسافات بينها.....	33
25-3	عرض الممرات في حالة وصول المقاعد الى 16-25 مقعد.....	33
26-3	طريقة تنسيق المقاعد في صالات الاوبرا.....	34
27-3	الامتصاص الأكبر للصوت بواسطة المستمعين في الارضية المستوية.....	34
28-3	أهمية الارتفاعات بين الصفوف داخل القاعة.....	34
29-3	ميل الارضية بواسطة خطوط الرؤية.....	34
30-3	قيم RT الموصى بها حسب نوع القاعة.....	34
31-3	مسقط أفقي للطابق الارضي لاوبرا قوانزو.....	37
32-3	مقطع رأسي لقاعة أوبرا قوانزو.....	37
33-3	تصميم الحوائط الداخلية في القاعة للتوزيع الامثل للصوت.....	37
34-3	مسقط أفقي لاوبرا سكالا ميلانو.....	38
35-3	مقطع رأسي لقاعة أوبرا سكالا ميلانو.....	38
36-3	مسقط أفقي لقاعة نيويورك للهارمونيكا.....	39
37-3	مقطع رأسي لقاعة نيويورك للهارمونيكا.....	39
38-3	مسقط أفقي لقاعة برلين للهارمونيكا.....	40
1-4	موقع دار أوبرا سيدني.....	42
2-4	تصميم التغطية بعلاقات هندسية.....	43
3-4	مكونات دار أوبرا سيدني.....	43
4-4	مكونات مبنى أوبرا سيدني.....	44
5-4	مكونات قاعات أوبرا سيدني.....	44
6-4	المسقط الافقي لقاعة الأوبرا.....	45
7-4	مقطع رأسي لقاعة الأوبرا	45
8-4	المسقط الافقي لقاعة الاوركسترا في أوبرا سيدني	46
9-4	مقطع رأسي لقاعة الأوركسترا في أوبرا سيدني.....	46
10-4	دراسة الانعكاسات الداخليه للصوت لقاعة اوبرا سيدني.....	48

قائمة الجداول

رقم الجدول	إسم الجدول	الصفحة
1-2	علاقة زمن الارتداد بحالة الاستماع.....	10
1-3	عناصر التصميم الداخلي للمسارح عبر التاريخ	19
2-3	أفضل النسب المستخدمة للقاعات المستطيلة.....	25
3-3	علاقة نوع القاعة بأقصى مسافة من المسرح وأقصى سعة للمقاعد وأقصى حجم للقاعة ، وايضا الحجم الامثل للفرد.....	27
4-3	قوانزو أوبرا – الصين- 2011.....	37
5-3	سكالا ميلانو أوبرا.....	38
6-3	قاعة نيويورك للهارمونيكا.....	39
7-3	قاعة برلين للهارمونيكا.....	40
1-5	مساحات المواد المستعمله في تشطيب قاعة الاوركسترا باوبرا سيدني و معاملات الامتصاص...	50
2-5	الامتصاص الكلي عند التردد 125 هيرتز.....	51
3-5	الامتصاص الكلي عند التردد 500 هيرتز.....	52
4-5	الامتصاص الكلي عند التردد 2000 هيرتز.....	53

الفصل الأول
مقدمــة عــامة

1-1 تمهيد:

على الرغم من أن إحدى الوظائف الاساسية للمبنى هي حماية شاغليه من كافة الظروف الخارجية من حرارة ورياح وأمطار ...الخ ، الا أن هذه الوظيفة قد تطورت وإمتدت لتشمل تهيئة البيئة المناسبة والتي قد تفوق الظروف الخارجية . والأمثلة على ذلك كثيرة ومنها على سبيل المثال تكييف الهواء والإضاءة ، ويطلق على العلم الذي يعالج وسائل تهيئة البيئة المناسبة لشاغلي المبنى سواء طبيعيا ام صناعيا بـ علم التحكم البيئي Enviroment Control. ومن المهم للمعماري ان يلم بالمبادئ والقواعد الأساسية لهذا العلم حتى يتيسر له التفاهم مع المتخصصين في هذا العلم ، وحتى يتمكن من التنسيق بين متطلباتهم المختلفة ويصوغها للصياغة المعماريه المتكاملة والمناسبة .

وتشكل الصوتيات أحد فروع التحكم البيئي للفراغات المعمارية ، فدراستها تهدف الى خلق البيئة التي تتيح أفضل ظروف للاستماع ، وتوفير الظروف المواتية لاصدار وأستقبال الصوت المرغوب فيه (الحديث او الموسيقى) وايضا استبعاد أو تخفيض الضوضاء والاهتزازات .

إن تصميم شكل القاعات و المسارح يحمل بداخله عوامل نجاح او فشل حيث يتوقف الامر في النهاية على وعى المصمم بسلوك الصوت وطبيعة التفاعل بينه وبين شكل الفراغ فنقص الانعكاسات الصوتية يكون مشكلة تستلزم ايجاد حلول مناسبة لتكوين بيئة صوتية ناجحة داخل الفراغ .

ان تصميم وانشاء دور الأوبرا عامة والمسارح بصفة خاصة يرتبط بمعايير يجب الالتزام بها ومواصفات خاصة يجب تطبيقها لضمان نجاح المنشأة وتحقيق أعلى جودة في أداء الوظائف الخدمية والأنشطة الفنية المطلوبة بها طبقا لما تقدمه من فنون رفيعة وخدمات مجتمعية ثقافية ، كالمعارض الفنية وورش عمل تدريب المواهب والمبدعين وما الى ذلك من أنشطة مختلفة تجعل من جمهورها ورواداها محكمين ومقيميين ومتابعين لجودة المكان ونجاحه ، سواء فيما يتعلق بكفاءة الأداء الخدمي من خلال التعامل المباشر مع الجمهور وتوفير كافة سبل الراحة في التنقل والاسترسال داخل أروقة المبنى بانسيابية تمتع النظر والإحساس، أو بجودة وتميز البيئة الداخلية من توفير عناصر الراحة النفسية والمتعلقة بتوظيف التصميم الداخلي والمعالجات المعمارية اوالاستخدام الأمثل لها.

وهذا الفصل يتم التعرف على أهداف البحث وأهميته والمشكلة الاساسية التى يناقشها البحث والاسئلة والفرضيات والمنهجية المتبعة.

2-1 أهداف البحث:

- تحقيق التوافق بين التصميم او التشكيل الداخلي ومعدل الصوت المطلوب في قاعات الأوبرا .
- دراسة ووضع محددات تصميمية لتحقيق منسوب صوت مناسب وخالى من العيوب مثل (الصدى ، الطنين ،... إلخ) داخل القاعات .
- التعرف على العوامل المؤثره على التصميم الصوتي للقاعات (عوامل داخلية وخارجية) .
- التعرف على مدى أهمية تأثير شكل القاعة على البيئة الصوتية داخلها ، ووضع حلول تصميمية لمشاكل اشكال القاعة المختلفة والشائعة الاستخدام والمؤثرة على البيئة الصوتية.
- دراسة كيفية الاستفادة من عناصر المبنى لتقليل الضجيج .

3-1 أهمية البحث :

تأتي اهمية هذا البحث لما تلعبه دور الاوبرا والمسارح من دور هادف ومؤثر لتنمية الوعي الفني والثقافي للافراد داخل المنظومة المجتمعية، وعليه فإن التوجه العام للإهتمام والتوسع في انشاء المسارح والمراكزالثقافية يثقل العبء على المصمم الداخلي لمتابعة أحدث النظم لمعالجات الفراغ الداخلي المحققة لجودة البيئة الداخلية لقاعات الاوبرا .

4-1 مشكلة البحث :

- إفتقار السودان للفن الأوبرالي وعدم وجود قاعات أوبرا في السودان للدراسة
- عدم إهتمام المصممين بمحددات التصميم الصوتي الناجح لقاعات الأوبرا حيث أنها تمثل أهم عناصر التصميم الاولى للقاعات للوصول الى الاثر الصوتي الامثل داخلها.

5-1 فرضية البحث :

يضع البحث عدد من الفرضيات منها ما يلي :

- الشكل والتصميم للقاعات يؤثر على توفير بيئة صوتية جيده داخلها .
- أن المواصفات والخصائص الصوتية للمواد المختارة لتشطيب الاسطح الافقية والرأسية للقاعة تحقق بيئة سمعية جيدة ومثالية داخل القاعة .

6-1 أسئلة البحث :

- كيفية تحقيق المعالجات المعمارية الداخلية المناسبة لتحقيق الكفاءة العملية للاهداف الوظيفية للفراغ الداخلي لقاعات الاوبرا والتي تعتمد في الأساس على جودة الاداء الصوتي ؟
- لماذا لا يتم تصميم الفراغ المعماري بحيث يعطي نفس الانعكاسات التى يتوقع ان يعطيها العاكس ؟
- هل تكون الحاجة لاستخدام عواكس أو مواد ماصة اضافية علامة على تصميم صوتي يكون غير مدروس في أغلب الأحيان ؟
- ما هو التأثير المتبادل بين محددات الفراغ – حجمي وشكلي – والصوتيات وكيفية استخدام هذه المحددات في توليد انعكاسات صوتية مفيدة ؟

7-1 منهجية البحث :

تتمثل منهجية البحث في الإطار النظري على المنهج التاريخي والوصفي من خلال جمع معلومات من المصادر والمراجع بشتى اللغات عن البيانات المتصلة بالموضوع ، وذلك من خلال اختيار حالة واختبارها وتحليلها و دراسة النتائج وتحديد مردود كفاءة الاداء الصوتي للقاعات و المسارح للتوصل لخلاصات في تطوير نظم الصوتيات والعزل الصوتي الجيد والاستخدام الامثل للمواد الماصة وتحديد اثرها علي القاعات والمسارح .

تشمل المنهجية المتبعة الخطوات والطرق والاساليب المستخدمة ، ودراسة الجوانب النظرية وعمل تحاليل للاداء الصوتي ونوعية المواد المستخدمة للمساعدة على خلق بيئة مثالية للمسارح والقاعات .

8-1 هيكل البحث :

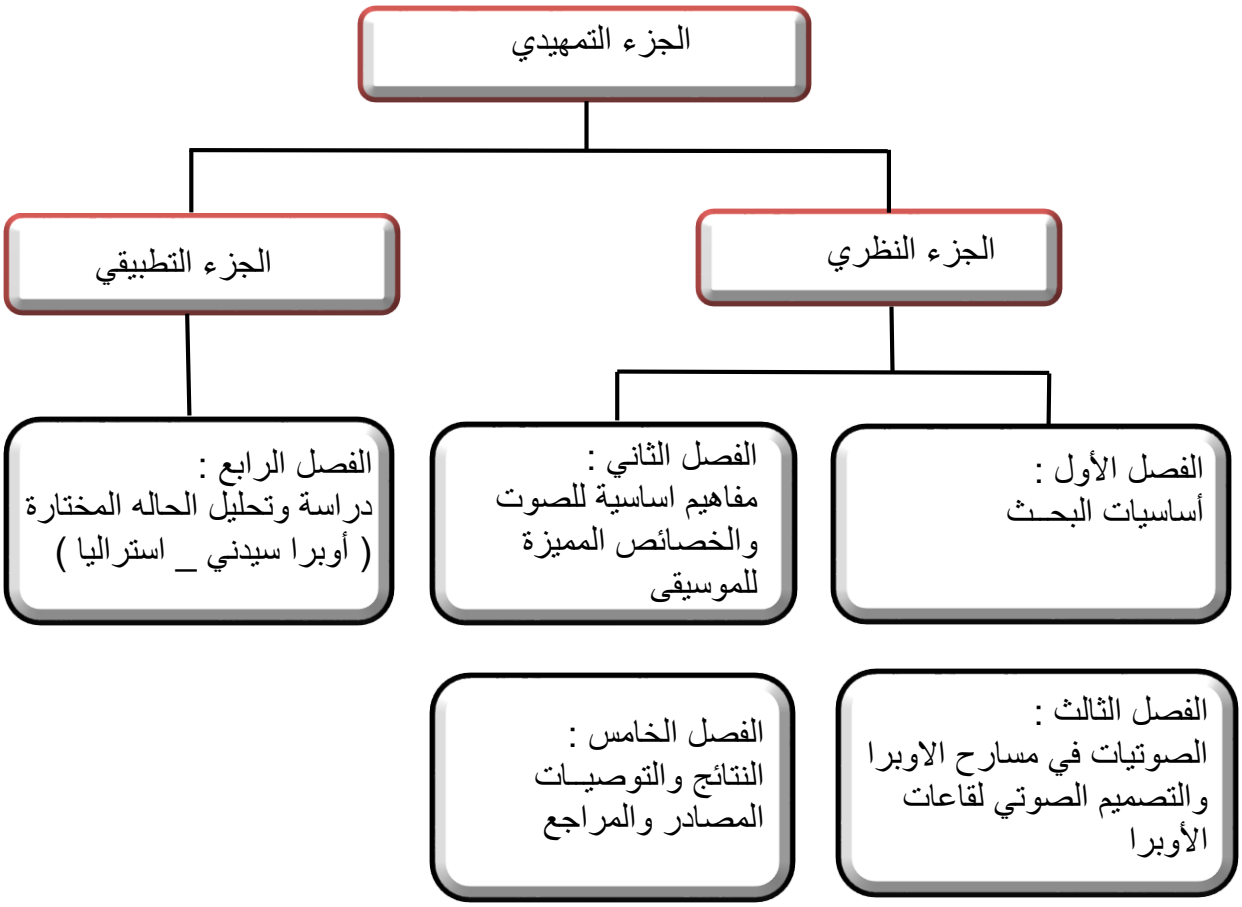
يعرض الفصل الأول : المقدمة ، أهداف البحث ، أهمية ومشكلة البحث وغيرها من أساسيات البحث .

يليه الفصل الثاني : والذي يتناول بعض المفاهيم الاساسية للصوت والخصائص والصفات الصوتية المميزة للموسيقى ، وأيضا التصنيف الصوتي لقاعات الموسيقى.

يليه الفصل الثالث : يتمثل في الإطار النظري الذي يتناول تطور المسارح وعناصر تصميمها الداخلي عبر التاريخ ودراسة خلفية تاريخية للفن الاوبرالي وقاعات الاوبرا ، ايضا يتناول العلاقة التبادلية بين التشكيل المعماري وتكوين البيئة الصوتية بالفراغات المعمارية المغلقة وهذا بهدف تحديد نسب الفراغات القياسية وأيضا درجة ميل وشكل الأسطح الداخلية للفراغات بهدف تفسير الظواهرالصوتية بصورة ناجحة، وكيفية التحكم في التوزيع الامثل للصوت داخل القاعة .

الفصل الرابع : فيفصل حالة الدراسة المختارة _دار أوبرا سيدني _ ويتم فيه دراستها وتحليلها صوتيا لينتهي بمجموعة من الخلاصات الخاصة بحالة الدراسة .

أما الفصل الخامس فيشمل الخلاصات والتوصيات العامة لتصميم قاعات الاوبرا صوتيا ، وايضا المصادر والمراجع والملاحق التي تم الاستعانه بها .



الشكل رقم (1-1) يوضح هيكل البحث

المصدر : الباحث (2020)

الفصل الثـاني
الصوت والخصائص الصوتية لقاعات الاوبرا

1-2 مقدمة :

علم الصوتيات والذي يعرف بـ Phonetics يعنى بدراسة العملية التي يتم من خلالها إنتاج الصوت وانتقاله واستقباله من ناحية جسمانية ، أي انه علم يدرس الأعضاء الحية التي يتم من خلالها انتاج الصوت وانتقاله وإستقباله . وبالتالي يمكن القول ان الصوتيات هي دراسة عملية تكوين الاصوات .

يهتم الباحثون في علم الصوتيات بدراسة جهاز النطق ودراسة جهاز السمع وايضا دراسة فيزياء الصوت مثل التردد والطول الموجي للصوت .

في هذا الفصل سيتم التعرف على مفاهيم اساسية في علم الصوتيات من تعريف للصوت وزمن الارتداد وأنعكاس الصوت ....الخ وغيرها من المفاهيم .

2-2 مفهوم الصوتيات :

لدراسة سلوك الصوت يتطلب معرفة بعض الاساسيات والمفاهيم الخاصة ، ومن هذه المفاهيم :

أ) الصوت Sound :

هو أحد الظواهر الفيزيائية التي وجدت مع الانسان والطبيعة، وهو عنصر أساسي يجب دراسته عند التصميم الداخلي للفراغات المعمارية أينما كانت.

عبارة عن احساس مادى طبيعي ينتج في الاذن بواسطة اهتزازات تحدث في ضغط الهواء تسببها الاشياء التى تهتز في المنطقة التى حول الاذن ، فأي شئ يهتز يمكنه انتاج الموجات الصوتية والتي تتحرك في كل الاتجاهات من مصدر الصوت. (حسن ، 2007).

وايضا يعرف الصوت بأنه التغيير في ضغط الوسط المرن بحيث تستطيع الأذن البشرية تحسسه ، وينتشر الصوت على شكل موجات صوتية طولية ذات ترددات تقع بين 20 – 20000 هيرتز من مصدر الصوت الى الاذن البشرية بسرعات مختلفة حسب نوع الوسط المادي المنتقل من خلاله (مجلة الانبار للعلوم الهندسية، 2008) .

ب) طبيعة الموجات الصوتية :

تنتشر موجات الصوت في الاوساط المادية في هيئة إهتزازات تحدث تضاغطات وتخلخلات للوسط الذي تنتشر فيه فتنقل الطاقة من جزيئات المادة التي تمر خلالها وتتذبذب وتهتز وينتشر الصوت في المواد على شكل موجة طولية تتذبذب في نفس إتجاه حركة إنتشار الموجة وتخضع لجميع قوانين الفيزياء عندما تتولد موجة صوتية من مصدر مهتز ما فإن تردد الموجات (f) يساوي تردد إهتزاز ذلك لمصدر، فيما يعتمد طول الموجة على سرعة الموجة في ذلك الوسط :

$$c = \lambda f$$

حيث أن :

$c \equiv$ سرعة الموجة .

$f \equiv$ التردد.

$\lambda \equiv$ الطول الموجي .

عند الإنتقال من وسط لآخر يتغير الطول الموجي بنفس نسبة التغير في السرعة لأن التردد لا يتغير اي ثابت وتنطبق العلاقة السابقة على جميع الحركات الموجية سواء كانت موجات صوتية ام ميكانيكية ام موجات كهرومغنطيسية .

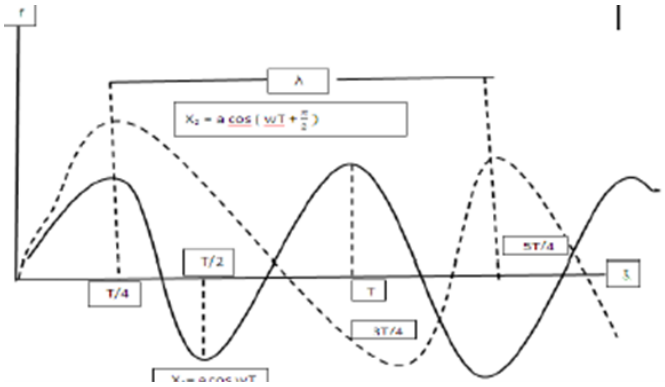
وحسب هذه الطبيعة تنقسم الموجات لنوعين هما-:

1- موجات طولية:

وهي التي يتسبب إنتشارها في الوسط حركة جزيئاته حركة توافقية بسيطة في إتجاه الإنتقال.

2- موجات مستعرضة:

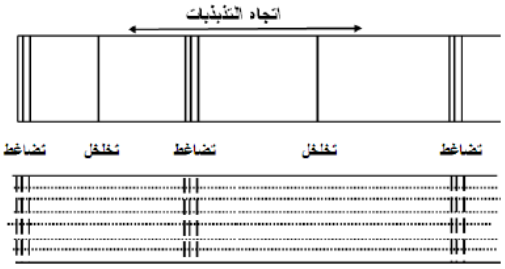
وهي التي يتسبب عنها حركة جزيئاته في الوسط في إتجاه عمودي على إتجاه الإأنتشار. وكلا النوعين عند إنتشارهما في اي وسط غير محدود يكونان ما يعرف بالأمواج التقدمية وهي موضحة في الشكل التالي:



شكل رقم (2–1) يوضح الأمواج التقدمية

(المصدر : David Egan 1988)

والموجات الصوتية هي موجات طولية تنتقل في أي مادة سواء كانت هذه المادة صلبة او سائلة او غازية ، تنشأ هذه الموجات بواسطة اي آلية لتوليد الموجات التضاغطية في الوسط المحيط. وينشأ الصوت عند إهتزاز الأجسام فيحدث إهتزاز وتذبذبات حولها في وسط مادي مرن وبذلك تنتقل موجات الصوت فيه ،وجد ان الموجات تأخذ الشكل الموضح ادناه:



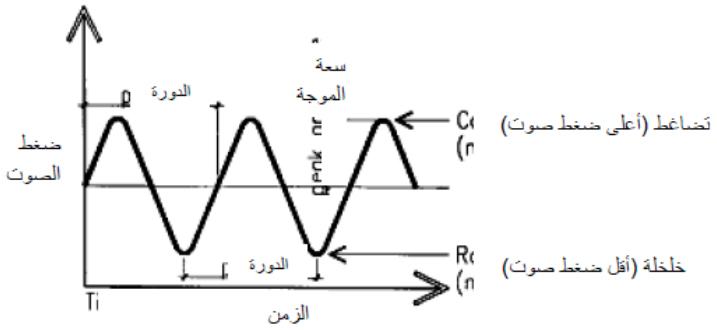
الشكل (2-2) يوضح الموجات الصوتية في حالة حدوث تخلخلات وتضاغطات

(المصدر : David Egan 1988)

ت) طول الموجه Wavelength :

يرمز لها بالرمز L وهي المسافة التى يقطعها الصوت خلال دورة ذبذبة كاملة ووحدتها هى المتر، شكل رقم (3 –1) يوضح مفهوم الطول الموجى و طول الموجة الصوتية تقاس بمقدار سرعتها وترددها حيث ان :

طول الموجي = سرعة الصوت/ التردد



شكل رقم (2–3) يوضح الطول الموجي _ إهتزاز جزيئات الصوت في الهواء

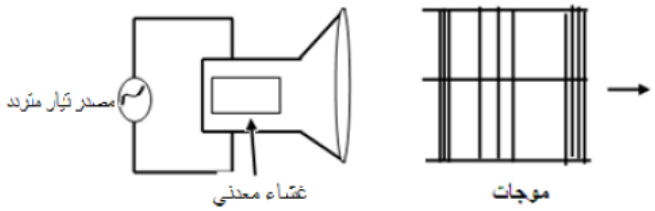
(المصدر : David Egan 1988)

ث) التردد Frequency :

ويرمز له بالرمز f وهو عدد الاهتزازات أو الموجات في الثانية ، ووحدة التردد هي الهيرتزHERTZ – Hz، لتردد الصوت تأثير في الاذن يسمى درجة الصوت (Pitch) والتي تتولد نتيجة لاهتزاز الاوتار الصوتية وتتحكم في شدتها تقلصات عضلية فتولد تغييرات من درجة الصوت .

ج) درجة ونوع الصوت:

إذا وصلنا جهاز(ميكروفون) بمصدر تيار متردد:



الشكل (2-4) يوضح جهاز ميكروفون موصل بمصدر تيار متردد

(المصدر : David Egan 1988)

فإن الصوت الصادر من الجهاز سيكون بنفس تردد التيار أي تردده نفس تردد التيار المتردد وإذا زدنا تردد المتذبذب الذي يقوم بتشغيل الجهاز فإن السامع سوف يقرر حالاً أن درجة الصوت الجديد أعلى من درجة الصوت الأول أي أن درجة الصوت تتناسب مع التردد أي أن درجة الصوت تعلو بزيادة التردد. درجة الصوت خاصية تميز بها الأذن الصوت الحاد و الغليظ وهي أيضاً كمية ذاتية لا يمكن قياسها بالأجهزة وهنالك علاقة بين درجة الصوت وتردده ويعتمد نوع الصوت على وجود النغمات التوافقية الموجودة في الصوت .

ح) سرعة الصوت:

يرمز لها بالرمز V ، وسرعة الصوت تؤخذ كقيمة ثابتة وهي 330 م/ث في الهواء .

سرعة الصوت (م/ث) = التردد (هيرتز) * طول الموجة (متر) ، v = f * l

اقل طول موجة صوتية في الهواء هي 17 ملم ، عندما تكون سرعة الصوت فيه 340 متر / ثانية وبتردد 20000 هيرتز وان اطول موجة صوتية في الهواء تساوي 17 متر عندما يكون التردد 20 هيرتز وبالسرعة السابقة ، وان هذا الفرق الكبير بين اقصر واطول موجة مسموعة يظهر مدى الفرق الكبير في اطوال الموجة المسموعة ، فالصوت المسموع وبتردد واحد يعرف بالنغمة النقية . وبما ان الصوت عبارة عن مجموعة ترددات لذا فانه مزيج من عدة نغمات نقية.

خ) شدة الصوت :

تعرف شدة الصوت بأنها الطاقة التي تحملها الموجة الصوتية في الثانية عبر وحدة المساحات العمودية على إتجاه إنتشار الموجة وحيث أن الشدة هي الطاقة في الثانية إذا شدة الصوت هي القدرة المارة خلال وحدة المساحات العمودية إتجاه إنتشار الموجة ووحدة قياسها هي الواط لكل متر مربع ويمكن إيجاد شدة الصوت وسعتها وسرعتها وكثافة الوسط الذي تنتقل فيه.

$$I = \frac{\text{قدرة الموجة}}{\text{مساحة الانتشار}}$$

د) الديسبل :

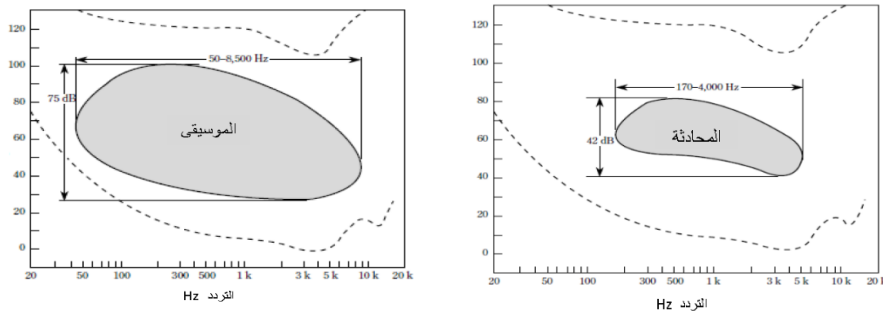
مقياس الديسبل يرمز له بالرمز db ، وهو المقياس اللوغريثمي الذى يقاس به كل من مستوى ضغط الصوت ، مستوى كثافة الصوت ومستوى قدرة الصوت. وهو عبارة عن نسبة أو مقارنة لهذه المستويات لمستوى اساس كل منها .

وتعتمد طبيعة اداء فعالية الكلام على اصوات المتكلمين ، والتي تختلف بعضها عن بعض والتي تعرف بانها المعدل الزمني (Intensity) بخصائص جوهرية :

أولهما شدة الصوت

وثانيهما تردد الصوت

وثالثهما نوع الصوت وهي النغمات التي ترددتها مضاعفا (Harmonics) صحيحة للنغمة الاساسية لتهب الأذن صوتا أرق واجمل . ويتراوح المجال الترددي لفعالية الموسيقى من 30 هيرتز الى 12000 هيرتز ، الشكل رقم (2-5) يوضح المدى الصوتي للكلام والموسيقى المسموع للإنسان .



الشكل رقم (2-5) يوضح المدى الصوتي للكلام والموسيقى المسموع للانسان

(المصدر : Alton Everest 2001)

ز) انعكاس الصوت Reflections of sound rays :

- عندما تصدم الموجة الصوتية بجدار الغرفة ، فإن جزءا من طاقة الموجة ينعكس عن هذا الجدار (هناك عدة انواع من الانعكاسات الصوتية ، لكن سندرس الانعكاس التالي:

- حيث ان الجدار صلب ومستوي وناعم فان قانون الانعكاس يخضع لنفس قانون انعكاس الضوء اي زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- اما في حالة السطح المحدب ينعكس الصوت في سطحه في جميع الاتجاهات أي له خاصية الانتشار.
- اما في حالة السطح المقعر فله خاصية التركيز في مكان واحد.

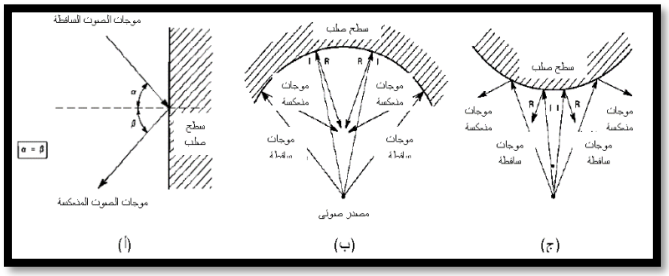
تلعب العلاقة بين طول موجة الصوت وأبعاد السطح العاكس دورا كبيرا في تحديد كيفية الانعكاسات، إذا كانت ابعاد السطح العاكس اكبر من طول الموجة فان الانعكاس سيخضع لقواعد انعكاس الضوء أما اذا كانت ابعاد السطح اصغر او مقاربه لطول الموجة الساقطة فانها تنعكس في شتى الاتجاهات أي تتشتت، ولذا يجب مراعاة هذه العلاقة قبل تطبيق قواعد الانعكاس في حالة الترددات المنخفضة (الموجات الطويلة) (حسن ، 2007).

عند سقوط موجات الصوت على سطح مستوي صلب تكون زاوية الانعكاس مساوية لزاوية السقوط ، وكل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس في مستوى واحد متعامد على السطح العاكس (شكل رقم (2-6 أ)).

أما بالنسبة للأسطح المنحنية فاننا نجد أن الأسطح المقعرة Concave تعكس الصوت بطريقة مجمعة ، فتعمل الفضاءات ذات الأسطح المقعرة كما في الشكل (2-6 ب) على تركيز الأصوات المنعكسة في منطقة معينة أو اكثرمخلفة ما يسمى بالأماكن الميتة صوتيا في المناطق الاخرى ، بينما تعكس الأسطح المحدبة Convex الصوت بطريقة مفرقة ، بالاشارة للشكل (2 -6ج) ومن جهه اخرى فانها تعمل على نشر الأصوات المنعكسة على نطاق واسع مما يساعد على تقوية مستويات الصوت في جميع انحاء الفضاء.

هـ) إمتصاص الصوت Absorption Of Sound :

امتصاص الصوت هو إخماد الصوت أو الموجه الصوتية عند مرورها في وسط مادي أو ملامستها لسطح ما، ويعرف إمتصاص الصوت أيضا بالخاصية التي تمتلكها الكتل والمواد لامتصاص الصوت.



الشكل رقم التالي (2-6) يوضح انعكاس الصوت في الاسطح
(المصدر : K.B Ginn.M.Sc , 1978)

و) معامل امتصاص الصوت Sound Absorption Coefficient :

هو ذلك الجزء من الصوت الساقط والذي لا يقوم السطح او المادة بعكسه وتختلف قيمة هذا المعامل باختلاف التردد والتركيب البنائي والمادة المكونة (حسن ، 2007).

ويختلف إمتصاص الصوت عن عزل الصوت ، ففي معظم الأحيان تكون المواد ذات الإمتصاص العالي فقيرة في خاصية عزل الصوت . تستعمل المواد الماصة للصوت في خفض الضوضاء الصادرة عن الآليات والماكينات داخل الأماكن المغلقة ويكون التخفيض في حدود 10 ديسيبل نسبة للتكلفة العالية لهذه المواد .

ي) الامتصاص الكلى Total Absorption :

الإمتصاص الكلى في حجرة ما هو ناتج مجموع لامتصاص كل الاسطح والكتل والموجودات داخل الفراغ ، ويحسب الامتصاص الكلى بحاصل ضرب مساحة سطح المادة في معامل امتصاصها. أما المستمعين والاثاث فيحسب امتصاصها بمتوسطات (لا توجد مساحة) تعتمد على المقاس والملابس ، والناتج في كلا الحالتين هو أرقام أمتار مربعة من الامتصاص ، ويترك مجال لتخفيض الامتصاص بواسطة مقاعد المستمعين الذين يغطون سطح الارضية ، وهذا الغطاء يمثل أهمية بالنسبة لاصوات ذت تردد عالى وعليه فان هناك تخفيض بما يعادل 40 % عند التردد 125 الى 500 هيرتز و 60 % عند 2000 هيرتز من امتصاص الارضية .

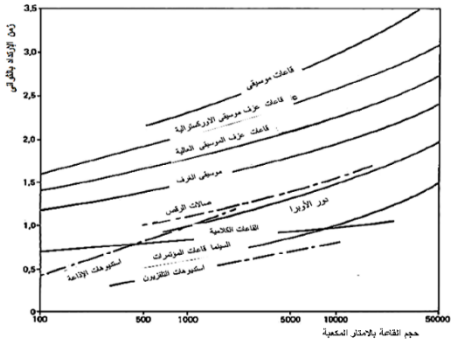
كـ) إرتداد الصوت Reverberation :

الارتداد هو دوام الصوت في مكان مغلق نتيجة للإنعكاسات المتكررة لهذا الصوت من حدود هذا المكان. والصوت الارتدادي ليس هو الصدى ، فالصدى عبارة عن انعكاس مفرد وواضح بينما الصوت الارتدادى عبارة عن الاف الانعكاسات في الثانية الواحدة . ياخذ الصوت في التناقص الى ان يخبو، اما اذا ما خبا الصوت سريعا فإن وضوح الصوت يكون جيدا وفي بعض الاوضاع يأخذ الصوت وقتا طويلا ليخبو فينخفض الوضوح نتيجة لذلك ولكن الصوت يكون قويا وممتلئا، وعليه فان الوضع الامثل يختلف باختلاف طبيعة الاستخدام للقاعة .

ل) زمن الارتداد Reverberation Time :

هو الزمن الذى يأخذه الصوت ليخبو بمقدار 60 ديسبل ويعتمد زمن الارتداد على حجم القاعة وكمية الامتصاص بها.

يوضح المخطط التالى (2 -7) أن زمن الإرتداد يكون أعلى في قاعات الموسيقى والتي يزيد معها حجم القاعة لوغريثميا على عكس القاعات الكلامية .



الشكل رقم التالي (2-7) يوضح علاقة زمن التردد بحجم الفراغ .

(المصدر K.B Ginn.M.Sc , 1978)

هناك خمس قواعد بخصوص زمن الترديد في الفراغات الداخلية توصل اليها (سابين) بخصوص صوتيات العمارة :

- ان زمن الترديد لغرفة معينة ثابت لا يتغير بعض النظر من موقع مصدر الصوت.
- ان زمن الترديد لغرفة معينة ثابت لا يتغير بعض النظر عن موقع السامع في الغرفة.
- نقص الوضوح يعود إلى زيادة زمن الترديد.
- لا يؤثر شكل وهندسة الغرفة كثيرا على زمن الترديد.
- ان العوامل التي تؤثر على زمن الترديد هي كمية المواد الماصة وحجم الغرفة.

و) معادلة سابين Sabins Formula :

وهي معادلة لحساب زمن الارتداد الفعلى Actual Reverberation Time في اي قاعة كما يلي :

$$T = 0.16\ V / A$$

حيث أن :

T= زمن الارتداد بالثوانى.

V= حجم القاعة بالامتار المكعبة.

A= مساحة الامتصاص بالامتار المربعة.

ن) زمن الارتداد الامثل Optimum Reverberation Time :

يعتمد زمن الارتداد المرغوب فيه على مقاس واستعمال الفراغ ، والزمن الامثل للارتداد يمكن استنتاجه من التجارب العلمية الذاتية . أنظر الجدول (2- 1).

وضع العالمان ستيفنس وبيتز Stephens & Bates معادلة يتم استعمالها لحساب زمن الارتداد الامثل وهي من معادلات حساب زمن الارتداد ولكنها تقريبية وتستعمل فقط عند تردد 500 هيرتز :

$$t = r\ (0.012(3\sqrt{V}) + 0.1070)$$

t= زمن الارتداد الامثل بالثواني

v=حجم القاعة بالامتار المكعبة

r= 4 للقاعات المستعملة في الحديث، و 5 لقاعات الموسيقى الاوركسترالية ، و 6 للقاعات المستعملة للموسيقى الكورالية ، وينصح بزيادة هذه الارقام بما يعادل 40 % عند الترددات الادنى.

الجدول (3-1) يوضح علاقة زمن الارتداد بحالة الاستماع

زمن الترديد (ثانية)	الحالة السمعية
أقل من ١,٠	مثالي للفضاء الكلامي
١,٠ – ١,٥	جيد للفضاء الكلامي ، مناسب للفضاء الموسيقي
١,٥ – ٢,٠	مناسب للفضاء الكلامي ، جيد للفضاء الموسيقي
اعلى من ٢,٠	رديء للفضاء الكلامي ، جيد للموسيقى السيمفونية

المصدر :(مجلة الانبار للعلوم الهندسية، 2008م ، العدد 2).

ط) صدى الصوت Echo :

إن التأخير في إستقبال الصوت الناتج من عدد الإنعكاسات في القاعات الكبيرة يمكن أن يسبب الصدى الذي يحدث نتيجة تكرار الصوت المتولد من إنعكاس الموجة الصوتية من سطح ما بحيث تكون هذه الموجات بدرجة كافية من العلو والتأخير الزمني ليتم إدراكها بصورة منفصلة عن صوت المصدر، ويحصل ذلك عندما يصل الصوت للسامع بعد 50 – 80 ملي ثانية بعد سماع الصوت المباشر . ويحدث الصدى غالبا في الجدران المتوازية التي تبعد عن بعضها 18 م ، لذلك لابد من التفكير الجيد لهندسة الفضاء والتوزيع الجيد للمواد الماصة داخله .

ي) الصدى المتكرر Flutter Echo :

يحدث عندما تنعكس الأمواج الصوتية بسرعة ذهابا وإيابا بين سطحين متوازيين مستويين أو مقعرين، ويعرف الصدى المتكرر على أنه تعاقب سريع للصدى بفاصل زمني كافي بين الانعكاسات ويشبه صوت الطنين ، وللتخلص من هذا التأثير يجب تغيير شكل الاسطح العاكسة أو استخدام مواد ماصة .

ك) الأمواج الواقفة Standing Waves :

تعمل الامواج الواقفة بنفس فكرة الصدى المتكرر ولها نفس المسببات ، ولكنها تسمع بشكل مختلف مثل لحظة السكون تارة ومن ثم الى أقصى ما يمكن سماع من الصوت ضمن الفضاء . ويمكن معالجة مشاكل الامواج الواقفة بإمالة جدارين في القاعة قليلا أو باستخدام مواد ماصة في أحد الجدران ، كما أن السقوف المتموجة يمكن أن تساعد أيضا وتلعب نسب أبعاد القاعة دورا مهما .

ل) التركيز والتسلل Focusing and Creep :

عندما تنعكس الأصوات على سطح مقعر فانها يمكن أن تتجمع في نقطة واحده وهذا ما يسمى بالتركيز ، فالصوت في هذه النقطة يكون متضخم ، أما انعكاس الصوت على طول سطح مقوس وصادر من مصدر صوتي قريب منه فانه يعرف بالتسلل . ويمكن سماع الصوت فى هذه الحالة على طول السطح ولكن لا يكون مسموع عند الابتعاد عن السطح .

3-2 الخصائص الصوتية للموسيقى :

تختلف الموسيقى عن التحدث من حيث مركباتها ، فهي تتركب من نغمات أساسية Fundamentals ونغمات توافقية Harmonics ويتوقف على هذا التركيب إمكانية تمييز الصوت الصادر من آلة عن الصوت الصادر من آلة أخرى ، وتتغير هذا النغمات بطريقة منظمة Ordered طبقا للسلم الموسيقي ، وتمتد هذه النغمات لتشمل مجالا من الترددات أكبر من الذي يشغله الحديث. (حسن،2007)

وكذلك تختلف الموسيقى عن الحديث من حيث القوة ، وبصفه عامة فإن قوة الصوت الصادر عن الآلات الموسيقية تفوق بكثير قوة الصوت الصادر عن المتحدث ، إذ تصل إلى 500-5000 ميكرو واط . ويترتب على ذلك ان صالات الموسيقى تكون اكبر حجما ومع ذلك تتوفر لها شدة كافية للصوت .

نتيجة لهذا الإختلاف بين الحديث والموسيقى فإن ما يصلح للتقييم في الحالة الأولي (إختبارات الوضوح) لايصلح في الحالة الثانية، فالوضوح ليس هو المعيار الوحيد للحكم على نوعية الموسيقى ، بل يتوقف الاستمتاع بالموسيقى على عدة صفات مميزة لابد من توافرها وهي : الوضوح Definition ، إمتلاء النغمات Fullness of tones ، التوازن Balance والامتزاج Blend (يضاف الى هذه الشروط التخلص من العيوب الصوتية)، وتؤثر كل هذه العوامل في شكل وتصميم القاعة كما سيتضح في الفصل الثالث .

4-2 الصفات المميزة للموسيقى :

في بادئ الأمر لعبت نوعية القاعات المخصصة للموسيقى دورا كبيرا في تحديد اللون المميز للموسيقى ، فتشكلت الموسيقى لتلائم الفراغ الذي تعزف فيه ، فنجد مثلا أن الموسيقى الكنائسية استفادت إلى حد كبير بإمتلاء النغمات الذي يتيحه زمن الإرتداد المميز للكنائس ، بينما استفادت موسيقى المعابد من مزايا الألفه التي تتيحها قاعات صغيره ذات زمن ارتداد منخفض ، إلا ان هذا الوضع تغير الان فاصبحت الفراغات هي التي تصمم تبعا لنوع الموسيقى التي تعزف فيها ، ولعل أولى الأمثله لهذا التحول هو دار الأوبرا التي بنيت عام 1920م في بايرويت بألمانيا لتلائم موسيقى فاجنر، ولما كان لكل نوع من الموسيقى أولويات من حيث

تغليب بعض الصفات المميزه ، فانه لابد من دراسة العلاقه بين هذه الصفات وبين الفراغ المعماري المطلوب إعداده .

أولا : الوضوح : Clarity

وهو يعطي إمكانية تمييز الصوت الصادر من كل آله موسيقية ، وكذلك إمكانية تمييز كل النغمات الموجودة بالمقطع الموسيقي ، وتنقص درجة الوضوح بزيادة زمن الأرتداد ، وان كان من المعروف انه يمكن احتمال أزمنة ارتداد أطول في حالة الموسقى منها في حالة الحديث دون تأثير ملحوظ في درجة الوضوح . ويرتبط الوضوح ايضا بعلو الصوت الذي يعتمد بدوره على الإستفاده من الانعكاسات الأولى ، وعلى إتاحة مسار غير معترض للصوت المباشر.

ثانيا : إمتلاء النغمات : Fullness Of Tones

ولعل هذه الصفة من أصعب الصفات الموسيقية في تعريفها على الرغم من سهولة الإحساس بها ، ويمكن تعريفها بأنها الخاصية التي يضيفها الفراغ المغلق على الموسيقى بالمقارنة الى الموسيقى المعزوفه في الهواء الطلق ، ويطلق عليها احيانا الدفء ، وترتبط مباشرة بزمن الإرتداد فتزيد بزيادته إلى الحد المقبول ، ويلاحظ التعارض الواقع بين متطلبات كل من الوضوح وامتلاء النغمات ، وبصفة عامة فان تغليب أحدهما على الآخر يتوقف على نوع الموسيقى المعزوفة ، فمثلا قد تحتاج قاعة العرض الموسيقى (الكونسيرات) إلى امتلاء النغمات اكثر من إحتياجها الى الوضوح بينما يختلف الوضع في دور الأوبرا.

ثالثا : التوازن : Balance

وينتج عن المحافظة على العلو النسبي للصوت الصادر من مختلف الآلات الموسيقية ، وتقع مسؤولية القيام بهذه المهمة على عاتق قائد الفرقة ، وأيضا على كيفية توزيع الآلات على خشبة المسرح ، فمثلا يجب ان توضع الآلات الضعيفة نسبيا مثل آلات النفخ الخشبيه بحيث لا يحجبها أي عائق .

رابعا : الإمتزاج Blend

ويعطي إمكانية الإستماع الى مجموعة العازفين كوحدة واحدة وليست كمصادر فردية مختلفة ، ويلعب قائد الفرقة دورا كبيرا في القيام به ، كما يساعد عليه وجود أسطح عاكسه بالقرب من الفرقه يتم عن طريقها خلط أو مزج اصوات الآلات المختلفه قبل وصولها للجمهور .

5-2 الخصائص الصوتية للموسيقى :

يجب مراعاة النقاط التالية بالنسبة لقاعات الموسيقى :

1. إختيار زمن الإرتداد المناسب بحيث يخدم كلا من إمتلاء النغمات ، وكذلك الوضوح وعلو الصوت والتوزيع المتجانس له . وايضا يجب مراعاة زمن الارتداد ليس هو العامل الوحيد لنجاح القاعة .
2. يتوقف الوضوح على ثلاثة عوامل وهي : أولا قصر الفاصل الزمني بين الصوت المباشر والإنعكاسات الاولى (يفضل الا يزيد عن 0.02- 0.03 ثانية) ، ثانيا ارتفاع الصوت المباشر بالنسبة للصوت المنعكس ، وثالثا عدم وجود صدى .
3. في القاعات الكبرى (2500 شخص فاكثر) يصعب توفير قدر كاف من الطاقة الصوتية في الترددات المنخفضه bass ، ويرجع ذلك جزئيا الى ان العديد من الالات الموسيقية ضعيفة في الترددات الأساسية Fundamentals .
4. ينبغي ألا يتجاوز بروز البلكون في الصالة حدا معينا (مساويا للارتفاع أسفله في حالة قاعات الكونسيرت ومساويا لضعف الارتفاع أسفله في حالة دور الأوبرا) .

5. يمكن ملاحظة الصدى إذا كان زمن الارتداد منخفضا ، ويقل الاحساس به بزيادة زمن الارتداد .
6. يراعى أن مدى الترددات في صالة الموسيقى أكبر بكثير من صالات الحديث ، إذ يمتد من 30 هيرتز الى 12000 هيرتز .

6-2 التصنيف الصوتي لقاعات الموسيقى :

1-6-2 قاعات العرض الموسيقي – الكونسيرت :

في قاعات الكونسيرت concert halls يفضل الشكل غير المنتظم أو شكل المروحة ، ولو ان الشكل المستطيل تدعمة خلفية تاريخية تقليدية ، ويرجع سبب التفضيل الى إتاحة مكان قريب من الأوركسترا لعدد أكبر من المتفرجين ، كما يفضل إستعمال البلكونات لنفس السبب .

لإضفاء أكبر قدر ممكن من إمتلاء النغمات على الموسيقى يفضل إستعمال زمن إرتداد طويل ، وبالتالي زيادة الحجم المخصص للشخص (قد يصل الى 8.5 متر مكعب) ، ويفضل الاستغناء عن المواد الماصة مالم تكن لمعالجة عيب صوتي والاكتفاء بالامتصاص الناتج عن الجمهور. ويسمح بزمن إرتداد عند 125 هيرتز يعادل 150% من زمن الارتداد عند 500 هيرتز ، فاذا تجاوز هذا الحد وجب إستعمال الواح ماصة.

يراعى عند تصميم منصة الفرقة (الأوركسترا) ما يلي :

توفير الاماكن الكافية للعازفين بآلاتهم والقائد والمنشدين ، بواقع 1.0 – 1.40 متر مكعب و 0.3 – 0.4 للمنشد ، ومسطح 1.60- 2.75 للبيانو .

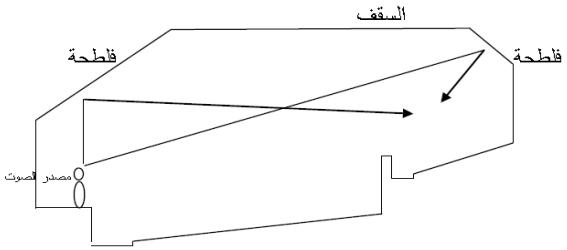
إمكانية رؤية جميع الآلات الموسيقية من اي مكان في القاعة ، ويتم ذلك بعمل مكان الأوركسترا على هيئة مدرجات على ألا يزيد إرتفاع الدرجه عن 0.50 م ، وذلك لتفادي صعوبة رفع الآلات الثقيلة .

ترك فراغ اسفل أرضية المنصة التي غالبا ما تكون من الخشب ليساعد على تكبير الصوت Amplification لبعض الآلات الوترية مثل التشيللو – وخاصة في التردد الأساسي .

أما في خلفية الأوركسترا حيث المكان المخصص لطبول الإيقاع فتوضع ألواح ارضية على دكة خرسانية صلبه مباشرة .

تفادي العمق الزائد (لا يزيد عن 9 متر) أو العرض الزائد (لايزيد عن 18 متر) لمنصة الاوركسترا ويمكن ان يضاف الى ذلك عمق آخر في حدود 3 متر للمنشدين .

استغلال الاسطح العاكسة المحيطة بالأوركسترا – أو تعليق اسطح خاصة – في توجه الصوت الى المستمعين ، وكذلك الى العازفين حتى يتمكنو من سماع بعضهم مما يساعد على مزيد من التجانس - (انظر الشكل رقم 2-8).



الشكل (2-8) يوضح استغلال الاسطح العاكسة المحيطه بالأوركسترا
(المصدر : حسن، 2007)

2-6-2 دور الأوبرا :

يمكن القول ان دار الأوبرا opera house ماهي الا خليط من المسرح والكونسيرت .
إن تصميم دور الأوبرا يرتبط بمعايير يجب الإلتزام بها ومواصفات خاصة يجب تطبيقها لضمان نجاح المنشأة ، ونجد أن المعايير الخاصة بالتجهيزات الداخلية وخاصة توزيع الإضاءة والصوتيات لاتقل أهمية عن اسس انشاء المبنى ككل ، بل تعد الأهم والأجدر بالاهتمام في التطبيق لكونها المؤدي الرئيسي لنجاح الفراغ . (حسن،2007)

2-7 الخلاصة :

1. عند سقوط الصوت على سطح مستوي صلب فان زاوية السقوط تساوي زاوية الإنعكاس، أما اذا كان السطح مقعرا فان الصوت ينعكس بطريقة مجمعة ، وتعمل السطوح المحدبة على تفرقة الصوت .
2. يلعب مبدأ إمتصاص الصوت دورا مهما في تشكيل بيئة صوتية جيدة ، وذلك بمعرفة معامل إمتصاص كل مادة لمعرفة كيفية التحكم في زمن الارتداد ومعالجة العيوب الصوتية داخل الفراغ .
3. تحسب كمية الإمتصاص بواسطة المستمعين 40 % للترددات العالية و 60 % للترددات المنخفضة 125 – 500 هيرتز من إمتصاص الأرضية.
4. لحساب زمن الارتداد الفعلي في اي قاعة تستخدم المعادلة :

$$T = 0.16\ V / A$$

5. دراسة سلوك الصوت والموجات الصوتية إحدى أهم المؤشرات للوصول الى أثر صوتى جيد داخل الفراغ المعماري ، ولذلك لا بد للمصمم قبل إختيار شكل التصميم المعماري المناسب للفراغات معرفة تأثير ذلك الشكل على السلوك الصوتي والأثر الذي يحدثه الصوت داخل هذا الفراغ .
6. يجب الإختيار الأمثل للمواد الماصة والمواد العاكسة الصحيحة (إذا قلت المادة الماصة سيكون هناك اثر كبير للصدى وإذا مازادت المواد الماصة كثيرا فان الصوت سيبدو خامدا ، وفي كلا الحالتين فان وضوح الصوت سيكون دون المستوى المطلوب
7. يجب إختيار زمن الإرتداد المناسب بحيث يخدم كلا من إمتلاء النغمات ، الوضوح ، علو الصوت والتوزيع المتجانس له . وايضا يجب مراعاة ان زمن الارتداد ليس هو العامل الوحيد لنجاح القاعة .
8. مدى الترددات في صالات الموسيقى أكبر بكثير من صالات الحديث ، إذ يمتد من 30 هيرتز الى 12000 هيرتز لغرض تحقيق درجة فهم جيدة للموسيقى .
9. ينبغي ألا يتجاوز بروز البلكون في الصالة حدا معينا (مساويا للارتفاع أسفله في حالة قاعات الكونسيرت ومساويا لضعف الارتفاع أسفله في حالة دور الأوبرا) .
10. يتوقف وضوح الصوت في الصالات الموسيقية على :

أ) الفاصل الزمني بين الصوت المباشر والإنعكاسات الاولى ويفضل الا يزيد عن 0.02- 0.03 ثانية
ب) ارتفاع الصوت المباشر بالنسبه للمنعكس .
ج) عدم وجود صدى .

- لإضفاء أكبر قدر ممكن من إمتلاء النغمات على الموسيقى يفضل إستعمال زمن إرتداد طويل ، وبالتالي زيادة الحجم المخصص للشخص (قد يصل الى 8.5 متر مكعب).
- يفضل الاستغناء عن المواد الماصة مالم تكن لمعالجة عيب صوتي والاكتفاء بالامتصاص الناتج عن الجمهور .

الفصل الثالث
مســارح الأوبــرا

1-3 مقدمة :

يرتبط نجاح الأداء الصوتي في مسارح الاوبرا بمدى إدراك ووعي المصمم بخواص الصوت وسلوكه في الفراغات المغلقه ، وبالرغم من أن محاولة البحث في هذا المجال ليست من الأمور السهلة لكونها تتعامل مع فرضيات لا يمكن رؤيتها بالعين ولكن من خلال القرائن والاستدلال فإن هذه المحاولات لم تتوقف ربما منذ النشأة المبكرة لفن المسرح ، حيث دون فيرتوفيس ملاحظاته عن الانعكاسات الصوتية بالقاعة ، استمر اللاحقون من بعده – ومن خلال التجربة والخطأ – في محاولاتهم لتحسين الأداء الصوتي بقاعاتهم .

سيعرض في هذا الفصل خلفية تاريخية لما قدمه العلماء عبر التاريخ ، غير أن التطبيق العملي والمبني على أسس نظرية وعلمية بحته لم يتبلور إلا في بداية هذا القرن على يد العالم سابين رائد علم الصوتيات المعمارية. ومن ثم يتناول الإطار النظرى لنشأة الفن الأوبرالي وانواع قاعات الاوبرا والفراغات التي تتواجد في هذا النوع من المبانى والاشكال الشائعة لها. ايضا يعرض العناصر المؤثرة على التصميم الداخلي لقاعات الأوبرا.

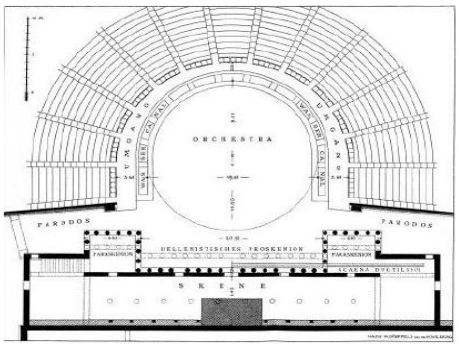
2-3 تطور المسارح عبر التاريخ :

1-2-3 المسرح اليوناني (الإغريقي) :

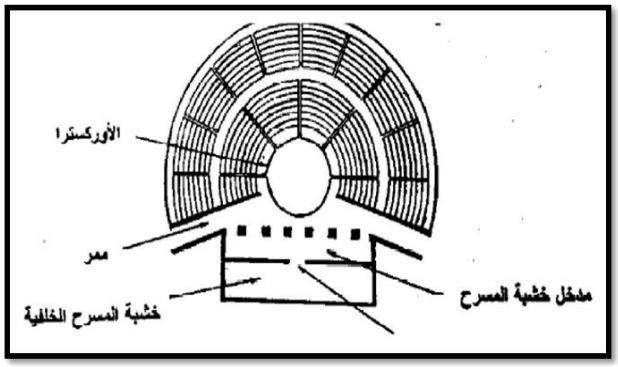
تعتبرالحضارة اليونانية القديمة (الإغريقي) هي البداية التي نهلت منها كافة الحضارات ، إذ أنه هو المسرح الأم ويمكن القول أن التقاليد المسرحية المتبعة اليوم ما هي إلا تطوير للبذور الإغريقية والأسس التي نادى بها رجال المسرح وقتها.

أهم عنصر معماري في المسرح اليوناني القديم كان ذا طابع ديني وكان هذا ممثلا في مسرح الإله ديونيزيوس، وهذا المسرح كانت تحوطه دائرة واسعة تسمى الأوركسترا حيث يؤدي الممثلون أدوارهم داخله. وكان جمهور المسرح اليوناني القديم مثل جمهور العالم كله يهتم بوسائل الراحة، مما أدى فيما بعد إلى نوع من أنظمة الجلوس. واعتمد المسرح الإغريقي في إقامة منصته على أساس معماري مع إستخدام بعض المناظر المرسومة (عبدالعزيز، 2001).

شيدت دور للعرض في كل مدينة رئيسية في بلاد الإغريق ومر تطور هذه الدور في ثلاثة مراحل أساسية (مرحلة النشأة، التطور والإزدهار، مرحلة المسرح الأغروروماني). (عبدالوهاب، 1987) .



الشكل (3-1) يوضح المسقط الافقي لمسرح الإله دينوزيوس
(https://mefrm.revues.org/1807)



الشكل (3-2) يوضح المسقط الافقي للمسرح الاغريقي القديم
(https://mefrm.revues.org/1807)

2-2-3 المسرح الروماني :

لاحظت الدارسة ان هناك على العموم تشابهات محددة بين المسرح الروماني بصورته التقليدية والمسرح الاغريقي الذي انحدر منه هذا المسرح . بالاشارة للصوره رقم (3-2) ، قد إستفاد المسرح الروماني من كل منجزات المسرح الإغريقي ويتسم المسرح الروماني بالزخارف والنقوش الجمالية لمبنى المسرح الخارجي ، كما أن المسرح الروماني لم يكن دينيا لذا لم يرتبط بالمعبد، وتميزت صالة العرض بشكلها الدائري ومساطبها النصف دائرية وبناء مدرجات صناعية فيها وأحاطتها بعقود. وتميزت المنطقة أسفل المنصة بوجود تجويف يشبه تجويف العود ومبطن بالخشب، وقد لجأ الرومانيون لهذه الحيلة للمساعدة في وصول الصوت نقيا للمشاهدين.

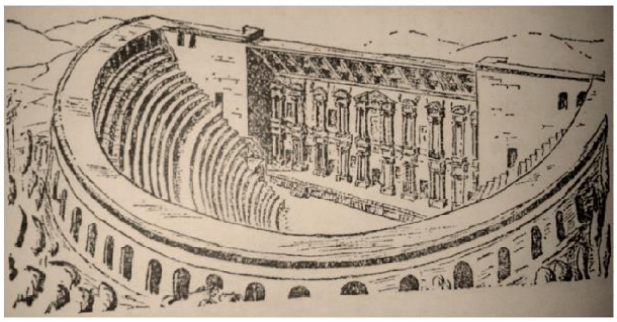
إرتفعت المسارح الرومانية إلى ثلاثة طوابق وظهرت الأعمدة والكورنيشة الحاملة للمبني بالإضافة إلى وظيفتها الزخرفية الجمالية وغطيت خشبة المسرح الروماني بسقف مائل. وقد استفادوا من وجود هذا السقف في أمرين:

1- حماية خشبة المسرح والممثلين من تقلبات الجو.

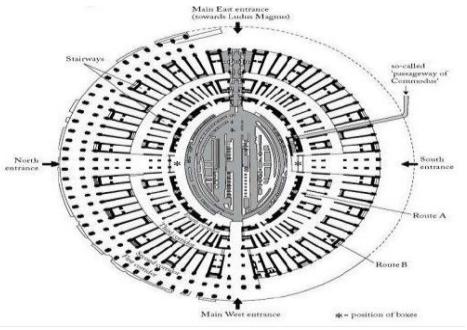
2- المساهمة في تحسين الصوت وتجسيمه ووصوله للمشاهدين نقيا.

ساد المسرح الروماني نظام طبقي اذ خصصت مقاعده الامامية للطبقة الممتازة ولصفوة القوم، بينما جعلوا المقاعد التالية للمقاعد الامامية لرجال الدولة والكبار، بينما ظلت المقاعد الخلفية للشعب. (عبدالوهاب، 1987) من المسارح الرومانية المشهورة مسرح الكلوزيوم والذي كان يستعمل في عروض المصارعة والثيران، وهو مسرح دائري .

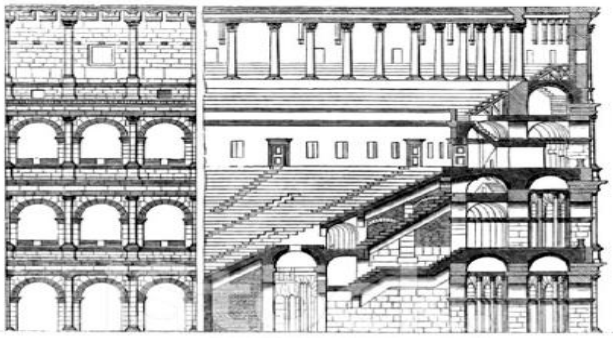
الصورة (3-1) توضح مسرح الكولوزيوم (http://www.freeimages.com -roman-coliseum)



الصورة (3-2) توضح المسرح الروماني (عبدالوهاب، 1987)



الشكل (3-3) يوضح مسقط افقي لمسرح الكلوزيوم



الشكل (3-4) يوضح مقطع راسي لمسرح الكلوزيوم

(http://www.freeimages.com/premium/architectural-plans-of-roman-colosseum)

3-2-3 المسرح في العصور الوسطى:

ظهرت في العصور الوسطى ثلاث أنواع للمسارح وهي:

الأول: مسرح المسطبة المؤقت للفرق التمثيلية الجوالة : ومنها انواع مختلفة طابعها المميز انها مرفوعة لأعلى ذات ستارة خلفية يستريح الممثلون خلفها او يختفون وراءها عن أعين المشاهدين الذين كانوا عادة يجلسون امام المنصة او يحيطون بها من ثلاث نواح.

الثاني: المسارح المتصلة المستخدمة في تقديم مسرحيات الاسرار والمعجزات، وتقوم فكرة هذه المسارح على نقل المشاهدين وتحريكهم اكثر من نقل المناظر وتحريكها، وكان ذلك بإستخدام مجموعة من الغرف المبنية كل غرفة منها تمثل منظر او بيئة مختلفة وتحرك الجماهير من غرفة لاخرى.

الثالث: مسارح العربات المستخدمة في تقديم المسرحيات الانجليزية والالمانية، تختلف مسارح العربات المستخدمة في المانيا وانجلترا عن المسارح المتصلة فهي تعد قبل العرض اعدادا كاملا ثم توضع على عجلات وتدفع في طرقات المدينة متنقلة ما بين مجموعة واخرى من المشاهدين . كانت مسارح العربات هذه مكونة من طابقين ، الاسفل لاستعماله كغرفة ملابس والعلوى للتمثيل.

الصورة (3-3) توضح مسرح العربة في العصور الوسطى

المصدر : (https://ar.wikipedia.org,2019)

الصورة (3-4) توضح المسارح في العصور الوسطى

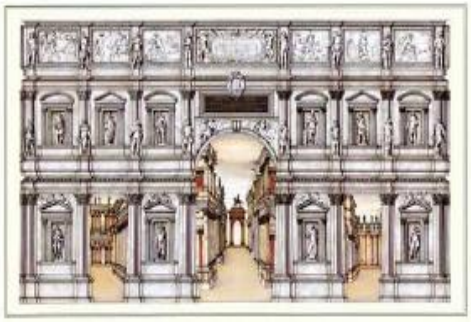
المصدر : (https://ar.wikipedia.org,2019)

3-2-4 المسارح في عصر النهضة:

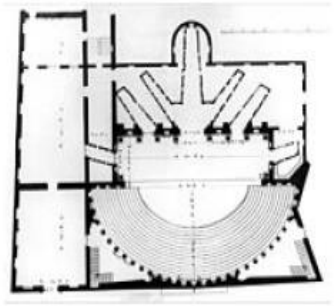
إن تيار العودة الى الفنون الكلاسيكية كان قد ظهر مبكرا في انجلترا حيث نلاحظ ان المعماريين الانجليز اقتبسو تصميماتهم من الفن الروماني والمخطوطات الاغريقية القديمة. (علام ، 1983)، كما كان احياء الكلاسيكات في ايطاليا حافزا لإحياء مماثل في عمارة المسرح الكلاسيكي .

الأمرالمشاهد في بناء المسرح الاولمبي وهي دار جميلة مازالت قائمة للان ، بالاشارة للصور (3-5 ،3-6) لم يكن لايطاليا فضل المحافظة على القديم وإحيائه فحسب ، وإنما أسهمت بكتابين مهمين في موضوع المسرح الأول كتاب سبستيانو سيريليو عام 1551 "العمارة" وكتاب بيكولا ساباتيني "صناعة المناظر والالات المسرحية" عام 1638 وفوق كل هذا فقد قدمت ايطاليا للعالم نموذجا جديدا للمسرح الذي اهمل استخدام مقدمة المسرح المعروفة في المسرح الكلاسيكي الذي صممه المهندس بالاديو واكمل بناءه من بعده ابنه في عام 1584 . كما ايضا اهمل استخدام المسارح المتصلة المعروفة في القرون الوسطى.

الصورة (3-5) توضح منظور داخلي للمسرح الاولمبي
http://www.hunter.cuny.edu



الصورة (3-6) توضح واجهة خشبة المسرح الاولمبي
https://it.wikipedia.org/wiki



الشكل (3-5) يوضح المسقط الافقي للمسرح الاولمبي
https://it.wikipedia.org/

3-2-5 المسرح في القرن التاسع عشر:

شهد القرن التاسع عشر جهودات ضخمة للوصول الى صوتيات أفضل بقاعة الاستماع وقد ساهم الكثير من المعمارين بجهود طيبة دون أن يدركوا الحقائق العلمية وراء ذلك ، فهم – على سبيل المثال – كانوا يعرفون ان المسارح ودورالاوبرا يجب أن تبطن بألواح من الخشب الرقيق حتى تمتص الأصوات ذات الترددات المنخفضة الى المتوسطة بحيث لا تغطى على تفاصيل الألحان الموسيقية ، بينما كانت قاعات العزف الموسيقى تغطى ببياض سميك عاكس للصوت يعمل على توفير النغمة الكاملة اللازمة للموسيقى الاوركسترالية .

3-2-6 مسرح القرن العشرين:

شهد المسرح في القرن العشرين نهضة مسرحية شاملة ، إذ قدم المسرحيون مسرحيات من مختلف المذاهب (الكلاسيكية ، الواقعية، الرومانسية، التعبيرية ، الرمزية والسيريالية) كما ازدهر فن التأليف المسرحي واتخذ هذه الأشكال المتعددة ، وتأثر فن الديكور بهذة المذاهب و تأثرت ايضا فنون التصوير والنحت والعمارة والتصميم والموسيقى فتطورت وأصبحت على ما هي عليه الآن. (مليكة ، 1990) .

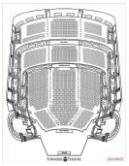
3-2-7 المسرح المعاصر:

يتميز المسرح المعاصر بالابداعات السينوغرافية والاستخدام المؤثر للالية المسرحية وكلما تحولت الالية ببساطة الى فعل انساني وصلت الى قلب المشاهد بشكل تلقائي، وبذلك تتحول الالة الى عنصر مخاطبة لمشاعر وعقل المشاهدين وتثير الاحساس بالمتعة. كما قيل " ان الفن المسرحي متنوع بطبيعته الى مالا نهاية وإن هذا الفراغ المسرحي يتسع لآفاق التجريب المسرحي التي لا حدود لها. (عبدالعزيز، 2001) .

أصبح تحت يدي عالمنا اليوم بفضل العلم الحديث وعصر الصناعة كل الامكانيات المختلفة لتزويد مسرحه بالآلية الحديثة والإختراعات العظيمة التي حققت لنا كل ما نرجوه .

الجدول (3-1) يوضح عناصر التصميم الداخلي للمسارح عبر التاريخ :

المسرح	المكون الفراغي	ممرات الحركة	الاثاث	مواد التشطيب	ملاحظات
المسرح الاغريقي	• مكان الاوركسترا • مكان التمثيل • مكان المشاهده • الكواليس	استغلال الفتحات الموجوده بين الاعمده كممرات تؤدي الى اماكن خارجيه	كراسي خشبية ترفع بعد انتهاء العرض	الاوركسترا : ارضية من حجارة مستويه قطرها 66 سم مكان التمثيل : مسطبه حجريه طويله بعرض المكان اعلى الاوركسترا الكواليس : بدأت كخيمة وتطور الى كشك خشبي	مكان المسرح بالقرب من معبد الاله في سفح التلال
المسرح الروماني	• مكان الاوركسترا • مكان التمثيل • مكان المشاهده • الكواليس	توجد 4 ممرات من المداخل الرئيسية تؤدي الى المدرجات	كانت المدرجات مبنيه من المساطب الصناعيه واحاطوها بعقود	الخشب في الاثاث والأحجار في الارضيات والحوائط والأعمده كما استخدمت الاقمشه في الستائر	مكان المسرح وسط المدينة
مسرح العصور الوسطى	1- مسرح المسطبة المؤقت	طابعها المميز انها مرفوعه لاعلى ذات ستارة خلفيه ، يستريح فيها الممثلون ويختفون ورائها عن اعين المشاهدين الذين كانو عادة يجلسون امام المنصه او يحيطون بها من ثلاث جوانب .			
	2- المسارح المتصلة	تقوم فكرة هذة المسارح على نقل المشاهدين وتحريكهم اكثر من نقل المناظر وتحريكها ، وكان ذلك لاستخدام مجموعه من الغرف المبنية كل منها يمثل بيئة أو منظر مختلف وتحرك الجماهير من غرفة لأخرى .			
	3- مسارح العربات	تعد قبل العرض اعدادا كاملا ، ثم توضع على عجلات وتدفع في طرقات المدن ، وكانت هذه المسارح مكون من طابقين الاسفل كغرفة ملابس والعلوي للتمثيل			
مسرح عصر النهضة	• مكان الاوركسترا • مكان التمثيل • مكان المشاهده • الكواليس	توجد ممرات من المداخل الرئيسية لدخول الجمهور للوصول الى المدرجات	* شيدت المدرجات نصف دائرية للجمهور . * وضعت مناظر ثابتة خاضعه لقواعد المنظور	استخدام القماش في عمل الجلسات للمدرجات ، اما الحوائط والسقف من الحجر وارضية المسرح خشبيه	تميز هذا المسرح بفتحة مزخرفة ويعتبر النواه الاولى لاطار فتحة المسرح
مسرح القرن التاسع عشر	• مكان الاوركسترا • مكان التمثيل • مكان المشاهده • الكواليس		تم إستخدام الاخشاب في اثاثات المسارح .	كانت المسارح ودور الاوبرا تبطن بألواح من الخشب الرقيق لامتصاص الأصوات ذات الترددات المنخفضة الى المتوسطة، كانت قاعات العزف الموسيقى تغطى ببياض سميك عاكس للصوت .	تبنى المسارح من الطوب أو الحجر لتفادي مخاطرالحريق

مسرح القرن العشرين 	• صالة المدخل • حجرة التدخين • صالة المشاهدين • خشبة المسرح • الكواليس.	توجد ممرات للحركة بين صفوف المقاعد	وزعت في صالة المشاهدة مقاعد لجلوس الجمهور لا يتجاوز عددها الـ 1200مقعد.	ظهر استخدام الحديد والخشب في خشبة المسرح واستخدم ستارا خلف فتحة المسرح حيث انه يعلو ويهبط لفصل الصالة عن المسرح في حال نشوب حريق.	ـــــــ
المسرح المعاصر	• مكان الاوركسترا • مكان التمثيل • مكان المشاهده • الكواليس	توجد ممرات من المداخل الرئيسية لدخول الجمهور للوصول الى المدرجات	وزعت في صالة المشاهدة مقاعد لجلوس الجمهور يمكن ان يتجاوز عددها الـ 1200 مقعد ، بالاضافة إلى انتشار استخدام البلكونات العالية .	كثر إستخدام الخشب في الحوائط ، الارضيات والأعمده كما استخدمت الاقمشه في الستائر ، والمقاعد الخشبية أو المعدنية المنجده .	تم إستخدام البلكونات والأرتفاعات العالية للقاعه للاستفادة من إنعكاسات الصوت .

المصدر : الباحث (2020)

3-3 تعريف الأوبرا :

كلمة أوبرا تعني "العمل" باللغة الإيطالية (من اللاتينية أوبس وتعني "العمل" أو "بذل الجهد")، هذا يقترح أنها تمزج ما بين الفن المنفرد ومع الجوقة الموسيقية، الخطبة، التمثيل والرقص على منصة المسرح. (https//ar.wikipedia,2019)

الأوبرا هي مسرحية مغناة، وهي شكل من أشكال المسرح حيث تعرض الدراما كليًا أو بشكل رئيسي بالموسيقي والغناء، وقد نشأت في إيطاليا عام 1600 وهي جزء من الموسيقى الغربية الكلاسيكية . (https//ar.wikipedia,2019)

تشترك في الأوبرا عدة أنواع من الفنون حيث يوجد العزف وقيادة الأوركسترا، الغناء الأوبرالي، التمثيل والدراما، الديكور، الإكسيسوارات، الملابس، المكياج، والباليه أحياناً، والإضاءة وغيرها. كل هذه الفنون تجتمع لكي يكتمل العمل الأوبرالي .

أوركسترا الأوبرا هي أوركسترا متخصصة في عزف ومصاحبة الأوبرات ، يكون العازف مثل هكذا أوركسترا قد قضى الشطر الأكبر من حياته في عزف الأوبرات لكن هذه الأوركسترات أيضا تعزف أعمالا أوركسترالية، حيث توجد أعمالا أوركسترالية مشتركة بين الأوبرا والسيمفوني مثل الافتتاحيات والتي هي غالبا ما تكون قد كتبت لكي تكون افتتاحية لأوبرا من الممكن عزفها بشكل منفرد ، اي من قبل الأوركسترا السيمفوني.

تكون أوركسترا الأوبرا عادة في الحفرة الكبيرة المخصصة التي تقع أمام المسرح ، ويكون المايسترو هو نقطة التماس والوصل بين الأوركسترا والموسيقيين وبين المغنين وما يجري على المسرح.

1-3-3 نشأة الأوبرا:

كانت البثرة الأولى للأوبرا في الكنيسة ، لكنها بالطبع لم تكن أوبرا حيث أن الأوبرا بمفهومها الحالي وجدت خارج الكنيسة.

قبل أن يكون هناك غناء كورالي (من أربع أصوات) في الكنيسة، كان هناك شيء اسمه الغناء الجريجوري ، وكان هذا النوع من الغناء يؤدى من صوت واحد بدون مصاحبة آلية ، وأحيانا يكون هناك صوت آخر مصاحب .

بعد ذلك بدأت الأوبرا في الظهور خارج الكنيسة وبنصوص وقصص دنيوية. كان الظهور الأول للأوبرا في أيطاليا، وامتدت بعد ذلك إلى فرنسا ثم إلى باقي أوروبا.

كانت الأوبرا في بدايتها تعزف في قصور النبلاء والأمراء، لكن بعد ذلك امتدت لتصبح تعزف للجمهور وذلك بواسطة الدخول بواسطة شراء التذاكر. (https//ar.wikipedia,2019)

تصنف الأوبرا بصفة عامة إلى :

- **الأوبرا التقليدية (الإيطالية) :**

عام 1600في فلورنسا حاولت جمعية الأصدقاء اخراج مسرحية تتخللها الموسيقى على غرار ما تصوروه عن التراجيديات الإغريقية فإذا بهم يصلون إلى نموذج مسرحي جديد أسموه (الأوبرا).

وقد إرتبطت باستعمال قاعات على شكل حذوة الحصان ، وهذا يتيح حجما أقل لكل فرد _في حدود 5.7 متر مكعب _ ، وبالتالي زمن الإرتداد في حدود 1-1.2 ثانية .

- **أوبرا فاجنر :**

ريشارد فاغنر Richard Wagner كان مؤلف موسيقي وكاتب مسرحي ألماني ولد في لايبزغ، ألمانيا سنة 1813، وتوفي في البندقية، إيطاليا سنة 1883.

ابتعد في أعماله عن الأوبرا الإيطالية وأسلوبها التاريخي (كانت تعالج المواضيع التاريخية)، فتجنب التأنق الصوتي مفضلا أن يعطى الدور الأول للأداء الأوركسترالي . كان من أنصار المسرح الأسطوري (اقتبس أعماله من الأساطير الجرمانية القديمة)، استطاع أن يجمع بين النص والموسيقى وأن يوافق بين الأصوات والآلات الموسيقية، كما أن طريقته في إعادة تكرار الفكرة الرئيسية عبر المشاهد المختلفة مكنته من أن يحافظ على تماسك الموضوع.

يعرف هذا النوع من الاوبرا انه يحتاج الى ظروف مختلفة مثل زيادة إمتلاء النغمات والامتزاج على حساب الوضوح . كما تتميز بعدم طغيان أصوات الاوركسترا على اصوات المغنيين ، ويتم ذلك بإخفاء الجزء الأكبر من الأوركسترا أسفل خشبة المسرح ، ويتميز هذا النوع بزيادة الحجم المخصص للفرد _ يصل الى 8.5 متر مكعب_ ، وبالتالي زمن ارتداد يصل الى 1.5 ثانية .

2-3-3 انواع الاوبرا :

أ) أوبرا الحجرة :

هي أوبرا تكتب لمجموعات اصغر حجما، صوتية وآلية. هذه الأوبرات اقل تكلفة لإقامتها ويمكن أن تعرض على مسارح أصغر.

ب) الأوبريت :

الأوبريت هو نوع من المسرحيات الغنائية كان محبوباً في الفترة بين أواسط القرن التاسع عشر حتى العشرينيات من القرن العشرين الميلادي، تطور الأوبريت من الأوبرا الهزلية الفرنسية ولكنه يختلف عنها في

أنه يحتوي على حوار كلامي بدلاً من الحوار الغنائي، وعلى أغاني بدلاً من ألحان. وغالباً ما تكون مقدمة الأوبريت خليطاً من أغاني منتزعة من العرض وليست شيئاً مؤلفاً مستقلاً كما هو الحال في الأوبرا.

ج) أوبرا سافوي :

اشتق الاسم من مسرح سافوي ، تدل أوبرات سافوي على نمط من الأوبرا الكوميدية التي نشأت في العصر الفكتوري في أواخر القرن التاسع عشر.

د) نوع قصير (دراما) :

هو نوع مسرحي موسيقي إسباني ظهر في منتصف القرن التاسع عشر ليعبر عن قطع صغيرة ذات موضوعات قليلة الأهمية.

هـ) المـَسلاة :

عرض مسرحي هزلي لاذع النقد هدفه التسلية والترفية و أصل المسلاة أغاني نقدية شائعة انتشرت في شوارع باريس في عهد لويس الرابع عشر، ثم أصبحت مكونات مسرحيات هزلية لا قيمة لها كانت تعرض في الأسواق و المعارض و عرفت باسم الفودفيل.

(https//ar.wikipedia,2019)

4-3 تصميم قاعات الاوبرا :

أقسام مبانى قاعات الاوبرا تتكون عموما من ثلاث أقسام رئيسية وهى :

1- **الفراغات الممهدة لدخول للقاعه front-of-house spaces :**

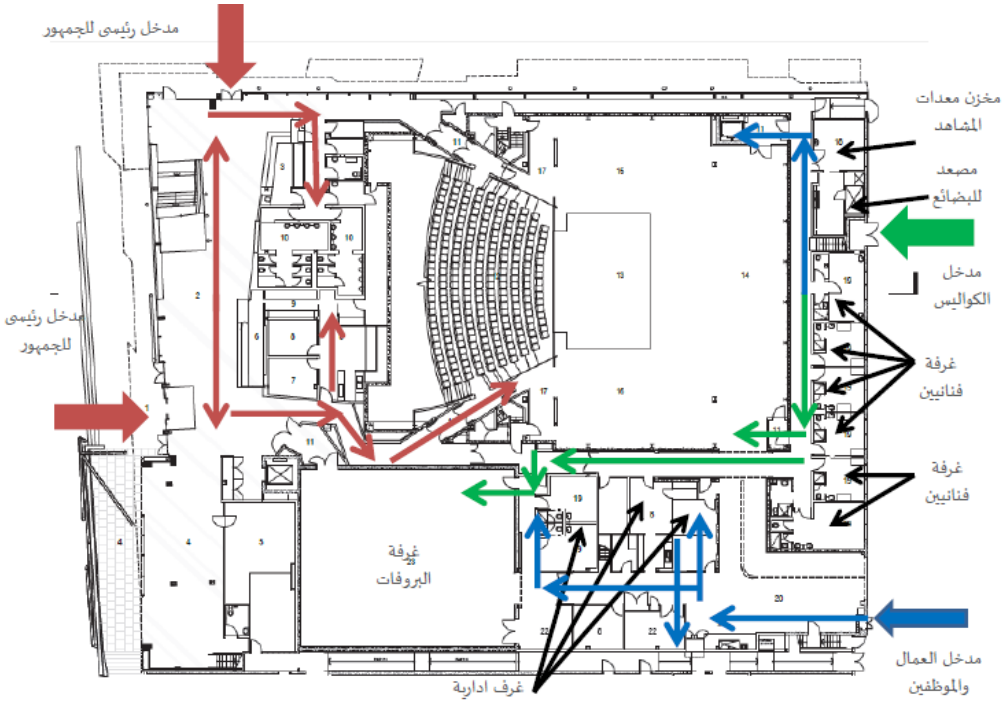
وهى مكونة من صالة الدخول ، بهو موزع ، شباك التذاكر ، الحمامات ، وسائل الحركة الرأسية ، وهذة الفراغات تكون ضرورية لاي قاعة ولكن هناك فراغات إختيارية كمكتب إداري و كافتريا و معرض مصاحب للعرض .

2- **قاعة الاستماع Auditorium House or :**

وهي القاعة او الصالة المخصصة لجلوس الافراد للإستماع للموسيقى.

3- **المسرح وماخلف المسرح Backstage or Back- of house spaces :**

وهي مكونة من خشبة المسرح ، الكواليس ،غرف تجهيز الممثلين ، غرف تغيير الملابس ، المكياج ، إستراحات الممثلين ، ورش تركيب الديكور ، غرف التدريب ، غرف الفنيين ، والإشراف .



الشكل (3-6) يوضح مكونات قاعات الأوبرا

(المصدر: http academia.edu)

5-3 تحديات المعماري في دراسة الصوتيات في العمارة :

1. التعارض بين بعض الاتجاهات المعمارية الحديثة وبين متطلبات الخصوصية الصوتية واستعمال مواد البناء الخفيفة ، وهذا الاتجاه ناشئ عن محاولة الاستغناء عن المواد التي لا تشكل ضرورة انشائية أو حرارية، وتفتقر معظم هذه المواد المستعملة أهم خواص العزل الصوتي مثل التركيبات سابقة التجهيز والتي تهيئ مسارات لانتقال الصوت أو الضوضاء بين مختلف الفراغات المعمارية .
2. التوسع في استعمال الاجهزة والماكينات داخل المباني والتي تشكل مصادر جديدة للضوضاء داخل المباني رغم التطورات .
3. استغلال قبوات المبانى كمواقف السيارات أو وضع المولدات الكهربائية والاجهزة الميكانيكية ادى الى نشوء الضوضاء والاهتزازات.

التصميم الداخلي لقاعات الأوبرا واثره على الاداء الصوتي :

تعتبر دور الأوبرا والمسارح من أكثر المباني التي يهتم المعماريون بدقة تصميمها ، ليس بزويا الرؤية الحرجة ومخارج الهروب والأنظمة الإنشائية فحسب ، بل بتصميمها الداخلي الفاخر والأهتمام بالشكل الذي يؤدي الى توزيع أمثل للصوت داخل القاعة بما يتناسب مع قيمة هذا النوع من المباني كصروخ ثقافية وترفيهية تقام فيها أهم وأقدم أنواع الفنون .

عند تصميم قاعات الاوبرا يكون الهدف هو إحداث الأثر الصوتي الأفضل للمستمعين والوصول الى هذا الهدف يجب توفير كمية كافية من الصوت لكل أجزاء القاعة ، توزيع منتظم للصوت ، العزل الكافي للضوضاء من الخارج ، مراعاة زمن الأرتداد الأمثل لمثل هذه القاعات ....الخ.

الحديث عن تأثير شكل الفراغ المعمارى على الصوت، اذا كان هذا التاثير ينحصر في عملية الانعكاس ومدى كونها نافعة أم ضارة واذا كان للعواكس السقفية – أو الجانبية – كل هذه الاهمية ، لماذا لا يتم التصميم المعمارى للفراغ من البداية بحيث يعطى نفس الانعكاسات التى يتوقع ان يعطيها العاكس المعلق
في هذا الفصل عرض للتأثير المتبادل بين محددات الفراغ – حجمي وشكلي – والصوتيات وكيفية استخدام هذه المحددات في توليد انعكاسات صوتية مفيدة .

6-3 التصميم الداخلي لقاعات الأوبرا:

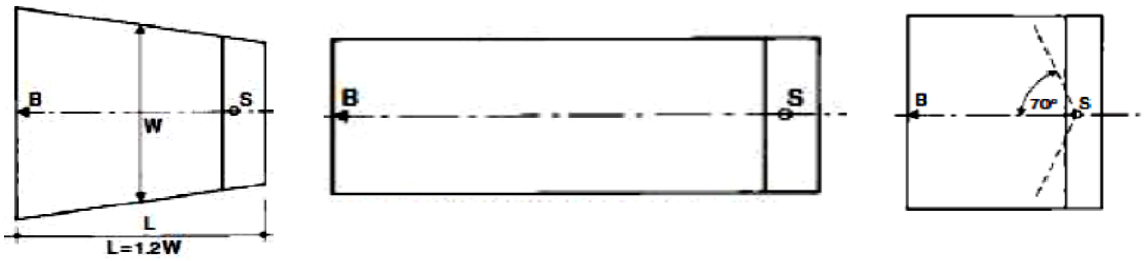
- الشكل العام لصالات الأوبرا من الداخل وعلاقتها بخشبة المسرح
- حجم القاعة
- شكل السقف
- شكل الحوائط الجانبية
- الشـرفات
- منصة العرض
- تنسيـق المقاعد

أ. شكل القاعة :

يتنوع التاثير المتبادل بين الفراغ المعماري والصوتيات وفقا لتنوع شكل الفراغ ، لذلك يصبح وضع توصيات بخصوص هذا الامر مسألة صعبة ، وبشكل عام فان جميع الاشكال المستخدمة في تصميم القاعات تحمل داخلها عوامل نجاح أو فشل ، بحيث يتوقف الامر في النهاية على وعي المصمم بسلوك الصوت وتفاعله مع شكل الفراغ .
وقد تم تقسيم الاشكال المختلفه للمساقط الى خمسه انواع وهي المربع ، المستطيل ، السداسي ، المروحي وشكل حذوة الحصان .

الشكل المستطيل :

هو الشكل التقليدي ويتميز بحدوث انعكاسات عرضية بين الاسطح المتوازية مما يساعد على امتلاء الصوت ولكن يخشى صدى رعاش ، ويتميز هذا النوع بخلوه من البؤر الصوتية .
وتنحصر مشاكل القاعات المستطيلة في الحوائط المستوية وتوازى هذه الحوائط ، فالحوائط المستوية تنتج الصدى مالم تكن عالية الإمتصاص ، والحوئط المتوازية تنتج الصدى المتعدد أو المشوش ، ففي الغرف المستطيلة تبقى زوايا الانعكاس لاشعة الصوت من الرتب المختلفة ثابتة، وتكمن خطورة ذلك في أن خواص الامتصاص للمادة تتغير بتغير زاوية اصطدام الاشعة بها ، ومع ذلك فان الشكل المستطيل مفضل عن بقية الاشكال الاخرى ، وبسبب الطبيعة الاتجاهية للترددات العالية فانه يفضل أن تكون أطوال مثل هذه القاعات أكبر من عرضها ، وقد ذكر كندسن أن القيم المثلى لهذه النسبة تتراوح بين 1:2 و 1:1.2 .
و تعد الفضاءات القصيرة والعريضة أفضل بكثير من تلك التى تتميز بالطول (بالاشارة للشكل رقم (3-7) ، ويبين أن وضوح الصوت يقل بعد الزاوية 70 من المحور العمودي على مصدر الصوت وهذا ما يضع حدود لعرض الفضاء .
وعموما فان القاعات الصغرى أفضل صوتيا من تلك الكبرى التى قد تحدث مشاكل صوتية ويعتمد تصميم القاعة على نسبة الطول والعرض والإرتفاع ، وأن أسوأ الاشكال هو الشكل المكعب نسبة لتساوي الثلاث أبعاد. بالاشارة للجدول (3-2) .



الشكل (3-7) يوضح نسبة طول وعرض الفضاءات

المصدر (Steven Szokolay , 2004)

الجدول رقم (3-2) يوضح افضل النسب المستخدمة للقاعات المستطيلة

	النسبة	القاعات الصغرى	القاعات المتوسطة	القاعات الكبرى
الإرتفاع (متر)	0.30	2.44	3.66	4.88
العرض (متر)	0.39	3.12	4.68	6.24
الطول (متر)	0.47	3.76	5.63	7.51
الحجم (متر^3)	-	304	1036.32	2438.4

المصدر : httpwww.slideshare.netmominzakiauditorium-acoustics

القاعة ذات الشكل المروحي :

يتميز باستيعاب العدد الأكبر من المستمعين دون زيادة البعد بينهم وبين المنصة، لا يعتبر الفراغ ذو المسقط الافقي المروحي من الفراغات المثالية من الناحية الصوتية وخصوصا اذا كان الحائط الخلفى مقعر لما تحدث من بؤرة صوتية لا تعالج الا بجعل الحائط الخلفي من مادة ماصة للصوت .

ومن ناحية أخرى يؤدي جعل المسقط الافقي للفراغ على شكل شبه منحرف الى تحسن سماته الصوتية كثيرا خصوصا اذا تمت دراسة دقيقة لتوزيع الاشعه بحيث تغطي جميع أجزاء الفراغ. (الخطيب 2002)

وعموما فانه يفضل معظم المعماريين استخدام القاعة ذات المسقط المروحي . وعلى الرغم من مميزاتها العديدة الا انها لا تعطى – اذا كانت ذات سطح مستوي – اي انعكاسات مبكرة في منطقة وسط القاعة بل ينتقل الصوت من المنصة كليا الى المؤخرة ، ويوضح بذلك اهمية عمل سنون المنشار الموازية لمحور القاعة ، والتي قد تكون مناطق ظل ايضا يمكن ان تحل بعمل تحديب خفيف على الحوائط الموازية لمحور القاعة لنشرالانعكاسات الجانبية حتى تملأ مناطق الظل تلك ، والشكل رقم (3-8) يوضح تلك المراحل التي مر بها الشكل المروحي للوصول الى افضل اثر صوتي .

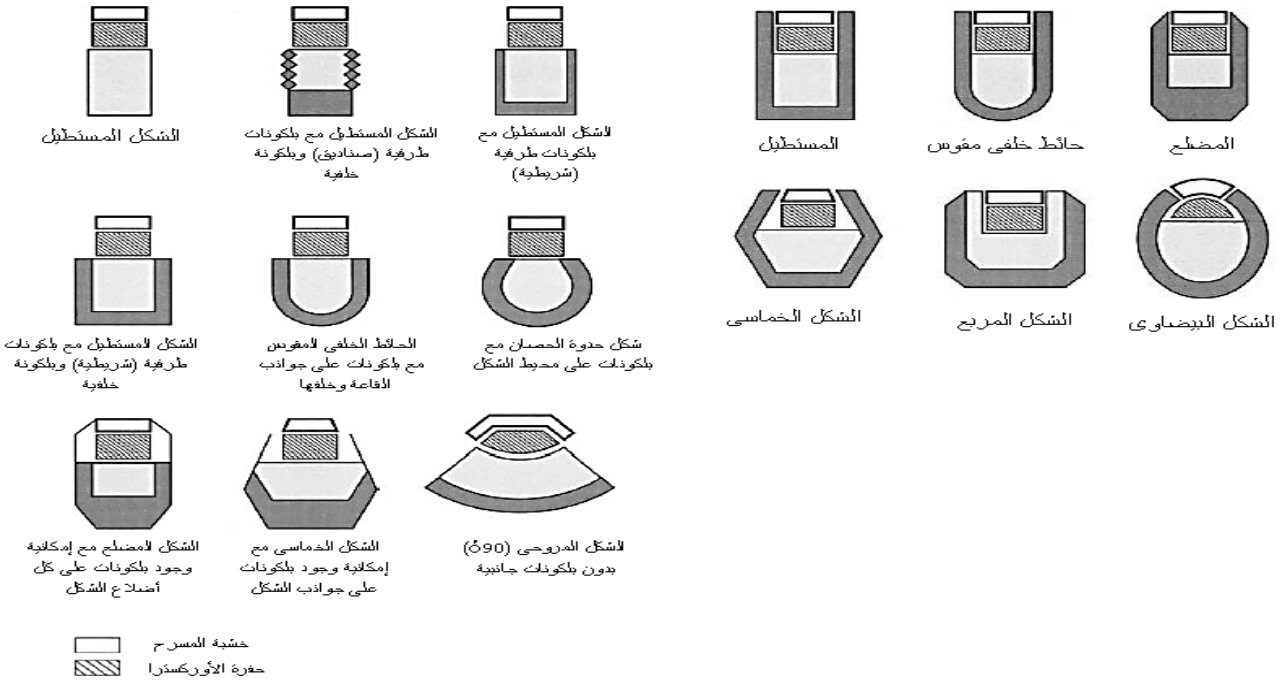
الشكل (3-8) يوضح تحسين الشكل المروحي

(المصدر : الخطيب،2002)

أما شكل حذوة الحصان فيعيبه انحناء الجدار الخلفي وتسبب حدوث البؤر الصوتية التي يجب معالجتها بمواد ماصة أو مشتتة ، وغالبا ما يشمل صفوفا من المقصورات تعلو بعضها وتعطي قدرا كبيرا من الامتصاص بواسطة المقاعد والمستمعين .

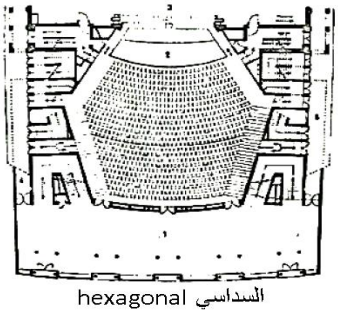
يضاف لهذه الانواع الشكل المنحني وهو غالبا ما يرتبط بوجود قبه أو قبو ، وما لم تعالج الاسطح المنحنية بمواد ماصة او مشتتة فانها تسبب صدى وبؤر صوتية .

اما الشكل غير المنتظم فيعمل على تقريب الجمهور من المنصة كما يوفر الوضوح والالفة نتيجة استخدام الاسطح المتكسره في الحصول على انعكاسات اولية قوية و يتيح الفرصة للاستعمال العشوائي للمواد الماصة أوالمشتتة .



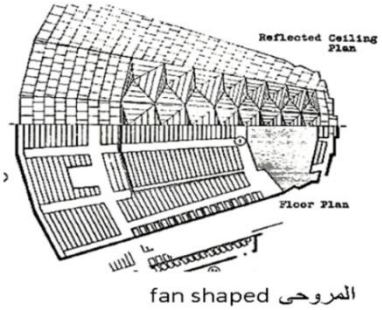
شكل رقم (3-9) يوضح بعض اشكال القاعات بمكوناتها الثلاث على اختلاف وظائفها

المصدر (Ian Appleton, 2008)



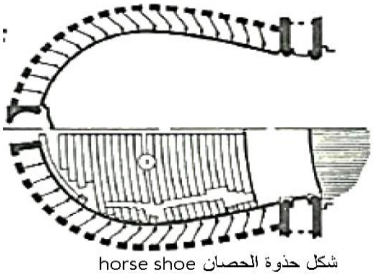
الشكل (3-10) يوضح
الشكل السداسي للقاعات

STATE OPERA HOUSE,
GERMANY, 2015



الشكل (3-11) يوضح
الشكل المروحي للقاعات

MANN CONCERT HALL,
TAL AVEV, ISRAEL 2015



الشكل (3-12) يوضح الشكل
حذوة الحصان للقاعات

Teatro alla Scala – Milan, Italy,
1778

ب. حجم القاعة :

يجب تحديد عدد الاشخاص الذين سيسعهم الفراغ في مرحلة التصميم المعمارى الاولى، ومن وجهة النظر الاقتصادية فانه كلما كان الحجم / الشخص صغيرا كان المبنى أقل تكلفة، واذا كان المكان سيستعمل فقط للتحدث فان زمن الارتداد يجب ان يكون اقل ما يمكن، وذلك لتامين وضوح الصوت ، وبالتالي يمكن ان يكون الحجم اقل ما يمكن، أما بالنسبة للموسيقى فيكون هناك احتياج لزمن ارتداد اطول وهذا ما يحدد الحجم الاقل الممكن للقاعة (حسن ، 2007).

ويختلف الحجم الأمثل للشخص داخل القاعة حسب الإستخدام الوظيفي للقاعة وذلك بتأثير عدد المقاعد وأقصى مسافة من خشبة المسرح . بالاشارة للجدول رقم (3-3) .

جدول رقم (3-3) يوضح علاقة نوع القاعه بأقصى مسافة من المسرح وأقصى سعه للمقاعد وأقصى حجم للقاعة ، والحجم الامثل للفرد .

نوع القاعة	أقصى مسافة من خشبة المسرح م	اقصى سعة للمقاعد	أقصى حجم للقاعة م^3	الحجم الأمثل V (م^3 / فرد)		
				الاقل	الأمثل	الأعلى
قاعات العزف الموسيقى concert	40	1200	10000	8.0-6.5	7.1 – 10.0	12.0 -9.9
الاوبرا	30	2300	15000	4.0	5.1-4.2	6.0-5.7
الكنائس	-	-	30000	5.7	9.9-7.1	11.9
دور السينما والمسارح	20	1300	-	2.5	3.0-3.1	4.0-4.2
قراءات المحاضرات والمؤتمرات	15 استماع مريح 20-15 وضوح جيد 25-20 وضوح مقبول 30 حد مقبول دون الحاجة لوسائل مساعدة	500	5000	-	3.0-2.8	5.0-4.9
القاعات المتعددة الاغراض (تحدث وموسيقى)	-	-	8000	1.2-0.7	1.8- 1.6	2.2

المصدر : الباحث (2020)

ج. شكل السقف :

يعتمد ميلان السقف على الصوت المراد عكسه وعلى عدد المستخدمين وعلى نوع القاعة ولذلك فإن التوزيع الامثل للصوت في القاعة التى يزيد عدد مستخدميها عن 150 شخص يحتاج الى ميلان في الأرضية بالتالي ميلان في السقف ، يمثل السقف عادة أكبر سطح عاكس بالفراغ كما انه يسهل على الموجه الصوتية الوصول الى أى سطح آخر بالقاعه (بالإشارة للشكل رقم (3-13))، ومن الاخطاء الشائعة في التصميم الصوتي استخدام المعالجات الماصة للصوت في سقف القاعة كوسيلة للتحكم في الترددات بهدف زيادة وضوح الصوت ، لذلك كان من الضروري استخدام نظام تقوية صناعية للصوت حتى إذا كانت القاعة تسع لـ 30 شخص فقط .

ويتضائل دور السقف كمصدر غني للانعكاسات الصوتية المبكرة عندما يكون مثقلا بالتجهيزات التقنية حيث يتشتت الصوت، ولكن لا يلزم استخدام كامل مساحة السقف للانعكاسات وذلك حسب ما يلزمه وظيفة الفراغ من ترددات صادرة. وإذا كان السقف عاليا جدا بحيث أن فرق المسار بين الصوت المباشر والمنعكس يزيد عن 17 متر فإن ذلك يؤدي الى تجاوز حد الادراك مما يضر بالوضوح ، ولكن من ناحية أخرى ليس من الضروري تحديد ارتفاع معين للسقف لانه بالنسبة للمواقع القريبة من المصدر يسيطر الصوت المباشر على الانعكاس الاول بحيث يمكن اهمال الاخيراذا كانت شدته تقل عن الصوت المباشر بمقدار10 % ، وتقود هذه القاعدة الى العلاقة التالية :

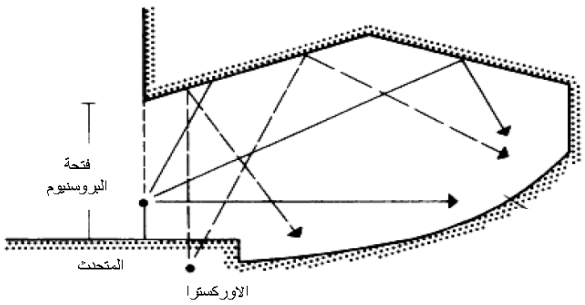
$$\{(2h)^2 + r^2\} / r^2 > 10$$

$$\text{Or: } h > (3/2)\, r$$

حيث :

h= ارتفاع السقف فوق مستوى المصدر والمستقبل

r= المسافة بين المصدر والمستقبل

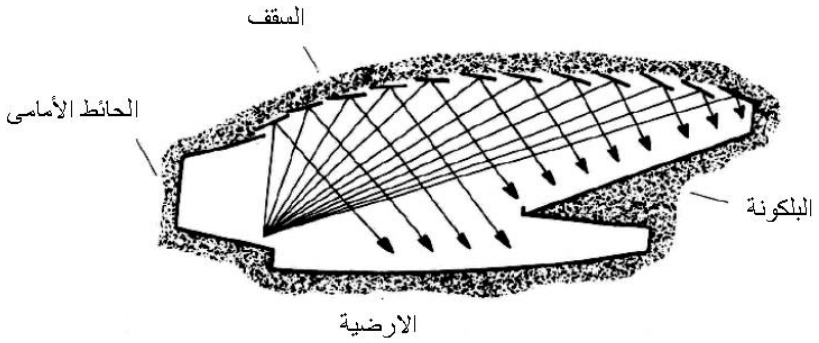


الشكل (3-13) يوضح تقنية استخدام السقف للانعكاسات وتوزيع الصوت

المصدر : (Bousmaha, 2000)

فاذا تجاوز ارتفاع السقف لقيمة محدد من (r)تكون شدة الصوت المنعكس عندئذ اقل من 10 % وبالتالي يمكن اهماله مهما كانت مدة التاخر الزمني ، ولا يشكل اي خوف وبالتالى يكون التركيز على الصوت المباشر فقط .

اما عندما تكون ارتفاع السقف اعلى من 17 م فان الصوت المنعكس يصل متأخر جدا وبالتالي لا يكون مفيد في تقوية الصوت ، حيث لايتوقع حدوث اي مشاكل صوتية لارتفاع السقف اقل من 12 م (الخطيب ، 2002) ويمكن تجنب المشاكل الصوتية التى تنجم عن السقف باستخدام سقف يميل لاعلى باتجاه مؤخرة القاعة كما مبين في الشكل رقم (3-14) مع مراعاة معرفة كل منطقة على السقف تقوم بعكس الصوت لمنطقة معينة من القاعة لضمان التوزيع الأمثل ، ويمكن القول بان الارتفاع الامثل للسقف يتوقف على طبيعة استخدام القاعة، ففي غرف المحاضرات ومسارح الدراما يفضل استخدام الارتفاعات المنخفضة بينما قاعة العزف الموسيقي يفضل استخدام الاسقف المرتفعة وتقع دور الاوبرا في منطقة وسط بينهما ، وقد ظهرت حديثا نماذج لمسارح استخدمت فيها تقنية الاسقف المتحركة حسب الاستعمالات المختلفة .



الشكل (3-14) يوضح تقنية ميل السقف للاعلى

المصدر : (K.B.Ginna.M.Sc , 1978)

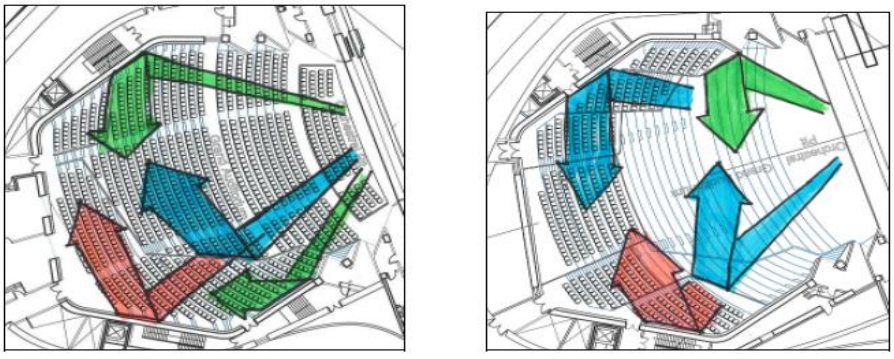
ويفضل تجنب الاسقف المقعرة – كما في القباب – بقدر الأمكان لاثرها في إحداث بؤرة صوتية داخل الفراغ ، واذا تطلب الأمرتصميم وجود سقف مقعر فيجب أن يكون نصف قطر الإنحناء اما ضعف إرتفاع السقف أو أقل من نصف الإرتفاع .

د. شكل الحوائط الجانبية :

دائما ما يضع مهندس الصوتيات اعتبارات لشكل الحوائط في مراحل التصميم المبكرة على عكس شكل سقف القاعة ولانه يصعب تعديل شكل الحائط الجوهري لذلك لابد من توفر وعي المصمم بذلك للاستفادة القصوى من الانعكاسات المبكرة للصوت بواسطة الحوائط الجانبية فعلى سبيل المثال الحوائط المتوازية قد ينجم عنها انعكاسات متكررة أو تحدث بذلك مشكلة تضخم الصوت .

وفي الفراغات الكبيرة يجب تلافي الجدران الخلفية المقعرة لحدوث البؤرة الصوتية كما ذكر سابقا أما الشكل المحدب يمكن ان يكون شكلا مثاليا بيد أنه يتطلب طرقا انشائية معقدة بعض الشئ ، أما الجدران الخلفية للقاعة فيجب معالجتها بالمواد الماصة للصوت لتجنب الانعكاسات القوية التي قد تحدث بلبلة في الصوت.

النموذج التالي (الشكل 3-15) هو دار الاوبرا للمصممة زها حديد 2011 م ويوضح فيه كيفية استخدام الحوائط الداخلية للقاعة للتوزيع الأمثل للصوت ، وايضا كيفية دراسة انعكاسات الصوت من خلال اظهارها بالاسهم الموضحة وتحليل الشكل للوصول بشكل امثل لحوائط القاعه ومعرفة مناطق الانعكاس والامتصاص



الشكل (3-15) يوضح دار أوبرا غوانزو واستخدام الحوائط الداخليه للقاعه للتوزيع الامثل للصوات

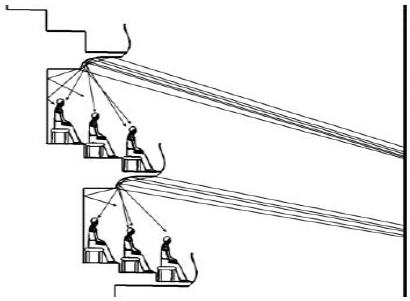
المصدر : (Proceeding of institute of acoustics 2011)

هـ. الشرفات :

تستخدم للاستفادة من ارتفاع الفراغ الكبير ، الا ان الشرفات العميقة قد تحدث بما يعرف بظاهرة الظل الصوتي وهو حجب الصوت عن المقاعد خلف هذه الشرفة، لذلك يجب تشكيل اسفل هذه الشرفة لتقوية الموجات الصوتية المباشرة بالاشارة للشكل (3-16) ، كما يجب ان يكون العمق اسفل الشرفة (D) بما لايزيد عن اثنين الى ثلاث اضعاف الارتفاع الصافى لمقدمة الشرفة (H).

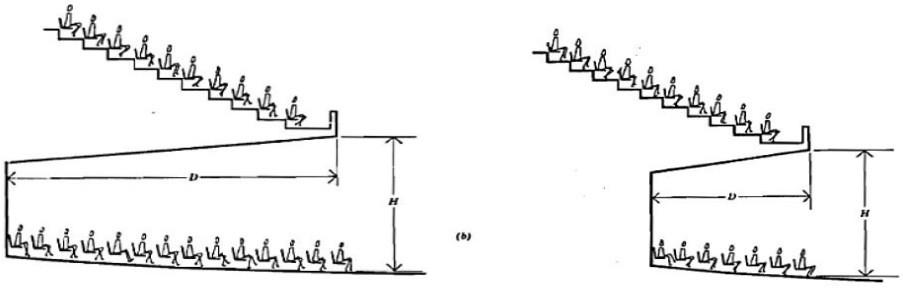
(الارتفاع الصافى للشرفة يقاس من اسفل الشرفة الى خط رؤوس المستمعين، ولا يكون مستوى الصوت كافيا عند المقاعد الخلفية اذا تجاوز العمق المذكور) .

في قاعات الاوبرا يكون العمق Dمساويا لضعف الارتفاع H، والشكل التالي (3-17) يوضح ذلك .



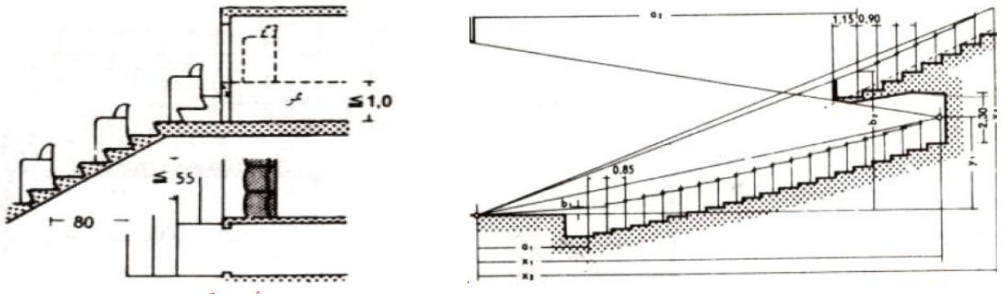
الشكل (3-16) يوضح استخدام اسفل الشرفات لتقوية الموجات الصوتية

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)



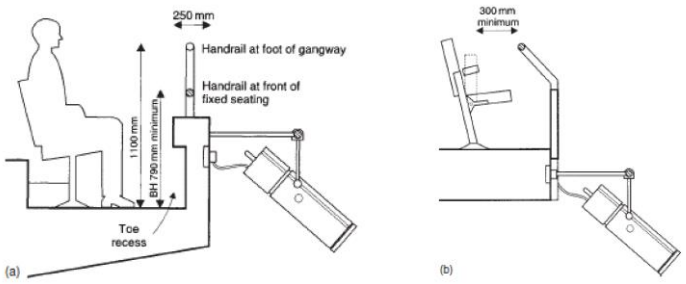
الشكل (3-17) يوضح نسب الاعماق المثلى لتصميم الشرفات

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)



ميل أرضية الصالة وكذلك إرتفاع البلكون ميل أرضية البلكونات

الشكل (3-18) يوضح ميل ارضية الصالة والبلكون



الشكل (3-19) يوضح مقطعا رأسيا باحد المقاعد في البالكون

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)

و. منصة العرض :

تشكل منصة العرض أو خشبة المسرح مصدر للصوت داخل الفراغ ، ولتأمين مسار الصوت الى المستمعين يجب ان تكون المنصة مرتفعة مع عمل ميل مناسب في ارضية الفراغ ، كما يجب معالجة جدران وسقف المنصة بعاكسات صوتية مناسبة.

وتختلف أشكالها على حسب حجم الأوركسترا وعدد أفرادها من الممكن ان تكون مستطيلة او مضلعه او الشكل ذو التدرجات أو مخروطية الشكل ....الخ .

وقد تختلف اشكالها عن هذه الأشكال المألوفه وذلك على حسب الوظيفة المطلوبه منها والنشاط المؤدى على خشبة المسرح ويعتمد أيضا على الفكرة المراد ايصالها للجمهور .

و-1 مكونات خشبة المسرح :

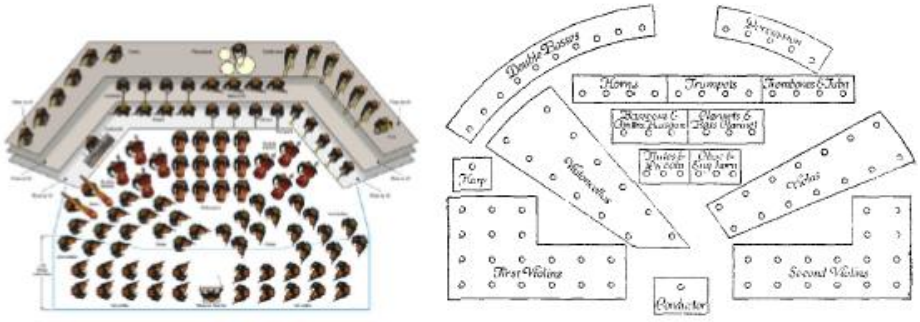
- الاوركسترا : وهي نوعان :

أ) نوع ظاهر مستعرض على خشبة المسرح وهو يكون غالبا في العروض الموسيقية أو الكورال والغناء .

ب) نوع خفي يكون في العروض الراقصة مثل الباليه والمسرحيات .

أولا حجرة الأوركسترا الظاهره :

وهي تشمل فرقة الأوركسترا أو موسيقى الكورال وتتشكل على حسب الأوركسترا وتحتوي على 80-12 موسيقي للفرق الكبيرة و 40-50 في الفرق الكبيرة . بالاشارة للشكل (3-20)

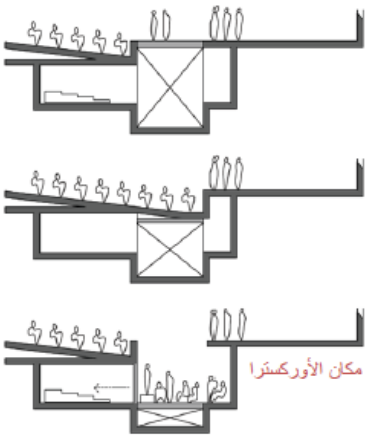


الشكل (3-20) يوضح حجرة الأوركسترا الظاهرة

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)

ثانيا : منطقة الأوركسترا العميقة أو الخفية :

إن عمق منطقة الأوركسترا يحسب بالتناسب مع منطقة خشبة المسرح ، ويجب ان تكون الارضيات من الخشب الذي يتميز بالمرونة الكافية حتى يناسب عروض رقص الباليه ويكون مضاد للحريق ومطابق للمواصفات . بالاشارة للشكل (3-21)



الشكل (3-21) يوضح حجرة الأوركسترا الظاهرة

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)

وهي مزوده بنظام هيدروليكي أو ميكانيكي يتم التحكم بها على حسب المشهد والعرض المقدم ، مثلا :

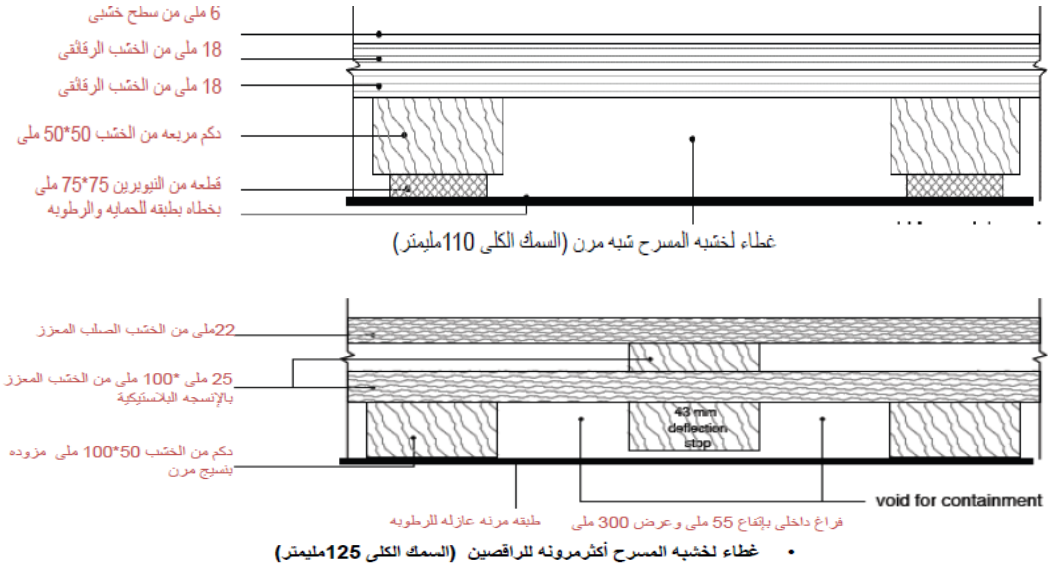
- التحكم في حفظ الألات الموسيقية الثقيلة مثل البيانو والجيتار وغيرها في حال عدم استخدامها.
- التحكم في اغلاق او فتح غرفة الأوركسترا .
- التحكم في عمل ممرات معدنية صغيرة لتحريك المشاهد والصور البانورامية .

كما نجد ان خشبة المسرح تكون معدة من خامات مقاومة للحريق وذلك حتى تتحمل العروض الخطرة مثل العروض النارية .

الشكل (3-22) قطاع بين تدرجات قاعة الأوركسترا وطريقة حفظ البيانو اسفل القاعة عندما لا يكون قيد الاستخدام

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)

و-2 المواد المستخدمة في تغطية أرضية المسرح :



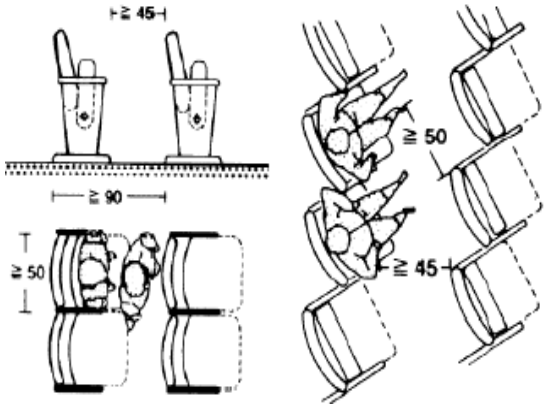
الشكل (3-23) يوضح المواد المستخدمه في تغطية أرضية المسرح

المصدر: (Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010)

ز. تنسيق المقاعد :

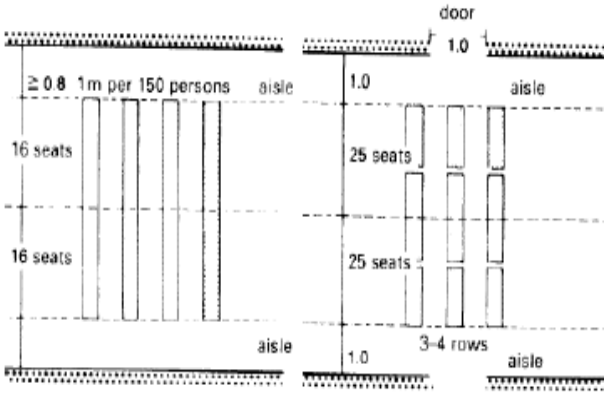
تمثل صفوف الجالسين امتصاصا فعالا للصوت ، لذا من المهم عمل ميل لصفوف المقاعد لكل القاعات عدا الصغرى (اقل من 150 شخص) ما امكن وكقاعدة بسيطة فان اتاحة مجال الرؤية للجلوس تتيح مسارا كافيا للصوت ويعنى هذا ان خط الرؤية يجب ان يرتفع من 110 مم الى 125 مم لكل صف من المقاعد ، أنظر الشكل (3-24) .

ومن المهم عمل ميل في الارضية ويتحقق ذلك برفع أرضية القاعة كلما اتجهنا نحو الخلف من خلال رفع الصفوف المتعاقبة من المقاعد عن بعضها البعض بمسافة لا تقل عن 7.5 – 10 سم ، وهناك طريقتان لتنسيق المقاعد لها مجال وزاوية رؤية مختلفة : مقاعد مصفوفة خلف بعضها ، ومقاعد تبادلية ما بين مقعدين أماميين.



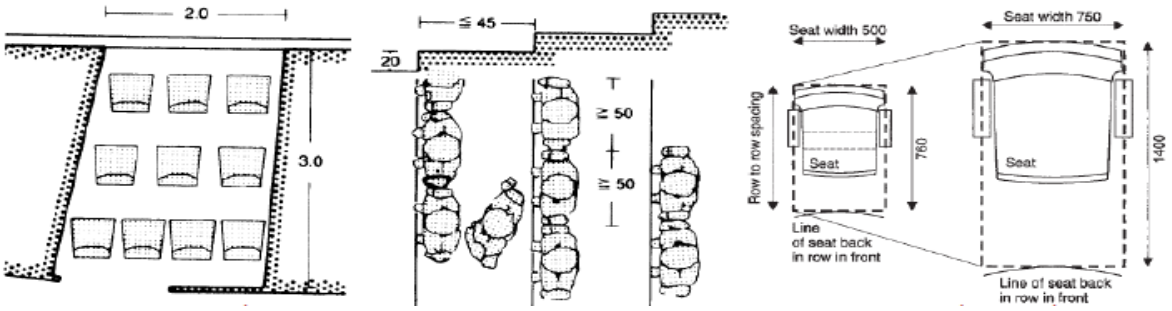
الشكل (3-24) يوضح طريقة رص المقاعد والمسافات بينها

(المصدر : Judith Strong , 2010)

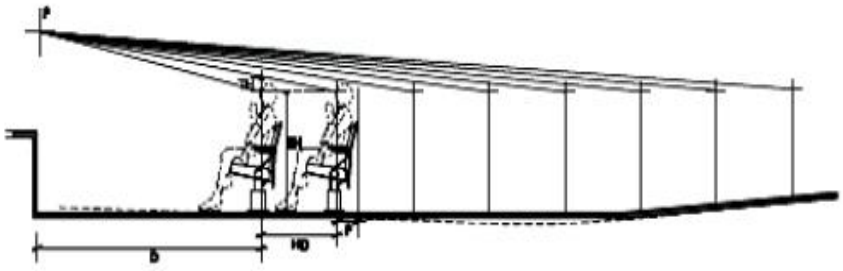


الشكل (3-25) يوضح عرض الممرات في حالة وصول المقاعد الى 16-25 مقعد

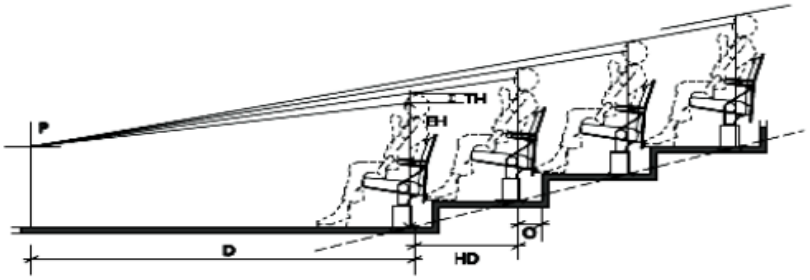
(المصدر : Judith Strong , 2010)



الشكل (3-26) يوضح طريقة تنسيق المقاعد في صالات الاوبرا
المصدر: Judith Strong , 2010)

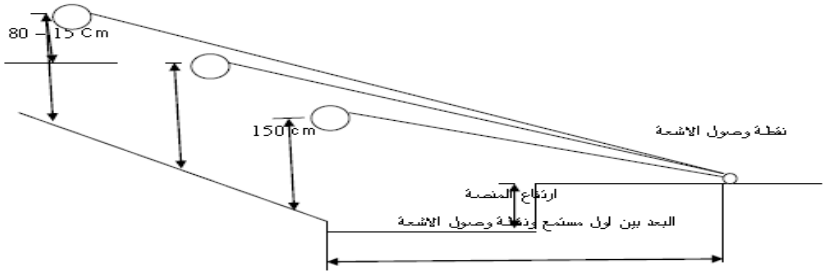


الشكل (3-27) يوضح الامتصاص الاكبر للمستمعين في الارض المستويه للقاعة
المصدر: (Judith Strong , 2010)



أما إذا كانت الأرضية مائلة فيساعد ذلك مستوى النظر وكمية الصوت الواصل لصفوف المستمعين الأخيرة مناسبة حيث D المسافة بين المصدر وأول صف ، HD المسافة بين الصفوف، TH الإرتفاع بين كل رأس مستمع والآخر

الشكل (3-28) يوضح اهمية الارتفاعات بين الصفوف داخل القاعة
المصدر: (Judith Strong , 2010)



الشكل (3-29) يوضح ميل الارضية بواسطة خطوط الرؤية
(المصدر : حسن ، 2007)

7-3 أهداف التصميم الصوتي للقاعات :

يتضمن التصميم الصوتي للقاعات دراسة كل من :

1. صوتيات الفراغ (زمن التردد ، منسوب الصوت ، الانعكاسات الصوتية ...الخ).
2. التحكم في الضوضاء .
3. تصميم نظام تقوية الصوت عند اللزوم.

8-3 خطوات التصميم الصوتي للقاعات :

- عملية التصميم المعماري والصوتي هي تحديد البرنامج ، ويتضمن ذلك تحديد العوامل التى تؤثر على التصميم الصوتي مثل :عدد المستمعين ، نوعية وأنشطة الأداء وكيفية التوفيق بينها ، تحديد الضوضاء المحتملة للمستمعين ، دراسة ظروف الموقع ، القوانين والاشتراطات المحلية ... الخ
- . تحديد مساحة القاعه الرئيسية بتحديد عدد المستمعين ، وبذلك يتم البدء في دراسة حجم القاعة وفقا لمحددات التردد ، فالحجم يجب أن يكون كافيا لصوت القاعة الممتلئة وقد أستخدمت قديما القاعدة التي تربط بين الحجم V المخصص للفرد وزمن التردد RT من خلال العلاقة التالية :

$$V = 4 * RT$$

يوضح الشكل التالي (3-30) القيم الموصى بها وفقا لنوع القاعة ويبدو فيه تقسيمات زمن التردد الأمثل والمتوسط حسب نوع القاعة واستخدامها .

وتلعب الصوتيات دورا هاما عند اختيار المواد المستخدمة بالقاعه، فجميع القاعات تقريبا تستخدم المواد الماصة والمواد العاكسة حيث أن أكبر مساحة من المواد الماصة في أي قاعة هي المستمعين .

- دراسة الانعكاسات الصوتية بشكل تفصيلي وتحديد النافع منها أو الضار.
- ايجاد الحلول الجذرية لمعالجة بعض الظواهر الصوتية غير المرغوب فيها كالصدى أو التركز الصوتي.
- عمل التصميم التفصيلي للعناصرالمختلفة من المبنى كالابواب والشبابيك وغيرها ، حتى تفي بالاحتياجات المختلفة من ناحية العزل والامتصاص ومنع التسرب الصوتي وغير ذلك.

الشكل (3-30) يوضح قيم RTالموصى بها

المصدر : (الخطيب ، 2002)

9-3 أهداف التصميم الصوتى الناجح :

يمكن ايجاز التصميم الصوتي الناجح في النقاط التالية :

1. الخلو من الضوضاء سواء تلك الصادرة من خارج القاعه أو داخلها .
2. زمن التردد ، يعتبر زمن التردد RT معيار التصميم الصوتي الأول بالقاعات، وتختلف الآراء في تحديد قيمته المثلى لإستخدام القاعة في مجال معين ، ولكن قد وضعت لها معايير من خلال قاعات يعتقد بأن صوتياتها جيدة وموضحة في الشكل السابق رقم (3-30) .
3. العلاقة بين حجم القاعة وزمن التردد الامثل لأنواع القاعة المختلفة عند تردد 500 في الشكل رقم (3-3)
4. الوضوح : يفضل في جميع الاحوال امكانية سماع كل كلمة أو مقطوعة موسيقية بوضوح ويتحقق ذلك بعدة اشياء مثل ان تكون المسافة بين المستمع المصدر جيدة وان لا يعوق مصدر الصوت في مساره اي عائق.
5. الاحاطة : تكون البيئة الصوتية أكثر دفئا حينما يكون المستمع محاطا بالمجال الصوتي ويتحقق ذلك عند تضمين الانعكاسات القليلة المبكرة بعضا من الانعكاسات الجانبية ذات الشدة المناسبة.
6. النعومة : ويقصد بها الانتظام في تلاشي الصوت الترددي المتاخر وظهور الصدى.
7. راحة المؤدي : فالعازف بالقاعة يحتاج دائما الى تغذية صوتية مرتدة تعطي احساسا دقيقا بما يفعله .

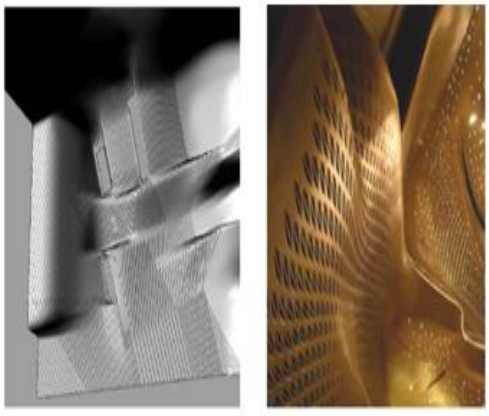
10-3 دراسة وتحليل لبعض قاعات الأوبرا العالمية :

1- **قوانزو اوبرا - مدينة قوانزو - الصين 2011 م (The Guangzhou Opera-China)**

صممت دار أوبرا قوانزو بواسطة المعمارية زها حديد عام 2011 بمساحة 70000 متر مربع والتي تسع 1800 شخص ، ويعد من التحف الفنية في عالم تصميم القاعات من الداخل والخارج وذلك باستخدام التقنيات التكنولوجية ، وتظهر العمارة التفكيكية في الشكل الداخلي وإستغلالها بصورة جيدة في توجيه الصوت داخل الفراغ باستخدام مواد بناء جديدة .

الصورة (3-7) توضح منظور خارجي لأوبرا قوانزو
guardian.co.uk/artanddesign/2011

الصورة (3-8) توضح منظور داخلي لأوبرا قوانزو
guardian.co.uk/artanddesign/2011



الصورة (3-9) توضح الحوائط الداخلية المنحنية لأوبرا قوانزو
guardian.co.uk/artanddesign/2011

الجداول (3-4 ، 3-5 ، 3-6 ، 3-7) توضح الوصف العام لقاعات موسيقى عالمية ، المسقط الأفقي وزمن الأرتداد الفعلي للقاعة عند تردد 500 هيرتز .

1- قوانزو اوبرا - مدينة قوانزو - الصين 2011 م.

وصف عام للشكل :

يظهر الشكل الخماسي للقاعة للاستفادة من الانعكاسات المبكرة للصوت بانحناء الحوائط بشكل غير منتظم ومدروس بشكل جيد .

الجدران :

من الألياف الزجاجية والألواح الجبسية من الـ GRC ، لها وظيفتان اساسيتان ، اولهما دمج الوظيفة الصوتية مع هذه الخطوط الانسيابية المتدفقة للتصميم وتحقيق صدى كامل مع وضوح عالي لكافة التفاصيل الموسيقية والإلقاء .

السقف :

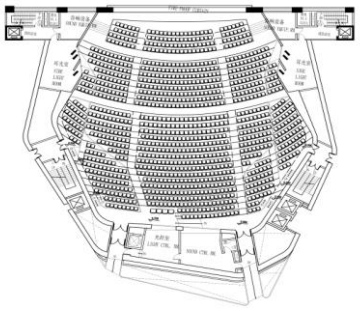
من لوحات الـ GRG والكوريان Corian المثقبه بسمك 25 مم ، وهي مثقبة بحجم ثقب يتراوح من قطر 91 مم إلى 5 مم ودعم بطانة من الألياف الزجاجية لتوفير امتصاص واسع للتردد المنخفض. تم استيعاب الترددات العالية بإضافة ألياف زجاجية عالية الكثافة مدمجة في الألواح .

الأرضية :

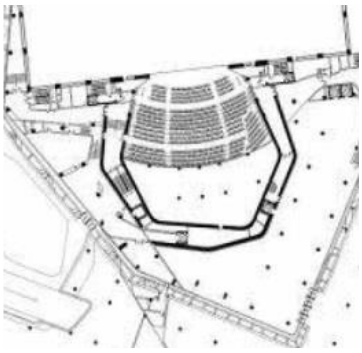
ارضية خشبية مكسوة بالموكيت .

المقاعد :

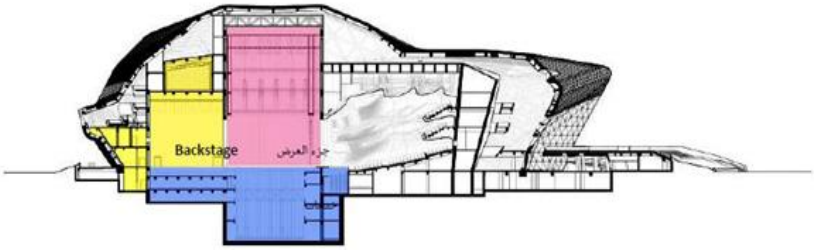
تحتوي القاعه على 1800 مقعد خشبي تم تصميمهم على الطابق الارضي ودورين بلكون .



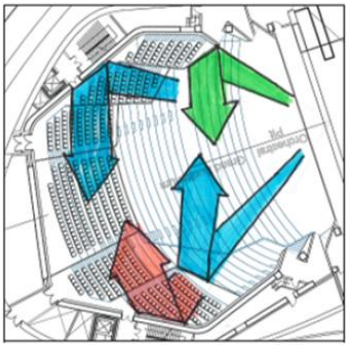
الشكل (3-31) توضح مسقط أفقي للطابق الارضي للقاعة



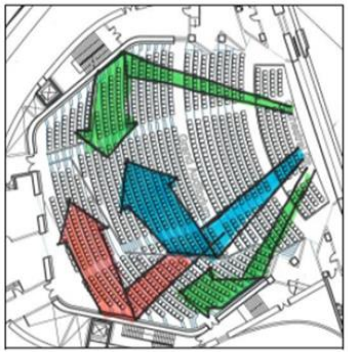
الشكل (3-32) توضح مسقط أفقي للطابق الاول للقاعة



الشكل (3-33) توضح مقطع رأسي للقاعة



الطابق البلكون



الطابق الاول

الشكل (3-34) يوضح تصميم الحوائط الداخلية في القاعه

عدد المقاعد	1800 مقعد
حجم القاعة م3	494.540 م3
مساحة القاعة م2	70000 م2
زمن الارتداد بالثوانى عند 500 هيرتز	1.5-1.6 ثانية

المصدر: الباحث (2020)

2- سكالا ميلانو أوبرا – ايطاليا Teatro alla Scala – Milan , Italy

وصف عام للشكل :
استخدام شكل حذوة الحصان في تشكيل القاعة ولكن تمت توسعتها ليكون كالشكل المروحي ، وهي مكونة من عدة طوابق (بلوكونات) ساعدت على الانعكاس المبكر للصوت .

الجدران :

استخدمت الحوائط ذات التشطيب بالخشب الرقائقى لانعكاس الصوت .

السقف :

أستخدم السقف الخشي العالي .

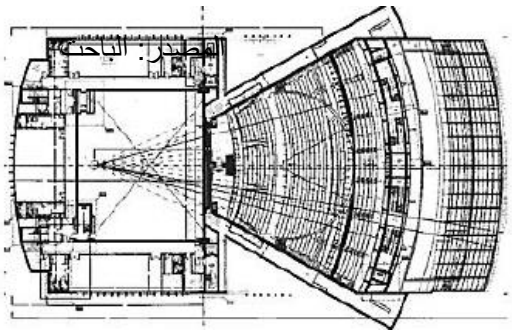
الأرضية :

إستخدام الموكيت للارضيات الخشبية .

المقاعد :

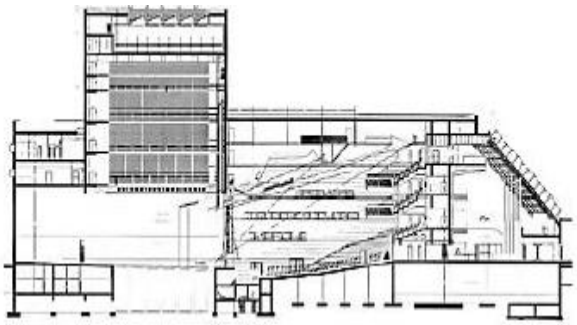
إستخدام المقاعد المنجدة بالكامل لأمتصاص الصوت .

الصورة (3-10) توضح الواجهة الرئيسية



المصدر: الباحث

الشكل (3-35) يوضح مسقط افقي للاوبرا



الشكل (3-36) يوضح مقطع رأسي لمبنى الأوبرا

االصورة (3-11) توضح مناظير داخليه لمسرح اوبرا الاسكالا

عدد المقاعد	2400 مقعد
حجم القاعة م3	32615 م3
مساحة القاعة م2	1300.64 م2
زمن الارتداد بالثوانى عند 500 هيرتز	1.7 ثانية

المصدر: الباحث (2020)

3- قاعة نيويورك للهارمونيكا (New York Philharmonie) 1959

وصف عام للشكل :

استخدام شكل حذوة الحصان في تشكيل القاعة ، لكن توجد تداخل قليل من الأصوات مع بعضها البعض عند إستخدام حفرة الأوركسترا.

الجدران :

استخدمت الحوائط ذات التشطيب الخشبي ، مع وجود حائط خلفي مقعر .

السقف :

السقف المعلق بالقاعة أصبح كعاكس منتظم وفي بما يعادل 30,000 مسمار صغير ، وهو لايعمل عند الترددات المنخفضة (حسب نوع المادة العاكسة.).

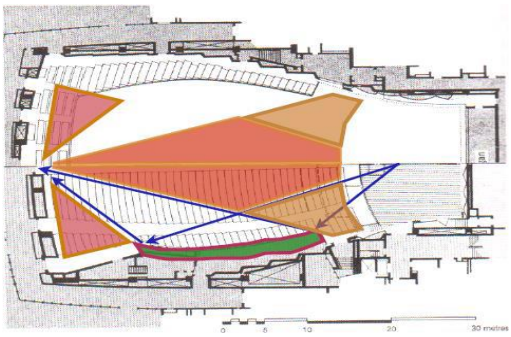
الأرضية :

أرضية القاعة المستوية أدت الى صوت مباشر ضعيف في المقاعد الخلفية.

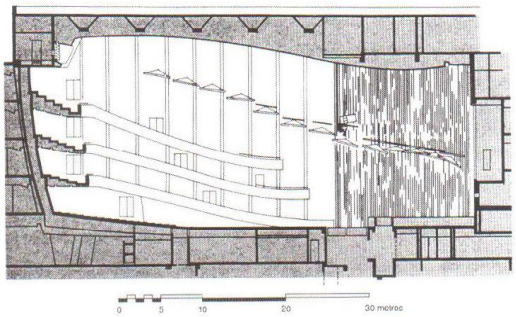
المقاعد :

مقاعد خشبية ، لكن بعض المقاعد لا تصلها أى إنعكاسات جانبية.

الصورة (3-12) توضح منظور داخلي للقاعة



الشكل (3-37) يوضح مسقط افقي للقاعة
المصدر : (2nd edition , 2010 , Barron, Michael)



الشكل (3-38) يوضح مقطع رأسي للقاعه
المصدر : (2nd edition , 2010 , Barron, Michael)

الصورة (3-12) توضح منظور داخلي لقاعة نيويورك

عدد المقاعد	2500
حجم القاعة م3	57500 م3
مساحة القاعة م2	2300 م2
زمن الارتداد بالثوانى عند 500 هيرتز	1.6 ثانية

المصدر: الباحث (2020)

4- قاعة برلين للهارمونيكا Berlin Philharmonie ،1963

وصف عام للشكل :

تتمتع بخاصية المسرح الدائري وتجمع المستمعين حوله ، وتتسم بالتصميم غير المنتظم للقاعة .

الجدران :

تم الاستفادة من انحناءات الحوائط بشكل غير منتظم ومدروس بشكل جيد في الاستفادة من الانعكاسات المبكرة للصوت .

السقف :

من العوامل التي ساعدت على نجاح القاعة صوتيا الارتفاع العالي للسقف وتساهم الأشرعة المعلقة في السقف في توزيع الصوت .

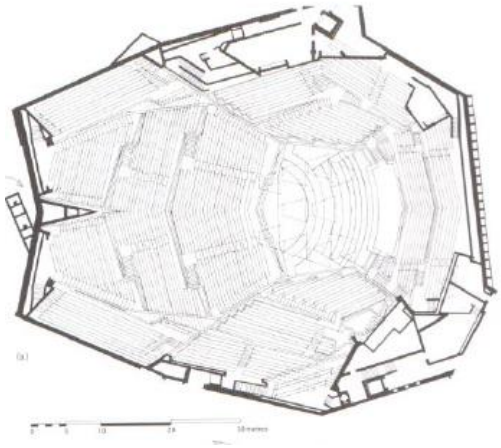
الأرضية :

إستخدمت أرضية خشبية مع أستخدام الموكيت .

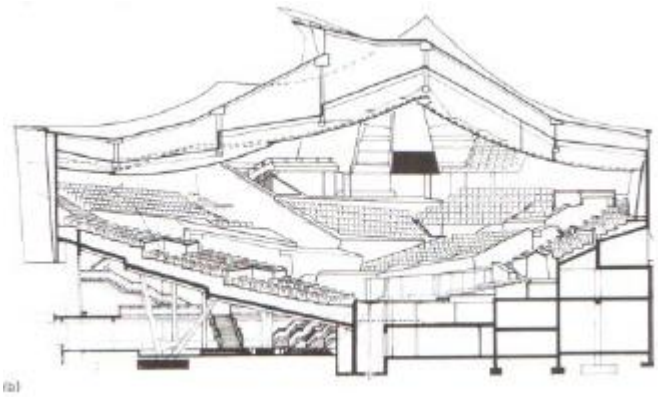
المقاعد :

مقاعد خشبية موزعه توزيع غير منتظم بأبعاد غير مدروسة .

الصورة (3-13) توضح الواجهة الرئيسية للقاعة



الشكل (3-39) يوضح مسقط افقي للقاعة



الشكل (3-40) يوضح مقطع رأسي للقاعه

المصدر : (2nd edition , 2010 , Barron, Michael)

عدد المقاعد	1900 مقعد
حجم القاعة م3	65000 م3
مساحة القاعة م2	2600 م2
زمن الارتداد بالثوانى عند 500 هيرتز	1.5 ثانية

المصدر: الباحث (2020)

11-3 الخلاصة :

1. من خلال العرض التاريخي الذي ذكر يمكننا القول أن للشكل والتصميم الأثر الأكبر للتوزيع الأمثل للصوت .
2. من متطلبات التصميم الصوتي الجيد فهم مقتضيات الأداء المسرحي والخصائص الصوتية لكل منهم والتوفيق بينها لإستخدام الوسائل المناسبة للوصول أفضل أثر صوتي .
3. يجب تصميم التشكيل الداخلي لقاعات الاوبرا- محور الدراسة – وفق الوظيفة والاستخدام والأثر الصوتي المطلوب داخل القاعة ويمكن الوصول الى الأثر الصوتي الأمثل بسهولة من خلال توجيه كل هذه العوامل بكفاءة .
4. تتعدد أشكال القاعة عامة ويرجع السبب الى فكر المصمم المعمارى وإلى طبيعة الإنشاء ونوع الاستماع للقاعة ولا يمكن الجزم بأفضلية نوع على الأخر فلكل محاسنه ومساوئه كما سنفصل لاحقا.
5. من خلال هذا الفصل يتضح ان العلاقة وثيقه بين التصميم الداخلي وكفاءة الصوت المطلوب في قاعات الاوبرا وان توجيه عناصر التصميم الداخلي كالاسقف والأرضيات والحوائط وغيرها من العناصر بشكل جيد يؤدي الى جودة الصوت بالداخل .
6. الحجم الامثل للشخص في قاعات الاوبرا 5.1 متر مكعب .
7. يفضل تجنب القاعات المقعرة في القاعات الكبيره لمنع حدوث بؤره صوتية ، اما الشكل المحدب يمكن ان يكون شكلا مثاليا بيد أنه يتطلب طرقا انشائية معقدة بعض الشئ .
8. يجب معالجة الجدران الخلفية للقاعة بالمواد الماصة للصوت لتجنب الانعكاسات القوية التي قد تحدث بلبلة في الصوت .
9. أهمية ميل الارضية ويتحقق ذلك برفع أرضية القاعة كلما اتجهنا نحو الخلف من خلال رفع الصفوف المتعاقبة من المقاعد عن بعضها البعض بمسافة لا تقل عن 7.5 – 10 سم .
10. يتضائل دور السقف كمصدر غني للانعكاسات الصوتية المبكرة عندما يكون مثقلا بالتجهيزات التقنية حيث يتشتت الصوت لذلك يجب دراسة توزيع التجهيزات التقنيه به.
11. إستخدام المواد المناسبة لعكس وامتصاص الصوت حسب الحاجة، مثل الخشب المناسب لامتصاص الصوت أو مادة الألومنيوم في حالة الحاجة إلى الأسطح العاكسة ، مع مراعاة الانكسارات أو الانحناءات المناسبة لطبيعة التصميم الداخلي المقترح.

الفصل الرابع
عرض وتحليل حالة الدراسة

1-4 مقدمة :

يتناول هذا الفصل حالة الدراسة المختارة _دار أوبرا سيدني _ ويتم فيه دراستها وتحليلها صوتيا لينتهي بمجموعة من الخلاصات الخاصة بحالة الدراسة .

تم إختيار قاعة أوبرا سيدني لإعتبارها اهم واشهر قاعات الأوبرا في العالم ولما فيها من تنوع صوتي ومعالجات صوتية صممت بواسطة خبراء مختصين . وتم إختيار قاعة الأوركسترا بإعتبارها القاعة الرئيسية في أوبرا سيدني.

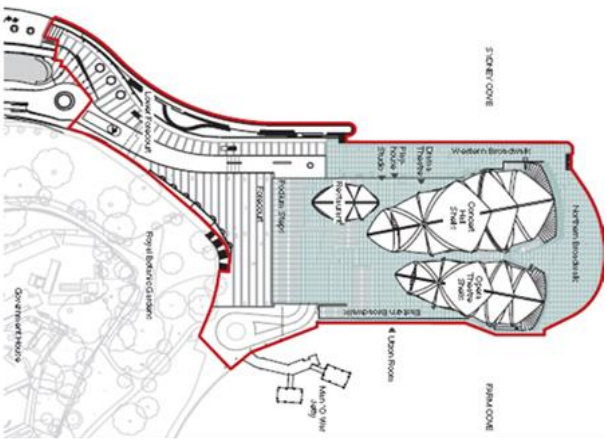
2-4 نبذة عن المشروع :

تعد دار الأوبرا إحدى التحف الفنية المدرجة في قائمة التراث العالمي والإبداعي في العالم ، وهي لا تشبه أي مركز آخر للفنون المسرحية في العالم . تم تصميم المبنى من قبل المهندس المعماري الدنماركي يورن أوتزون (1918-2008) .

دار الأوبرا في سيدني هي مكان رئيسي للفنون المسرحية حيث تقدم أكثر من 2400 حدث سنويًا في سبعة أماكن رئيسية. حيث تستقبل حوالي 8.2 مليون زائر سنويًا.

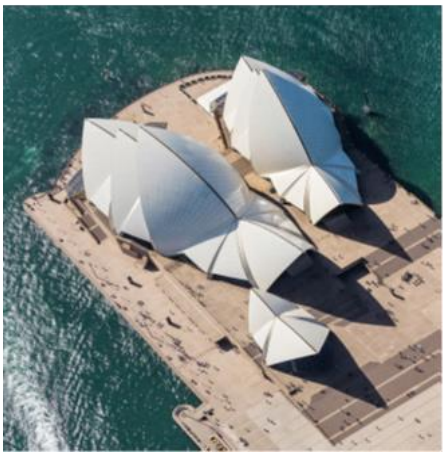
يتم وضع قوانين الولاية والقوانين الفيدرالية لحماية قيمها التراثية ، ومن المعترف به على نطاق واسع باعتبارها واحدة من أعظم المباني في القرن العشرين.

تعد قاعة الأوركسترا ذات الشهرة العالمية التي تتميز بأجواءها التي تشبه الكاتدرائيات وألواحها الخشبية الرائعة أكثر أرقى وأعرق الأماكن في دار الأوبرا ، وهي أيضًا واحد من أكثر التصميمات الداخلية أهمية في عمارة المبنى فهي توفر تجارب الأداء المتميزة المستمدة من السقف المقبب العالي والأخشاب البتولا الاسترالي البيضاء وألواح brush box .



الشكل (4-1) يوضح الموقع لدار أوبرا سيدني

(المصدر : kerr, 2003)



الصورة (4-1) توضح المنظور الخارجي لأوبرا سيدني

(المصدر : kerr, 2003)

3-4 مكونات المشروع :

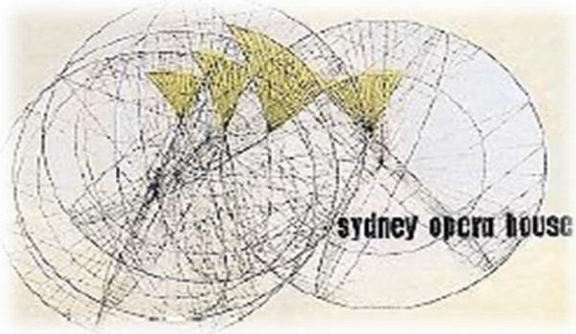
- قاعة للحفلات الموسيقية تتسع 2679 مقعد
- مسرح جون ساذر لاند يتسع 1507 مقعد
- مسرح للدراما يتسع من 500 الى 750 مقعد
- مسرح صغير يتسع 398 مقعد
- استوديو يتسع 400 مقعد
- غرفة تتسع 210 مقعد
- استوديو تسجيلى
- ساحة خارجية للعروض
- مطعم خارجي

الصورة (3-4) توضح فكرة الكتلة

(المصدر:Utzon, 2002)

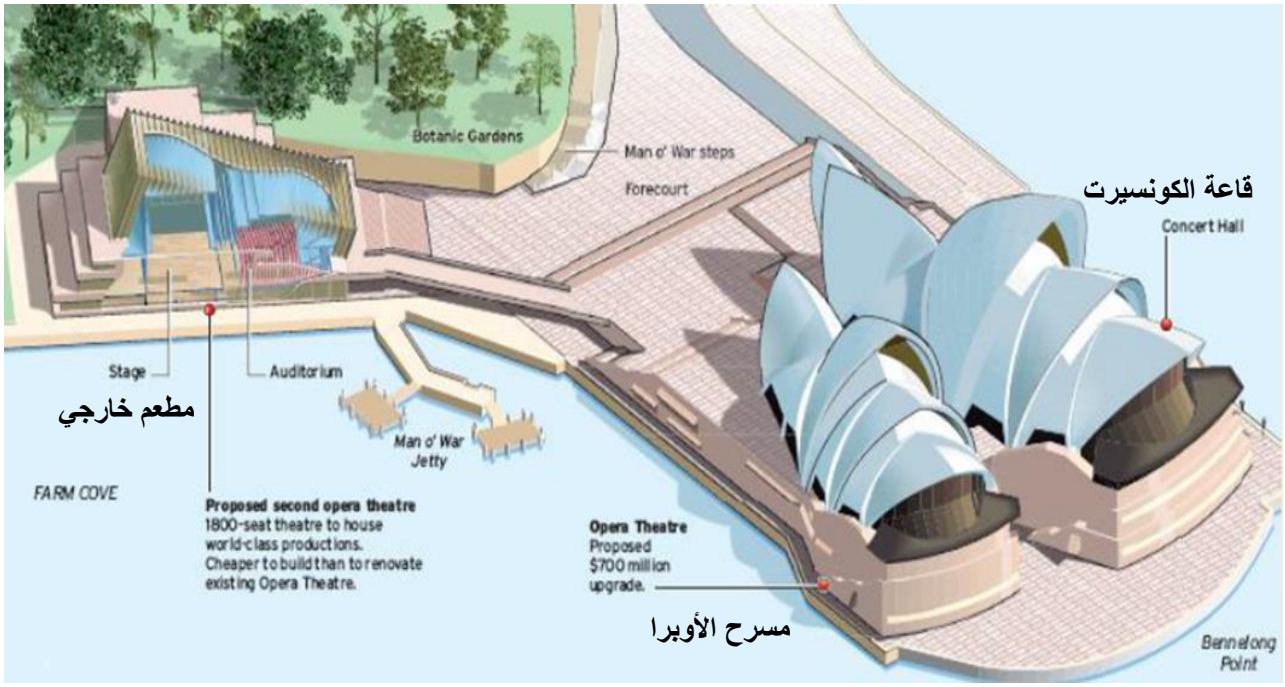
الصورة (2-4) توضح تصميم التغطية

(المصدر:Utzon, 2002)



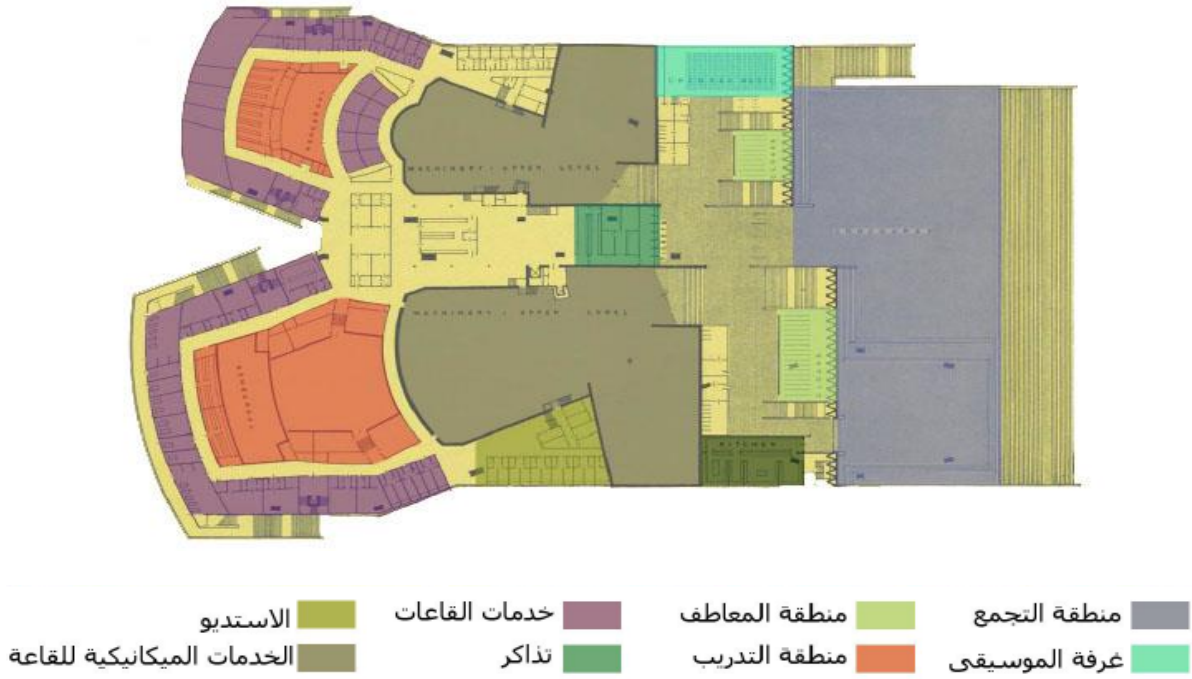
الشكل (2-4) يوضح تصميم التغطية بعلاقات هندسية

(المصدر:Utzon, 2002)



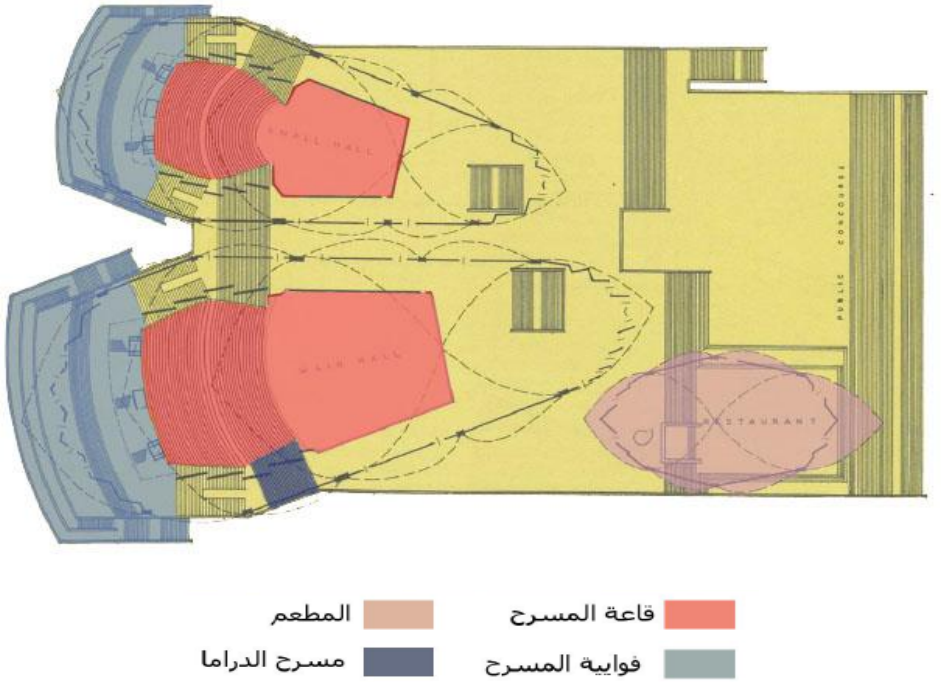
الشكل (3-4) يوضح مكونات دار اوبرا سيدني

(المصدر:Utzon, 2002)



الشكل (4-4) يوضح مكونات المبنى

(المصدر:Utzon, 2002)

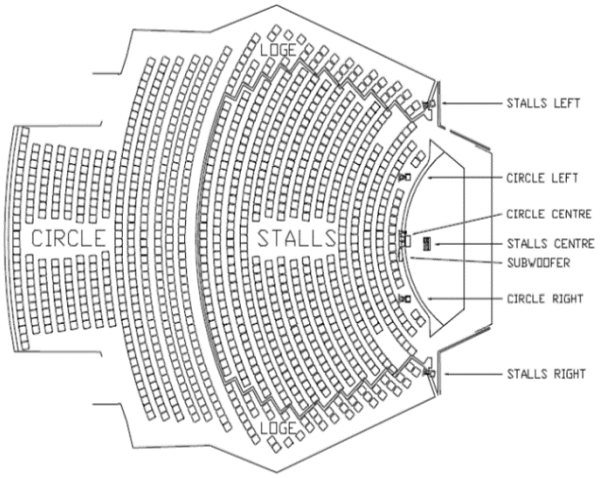


الشكل (4-5) يوضح مكونات القاعات

(المصدر:Utzon, 2002)

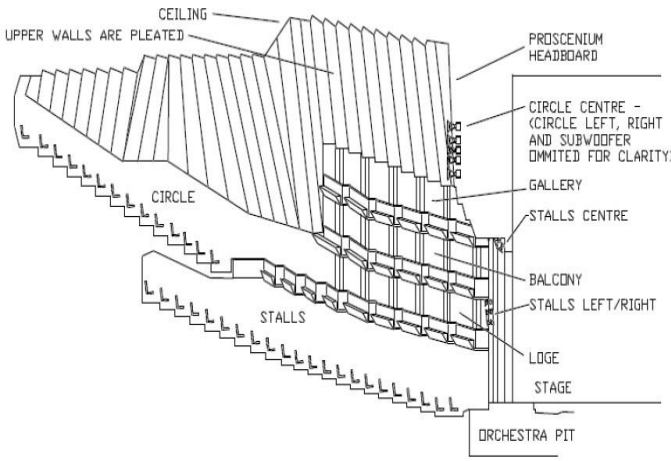
1-3-4 قـاعة الأوبرا :

وهي القاعة الصغيرة ذات خشبة المسرح المدورة بشكل حاد مع القشرة الأسترالية الداكنة والجدران السوداء المطفية التي تخلق بيئة أكثر دفئًا (kerr،1993). تضم القاعة أيضًا ارتفاعًا يصل إلى 12 مترًا فوق المسرح وتحتوي على 1507 مقعدا .



الشكل (4-6) يوضح المسقط الافقي لقاعة الأوبرا

(المصدر:Utzon, 2002)



الشكل (4-7) يوضح مقطع رأسي لقاعة الأوبرا

(المصدر:Utzon, 2002)

الصورة (4-4) توضح مناظير داخلية لقاعة الأوبرا

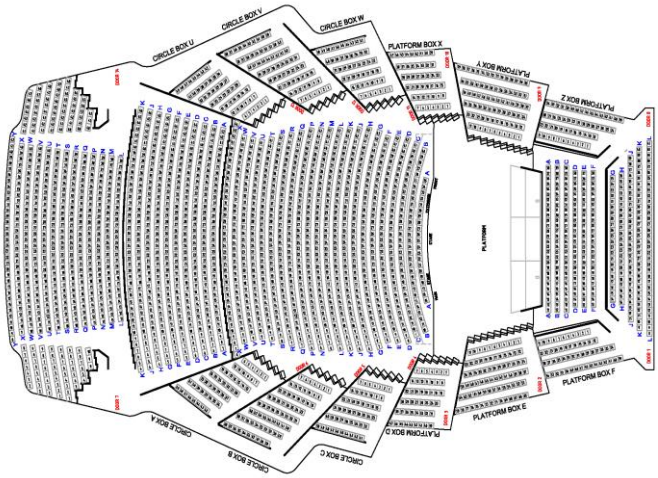
(المصدر: Taylor & David , 2010)

2-3-4 قاعة الأوركسترا :

أكبر مكان أداء في المجمع ، تتسع القاعة لما يصل إلى 2769 شخصًا في المجموع . الجدران والارضيات والاكشاك وخشبة المسرح مصنوعة من الأخشاب brushbox الاسترالية.

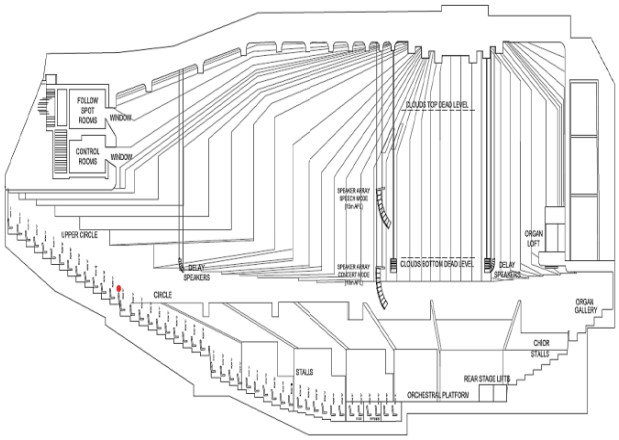
- الموقع : تقع القاعة في الجهه الغربية وتتميز بتصميم داخلي وإطلاله مميزة.
- المساحه : تبلغ 1618.99 مترمربع.
- السعة : تسع لأكثر من 2700 مقعد.
- الملحقات : غرف للترجمة واخرى لضبط الصوت بالقاعة .

- الشكل العام : شكل مروحى مع عمل عدة انحناءات في الحوائط الجانبية ، ووضع المسرح في منتصف القاعة مع استخدام البلكونات العالية .



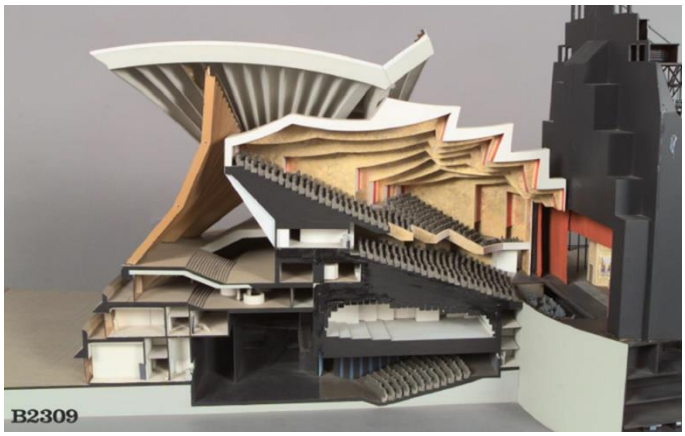
الشكل (4-8) يوضح المسقط الافقي لقاعة الاوركسترا

المصدر:2002, Utzon

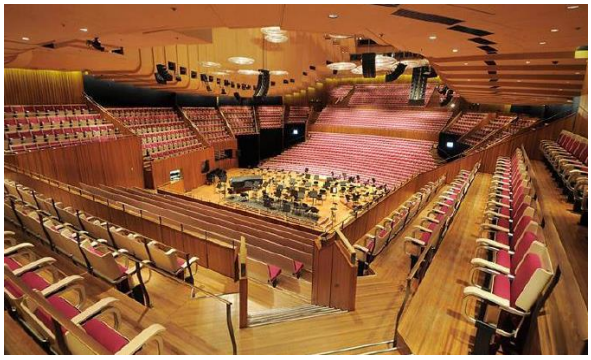


الشكل (4-9) يوضح مقطع رأسي لقاعة الأوركسترا

المصدر:2002, Utzon



الصورة (4-5) توضح قطاع فى القاعة الرئيسية تظهر المعالجات فى التغطية لتقليل صدى الصوت



الصورة (4-6) توضح مناظيرا داخلية لقاعة الأوركسترا

المصدر:2002, Utzon

- وصف تشطيب قاعة الأوركسترا :

أ) الجدران :

الجدران الخلفية والامامية مصنوعة من أخشاب brushbox الاسترالية.

تم استخدام الخشب لعدة أسباب ، فهو مناسب تمامًا حيث انه لايعكس الصوت فحسب ، إنما يتحكم في الصدى الزائد أو ارتداد الأسطح على عكس السطح الصلب مثل الخرسانة فهو يعكس الصوت بقوة وجودة حادة.

ب) السقـف :

- مصنوع من الأخشاب brushbox الاسترالية.
- يتألف السقف من سلسلة من صناديق الخشب الرقائقي التي تشع من المسرح و معلقة عند نقاط من أقواس الاصداف الخرسانية. كل شعاع يتكون من مربعين الخشب الرقائقي انسحبا معا ، مع العزل الصوتي في التجويف داخل كل منهما.
- الامتداد الأفقي بين الحزم الصندوقية عبارة عن ألواح من الخشب الرقائقي المقوى مع الألمونيوم الصلب. تم ربط العناصر الأفقية والجزء السفلي فخلق شكل شعاع صعد إلى السقف، على رأس هذه الألواح تم الربط بالرصاص لعزل الصوت منخفض التردد.
- استخدام بعض المواد المعلقة على سقف القاعة كسحابة تعكس الصوت وتقوم بتشتيته .

ج) الابواب :

هناك 14 بابًا من البهو إلى القاعة، أبواب رئيسية بأبعاد 2.20 *2.20 متر ، وأبواب فرعية بابعاد 1.8 * 1.6 متر .

د) خشبة المسرح :

تم تصميم خشبة المسرح بمساحة 293م2 (17* 11.5) مع موكيت، تم وضع المسرح في المنتصف لاستيعاب اكبر عدد من المتفرجين.

هـ) الأرضية :

تم استخدام الألواح الجاهزة من الخشب الرقائقي للأرضيات.

و) المقاعد :

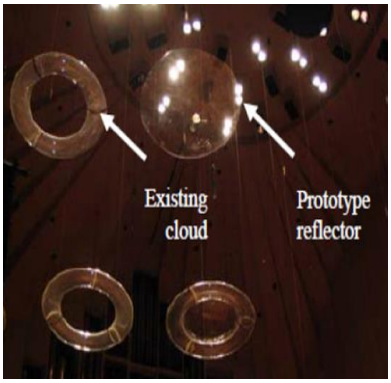
تتكون من 2679 مقعد معدني ، ويمكن زيادتها الى 2700 مقعد.

ز) الصوتيات :

تتوفر مجموعة من 18 حلقة أكريليك أو "سحب" جوفاء "دونات " تهدف إلى عكس الصوت مرة أخرى إلى المسرح ، بالاشارة للصور (4-7 ، 4-8) مع إضافة عاكسات مربعة ، بالاضافة لمكبرات الصوت الموزعة على السقف، بالاشارة للصورة (4-10) .

الصورة (4-7) توضح مكبرات الصوت فى السقف

(Taylor & David , 2010)



الصورة (4-8) توضح مجموعة حلقات الاكريلك

(Taylor & David , 2010)

الصورة (4-8) توضح حلقة الاكريلك

(Taylor & David , 2010)

الصورة (4-9) توضح طريقة تثبيت حلقات الاكريلك

(Taylor & David , 2010)

الصورة (4-10) يوضح تشكيل السحب مع الواح الخشب الرقائقي

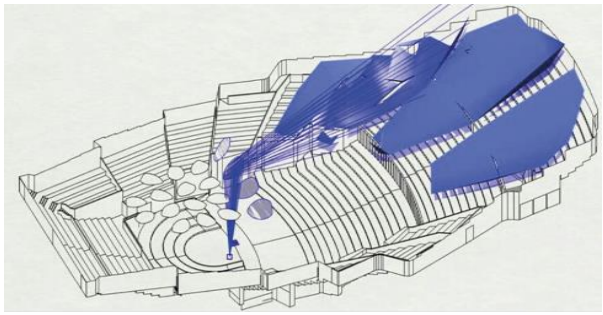
(Taylor & David , 2010)

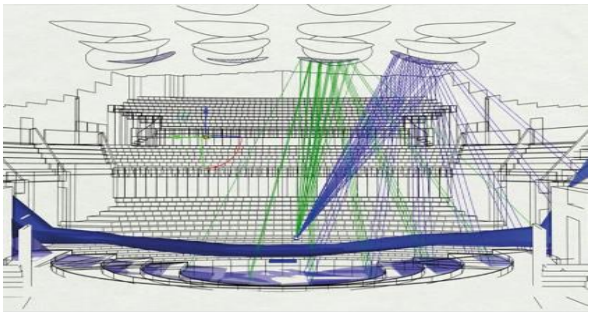
الصورة (4-11) توضح العواكس المربعة في القاعة

(Taylor & David , 2010)

ز-1 دراسة التصميم الداخلي والصوتي في القاعة :

انظر الشكل (4-10) والذي يوضح كيفية الانعكاس للصوت من خلال الصوت المباشر وعواكس الصوت الموزعة على سقف القاعة وتعمل على عكس الصوت للصفوف والبلكونات ، مع مساعدة مكبرات الصوت الموزعه ايضا على سقف القاعة كما وضح في السابق.





الشكل (4-10) يوضح دراسة الانعكاسات الداخليه للصوت لقاعة اوبرا سيدني

(المصدر:Utzon, 2002)

الصورة (4-12) توضح دراسة التشكيل الداخلى لقاعة اوبرا سيدني وعواكس ومكبرات الصوت الموزعه على سقف القاعه

(المصدر:Utzon, 2002)

الصورة (4-13) توضح مسقط أفقي يوضح توزيع حلقات الاكريلك

(المصدر:Utzon, 2002)

الصورة (4-14) توضح تجهيزات السقف من إضاءه مكبرات صوت

(المصدر:Utzon, 2002)

- **التحليل الصوتى لقاعة الاوركسترا :**

في هذا الجزء سيتم دراسة وتحليل القاعة صوتيا وذلك عن طريق حساب زمن الارتداد للأصوات وذلك باستخدام معادلة سابين ، ومقارنتها بزمن الارتداد المطلوب لتجنب ظاهرة حدوث الصدى وعدم وضوح الموسيقى، فاذا كان زمن الارتداد أكبر من زمن الارتداد الأمثل تحدث هذه الظاهرة ، حيث سيتم الحساب على ضوء المواد المستعملة في تشطيب القاعة من ناحية إمتصاصها للصوت (حسب معاملات الامتصاص لكل ماده في الترددات الدنيا والمتوسطة والعليا (125 ، 500 ، 2000) ، وتسع القاعة 2700مستمع ، وذلك حسب خطوات التحليل الصوتي التي ذكرناها سابقا . وذلك رياضيا كالتالى :

- حساب الحجم الأمثل للشخص داخل القاعة :

حسب الجدول (3-3) في الفصل السابق، حجم القاعة فان الحجم الأمثل للشخص في قاعات الاوبرا 5.1 م 3 /فرد

حجم القاعة الاوركسترا = 30474.75 م 3

حجم الفراغ للشخص الواحد في الفراغ : 7.61 m3 = 30474.75.1/4000

الجدول (5-1) يوضح مساحات المواد المستعملة في تشطيب القاعة ومعاملات الإمتصاص

البند	مساحة السطح م2	معاملات الامتصاص			
		تردد ادني	تردد متوسط	تردد اعلي	
		125	500	2000	4000
أرضيه خشبية	1618.99	0.05	0.05	0.10	0.10
مستمعين على مقاعد معدنية (2/3 من سعة القاعة 2700)	1800	0.16	0.40	0.43	00.4
المقاعد المتبقية الخالية من المستمعين (1/3 من سعة القاعة)	900	0.70	0.15	0.18	0.19
الهواء (لكل متر مكعب)	30474.75	-	-	0.007	0.002
مسرح بأرضية خشبية	204.87	0.15	0.10	0.10	0.10
موكيت متوسط على أرضية خشبية مجوفة	204.87	0.20	0.30	0.50	0.60
حوائط من الخشب الرقائقي المضغوط	3000	0.40	0.20	0.10	0.05
14 باب من خشب	67.76	0.28	0.17	0.10	-
اكشاك من الواح خشبية	600	0.30	0.15	0.10	0.05
عوارض خشبية ممتده من السقف الى الحوائط	1700	0.30	0.15	0.10	0.05

المصدر: الباحث (2020)

- **حساب زمن الارتداد الفعلى للقاعة :**

وكما ذكر سابقا (صفحة 10) انه لحساب زمن الارتداد الفعلى وفق معادلة سابين :

$$R.T = (0.16 \times V)/A$$

R.T : زمن الارتداد بالثواني

V : الحجم الداخل للقاعة (م 3) = 30474.75 متر3

A : مساحة الامتصاص بالامتار المربعة

$$T = r(0.012 * (v)1/3 + 0.1070)$$

T: زمن الارتداد الامثل بالثواني

V حجم القاعه بالأمتار المكعبة

R = 5 للقاعات المستعملة للموسيقى الأوكسترالية

- حساب زمن الارتداد الامثل للقاعة :

$$t = 5*\{0.012* (V)1/3+ 0.1070\}$$

$$t = 5*(0.012 * 31.23 + 0.1070) = \underline{2.4 \text{ sec}}$$

- **حساب كمية الامتصاص :**

$$A=0.16V/RT$$

$$A = 0.16 * 30474.75 / 2.4 = \underline{2031.65 \text{ m2}}$$

الجداول التالية (5-2 ، 5-3، 5-4) توضح الإمتصاص الكلي عند الترددات المنخفضة 125 والمتوسطة 500 والعالية 2000. وذلك لحساب كمية الإمتصاص اللازمة للإضافة أو النقصان .

جدول رقم (5-2) يوضح الامتصاص الكلي عند التردد 125هيرتز

البند	مساحة السطح م2	معامل الإمتصاص	مساحة الإمتصاص
أرضيه من ألواح خشبية على عوارض	1618.99	0.05	80.90
مستمعين على مقاعد معدنية (2/3 من سعة القاعة 2700)	1800	0.16	288
المقاعد المتبقية الخالية من المستمعين (1/3 من سعة القاعة)	900	0.07	63
الهواء (لكل متر مكعب)	30474.75	-	-
مسرح بأرضية خشبية	204.87	0.15	30.73
موكيت متوسط على أرضية خشبية مجوفة	204.87	0.20	40.97
حوائط من الخشب الرقائقي المضغوط عاكس للصوت	3000	0.40	1200
14 باب من خشب	67.76	0.28	18.97
اكشاك من الواح خشبية	600	0.30	180
عوارض خشبية ممتده من السقف الى الحوائط	1700	0.30	510
الامتصاص الكلي			2412.57

المصدر: الباحث (2020)

- حساب زمن الارتداد الفعلي وقف معادلة سابين عند 125 هيرتز :

R.T = (0.16*30474.75)/2412.57

R.T = 2.02sec

حساب زمن الأرتداد الامثل عند 125 هيرتز

عمل زيادة 40% عند التردد 125 هيرتز وبهذا يكون زمن الارتداد الامثل عند 125 = 2.4sec

- حساب كمية الامتصاص عند 125 هيرتز :

A=0.16 V

A= (0.16 * 30474.75) /2.4 = 2031.65

وبالتالي تكون كمية الامتصاص اللازم نقصانها عند تردد 125هيرتز =2412.57-2031.65

380.92- متر مربع =

جدول رقم (5-3) يوضح الامتصاص الكلي عند التردد 500هيرتز

البند	مساحة السطح م2	معامل الإمتصاص	مساحة الإمتصاص
أرضيه من ألواح خشبية على عوارض	1618.99	0.05	80.90
مستمعين على مقاعد معدنية (2/3 من سعة القاعة 2700)	1800	0.40	720
المقاعد المتبقية الخالية من المستمعين (1/3 من سعة القاعة)	900	0.15	135
الهواء (لكل متر مكعب)	30474.75	-	-
مسرح بأرضية خشبية	204.87	0.10	20.48
موكيت متوسط على أرضية خشبية مجوفة	204.87	0.30	61.46
حوائط من الخشب الرقائقي المضغوط	3000	0.20	600
14 باب من خشب	67.76	0.17	11.51
اكشاك من الواح خشبية	600	0.15	90
عوارض خشبية ممتده من السقف الى الحوائط	1700	0.15	255
الامتصاص الكلي			1974.35

المصدر : الباحث (2020)

- حساب زمن الارتداد الفعلي وقف معادلة سابين عند 500هيرتز :

R.T = (0.16*30474.75)/1974.35

R.T = 2.46sec

حساب زمن الأرتداد الامثل عند 500هيرتز : 2.4 ثانية

عمل زيادة 40% عند التردد 500هيرتز وبهذا يكون زمن الارتداد الامثل عند 125 = 2.8sec

- حساب كمية الامتصاص عند 500هيرتز :

A=0.16 V

A= (0.16 * 30474.75) /2.4 = 2031.65

وبالتالي تكون كمية الامتصاص اللازم زيادتها عند تردد 500هيرتز = 2031.65-1974.35

57.3متر مربع =

جدول رقم (5-4) يوضح الامتصاص الكلي عند التردد 2000هيرتز

البند	مساحة السطح م2	معامل الإمتصاص	مساحة الإمتصاص
أرضيه من ألواح خشبية على عوارض	1618.99	0.10	161.899
مستمعين على مقاعد معدنية (2/3 من سعة القاعة 2700)	1800	0.43	774
المقاعد المتبقية الخالية من المستمعين (1/3 من سعة القاعة)	900	0.18	162
الهواء (لكل متر مكعب)	30474.75	0.007	213.32
مسرح بأرضية خشبية	204.87	0.10	20.48
موكيت متوسط على أرضية خشبية مجوفة	204.87	0.50	102.4
حوائط من الخشب الرقائقي المضغوط	3000	0.10	300
14 باب من خشب	67.76	0.10	6.776
اكشاك من الواح خشبية	600	0.10	60
عوارض خشبية ممتده من السقف الى الحوائط	1700	0.10	170
الامتصاص الكلي			1970.87

المصدر : الباحث (2020)

- حساب زمن الارتداد الفعلي وقف معادلة سابين عند 2000هيرتز :

R.T = (0.16*30474.75)/1961.75

R.T = 2.47 sec

حساب زمن الأرتداد الامثل عند 2000 هيرتز : 2.4 ثانية

- حساب كمية الامتصاص عند 2000هيرتز :

A=0.16 V

A= (0.16 * 30474.75) /2.4 = 2031.65

وبالتالي تكون كمية الامتصاص اللازم زيادتها عند تردد 2000هيرتز = 1970.87 -2031.65

60.7 متر مربع =

9-3-4 الخلاصة :

- تم استخدام الخشب في مساحات واسعه من القاعه نسبة لانه مناسب تمامًا للتحكم في الصدى الزائد أو ارتداد الأسطح في الأداء والأماكن .
- تتوفر المتطلبات الصوتية لحالة الدراسه من ناحية حجم القاعة (30474.75 م 3) حيث يقع ضمن الحجم الامثل المسموح به لقاعات الموسيقى .
- شكل القاعة المروحى مع عمل انحناءات غير منتظمه بشكل مدروس في الحوائط الجانبية عولجت بخشب البتولا الأبيض الاسترالى المضغوط .
- من خلال الدراسة فان زمن الارتداد الصوتى للقاعة يقع ضمن الترددات الجيدة والمسموح بها لقاعات الموسيقى 2.4 تانية :

أ) في الترددات الدنيا (125 هيرتز) ، فإن زمن الارتداد الصوتي 2.02 ثانية وهذا يعتبر زمن ارتداد جيد لقاعات الموسيقي .

ب) في الترددات المتوسطه (500هيرتز) ، فإن زمن الارتداد الصوتي 2.80ثانية وهذا يعتبر زمن ارتداد جيد لقاعات الموسيقي .

ج) اما الترددات العليا (2000هيرتز) ، فإن زمن الارتداد الصوتي 2.47 ثانية وهذا يعتبر زمن ارتداد جيد لقاعات الموسيقي . (الجدول 3-3).

- التردد :

1- الترددات الدنيا 125 هيرتز ، نجد أن كمية الامتصاص اللازم نقصانها = 380.92- متر مربع .

2- الترددات المتوسطة 500 هيرتز ، نجد أن كمية الامتصاص اللازمة زيادتها عند تردد 500 هيرتز= 57.3 متر مربع .

3- الترددات العليا 2000 نجد أن كمية الامتصاص اللازمة لزيادتها = 60.7 متر مربع .

- من النتيجة التى تم الحصول عليها فان كمية المواد الماصة للصوت تحتاج الى زياده طفيفة في مساحات الامتصاص ، ويرجع السبب في ذلك الى استخدام كميات كبيره جدا من الخشب المضغوط والالواح الخشبية العاكسة للصوت.

الفصل الخامس
الخلاصات والتوصيات

1-5 مقدمة :

ومن خلال دراسة البحث فإن التشكل الداخلي ومكونات القاعة يؤثران على جودة الصوت داخلها ، وانه ليس من الضروي استخدام عواكس اضافية ومواد ماصة حديثة ومعقده للوصول لافضل اداء صوتي ولكن يلعب التصميم المعماري المدروس دورا مهما لتوفير ذلك.

ومن هذا المنطلق نجد أن التصميم الصوتي لقاعات الأوبرا يعتمد في النهاية على مدى وعي وإدراك المصمم بسلوك الصوت ، وطبيعة التفاعل بينه وبين شكل الفراغ وكيفية إيجاد حلول مناسبة لتكوين بيئة صوتية ناجحة داخل القاعة .

2-5 الخلاصات :

1. تنقسم قاعات الاوبرا الى أوبرا تقليدية وأوبرا فاجنر ولكل منها متطلباتها الصوتية التي يجب أن تصمم على أساسها .
2. أن درجة تمييز النغمات والكلام في قاعات الاوبرا تكون أفضل عندما يكون زمن تردد الصوت فيها ملائما مما يترتب عليه ضمان الحجم الملائم للقاعة وتحديد أماكن الانعكاس والامتصاص بالقاعة.
3. يتراوح المجال الترددي لقاعات الاوبرا بين 30 هيرتز الى 12000 هيرتز لغرض تحقيق درجة تمييز جيدة للموسيقى .
4. يعد التصميم الداخلى لقاعات الاوبرا - محور الدراسة – من اهم العوامل التي تؤثر على الوصول الى الاثر الصوتي الامثل والمطلوب داخل القاعة .
5. زمن التردد الأمثل في قاعات الموسيقى يكون اعلى من 2.00 ثانية.
6. شكل القاعة الداخلي ومكوناتها يؤثران تأثيرا كبيرا على جودة الصوت داخلها.
7. لابد من مراعاة المسافة المثلى والمناسبة بين المصدر والمستمع أقصاها 30 متر وأعلاها 15 متر، وإن اللجوء الى المصادر الخاصة لتكبير الصوت يكون بعد دراسة لوضعيتها وكيفية توزيعها على القاعة بمراعاة الانعكاسات المتاخرة والمبكرة للصوت.
8. لا يوجد محدد واضح يؤكد مدى تمييز شكل عن آخر من اشكال القاعات ولكن يفضل الشكل المروحي لميزته الحجمية، ويبقى الخيار يتوقف على حسب الحوجه التصميميه للقاعة .
9. من اهم الاشياء الملاحظة مدى الاهتمام بمجال صوتيات العمارة ووجود أخصائيين في هذا المجال في الخارج على عكس الحال في السودان.
10. تعد المعايير الصوتية المعتمدة على المعادلات الرياضية المتقدمة أسلوبا فعالا لكفاءة الأداء الصوتي والوظيفي وتعتبر وسيلة ناجحة لإخيار وإختبار المواد اللازمة والمناسبة للتشطيب.
11. ليس من الضروري إستخدام عواكس إضافية أو مواد ماصة حديثة أو معقدة للوصول الى أداء صوتي أمثل ، ولكن يلعب التصميم المعمارى المدروس وفقا لإعتبارات الصوتيات دورا كبيرا في ذلك.
12. تم اختيار دار أوبرا سيدني كحالة للدراسة لانها تعد إحدى التحف الفنية المدرجة في قائمة التراث العالمي والإبداعي في العالم ، وهي لا تشبه أي مركز آخر للفنون المسرحية في العالم .

13. المواد المختارة في تشطيب القاعة تم إختبارها حسابيا ، ونتج عن التحليل الصوتي لها حوجة لزيادة طفيفة من المواد الماصة بالقاعة وذلك نسبة لاستخدام مساحات واسعة من الخشب المضغوط العاكس للصوت .
14. زمن الارتداد الصوتي الأمثل للقاعه سيدني يقع ضمن الترددات الجيدة والمسموح بها لقاعات الاوبرا 2.4 ثانية.
15. زمن الارتداد الصوتي في كل الترددات (125، 500 و2000) يقع ضمن الترددات المسموح بها (2.02 ، 2.80 و 2.47) على التوالي .
16. تم مراعاة المظهر المعماري للمواد المختارة لتشطيب القاعة إنسجامها مع بعضها البعض.

3-5 التوصيات :

إن تحقيق عملية الترابط بين التصميم الهندسي المعماري والتصميم الصوتي لعناصر القاعة هو الاساس لغرض الوصول إلي الأداء الصوتي الأمثل ، ومن هنا تظهر أهمية التصميمات الصوتية بداية من إختيار أبعاد الفراغات المعمارية ، وصولا لإختيار مواد التشطيب الداخلي للوصول الى أفضل أداء صوتي .

1. التوجه الى تصميم قاعات أوبرا في السودان نسبة لإفتقاره لهذا النوع من الفنون الراقية من اجل مواكبة العالم الخارجي وتطوير مستوى الفنون في السودان .
2. ضرورة دراسة ووضع محددات تصميمية لتحقيق منسوب صوت مناسب وخالى من العيوب مثل (الصدى ، الرنين ...) داخل القاعات .
3. ضرورة اهتمام المصممين المعماريين بمجال صوتيات العمارة من أجل تحقيق المتطلبات الصوتية اللازمة مع الوظيفة وأيضا التشكيل الداخلي للفراغ .
4. عند تصميم قاعات الاوبرا يجب مراعاة إختيار الاشكال ذات الأثر الفعال في انتشار الصوت بصورة منتظمة .
5. يجب أن تكون هنالك مرونة في التصميم لاي إحتمالات مطلوبة خلال فترة التشغيل ، وهذا هو الأساس في السيطرة على تصميم قاعات الاوبرا .
6. تقليل مساحات قليلة من الخشب المضغوط العاكس للصوت المستخدمة في القاعة لزيادة مساحات المواد الماصه للصوت .
7. يمكن استبدال المقاعد المعدنية بمقاعد منجدة تنجيد كامل للزيادة من أمتصاص الصوت.

4-5 قائمة المراجع :

أ) المراجع العربية :

1. مجلة الأنبار للعلوم الهندسية ، 2008، دراسة بعض المتغيرات الأساسية للقاعات لتحديد كفاءة الأداء الصوتي ، المجلد (1) ، العدد (2) .
2. الخطيب ، احمد ،2002 ، الصوتيات المعمارية – النظرية والتطبيق ، مكتبة انجلو المصرية.
3. حسن، سعود، صادق ،2007، الإضاءة والصوتيات في العمارة ، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية .
4. عثمان، أسامة، عثمان عبدالرحيم ،2015، تقويم البيئة السمعية في قاة المحاضرات بالخرطوم ، بحث غير منشور ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا .
5. صفاء الدين حسين، رضاب أحمد محمود، 2013، أثر التقانه المعلوماتية في توفير الراحة الصوتية في قاعات المعارض باستخدام برنامج Ecotect
6. مجلة العلوم الإنسانية ، 2016، جغرافية وأنواع المسارح ، المجلد (1) .
7. مجلة العلوم الإنسانية ، 2018 ، أشكال مسرحة المكان (مقارنة بين مسرح الموقع ومسرح الموقع المحدد) ، المجلد (18) .
8. كمال الدين ، عيد 2006 م – أعلام ومصطلحات المسرح الأوربي – دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر - الطبعة (1) .
9. عبدالله ، كمال ، محمد ،2006 ، مادة فنيات المسرح ، محاضرة مدونه .
10. لوير مليكه ،1981 م – الديكور المسرحي – الهئية المصرية العامة للكتاب – الطبعة الثانية.
11. سيف الدين، ميادة ، محمد، المشاكل التصميمية لمكونات الفراغ الداخلي للمسارح في السودان ، بحث ماجستير غير منشور ، 2016 ، باحالته السودان .
12. مجلة العمارة والفنون، المعالجات المعمارية في قاعات المسارح المحققة لجودة النظم الصوتية والضوئية ، العدد العاشر .

ب) المراجع الانجليزية :

1- F. Alton Everest, 2001, **The Master Handbookof Acoustics,** Fourth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.

2- Joseph De Chiara & Michael J. Crosbie , 2001, **Time Saver Standards For Building Types**, Fourth Edition - International Edition, Mc Graw Hill Book.

3- Judith Strong, 2010, **Theatre Buildings A Design Guide,** Association Of British Theatre Technicians

4- K.B.Ginn.M.Sc, 1978, **Architectural Acoustics ,** 2nd Edition 1st Print.

5- Utzon, Sydney Opera House Utzon Design Principles,2002 .

6- Leslie L. Doelle B**,** 1964, **Acoustics In Architectural Design** (An Annotated Bibliography On Architectural Acoustics).

7- Peter Exton, 2011 , **the Room Acoustic Design Of The Guangzhou Opera House,** Proceedings Of The Institute Of Acoustics, Vol. 33. Pt.2

8- Steven Szokolay , 2004, **Introduction To Architectural Science,** The Basis Of Sustainable Design, Library Of Congress, First Published.
9- Alban Bassuet, 2010, Proceedings Of 20th International Congress On Acoustics, The Acoustical Design Of The New National Opera House Of Greece, ICA.
10- Barron, Michael, 2010, Auditorium Acousticsand Architectural Design. 2nd Edition.
11- David Egan ,1988, Preferred Ranges Of Reverberation Time At Mid-Frequency.Source:, Architectural Acoustics ,Newyork: Mcgraw-Hill, Inc.
12- Peter Exton, 2011, Proceedings of the Institute Of Acoustics, the Room Acoustic Design of the Guangzhou Opera House, Vol. 33. Pt.2.
13- Statsbygg (T Halmrast) (Norwegian State, Directorate of Public Construction and Property) "Architectural Competition for a new Opera".
14- Architectural Review, 1951. Special Number on the Royal Festival Hall, 109, No. 654, June.
16- DOELLE, L., 1965. Acoustics in Architectural Design. National Research Council, Canada.
17- Kerr, Sydney Opera House: A Plan for the Conservation of the Sydney Opera House and its Site (3rd Edition), 2003.

ج) المواقع الإلكترونية :

1. https:// ar.wikipedia.org , 6/ 8/2019, 12:15am .
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Theatre_of_ancient_Rome, 30/9/2019 , 21:07 pm
3. https://www.google.com/imgres, 30/9/2019, 21:15pm.
4. httpwww.slideshare.netmominzakiauditorium-acoustics, 7/10/2019, 20:10pm .
5. http://www.statsbygg.no/prosjekter/opera/ , 13/5/2019, 21:54 pm .
6. For additional info: tor.halmrast@statsbygg.no , 4/6/2019 , 11:00 am .
7. https://www.sydneyoperahouse.com , 24/7/2019 , 16:45 pm .