
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

SAHNE AKUSTİĞİ VE BÜTÜNLEŞİK TASARIM; PARAMETRİK YAKLAŞIMLARLA SES SAÇICI-DAĞITICI TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ VE PROTOTİP ÜRETİMİ

Merve GÖRKEM

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Merve GÖRKEM

12/01/2024

SAHNE AKUSTİĞİ VE BÜTÜNLEŞİK TASARIM; PARAMETRİK YAKLAŞIMLARLA SES SAÇICI-DAĞITICI TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ VE PROTOTİP ÜRETİMİ

(Doktora Tezi)

Merve GÖRKEM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Sesin dağılma ve saçılma özelliğinin bir hacim içerisindeki akustik konfor koşullarına etkisi antik çağlardan beri bilinmektedir. Günümüzde ise son zamanlarda ses saçıcı ve dağıtıcılar daha bilimsel olarak araştırılıp geliştirilmeye böylece akustik konfor gerektiren hacimlerde sesin homojen dağılması arttırılmaya çalışılmış ve keskin yansımaların yarattığı akustik kusurların giderilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez kapsamında; hacim akustiği için önemi bilinen ses saçıcı ve dağıtıcılar doğrultusunda frekansa bağlı tasarımın algoritma şemasının oluşturularak, üretime yönelik proje oluşturulması hedeflenmiştir. Konser salonlarında, konser sırasında sahnede kullanılacak orkestra kabuğu ve kanopi tasarımına yönelik ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı önerileri ile akustik performansın arttırılması hedeflenmiştir. Bu görüş doğrultusunda, sahne parametreleri farklı sahne boyut ve özellikleri çerçevesinde 3D model ve Odeon simülasyon programı ile değerlendirilmiştir. İzleyici alanı sabit tutularak, sahne özellikleri üzerinde yapılan değişikliklerin ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne parametreleri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. Schroeder saçıcıların matematik serisi çözümlenerek, oluşturulan algoritma ve model üzerinden 3 boyutlu yazıcı ile baskısı alınmıştır. Bu bilgiler ışığında görsel algoritma düzenleyici programları ve farklı tasarım girdileri ile bütünleşik tasarım gerçekleştirilmiş, parametrik yaklaşımlarla geliştirilen tasarımlar doğrultusunda seçilen tasarımın alçak, orta ve yüksek frekanslar için 3 boyutlu yazıcı ile 1:20 ölçekte baskısı alınmıştır. Çalışmanın sonunda ise elyaf takviyeli alçı malzeme (GFRC- glass fiber reinforced concrete) ile seçilen tasarım için orta frekanslarda etkin olan ses saçıcı-dağıtıcı prototipi; 1:1 ölçekte üretilerek nihai ürün ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 80101
Anahtar Kelimeler : Hacim akustiği, sahne akustiği, ses saçıcı-dağıtıcı, parametrik tasarım, Schroeder difüzör
Sayfa Adedi : 120
Danışman : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

STAGE ACOUSTICS AND INTEGRATED DESIGN; DEVELOPMENT AND PROTOTYPE PRODUCTION OF SOUND SCATTER-DIFFUSOR DESIGN WITH PARAMETRIC APPROACH

(Ph. D. Thesis)

Merve GÖRKEM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

The effect of sound diffusing and scattering on acoustic comfort conditions in a room has been known since ancient times. Nowadays, sound scatters and diffusers have recently been researched and developed more scientifically, thus increasing the homogeneous dispersion of sound in volumes requiring acoustic comfort and eliminating acoustic defects caused by sharp reflections. Within the scope of this thesis, it is aimed to create a project for production by creating an algorithm scheme of frequency-dependent design in line with sound diffusers and scatters, which are known to be important for room acoustics. In concert halls, it is aimed to increase the acoustic performance with sound scatter-diffuser design proposals for the orchestra shell and canopy design to be used on stage during the concert. In line with this view, stage parameters were evaluated with 3D model and Odeon simulation program within the framework of different stage sizes and features. Keeping the audience area constant, the effects of the changes made on the stage characteristics on the STearly, STlate and STtotal stage parameters were revealed. The mathematical series of Schroeder scatters were analyzed and printed with a 3D printer based on the created algorithm and model. In the light of this information, integrated design was realized with visual algorithm editor programs and different design inputs, and the selected design was printed in 1:20 scale with a 3D printer for low, medium and high frequencies in line with the designs developed with parametric approaches. At the end of the study, the prototype of the sound scatter-diffuser, which is effective at medium frequencies for the selected design with glass fiber reinforced concrete material (GFRC), was produced at 1:1 scale and the final product was presented.

Science Code : 80101
Key Words : Room acoustic, stage acoustic, sound scatters and diffusers, parametric design, Schroeder diffuser
Page Number : 120
Supervisor : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam sürecinde, çok değerli bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, her vazgeçişte tekrar cesaretlendiren, enerjisini her zaman yanımda hissettiğim, akustik alanını mesleğe dönüştürmemde desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsun DEMİREL'e; değerli katkıları ile çalışmamı zenginleştiren tez izleme komitesi üyelerim Sayın Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY ve Sayın Doç. Dr. Nuri İLGÜREL'e; değerli jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. İdil AYÇAM ve Sayın Doç. Dr. Sedat ALTINDAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Prototip üretimi için fabrika kapılarını sonuna kadar açıp her türlü desteği sağlayan Sayın Ayhan ÖZMEN, Sayın Arif ÇIRACIOĞLU ve ART Prekast çalışanlarına; üretim için doğru kişilere ulaşmamızı sağlayan Sayın Önder PERVANE ve Sayın Sibel ÖZMEN'e teşekkürlerimi sunarım. Parametrik tasarım sürecinde programlama desteğini esirgemeyen arkadaşım Kubilay ŞAHİNLER'e; beraber çalışmaktan onur duyduğum, her soru ve sorunumda yardımıma koşan akustik ekip arkadaşlarım Doç. Dr. Zuhal ÖZÇETİN ve S.Gül İLİSULU'ya, aramızdan çok erken ayrılan, titizliği ve çalışkanlığıyla bizlere örnek olan ve olmaya devam eden Sayın Koordinatörüm Rıza TÜRKMEN'e özlem dolu teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte anlayışı ve desteklerinden dolayı sevgili eşim Ekrem GÖRKEM'e ve 'tez yazıyorsan yardım edeyim anne' sesiyle motive kaynağım can kızım Elif GÖRKEM'e; maddi ve manevi desteklerini bana her zaman hissettiren AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

2.1. Ses Saçıcı-Dağıtıcılar ile İlgili Çalışmalar 5

2.2. Parametrik Tasarım ve Ses Saçıcı-Dağıtıcı ile İlgili Çalışmalar 13

3. SES SAÇICI-DAĞITICI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR 17

3.1. Sesin Fiziksel Özellikleri 17

3.2. Dağılma ve Saçılma Katsayısı 19

3.3. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Türleri 21

3.4. Saçılma Katsayısı Ölçüm Yöntemleri 22

3.5. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Kullanım ve Uygulama Alanları 28

3.6. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Kullanılan Salon Örnekleri 37

3.6.1. Sakıp Sabancı Müzesi Çok Amaçlı Salonu 37

3.6.2. CSO Konser Salonu 38

3.6.3. Miral Konser Salonu 39

3.6.4. Elisabeth Murdoch Konser Salonu 40

4. PARAMETRİK TASARIM VE ALGORİTMA ÇALIŞMALARI 41

Sayfa

4.1. Parametrik Tasarım 41

4.2. Parametrik Modelleme 42

4.3. Algoritma Çalışmaları 43

5. SAHNE TASARIMINA İLİŞKİN MİMARİ VE AKUSTİK PARAMETRELERİN ORTAYA KONMASI 51

5.1. Sahne Boyutları 51

5.2. Orkestra Yerleşimi 54

5.3. Enstrüman Ses Seviyeleri, Yönlülük ve Frekans Aralıkları 57

5.4. Orkestra Kabuğu 62

5.5. Akustik Parametreler 64

5.6. Sahne için Mimari ve Akustik Performans Parametrelerinin Oluşturulması 67

6. BÜTÜNLEŞİK TASARIM BAĞLAMINDA SAHNE PARAMETRELERİNİN SINANMASI, SES SAÇICI-DAĞITICI TASARIMI VE ÜRETİMİ 71

6.1. Performans Parametreleri Kapsamında Geliştirilen Sahne Tasarımlarının Model Üzerinden Sınanması 71

6.1.1. 1A- geniş-uzun-yüksek-düz sahne 72

6.1.2. 2A-geniş-uzun-alçak-düz sahne 73

6.1.3. 3A-dar-kısa-alçak-düz sahne 75

6.1.4. 3B-dar-kısa-alçak-düz sahne 77

6.1.5. 3C-dar-kısa-alçak-kademeli sahne 79

6.1.6. 4A-dar-kısa-alçak-açılı yan duvar ve tavan-kademeli sahne 80

6.1.7. 5A-dar-kısa-alçak-açılı alçak yan duvar ve tavan-kademeli sahne 82

6.1.8. 5B-dar-kısa-alçak-açılı alçak yan duvar ve modüler tavan-kademeli sahne 84

6.1.9. Geliştirilen tasarımların karşılaştırılması 86

6.2. Sahne ve Sahne Parametreleri için Algoritma Geliştirilmesi 89

6.2.1. Geliştirme basamakları 91

Sayfa

6.2.2. Sahne basamakları 91
6.2.3. Sahne çevresi grid oluşumu 92
6.3. Parametrik Yaklaşımlarla Ses Saçıcı-Dağıtıcı Tasarımı 92
6.3.1. Tasarım 1 92
6.3.2. Tasarım 2 93
6.3.3. Tasarım 3 94
6.4. Geliştirilen Tasarımın Prorotipe Dönüştürülmesi 95
6.5. Prototip Üretimi 97
6.5.1. Model aşaması 97
6.5.2. Kalıp aşaması 97
6.5.3. Döküm aşaması 98
6.5.4. Söküm aşaması 99
6.6. Simülasyon ve Tasarımın Değerlendirilmesi 100
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 101
KAYNAKLAR 103
EKLER 109
EK-1. Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları 110
ÖZGEÇMİŞ 118

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.1. STearly ve STlate parametreleri sınır değer aralığı..... 67

Çizelge 5.2. Erken destek ve akustik destek parametreleri sınır değer 67

Çizelge 5.3. STearly ve STlate parametreleri sınır değer aralığı..... 67

Çizelge 5.4. Sahne tasarımı için mimari ve akustik parametreler 68

Çizelge 6.1. 1A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 73

Çizelge 6.2. 2A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 75

Çizelge 6.3. 3A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 77

Çizelge 6.4. 3B için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 79

Çizelge 6.5. 3C için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 80

Çizelge 6.6. 4A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 82

Çizelge 6.7. 5A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 84

Çizelge 6.8. 5B için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları 86

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Akustik yansıma olayları: düzgün yansıma, dağınık yansıma, kırılma ve kırınım 17

Şekil 3.2. Ses dalgalarının yayılması, hacim içerisindeki davranışı 18

Şekil 3.3. Frekansı 100 Hz olan sesin düzgün yansıması 18

Şekil 3.4. Frekansı 1000 Hz olan sesin dağınık yansıması 19

Şekil 3.5. Frekansı 100 kHz olan sesin düzgün yansıması 19

Şekil 3.6. Dağınık yansıma 20

Şekil 3.7. Farklı akustik nitelikleri olan yüzeylerin zamansal ve grafiksel dağılım yanıtları 21

Şekil 3.8. Ses saçıcı-dağıtıcı türleri 22

Şekil 3.9. Ses saçıcılık katsayısı ölçüm yöntem diyagramı 23

Şekil 3.10. Yapısal derinlik sınırı 24

Şekil 3.11. Numune ve kaynak konumu şematik ifadesi 25

Şekil 3.12. Deney düzeneği ve numunenin döner tabla üzerinde alternatif yerleşimi .. 25

Şekil 3.13. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- flutter saçıcı yüzey 26

Şekil 3.14. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- düz saçıcı yüzey 26

Şekil 3.15. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- üçgensel saçıcı yüzey 27

Şekil 3.16. Konser salonları, oditoryum, tiyatrolar, konferans salonları, mahkeme salonları ve ibadet alanları gibi sesin üretildiği hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi 28

Şekil 3.17. Kayıt ve yayın stüdyoları, video konferans odaları ve ev sinemaları gibi sesin reprodüksiyonun yapıldığı hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi 28

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.18. Fabrikalar, spor salonları, yüzme havuzları, kütüphaneler, gürültü bariyerleri gibi gürültü kontrolü gereken hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi 29

Şekil 3.19. Bir sahne kabuğundan gelen düz ve dağınık yansımalar 33

Şekil 3.20. Seramik kutu ses saçıcı modeli ve saçıcılık katsayıları 39

Şekil 4.1. Strüktürel bir sistemin parametrik modellenmesi 42

Şekil 4.2. Yazılı algoritma düzenleyici (sol) – Görsel algoritma düzenleyici (sağ) 42

Şekil 4.3. Rhino ve entegre çalışan Grasshopper modelleme aracı, model üzerindeki değişikliklerin gözlemlenmesi..... 43

Şekil 4.4. Schroeder difüzorlerin algoritma şeması..... 45

Şekil 4.5. Modelleme stratejisinin görsel ifadesi..... 46

Şekil 4.6. 1D Schroeder difüzörün farklı frekans aralıklarındaki kuyu derinlik ve genişliklerinin gösterimi..... 47

Şekil 4.7. 2D Schroeder difüzörün 500-2000 Hz frekans aralığı için üçgen, altıgen ve kare geometrik biçimin modellenmesi 47

Şekil 4.8. 2D Schroeder difüzörün Rhino ve Grasshper modelleme aracı arayüzünde gösterimi..... 47

Şekil 4.9. 3D Schroeder difüzörün 500-2000 Hz frekans aralığı için model üzerinden kesit gösterimi 48

Şekil 4.10. 3D Schroeder difüzörün farklı frekans aralığına göre diğer parametrelerin hesaplanması 48

Şekil 5.1. Konser salonu sahne elemanları 51

Şekil 5.2. Orkestra oturum alanı, plan 53

Şekil 5.3. Orkestra oturum alanı, kesit 54

Şekil 5.4. Orkestra yerleşim planı, Amerikan düzeni 55

Şekil 5.5. Yaygın kullanılan üç farklı orkestra yerleşim planı..... 56

Şekil 5.6. Çeşitli çalgı aletleri için önerilen yerleşim şeması 57

Şekil 5.7. Fortissimo orkestranın ses gücü seviyesi 58

Şekil 5.8. Farklı enstrüman gruplarının orkestra içindeki ses seviyeleri 59

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.9. Violin için yatay düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü 60

Şekil 5.10. Violin için düşey düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü 60

Şekil 5.11. Violin ve trompet için yatay düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü..... 61

Şekil 5.12. Violin ve trompet için ses yayılma yönlülüğü dağılımı 62

Şekil 5.13. Sahne tasarımında kullanılan mimari düzenlemeler 63

Şekil 5.14. Orkestra platformu kaynak ve alıcı ölçüm noktaları yerleşimi 66

Şekil 6.1. 1A için Odeon simülasyon programı modeli 72

Şekil 6.2. 1A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 72

Şekil 6.3. 2A için Odeon simülasyon programı modeli 74

Şekil 6.4. 2A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 74

Şekil 6.5. 3A için Odeon simülasyon programı modeli 76

Şekil 6.6. 3A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 76

Şekil 6.7. 3B için Odeon simülasyon programı modeli 78

Şekil 6.8. 3B için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 78

Şekil 6.9. 3C için Odeon simülasyon programı modeli 79

Şekil 6.10. 3C için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 80

Şekil 6.11. 4A için Odeon simülasyon programı modeli 81

Şekil 6.12. 4A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 81

Şekil 6.13. 5A için Odeon simülasyon programı modeli 83

Şekil 6.14. 5A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 83

Şekil 6.15. 5B için Odeon simülasyon programı modeli 85

Şekil 6.16. 5B için 3 farklı kaynak-alıcı konumları 85

Şekil 6.17. STearly parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi 87

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.18. STlate parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi 88

Şekil 6.19. STtotal parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi 89

Şekil 6.20. STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametreleri ortalama değerlerinin 8 farklı model için karşılaştırmalı değerlendirmesi 89

Şekil 6.21. Sahne parametreleri için algoritma geliştirilmesi 90

Şekil 6.22. Sahne parametreleri için algoritma geliştirilmesi 90

Şekil 6.23. Tasarım 1 için grid çalışması 92

Şekil 6.24. Tasarım 1 görseli..... 93

Şekil 6.25. Tasarım 2 için grid çalışması 93

Şekil 6.26. Tasarım 2 görseli..... 94

Şekil 6.27. Tasarım 3 için grid çalışması 94

Şekil 6.28. Tasarım 3 görseli..... 95

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Örnek numune için saçılma katsayısı ölçüm düzeneği 24

Resim 3.2. Sahne etrafında ses saçıcı yüzey kullanımı, Corning Glass Centre, NY 35

Resim 3.3. Duvarlardaki saçıcılar ve yerleşimlerine ilişkin görünüş 38

Resim 3.4. Salon yan duvarların görünüşü 38

Resim 3.5. Miral Konser Salonu salon ve yan duvarların görünüşü 39

Resim 3.6. Salon ve yan duvarların görünüşü..... 40

Resim 4.1. Modellemesi gerçekleştirilen Schroeder difüzörlerin 1/20 ölçekte 3D yazıcı ile numune oluşturulması 49

Resim 5.1. Orkestra düzenlemesi..... 57

Resim 6.1. 500-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı..... 95

Resim 6.2. 500-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı..... 96

Resim 6.3. 1000-4000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı..... 96

Resim 6.4. 250-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı..... 96

Resim 6.5. Kalıp için ahşap modelin oluşturulması..... 97

Resim 6.6. Polyester kalıp oluşturulması 98

Resim 6.7. Malzeme dökümü..... 98

Resim 6.8. Malzeme dökümü..... 99

Resim 6.9. Söküm aşaması..... 99

Resim 6.10. Son ürün 100

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan
cm	Santimetre
d	Dağılma katsayısı
d	Dönertabla çapı
d	Kuyu derinliği
dB	Desibel
E	Enerji
ED100	Erken doğrudan yansıyan enerji oranı
EEL	Erken topluluk seviyesi
$\mathbf{E_{spec}}$	Düzgün yansıyan enerji
$\mathbf{E_{total}}$	Toplam yansıyan enerji
f0	İlk frekans
fmax	Son frekans
h	Numune derinliği
Hz	Hertz
kHz	Kilo Hertz
LF	Yanal enerji oranı
$\mathbf{L_i}$	Ses basınç seviyesi
m	Metre
$\mathbf{m^2}$	Metrekare
$\mathbf{m^3}$	Metreküp
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
n	Alıcı sayısı
N	Kuyu sayısı
s	Saçılma katsayısı
STearly	Erken destek

Simgeler	Açıklamalar
STlate	Geç destek
STtotal	Akustik destek
T_{30}	Reverberasyon süresi
V	Hacim
W	Kuyu genişliği
α_s	Ses yutma katsayısı
α_{spec}	Görünür düzgün yansıyan ses yutma katsayısı
λ	Sesin dalga boyu
φ	Geliş açısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
3D	Üç boyutlu
BEM	Sınırlı Eleman Yöntemi
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
GFRC	Elyaf takviyeli alçı
ISO	International Organization for Standardization
JND	Algılanabilir fark
MLS	Maximum Length Sequence
PRD	Primitive Root Diffuser
QRD	Quadratic Residue Diffusers

1. GİRİŞ

Sesin dağılma ve saçılma özelliğinin bir hacim içerisindeki akustik konfor koşullarına etkisi antik çağlardan beri bilinmektedir. Performans mekânlarında kullanılan sütun kabartmaları, heykeller, rölyefler, bibloların sesin dağıtıcılığı ve saçıcılığı üzerindeki olumlu etkilerinin deneyimlenmesinden sonra, matematiksel ve ölçüm yöntemiyle olmasa da değerlendirme ve tecrübe yoluyla konser salonları, operalar ve tiyatro salonlarında bu tür ses saçıcı ve dağıtıcılar kullanılmıştır. Matematiksel ve ölçüm yöntemine dayanmadığı için zaman içerisinde kullanılan bu ses saçıcı ve dağıtıcılarının sınırlı saçılma niteliklerinin olduğu ve etkinliklerinin her frekans bandında geçerli olmadığı tespit edilmiştir. Günümüzde ise son zamanlarda ses saçıcı ve dağıtıcılar daha bilimsel olarak araştırılıp geliştirilmeye böylece akustik konfor gerektiren hacimlerde sesin homojen dağılması arttırılmaya çalışılmış ve keskin yansımaların yarattığı akustik kusurların giderilmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Yavuz, 2007).

Ses saçıcı ve dağıtıcılar için önemli olan diğer bir nokta etkinliklerini sürdürdükleri frekans bandı genişlikleridir, çünkü aynı sesin yutulmasında olduğu gibi sesin saçılmasında da alçak frekanslar daha büyük sorun olmaktadır. Bu sebeple özellikle küçük hacimlerde ya tüm frekans bantlarını kapsayan tek bir saçıcı ya da etkinlikleri frekanslara göre değişiklik gösteren farklı saçıcıların birbirleriyle orantılı olarak kullanılması gerekmektedir (Yavuz, 2007).

Son zamanlarda, ses saçıcı ve dağıtıcıların yeni geometrileri üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Ancak, 1970'lerde keşfedilen Manfred Schroeder geometrisi, çoğunun temelini oluşturmaktadır. Schroeder difüzörü, bir veya iki boyutlu dikdörtgen form dizisidir. Difüzör elemanının kuyu içindeki derinliği rastgele gibi gözükse de incelendiğinde aslında belirli bir matematiksel diziyi izler. Saçıcı yüzeyler genellikle dikdörtgen bir biçimde tasarlanırken, altıgen formların olabileceği öne sürülmüştür. Kaba doğal taşların daha rastgele yapılandırılması gibi çok karmaşık formlar da başarıyla kullanılmıştır (Peters, 2009).

Parametrik tasarım ve modelleme programları mühendislik, endüstriyel tasarım ve ulaşım endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu disiplinlerde sonuç ürünün birbiriyle ilişkili alt parçalara ayrılması ve bir sistemin kurulması mimarlık alanına göre daha

kolaydır. Mimarlık alanında bu anlamda ilişkisel bir sistemin kurulabilmesi için sistematik yaklaşım önem kazanmaktadır. Tekrar eden ancak birbirinden farklılaşabilen sistemler fikri günümüzde mimari cephelerin, strüktürel elemanların ve dekoratif amaçlı doku yüzeylerinin tasarımı ve üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Bu görüşler ışığında aşağıda verilen hipotezler geliştirilmiştir.

Hipotez-1: Özellikle alçak frekanslı seslerin hacim içerisindeki performansını arttırmaya yönelik olarak saçıcı –dağıtıcı veya saçıcı-yutucu örnekleri tasarlanabilir mi? Belirli bir işlev ve hacim için parametrik yaklaşımlar doğrultusunda uygulanabilir bir ses saçıcı-dağıtıcı geliştirilebilir mi?

Alt problemler

- Hangi tür işleve göre tasarım yapılacağı (hacmin geometrisi, oranları ve yüzey bitiş malzemelerinin benzer özellikte olabilen hacimler)
- Hangi frekanslara yönelik olacağı
- Hangi tip saçıcı-dağıtıcı kullanılacağı
- Algoritma şemasının oluşturulması
- Ne tür malzeme kullanılacağı
- Üretimi, ölçüm yöntemleri ve uygulanabilirliği

Hipotez-2: Belirli bir işlev ve hacim için parametrik yaklaşımlar doğrultusunda uygulanabilir bir ses saçıcı-dağıtıcı geliştirilebilir mi?

Sınırlılıklar:

- Ses yutucu tasarımı kapsamaması
- Konuşma işlevi hariç
- Sahne akustiği için saçıcı tasarımı (Orkestra kabuğu ve kanopi)
- Müzik işlevi için (Senfonik müzik)

Çalışmanın amacı

Hacim içerisinde sahnede orkestra için akustik konfora yönelik ses saçıcı-dağıtıcıların hem nesnel parametreler hem de öznel parametrelere etkisi değerlendirilerek müzik işlevi ve orta frekanslar için parametrik yaklaşımlarla etkin bir ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı ve üretimini gerçekleştirebilmeyi planlamaktadır. Bu doğrultuda bu çalışma ile algoritması oluşturularak frekansa göre özellikleri değişen bir ses saçıcı-dağıtıcı geliştirilmesi ve üretilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın yöntemi

Öncelikle ses saçıcı- dağıtıcı türleri, ses saçılma ve dağılma katsayıları, ses saçıcı-dağıtıcıların öznel ve nesnel parametrelere etkisi hakkında genel bilgilerin verilmesi şeklindedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelenerek literatür araştırması tamamlanmıştır. Çalışmanın devamında, mimarlık ve parametrik tasarım üzerinde araştırmalar yapılarak, ses saçıcı tasarımına etki edecek performans kriterleri belirlenmiştir.

Bu kapsamda; hacim akustiği için önemi olan ses saçıcı ve dağıtıcılar doğrultusunda algoritma şeması oluşturularak, malzeme kararıyla birlikte proje oluşturulması düşünülmüştür. Konser sırasında sahnede kullanılacak orkestra kabuğu ve kanopi tasarımına yönelik ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı önerileri ile akustik performansının arttırılması hedeflenmektedir.

Sahne akustik parametreleri, farklı sahne boyut ve özellikleri çerçevesinde 3D model ve ODEON (v 15.08) simülasyon programı ile değerlendirilmiştir. İzleyici alanı sabit tutularak, sahne özellikleri üzerinde yapılan değişikliklerin STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametrelerini nasıl etkilediği ortaya konmuştur.

Bu bilgiler dahilinde görsel algoritma düzenleyici programlarıyla farklı tasarım girdileri ile bütünleşik tasarım gerçekleştirilmiştir. Konser sırasında sahnede kullanılacak orkestra kabuğu ve kanopi tasarımına yönelik ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı önerileri sunulmuştur.

Parametrik tasarım ışığında tasarımı yapılacak olan malzemenin akustikte önemli noktalardan biri olan frekans bazında değerlendirilerek, algoritma şemasının oluşturulması ve değişken parametrelere cevap verebilecek sahne akustiğine yönelik ses saçıcı dağıtıcı malzeme prototipi ortaya çıkartılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Bu doğrultuda orkestra kabuğu için ses saçıcı dağıtıcı modül oluşturmak hedeflenmiştir.

Schroeder saçıcıların matematik serisi çözümlenerek, model üzerinden 3 boyutlu yazıcı ile baskısı alınmıştır. Bu matematik seriyi takip edecek şekilde parametrik tasarım yaklaşımıyla farklı ses saçıcı-dağıtıcı prototipleri geliştirilmiş olup, seçilen tasarım için farklı frekanslara yönelik olarak 3 boyutlu yazıcı ile prototip üretiminin ilk aşaması gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte GFRC malzeme ile gerçek ürünün ortaya konabilmesi için ahşap model ve polyester kalıp üretilip, fabrika ortamında ürün 1:1 ölçekte üretilmiştir.

Bu araştırma ile; mimari akustikte sesin yansıması ve yutulmasının yanı sıra önemli bir parametre olan sesin saçılması üzerine hem teorik hem de uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmış olup, salon akustiğinde, sahne akustiğinin de bir girdi olarak ele alınması ve parametrik tasarım yaklaşımı ile birlikte literatüre katkı sağlaması öngörülmüştür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Ses Saçıcı-Dağıtıcılar ile İlgili Çalışmalar

Choi çalışmasında; sınıflarda akustiği iyileştirmek için periyodik difüzörlerin uygulamasını araştırarak, sınıflarda sağlanması gereken akustik için sesin yutulma ve yayılmasına ilişkin optimum bir kombinasyonunu önermektedir. Ölçümler, 1/10 ölçekli model bir sınıfta, odanın beş yüzeyinden bir veya daha fazlasına farklı oranlarda ses yutucu ve yansıtıcı malzemeler eklenerek gerçekleştirilmiştir. Tüm tavan alanına ses yutucu malzemeler ve tüm duvara difüzör eklenmesi, daha yüksek netliğe karşılık gelen erken-geç gelen ses oranı (C50) değerlerini artırmıştır. Tavan alanının %25'ine difüzör eklenmesi, diğer %75'lik alana ses yutucu malzeme eklenmesi ise tüm tavana ses yutucu malzemeler eklemekten daha yüksek G50 ve G değerleri elde etmek için daha faydalı olmuştur. Difüzörler, en uzak koltuklarda erken gelen yansıma enerjisini (G50) artırmak için faydalı olup, sınıf genelinde daha düzgün akustik koşulların elde edilmesini sağlamıştır. Ön duvarın difüzörle kaplanmasının, arka ve yan duvarların difüzörle kaplanmasından daha iyi akustik koşullar sağladığı belirlenmiştir. Tavana ve ön duvar alt kısma veya yan duvara difüzör eklemek ve tavana difüzör ve ön duvar alt kısma ses yutucu malzemeler eklemek, sınıf akustik tasarımı için daha başarılı sonuçlar elde edildiği değerlendirilmiştir (Choi, 2013).

Shtrepi vd. araştırmalarında; ISO 17497-1:2004'te tanımlanan rastgele geliş saçılma katsayısının ölçüm prosedürünün doğruluğuna ilişkin bir fikir üretmeyi amaçlamaktadır. Tam ölçekli bir reverberasyon odasında sistematik bir deneysel araştırma yapılmıştır. Test edilen difüzörler, 20 cm kenar uzunluğuna sahip içi boş ahşap küplerin farklı geometrik dağılımları ve farklı ölçüm düzeni konfigürasyonları ile düzenlenmiştir. Ölçüm sonuçlarının doğruluğu, mikrofonların yüksekliği, döner tablanın altındaki hava boşluğu, numune şekli ve yutulma ve saçılma katsayılarının etkilerinin düzeltilmesi gibi ISO standardında tanımlanmamış özelliklerin de katkısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, daha sert bir döner tabla ve dairesel bir numune kullanıldığında ve döner tablanın altındaki hava boşluğu kapatıldığında ölçümün doğruluğunun arttığını göstermiştir. Ayrıca, mikrofonların numune yüzeyine uzaklığının sonuçları önemli ölçüde etkilediği, dolayısıyla ölçümlerin doğruluğunu etkilediği bulgular arasındadır (Shtrepi ve diğerleri, 2016).

Jeon vd. çalışmalarında; mevcut küçük performans alanlarının akustik olarak iyileştirilmesi için difüzörlerin malzeme özelliklerini araştırmaktadır. Seul'deki Sejong Gösteri Sanatları Merkezi'ndeki Konferans Salonu (450 kişilik) ve M-Tiyatrosu (630 kişilik) olmak üzere iki performans salonunun pratik uygulamaları aracılığıyla ses alanları üzerindeki akustik etkilere dikkat çekilmiştir. Oda Salonu, önceki dikdörtgen konferans alanı şeklinden tamamen bir resital salonuna dönüştürülmüştür. Oda Salonu'ndaki testere dişi şeklindeki duvar difüzör profili, orta frekanslı ses dağılımı için cam elyaf takviyeli beton kullanılarak tasarlanmıştır. M-Tiyatrosu, üst katlarda daha fazla koltuk ve tavan reflektörlerinin üzerinde ek alanlar içeren bir tasarımla dramatik performanslar için canlı ve samimi bir alan olarak yenilenmiştir. M-Tiyatrodaki çıkıntılı kübik yüzeylere sahip dikey desenli difüzör profili, ana konuşma frekans aralığında ses dağılımı için cam elyaf takviyeli alçı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan difüzör profilleri her iki salon için 1:10 ölçekli model difüzörlerin saçılma ve dağılma katsayıları ölçülerek değerlendirilmiştir. Her iki salondaki difüzörlerin etkileri, dağıtıcı yüzeyleri kontrol etmek için sahnelere yakın yan duvarlar yansıtıcı malzemelerle kaplanarak incelenmiştir. Sonuç olarak, her iki salonda da yansıtıcı duvarlar ile mekansal tekdüzelik artmıştır (Jeon, Seo, Kim ve Lee, 2012).

Kim ve arkadaşları; ölçekli modeller kullanılarak saçılma ve dağılma katsayılarının ölçümleri yoluyla, yansıyan yüzeylerin yükseklik ve yoğunluk etkilerini sunmuştur. Ölçümler, 1:10 ölçekli model kullanılarak yapılmıştır. 1D, 2D ve 3D difüzör profillerinin saçılma katsayıları ile 3D difüzör profilinin dağılma katsayıları ölçülmüştür. Difüzörün yapısal yüksekliğinin, saçılma katsayılarının frekans özellikleri ile, difüzörün yoğunluğu, saçılma katsayılarının değerleri ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Dağılma katsayıları, saçılma katsayılarına göre yapısal yükseklik ve yoğunluğuna daha az duyarlı olmaktadır. Ölçüm sonuçları kullanılarak saçılma ve dağılma katsayıları ortaya konulmuştur. Ayrıca saçılma ve yutulma katsayıları arasındaki ilişki de tartışılmıştır (Kim, Jang ve Jeon, 2011).

Jeon ve diğerleri araştırmalarında; yüzey malzemelerinin "saçılma katsayısı" ile ifade edilen difüzyon derecesinin, konser salonlarının akustik niteliklerini belirlemede en önemli faktörlerden biri olduğunu belirlemişlerdir. Bir alandaki yüzeylerin rastgele geliş saçılma katsayısını ölçen ISO yöntemine dayanarak, ölçekli model ile reverberasyon odalarında ahşap yarım kürelerin ve küplerin farklı boyut ve yoğunluklardaki saçılma katsayıları ölçülmüştür. Sonuçlar, yüksekliği 15 cm'den fazla olan yarım kürelerin en yüksek ortalama

(500 Hz ila 4 kHz) saçılma katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca difüzör yoğunluğu yarım küreler için yaklaşık %50'ye ve küpler için %30'a ulaştığında saçılma katsayısının daha yüksek olduğu bulunmuştur (Jeon, Lee ve Vorländer, 2004).

Lin ve arkadaşları; farklı malzemeler, geometrik tasarımlar, oluk derinlikleri ve bölme özellikleri ile ifade edilen ahşap difüzör yapılarının saçılma katsayılarını belirlemek için deneysel bir araştırma yapmışlardır. Genel olarak, ISO 17497-1 standardı kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçlarının güvenilirliğinin, kenar etkisini azaltmak için test numunesinin dönen döner tablaya yerleştirilmesiyle iyileştirilebileceği bulunmuştur. Deneysel sonuçlar, difüzörlerle donatıldığında, çift üçgen üst yüzey profiline sahip olduğunda ve daha büyük bir oluk derinliğine sahip olduğunda daha yüksek bir saçılma katsayısının elde edildiğini göstermektedir. Sunulan sonuçlar ve tartışmalar, mimari akustik uzmanlarına, çeşitli ahşap difüzör yapılarının iç ortamlardaki ses saçılma performansını değerlendirmek için yararlı bir çalışma sunduğu belirtilmiştir (Lin, Hong ve Lee, 2010).

Bibby ve Hodgson; yüzeylerin rastlantısal olarak sesin yutulma ve saçılmasını ölçmek için ISO 17497-1'e dayanan bir döner tabla ve ölçüm yöntemi geliştirmiştir. Çok hassas olmamakla birlikte, yüzeylerin genel özelliklerini belirlemek için yeterli olduklarını kanıtlamışlardır. İki ahşap profilli, sert ve düz yüzeyin düşük ses yutulma ve saçılma değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Daha fazla ses yutulması için Helmholtz rezonatör konfigürasyonları oluşturarak, düşük ve orta frekanslarda iyi performans elde edilmiştir. Ayrıca, daha fazla saçılma elde etmek için Schroeder difüzör oluşturulmuştur (Bibby ve Hodgson, 2011).

Gideonse araştırmasında; QRD akustik difüzör olarak akustik rampayı araştırmak ve test etmek için araştırma yapmıştır. 1970'lerin sonlarından bu yana, difüzörlerin test edilmesi ve analizi için ISO Saçılma Katsayısı ve AES Difüzyon Katsayısı dahil olmak üzere çeşitli metodolojiler geliştirilmiştir. Çalışma, difüzörün davranışının benzer boyutta bir düz panelle karşılaştırmasını katsayılar ile ortaya koymuştur (Gideonse, 2012).

Schroeder difüzörü, optimal ve öngörülebilir dağınık ses alanı oluşturmak için 40 yılı aşkın bir süre önce önerilen klasik bir tasarımdır ve mimari akustikte yaygın olarak benimsenmiştir. Ayrıca gürültü kontrolü, ultrason görüntüleme gibi alanlarda önemli bir potansiyel göstermiştir. Bu çalışmada, akustik bir metayüzey kavramına dayalı olarak yeni

bir ultra ince ve düzlemsel Schroeder difüzör sınıfı önerilmiştir. Hem sayısal hem de deneysel sonuçlar, geleneksel olandan yaklaşık bir kat daha ince olmasına rağmen, metayüzey bazlı üretilen Schroeder difüzör, yeterli düzeyde sesin dağınık yansıması özelliği göstermiştir. Önerilen tasarım, mimari akustiği ve ilgili alanları derinden etkileme potansiyeli olan umut verici yapı taşları sunmuş ve aynı zamanda akustik metayüzeylerin gerçek uygulamalara doğru büyük bir adım oluşturmuştur (Zhu, Fan, Liang, Cheng ve Jing, 2017).

Rubacha araştırmasında, ses difüzörleri oluşturmak için akustik metamalzeme kullanma olasılıklarının analizini sunmaktadır. Kavisli rezonatör ile eklenmiş kuyulardan oluşan difüzörler incelenmiştir. Bu tür çözümler, rezonatörün etkili derinliğini artırmak için dağılma ve yavaş ses efekti sağlamaktadır. Ses dağılma katsayısı, difüzörlerin sayısal modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar Schroeder difüzörü ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; akustik metamalzemelerin difüzörün frekans bandını etkilediği ve elde edilen ses difüzörlerinin etkinliğinin kuyuların göreceli genişliğine bağlı olduğu belirlenmiştir (Rubacha, 2022).

Pan ve Zhao araştırmalarında; Schroeder Difüzörlerin icadından bu yana, difüzyon katsayılarının ve saçılma katsayılarının tahmini ve ölçümü üzerine kapsamlı çalışmalar yürüterek araştırmacılar için önemli referans verileri sağlamışlardır. Çalışmada; 1:10 ölçeklendirilmiş bir reverberasyon odasında, MLS ve QRD difüzörleri (iki Schroeder difüzörünün) saçılma katsayıları üzerine deneysel bir çalışma sunulmuştur. Bu Schroeder difüzörlerin saçılma katsayıları, kuyu derinliği, kuyu genişliği, frekans aralığı ve maksimum kuyu derinliğinin dalga boyuna oranının bir fonksiyonu olarak varyasyonların belirlenmesi için karşılaştırılmıştır. Küçültülmüş ölçümlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrulamak için, standart sapmalarının yanı sıra altı adet MLS difüzörünün saçılma katsayıları da 1:1 ölçekli reverberasyon odasında ölçülmüştür. Ölçülen sonuçlar, mühendislere ve akustikçilere hacim akustiği tasarımında yararlı referans veriler sağlamıştır (Pan ve Zhao, 2022).

Zhao ve diğerleri çalışmalarında; membran tipi rezonatör tabanlı bir Schroeder difüzörün (MRSD) tasarımını ve deneysel doğrulamasını incelemişlerdir. Membran tipi rezonatör, dekoratif bir membran ve sert bir arka boşluktan oluşmaktadır. Tasarlanan MRSD, periyodik kuyularla üretilen geleneksel difüzörden bir kat daha ince olan derin alt dalga boyu ölçeğine

sahip bir kalınlığa sahiptir. Önerilen MRSD, düşük frekanslı uygulamalarda avantajlara sahip olup, ses yönlenmesi açısından çok yönlülük sunmuştur (Zhao ve diğerleri, 2021).

Zhao ve arkadaşları çalışmalarında; yüksek homojenliğe sahip, dar bant dağınık yansıma üretmek için ultra ince düzlemsel akustik difüzör tasarlamış ve üç boyutta da çalışan dalga boyundan çok daha küçük Helmholtz benzeri rezonatörlerin tek tabakasını içeren metayüzey tabanlı bir uygulama önermişlerdir. Tasarım, Schroeder difüzörü ile karşılaştırılmış ve geniş geliş açıları boyunca QRD dizisine dayalı geleneksel düzenlemelerden daha düzgün dağıtma yeteneğine sahip olduğu sayısal olarak kanıtlanmıştır (Zhao, Liu, Liang ve Cheng, 2020).

Özel akustik gereksinimlerine sahip hacimlerde uygulanan sahne üstü kanopileri, sesin en az 250 Hz–4 kHz frekans aralığında yansımasını sağlaması gerekmektedir. Bir kanopinin etkin frekans aralığını alt ve üst sınırlarında genişletmek, uygulanan panellerin boyutlarına göre zıt yaklaşımlar gerektirir. Büyük boyutlu paneller, kanopinin daha düşük frekans bantlarında etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Yüksek frekans bantlarında, kanopinin etkinliği, genellikle küçük elemanlar veya panel şekillerinin farklı modifikasyonları ile elde edilen, panellerden yayılan ses yansıması ile sağlanır. Bu çalışmada, alt sınır frekansını değiştirmeden bir kanopinin üst sınır frekansını arttırması beklenen yansıtıcı paneller için bir fikir önerilmiştir. Bu, düz panellerin kenarları boyunca Schroeder difüzörlerin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Panellerin daha düşük frekans bantlarında etkili bir şekilde çalışmasını sağlayan geniş bir yansıtıcı alan korunur. Daha yüksek frekanslarda, panellerin frekans yanıtı, difüzörlerden gelen dağınık ses yansımasından etkilenir. Böylece kanopinin, difüzörlerin özelliklerine bağlı olarak daha geniş bir frekans aralığında çalışması beklenmektedir. Bir panelin önerilen düzenlemesi, sayısal simülasyonları, matematiksel modellemeyi ve ölçümleri içeren etkinliğinin doğrulanmasıyla birlikte sunulmuştur. Schroeder difüzörlü panellerden yapılmış kanopi, düz panellerden yapılmış bir kanopi ve kavisli kenarlara sahip panellerden yapılmış bir kanopi ile karşılaştırılmıştır (Szelaq, Rubacha, Pilch, Majchrzak ve Kamisinski, 2020).

Bu makale, akustik difüzör serilerini tasarlamak için yöntem esaslı bir yaklaşım üzerine araştırma sunmaktadır. QRD serilerini tekrar edecek şekilde tasarlamak için şekil kurallarını kullanan, şekil yapısına dayanan bir tasarım yöntemi belirtilmiştir (Dessi-Olive ve Hsu, 2019).

Sınır Elemanı Yöntemi (Boundry Element Method), sesin saçılma özelliğini sayısal olarak değerlendirmek için kullanılan klasik bir yöntemdir. Bununla birlikte, ses dalgaları difüzörlere geliş açısıyla çarptığında doğrultusu genellikle bozulur. Gelen dalgaları için simülasyon doğruluğunu geliştirmek amacıyla, rastlantısal şekillendirilmiş yüzeylere sahip difüzörlere uygulanabilen bir Sınır Ağsız Model (Boundry Meshless Model) önerilmiştir. Modelde, difüzörlerin sonsuz uzunluktaki duvarlara uygulandığı varsayılarak, geleneksel Sınır Elemanları Yöntemi'ndeki ince levha biçiminden kaynaklanan ses basıncı farkı sorununu ortadan kaldırmaktadır. Ağsız yöntem, modelin pürüzlü yüzeylere, özellikle kavisli yüzeylere sahip difüzörlere uygulanabilir olmasına katkıda bulunan sayısal hesaplamaları gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sınır Ağsız Model daha sonra difüzörlerin saçılma özelliğini sayısal doğrulamalarda analiz etmek için kullanılmıştır. Sonuçların analitik yöntem ve ölçümle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, modelin geliş açıları için saçılma özelliğini değerlendirmede Sınır Elemanı Yönteminden daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu kanıtlamıştır. Yöntem, mimari de ses saçıcıların tasarımında eko ve sesin yayılmasını düzenlemek için kullanılabilir. Hacmin ses kalitesini iyileştirmek için potansiyel olarak etkili olduğu düşünülmektedir (Wang, Zeng, Du ve Liu, 2017).

Schroeder difüzörlerinin, bir hedef frekans aralığı üzerinde salondaki dağınık ses alanlarını desteklemek için salon yüzeylerinde kullanılabileceği iyi bilinmektedir. QRD, bir tasarım frekans bant genişliği içinde çok etkilidir. Bu frekans bant genişliği, iç içe veya fraktal bir tasarımla önemli ölçüde genişletilebilir. Bu çalışma, büyük ve küçük difüzörler ayrı ayrı ve entegre bir tasarım olarak modellendiğinde sonuçlardaki farklılıkları araştırmak için optimize edilmiş bir 2B sınır elemanı yöntemi kullanmıştır. Küçük difüzörün saçılma özelliklerinin, yerleştirildiği ana difüzörün kuyusu tarafından önemli ölçüde değiştirildiği bulunmuştur. Çalışma, bu işlev için sınır elemanı yönteminin optimizasyonunu özetlemekte ve fraktal tasarımla çeşitli kuyu dipli şekiller için sonuçları karşılaştırmaktadır (Lock ve Holloway, 2016).

Kamisinski çalışmasında; yarım daire formunda duvar yüzeyine ve balkon altı yerleşimin derin olduğu at nalı şeklindeki oditoryum düzenine sahip tarihi opera tiyatrolarında akustik düzenlemesini ele almıştır. Bu sorun, akustik ölçüm ve simülasyon hesaplamalarının yapıldığı ve son olarak balkon altı arka duvarı için bir difüzör panelinin tasarlandığı Lviv, Ukrayna'daki Opera ve Bale Tiyatrosu'nda gözlemlenmiştir. Difüzörlerin kurulumundan sonra gerçekleştirilen akustik ölçümler, balkon altı ve konferans salonu merkez alanında orta

ve yüksek frekans aralığında ses gücü faktörü G parametresinde olumlu değişiklikler olduğunu ortaya çıkarmıştır. Tekstil duvar kaplamasının difüzör panellerle değiştirilmesiyle, 1 kHz'in üzerindeki frekans aralığında ses yutulmasında önemli bir azalma ve salonda akustik parametrelerin homojenliğinde artış sağlandığı görülmüştür. Çalışmada sunulan yöntem, benzer özellikteki tarihi salonların yanı sıra ses odaklanması veya yankı etkisi ile ilgili akustik kusurların iyileştirilmesinde ihtiyaç duyulan modern salonlarda da uygulanabilmektedir (Kamisinski, 2012).

Kamisinski ve arkadaşları araştırmalarında; ISO 17497-1'e uygun olarak ses saçılma katsayısının belirlenmesinde test sinyali seçimi sorununa odaklanmışlardır. Araştırmalar bu çalışmada MLS sinyalinin kullanımının tercih edildiğini göstermektedir. Sinüs tarama sinyali, avantajlarına rağmen, numune ölçüm sırasında hareket ediyorsa bazı sınırlamalar sunmaktadır. Ses saçılma katsayısının elde edilen değerlerinin, döner tablanın dönme hızına ve test sinyali türüne bağlılığını göstererek, hatanın en aza indirilmesine olanak tanıyan bir yöntem geliştirmek için bir girişimde bulunulmuştur (Kamisinski, Brawata, Pilch, Rubacha ve Zastawnik, 2012).

Ses dağıtıcılar, özellikle yansıyan dalganın fazındaki değişikliklere yanıt verenler (Schroeder difüzörleri), akustik kusurları ortadan kaldırmanın ve iç mekanların akustik performansını iyileştirmenin etkili bir yolu olarak son zamanlarda akustikte büyük popülerlik kazanmıştır. Pilch ve Kamisinski araştırmalarında; ses dağıtıcıların akustik parametrelerini şekillendirme olasılığına ve dağıtıcıların uygulanmasında yapılan temel hatalara dikkat çekmektedir. Ayrıca, difüzörler tarafından sesin yutulmasıyla ilgili sıklıkla ihmal edilen bir sorun da ele alınmıştır. Laboratuvar ölçümlerinin sonuçları, difüzörlerin sertliğinin ve geometrisinin düşük frekanslardaki yutma katsayıları üzerinde büyük önem taşıdığını göstermektedir. Elemanların dizilişinin saçılma katsayısı üzerindeki etkisi, N = 7 asal sayısı esas alınarak iki tip eleman için analiz edilmiştir (Pilch ve Kamisinski, 2011).

Chiang ve arkadaşları; beş konser salonunun sahne akustiğini, -14 dB ile – 6 dB aralığında erken doğrudan enerji oranı (ED100) ile enstrümantal solo ve oda müziği performansları için değerlendirmiştir. Müzisyenler kendini ve başkalarını duyma, topluluk şartları ve genel izlenim hakkında görüşlerini dile getirmişlerdir. Dinleyiciler de, tek tek parçaların gücü ve genel izlenim konusunda eş zamanlı değerlendirmelerde bulunmuştur. Her salonda müzisyenler, yan yansıtıcı yüzeyi olan ve olmayan iki yerde oturmuşlardır. Trompetçiler yan

yansıtıcı yüzeye sahip durum için ön pozisyonu tercih ederken, yaylı çalgıcılar bu konfigürasyonu beğenmemişlerdir. ED100 için -12 dB ila -11 dB aralığında bir optimum değer ve -8 dB civarında bir üst sınır gözlemlenmiştir. Müzisyenler özellikle güçlü bir erken enerji talep etmemişlerdir. Özellikle üflemeliler ve piyanist tarafından yapılan öznel değerlendirmeler, geç yansımalarla ilişkili akustik ölçümlerle genellikle pozitif korelasyon göstermiştir. Optimum geç destek parametresi (STlate) -14 dB civarında gözlemlenmiştir. Dinleyiciler için, yansıtıcı yüzeyin bulunduğu sahnedeki ön pozisyon, keman-çello-piyano üçlüsü için en iyi dengeyi sağladığı görülmüş ve bu da dinleyicilerde ölçülen yanal enerji oranı (LF) ile ilişkilendirilmiştir (Chiang, Chen ve Huang, 2003).

Odabaş ve Çalışkan çalışmalarında; Schroeder Difüzörlerinin, bir dereceye kadar ses yutulmasını korurken sesin saçılmasının sağlanması için geliştirilmiş olduğunu belirtmiştir. Önceki araştırmalar, difüzörlerin bazı kuyularda delikli plakalar kullanılarak difüzör yapısının değiştirilmesiyle düşük frekanslarda sesin yutulma miktarının artırılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, sert bir arka yüzeye sahip olmayan çift katmanlı mikro delikli paneller kullanılan Schroeder Difüzörlerin ses yutma özelliklerini gözlemlemeyi amaçlamaktadır. Bu tip panel sistemi, difüzörün bir hacim difüzörü olarak işlev görmesini sağlar ve önceki çalışmalara kıyasla çok düşük frekanslarda bile sesin yutulmasını artırır. Çalışmada, gelişmiş ses yutma teorisinin yanı sıra rijit olmayan arka panel desteği yoluyla iletim kaybı da sunulmuştur. Sonuçlar, sert bir destek olmadan çift katmanlı mikro delikli panellerin kullanılmasının, Schroeder difüzörlerinin özellikle çok düşük frekanslarda ses yutma özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir (Odabaş ve Çalışkan, 2012).

Son yıllarda gürültü bariyerleri, trafikteki gürültü kirliliğini kontrol altına almanın temel yollarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, PP ve PQ difüzörü bariyer modeli olmak üzere iki farklı türde gürültü bariyeri tasarlanmış ve bunların gürültüdeki etkinliklerinin tahmin edilmesi için iki boyutlu sınır elemanları yöntemi kullanılmıştır. Bu araştırmanın sonuçları, PRD difüzör ile kaplanan paralel bariyerlerin performansındaki iyileşmeyi, QRD ve P difüzör ile kaplanan paralel bariyerlerle karşılaştırılmıştır. PP modeline göre farklı derinliklere sahip difüzör kullanılarak farklı frekanslardaki etkinlik araştırılmış ve PQ bariyeri ve herhangi bir derinliği olmayan referans bariyer (P) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, PRD ile kaplanan paralel ses bariyeri kolunun farklı alıcı konumlarındaki etkinliğinin, QRD ve basit paralel ses bariyeri kolundan daha yüksek olduğunu göstermiştir (Mahmoud, Kafobil, Mohammadreza ve Mahdieh, 2014).

Akustik difüzörler, ideal olarak bir dinleme alanı içinde geniş frekans aralığında homojen akustik deneyim sağlayan dağınık ses alanları oluşturmak için sesi dağıtmak üzere tasarlanmıştır. Schroeder difüzörleri gibi standart difüzör tasarımları etkili olsa da, kullanıcılar tarafından belirli mimari tarzlara uymayan bir tasarım estetiğine sahip olduğu düşünülebilir. Bu çalışmada; 3D rastlantısal üretim için Fourier Sentezi algoritması, difüzör yüzey geometrisine alternatif olarak araştırılmış, iki boyutta saçılma ve yüzey pürüzsüzlüğü parametresi aracılığıyla bant genişliğini değiştirme kapsamı sağlanmıştır. Bir prototip difüzörün saçılma özellikleri deneysel olarak ve FastBEM adlı bir sınır elemanları yöntemi (BEM) programı kullanılarak sayısal modelleme yoluyla incelenmiştir. Bunlar arasında iyi bir uyum sağlanmış ve difüzörün performansının değerlendirilebileceği sayısal modelin doğrulaması yapılmıştır. Saçılma özellikleri kutupsal grafikler, 3D grafikler ve saçılma katsayısı kullanılarak ölçülmüştür. Difüzörün çeşitli yüzey pürüzlülüğü seviyeleri için performansına ilişkin bir ön araştırma yapılmış ve difüzörün yüzey pürüzlülüğünün artırılmasıyla yüksek difüzyonun daha yüksek frekanslara genişletilebileceği gösterilmiştir (Henham, Holloway ve Panton, 2016).

2.2. Parametrik Tasarım ve Ses Saçıcı-Dağıtıcı ile İlgili Çalışmalar

Dijital araçlar, performans analizinin mimari tasarım sürecine dahil edilmesi için bir fırsat sunmaktadır. Akustik performans, mimari tasarım için önemli bir kriterdir. Mimari alanların akustik performansını tahmin etmede saçılmanın en önemli faktörlerden biri olduğu kabul edilmesine rağmen, sesin yutulması hakkında çok şey bilinmektedir ancak ses saçılması hakkında çok az şey bilinmektedir. Bu makale, karmaşık mimari yüzeylerin tasarımı ve ses saçılma özelliklerinin tahmini için bir iş akışı önermektedir. Bu iş akışı, hesaplamalı tasarım araçlarının geliştirilmesini, geometri üretimi, test yüzeylerinin imalatı, akustik performans ölçümü, bu verilerin üretim aracına dahil edilmesini içermektedir. Altıgen duvar tasarım çalışması olarak dahil edilmiş ve tartışılmıştır (Peters ve Olesen, 2010).

Bir oda içindeki yüzeylerin geometrisi veya malzeme özellikleri belirli şekillerde değiştirilerek akustik kontrol edilebilir. Bu akustik değişiklikleri yöneten geometrik kurallar bir kez anlaşıldığında, bu kurallar parametrik modelleme veya bilgisayar programlama kullanımı yoluyla bir CAD sistemine kodlanabilir. Mimari tasarımcı daha sonra istenen performans kriterlerine göre akustik olarak düzenleyici yüzeyler oluşturabilir. Bu şekilde, akustik mühendisliği mimari tasarıma bağlanır ve mimari tasarımın akustik olarak

performans odaklı hale gelmesini sağlar. Bu makalede üç temel akustik yüzey türü ele alınmaktadır: emiciler, rezonatörler ve difüzörler. Bu üç performans özelliğini farklı şekillerde bir araya getiren karmaşık yüzeyler önerilmektedir. Geometri ve malzemenin sesin fiziksel özellikleriyle olan ilişkisi, parametrik sistemlerin ve bilgisayar programlamasının teknikleri, akustik olarak düzenleyici yeni yüzey türleri üretmek için kullanılabilir (Peters, 2009).

ISO 17497:2004 standardının saçılma ve dağılma katsayıları ölçümlerini önermesinin üzerinden fazla bir süre geçmiş olmasına rağmen, basit tasarım kuralları ve yaklaşımları aracılığıyla tasarımcıların dağıtıcı yüzey tasarımı konusundaki farkındalığını artırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu araştırma üç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak, dağıtıcı yüzey optimizasyonu için temel geometrik kılavuzları tahmin etmek amacıyla dağıtıcı yüzey özellikleri veri tabanlarını araştırmaktadır. İkinci olarak, parametrik modellemeyi dağıtıcı yüzeylerin tasarımına uygulayan bir dizi vaka çalışmasını analiz etmektedir. Son olarak, mimarlara ve tasarımcılara tasarımlarının ön aşamasında hızlı görsel ve akustik geri bildirim sağlamayı amaçlayan parametrik modelleri ve akustik simülasyonu entegre ederek dağıtıcı yüzeyler için bir tasarım süreci önermektedir (Shtrepi, 2019).

Sesin farklı yönleri, kavramsal aşamadan yapının ayrıntılı geometrik formülasyonuna kadar süreci şekillendirmektedir. Çalışmada, deneyler, ses yayma modellerinin tasarımsal yorumları, ses mühendisliği uzmanlığı, fiziksel ses ölçümü, ses performansı özelliklerinin dijital simülasyonu ve parametrik geometri modellemesi kullanılmıştır. Makale iki konuya odaklanmaktadır. Birincisi, farklı akustik analiz ve yorumlardan elde edilen bilgiyi oluşturmak, entegre etmek ve dönüştürmek için geliştirilen ve kullanılan metodoloji tekniklerinin tasarım sürecine dahil edilmesidir. Örnekler, faydaları ve karşılaşılan zorlukları vurgulayacaktır. Sonuncular arasında, özellikle akustik simülasyonun yönleri tartışılacaktır. İkinci olarak, nihai tasarımın bazı önemli yönlerini, akustik konsept ve modelleme ve üretim için kullanılan stratejiler gösterilmiştir (Rumpfl, Schein, Kuhnen ve Grohmann, 2017).

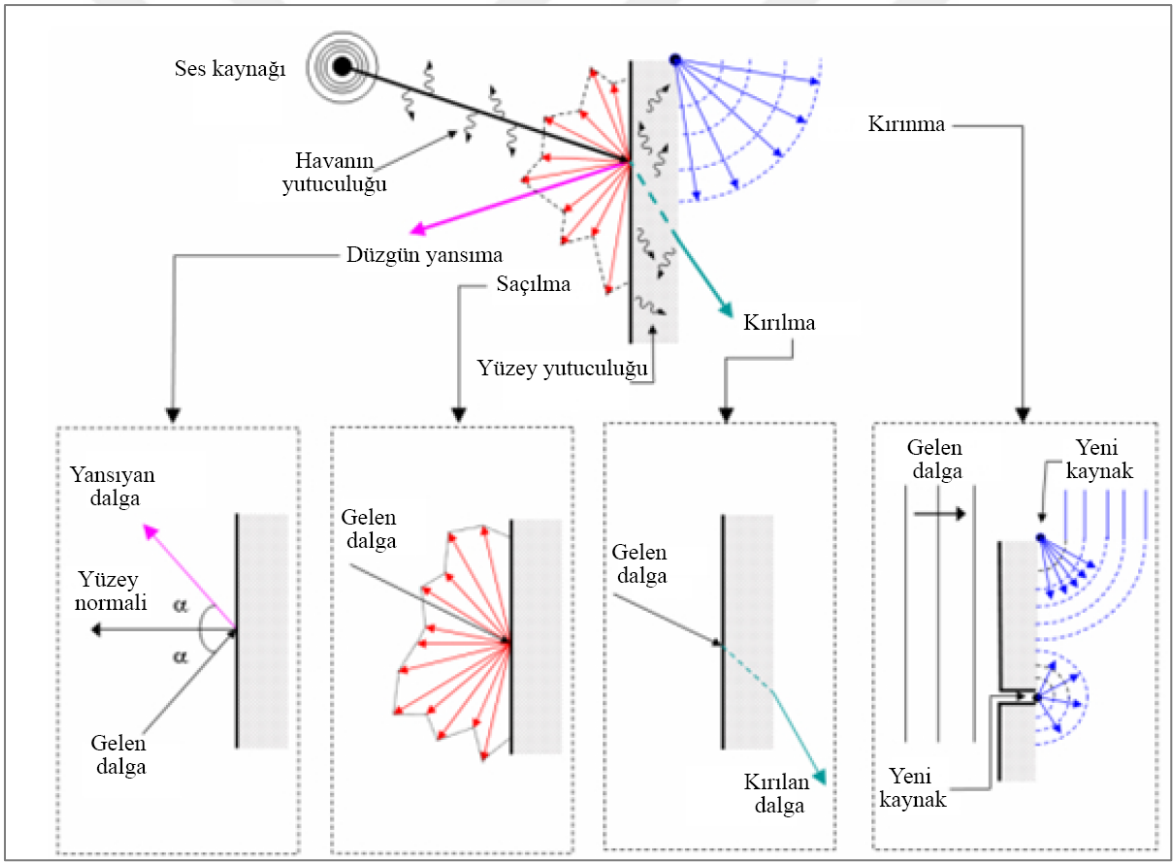
Mimari tasarım tamamen bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinde yapılır ve çoğu CAD modeli de 3D olarak yapılır. CAD'in ötesinde, parametrik tasarım yazılımları artık hem popüler hem de mimarlık öğrencileri ve uygulayıcıları için erişilebilirdir. En popüler parametrik sistem olan Grasshopper (GH) özelleştirilebilir ve akustik simülasyon da dahil olmak üzere birçok bina performansı simülasyonu türünü içeren zengin bir eklenti

ekosistemini destekler. Mimarlar genellikle sesi göz ardı ederler ve bunun bir nedeni de mimari tasarım yazılımlarında sesin tamamen eksik olmasıdır. Parametrik modelleme, sesi mimari tasarıma ve daha erken tasarım aşamalarına entegre etmek için bir fırsat sunmaktadır. Bu fırsat, modelleme ve simülasyon tek bir sistem içinde gerçekleştiği için birlikte çalışabilirlik ve dosya alışverişi zorluklarını ele almaktadır. Bu makalede, akustik simülasyon ile birlikte parametrik modellemeyi kullanan son araştırmaları gözden geçirilmekte ve "parametrik akustik" olarak adlandırılan bir çalışma şeklini tanımlamaktadır. Ayrıca parametrik modelleme ve entegre akustik simülasyonun yeteneklerinden yararlanabilecek dokuz teknik tanımlanmaktadır (Peters, Nguyen ve Omar, 2017).

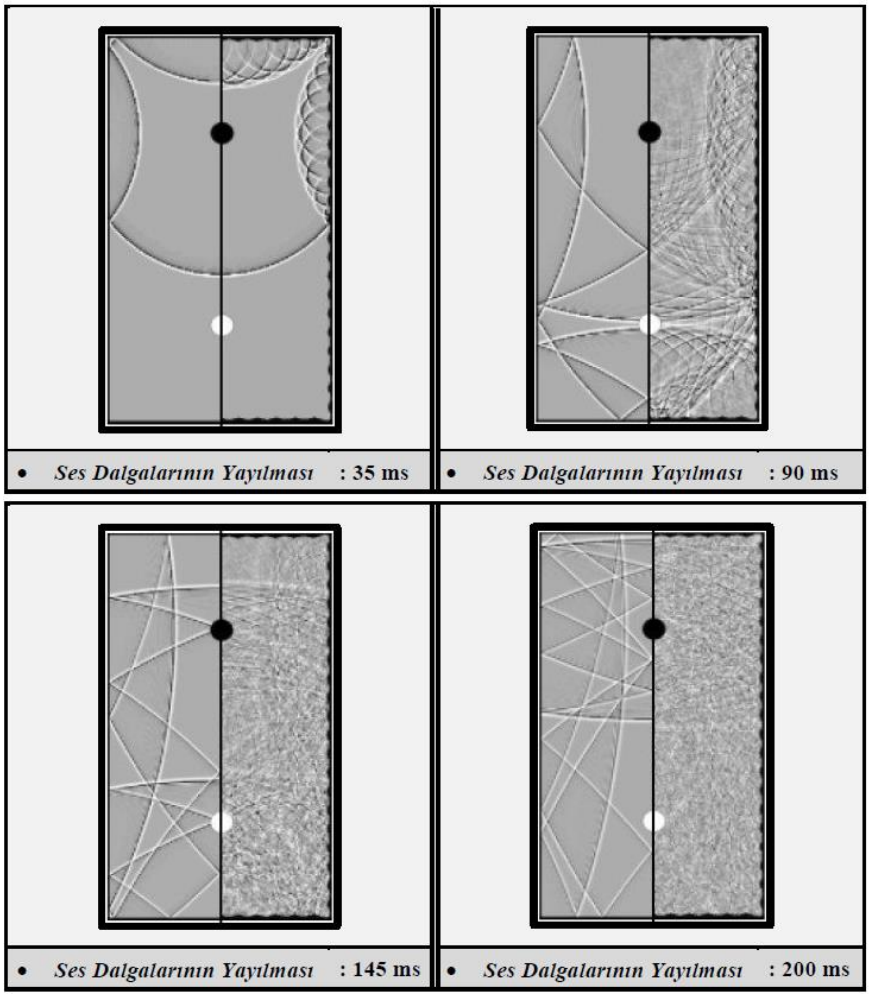
3. SES SAÇICI-DAĞITICI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Sesin Fiziksel Özellikleri

Ses dalgası bir yüzeye geldiğinde enerjisinin bir bölümü yutulma ve geçme fiziksel özelliklerinin sonucu olarak azalırken, bir kısmı da yansır ve/veya dağılır. Ses tek bir yöne dağıldığında ve sesin geliş açısı yansıma açısına eşit olduğunda bu düzgün yansımadır (specular reflection). Eğer yüzeye gelen ses, birçok doğrultuda ve birbirlerine yakın veya eşit enerjide dağılırsa bu da yansımanın dağılım özelliği sonucu oluşan dağınık yansımadır (diffuse reflection) (Yavuz, 2007).

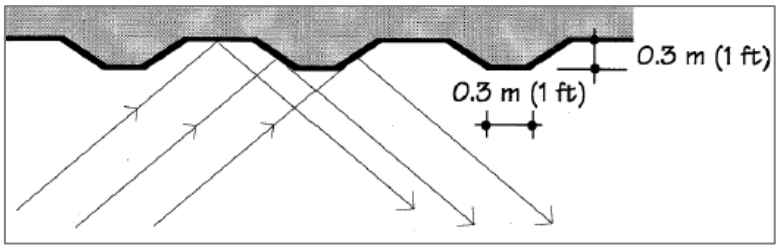


Şekil 3.1. Akustik yansıma olayları: düzgün yansıma, dağınık yansıma, kırılma ve kırınım (Kapralos, Jenkin ve Milios, 2008)

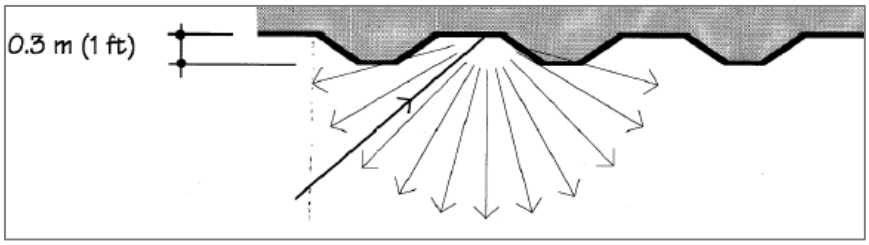


Şekil 3.2. Ses dalgalarının yayılması, hacim içerisindeki davranışı (Türkmen, 2013)

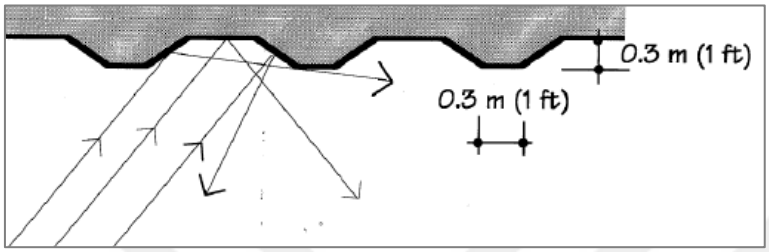
Dikdörtgen plan şemasına sahip bir hacimde, yüzeylerde ses saçıcı olmayan (solda) ve yüzeylerde ses saçıcı-dağıtıcı olduğu durumda (sağda) ses dalgalarının yayılması Şekil 3.2'de ifade edilmiştir. Yansıtıcı yüzeye gelen sesin dalga boyunun (~3,4 m), yüzey düzensizliklerinin ölçüsünden (derinlik ve genişlik), çok daha büyük olması durumunda ses dalgaları düzgün, yakın veya eşit olması durumunda ses dalgaları dağınık yansır, çok daha küçük olması durumunda ses dalgaları her bir yüzeyden düzgün yansır (Türkmen, 2013).



Şekil 3.3. Frekansı 100 Hz olan sesin düzgün yansıması (Türkmen, 2013)



Şekil 3.4. Frekansı 1000 Hz olan sesin dağınık yansıması (Türkmen, 2013)



Şekil 3.5. Frekansı 100 kHz olan sesin düzgün yansıması (Türkmen, 2013)

3.2. Dağılma ve Saçılma Katsayısı

Dağılma katsayısı (Diffusion coefficient, d): Yansıyan sesin homojenliğinin bir ölçüsüdür. Bu katsayının amacı, dağıtıcıların tasarlanmasına ve aynı zamanda akustikçilerin hacim tasarımında yüzeylerin performans özelliklerini karşılaştırmalarına imkan sağlamaktır (Cox ve D'Antonio, 2004: 107-113).

Dağılma katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$d_{\varphi} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{L_i/10} N_i\right)^2 - \sum_{i=1}^{n} N_i (10^{L_i/10})^2}{\left(\sum_{i=1}^{n} N_i - 1\right) \sum_{i=1}^{n} N_i (10^{L_i/10})^2} \quad (3.1)$$

L_i = ses basınç seviyesi, dB

n = alıcı sayısı

φ = geliş açısı

$N_i = A_i / A_{min}$

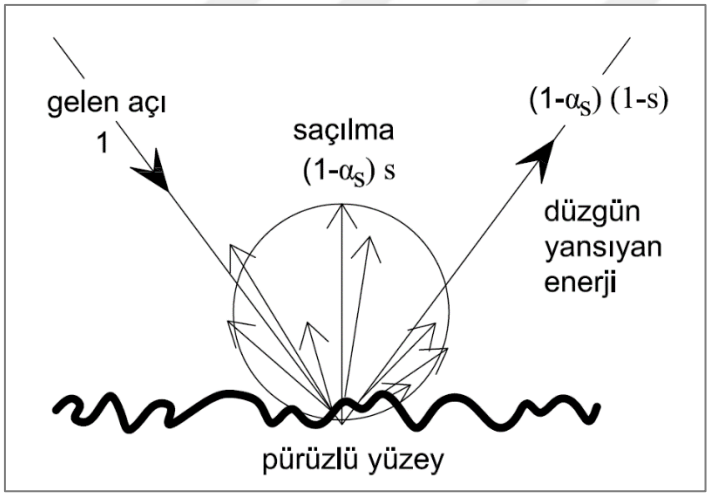
(Cox ve D'Antonio, 2004: 107-113)

Saçılma katsayısı (Scattering coefficient, s): Düzgün yansıyan ses enerjisinin toplam yansıyan ses enerjine oranıdır. Bu katsayının amacı, geometrik hacim modelleme programlarında yüzey saçıcılığının tanımlanmasıdır (Cox ve D'Antonio, 2004: 107-113).

Saçılma katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

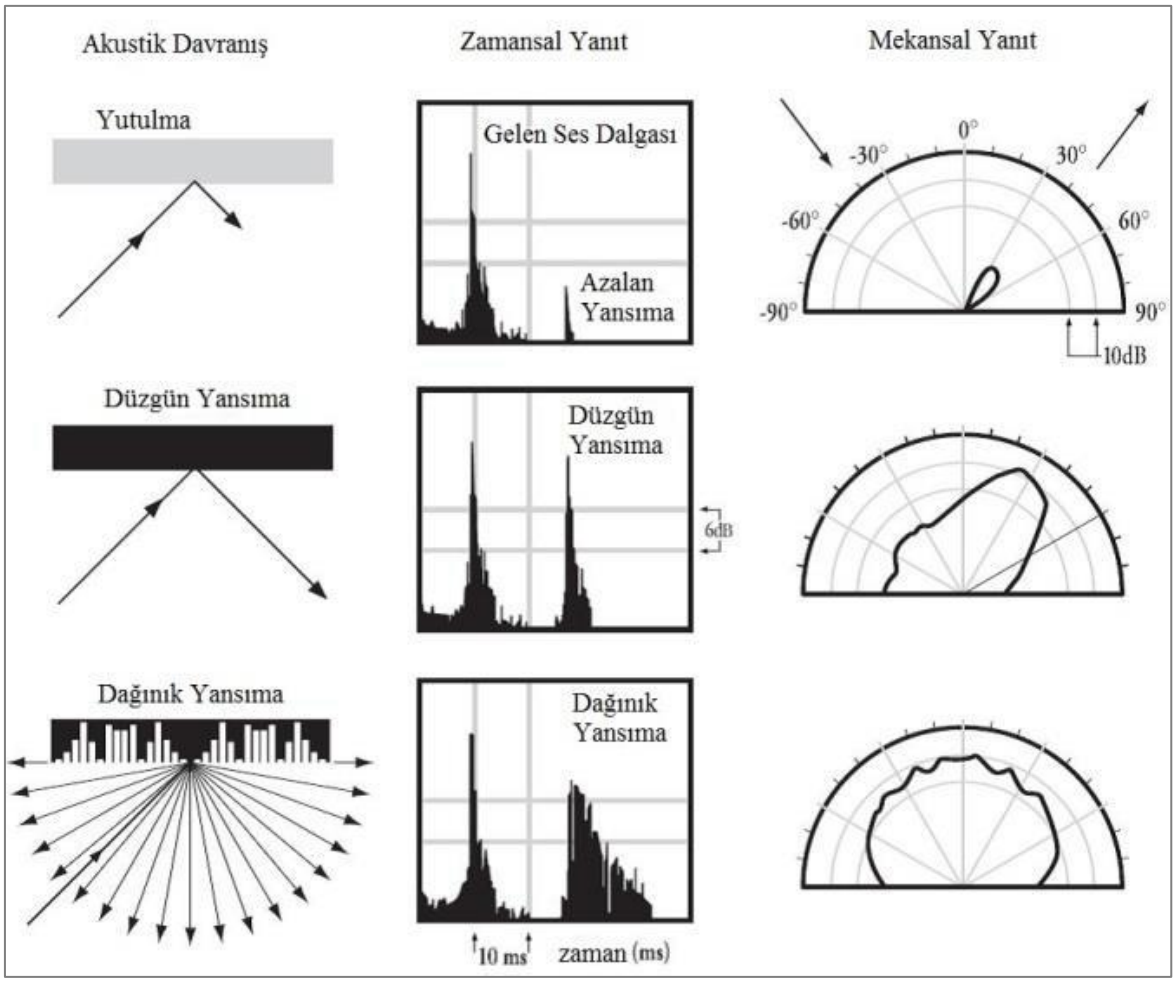
$$s = \frac{\alpha_{spec} - \alpha_s}{1 - \alpha_s} = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{total}} \quad (3.2)$$

E_{spec} = düzgün yansıyan enerji
E_{total} = toplam yansıyan enerji
s = saçılma katsayısı
α_s = yutma katsaysı
α_{spec} = görünür düzgün yansıyan yutma katsayısı
(Cox ve D'Antonio, 2004: 107-113)



Şekil 3.6. Dağınık yansıma (Cox ve D'Antonio, 2004: 107-113)

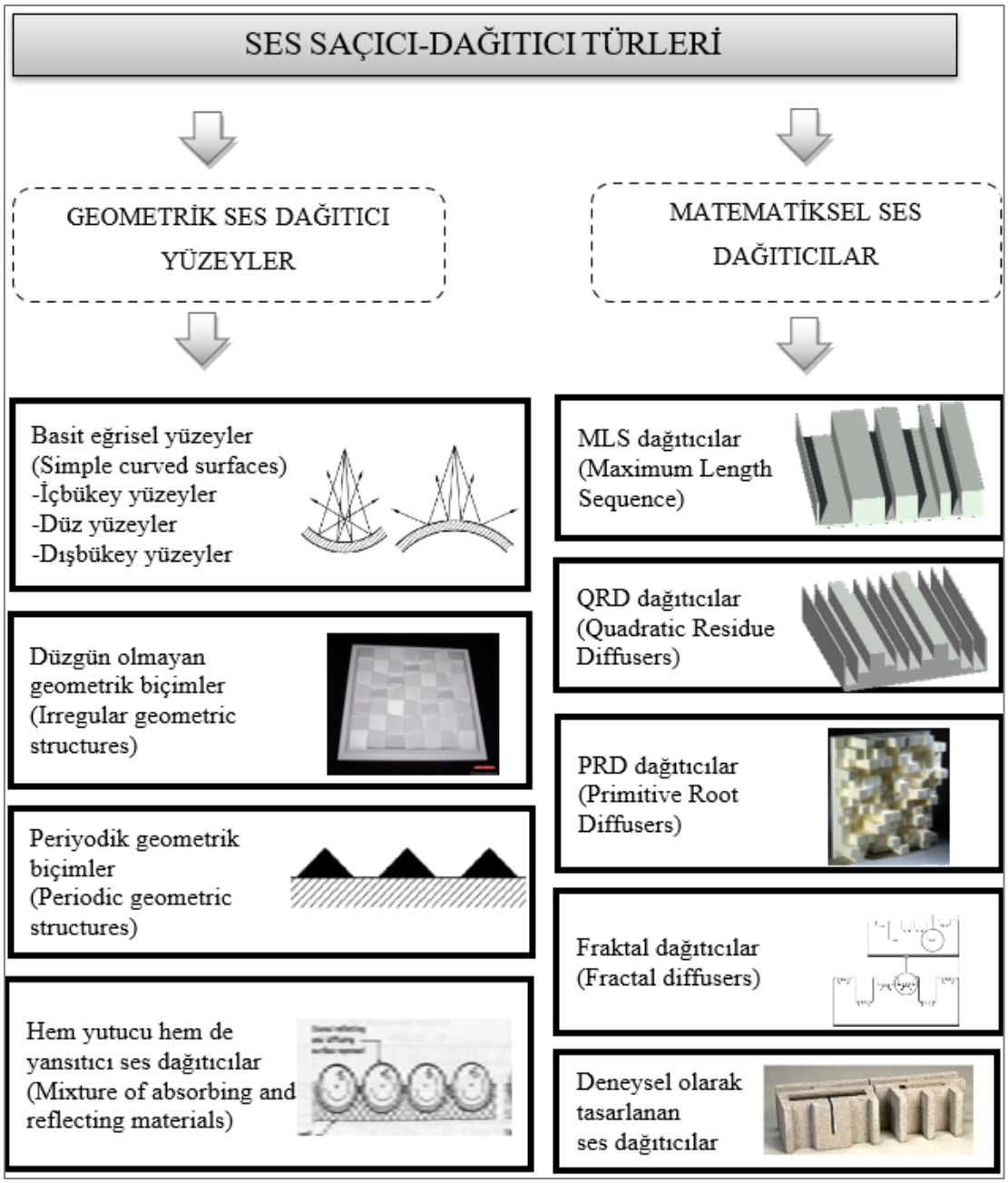
Dağılma katsayısı yüzeyden sesin nasıl homojen (düzenli) saçıldığını ifade ederken, saçılma katsayısı sadece yansıyan sesin ne kadarının saçıldığını ölçer. Dağılma katsayısı nitel kısmını, saçılma katsayısı ise daha nicel (sayısal) kısmını tanımlar. Akustik tasarım yapılırken her iki katsayı da dikkate alınması gerekmektedir (ISO 17497 -2).



Şekil 3.7. Farklı akustik nitelikleri olan yüzeylerin zamansal ve grafiksel dağılım yanıtları (Cox ve D'Antonio, 2004: 2)

3.3. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Türleri

Ses saçıcı dağıtıcı türleri; geometrik ses dağıtıcı yüzeyler ve matematiksel ses dağıtıcılar olarak incelenmektedir. Geometrik ses dağıtıcı yüzeyler belirli bir geometrik form kullanılarak üretilirken, matematiksel ses dağıtıcılar belirli bir matematik serisi hesaplama yöntemi ile üretilmektedir. Literatürde kullanılan ses saçıcı-dağıtıcı türleri Şekil 3.8.'de sunulmuştur (Rindel, 2004; Pektaş, 2014).



Şekil 3.8. Ses saçıcı-dağıtıcı türleri

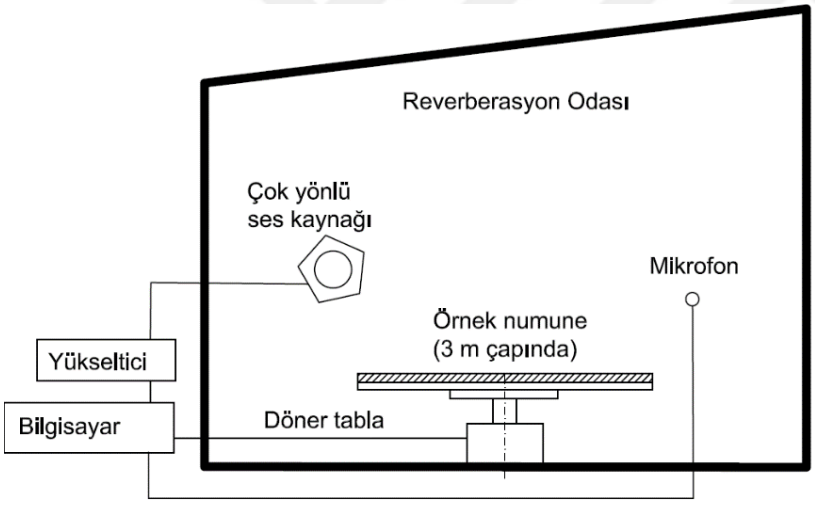
3.4. Saçılma Katsayısı Ölçüm Yöntemleri

Saçılma katsayısı ölçümü ISO 17497 -1: Akustik-yüzeylerin ses saçıcılık özellikleri - Bölüm 1: reverberasyon odasında saçılma katsayısı ölçümü (ISO 17497 -1: Acoustics – Sound scattering properties of surfaces – Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room) standardında tariflenmiştir. Dağılma katsayısı ölçümü de ISO 17497 -2: Akustik - Yüzeylerin ses saçılma özellikleri - Bölüm 2: Serbest alanda yönlü difüzyon katsayısının ölçülmesi (ISO 17497 -2: Acoustics — Sound-scattering

properties of surfaces — Part 2: Measurement of the directional diffusion coefficient in a free field) standardında tariflenmiştir. Bu standartta ses yutma katsayısının geleneksel ölçümlerine ek olarak numune bir döner tabla üzerine yerleştirilerek farklı numune yönelimleri için dürtü yanıtları elde edilmektedir (Lin, Hong ve Lee, 2010).

Saçılma katsayısının (s) ölçümü reverberasyon odasında gerçekleştirilir. Ölçüm sistemi, üzerinde çalışılan numunenin monte edildiği bir döner tabla, bir ölçüm mikrofonu, çok yönlü bir ses kaynağı, bir ölçüm sinyal üreteci ve bir sinyal analizöründen oluşur (Kamisinski, Rubacha ve Pilch, 2010). Ölçümler 1/1 ölçekte veya 1/N ölçekte model üzerinden yapılabilmektedir. Reverberasyon odasının hacmi ile test numunesi arasındaki ilişki aşağıda verilen eşitlikteki gibi olması gerekmektedir (Rindel, 2004).

$$N^{-3} \cdot 200\ m3 \leq V \tag{3.3}$$



Şekil 3.9. Ses saçıcılık katsayısı ölçüm yöntem diyagramı (Kamisinski, Rubacha ve Pilch, 2010)



Resim 3.1. Örnek numune için saçılma katsayısı ölçüm düzeneği (Rindel, 2004)

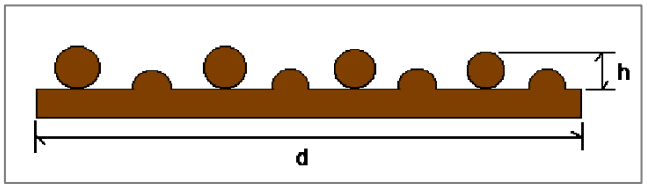
Ölçüm doğruluğu yüksek ses yutuculuğuna sahip numuneler için azalmaktadır. Bu nedenle;

- Ses saçıcı yüzeyler genellikle mümkün olduğunca ses yansıtıcı olmalı,
- Ses yutma katsayısı $\alpha_s < 0{,}50$ olmalı,
- Ölçümde döner tabla sürekli döndürülme kullanılabilir,
- Toplam ölçüm süresi döner tablanın tur sayısının katsayısına eşit olmalı,
- En az 3 mikrofon ve 2 kaynak konumu kullanılmalıdır (Rindel, 2004).

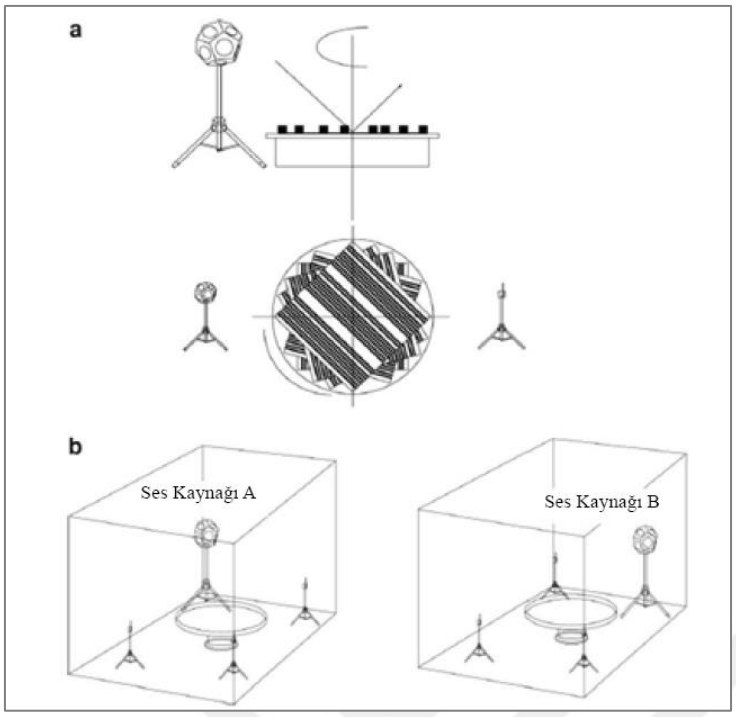
Test numunesinin çap ve derinlik arasındaki bağıntı;

$$h \leq d / 16 \qquad (3.4)$$

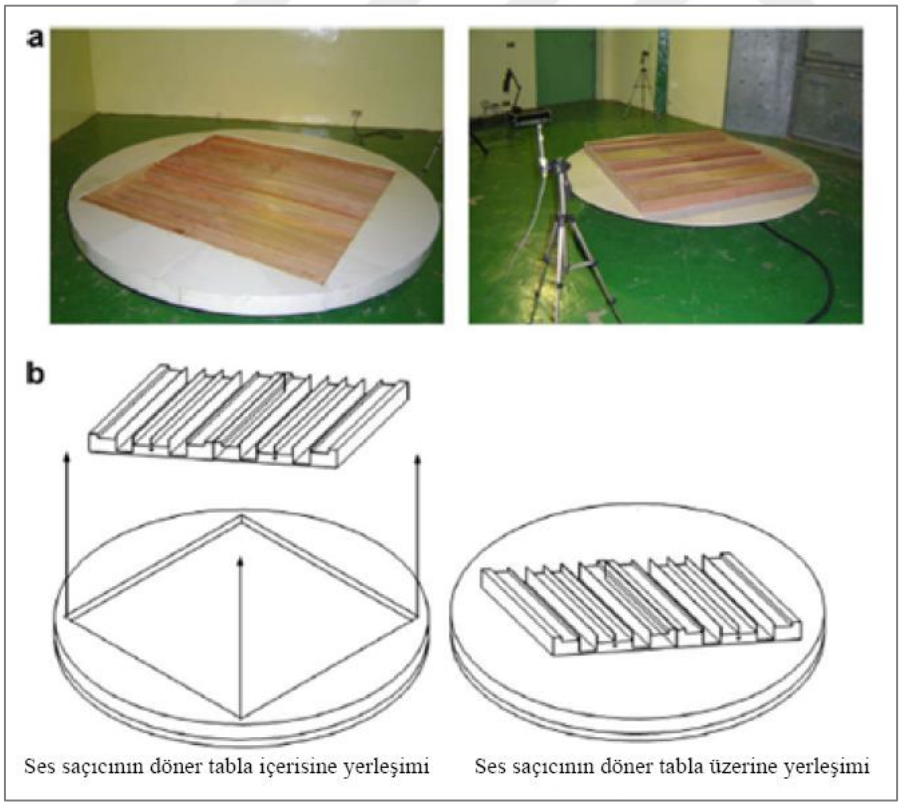
d döner tablanın çapı olmak üzere, numune derinliği h ile ifade edilmiştir.



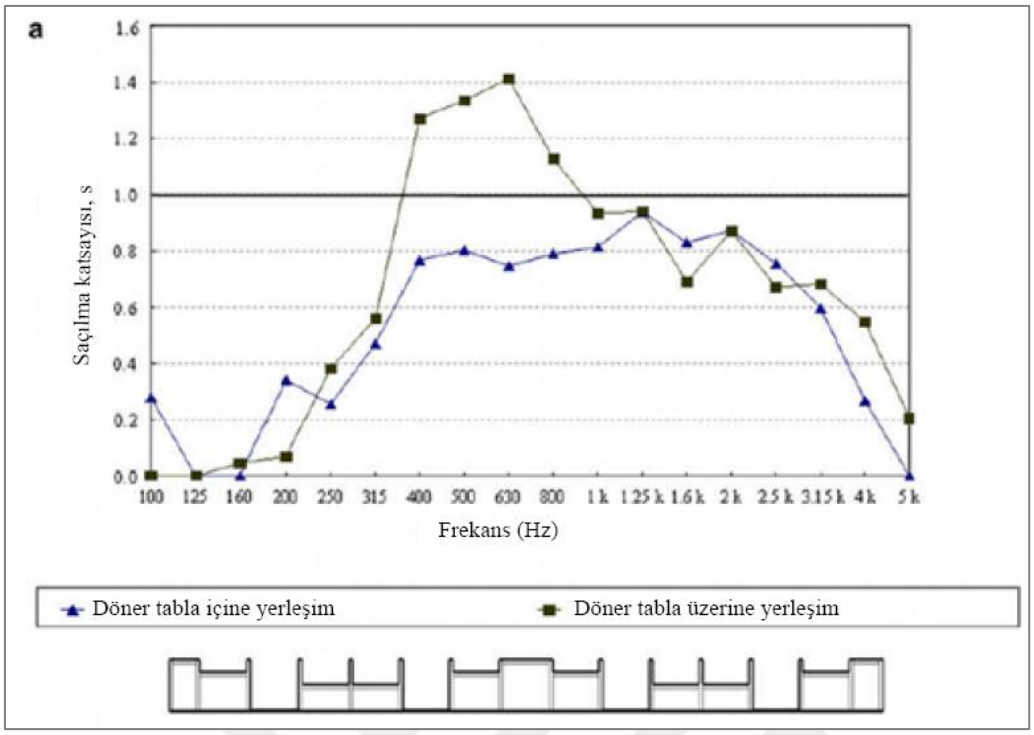
Şekil 3.10. Yapısal derinlik sınırı (Rindel, 2004)



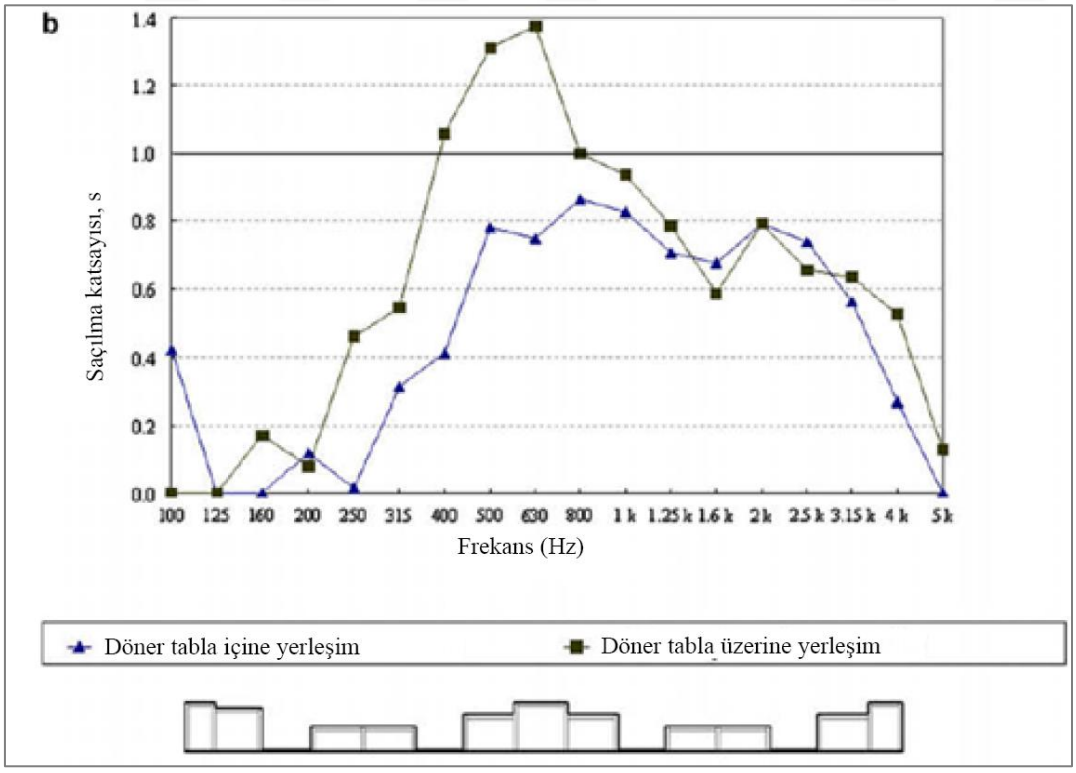
Şekil 3.11. Numune ve kaynak konumu şematik ifadesi (Lin, Hong ve Lee, 2010)



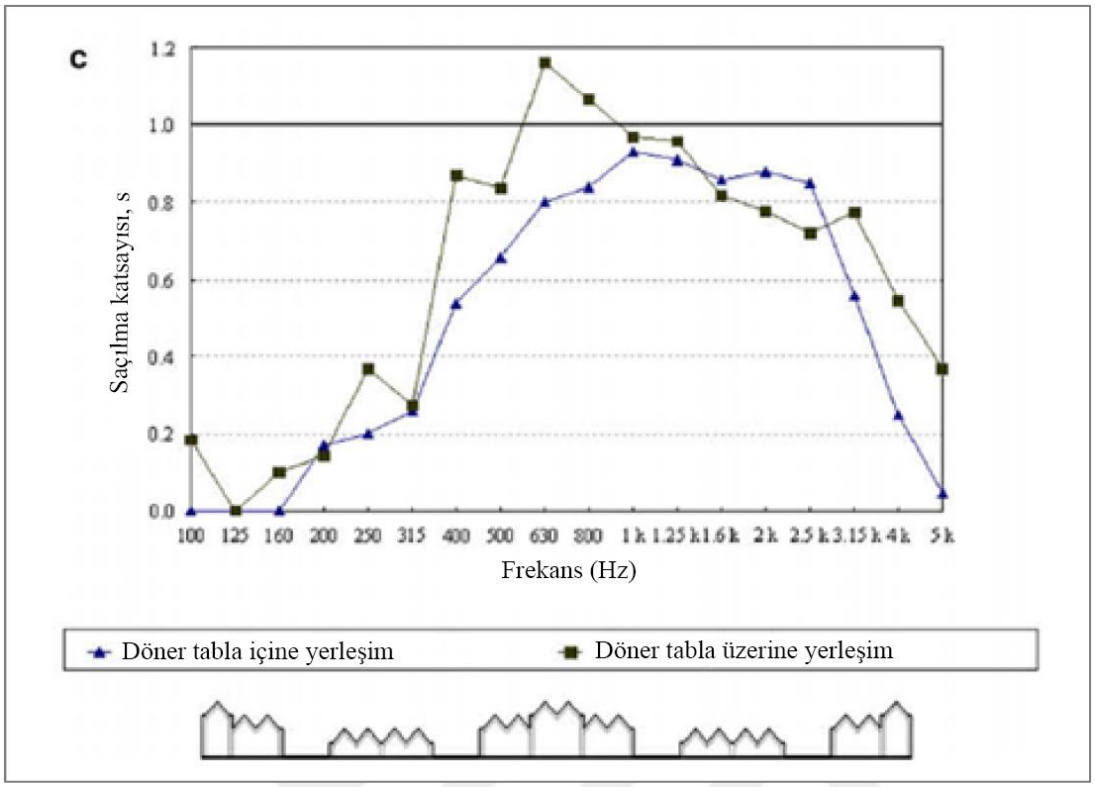
Şekil 3.12. Deney düzeneği ve numunenin döner tabla üzerinde alternatif yerleşimi (Lin, Hong ve Lee, 2010)



Şekil 3.13. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- flutter saçıcı yüzey (Lin, Hong ve Lee, 2010)



Şekil 3.14. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- düz saçıcı yüzey (Lin, Hong ve Lee, 2010)

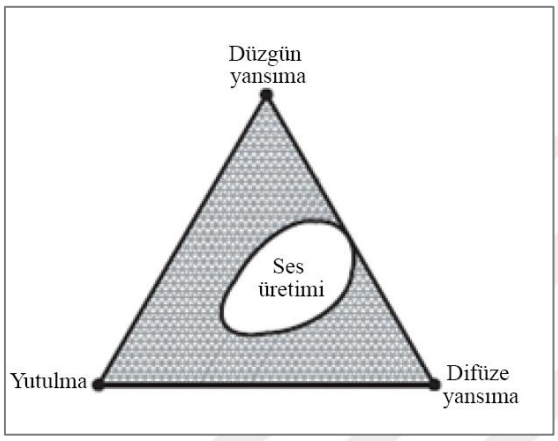


Şekil 3.15. Farklı plywood ses saçıcı panellerin döner tabla üzerine ve içine yerleştirildiği durum için saçıcılık katsayıları kıyaslaması- üçgensel saçıcı yüzey (Lin, Hong ve Lee, 2010)

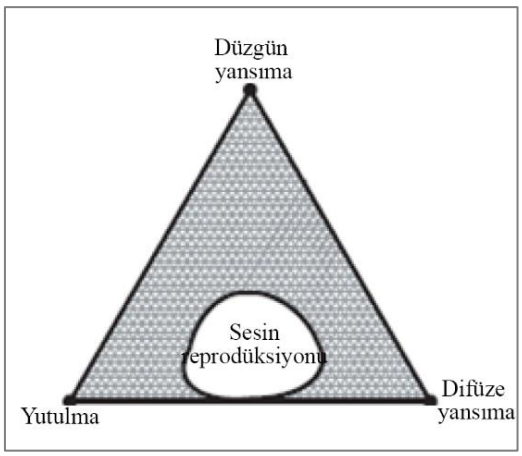
Ses saçılma katsayısı s, bir yüzeyin saçılma özelliklerini nicel olarak ifade etmeyi mümkün kılmaktadır. Basit fiziksel yorumu nedeniyle, saçılma katsayısı s, iç mekanların akustik özelliklerini tahmin etmek için tasarlanan yazılımlarda ses yutma katsayısına ek olarak kullanılmaktadır. Simülasyon sonuçları ile gerçek odalarda ölçülen parametreler arasında daha iyi korelasyon sağlamaktadır. Ancak basit yorumlanmasına rağmen, saçılma katsayısı s'nin belirlenmesi zaman almakla birlikte uygun şekilde donatılmış bir ölçüm laboratuvarı gerekmektedir. Tekrarlanabilir ölçümler elde etmek için mikrofonların ve ses kaynağının yüksek doğrulukla konumlandırılması gerekir. Ayrıca, ölçüm sırasında akustik bozulmalar yaratmayan ve numunenin eşit dönüş hızını sağlayan yeterince yüksek torka sahip bir döner tabla kullanılması da gereklidir. Ölçüm sırasında sabit bir sıcaklık, nem ve hava hareketini azaltma ihtiyacı da önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu da ölçüm süresini ve odada insanların bulunmasını gerektiren tüm işlemleri kısaltır. Yöntemin bir sınırlaması, yalnızca düşük ses yutma katsayısına sahip, yani 0,5'in altında olan yapılar üzerinde ölçüm yapabilmesidir (Kamisinski, Rubacha ve Pilch, 2010).

3.5. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Kullanım ve Uygulama Alanları

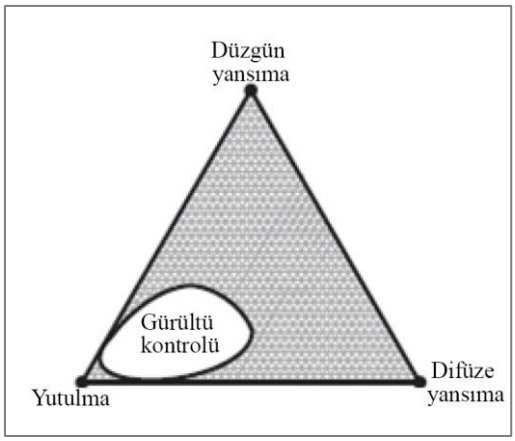
İyi bir mimari akustik tasarım doğru oda hacmi, doğru oda formu ve yüzey hareketleri, ses yutucu, saçıcı ve yansıtıcı yüzeylerin uygun bir kombinasyonunu ve yerleşimini gerektirir. Mimari akustik ile ilgili alanlar, genel olarak sesin üretildiği (konser salonu vb.), sesin reprodüksiyonu yapılan mahaller (kayıt stüdyosu vb.) ve gürültü kontrolü gerektiren mahaller olarak ayrılabilir (Cox ve D'Antonio, 2004: 1-3).



Şekil 3.16. Konser salonları, oditoryum, tiyatrolar, konferans salonları, mahkeme salonları ve ibadet alanları gibi sesin üretildiği hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi (Cox ve D'Antonio, 2004: 1-3)



Şekil 3.17. Kayıt ve yayın stüdyoları, video konferans odaları ve ev sinemaları gibi sesin reprodüksiyonun yapıldığı hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi (Cox ve D'Antonio, 2004: 1-3)



Şekil 3.18. Fabrikalar, spor salonları, yüzme havuzları, kütüphaneler, gürültü bariyerleri gibi gürültü kontrolü gereken hacimler için üç akustik uygulamanın göreceli önemi (Cox ve D'Antonio, 2004: 1-3)

Oditoryumlarda eko kontrolü için;

- Ekonun kontrolü için ses yutucu malzeme kullanımı önerilmektedir, ancak ses saçıcı-dağıtıcılar da kullanılabilmektedir. Ses saçıcı-dağıtıcılar ses enerjisini sönümlemediği için elverişli olduğu durumlar mevcuttur. Bu durum orkestraya sahip büyük salonlarda önemli olmaktadır. Çünkü müzisyenler tarafından üretilen seslerin her parçası korunması ve ses yutucular ile sönümlenmemesi gerekir. Diğer durumlarda, ses saçıcı-dağıtıcılar ve ses yutucular arasındaki kullanım durumu, yutulan ses enerjisinin reverberasyon, müzik tarafından çepeçevre kuşatılma duygusu ve konuşmanın anlaşılabilirliği gibi diğer akustik parametrelere göre değişecektir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Küçük ses kayıt stüdyolarında renklenmeyi azaltmak için;

- Küçük bir ses kayıt stüdyosu veya müzik prova odasında, oda yüzeyleri genellikle dinleyiciye oldukça yakındır. Bir ses saçıcı-dağıtıcı (veya bir ses yutucu) için en verimli yerleştirme, birinci dereceden düzgün yansımaların üretildiği noktalardır (geometrik yansıma noktaları). Odada biraz canlılık oluşturmak isteniyorsa, ses yutucu ve saçıcı-dağıtıcılardan oluşan bir kombinasyon, düz duvarların oluşturduğu keskin yansımalardan daha iyi olmaktadır. Sonuç olarak, sesin üretiltildiği alanların çoğu, ses yutucu ve saçıcı-dağıtıcı kombinasyonuna sahip odalar kullanmaktadır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Reverberasyon odalarında modların kontrolü için;

- Reverberasyon odaları dağınık bir ses alanı üretmek üzere tasarlanmıştır. Bu, yansıyan enerji yoğunluğunun odanın her yerinde aynı olduğu ve sesin tüm yönlerinin aynı olduğu bir ses alanıdır. Reverberasyon odaları, diğer laboratuvarlar tarafından yorumlanabilen ve eşleştirilebilen tekrarlanabilir sonuçlar sağlayan sabit, referans bir test ortamı olduğu için bu koşulu sağlaması gerekmektedir. Dağınık bir alan elde etmek için kullanılan yöntemlerden biri yüzey veya hacim difüzörleridir. Reverberasyon odasındaki durağan dalga modları enerji yoğunluğunun dengesiz olmasına neden olmaktadır. Difüzörlerin modal yayılım yollarına yerleştirilmesi, ses alanını daha homojen hale getiren ek modlar oluşturmaktadır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Yeraltı veya metro istasyonlarında konuşmanın anlaşılabilirliğinin iyileştirilmesi için;

- Birçok yeraltı (metro) istasyonu dağınık ses alanına sahip olmayan alanlardır. Uzun ve dar formu, istasyonun uzunluğu boyunca ortalama serbest yolların enine yayılma için olanlardan çok daha uzun olduğu anlamına gelir. Sonuç olarak, enine yayılan ses için istasyonun uzunluğu boyunca yukarı ve aşağı hareket eden sesten çok daha hızlı bozulur. Bu da çift bozunma ve boşlukta iki reveberasyon süresi ile sonuçlanır. Reverberasyon süresinin uzun olması, kelimelerin birbirine girmesine ve ayırt edilmesinin zorlaşmasına neden olduğundan konuşmanın anlaşılabilirliğinde sorunlara yol açmaktadır. Kang, istasyonun yan duvarlarına ses saçıcı-dağıtıcı uygulayarak, mekanın reverberasyonunu azaltmak ve konuşmanın anlaşılabilirliğini iyileştirmek için daha fazla enine yayılımın arttırabileceğini göstermiştir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56; Kang, 1995: 391-402).

Oditoryumlarda mekansal algıyı arttırmak için;

- Salonun tasarımında, konser salonlarında yanal yansımaların önemli olduğu, çünkü bunların odalarda bir müzik tarafından çepeçevre kuşatılma duygusu veya mekânsal algı yarattığı tespit edilmiştir. Açık havada dinleyiciler sesi doğrudan orkestradan alır, duvarlardan yansıma olmaz ve ses uzakta görünür. Müzik bir odada çalındığında, özellikle de yanlardan gelen çok sayıda yansıma varsa, duvarlardan, tavandan ve zeminden gelen yansımalar sesi süsler. Ses sahneden dinleyiciye ulaştığında, her iki

kulakta da aynı ses sinyali alınır, çünkü kafa simetriktir ve her iki kulağa giden ses aynı yolu kat eder. Yansımalar yandan geldiğinde, en uzaktaki kulağa giden ses başın etrafında bükülmek zorunda olduğundan, her bir kulaktaki ses farklıdır. Bu da sesin daha geç ulaştığı ve önemli ölçüde değiştiği anlamına gelir. Beyin, kulak sinyalleri arasındaki farklar nedeniyle bir odada olduğunu hisseder ve müzik tarafından sarılmış olma hissi oluşur. Yanal yansımalara duyulan bu ihtiyaç geniş baş üstü yüzeylere ses saçıcı-dağıtıcı uygulamaya itmiştir. Ses saçıcı-dağıtıcılar, mekansal algı ve netlik için erken gelen yanal yansımaları arttırmaktadır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Büyük hacimlerde erken yansımalardan kaynaklanan olumsuz etkileri azaltmak için;

- Alçak tavanlı hacimler gibi büyük hacimlerde de akustik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Tavan yansıması, hacmin arka tarafındaki izleyiciler için doğrudan sesten hemen sonra gelebilir ve bu da comb filter etkisine neden olabileceğinden renklenmeye yol açabilir. Kavisli difüzörler, comb filter etkisini en aza indirmek için nispeten alçak tavandan gelen yansımaları dağıtmak için kullanılabilir. Tavan difüzörleri kullanmanın ikincil bir etkisi de tavandan erken gelen yanal olmayan yansımaların seviyesini azaltmak olabilir. Bu, mekansal izlenimi artırabilir, ancak odanın geometrisi ve kullanılan difüzörler önemli olmaktadır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Sahne üzeri kanopi tasarımında ses saçıcı-dağıtıcı kullanımı;

- Kanopi, sahnede orkestradaki müzisyenler arasında daha iyi iletişimi arttırmak, müzisyenler arasında daha iyi bir birlikteliğe ve sonuç olarak daha kaliteli konser sağlamak amaçlı tasarlanmaktadır. Bu, sahnedeki her bir müzisyenin enstrümanından diğer müzisyenlere yansıyan enerjinin eşit dağılımının sağlanması ve yansıyan enerjinin yaklaşık 20-30 ms geciktirilmesiyle elde edilir. Sesi, ses enerjisinin az iletildiği izleyici alanlarına doğru yansıtmak için bir yansıtıcı olarak da kullanılabilir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).
- Bununla birlikte, sahne üstü kanopilerden ekstra tepe yansımaları sağlamanın comb filtrer etkisine ve görüntü kaymasına yol açma riski vardır. Geniş açık alanlara sahip kanopiler genellikle sesin büyük bir kısmı sahne kanopisinden geçerek yukarıdaki boşluğa gidecek, seyirciye veya sahneye oditoryumun gerçek tavanından geri dönecek ve böylece yankılanma sağlayacak şekilde tasarlanır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

- Kanopi elemanları düz ise, basınç dağılımı düzensiz olacaktır. Bazı alıcı konumları için bir kanopi elemanından düzgün yansımalar olacaktır ve bu nedenle orta-yüksek frekansta güçlü bir yansıma seviyesi ortaya çıkacaktır. Diğer alıcı konumları için, geometrik yansıma noktası kanopi elemanlarını kaçırır ve düşük bir yansıma seviyesi ortaya çıkar. Sonuç olarak, yansıtıcılar arasında boşluklar bulunan kanopiler, kanopiler arasındaki boşluklar nedeniyle yansımalardan yoksun olan alıcılara sesi dağıtarak sahne alanı üzerinde daha düzgün bir kapsama alanı sağladıkları için dağıtıcı elemanların kullanılması fayda sağlar (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

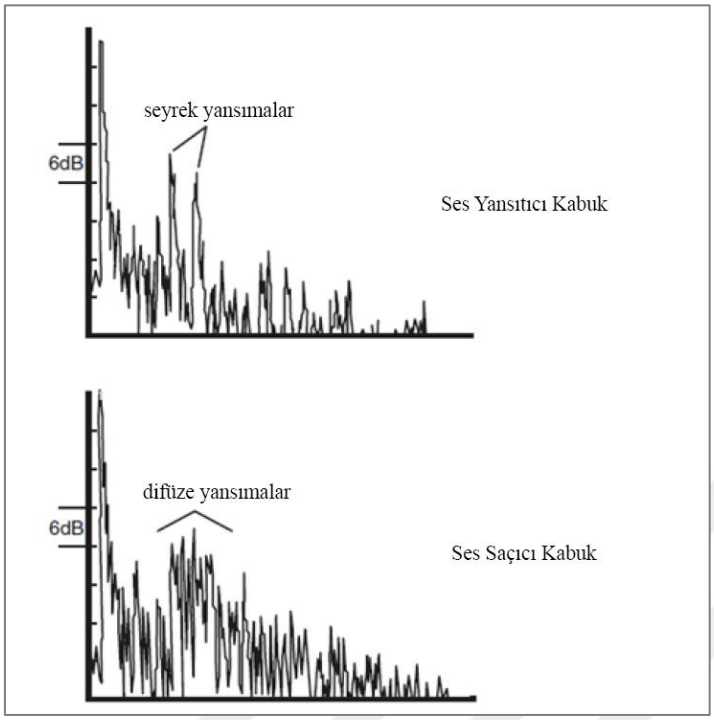
Sahne çevresi arka ve yan yüzeylerde ses saçıcı-dağıtıcı kullanımı;

- Müzik performansları sırasında müzisyenleri çevreleyen, geleneksel olarak akustik kabuk olarak adlandırılan yüzeylere ihtiyaç vardır. Akustik kabuk, seyirciye doğru yansıtılan sesi güçlendirir ve harmanlar. Akustik kabuklar genel olarak bir arka duvar, genişletilmiş yan duvarlar ve bir üst kanopi içerir. Kabuk yüzeylerinin sanatçılara göre yönelimine ek olarak, akustik yüzeylerin doğası da iyi performans için kritik öneme sahiptir. Bir kabuk ses yansıtıcı, ses saçıcı ve daha az sıklıkla ses yutucu olarak tasarlanır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).
- Marshall ve diğerleri müzisyenler arasındaki erken yansımaların, aşağıdaki durumlarda grup olarak çalma hissini büyük ölçüde geliştirdiğini öne sürmüştür (Marshall, Gottlob ve Alrutz, 1978):

a) Müzikal program, materyalinin doğasına bağlı olarak, tipik olarak doğrudan sesten sonra 17 ila 35 ms arasında bir zamansal pencere içinde meydana gelir.
b) Ritim ve ifade için ipucu olan atak geçişlerini içeren, kabaca 500 ila 2000 Hz arasında yüksek frekans içeriği içermesi.
c) Tüm performans pozisyonlarında topluluktaki tüm parçaların bir dengesini içerir.

(a) koşulu, kabuğun icracılardan uygun bir mesafede yerleştirilmesiyle kolayca karşılanırken, (b) ve (c) koşulları daha çok yüzey özelliklerine bağlıdır. Akustik kabuklar düz yansıtıcı panellerden kavisli yüzeyler, çok silindirli ve yivli sütunlar ve yansıma fazı ızgaraları gibi çeşitli yüzey düzensizliği biçimlerine kadar çok çeşitli yüzeyler kullanmıştır. Optimum şekil ve oryantasyonu elde etmek için çok boyutlu optimizasyonu kullanmaktır. Şekil 3.19'da bir kabuktan gelen düz ve dağınık yansımalar karşılaştırılmaktadır. Dağınık yansımalar zamana yayılmıştır ve comb filter etkisi nedeniyle renklenme ve sertlik

olasılığını düşüren düşük seviyededir. Sesin dağınık yansıması ayrıca (b) ve (c) gerekliliklerini de karşılamaktadır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).



Şekil 3.19. Bir sahne kabuğundan gelen düz ve dağınık yansımalar (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56)

- D'Antonio performansı optimize etmek için yansıtıcı, dağıtıcı ve yutucu yüzeylerin uygun kombinasyonunu ve yönünü belirlemek amacıyla objektif ölçümlerin yanı sıra müzisyenlerin algısal değerlendirmelerini kullanarak bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Çalışma, oda gruplarına bakarak başlamıştır. Her bir çalma ortamı için beş farklı mikrofon sistemi kullanılarak aynı anda kaydedilen beş sinyal elde edilmiştir (D'Antonio, 1991):

1. Kulak kanalının girişinde mikrofonlar bulunan bir manken, kendini maskeleme olmadan topluluk karışımını belirlemek için grubun içine yerleştirilmiştir.
2. Probe mikrofonlar, müzisyenin enstrümanının kendi kendini maskelemesi ile topluluk karışımını belirlemek için kulak kanalına yerleştirilmiştir.
3. Kulak kanalının girişinde bulunan kafa bandı mikrofonları da kendini maskeleme ile topluluk uyumunu izlemek için kullanılmıştır.
4. Tek sesli kontrol olarak grubun içine çok yönlü bir mikrofon yerleştirilmiştir.

5. Evin ön tarafına aralıklı çok yönlü mikrofonlar yerleştirilmiştir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

- Yaylı çalgılar topluluğu, sırasıyla yanal ve dikey difüzyon üreten alt dikey kuyulara ve üst yatay kuyulara sahip karışık yönelimli bir kabuğu tercih etmiştir. Bazı müzisyenler daha iyi bas bağlantısı için alt yüzeylerde düz yüzeyleri tercih etmiştir. Birbirini ve kendini işitme geliştirilmiştir. Genel tepki, dağıtıcı kabuğun sıcaklık ve samimiyet sağladığı ve sertliği en aza indirdiği yönündeydi. Sıcaklık ve samimiyet için tercih edilen kabuk mesafesi yaklaşık 0,9-1,8 m olup, 4,9 m yüksekliğin 2,4 m'den daha iyi olduğu konusunda anlaşmaya varmıştır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).
- Bir pirinç beşlisi, tamamen yansıtıcı bir kabuktan kaynaklanan sert yüzeyleri ve dikey kuyulara sahip alt difüzörleri ve yatay kuyulara sahip üst difüzörleri tercih etmiştir. Karşılıklı ve kendi kendine işitmenin yanı sıra yansıtılan ses kalitesi için tercih edilen mesafe 2,7 m olarak belirlenmiştir. Korno ikilisi yaklaşık 1,8 m'de düz yüzeyler ve difüzörlerin bir karışımını tercih etmiştir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).
- Oda grubu araştırmasının ardından, bir senfoni orkestrasının gereksinimleri araştırılmıştır. Orkestranın doğasında bir dengesizlik vardır, çünkü vurmalılar ve üflemeliler doğal olarak yaylılardan ve nefeslilerden daha yüksek seslidir. Birçok geleneksel kabuk, mevcut müzik formatları ve orkestra düzenlemeleri için tasarlanmış sabit akustik elemanlar kullanarak, müzisyenlerin çoğunu memnun etmek için ortalama bir akustik çözüm kullanılmaktadır. Her müzisyenin ve müzik bölümünün kendi yerel akustik ortamı için farklı bir tercihi olduğundan ve müzik formatları, orkestra düzenlemeleri ve şefin tercihleri değiştiğinden, değişken bir akustik tasarımın yararı araştırılmıştır. Sonuç olarak, en gürültülü ve en sorunlu enstrümanların bulunduğu orkestranın arka kısmında yerel akustik ortamlara izin verecek açık mimari modüler bir çerçeve ortaya çıkmıştır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).
- Baltimore Senfoni Orkestrası ile Meyerhoff Senfoni Salonu, Baltimore, ABD'de anketler ve deneysel ölçümler kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Kabuk, Resim 3.2.'de gösterilen kabuğa benzer şekilde sahnenin tüm çevresine yerleştirilmiştir. Kabuk, sesin kabuğun arkasındaki sert mevcut duvardan yansımasına izin veren daha düşük bir açık destekten oluşmuştur. Bir sonraki 0,6 m yüksekliğindeki katman, yatay olarak yayılan tek düzlemli Schroeder difüzörlerden oluşan ve bu seviyenin merkezi oturanların kulak hizası olarak belirlenmiştir. Bir sonraki 0,6 m yükseklikte, kuyuların yatay olarak yönlendirilmesinden kaynaklanan tüm dikey difüzör yer almıştır. Dikey olarak yayılan

difüzörlerin üzerine, difüzörlerin yüzüne göre 45'lik bir açıyla 0,6 metrelik bir konsol kanopi yerleştirilmiştir. Deneyin amacı, müzisyenlerin topluluk hissini ve ritmik performansını geliştirmek için dış yaylıları nefeslilerle harmanlamak, üflemelilerin sertliğini azaltmak, yaylıların dolgunluğunu ve sıcaklığını yoğunlaştırmak ve güçlü speküler yansımaları kontrol etmektir. Müzisyenler, anketler aracılığıyla topluluk halinde çalmada iyileşme olduğunu bildirmiştir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).



Resim 3.2. Sahne etrafında ses saçıcı yüzey kullanımı, Corning Glass Centre, NY (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56)

İçbükey yüzeylerden kaynaklanan odaklanmayı engellemek için;

- İçbükey yüzeyler, içbükey aynalara benzer şekilde odaklanmaya neden olabilir. Bu durum, genellikle istenmeyen bir durum olan, oda içinde eşit olmayan ses seviyelerine yol açabilmektedir. Ayrıca, içbükey yüzey enerjiyi belirli yerlerde yoğunlaştırdığından, bu yansımanın mekanın genel yankılanmasının önemli ölçüde üzerinde olması ve dolayısıyla yankı sorunlarına veya renklenmeye neden olması riski vardır. Bunun bir örneği, büyük kubbenin uzun gecikmeli ve odaklanmış yansımalarla ilgili sorunlara neden olduğu Royal Albert Hall'dur. Bunun çözümü, sesi dağıtmak ve aynı zamanda izleyicilere daha erken yansımalar sağlamak için iyi bilinen mantarlar olan hacim dağıtıcıları yerleştirmektir. İçbükey yüzeyin kaldırılamayacağı varsayıldığında, mevcut tek uygulama ses yutucu veya difüzörlerdir. Her iki uygulama da işe yarayacaktır; seçim yankılanma gibi diğer akustik hususlara bağlıdır (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Gürültü bariyerlerinde ses saçıcı-dağıtıcı kullanımı;

- Trafik gürültü bariyerleri, yoldan komşu evlere gürültü yayılımını azaltmak için kullanılır. Yol kenarındaki bariyerlerin karşılaştığı bir sorun, yüksek kenarlı araçlardan gelen çift yansımaların gürültünün bir kısmının bariyerleri atlamasına neden olmasıdır. Diğer bir sorun ise yolun bir tarafındaki bariyerlerden gelen yansımaların diğer taraftaki bariyerlerin üzerinden geçmesidir. Bu soruna bir çözüm de ses yutucu uygulamaktır. Yutulma ile ilgili sorun, yoğun yolların yanında yaygın olan sert rüzgar, tuz ve su koşulları altında kötü bir şekilde aşınma eğiliminde olmasıdır. Sonuç olarak, özel ve pahalı dayanıklı ses yutucu kullanılmadığı sürece ses yutucu performansının zaman içinde düşmesi muhtemeldir. Difüzörler, bu soruna bir çözüm sunabilir. Sesin dağıtılmasıyla yansıma sorunları azaltılmış olur. Bu çözümün zorluğu, ses enerjisinin difüzörler tarafından ortadan kaldırılmaması, sadece başka yönlere saçılmasıdır. Rüzgar ve diğer meteorolojik koşulların, dağılan gürültünün, gürültüye hassas alanlara savrulmasına veya kırılmasına neden olma riski vardır. Sonuç olarak, bu çözümün çok çeşitli hava koşulları altında dayanıklı hale getirilmesine ihtiyaç vardır. Yakın zamanda yapılan çalışmalar, ağaçların yol kenarındaki bariyerlerin etrafındaki türbülansı azaltmak için kullanılabileceğini ve bu nedenle doğal rüzgar kırılmalarının yayılan bariyerlerin performansının değişen meteorolojiye karşı daha sağlam olmasını sağlayabileceğini göstermiştir. Son zamanlarda, faz ızgaraları, dirençli bir eleman olarak hareket eden yüzdeki delikli bir metal ekran kullanılarak yutuculuk sağlamak için optimize edilmiştir (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56).

Sokak kanyonlarında ses saçıcı-dağıtıcı kullanımı;

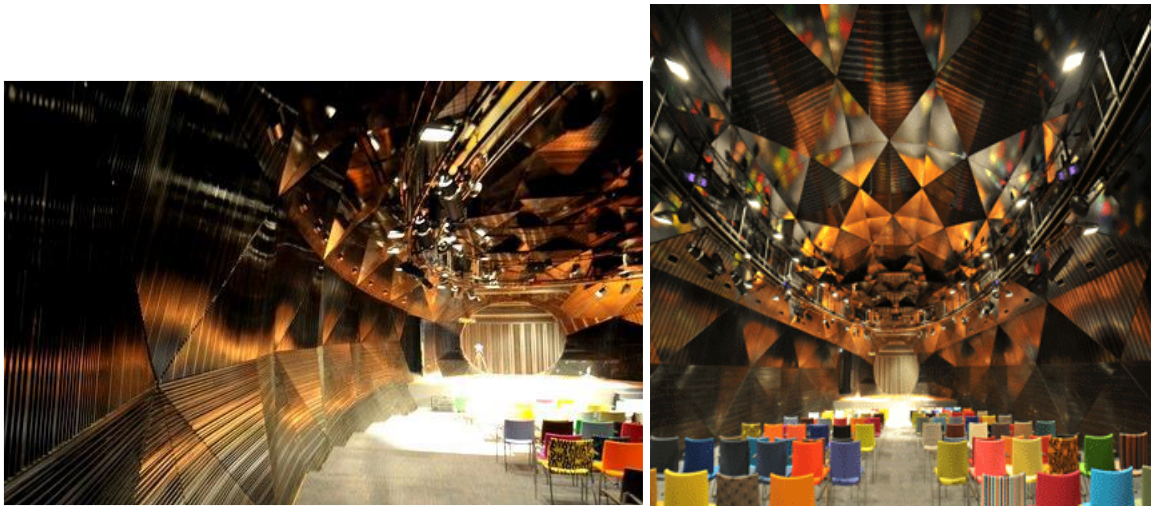
- Sokak kanyonları, her iki tarafında yüksek kenarlı binalar bulunan sokaklardır ve ses seviyelerinin birikebileceği ve gürültü seviyelerinin kabul edilemez hale gelebileceği yarı kapalı bir alan oluştururlar. Sokak kanyonunu oluşturan binaların yüzey özellikleri ses seviyelerini etkiler. Örneğin, balkon cepheleri sesi sokak seviyesine geri yansıtarak gürültü sorunlarını daha da kötüleştiren talihsiz bir etkiye sahip olabilir. Öte yandan, difüzörler bina cephelerinden yansıyan sesi kırarak dağılmasına ve dolayısıyla sokak seviyesinde en aza indirilmesini sağlayabilir. Kang, bina cephelerinin sokaklardaki gürültü seviyeleri üzerindeki etkisini karşılaştırmak için geometrik bir bilgisayar modeli kullanmıştır. Dinleyicinin trafik kaynaklarına çok yakın olmaması koşuluyla, dağınık

yansıtıcı yüzeylerin trafikten kaynaklanan ses seviyesini 2-4 dB azalttığını bulmuştur (Cox ve D'Antonio, 2004: 23-56; Kang, 2000: 1394-1404).

3.6. Ses Saçıcı-Dağıtıcı Kullanılan Salon Örnekleri

3.6.1. Sakıp Sabancı Müzesi Çok Amaçlı Salonu

Salonun iç kabuğu da temel olarak elipsoit formunu takip etmek üzere kurgulanmıştır. Ancak içbükey formların neden olduğu akustik arızaların etkilerinin azaltılabilmesi için söz konusu form iç kabuğa taşınırken bazı geometrik farklılıklar yaratılmaya çalışılmıştır. Elipsoidi tarif eden bu formda yüzey düzensizlikleri yaratılarak yansımaların odaklanması etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. Buna göre taşıyıcı kuşakların tarif ettiği içbükey formun bazı tanımlı bölgelerdeki düğüm noktalarından salonun içerisine doğru 20-35 cm aralığında taşınarak yüzeylerde geometrik düzensizlikler yaratılmıştır. Bunun yanı sıra salon dahilinde görece yüksek reverberasyon süresi elde edilebilmesi, ışınsal yansımaların saçılabilmesi ve içbükey formların dar açılı yansımalar ile sesin içbükey yüzeylere yakın ilerleyerek istenmeyen algılar oluşturmasının (fısıldayan kubbe etkisi) bir miktar önüne geçebilmek için yoğun miktarda saçıcı yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeylerde QRD (Quadratic Residue Difuser) tipi saçıcıların kullanımı gerçekleştirilmiştir. İmalat ve montaj sorunları göz önüne alınarak sahne bölümünde daha düşük frekans değerlerine kadar saçınım sağlayabilecek kuyu derinliği fazla olan büyük yivli QRD elemanlar, salonun sahne haricindeki bölümlerinde ise daha yüksek frekans değerlerinde saçınım sağlayabilen kuyu derinliği az olan küçük yivli QRD elemanlar kullanılmıştır. QRD kullanılmayan yüzeylerde ise genel olarak düz ahşap panolar kullanılarak bir miktar ışınsal yansımaya ve düşük frekanslı yutuma müsaade edilmiştir. İç ahşap kabuğu oluşturan tüm bu ahşap yüzeylerin altyapısında ana çelik kuşaklara bağlı bir alt konstrüksiyon ve ahşap takozlar kullanılmıştır. Bu teknik ile düğüm noktaları içeri doğru taşınarak düzensizlikler yaratılmıştır (Talayman, 2011).

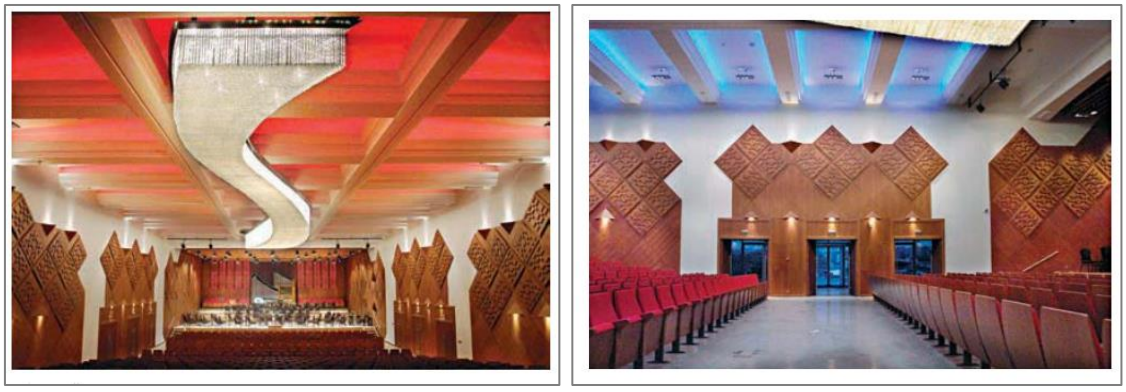


Resim 3.3. Duvarlardaki saçıcılar ve yerleşimlerine ilişkin görünüş (Talayman, 2011)

3.6.2. CSO Konser Salonu

Salon yan duvarlar üzerinde oluşturulan düzensizliklerin sesin salon içine saçılarak dağılımını kolaylaştırması ve salonun akustik özelliklerine olumlu katkıda bulunması öngörülmüştür. Yan duvarlar ile sahne arkası ve arka duvar üzerine sesi dağıtmak ve salon içinde dağınık ses alanı oluşturmak amacıyla matematiksel serilere göre tasarlanmış ses dağıtıcıları (QRD) ya da ses saçıcıları kullanılmıştır (Çalışkan, 2014).

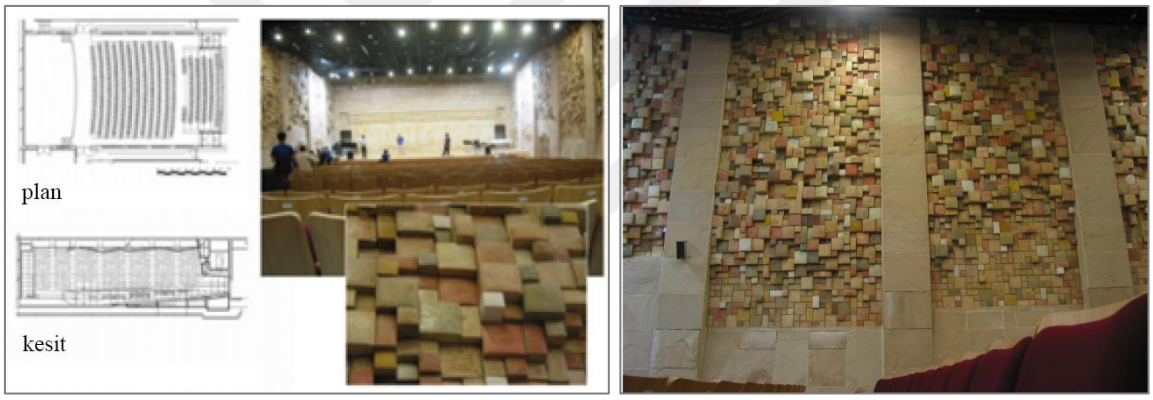
Konser salonunda erken yan yansıma oranlarının (early lateral fraction) çok düzenli ve senfonik müziğe de uygun değerlerde gerçekleşeceği anlaşılmıştır. Özellikle yan duvarlar üzerine yerleştirilen saçıcıların etkinliği açıkça gözlenmektedir. Salon ve sahnenin yan duvarları ve arka duvarları matematiksel serilere göre tasarlanmış, "yansıtıcı-saçıcı" ahşap elemanlar ile kaplanmış ve böylece salonun akustik kalitesi yükseltilmiştir (Özçetin, 2011).



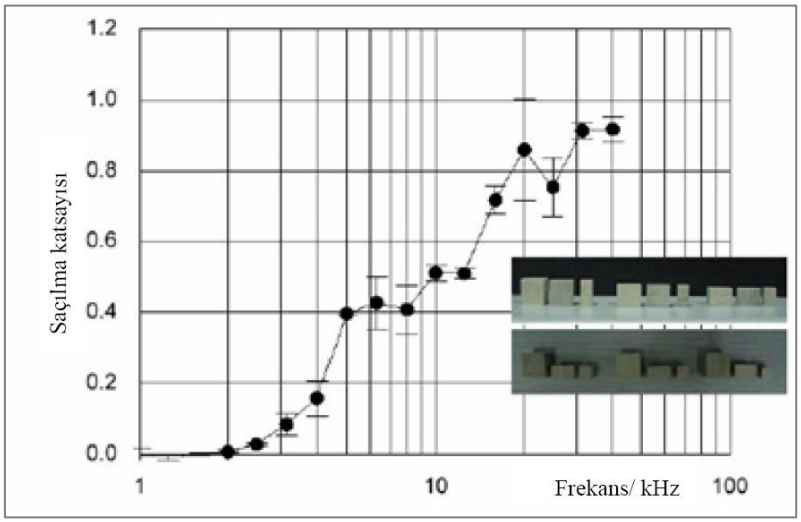
Resim 3.4. Salon yan duvarların görünüşü (Çalışkan, 2014)

3.6.3. Miral Konser Salonu

Dikdörtgen plan şemasına sahip salonun yan duvar yüzeylerinde, ses dalgalarının dağılarak veya saçılarak yansımasını sağlayan, seramik periyodik ses dağıtıcı yüzeyler kullanılmıştır. Önerilen ISO yöntemine dayalı birçok deneyden elde edilen bilgiler ışığında, 400 kişilik Miral Konser Salonu'nun duvarları için kutu tipi bir ses saçıcı-dağıtıcı planlanmıştır. Eni ve boyu 10 ila 20 cm arasında değişen, 20 cm yüksekliğe sahip seramik karolar, bir akustikçi ve bir mimarın işbirliğiyle bir seramik sanatçısı tarafından üretilmiştir. Saçılma katsayısı farklı düzenlemeler kullanılarak 1/10 ölçeğinde ölçülmüştür. Sonuçlar genel saçılma katsayıları 0.61-0.62 olarak belirlenmiştir. Konserler sırasında, Miral Konser Salonunun akustiği çeşitli solistler, orkestra ve orkestra şefleri tarafından takdir edilmiştir (Rindel, 2004; Zhu ve Yoo, 2003).



Resim 3.5. Miral Konser Salonu salon ve yan duvarların görünüşü (Rindel, 2004)

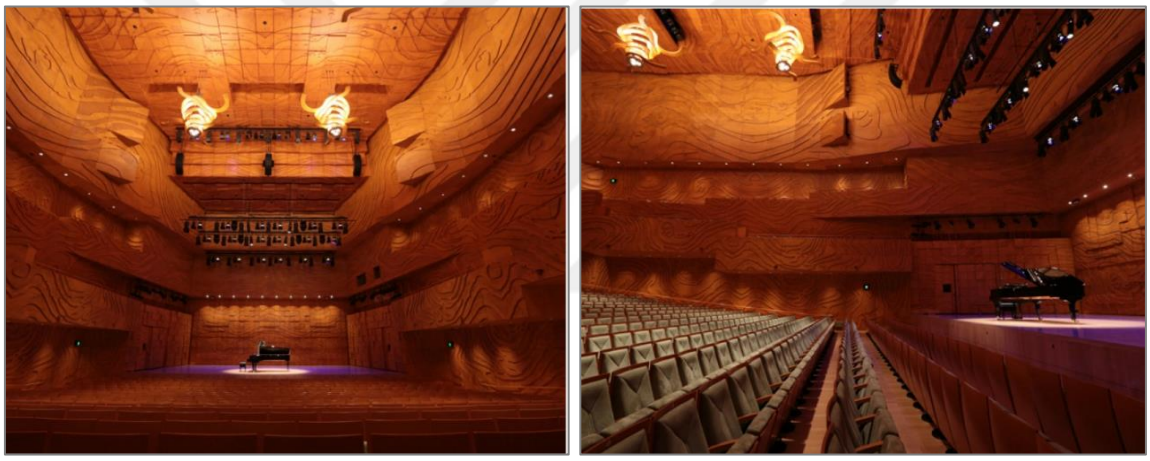


Şekil 3.20. Seramik kutu ses saçıcı modeli ve saçıcılık katsayıları (Rindel, 2004)

3.6.4. Elisabeth Murdoch Konser Salonu

Düşük ve orta frekanslarda, ses dalgalarının dağılarak veya saçılarak yansımasını sağlamak amacı ile, duvar ve asma tavan yüzeylerine; modüler ve kademeli ahşap kaplama yapılmıştır. Yüksek frekanslarda, ses dalgalarının dağılarak veya saçılarak yansımasını sağlamak amacı ile, ahşap kaplamaların yüzeyi; fugalı veya yivli (grooved) olarak imal edilmiştir (Türkmen, 2013).

Sahne alanının etrafındaki paneller daha küçüktür, ancak orkestraya ve seyirciye dağınık yansımalar sağlamak için kademeli, modüler ve dokulu olarak tasarlanmıştır (Orlowski, 2008).



Resim 3.6. Salon ve yan duvarların görünüşü (Türkmen, 2013; www.melbournerecital.com.au/venues/emh/)

4. PARAMETRİK TASARIM VE ALGORİTMA ÇALIŞMALARI

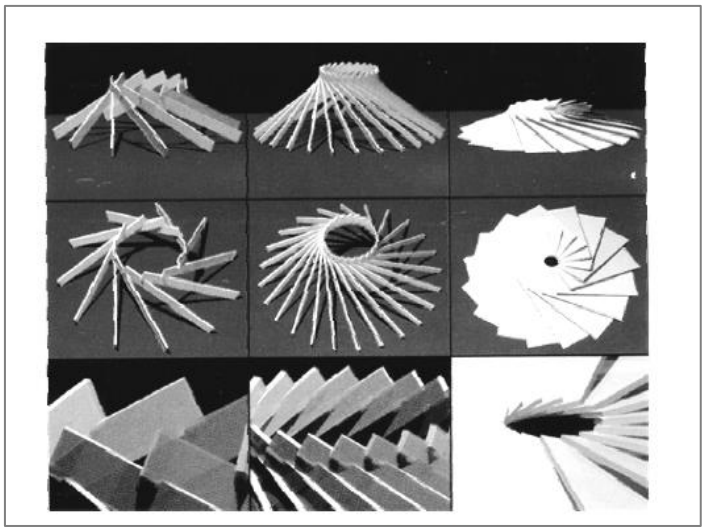
4.1. Parametrik Tasarım

Türk Dil Kurumu sözlüğünde parametre, cebirde bir denklemin katsayılarına giren değişken nicelik olarak tanımlanmaktadır (https://tdk.gov.tr/tdksozluk). Bilgisayar biliminde parametre, bir dizi komutun, sisteme girilen çeşitli veriler üzerinde işlem yapmasıyla ilgili bir terimdir (http://encyclopedia.thefreedictionary.com).

Parametrik tasarım sürecinde tasarımı etkileyecek verilerin parametreler olarak belirlenmesi ve organizasyonu esastır. Hangi verinin diğeriyle nasıl ilişkili olduğunun sayısal ve geometrik olarak tanımlandığı ve sınırlamaların belirtildiği bir tasarım stratejisi kurulur. Bu tür bir ilişkisel model bir kez kurulduğunda parametre değerleri değiştirilerek tüm olası durumları araştırılabilir ya da türetilebilir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Parametrik tasarımın aşamaları, parametrelerin belirlenmesi, parametreler arası ilişkilerin tasarlanması, tahmini geometrinin belirlenmesi, varyasyonların yaratılması ve ortaya çıkan ürünün test edilmesi şeklinde sıralanabilir. Aslında bu evreler birbirleri ile ilişki içerisindedir ve sınırlarının kesin olarak ayırt edilmesi zordur (Tünger ve Pektaş, 2014).

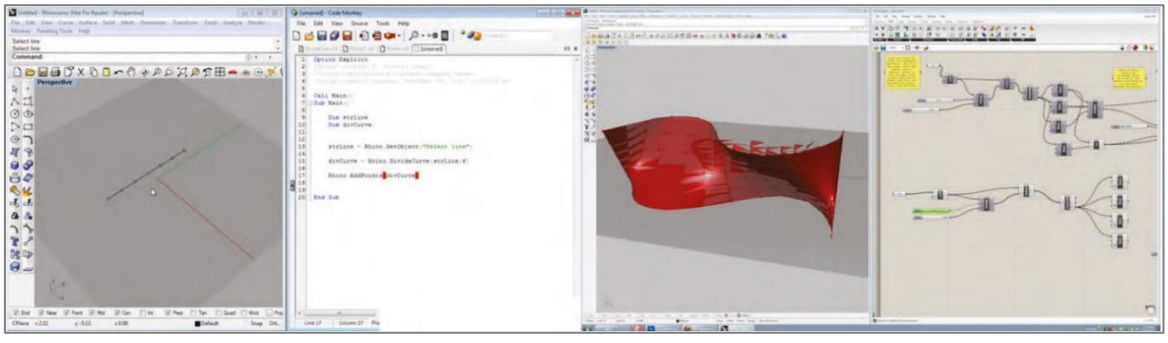
Parametrik tasarım ve modelleme programları mühendislik, endüstriyel tasarım ve ulaşım endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu disiplinlerde sonuç ürünün birbiriyle ilişkili alt parçalara ayrılması ve bir sistemin kurulması mimarlık alanına göre daha kolaydır. Mimarlık alanında bu anlamda ilişkisel bir sistemin kurulabilmesi için sistematik yaklaşım önem kazanmaktadır. Tekrar eden ancak birbirinden farklılaşabilen sistemler fikri günümüzde mimari cephelerin, strüktürel elemanların ve dekoratif amaçlı doku yüzeylerinin tasarımı ve üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 4.1. Strüktürel bir sistemin parametrik modellenmesi (Akipek ve İnceoğlu, 2007)

4.2. Parametrik Modelleme

Parametrik modelleme araçları yazılı ve görsel algoritma düzenleyiciler olarak ikiye ayrılır. Her iki çeşit ortam da kullanıcılara iki farklı modelleme penceresi/alanı sunar. Bu pencerelerden biri algoritmanın yaratılması ve düzenlenmesine olanak tanırken, diğer pencere ise algoritma sonucu oluşan geometrinin görüntülenmesi için kullanılır. Yazılı düzenleyici içeren parametrik ortamlara örnek olarak Rhinoscript (McNeel), Generative Components (Bentley) ve Mayascript (Autodesk) örnek olarak gösterilebilir. Fakat bu yazılımlar, Java gibi ayrıntılı kodlama bilgisi gerektirdiği için mimarlar gibi görsel işlerle uğraşan kullanıcılar için uygun olmadıkları düşünülmüş ve görsel algoritma düzenleyici içeren parametrik modelleme araçları önerilmiştir. Görsel parametrik tasarım ortamlarına örnek olarak Grasshopper (McNeel) ve Dynamo (Autodesk) gösterilebilir (Tünger ve Pektaş, 2014).

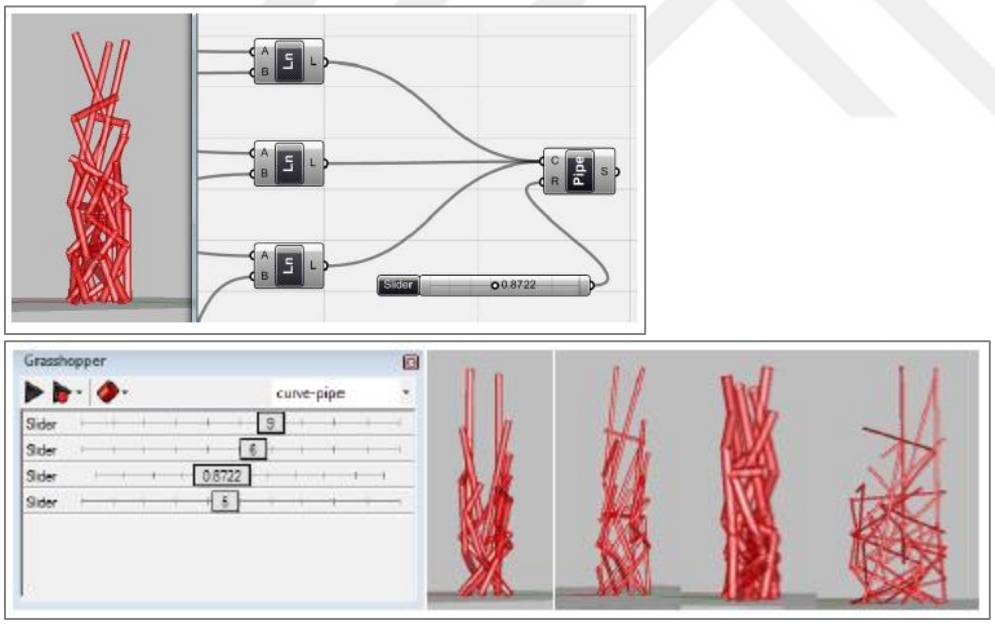


Şekil 4.2. Yazılı algoritma düzenleyici (sol) – Görsel algoritma düzenleyici (sağ) (Tünger ve Pektaş, 2014)

Parametrik üç boyutlu modelleme aracı olarak Rhino ve entegre çalışan Grasshopper seçilme nedeni;

- Bu iki modelleme aracı aynı firma tarafından üretildiği için benzer arayüz kullanıyor olması,
- Birbiri ile entegre çalışması,
- Görsel algoritma düzenleyici olarak tasarımcılar için daha uygun olması gösterilebilir.

Bu ortamda, parametreler görsel bileşenlerden oluşurken, kurallar bu bileşenler arasındaki bağlantılarla görselleştirilmektedir. Her bir bileşen, girdi ve çıktı mantığı ile çalışmaktadır. Parametreler arasında bir ilişki oluşturmak için bir parametrenin çıktısının başka bir parametrenin girdisine ağ sistemi ile bağlantısı oluşturulmaktadır. Ayrıca, parametreler veya kuralların herhangi bir modifikasyonu sonucunda oluşan yeni geometri, anlık olarak güncellenip kullanıcıya sunulmaktadır (Tünger ve Pektaş, 2014).



Şekil 4.3. Rhino ve entegre çalışan Grasshopper modelleme aracı, model üzerindeki değişikliklerin gözlemlenmesi (Khabazi, 2009: 56)

4.3. Algoritma Çalışmaları

Parametrik yaklaşımlarla ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı için öncelikle algoritma çalışmalarına; Schroeder difüzorlerin matematik serisinin çözümlenmesi ile başlanılmıştır. 1D, 2D ve 3D için farklı frekans aralıkları için parametrik tasarım yapılmıştır. Parametrik tasarım için

görsel algoritma düzenleyici olarak Rhino ve entegre çalışan Grasshopper yazılımı kullanılmıştır.

QRD (Quadratic Residue Diffuser), sayı teorisi temeline dayanmaktadır. QRD dağıtıcılarda, gelen ses ışınları çok farklı yönlere tek tip olarak dağılmaktadır. Alman akustikçi M.R. Schroeder'in çalışmasını esas alan QRD dağıtıcıların saçılma üretimi miktarı kesin olarak açık bir şekilde onaylanmıştır. QRD dağıtıcı sabit genişlikteki boşluk veya kanalların doğrusal olarak dizilmesinden oluşur. Boşluklar ince rijit duvarlarla bölünür. Kanalların derinlikleri dizilimin tanımlanmasına göre çeşitlilik gösterir. Dizilim ihtiyaç olan dağıtıcı sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Dizilimdeki her bir tekrara bir periyot denir. Buna göre eğer 2 tekrar kullanıldıysa dağıtıcı 2 periyottan oluşmuştur. Her bir periyot, asal bir sayı olması gereken, belirli sayıda kanaldan oluşur (Pektaş, 2014).

N: Kuyu sayısı (number of wells)
W: kuyu genişliği (constant width)
d: kuyu derinliği (well depth)
f0 ve fmax saçılma istenilen frekans aralığı
f0: ilk frekans fmax: son frekans
λ=sesin dalga boyu
λ=343/f (sesin havadaki yayılma hızı(m/sn)/ ilgili frekans(Hz))
W=0,5λmax

$$N = \frac{2mfmax}{f0} \tag{4.1}$$

kuyunun derinlikleri (Depth of Wells)

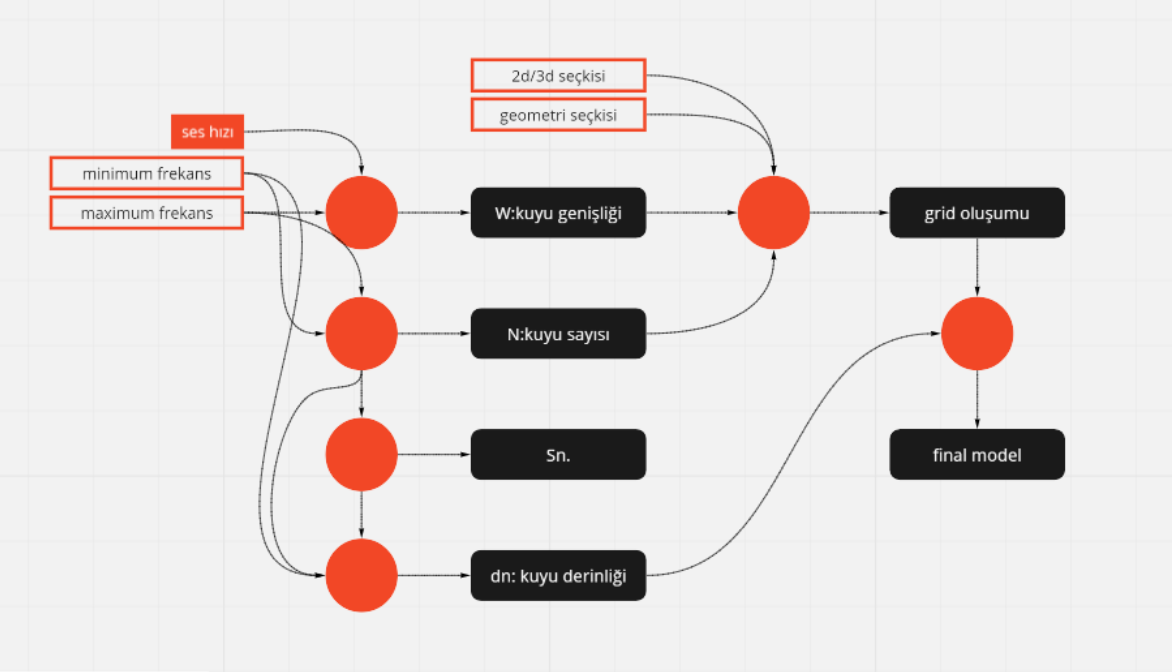
$$dn = \frac{Sn\lambda 0}{2N} \tag{4.2}$$

$$Sn = \left| n^2 - \overline{jN} \right| \tag{4.3}$$

n2≤(N-1) için j=0 alınır

(n2-jN) ≤(N-1) için j=1,2,3 olabilir. n2-jN değerinin N'den küçük ve N'e en yakın olacak şekilde j değeri belirlenir (Mehta, Johnson ve Rocafort, 1999).

Bu veriler çerçevesinde Schroeder difüzörlerin algoritma şeması oluşturulmuştur (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Schroeder difüzorlerin algoritma şeması

INPUT 1 ve hesaplamalar

İlk olarak kullanıcı maksimum ve minimum frekans aralıklarını tanımlar. Bunun akabinde bu frekanslara dair dalga boyları ve maksimum frekans değerine göre kuyu genişliği hesaplanır. Daha sonrasında ise ilgili dalga boyları ile birlikte gerekli matematiksel hesaplamalar yapılıp gerekli kuyu sayısı bulunur. Kuyu sayısı hesabının asal sayı olması içinse çıkan sonuç algoritma tarafından kendisine en yakın olan asal sayıya çevrilir.

INPUT 2

Bu aşamada input 1 kısmındaki hesaplama sonuçları yeniden input olarak ele alınır ve sn. ve d. Değerleri hesaplanır. Her bir kuyunun n değerine göre n^2-j.N değerinin N'den küçük ve N'ye en yakın olabileceği değer hesaplanır. Bu hesaplamaların sonuçları doğrultusunda s değerleri ve her bir kuyuya dair derinlikler hesaplanır.

Sonuçlar

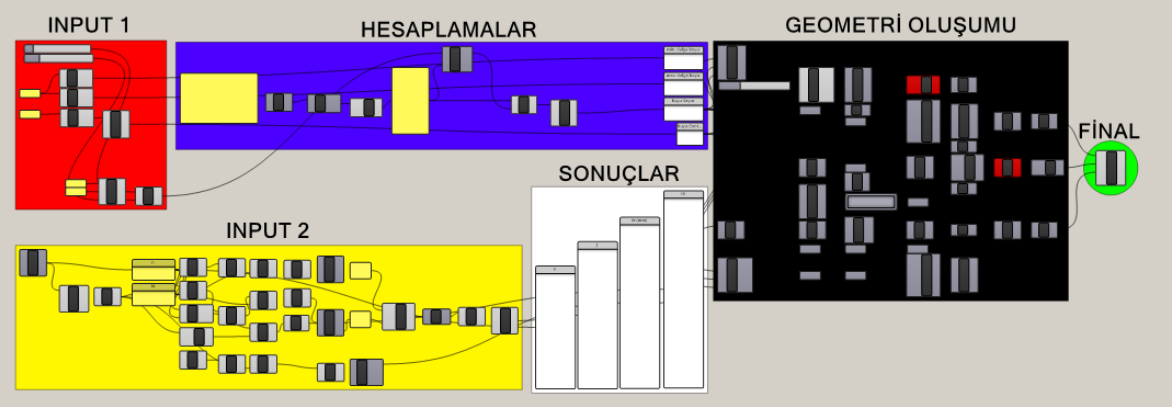
Tüm yapılan hesaplamalar bir liste halinde görülür. Bu listeler farklı frekans aralıklarına göre bir tablo oluşturarak export edilir.

Geometri oluşumu

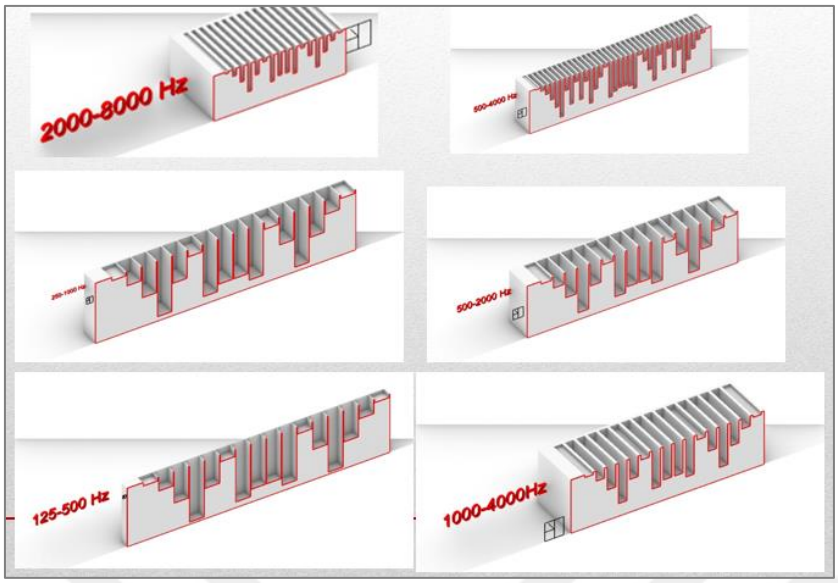
Kullanıcı iki farklı değişkeni tanımlar. Bu değişkenler panelin 2D veya 3D olarak farklılaşması durumu ve grid referans geometrisidir. Bu bağlamda:

2D difüzör oluşumu: Kullanıcı panelin uzunluğunu tanımlar. Bu uzunluk doğrultusunda hesaplanan derinlik ve genişlikte kuyular oluşturulur. Bu kuyular daha sonrasında bir solid içerisinden çıkarılarak final model oluşturulur.

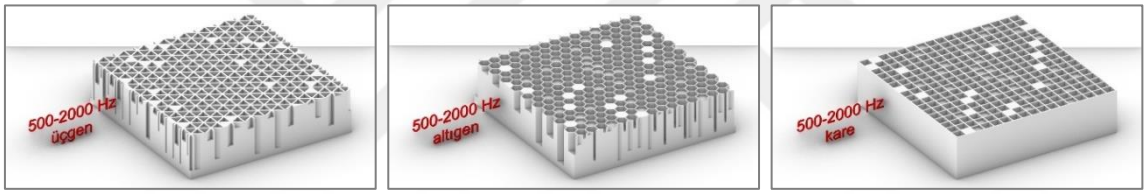
3D difüzör oluşumu: Kullanıcı grid sisteminin geometrisini seçer. Bu seçki 3,4 veya 6 kenarlı çokgenler olabilir. Bu tanımlama akabinde hesaplanan genişlik, seçilen geometrinin merkez noktasından en yakın kenarına olan uzunluğunun yarısı referansı ile gridi oluşturur. X ve Y yönünde eş sayılı grid oluşturulur. Jitter komutu ile listeler her bir grid sırası listesi karıştırılır ve hesaplanan kuyular oluşturulur. Jitter komutu ile doğru derinlikteki kuyular random bir şekilde panel üzerine yerleştirilmiş olur.



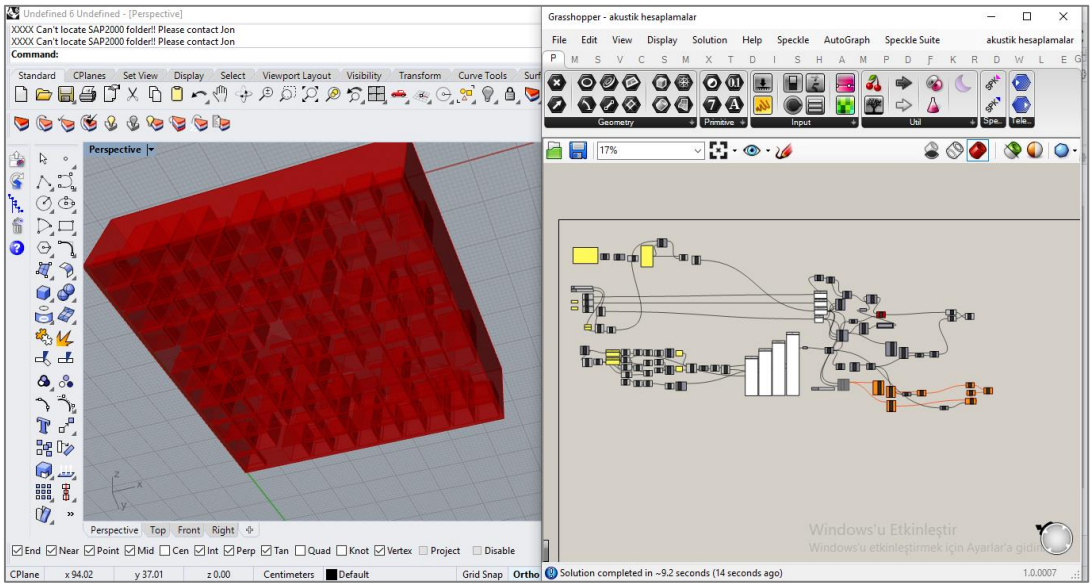
Şekil 4.5. Modelleme stratejisinin görsel ifadesi



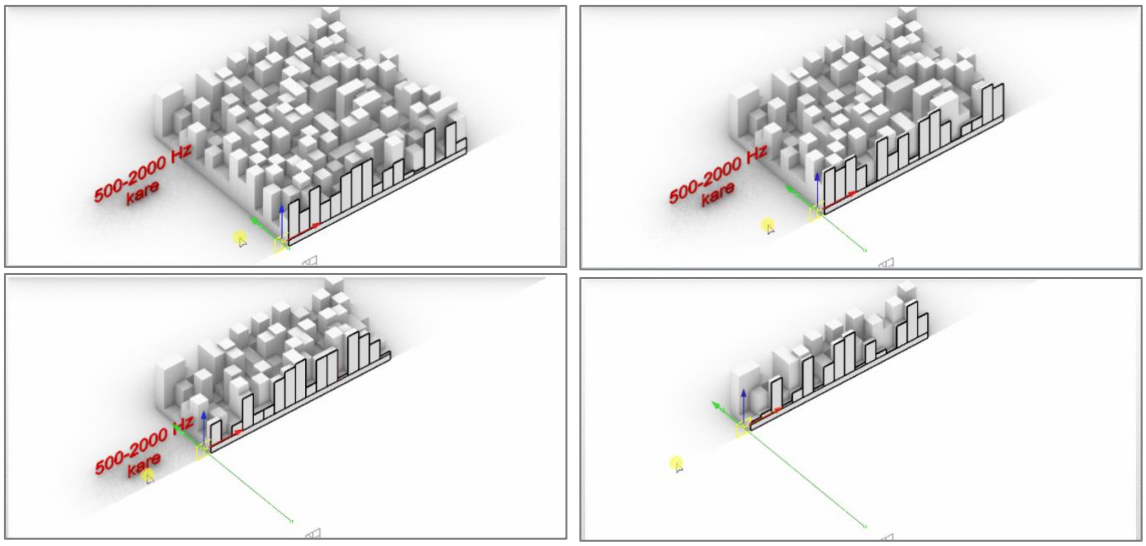
Şekil 4.6. 1D Schroeder difüzörün farklı frekans aralıklarındaki kuyu derinlik ve genişliklerinin gösterimi



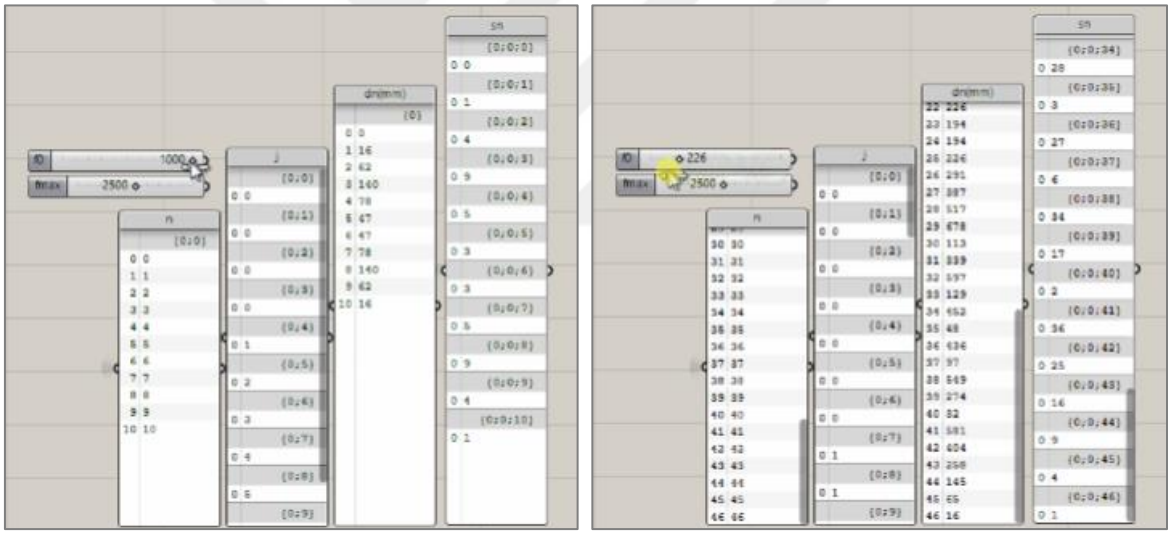
Şekil 4.7. 2D Schroeder difüzörün 500-2000 Hz frekans aralığı için üçgen, altıgen ve kare geometrik biçimin modellenmesi



Şekil 4.8. 2D Schroeder difüzörün Rhino ve Grasshper modelleme aracı arayüzünde gösterimi

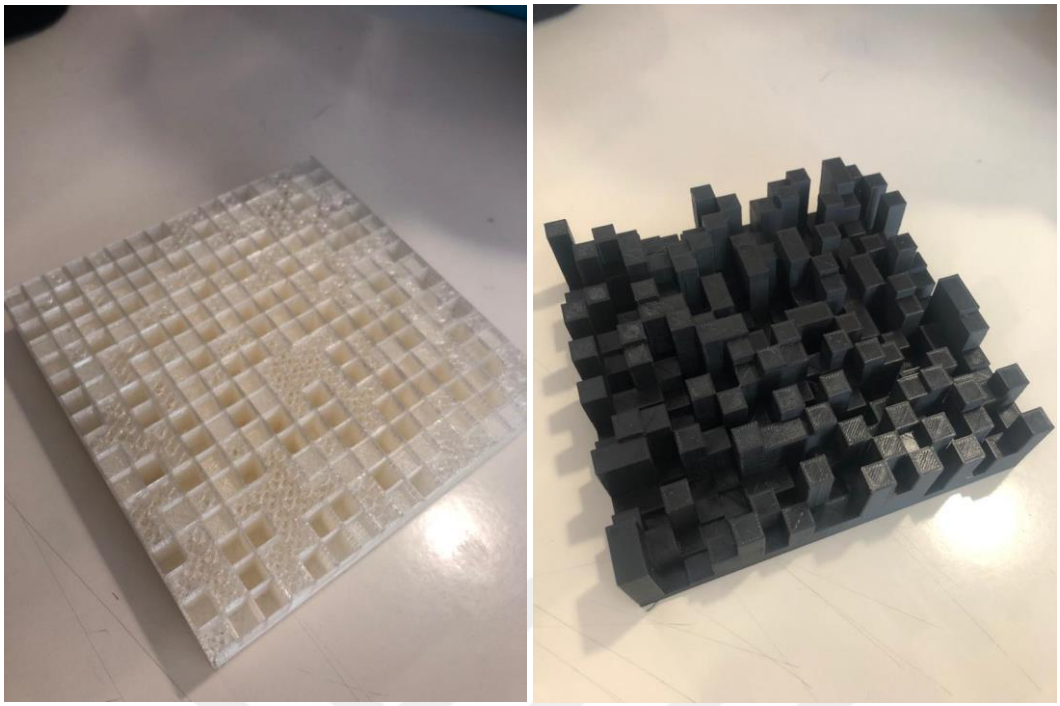


Şekil 4.9. 3D Schroeder difüzörün 500-2000 Hz frekans aralığı için model üzerinden kesit gösterimi



Şekil 4.10. 3D Schroeder difüzörün farklı frekans aralığına göre diğer parametrelerin hesaplanması

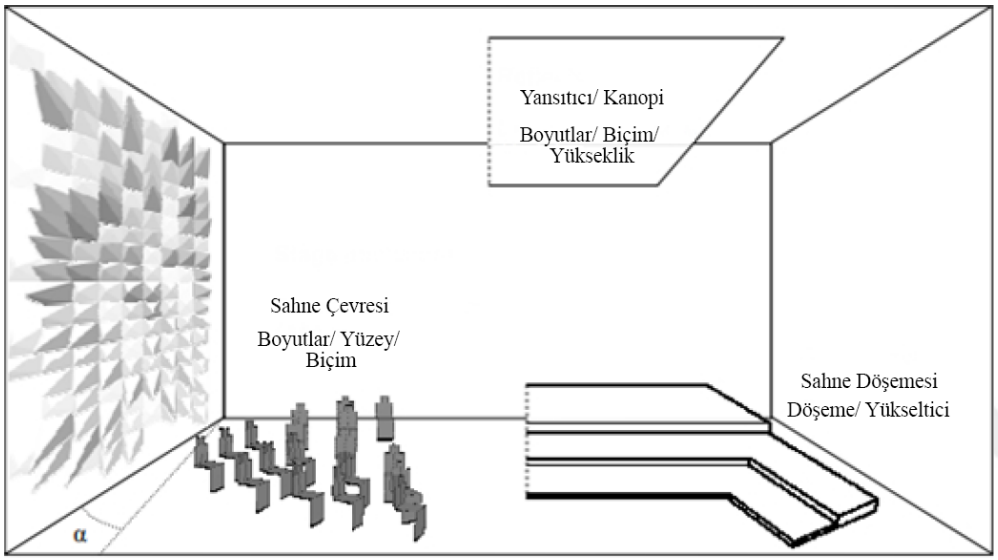
Schroeder difüzorlerin modellenmesi sonucu 3D yazıcı ile somut örnekler elde edilerek çalışmanın devamına yol gösterici olmuştur. Resim 4.11.'de 2D ve 3D Schroeder difüzörlerin 500-2000 Hz frekans aralıklarında ses saçıcı-dağıtıcı özellikte 1/20 ölçekte numuneleri verilmiştir.



Resim 4.1. Modellemesi gerçekleştirilen Schroeder difüzörlerin 1/20 ölçekte 3D yazıcı ile numune oluşturulması

5. SAHNE TASARIMINA İLİŞKİN MİMARİ VE AKUSTİK PARAMETRELERİN ORTAYA KONMASI

Günümüzün konser salonlarında sahnenin uygun boyut ve formda düzenlenmesi; müzisyenler için uygun akustik koşulları yaratması ve dinleyiciler tarafından algılanan akustik koşulları etkilemesi açısından dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Müzisyenler açısından bakıldığında en önemli ihtiyaçlar, birbirlerini iyi işitebilmek ve salondan gelen tepkiyi algılayabilmektir (Vural, 2009).



Şekil 5.1. Konser salonu sahne elemanları (Dammerud, 2006)

Sahne tasarımı mimari ve akustik parametreleri 5 başlık altında incelenmiştir:

- Sahne Boyutları
- Orkestra Yerleşimi
- Enstrüman Ses Seviyeleri, Yönlülük ve Frekans Aralıkları
- Orkestra Kabuğu Tasarımı
- Sahne Akustik Parametreleri

5.1. Sahne Boyutları

Sahne boyutları ve hacimsel ilişkiler, salon geometrisinin oluşturulmasında temel bir etkiye sahiptir. Sahnenin fiziksel özellikleri ise, kullanım amacına ve işleve göre belirlenmektedir (Guyer, 2014).

Salon tasarımında, sahne formları iki şekilde ele alınabilir:

- Görüş ile ilgili parametreler (izleyicinin konumu) ve
- İşitme ile ilgili parametreler (sahne çevresindeki yüzeylerin konumu) (Guyer, 2014).

Görüş ile İlgili Parametreler

- Performans alanının genişliği / derinliği / şekli
- Prosenyum (sahne önü) yüksekliği (varsa)
- Sahne yüksekliği
- Performans alanının Prosenyum (Sahne önü) sahnesine göre konumu

İşitme ile İlgili Parametreler

- Sahne çevresindeki kabuğun boyutu / şekli (varsa)
- Birleşen hacimlerin niteliği (varsa)
- Sahne çevresindeki kabuğun yutuculuk özellikleri
- Sahne çevresindeki kabuğa göre ses kaynağının konumu

Öncelikli olarak amaçlanan orkestranın türünün belirlenmesi gerekmektedir. Hem boyutu hem de enstrümantal kompozisyonu, karakteristik sesini, yoğunluğunu, vurgulanan literatürü ve fiziksel düzenleme gereksinimlerini belirlemede rol oynar. Performans alanı; orkestra yerleşimi, birbirini işitme, birbirini görme ve nota (sheet music) paylaşımı için genellikle mümkün olduğu kadar birbirine yakın konumlanmaktadır. Müzisyenlere duyabilecekleri ve duyulabilecekleri bir konfigürasyonda alan sağlanması gerekir. Orkestra için sağlanan taban alanı için konfor ve akustik arasında bir denge olması da gerekmektedir (Guyer, 2014).

Sahne alanı ortalamaları müzisyen başına 1.5 ila 1.85 m^2 ve sahne önü genişlikleri 16-24 m arasındadır (Guyer, 2014). Beranek (1962), 100 kişilik bir orkestra için 190 m^2 platform boyutu sağlayan, müzisyen başına 1.9 m^2 önermektedir.

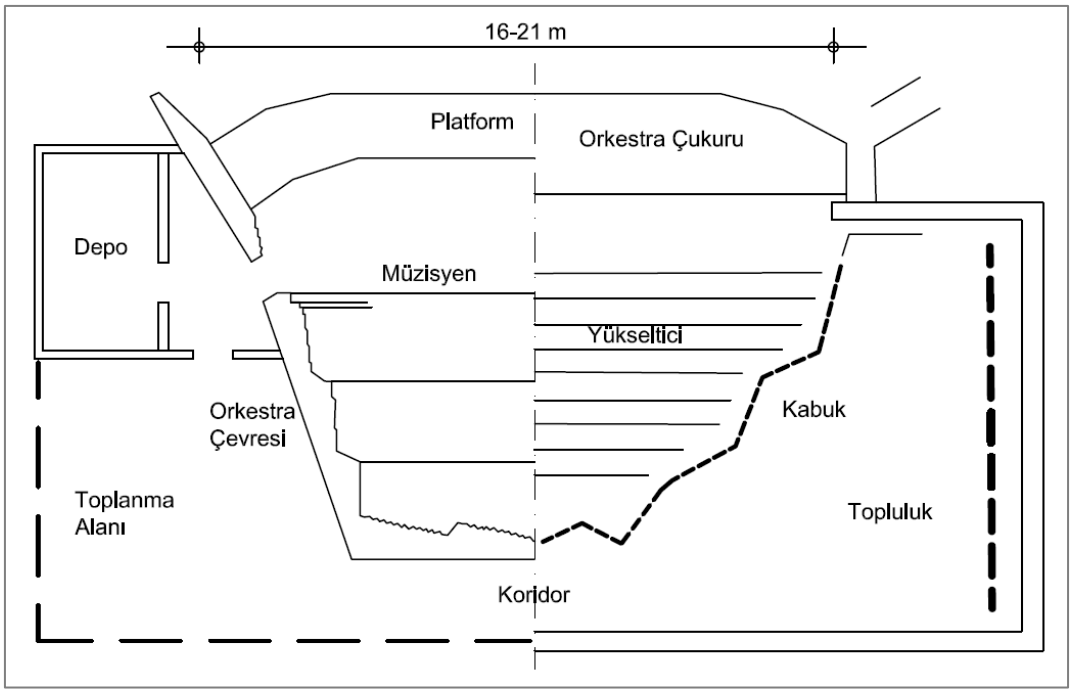
Barron (1993), enstrümanın türüne göre değişen bir taban alanı önermektedir:

- Üst telli ve nefesli çalgılar için 1,25 m^2
- Çello ve daha büyük üflemeli çalgılar için 1.5 m^2
- Kontrbas için 1,8 m^2
- Timpani için 10 m^2 ve 20 m^2 kadar (Long, 2006: 663).

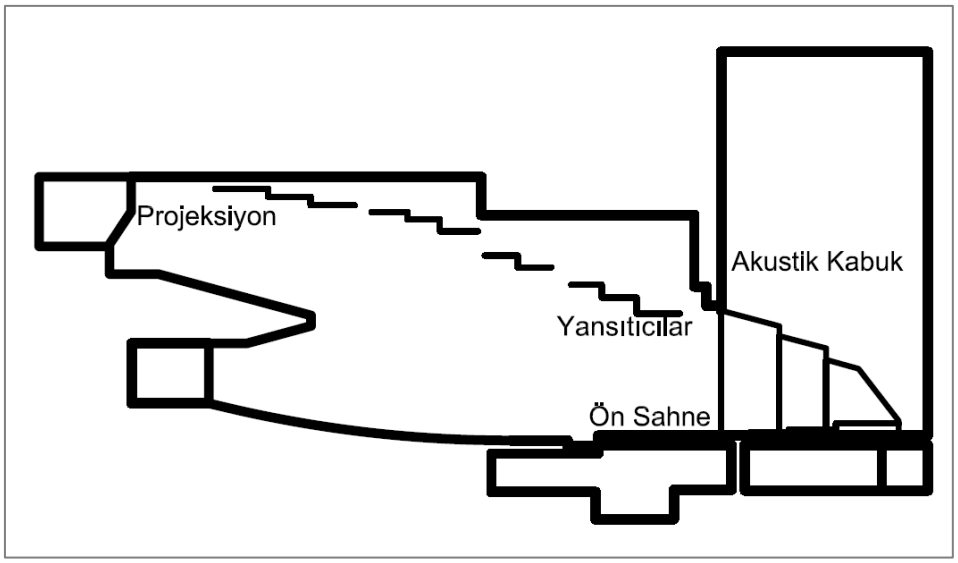
100 kişilik bir orkestranın 150 m^2 bir alana ihtiyaç duyacağını hesaplamış ve Beranek'in 190 m^2 solistler için de alan sağladığını öne sürmektedir. Orkestra platformu çok derin olmamalıdır, en fazla 11-12 m, bu durumda Beranek'in önerdiği alana göre yaklaşık 17 m genişlik gerekmektedir (Long, 2006: 663).

Çeşitli gruplar için sahne alanı aşağıda verilmiştir:

- Topluluk veya grup: 30-50 müzisyen, 74-84 m^2
- Orta ölçekli/boyutta orkestra: 50–80 müzisyen, 110-140 m^2
- Orta orkestra ve koro: 50–100 kişi, 167-213 m^2
- Senfoni orkestrası: 80–125 müzisyen, 185-223 m^2
- Senfoni ve büyük koro: 100–200 kişi, 260-325 m^2 (Guyer, 2014).



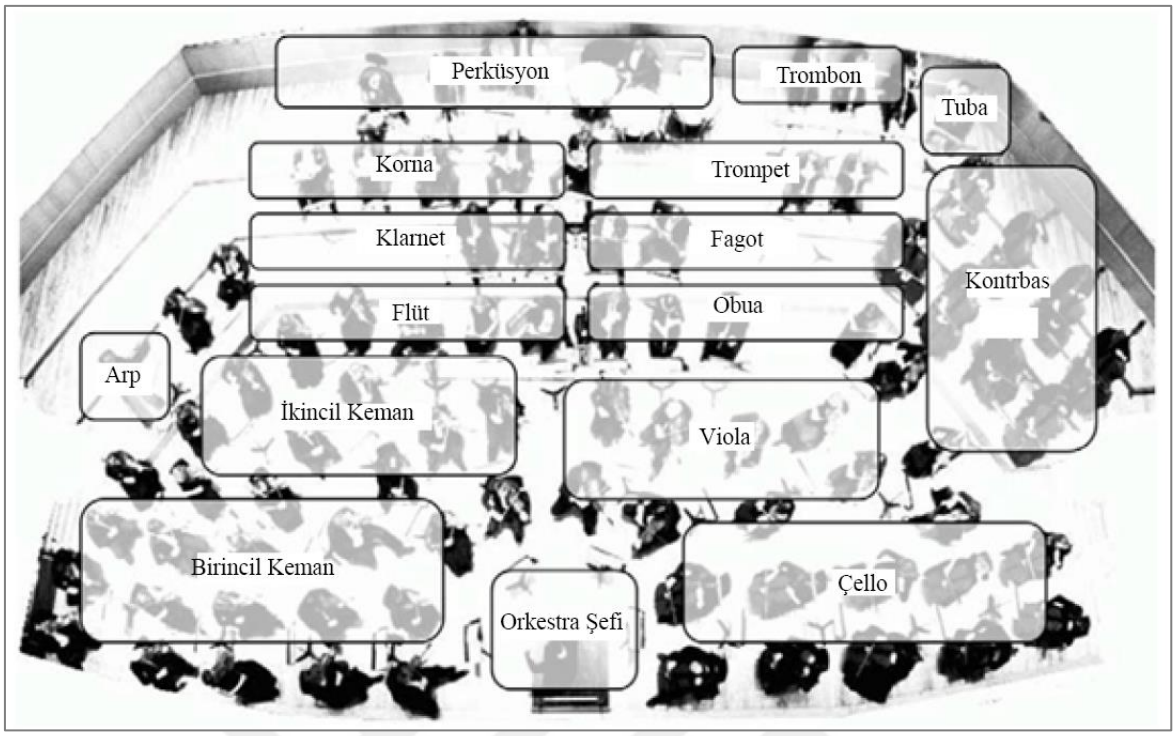
Şekil 5.2. Orkestra oturum alanı, plan (Guyer, 2014)



Şekil 5.3. Orkestra oturum alanı, kesit (Guyer, 2014)

5.2. Orkestra Yerleşimi

Bir senfonik orkestra normalde yaklaşık 100 müzisyenden oluşur. Dört ana çalgı grubuna ayrılabilirler: yaylı, ahşaptan yapılmış nefesli, pirinçten yapılmış nefesli ve vurmalı çalgılar. Yaylılar; keman, viyola, çello ve kontrbastan oluşur. Ahşap nefesli çalgılar; obua (kor anglais dahil), fagot, klarnet ve flütten oluşur. Pirinç nefesli çalgılar grubu; trompet, korno, trombon ve tubadan oluşur. Perküsyon (vurmalı) çalıgılar grubu; timpani, vibrafon, arp ve piyanodan oluşmaktadır (bir piyano hem yaylı hem de vurmalı çalgı olarak ele alınabilir). Seyirciden bakıldığında, orkestra genellikle burada listelenen sırayla düzenlenir: Şekil 5.4.'te gösterildiği gibi önde yaylılar, ortada ahşap nefesli çalgılar ve arkada pirinç nefesli ve vurmalı çalgılar yer almaktadır (Dammerud, 2006).

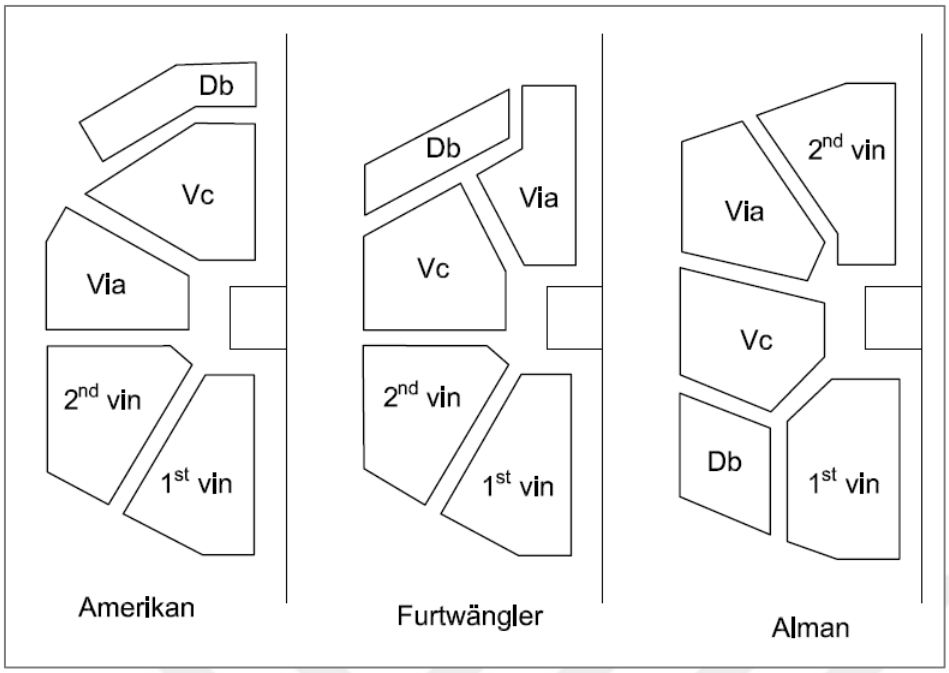


Şekil 5.4. Orkestra yerleşim planı, Amerikan düzeni (Dammerud, 2006)

Koro normalde sahnede orkestranın arkasına yerleştirilir ve genellikle 100'den fazla kişiye sahip olabilir. Solist şarkıcılar, herhangi bir enstrümantal solist (normalde keman veya çello) gibi sahnenin önünde bulunur (Dammerud, 2006).

Amerikan olarak bilinen orkestra planı, günümüzde en yaygın düzenleme olan Şekil 5.4.'de gösterilmiştir. Şekil 5.5.'de gösterildiği gibi alternatif düzenlemeler mevcuttur (Dammerud, 2006).

Bir orkestra içindeki oturma düzeni için tek bir kural olmamasına rağmen; bireysel enstrüman gruplarının yerleşimi birçok farklı şekilde ele alınmaktadır. Şekil 5.5. enstrüman gruplarının konumlandırılmasında yaygın olarak kullanılan üç ana tipik düzeni göstermektedir (Ranjbari, 2013).



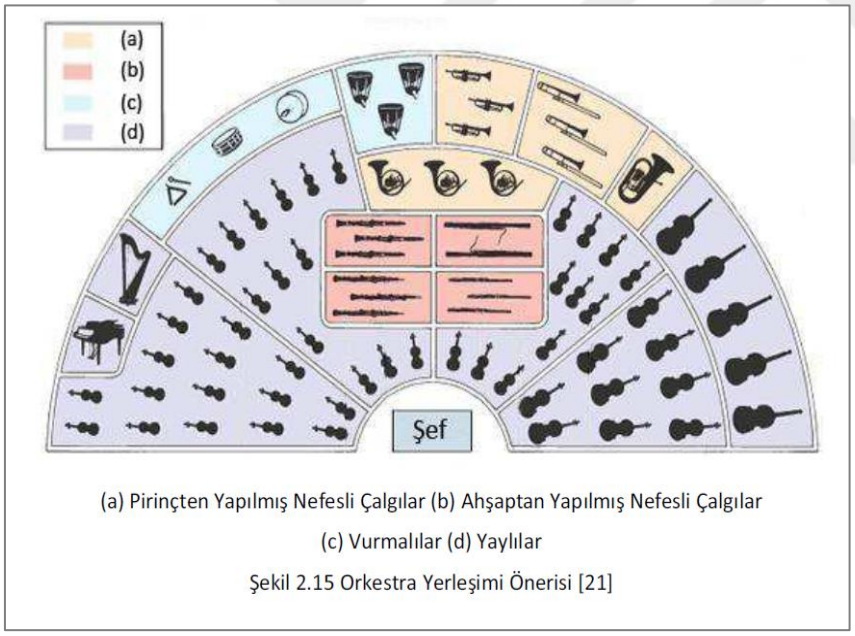
Şekil 5.5. Yaygın kullanılan üç farklı orkestra yerleşim planı, V1=Birincil Violin, V2= İkincil Violin, Via=Viola, Vc=Çello, Db=Kontrbas (Ranjbari, 2013)

Şekil 5.5'te gösterilen en soldaki düzenleme Amerikan düzenidir. Ortadaki Furtwängler'in versiyonu, en sağdaki ise Alman (veya Avrupa) düzenlemesidir. Alman düzeni, birinci ve ikinci kemanların zıt yönlerde olmasıyla orkestranın daha iyi bir "stereo etkisi" vermektedir (Meyer, 1993). Pek çok senfonik eser bu düzenlemeyle yazılmış, orkestranın sağ ve sol tarafı arasında kemanlar arasında bir "diyalog" oluşturulmuştur (Dammerud, 2006).

Resim 5.1.'de, bir orkestra düzeninde birbirine göre konumlarını ve çalgı aletleri arasındaki mesafeleri göstermektedir.



Resim 5.1. Orkestra düzenlemesi (Ranjbari, 2013)



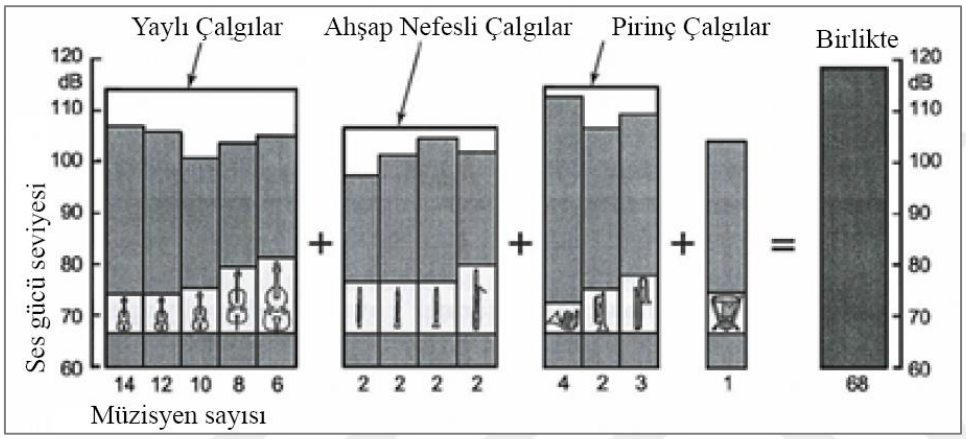
Şekil 5.6. Çeşitli çalgı aletleri için önerilen yerleşim şeması (Türk, 2011)

5.3. Enstrüman Ses Seviyeleri, Yönlülük ve Frekans Aralıkları

Yaylılar, ahşap nefesli çalgılar, pirinç nefesli çalgılar, vurmalı çalgılar vb. gibi orkestra enstrümanlarına bakıldığında, enstrüman türleri arasında çok çeşitli doğal ses güçleri görülebilir. Şekil 5.7., her enstrümanın çalan sayısı da dahil olmak üzere, her bir enstrüman bölümü için ses basıncı seviyelerinin kombinasyonunu göstermektedir. Şekil 5.7.'de

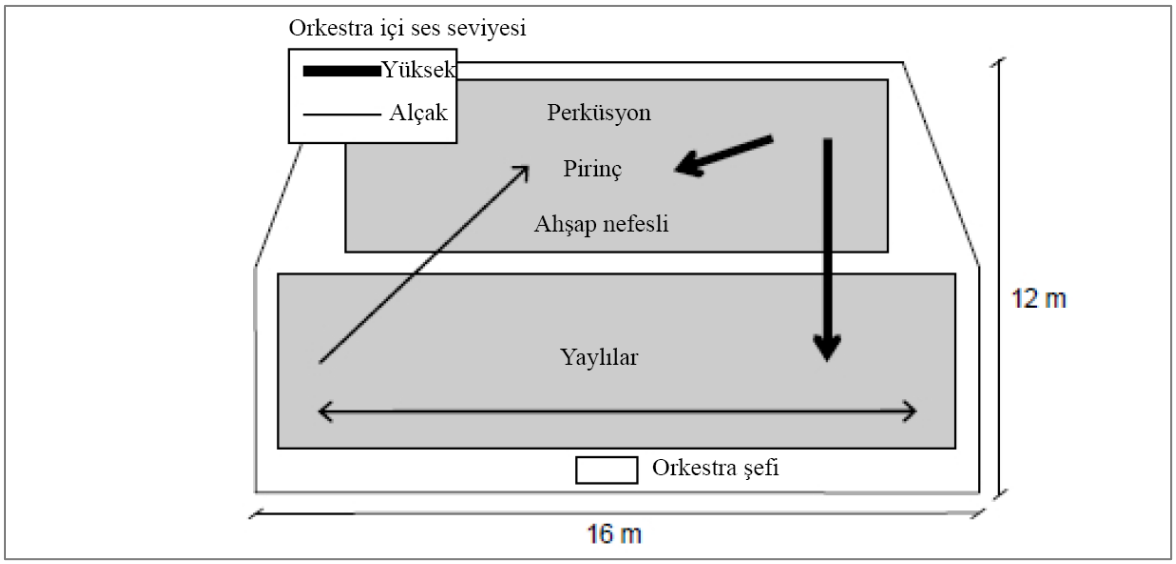
gösterildiği gibi, böyle bir orkestra için nefesli çalgılar bölümü yaylılar bölümünden daha zayıftır ve 50 çalgıdan oluşan yaylılar bölümü yine nefeslilerden daha zayıftır (Ranjbari, 2013).

Bu, orkestral enstrümanlar arasındaki bağıl ses gücü seviyelerindeki büyük farklılıkları açıkça göstermektedir ki bu, seviye maskeleme açısından ciddi sorunlara yol açması beklenmektedir (Ranjbari, 2013).



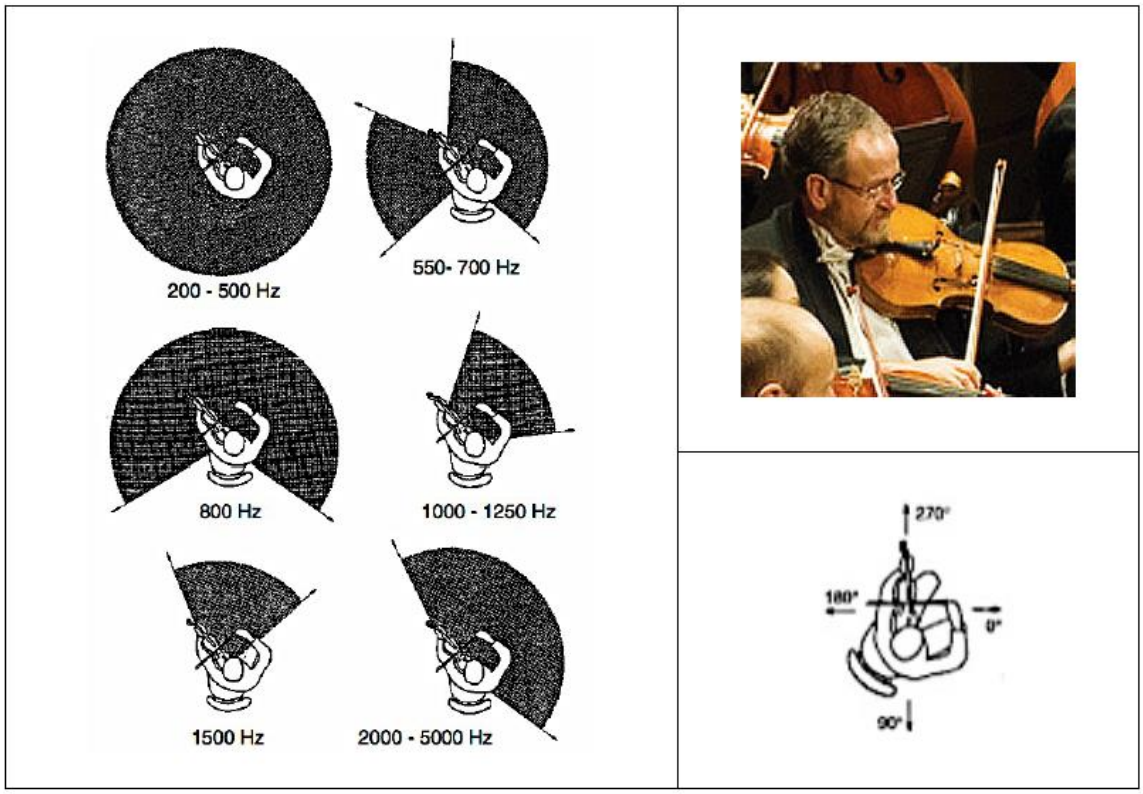
Şekil 5.7. Fortissimo orkestranın ses gücü seviyesi (Ranjbari, 2013; Meyer, 2009)

Müzisyenlerin şikayetleri, bazı orkestra enstrümanlarının çoğu zaman çok yüksek olduğunu ve işitme durumunu sorunlu hale getirdiğini göstermektedir. Müzisyenlerin yaylı çalgılar için akustik koşullar hakkındaki izlenimlerine ilişkin bir ankete dayanarak, sırasıyla pirinç nefesli çalgılar, perküsyonlar ve ahşap nefesli çalgıların en sık olarak çok gürültülü olduğu belirtilmiştir. Ahşap nefesli çalanlar için pirinç nefesli çalgılar ve perküsyonların çok gürültülü olduğu, pirinç nefesli çalanlar için ise kendisi de dahil olmak üzere vurmalı çalgılar ve diğer pirinç nefesli çalgıcılar için bahsedilmiştir. Ayrıca Fransız kornoları, pirinç nefesli çalgılar ve diğer vurmalı çalgıların, vurmalı çalgıcılar için çok yüksek olduğu söylenmiştir (Dammerud, 2009).

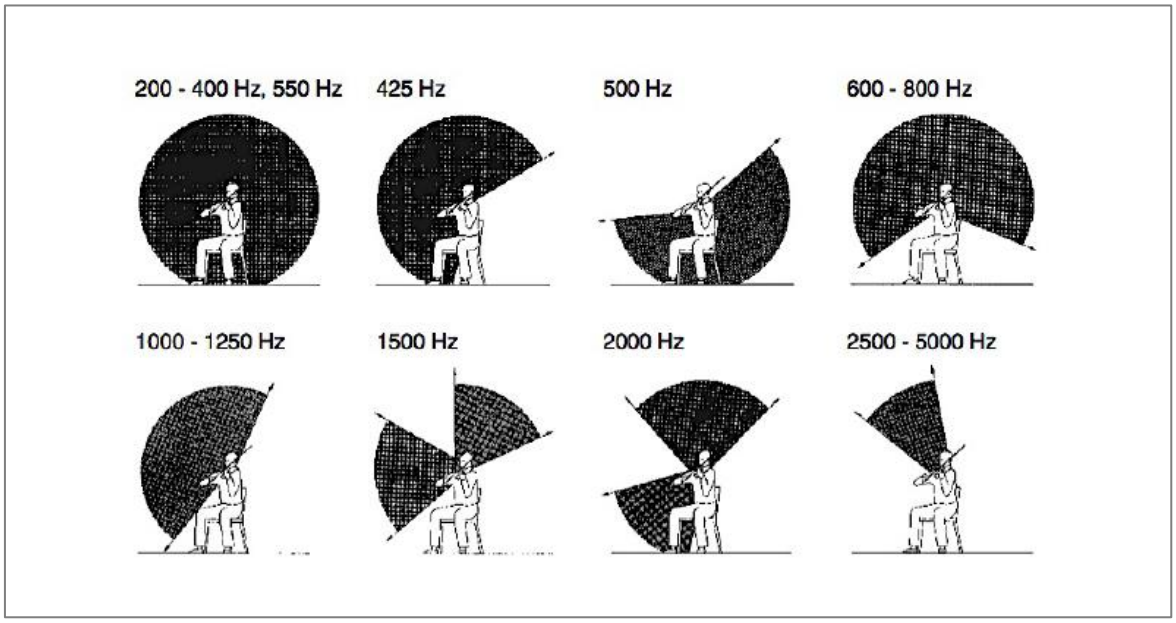


Şekil 5.8. Farklı enstrüman gruplarının orkestra içindeki ses seviyeleri (Dammerud, 2009)

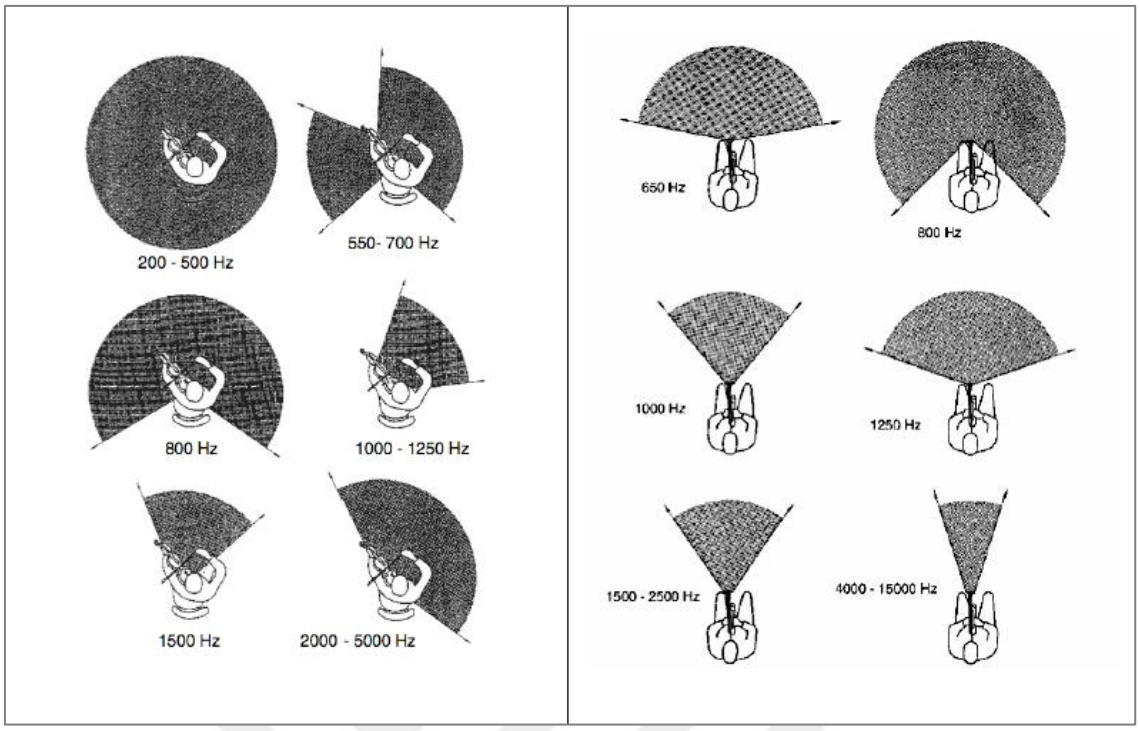
Genel olarak, frekans aralığına bağlı olarak, müzik aletleri sesi her yöne eşit yoğunlukta yaymazlar, bunun yerine az ya da çok belirgin yönsel davranış ifade ederler. Yayılan ses basıncının yön üzerindeki bu bağımlılığı, yön karakteristiği olarak adlandırılır. Şekil 5.9. ve Şekil 5.10., sırasıyla yatay düzlemde ve düşey düzlemde kemanın ana yayılım yönlerini özetlemektedir. Ayrıca, yön özellikleri farklı enstrümanlar arasında farklılık gösterir. Şekil 5.11. yatay düzlemde keman ve trompetin ana yayılım yönlerini karşılaştırmaktadır (Ranjbari, 2013).



Şekil 5.9. Violin için yatay düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü (Ranjbari, 2013; Meyer, 2009)

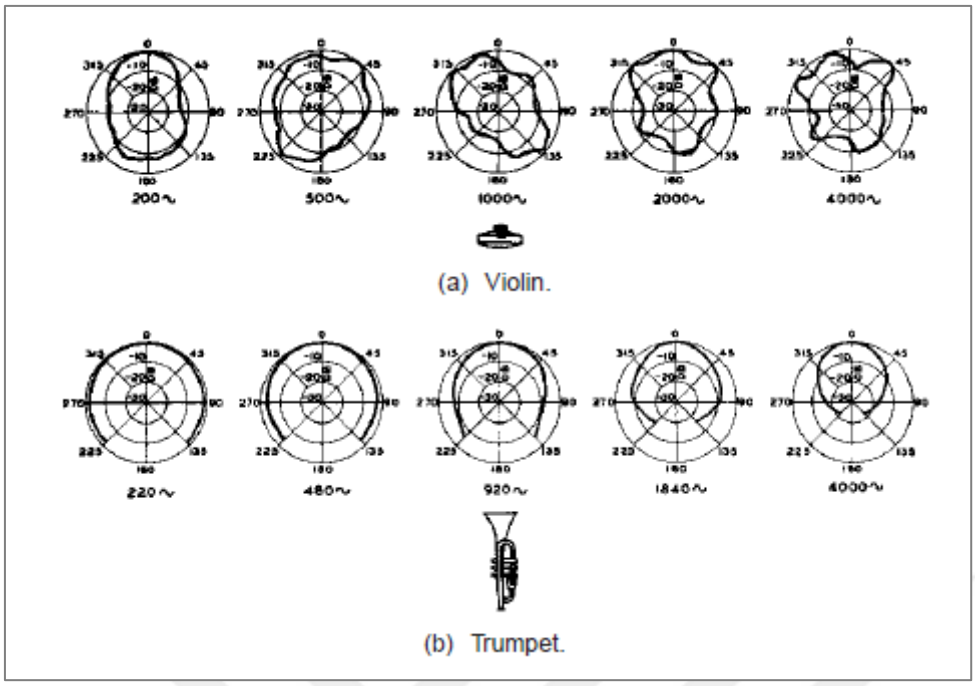


Şekil 5.10. Violin için düşey düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü (Ranjbari, 2013; Meyer, 2009)



Şekil 5.11. Violin ve trompet için yatay düzlemde farklı frekans aralıklarında sesin yayılma yönlülüğü (Ranjbari, 2013; Meyer, 2009)

Bir senfoni orkestrasındaki çoğu müzik aleti, yüksek frekanslarda yönlüdür. Genel olarak, aletlerin yönlülüğü artan frekansla birlikte artar. Daha düşük frekanslarda hemen hemen tüm enstrümanlar çok yönlüdür (sesleri tüm frekanslarda eşit olarak yayarlar), ancak 500 Hz'in üzerinde çoğu enstrüman belirli yönlerde daha fazla ses enerjisi yaymaya başlar. Şekil 5.12., Olson'a (1967) göre bir keman ve trompetten yayılan sesin ölçülen kutupsal modellerini göstermektedir. Meyer (2004) ayrıca müzik enstrümanlarının kendi ölçülü yönlendirmelerinden oluşan kapsamlı bir koleksiyon yayınlamıştır (Dammerud, 2009).



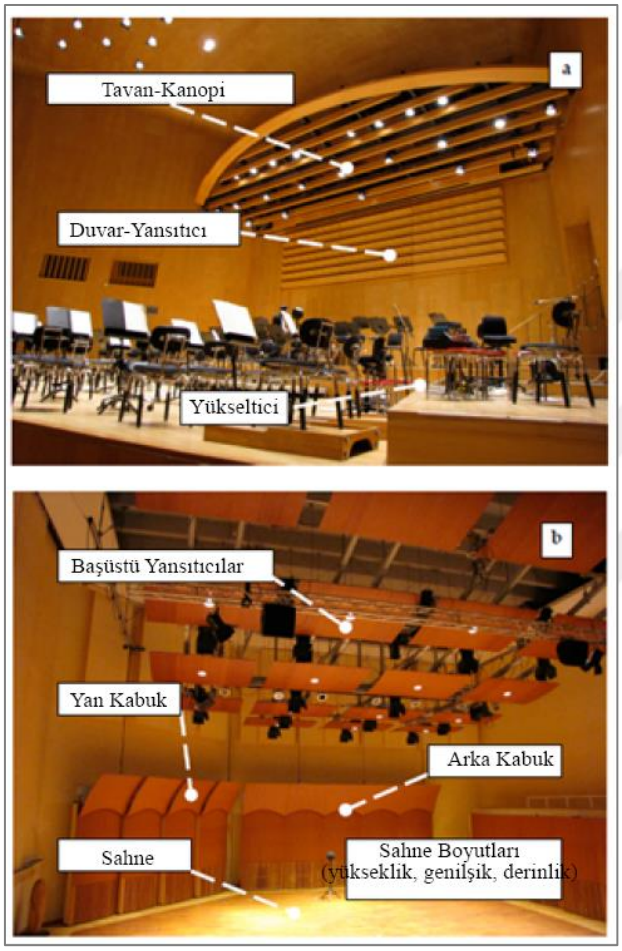
Şekil 5.12. Violin ve trompet için ses yayılma yönlülüğü dağılımı (Dammerud, 2009; Olson, 1967)

Yaylı çalgılar, orkestradaki en zayıf sesli enstrümanlardan biridir. Pirinç enstrümanlar seyirciye yöneliktir, aynı zamanda nefesli çalgılar ve yaylı çalgılara da yöneliktir. Bu, orkestra içinde önemli ölçüde değişen doğrudan ses seviyelerine yol açar. Yaylı çalgıların yönlülüğü, Şekil 5.12.(a)'da gösterildiği gibi, frekansla önemli ölçüde değişir. Karmaşık yönlülük modeli, enstrümanların ahşaptan yapılmış gövdesinin rezonanslarından çok etkilenir ve rezonans modelleri, çalınan her nota için önemli ölçüde değişir. Pirinç, özellikle trompet ve trombonlar, en gürültülü enstrümanlar arasındadır ve daha yüksek frekanslarda oldukça yönlü hale gelir. Şekil 5.12.(b), bir trompet için ölçülen yönlülük modellerini göstermektedir. Pirinç enstrümanların yönlendirmeleri, telli ve nefesli çalgılara kıyasla daha düzenli bir model gösterir ve çalınan her nota arasında en tutarlıdır. Bunun nedeni nefesli çalgılarda çalınan notadan bağımsız olarak sesin aynı fiziksel noktadan yayılmasıdır (Dammerud, 2009).

5.4. Orkestra Kabuğu

Orkestranın kendini duyma yeteneği, konser salonu tasarımında çok önemsenmeyen faktörlerden biridir. Orkestranın, kabukla çevrili bir platform üzerine yerleştirildiği yerlerde, kabuğun tavanı ve duvarları tarafından sağlanan destek, müzisyenlerin kendilerini ve birbirlerini duymalarını sağlayan güçlü yansımalar yaratır (Long, 2006: 664).

Bu nedenle, kabuğun üst yüzeyinin büyük bir kısmı, sesi ya aynasal olarak ya da büyük dağıtıcı elemanları aracılığıyla aşağıya doğru yönlendirmelidir (Long, 2006: 664). Şekil 5.13., duvardaki ses yansıtıcılar, sahne yükselticileri, kanopiler, yan ve arka kabuklar, sahne alanı ve sahne boyutları dahil olmak üzere sahne tasarımının yararına olacak bazı genel mimari hususları göstermektedir (Ranjbari, 2013).



Şekil 5.13. Sahne tasarımında kullanılan mimari düzenlemeler (Ranjbari, 2013)

Büyük bir senfonik orkestranın kapladığı yüzey alanı yaklaşık 200 m^2, kabaca 18 m genişliğinde ve 12 m derinliğindedir. Müzisyenler arasındaki mesafe daha sonra 1,5 m (en yakın müzisyen) ile 10 m'den fazla arasında değişebilir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 33).

Sahnedeki dinleme koşulları müzisyenler kendilerini en iyi şekilde sunabilmeleri açısından mükemmel olması gerekir. Bu anlamda dikkate alınması gereken iki husus vardır:

- Birincisi, her müzisyenin kendisini doğru bir şekilde duyabilmesi gerekir (ancak kendi sesini diğerlerininkini maskeleyecek kadar olmamalı).
- İkincisi, sahnenin diğer tarafında oturanları bile her müzisyen sahnede diğerlerini doğru ve yeterli bir şekilde duyabilmelidir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 33).

Sahnedeki akustiğin uyarlanabilirliğinin farklı boyutlardaki müzik topluluklarına ve farklı müzik türlerine uyacak şekilde planlanması gerekecektir. Tekrarlanan eko ve durağan dalgaları önlemek için sahnenin yan duvarları paralel olmamalıdır. Sahnenin yan duvarlarının en az 5 derece eğimli olarak tasarlanması önerilir. Müzisyenlerin, sahne çevresindeki yüzeylerden biraz uzaklaşabilmesi için; orkestranın çevresinde, yaklaşık 1,5 m genişliğinde açık koridor tasarlanması önerilmektedir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 23).

İlk olarak, akustik yansımaların sayısını çoğaltmak ve pürüzsüz veya çok büyük yansıtıcı yüzeylerin "ayna etkisini" kırmak için, özellikle 2 kHz'in üzerindeki frekanslarda (yaklaşık 50 mm derinlikteki düzensizliğe karşılık gelir), odadaki yansıtıcı yüzeyler üzerindeki pürüzlülükten saçılma üretilmelidir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 22)

5.5. Akustik Parametreler

Müzisyenler için sahne akustiğinin anlaşılmasına en büyük katkı, müzisyenlerin kendileri ve topluluk koşulları için akustik desteği değerlendirmek üzere nesnel ölçütler öneren A. C. Gade tarafından yapılmıştır. Gade, iki parametre önermiştir: Bireysel bir müzisyenin akustik desteği için ST (Destek) ve topluluk koşulları için EEL (Erken Topluluk Seviyesi- Early Ensemble Level). ST'nin, orkestraların ölçülen sahnelere ilişkin izlenimleriyle ilişkili olarak bu iki parametreden daha başarılı olduğu görülmüştür. Daha sonra ST'nin üç revize edilmiş versiyonu önerilmiştir: topluluk şartlarını ölçmek için ST_{early}; algılanan reverberasyon için ST_{late}; ve akustik destek için ST_{total}. ST_{early}, herhangi bir dikey yansıtıcı yüzeyden en az 4 metre uzakta oturan bir müzisyene geri gelen 20 ila 100 ms (doğrudan sese göre) zaman aralığındaki yansımaların enerjisini ölçer (Dammerud ve Barron, 2007).

TS EN ISO 3382-1 Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi -Bölüm 1: Gösteri mekanları Standardında;

Konser salonlarında veya diğer performans alanlarında, akustik şartların müzisyenlerin birbirlerini duymalarını sağlayacak şekilde olması ve odadan yeterli cevabın alınması önemlidir. Bu şartların objektif olarak değerlendirilebilmesi için, kaynak ve mikrofonun birbirine yakın olduğu bir orkestra platformunda ölçüm yapmanın gerekliliği kanıtlanmıştır. Ölçümler kullanılarak iki farklı parametre elde edilebilir (TS EN ISO 3382-1)

- Erken destek STearly: Erken destek, ilk 0,1 saniye içindeki yansıyan enerjinin doğrudan sese (döşeme yansıması da dâhil olarak) oranıdır (dB) (TS EN ISO 3382-1)
- Geç destek STlate: Geç destek, ilk 0,1 saniyeden sonra yansıyan enerjinin doğrudan sese (döşeme yansıması da dâhil olarak) oranıdır (dB) (TS EN ISO 3382-1)
- Akustik Destek - STtotal (ST_2): Müzisyenlerin kendi enstrümanından gelen ses için odadan gelen desteği değerlendirmek için geliştirilmiştir. İlk 20-1000 ms arasında yansıyan ses enerjisinin, döşeme yüzeyinden yansıyan ses enerjisini de kapsayan direkt ses enerjisine oranıdır (Gade, 1992).

İki büyüklük de çok yönlü ses kaynağının akustik merkezinden 1 metre uzakta ölçülür. Diğer yansıtıcı yüzeyler veya cisimler ile ölçüm konumu arasındaki mesafe 2 metreden daha fazla olmalıdır (TS EN ISO 3382-1).

Kaynak ile mikrofon, döşemeden 1 m veya 1,5 m yukarıda aynı yükseklikte olmalıdır. Kaynak ve alıcı için en az üç farklı konum kullanılmalıdır. Ölçümler tercihen orkestra platformunda sandalye ve nota sehpaları bulundurularak yapılmalı, ancak kaynak ve mikrofonun 2 m'ye kadar yakınında bulunan sandalye ve nota sehpaları, sesi mikrofona doğrudan yansıtmamaları için kaldırılmalıdır. Ölçümler oktav bantlarında yapılır. 250 Hz'den 2000 Hz'e dört oktav bandında ve üç konum için aritmetik olarak ortalaması alınmış sonuçlar tek sayılı bir sonuç olarak hesaplanmalıdır (TS EN ISO 3382-1).

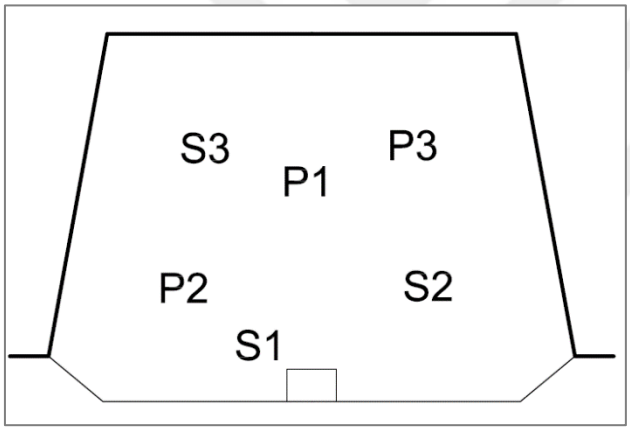
ST_{early} topluluk koşullarını değerlendirmek için, ST_{late} algılanan reverberasyonu değerlendirmek için ve ST_{total}, müzisyenin kendi enstrümanından gelen ses için odadan gelen desteği değerlendirmek için kullanılmaktadır. ST, çok yönlü bir hoparlör ve mikrofon kullanarak, sahnede herhangi bir yönden müzisyene geri dönen ses yansımalarının seviyesini ölçer. Yansımaların toplamı, ses emisyonuna göre farklı zaman aralıklarında alınır. ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} için zaman aralıkları sırasıyla 20–100, 100–1000 ve 20–1000 ms'dir. Matematiksel formülleri Eşitlik 5.1-5.3'te verilmiştir (Dammerud, 2009; Gade, 1992).

$$ST_{early} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{E(20\text{–}100\ ms)}{E(0\text{–}10\ ms)}\right) \quad dB \tag{5.1}$$

$$ST_{late} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{E(100\text{–}1000\ ms)}{E(0\text{–}10\ ms)}\right) \quad dB \tag{5.2}$$

$$ST_{total} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{E(20\text{–}1000\ ms)}{E(0\text{–}10\ ms)}\right) \quad dB \tag{5.3}$$

Sahne platformu üzerindeki üç ölçüm noktası yerleşimi Şekil 5.14.'te gösterilmektedir. S1 kaynağı; solist pozisyonu, S2 kaynağı; viyolalar ve çello arasındaki sağ yan yaylı çalgıların ortası ve S3 kaynağı; nefeslilerin ikinci sırasının en solu olacak şekilde düzenlenmiştir. Alıcı konumları da kaynak konumlarından bir metre mesafede konumlanan mikrofonla ölçülmüştür (Gade, 1989).



Şekil 5.14. Orkestra platformu kaynak ve alıcı ölçüm noktaları yerleşimi (Gade, 1989)

STearly, STlate ve STtotal paremetreleri sınır değerleri için literatürde önerilen değerler Çizelge 5.1.- Çizelge 5.3.'te sunulmuştur.

Çizelge 5.1. STearly ve STlate parametreleri sınır değer aralığı (TS EN ISO 3382-1)

Özel dinleyici özellikleri	Akustik büyüklük	Tek sayı frekans ortalaması	JND (algılanabilir fark)	Tipik aralık
Topluluk şartları	Erken destek, STearly (dB)	250-2000	Bilinmiyor	-24 dB; -8 dB
Algılanan reverberasyon	Geç destek, STlate (dB)	250-2000	Bilinmiyor	-24 dB; -10 dB

Çizelge 5.2. Erken destek ve akustik destek parametreleri sınır değer (Odeon A/S, 2021)

Objektif parametre	Sembol	Önerilen değer (senfonik müzik)
Erken destek	STearly	> -13 dB
Akustik destek	STtotal	> -12 dB

Çizelge 5.3. STearly ve STlate parametreleri sınır değer aralığı (Chiang, Chen ve Huang, 2003)

	ED100	STearly	STlate
Maksimum	-6,1	-9,0	-10,9
Minimum	-13,6	-15,9	-17,3
Ortalama	-9,8	-12,2	-14,7

5.6. Sahne için Mimari ve Akustik Performans Parametrelerinin Oluşturulması

Bölüm 5'te ele alınan sahne tasarımına ilişkin bilgiler ışığında hem mimari açıdan hem de akustik açıdan sahne parametreleri oluşturularak Çizelge 5.4.'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Sahne tasarımı için mimari ve akustik parametreler

Sahne Tasarımı için Mimari ve Akustik Parametreler	
SAHNE BOYUTLARI	• Sahne önü genişlikleri 16-24 m arasındadır (Guyer, 2014). • Orkestra platformu çok derin olmamalıdır, en fazla 11-12 m, bu da Beranek'in önerdiği alana göre yaklaşık 17 m genişliğe neden olur (Long, 2006). • Müzisyenlerin üstünde, tek tek yansıtıcılar dışbükey tabakalardan veya disklerden oluşturulur ve 6 ila 8 m yükseklikte asılır (Long, 2006: Barron, 1993). • Büyük bir senfonik orkestranın kapladığı yüzey alanı yaklaşık 200 m^2, kabaca 18 m genişliğinde ve 12 m derinliğindedir. Müzisyenler arasındaki mesafe daha sonra 1,5 m (en yakın müzisyen) ile 10 m'den fazla arasında değişebilir. Odanın ve özellikle sahnenin akustiği, her müzisyenin en uzaktaki müzisyenleri neredeyse en yakın komşuları kadar net (ve yüksek sesle) duymasına izin vermelidir. Böyle bir akustiği elde etmek için, sahne boyunca müzisyenler tarafından kesintiye uğratılmayan yansıma yolları oluşturulmalıdır. Bu, müzisyenlerin başının üzerinde bulunan yansıtıcı yüzeyler kullanılarak yapılır (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 33). • Sahne üstü hareketli reflektörler için istenilen minimum yükseklik: 8 m (maksimum 9 m), Sahne üstü hareketli reflektörler için istenilen maksimum yükseklik: 17 m (minimum 15 m) (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 34). • Müzik eserlerine ve orkestranın kompozisyonuna bağlı olarak, büyük bir reflektörün yüksekliği genellikle sahne seviyesinden 10 ila 16 m yukarıda ve bir reflektör dizisi için 8 ila 14 m arasında olacaktır. Bu durumda, sahne üzerindeki reflektörlerin sahne seviyesinden 8 ila 16 m yükseklikte ayarlanabilmesi istenmektedir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 23). • Orkestranın iyi bir akustik sağlamak ve orkestra için en iyi koşulları yaratmak için sahne çok büyük ve kesinlikle çok geniş olmamalıdır. Sahne önünde maksimum 19 metre genişlik önerilmektedir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 23). • Tekrarlanan eko ve durağan dalgaları önlemek için sahnenin yan duvarları paralel olmamalıdır. Sahnenin yan duvarlarının en az 5 derece eğimli olarak tasarlanması önerilir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 23). • Orkestra içindeki mesafeleri en aza indirmek için platform ne çok geniş ne de çok derin olmalıdır. 200 m^2'lik bir sahnede, ortalama genişlik 18 m'yi geçmemeli ve bu da yaklaşık 12 m'lik bir derinlikle sonuçlanmalıdır (tam orkestra için, korosuz). Daha küçük gruplar için, etkili taban alanının azaltılabilmesi önemlidir (Barron, 1993). • Sahne evi içeren salonlarda orkestra kabuğu gereklidir. Kabuk hacmi salonla aynı akustik alanın bir parçasını oluşturacak şekilde tasarlanmalıdır (Barron, 1993). • Kabuğun kendisi, düşük frekanslı seslerin yutulmasını engellemek için oldukça sağlam malzemelerden yapılmalıdır. 20 kg/m^2 yüzey yoğunluğu tavsiye edilir (Barron, 1993). • Dammerud ayrıca çapraz iletişimi geliştirmek için aşağı doğru eğimli üst kısımlara sahip yan duvar yansıtıcıları önermektedir (Gade, 2010).
ORKESTRA YERLEŞİMİ	• Orkestra kurulumları genellikle mümkün olduğu kadar kompakttır (Guyer, 2014). • Sahne alanı ortalamaları 1.5 ila 1.85 müzisyen başına m^2 arasındadır (Guyer, 2014). • Topluluk veya grup: 30-50 müzisyen, 74-84 m^2 Orta ölçekli/boyutta orkestra: 50–80 müzisyen, 110-140 m^2 Orta orkestra ve koro: 50–100 ses, 167-213 m^2 Senfoni orkestrası: 80–125 müzisyen, 185-223 m^2 • Senfoni ve büyük koro: 100–200 ses, 260-325 m^2 önerilmektedir (Guyer, 2014). • Beranek (1962), 100 kişilik bir orkestra için 190 m^2 platform boyutu sağlayan, müzisyen başına 1.9 m^2 önermektedir (Long, 2006). • Barron (1993), enstrümanın türüne göre değişen bir taban alanı önermektedir: Üst telli ve nefesli çalgılar için 1,25 m^2 Çello ve daha büyük üflemeli çalgılar için 1.5 m^2 Kontrbas için 1,8 m^2 Timpani için 10 m^2 ve 20 m^2 kadar (Long, 2006). • 100 kişilik bir orkestranın 150 m^2 bir alana ihtiyaç duyacağını hesaplıyor ve Beranek'in 190 m^2 solistler için de alan sağladığını öne sürüyor (Long, 2006). • Barron (1993) bir koronun oturan üye başına 0,5 m^2 ihtiyacı olduğunu varsayar, bu nedenle 100 kişilik bir koro 50 m^2 ek alan kaplar. Koro koltukları arkaya yerleştirilebilir ve orkestranın her iki yanında yer alır ve kullanılmadığı zamanlarda dinleyicilere açıktır (Long, 2006).

Çizelge 5.4. (devam) Sahne tasarımı için mimari ve akustik parametreler

Sahne Tasarımı için Mimari ve Akustik Parametreler	
ENSTRÜMAN SES SEVİYELERİ, YÖNLÜLÜK VE FREKANS ARALIKLARI	• Yaylı çalgılar, nefesli çalgılar, pirinçler, vurmalı çalgılar vb. arasında değişen orkestra enstrümanlarına bakıldığında, enstrüman türleri arasında çok çeşitli doğal ses güçleri görülebilir (Ranjbari, 2013). • Nefesli çalgılar bölümü yaylı çalgılar bölümünden daha zayıftır ve 50 enstrümandan oluşan yaylı çalgılar bölümü hala pirinçlerden daha zayıftır. • Yaylı çalgılar, orkestradaki en zayıf sesli enstrümanlardan biridir. Pirinç enstrümanlar seyirciye yöneliktir, aynı zamanda nefesli çalgılar ve yaylı çalgılara da yöneliktir. Bu, orkestra içinde önemli ölçüde değişen doğrudan ses seviyelerine yol açar (Dammerud, 2009). • Bu, orkestral enstrümanlar arasında, seviye maskeleme açısından ciddi sorunlara neden olması beklenen göreceli ses gücü seviyelerindeki büyük farklılıkları açıkça göstermektedir (Ranjbari, 2013). • Genel olarak, frekans aralığına bağlı olarak müzik aletleri sesi her yöne eşit yoğunlukta yaymaz, bunun yerine az çok belirgin yönlü davranış ifade eder. Yayılan ses basıncının yöne olan bu bağımlılığı, yön karakteristiği olarak adlandırılır (Ranjbari, 2013). • Yön özellikleri farklı enstrümanlar arasında değişiklik gösterir (Ranjbari, 2013).
ORKESTRA KABUĞU	• Bir kabukla çevrili bir platform üzerine yerleştirildiği yerlerde, kabuğun tavanı ve duvarları tarafından sağlanan destek, müzisyenlerin kendilerini ve her birini duymalarını sağlayan güçlü yansımalar yaratır. Bu nedenle, kabuğun üst yüzeyinin iyi bir kısmı, sesi ya aynasal olarak ya da büyük dağıtıcı elemanları aracılığıyla aşağıya doğru yönlendirmelidir (Long, 2006). • Kalıcı kabuklar en az 25 mm kalınlığında ahşap olmalıdır. Taşınabilir kabuk 13 mm kadar ince ahşap olabilir, ancak daha ağır malzemeler tercih edilir. Açıkça daha hafif malzemeler daha az bas ses yansıması sağlar ve düşük frekans emilimini azaltır (Long, 2006). • İlk olarak, akustik yansımaların sayısını çoğaltmak ve pürüzsüz veya çok büyük yansıtıcı yüzeylerin "ayna etkisini" kırmak için, özellikle 2 kHz'in üzerindeki frekanslarda (yaklaşık 50 mm derinlikteki düzensizliğe karşılık gelir), odadaki yansıtıcı yüzeyler üzerindeki pürüzlülükten difüzyon üretilmelidir (Kahle Acoustics and Altia, 2006: 23). • Geniş ve alçak sahneli bir kabuk, sahnenin ortasında yaylı çalgıcıların kendilerini çok fazla duymasına ve nefeslilerin yanlardaki yaylı çalgıcıları duymakta zorlanmasına neden olabilir (Dammerud ve Barron, 2007). • Koro ve orkestra dengesine zarar verebilecek ses yoğunlaşmasını önlemek için platformu çevreleyen yüzeylerden yansımalar için belirli bir derecede saçılma gereklidir. Seyirci için, saçılmanın az olması çeşitli bölümler arasında zayıf denge ve harmanlanma olarak duyulabilir (Dammerud ve Barron, 2007).
AKUSTİK PARAMETRELER	• Erken destek STearly: Erken destek, ilk 0,1 saniye içindeki yansıyan enerjinin doğrudan sese (döşeme yansıması da dâhil olarak) oranıdır (dB) (TS EN ISO 3382-1). • Geç destek STlate: Geç destek, ilk 0,1 saniyeden sonra yansıyan enerjinin doğrudan sese (döşeme yansıması da dâhil olarak) oranıdır (dB) (TS EN ISO 3382-1). • İki büyüklük de çok yönlü ses kaynağının akustik merkezinden 1 metre uzakta ölçülür. Diğer yansıtıcı yüzeyler veya cisimler ile ölçüm konumu arasındaki mesafe 2 metreden daha fazla olmalıdır (TS EN ISO 3382-1). • Kaynak ile mikrofon, döşemeden 1 m veya 1,5 m yukarıda aynı yükseklikte olmalıdır. Kaynak ve alıcı için en az üç farklı konum kullanılmalıdır (TS EN ISO 3382-1). • Ölçümler tercihan orkestra platformunda sandalye ve nota sehpaları bulundurularak yapılmalı, ancak kaynak ve mikrofonun 2 m'ye kadar yakınında bulunan sandalye ve nota sehpaları, sesi mikrofona doğrudan yansıtmamaları için kaldırılmalıdır (TS EN ISO 3382-1). • Ölçümler oktav bantlarında yapılır. 250 Hz'den 2000 Hz'e dört oktav bandında ve üç konum için aritmetik olarak ortalaması alınmış sonuçlar tek sayılı bir sonuç olarak hesaplanmalıdır (TS EN ISO 3382-1). • STearly, STlate ve STtotal için zaman aralıkları sırasıyla 20–100, 100–1000 ve 20–1000 ms'dir (Dammerud, 2009). • STearly: -24; -8 dB STlate: -24; -10 dB (TS EN ISO 3382-1) • STearly> -13 dB STtotal> -12 dB (Odeon A/S, 2021) • STearly :-15,9; -9 dB STlate :-17,3; -15,9 dB (Chiang, Chen ve Huang, 2003)

6. BÜTÜNLEŞİK TASARIM BAĞLAMINDA SAHNE PARAMETRELERİNİN SINANMASI, SES SAÇICI-DAĞITICI TASARIMI VE ÜRETİMİ

Bütünleşik tasarım kapsamında sahne parametreleri ile birlikte ses saçıcı-dağıtıcı kullanımı farklı düzenlemeler için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri değerlendirilmiştir.

Sahne tasarımları oluşturulurken, sahne boyutları için en yaygın kullanılan ve orkestranın yerleşebileceği ölçüler göz önünde bulundurulmuştur. Geometri olarak basit formlar tercih edilmiştir. Salon form ve özellikleri sabit tutularak sahne tasarımı dar-geniş, kısa-uzun, alçak-yüksek gibi kategoriler oluşturularak farklı varyasyonlar ODEON (v 15.08) simülasyon programı üzerinden test edilmiştir. Modelin izleyici bölümünün tasarımı, seyirci bölümü için eğimli izleyici alanı, duvarları ve tavanı ses yutucu- yansıtıcı malzeme olarak düzenlenmiş dikdörtgen salon formu seçilmiştir.

6.1. Performans Parametreleri Kapsamında Geliştirilen Sahne Tasarımlarının Model Üzerinden Sınanması

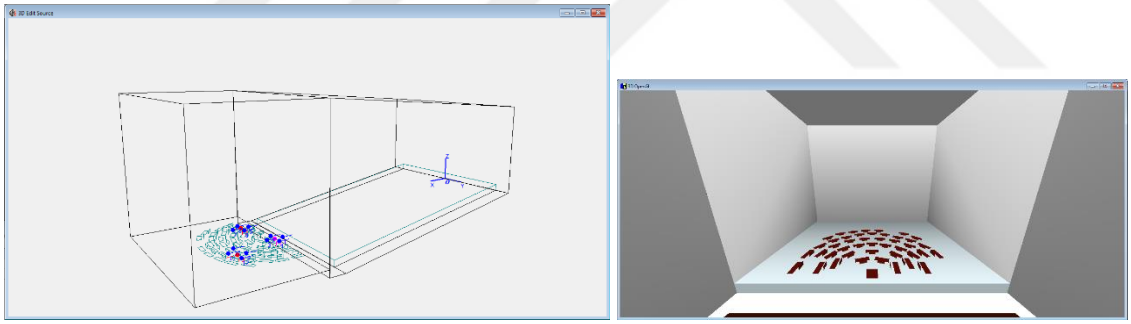
Geliştirilen modeller ile ilgili kararlar ve açıklamaları şu şekildedir;

- 1A- Geniş-Uzun-Yüksek-Düz Sahne: 14 m eni, 22 m uzunluk ve 17 m tavan yüksekliği olan bütün yüzeyleri yansıtıcı ve döşemesi düz sahne
- 2A-Geniş-Uzun-Alçak-Düz Sahne: 14 m eni, 22 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan bütün yüzeyleri yansıtıcı ve döşemesi düz sahne
- 3A-Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan bütün yüzeyleri yansıtıcı ve döşemesi düz sahne
- 3B-Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan yan yüzeyleri saçıcı ve döşemesi düz sahne
- 3C-Dar-Kısa-Alçak-Kademeli Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan yan yüzeyleri saçıcı ve döşemesi kademeli sahne
- 4A-Dar-Kısa-Alçak- Açılı Yan Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan yan yüzeyleri ve tavanı açılı, yan yüzeyler saçıcı ve döşemesi kademeli sahne

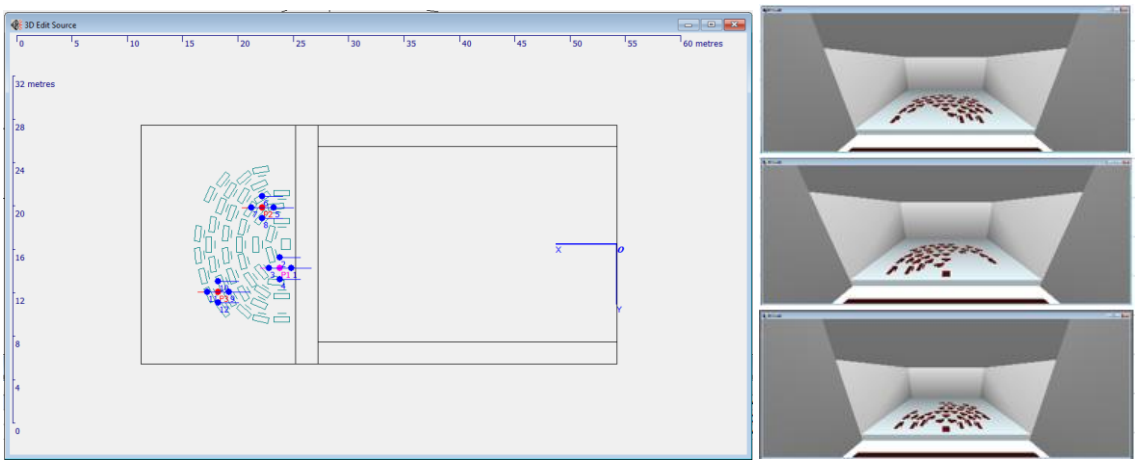
- 5A-Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan yan yüzeyleri ve tavanı açılı, yan yüzeyleri açılı -alçak ve yan yüzeyleri saçıcı ve döşemesi kademeli sahne
- 5B-Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Modüler Tavan-Kademeli Sahne: 10 m eni, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan yan yüzeyleri ve tavanı modüler açılı, yan yüzeyleri açılı -alçak ve yan yüzeyleri saçıcı ve döşemesi kademeli sahne

6.1.1. 1A- geniş-uzun-yüksek-düz sahne

Sahne boyutları; 14 m en, 22 m uzunluk ve 17 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahnenin bütün yüzeyleri ses yansıtıcı ve döşemesi düz sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.1. 1A için Odeon simülasyon programı modeli



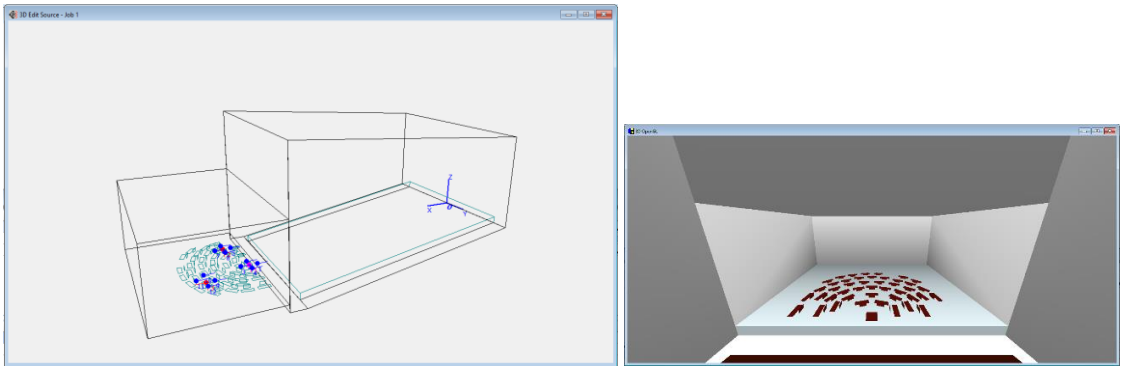
Şekil 6.2. 1A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.1. 1A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

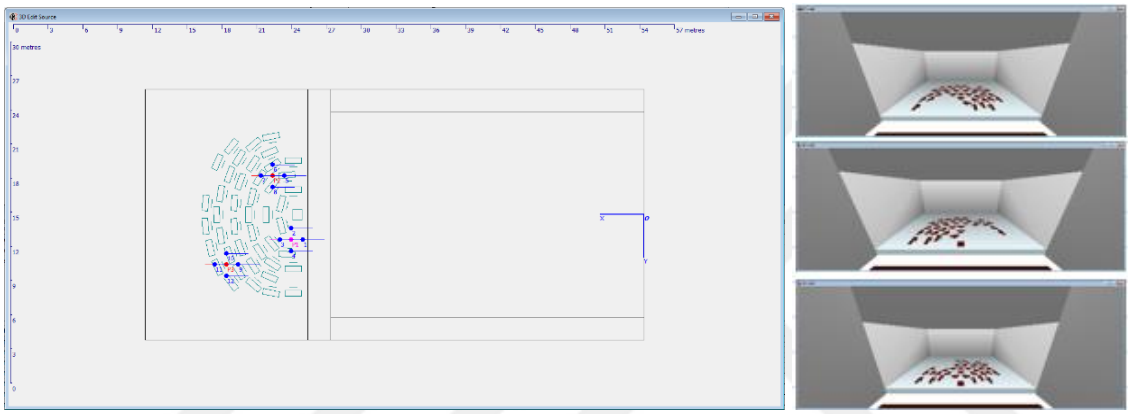
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
1A	**Geniş-Uzun-Yüksek-Düz Sahne**							
Yan Yüzey: Yansıtıcı Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan: Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-20,01	-20,37	-16,30	-16,70	-14,74	-15,13
		500 Hz	-20,28		-16,59		-15,02	
		1000 Hz	-20,56		-16,77		-15,25	
		2000 Hz	-20,63		-17,14		-15,49	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-19,41	-19,61	-14,93	-15,23	-13,60	-13,87
		500 Hz	-19,54		-15,16		-13,79	
		1000 Hz	-19,71		-15,25		-13,91	
		2000 Hz	-19,77		-15,61		-14,19	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-16,22	-16,30	-15,11	-15,48	-12,59	-12,83
		500 Hz	-16,27		-15,37		-12,76	
		1000 Hz	-16,33		-15,53		-12,87	
		2000 Hz	-16,41		-15,89		-13,10	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-18,76**		**-15,80**		**-13,94**

6.1.2. 2A-geniş-uzun-alçak-düz sahne

Sahne boyutları; 14 m en, 22 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahnenin bütün yüzeyleri ses yansıtıcı ve döşemesi düz sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.3. 2A için Odeon simülasyon programı modeli



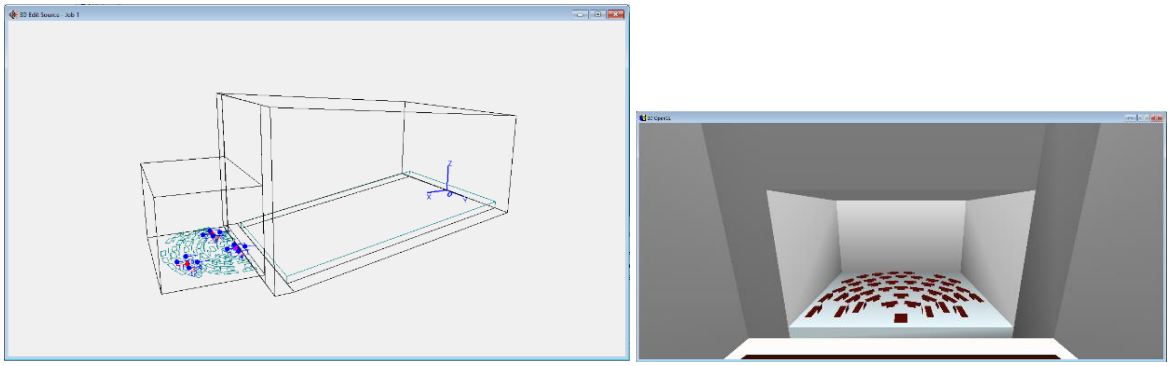
Şekil 6.4. 2A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.2. 2A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

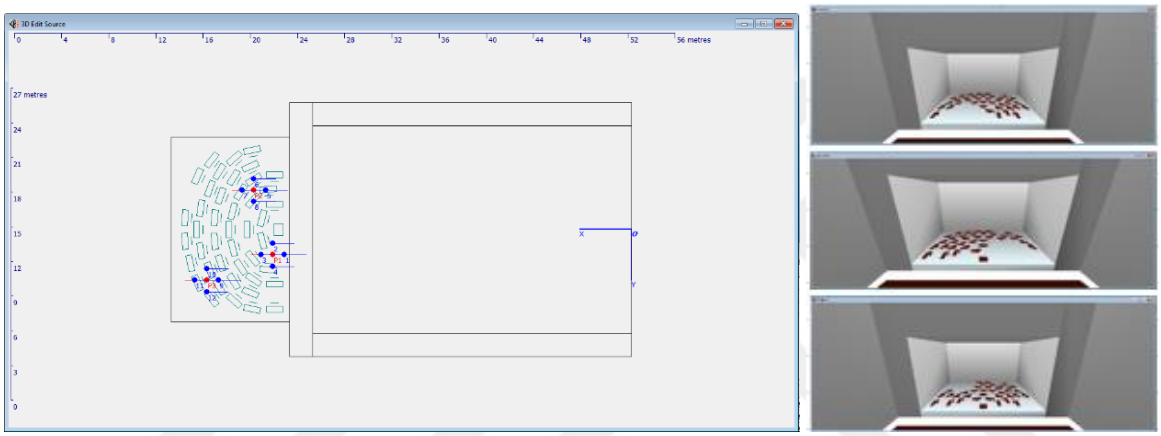
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
2A	**Geniş-Uzun-Alçak-Düz Sahne**							
Yan Yüzey: Yansıtıcı Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan: Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-16,14	-16,32	-15,76	-16,08	-12,93	-13,19
		500 Hz	-16,27		-16,02		-13,13	
		1000 Hz	-16,40		-16,16		-13,27	
		2000 Hz	-16,46		-16,39		-13,41	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-15,40	-15,51	-15,02	-15,31	-12,19	-12,39
		500 Hz	-15,48		-15,26		-12,35	
		1000 Hz	-15,55		-15,36		-12,44	
		2000 Hz	-15,61		-15,59		-12,58	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-13,17	-13,23	-14,27	-14,52	-10,67	-10,82
		500 Hz	-13,22		-14,49		-10,80	
		1000 Hz	-13,24		-14,56		-10,83	
		2000 Hz	-13,30		-14,77		-10,96	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-15,02**		**-15,30**		**-12,13**

6.1.3. 3A-dar-kısa-alçak-düz sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahnenin bütün yüzeyleri ses yansıtıcı ve döşemesi düz sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.5. 3A için Odeon simülasyon programı modeli



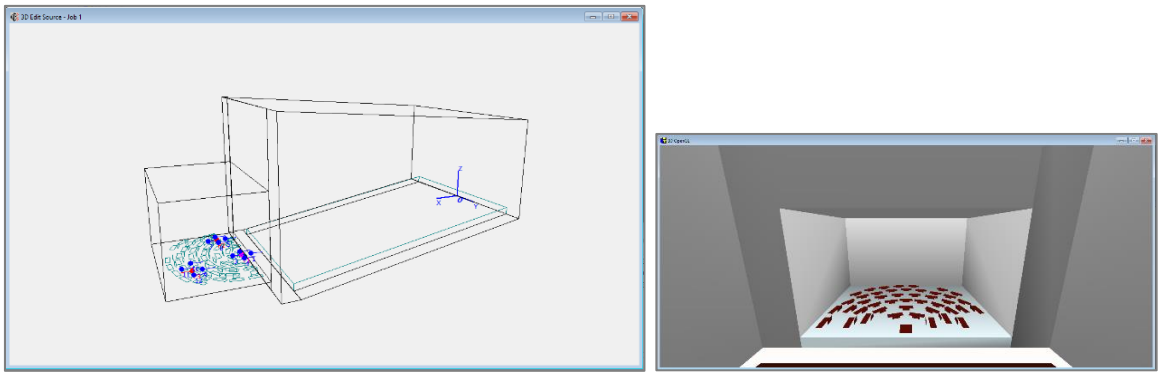
Şekil 6.6. 3A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.3. 3A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

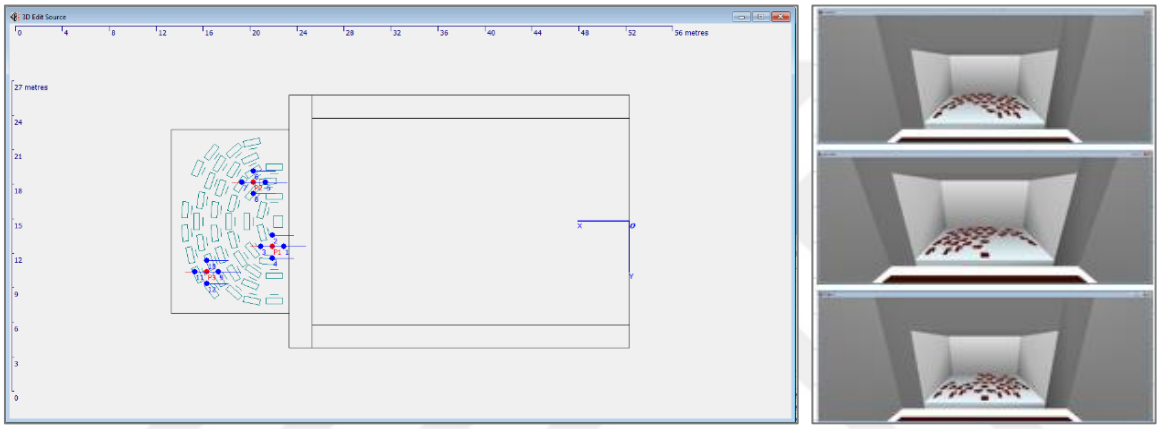
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
3A	Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne							
Yan Yüzey: Yansıtıcı Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan:Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-13,71	-13,83	-15,60	-15,97	-11,53	-11,76
		500 Hz	-13,79		-15,90		-11,71	
		1000 Hz	-13,88		-16,11		-11,84	
		2000 Hz	-13,94		-16,29		-11,94	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-12,65	-12,73	-15,11	-15,52	-10,68	-10,89
		500 Hz	-12,70		-15,44		-10,85	
		1000 Hz	-12,77		-15,70		-10,98	
		2000 Hz	-12,81		-15,84		-11,06	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-11,40	-11,49	-14,61	-15,04	-9,70	-9,89
		500 Hz	-11,47		-14,97		-9,87	
		1000 Hz	-11,52		-15,23		-9,98	
		2000 Hz	-11,55		-15,36		-10,03	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-12,68**		**-15,51**		**-10,85**

6.1.4. 3B-dar-kısa-alçak-düz sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahnenin yan yüzeyleri ses saçıcı-dağıtıcı ve döşemesi düz sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.7. 3B için Odeon simülasyon programı modeli



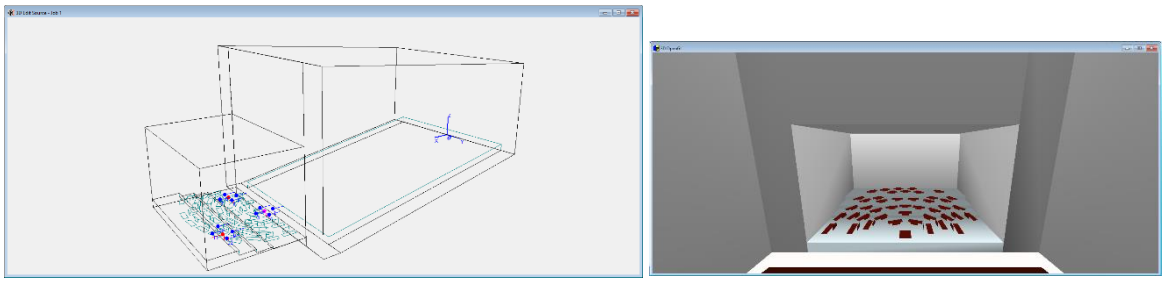
Şekil 6.8. 3B için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.4. 3B için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

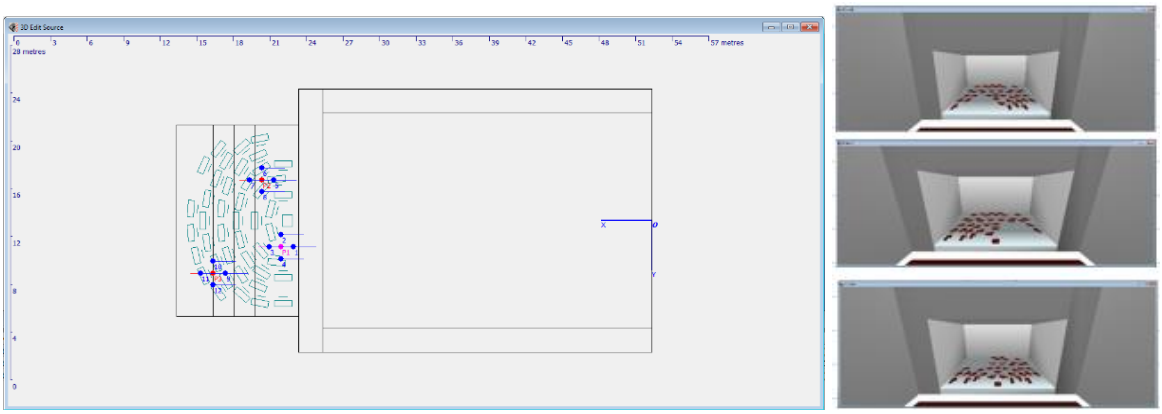
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
3B	**Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne**							
Yan Yüzey: Saçıcı (s:0,7) Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan:Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,06	-14,28	-16,23	-16,91	-12,00	-12,38
		500 Hz	-14,24		-16,88		-12,35	
		1000 Hz	-14,37		-17,20		-12,55	
		2000 Hz	-14,44		-17,35		-12,64	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-12,84	-13,02	-15,20	-15,83	-10,25	-10,63
		500 Hz	-13,00		-15,77		-10,60	
		1000 Hz	-13,10		-16,03		-10,80	
		2000 Hz	-13,15		-16,32		-10,88	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-11,13	-11,16	-13,77	-14,42	-9,24	-9,48
		500 Hz	-11,15		-14,42		-9,48	
		1000 Hz	-11,17		-14,68		-9,57	
		2000 Hz	-11,19		-14,81		-9,62	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-12,82**		**-15,72**		**-10,83**

6.1.5. 3C-dar-kısa-alçak-kademeli sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahnenin yan yüzeyleri ses saçıcı-dağıtıcı ve döşemesi kademeli sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.9. 3C için Odeon simülasyon programı modeli



Şekil 6.10. 3C için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

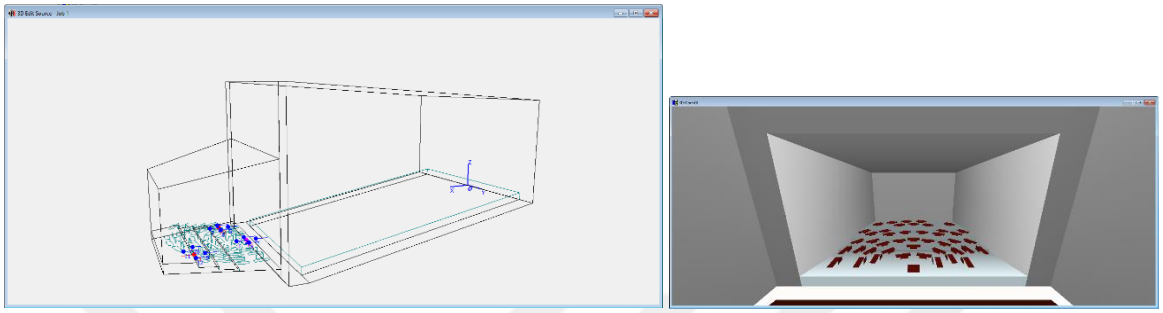
Çizelge 6.5. 3C için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
3C	**Dar-Kısa-Alçak-Kademeli Sahne**							
Yan Yüzey: Saçıcı (s:0,7) Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan: Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,14	-14,37	-16,32	-16,77	-12,08	-12,46
		500 Hz	-14,34		-16,94		-12,43	
		1000 Hz	-14,50		-17,23		-12,63	
		2000 Hz	-14,51		-16,58		-12,69	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-12,95	-13,09	-15,44	-16,10	-11,00	-11,32
		500 Hz	-13,09		-16,10		-11,32	
		1000 Hz	-13,16		-16,38		-11,46	
		2000 Hz	-13,18		-16,48		-11,51	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-11,13	-11,10	-13,95	-14,54	-9,30	-9,47
		500 Hz	-11,09		-14,54		-9,47	
		1000 Hz	-11,09		-14,77		-9,54	
		2000 Hz	-11,10		-14,89		-9,58	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-12,85**		**-15,80**		**-11,08**

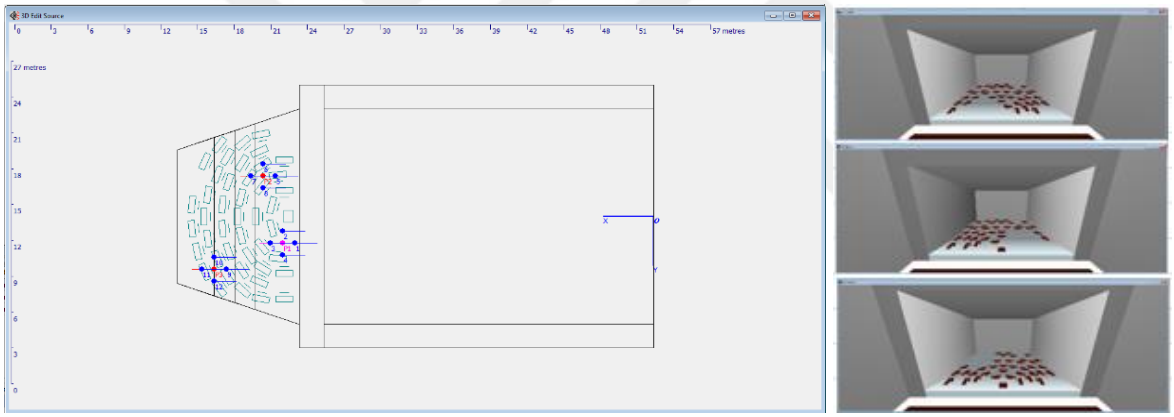
6.1.6. 4A-dar-kısa-alçak-açılı yan duvar ve tavan-kademeli sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahne tavanı 9° ve yan duvarları 19° açılı olarak düzenlenmiştir. Sahnenin yan yüzeyleri ses saçıcı-dağıtıcı ve döşemesi kademeli sahne

olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.11. 4A için Odeon simülasyon programı modeli



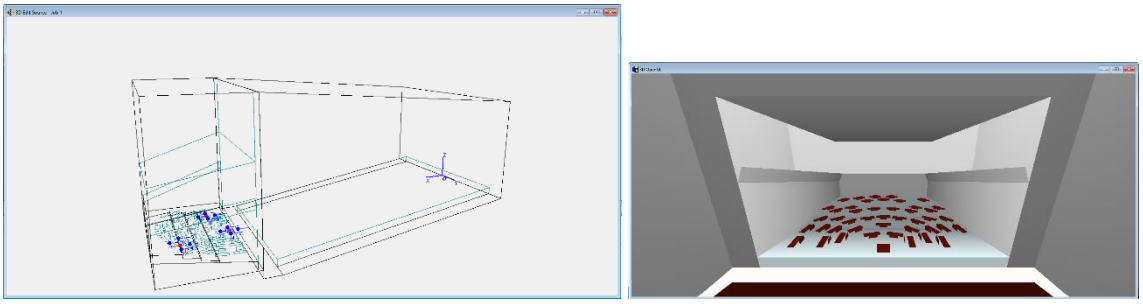
Şekil 6.12. 4A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.6. 4A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

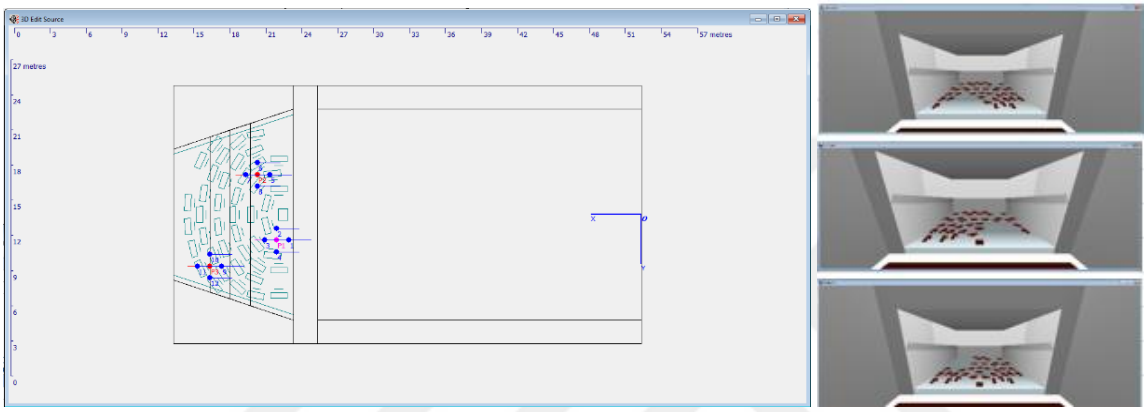
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
4A	**Dar-Kısa-Alçak Açılı Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne**							
Yan Yüzey: Saçıcı (s:0,7) Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan:Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,72	-14,79	-20,27	-20,98	-13,65	-13,86
		500 Hz	-14,76		-20,90		-13,82	
		1000 Hz	-14,84		-21,29		-13,95	
		2000 Hz	-14,84		-21,47		-14,04	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,24	-14,36	-22,14	-22,83	-13,59	-13,78
		500 Hz	-14,34		-22,75		-13,75	
		1000 Hz	-14,43		-23,14		-13,88	
		2000 Hz	-14,44		-23,29		-13,91	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,65	-14,26	-21,29	-21,59	-13,80	-13,52
		500 Hz	-14,19		-21,39		-13,43	
		1000 Hz	-14,16		-21,80		-13,47	
		2000 Hz	-14,05		-21,88		-13,39	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-14,47**		**-21,80**		**-13,72**

6.1.7. 5A-dar-kısa-alçak-açılı alçak yan duvar ve tavan-kademeli sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahne tavanı 9° ve yan duvarları 19° açılı olacak şekilde yan yüzeyler 4 m yüksekliğinde ve üstten 1 m'si eğimli olarak düzenlenmiştir. Sahnenin yan yüzeyleri ses saçıcı-dağıtıcı ve döşemesi kademeli sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.13. 5A için Odeon simülasyon programı modeli



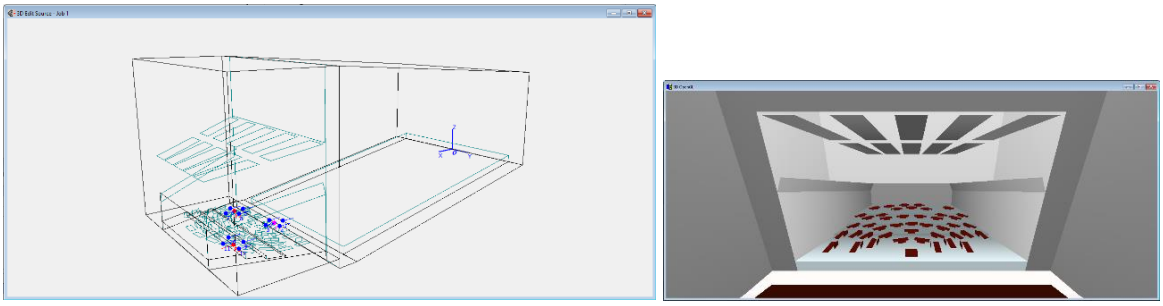
Şekil 6.14. 5A için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.7. 5A için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

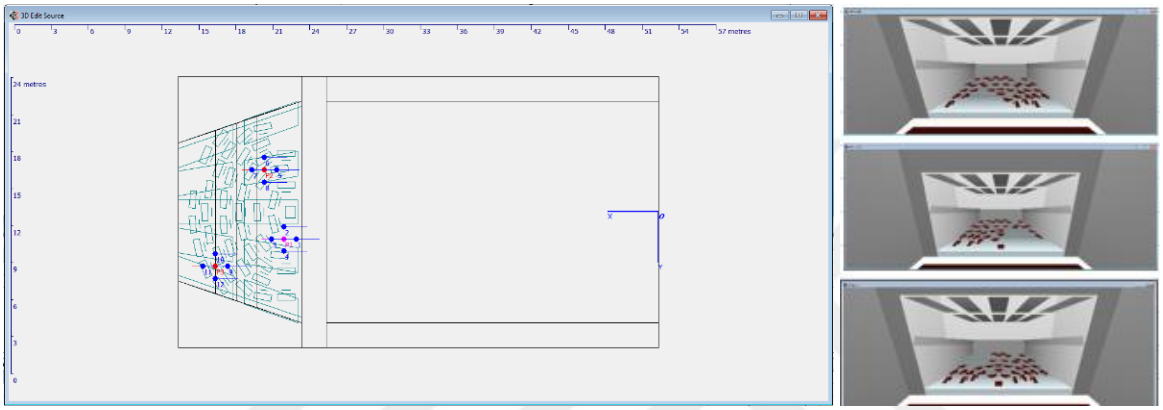
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
5A	Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne							
Yan Yüzey: Saçıcı (s:0,7) Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan: Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-14,73	-14,67	-20,56	-21,11	-13,72	-13,78
		500 Hz	-14,66		-21,01		-13,76	
		1000 Hz	-14,68		-21,33		-13,82	
		2000 Hz	-14,61		-21,53		-13,81	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-13,78	-13,87	-20,43	-20,98	-12,93	-13,10
		500 Hz	-13,87		-20,91		-13,08	
		1000 Hz	-13,92		-21,19		-13,17	
		2000 Hz	-13,91		-21,41		-13,20	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-15,12	-14,82	-20,45	-20,87	-14,00	-13,85
		500 Hz	-14,79		-20,77		-13,82	
		1000 Hz	-14,74		-21,05		-13,82	
		2000 Hz	-14,64		-21,23		-13,78	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-14,45**		**-20,99**		**-13,57**

6.1.8. 5B-dar-kısa-alçak-açılı alçak yan duvar ve modüler tavan-kademeli sahne

Sahne boyutları; 10 m en, 16 m uzunluk ve 9 m tavan yüksekliği olan sahneye sahip salon için CAD modeli oluşturulmuştur. Sahne tavanı 9° ve yan duvarları 19° açılı olacak şekilde yan yüzeyler 4 m yüksekliğinde ve üstten 1 m'si eğimli olarak düzenlenmiştir. Sahne tavanı aralıklı, modüler kanopi şeklinde düzenlenmiştir. Sahnenin yan yüzeyleri ses saçıcı-dağıtıcı ve döşemesi kademeli sahne olacak şekilde tasarlanmıştır. İzleyici alanı sabit tutulmuştur. Sahne üzerine modellenen orkestra için 3 farklı kaynak-alıcı konumu için ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri için ODEON simülasyon programı ile analiz ve TS EN ISO 3382-1 standardı ve literatüre göre değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 6.15. 5B için Odeon simülasyon programı modeli



Şekil 6.16. 5B için 3 farklı kaynak-alıcı konumları

Çizelge 6.8. 5B için sahne akustik parametreleri Odeon simülasyon programı analiz şonuçları

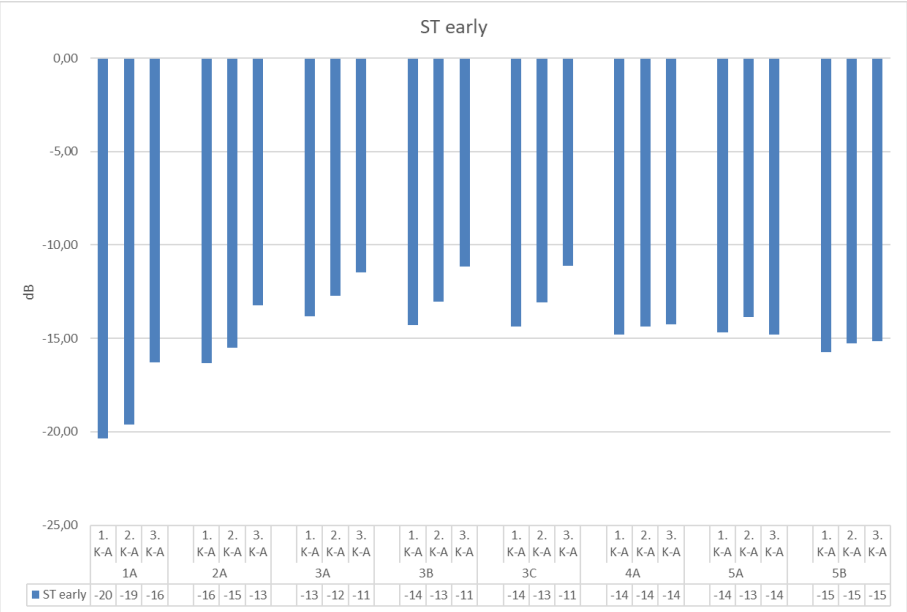
	SAHNE ÖZELLİKLERİ		SAHNE PARAMETRELERİ					
			ST early		ST late		ST total	
			Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama	Frekans Analizi	Ortalama
5B	Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Modüler Tavan-Kademeli Sahne							
Yan Yüzey: Saçıcı (s:0,7) Arka Yüzey: Yansıtıcı Tavan:Yansıtıcı	1. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-15,80	-15,74	-18,72	-19,00	-13,99	-14,04
		500 Hz	-15,71		-18,90		-13,99	
		1000 Hz	-15,78		-19,05		-14,07	
		2000 Hz	-15,70		-19,32		-14,11	
	2. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-15,13	-15,27	-18,92	-19,29	-13,61	-13,80
		500 Hz	-15,25		-19,20		-13,77	
		1000 Hz	-15,36		-19,37		-13,89	
		2000 Hz	-15,34		-19,65		-13,95	
	3. Kaynak-Alıcı Konumu	250 Hz	-15,40	-15,15	-18,98	-19,20	-13,81	-13,70
		500 Hz	-15,14		-19,06		-13,65	
		1000 Hz	-15,08		-19,28		-13,67	
		2000 Hz	-14,98		-19,49		-13,66	
	Ortalama	250-2000 Hz		**-15,39**		**-19,16**		**-13,85**

6.1.9. Geliştirilen tasarımların karşılaştırılması

Geliştirilen 8 farklı model üzerinde ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne akustik parametreleri analiz sonuçları Çizelge 6.1.-Çizelge 6.8.'de sunulmuştur.

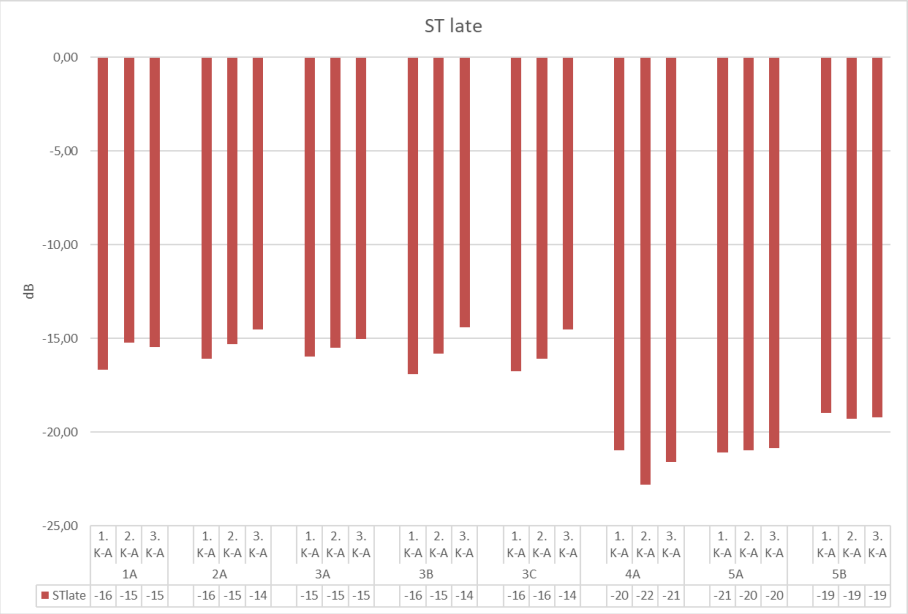
ST_{early} parametresi literatürde, TS EN ISO 3382-1 standardına göre -24;-8 aralığında, Odeon simülasyon programı kullanım kılavuzuna göre -13'den büyük ve Chiang ve ark. göre ise -9;-15,9 aralığında olması önerilmiştir. ST_{early} parametresi 8 model üzerinden her kaynak ve alıcı için analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.20'de grafikte, tüm parametrelerin ortalama değerleri ise; her bir model için Şekil 6.19'da grafikte sunulmuştur. ST_{early} parametresi 8 model üzerinden değerlendirildiğinde incelenen sahne düzenlemeleri ve yüzey özellikleri çerçevesinde TS EN ISO 3382-1'e göre sınır değer aralıklarında kaldığı gözlemlenmiştir. Fakat 1A, geniş, uzun ve özellikle yüksek tavana sahip sahne modelinin TS EN ISO 3382-1 dışındaki literatürde verilen (Odeon A/S, 2021 ve Chiang ve ark.) sınır

değerleri sağlayamadığı, 2A geniş, uzun ve alçak tavana sahip sahne modelinin ise sınır değere çok yakın olacak şekilde sağladığı gözlemlenmiştir. Sahnenin orkestraya uygun şekilde kompakt olarak düzenlenmesi ve yan yüzey özelliklerinin ses saçıcı olarak değerlendirilmesi sonucu STearly parametresi sınır değerler arasında kaldığı gözlemlenmiştir.



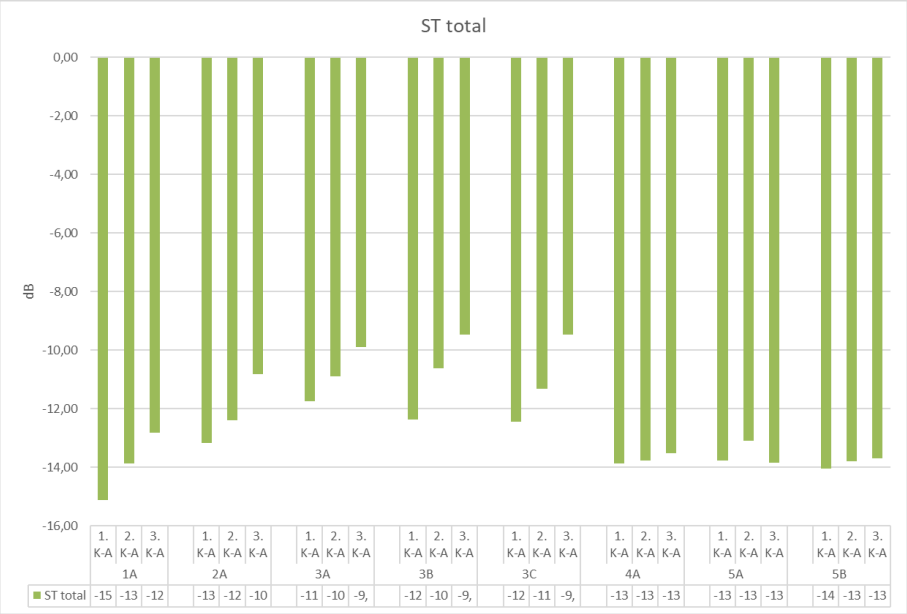
Şekil 6.17. STearly parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi

STlate parametresi literatürde, TS EN ISO 3382-1 standardına göre -24;-10 aralığında ve Chiang ve ark. göre ise -10,9;-17,3 aralığında olması önerilmiştir. STlate parametresi 8 model üzerinden her kaynak ve alıcı için analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.20'de grafikte, tüm parametrelerin ortalama değerleri ise; her bir model için Şekil 6.19'da grafikte sunulmuştur. STlate parametresi 8 model üzerinden değerlendirildiğinde incelenen sahne düzenlemeleri ve yüzey özellikleri çerçevesinde TS EN ISO 3382-1'e göre sınır değer aralıklarında kaldığı gözlemlenmiştir. Sahnenin orkestraya uygun şekilde kompakt olarak düzenlenmesi ve yan yüzey özelliklerinin ses saçıcı olarak değerlendirilmesi sonucu STlate parametresi üst sınır değere yaklaştırdığı gözlemlenmiştir.

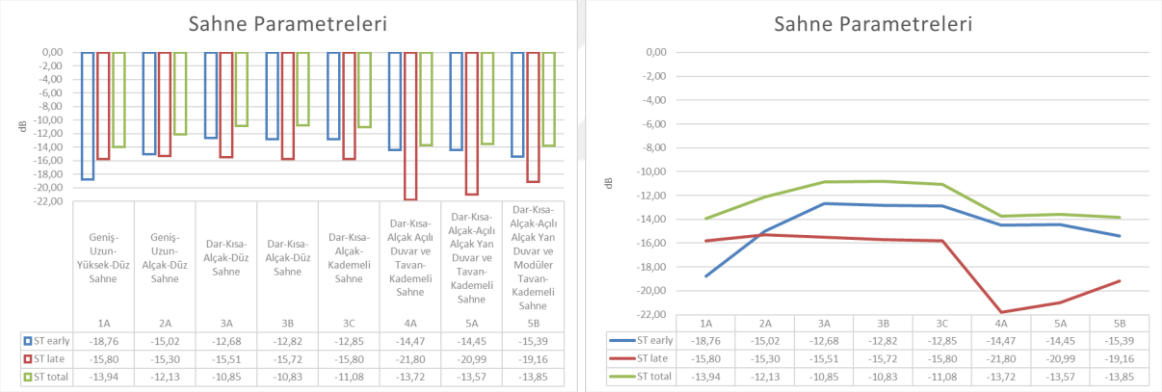


Şekil 6.18. STlate parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi

STtotal parametresi literatürde, TS EN ISO 3382-1 standardında yer almamaktadır, Odeon A/S, 2021'e göre -12'den büyük olması önerilmiştir. STtotal parametresi 8 model üzerinden her kaynak ve alıcı için analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.20'de grafikte, tüm parametrelerin ortalama değerleri ise her bir model için Şekil 6.19'da grafikte sunulmuştur. STtotal parametresi 8 model üzerinden değerlendirildiğinde incelenen sahne düzenlemeleri ve yüzey özellikleri çerçevesinde sınır değer aralıklarında kaldığı gözlemlenmiştir. Sahnenin orkestraya uygun şekilde kompakt olarak düzenlenmesi ve yan yüzey özelliklerinin ses saçıcı olarak değerlendirilmesi sonucu STtotal parametresi üst sınır değere yaklaştırdığı gözlemlenmiştir



Şekil 6.19. STtotal parametresi analiz sonuçlarının kaynak-alıcı pozisyonuna göre karşılaştırmalı değerlendirmesi



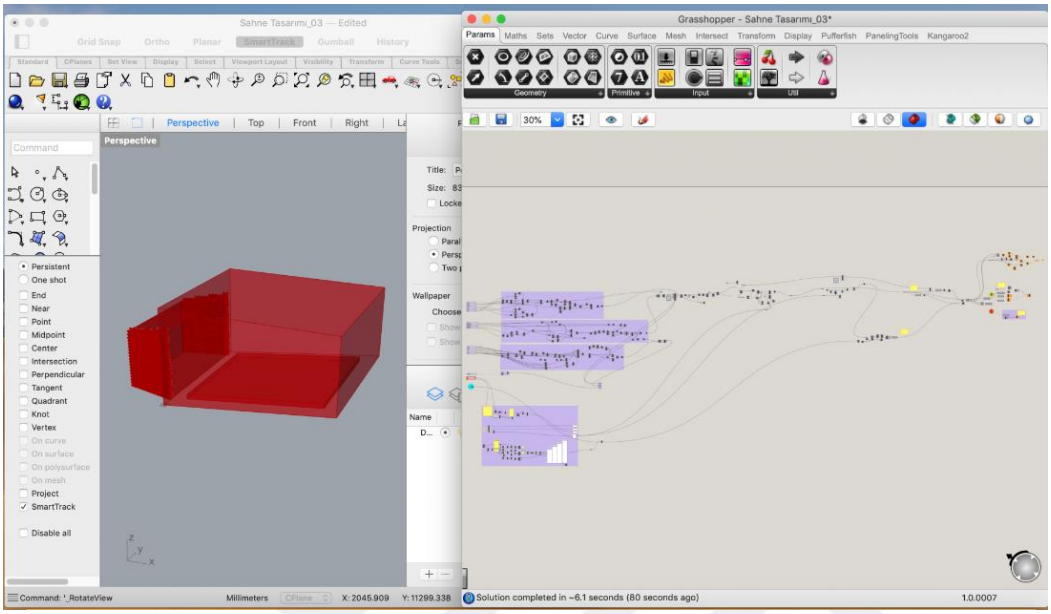
Şekil 6.20. STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametreleri ortalama değerlerinin 8 farklı model için karşılaştırmalı değerlendirmesi

STearly, STlate ve STtotal sahne akustik parametreleri bütüncül olarak ele alındığında; sahne üzeri tavanın ve yan yüzeylerin eğimli olması sesin izleyiciye doğru yönlenmesine, kademeli sahne düzenlemesinin ise hem orkestra içi hem de izleyici tarafından görsel iletişim açısından olumlu olmaktadır.

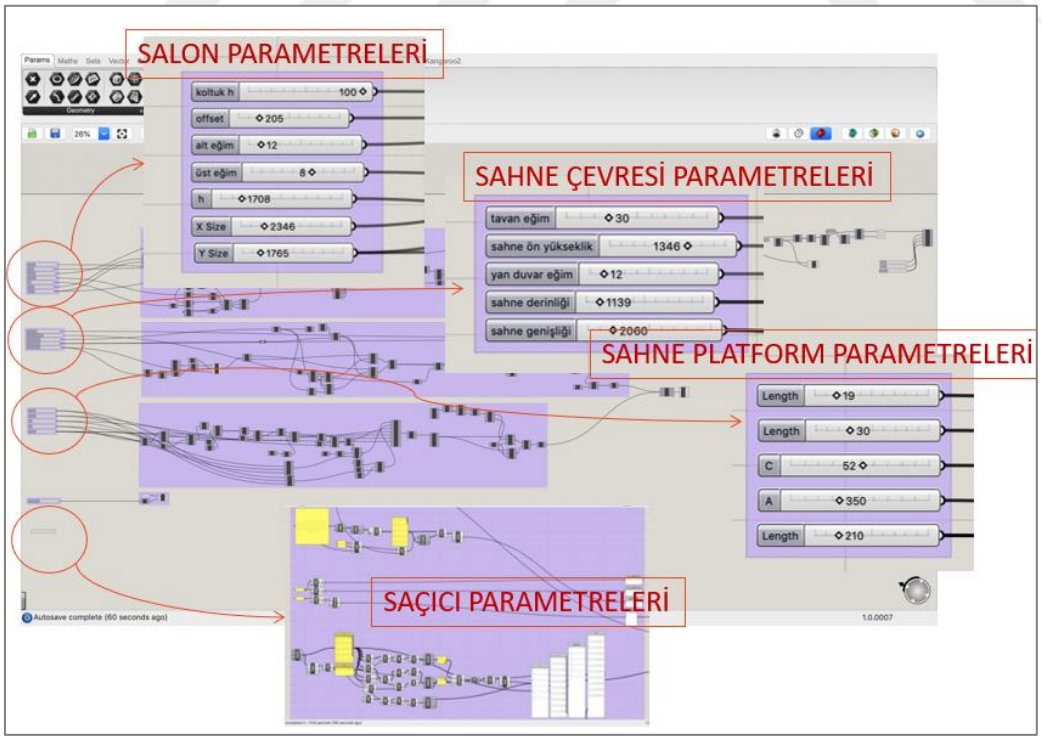
6.2. Sahne ve Sahne Parametreleri için Algoritma Geliştirilmesi

Bölüm 4'te belirlenen sahne için mimari ve akustik parametreler ışığında algoritma şeması oluşturularak hem sahne hem ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı birbirine entegre edilerek bütünleşik tasarım çalışması yapılmıştır. Parametrik tasarım için görsel algoritma

düzenleyici olarak Rhino ve entegre çalışan Grasshopper yazılımı kullanılmıştır. Algoritma çalışmalarında kullanılan kriterler açıklanmıştır.



Şekil 6.21. Sahne parametreleri için algoritma geliştirilmesi



Şekil 6.22. Sahne parametreleri için algoritma geliştirilmesi

6.2.1. Geliştirme basamakları

Salon; sahne ve izleyici kütlesi olarak 2 kısımda ele alınmıştır. Sahne kısmı ve izleyici kısmı ayrı geometriler olarak parametrize edilmiştir.

İzleyici kütlesi

İzleyici kısmı için ilk olarak genişlik ve derinlik parametrelerine göre zeminde bir dikdörtgen oluşturulmuştur. Akabinde zemindeki dikdörtgen, izleyici kütlesi eğimine göre şekil alacak şekilde geliştirilmiştir. Bu dikdörtgen için rotasyon parametresi eklenmiştir. Sonrasında izleyici kütlesi yüksekliği doğrultusunda alt dikdörtgen yukarı taşınmıştır. Alta eğim veren algoritma aynı şekilde üst yüzey eğimini de oluşturacak şekilde geliştirilmiştir.

Üst ve alt yüzeyler oluşturulduktan sonra aralarında izleyici kütlesinin ana formu tamamlanmıştır. Zeminde izleyicilerin oturacağı kısım zemin sınırları offset edilerek oluşturulmuş ve mesafesi parametrik kılınmıştır. İzleyici kısımları yukarı kaldırılarak kütle kazandırılmıştır.

Sahne kütlesi

İzleyici kütlesinin bittiği noktadan başlamak ve her daim o yüzeyi ortalayacak şekilde olmak üzere sahne genişliği ve derinliği parametrik olarak tanımlanarak sahne alt sınır dikdörtgeni oluşturulmuştur. Bu dikdörtgenin yan kenarları parametrik bir değer doğrultusunda içe doğru eğime sahip olacak şekilde geliştirilmiştir. Taban çizgisi kenar eğimleri ile birlikte oluşturulduktan sonra, yükseklik parametresi doğrultusunda yukarı kopyalanmıştır.

Bu üst yüzeyi oluşturan kenarların sahne arkasına en yakın olan belirlenen açı doğrultusunda aşağı kaydırılarak sahne üst yüzeyine eğim verecek parametre kurulmuştur. Üst ve alt yüzey birleştirilerek sahne kütlesinin formu tamamlanmıştır. Sahne kütlesi içerisinde alt yüzeyin kopyalanarak üstte ek bir yüzey oluşturma durumu parametrize edilmiştir.

6.2.2. Sahne basamakları

Sahne içerisinde alt yüzeyinin seyirciye en yakın kısmından başlanarak basamak yükseklikleri ve uzunlukları parametrik olacak şekilde sahne basamakları geliştirilmiştir.

6.2.3. Sahne çevresi grid oluşumu

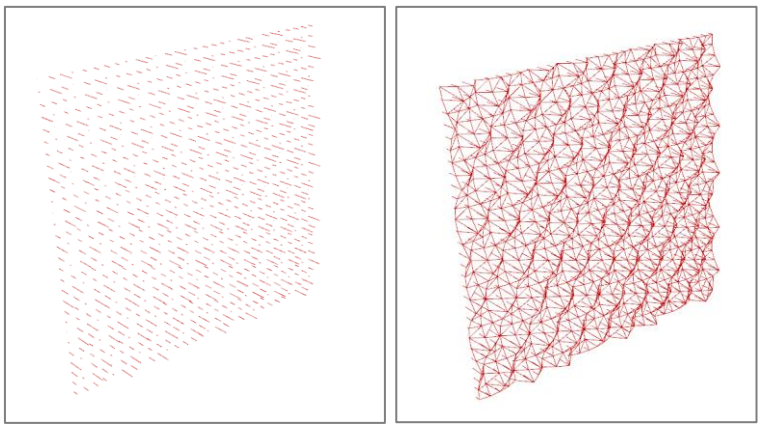
Sahne kütlesinin arka ve yan yüzeyleri listeleri alınmıştır. Bu listeler, seçilen frekans aralığı doğrultusunda kullanılacak elemanlar doğrultusunda gridlere ayrılmıştır. Seçilen frekans aralığı kullanılacak eleman ölçülerini tanımlar ve bu ölçüler doğrultusunda bu yüzeyler gridlere bölünür.

6.3. Parametrik Yaklaşımlarla Ses Saçıcı-Dağıtıcı Tasarımı

Schroeder QRD (Quadratic Residue Diffuser) ses saçıcı-dağıtıcıların matematik serisini takip edecek şekilde parametrik tasarım yaklaşımıyla 3 farklı tasarım oluşturulmuştur. Tasarım kararlarındaki amaç, farklı geometrilerin farklı açılarla kullanılarak tasarım zenginliklerini ortaya koymak olmuştur.

6.3.1. Tasarım 1

Hesaplanan kuyu ölçüleri doğrultusunda bir kare gridin oluşturulması ile başlar. Bu gridin her hücresi, hesaplanan kuyu derinliği doğrultusunda extrude edilir. Her sırada, tüm liste bir eleman kaydırılarak geometrik zenginlik elde edilir.



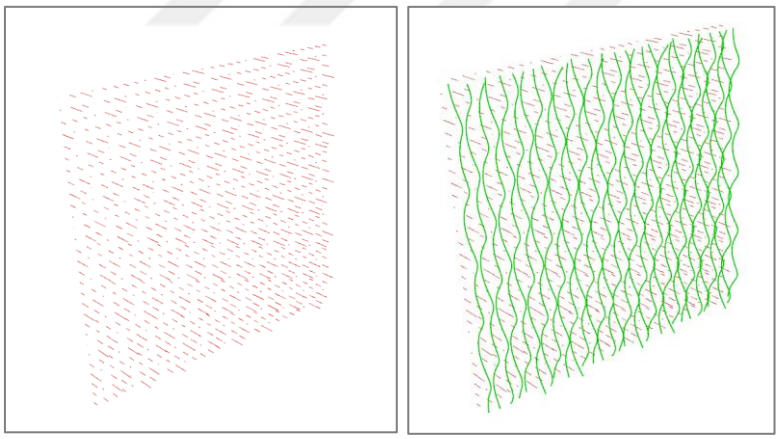
Şekil 6.23. Tasarım 1 için grid çalışması



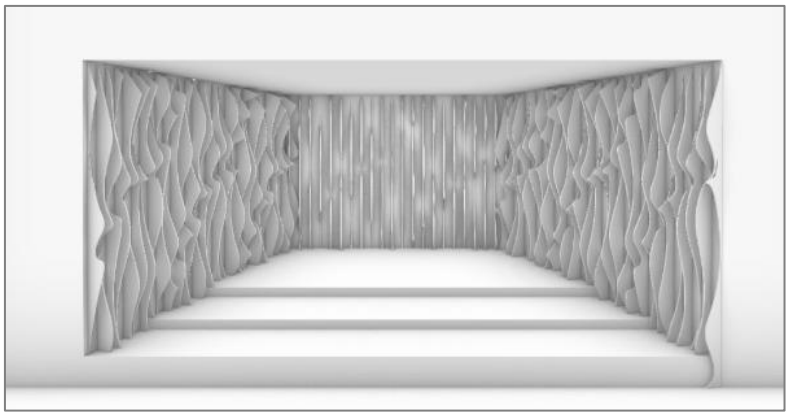
Şekil 6.24. Tasarım 1 görseli

6.3.2. Tasarım 2

Hesaplanan değerler doğrultusunda yüzeyden dikine doğru kuyu derinliği ölçülerinde ve aralarındaki uzaklık da kuyu derinliğinde olacak şekilde çizgiler oluşturulması ile başlar. Sonrasında bu çizgilerin bitiş noktaları üçgenlenerek ağ yüzeyi elde edilir.



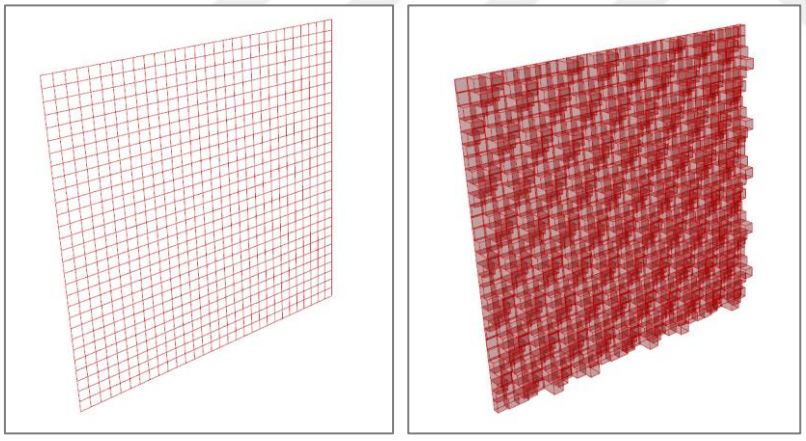
Şekil 6.25. Tasarım 2 için grid çalışması



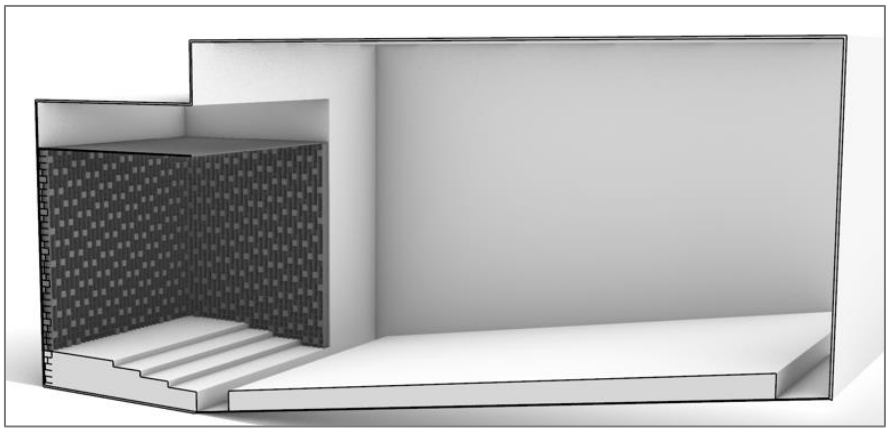
Şekil 6.26. Tasarım 2 görseli

6.3.3. Tasarım 3

Tasarıma benzer şekilde kuyu derinliği ve genişlikleri doğrultusunda yüzeye dik çizgiler oluşturulur. Bu çizgilerin tepe noktaları birleştirilerek bir eğri tanımlanır. Her sıralı eğride, nokta listeleri bir kaydırılır.



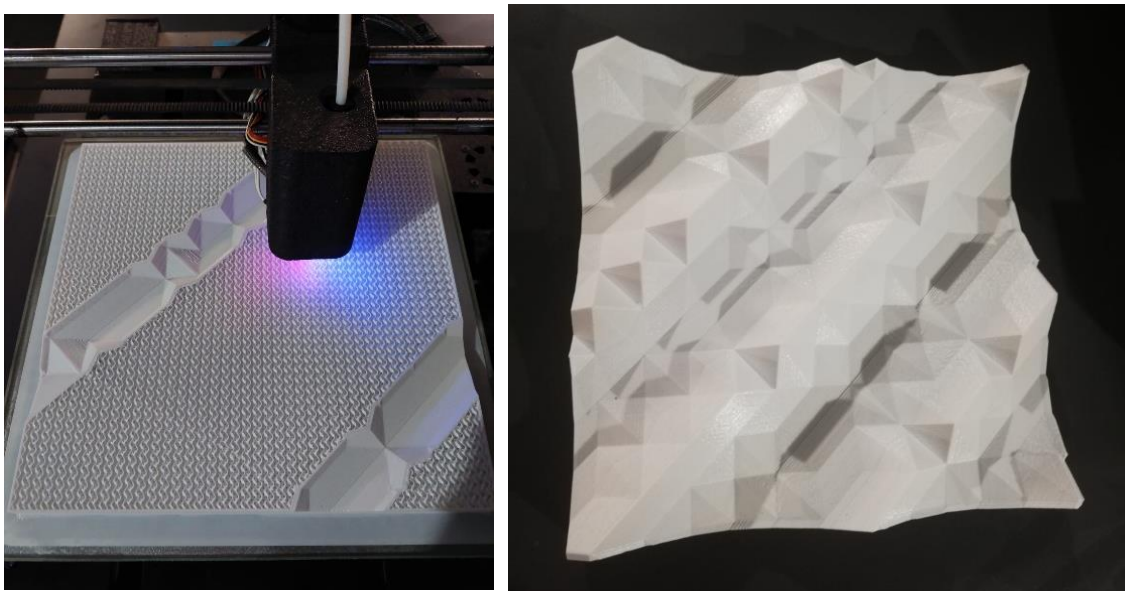
Şekil 6.27. Tasarım 3 için grid çalışması



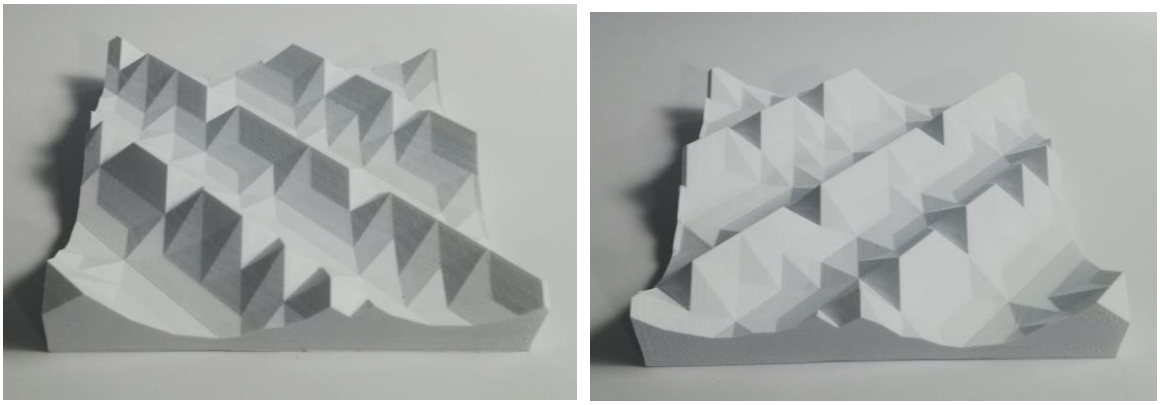
Şekil 6.28. Tasarım 3 görseli

6.4. Geliştirilen Tasarımın Prorotipe Dönüştürülmesi

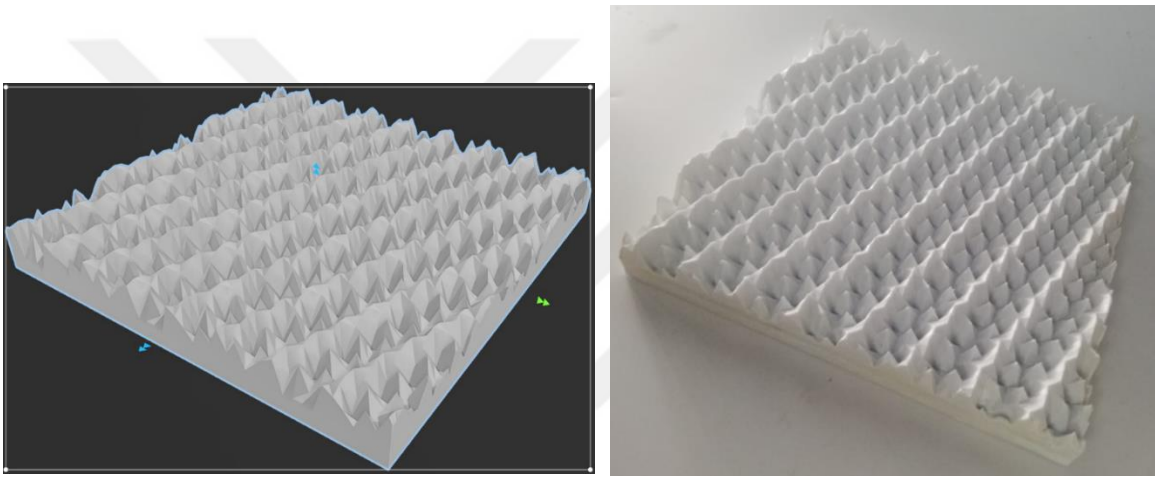
Mimarlara farklı seçenek sunması, görsel ve biçim zenginliği açısından Tasarım-1 üzerinden prototip üretilmesi kararı alınmıştır. Öncelikle 500-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı alınmıştır. Daha sonrasında aynı tasarım için hem alçak hem de yüksek frekans aralığında etkinliği olan 2 adet panelin 3D yazıcı ile baskısı alınmıştır. Bu doğrultuda farklı frekans aralığına yanıt verecek şekilde (alçak-orta ve yüksek frekans aralıkları) 3 adet prototip 3D yazıcı ile baskısı alınarak farklı frekanslardaki biçimi ortaya konmuştur.



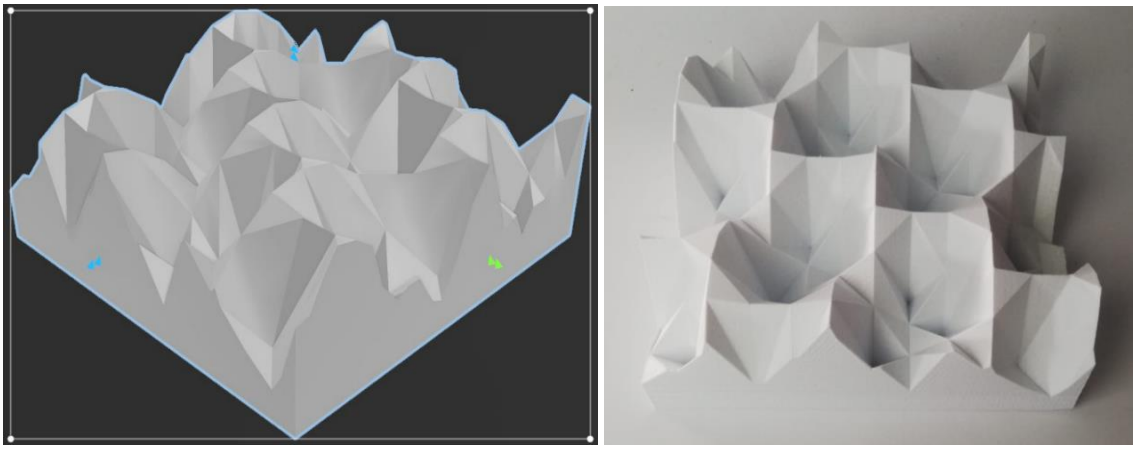
Resim 6.1. 500-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı



Resim 6.2. 500-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı



Resim 6.3. 1000-4000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı



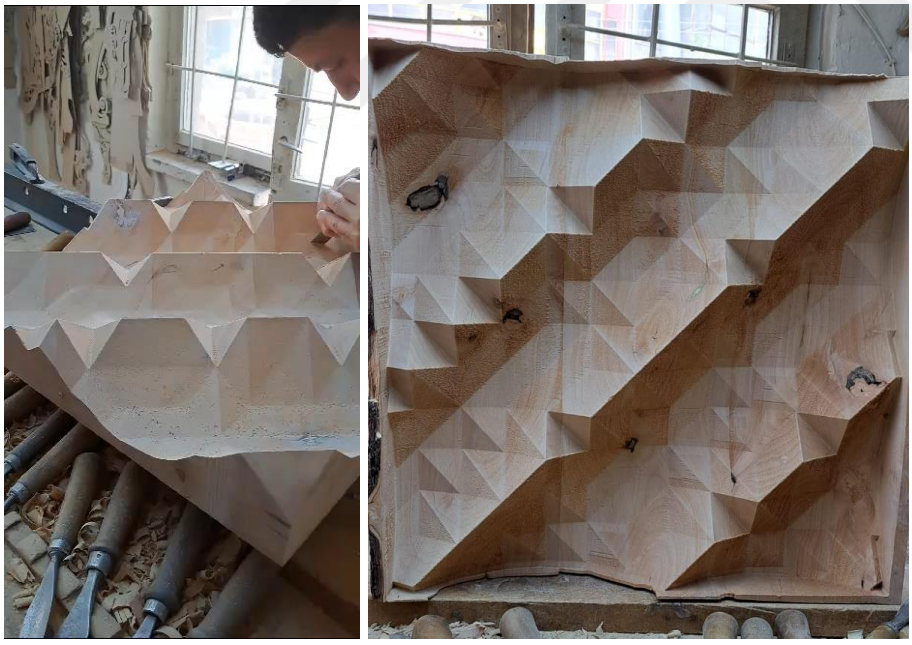
Resim 6.4. 250-1000 Hz için düzenlenen panel 20x20 cm boyutlarında 3D yazıcı ile baskısı

6.5. Prototip Üretimi

Literatürde ahşap malzemenin ses saçıcı-dağıtıcı olarak kullanılan en yaygın malzeme olduğu ortaya konmuştur. Günümüzde dış cephe kaplaması olarak, iç mekanda ise dekoratif olarak kullanılan GFRC (glass fiber reinforced concrete-elyaf takviyeli alçı) malzemenin prototip üretiminde kullanılması ve farklı malzeme seçeneği sunulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda tasarlanan ses saçıcı-dağıtıcı panel 500-1000 Hz için 1/1 ölçekte 50x50 cm boyutlarında GFRC (glass fiber reinforced concrete-elyaf takviyeli alçı) malzeme ile prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamaları şu şekildedir:

6.5.1. Model aşaması

Kalıp için ahşap model oluşturulmuştur. Zımpara ile pürüzsüz hale getirilmiş ve uygun yöntemlerle verniklenerek polyester kalıp için hazırlanmıştır.



Resim 6.5. Kalıp için ahşap modelin oluşturulması

6.5.2. Kalıp aşaması

Oluşturulan ahşap model üzerine uygun yöntemlerle polyester kalıp hazırlanmıştır. Kuruma işlemi sağlanarak döküme hazır hale getirilmiştir.



Resim 6.6. Polyester kalıp oluşturulması

6.5.3. Döküm aşaması

Hazırlanan polyester kalıp kullanılarak fabrika ortamında GFRC (glass fiber reinforced concrete-elyaf takviyeli alçı) malzeme dökümü gerçekleştirilmiştir.



Resim 6.7. Malzeme dökümü



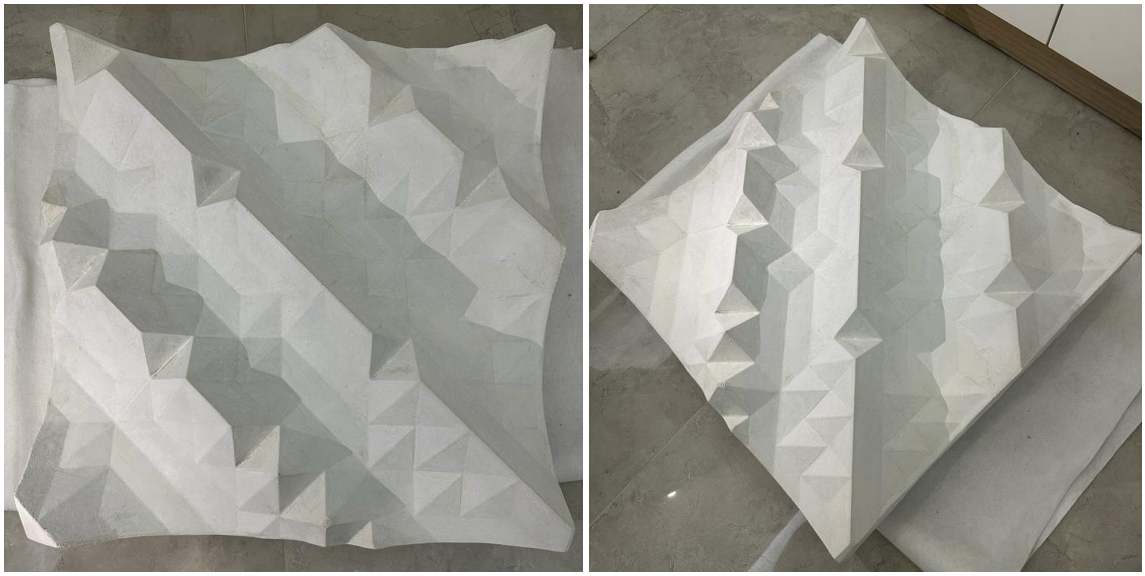
Resim 6.8. Malzeme dökümü

6.5.4. Söküm aşaması

Dökümü gerçekleştirilen panel için 24 saat kuruma işleminden sonra söküm işlemi yapılarak üretim tamamlanmıştır.



Resim 6.9. Söküm aşaması



Resim 6.10. Son ürün

6.6. Simülasyon ve Tasarımın Değerlendirilmesi

Sahne parametrelerinin farklı sahne boyut ve özellikleri çerçevesinde 3D model ve Odeon simülasyon programı ile değerlendirilerek ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne parametreleri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur. Bununla birlikte sahne akustik parametreleri oluşturularak algoritmaya dahil edilererek, bütünleşik tasarım gerçekleştirilmiştir. Böylece farklı salon tasarımlarına imkan tanıyacak ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı entegrasyonu analiz edilmiş ve GFRC (glass fiber reinforced concrete-elyaf takviyeli alçı) ile üretimi gerçekleştirilerek bu alanda kullanma ve uygulamaya yönelik proje oluşturulmuştur.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; hacim akustiği için önemi bilinen ses saçıcı ve dağıtıcılar doğrultusunda frekansa bağlı tasarımın algoritma şeması oluşturularak, üretime yönelik proje oluşturulması hedeflenmiştir.

Konser sırasında sahnede kullanılacak orkestra kabuğu ve kanopi tasarımına yönelik ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı önerileri ile akustik performansının arttırılması hedeflenmektedir. Sahne parametrelerinin farklı sahne boyut ve özellikleri çerçevesinde 3D model ve Odeon simülasyon programı ile değerlendirilmiştir. İzleyici alanı sabit tutularak, sahne özellikleri üzerinde yapılan değişikliklerin ST_{early}, ST_{late} ve ST_{total} sahne parametreleri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

Schroeder saçıcıların matematik serisi çözümlenerek, oluşturulan algoritma ve model üzerinden 3 boyutlu yazıcı ile baskısı alınmıştır. Bu bilgiler dahilinde görsel algoritma düzenleyici programlarıyla farklı tasarım girdileri ile bütünleşik tasarım gerçekleştirilmiştir. Konser esnasında sahnede kullanılacak orkestra kabuğu ve kanopi tasarımına yönelik ses saçıcı-dağıtıcı tasarımı önerileri sunulmuştur. Bu doğrultuda orkestra kabuğu için ses saçıcı-dağıtıcı modül oluşturmak hedeflenmiştir.

Schroeder saçıcıların matematik serisini takip edecek şekilde parametrik tasarım yaklaşımıyla farklı ses saçıcı-dağıtıcı prototipleri geliştirilmiş olup, seçilen tasarım için farklı frekanslara yönelik olarak 3 boyutlu yazıcı ile alçak-orta ve yüksek frekanslarda etkinliği olan 3 farklı prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

Literatürde ahşap malzemenin ses saçıcı-dağıtıcı olarak kullanılan en yaygın malzeme olduğu görülmüştür. Tezde, günümüzde dış cephe kaplaması olarak, iç mekanda ise dekoratif olarak kullanılan GFRC (glass fiber reinforced concrete-elyaf takviyeli alçı) malzemenin prototip üretiminde kullanılması ve farklı malzeme seçeneği sunulması hedeflenmiştir. 500-1000 Hz frekans aralığında etkinliği olan ses saçıcı-dağıtıcı panel için GFRC malzeme ile gerçek ürünün ortaya konabilmesi için ahşap model üzerinden polyester kalıp üretilerek, fabrika ortamında ürün 1:1 ölçekte üretilmiştir.

Parametrik tasarım ışığında, tasarımı yapılacak olan panelin, akustikte önemli noktalardan biri olan frekans bazında değerlendirilerek, algoritma şemasının oluşturulması ve değişken parametrelere cevap verebilecek sahne akustiğine yönelik ses saçıcı-dağıtıcı panel prototipi ortaya çıkartılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Bununla birlikte sahnede orkestra yerleşimine bağlı olarak enstrüman türü, yönlülüğü ve enstrümanların etkin oldukları frekans aralıklarına göre orkestra kabuğunda kullanılacak ses saçıcı-dağıtıcı panellerin ihtiyaç olunan frekans aralıklarına uygun şekilde tasarlanması planlanmıştır.

Tezde, birçok alanda parametrik tasarımın hayatımıza girmesiyle akustik alanında da uygulanabileceğini ve tasarımlarda kullanılabilecek ses saçıcı-dağıtıcı üretilebileceği ortaya konulmuştur.

Bu araştırma ile; mimari akustikte sesin yansıması ve yutulmasının yanı sıra önemli bir parametre olan sesin saçılması üzerine hem teorik hem de uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmış olup, konser salonu hacim akustiği çalışmalarında, sahne akustiğinin de bir girdi olarak ele alınması ve parametrik tasarım yaklaşımı ile birlikte literatüre katkı sağlaması öngörülmüştür. Konser salonu tasarımında; tasarımın sahne ile birlikte bir bütün olarak ele alınması ve uygun koşullara göre tasarım yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Çalışma sonunda ise; gelecek çalışmalarda benzer veya farklı malzeme ile ses yutucu ve ses saçıcı-dağıtıcı panelin entegre olarak geliştirilmesi ve laboratuvar ölçümleri ile desteklenerek farklı akustik ihtiyaçlara yanıt verecek şekilde optimizasyonunun gerçekleştirilebilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akipek, F. Ö., ve İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıkta kullanımları. *Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi E- Dergisi,* 2(4), 237-253.

Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design* (Second edition). London: Spon Press. Routledge.

Beranek, L, L. (1962). *Music, Acoustics & Architecture* (Original Edition). Cambridge, MA: Courtesy.

Bibby, C., and Hodgson, M. (2011). Characterization and improvement of absorption and scattering by profiled architectural surfaces without specialized test facilities. *Applied Acoustics,* 72, 889-898.

Chiang, W., Chen, S., and Huang, C. (2003). Subjective assessment of stage acoustics for solo and chamber music performances. *Acta Acustica United With Acustica,* 89, 848-856.

Choi, Y. J. (2013). Effects of periodic type diffusers on classroom acoustics, *Applied Acoustics,* 74, 694-707.

Cox, T., and D'Antonio, P. (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers Theory, Design and Application* (Second Edition). Canada: Taylor & Francis.

Çalışkan, M. (2014). Akustik tasarım ve CSO konser salonu yenilenme projesi. *Yapı Dergisi,* 388.

D'Antonio, P. (1991). *Performance acoustics: The importance of diffusing surfaces and the variable acoustics modular performance shell-VAMPS^{TM}.* New York: RPG Diffusor Systems Inc., 3118 (B-2).

Dammerud, J. J. (2006). *Stage acoustics-Literature review*. Bath: University of Bath, 1-14.

Dammerud, J. J. (2009). *Stage Acoustics For Symphony Orchestras in Concert Halls.* Doctor of Philosophy of the University of Bath, Bath.

Dammerud, J. J., and Barron, M. (2007). *Early subjective and objective studies of concert hall stage conditions for orchestral performance.* 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 1-6.

Dessi-Olive, J., and Hsu, T. (2019). Generating acoustic diffuser arrays with shape grammars. *Simulation Series,* 51(8), 295-302.

Döşemeciler, A. (2011). *A study on number theoretic construction and prediction of two dimensional acoustic diffusers for architectural applications.* Doctor of Philosophy in Architecture, The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, İzmir.

Fan, X. D., Zhu, Y. F., Liang, B., Yang, J., Yang, J., and Cheng, J. C. (2017). Ultra-broadband and planar sound diffuser with high uniformity of reflected intensity. *Applied Physics Letters*, 111(10), 103502.

Gade, A. (1989). Investigations of musician's room acoustics conditions in concert halls, Part II. *Acustica*, *54*, 217-221.

Gade, A. C. (1992). Practical aspects of room acoustic measurements on orchestra platforms. In *Proceedings of 14th ICA*, Beijing, 3-5.

Gade, A. C. (2010). *Acoustics for Symphony Orchestras; Status after three decades of experimental research.* Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010, Melbourne.

Gideonse, H. D. (2012). *The acoustic ramp: An analysis of diffuser testing methodologies.* The Degree Master of Music: Sound Recording Technology University of Massachusetts Lowell, Massachusetts.

Guyer, J. P. (2014). *An Introduction to Architectural Design: Theaters and Concert Halls, Part 1.* New York: Continuing Education and Development Inc., 1.

Henham, W., Holloway, D., and Panton, L. (2016). *Broadband acoustic scattering with modern aesthetics from random 3D terrain surfaces generated using thefourier synthesis algorithm.* 2nd Australasian Acoustical Societies Conference, Brisbane, Australia, 203-212.

Herder, J. (2015). *Investigations of diffuse sound fields using systematic changes in surface scattering.* Master's Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.

Hoffman, E. (2016). *The effects of specular versus diffuse room reflections on speech intelligibility*. Master's Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.

Hughes, R. J. (2011). *Volume diffusers for architectural acoustics*. Doctoral Thesis, University of Salford, Salford, UK.

International Organization for Standardization. (2004). Acoustics – Sound scattering properties of surfaces – Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room (ISO Standard No. 17497-1:2004).

International Organization for Standardization. (2012). Acoustics-Sound – scattering properties of surfaces – Part 2: Measurement of the directional diffusion coefficient in a free field (ISO Standard No. 17497-2:2012).

İnternet: TDK Sözlük. URL: https://tdk.gov.tr/tdksozluk, Son Erişim Tarihi: 29.01.2024.

İnternet: Where Live Music Lives. URL: http://www.melbournerecital.com.au/venues/emh/, Son Erişim Tarihi: 29.01.2024.

İnternet: Wikipedia (TheFreeDictionary.com mirror). URL: https://encyclopedia.thefreedictionary.com/, Son Erişim Tarihi: 29.01.2024.

Jeon, J. Y., Lee, S. C., and Vorlader, M. (2004). Development of scattering surfaces for concert halls. *Applied Acoustics,* 65, 341-355.

Jeon, J. Y., Seo, C. K., Kim, Y. H., and Lee, P. J. (2012). Wall diffuser designs for acoustical renovation of small performing spaces. *Applied Acoustics,* 73, 828-835.

Kahle Acoustics and Altia. (2006). *Acoustic Brief Section on Concert Hall only*. Kahle Acoustics and Altia Report, Paris.

Kamisiński, T. (2012). Correction of acoustics in historic opera theatres with the use of schroeder diffuser. *Archives of Acoustics,* 37(3), 349-354.

Kamisinski, T., Brawata, K., Pilch, A., Rubacha, J., and Zastawnik, M. (2012). Test signal selection for determining the sound scattering coefficient in a reverberation chamber. *Archives of Acoustics,* 37(4), 405-409.

Kamisinski, T., Rubacha, J., and Pilch, A. (2010). The study of sound scattering structures for the purposes of room acoustic enhancement. *Acoustic and Biomedical Engineering, Acta Physica Polonica A,* 118(1), 83-86.

Kang, J. (1995). Experimental approach to the effect of diffusers on the sound attenuation in long enclosures. *Building Acoustics.* 2, 391-402.

Kang, J. (2000). Sound propagation in street canyons: Comparison between diffusely and geometrically reflecting boundaries. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(3), 1394-1404.

Kapralos, B., Jenkin, M., and Milios, E. (2008). Sonel mapping: a probabilistic acoustical modeling method. *Building Acoustics,* 15(4), 289-313.

Khabazi, M. (2009). Algorithmic Modelling with Grasshopper. *Retrieved September,* 30, 2015.

Kim, Y. H., Jang, H. S., and Jeon, J. Y. (2011). Characterizing diffusive surfaces using scattering and diffusion coefficients. *Applied Acoustics,* 72, 899-905.

Kurowski, A., and Kostek, B. (2021). Reinforcement learning algorithm and FDTD-based simulation applied to schroeder diffuser design optimization. *IEEE Access,* 9, 136004-136017.

Lin, F.M., Hong, P.Y., and Lee, C.Y. (2010). An experimental investigation into the sound-scattering performance of wooden diffusers with different structures. *Applied Acoustics,* 71, 68-78.

Lock, A., and Holloway, D. (2016). Boundary element modelling of a novel simple enhanced bandwidth schroeder diffuser offering comparable performance to a fractal design. *Acoustics Australia,* 44(1), 137-147.

Long, M. (2006). *Architectural Acoustics* (Original Edition). New York: Elsevier.

Mahmoud, F., Kafobil, Z., Mohammadreza, M., and Mahdieh, N. (2014). Using the schroeder diffuser to improve parallel noise barriers' performance. *Noise Control Engineering Journal*, 62(4), 210-217.

Mehta, M., Johnson, J., and Rocafort, J. (1999). *Architectural Acoustics: Principles and Design*. New Jersey: Prentice Hall.

Meyer, J. (1993). The sound of the orchestra. *Journal of the Audio Engineering Society*, 41(4), 203-213.

Meyer, J. (2004). *Akustik und musikalische Auff ¨uhrungspraxis (Acoustics and the Performance of Music)* (5th ed.). Bergkirchen: Edition Bochinsky, PPVMEDIEN.

Meyer, J. (2009). *Acoustics and the Performance of Music* (5th ed.), New York: Springer, 359-370.

Odabaş, E. (2012). *Predictions on absorption and scattering characteristic of acoustic scatterers modified with micro-perforated panels.* The Degree of Master, Middle East Technical University Mechanical Engineering, Ankara.

Odabaş, E., and Çalışkan, M. (2012). *Incorporation of double leaf micro perforated panels into schroeder diffusers as a space absorber.* 41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, New York, 4915-4924.

Odeon A/S. (2021). *ODEON Room Acoustics Software User's Manual Version 17.* Odeon A/S DTU Science Park.

Olson, H. F. (1967). *Music, Physics and Engineering* (Second Edition.). New York: Dover Publications.

Orlowski, R. (2008). The acoustic design of the Elisabeth Murdoch Hall, Melbourne, Australia. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 2974.

Ökten, G. (2010). *Mimari form ve yüzey saçıcılığının akustik parametreler üzerindeki etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özçetin, Z. (2011). Cumhurbaşkanlığı senfoni orkestrası binası iyileştirme projesinin işlevsel ve estetik açıdan irdelenmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 915-930.

Pan, L., and Zhao, Y. (2022). An experimental investigation into the scattering properties of maximum length sequence diffusers and quadratic residue diffusers. *Applied Acoustics*, 185, 108347.

Pektaş, S. (2014). *Konser salonlarında ses dağıtıcıların kullanılması ve Gazi konser salonu örneği.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-15.

Peters B., and Olesen T. (2010). *Integrating sound scattering measurements in the design of complex architectural surfaces*. 28th eCAADe Conference Proceedings, 481-491.

Peters, B. (2009). Parametric acoustic surfaces. *Acadia*, 174-181.

Peters, B., Nguyen, J., and Omar, R. (2021). Parametric acoustics: Design techniques that integrate modelling and simulation. *Proceedings on Euronoise,* 1-10.

Pilch, A., and Kamisinski, T. (2011). The effect of geometrical and material modification of sound diffusers on their acoustic parameters. *Archives of Acoustics,* 4, 955-966.

Ranjbari, B. (2013). *New metrics for the characterization of stage acoustics in concert halls for symphony orchestras.* Master's Thesis, Chalmers University of Technology. Rhino-Rhinoceros 3D, Grasshopper.

Rindel, J. H. (2004). *Odeon and the scattering coefficient.* Odeon Workshop Report, Finland.

Rubacha, J. (2022). Analysis of the possibility of shaping the sound diffusion coefficient of diffusers based on acoustic metamaterials. *Vibrations in Physical Systems,* 33(2), 2022210.

Rumpfl, M., Schein, M., Kuhnen, J., and Grohmann, M. (2017). Aspects of sound as design driver: Parametric design of an acoustic ceiling. *Humanizing Digital Reality,* 189-200.

Shtrepi, L. (2019). *Advances in diffusive surface design using 3D architectural parametric modelling programs.* 23rd International Congress on Acoustics (ICA 2019), Aachen, Germany, 2289-2296.

Shtrepi, L., Astolfi, A., D'Antonio, G., Vannelli, G., Barbato, G., Mauro, S., and Prato, A. (2016). Accuracy of the random-incidence scattering coefficient measurement. *Applied Acoustics,* 106, 23-35.

Smitthakorn, P., Gold, M. A., Siebein, G. W., and Kinzey Jr, B. Y. (2006). Effects of specular and diffuse reflections on perceived music quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(5), 3187-3187.

Szeląg, A., Rubacha, J., Pilch, A., Majchrzak, A., and Kamisiński, T. (2020). Reflective panels with Schroeder diffusers–a measure to broaden the effective frequency range of sound reflection from overhead stage canopies. *Applied Acoustics,* 157, 107034.

Talayman, T. (2011). *Sakıp Sabancı Müzesi Çok Amaçlı Salonu.* 9.Ulusal Akustik Kongresi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

TS EN ISO. (2010). Akustik-Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi-Bölüm 1: Gösteri mekanları. (TS EN ISO Standard No. 3382-1:2009).

Tünger, Ç., ve Pektaş, Ş. T. (2014). *Öğrencilerin geleneksel ve parametrik üç boyutlu modelleme ortamlarındaki deneyimlerinin fenomenografik yöntem ile karşılaştırılması.* 8. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi, İzmir.

Türk, E. (2011). *İstanbul'daki salonların akustik kalitesinin incelenmesi ve değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkmen, R. (2013). *Oditoryumlarda akustik performansın iyileştirilmesine yönelik tasarım parametrelerinin geliştirilmesi ve bir örneklem.* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vural, A. (2009). *İstanbul'da bulunan dört konser salonunun akustik açıdan değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wang, H., Zeng, X., Du, B., Liu, Y. (2017). Predictions of scattering properties of periodic-type diffuser with rough surfaces on grazing incident angles. *Shengxue Xuebao/Acta Acustica,* 42(5), 601-609.

Yavuz, A. (2007). *Ses kayıt stüdyosu tasarımı ve mimari akustik.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zhao, H., Guan, X., Jia, H., Yang, Y., Bi, Y., Gai, X., and Yang, J. (2021). Design and verification of ultrathin Schroeder diffuser based on membrane-type resonators. *Applied Physics Express,* 14(9), 094005.

Zhao, Y., Liu, J., Liang, B., and Cheng, J. (2020). An ultrathin planar acoustic metasurface diffuser with narrowband uniform reflection. *AIP Advances*, 10(8), 85122.

Zhu, L., and Yoo, K. (2003). Miral Concert Hall: "Ceramic Palace" for sound scattering. *Proc. Internoise Jeju,* 545-552.

Zhu, Y., Fan, X., Liang, B., Cheng, J., and Jing, Y. (2017). Ultrathin acoustic metasurface-based Schroeder diffuser. *Physical Review X,* 7(2), 21034.

EKLER

EK-1. Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

S1

1A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-20,26	-20,54
	500 Hz	-20,47	
	1000 Hz	-20,68	
	2000 Hz	-20,73	
2.Alıcı	250 Hz	-21,18	-21,48
	500 Hz	-21,40	
	1000 Hz	-21,44	
	2000 Hz	-21,91	
3.Alıcı	250 Hz	-19,64	-19,95
	500 Hz	-19,87	
	1000 Hz	-20,12	
	2000 Hz	-20,17	
4.Alıcı	250 Hz	-18,97	-19,52
	500 Hz	-19,39	
	1000 Hz	-20,01	
	2000 Hz	-19,72	
Ortalama	250 Hz	-20,01	-20,37
	500 Hz	-20,28	
	1000 Hz	-20,56	
	2000 Hz	-20,63	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-16,64	-17,02
	500 Hz	-16,91	
	1000 Hz	-17,07	
	2000 Hz	-17,45	
2.Alıcı	250 Hz	-16,93	-17,36
	500 Hz	-17,24	
	1000 Hz	-17,45	
	2000 Hz	-17,82	
3.Alıcı	250 Hz	-15,72	-16,07
	500 Hz	-15,98	
	1000 Hz	-16,10	
	2000 Hz	-16,47	
4.Alıcı	250 Hz	-15,89	-16,34
	500 Hz	-16,21	
	1000 Hz	-16,45	
	2000 Hz	-16,81	
Ortalama	250 Hz	-16,30	-16,70
	500 Hz	-16,59	
	1000 Hz	-16,77	
	2000 Hz	-17,14	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-15,08	-15,42
	500 Hz	-15,32	
	1000 Hz	-15,50	
	2000 Hz	-15,78	
2.Alıcı	250 Hz	-15,49	-15,87
	500 Hz	-15,77	
	1000 Hz	-15,98	
	2000 Hz	-16,25	
3.Alıcı	250 Hz	-14,24	-14,58
	500 Hz	-14,49	
	1000 Hz	-14,65	
	2000 Hz	-14,93	
4.Alıcı	250 Hz	-14,15	-14,64
	500 Hz	-14,51	
	1000 Hz	-14,87	
	2000 Hz	-15,01	
Ortalama	250 Hz	-14,74	-15,13
	500 Hz	-15,02	
	1000 Hz	-15,25	
	2000 Hz	-15,49	

S2

1A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-19,51	-19,67
	500 Hz	-19,61	
	1000 Hz	-19,74	
	2000 Hz	-19,81	
2.Alıcı	250 Hz	-19,21	-19,41
	500 Hz	-19,34	
	1000 Hz	-19,52	
	2000 Hz	-19,58	
3.Alıcı	250 Hz	-19,73	-19,94
	500 Hz	-19,86	
	1000 Hz	-20,04	
	2000 Hz	-20,11	
4.Alıcı	250 Hz	-19,18	-19,41
	500 Hz	-19,34	
	1000 Hz	-19,54	
	2000 Hz	-19,58	
Ortalama	250 Hz	-19,41	-19,61
	500 Hz	-19,54	
	1000 Hz	-19,71	
	2000 Hz	-19,77	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-14,02	-14,27
	500 Hz	-14,19	
	1000 Hz	-14,26	
	2000 Hz	-14,59	
2.Alıcı	250 Hz	-15,44	-15,74
	500 Hz	-15,67	
	1000 Hz	-15,75	
	2000 Hz	-16,09	
3.Alıcı	250 Hz	-15,47	-15,85
	500 Hz	-15,76	
	1000 Hz	-15,90	
	2000 Hz	-16,27	
4.Alıcı	250 Hz	-14,77	-15,08
	500 Hz	-15,00	
	1000 Hz	-15,08	
	2000 Hz	-15,48	
Ortalama	250 Hz	-14,93	-15,23
	500 Hz	-15,16	
	1000 Hz	-15,25	
	2000 Hz	-15,61	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-12,94	-13,17
	500 Hz	-13,09	
	1000 Hz	-13,18	
	2000 Hz	-13,45	
2.Alıcı	250 Hz	-13,92	-14,19
	500 Hz	-14,12	
	1000 Hz	-14,23	
	2000 Hz	-14,48	
3.Alıcı	250 Hz	-14,09	-14,42
	500 Hz	-14,33	
	1000 Hz	-14,48	
	2000 Hz	-14,77	
4.Alıcı	250 Hz	-13,43	-13,72
	500 Hz	-13,63	
	1000 Hz	-13,75	
	2000 Hz	-14,06	
Ortalama	250 Hz	-13,60	-13,87
	500 Hz	-13,79	
	1000 Hz	-13,91	
	2000 Hz	-14,19	

S3

1A

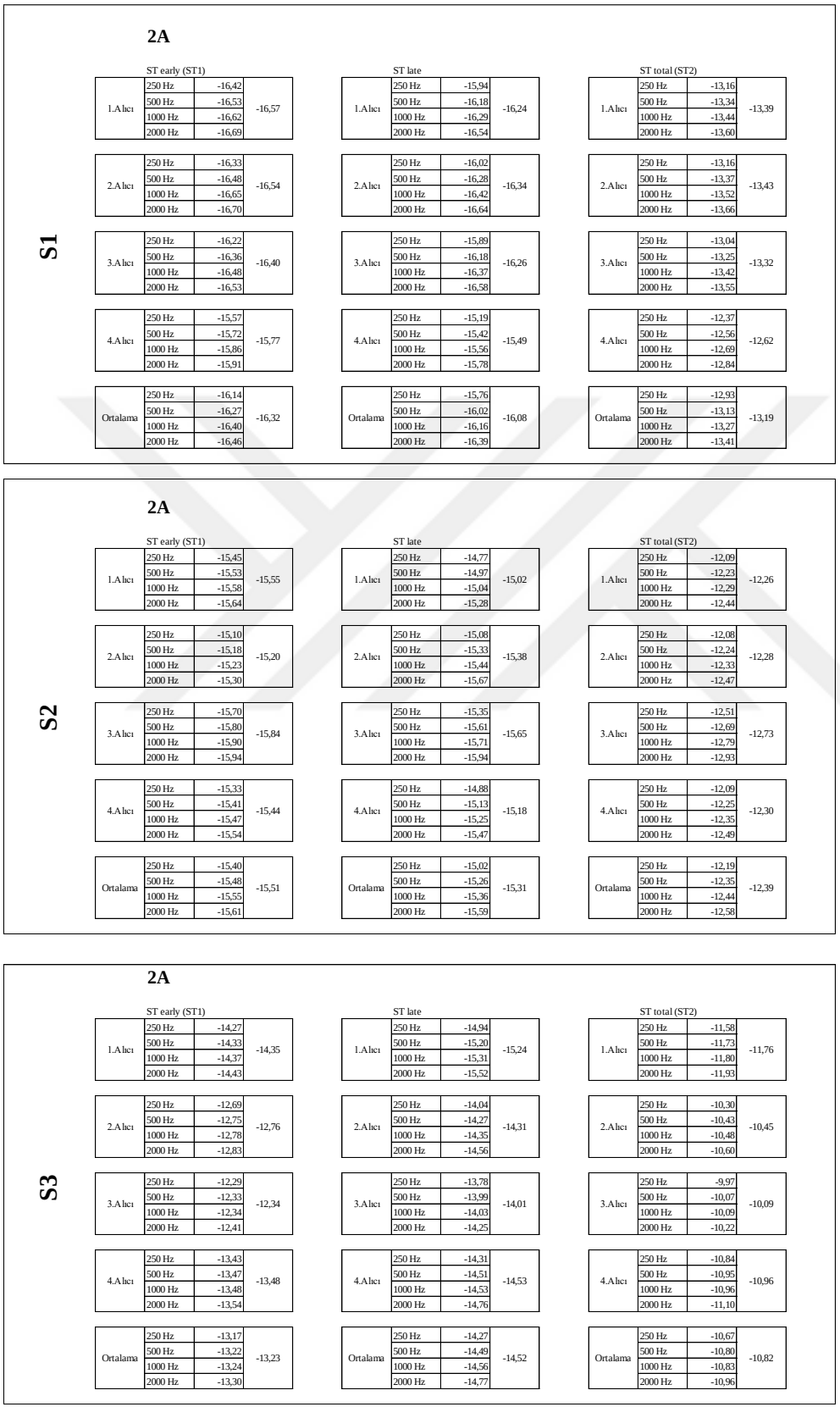
ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-17,40	-17,51
	500 Hz	-17,46	
	1000 Hz	-17,54	
	2000 Hz	-17,62	
2.Alıcı	250 Hz	-15,72	-15,81
	500 Hz	-15,78	
	1000 Hz	-15,83	
	2000 Hz	-15,91	
3.Alıcı	250 Hz	-15,11	-15,20
	500 Hz	-15,17	
	1000 Hz	-15,22	
	2000 Hz	-15,30	
4.Alıcı	250 Hz	-16,63	-16,70
	500 Hz	-16,67	
	1000 Hz	-16,71	
	2000 Hz	-16,79	
Ortalama	250 Hz	-16,22	-16,30
	500 Hz	-16,27	
	1000 Hz	-16,33	
	2000 Hz	-16,41	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-14,88	-15,20
	500 Hz	-15,10	
	1000 Hz	-15,23	
	2000 Hz	-15,59	
2.Alıcı	250 Hz	-14,74	-15,13
	500 Hz	-15,02	
	1000 Hz	-15,20	
	2000 Hz	-15,55	
3.Alıcı	250 Hz	-15,34	-15,76
	500 Hz	-15,64	
	1000 Hz	-15,84	
	2000 Hz	-16,20	
4.Alıcı	250 Hz	-15,47	-15,82
	500 Hz	-15,72	
	1000 Hz	-15,85	
	2000 Hz	-16,23	
Ortalama	250 Hz	-15,11	-15,48
	500 Hz	-15,37	
	1000 Hz	-15,53	
	2000 Hz	-15,89	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-12,95	-13,19
	500 Hz	-13,11	
	1000 Hz	-13,22	
	2000 Hz	-13,48	
2.Alıcı	250 Hz	-12,19	-12,45
	500 Hz	-12,37	
	1000 Hz	-12,50	
	2000 Hz	-12,72	
3.Alıcı	250 Hz	-12,21	-12,46
	500 Hz	-12,39	
	1000 Hz	-12,51	
	2000 Hz	-12,72	
4.Alıcı	250 Hz	-13,00	-13,23
	500 Hz	-13,16	
	1000 Hz	-13,25	
	2000 Hz	-13,49	
Ortalama	250 Hz	-12,59	-12,83
	500 Hz	-12,76	
	1000 Hz	-12,87	
	2000 Hz	-13,10	

Şekil 1.1. 1A- Geniş-Uzun-Yüksek-Düz Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları



S1

2A

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-16,42	-16,57	250 Hz	-15,94	-16,24	250 Hz	-13,16	-13,39
	500 Hz	-16,53		500 Hz	-16,18		500 Hz	-13,34	
	1000 Hz	-16,62		1000 Hz	-16,29		1000 Hz	-13,44	
	2000 Hz	-16,69		2000 Hz	-16,54		2000 Hz	-13,60	
2.Alıcı	250 Hz	-16,33	-16,54	250 Hz	-16,02	-16,34	250 Hz	-13,16	-13,43
	500 Hz	-16,48		500 Hz	-16,28		500 Hz	-13,37	
	1000 Hz	-16,65		1000 Hz	-16,42		1000 Hz	-13,52	
	2000 Hz	-16,70		2000 Hz	-16,64		2000 Hz	-13,66	
3.Alıcı	250 Hz	-16,22	-16,40	250 Hz	-15,89	-16,26	250 Hz	-13,04	-13,32
	500 Hz	-16,36		500 Hz	-16,18		500 Hz	-13,25	
	1000 Hz	-16,48		1000 Hz	-16,37		1000 Hz	-13,42	
	2000 Hz	-16,53		2000 Hz	-16,58		2000 Hz	-13,55	
4.Alıcı	250 Hz	-15,57	-15,77	250 Hz	-15,19	-15,49	250 Hz	-12,37	-12,62
	500 Hz	-15,72		500 Hz	-15,42		500 Hz	-12,56	
	1000 Hz	-15,86		1000 Hz	-15,56		1000 Hz	-12,69	
	2000 Hz	-15,91		2000 Hz	-15,78		2000 Hz	-12,84	
Ortalama	250 Hz	-16,14	-16,32	250 Hz	-15,76	-16,08	250 Hz	-12,93	-13,19
	500 Hz	-16,27		500 Hz	-16,02		500 Hz	-13,13	
	1000 Hz	-16,40		1000 Hz	-16,16		1000 Hz	-13,27	
	2000 Hz	-16,46		2000 Hz	-16,39		2000 Hz	-13,41	

S2

2A

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-15,45	-15,55	250 Hz	-14,77	-15,02	250 Hz	-12,09	-12,26
	500 Hz	-15,53		500 Hz	-14,97		500 Hz	-12,23	
	1000 Hz	-15,58		1000 Hz	-15,04		1000 Hz	-12,29	
	2000 Hz	-15,64		2000 Hz	-15,28		2000 Hz	-12,44	
2.Alıcı	250 Hz	-15,10	-15,20	250 Hz	-15,08	-15,38	250 Hz	-12,08	-12,28
	500 Hz	-15,18		500 Hz	-15,33		500 Hz	-12,24	
	1000 Hz	-15,23		1000 Hz	-15,44		1000 Hz	-12,33	
	2000 Hz	-15,30		2000 Hz	-15,67		2000 Hz	-12,47	
3.Alıcı	250 Hz	-15,70	-15,84	250 Hz	-15,35	-15,65	250 Hz	-12,51	-12,73
	500 Hz	-15,80		500 Hz	-15,61		500 Hz	-12,69	
	1000 Hz	-15,90		1000 Hz	-15,71		1000 Hz	-12,79	
	2000 Hz	-15,94		2000 Hz	-15,94		2000 Hz	-12,93	
4.Alıcı	250 Hz	-15,33	-15,44	250 Hz	-14,88	-15,18	250 Hz	-12,09	-12,30
	500 Hz	-15,41		500 Hz	-15,13		500 Hz	-12,25	
	1000 Hz	-15,47		1000 Hz	-15,25		1000 Hz	-12,35	
	2000 Hz	-15,54		2000 Hz	-15,47		2000 Hz	-12,49	
Ortalama	250 Hz	-15,40	-15,51	250 Hz	-15,02	-15,31	250 Hz	-12,19	-12,39
	500 Hz	-15,48		500 Hz	-15,26		500 Hz	-12,35	
	1000 Hz	-15,55		1000 Hz	-15,36		1000 Hz	-12,44	
	2000 Hz	-15,61		2000 Hz	-15,59		2000 Hz	-12,58	

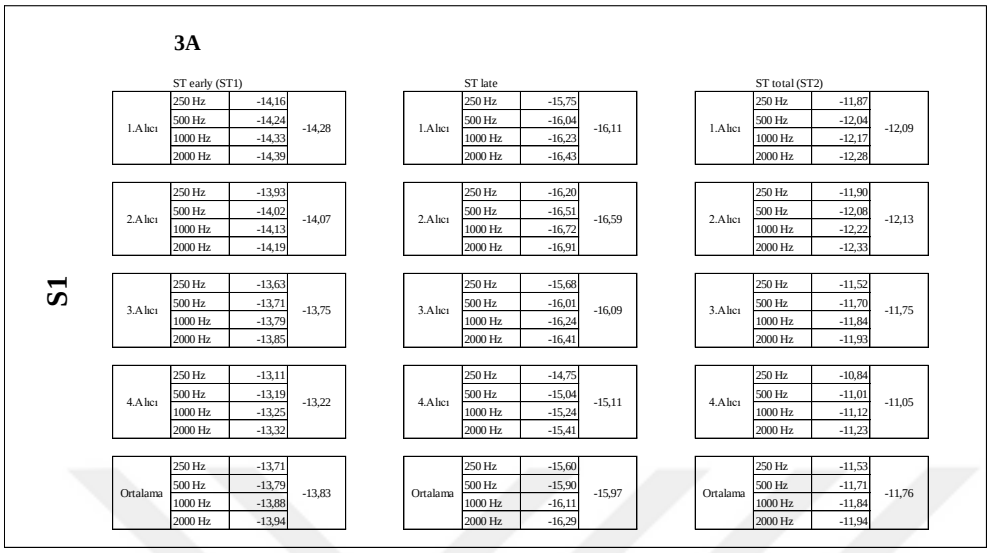
S3

2A

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,27	-14,35	250 Hz	-14,94	-15,24	250 Hz	-11,58	-11,76
	500 Hz	-14,33		500 Hz	-15,20		500 Hz	-11,73	
	1000 Hz	-14,37		1000 Hz	-15,31		1000 Hz	-11,80	
	2000 Hz	-14,43		2000 Hz	-15,52		2000 Hz	-11,93	
2.Alıcı	250 Hz	-12,69	-12,76	250 Hz	-14,04	-14,31	250 Hz	-10,30	-10,45
	500 Hz	-12,75		500 Hz	-14,27		500 Hz	-10,43	
	1000 Hz	-12,78		1000 Hz	-14,35		1000 Hz	-10,48	
	2000 Hz	-12,83		2000 Hz	-14,56		2000 Hz	-10,60	
3.Alıcı	250 Hz	-12,29	-12,34	250 Hz	-13,78	-14,01	250 Hz	-9,97	-10,09
	500 Hz	-12,33		500 Hz	-13,99		500 Hz	-10,07	
	1000 Hz	-12,34		1000 Hz	-14,03		1000 Hz	-10,09	
	2000 Hz	-12,41		2000 Hz	-14,25		2000 Hz	-10,22	
4.Alıcı	250 Hz	-13,43	-13,48	250 Hz	-14,31	-14,53	250 Hz	-10,84	-10,96
	500 Hz	-13,47		500 Hz	-14,51		500 Hz	-10,95	
	1000 Hz	-13,48		1000 Hz	-14,53		1000 Hz	-10,96	
	2000 Hz	-13,54		2000 Hz	-14,76		2000 Hz	-11,10	
Ortalama	250 Hz	-13,17	-13,23	250 Hz	-14,27	-14,52	250 Hz	-10,67	-10,82
	500 Hz	-13,22		500 Hz	-14,49		500 Hz	-10,80	
	1000 Hz	-13,24		1000 Hz	-14,56		1000 Hz	-10,83	
	2000 Hz	-13,30		2000 Hz	-14,77		2000 Hz	-10,96	

Şekil 1.2. 2A-Geniş-Uzun-Alçak-Düz Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları



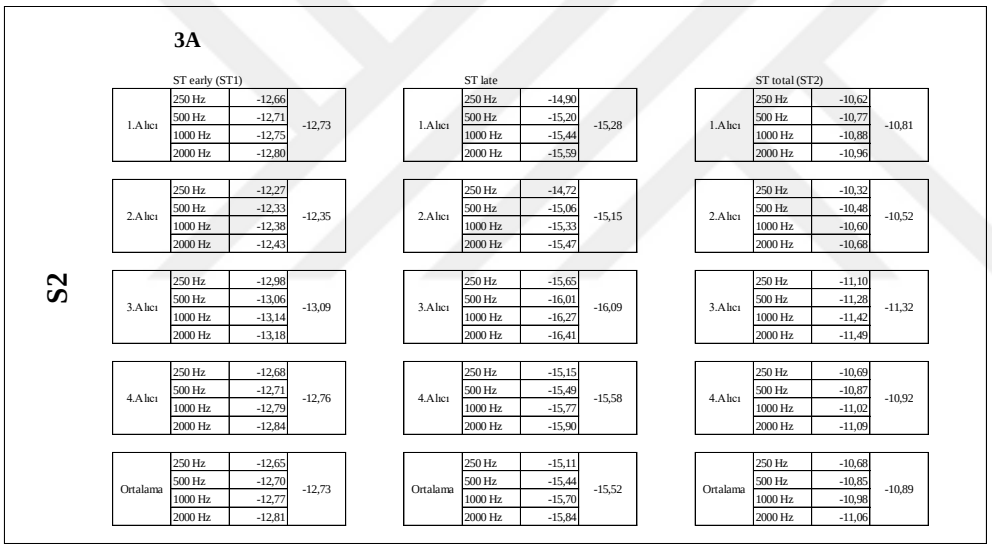
S1

3A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-14,16	-14,28
	500 Hz	-14,24	
	1000 Hz	-14,33	
	2000 Hz	-14,39	
2.Alıcı	250 Hz	-13,93	-14,07
	500 Hz	-14,02	
	1000 Hz	-14,13	
	2000 Hz	-14,19	
3.Alıcı	250 Hz	-13,63	-13,75
	500 Hz	-13,71	
	1000 Hz	-13,79	
	2000 Hz	-13,85	
4.Alıcı	250 Hz	-13,11	-13,22
	500 Hz	-13,19	
	1000 Hz	-13,25	
	2000 Hz	-13,32	
Ortalama	250 Hz	-13,71	-13,83
	500 Hz	-13,79	
	1000 Hz	-13,88	
	2000 Hz	-13,94	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-15,75	-16,11
	500 Hz	-16,04	
	1000 Hz	-16,23	
	2000 Hz	-16,43	
2.Alıcı	250 Hz	-16,20	-16,59
	500 Hz	-16,51	
	1000 Hz	-16,72	
	2000 Hz	-16,91	
3.Alıcı	250 Hz	-15,68	-16,09
	500 Hz	-16,01	
	1000 Hz	-16,24	
	2000 Hz	-16,41	
4.Alıcı	250 Hz	-14,75	-15,11
	500 Hz	-15,04	
	1000 Hz	-15,24	
	2000 Hz	-15,41	
Ortalama	250 Hz	-15,60	-15,97
	500 Hz	-15,90	
	1000 Hz	-16,11	
	2000 Hz	-16,29	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-11,87	-12,09
	500 Hz	-12,04	
	1000 Hz	-12,17	
	2000 Hz	-12,28	
2.Alıcı	250 Hz	-11,90	-12,13
	500 Hz	-12,08	
	1000 Hz	-12,22	
	2000 Hz	-12,33	
3.Alıcı	250 Hz	-11,52	-11,75
	500 Hz	-11,70	
	1000 Hz	-11,84	
	2000 Hz	-11,93	
4.Alıcı	250 Hz	-10,84	-11,05
	500 Hz	-11,01	
	1000 Hz	-11,12	
	2000 Hz	-11,23	
Ortalama	250 Hz	-11,53	-11,76
	500 Hz	-11,71	
	1000 Hz	-11,84	
	2000 Hz	-11,94	



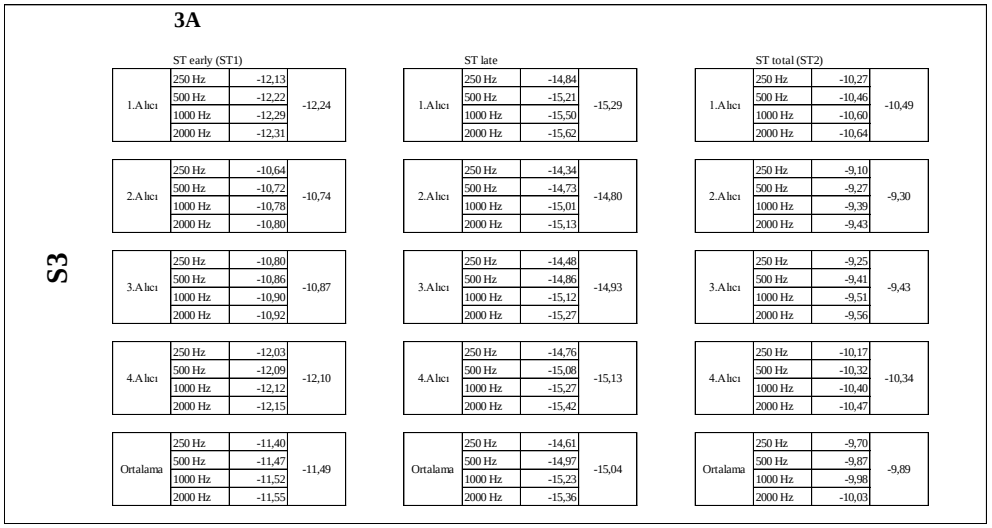
S2

3A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-12,66	-12,73
	500 Hz	-12,71	
	1000 Hz	-12,75	
	2000 Hz	-12,80	
2.Alıcı	250 Hz	-12,27	-12,35
	500 Hz	-12,33	
	1000 Hz	-12,38	
	2000 Hz	-12,43	
3.Alıcı	250 Hz	-12,98	-13,09
	500 Hz	-13,06	
	1000 Hz	-13,14	
	2000 Hz	-13,18	
4.Alıcı	250 Hz	-12,68	-12,76
	500 Hz	-12,71	
	1000 Hz	-12,79	
	2000 Hz	-12,84	
Ortalama	250 Hz	-12,65	-12,73
	500 Hz	-12,70	
	1000 Hz	-12,77	
	2000 Hz	-12,81	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-14,90	-15,28
	500 Hz	-15,20	
	1000 Hz	-15,44	
	2000 Hz	-15,59	
2.Alıcı	250 Hz	-14,72	-15,15
	500 Hz	-15,06	
	1000 Hz	-15,33	
	2000 Hz	-15,47	
3.Alıcı	250 Hz	-15,65	-16,09
	500 Hz	-16,01	
	1000 Hz	-16,27	
	2000 Hz	-16,41	
4.Alıcı	250 Hz	-15,15	-15,58
	500 Hz	-15,49	
	1000 Hz	-15,77	
	2000 Hz	-15,90	
Ortalama	250 Hz	-15,11	-15,52
	500 Hz	-15,44	
	1000 Hz	-15,70	
	2000 Hz	-15,84	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-10,62	-10,81
	500 Hz	-10,77	
	1000 Hz	-10,88	
	2000 Hz	-10,96	
2.Alıcı	250 Hz	-10,32	-10,52
	500 Hz	-10,48	
	1000 Hz	-10,60	
	2000 Hz	-10,68	
3.Alıcı	250 Hz	-11,10	-11,32
	500 Hz	-11,28	
	1000 Hz	-11,42	
	2000 Hz	-11,49	
4.Alıcı	250 Hz	-10,69	-10,92
	500 Hz	-10,87	
	1000 Hz	-11,02	
	2000 Hz	-11,09	
Ortalama	250 Hz	-10,68	-10,89
	500 Hz	-10,85	
	1000 Hz	-10,98	
	2000 Hz	-11,06	



S3

3A

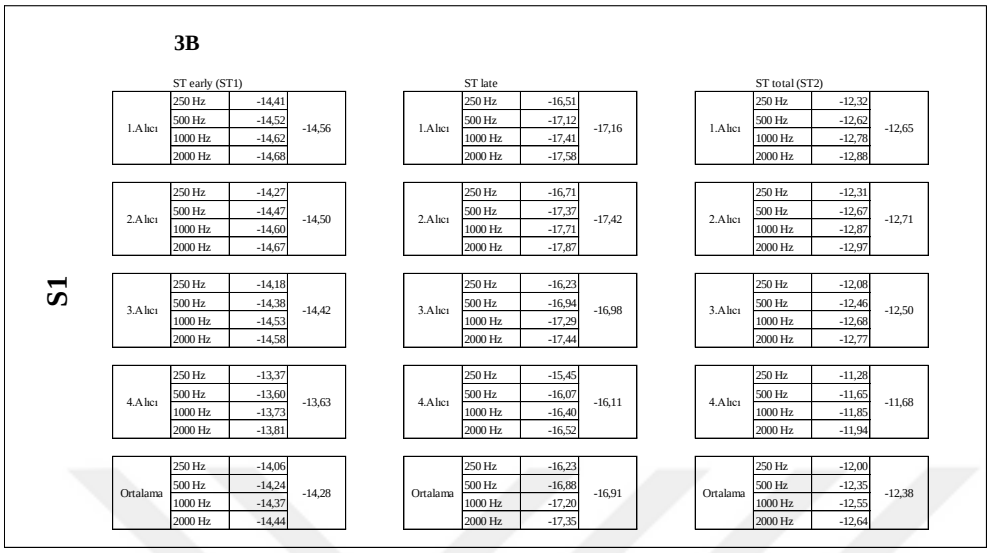
ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-12,13	-12,24
	500 Hz	-12,22	
	1000 Hz	-12,29	
	2000 Hz	-12,31	
2.Alıcı	250 Hz	-10,64	-10,74
	500 Hz	-10,72	
	1000 Hz	-10,78	
	2000 Hz	-10,80	
3.Alıcı	250 Hz	-10,80	-10,87
	500 Hz	-10,86	
	1000 Hz	-10,90	
	2000 Hz	-10,92	
4.Alıcı	250 Hz	-12,03	-12,10
	500 Hz	-12,09	
	1000 Hz	-12,12	
	2000 Hz	-12,15	
Ortalama	250 Hz	-11,40	-11,49
	500 Hz	-11,47	
	1000 Hz	-11,52	
	2000 Hz	-11,55	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-14,84	-15,29
	500 Hz	-15,21	
	1000 Hz	-15,50	
	2000 Hz	-15,62	
2.Alıcı	250 Hz	-14,34	-14,80
	500 Hz	-14,73	
	1000 Hz	-15,01	
	2000 Hz	-15,13	
3.Alıcı	250 Hz	-14,48	-14,93
	500 Hz	-14,86	
	1000 Hz	-15,12	
	2000 Hz	-15,27	
4.Alıcı	250 Hz	-14,76	-15,13
	500 Hz	-15,08	
	1000 Hz	-15,27	
	2000 Hz	-15,42	
Ortalama	250 Hz	-14,61	-15,04
	500 Hz	-14,97	
	1000 Hz	-15,23	
	2000 Hz	-15,36	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-10,27	-10,49
	500 Hz	-10,46	
	1000 Hz	-10,60	
	2000 Hz	-10,64	
2.Alıcı	250 Hz	-9,10	-9,30
	500 Hz	-9,27	
	1000 Hz	-9,39	
	2000 Hz	-9,43	
3.Alıcı	250 Hz	-9,25	-9,43
	500 Hz	-9,41	
	1000 Hz	-9,51	
	2000 Hz	-9,56	
4.Alıcı	250 Hz	-10,17	-10,34
	500 Hz	-10,32	
	1000 Hz	-10,40	
	2000 Hz	-10,47	
Ortalama	250 Hz	-9,70	-9,89
	500 Hz	-9,87	
	1000 Hz	-9,98	
	2000 Hz	-10,03	

Şekil 1.3. 3A-Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne için simülasyon sonuçları

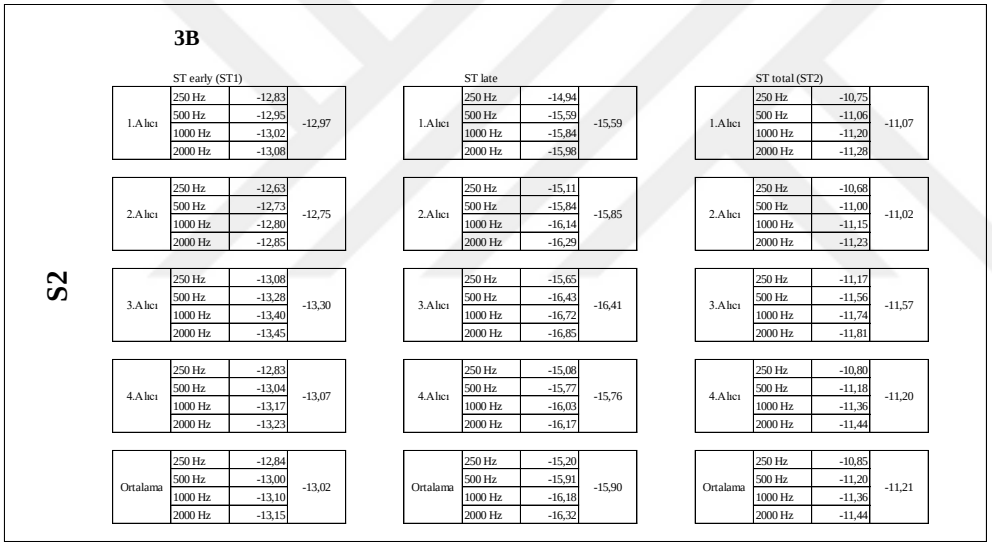
EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları



S1

3B

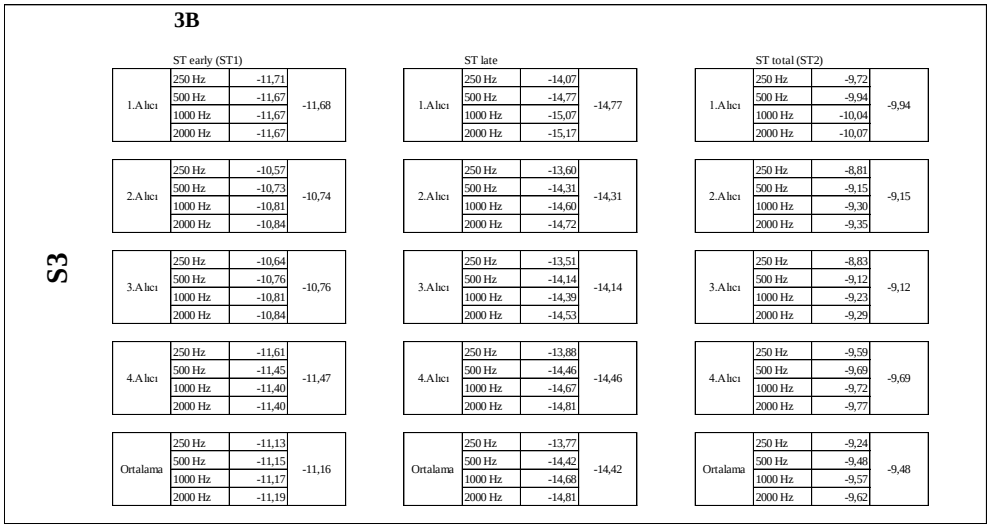
	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,41	-14,56	250 Hz	-16,51	-17,16	250 Hz	-12,32	-12,65
	500 Hz	-14,52		500 Hz	-17,12		500 Hz	-12,62	
	1000 Hz	-14,62		1000 Hz	-17,41		1000 Hz	-12,78	
	2000 Hz	-14,68		2000 Hz	-17,58		2000 Hz	-12,88	
2.Alıcı	250 Hz	-14,27	-14,50	250 Hz	-16,71	-17,42	250 Hz	-12,31	-12,71
	500 Hz	-14,47		500 Hz	-17,37		500 Hz	-12,67	
	1000 Hz	-14,60		1000 Hz	-17,71		1000 Hz	-12,87	
	2000 Hz	-14,67		2000 Hz	-17,87		2000 Hz	-12,97	
3.Alıcı	250 Hz	-14,18	-14,42	250 Hz	-16,23	-16,98	250 Hz	-12,08	-12,50
	500 Hz	-14,38		500 Hz	-16,94		500 Hz	-12,46	
	1000 Hz	-14,53		1000 Hz	-17,29		1000 Hz	-12,68	
	2000 Hz	-14,58		2000 Hz	-17,44		2000 Hz	-12,77	
4.Alıcı	250 Hz	-13,37	-13,63	250 Hz	-15,45	-16,11	250 Hz	-11,28	-11,68
	500 Hz	-13,60		500 Hz	-16,07		500 Hz	-11,65	
	1000 Hz	-13,73		1000 Hz	-16,40		1000 Hz	-11,85	
	2000 Hz	-13,81		2000 Hz	-16,52		2000 Hz	-11,94	
Ortalama	250 Hz	-14,06	-14,28	250 Hz	-16,23	-16,91	250 Hz	-12,00	-12,38
	500 Hz	-14,24		500 Hz	-16,88		500 Hz	-12,35	
	1000 Hz	-14,37		1000 Hz	-17,20		1000 Hz	-12,55	
	2000 Hz	-14,44		2000 Hz	-17,35		2000 Hz	-12,64	



S2

3B

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-12,83	-12,97	250 Hz	-14,94	-15,59	250 Hz	-10,75	-11,07
	500 Hz	-12,95		500 Hz	-15,59		500 Hz	-11,06	
	1000 Hz	-13,02		1000 Hz	-15,84		1000 Hz	-11,20	
	2000 Hz	-13,08		2000 Hz	-15,98		2000 Hz	-11,28	
2.Alıcı	250 Hz	-12,63	-12,75	250 Hz	-15,11	-15,85	250 Hz	-10,68	-11,02
	500 Hz	-12,73		500 Hz	-15,84		500 Hz	-11,00	
	1000 Hz	-12,80		1000 Hz	-16,14		1000 Hz	-11,15	
	2000 Hz	-12,85		2000 Hz	-16,29		2000 Hz	-11,23	
3.Alıcı	250 Hz	-13,08	-13,30	250 Hz	-15,65	-16,41	250 Hz	-11,17	-11,57
	500 Hz	-13,28		500 Hz	-16,43		500 Hz	-11,56	
	1000 Hz	-13,40		1000 Hz	-16,72		1000 Hz	-11,74	
	2000 Hz	-13,45		2000 Hz	-16,85		2000 Hz	-11,81	
4.Alıcı	250 Hz	-12,83	-13,07	250 Hz	-15,08	-15,76	250 Hz	-10,80	-11,20
	500 Hz	-13,04		500 Hz	-15,77		500 Hz	-11,18	
	1000 Hz	-13,17		1000 Hz	-16,03		1000 Hz	-11,36	
	2000 Hz	-13,23		2000 Hz	-16,17		2000 Hz	-11,44	
Ortalama	250 Hz	-12,84	-13,02	250 Hz	-15,20	-15,90	250 Hz	-10,85	-11,21
	500 Hz	-13,00		500 Hz	-15,91		500 Hz	-11,20	
	1000 Hz	-13,10		1000 Hz	-16,18		1000 Hz	-11,36	
	2000 Hz	-13,15		2000 Hz	-16,32		2000 Hz	-11,44	



S3

3B

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-11,71	-11,68	250 Hz	-14,07	-14,77	250 Hz	-9,72	-9,94
	500 Hz	-11,67		500 Hz	-14,77		500 Hz	-9,94	
	1000 Hz	-11,67		1000 Hz	-15,07		1000 Hz	-10,04	
	2000 Hz	-11,67		2000 Hz	-15,17		2000 Hz	-10,07	
2.Alıcı	250 Hz	-10,57	-10,74	250 Hz	-13,60	-14,31	250 Hz	-8,81	-9,15
	500 Hz	-10,73		500 Hz	-14,31		500 Hz	-9,15	
	1000 Hz	-10,81		1000 Hz	-14,60		1000 Hz	-9,30	
	2000 Hz	-10,84		2000 Hz	-14,72		2000 Hz	-9,35	
3.Alıcı	250 Hz	-10,64	-10,76	250 Hz	-13,51	-14,14	250 Hz	-8,83	-9,12
	500 Hz	-10,76		500 Hz	-14,14		500 Hz	-9,12	
	1000 Hz	-10,81		1000 Hz	-14,39		1000 Hz	-9,23	
	2000 Hz	-10,84		2000 Hz	-14,53		2000 Hz	-9,29	
4.Alıcı	250 Hz	-11,61	-11,47	250 Hz	-13,88	-14,46	250 Hz	-9,59	-9,69
	500 Hz	-11,45		500 Hz	-14,46		500 Hz	-9,69	
	1000 Hz	-11,40		1000 Hz	-14,67		1000 Hz	-9,72	
	2000 Hz	-11,40		2000 Hz	-14,81		2000 Hz	-9,77	
Ortalama	250 Hz	-11,13	-11,16	250 Hz	-13,77	-14,42	250 Hz	-9,24	-9,48
	500 Hz	-11,15		500 Hz	-14,42		500 Hz	-9,48	
	1000 Hz	-11,17		1000 Hz	-14,68		1000 Hz	-9,57	
	2000 Hz	-11,19		2000 Hz	-14,81		2000 Hz	-9,62	

Şekil 1.4. 3B-Dar-Kısa-Alçak-Düz Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

S1

3C

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,24	-14,38	250 Hz	-16,52	-17,13	250 Hz	-12,22	-12,53
	500 Hz	-14,36		500 Hz	-17,10		500 Hz	-12,51	
	1000 Hz	-14,44		1000 Hz	-17,36		1000 Hz	-12,65	
	2000 Hz	-14,48		2000 Hz	-17,53		2000 Hz	-12,73	
2.Alıcı	250 Hz	-13,94	-14,65	250 Hz	-16,51	-17,17	250 Hz	-12,03	-12,72
	500 Hz	-14,46		500 Hz	-17,13		500 Hz	-12,58	
	1000 Hz	-15,12		1000 Hz	-17,45		1000 Hz	-13,12	
	2000 Hz	-15,06		2000 Hz	-17,59		2000 Hz	-13,13	
3.Alıcı	250 Hz	-14,27	-14,06	250 Hz	-16,63	-17,36	250 Hz	-12,28	-12,39
	500 Hz	-14,16		500 Hz	-17,34		500 Hz	-12,45	
	1000 Hz	-13,90		1000 Hz	-17,67		1000 Hz	-12,38	
	2000 Hz	-13,91		2000 Hz	-17,81		2000 Hz	-12,43	
4.Alıcı	250 Hz	-14,11	-14,39	250 Hz	-15,62	-16,20	250 Hz	-11,79	-12,19
	500 Hz	-14,36		500 Hz	-16,18		500 Hz	-12,17	
	1000 Hz	-14,53		1000 Hz	-16,42		1000 Hz	-12,36	
	2000 Hz	-14,57		2000 Hz	-16,58		2000 Hz	-12,45	
Ortalama	250 Hz	-14,14	-14,37	250 Hz	-16,32	-16,97	250 Hz	-12,08	-12,46
	500 Hz	-14,34		500 Hz	-16,94		500 Hz	-12,43	
	1000 Hz	-14,50		1000 Hz	-17,23		1000 Hz	-12,63	
	2000 Hz	-14,51		2000 Hz	-17,38		2000 Hz	-12,69	

S2

3C

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-12,27	-12,35	250 Hz	-15,41	-16,04	250 Hz	-10,55	-10,80
	500 Hz	-12,36		500 Hz	-16,03		500 Hz	-10,81	
	1000 Hz	-12,37		1000 Hz	-16,30		1000 Hz	-10,89	
	2000 Hz	-12,40		2000 Hz	-16,42		2000 Hz	-10,95	
2.Alıcı	250 Hz	-13,14	-13,26	250 Hz	-15,45	-16,13	250 Hz	-11,14	-11,45
	500 Hz	-13,25		500 Hz	-16,12		500 Hz	-11,44	
	1000 Hz	-13,33		1000 Hz	-16,42		1000 Hz	-11,60	
	2000 Hz	-13,33		2000 Hz	-16,52		2000 Hz	-11,63	
3.Alıcı	250 Hz	-13,07	-13,26	250 Hz	-15,44	-16,11	250 Hz	-11,09	-11,45
	500 Hz	-13,25		500 Hz	-16,12		500 Hz	-11,44	
	1000 Hz	-13,36		1000 Hz	-16,39		1000 Hz	-11,61	
	2000 Hz	-13,37		2000 Hz	-16,49		2000 Hz	-11,64	
4.Alıcı	250 Hz	-13,30	-13,49	250 Hz	-15,45	-16,11	250 Hz	-11,23	-11,59
	500 Hz	-13,48		500 Hz	-16,11		500 Hz	-11,59	
	1000 Hz	-13,56		1000 Hz	-16,39		1000 Hz	-11,74	
	2000 Hz	-13,60		2000 Hz	-16,50		2000 Hz	-11,80	
Ortalama	250 Hz	-12,95	-13,09	250 Hz	-15,44	-16,10	250 Hz	-11,00	-11,32
	500 Hz	-13,09		500 Hz	-16,10		500 Hz	-11,32	
	1000 Hz	-13,16		1000 Hz	-16,38		1000 Hz	-11,46	
	2000 Hz	-13,18		2000 Hz	-16,48		2000 Hz	-11,51	

S3

3C

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-10,56	-10,53	250 Hz	-13,50	-14,12	250 Hz	-8,78	-8,95
	500 Hz	-10,52		500 Hz	-14,12		500 Hz	-8,94	
	1000 Hz	-10,52		1000 Hz	-14,37		1000 Hz	-9,02	
	2000 Hz	-10,52		2000 Hz	-14,48		2000 Hz	-9,06	
2.Alıcı	250 Hz	-11,31	-11,46	250 Hz	-14,65	-15,31	250 Hz	-9,65	-9,96
	500 Hz	-11,45		500 Hz	-15,31		500 Hz	-9,95	
	1000 Hz	-11,52		1000 Hz	-15,57		1000 Hz	-10,08	
	2000 Hz	-11,56		2000 Hz	-15,69		2000 Hz	-10,14	
3.Alıcı	250 Hz	-11,29	-11,33	250 Hz	-13,88	-14,42	250 Hz	-9,39	-9,59
	500 Hz	-11,33		500 Hz	-14,42		500 Hz	-9,59	
	1000 Hz	-11,35		1000 Hz	-14,61		1000 Hz	-9,67	
	2000 Hz	-11,36		2000 Hz	-14,75		2000 Hz	-9,72	
4.Alıcı	250 Hz	-11,34	-11,09	250 Hz	-13,75	-14,30	250 Hz	-9,37	-9,39
	500 Hz	-11,06		500 Hz	-14,30		500 Hz	-9,38	
	1000 Hz	-10,98		1000 Hz	-14,51		1000 Hz	-9,38	
	2000 Hz	-10,96		2000 Hz	-14,65		2000 Hz	-9,41	
Ortalama	250 Hz	-11,13	-11,10	250 Hz	-13,95	-14,54	250 Hz	-9,30	-9,47
	500 Hz	-11,09		500 Hz	-14,54		500 Hz	-9,47	
	1000 Hz	-11,09		1000 Hz	-14,77		1000 Hz	-9,54	
	2000 Hz	-11,10		2000 Hz	-14,89		2000 Hz	-9,58	

Şekil 1.5. 3C-Dar-Kısa-Alçak-Kademeli Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

4A

S1

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,95	-14,91	250 Hz	-20,13	-20,89	250 Hz	-13,80	-14,00
	500 Hz	-14,89		500 Hz	-20,79		500 Hz	-13,90	
	1000 Hz	-14,90		1000 Hz	-21,22		1000 Hz	-13,99	
	2000 Hz	-14,91		2000 Hz	-21,40		2000 Hz	-14,30	
2.Alıcı	250 Hz	-14,43	-14,98	250 Hz	-20,50	-21,24	250 Hz	-13,47	-14,06
	500 Hz	-14,80		500 Hz	-21,15		500 Hz	-13,90	
	1000 Hz	-15,38		1000 Hz	-21,55		1000 Hz	-14,44	
	2000 Hz	-15,32		2000 Hz	-21,74		2000 Hz	-14,43	
3.Alıcı	250 Hz	-15,20	-14,85	250 Hz	-20,50	-21,13	250 Hz	-14,08	-13,93
	500 Hz	-14,96		500 Hz	-21,05		500 Hz	-14,00	
	1000 Hz	-14,62		1000 Hz	-21,39		1000 Hz	-13,79	
	2000 Hz	-14,63		2000 Hz	-21,57		2000 Hz	-13,83	
4.Alıcı	250 Hz	-14,29	-14,41	250 Hz	-19,95	-20,68	250 Hz	-13,24	-13,47
	500 Hz	-14,39		500 Hz	-20,60		500 Hz	-13,46	
	1000 Hz	-14,45		1000 Hz	-20,99		1000 Hz	-13,58	
	2000 Hz	-14,49		2000 Hz	-21,17		2000 Hz	-13,58	
Ortalama	250 Hz	-14,72	-14,79	250 Hz	-20,27	-20,98	250 Hz	-13,65	-13,86
	500 Hz	-14,76		500 Hz	-20,90		500 Hz	-13,82	
	1000 Hz	-14,84		1000 Hz	-21,29		1000 Hz	-13,95	
	2000 Hz	-14,84		2000 Hz	-21,47		2000 Hz	-14,04	

4A

S2

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-13,75	-13,79	250 Hz	-21,77	-22,46	250 Hz	-13,11	-13,24
	500 Hz	-13,79		500 Hz	-22,35		500 Hz	-13,22	
	1000 Hz	-13,81		1000 Hz	-22,77		1000 Hz	-13,29	
	2000 Hz	-13,82		2000 Hz	-22,93		2000 Hz	-13,32	
2.Alıcı	250 Hz	-14,25	-14,22	250 Hz	-21,81	-22,40	250 Hz	-13,55	-13,61
	500 Hz	-14,19		500 Hz	-22,32		500 Hz	-13,57	
	1000 Hz	-14,23		1000 Hz	-22,66		1000 Hz	-13,65	
	2000 Hz	-14,22		2000 Hz	-22,82		2000 Hz	-13,66	
3.Alıcı	250 Hz	-14,93	-14,91	250 Hz	-23,18	-23,93	250 Hz	-14,33	-14,40
	500 Hz	-14,87		500 Hz	-23,87		500 Hz	-14,36	
	1000 Hz	-14,92		1000 Hz	-24,27		1000 Hz	-14,45	
	2000 Hz	-14,90		2000 Hz	-24,40		2000 Hz	-14,44	
4.Alıcı	250 Hz	-14,04	-14,53	250 Hz	-21,81	-22,53	250 Hz	-13,37	-13,89
	500 Hz	-14,49		500 Hz	-22,44		500 Hz	-13,85	
	1000 Hz	-14,77		1000 Hz	-22,85		1000 Hz	-14,14	
	2000 Hz	-14,83		2000 Hz	-23,00		2000 Hz	-14,21	
Ortalama	250 Hz	-14,24	-14,36	250 Hz	-22,14	-22,83	250 Hz	-13,59	-13,78
	500 Hz	-14,34		500 Hz	-22,75		500 Hz	-13,75	
	1000 Hz	-14,43		1000 Hz	-23,14		1000 Hz	-13,88	
	2000 Hz	-14,44		2000 Hz	-23,29		2000 Hz	-13,91	

4A

S3

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,05	-13,78	250 Hz	-20,67	-21,06	250 Hz	-13,19	-13,03
	500 Hz	-13,72		500 Hz	-20,88		500 Hz	-12,96	
	1000 Hz	-13,72		1000 Hz	-21,29		1000 Hz	-13,02	
	2000 Hz	-13,64		2000 Hz	-21,38		2000 Hz	-12,96	
2.Alıcı	250 Hz	-14,74	-14,50	250 Hz	-21,71	-22,26	250 Hz	-13,95	-13,83
	500 Hz	-14,44		500 Hz	-22,06		500 Hz	-13,75	
	1000 Hz	-14,46		1000 Hz	-22,58		1000 Hz	-13,84	
	2000 Hz	-14,35		2000 Hz	-22,67		2000 Hz	-13,76	
3.Alıcı	250 Hz	-14,85	-14,37	250 Hz	-21,52	-21,77	250 Hz	-14,00	-13,64
	500 Hz	-14,30		500 Hz	-21,56		500 Hz	-13,55	
	1000 Hz	-14,24		1000 Hz	-21,97		1000 Hz	-13,56	
	2000 Hz	-14,09		2000 Hz	-22,02		2000 Hz	-13,45	
4.Alıcı	250 Hz	-14,95	-14,40	250 Hz	-21,25	-21,28	250 Hz	-14,04	-13,59
	500 Hz	-14,31		500 Hz	-21,07		500 Hz	-13,47	
	1000 Hz	-14,23		1000 Hz	-21,35		1000 Hz	-13,46	
	2000 Hz	-14,11		2000 Hz	-21,43		2000 Hz	-13,37	
Ortalama	250 Hz	-14,65	-14,26	250 Hz	-21,29	-21,59	250 Hz	-13,80	-13,52
	500 Hz	-14,19		500 Hz	-21,39		500 Hz	-13,43	
	1000 Hz	-14,16		1000 Hz	-21,80		1000 Hz	-13,47	
	2000 Hz	-14,05		2000 Hz	-21,88		2000 Hz	-13,39	

Şekil 1.6. 4A-Dar-Kısa-Alçak-Açılı Yan Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

S1

5A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-14,91	-14,82
	500 Hz	-14,79	
	1000 Hz	-14,80	
	2000 Hz	-14,77	
2.Alıcı	250 Hz	-14,49	-15,01
	500 Hz	-14,82	
	1000 Hz	-15,43	
	2000 Hz	-15,29	
3.Alıcı	250 Hz	-15,21	-14,66
	500 Hz	-14,81	
	1000 Hz	-14,33	
	2000 Hz	-14,30	
4.Alıcı	250 Hz	-14,32	-14,19
	500 Hz	-14,22	
	1000 Hz	-14,14	
	2000 Hz	-14,09	
Ortalama	250 Hz	-14,73	-14,67
	500 Hz	-14,66	
	1000 Hz	-14,68	
	2000 Hz	-14,61	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-20,37	-20,92
	500 Hz	-20,83	
	1000 Hz	-21,13	
	2000 Hz	-21,35	
2.Alıcı	250 Hz	-20,89	-21,47
	500 Hz	-21,36	
	1000 Hz	-21,72	
	2000 Hz	-21,92	
3.Alıcı	250 Hz	-20,86	-21,42
	500 Hz	-21,33	
	1000 Hz	-21,66	
	2000 Hz	-21,84	
4.Alıcı	250 Hz	-20,11	-20,62
	500 Hz	-20,53	
	1000 Hz	-20,80	
	2000 Hz	-21,02	
Ortalama	250 Hz	-20,56	-21,11
	500 Hz	-21,01	
	1000 Hz	-21,33	
	2000 Hz	-21,53	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-13,82	-13,86
	500 Hz	-13,82	
	1000 Hz	-13,89	
	2000 Hz	-13,91	
2.Alıcı	250 Hz	-13,59	-14,12
	500 Hz	-13,95	
	1000 Hz	-14,51	
	2000 Hz	-14,43	
3.Alıcı	250 Hz	-14,17	-13,83
	500 Hz	-13,94	
	1000 Hz	-13,59	
	2000 Hz	-13,60	
4.Alıcı	250 Hz	-13,30	-13,30
	500 Hz	-13,31	
	1000 Hz	-13,29	
	2000 Hz	-13,29	
Ortalama	250 Hz	-13,72	-13,78
	500 Hz	-13,76	
	1000 Hz	-13,82	
	2000 Hz	-13,81	

S2

5A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-13,41	-13,45
	500 Hz	-13,46	
	1000 Hz	-13,47	
	2000 Hz	-13,46	
2.Alıcı	250 Hz	-13,61	-13,43
	500 Hz	-13,42	
	1000 Hz	-13,37	
	2000 Hz	-13,32	
3.Alıcı	250 Hz	-14,62	-14,65
	500 Hz	-14,64	
	1000 Hz	-14,68	
	2000 Hz	-14,64	
4.Alıcı	250 Hz	-13,49	-13,95
	500 Hz	-13,95	
	1000 Hz	-14,16	
	2000 Hz	-14,21	
Ortalama	250 Hz	-13,78	-13,87
	500 Hz	-13,87	
	1000 Hz	-13,92	
	2000 Hz	-13,91	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-19,85	-20,36
	500 Hz	-20,29	
	1000 Hz	-20,51	
	2000 Hz	-20,77	
2.Alıcı	250 Hz	-20,44	-20,97
	500 Hz	-20,89	
	1000 Hz	-21,17	
	2000 Hz	-21,38	
3.Alıcı	250 Hz	-21,02	-21,60
	500 Hz	-21,52	
	1000 Hz	-21,81	
	2000 Hz	-22,03	
4.Alıcı	250 Hz	-20,39	-21,01
	500 Hz	-20,92	
	1000 Hz	-21,25	
	2000 Hz	-21,47	
Ortalama	250 Hz	-20,43	-20,98
	500 Hz	-20,91	
	1000 Hz	-21,19	
	2000 Hz	-21,41	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-12,52	-12,64
	500 Hz	-12,64	
	1000 Hz	-12,69	
	2000 Hz	-12,72	
2.Alıcı	250 Hz	-12,80	-12,73
	500 Hz	-12,71	
	1000 Hz	-12,70	
	2000 Hz	-12,69	
3.Alıcı	250 Hz	-13,72	-13,84
	500 Hz	-13,83	
	1000 Hz	-13,91	
	2000 Hz	-13,91	
4.Alıcı	250 Hz	-12,68	-13,17
	500 Hz	-13,15	
	1000 Hz	-13,39	
	2000 Hz	-13,46	
Ortalama	250 Hz	-12,93	-13,10
	500 Hz	-13,08	
	1000 Hz	-13,17	
	2000 Hz	-13,20	

S3

5A

ST early (ST1)			
1.Alıcı	250 Hz	-14,17	-13,98
	500 Hz	-13,96	
	1000 Hz	-13,95	
	2000 Hz	-13,85	
2.Alıcı	250 Hz	-15,10	-14,90
	500 Hz	-14,87	
	1000 Hz	-14,85	
	2000 Hz	-14,76	
3.Alıcı	250 Hz	-15,88	-15,48
	500 Hz	-15,45	
	1000 Hz	-15,34	
	2000 Hz	-15,24	
4.Alıcı	250 Hz	-15,31	-14,92
	500 Hz	-14,89	
	1000 Hz	-14,80	
	2000 Hz	-14,69	
Ortalama	250 Hz	-15,12	-14,82
	500 Hz	-14,79	
	1000 Hz	-14,74	
	2000 Hz	-14,64	

ST late			
1.Alıcı	250 Hz	-19,52	-19,94
	500 Hz	-19,86	
	1000 Hz	-20,11	
	2000 Hz	-20,27	
2.Alıcı	250 Hz	-20,86	-21,44
	500 Hz	-21,33	
	1000 Hz	-21,65	
	2000 Hz	-21,90	
3.Alıcı	250 Hz	-20,82	-21,21
	500 Hz	-21,07	
	1000 Hz	-21,38	
	2000 Hz	-21,55	
4.Alıcı	250 Hz	-20,61	-20,92
	500 Hz	-20,81	
	1000 Hz	-21,05	
	2000 Hz	-21,19	
Ortalama	250 Hz	-20,45	-20,87
	500 Hz	-20,77	
	1000 Hz	-21,05	
	2000 Hz	-21,23	

ST total (ST2)			
1.Alıcı	250 Hz	-13,06	-13,00
	500 Hz	-12,97	
	1000 Hz	-13,00	
	2000 Hz	-12,96	
2.Alıcı	250 Hz	-14,08	-14,03
	500 Hz	-13,99	
	1000 Hz	-14,03	
	2000 Hz	-14,00	
3.Alıcı	250 Hz	-14,67	-14,44
	500 Hz	-14,40	
	1000 Hz	-14,38	
	2000 Hz	-14,32	
4.Alıcı	250 Hz	-14,19	-13,95
	500 Hz	-13,90	
	1000 Hz	-13,88	
	2000 Hz	-13,82	
Ortalama	250 Hz	-14,00	-13,85
	500 Hz	-13,82	
	1000 Hz	-13,82	
	2000 Hz	-13,78	

Şekil 1.7. 5A-Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Tavan-Kademeli Sahne için simülasyon sonuçları

EK-1. (devam) Geliştirilen tasarımların, sahne akustik parametreleri doğrultusunda Odeon simülasyon programı analiz sonuçları

S1

5B

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-16,22	-16,06	250 Hz	-18,75	-19,02	250 Hz	-14,29	-14,28
	500 Hz	-16,02		500 Hz	-18,92		500 Hz	-14,22	
	1000 Hz	-16,01		1000 Hz	-19,05		1000 Hz	-14,26	
	2000 Hz	-15,99		2000 Hz	-19,34		2000 Hz	-14,34	
2.Alıcı	250 Hz	-15,88	-16,62	250 Hz	-18,69	-18,94	250 Hz	-14,05	-14,62
	500 Hz	-16,33		500 Hz	-18,84		500 Hz	-14,40	
	1000 Hz	-17,25		1000 Hz	-18,97		1000 Hz	-15,02	
	2000 Hz	-17,03		2000 Hz	-19,25		2000 Hz	-14,99	
3.Alıcı	250 Hz	-16,51	-15,81	250 Hz	-18,60	-18,89	250 Hz	-14,42	-14,06
	500 Hz	-15,97		500 Hz	-18,79		500 Hz	-14,14	
	1000 Hz	-15,39		1000 Hz	-18,95		1000 Hz	-13,80	
	2000 Hz	-15,36		2000 Hz	-19,20		2000 Hz	-13,86	
4.Alıcı	250 Hz	-14,57	-14,49	250 Hz	-18,83	-19,15	250 Hz	-13,18	-13,21
	500 Hz	-14,53		500 Hz	-19,05		500 Hz	-13,21	
	1000 Hz	-14,45		1000 Hz	-19,22		1000 Hz	-13,20	
	2000 Hz	-14,40		2000 Hz	-19,49		2000 Hz	-13,23	
Ortalama	250 Hz	-15,80	-15,74	250 Hz	-18,72	-19,00	250 Hz	-13,99	-14,04
	500 Hz	-15,71		500 Hz	-18,90		500 Hz	-13,99	
	1000 Hz	-15,78		1000 Hz	-19,05		1000 Hz	-14,07	
	2000 Hz	-15,70		2000 Hz	-19,32		2000 Hz	-14,11	

S2

5B

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,17	-14,27	250 Hz	-18,66	-19,00	250 Hz	-12,85	-13,01
	500 Hz	-14,30		500 Hz	-18,92		500 Hz	-13,01	
	1000 Hz	-14,31		1000 Hz	-19,09		1000 Hz	-13,06	
	2000 Hz	-14,30		2000 Hz	-19,34		2000 Hz	-13,12	
2.Alıcı	250 Hz	-15,28	-15,00	250 Hz	-19,22	-19,62	250 Hz	-13,80	-13,71
	500 Hz	-14,98		500 Hz	-19,51		500 Hz	-13,67	
	1000 Hz	-14,91		1000 Hz	-19,75		1000 Hz	-13,67	
	2000 Hz	-14,83		2000 Hz	-20,00		2000 Hz	-13,68	
3.Alıcı	250 Hz	-15,87	-15,89	250 Hz	-19,43	-19,84	250 Hz	-14,28	-14,42
	500 Hz	-15,85		500 Hz	-19,74		500 Hz	-14,37	
	1000 Hz	-15,94		1000 Hz	-19,98		1000 Hz	-14,49	
	2000 Hz	-15,89		2000 Hz	-20,22		2000 Hz	-14,52	
4.Alıcı	250 Hz	-15,20	-15,91	250 Hz	-18,37	-18,68	250 Hz	-13,49	-14,08
	500 Hz	-15,86		500 Hz	-18,64		500 Hz	-14,02	
	1000 Hz	-16,26		1000 Hz	-18,64		1000 Hz	-14,34	
	2000 Hz	-16,33		2000 Hz	-19,05		2000 Hz	-14,47	
Ortalama	250 Hz	-15,13	-15,27	250 Hz	-18,92	-19,29	250 Hz	-13,61	-13,80
	500 Hz	-15,25		500 Hz	-19,20		500 Hz	-13,77	
	1000 Hz	-15,36		1000 Hz	-19,37		1000 Hz	-13,89	
	2000 Hz	-15,34		2000 Hz	-19,65		2000 Hz	-13,95	

S3

5B

	ST early (ST1)			ST late			ST total (ST2)		
1.Alıcı	250 Hz	-14,42	-14,26	250 Hz	-17,65	-17,93	250 Hz	-12,73	-12,71
	500 Hz	-14,25		500 Hz	-17,81		500 Hz	-12,66	
	1000 Hz	-14,23		1000 Hz	-18,03		1000 Hz	-12,72	
	2000 Hz	-14,15		2000 Hz	-18,22		2000 Hz	-12,72	
2.Alıcı	250 Hz	-16,43	-16,18	250 Hz	-19,16	-19,55	250 Hz	-14,57	-14,53
	500 Hz	-16,17		500 Hz	-19,42		500 Hz	-14,49	
	1000 Hz	-16,12		1000 Hz	-19,70		1000 Hz	-14,54	
	2000 Hz	-16,00		2000 Hz	-19,92		2000 Hz	-14,52	
3.Alıcı	250 Hz	-15,45	-15,15	250 Hz	-19,48	-19,65	250 Hz	-14,00	-13,83
	500 Hz	-15,15		500 Hz	-19,51		500 Hz	-13,79	
	1000 Hz	-15,04		1000 Hz	-19,69		1000 Hz	-13,76	
	2000 Hz	-14,95		2000 Hz	-19,91		2000 Hz	-13,75	
4.Alıcı	250 Hz	-15,29	-15,00	250 Hz	-19,61	-19,68	250 Hz	-13,93	-13,73
	500 Hz	-14,99		500 Hz	-19,51		500 Hz	-13,67	
	1000 Hz	-14,91		1000 Hz	-19,70		1000 Hz	-13,67	
	2000 Hz	-14,81		2000 Hz	-19,90		2000 Hz	-13,64	
Ortalama	250 Hz	-15,40	-15,15	250 Hz	-18,98	-19,20	250 Hz	-13,81	-13,70
	500 Hz	-15,14		500 Hz	-19,06		500 Hz	-13,65	
	1000 Hz	-15,08		1000 Hz	-19,28		1000 Hz	-13,67	
	2000 Hz	-14,98		2000 Hz	-19,49		2000 Hz	-13,66	

Şekil 1.8. 5B-Dar-Kısa-Alçak-Açılı Alçak Yan Duvar ve Modüler Tavan-Kademeli Sahne için simülasyon sonuçları



Gazili olmak ayrıcalıktır