MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK İŞLEVLİ SALONLARDA ALGORİTMİK BİR TASARIM YÖNTEMİ ve ÜÇ BOYUTLU AKTİF SİMÜLASYON PROGRAMI

DOKTORA TEZİ

Ayşe GLASS

Anabilim Dalı: Mimarlık

Programı: Yapı Bilgisi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Berrin Şahin DİRİ
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi A. Cüneyd DİRİ

NİSAN 2020

T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKUSTİK İŞLEVLİ SALONLARDA ALGORİTMİK BİR TASARIM YÖNTEMİ ve ÜÇ BOYUTLU AKTİF SİMÜLASYON PROGRAMI

DOKTORA TEZİ

Ayşe GLASS

Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Berrin Şahin DİRİ
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi A. Cüneyd DİRİ

NİSAN 2020

Ayşe Glass tarafından hazırlanan Akustik İşlevli Salonlarda Algoritmik Bir Tasarım Yöntemi ve Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

DR. ÖĞR. ÜYESİ BERRİN ŞAHİN DİRİ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Bilgisi Anabilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : BERRİN ŞAHİN DİRİ

Üye : NURGÜN BAYAZIT

Üye : MEHMET NURİ İLGÜREL

Üye : Mustafa Özgünler

Üye : Ömer G. Deniz

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.



Aileme, eşim Roman'a, kızlarım Odelia Ada ve Rosalia İpek'e

AKUSTİK İŞLEVLİ SALONLARDA ALGORİTMİK BİR TASARIM YÖNTEMİ ve ÜÇ BOYUTLU AKTİF SİMÜLAYSON PROGRAMI

ÖZET

Çalışmada, akustik işlevli salonların tasarımında kullanılabilecek bir dijital tasarım destek yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Kapalı hacimlerde, hacmin fiziksel yapısı, salon akustiğini doğrudan etkilemektedir. Akustik işlevli salonlarda, akustik özelliklerin tasarımın belirleyicisi olabildiği ya da ilk aşamalardan itibaren tasarım sürecine katılabileceği yeni yöntem ve çalışmalara gereksinim bulunmaktadır. Algoritmik yöntemler ve parametrelerle kontrol edilen sistemler, geometri üzerinde sayısal denetim sağlamaktadır. Kendini optimize edebilen sistemleri gerçekleştirebilmek için, büyük veri setlerinin kayıt edilmesi ve uygun algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir.

Tasarlanan yöntem, Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı olarak isimlendirilen özgün bir program üzerinden örneklenerek test edilmiştir. Algoritma, ön tasarım aşamasından itibaren, mevcut tasarımın dışında, olası tüm ya da belirli kurallara göre oluşturulan geometrik tasarım durumlarını üreterek sınamakta, akustik performans sonuçlarını tasarımcıya sunmaktadır. Süreç, tasarımın; modelleme, deneme, teknik alanların dahil edilmesi ve test etme aşamaları dijitalleştirilerek, otomatize edilmektedir. Önerilen yöntemle çalışılan tasarımlarda tasarımcı, hız ve verimlilik kazanmaktadır. Yöntem geliştirilirken, mevcut tasarım desteğinin yanı sıra, birbirini etkileyen, ileriye dönük iki kullanım biçimi de öngörülmüştür:

1. Akustik biliminde kendini optimize eden sistemlerin geliştirilebilmesi için, çok sayıda salonun akustik performansının hızlıca sınanarak, veri kayıtlarının analizi.

2. Optimum akustik parametre değerlerinin başta tanımlanarak, çalışılan modelde, bu değerleri sağlayabilen salon tasarımlarının simülasyon yapılmadan bilgisayar tarafından üretilerek tasarımcıya önerilmesi.

Testler, farklı geometrilerde dört salon modeli hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin kullanılabilmesi için; mevcut tasarımlarda kullanılan Odeon

programı ile, tez süresince geliştirilen programın akustik sonuçları karşılaştırıldığında, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen yöntemle gerçekleştirilen tasarımlarda, tasarımcının süre kazanımları olmuştur. Bu durum, akustik işlevli salonlarda, önerilen algoritmik yöntemin ve programın, mimari tasarıma ve akustik araştırmalara faydaları olabileceğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Mimari akustik tasarım, akustik model, algoritmik akustik simülasyon, hesaplamalı tasarım yöntemi, salonlarda akustik performans ve ses.

AN ALGORITHMIC DESIGN METHOD FOR HALLS AND THREE DIMENSIONAL ACTIVE MODEL SIMULATION PROGRAM

ABSTRACT

In this thesis, I developed a digital design method which architects, acoustic consultants and designers can use to design halls. The physical conditions of enclosed spaces directly affect the hall's acoustics. In halls with special attention to acoustic usage, acoustic features should be the determinant factor in the design, or they have to be at least an integral part from the beginning of the design. New methods and studies are needed to make this design approach possible. Algorithmic design methods and parametric systems provide computational control over the geometrical design. In order to realize self-optimizing systems, large data sets should be collected and appropriate algorithms should be examined to evaluate the records.

As an example of the designed method a new program was developed during the thesis, called Three Dimensional Active Acoustic Simulation Program. The algorithm, generates and tests the acoustic performance of halls. This happens before design details crystalize in the preliminary design stages. Here, not only the initial design is taken into account, but all design possibilities, or the options generated according to defined rules. In the process of the design through modeling and testing the constraints in each iteration, the feedback loop of the architect is automated. The designer who works with the proposed method, gains speed and efficiency. As the methodology evolved through the iterative progress of my thesis, besides the current design support, two further research directions are envisaged:

1. Analyze a large number of acoustic performances in a fast and efficient way to provide the needed data for self-optimizing systems in acoustics.

2. Develop self-optimizing systems, where the designer will define the values of acoustic parameters in the beginning to generate an optimal hall design without the need for further simulations.

The tests were carried out by preparing four hall models with different geometries. Comparing the results of both, the newly developed program and Odeon, a well-known existing program, similar results were yielded. The generation was faster in the proposed method and the designer had time savings. This enabled the proposed method as designed, to explore all design spaces and showed the advantages of algorithmic design adjusted to architectural acoustics.

Keywords: Architectural acoustic design, acoustic model, algorithmic acoustic simulation, computational design method, acoustic performance and sound in the halls

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER xix
KISALTMALAR xxiii
ÇİZELGE LİSTESİ xxv
ŞEKİL LİSTESİ xxvii
1. GİRİŞ 1
1.1 Literatüre Bakış 5
1.2 Araştırma Sorunu ve Ön Çalışma 13
1.3 Tezin Amacı 22
1.4 Kapsam ve Kabuller, Aktif ve Statik Modelleme Tanımı 23
1.5 Yöntem 27
1.6 Tezin yapısı 35
2. MİMARİDE AKUSTİK ve DİJİTAL TEKNOLOJİLER 37
2.1 Ses ve Başlıca Ses Olayları 37
2.1.1 Ses Dalgalarının Havadaki Fiziksel Özellikleri 37
2.1.2 Frekans ve Desibel 38
2.1.3 Dalga Boyu ve Genlik 40
2.1.4 Sesin Hızı 40
2.1.5 Sesin Kapalı Hacimlerde Başlıca Davranışları 41
2.1.5.1 Ses Yansıması 41
2.1.5.2 Ses Yutumu 43
2.1.5.3 Ses Saçılması 44
2.1.5.4 Ses Kırılması (*Refraction*) 44
2.1.5.5 Ses Odaklanması 44
2.1.5.6 Ses Gölgeleri 45
2.1.5.7 Ses Yeğinliği (*Intensity*) 45
2.2 Salonlarda Akustik Kaliteyi Etkileyen Parametreler 46
2.2.1 Ses Kaynakları ve Sesin Dağılımı 47
2.2.1.1 Ses Düzeyleri 48
2.2.1.2 Ses Basınç Düzeyi (SPL) 49
2.2.1.3 Direkt ve Yansımış Ses Alanının Enerji Hesaplanması 49
2.2.1.4 Sabine, Eyring denklemleri, T60 ve T30 yöntemleri 50
2.2.2 Salonların Reverberasyon Süresi Açısından Değerlendirilmesi 51
2.2.2.1 Mevcut salon reverberasyon değerleri 52
2.2.2.2 Direkt ve yansıyan ses, hacmin sinyal tepkisi, eko 53
2.3 Akustik İşlevli Salonlarda Akustik Tasarım Yöntemleri 55
2.4 Kapalı Hacimlerde Ses Dağılımının Modellenmesi ve Hesaplanması 59
2.4.1 Geometrik Akustik Teorisi 61
2.4.1.1 Işın Tarama Yöntemi 62
2.4.1.2 Sanal Kaynak Yöntemi 63

2.4.1.3 Işın Demeti Tarama Yöntemi (*Beam Tracing*) 63
2.4.2 Odeon Programı: 64
2.5 Dijital teknolojilerin mimari tasarımda kullanılması 65
2.5.1 Parametre ve Algoritma 67
2.5.2 Algoritma ve Mimari Form 68
2.5.3 Performans ve Mimari Form 69
2.5.4 Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı ve Üretken Sistemler 69
2.5.5 İkili Sayı Sistemi ve Dosya Uzantısı 71
2.5.6 Dinamik ve statik yazılım teknikleri 72
2.5.7 Nesne Temelli Programlama 72
2.5.8 Temel Veri Tipleri 73
2.5.9 Fonksiyon, Nesneler ve Sınıflar 74
2.5.10 Kodlayarak ve Programlayarak Çizmek, Tasarlamak 76
2.5.11 Monte Carlo Yöntemi 86
3. ÖNERİLEN YÖNTEM, İŞLEYİŞİ, ÖRNEKLENMESİ, SINANMASI ve KARŞILAŞTIRMALAR 87
3.1 Önerilen Yöntem 87
3.2 Önerilen Yöntemin İşleyişi ve Kullanım Örnekleri 90
3.2.1 Önerilen Yöntemin Kodlama Yapılmadan, Tezde Oluşturulan Koda Değer Girilerek Kullanımı 99
3.2.2 Önerilen Yöntemin Koda Müdahale Edilerek Kullanımı 103
3.2.3 Salon Akustiği Araştırmalarında Kullanımı 104
3.2.4 Bir Salon Tasarımının Önerilen Yöntemle Gerçekleştirilmesinde, İzlenilebilecek Adımlar (Kod Üzerinde): 106
3.3 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının Tezde Geliştirilen Özellikleri 114
3.3.1 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının Kod Geliştirme Süreci 116
3.3.2 *Grid* Sistemi 136
3.3.3 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programında Kullanılan Kütüphaneler 137
3.3.4 Simülasyonlardan Alınan Örnek Ekran Görselleri 138
3.4 Geliştirme Testleri 144
3.4.1 Birinci Test Salonu 144
3.4.2 İkinci Test Salonu 147
3.4.2.1 Yüzey Yutuculuk Değerlerinin Eklenmesi 151
3.4.2.2 Ses Düzeyi Dağılımı Özelliğinin Eklenmesi 151
3.4.2.3 Saptanan Karşılıklı Yansıma Durumu 151
3.4.2.4 Renk Optimizasyonu 152
3.4.2.5 Eklenen Özelliklerle Birlikte Alınan Simülasyon Testleri 153
3.4.2.6 Test Salonu Sonuçlarının Kayıt Edilmesi 154
3.4.3 Üçüncü Test Salonu 159
3.4.4 Dördüncü Test Salonu 161
3.4.5 Test Verilerinin Uygun Geometriyi Beslemesi 167
3.4.6 Kayıt Edilen Verilerin Değerlendirilmesi 169
3.4.6.1 Renk toplamı 169
3.4.6.2 Homojenlik 170
3.4.6.3 Ortalamanın Değerlendirmesi 172
3.4.6.4 Standart Sapmanın Değerlendirilmesi 173
3.4.6.5 Olası durumların değerlendirilmesi 175
3.4.7 Alt Program 185
3.5 Önerilen Yöntemin Sınanması 187
3.5.1 Karşılaştırmalar: 189

3.5.1.1 Salon 2 panellerin düz olduğu durum karşılaştırması 196
3.5.1.2 Salon 2 panellerin açılı olduğu durum karşılaştırması 197
3.5.1.3 Salon 2 panelsiz durum karşılaştırması 198
3.5.1.4 Salon 4 panellerin düz olduğu durum karşılaştırması 199
3.5.1.5 Salon 4 panellerin açılı olduğu durum karşılaştırması 200
3.5.1.6 Salon 4 çok panelli durum karşılaştırması 201
3.5.1.7 Salon 4 panelsiz durum karşılaştırması 202
3.5.2 Ses düzeyi haritalarının karşılaştırılmasının değerlendirilmesi 208
3.5.3 Çalışma yöntemlerinin karşılaştırılması 209
3.5.4 Sürelerin karşılaştırılması 214
3.5.4.1 Kabuller: 214
3.5.4.2 Mimari modellerin mevcut olarak bulunmaması durumunda süre karşılaştırmaları: 215
3.5.4.3 Mimari modellerin mevcut olarak bulunması durumunda süre karşılaştırmaları: 216
3.6 Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programının Kullanım Kılavuzu 219
3.7 Test ve Karşılaştırma Bulguları 230
4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME 237
4.1 Mimarlıkta ve Akustik Biliminde Hesaplamalı Yaklaşımla Kurulan Teorik Çerçeve ve Ön Kodlama Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular: 238
4.2 Önerilen Yöntemin Mimarlık ve Akustik Bilimine Katkıları ve Kullanılabilirlik alanları 239
4.3 Üç Boyutlu Aktif Tasarım Programı ve Alt Programının Tasarıma Katkıda Bulunabilmesi İçin Tez Süresince Geliştirilen Özellikleri ve Gelinen Nokta 245
4.4 Çalışmanın İleride Yapılacak Araştırmalarda Kullanılabilirliği: 247
5. EK 267
305
ÖZGEÇMİŞ 305

KISALTMALAR

BEM : Sınır elemanları yöntemi (*Boundary Element Method*)
CAD : Bilgisayar destekli çizim (*Computer-aided design*)
CAAD : Bilgisayar destekli tasarım (*Computer-aided architectural design)*
CATT : Bilgisayar destekli tiyatro tekniği (*Computer Aided Theater Technique)*
cm : Santimetre
mm : Milimetre
dB : Desibel
FEM : Sonlu elemanlar yöntemi *(Finite Element Method)*
G : Ses yüksekliği düzeyi
GUI : Grafiksek kullanıcı arayüzü (*Graphical User Interface*)
Hz : Hertz
IDE : Tümleşik geliştirme ortamı (*Integrated Development Environment*)
int : Tam sayı (*Integer*)
L : Düzey *(Level)*
m : Metre
ms : Milisaniye
skp : *SketchUp* mimari çizim ve modelleme programı dosya formatı
sn : Saniye
RGB : Kırmızı, yeşil, mavi renk modeli (*RGB color model*)
RT : Reverberasyon süresi (*Reverberation Time*)
S.No : Simülasyon numarası
Str. Nr : Satır numarası
SPL : Ses basınç düzeyi (*Sound Pressure Level*)
SWL : Ses gücü düzeyi
STL : *Stereolithography* dosya format
T : Reverberasyon süresi

SEMBOLLER

α : Yutuculuk katsayısı
αort : Ortalama
δ : Saçıcılık katsayısı
σ : Standart sapma
π : Sabit
Q : Kaynak yöneltim faktörü
Ae : Etkili yutuculuk alanı (Toplam yutum) (m^2)
Ahava : Havanın yutuculuğu
c : Sesin havadaki hızı
E : Enerji yoğunluğu
ED : Direkt sesin enerji yoğunluğu
ET : Yansımış seslerin enerji yoğunluğu
EY : Hacimdeki toplam enerji yoğunluğu
f : Frekans (Hz)
I : Ses yeğinliği (W / m^2)
I0 : Ses yeğinliği (*intensity*) referans değeri (10^{-12} W/m^2)
L1 : Ses yeğinliği düzeyi
Lp : Ses basıncı (sound pressure) düzeyi
Lw : Ses gücü (sound power) düzeyi
N : Dizinin eleman sayısı
θ : Yayılma yönü ile normal arasındaki açı
λ : Sesin dalga boyu (m)
P : Dalganın periyodu (s)
P0 : Ses basıncı referans değer (20 μ Pa)
r : Kaynak ve dinleyici arasındaki uzaklık
R : Hacim Sabiti
S : Yüzey alanı (m^2)
Σ : Toplam
ST : Toplam yüzey alanı
xi : x değişkeni bir dizide kullanıldıysa, dizinin x. elemanı
x : Değişken
V : Salonun toplam hacmi
W : Ses gücü, Watt
Wo : Referans ses gücü, (10^{-12} W)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Desibel ve Watt ses düzeyi karşılaştırması (Peterson,1980) 39
Çizelge 2.2 : Çeşitli ses kaynaklarının ses düzeyleri (Demirkale, 2007) 40
Çizelge 2.3 : Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızları (Demirkale, 2007) 40
Çizelge 2.4 : Çeşitli malzemelerin yutuculuk katsayıları (Alman Fiziksel Teknik Devlet Enstitüsü – Url-30) 44
Çizelge 2.5 : Ses düzeyleri için referans değerler (Beranek, 1992, Long, 2006). 48
Çizelge 2.6 : Reverberasyon süresi formülleri 51
Çizelge 2.7 : Beranek'in belirttiği çeşitli konser salonu ölçüm değerleri (Beranek, 2004) 52
Çizelge 2.8 : Ses simülasyon modelleri (Vorländer, 2008). 60
Çizelge 2.9 : Üretken Sistemler Tasarım Yaklaşımı (Bohnacker, Laub, Groß ve Lazzeroni 2009). 70
Çizelge 2.10 : Temel veri tipleri ve örnek kullanımlar 74
Çizelge 3.1: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yönteminin İşleyişi 93
Çizelge 3.2: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yöntemi ile tasarlama sürecinin diğer programlarla ilişkisi 96
Çizelge 3.3: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yöntemi'nde tasarımcının yorumuna açık basamaklar 97
Çizelge 3.4: Veri tablolarından örnek üç satır 111
Çizelge 3.5 : Metre ile ölçülen mesafelerle ses düzeyi düşüşü 119
Çizelge 3.6 : Simülasyon mesafeleri ile ses düşüşü 120
Çizelge 3.7 : Programda tanımlanan üç boyutlu vektör sınıfının (Vec3D) ya da üç boyutlu ışınların (Ray3D) örnek işlevlerinin ifadeleri 127
Çizelge 3.8 : Simülasyonlar sırasında kayıt altına alınan değerler 174
Çizelge 3.9 : İlk 10 simülasyonun kayıt tablosu 175
Çizelge 3.10 : En yüksek renk toplam değerlerinin kayıt tablosu 180
Çizelge 3.11 : En yüksek homojenlik değerlerinin kayıt tablosu 181
Çizelge 3.12 : En yüksek ortalama değerinin kayıt tablosu 182
Çizelge 3.13 : En olumlu standart sapma değerlerinin kayıt tablosu 183
Çizelge 3.14: Karşılaştırmalarda yüzeylere atanan yutuculuk katsayıları 188
Çizelge 3.15 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programından ve alt programdan alınan görseller-Ses kaynağı sahnede 194
Çizelge 3.16: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programından ve alt programdan alınan görseller-Ses kaynağı ortada 195
Çizelge 3.17: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nın çalışma şeması 210
Çizelge 3.18: Odeon Programı'nın çalışma şeması (Url-21) 210
Çizelge 3.19 Tasarlama adımlarındaki değişiklikler 212

Çizelge 3.20: Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı Komutları 221
Çizelge 5.1 : İlk yirmi simülasyonun açı kodları ve sonuçların sayısal tablosu 270
Çizelge 5.2 : Açılar yazılarak alınan sekiz simülasyonun açı kodları ve sonuçların sayısal tablosu 273
Çizelge 5.3 : Simülasyon testlerinde üretilen açı ve renk toplamı 274
Çizelge 5.4 : Veri kayıt tablosu 278
Çizelge 5.5 : Dördüncü test salonunun 100 simülasyonu kayıt tablosu 284
Çizelge 5.6 : Koordinat-ses düzeyi kayıtlarının bir bölümü: 288

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Algoritmik Tasarım Yönteminin Geliştirme Aşamaları..... 30
Şekil 2.1 : İletilen dalga hareketi grafiği..... 38
Şekil 2.2 : Ses dalgalarının, düz bir akustik tavan panelinden yansıması..... 42
Şekil 2.3 : Ses dalgalarının farklı biçimlerdeki akustik tavan panellerinden yansıması 42
Şekil 2.4: Bir hacmin sinyal tepkisi grafiğinde (Kuttruff, 1994, Bayazıt, 1999) eko. 54
Şekil 2.5: Bir mekandaki çoklu yansımalar..... 54
Şekil 2.6: Kalınlığı olan bir dairenin farklı formatlardaki görünümleri 72
Şekil 2.7 Ortalamayı bulan fonksyon örneği 75
Şekil 2.8 Standart sapmayı ölçen bir fonskyon örneği 75
Şekil 2.9 : Üç boyutlu aktif model akustik simülasyonunda sınıf kullanımı..... 76
Şekil 2.10 : Üç boyutlu aktif model akustik simülasyonunda obje kullanımı 76
Şekil 2.11: Dijital yazılım ortamının eskiz ekranı 78
Şekil 2.12 Dört birimli renk kartelasının kodlama ekranının görünümü 80
Şekil 2.13 Tasarımcının kodlayarak elde ettiği renk kartelaları 80
Şekil 3.1: Paneller arası mesafenin yazılması gereken kod satırı..... 107
Şekil 3.2: Rastgele döndürme yapılmaması gerektiğini ifade eden kod satırı..... 108
Şekil 3.3: Tasarımcının simülasyon yapılmasını istediği panel açılarını girebileceği kod satırı..... 108
Şekil 3.4: Tasarımcının simülasyon yapılmasını istediği panel açılarını girebileceği kod satırı- ilk panel 30 derece açılı konumda 108
Şekil 3.5: Programın rastgele açılar oluşturarak simülasyonlar gerçekleştirmesi için doğru olarak değiştirilmesi gereken kod satırı..... 108
Şekil 3.6: Panel yüzeylerinin yutuculuk katsayılarının girilebileceği kod satırı 109
Şekil 3.7: Örnek ses düzeyi haritası..... 114
Şekil 3.8 : Ses düzeyinin global düşüşünün programa işlenmesi 118
Şekil 3.9 : Normal vektör..... 121
Şekil 3.10 : Vektörlerin geometrik görünümü..... 123
Şekil 3.11 : Vektörlerin yansımasının programa işlenmesi..... 123
Şekil 3.12 : Bir sınıfın içindeki bir ses ışını temsili ve koddaki ifadesi 126
Şekil 3.13 : Yutuculuk düzeylerinin programa işlenmesi..... 128
Şekil 3.14 : Hava yutuculuğunun programa işlenmesi 130
Şekil 3.15 : Tanımlanan bir ağın bir üçgen yüzeyi..... 131
Şekil 3.16 : Ses ışınının, üçgen bir ağ yüzeyi ile kesişimi..... 132
Şekil 3.17 Mesafeye göre ses düzeyi değişimi – Global düşüş (120-90 dB)..... 134
Şekil 3.18: Mesafeye göre ses düzeyi değişimine yakından bakılması – Global düşüş (97-92 dB) 135
Şekil 3.19: Grid sisteminin bir salonda dinleyici alanı üzerinde görünümü..... 136

Şekil 3.20: Grid sisteminin bir bölümünün plan görünümü 136
Şekil 3.21 : Üç boyutlu aktif model simülasyonu detay ekran görüntüsü 138
Şekil 3.22 : Mimari model görüntüsü. Dikdörtgen salon simülasyonu (Url – 32). . 138
Şekil 3.23 : Üç boyutlu aktif model simülasyonu ekran görüntüsü. Dairesel oturma düzenine sahip kare salon simülasyonu. 140
Şekil 3.24 : Mimari model. Dairesel oturma düzenine sahip kare salon (Mimari proje modeli: Url – 32). 140
Şekil 3.25 : Simülasyon ekran görüntüsü 141
Şekil 3.26 : Mimari model ekran görüntüsü (Mimari proje moeli: Url – 33). 141
Şekil 3.27 : Simülasyon ekran görüntüsü 142
Şekil 3.28 : Mimari model ekran görüntüsü (Url – 33). 142
Şekil 3.29 : Yansımaların simülasyon ekran görüntüsü 143
Şekil 3.30 : İki boyutlu yansıma analizi 143
Şekil 3.31 : Eğrisel panel modeli 144
Şekil 3.32 : Test salonu 1 mimari model 145
Şekil 3.33 : Test salonu 1 üç boyutlu aktif simülasyon ekran görüntüleri 146
Şekil 3.34 : Test salonu 2 mimari model 149
Şekil 3.35 : Test salonu 2 üç boyutlu aktif simülasyon modeli ve üretilen paneller 149
Şekil 3.36 : Rastgele açılarla üretilen ilk 2 simülasyonun panel açılarını gösteren görseller 150
Şekil 3.37 : Açıların el ile yazılarak alındığı 8 simülasyondan ilk 2 simülasyonun panel açılarını gösteren görseller 150
Şekil 3.38 : Simülasyon ekran görüntüleri 152
Şekil 3.39 : Salon 2 ve salon 4 renklerinin programa tanımlanması 152
Şekil 3.40 : Renk tablosu. Renklerin ifade ettiği ses düzeyleri 153
Şekil 3.41 : İkinci yirmi simülasyonun ilk iki simülasyonu videodan alınan görüntüler 154
Şekil 3.42 : Panel 1'in açı değişimi – salondaki ışın toplamı 155
Şekil 3.43 : Panel 2'nin açı değişimi-salondaki ışın toplamı 156
Şekil 3.44 : Panel 3'ün açı değişimi- salondaki ışın toplamı 156
Şekil 3.45 : Panel 4'ün açı değişimi-salondaki ışın toplamı 157
Şekil 3.46 : Panel 5'in açı değişimi ve salondaki ışın toplamı 157
Şekil 3.47 : Panel 6 açı değişimi-salondaki ışın toplamı 158
Şekil 3.48: Panel 7 açı değişimi ve salondaki ışın toplamı 158
Şekil 3.49 : Test salonu 3 plan 159
Şekil 3.50 : Test salonu 3 kesit 159
Şekil 3.51 : Test salonu 3 üç boyutlu aktif simülasyon ve mimari model 160
Şekil 3.52: Üçgen panel 161
Şekil 3.53 : Test salonu 4 mimari model 163
Şekil 3.54 : Simülasyondan alınan ekran görüntüsünde, üretilen sanal panellerle birlikte mimari modelde yer alan panellerin görünümü ve süre sayacı(1210. Milisaniye durumu) 163
Şekil 3.55 : Modelin mimari programda yan görünüşü 164
Şekil 3.56 : Modelin simülasyon programında yan görünüşü 164
Şekil 3.57 : Mimari programda dinleyici alanından sahneye bakış görünümü 165
Şekil 3.58 : Simülasyon programında dinleyici alanından sahneye bakış görünümü 165
Şekil 3.59 : Mimari programda perspektif model 166
Şekil 3.60 : Simülasyon programında perspektif model 166
Şekil 3.61 : Simülasyon örnek görüntüleri 168

Şekil 3.62: Ortalama değerin üç boyutlu aktif simülasyon programının koduna işlenmesi 172
Şekil 3.63 : Standart sapmanın programa işlenmesi 174
Şekil 3.64 : 100 simülasyonda elde edilen renk toplamları 176
Şekil 3.65 : 100 simülasyonda elde edilen homojenlik değerleri 177
Şekil 3.66 : 100 simülasyonda elde edilen ortalama değerler 178
Şekil 3.67 : 100 simülasyonda elde edilen standart sapma değerleri 178
Şekil 3.68 : En yüksek renk toplamına sahip olan simülasyonlar 179
Şekil 3.69 : En yüksek homojenlik değerine sahip olan simülasyonlar 181
Şekil 3.70 : En yüksek ortalama değerine sahip olan simülasyonlar 182
Şekil 3.71 : En olumlu standart sapma değerine sahip olan simülasyonlar 183
Şekil 3.72 : Alt program örnek görselleri 186
Şekil 3.73: Salon 2 panellerin tümünün düz olduğu geometrik durum 190
Şekil 3.74: Salon 2 ilk panelin 30 derece açılı bulunduğu geometrik durum 190
Şekil 3.75: Salon 2 panelsiz geometrik durum 190
Şekil 3.76: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durum 191
Şekil 3.77: Salon 4 ilk iki panelin 30 derece açılı olduğu geometrik durum 191
Şekil 3.78: Salon 4 çok panelli geometrik durum 192
Şekil 3.79: Salon 4 panelsiz geometrik durum 192
Şekil 3.80: Salon 2, panellerin düz olduğu durum, Odeon Programı'ndan alınan sonuç 196
Şekil 3.81: Salon 2, panellerin düz olduğu durum, Üç Boyutlu Simülasyon Alt Programından alınan sonuç 196
Şekil 3.82: Salon 2, ilk panelin 30 derece açılı olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç ekran görüntüsü 197
Şekil 3.83: Salon 2, ilk panelin 30 derece açılı olduğu durum, Üç Boyutlu Simülasyon Program'ndan alınan sonuç 197
Şekil 3.84: Salon 2, panelsiz durum, Odeon Program'ndan alınan sonuç 198
Şekil 3.85: Salon 2, panelsiz durum, Üç Boyutlu Simülasyon Program'ndan alınan sonuç 198
Şekil 3.86: Salon 4, panellerin düz olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç 199
Şekil 3.87: Salon 4, panellerin düz olduğu durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç 199
Şekil 3.88: Salon 4, panellerin açılı olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç 200
Şekil 3.89: Salon 4, panllerin açılı olduğu durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç 200
Şekil 3.90: Salon 4 çok panelli durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç 201
Şekil 3.91: Salon 4 çok panelli durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç 201
Şekil 3.92: Salon 4 panelsiz durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç 202
Şekil 3.93: Salon 4 panelsiz durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç 202
Şekil 3.94 Salon geometrisi ve grid sisteminin simülasyonlarda görünümü: 203
Şekil 3.95: Veri tablolarının ve grafiklerin karşılaştırılması 208
Şekil 5.1: Kodlayarak tasarlama yöntemi ile geliştirilen ön proje 267
Şekil 5.2: A, B ve C tipi yaşam birimlerinin belirtilen kriterlere göre bilgisayar tarafından rastgele üretilen yerleşim seçenekleri 267
Şekil 5.3 : Rastgele açılarla alınan ilk 20 simülasyonun görselleri 269

Şekil 5.4 : Açılar yazılarak alınan 8 simülasyonun görselleri 272
Şekil 5.5 : İkinci yirmi simülasyon görselleri 277
Şekil 5.6 : Üretilen farklı açıların simülasyondan alınan ekran görüntüleri 283
Şekil 5.7: Alt program görselleri 293
Şekil 5.8: Üç Boyutlu Aktif Simülasyondan Alınan Örnek Görüntü 294
Şekil 5.9 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Alt Programından alınan örnek dinleyici alanı görüntüsü 294
Şekil 5.10: Üç Boyutlu Aktif Simülasyondan Alınan Işın Sayısı Yükseltilmiş (300000) Örnek Sıralı Görüntüler 297
Şekil 5.11: Salon 2 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 298
Şekil 5.12: Salon 2 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 298
Şekil 5.13: Salon 2 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 299
Şekil 5.14: Salon 2 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 299
Şekil 5.15: Salon 2 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 300
Şekil 5.16: Salon 2 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 300
Şekil 5.17: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 301
Şekil 5.18: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (*A_direkt*) sonucu 301
Şekil 5.19: Salon 4 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 302
Şekil 5.20: Salon 4 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 302
Şekil 5.21: Salon 4 çok panelli geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 303
Şekil 5.22: Salon 4 çok panelli geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 303
Şekil 5.23: Salon 4 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu 304
Şekil 5.24: Salon 4 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu 304

1. GİRİŞ

Mimarlıkta bilişim teknolojilerinin kullanılması; bilgisayar destekli tasarım, modelleme, dijital fabrikasyon, sanal gerçeklik, üç boyutlu simülasyon ve hesaplamalı tasarım yaklaşımları olarak örneklenebilir. Son yıllarda yapay zeka araştırmaları; bilgisayar bilimleri, mühendislik, dil bilim, ses ve görüntü teknolojilerinde olduğu gibi mimarlıkta da bilime geniş olanaklar sunmaktadır. Yapay zeka çalışmalarının bir bölümü olan makine öğrenimi ile, veriler insan hızından daha hızlı hesaplanabilmekte, farklı veriler aynı anda hatırlanıp değerlendirilebilmektedir. Günümüzde, güvenlik sistemlerinde yüz tanıma, ses tanıma, cep telefonlarındaki kelime anlaşılması, hava durumu tahminleri, sürücüsüz arabalar, mimari planların ya da biçimlerin parametre ve algoritmalarla üretilmesi gibi çeşitli uygulama örnekleri bulunmaktadır. Parametre, değişken anlamına gelmektedir. Bilgisayar dilinde, bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen bir niceliktir. Parametrelerin sayısı duruma bağlı olarak artıp azaltılabilmektedir.

Yapı ve yapı fiziği alanlarında incelenen; strüktürel sistem, akustik, enerji, aydınlatma vb. alanların gereksinimleri, mimari tasarımı yönlendirmektedir ya da etkilemektedir. Bu nedenle, yapı ve yapı fiziği alanlarında, parametreler arası ilişkileri doğru kurabilmek ve parametreleri amaca yönelik olarak yönetebilmek önemlidir. Parametreler, bir sorunu çözebilmek için gereken adımlar dizisi olan algoritmalar içinde kullanılmaktadır. Bilgisayarlar, algoritmaları işleyebilmekte ve çeşitli teknik sorunları çözebilmektedir. Bir sorunun çözümünde değişik algoritmalar kullanılabilir. Şartlara en uygun ve en hızlı çalışabilen algoritmalar, tasarımcıya zaman, ekonomiklik ve verimlilik kazandırmaktadır. Algoritmalardan yararlanılarak, mimari projelerde farklı tasarımlar geliştirilebilmektedir. Tasarımın yanısıra algoritmalar, pek çok mimari teknik soruna çözüm sunabilmektedir. Algoritmalardan ve parametrelerden yararlanılarak yapılan mimari tasarımların, hesaplamalı üretken sistemlerle oluşturulması, performansa dayalı bir yöntemle tasarımın gerçekleştirilmesi, mimarlığa pek çok yenilik getirmiştir. Özellikle, mimari akustik gibi, kriterlere göre

şekillenen çok girdili ve gereksinimli tasarımlarda, girdilerin birbiriyle olan ilişkilerinin, tasarlanan salon geometrisine olan etkilerinin araştırılmasının, dijital teknolojilerin yardımıyla anlaşılabileceği düşünülmektedir. Tez çalışmasında, bu teknolojilerin akustik işlevli mekanlarda mimari tasarıma, tasarımın ilk aşamalarından itibaren faydalı olabilecek şekilde kullanılabilmesini sağlayabileceği düşünülen bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin uygulanmasına bir örnek oluşturabilecek, "Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı" ismi verilen program, akustik işlevli salonların geometrik düzenlemelerini konu alarak hazırlanmıştır. Program, yöntemin çalışabilirliğini ve kullanılabilirliğini sınamak üzere, örnek olarak geliştirilmiştir. Durum karşılaştırılması yapabilmek için hazırlanan başka bir alt program da tez çalışmasına eklenmiştir.

Mimari akustik; mimarlık, mühendislik, ses ve görüntü teknolojileri, bilgisayar bilimi, dil bilim gibi alanlarda farklı araştırmalara konu olmaktadır. Mimari akustikte araştırmalar, geometri ve akustik parametre ilişkileri üzerinden yapılmaktadır. Akustik veriler, günümüzde, akustik bilincin artması, araştırmacıların birbirleriyle hızla bilgi paylaşabilmesi ve bilgisayar bilimlerinin katkıları ile var olan ya da proje aşamasındaki salonlar modellenerek elde edilebilmektedir. Akustik işlevli salonlarda, tasarlanan salonun geometrisini etkileyen, düşünülmesi gereken çeşitli parametreler bulunmaktadır. Akustik tasarım, teknik olarak etkin hesaplamaların yapılabilmesi için genellikle bilgisayarlı modelleme programlarında yapılan akustik simülasyonlar ya da ölçekli modeller yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Geometrinin veya parametre hesaplamalarının karmaşıklaşması ile, ölçekli modellerin yapılması için de bilgisayar modellerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bilgisayarlı modelleme programlarında, çeşitli bilgisayar teknikleri ile geliştirilen yöntemler kullanılmaktadır. Modelleme tekniklerinin kullanılmasının ana motivasyonunu, daha iyi tasarımlı mekanlar inşa edebilmek için önceden gerçeğe en yakın şekilde ve en hızlı planlamayı yapabilme çabası oluşturmaktadır. Akustik modelleme, inşa öncesinde mekanlardaki akustik koşulları hesaplayarak önceden tasarlama ve planlama olanağı sunmaktadır. Akustik simülasyon programları ile mimari tasarımların, akustik değerlendirmeleri gerçekleştirerek, gerçekte salonun inşa sonrası olası akustik durumunun tahmini yapılmaktadır.

Kapalı hacimlerde işitilen ses, direkt ses ve hacmin geometrik özellikleriyle oluşan yansımış seslerden meydana gelmektedir. Bu nedenle, hacmin geometrisi ve

malzemeleri, akustiği doğrudan etkilemektedir. Akustiğin önemsendiği salonlarda, geometrik tasarım ve yerleşimde optimizasyon sorunları bulunmaktadır. Tasarımcılar, genellikle var olan ya da planlaması biten salonların akustik hesaplamalarını yapabilen, statik akustik modelleme teknikleri ile çalışmaktadır. Mimarlıkta üretken sistemleri konu alan araştırmalar da, güncel olarak devam etmektedir. Akustiğin ilgili araştırmaların pek azında işin içinde olduğu görülmektedir. Özellikle sesin önemli olduğu akustik işlevli salonlarda, akustiğin tasarımın belirleyicisi olabildiği ya da tasarım sürecine katılabildiği çalışmalara gereksinim olduğu düşünülmektedir. Akustiğin tasarıma yön verdiği salonlarda, geometri-parametreler arası ilişkilerin araştırılmasında ve kriter belirlenmesinde salonlarda uygun akustik koşullara sahip olabilmek, olumlu çözümlere ulaşabilmek için dijital teknolojilerin kullanımının katkısı olabileceği düşünülmektedir.

Akustik işlevli salonların hacimleri artmakta ve salonlar, farklı müzik, performans ya da konuşma etkinlikleri için kullanılmaktadır. Farklı etkinliklerin gerçekleştiği salonlarda farklı geometrik özellikler aranmaktadır. Yapay zeka teknikleriyle, yeterince veriye sahip olunması durumunda ileride, performans sırasında hareketli mimari birimlerden (örneğin salonun hacmini, etkinlik sırasında değiştiren hareketli paneller, yükselip alçalan tavanlar, yer değiştiren orkestra platformları vb.) oluşan salonların tasarlanması, salonun mimari birimlerinin salonda gerçekleşecek etkinliği anlayarak müziğe ya da sese göre konum ya da geometri değişimlerinin mümkün olacağı vb. robotik salonların tasarlanılabileceği düşünülmektedir. Kendi kendini optimize edebilen sistemler güncel olarak araştırılmaktadır. Örneğin, bir salonun akustik tasarımı yapılırken, tasarımcının istediği reverberasyon süresini girerek, salonun fiziksel yapısının akustik açıdan en uygun çıktısını almasının, yapay zeka algoritmaları ile mümkün olabileceği düşünülmektedir. Bu tür araştırmaları yapabilmek için, farklı geometrilerdeki çok sayıda salonun akustik ve geometrik parametrelerinin tasarıma ve salon içindeki akustik performansa etkilerinin araştırılarak kayıt altına alınması, karşılaştırma ve değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Değerlendirmeler, veri setlerinden indeksler oluşturularak yapılmalıdır. Belirli bir geometrik biçime sahip salonlarda bile, salonun optimum geometrik düzenlemesine yaklaşmanın kurallarını bulmak ve bunu gerçekleştirmek oldukça detaylı bir çalışmayı gerektirmektedir. Verilen her geometride uygun akustik koşulları kendi kendine önerebilecek bir dijital yapının bulunması, pek çok bilim

insanının bir arada çalışmasını gerektiren bir iştir. Bunu gerçekleştirebilmek için, binlerce veriye ve verilerin uygun algoritmalarla değerlendirilmesine gereksinim vardır. Söz konusu kayıtlar büyük veri setlerini oluşturmaktadır. Bir akustik tasarımcı, tavan paneli yerleşiminin salona nasıl bir etkisi olacağını deneyimlerinden (kafasındaki büyük veri setlerinin değerlendirilmesinden) tahmin edebilmektedir (sorunu çözebilmektedir). Bir mimar, taşıyıcı sistemin yapıdaki olası konumlarını deneyimlerinden (daha önce gerçekleştirdiği çalışmaların verileri ve verilerin değerlendirilmesinden) bulabilmektedir. Tasarımcılar, bir salon tasarladığında, akustik panellerin koltuklara yerleştirilmemesi gerektiğini bilirler ancak bilgisayarlar programlanmadan bilemezler. Bilgisayarın aksine tasarımcı, daha önce, akustik panel nedir? Zemin nedir? Dinleyici nedir? Koltuk nedir? Akustik parametre nedir? Bu panellerin belirli bir akustik parametre ile ne tür bir matematiksel ilişkisi bulunmaktadır? vb. soruların cevabını bilmektedir. Bu akustik panel, koltukta mı durmalı? Sorusuna koltuğun zeminin üstünde duran ve dinleyicinin oturduğu bir mimari birim olduğunu, akustik panelin sesin tavandan yansıtılması veya yutulması için kullanılan bir mimari birim olduğunu bilerek hayır yanıtını verebilmektedir. Pek çok girdinin bulunduğu tasarımlarda bile, tasarımcılar bu girdileri kafalarında değerlendirebilmektedir. Çok birimli salonları, daha önce öğrendikleri bilgi ve deneyimlerinden faydalanarak tasarlayabilmektedir.

Akustik biliminde olduğu gibi girdi sayısı arttıkça, insanların bu verileri değerlendirmesi zorlaşabilmektedir. Bir tasarımcı, akustik bir panelin yerini ve doğru konumunu tahmin etse de, akustik parametrelerdeki değer değişikliğini (tasarımının akustik performansını) sayısal olarak bilemeyebilir. Tasarım detaylandıkça, çalışılan proje büyüdükçe ya da çok girdili gereksinimler bulunduğunda, bilgisayarlardan destek almak gerekmektedir. Bilgisayarlar bu işi başarabilir. İnsanlar bilgisayarları, yazılımlar aracılığı ile kontrol etmektedir. Bilgisayara bir iş yaptırmak istenildiğinde, veri setlerinin oluşturulması, değişkenlerin tanımlanması, kriterlerin belirlenmesi, matematiksel olarak anlatımların yapılması, bir başka deyişle bilgisayara sorunu çözebilmesi için izlemesi gereken yolun ve adımlarının gösterilmesi, mantık çerçevesinde ve matematikten yaralanarak sisteme tanımlanması gerekmektedir.

Tezde önerilen yöntemin, mimar, tasarımcı ve akustik danışmanlar için bir tasarım destek yönteminin olmasının yanısıra, büyük veri setlerinin de ileride değerlendirilmek üzere kayıt altına alınmasını gerçekleştirebilecek bir sistem olması hedeflenmiştir. Üç

boyutlu aktif simülasyon yöntemi ile farklı bilim insanlarınca ya da farklı salonlarda gerçekleştirilen tasarım çalışmalarının akustik sonuçları tasarımla eş zamanlı kayıt edilerek ileride yapılacak başka bir çalışma, araştırma ya da farklı bilim insanlarına veri kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

1.1 Literatüre Bakış

Tezin konusu; mimarlık, akustik ve bilgisayar bilimlerinin kesişim noktasındadır. Bu nedenle, yöntem geliştirilirken literatür taramasında, mimarlıkta ve akustikte dijital platformların kullanımı ve bilgisayar teknikleri araştırılmıştır. Önerilen yöntemin örneklenebilmesi için hazırlanan programın akustik işlevli salonların geometrik tasarımında etkin ses dağılımı konusunda fikir verebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, salonlarda kullanılan akustik kriterler ve değerlendirme araçları konularındaki literatür de incelenmiştir.

Oxman (Oxman, 2005), standart dışı, normatif olmayan, tekrarlamayan tasarım konseptinin dijital tasarımın teorik odak noktasını oluşturduğunu belirterek, dijital tasarımı, teori, yöntem ve pratik yönlerden incelemektedir. Dijital teknolojinin kullanılmasının tasarımcıya, yeni temsil yöntemleri ile olan etkileşiminin doğal bir sonucu olarak, tasarım aracını kendi inşa etmeye varan yeni roller ortaya çıkardığını, belirtmektedir. Tasarımın dört bileşeni, temsil, üretim, değerlendirme ve performans olarak tanımlanmaktadır. Temsil, temsilin oluşturulduğu platform ile güçlü bir ilişki içindedir. Üretkenlik, üretme sürecini içermektedir. Üretkenlik sürecinin dijital model ile etkileşimin kağıt ve cetvelle yapılan serbest formla üretilen üretkenlik temsilinden temel olarak ayrıldığını belirtmektedir. Değerlendirme, analitik ve yargılayan tasarım aşamasını, performansın da performatif süreci kapsayarak programatik ve bağlamsal düşünceler ile ilgili olduğunu belirtmektedir.

Akipek ve İnceoğlu, tasarım sürecinin bilgisayar destekli çizimden bilgisayar destekli mimari tasarıma ve hesaplamalı tasarıma doğru evrilmesi ile bilgisayarın yalnız bir görselleştirme aracı değil, sayısal tabanlı bir mimari tasarım ortamı olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Araştırmacı, ayrı bir strüktür katmanı yerine, kabuğa entegre strüktürleri ya da optimum yük hesaplarına göre belirlenen homojen kesitli taşıyıcı sistemler yerine, yükün hassas hesaplanabilirliği sonucu kesiti her noktada değişebilen strüktürleri, biçimlenme kriterlerini değiştiren örnekler olarak sunmaktadır. Dijital teknolojilerin form oluşturma amaçlı ya da karmaşık geometrik düzenlemelere sahip

üretimlerde kullanılmasının yalnızca farklı tür bir biçim dili yaratmak üzerine geliştirilirse kalıcı olamayacağını belirtmiştir. Mimarlık için önemli ve yararlı bir gelişme alanı olan dijital tasarımın, yalnızca yapı fiziği ve iklimsel verilerle de ilgili olmadığını, dijital tasarımın, bilgisayar ortamında yapılan performans analizleri gibi analitik incelemelerin tasarımın erken aşamalarından itibaren tasarıma katılabilmesinin olanaklarını tasarımcıya sunabildiğini ve mimarlık için önemli ve yararlı bir gelişme alanı açtığını belirtmiştir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Turrin, Buelow ve Stouffs (Turrin ve diğ., 2010), parametrik modelleme ve genetik algoritmaların, performansa dayalı kriterlerle geometrik tasarıma olan etkilerini araştırmıştır. Disiplinlerarası yaklaşımların önemini vurgulayarak, geometrik ön tasarımda kullanılan mevcut yazılımların, tasarımcıların gereksinimlerini karşılamakta başarısız olduğunu, ön tasarım aşamasında yüksek hesaplama düzeyine sahip programların kullanılmasının tasarım sürecini yavaşlattığını belirtmiştir. Ön tasarım aşamasındaki performans analizlerinde düşük kesinlik paylarının kabul edilerek hızlı çalışan ve tasarımcının tasarımını geliştirebilmesinde yeterli derecede fikir verebilen yazılımlara gereksinim bulunduğunu belirtmiştir. Bu durumun, akustik işlevli mekanlarda akustiğin tasarımın ilk aşamalarından itibaren tasarıma katılabilmesi için çözümlenmesi beklenen önemli bir nokta olduğu düşünülmektedir.

Turan (Turan, O., 2011), sayısal tasarım ortamının mimarlık disiplinine entegre olmasıyla, tasarım pratiğindeki değişimleri tanımlamaktadır. Bu değişimleri, literatür ve teorinin oluşma aşamasında olan kuramsal çerçeveler yönünde ilerlemesi ve kavramların değişimi, tasarım pratiğindeki değişimler, bilgisayar destekli tasarım ve dijital mimari tasarımda olduğu gibi tasarımcının durumu ve tasarım sürecinin değişimi, üretimdeki değişim, teknolojik gelişmelerden etkilenen deneysel ve radikal çalışmalar olarak özetlemiştir.

Parametrik modelleme yazılımlarında oluşturulan geometrik tasarımlar, tasarımcıya tasarım kriterleri doğrultusunda farklı olanaklar sunmaktadır. Tasarımcı, olası farklı tasarım çözümlerine kolaylıkla ulaşabilmektedir (Barrios, 2011). Tunger ve Pektaş, parametrik modellemenin çok yeni bir kavram olması nedeniyle parametrik tasarım süreçleri üzerine yeterince araştırma bulunmamasından söz etmektedir (Tunger ve Pektaş, 2014).

Bu konuda Turan da, bilgisayarın mimarlıkta genellikle tasarım geliştirmeyi içermeyen, çizim ve görselleştirmeye dönük bir sunum aracı olarak kullanıldığını, günümüzde bilgisayarı tasarım geliştirme aracı olarak kullanan ve bu konularda araştırma yapanların sayısının arttığını, disiplinlerarası araştırmalarda parametrik, algoritmik vb. pek çok yöntem denendiğini ve bu yöntemlerin yeni tasarım yöntemleri olarak mimarlık pratiğine eklendiğini belirtmiştir. Turan (2011), "Bilgisayar ortamında diğer ortamlardan farklı olarak bilgisayarı hem bir temsil aracı olarak kullanmak hem de bir tasarım ortağı olarak görmek mümkündür" (s. 163) diyerek katkıda bulunmuştur. Araştırmacılar, bilgisayarın kullanımına geçiş (*computerization*) ve hesaplama (*computation*) yaklaşımlarının belirgin bir ayrıma sahip olduğunu belirtmektedir. İlki bilgisayarı bir temsil aracı olarak kullanırken (çizim yapmak ya da mimari tasarımı modellemek), ikincisi hesaplama aracı olarak kullanmaktadır. İlk kullanım biçiminde, tasarımcının kafasında kavramsallaştırılmış düşünceler bulunmaktadır ve bunlar bilgisayara girilerek depolanmaktadır. Bundan farklı olarak, hesaplamalı tasarımda, bilginin işlenmesi ve çeşitli elemanlar arasındaki etkileşimlerle belirli bir çerçeve oluşturulmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım süreci, bir özellik belirleyerek başlamakta ve bir obje ile sonlanmaktadır. Hesaplamalı tasarımda ise süreç, temel özellikler ve üretken kuralların tanımlanmasıyla başlayarak bilgi içeren formlar, dinamik bir sistemle türetilmektedir (Menges, 2011; Leach ve Yuan 2017).

Mimarların, biçimsel ve yapısal güçlükleri tespit edebilmeleri ve uygulayabilmeleri için matematiksel ve geometrik hesaplamaların görsel hale getirilmesi dijital tasarım sayesinde gerçekleşmektedir. Sonuçta, bütün geometrilerden en küçük detaylara kadar farklı alternatifler elde edilebilmekte ve mimarlar çözümlerinde yaratıcılıklarını ve düşüncelerini gösterme olanağı kazanmaktadır (Mendilcioğlu, 2017). Mimari modelleme araçları iki grupta incelenmektedir. Birincisi, geleneksel geometri esaslı modelleme araçları olan *AutoCad*, *Sketchup*, *Rhino* vb. programlardır. İkincisi de, tasarımcının ilişkisel düşünerek, tasarım parametreleri arasındaki ilişkileri modellemesine ve algoritmalar yoluyla tasarım varyasyonlarına olanak veren araçlardır. Örnek olarak *Generative Components* (Url 35), *Grasshopper* (Url 20) ve *Maya Script* (Url 38) programları sayılabilmektedir.

Literatürde farklı disiplinlerin geliştirdiği, interaktif, tasarımcı ve dijital model etkileşimli platformların kullanıldığı örnekler bulunmaktadır. Aish ve Woodbury (Aish ve Woodbury, 2005), Leach ve Yuan (Leach ve Yuan, 2017) Sutherland'ın

doktora tezinin bir bölümü olarak geliştirilen *Sketchpad* (Sutherland, 1963) isimli çalışmasının ilk CAD sistemi olduğunu ve bunun tasarım sürecinde ilk insan-bilgisayar etkileşimi olduğunu belirtmektedir. Akademi, askeriye, havacılık alanları bilgisayarla tasarlama kullanımını desteklemiştir ve bu durum mimarlığa katkıda bulunmuştur. Örneğin mimarlıkta sıklıkla kullanılan "Bézier Curve" 1968'lerde Renault otomobil firması için çalışan Pierre Bézier tarafından CAD/CAM sistemleri üzerinde çalışırken bulunmuştur. Ses hızı ölçümleri, askeri havacılık alanında gerçekleştirilmiştir. Gelişen teknolojilerin, mimarlıkta kullanım alanı bulmasının oldukça geç olduğu, büyük mimarlık firmalarının ofis içi dijital araştırma grupları kurarak konferanslarla bu durumu destekledikleri, 1990 ve 2000'lerde mimarlık eğitiminde Copenhagen, Londra, Zürih, Penisilvanya, Stuttgart gibi çeşitli şehirlerde yer alan üniversitelerde araştırma laboratuarlarının kurulduğu ve çeşitli projelerle sayısal yaklaşımların desteklendiği belirtilmektedir (Leach ve Yuan, 2017).

Sayısal platformların mimarlığa sunduğu olanakların yanı sıra, sayısal platformların akustik biliminde kullanılmasının literatürü de incelenmiştir. Sayısal platformların akustikte en yaygın kullanımının, salonlarda final geometrik tasarımın akustik verilerini değerlendirmek üzere olduğu görülmüştür.

Sabine, 1900'lü yıllarda Schlieren Fotoğraflaması kullanarak (Sabine, 1922; Davis ve Fleming, 1926) ses yayılım yollarını araştırmaya başlamıştır. Kullandıkları görselleştirme teknikleri, günümüzde kullanılan ışın tarama programlarına doğru atılan ilk adımlardan biridir (Savioja, L., Svensson U.P, 2015). Sabine ve Eyring'in geliştirdiği erken reverberasyon süresi formülünde ortalama serbest yol konsepti de bir ışının farklı geometrik yüzeylerden yansıyarak ilerlemesini konu aldığı için oldukça önemlidir (V. Knudsen, 1934). 1929 yılında geçerliliği kabul edilen geometrik akustik yaklaşımla serbest yol ölçebilen ilk modelleme Allred ve Newhouse tarafından 1958 yılında gerçekleştirilmiştir (J. C. Allred and A. Newhouse, 1958). 1936'larda Vermeulen ve DeBoer optik model testleri gerçekleştirmiştir. Kağıt, ışık ve bantlar kullanılarak yapılan testler 2006'da Long tarafından (Long, 2006) erken yansımalarla ilgili yapılan ilk yöntem çalışması olarak belirtilmiştir. Sonrasında ölçekli akustik maketlerle çalışılmıştır. Maa (Maa, 1941), 1941 yılında geometrik akustiğin pratikte kullanılabileceğini belirtmiştir. İki boyutlu salonlarda ışın tarama sistemlerinin kullanılması ile ilgili, Atal ve Schroeder'in 1962 ve 1967 yılındaki çalışmaları (B. S. Atal and M. R. Schroeder, 1962) gelmektedir. İlgili konuda çalışan akustik uzmanları,

Krokstad'ın (A. Krokstad, S. Strøm, and S. Sørsdal, 1968) 1968 yılında belirttiği, pratik mimari akustik tasarım için uygun, zaman-enerji geri bildirimli çalışmalarını bilgisayarlı geometrik akustik simülasyonun ilk adımlarından biri olarak kabul etmektedir. Farklı alıcı noktalarına göre, farklı geometrideki salonların akustik geri bildirimini karşılaştırarak üç boyutlu mekanlardan çıktı alabilen yöntem, Krokstad'ın 1968 yılında gerçekleştirdiği çalışmadır (A. Krokstad, S. Strøm, S. Sørsdal, 1968). Aynı yıllarda Schroeder'in (M. R. Schroeder, 1970) gerçekleştirdiği çalışma da, daha çok iki boyutlu analize yöneliktir. Ando (Ando ve diğ. 1997), Yamaguchi (Yamaguchi, 1972), Schroeder (Schroeder ve diğ, 1974), akustik işlevli salonlarda ölçümler gerçekleştirerek salon geometrilerini ve geometrilerden etkilenen akustik parametreleri incelemişler, gerçek ölçümlerle karşılaştırmışlardır. 1972'de Haviland ve Thanedar (Haviland,J., Thanedar, D., 1972), Monte Carlo tekniği ile kapalı ortamlarda akustik basınç ve zaman ilişkisini seçilen noktalarda incelemişlerdir. Schroeder, 1973 (M. R. Schroeder, 1973) tarihinde yayınlanan bildirisinde, konser salonunun simülasyonlarla işitselleştirilmesinin (auralization) konser salonu tasarımının bilgisayarlar tarafından değiştirileceğini belirtmektedir. 1989'da Goldberg (Goldberg, 1989), makine öğrenmesi ile ilgili kitabında genetik algoritmaların araştırma ve optimizasyonda kullanımına değinmiştir.

Hacim akustiği simülasyonlarında en önemli gelişmeler, 1990lı yıllarda ODEON (URL-1, 2019), EASE (URL-2, 2019) ve CATT-Akustik (URL-3, 2019) programlarının yayınlanması ile gerçekleşmiştir. Akustik simülasyonların büyük bölümü, bilgisayarların üç boyutlu modellemeleri ile, günümüzde, bilgisayarla yapılmaktadır. Teorik olarak, dalga tabanlı modellerin gerçeğe en yakın sonuçları verebileceği düşünülmektedir. Pratikte geometrik akustik tabanlı yazılımlar kullanılmaktadır. Geometrik akustik yaklaşımla tasarlanan modeller, dalga hareketi, boyu vb. teknik nedenlerle özellikle yüksek sonra orta frekanslarda olumlu sonuçlar vermektedir. 1996 yılında, Savioja, Huotilainen, Huopaniemi ve Takala'nın geliştirdiği DIVA (Savioja ve diğ., 1996) da geometrik akustikle ilgilenmektedir. 1999'da Savioja, akustik modelleme teknikleri üstüne detaylı bir inceleme yapmıştır (Savioja, 1999). 2002 yılında, Larsson, Vastfjall ve Kleiner'in (P. Larsson ve diğ., 2002) çalışmaları, Svensson ve Kristiansen'in incelemeleri (Svensson, 2002) ve 2003 yılında Funkhouser, Tsingos ve Jot'un (T. Funkhouser, N. Tsingos, J.-M. Jot, 2003) farklı algoritmalara sahip metodları değerlendiren çalışmaları yayınlanmıştır. Sato'nun

2002'de konser salonu, 2004 yılında tiyatro yapılarının (Sato ve diğ., 2004) akustik optimizasyonu ile ilgilendiği çalışmasında genetik algoritmalar kullanılmıştır. Vorländer'in 2007 yılında yayınladığı (Vorländer, 2007) *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality* kitabı bu konuda oldukça önemli bir kaynaktır. 2014 yılında Charalampous ve Michael'in (Charalampous, P.; Michael, D. 2014) bilgisayar teknikleri ve akustik ile ilgili çalışması yayınlanmıştır. Aynı yıl, Robinson, Samuel, Lokki ve Lauri, parametrik modelleme ve dalga simülasyonlarıyla konser salonlarında geometrik optimizasyon üstüne çalışmıştır (Robinson ve diğ., 2014). Lokki (Lokki, 2016) konser salonlarında mükemmel akustik tasarımın, geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilebilirliğini sorgulamaktadır. Çeşitli ülkelerde geliştirilen İ-Simpa (URL-4, 2019) gibi çeşitli, BRASS (*Brazilian Room Acoustic Simulator*), RAVEN (*Room Acoustics for Virtual Environments*), Grasshopper (Url-20) gibi pek çok yazılım geliştirilmektedir. 2018 yılında, Lakka, Malamos, Pavlakis ve Ware, ses simülasyon modellerini inceleyerek derlemişlerdir (Lakka ve diğ., 2018).

Parametrik tasarım, hesaplamalı, bilgi işlemsel ya da sayısal tasarım olarak isimlendirilebilmektedir. Ülkemizde mimarlık eğitiminde görevli ve parametrik mimarlık üzerine çalışan mimarlar, parametrik tasarımın; mimarlığa servis veren teknik bir alan gibi algılandığını ve teknolojiden ve tasarımdan öte, yaşanan değişimin mimarlığın temelinden ve yapım şeklinin değişimi ile ilgili olduğunu belirtmektedir. Güncel çalışmalarda; büyük mimarlık ofislerinin sponsorluğunda, tasarım süreci ile birlikte çalışabilecek yazılımlar üzerinde çalışıldığını belirterek, tasarım sürecinde doğrusal olmayan kurguya, değişikliklere uyum sağlayabilen ancak doğru kurulan ilişkileri sürdüren yazılımlara gereksinim olduğundan, mimarlık ofislerinin gerçekle yakından ilgili olan bu durumu önemsediğinden söz etmektedirler (Url-29). Çolakoğlu ve Yazar (Çolakoğlu, B. ve Yazar, T., 2007), geliştirilen sayısal yöntemlerin geleneksel tasarım yöntemlerinin yerini almayı değil onları desteklemeyi hedeflediğini belirtmektedir. Bu konuda, "Uygulama dünyasının gerçekleri ve rekabet ortamı uygulamacı tasarımcıyı bu yeni yöntemleri tasarım süreçlerine daha çabuk adapte etmeye zorlamaktadır" (s.384) şeklinde görüş belirtmişlerdir.

Dino, algoritmik alt yapıların, parametrik sistemlerin tasarım geometrisi üzerinde etkin sayısal denetim sağladığını belirtmektedir. Araştırmacıya göre, değişen tasarım

ölçütlerine yanıt verebilme özelliği, parametrik modellerin karmaşık ve dinamik tasarım gereksinimlerini karşılayabilmelerine olanak sağlamaktadır (Dino, 2012).

> "Tasarım sürecinde formun parametrik denetimi, özellikle performansa dayalı tasarımda performans değerlendirmesinin tasarım sentezinde kullanılmasını sağlayabilmesi özelliği ile öne çıkar. Buna rağmen, sayısal bir metot yerine yeni ortaya çıkmakta olan mimari bir stil olarak görülmeleri, parametrik sistemlerin gerçek potansiyelini gölgelemektedir (Dino, 2012, s. 224)".

Parametrik tasarım yöntemleriyle tasarımcı, yalnızca tasarımını değil, içinde bulunulan tüm durum ve koşulları değerlendirebilmektedir. Bu tasarım yaklaşımı, üretim sürecini de hızlandıran bilgisayar teknolojileri ile pratik ve kolay uygulanabilir olmuştur (Turan ve Şahin, 2016). Akipek ve İnceoğlu, günümüzde bilgisayar destekli çizimden (CAD), bilgisayar destekli tasarıma (CAAD) ve hesaplamalı / bilgi işlemsel tasarıma (computational design) doğru bir tasarım evriminin yaşandığını belirtmektedir (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Türkiye'de yapılan bir araştırmada, mimarlık öğrencilerinin, %90 *AutoCad*, %74 *Photoshop*, %64 *SketchUp* (Url-39), %37 *3Dmax*, %31 *Archicad*, %23 *Revit* ve %10 oranında da *Rhinoceros* kullandığı anlaşılmıştır. Yapılan araştırmada, bilgisayarla tasarım konusunda öne çıkan kavramın üç boyutlu modelleme olmasına rağmen, pratikteki uygulamasının 2 boyutlu çizim olarak gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bilişim teknolojilerinin mimari tasarımda öğrencilerin yaratıcı süreçlerini destekleyecek dijital araç ve ortamların kullanılmasına yönelik çabaların çok az okulda olduğu belirtilmiştir. Aynı araştırmada, bilişim teknolojilerinin yalnızca bilgisayar destekli tasarım düzeyinde kullanılıyor olması, hesaplamalı tasarım, parametrik tasarım ve sanal tasarım ortamlarının üniversitelerde, eğitim-öğretim programlarına eklenmemiş olduğu ortaya çıkmıştır. Kavramsal süreçte dijital tekniklerin kullanılması için özellikle sunum tekniklerinin ötesinde, süreçlerin her aşamasında kullanılan, analiz, sentez ve değerlendirmeye olanak veren bir alt yapının olmadığı belirtilmiştir (Gül ve diğ. 2013).

Rumpf, Schein, Kuhnen ve Grohmann'ın (Rumpf ve diğ., 2017) gerçekleştirdiği dijital fabrikasyon çalışmasında, geometri, akustik tahminlerle geliştirilmiştir. Çalışmada, ses yutucu yüzeyler ve ses saçılması için poligonal yüzeyler kullanılmıştır. Akustiğin tasarıma yön verme düşüncesi, parametrik olması, dijital fabrikasyon ve robotik sistemlerin mimaride kullanımı konularında, çalışma tezle paralellik göstermektedir. Araştırmacılar, tasarım sırasında, hızlı simülasyon araçlarının olmadığını belirterek, herhangi bir akustik simülasyon yapılamadığını, geometrik tasarım tamamlandıktan

sonra, bir adet akustik simülasyonla performans tahmini yapıldığını belirtmiştir. Dijital fabrikasyon çalışması, inşa edilerek ölçümlerle değerlendirilmiştir.

Bir başka çalışma, Peters'in gerçekleştirdiği akustiğin yön gösterdiği yüzey tasarımların üretilmesidir. Peters, 2009'da parametrik modelleme ve bilgisayar programlama tekniklerinin mimari tasarıma entegre edilebileceğini belirtmiştir. Çalışmalarında, kriterlere göre yüzeyler üreten bir araç geliştirmiştir (Peters, 2009). 2010'da Peters'in 2016 yılında Spaeth'in çalışmalarında (Spaeth, 2016), akustik tasarımın belirleyicisi olarak düşünülmüştür. Peters, Aish'in parametrik tasarımda mimarlara destek programı olarak sunduğu, yüzey geometrisi üreten bir teknoloji olan *Generative Components* (Url-35) ile parametrik tavan tasarımı oluşturmuştur (Peters, 2010). Peters'in çalışmasında, yutucular, rezonatörler ve saçıcı yüzey dokusu üretimine yoğunlaşılmıştır. Parametrik yüzey tasarımının kriteri olarak akustik performans alınarak üretken sistemler oluşturulmuştur. Salonun final geometrik tasarımının akustik performansını, Odeon(Url-1) programında değerlendirmiştir.

Ando (Ando, 1985), Barron (Barron, 1994), Beranek (Beranek, 1996), Schroeder (Schroeder ve diğ., 1974), Sato (Sato, 1997), Edward (Edward, 1974), Kimura (Kimura ve Sekiguchi, 1976), Gade (Gade, 1990), Chiang (Chiang, 1994) akustik işlevli salonlarda geometri ve akustik parametrelerin ilişkilerini incelemişler, salonlarla ilgili birbirini ve geometrik tasarımı etkileyen pek çok tasarım kriteri ortaya koymuşlardır. Mahalingam (Mahalingam, 1998), akustik işlevli oditoryum tasarımının karmaşık bir görev olduğunu belirtmekte ve nesne temelli bir programlama dilinde, algoritmik bir yöntemle geometrik çözümlerin olabileceğini ileri sürmektedir. Son yıllarda, Takizawa (Takizawa ve diğ, 2001), Savioja, Robinson, Siltanen, Lokki (Robinson ve diğ, 2013) , Dellatore (Dellatore, 2013), Vorländer (Pelzer ve diğ., 2014) vb. araştırmacılar tarafından geometrik optimizasyon üstünde dalga tabanlı ya da çeşitli algoritmik yöntemleri her gün geliştirilmektedir. Aretz (Aretz, 2012), dalga ve ışın tarama yöntemlerini birlikte kullanarak gerçek duruma yaklaşmayı araştırmıştır.

Pelzer, Aspöck, Schröder ve Vorländer'in geliştirdiği gerçek zamanlı simülasyon (Pelzer ve diğ., 2014) ve Dalenbäck ve Strömberg'in (Dalenbäck ve Strömberg, 2006) gerçek zamanlı dinleme simülasyonları gibi, CATT ve *SketcUp* (Url-39) programlarıyla çalışan interaktif çalışmalar, Özgenel ve Sorguç'un, akustik analiz ve parametrelerin hepsini hesaplamaya gerek olmaksızın mekanın işitsel deneyimlenmesini sağlayan ek programı (Özgenel ve Sorguç, 2011), temelde tezin

amacıyla paralellik taşıyan bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Çalışma, Türkçe anlamı işitselleştirme olan, tasarımcının salonu dinlemesi (*auralization*) üstünde yoğunlaşmaktadır.

1.2 Araştırma Sorunu ve Ön Çalışma

Tez araştırmasına; güncel bilgisayar teknikleri, akustik işlevli mekanların geometrik tasarımında akustik ve mimarlık bilimine yarar sağlayabilecek şekilde, tasarım sürecinde nasıl kullanılabilir? Sorusundan yola çıkılarak başlanılmıştır. Literatürde konuyla ilgili; parametrik sistemlerin tasarım problemlerine çözüm bulabilecek şekilde etkin kullanımını sağlayabilecek yöntem ihtiyacı, geliştirilen yöntemlerde akustiğin genellikle işin içine katılamaması, mimarların hesaplamalı bir yaklaşımla tasarlasa da final tasarımdan itibaren akustik sonuç elde edebilmesi, mevcut programların statik bir modelleme tekniğinin bulunması gibi araştırma boşlukları bulunmuştur. Tez hazırlanırken sorulan sorular aşağıdaki şekillerde de örneklenebilir. Temsilin ötesinde, bilgisayar teknikleri ile kriterler ve parametreler bilgisayara tanımlanarak, salonun akustik tasarımına destek olunabilir mi? Tasarımcı, istediği akustik performans kriterlerini tanımlayarak, bilgisayardan uygun geometri çıktısını kolaylıkla elde edebilir mi? Tasarımcılara, kodlarla doğrudan müdahale edebilecekleri bir destek sisteminin tasarımı neler sağlayabilir? Bu sistem hangi yapıda ve özelliklerde olmalıdır? Tez süresince, sistem hangi noktaya kadar ilerleyebilir? Sistem daha büyük bir sistemin parçası olabilecek şekilde kurgulanıp geliştirilebilir mi? Teknolojinin getirdiği yeniliklerin önerilen yöntemle uygulanması ile literatürde yer alan boşluğa çözüm bulunabilir mi? Tasarımcının akustik değerlendirme ile arasındaki mesafe nasıl kısaltılabilir? Tasarımcının salon tasarımı süresince elde ettiği, tüm verilerin kayıt altına alınması ile, başka araştırmacılarla ya da aynı araştırmacı-tasarımcının farklı projelerinde kullanılmak üzere, sürdürülebilir bir yöntem geliştirilebilir mi? Geliştirilebilesi mümkünse, özellikle mimar, tasarımcı ve akustik danışmanların yararlanması için hangi özelliklerde olmalıdır? Alınan sonuçlar, mevcut kullanılan yöntemlerle tasarlanan salonlara göre hangi farklılıları taşır?

Literatür taramasından da anlaşılabilen ve tezin ilerleyen bölümlerinde açıklanan, mevcut programların kullanılamaması nedeniyle tezde önerilen yöntemin sınanması ve örneklenmesi için yeni bir yazılımın geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Sayısal tasarım araçlarının sunduğu olanaklardan biri olan, kodlayarak tasarlama, çeşitli kod

yazımı platformlarında mümkün olmaktadır. Her programın, bir yazılım geliştirme platformda kodlanması gerekmektedir. Örneğin *SketchUp* (Url-39), *Odeon* (Url-1) vb. programlarda tasarımcının gördüğü ve kullandığı bölüm, kullanıcı arayüzüdür. Bu da daha önce bir programcının örneğin kalem, kare, daire, yükseltme, alçaltma vb. komutları görselleştirerek mimarın tuşlara basarak elde edeceği işleri, bilgisayara tanımlamış olması demektir. Örneğin kare elde etmek isteyen bir mimarın, kare tuşuna basması gerekmektedir. Önceden bir yazılım geliştirme platformunda mimar kare tuşuna bastığında dört çizgiden oluşan, bu çizgilerin birbirine dik ve kesişimlerinin olduğu, dört çizginin doksan derece birleşerek aynı boyutlarda olması gerektiği vb. bilgiler programa tanıtılmış ve bir grafik arayüz oluşturulmuştur. Basit geometrilerde ya da akustik, enerji, aydınlatma gibi teknik gereksinimlerin bulunduğu alanlarla çok bağlantılı olmayan tasarımlarda mevcut programların kullanılması tasarımcıya kolaylık sağlamaktadır. Tasarımcı, mimari modeli ve akustik analizleri genellikle ayrı ayrı programları öğrenerek gerçekleştirmektedir. Parametrelerle tasarlama gereksinimi bulunan alanlarda (sayısal tabanlı, performansa dayalı sistemler) ya da performans karşılaştırmaları olan durumlarda (örneğin dinleyici alanına düşen ses düzeyi ve ses dağılımının bir parametre olarak ele alınarak tavan panelleri ile ilişkisinin sınanması istenilen durumlarda), tasarımcı kodlayarak tasarladığı bir yöntemle hareket ettiğinde, hareket ve iş yaptırma, teknolojik olanakları en olumlu şekilde kullanma özgürlüğüne erişebilmektedir. Özellikle Japonya ve Almanya'da, güncel teknolojilerden faydalanarak geliştirilen çalışmalar; örneğin bir sandalyenin biçim değişikliklerinin kodlanarak gerçekleştirilmesi (Url-31), Wallgren'in geliştirdiği, mimarlar için üç boyutlu uyarlanabilir plan üretimi yapan ve çeşitli seçenekleri değerlendiren program (Url-37), Okawa, Hotta ve Ikeda'nın rüzgar yönlendiren robotla doğal enerji yönlendirmesi ve hesaplamalı bir yöntemle oluşturdukları mimari form çalışmaları (Okawa ve diğ., 2017), Seifert ve Petzold'un açık şehir verilerinden yararlanarak gerçekleştirdikleri, algoritmik tasarımla şehircilik araştırmaları (Url-44), yüksek yapılarda minimal yüzey özelliklerinin hesaplamalı bir yöntemle bulunması ve yüksek yapılar için tasarım üretimi (Tasarım Araştırmaları Değiş Tokuşu Raporu, 2012, Url-45), mimarlıkta tümleşik tasarım platformu araştırmaları (Schubert, Bratoev, Strelchenko, Petzold, 2019; Schubert, 2014, 2015), interaktif şehir gürültü haritası (Url-46), güneşten yararlanma potansiyelini ölçen simülasyon yöntemi (Url-46), şehir gelişimi kararlarını desteklemek üzere geliştirilen üç boyutlu parametrik şehir modeli (Seifert, Mühlhaus, Schubert, Fink, Petzold, 2014) vb. çalışmalar mimarlığa ve

tasarıma katkıda bulunmaktadır. Mimarlık ve bilgisayar bilimlerinin kesişim noktası olan bu alan, mimari enformatik (*Architekturinformatik)* olarak da isimlendirilmektedir. Daha iyi yapılar inşa edebilmek için; dijital platformlardan yararlanarak, akustik, enerji, strüktürel sistem optimizasyonu vb. teknik konuların gereksinimleri tasarımlara ilk aşamalardan itibaren katılabilmekte ve alışılagelmişin dışında bir tasarım bakış açısı oluşmaktadır. Bu konuda, ülkemizde ve üniversitemizde de çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Mimar Sinan Üniversitesi'nde yüksek lisans-doktora derslerinden parametrik mimarlık dersinde, 2016 yılında gerçekleştirilen acil durum kampı tasarımı, tez çalışması için sayısal bir yazılım geliştirme platformunun kullanılmasının öğrenilmesi ile bir ön çalışma niteliğindedir. Uygulamaya dayalı çalışmalar ile parametrik tasarımın etkin anlatabileceğini düşünen Turan ve Şahin (Turan ve Şahin, 2016) öğrencilere bir acil durum kampı tasarımı için Processing programının kullanılmasını örneklemiştir. Bu derse, doktoranın ders döneminde bizzat katılım sağlanmıştır. Üç farklı yaşam birimi ünitelerini temsil eden şekiller, planda en uygun yerleşimi verecek şekilde plana yerleştirilmiştir. Acil durum kamplarında uyulması gereken mesafe, boyut ve kriterler (iki birim arasında 2 metre olsun, her birimin uzaklığı su deposuna 10 m olsun, hiçbir birim birbiri ile kesişmesin, seçilen arsada 2 kişilik 1 katlı 10 m^2'lik 4 adet A tipi, 4 kişilik, 1 katlı, 20 m^2'lik 14 adet B tipi, 8 kişilik, 2 katlı, 40 m^2, 37 adet C tipi birimi olsun), kodlanarak tanıtılmış, bu parametreleri sağlayan çeşitli yerleşim planlamaları bilgisayara ürettirilmiştir. Derste geliştirilen projede, kriterlere göre optimum mimari planlamayı yapma aşaması, mimari modelleme programına dönüşler yapılmadan, kod yazımı ile gerçekleştirilmiştir. Algoritma, yerleşim birimlerini yerleştirirken, birimlerin çevresini kontrol etmekte ve belirlenen mesafeleri koruyarak çakışmaların olmasını önlemektedir. Mimari model programlarında ve el çizimlerinde deneme yanılma ile uzun zamanda tasarlanabilecek yerleşim biçimleri, bilgisayar yardımı ile saniyeler süren bir zamanda gerçekleştirilebilir. Bu ön çalışmada, tasarımcıların kullanımına uygun bir tümleşik yazılım geliştirme ortamının dili öğrenilmeye başlanılmıştır. Tezin sonunda yer alan ekte, projenin görselleri ve tasarlanan kodun bir bölümü bulunmaktadır. Bu ön projede, tasarımcı planlayan ve yorumlayan konumundadır. Kodlayarak, çizim ve modelleme yapılmadan, çeşitli teknik gereksinimlere sahip olası tasarımlar, tanımlamalarla bilgisayara ürettirilmiştir.

Literatür araştırmasında, parametre ve kriterlere göre performansa dayalı tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ile çok girdili sistemlerin tasarlanabileceği, dijital platformların tasarımcıya faydalı olabileceği, tasarımcıların bu platformları mimarlıkta yeni kullanmaya başladıkları ve henüz akustik alanında etkin kullanamadıkları anlaşılmıştır. Hesaplamalı sistemlerin, mimarlığa getirdiği katkılar göz önünde bulundurularak, akustik kriterlerin parametrik olarak ele alındığı tasarlama yöntemlerinin, akustik bilimine fayda sağlayabileceği düşünülmüştür. Dijital platformların, akıllı bir eskiz kağıdı gibi tasarıma yardımcı bir araç olarak görülerek ele alındığında, bilime ne tür yenilikler getirebileceği sorgulanmıştır. Önerilen yöntem, akustik konusunu temel alan bir program üzerinden örneklendiği için, mevcut akustik simülasyon programları araştırılmıştır ve mevcut programlarının genellikle tasarımın ön aşamalarından itibaren tasarımcının ihtiyaç duyduğu teknik gereksinimler konusunda yeterli olamadığı ileri sürülmektedir (Pelzer ve diğ. 2014, Özgenel ve Sorguç, 2011, Rumpf ve diğ., 2017, Peters, 2010). Literatür taramasında, akustik biliminde kullanılan simülasyon araçlarının genellikle tasarım sırasında tasarımcıya destek amaçlı değil, sonuca ve detaylı hesaplamalara odaklı geliştirildiği anlaşılmıştır. Akustik simülasyon programlarının geliştiricileri, genellikle daha detaylı hesap yapabilme üzerinde yoğunlaşmıştır. Mevcut programlardan alınan çıktılar son tasarımın değerlendirmesini detaylı olarak mimara verebilmektedir. Bu nedenle, genellikle mevcut simülasyon programları yardımı ile geliştirilen akustik tasarımlarda, tasarımcı geometrik tasarımın bitişinden sonra akustik geribildirim alabilmektedir. Pelzer, Aspöck, Schröder ve Vorländer'a göre, mevcut akustik simülasyon programları, genellikle mimari tasarım ve mimari tasarım araçları olan mimari modelleme programlarının işleyişine yeterince katılamamaktadır. Bu programlar genellikle pahalıdır ve diğer sistemlerle uyumlu çalışmasını sağlamak zordur. Aynı zamanda, derin bir akustik bilgisine sahip olmadan sonuçlarını yorumlamak çok zordur (Pelzer ve diğ. 2014). Mimarların, salon tasarımının özellikle ilk aşamalarında yüksek düzeyde kontrole sahip olduğu, tasarımın bu aşamasında en önemli akustik kararların alındığı belirtilmektedir. Bu nedenle, mimar ve akustik danışman arasındaki iletişimin, tasarımın ilk aşamalarında en önemli olduğu ileri sürülmektedir (Echenagucia, Astolfi ve van der Herten, 2013).

Sesle doğrudan ilgili, konser salonu, toplantı odası vb. mekanlarda akustiğin mimari tasarımı belirlemesi gerektiği düşünülmektedir. Salon geometrisindeki ve hacimdeki

değişkenler, salon akustiğini ve akustik parametreleri etkilemektedir. Akustiğin, salon geometrisi oluşturulurken, tasarımın ilk aşamalarında tasarıma dahil edilebilmesi için, salon geometrisinin akustiğe etkilerini hızlıca gösterebilecek bir platforma gereksinim vardır. Bir tasarım oluşturulurken, mimarın mimari akustik konusunda teknik bilgiye gereksinimi olmasının yanısıra, akustik biliminin çok girdili hesaplama sisteminin mimari tasarımla eş zamanlı işleyebilmesi, bir destek sistemi ile mümkün olmaktadır. Geometrik tasarımın hazırlandıktan sonra, akustik simülasyon programları ile sonuçlarının alınması, tekrar geometride değişikliklerin yapılarak tekrar simülasyona gönderilmesi ve bu sürecin devam ederek diğer teknik alanlarla uyumluluğunun sağlanması, mimar ve destek sistemi arasındaki uzaklığı arttırmaktadır. Destek sisteminin mimara yakınlaştırılması ve tasarım ile destek sistemi arasındaki uzaklığın (zamanın) kısalması, geometrik tasarımda akustik önlemler konusunda öngörülerin yapılabilmesinde, projelerin hız ve ekonomiklik açısından önemlidir. Parametrik tasarım ve geliştirilen sayısal tabanlı yöntemlerin, mimari akustiğe geniş olanaklar sunabileceği düşünülmektedir. Bu konuda bazı araştırmacılar şu şekilde görüş bildirmiştir:

> Akustik tasarım halen tasarımın bir başka aşaması olarak düşünülmekte ve akustik tasarım ancak mekan tasarlandıktan sonra ele alınmaktadır. Bu süreç adımlarında görülen kayma özellikle sesin öncelikli itici güç olduğu mekanların (konser salonları, tiyatro sahneleri, vs.) optimizasyonu için engel teşkil etmektedir. Bir tasarımcı tabii ki tüm akustik parametrelerine hakim olmak ve bir akustikçi gibi mekanı tasarlamak zorunda değildir. Ancak aldığı tasarım kararlarının optimize edilebilirliğinin olması akustik tasarım kapsamında yapılacak değişiklikler için oldukça önemlidir (Özgenel ve Sorguç, 2011, s 245).

Mimari tasarıma entegre edilebilecek akustik destek programları ya da araçlarının geliştirilmesi, akustiğin yön gösterdiği salonlardaki tasarımın ilk aşamalarından itibaren kullanılabilecek yöntem önerileri literatürde oldukça azdır.

Bayazıt (Bayazıt, 1999), bir hacimde sağlanması istenen akustik koşulların hacmin büyüklüğünü ve boyutlarını belirlemeye yönelik olarak etkilendiği başlıca fiziksel özellikleri; salon formu, dinleyici sayısı ve alanının dağılımı, hacmin boyut oranları, yutucu ve yansıtıcı malzemelerin yerleşimi, dinleyici alanı ve balkonun büyüklüğü ve biçimi olarak sıralamıştır. Bu kadar değişken arasında her birine bağlı olarak en uygun akustik koşulları belirlemenin zaman alıcı ve karmaşık bir iş olacağını belirtmiştir. Yukarıda belirtilen çok girdili akustik kriterler nedeniyle oda geometrisindeki değişikliklerin akustik etkileri, tasarımcı tarafından tespit edilebilmeli ve

değerlendirilebilmelidir. Mimarlar gibi akustik tasarımcıların da birbirinden farklı akustik tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Akustik tasarım kriterleri, salonların akustik kalitesini anlamaya yarayan çeşitli teknikleri temel alarak geliştirilmektedir. Bu teknikler; hacmin sinyal tepkisi ölçümlerinden yola çıkarak, nörobilim ve piskolojik alanlarda yapılan laboratuar testlerinin ses kalitesine olan etkileri araştırılarak, önemli akustik parametrelerin salon geometrisi ile ilişkileri kurularak, ölçekli akustik modellerin testleri ile, üç boyutlu akustik modellerden yararlanarak, müzisyenler, araştırmacılar ya da danışmanlar tarafından yapılan performans değerlendirmeleri ile, mimarlar ve danışmanlar tarafından planlı inşa edilen yapılar üzerindeki deneyler ile, gelişmiş kantitatif testler ile algısal faktörleri anlayıp salon mimarisi ile etkileşimini inceleyerek, var olan ses kayıtları ve çeşitli sinyal işleme tekniklerini barındıran programlar yardımı ile ya da farklı tekniklerin karışımı olan melez tekniklerle olarak sayılmaktadır (Siebein,1997).

Beranek ve Haan, akustiği çok iyi olarak tanımlanan salonlarda, reverberasyon süresi, hacim, dinleyici sayısı, dinleyici sayısının hacime, dinleyici alanının hacime olan oranları, koltuk alanları gibi akustiğe etkili olan geometrik özellikleri ölçerek çeşitli akustik kriterler belirlemişlerdir (Beranek, 1992, Haan, 1992). Marshall (Marshall, 1967), Barron (Barron, 1993), Gade (Gade, 1991), Bradley (Bradley, 1990) de salon geometrisinin akustiğe olan ilişkilerini anlamak üzere çalışmalar gerçekleştirmiş, parametrelerle ve salon geometrisi kriterler ortaya koymuşlardır.

Olumlu değerlendirilen salonlarda yapılan ölçüm ve araştırmaların sonuçları yorumlanarak yeni salonların inşasında bu değerlere ya da uygun olduğu düşünülen değerlere yaklaşılmaya çalışılmaktadır. Long, salon ve oda tiplerine göre, balkon tasarımından çeşitli tavan tiplerinin tasarımına, salon akustiğine etkisi olan detayları ve önerilerini belirtmektedir (Long, 2006). Tek bir geometrik biçimin incelenmesi dahi, geometriyi etkileyen çeşitli akustik parametre ve kriter olması nedeniyle, uzun ve detaylı bir iştir. Bayazıt, geometrik parametrelerle salon akustik kriterlerinin arasında sıkı ilişkiler bulunduğunu ve geometriyi değiştirerek bunları da değiştirmenin mümkün olabileceğini belirtmiştir. Tasarımın ilk aşamalarında kullanılabilecek bilgiyi vermeye yönelik çalışmaların sınırlı olduğunu ve bu konuda az bilgi bulunduğunu da belirterek, akustik parametreleri incelemiş, dikdörtgen kesitli salonlarda kullanılabilecek analitik bir yöntem geliştirmiştir (Bayazıt, 1999). Kuttruff'a göre (Kuttruff, 2000), akustik danışmanın ve mimarın deneyimi ile şekillenen tasarımlarda,

salonun akustik koşullarını belirleyen, çeşitli ses alanı özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler; salonun şekli, salon hacmi, dinleyici sayısı ve dinleyici alanının düzenlenmesi, duvar, tavan, döşeme vb. yüzeylerin malzemesidir. Bu özelliklerden salon hacmi, duvar, tavan vb. yüzey malzemelerinin özellikleri, doğrudan reverberasyon süresi ile ilgili olup salon şekli, erken, geç yansımaların sayısı, yansıma gecikmeleri ve düzeyleri ile ilgilidir. Direkt sesin düzeyi, sesin kapladığı alanın mesafelerine ve dinleyici alanının düzenlenmesine göre değişmektedir.

Beranek (Beranek 2004), akustik açıdan en olumlu görülen salonların, 1901 öncesi yapılan Viyana *Grosser Musikvereinsaal*, Boston *Symphony Hall*, Amsterdam *Concertgebouw* olduğunu belirtmektedir. 1963 yılında Berlin *Philharmonie Hall*'un inşasından itibaren mimarların, salonun güzelliği ve mimariye getirdiği yeniliklerin akustiğin üstünde tuttuğunu belirtmektedir. Direkt ses, erken yansımalar, salonda bulunan koltuklar ve koltuk alanları, tavan yüksekliği, ses düzeyi, bas oranları, duvar ve tavan düzensizliklerinin değerlendirmesini yaparak çeşitli geometrik düzenlemeler önermektedir. Mimarların mevcut salonları kopyalamak istemediklerini, yerine genellikle mimari dergilerde yer alacak tasarımlar aradıklarını, bina sahiplerinin bu incelemeleri ödüllendirdiğini belirtmektedir.

Akustik işlevli salonları tasarlayan mimarların projenin akustik tasarımcıya gönderilmeden, salonun geometrik tasarımını akustiği pozitif yönde etkileyecek biçimde tasarlayabilmesi, salon akustik gereksinimlere cevap veren panel, kanopi, koltuklar, balkonlar, sahne, platformlar vb. tasarımları uygun boyutlarda ve açılarda tasarlayabilmesi gerekmektedir. Sahne mekaniği, elektrik, tesisat, strüktürel gereksinimlerin akustik birimlerle birlikte tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle salon akustiğinin geometrik optimizasyonun mimari tasarımın ilk aşamalarında yapılması, ya da mimari tasarımın salona getirdiği akustik etkilerinin bilinmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu durumda, tasarımda tasarımcıya fikir verebilecek ve tasarımını akustik açıdan değerlendirme olanağı sunacak bir platforma ihtiyaç duyulmaktadır.

Bilgisayarın sayısal ve algoritmik yapısı, tasarımcıya geleneksel çizim ortamından farklı imkanlar vermektedir. Bilgisayar günümüzde, görselleştirme aracı olmaktan çıkmıştır ve sayısal tabanlı bir tasarım ortamı olarak ele alınmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). İki boyutlu çizimler ile yapılan akustik değerlendirmeler, karmaşık geometrilere sahip salonlarda zorlaşmıştır. Kuttruff, oda geometrisini yansımalar

açısından incelemiştir. Ses yansımasının yüzey konum ve organizasyonu ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Ses şiddeti ya da yeğinliği formülleri kullanılarak çeşitli ön tahminlerin yapılabileceğini, kalem ve cetvel ile yapılan iki boyutlu analizlerin sadece çizimlerin bulunduğu kağıt düzlemindeki ses yollarını hesaba katabildiğini belirtmektedir (Kuttruff 2000). Tasarımcılar, güncel tekniklerle kalem ve cetvelle yapılan analizlerin yanısıra bilgisayar desteği almaktadır. Geometrik analizleri, bilgisayarda ışın çizimleri ile iki boyutlu ya da üç boyutlu statik modellerle gerçekleştirmekte, uzun süre ve emek harcamaktadır. Çeşitli akustik programlar yardımıyla ışın analizi ve ses yayılımı hesapları yapılabilmesine karşın, simülasyonlar genellikle, her salon ya da salondaki geometrik durum için yeniden hazırlanmaktadır. Tasarımcı simülasyon sürecinde modele müdahale edememekte ve sürece dahil olamamaktadır. Örneğin, Klosak ve Gade'in (Klosak ve Gade, 2008), salon geometrisi ve akustiğin ilişkisini araştıran çalışmasında, parametreler ve dikdörtgen kesit sabit tutularak, sistematik olarak duvar boyutları değiştirilmiştir. Yirmi dört farklı geometrik durum için yirmi dört farklı model hazırlanmıştır ve test edilmiştir. Küçük ya da orta boyutlu salon projelerinde, mimari tasarım tamamlanıktan sonra akustik tasarıma başlanılmakta, bu nedenle sistematik akustik tasarım sınırlı kalmaktadır (Jeong, K ve diğ., 2018). Akustik projenin gereksinimleri mimari projeye aktarılamayabilmekte ve akustik hesaplar eş zamanlı olarak kayıt altına alınamamaktadır. Her analiz için yeniden modelleme ve simülasyon yapılması gerekmektedir. Simülasyon sonuçları, tek bir geometrik durum için kayıt altına alınabilmektedir. Salon geometrisine müdahale edilemeyen, örneğin mevcut bir hacmin çok amaçlı salonlara dönüştürülmesi gereken projeler de dahil, farklı yerleşimlere göre farklı oda modelleri değerlendirilmektedir (Olhausen, 2019). Long (Long, 2006), mevcut akustik modelleme programlarının karmaşık hesaplamaları matematik bilgisi olmadan yapmayı mümkün kılsa da, programların kodları üretilirken kullanılan algoritmalarına müdahale edilemediğini, programların sonuçlarının tam olarak sağlanmasının mümkün olmadığını belirtmektedir. Özgenel ve Sorguç, sayısal ortamdaki mevcut yazılımların çoğunlukla tasarımın görselleştirilmesi ve performans ölçmek için tasarlanmış yazılımlar olduğunu belirtmiştir. Görüşleri şu şekildedir: "Akustik değerlendirme için yaratılmış yazılımlar yalnızca tasarımın belirginleşmesinden sonra fikir vermekte ve tasarım sürecinin tamamını kapsayamamaktadır" (Özgenel ve Sorguç,2011, s 252).

Kuttruff, akustik tasarımcının projelerine, salon detaylarını belirten bir çizimle başladığını belirtmektedir. Bu çizimler, planlama aşamasında, inşa aşamasında ya da mevcut ve kullanımda olan salonlara ait olabilmektedir. Olumlu sonuçlar veren birkaç standart akustik tasarım yöntemi geliştirilmiş olsa bile, tasarım, tasarımcının deneyimine ve geometrik ya da reverberasyon hesaplarının hangisini daha çok önemsediğine bağlı olarak değişmektedir. Mükemmel bir sonuca ulaşmak için, mutlaka akustik tasarımcının mimar ile yapacağı yakın ve güvenilir bir iş birliği ve biraz şans gerekmektedir (Kuttruff, 2000). Araştırmacılar, salon tasarımında yüksek kaliteli akustiği, mimari tasarımın belirlediğinden bahsederek, sosyal ve ekonomik faktörle, akustik gereksinimlerin mimari tasarıma aktarılamadığını belirtmektedir (Cavanaugh, W., Tocci, G., Wilkes, J., 2010). Salon akustiğinin, salonun, boyut, geometrik biçim, dinleyici alanının düzeni gibi mimari tasarımın erken aşamalarında belirlenen geometrik birimlere bağlı olması ve akustik değerlendirme sonuçlarından sonra bu alanlardaki değişimin çoğunlukla mümkün olmaması nedeniyle başarılı bir akustik tasarımın garanti edilemediğini, yeni tasarım yöntemleri geliştirilmesi gerektiğini belirtilmektedir (Fricke, F., Nannariello, J., Cabrera, D., 2006). Yazılımlar yardımı ile, akustik hesapların, salon dinlemelerinin ve tasarıma yardımcı çeşitli işlemin yapılması mümkündür ve geometrik optimizasyon üzerinde çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda tasarımcının sürece katılımının çok sınırlı olduğu görülmektedir. Long, tasarımcıların çoğunlukla, akustiğin matematiksel hesaplamalarının programlamada uygulanma tekniklerini (*computations*) bilmeden, yazılımların sonuçlarına güvenerek kabul ettiklerini belirtmektedir (Long, 2006).

Parametrelerle, performansa dayalı, kriterlere göre geliştirilen tasarımların, mimarlıkta kullanımı güncel olarak araştırılmaktadır. Detaylı ve farklı girdilere sahip olan akustik tasarımla salon geometrisi ilişkisini incelemek, yeni akustik tasarlama yöntemleri geliştirmek için, farklı algoritma ve teknolojilerden yararlanılması gerektiği düşünülmektedir. Literatüre bakış bölümünde belirtilen parametrik akustik yüzeylerin oluşturulması, gerçekleştirilmesi ve test edilmesi, dinleme çalışmalarının salon tasarımına yön vermesi gibi çalışmalar bu düşünce ile paralellikler taşımaktadır. Literatür taramasından, salonlarda akustik tasarımın geometri ile yakından ilişkili olduğu, akustik parametrelerin kriter olarak tanımlanması ile akustik işlevli salonlarda mimari tasarımın teknik bilgilere dayalı olarak geliştirilmesinin mümkün olabileceği anlaşılmıştır. Akustik parametrelere dayalı geometrik tasarım geliştirebilmek için

akustik parametrelerin çok girdili ve detaylı hesaplama biçimi nedeniyle, bilgisayar tekniklerinden destek alınması gerekmektedir. Bu desteğin alınabilmesi için, akustik parametreler, nasıl bir yöntemle akustik işlevli salonların ön tasarımında tasarımın belirleyicisi olabilir sorusuna cevap aranmıştır. Yukarıda saptanan ve belirtilen eksikliklerin giderilmesine yönelik geliştirilecek bir yöntemin mimarlık ve akustik bilimlerine katkıda bulunacağı düşünülmüştür.

1.3 Tezin Amacı

Tezin amacı; mimar, tasarımcı ve akustik danışmanlara, akustik işlevli salonların geometrik tasarımında kullanabilecekleri bir dijital tasarım destek yöntemi önermektir. Tasarımcının, bilgisayarı yardımcı bir araç olarak kullanarak yazılımı ihtiyaçları doğrultusunda kontrol edebildiği ve eş zamanlı olarak tasarımını geliştirebildiği, aktif ve algoritmik bir yöntem önerisi geliştirilmiştir. Tasarlanan yöntemin kullanılabilirliği; bilgisayar bilim teknikleri ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle; önerilen yöntem, tez süresince kodlanarak geliştirilen özgün bir program üzerinden örneklenerek test edilmiştir. Mimar ve tasarımcıların teknolojik gelişmeler ve dijital tekniklerden olumlu şekilde yararlanması, dijital araçları sadece temsil değil aynı zamanda tasarımın ilk aşamalarından itibaren kullanabilecekleri tasarıma yardımcı bir destek sistemi olarak kullanabilmesi için, yöntemi örnekleyen mimaride geometrik akustik tasarıma destek olabilecek bir yazılım hazırlanmıştır. Yöntemin geliştirilmesi ve sınanması, tez süresince kodlanarak geliştirilen özgün, Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı üzerinden gerçekleşmektedir. Programın yazım amacı, yöntemi sınamak ve tasarımcılara ileride kullanabilecekleri ya da geliştirebilecekleri bir temel strüktür oluşturmaktır. Yöntemi sınarken yazılabilecek, farklı yazılım modellerine sahip çeşitli programlar olabilir. Önerilen yöntemin, mimarlık ve akustik bilimine katkıda bulunabilmesi için, çeşitli alt amaçlar da belirlenmiştir. Bu alt amaçlar, önerilen yöntemin mimaride üretken sistemlere olanak sunabilmesi, akustik parametre ve kriterlere göre tasarlama imkanı vermesi, geometrik optimizasyonda kullanılabilmesi, belirlenen akustik kriterler konusunda fikir verebilmesi, tasarım boyunca programın izlenilebilmesi, eşzamanlı ilerleyen ve değişikliklere olanak veren bir yapıda kurgulanması, her bilgisayardan ulaşılabilir olması, yüklemeye gerek kalmaksızın kodun kopyalanıp yapıştırılarak çalıştırılabilmesi, yapay zeka ve makine öğrenimi alanlarında kullanılabilecek verileri oluşturabilmesi ve büyük veri setlerini

kayıt altına alabilmesi, tasarımcının öğrenmek istediği akustik parametreleri tanımlayarak kodu geliştirebilmesine ya da kişiselleştirmesine olanak sunması, kayıt edilen veri setlerinin mimari sunumlarda ya da yorumlamalarda kullanılmak üzere tekrar görselleştirilebilmesi, zaman ve ekonomiklik kazanabilmek için hızlı çalışabilmesidir. Yöntem ve örneklendiği program, akustiğin tasarımın belirleyicisi olduğu mekanlar düşünülerek geliştirilmiştir. Bu nedenle programa, reverberasyon süresi, malzeme yutuculukları, ses dalgalarını temsil eden ışınlar, ışınların her birinde ses düzeyi, hızı ve ses enerjisinin temsili, salonda ses dağılımının incelenmesi, vb. özellikler tanımlanmıştır. Programın kodlanma amacı, mimaride kodlayarak oluşturulan ve kriterlere göre değerlendirmeler yapan tasarıma yardımcı olabilecek bir yöntemin örneklenmesi olduğu için, programa tanımlanan akustik parametreler sınırlandırılmıştır. Hazırlanan kaynak kodun, ileride ses ile ilgili salonlarda ölçülmesi istenen çeşitli parametreler ile geliştirilebilecek bir yapıda olması hedeflenmiştir. Teknolojik gelişmelerin, hızla mimari akustik alanında kullanılabilmesinin mimari tasarım sürecine hız ve ekonomi kazandıracağı; mimarlık ve akustik alanların yanısıra çeşitli bilim alanlarına da yenilikler getireceği düşünülmektedir.

1.4 Kapsam ve Kabuller, Aktif ve Statik Modelleme Tanımı

Tez dahilinde geliştirilen yazılım, katı doğuşlu ses modellemelerini ya da gürültü denetimi ile ilgili konuları kapsamamaktadır. Katı doğuşlu seslerin ve gürültü modellemelerinin farklı kodlama teknikleri bulunmaktadır. Aynı şekilde işitselleştirme (M. Kleiner, B.-I. Dalenback, ve P. Svensson, 1993), ve çeşitli sinyal işleme teknikleri, örneğin, yapay reverberasyon (V. Välimäki, J. Parker, L. Savioja, J. O. Smith ve J. S. Abel, 2012) ya da binaural işleme (M. Vorländer, 2007) bu tez kapsamında incelenmemiştir. Yazılan programla, salonlarda bulunan detaylı akustik parametrelerin çıktılarının alınmasını hedeflenmemektedir. Bu çalışma; konuyla ilgili olmayan ve araştırmayı etkilemeyen akustik parametrelerden bağımsız olarak salonların geometrik analiz ve tasarımı ile ilgilenmektedir. Algoritmada, değişkenlere atanan giriş, simülasyon ve değerlendirme için hazırlanan veri kayıt değerleri, belirli bir akustik parametrenin ismini taşımamaktadır (Örneğin renk toplamı ve homojenlik). Bu değişkenler, tasarımcının kontrol edebildiği birer parametredir. Parametrelerin, isimleri ve hesaplanma biçimlerinde değişiklikler yapılabilmektedir.

Literatüre bakış bölümünde, akustiğin tasarımın belirleyicisi olduğu çalışmalardan söz edilmiştir. Bu çalışmalarda, genellikle genetik algoritmalar kullanılmıştır. Üç boyutlu aktif simülasyonların ise, tasarım boyunca izlenebilen, tasarımla eş zamanlı ilerleyen bir süreç olması, optimizasyonun kullanıcıların taleplerine göre şekillenebilmesi hedeflenmiştir. Tek bir parametre ya da sonuç elde etmek yerine, farklı sonuçların kayıt edilerek, kullanıcının simülasyonları ve kayıt edilen verileri subjektif değerlendirmesi tasarlanmıştır. Bu nedenlerle, genetik algoritmalar tezde kullanılmamıştır. Sürecin başlangıcından sonuna kadar, tasarımcının sürece katılması ve değerlendirmesi düşünülmüştür.

Tanımladığım, statik model tanımı, modellendikten sonra değiştirilmeden simüle edilen mimari modeller için kullanılmıştır. Aktif model tanımı da, akustik simülasyon sırasında hareket edebilen, tasarımı, boyut ya da açıları değişen, birim üretebilen hareketli mimari modeller ya da değişen parametreleri için kullanılmıştır. Örneğin *SketchUp* programında modellenen bir mimari model, Odeon Programı'nda akustik simülasyonları yapılarak değerlendirilebilmektedir. İki programda da, işlem sırasında modelde herhangi bir değişiklik yapılamamaktadır. Mevcut sistemlerde, genellikle tasarımcının çizdiği ya da modellediği model, statik bir biçimde (mimari programda modellenen görüntü, salonun bir tasarım durumunu ifade eder ve hareketsizdir) hesaplanarak değerlendirilmektedir. Tezde önerilen aktif tasarlama tekniğinde ise, kuralları tasarımcı tarafından belirlenen olası tasarımlar, bilgisayara ürettirilerek performans değerlendirmeleri sistematik bir biçimde bilgisayara yaptırılmaktadır. Tasarım üretimi ve akustik performans değerlendirmeleri gerçekleştirilirken, sistem hareketlidir (olası farklı salon tasarımları ekranda görülür) ve işlem sırasında müdahale edilebilmektedir. Tasarımcı; tasarım kurallarını belirlemekte, izlemekte (örneğin: tasarımının görsel durumunu ve sesin hareketini), modele müdahale edebilmekte, yorumlamakta, karar vermektedir. İleride, akustik işlevli salonlarda interaktif (etkileşimli) bir yapıda da müzisyenler ve mimarlar tarafından kullanılabileceği (ses kaynağının hareketli olduğu ölçümler, müziğin yön gösterdiği salonların (mekansal müzik) akustik performans değerlendirmeleri, robotik sistemlere sahip salonlar, bir salonun mimari birimlerinin hareket ettirilmesi ya da hacimsel değişikliklerin dijital kontrollü yapılarak fiziki koşullarının değiştirilmesi vb.) düşünülerek bu şekilde isimlendirilmiştir.

Kod strüktürü, geometri ile ilişkili akustik parametrelerin, ses düzeyi, frekans, hacim, boyut, zaman ile ilgili olanlarının tümü hesaplanabilecek şekilde hazırlanmıştır. Yüzey dağıtıcılıkları, tez dahilinde programa kodlanmamıştır. Yansımalar ve reverberasyon süresi dikkate alınarak, tezde gerçekleştirilen testlerde eko ve ses kırılması göz ardı edilmiştir. Kaynak, ışın hareketleri, geometri, yansımalar ve diğer parametrelerin strüktürü hazırlandığı için, tasarımcı, tezde oluşturulan programın kod strüktürüne yüzey dağılımları ile ilgili tüm eklemelerini ışın kaynağı ve yansıma biçimine ekleyebilecektir. Tezde kullanılan salon geometrisi terimi; salon hacmi, boyutları, dinleyici alanı, balkon, döşeme alanı, genişlik, uzunluk, panel vb. salonda bulunan, fiziksel yapı ile ilgili simülasyona katılan tüm yapısal birleşenleri belirtmektedir. Bu değerlerin birbirine oranları, ya da herhangi bir ölçülebilir değer üzerindeki belirli bir koordinat noktası, oluşturulan algoritmik yöntemden, komut verilerek çıktı olarak alınabilmektedir. Örneğin; dinleyici alanı ile ilgili elde edilen bilgiler, tek tek ya da dinleyici alanı üzerindeki noktaların toplanması ile elde edilmektedir. Hazırlanan program, dinleyici alanındaki tek bir dinleyiciyi ifade eden koordinattaki değerlerin tümünü, her simülasyonda hesaplamaktadır. Çıktı al komutu ile, tasarımcı, tek bir nokta, yüzey ya da tüm hesaplarla ilgili bilgi edinebilmektedir. Akustik biliminde mimari birimlerin boyutları birbiri ile ilişkili olarak da ele alınmaktadır. Bu oranlar da, belirtilen birim oranlarının çıktısını al (hesabın görünür yapılması) komutu ile elde edilebilmektedir. Ses düzeyi, tezde genellikle ses yeğinliği (*intensity*) ve çok yakın olması nedeniyle ses basınç düzeyi (SPL) parametrelerini ifade etmektedir. Dinleyiciler, akustikte öznel bir parametre olan bu sesi, ses yüksekliği düzeyi (G) olarak algılamaktadır.

Tez konusunun akustik değerlendirme programı geliştirme detaylarında yoğunlaşmaması nedeni ile, testlerde kullanılan yüzey malzeme yutuculukları 6 oktav bantta hazırlanmıştır. Başka bir akustik simülasyon programı ile karşılaştırma uygunluğu düşünülerek, her frekans bandında eşit alınmıştır ve geometrik akustikte kullanılan ortalama yutuculukla çalışılmıştır. 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz bantlarında hazırlanan kodu, tasarımcılar etkinleştirerek farklı yutuculuk değerlerine sahip malzemeler ve frekanslara göre ses düzeyi dağılımlarında araştırmalar yapabilecektir. Öğrenmek istedikleri başka frekans bantlarını, kodun ilgili bölümünde tanımlayarak ekleyebileceklerdir. Tezde, yöntemin ve programın işleyişiyle kullanılabilirliğinin ölçülmesi istenildiği için, akustik parametre detaylandırmaları,

strüktürel bir çerçeve hazırlanılarak belirli bir noktaya kadar getirilmiştir. Salonlarda akustik kaliteyi belirleyen çeşitli nesnel ve öznel parametreler ihmal edilerek algoritmaya kodlanmamıştır. Tez dahilinde, gürültü kontrolü ile ilgilenilmemektedir. Kod geliştirilirken, işleyiş geometrik akustik kurallarına göre hazırlanmıştır. Bu durumda, dalga kavramı geçerli değildir. Doğrusal ışınlar, ses enerjisini temsil etmektedir. Sesin geliş açısından bağımsız olarak yüzeyler malzeme yutuculuk katsayılarına göre yutum sağlamaktadır. Ses bir enerji fonksiyonudur ve enerjilerin toplanması mümkündür. Gade (Gade, 1990), mimari tasarımın konser salonlarının akustiğine etkilerini incelediği çalışmasında, hacmin ve reverberasyon süresinin, salon akustik parametrelerinin temel belirleyicisi olduğunu belirtmektedir. Beranek (Beranek, 2011), başarılı sallonların çoğunun, dinleyici başına düşen hacim oranı değişse de; orta frekans bantlarında ve tam doluluk oranında reverberasyon süresi ve hacmin toplam yüzey alanına oranlarının, neredeyse aynı olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle, bir tasarıma başlanırken, salon hacmin ve işlevi bilindiğinde tasarımcının uygun reverberasyon süresini tahmin edebileceği ya da literatürden bakarak olması gereken reverberasyon süresini programa tanımlayabileceği kabul edilmiştir. Üç boyutlu simülasyon programında, simülasyonlar dizisinde yer alan her bir simülasyon, salon için belirlenmiş başta tanımlanan reverberasyon süresince devam etmektedir. Elektroakustik sistemler, tez çalışmasına eklenmemiştir. Elektroakustik donanımlarla tasarlanan salonların, gerçekleştirilen hassas akustik hesaplamaları, tezde hazırlanan kod strüktürü doğrudan kullanılarak yapılmamalıdır.

Tezde, salondaki paneller örnek olarak anlatılmıştır. Panellerle ilgili gerçekleştirilen her uygulama, teknik olarak tanımlamanın aynı olması nedeniyle salonda bulunan tüm mimari birimler, hacim ve yüzeylere uygulanabilecektir. Karşılaştırılan 7 salon tasarımının akustik performans sonuçlarının uygun olması ile, önerilen yöntemle üretilen çok sayıda olası tasarım durumlarının sonuçlarının uygun olacağı kabul edilmiştir. Değişkenlere bağlı olarak geliştirilen geometrik optimizasyonun, gelişen teknolojik olanaklardan yardım alınarak yapılabileceği düşünülmektedir. Mimari projelerle eş zamanlı akustik geometrik optimizasyon çözümleri sunan, hızlı ve etkin, kendi içinde salon modeline müdahale edebilen ve üretken sistemlere olanak veren yöntemlerin, yaratıcı mimari tasarıma yenilikler getireceği, akustik alanında çalışan bilim insanlarına, mimar ve tasarımcılara farklı olanaklar sunabileceği düşünülmektedir. Tezde, simülasyonlarla geliştirilen yöntem, videolarla izlenilerek,

renkli ve bilgisayar ortamında daha rahat anlaşılabilmektedir. Bu nedenle, tez ile birlikte teslim edilen CD'de tezin renkli versiyonu yer almaktadır.

1.5 Yöntem

Tez süresince; akustik, mimari tasarım ve bilgisayar bilimleri alanlarında literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Özellikle bu alanların kesişim noktalarına denk gelen, geometrik akustik, akustik simülasyon teknikleri, mimari tasarım ve akustik bilimi arasındaki ilişkiler, mimari modelleme programları, akustik modelleme programları, parametrik tasarım, performansa dayalı tasarım, mimaride programlama, akustik tasarım ve değerlendirme yöntemleri vb. alanlarda araştırmalar yapılarak mevcut ve başka araştırmacılar tarafından geliştirilmekte olan projeler de incelenmiştir. Tezin araştırma sorunu ve ön çalışma bölümünde belirtilen çalışma ile, tasarımcıların kullanımına uygun bir tümleşik geliştirme platformunun dili öğrenilmiştir.

Tasarımın ilk aşamalarından itibaren tasarıma destek olabilecek bir yöntemin geliştirilebilmesi amacıyla, alt amaçlar da hesaba katılarak yöntemin, bir örnek üzerinden sayısal bir platformda sınanması gerektiği düşünülmüştür. Sayısal platformlar; bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar ortamında sanat ve tasarım, enformatik, mimari enformatik, kentsel enformatik, yapı, yapı teknolojileri, akustik, ses ve elektroakustik gibi alanlarda, sanat, tasarım, mimari sistemler, teknoloji, ve tekniğe dayalı konuların araştırılmasında disiplinlerarası olarak kullanılmaktadır. Etkileşimli tasarım, parametrik tasarım, veri görselleştirme, programlama, büyük veri analitiği, 2 ve 3 boyutlu geometrik modelleme gibi konularda araştırmacılar birlikte çalışmaktadır.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve özgür yazılımlar sayesinde, tasarımcıların tasarımlarına faydalı olabilecek düzeyde kodlama öğrenebilmesi ve bilgisayarı bir araç olarak kullanması mümkündür. Özgür yazılımlar, bu durumu gerçekleştirebilmek için tasarımcılara çeşitli fırsatlar tanımaktadır. Özgür yazılımlar kullanıcıya, çalıştırma, kopyalama, inceleme, değiştirme, geliştirme gibi özgürlükleri tanımaktadır. Programlama dili, boş bir eskiz kağıdına benzer şekilde açılmaktadır. Bilgisayarın yapması istenilen işleri, bilgisayara tanıtabilmek için kullanılabilen yardımcı araçlar ve programcıya bu araçları nasıl kullanabileceğini gösteren kullanma kılavuzları

bulunmaktadır. Açık yazılımlarda, yazılım, kişiler arasında paylaşılarak geliştirilebilmektedir. Yazılım, herhangi bir amaç için çalıştırılabilmektedir. Kullanıcının istediğini yaptırabilmesi için programın çalışma biçimini öğrenme özgürlüğü vardır. Kopyaları dağıtma özgürlüğü, tüm toplumun yararına olabilecek şekilde program geliştirme ve geliştirilenleri yayınlama özgürlüğü bulunmaktadır. Kaynak koda erişimin sağlanması, bunun için bir ön koşuldur (GNU Tasarısı-Url 36).

Tezin amacını gerçekleştirebilmek için çalışma platformu olarak, mimar, sanatçı, müzisyen, dijital ve görsel tasarımcılar tarafından programlamanın temellerini görsel bir yaklaşımla öğretmede kullanılan açık kaynaklı *Processing* programlama dili seçilmiştir. *Processing* programlama dili, elektronik bir eskiz kağıdı gibi düşünülebilen, özgür bir yazılımdır. Bu platformda, kodlanarak yazılan komutların, tasarımcının yapmasını istediği işi gerçekleştirebilmesi için bilgisayarla iletişim kurulmada kullanılan dilin uygun olması gerekmektedir. Öncelikle, bu dili anlatan kılavuzların bulunduğu (Url-6), özgür yazılım platformunda, veri tipleri incelenmiştir. Mimari akustik konusuna hizmet edebilmesi için veri tiplerinin ne şekilde kullanılabileceği planlanmıştır. Tasarımda, mimari akustiğin tasarımın ilk aşamalarından itibaren işin içine katılabilmesi için, bir yöntem önerisi yapılmıştır.

Yöntemi uygulayabilmek için mevcut akustik simülasyon programları incelenmiştir. Akustik simülasyon programları konusundaki çalışmalar, uluslar arası çeşitli üniversite ve şirketler tarafından sürdürülmektedir.

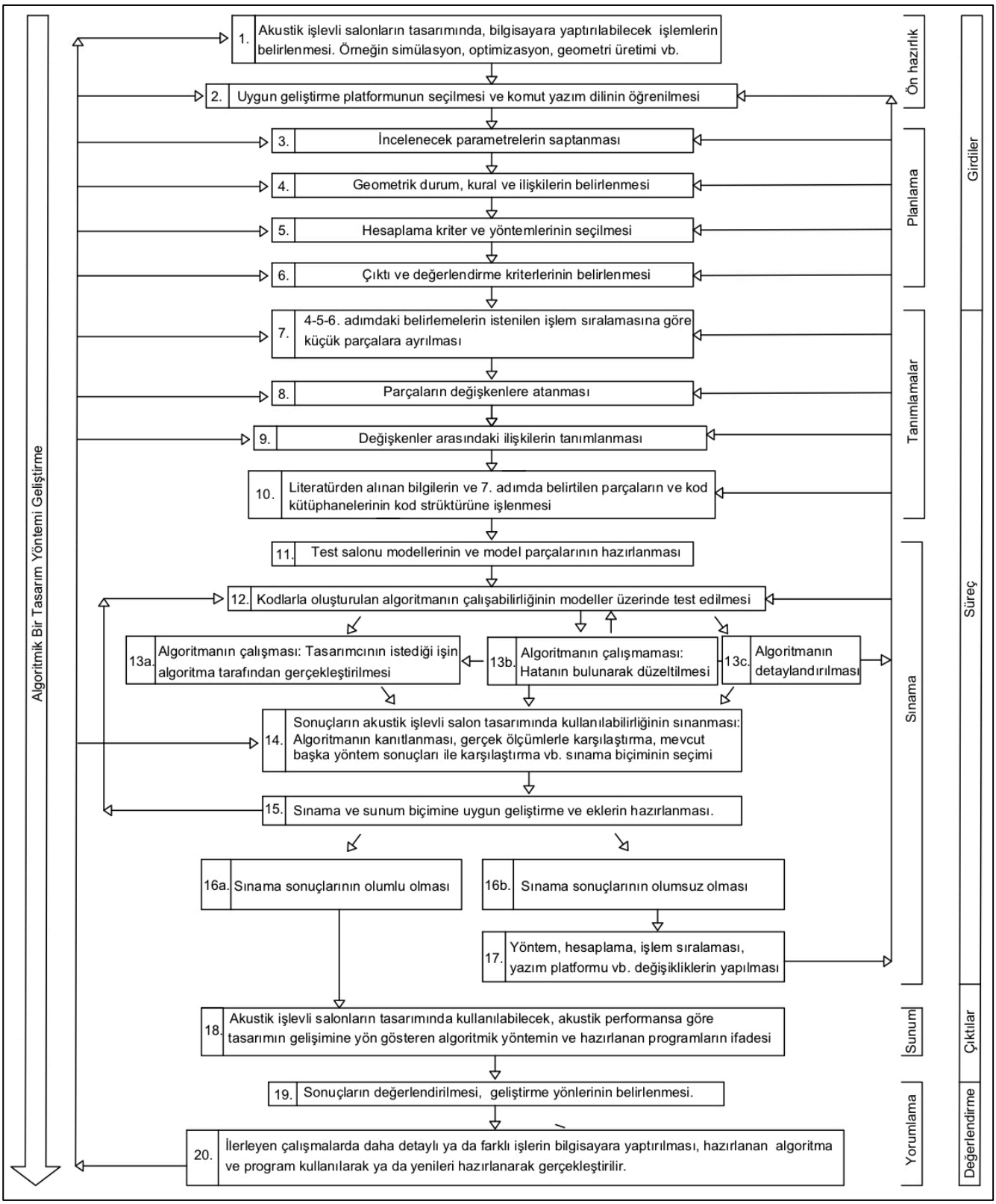
Mevcut akustik programların tez çalışmasında kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Kullanılamama nedenleri; mevcut programların strüktürel kodlarına, tezin amacına ulaşabilecek şekilde müdahale edilememesi, modelleme tekniğinin genellikle statik olması, çoğu zaman modele ekleme, açı değiştirme, boy kısaltma, uzatma, birim üretme vb. biçim değişikliklerin genellikle akustik değerlendirme programları içinde yapılamaması ya da uzun zaman alması, üretken sistemler oluşturabilen mimari programların akustik modüllerinin sınırlı olması ve kodlarına müdahale edilememesi, her simülasyon sonucu için bir kayıt çıktısı alınabilmesi, geometrik tasarım yerine hesaplamaya ve değerlendirmeye yönelik olması, girdiler verildikten sonra tek bir sonuç elde edilmesi, detaylı akustik parametre hesaplamaları yapıldığı için hazırlanan test salonlarının sonuçlarının alınmasının uzun sürmesidir. Tezin araştırma sorunu bölümünde, bu durum detaylıca anlatılmıştır. Mevcut programlarda yukarıda belirtilen özelliklerin olması halinde, önerilen yöntemin, mevcut akustik programlardan yardım

alarak da sınanabileceği düşünülmektedir. Bu durumda, tasarımcı tasarımının akustik sonuçlarını kod sisteminin içine ekleyebilir ya da mimari model programında, modelin verilerini okuyarak, akustik bir programda sınayan bir ara yazılım geliştirilebilir (çizilen salonun akustik sonuçları, akustik simülasyon programından çekilsin ve çizim ekranına getirilsin işini gerçekleştirebilecek bir program vb.). Mevcut programların kod strüktürlerine, bu durumda da müdahale edilmelidir. Her program, ayrı bir yazım platformunda hazırlandığı için, birbirlerine uyumlu birleştirmeler yapılamayabilmektedir.

Eklentilerin mümkün olmaması, birleştirmeyi yapabilecek yazılımın da hazırlanma gerekliliği ile, tasarımcı üç ayrı dijital platformda çalışmalıdır. Tasarımcının karşılaşabileceği zorluklar, programlar arası geçişlerin tasarımcıya kaybettirebileceği zaman düşünülerek yeni ve özgün bir yazılım hazırlanmasının gerekliliği anlaşılmıştır.

Mevcut programların yöntemin örneklenmesinde kullanamaması, uygun performansı sağlayamaması, tasarımcının bilgisayarı mimari akustik tasarıma destek olan bir araç gibi kullanma özgürlüğüne sahip olabilmesi için önerilen yöntemin örneklenmesi, kullanıcının belirlediği kriterlere göre, panel, duvar, kanopi, balkon, platform vb. seçilen mimari birim ya da birimlerin farklı, belirli ya da tüm olası geometrik durumlarının denenmesi, kaydedilmesi ve istatistiksel olarak değerlendirilmesine dayanan bir yöntemle çalışan, veri kaydı yapabilen ve tez süresince kodlanarak hazırlanan özgün bir program üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu programa Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı ismi verilmiştir.

Yöntemin temelini; tasarımcının istediği kriterlere göre hesaplamaları, tasarım üretimi ve akustik performans testini yapabilecek bir sistemin dijital strüktürünü oluşturarak, işlerini kendisine zaman ve ekonomiklik kazandıracak biçimde bilgisayara yaptırması fikri oluşturmaktadır. Aşağıda, şekil 1.1'de yöntem geliştirilirken izlenilen adımların şeması görülmektedir. Şekil 1.1'de görülen, 1. ve 2. adımlar, yukarıda anlatılan ön hazırlık aşamalarını kapsamaktadır. Planlama, tanımlamalar ve sınama bölümlerine dahil olan 3-17 adımlarındaki geliştirme aşamalarında, önerilen yöntem ve hazırlanan program iç içedir. Bu adımlar, tezin 3. bölümünde detaylı anlatılmıştır. Tez süresince, 16a adımına ulaşılabilmesi için, 17 adımında belirtilen, çok sayıda farklı ön basamaklara dönüş gerçekleştirilmiştir. Adım 18, tasarlanan algoritmik yöntem ve programın ifade edilmesi ve kullanım örneklerini kapsamaktadır. 19 ve 20. adımlar, tezin 4. bölümü olan sonuç ve değerlendirme bölümlerinde anlatılmıştır.



Şekil 1.1: Algoritmik Tasarım Yönteminin Geliştirme Aşamaları

Tasarımcı, düşündüğü ya da hiç aklına gelmeyen tasarım olasılıklarının tümünü önerilen yöntemle, kolaylıkla deneyebilmekte ve değerlendirebilmektedir. Bu durumun gerçekleştirilmesinin sınandığı programın kurgusu şu şekildedir: Tasarımcı tasarlamak istediği salonda düşündüğü ve denemek istediği mimari geometrik durumları tanımlar. Bu tanımlara (kriterlere, parametrelere) göre mimari birimleri ürettirir ya da geometride değişiklikler yapar. İster tezde örneklenen programda hazırlanan Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı'nın kod strüktüründen (Ses kaynağını temsil eden bir noktadan, salona ışınlar gönderilir, bu ışınların akustik prensiplere göre salon içinde hareket etmesi, yok olması ve süreçte yaşadığı parametre değişikliklerini kayıt edilmesi, kayıtların kriterlere göre sıralanması ve tasarımcının yorumlamasına sunulması işleri bilgisayara yaptırılır) isterse de kendi hazırladığı kriterlere göre çalışan kod strüktürlerinden yararlanır. Sonuç verileri, tasarımcı tarafından yorumlanır. Daha detaylı ya da farklı özelliklere sahip olması istenilen simülasyonlar için, tasarımcı kod strüktüründe yeni tanımlamalar yaparak dijital eskiz kağıdını (geliştirme, tasarlama ve sınama ortamını) amacına uygun şekilde özelleştirir. Örneğin, tez dahilinde, ses ışınlarının ses düzeyleri renklerle ifade edilmiştir. Değerlendirmede kullanılan renk toplamı kriteri, ses düzeylerinin aritmetik toplamı ile oluşturulmuştur. Programı farklı amaçlarla, daha detaylı akustik sonuçlar elde etmek için kullanan bir akustik danışman, kodun bu bölgesinde logaritmik toplama ya da belirlediği alanlar üzerinde farklı işlemleri (çıkarma, ortalama vb.) yapabilecektir. Kodda, su ile dolu bir odada tasarım gerçekleştiren bir tasarımcının ışınların hızını sesin sudaki hızına göre ayarlayarak simülasyonları gerçekleştirmesi, kullanmayacağını düşündüğü kriterleri yazılımda kapatması gibi değer değişiklikleri yapılabilecektir.

Önerilen yöntemin kullanılabilirliğinin sınanması için tez dahilinde hazırlanan örnek programa, literatürden edinilen bilgilere göre seçilen akustik kriterler (salonların ön tasarımında geometrik değerlendirme yapabilmek için gereken ve en çok kullanılan- reverberasyon süresi, etkili dağılım, dinleyicilere düşen ses düzeyi) tanımlanmıştır. Bu tanımlama, mimari modeli hazırlanan bir salonun akustik hesap sonuçlarını bilgisayardan edinme üzerine değil, tasarımcıya salonun diğer olası tasarımları arasında akustik performans açısından nerede bulunduğunu göstermek üzeredir. Bir sonraki tasarım adımının ilerleme yönünü akustik performans belirlemektedir.

Salon geometrisinde ses simülasyonunun yapılabilmesi için, sesle ilgili enerji formüllerinin programa tanımlanması, malzemelerin yutum biçiminin ışın enerjisinin kayıpları olarak tanımlanmasının, ses ışını olarak kullanılan ışınların doğru hızla ilerlemesi, yansımaları, kesişim noktalarının tespit edilmesi, kesişim noktalarındaki parametrelerin kayıt edilmesi, bu parametrelerin tekrar görselleştirilmesi vb. yöntemin işleyebilmesi için gereken pek çok kural bulunmaktadır. Bu kuralların tanıtılması ve önerilen yöntemin geliştirilmesi dört test salonu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında görülen kod hataları, her testte başa dönülerek güncellenmiştir. Dört adet test salonu hazırlanarak, birinci test salonunda, basit bir ışın tarama sistemi kodlanmıştır. Işınların yansımaları, mimari programdan alınan modelde hareket etmesi vb. işler yazılımda kodlanarak kontrol edilmiştir. İkinci test salonunda, akustik tasarım yönteminin genel kurgusu geliştirilmiştir. Örneğin, yazılımın içinde tasarımcının belirleyeceği sayıda akustik panel üretilmesi, bu panellerin ışınlarla kesişim noktalarında yapılan kayıtların tasarımcıya sunulması, panellerin program içinde hareket ettirilmesi, döndürülmesi, geometrik durumlarının denenmesi vb. pek çok düşünce kodlanmıştır. Üçüncü test salonu, hacimsel olarak daha büyük ve farklı bir geometrik düzende hazırlanarak, programın ve yöntemin çalışması test edilmiştir. Dördüncü test odasında, tez jürisinin de önerileri ile birlikte çeşitli akustik kriterlerin geliştirilmesine yoğunlaşılarak, ses düzeylerinin başka bir akustik simülasyon programı ile karşılaştırılabilecek bir düzeyde programa eklenmesi (başlangıçta taşıdığı ses düzeyi değeri ve salon geometrisi ile kesişimlerinde, malzeme yutuculukları nedeniyle kaybedilen enerji hesaplarına göre elde edilen ses düzeylerinin kayıt edilmesi, renklerin belirteceği parametrelerin tanımlanması, reverberasyon süresine göre simülasyonların devam etmesi, karşılaştırma yapılabilmesi için bir grid sisteminin eklenmesi vb.) gibi akustik ile ilgili detaylandırmalar yapılmıştır.

Ses düzeyi verilerinin tekrar görselleştirilebileceği başka bir alt program hazırlanmıştır. Hazırlanan programın istenilen optimum geometrik düzenlemenin bulunmasına ve ileride yapay zeka algoritmalarının uygulanabilmesi için veri sağlamada da katkıda bulunabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, akustik sonuçlardan oluşan verilerin kayıt altına alınıp sıralandırılmasına olanak veren bir sistem de kurgulanmıştır.

Optimum geometrik düzenlemenin bulunması için önerilen yönteme göre geliştirilen programın kurgusuna tanımlanan bir başka yöntem, olası bütün ihtimalleri deneyerek

çözümü bulmaya çalışan, Kaba Kuvvet Algoritması (*Brute-Force search*)'dır. Kaba kuvvet algoritmaları, sorun çözme işlemlerinde optimum çözümü elde etmek için tüm olasılıkları denemektedir. Örneğin metnin içerisinde başka bir metnin aranması, kriptogragi, permütasyon hesaplamaları, veri güvenliği, matris çarpımı, bir dizide bir eleman aranması, a^n aranması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Kriptografide kaba kuvvet atağı olarak isimlendirilen algoritma, olası tüm şifreleri sistematik bir biçimde deneyerek kayıt altına almakta, bu sayede belirli bir süre sonra uygun şifreyi bularak sorunu çözmektedir (Paar, 2010). Metnin aranmasında, bilgisayar metinin tamamını dolaşmakta ve aranan kelimenin ilk harfini bulana kadar bu işleme devam etmektedir. Bulduğu anda geri kalan harfleri eşleştirmeye çalıştırmakta, eşleştiremezse kelimenin ilk harfini bulduğu yere geri dönerek arama işlemine devam etmektedir (Şeker, 2009). Bilgisayar bilimlerinde, tüm olasılıkların denenmesi işlemi yerine sorun çözümlerini daha verimli şekilde gerçekleştirebilecek farklı algoritmalar da geliştirilse de kaba kuvvet algoritmaları optimaldir (Karaoğlan, 2017).

Tezde önerilen yöntemin uygulanabilmesi için farklı programlar da hazırlanabilirdi. Üç boyutlu aktif simülasyon programı, binlerce olası programdan olabilecek örneklerden sadece biri olarak (geliştirilen programı çok farklı çalışma yöntemlerine, sayısal platforma ya da algoritmalara sahip olabilir dinleyerek akustik tahminlerde bulunmak, kaba kuvvet algoritması değil ancak öğrenen ya da genetik algoritmalarla vb.) kodlanarak test edilmiştir. Aktif bir program olması nedeniyle, tanımlanan akustik özelliklerin kullanılabilirliği; salon geometrisinde olası durumlar arasından seçilen belirli statik durumların (2 salonun farklı 7 olası geometrik durumu) akustik sonuçlarının, mimari akustikte kullanılabilirliği kabul edilen bir akustik simülasyon programıyla (Odeon) karşılaştırılması ile gerçekleştirilmiştir. İkinci ve dördüncü test salonları, Odeon programında simüle edilerek akustik sonuç ve tasarım süresi karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırılmalar, Odeon programı ve üç boyutlu simülasyon programını teknik açıdan karşılaştırmak değil, önerilen yöntemin işleyişinin akustik sonuçlar açısından uygunluğunu test etmek üzere gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu aktif simülasyon programı, akustik hesaplama yapabilmektedir. Amaç, var olan akustik simülasyon programlarının yapabildiklerini tekrarlamak değildir. Karşılaştırmalarda 7 durum için ulaşılan sonuçlara göre, önerilen yöntemle sınanan diğer tüm olası durumların akustik performansı konusunda da yorumlamalar

yapılabileceği düşünülmüştür. Karşılaştırmalar, test salonu 2 ve test salonu 4'ten seçilen olası durumlar üzerinden yapılmıştır. Test salonu 2'de panelsiz, 3 düz konumda duran panelli, 3 panelden ilk panelin eğimli olduğu olmak üzere 3 adet geometrik durum, ve test salonu 4'te panelsiz, çok panelli, 4 düz konumda duran panelli ve 4 panelden 2'sinin eğimli olduğu 7 durumun Üç boyutlu aktif simülasyon programında ve Odeon'da verdiği sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki program, farklı kurgulara, amaca ve yapıya sahiptir. Sürekli devam eden simülasyonlar dizisinde, olası durumların verdiği sonuçların kabul edilebilir aralıklarda olup olmadığının anlaşılması ve sonuçların akustik değerlendirmede kullanılabilirliğinin ölçülmesi için Odeon Programından alınan çıktılar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Odeon Programı ile yapılan testlerde, salonun reverberasyon süresi değeri, yüzeylerdeki malzeme yutuculukları, kaynak konumu, kaynağın ses düzeyi, grid sisteminin boyutları iki programda da aynı olmak üzere sabit tutulmuştur. Ses düzeylerini ifade eden renkler, karşılaştırma kolaylığını sağlamak üzere Odeon renkleri ile yakın seçilmiştir. İki salonun farklı versiyonları ile birlikte Odeon programında test edilmek üzere *Sketchup* mimari modelleme programında hazırlanan 7 farklı modelde dinleyici alanında dağılan ses düzeyi haritaları ve hesaplama değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken ortalama yutuculuk ile çalışılmıştır. Bir salonun içerisinde hesaplanan akustik parametrelerin her birinin tüm frekanslardaki ortalamalarının alınarak hacmin geometrisi ile ilişkilendirilmesi, hacim akustiğinde bir değerlendirme yöntemi olarak sıkça kullanılmaktadır. Ortalama değerin kullanılmasının, farklı alıcı noktalarında ölçülen değerlerinin ortalamaya göre standart sapmalarının çok farklı olmaması durumunda, gerçekçi ve sağlıklı değerlendirme sonuçları elde edilebilmektedir. Aynı zamanda, salonun farklı alıcı noktalarındaki ses düzeylerinin (parametrelerin) değişiminin fazla olmaması, hacmin yaygın bir ses alanına sahip olduğunu göstermektedir (Bayazıt, 1999). Karşılaştırmalar yapılırken geçen süre, tasarımcıların mevcut kullandıkları bir yöntemle geometrik tasarım geliştirme sürecini de temsil ettiği için (mimarların *Sketchup* programında modelleme yaparak Odeon programında akustik sonuçlarını öğrendiği varsayılmıştır), modelleme ve akustik sınamada önerilen yöntem ve mevcut bir yöntemin işleyiş süreleri de karşılaştırılmıştır.

Kodlanarak yazılan program anlatılırken, önerilen yöntemle kodlama ile geometrik akustik tasarım geliştirme süreci ile ilgili bilgiler verilerek, Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı'nın kullanımı anlatan bir komut çizelgesi de hazırlanmıştır. Tez

çalışmasında önerilen tasarım yönteminin ve programının özellikle mimar, tasarımcı ve akustik danışmanlara faydalı olabileceği düşünülmüştür. Önerilen yöntemi kullanan tasarımcının, ayrıntılı akustik ya da sayısal tasarım bilgisinin olması, süreci daha verimli bir hale getirmektedir. Akustik işlevli salonlarda akustiğin yön gösterici olabilmesi için pratikte, tasarımcının az akustik teknik bilgisinin olması durumunda da önerilen yöntemle, uygun akustik performansı sağlayabilecek geometrik tasarımlara ulaşabilmesi ya da simülasyonları ve sonuçlarını yorumlayarak tasarımında akustik performans ilgili bilgi edinebilmesi hedeflenmiştir.

1.6 Tezin yapısı

Tezin ilk bölümünde, literatür taraması, ön proje, araştırma sorunu, amaç belirtilerek tezin yöntemi, kapsam ve kabuller açıklanmıştır.

İkinci bölümde; dijital teknolojiler ve mimari akustikle ilgili bilgiler verilerek, genel teorik açıklamalar yapılmıştır.

Üçüncü bölümde; önerilen algoritmik yöntem ve yöntemin örneklendiği, tez süresince kodlanarak geliştirilen Üç Boyutlu Aktif Programı'nın geliştirme süreci, özellikleri ve kullanım biçimi anlatılmıştır. Farklı geometrilere sahip dört salon modeli hazırlanarak, üzerlerinde geliştirme ve akustik performans testleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon testlerinin ilerleyişi ve test salonlarından çıkan bulgular değerlendirilmiştir. Testler, yöntemin ve programın çalışabilirliği, grafik olarak temsili, içermesi gereken özellikler, kullanılmayan kısımlar, tasarımcının kullanımına uygun olacağı düşünülen modüller, simülasyonlara eklenen akustik performans değerlendirme kriterleri, sesle ilgili tanımlamaların işleyişi, sonuçların görselleştirilmesi, kullanım kolaylığı, işlem süresi vb. konularda çeşitli sorulara yanıt verilebilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Test salonlarının mimari modelleri üzerinde çalışılarak, mimari tasarımda geometri ile ilişkilendiren ve akustik performansı arttıran etkiler konusunda da sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar da, bölüm 3.4 ve 3.6'da ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Aynı bölümde önerilen yöntemle, simülasyon programı ve alt programından çıkarılan sonuçlar, ayrıntılı akustik simülasyon ve hesaplama yapabilen Odeon programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma bulguları yorumlanmıştır. Süre karşılaştırmalarında, önerilen yöntemin tasarımcıya hız kazandırılabileceği düşünülen kullanım biçimleri, farklı tasarım senaryoları üzerinde incelenerek tezin 3. bölümünde

anlatılmıştır. Yöntemin kullanılmasına olanak sağlayan, Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının tasarımı ve iç yapısı anlatılarak, komut tanımlamalarını içeren bir kullanım kılavuzu oluşturulmuştur.

Dördüncü bölüm, sonuç ve değerlendirmeyi kapsamaktadır. Tez süresince sürekli simülasyonlar gerçekleştirilerek izlenmiş, simülasyonların belirli bölümlerinden örnek videolar da kayıt edilmiştir.

Beşinci bölümde, hazırlanan ön proje ile ilgili bilgiler, testlerden alınan ayrıntılı tablolar, veri setleri ve videoların teze aktarılması belirli zamanlarda alınan ekran görüntüleriyle olabildiği için, simülasyonlardan alınan ekran görüntüleri bulunmaktadır.

2. MİMARİDE AKUSTİK ve DİJİTAL TEKNOLOJİLER

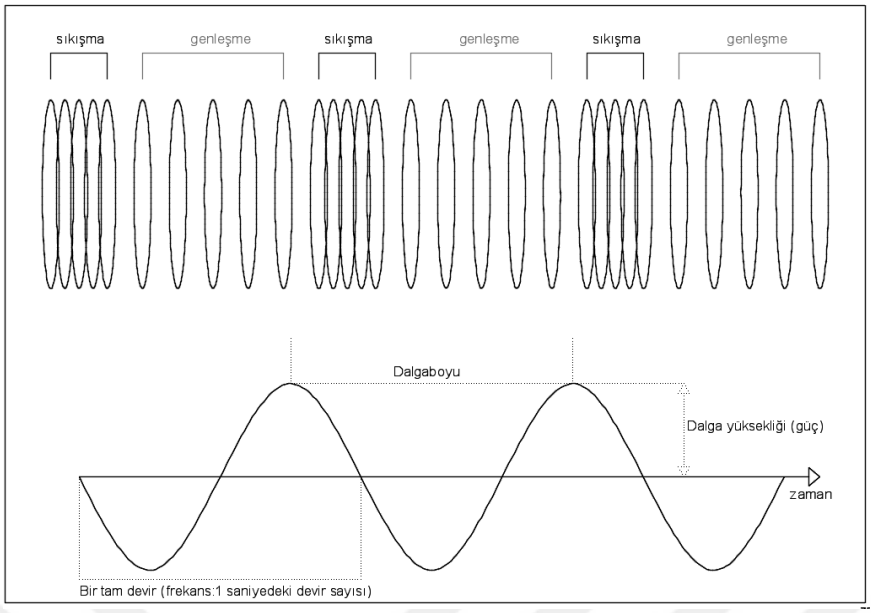
Günümüzde, mimarlıktaki en önemli gelişmelerden birinin, hesaplama teknolojilerinin tasarımda kullanılması olduğu kabul edilmektedir. Mimari tasarımda, tasarım düşüncesi ile ilgili sorular olsa da mimarinin yapı bilgisi alanında kullanılan teknikler hesaplama teknolojilerinin kullanımı ile geliştirilebilmektedir. Aşağıda; ülkemizde ve Dünya'da en güncel araştırma konularından olan, bilgisayar ve mimari akustik bilimleri ile ilgili teorik açıklamalar yer almaktadır.

2.1 Ses ve Başlıca Ses Olayları

Ses, işitilebilen ve basınç değişimlerinden kaynaklanan bir dalga hareketidir. Ses dalgalarının iletimi için elastik bir ortam gerekmektedir. Sesin hızı (m/sn), ses enerjisinin bir ortam boyunca ne kadar hızlı hareket ettiğini belirler. Her ortamın molekül düzeni farklıdır. Ses yayılma hızı, malzemenin elastiklik modülüne (kg/cm^2) ve birim ağırlığına (gr/cm^3) bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Likit ya da katı gibi yoğun moleküler yapılarda, havadakinden çok daha hızlı iletilmektedir. Havanın nem ve sıcaklığı ses hızını etkilemektedir.

2.1.1 Ses Dalgalarının Havadaki Fiziksel Özellikleri

Bir titreşim kaynağı, periyodik salınım hareketi ile hava moleküllerinin belirli bir frekansta sıkışıp genleşmesini sağlar ve kaynaktaki enerji havaya iletilmiş olur. Enerjinin değeri, kaynağın oluşturduğu titreşim genliğine bağlıdır. Örneğin tek telli bir ses ölçerde (*monochord*) titreşim hareketi gerçekleştiğinde, tele ne kadar enerji yüklenirse, tel aynı genlikte titreşmektedir. Teldeki titreşim genliği ne kadar büyükse ortam tanecikleri tarafından taşınan enerji de o kadar büyüktür. Enerjinin büyüklüğü ses şiddeti ile doğru orantılıdır. Aşağıda şekil 2.1'de, sıkışma ve genleşme hareketleri, dalga boyu ve frekans ve zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 2.1 : İletilen dalga hareketi grafiği

2.1.2 Frekans ve Desibel

Bir partikülün tamamladığı devreye devir denilmektedir. Bir saniyede tamamlanan devir sayısına frekans adı verilmektedir. Ses biliminde birim zamanda üretilen titreşim sayısını, başka bir deyişle dalga miktarını tanımlamaktadır. Birimi *Hertz* (Hz)'tir.

Ses, bir ortam içerisinde titreşimlerden oluşan fiziksel bir hareketle yayılmaktadır. Titreşim yüzdesi, geniş bir dizi üzerinde değişebilir. Eğer bu hareket, işitme frekansı dizisi içinde olduğunda, kulak ve diğer yardımcı organlar tarafından ses olarak algılanmaktadır (Demirkale, 2007).

İnsan kulağı, genellikle 20 ve 20 000 Hz arasındaki frekansları işitebilmektedir. Çevremizdeki sesler tek bir tondan olmayıp, farklı frekansların birleşiminden oluşmaktadır. Akustik biliminde oktav bant olarak isimlendirilen frekans aralıkları, hesap yapmayı kolaylaştırmaktadır. Bu aralıkların genellikle hesaplamalarda kullanılan merkez frekansları; 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000'dir. Yüksek frekanslı sesler, dalga boyu küçük, tiz seslerdir. Alçak frekanslar, dalga boyu büyük, pes seslerdir.

Ses gücü, bir referans güç değeri ile birlikte güç düzeyi olarak ifade edilebilmektedir. Ses gücünün referans değeri 10^{-12} Watt'tır. Ses gücü düzeyi aşağıda 2.1'de gösterilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

W : Ses gücü, Watt

Lw : Ses gücü düzeyi

Referans güç değeri (W_0): 10^{-12} (Watt)

Ses gücü düzeyi (L_w): $10 \log_{10} \frac{\text{Güç değeri (W)}}{\text{Referans güç değeri (W)}}$ (2.1)

Desibel (dB), ses ve sinyal ölçümleri için kullanılan, logaritmik ve göreceli bir ses düzeyi birimidir. Referans değer olarak genellikle 20 mikropaskal kullanılmaktadır (Peterson, 1980). Logaritmik ölçekle, değerler arasındaki büyük değişimler, daha kolay tanımlanır. Desibel, sabit bir birim değildir, bir oranı temsil etmektedir. İki güç değerinin oranının logaritmasını tanımlar. Ses dalgalarının hava moleküllerini titreştirerek atmosferde oluşturduğu değişim, ses basıncı olarak tanımlanmaktadır. Desibel, akustikte genellikle ses basınç düzeyi ya da ses düzeyini belirtir.

Güç düzeyi sonuçlarını vermek için desibel kullanılmaktadır. Hesaplamalarda, güç değerleri, trilyon ve 1 değeri arasında olduğu için logaritmik bir ölçek kullanılmakta, bu nedenle sayıların daha küçük değerler alması ve hesaplamaların kolaylaşması sağlanmaktadır (Peterson, 1980). Hesaplamalarda, watt ve desibel birimleri birbirine dönüştürülmektedir. Aşağıda çizelge 2.1'de sesin desibel ve watt değerlerinin karşılaştırması görülmektedir. Çizelge 2.2'de, günlük yaşamımızda işittiğimiz sesleri oluşturan ses kaynaklarının ses düzeyi değerlerinden örnekler görülmektedir.

Çizelge 2.1: Desibel ve Watt ses düzeyi karşılaştırması (Peterson,1980)

Ses düzeyi (dB)	Watt
100	0.01
110	0.1
120	1
130	10
140	100

Çizelge 2.2 : Çeşitli ses kaynaklarının ses düzeyleri (Demirkale, 2007)

Ses Düzeyi (dB)	Ses kaynağı
105	Kuvvetli rock müzik
90	Şehir, cadde gürültüsü
62	Açık trafikli yol
40	Konutta düşük düzeyde çalınan müzik

2.1.3 Dalga Boyu ve Genlik

Dalga boyu, bir dalga grubunun tekrarlanan birimleri olarak belirtilmektedir. λ ile gösterilmektedir. Bir hava molekülünün, denge pozisyonu ile yapabileceği maksimum yer değiştirme arasındaki farka da, genlik denilmektedir. Genlik büyüdükçe ses düzeyi de artmaktadır.

2.1.4 Sesin Hızı

Ses, 20 derece kuru havada (bağıl nem %0), yaklaşık 343 m/s hızla ilerlemektedir (Bohn, 1988). Sesin katı malzemeler içindeki hızı, havada yayılma hızına göre daha yüksektir. Ortamın sıcaklığı, basınç ve nem değerleri sesin hızını etkileyebilmektedir. Aşağıda çizelge 2.3'te, sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızları verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Sesin çeşitli ortamlarda yayılma hızları (Demirkale, 2007)

Ortam	Yayılma hızı (m/s)
21 derece hava	344
Su	1400
Cam	5200
Hava (20 derecede)	343

2.1.5 Sesin Kapalı Hacimlerde Başlıca Davranışları

Ses dalgalarının akustik ortamda, yansıma, kırılma, saçılma ve dağılma olmak üzere dört temel hareket biçimi bulunmaktadır. Bu olayların fiziksel özellikleri, ışığın optik alanındaki davranışı ile aynıdır (Cowan, 2000). Akustik ölçümler, varolan salonlarda doğrudan yapılabilirken, proje aşamasında olanlarda, çeşitli formül, program ve grafiklerden yararlanılmaktadır.

Kapalı hacimlerin, kaynak ve alıcı türüne göre farklı akustik gereksinimleri vardır. Tasarım yapılırken, salonun işlevi, mimari tasarımı, geometrisi ve bitiriş malzemelerine göre farklı değerler alan akustik parametreler incelenmektedir. Son zamanlarda değişen müzik üretim biçimleri, salonların çok işlevli tasarlanma gereksinimi, çeşitli elektronik cihaz ve özel teknolojilerle üretilmiş malzemelerin kullanılımı sonucu, akustik tasarım, geometrik ve formüllere dayalı hesaplamaların yanısıra, farklı alanlarda çalışan akustik bilimcilerinin ortak çalışması ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzdeki salonlarda, akustik mod değiştirilebilmekte, hareket eden ya da dönen mimari birimler kullanılabilmektedir.

Kaynaktan çıkan sesin, salondaki dinleyiciye ulaşması için, en önemli etkenlerden biri salonun geometrik yapısıdır. Akustik koşulları etkileyen geometrik parametreler; hacmin boyutları, formu ve içeride kullanılan malzemelerin özellikleri olarak sıralanmaktadır (Bayazıt, 1999). Bu durumda, sahne yapısı, tavan formu, çeşitli kotlarda yer alan platformlar, tavan, dinleyici düzlemi, balkonlar, pano ve paneller vb. fiziki etkiler salonun akustik yapısını oluşturmaktadır. Akustik tasarımda, öncelikle fiziksel yapı temel alınmakta, geometrik analizlerle doğru açılar bulunmakta ve doğru yerleşim oluşturulmaktadır. İlk adım, fiziksel yapıya uygun reverberasyon süresinin belirlenmesidir. Sonrasında özel yansımalar ele alınmaktadır (Cerda ve diğ. 2014).

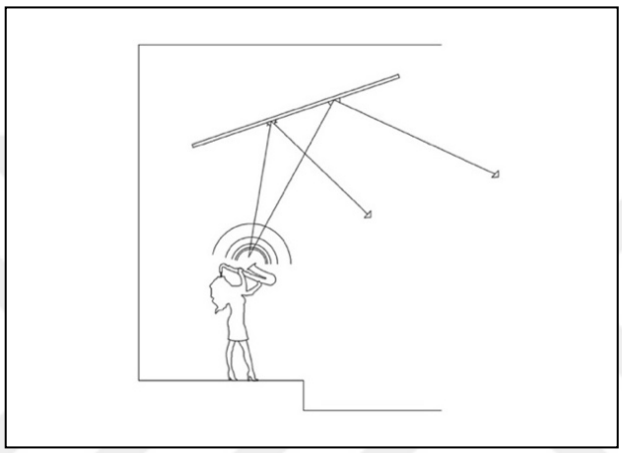
2.1.5.1 **Ses Yansıması**

Bir salonda kaynaktan çıkarak, duvar, zemin, vb. yüzeylere çarpan sesin bir bölümü yansımakta, bir bölümü yutulmakta ya da iletilmektedir. Gelen sesin dalga boyu, yüzey boyutlarından küçük, yüzey pürüzlerinden büyükse, ses ışını geldiği geliş açısı ile aynı açıda yansımaktadır.

Kaynaktan çıkan ses ışınları, hacmin geometrisine bağlı olarak yansımalar gerçekleştirir ve bir ses alanı meydana getirir. Kapalı hacimlerde oluşan ses alanı, direkt ve yansımış alanın birleşimidir. Direkt sesten sonraki ilk 50 ms içinde gelen

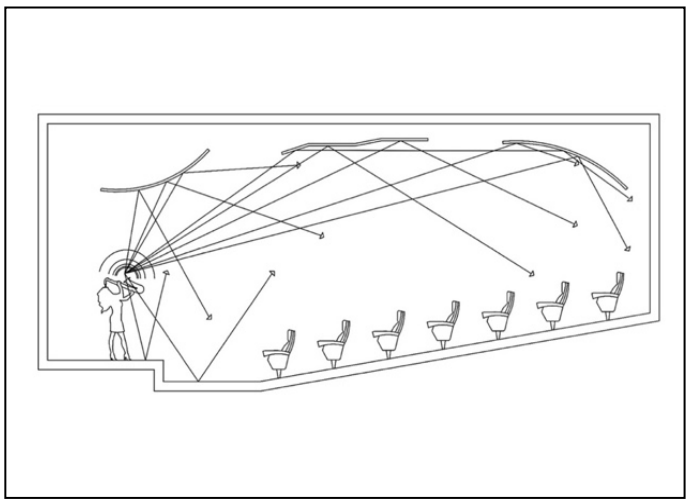
yansımalar ilk yansımalardır ve hacim akustiğinde büyük önem taşıyarak, dinleyiciye ulaşan sesin kalitesinin artmasına neden oldukları için faydalı yansımalar olarak nitelendirilmektedir (Bayazıt, 1999). Dinleyici, öncelikle direkt, sonrasında direkt ve yansımış ses yolları arasındaki uzunluk farkına bağlı bir zaman aralığından sonra yansımış sesi duyacaktır. Bu zaman gecikmesi 50 ms'nin üstündeyse, örnek olarak yol farkı 17 m'den fazla olan yansımalar, ekoları arttıracaktır (Demirkale, 2007).

Aşağıda şekil 2.2'de, ses kaynağından çıkan ses dalgasının düz bir akustik tavan panelinden yansımasının iki boyutlu temsili görülmektedir.



Şekil 2.2 : Ses dalgalarının, düz bir akustik tavan panelinden yansıması

Şekil 2.3'te sesin farklı biçimlerdeki akustik panellerden yansıması görülmektedir. Kapalı hacimlerde, yansımalar nedeniyle kaynak sustuğunda da reverberasyon devam etmektedir.



Şekil 2.3 : Ses dalgalarının farklı biçimlerdeki akustik tavan panellerinden yansıması

2.1.5.2 **Ses Yutumu**

Ses dalgası, bir yüzeye çarptığında enerjisinin bir kısmı yutulmaktadır. Malzemenin fiziksel özellikleri ve yüzey katmanları, yutumun değerleri açısından önemlidir. Özellikle yumuşak ve gözenekli malzemeler, insan ve belirli bilimsel kurallara göre tasarlanmış yutucu panellerin yüksek yutuculuk değerleri vardır. Yutum, yüzeye çarpan ses enerjisinin çoğu zaman ısı enerjisi olmak üzere, başka bir enerjiye dönüşmesi ile mümkündür. Hacimlerde yutuculuk, üç ana başlıkta hesaplanabilmektedir.

1. Salonda bulunan havanın yutuculuğu
2. Tavan, döşeme, duvar yüzeyleri ve hacimde bulunan diğer bileşenlerin yutuculuğu
3. İnsan ve eşyalar gibi nesnelerin ya da kombinasyonlarının (koltuk ve insan vb.) yutuculuğu

Özellikle hacime bakan, metrajı yüksek olan yüzeylerin salon yutuculuğuna etkisi büyüktür. İnsanların yutuculuğu salon kullanıcılarının sayısına, oturma ya da ayakta durma düzenine göre belirlenmektedir. Projelerde hesaplar, genellikle salonun tam doluluk ve yarı doluluk oranlarına göre yapılarak boş durumla karşılaştırılmaktadır. Salon tasarımında kullanılan malzemelerin miktarı, salonda bulundukları konum ve yerleştirilme biçimlerinin salon akustiğine büyük etkisi bulunmaktadır. Salonlarda kullanılan malzemeler; kalınlık ve uygulama yüzeyi boşluklarına, yoğunluk, akış direnci, gözeneklilik, strüktürel vb. özelliklerine göre farklı yutuculuk değerleri içerir. Yutuculuk katsayısı α ile gösterilmektedir. Bu değer ne kadar büyükse, yüzey o derece yutucu kabul edilmektedir.

Salonların akustik tasarımında, literatürde yer alan bilgilerden yola çıkılarak, yutucu malzemelerin yerleri ile ilgili çeşitli öngörüler yapılabilmektedir. Tasarım sürecinde, her eklenen ya da çıkarılan malzemenin, miktar ve yutuculuk katsayılarının çarpımı kadar salonun toplam yutuculuğuna bu nedenle de salondaki reverberasyon süresine etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, salonda kullanılan malzemeler, laboratuar testleri ile ölçülerek belirlenmiş yutuculuk katsayıları ile birlikte ele alınıp, değerlendirilmelidir.

Aşağıda çizelge 2.4'te, çeşitli malzemelerin yutuculuk katsayılarından örnekler görülmektedir.

Çizelge 2.4 : Çeşitli malzemelerin yutuculuk katsayıları (Alman Fiziksel Teknik Devlet Enstitüsü – Url-30)

Malzeme	Oktav Bant Frekansları - Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Beton duvar	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Ahşap kapı	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
50 mm, 80 kg/m^3 taşyünü	0.22	0.65	0.92	0.90	0.88	0.88

Salon tasarımının ilk aşamalarında, hassas hesaplamalar yapılmadan ortalama değer ile de çalışılabilmektedir. Final tasarımdaysa farklı frekanslardaki dağılımların da uygun düzeylerde olması önemlidir. Örneğin bir salonda büyük miktarda bas frekanslarda yüksek yutuculuk değerine sahip malzeme kullanılmışsa, salondaki bas frekans dengesini bozarak müziği olumsuz etkileyebilmektedir.

2.1.5.3 **Ses Saçılması**

Bir ses dalgası kendi dalga boyundan küçük yüzeylere çarptığında, değişik yönlerde saçılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve mimari eleman boyutları saçılmayı doğrudan etkilemektedir. Bir elemanın genişliği, saçılmak istenen frekansın dalga boyu ile aynı olduğunda, eleman saçıcı görevi görmekte, yüzeyin saçıcılık değeri saçıcılık katsayısı (δ) ile belirlenmektedir (Bayazıt, 1999).

2.1.5.4 **Ses Kırılması (*Refraction*)**

Ses kırılması, ses dalgalarının bir obje etrafında veya bir açıklıkta eğilmesi ya da akması olarak tanımlanmaktadır. Ses dalgaları, salonda köşeler, kolonlar, duvarlar, kirişler gibi engeller nedeniyle bükülmekte, uzaklaşmakta ya da saçılmaktadır. Kırılma genellikle, düşük frekanslarda söz konusudur (Demirkale, 2007).

2.1.5.5 **Ses Odaklanması**

Yansıyarak gelen ışınların tek bir noktada toplanması durumudur. Ses yoğunluğu, konkav yüzeylerdeki ses yansımaları nedeniyle odak noktası oluşturabilmektedir. Ses

odaklanması yaşanan alanlarda, mekanın merkezi ve etrafındakiler birbirlerinin seslerini hoperlörden geliyormuş gibi güçlendirilmiş ve yankılı duyabilmektedir (Demirkale, 2007).

2.1.5.6 **Ses Gölgeleri**

Hacimlerde dinleyici alanında direkt ses alınamayan bölgeler, ses gölgesi olarak tanımlanmaktadır (Demirkale, 2007). Örneğin, salonlarda bulunan kalın kolon arkası bölgeler, balkonların belirli bir bölümü olabilir. Direkt ses ışınının dinleyici ile arasında bir engel olması ve engelin arkasında kalan bölümüne ulaşamaması nedeniyle oluşabilmektedir.

2.1.5.7 **Ses Yeğinliği (*Intensity*)**

Birim zamanda, yayılma doğrultusuna dik birim alandan geçen ses gücünün ortalama değeridir. Bağıntı 2.2'de görülmektedir. Birim alana düşen akustik güç (W) olarak da tanımlanabilmektedir. Birimi Watt/metrekaredir (Barron, 2003). Bu değer, Türkçe kaynaklarda yeğinlik (Kurtay, C., Eryıldız Irklı, D., Harputlugil Ulukavak, G., 2008) veya ses şiddeti (Demirkale, 2007) olarak isimlendirilmektedir. Logaritma kullanılarak daha küçük değerlerle işlem yapılabilmektedir. Bir akustik kaynağın Watt cinsinden ifade edilen ses gücü ile karakterize edilmektedir. Ses yeğinliğinde kullanılan referans değer 10^{-12} Watt'tır (Long, 2006).

$$\text{Ses yeğinliği} = \frac{\text{Güç}}{\text{Alan}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \tag{2.2}$$

Düzlemsel ses dalgaları için, ses şiddeti, akustik güç ve yüzey alanı ile ilişkilidir (Barron, 2003). Aşağıda bağıntı 2.3'te ölçüm formülü görülmektedir.

E = Ses dalgasının enerjisi (N m/s)

W = Ses gücü (W)

I (θ) = Yeğinlik (W / m^2)

S = alan

P = Dalganın periyodu (s)

θ = Yayılma yönü ile normal arasındaki açı

$$\text{I}(\theta) = \frac{\text{W}}{\text{S}} = \frac{\text{E}\cos(\theta)}{\text{P S}} \tag{2.3}$$

Maksimum yeğinlik hesaplanırken, yüzeyin normali ile yapılan açı 0 kabul edilmektedir (Long, 2006). Mimari akustik modelleme sistemlerinde, küresel dalgalar modellenmektedir. Bu nedenle, bağıntı 2.3'ün yüzey alanı bölümüne, bağıntı 2.4'te görülen toplam küresel alan formülü gelmektedir.

Mimari akustikte, ters kare yasası olarak bilinen, sesin küresel yayılma biçimi nedeniyle, sesin şiddeti, uzaklığın ters karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır. Toplam küresel alan formülü, bağıntı 2.4'te görülmektedir.

r = kaynak ve alıcı arasındaki mesafe

$$\text{Toplam küresel alan} = 4\,\pi\,r^2 \tag{2.4}$$

Bu sayede, bir noktasal kaynaktan yayılan ses dalgasının bir noktadaki şiddeti, kaynaktan uzaklığına göre hesaplanabilmektedir. Direkt alandaki ses şiddeti, küresel yayılım yapan bir kaynağa göre, bağıntı 2.5'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

Id = Direkt alandaki ses şiddeti

W = Ses kaynağının gücü

$$I_d = \frac{W}{4\pi r^2} \tag{2.5}$$

Yansımış alanda ise, salon yüzeyleri ve malzemesine bağlı olarak hesaplanan hacmin toplam yutuculuğunu ifade eden hacim sabiti kullanılmaktadır. Bu durumda, aşağıda görülen bağıntı 2.6 kullanılmaktadır.

Ir, reverberant alandaki ses şiddetini belirtmektedir.

R = Hacim Sabiti

$$I_r = \frac{4W}{R} \tag{2.6}$$

2.2 Salonlarda Akustik Kaliteyi Etkileyen Parametreler

Salonların akustik özellikleri; nesnel ve öznel parametrelerle incelenmektedir. Tasarıma yönelik biçim ya da geometrik önerilere de mevcut salonların performans değerlendirmeleri ile literatürde karşılaşılmaktadır. Nesnel akustik parametreler, ölçüm ve laboratuar çalışmalarına, hesaplamalara dayalı bilgileri içermektedir. Öznel akustik parametreler ise, dinleyicilerin salonu yorumlamalarına bağlı olarak edinilen akustik performans değerlendirme bilgilerini kapsamaktadır. Bilim insanları diğer

nesnel ve öznel parametreler arasında ilişkiler kurarak, ölçümler ve hesaplamalar yaparak salonlarda akustik performansı ölçmektedir. Nesnel akustik parametrelerden örnekler; reverberasyon süresi, erken düşme süresi, konuşma anlaşılabilirliği, netlik, ses yüksekliği (ses düzeyi), yanal enerji oranı, kulaklararası çapraz ilişki katsayısı olarak sıralanabilmektedir. Öznel akustik parametrelere örnekler ise, sıcaklık, doku, canlılık, samimilik, parlaklık, bas oranları, dinleyicinin kuşatılmışlığı gibi müzikle ya da konuşma etkinlikleriyle de ilişkilendirilen parametreler olarak sayılabilmektedir. Tezin literatüre bakış ve akustik tasarım yöntemleri bölümlerinde anlatılan, konuyla ilgili çalışmalar gerçekleştiren, Beranek, Marshall, Ando, Barron, Bradley, Gade gibi pek çok araştırmacı, akustik parametrelerin geometri ile ilişkilerini kurmuştur. Bayazıt çalışmasında, belirtilen araştırmacıların çalışmalarını inceleyerek öznel ve nesnel parametreler arasındaki ilişkileri detaylı olarak anlatmıştır (Bayazıt, 1999). Nesnel ve öznel parametreler, içinde bulunulan fiziksel mekana göre değerlendirilmektedir. Bu nedenle salon geometrisi (hacim, boyutlar, dinleyici alanı balkon vb. salonda bulunan simülasyona katılan tüm yapısal birleşenler salon geometrisi içine katılmıştır) ve malzemesinden etkilenmektedir. Dinleyiciye ulaşan ses düzeyi (Ando, 1985) ve reverberasyon süresi değeri (Sabine, 1923), salonlarda dinleme kriterlenin en önemlileri olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle, başlangıç noktası olarak, ses dağılımı, dinleyiciye ulaşan düzeyler ve reverberasyon süresi kriterleri algoritmaya işlenmiştir. Tezin kapsam bölümünde belirtildiği gibi, çeşitli nesnel ve öznel parametreler ihmal edilmiştir.

2.2.1 Ses Kaynakları ve Sesin Dağılımı

Müzik ve konuşma etkinlikliklerinin gerçekleştirildiği salonlarda, farklı özelliklerdeki ses kaynakları bulunabilmektedir. Hoperlör ve ses sistemleri, müzik enstrumanları ve insan sesi bu kaynakların başlıcaları olarak sayılabilir. Akustik yazılımlarda, ses kaynakları kodlanarak modellenmektedir. Simülasyonlar, ses kaynaklarının bulunduğu noktaların koordinatlarına göre yapılmaktadır.

Küresel olarak yayılım yapan bir kaynak modeli için yukarıdaki bağıntı 2.5 kullanılmaktadır (Ginn, 1978). Bu bağıntı ile ses kaynağından yayılan akustik güç bulunmaktadır. Değişik kaynak konumları için farklı kaynak yöneltim faktörleri kullanılmaktadır.

Ses kaynağı, zeminde ya da duvar vb bir yüzeyle bitişik konumda duruyorsa, Q ile gösterilen kaynak yöneltim faktörü de hesaplara katılmaktadır (Barron, 2003). Örneğin, kaynak zemindeyse, bu faktör, ses ışınlarının gidemediği alanı hesaplardan çıkarmaktadır. Bu durumda, ses ışınlarının taradığı toplam alan, yarım küresel alan olan, $S= 2x\pi r^2$ olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, Q = 2 alınmaktadır. Kaynak birbirine dik zemin ve duvar arasında olduğunda, yayılma modeli dörtte bir küresel alana göre hesaplanmakta, Q = 4 olmaktadır (Barron, 2003). Salonlarda, şarkı söyleyen bir insanda olduğu gibi kaynak noktası havada bir noktada durmakta ve küresel yayılım gerçekleştirmektedir. Bu farktör, serbest alanda kaynak döşeme ve tavan arasında asılı konumda olduğunda 1 kabul edilmektedir (Ginn, 1978).

2.2.1.1 **Ses Düzeyleri**

Weber-Fechner yasasına göre, duyulara neden olan uyarıların şiddeti, kaynak şiddetinin logaritması ile orantılıdır. Duyumun büyüklüğü, uyarıcının büyüklüğünün logaritması ve bir sabit değer ile hesaplanabilmektedir. Duyumdaki değişiklik, uyarıcıdaki değişiklikle ilgilidir. Akustik biliminde de düzeyler oranlarla ifade edilmektedir. Bir düzey, iki sayının birbirine oranının logaritmasının on katı olarak ifade edilmektedir. Ses düzeyleri için değerler aşağıda çizelge 2.5'te belirtilmiştir.

Ses düzeyleri, logaritmik olarak toplanarak hesaplanabilmektedir. Örneğin ikisi de 70 dB ses düzeyine sahip seslerin toplamı 73 dB olacaktır.

Çizelge 2.5 : Ses düzeyleri için referans değerler (Beranek, 1992, Long, 2006).

Düzey (dB)	Formül	Referans değer
Ses yeğinliği (*sound intensity*)	$L_I=10 \log (I / I_0)$	$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2
Ses basıncı (*sound pressure*)	$Lp=20 \log (p / p_0)$	$P_0 = 20$ μ Pa $=2 \times 10^{-5}$ N/m^2
Ses gücü (*sound power*)	$Lw=10 \log (W / W_0)$	$W_0 = 10^{-12}$ W

Ses düzeyini ölçen düzey formülleri sayesinde, kaynakla hacimsel bağlantısı bulunan yüzeylerde ortalama ses basınç düzeyi ölçülerek, kaynağın ses gücü düzeyi değerlendirilebilmektedir (Long, 2006).

2.2.1.2 **Ses Basınç Düzeyi (SPL)**

Ses dalgalarının hava moleküllerini titreştirmesi ile atmosferik basınçta oluşan değişime ses basıncı denilmektedir. İnsan kulağı, tek bir sesin basıncını değerlendirememekte, başka bir ses ile karşılaştırarak hangi sesin daha yüksek ya da alçak olduğuna karar verebilmektedir (Demirkale, 2007). Ses basınç düzeyi, akustik dalga gücünün tanımlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır ve insanın ses yüksekliği (*loudness*) algısı ile bağlantılıdır (Long, 2006). Mimari akustikte ses basınç düzeyi, SPL olarak belirtilir. SPL değeri, kapalı hacimlerde, salonun özelliklerini yansıtmaktadır. Kuttruff, direkt olmayan ses kaynağı kullanılarak ölçülmesi gerektiğini düşünmektedir (Kuttruff, 2000). Ses yeğinliği (*intensity*) ve ses basıncı değerleri, neredeyse birbirine eşittir. Ses basınç düzeyi duymayla ilgili olsa da teknik hesaplamada yeğinlik değeri kullanılmaktadır (Long, 2006). Mimari akustik sorunlarının çoğunda genellikle ses basınç düzeyi, ses yeğinliğine eşit alınmaktadır (Demirkale, 2007).

2.2.1.3 **Direkt ve Yansımış Ses Alanının Enerji Hesaplanması**

Geometrik akustikte ses bir enerji fonksiyonudur ve enerjilerin toplanması mümkün olmaktadır. Salonlardaki enerji yoğunluğu, yansımalarda yüzeylerin yutuculuk katsayısına ve havanın yutuculuğuna bağlı olarak azalmaktadır. Geometrik simülasyon modellerinde, hacmin toplam yutuculuğu esas alınarak hesaplanmaktadır. Oluşturulan yazılım modeline göre, havanın yutuculuğu istenildiğinde eklenilebilmektedir. A ile gösterilen toplam yutum alanının açılımı aşağıda bağıntı 2.7'de belirtilmiştir. Ortalama yutuculuk katsayısı αort, farklı frekans bantlarındaki yutuculuk katsayılarının ortalamasını tanımlamaktadır.

A = Salondaki Toplam Yüzey Yutum Alanı

α_{ort} = Ortalama yutuculuk katsayısı

$$A = \frac{(S.\alpha_{ort})}{(1-\alpha_{ort})} \tag{2.7}$$

Direkt sesin enerji yoğunluğuna E_D, yansımış seslerin enerji yoğunluğuna E_Y ismi verildiğinde hacim içinde oluşan toplam enerji yoğunluğu (E_T) aşağıda görülen 2.8 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

E_T = Toplam enerji yoğunluğu

E_D = Direkt alan enerji yoğunluğu

E_Y = Yansımış alan enerji yoğunluğu

$$E_T = E_D + E_Y \quad (2.8)$$

Direkt alanda seslerin enerji yoğunluğunun açılımı bağıntı 2.9'da belirtilmiştir.

Q = Kaynak yöneltim faktörü

W= Ses kaynağının gücü (W)

r = Kaynak ve dinleyici arası uzaklık

c = Sesin havadaki hızı

$$Ed = \frac{W\,Q}{c4\pi r^2} \quad (2.9)$$

Yansımış alanda seslerin enerji yoğunluğunun açılımı bağıntı 2.10'da belirtilmiştir. Toplam yüzey yutum alanı ve havanın yutuculuğunu kapsamaktadır.

$$Ey = \frac{4\,W}{c\,R} \quad (2.10)$$

Yukarıdaki bağıntılarda görüldüğü gibi, hacimde çeşitli dinleyici noktalarında elde edilen ses düzeylerine; kaynak ve alıcı arası mesafe, ses hızı, hacimdeki toplam yutuculuk ve kaynağın konumunun etkisi bulunmaktadır.

2.2.1.4 **Sabine, Eyring denklemleri, T60 ve T30 yöntemleri**

Sabine'nin (Sabine, 1923) bilime kattığı reverberasyon süresi değeri; günümüzde akustik kalitenin değerlendirilmesinde kullanılan temel akustik parametredir. Konuşma anlaşılabilirliği ve uygun müzik dinleme koşullarının sağlanabilmesi için gerekmektedir. Bu parametre, kaynaktan çıkan ses düzeyinin alıcı noktalarında 60 dB azalması için geçen süre olarak tanımlanmaktadır. T_{60}, olarak belirtilen değerde, 60 dB düşüş, başlangıç enerjisinin milyonda biri kadar düşmesi anlamına gelmektedir. T_{30} olarak belirtilen değerde ise, 30 dB ses düzeyi düşüşü gerçekleşmektedir. Deneysel bulgulara dayanarak oluşturulan reverberasyon formülü, salon hacmi ve salon yüzeylerinin toplam yutuculuğu, dinleyici ve salonda bulunan mobilya benzeri birimlerin yutuculuğu ile ilgilidir. Formül, Eyring (Eyring,1930) tarafından geliştirilmiştir. Aşağıda çizelge 2.6'da iki formül de görülmektedir.

A_e = Etkili yutuculuk alanı (Toplam yutum) (m^2)

A = Salondaki toplam yutum alanı

S = Yüzey

α = Salon yüzeylerinin ortalama yutuculuk katsayısı

A_{hava} = Havanın yutuculuğu

V = Salonun toplam hacmi

S_T = Toplam yüzey alanı

m = Hava için enerji zayıflama sabiti

Çizelge 2.6 : Reverberasyon süresi formülleri

Sabine Formulü (Beranek, 2006)
$T_S = 0.161\ V / A_e$ $\quad A_e = A + 4mV$ $A = \alpha_T S_T$ $\quad A_{hava} = 4mV$ $\alpha_T = (\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3) / S_T$
Eyring Formulü (Beranek, 2006)
$T_E = 0.161\ V / (A' + 4mV)$ $A' = S_T [-2.30 \log_{10}(1 - \alpha_{ey})]$ $\alpha_{ey} = (\alpha'_1 S_1 + \alpha'_2 S_2 + \alpha'_3 S_3) / S_T$

2.2.2 Salonların Reverberasyon Süresi Açısından Değerlendirilmesi

Kapalı salonlarda reverberasyon süresi hesaplamaları, en önemli değerlendirme kriterlerinden biridir. Reverberasyon süresi değerleri, salon boyutları, hacmi, iç mekan malzemeleri ve mobilyalarının farklı frekans bantlarında yutuculuk katsayıları, bu malzemelerin ve salonda kullanılan oturma birimi vb. elemanların yüzey alanları, salonda bulunan kişi sayısı ve hava miktarı eklenerek yapılan hesaplamaların sonucunda farklı frekans bantlarında elde edilmektedir. Bu değerler; daha önce inşa edilmiş ve değerlendirilmiş salonlardan hazırlanan bilimsel çalışmaların sonuçlarına göre oluşturulan çeşitli değer ve grafiklerle karşılaştırılarak mimari ve akustik açıdan yorumlanmaktadır. Yorumlamada en önemli kriterlerden biri mekanın işlevi, diğeri de hacmidir. Bu nedenle, tasarımcılar bir projeye başlarken salonun hacmi ve işlevini bildiklerinde, literatürden uygun yaklaşık reverberasyon süresi değerlerini

bulabilmekte ya da tahmin edebilmektedir. Ülkelerin salon işlevine göre devlet tarafından standartlarla belirlenmiş uyulması gereken reverberasyon süresi değerleri bulunmaktadır (Olshausen, 2019). Tasarımda, uygun reverberasyon süresi değerini yakalamak için düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemeler ve salonun uygun reverberasyon süresine sahip olması, uygun geometrik tasarım, yutucu ve yansıtıcı yüzeylerin doğru konumlandırılması, salon boyutları, hacmi, malzemeleri ve kişi sayısı ile ilişkilendirilmektedir.

2.2.2.1 **Mevcut salon reverberasyon değerleri**

Beranek, salonlarda akustik tasarımcıların gerçekleştirdikleri işlerde, reverberasyon süresinin anahtar pozisyonunda olduğunu belirtmekte ve bu süreyi ses düşüşü süreci olarak nitelendirmektedir. Reverberasyonun, kendi başına ne istenmeyen ne de istenen bir durum olduğunu belirterek, müzik sırasında notaların arasını dolduran reverberasyonu besteci ve performans gerçekleştiren kişilerin sahip olduğu bir bileşen olarak görmektedir. Dinleyicilerin kulakları da, uygun reverberasyon süresine sahip olmayan bir salondaki müzikte bir uygunsuzluk olduğunu algılayabilmektedir. Örneğin bir katedral için bestelenmiş bir müzik, hacimsel olarak çok daha küçük ve farklı malzemeli bir oda müziği salonunda çalındığında, dinleyiciler bu uyumsuzluğun farkına varabilmektedir.

Beranek, 100 farklı mevcut salonda gerçekleştirdiği ölçüm çalışmaları ile, çeşitli teknik ayrıntı ve akustik parametre değeri bulmuştur. Bu değerleri, bir indeks haline getirmiştir (Beranek, 2004). Aşağıda çizelge 2.7'de, ilgili salonlardan alınan ölçüm sonuçları görülmektedir. Ölçümler 125, 500 ve 2000 Hz bantlarında belirtilmiştir.

Çizelge 2.7 : Beranek'in belirttiği çeşitli konser salonu ölçüm değerleri (Beranek, 2004)

Salonlar	Reverberasyon Süresi Değerleri (saniye)		
	125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Boston, Symphony Hall (1900)	1.95	1.90	1.59
Berlin, Konzerthaus (1986)	2.20	2.00	1.80
Vienna, Musikvereinssaal (1870)	2.25	2.04	1.80

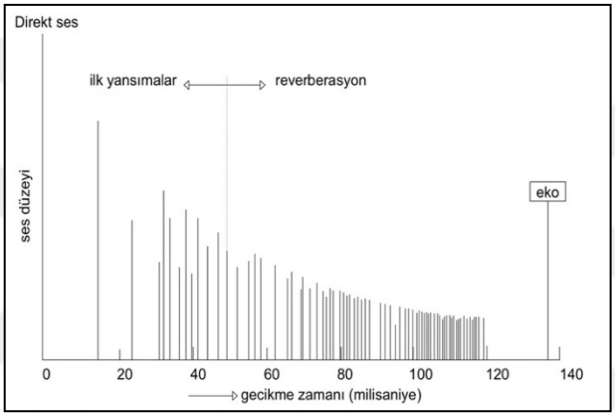
Akustik açıdan olumlu olarak değerlendirilen salonlar, tasarımcılara tasarımlarını gerçekleştirmek için örnek oluşturup, akustik konusundaki araştırmalara ışık tutmuştur. Bu sayede, olması gereken optimum reverberasyon süresi grafikleri oluşturulmuştur (URL-47). Tasarımcı, salon tasarımında optimum değerleri sağlamaya ya da onlara yaklaşmaya çalışmaktadır. Salonun hacim ve işlevine göre, optimum reverberasyon süresi değerlerini, kendi tasarımında gerçekleştirdiği hesap sonuçları ile karşılaştırabilmektedir. Reverberasyon süresi, salon tasarımında ana kriterlerden biri olsa da, akustik tasarımda tek başına yeterli değildir. Örneğin, salonlarda farklı dinleyici noktalarındaki öznel algılamalarla ilgili değerlendirme farklılıklarını öğrenmek isteyen bir tasarımcı, reverberasyon süresinin yanında farklı parametrelerle de çalışmalıdır (Bayazıt, 1999).

2.2.2.2 **Direkt ve yansıyan ses, hacmin sinyal tepkisi, eko**

Kapalı hacimlerde ses dalgaları, duvar, zemin, tavan vb. salon yüzeylerine çarparak yansımakta ve fiziksel bir ses alanı meydana getirmektedir. Kaynaktan çıkarak, hiç bir yüzeye çarpmadan dinleyicilere ilk ulaşan ses ışınları, direkt ses, yüzeylere çarpıp yansıyarak dinleyicilere ulaşan ses ışınları yansıyan ses olarak isimlendirilmektedir. Dinleyici noktasındaki ses enerjisini etkileyen en önemli etken, hacmin geometrik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Salon yüzeylerinin malzemesine ve geometrik forma bağlı olarak oluşan yansımalar, dinleyici noktasında oluşan ses enerjisinin dolayısıyla subjektif ses yüksekliği (*loudness*) değerinin artmasına neden olmaktadır (Bayazıt, 1999). İlk yansımalar, reverberasyon ve eko; hacmin sinyal tepkisi grafiklerinden okunabilmektedir. Sinyal tepkisi diyagramında, ilk yansımalardan yaklaşık 10 milisaniye sonra alıcıya ulaşan yansımaların sayısı artmakta ve bu yansımaların enerjileri, alıcı noktasına ulaşma süreleri arttıkça daha fazla yutuldukları için azalmaktadırlar (Kuttruff, 1994). Aşağıda şekil 2.4'te, bir hacmin akustik sinyal tepkisini gösteren grafik görülmektedir.

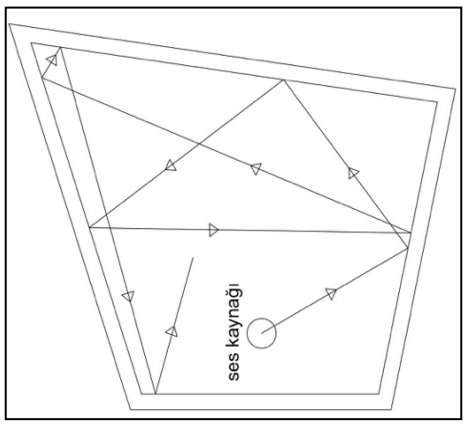
Kulağımız tüm yansımaları tek tek ayırt edememektedir. Hacmin içinde oluşan akustik alanı algılayarak, subjektif olarak değerlendirmektedir. Örneğin, genellikle direkt sesin taşıdığı enerji, dinleyiciye ulaşan toplam ses enerjisinin yalnızca küçük bir kısmını oluşturmasına karşın, kaynağın yönünü belirlememizde en önemli etkendir. Bu durum, direkt sesten sonraki ilk 50 ms içinde gelen faydalı yansımaların subjektif olarak ses kaynağının hacmini ve boyutlarını büyütmesi ve kaynağın ses yüksekliğinin

artmış gibi algılanmasına neden olmaktadır. Direkt sesten 100 milisaniye sonra ulaşan yansımaları da kulağımız ayırt edememekte ve bu yansımalar gecikmiş yansıma ya da reverberant sesler olarak isimlendirilmektedir. Ekogram olarak isimlendirilebilen sinyal tepkisi grafiği eko ile karıştırılmamalıdır. Eko, kulak tarafından anlaşılabilir bir ses tekrarıdır, anlaşılmaz olan yasımalarla karıştırılmamaktadır (Barron, 1993; Bayazıt 1999). Eko, bir akustik kusur olarak tanımlanmaktadır. Bu tür yansımada, yansımalar ayrı bir olay olarak duyulmaktadır. Bir yansımanın yankı yaparak eko sayılabilmesi için direkt sesten en az 50 ms sonra gelmelidir. Salonlarda, büyük bir yüzeyden gelmeyen yansımalar eko olarak algılanmamaktadır (Barron, 1993). Aşağıda şekil 2.4'te bir hacmin sinyal tepkisi grafiğinde eko görülmektedir.



Şekil 2.4: Bir hacmin sinyal tepkisi grafiğinde (Kuttruff, 1994, Bayazıt, 1999) eko.

Doelle, geometrik yansımaların salona etkileri üzerinde çalışarak, oditoryumlarda genellikle kullanılan biçimler ve yansımalardan kaynaklanan uygun reverberasyon süresi ilgili önerilerde bulunmuştur. Aynı zamanda eko, odaklanma, uzun gecikmeli yansımalar, gölge bölgeleri vb. geometri ile ilgili akustik bozuklukları da belirli salon şekillerinde incelemiştir (Doelle, 1972).



Şekil 2.5: Bir mekandaki çoklu yansımalar

Yukarıda şekil 2.5'te bir ses kaynağından çıkan ses ışınının mekandaki farklı yüzeylerden geometrik prensiplere göre yansıması görülmektedir. Ses ışını, ilerlerken yüzeylerle kesiştiğinde enerjisini belirli miktarlarda (malzemenin yutuculuğuna bağlı olarak) kaybetmektedir.

Doelle (1972), Barron (1993), Beranek (2004) gibi araştırmacılar, geometri ve yansımaları inceleyerek, çeşitli salon akustiği değerleri tanımlamışlardır. Tasarımcılar, bu kriterleri genellikle bilmekte, bu konuda çalışan araştırmacıların hazırlamış olduğu uygun reverberasyon süresi ve salon hacmi grafiklerinden yararlanmaktadır. Tasarımcılar, bu bilgiler doğrultusunda, farklı tasarım yöntemleri kullanarak tasarımlarını geliştirmektedir.

2.3 Akustik İşlevli Salonlarda Akustik Tasarım Yöntemleri

Akustik işlevli salonlarda akustik tasarım, salonların geometrisi, işlevsel gereksinimleri, öznel ve nesnel parametreleri temel alınarak akustik ölçekli maketler ya da akustik simülasyon programları yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Ölçekli maketler; yüzey boyut ve malzemelerinin tanımlama güçükleri, salonun fiziksel yapısının gerçekten farklı olması, üretiminin güç olması ve ölçüm ekipmanlarına gereksinim duyulması vb. nedenlerle uzun zaman alan bir yöntemdir. Günümüzde genellikle bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Projenin önemine ya da bütçesine göre, ölçekli maketler ve bilgisayar modelleri bir arada kullanılabilmektedir.

Kapalı hacimlerde hacim akustiği hesapları, üç temel hesaplama teorisine dayanarak yapılmaktadır. Bu teoriler; dalga akustiği teorisi, istatistiksel akustik teorisi ve geometrik akustik teorisi'dir. Dalga akustiği teorisinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sınır elemanları yöntemi (BEM), farklılık yöntemleri ya da analitik yöntemler, dalga denklemleri ile ilgilenmektedir. İstatistiksel akustik teorisinde, ses tanecikleri ve enerjileri incelenmekte, istatistiksel olarak analizleri yapılmaktadır. Bu yöntemler, salonların akustik tasarımı için gereken verileri pratik bir biçimde kullanıcıya sağlayamamaktadır (Bayazıt, 1999). Dalga akustiği teorisi güncel olarak geliştirilse de, mimaride genel olarak geometrik akustik teorisi kullanılmaktadır. Geometrik ve istatistiksel akustik teorileri, sesin dalga karakteristiğini ele almamaktadır. Ses ışınlarının yansımaları ile ilgilenmektedir. Akustik açıdan temel amaç, ses kaynağından çıkan sesin, dinleyiciye en uygun biçimde ulaşmasını

sağlamaktır. Bilim insanları, salonları değerlendirerek çeşitli kriter önermişlerdir. Aşağıda bu çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Beranek, (Beranek, 1993) konser ve opera salonlarında ayrıntılı anket, ölçüm ve inceleme çalışmaları yaparak, salonların akustik yapısını ortaya koymuştur. Barron (Barron, 1997, 2007), oditoryum ve konser salonlarında incelemeler yaparak tasarım ve modelleme konularında ölçüm ve önerilerde bulunmuştur. Mehta, Johnson ve Rocafort, (Mehta ve diğ, 1999) müzik, tiyatro, sinema, çok amaçlı salonlar ve stüdyolarla ilgili çalışmasında akustik işlevli salonların tasarımı ile ilgili geometrik önerilerde bulunmuştur.

Mahalingam (Mahalingam, 1998), akustik işlevli mekanların tasarımında deneme yanılma yöntemlerinin kullanıldığını, yeni tasarlanan salonlarda akustiği beğenilen salonlardaki akustik parametre ulaşılmaya çalışıldığını belirtmiştir. Konuya şu şekilde katkıda bulunmuştur:

> "The manipulations of the space's shape and form to achieve the match, are done in an arbitrary fashion, with no explicit understanding of the relationships between the shape and form of the space and the corresponding acoustical parameters. There has been extensive research conducted in the 1960s, 1970s and 1980s by Ando (1985), Barron (1988), Barron & Lee (1988), Beranek (1962), Bradley (1986, 1990), Cremer (1978), Hawkes (1971) and Sabine (1964) to establish those aspects of the auditory experience that are important in the perception of the acoustical quality of a space, and how they relate to objectively measured acoustical parameters in that space. There has not been much research conducted except by Gade (1986, 1989) and Chiang (1994) regarding the relationships between acoustical parameters and the shapes and forms of the spaces in which they are generated" (s.145).
>
> (Türkçe çevirisi: "Mekanın şekil ve formu üzerinde, eşleşmeyi gerçekleştirmek için yapılan manipülasyonlar, mekanın şekil ve formunun ilgili akustik parametrelerle ilişkisini açıkça anlamadan, keyfi bir biçimde yapılmaktadır. 1960, 1970 ve 1980'lerde Ando (1985), Barron (1988), Barron & Lee (1988), Beranek (1962), Bradley (1986, 1990), Cremer (1978), Hawkes (1971) ve Sabine (1964) tarafından gerçekleştirilen, işitsel deneyimin farklı yönlerini belirleyebilmek için mekanın akustik kalitesini ve ilgili objektif parametrelerle bağlantısını araştıran geniş araştırmalar bulunmaktadır. Akustik parametreler ve mekanların şekil ve formu ilişkisi üzerinde Gade (1986, 1989) ve Chiang (1994)'ın çalışmaları dışında çok fazla araştırma bulunmamaktadır" (s.145)).

Akustiği iyi olarak değerlendirilen, *Der Musikverein Wien*, *Boston Symphomy Hall*, *Amsterdam Concertgebouw* gibi edilen yapıların tasarımı, yeni yapılar için temel teşkil etmiştir. İlgili salonlarda anket veri tabanları oluşturularak, elde edilen öznel

değerlendirmeler, nesnel ölçümlerle karşılatırılmıştır. Nesnel akustik ölçümlerle, mimari çizimlere dayanarak belirlenen geometrik veriler arasında ilişkiler kurulmuştur ve akustiği iyi kabul edilen salonlarda akustik kaliteyi tanımlayan özellikler belirlenmiştir (Bayazıt, 1999). Long (Long, 2006), mevcut salonların değerlendirmesini yaparak, konser salonu, opera, stüdyo vb. farklı işlevlerdeki salonlarla ilgili ayrıntılı tasarım yöntem ve kriter önerilerinde bulunmuştur. Farklı akustik modelleme tekniklerini de incelemiştir. Lokki ve Pätynen, (Lokki ve Pätynen, 2015, Lokki, 2016), geometrinin yanında çeşitli öznel parametrelerin de değerlendirildiği konser salonu incelemeleri gerçekleştirmiştir. Yeni inşa edilen salonlar, akustik uzmanı, müzisyen, mimar vb. kişiler tarafından değerlendirilmektedir. Gün geçtikçe, müzik, performans sanatları ve salon tasarım kriterleri güncellenmektedir. Dinleyiciye ulaşan ses şiddeti düzeyleri, reverberasyon süresi, konuşma anlaşılabilirliği, ses basınç düzeyleri vb. kriterler akustik tasarıma yön vermektedir. Akustik hesaplamaların vereceği sonuçlar, salon geometrisini etkilemekte, salon geometrisinin uygunluğu işitsel deneyimin kalitesini belirlemektedir.

Ölçekli akustik maketlerin, daha önce belirtildiği gibi ekonomiklik ve pratiklik düşünülerek çok az yapının akustik değerlendirmesinde kullanılabildiği ve el ile yapılan hesaplamaların, üç boyutlu geometrileri değerlendirmede yetersiz kalabilmesi nedenleriyle, günümüzde akustik tasarımın sonuçları genellikle akustik tahmin yapabilen, simülasyonlar gerçekleştirilebilen programlardan alınarak değerlendirilmektedir. Mevcut simülasyon programlarının geliştirilmesinde kullanılan çeşitli bilgisayar teknikleri, programın çalışma hızını ve sonuçların gerçeğe yakınlığını etkilemektedir. Mevcut programlar, literatürde yer alan akustik parametrelerin tanımlanması ile geliştirilerek, Odeon programında olduğu gibi gerçeğe çok yakın tahminler yapabilmektedir.

Literatür taramasında görülebileceği gibi, bilim insanları tarafından çeşitli kriterler ve öngörüler, ölçüm sonuçları ortaya konulmuştur ve tasarımcı, kendi deneyimi ile literatürdeki çalışmaların sonuçlarından yola çıkarak tasarımını gerçekleştirmekte, akustik simülasyon programları, ölçekli modeller ya da el ile hesaplanan akustik parametrelerin yorumlanması ile değerlendirmektedir. Son yıllarda, tezin konusunda olduğu gibi parametre ve algoritmalardan yola çıkılarak da çeşitli tasarımlar gerçekleştirilmektedir (Peters, 2010, Spaeth, 2016, Rumpf ve diğ., 2017).

Mimar genellikle tasarımını akustik danışmana ileterek veya akustik simülasyon programlarında sınayarak değerlendirmektedir. Geometrinin akustik tasarımcı görüşleri ile değiştirildiğini ve yorumlandığını var sayarsak, süreç, genellikle aşağıdaki biçimde işlemektedir. İşleyiş basamaklarında, model temsili için kullanılan dijital platformlar, parantez içinde belirtilmiştir.

1. Mimarın tasarımını gerçekleştirmesi (Mimari modelleme programı).
2. Akustik tasarımcının mimari tasarımı değerlendirmesi (Akustik değerlendirme programı).
3. Değerlendirmeler ışığında, mimari modelde önerilen geometri değişikliklerinin işlenmesi (Mimari modelleme programı) ve mimara gönderilmesi.
4. Mimarın işlenen değişiklikleri, tasarımına uygunluk ve diğer teknik alanların (mekanik, statik, yangın, enerji, sahne ve elektroakustik tasarım vb.) ihtiyaçlarıyla birlikte ele alarak değerlendirmesi (Mimari modelleme programı). Akustik tasarımcı tarafından önerilen geometrik tasarımda değişikliklerin yapılma ihtiyacının bulunması halinde, geometri değişikliklerinin işlenmesi.
5. Akustik tasarımcının mimari tasarımı tekrar değerlendirmesi (Akustik değerlendirme programı).

Geometrik değişiklikler yapıldıkça, bu sürece adımlar eklenmektedir. Akustik tasarımcının mimar ile aynı kişi olması, akustik değerlendirme ve mimari modelleme programlarının birbiri ile hiç ya da hızlı entegre olmayan kullanım yapısı nedeniyle, modelin gönderilme zamanını kısaltsa bile, izlenen adımları değiştirmeyecektir. Salonu tasarlayan mimarın akustik bilgisine sahip olduğu düşünülürse, tasarımını geliştirirken kullandığı yazılım araçlarını, genellikle süreç boyunca değil tasarladığı final tasarımın akustik hesaplama sonuçlarının alımında kullanabildiği anlaşılmıştır. 2 ve 5 numaralı adımlarda, akustik tasarımcının, genellikle kullandığı simülasyon platformunun hesaplama (*computation*) tekniğine ulaşamadığı, bu nedenle, kod strüktürlerinde ya da modelleme tekniğinde akustik hesaplama tekniğinin uygulamasına müdahale edemediği bilinmektedir. Konu ile ilgili pek çok noktaya tezin literatüre bakış ve araştırma sorunu bölümlerinde değinilmiştir. Long, mevcut tasarım yöntemleri ile ilgili olarak, konuya şu şekilde katkıda bulunmaktadır.

> "There is also some material on computer modeling of loudspeakers and ray tracing. Too often designers accept the conclusions obtained from software models without knowing the underlying basis of the computations" (Long, 2006 s.xxvi).
>
> (Türkçe çevirisi: "Hoperlör ve ışın taramalı bilgisayar modellerinde de biraz malzeme bulunmaktadır. Tasarımcılar genellikle, yazılımlardan çıkan sonuçları, hesaplama modelinin temellerini bilmeden kabul etmektedir" (Long, 2006 s.xxvi)).

Araştırmalardan anlaşıldığı gibi, mevcut akustik işlevli salon tasarım yöntemlerinde, akustik tasarım genellikle salonun mimari tasarımın ilk aşamalarından itibaren işin içine etkin bir biçimde katılamamakta, salonun düşünülen final tasarımı, akustik olarak değerlendirilerek değişiklikler yapılmaktadır. Müziğin de farklılaşan ihtiyaçları ile müzisyenler ve besteciler, mevcut konser salonlarını kullanamaz duruma gelebilmektedir. Dikdörtgen kesitli ya da literatürde performansı belirli (diğer bilim insanlarının yaptığı ölçüm, karşılaştırma vb. çalışmalara dayanarak) salonlarda, mevcut tasarım yöntemleri olumlu sonuçlar vermektedir (basit geometrilere sahip olması ve daha önce deneyimlenen salonlardan edinilen bilgilerin tasarımı yönlendirebilmesi nedeniyle). Günümüzde, dikdörtgen kesitli, dairesel ya da kare vb. şekillerle tanımlanamayan, önceden yapılan salonlara benzemeyen farklı bir mimari tasarım anlayışı ile oluşturulmuş salonları görmekteyiz (Url 48).

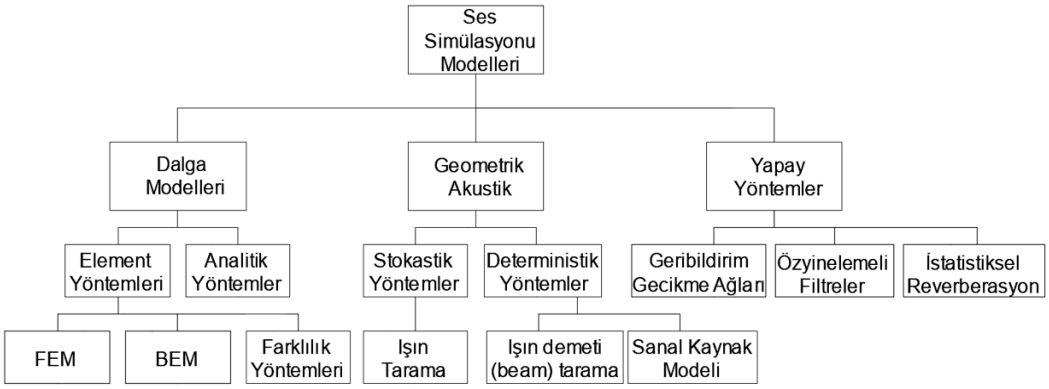
Mimari tasarım yaklaşımlarındaki değişiklikler, çok amaçlı işlevsel kullanım, değişen müziğin ihtiyaçları (örneğin klasik müzik konser salonu ile yeni müzik konser salonu tasarım gereksinimlerinin farklı olması (Sabah, 2013)), yeni performans ve kullanım teknikleri vb. tasarım parametreleri geliştikçe, mevcut yöntemlerle yapılan akustik tasarım, uzun emek ve süre almaktadır. Özellikle büyük ölçekli, sayısal tabanlı bir mimari tasarım sistemine sahip salonlarda akustik ve mimari tasarımın ilk aşamalardan itibaren birlikte ele alınabileceği tasarım yöntemlerine ihtiyaç bulunmaktadır.

2.4 Kapalı Hacimlerde Ses Dağılımının Modellenmesi ve Hesaplanması

Literatürde, çeşitli alanlarda kullanılmak üzere tasarlanan ses simülasyonu modelleri bulunmaktadır. Akustik değerlendirmenin yapıldığı mevcut programların, bilgisayar bilimlerinde, çizelge 2.8'de görülen farklı modelleme biçimleri bulunmaktadır. Farklı ülkelerde ya da farklı bilim alanlarında, çeşitli amaçlara yönelik teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerle, kapalı hacimlerde ses dağılımının bilgisayarlı modellenmesi ve hesaplanması gerçekleştirilebilmektedir.

Bilgisayarlı yazılım modelleme tekniği, araştırılan konuya göre biçimlenmektedir. Aşağıda çizelge 2.8'de görülen bilgisayar simülasyon modellerinin bir kısmının da, tezin amacına yönelik olarak önerilen yöntemle birlikte kullanılması ve geliştirilmesi mümkündür. Örneğin dalga simülasyonu yapabilen simülasyon programları geliştirilip bir gün mimari akustikte yaygın kullanım alanı bulduğunda, tezde önerilen yönteme uygulanması mümkün olabilecektir. Bu durumda, tüm geometrik durum ya da belirli kriterlere göre oluşturulan olası geometrik durumların akustik performanslarının otomatik sınanması, dalga simülasyonu yapabilen algoritmalarla gerçekleştirilebilecektir. Tez dahilinde, salonların geometrik akustik tasarımında kullanılabilirliği kanıtlanmış bir teknik olan, ışın tarama tekniği kullanılmıştır. Çizelge 2.8'in geometrik akustik bölümünde, bu tekniğin bulunduğu yer görülmektedir.

Çizelge 2.8 : Ses simülasyon modelleri (Vorländer, 2008).



Çizelge 2.8'de belirtilen yöntemlerin birlikte kullanıldığı melez (*hybrid*) çalışmalar da bulunmaktadır. Dalga modelleri, akustik etkileri gerçeğe yakın değerlendirebilmekte, büyük ölçekli model ya da yüksek frekansların simülasyonlarında henüz kullanılamamaktadır. Geometrik modeller, özellikle mimari akustike kullanılmaktadır. Erken yansımaları simüle edebilmekte ve detaylı geometrilerde başarılı olmaktadır. Simülasyonda ses dinlemesi yapılmak istenildiğinde, çeşitli reverberasyon etkilerinin bilgisayarlı hesaplamaları çok yoğun olmaktadır. Örtüşme hatalarından etkilenmekte ve çözümü için büyük bir örnekleme ihtiyaç duyulmaktadır. Sesin mekanda dinlenilmesi istenilirse, melez yöntemler daha yararlı olabilmektedir (Lakka ve diğ., 2018). Yöntem ve algoritmaların incelenerek karşılaştırıldığı ya da olumlu olumsuz yönlerinin test edildiği, geometrik akustiğin simülasyon modelleri ile ilgili detaylı çalışmalar bulunmaktadır (Savioja, 1999, Savioja ve Svensson 2015, Svensson, 2018).

Simülasyon modelleri, genellikle bilgisayar bilimlerinde ya da elektrik elektronik sistem bilimlerinde incelenerek geliştirilmektedir.

Long, akustik simülasyon programlarının ilk başta hoperlörlerin ses alanını tahmin etmek için geliştirildiğini belirtmektedir. Programlar kullanılmaya başlanıldığında, hoperlör firmalarının kendi ürünlerinin kullanılması için tasarımcılara sağladığı bir satış aracı olarak sunulduğunu düşünmektedir (Long, 2006). Günümüzde, bu durum değişmiştir ve farklı firmaların hoperlör, malzeme vb. ürünleri, teknik özellikleri bu programlarda yer almaktadır. Tezin ilk bölümünde belirtildiği gibi, bu programların üretiminde kullanılan kod strüktürlerine genellikle tasarımcıların erişimi sağlanmamaktadır. Her yazılımın kendine ait bir sayısal platformda geliştirilmesi ve genellikle bu platformların *Processing* vb. tasarımcıların kullanımına uygun platformlar olmaması nedeni ile, kaynak koduna erişilse bile mevcut programlarda tasarımcının düzenlemeler yapması zordur.

Günümüzde, kapalı hacimlerde ses dağılımının modellenmesini gerçekleştirebilen akustik simülasyon programları, tasarımda daha çok sonuç geometrisinin ve final tasarımın akustik hesaplamalarını yapabilmek amacı ile kullanılmaktadır.

2.4.1 Geometrik Akustik Teorisi

Geometrik akustik teorisinde, ses yayılımı ışınlar gibi düz çizgiler boyunca gerçekleşmektedir. Ses ışınları, enerji birim ya da demetlerini tanımlamaktadır. Ses dalgaları küresel yayılmaktadır. Işın yoğunluğu, mesafeye bağlı ve küresel olarak azalmaktadır. Bu yöntem, sesin dalga boylarının yüzey alanlarına göre küçük ve pürüzlülüklerine göre büyük olması durumunda geçerlidir. Bu teoride, dalga girişimi ve *near-field* özelliği modellenmemektedir. Akustik bilimi için önemli bir teoridir. Uygulamada, olumlu sonuçlar vermektedir. Geometrik akustik simülasyon modellerinde genellikle üç tip algoritmadan yararlanılmaktadır. Bu algoritmalar; ışın tarama, ışın demeti tarama ve sanal kaynak (*image source)* tekniğidir. Teknolojinin gelişimiyle birlikte, bu teknikler melez model olarak birlikte kullanılabilmektedir.

Ses alanının erken yansımalarla oluşması iki nedenden kaynaklanmaktadır. Birincisi yansıma yoğunluğunun tüm alanı etkilemesiyle tek yansımaların önemini kaybetmesidir. İkincisi, ışınların ayna gibi doğrudan yansımak yerine, sesi saçma eğiliminde olmalarıdır. Bu nedenle geometrik akustik simülasyonlarda, tek yansıma noktası değerlendirilmesi yerine, salon değerlendirmeleri dikkate alınmaktadır. Bu

durum, ayırt edilebilen tek başına yansımaların topluluğu olarak başlayan ses alanının, zamanla dağınık hale gelmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, spesifik bir yansıma yolu temsili yerine, istatistiksel tabanlı değerlendirmeler daha olumlu sonuçlar verebilmektedir (Kuttruff, H, 1995). Geometrik akustikte, enerji toplamına göre hesaplar yapıldığı için, ses bir enerji fonksiyonudur ve ses enerjisini temsil eden ışınlar, doğrusal olarak yayılmaktadır, yüzeyler düzlemsel birimlerden oluşmaktadır. Örneğin bir eğrisel yüzey, çok sayıda düzlemsel yüzeyin bir araya getirilmesi ile tanımlanmaktadır. Tezde, şekil 2.6'da mimari modelde, durumu açıklayan bir örnek görülmektedir.

2.4.1.1 **Işın Tarama Yöntemi**

Simülasyonlarda, alıcı noktalarında ya da başka bir deyişle dinleyici alanında (alanda alıcı noktasını temsil eden belirli bir koordinat da olabilir) elde edilen yansıma enerjilerini hesaplamak üzere, geometrik akustik teorisinden yola çıkarak uygulanan bir yöntemdir. Mimari akustikte, çeşitli modelleme teknikleri ile kullanılmaktadır. Salona ışınlar gönderilerek, salon geometrisine bağlı olarak erken ve gecikmiş yansımalar hesaplanmaktadır. Bu yansımalarda kayıt edilen bilgiler, dinleyici alanı ya da alanda seçilen bir nokta olan alıcı noktasına göre yorumlanmaktadır. Bu yöntemle, kaynaktan çıkan ve ses ışınını temsil eden, yönü olan bir doğru parçasının düz bir biçimde ilerlemesi modellenmektedir. Doğru parçası, bir yüzeyle kesişim yaptığında gerçekleştirmesi gereken işlemler (yansıma, yutulma, saçılma vb.) ve işlemlerin gerçekleştirilme biçimleri (matematiksel, fiziksel yansıma, *Snell, Lambert* kanunları vb.) programa tanımlanmaktadır. Kullanılan yöntem ve programlama tekniğine göre, ışınlardan edinilen bilgiler ya da ışınların gönderilme biçimleri farklılık gösterebilmektedir. Örneğin bu noktada, karşılaştırılmaların gerçekleştirildiği Odeon ve Üç Boyutlu Simülasyon Programı, farklı yöntemler kullanarak ses dağılımını gerçekleştirmektedir.

1995 yılında geliştirilen Odeon Programı, salona daha az sayıda ışın göndererek sonuç alabilmek üzere, yüzeye bir saçılma katsayısının tanımlanması ile ışın dağılımını gerçekleştirmektedir. Işın tarama modellerinde güvenilir bir teknik olan Monte Carlo yöntemi ile dağılım modelemesinde, salona büyük miktarda ışın gönderilmesi gerekmektedir. Teknolojinin gelişerek bilgisayarların hesaplama gücünün artmasıyla, bu tekniğin kullanılması ve salona binlerce ışın gönderilmesi mümkün hale gelmiştir.

Bu nedenle Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nda bu teknik kullanılmıştır. Dağılım gibi, simülasyonların sonlandırılma tekniği de farklılıklar taşıyabilmektedir. Örneğin bir programda, ışınların 5 yüzeyden yansıdıktan sonra sönümlenmesi kodlanabilir, bir başka programda, ışınların belirli bir süre sonunda sönümlenmesi ya da salonun dinleyici arkası duvarında sönümlenmesi kodlanabilir. Bir programda farklı seçenekler kodlanarak kullanıcının bu seçenekler arasından istediği değeri programın grafik arayüzünde girmesi de istenilebilir. Tasarımcı, program kodlarına müdahale edebildiği bir platformda çalıştığında, bu seçenekleri kendi başına değerlendirebilir ve araştırmasına uygun eklemeler ve çıkarmalar yapabilir. Örneğin ışına, bir başka görev verilerek, ışının her çarptığı noktada modelinde bir kaynak daha oluşarak ışın taramaya katılması gerçekleştirilebilir. Işının salonda herhangi bir yüzeye çarpması ile ışınların sönümlenmesi ölçülmek istenilebilir ya da, ışınların simülasyondaki hızları değiştirilebilir. Işın tarama yöntemi içinde kullanılan farklı tekniklerdeki modelleme biçimleri, sonuçların güvenilirliği, programın çalışma hızı vb. özellikleri etkilemektedir.

2.4.1.2 **Sanal Kaynak Yöntemi**

Sanal kaynak yöntemi de, geometrik akustik teorisine göre oluşturulmuş bir yöntemdir. Işınlar, bir yüzeyle karşılaştıklarında, yansımadan önce yüzeyin arkasında yer alan bir sanal kaynak olduğu kabul edilerek model oluşturulmaktadır. Hesaplamalarda, tasarımcının sanal kaynakların yansıma derecesini belirlemesi gerekmektedir. Bu konuda çeşitli açıklamalar ve öneriler literatürde görülmektedir (Rindell, 1995). Dikdörtgen kesitli, basit planlı, küçük hacimlerde yöntem, ses sinyalinin etki tepki ölçümleri için uygun olabilmektedir (Mehta ve Bhadradiya, 2015). Bu yöntem, bir başka kaynağın oluşturulması ve işlem yapılması nedeniyle, yüksek hesaplama gücü gerektirdiği için karmaşık geometrilerde hesaplamalar uzun zaman alabilmektedir.

2.4.1.3 **Işın Demeti Tarama Yöntemi (*Beam Tracing*)**

Işın demeti tarama tekniğinde, kaynaktan çıkan ses dalgalarının temsili, ışın değil piramit, ışın tüpü ya da koni benzeri hacimsel nesnelerle gerçekleştirilmektedir. Salonun geometrik analizi, hacimsel nesnelerle tarama ile gerçeleştirilmektedir. Bu teknikle geliştirilen simülasyon modellerinin bir bölümü ışın tarama bir bölümü ise sanal kaynak yöntemi ile ilişkilendirilmektedir. Işın tarama yöntemi ile ilişkilendirilen

modellerde, hacimsel bir biçime sahip piramit, koni benzeri nesneler ışınlardan daha büyük bir alanı bir anda tarayabilmektedir. Aynasal yansımalar üzerinde geliştirilmektedir ve hesaplama hızı yüksektir. Genellikle bu teknikle geliştirilen modellerde saçıcılıklar bulunmamaktadır. Sanal kaynak yöntemi ile ilişkilendirilen ışın demeti tarama modeli ise, oluşturulan sanal kaynakların sayısının azaltılarak hesaplama performansının arttırılması için önerilmiştir (Savioja ve Svensson, 2015). Her gönderilen hacimsel nesne, sonsuz sayıda olası ışının yolunu da temsil etmektedir. Yöntem basit şekillere sahip salonlarda olumlu sonuçlar vermektedir, mimarlık ve şehircilikle ilgili modelleme ortamlarında kullanılmaktadır. Karmaşık geometrilere sahip ya da statik olmayan modellerde kullanılması uygun olmayabilmektedir (Funkhouser ve diğ., 2004).

2.4.2 Odeon Programı:

Odeon, Danimarka Teknik Üniversitesi'nin çeşitli danışmanlık şirketleri ile iş birliği yaparak 1984 yılından geliştirmeye başladığı, günümüzde modüller elenilerek ve güncelleştirmeler yapılarak geliştirilmeye devam edilen bir akustik simülasyon programıdır. Hesaplamada, geometrik akustik kuralları geçerlidir. Programın geçerliliği ve akustik hesaplamalarda kullanılabilirliği, gerçek durum ölçümleri ve çeşitli karşılaştırmalarla (Lam, 1993; Vorlander, 1995; Naylor ve Rindell, 1992) kanıtlanmıştır. Sistem, geometrik akustikte kullanılan, ışın tarama ve radyasyonu (*radiosity)*, sanal kaynak *(image source*) yöntemlerini birlikte kullanmaktadır. Programın içinde işitselleştirme, rapor çıkarma, gürültü denetimi programları ile veri alışverişi yapabilme vb. çeşitli özellikler bulunmaktadır.

Odeon Programı ayrıntılı akustik hesaplamalarda kullanılmaktadır ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Çok sayıda proje ve araştırmada kullanılmıştır. Araştırmalardan alınan sonuçlar ve kullanım geribildirimleri ile birlikte, programın 35 yıl üzerinde bir geliştirme süreci bulunmaktadır. Dalga akustiği, modelde geçerli değildir. Ses enerjisi, doğrusal ışınlarla taşınmakta ve hacimdeki yüzeyler düzlemsel (eğrisel de olsa küçük düzlemlerin birleşimi olduğu) kabul edilmektedir. Ses bir enerji, fonksiyonudur ve enerji toplamına göre hesaplar yapılmaktadır. Çeşitli akustik parametreler farklı frekans bantlarında hesaplanabilmektedir. Bir grid sistemi bulunmaktadır ve programın verdiği sonuçlarda, renklerin çeşitli düzeyleri belirttiği ses düzeyi haritaları yer almaktadır. Tez çalışmasında yazılan programın sonuçları, Odeon programı ile

karşılaştırılmıştır. Odeon Programı'nın çalışma sisteminde, öncelikle başka bir mimari modelleme programında hazırlanan salon modeli, uygun koşullarda (kayıt formatı, çizimdeki katmanlar, modelde çizgi bırakılmayarak yüzeylerin tamamlanması vb.) Odeon programına getirilmelidir. Programın, kendi içinde çok sade modellerin çizilebileceği (örneğin bir kare, dikdörtgen vb.) parametrik çizim ortamı bulunsa da, Odeon tarafından detaylı modellerde kullanımı önerilmemektedir (Url-1). Tasarımcı, hazırladığı modeli Odeon Programı'na getirdikten sonra, tarama yapılacak ışın sayısı, malzeme özellikleri, ışının maksimum yansıma sayısı, yansıma dereceleri gibi bilgileri programa girmelidir. Simülasyon çalıştırılarak, tasarımcının geometrik durumlar arasından seçtiği ya da final tasarımı olarak düşündüğü bir durumu gösteren mimari modelin, akustik hesaplama sonuçları çıktı olarak alınmaktadır. Bu çıktılar, bir geometrik durumun çok sayıda akustik parametre hesaplamalarını yaparak, ayrıntılı sonuçları tasarımcıya sunmaktadır. Sonuçların yeterli bulunan değerlerde olması durumunda, tasarımcı tasarımında uygun akustik değerleri elde etmiştir ve sonuçlar sunumda kullanılmak üzere dışarı aktarılmaktadır. Sonuçlarda, geometrik değişikliklerin gerektiren olumsuz bir durum bulunuyorsa, tasarımcı bu değişikliği mimari model programlarında yapmaktadır (Url-21).

2.5 Dijital teknolojilerin mimari tasarımda kullanılması

Elektronik cihazların işlevlerini yerine getirebilmeleri için programlanmaları gerekmektedir. Bu nedenle, çeşitli semboller ve kelimelerden oluşan komutlar kullanılmaktadır. Komutların bir araya gelerek oluşturduğu komut kümeleri, elektronik cihazların ya da bilgisayarların belirli bir işi yapmasını sağlamaktadır. Komutlar farklı yazım dillerinde farklı biçimlerde yazılabilmektedir. Komut ve sembollerin belirli bir amaca yönelik olarak belirli bir sırada yazılması, bir başka deyişle kodlanması sonucu program ya da uygulamalar ortaya çıkmaktadır.

Bilgisayar her alanda olduğu gibi mimarlık ve akustikte de etkin kullanılan bir araçtır. Teknik hesaplar, mimari modelleme ve çizimler, sunum hazırlama gibi görevlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Tasarım geliştirme aşamasında dijital teknolojilerin mimarlıkta kullanımı oldukça yenidir. Gelişen teknolojik olanaklar, programlama dilleri, açık yazılımlar ve algoritmik düşünce ile mimari tasarımlar da her gün gelişmekte, tasarımla birlikte mimarlığa faydalı araçlar olmaktadır.

Mimar ve tasarımcılar, ilk başta dijital teknolojilerin sunduğu olanaklarla el çizimlerine oranla büyük hız kazandıkları programlarla (*AutoCad* vb.) çalışmaya başlamıştır. Sonrasında kendi istekleri doğrultusunda parametreler arası ilişkileri modellemesine olanak veren programlarla (*Grasshpper* vb.) çalışarak tasarıma yenilikler getirmişlerdir. Geleneksel dijital çizim araçlarında, tasarımcı program kodlarına hiç müdahale edemezken, parametreler arası ilişkileri modellemeye olanak sunan araçlarla, kod gruplarını ifade eden çeşitli araçları kullanmaya başlamıştır. Bu durum, tasarım süreci ve temsiline yenilikler getirmesinin yanısıra, tasarımcı ve kullandığı aracın ilişkisini yakınlaştırarak, tasarımcılara destek aracını daha etkin kullanabilme olanağı sunmuştur. Bu ilişkinin yakınlaşması, tasarımcıya verim, ekonomiklik ve hız kazandırmasının yanısıra çeşitli özgürlükler de sunmaktadır. Günümüzde, mimar ve tasarımcıların, tümleşik yazılım geliştirme platformlarında üretimler yapması ile, tasarımcı kullandığı dijital aracı da tasarlayabilir duruma gelmiştir. Tasarımcı, ilk başta farklı programcıların aracılığı ile bilgisayarı kontrol edebilirken, parametrik ilişkileri modelleyen programlarla tasarım destek aracını daha yakından kontrol edebilir bir duruma gelmiştir. Tümleşik geliştirme ortamları gibi görselliğin ön planda olduğu dijital platformlarla, bilgisayara doğrudan müdahale edebilir duruma gelmiştir. Bu noktada başka kazanımlar, dijital sistemlerin tasarım üretimi ve temsilinden daha fazlasına, hesap yapabilme yeteneği, simülasyon, işlem, değerlendirme ve mekanik kontrole olanak sağlaması olarak sayılabilmektedir.

Kodlar, farklı alanlarda farklı kullanım biçimlerine sahiptir. Tarihte genellikle; iletişim (*Communication*), açıklama (*Clarification*), gizleme (*Obfuscation*) olmak üzere üç amaç için kullanılmıştır. Örneğin, Mors kodunda (iletişim), bir kelime kısa ve uzun sinyallere dönüştürülerek telgrafla iletilebilir hale getirilir. Genetik bilgi, DNA kodlarında bulunmaktadır (açıklama) (Reas, McWilliams, LUST, 2010). Örneğin, alfabenin harflerine 1A, 2B, 3C, 4Ç, 5D, 6E vb. biçimde numaralar verilerek mimar kelimesi yazılmak istenildiğinde, 16, 12,16, 12, 1,21 biçiminde, harfler yerine değerler kodlanabilmektedir (gizleme).

Mimarlıkta hesaplamalı tasarım sistemlerinde olduğu gibi, tez çalışmasında da kod kelimesi, komut serisinin temsilini ifade etmektedir. Bu kod biçimine, algoritma ya da program da denilebilmektedir. Kod, uygun miktarda detaya sahip, izlenilmesi gereken belirli bir süreci tanımlamaktadır (Reas, McWilliams ve LUST, 2010).

Tez çalışmasında olduğu gibi, mimarların kodlayarak (ek bir grafik arayüze gerek kalmadan) dijital teknolojileri kullanmasının, tasarımcı ve araç ilişkisini yan yana getirerek, tasarımlarda özgürleşmeye katkıda bulunacağı, aynı zamanda tasarımcılara bu platformlarda başka bilim insanları ile de paylaşabileceği, ölçüm (örneğin bir bilgisayar masa üstü cetveli, akustik kamera ya da ölçek bulan. program hazırlaması), tasarım üretimi (örneğin, mimari plan tefrişi bulucu (Url 37)) ve performans değerlendirme araçları yaratmasının tasarıma faydası olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda, yazılım geliştirme platformlarının robotik sistem ve başka fiziksel araçlarla bağlantılarının yapılabilmesi nedeniyle üretim teknolojilerinde de gelişmeler yaşanmaktadır (örneğin, rüzgarla yönlendirilenen robotla doğal enerji ile oluşturulan mimari form (Okawa ve diğ. 2017), üç boyutlu yazıcılardan çıktıları alınarak inşa edilen sistemler, yutucu paneller (Liu ve diğ. 2017) vb.). Dijital yöntemler tasarlanırken ya da kullanılırken bilgisayara anlatım dilinin uygun olması gerekmektedir. Her dilin bir grameri bulunmaktadır, bazı kelimeler yanlış söylenilse, bazı harflerin yeri karıştırılsa da, yanlış söylenen kelimeleri insanlar anlayabilmekte, bilgisayarlar ise tam olarak ifade edilmediğinde, komutları algılayamamaktadır (Reas, McWilliams, LUST, 2010). Bilgisayara yaptırılması istenilen görevler, kodlarla belirtilmektedir. Kodlar yazılırken, tek bir harfin yanlış olması, bir parantezin eksik olması gibi durumlarda, programlar hata vermektedir. Bir kodun bilgisayarda çalıştırılması, insanın okuyabildiği formattan bilgisayar tarafından yürütülebilir duruma (makine dili, ikili sayı sistemi) getirilmesi ile mümkün olmaktadır. İnsanlar, kodlama yaptıkları platforma uygun biçimde istedikleri tanımlamaları yapmaktadır ve bu kodlar bilgisayar tarafından makine diline dönüştürülmektedir. Mimari projelerin kendine özgü bir yöntemle tasarlanma biçimi ve tasarımı olduğu gibi, programların da kendi özgün kodlanma ve çalışma biçimleri, bulunmaktadır. Tezin ilerleyen bölümlerinde, konu ile ilgili çeşitli bilgiler verilerek, mimarlıkta kullanılabilecek kodlamaları yapabilmek için gerekli olduğu düşünülen temel veri tipleri, işlevleri belirtilmiştir. Veri tiplerinin örneklendiği; tezin hazırlık aşamasında gerçekleştirilen ön kodlama çalışmalarından biri ve üç boyutlu aktif simülasyon programının kodlanması ve kullanılması anlatılmıştır.

2.5.1 Parametre ve Algoritma

Parametre, bir durum için tanımlanan ve değiştirilebilen bir niceliktir. Bu niceliği bir veya birden çok olarak içinde barındıran durum parametrik olarak

düşünülebilmektedir. Parametrelerin sayısı duruma bağlı olarak artıp azalabilmektedir. Parametreler arası ilişkileri doğru kurabilmek ve parametreleri amaca yönelik olarak yönetebilmek önemlidir. Parametreler, algoritma içinde kullanılmaktadır. Algoritma, bir şeyin yapılma biçiminin tam olarak tanımlanmasını ifade etmektedir. Bir yerden başka bir yere gidişin tanımlaması da bir algoritmadır (Reas, McWilliasms ve LUST, 2010). Örneğin, tren raylarını takip et, sağda görülen kulenin sağına dön ve bir defne ağacını görene kadar ilerle, defne ağacının üzerinde bulunan yönlendirmeyi oku. Algoritmalar, varsayımlar ve kararlar içermektedir. Karmaşık algoritmalar, parçalara ayrılabilmektedir. Mimarlıkta, kod, bilgisayar işlemlerini kontrol etme anlamında kullanılmaktadır. Kod, yazılım dilinde yazılmış bir algoritmadır. Her yıl binlerce yeni programlama dili geliştirilmektedir.

Algoritma, bir sorunu çözmek için gerekli olan adımlar dizisine sahiptir. Sorunların çözümünde, farklı seçenekler olduğunda, şartlara en uygun ve en hızlı çalışabileni seçilmektedir. Kurallar, bilgisayara çeşitli kural dizileri olan programlama dilleri ile tanıtılmaktadır. Bilgisayarların ikili sayı sistemi, algoritmaları işleyebilmektedir (Erbaş, 2013). Son yıllarda, parametrelerle, algoritmalarla gerçekleştirilen performansa dayalı tasarım yaklaşımları, mimari tasarım anlayışına yenilikler getirmiştir.

2.5.2 Algoritma ve Mimari Form

Bilgisayarın tasarım üretebilen bir makine olarak kullanılmaya başlanması ile form ve algoritma ilişkisi de önem kazanmıştır. Mimarlıkta üretken algoritmalar, kaynağını çoğunlukla doğadan almakta ve bu oluşumu belirli kurallar içinde düzenlemektedir. Örneğin bir örümcek ağında, çevresel etkenlere ve davranışsal örüntülerin sonucu oluşmuş bir algoritma görülebilmektedir (Dino, 2015). Algoritmalardan yararlanılarak, mimari projelerde farklı tasarımlar geliştirilebilmektedir. Algoritmalarla kaynağını performansa, doğaya vb. temellerden alan tasarımlar geliştirilebileceği gibi algoritmalar, mimaride çeşitli teknik soruna çözüm sunabilmektedir.

Akustik işlevli salonlarda, olumlu akustik koşulları sağlayabilmek için, ayrıntılı teknik hesaplamaların yapılmasına, ve iyi bir geometrik tasarıma gereksinim duyulmaktadır. Tasarımın değerlendirilmesi, literatürde belirtilen çeşitli kriterlere göre yapılmaktadır. Tez çalışmasında, mimari formun bu teknik gereksinim ve değerlendirme kriterleri

ışığında şekillenmesi, bunu gerçekleştirilebilmek için akustik bilimi gereksinimleri dahil edilerek oluşturan algoritmanın, mimari form oluşumuna yol göstermesi hedeflenmiştir.

2.5.3 Performans ve Mimari Form

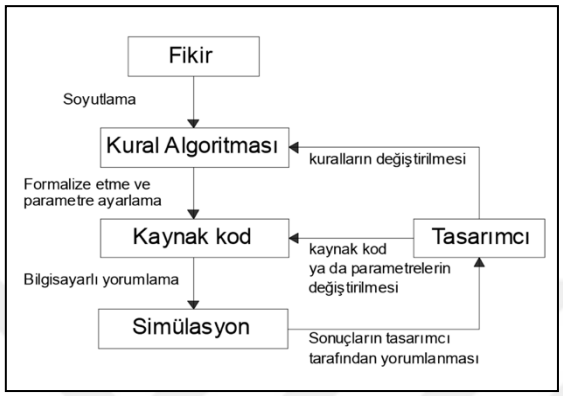
Formun performans tarafından belirlenmesi, 20. Yüzyıl'ın başında sorgulanan işlev ve form düşüncesidir. Teknolojik olanaklarla birlikte, ayrıntılı hesaplanabilen, ölçülebilen, sayısallaştırılıp büyük miktarlarda değerlendirilen tasarımla iç içe geçen bir performans kriteri olarak değerlendirilmektedir. Formun performans gereksinimlerinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmasında farklı mimari özellikler kullanılabilmektedir. Performansa dayalı tasarım, algoritmik yöntemlerle performansı önceden hesaplayabilen ve malzeme özelliklerini simüle edebilen geniş sistemler aracılığı ile yapılmaktadır (Dino, 2015). Bu konuda, ışık ve ısı geçirgenliği, enerji, yapısal destek, renk, çevresel etkenler gibi farklı fiziksel durumlara yönelik değerlendirmeler yapabilen çeşitli araştırma projeleri bulunmaktadır. Tez içeriğinde bulunan, ses ve akustik kriterler, benzer bir biçimde performans kriteri olarak ele alınarak salon geometrisi ve mimari tasarımını etkilemektedir. Tasarlanan yöntem, daha iyi akustik performansa sahip salonlar oluşturabilmek için mimara mevcut tasarımının yanısıra, çok sayıda ya da tüm olası tasarım durumlarının performans değerlendirmesini sunabilmesi düşünülerek önerilmiştir. Bu durumda, çalışılan tasarımın performansı olası diğer tasarım durumlarına göre değerlendirilmektedir. Hazırlanan yöntemin veri kayıtlarından yararlanılarak ileride, yöntemden alınan akustik performans sonuçlarının ve mimari tasarım ile ilişkilerinin uygun algoritmalarla yorumlanmasıyla, yeni tasarımlarda akustik performans optimizasyonunun mimari formu şekillendirmesi düşünülmüştür.

2.5.4 Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı ve Üretken Sistemler

Üretken tasarım; sanat, iletişim ve ürün tasarımında olduğu gibi mimarlıkta da kullanılan tasarım yaklaşımını, algoritmalarla formların üretimini ve performans değerlendirmesini kapsamaktadır. Mimarlıkta, yeni yöntem ve tekniklerle kullanılmakta olan bu tasarım yaklaşımları; biçim gramerleri, L-sistemler, genetik algoritmalar, frakteller, sürü zekası, evrimsel tasarım, çoklu etmenler ve hücresel özdevinim başlıkları altında incelenmektedir (Singh, Gu, 2011), (Kotnik, 2010) (Çağdaş, Bacınoğlu, Çavuşoğlu, 2015). Bu yaklaşımlar, kullanılan modelleme

tekniğine göre farklılaşmaktadır. Üretken sistemler, kullanıcı tarafından belirlenen kriterlere göre kodlanarak farklı biçimler üretmektedir. Aşağıda çizelge 2.9'da, üretken sistemler tasarım yaklaşımının işleyiş şeması görülmektedir (Bohnacker, Laub, Groß ve Lazzeroni 2009).

Çizelge 2.9 : Üretken Sistemler Tasarım Yaklaşımı (Bohnacker, Laub, Groß ve Lazzeroni 2009).



Yaklaşımın şeması, fikir, kural algoritmasının belirlenmesi, kaynak kodun hazırlanması ya da var olanın kullanılması, simülasyon ve tasarımcı değerlendirmesi olarak dört ana bölümde incelenmektedir. Bir fikirle yola çıkan tasarımcı, soyutlamalarla kural algoritması oluşturur. Tasarımcı, kural algoritmasına, kaynak kod ya da parametrelere müdahale edebilmektedir. Parametreler, kaynak kodda ayarlanmaktadır. Simülasyonlar ise bilgisayar tarafından gerçekleştirilmektedir ve sonuçlar tasarımcının yorumuna sunulmaktadır.

Akustik tasarım yapılırken mimari tasarımı etkileyen çeşitli akustik kriterler bulunmaktadır. Bu nedenle, üretken sistemlerin akustik gereksinim ve hesaplamalara uygun tasarlanması gerekmektedir. Tezde geliştirilen tasarım yönteminde, hesaplamalı bir yaklaşımla oluşturulan üretken sistemle geometrik tasarım üretimi, akustik kriterler temel alınarak gerçekleştirilmekte ve üretilen tasarımların akustik performans değerlendirmesi yorumlanmaktadır. Akustik kriterler, sistemin şekillenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerdir. Çizilmeden ya da modellenmeden, hesaplayanarak üretilen (*generative*) geometrik bölüm tezde, akustik paneller üzerinden örneklenmiştir. Akustik paneller üzerinde gerçekleştirilebilen her model üretimi işlemi, geometri ile ilgili tüm birimlerle gerçekleştirilebilecektir.

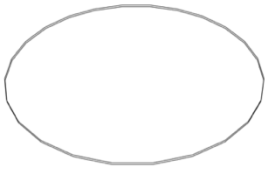
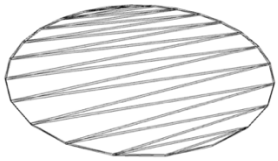
2.5.5 İkili Sayı Sistemi ve Dosya Uzantısı

Bilgisayar dili, 0 ve 1 lerden oluşan sayısal sisteme dayanmaktadır. Yapılan her işlemin 0 ve 1 değerlerinin kombinasyonuna denk gelen karşılıkları bulunmaktadır. Bu sistem ikili sayı sistemidir *(binary).* İşlemciler, verilen tüm komutları indirgemekte ve elektrik sinyalleri ile çözümlemektedir. Sinyal olmaması durumu 0, sinyal olması 1 olarak algılanmaktadır. Komutlar birbirine eklemlenerek harfler, kelimeler, programlar, formüller oluşturulmaktadır.

Bilgisayarın içinde çalışan ikili sayı sistemi, yazdığımız komut ve formülleri makine diline çevirmektedir. Bilgisayarların hızlanması ile, uzun formüller ya da büyük hesaplamalar, çok hızlı gerçekleşmektedir. Kod kütüphaneleri ile, çeşitli işlemler ayrıntılı programlanmaya gerek kalmadan yeni programlara eklenebilmektedir.

Bilgisayarlada, bir dosyanın biçimini belirten son eklere dosya uzantısı ismi verildiğinde, kullanıcılar dosyanın hangi programlarda çalışabileceğini bilmektedir. Örneğin bir resim dosyası ile ses dosyasının ya da mimari çizim program dosyalarının uzantıları farklıdır. Bu nedenle, yeni bir program yazılırken birbirleriyle uyumlu ya da dönüştürülebilen dosyalar üstünde çalışmak daha uygundur. Tezde, mimari modelleme programlarında kullanılan stereolitografi dosyası olan STL formatı (Url-22) kullanılmıştır. Diğer yazılım paketleri tarafından desteklenen format, bilgisayar destekli üretim, 3D baskı alma, prototip modelleme gibi tekniklerde kullanılmaktadır. Bu dosya formatı, mimari çizim programlarındaki modellerin geometrisini üçgen yüzeyler ile tanımlamaktadır. 3D *Systems* (Url 22) tarafından geliştirilen bu format, özellikle üç boyutlu yazıcılar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda yarar sağlamaktadır. Aşağıda şekil 2.6'da mimari çizim programında modellenen, kalınlığı olan bir dairenin STL formatındaki görünümü görülmektedir. STL formatının yapısı nedeniyle, tezde yer alan simülasyon görsellerindeki salon modellerinde, üçgen formların birleşiminden oluşan yüzeyler görülmektedir.

Dosya uzantılarının benzer görev görenleri genellikle birbirine dönüştürülebilmektedir (Örneğin resim dosyalarında *jpg* ya da *png*). Programlar, modelleme tekniğine göre, farklı uzantılarla işlem yapılabilmektedir (Örneğin, *AutoCad* için *dxf*, *dwg* formatında çalışılsa da resim (*jpg*) ya da *pdf* dosyaları ile işlem yapılabilmesi, Odeon'da dinleme dosyaları için *Wav*, resimler için *jpg* ile çalışılması vb.).

Kalınlığı olan bir dairenin SKP formatında, mimari çizim programında (*SketchUp*) görünümü	Kalınlığı olan bir dairenin STL formatında kayıt edilen, düzlemsel üçgen birimlerden oluşan görünümü
	

Şekil 2.6: Kalınlığı olan bir dairenin farklı formatlardaki görünümleri

2.5.6 Dinamik ve statik yazılım teknikleri

Dinamik ve statik yazılım teknikleri, aktif ya da statik mimari modelleme teknikleri ile aynı anlama gelmemektedir. Hazırlanan simülasyon programı, statik yazılım dilinde yazılan, aktif (hareketli) bir simülasyon tekniğidir. Aşağıda, dinamik ve statik yazılımların özellikleri belirtilmiştir. *Processing*, *Java* yazılım dili ile yazılmıştır. *Java*, statik bir yazılım dilidir. Statik yazılımda değişken tipi önceden tanımlanmalıdır (Örneğin; String s = "kelime"). Bir obje, başka bir değişken tipi ile aynı isimde kayıt edilememektedir (Örneğin; String s = "kelime"; s = 5. Bu kodlama, sistem tarafından kabul edilmeyecektir). Dinamik yazılımda obje tipi tanımlanmasına gerek yoktur. Çalışma zamanında belirlenebilmektedir. Obje tipi (Örneğin, *S* = "kelime") aynı değişken için değiştirilebilmektedir (Örneğin, *s* = "kelime"; *s* = 5 olarak kodlanabilmektedir).

2.5.7 Nesne Temelli Programlama

Bir program geliştirilirken, bütçe, işletim sistemi, kod yazım ya da okunma hızı, görselleştirme vb. teknik gereksinimlere göre, kullanılacak dijital platform seçilmektedir. Mimari ve akustik modelleme programlarında, kodun üst üste eklenen ve kullanılmayan verileri de içinde barındırması, proje büyüklüğüne, geometriye ve hesaplanan detaylara bağlı olarak, kullanımı yavaşlatabilmektedir.

Nesnelere ve nesneler üzerindeki işlemlere odaklanan programlama diline, nesne temelli ya da yönelimli programlama dili *(object oriented)* ismi verilmektedir. Nesne yönelimli programlamada verilen bilgilerin nesnelerde depolanması nedeniyle, kod strüktürü kısa ve hızlı biçimde çözümlenebilmektedir. Programlar, objelerin birbirleriyle etkileşime geçmesiyle tasarlanabilmektedir. *Java, C++, Python, PHP,*

JavaScript, Ruby, Perl, Smalltalk, Objective-C gibi diller, nesne yönelimli programlama tekniğini kullanmaktadır.

Önerilen algoritma, nesne temelli bir programlama dili olan *Processing*'de (URL-6, 2019) geliştirilmiştir. Processing yazılımı *Java* programlama dili temeline dayanmaktadır. Nesne temelli programlamada her bir obje, belirli bir sınıfın *(class),* veya alt sınıfın (*subclass*) metotlarını (*method*) veya prosedürlerini (*procedure*) ve veri değişkenlerini barındırmaktadır (URL-5, 2019). Sebetciye (2019) göre, yöntemin, üç yapısal özelliği bulunmaktadır. Bunlar; kapsülleme (*encapsulation*), miras (*inheritance*) ve çok biçimlilik (*polymorphism*) olarak sayılmaktadır.

Kapsülleme: Nesne hakkındaki nitelik bilgisi ve işlemleri tanımlar. Örneğin; bir panelin rengi ve büyüklüğü.

Miras: Bir nesnenin üst nesneden etkilenmesi durumudur.

Çok biçimlilik: Bir işlemin birden fazla nesne tarafından kullanılabilmesidir.

Nesne temelli programlar, birbirinin özellik ve işlevlerini kullanabilen, gerektiğinde diğerine ait kodları alıp yeni kodlar eklenilebilen sınıflardan oluşmaktadır. Tüm olaylar sınıflarda gerçekleştirilmektedir. Tasarımcının, sınıfın içeriği konusunda bilgi sahibi olduğunda, arama yapmadan sınıfın özellik ve işlevlerini kullanabilmektedir. Kodların tekrar tekrar yazılması gerekmemektedir (Sebetci, 2019).

2.5.8 Temel Veri Tipleri

Programlama yapılırken kullanılan her dilde, verilerin çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Yazılımlarda, veri tipleri kullanılarak geliştirme yapılmaktadır. Her veri tipi her değeri alamamakta ve her işi yapamamaktadır. Veri tipine uygun değerler verilmediğinde program hata vermekte ve çalışmamaktadır. Örneğin yalnızca tam sayı değerleri alabilen verilere, küsürlü sayılar yazılmaz. Bir işlemin yapılması için, doğru ya da yanlış değeri alabilen bir veri tipine, sayısal değerler verilemez. Çizelge 2.10'da, nesne temelli programlamada kullanılan temel veri tipleri, tezde geliştirilen Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı'ndan örneklerle gösterilerek, veri tiplerinin alabileceği değerler belirtilmiştir.

Çizelge 2.10'da belirtilen veri tiplerinden farklı özelliklerde de veri tipleri bulunmaktadır. Geliştirme modeline göre uygun veri tipinin kullanılması, verimlilik

sağlamaktadır. Veri tipleri kullanımında hata yapıldığı zaman program, hatanın bulunduğu noktayı da tasarımcıya sunabilmektedir.

Çizelge 2.10 : Temel veri tipleri ve örnek kullanımlar

Veri Tipi	Alabileceği Değerler	Örnek Kullanım
int	Tam sayılardır	`int gtime;` `int hitWeight;`
boolean	Doğru (*true*) ya da yanlış (*false*)	`boolean audienceIsHit;` `boolean panelIsHit;`
float	Reel sayılardır	`float globalDb;` `Grid grid;`
String	Yazı ya da sayılardır	`String SCENE_FILENAME = "./testroomL.stl";` `String PANEL_FILENAME = "./testroomLpanel.stl";`
ArrayList	Yazı ya da sayıları, verileri barındıran listelerdir	`ArrayList<TriangleMesh> panelMeshes;` `ArrayList <P> ps;`

Yukarıda çizelge 2.10'un örnek kullanım bölümünde yer alan kod görsellerinde, kod satırı başlangıçlarında yazan sayısal değerler, kod satırı numarasını ifade etmektedir. Eklenilen komutlara göre değişebilmektedir. Çizelge 2.10'da belirtilen ve farklı veri tiplerini kullanarak, tasarımcılar farklı programlar geliştirebilmektedir. Veri tiplerini okuyabilen tasarımcılar, program geliştirmeden de, tümleşik yazılım geliştirme platformunda hazırlanan mavcut programlara, komutlarını yazarak müdahale edebilmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, tezde geliştirilen programın kod strüktürünün kullanımı ile ilgili bir kılavuz da hazırlanmıştır. Bu durumda, kodlama ya da temel veri tipleri vb. bilgiler bilinmese de, mevcut kod strüktürü ve kullanım kılavuzundan yararlanarak tasarımcılar hazırlanan programı kullanabilecektir.

2.5.9 Fonksiyon, Nesneler ve Sınıflar

Veri elemanlarını belirli işlemler uygulayarak ortaya ürün çıkarabilen (örneğin ortalamayı bulan, iki sayıyı toplayan vb. işlem yapan) bağıntılara fonksiyon ismi verilmektedir. Örneğin, üç boyutlu aktif akustik simülasyon programında, ortalama ve standart sapma hesaplamalarını gerçekleştiren fonksyonlar aşağıda şekil 2.7 ve 2.8'de görülmektedir. Bilgisayarın programlama dili ingilizcedir ve komutları bilgisayar

ingilizce okumaktadır. Bu nedenle koddaki isimlendirmeler de kavram karmaşası olmaması hedeflerenek ingilizce hazırlanmıştır. Şekil 2.7'de kodda görülen fonksyonda, dinleyici alanı üzerindeki noktaların ses düzeyi değeri toplanarak ortalamasının alınması gerektiği yazılıma kodlanmıştır. Şekilde yer alan *mean* kelimesi ortalama anlamına gelmektedir. Şekil 2.8'de, ingilizcede *standardDeviation* olarak isimlendirilen standart sapma formülüne göre, şekil 2.7'de bulunan ortalama fonksyonunu kullanarak standart sapma hesaplaması yapan bir fonksyon oluşturulmuştur. Görseller, veri tanımlamalarına örnek olarak eklenildiği için, tüm kod açıklanmamıştır.

Üç Boyutlu Aktif Akustik Programı'ndan alınan fonksyon örnekleri:

```
401 float mean(ArrayList<AudienceHit> points) {
402   float x = 0.0;
403
404   for (AudienceHit p : points)
405     x += p.db;
406
407   return x / points.size();
408 }
```

Şekil 2.7 Ortalamayı bulan fonksyon örneği

Nesne yönelimli programlamada objeler, sınıf ya da alt sınıfların yöntemlerini, prosedürlerini veya veri değişkenlerini barındırmaktadır. Nesneler bir sınıfın özel bir örneğidir ve içinde gerçek değişkenler barındırmaktadır.

```
410 float standardDeviation(ArrayList <AudienceHit> points) {
411   float s = 0.0;
412   float m = mean(points);
413   for (AudienceHit p : points)
414     s += sqrt(pow(p.db - m, 2.0));
415
416   return s / points.size();
417 }
```

Şekil 2.8 Standart sapmayı ölçen bir fonskyon örneği

Aşağıda şekil 2.9'da programdan alınan bir ekran görüntüsünde bir sınıf örneği görülmektedir. *Class* olarak okunabilen sınıfta, *Intersection* ismiyle belirtilen kesişim özellikleri tanımlanmıştır.

```
94  }
95
96  class Intersection {
97    int colorValue;
98    Vec3D position;
99
100   Intersection(ReadonlyVec3D v, int colorValue) {
101     position = v.copy();
102     this.colorValue = colorValue;
103   }
104 }
105
```

Şekil 2.9 : Üç boyutlu aktif model akustik simülasyonunda sınıf kullanımı

Aşağıda şekil 2.10'da, bir nesne örneği görülmektedir. Sınıfta belirlenen özelliklere, veriler girilerek programlanmıştır. *Intersections* ismi ile belirtilen obje, *ArrayList* veri tipi listesinin bir objesidir ve kesişimi ifade etmektedir.

```
188   intersections = new ArrayList<Intersection>();
189   for (int i = 0; i < NRAYS; i++) {
190     ps.add(new P());
191   }
```

Şekil 2.10 : Üç boyutlu aktif model akustik simülasyonunda obje kullanımı

Programda yer alan bilgiler, kesişimi belirten *Intersection* bilgi tanımlamasında, yukarıda şekil 2.9 ve 2.10'da görüldüğü şekilde programlanarak tekrar kullanılabilir, gerektiğinde çağırılabilir ve çıkarılabilir özelliktedir.

2.5.10 Kodlayarak ve Programlayarak Çizmek, Tasarlamak

Bilgisayara bir görev verebilmek için, yapılması istenilen her adım, yazılım diline uygun tanımlanmalıdır. Tasarımcı, bilgisayara komut verebilmek için, kullandığı sayısal yazılım geliştirme platformunun dilini kullanmalıdır ve isteklerini mantık çerçevesinde bilgisayara tanımlamalıdır. Bilgisayarın, işlem yapabilmesi için, çizilen her işaretin pozisyonunu bilmesi gerekmektedir. Bir kağıdın ekrana yayıldığı düşünüldüğünde, koordinat sistemindeki x aksı, ekranın solundan başlayarak sağına, y aksı ise yukarıdan aşağıya doğru bilgisayar tarafından okunmaktadır (Reas, McWilliams, LUST, 2010). Aşağıda bir programın oluşturulması için, gereken birleşenleri ifade eden bağıntı 2.11 görülmektedir. Veri strüktürü ve algoritmalarla, bilgisayara bir işi yapabilmesi için görevler verilmekte ve programlar oluşturulmaktadır.

$$\text{Program} = \text{Veri strüktürü} + \text{Algoritma (Wirth, 1985)} \qquad (2.11)$$

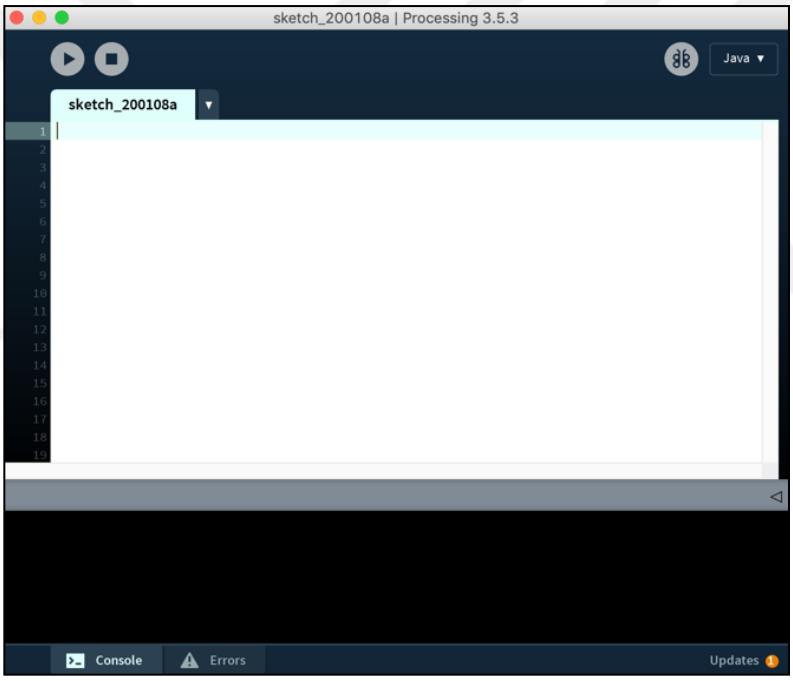
Yazılım geliştirme sürecine katkıda bulunabilen araçları (kaynak kod düzenleyiciler, derleyiciler vb.) barındıran yazılım türlerine tümleşik geliştirme ortamı (IDE) denilmektedir. Bu platformlarda, genellikle görsel bir yaklaşım ön plandadır. Bu nedenle, mimar, görsel tasarımcı, ressam, sanatçı ve öğrencilerin kullanımına uygun olduğu düşünülmektedir. Tasarımcı, yazdığı kodların ne anlama geldiğini görsel bir biçimde anlayabilmektedir.

Üç boyutlu aktif simülasyon yönteminin geliştirildiği *Processing* platformu, açık bir yazılımdır ve internetten (Url-6) ücretsiz olarak indirilebilmektedir. İlk açıldığında aşağıdaki şekil 2.11'de görüldüğü gibi boş bir sayfaya benzemektedir. *Proccesing* yazılım geliştirme ortamında, bir metin düzenleyicisi, bir derleyici ve bir görüntüleme penceresi bulunmaktadır. Tasarımcı programını, metin düzenleyicisinde yazar ve çalıştır düğmesine basarak başlatır. *Processing*'te bilgisayar programlarına eskiz ismi verilmektedir. Şekil 2.11.'de yazılım ortamı açıldığında gelen eskiz ekranı, ekranın sol üst bölümünde çalıştır (üçgen) ve yanında durdur (kare) düğmeleri görülmektedir. Hazırlanan eskizler (bilgisayar programları) bilgisayarda oluşturulan bir eskiz kitabında (*Sketchbook*) kayıt edilir ve istenildiği zaman kullanılmak üzere saklanılır. Eskizler, iki ya da üç boyutlu grafikler içerebilmektedir. Hazırlanan programda kullanılması istenilen diğer dosyalar da (örneğin farklı panel modelleri, salon çizimleri, metin dosyaları vb.) eskizin bulunduğu dosyaya yerleştirilir. Bu ekran tasarım ve program geliştirmeye yönelik bir çalışma platformudur. Platformda neler yapılabileceğini örnekleyen proje ve kılavuzlar bulunmaktadır. Kullanıcının komutlarına göre bilgisayara iş yaptırabilmesi için öncelikle bu kılavuzlardan (Url-6), öğrenme videolarından, üniversitelerdeki derslerden, kitaplardan (Reas ve Fry, 2010, Url-53) vb. kaynaklardan, düşündüğü tasarımı, kodlayarak ifade edebilmeyi ya da başka araştırmacıların hazırladığı kod strüktürlerini okumayı ve değiştirerek kendi amacına yönelik kullanmayı öğrenmesi gerekmektedir.

Bu yazılım platformda, yukarıda belirtilen temel veriler, fonksiyonlar, sınıflar vb. tasarımcının gerekli gördüğü şekilde amaca uygun kodlanır. Kodlama yapılırken değişkenler kullanılır. Değişkenler, bir değeri programda sonradan kullanmak üzere kayıt ederek hafızasına almaktadır. Tek bir programda, çok defa kullanılabilen değişkenler, programın çalışma sırasında değiştirilebilmektedir. Kodları açıp kapatmak için, // işareti kullanılmaktadır. Bir satırırın başına // konulduğunda,

bilgisayar o kodu programın içine dahil etmemektedir. Bu durumda, programla ilgili yorumlar ve satırın işlevi de bir kılavuz gibi kodların yanına eklenebilmektedir.

Örneğin bir çalışma kağıdı açılarak içine karelerden oluşan bir renk kartelası çizilmek istenilmektedir. Çalışma kağıdının boyutunu, 200 x 500 olarak belirleyip içine her kenarı 100 birim olan, renk kartelasını ifade eden 4 kare çizileceğini varsayalım. Şekil 2.13'te görülen renk kartelasını programlamak için yazılması gereken kodlar aşağıda şekil 2.12'de belirtilmiştir. Yorumlar, programın içine dahil edilmeyecek şekilde yazılmıştır. Aşağıdaki kod, yorumlarla birlikte kopyalanıp, eskiz ekranına yapıştırılarak doğrudan kullanılabilmektedir. Hesaplamalı yaklaşımlarda tasarım, uygulamalı geliştirilmektedir. Tasarımcı denemeler yaparak, çeşitli keşiflerde bulunmaktadır.



Şekil 2.11: Dijital yazılım ortamının eskiz ekranı

Yazılım geliştirme ortamının yukarıda şekil 2.11'de görülen eskiz ekranına, yazılması gereken kod:

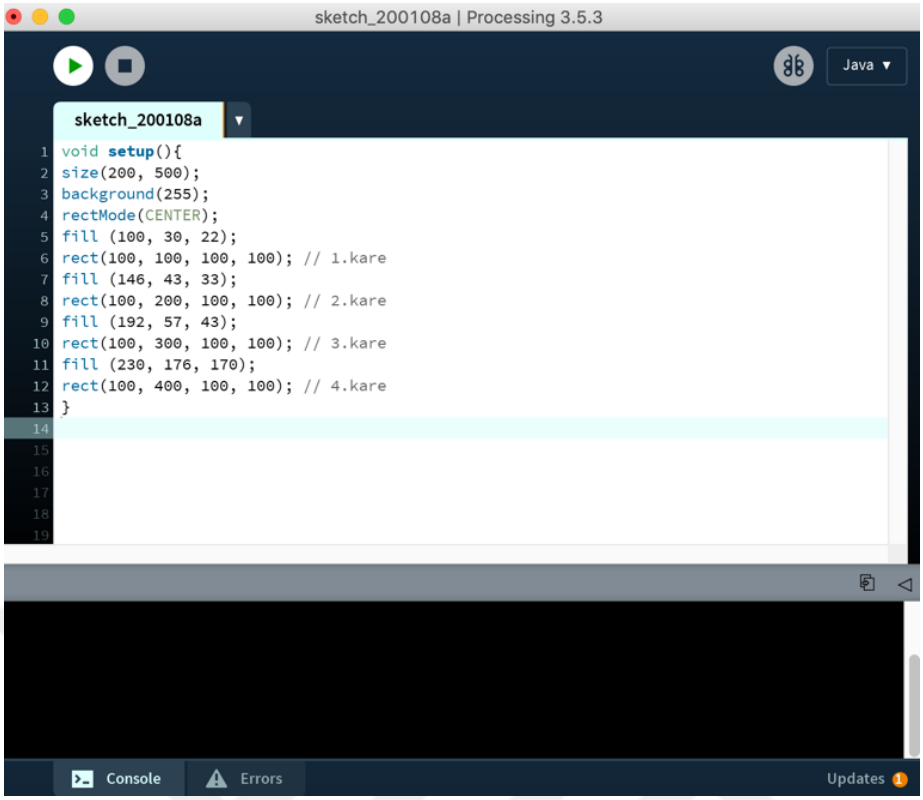
```
//kurulumun başlatılması
                    void setup(){
//çalışma alanının 200 x 500 boyutlarında  olmasının tanımlanması
                    size(200, 500);
//çalışma alanının arkaplan renginin seçilmesi
```

```
                    background(255);
                    }
//birinci karenin çizilmesi:
//bir kare çizilmesi gerektiğinin tanımlanması
                    rectMode(CENTER);
//hangi renkle dolması gerektiğinin tanımlanması
                    fill (100, 30, 22);
//çizilen karenin boyutlarının tanımlanması
                    rect(100, 100, 100, 100);
//2., 3. ve 4. karelerin çizilmesi:
                    rect(100, 200, 100, 100); // 2.kare
                    fill (192, 57, 43);
                    rect(100, 300, 100, 100); // 3.kare
                    fill (230, 176, 170);
                    rect(100, 400, 100, 100); // 4.kare
```

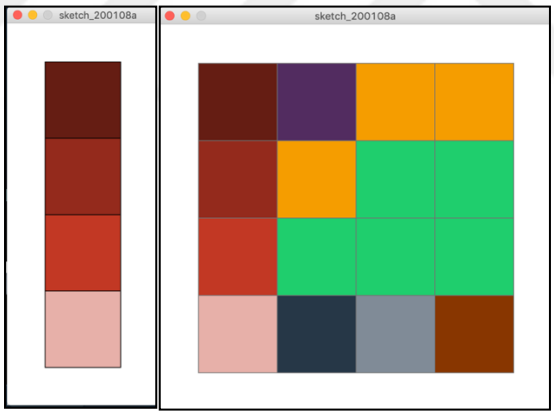
Belirtilen kodun yazımı ile elde edilen ekran, aşağıda şekil 2.12'deki gibi görünmelidir. Şekil 2.12'de başlat butonuna basıldığında, bilgisayar komutları okuyarak tasarımcıya renk kartelasının çizimini sunmaktadır.

Kod geliştirilerek, örneğin 16 ya da 500 birimli bir kartela da elde edilebilir. Tasarımcının elde ettiği, 4 ve 6 birimli renk kartelaları aşağıda şekil 2.13'te görülmektedir. Kartela, çizilmemiştir, bilgisayara komut verilerek programlanmıştır.

Bu kodlama biçiminde, açıklayıcı olması için uzun yol seçilerek her karenin kenar uzunluğu yazılmıştır (parantezin içinde yer alan ve virgülle birbirinden ayrılan her bir sayısal değer, bir kenarın uzunluğunu ifade etmektedir). Üst satırına her birimin hangi renkte olması gerektiğini belirten RGB kodu yazılmıştır. Başka bir tasarımcı, farklı bir teknik kullanarak (örneğin döngülerle (*loop*) ya da bir dikdörtgen çizip içini dört birime bölerek, eğerli cümlelerle "*if*" durum tanımlamalarıyla vb.) programını tasarlayabilecektir.



Şekil 2.12 Dört birimli renk kartelasının kodlama ekranının görünümü



Şekil 2.13 Tasarımcının kodlayarak elde ettiği renk kartelaları

Yukarıda şekil 2.12 ve 2.13'te görülen program, simülasyon programından farklı olarak statik (hareketsiz) bir programdır. Tasarımcının programlama diline, tasarımını geliştirebilecek düzeyde hakim olması ile, binlerce birime sahip olsa bile bir renk kartelası oluşturması, mimari bir çizim programında tek tek çizgileri çekerek ve içlerini boyayarak hazırlamasına göre daha kısa sürecektir. Çizgilerin ve karelerin ifade ettiği renklerin bir renk kartelasından daha fazlasını temsil etmesi (Örneğin hesaplanması gereken bir strüktürel sistem), çeşitli işlevleri ve özellikleri olması ile mimari bir çizim programında gerçekleştirilemeyecek işlemler hesaplamalı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

Bu örnekte basit şekilli bir renk kartelası çizilmiştir. Tasarımcılar bu platformda kendi fonskyonlarını oluşturarak, farklı ve çok ayrıntılı, iki boyutlu çizim teknikleri ile çizilmesi mümkün olmayabilen tasarımlar yapabilirler. Bilgisayar, yazılan kodu okumakta ve tasarımcının verdiği görevleri gerçekleştirmektedir. Kodlayarak hesaplamalar yapılabilmekte, hesaplamanın sonucu bir başka fonksyonun başlangıç verisi olarak alınabilmektedir. Bir birimin her seferinde belirlenen mesafede ilerletilmesi, döndürülmesi, şekil değiştirmesi vb. hareketli kurgular oluşturulabilmektedir. Bir eskiz kağıdında tasarlanabilecek ve çizilebilecek sonsuz proje olduğu gibi, dijital yazılım platformlarında da kodlayarak sonsuz proje tasarlanabilmektedir. Bir kağıtta olmayan hesaplama bilgilerini içermesi nedeni ile dijital platformlar (dijital eskiz kağıtları) tasarımcıya geniş olanaklar sunmaktadır. Dijital bir platformda bir çizgi çizilirken bu çizginin özellikleri bilgisayara tanımlanabilir, çizgi kurallara göre hareket ettirilebilir, biçimi değiştirilebilir vb. pek çok olay planlanabilir. Çizginin nasıl hareket edeceği ve kesişimi, çevresinde olanlar vb. çizgi dışı etkenlerle etkileşimi de tanımlanabilmektedir. Bir çizgi yerine bir mimari planlama, geomerik tasarım ya da akustik parametreler gibi hesaplamalara dayalı tasarım ve çizimler, kodlarla bilgisayara yaptırılabilmektedir. Mimarlık ve akustik biliminde en çok kullanılan *Autocad*, *Sketchup*, Odeon vb. programlar, tasarımcının işlerini bilgisayara yaptırmasını sağlamak üzere, çeşitli dijital platformlarda geliştirilmiştir. Tasarımcı, programda hangi komut ya da buton ile ne elde edebileceğini öğrenerek programları kullanabilmektedir. Kod grupları, mevcut programlarda genellikle bir kullanıcı arayüzü ile ifade edilmektedir. Bu nedenle, tasarımcı, genellikle programcının kendisine sunduğu grafik arayüzünün olanakları ile çalışmaktadır. Tez dahilinde gerçekleştirilen çalışmada, bu arayüz bulunmamaktadır. Bu sayede tasarımcı, işlerini bilgisayara yaptırırken kodlara müdahalede bulunabilmekte ve kullanacağı araçları daha iyi yönetebilmektedir.

Yukarıda örnek verilen renk kartelası, bir taşıyıcı sistem ya da bitişik nizam yapı birimlerini de tanımlayabilirdi. Taşıyıcı sistem ile ilgili kriterler, boyutlar ve bilgiler girilerek, tasarım yönlendirilebilirdi. Her bir yapı biriminin kendisi ya da birbiri ile ilişkisi ile ilgili bilgiler de planlanılabilirdi (örneğin sarı ile ifade edilen birimler, gri ile yan yana gelmemeli, yeşil birimler birbiri ile ilişki içinde olmalı (örneğin bir yüksek yapının çekirdeği tasarlanıyor) ve bu alan belirtilen metrekareyi geçmemeli. Mor birim ve koyu mavi birim, birer oda ise işlevsel nedenlerle birbirlerinden en az

belirtilen uzaklıkta olmalı. Oluşturulan 4 kare, bir bitişik nizam yapı birimini tanımlıyorsa iç mekan planlamasında, kapıların hepsi sokağa baksın, ortadaki iki dairenen (iki karenin) merdivenleri birbiri ile bitişik olacak şekilde, dış kısımlardaki karelerin merdivenleri, dış duvara yaslanacak şekilde dursun şeklinde tanımlamalar yapılabilirdi. Örnekleri çoğaltırsak, 50 x 50 cm bir oturma birimini tanımlayan bir kare çizilsin ve her bir oturma biriminin arası 100 cm olsun, bir bahçeyi belirten 1500 x 1500 cm'lik bir başka karenin içinde, oturma birimleri araları 100 cm olabilecek bir biçimde yerleşsin kurgusu kurularak bilgisayara kısa bir süre içinde, tanımlanan kriterlerdeki planlamayı ekrana getirebilecekti. Sistemin kurgusu oluşturulduktan sonra, kod ve hesaplamalarda ayrıntılı ayarlamalar yapılabilmekte (karmaşıklık arttırılarak program geliştirilebilmekte), sistem üzerinden farklı veriler elde edilebilmektedir. Örnek olarak, karelerin içine planlamaların; duvar kalınlıklarının, merdiven, asansör boşluklarının, asansör duvarı kalınlığının, duvar katman özelliklerinin, biçim, renk, malzeme ve birbirleri ile ilişkilerinin tanımlanması. Detaylandırıldığında, duvar katmanlarının kalınlık, yoğunluk, ağırlık, elastisite gibi özellikleri ve ses yalıtım değeri hesaplamaları tanımlanması verilebilmektedir. Bu durumda program otomatik olarak hesaplamaları yapacaktır. Tasarımcı, tanımlamalarına uygun çizilen ve hesaplanan tasarımları ekranında görecektir.

Tez süresince kodlanan programın ilk versyonlarında, renk toplamı değeri akustik olarak ayrıntılandırılmamış, ses düzeylerini taşımayan bir durumdan, son versyonlarda geliştirilerek, akustik tasarımcılar tarafından mevcut olarak kullanılan bir hesaplama programı ile çok yakın sonuç değerler verebilecek bir duruma getirilmiştir. Bir doğru parçasından ses ışınlarını temsil edebilecek özellikte bir vektör elde edilmiştir. Bu özellikler, tanımlanmıştır (örneğin yön, hız, ilerleme vb.). Işınlar, yansımalarla ilerleyen vektörlerden, üzerinde değerler taşıyan ses ışınlarına dönüştürülmüştür. Yüzeyler, üç doğru parçası ile tanımlanan üçgen alanlardan, bir salonda akustik simülasyonların gerçekleştirilebileceği üzerlerinde değerler taşıyan mimari birimlere (duvar, tavan vb.) dönüştürülmüştür. Bu birimlerin birbiriyle ilişkileri, akustik alanında, tasarımcıya faydalı olabilmesi için planlanarak geliştirilmiştir. Genel bir yaklaşımla kurulan sistem, yazılım modelinin karmaşıklığının (*complexity*) arttırılması ile detaylandırılmıştır ve bir akustik simülasyon programı elde edilmiştir. Yukarıda anlatılan birimlerin birbiri ile olan ilişkilerinde olduğu gibi, simülasyon programında da ilişkilerle ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Örneğin ses ışınlarını temsil eden

vektörler, salon modeli ile kesiştiğinde enerjisinin bir miktarını kaybederek yansımaktadır. Modelin içinden geçerek dışarıya çıkmamaktadır. Bu ilişki, renkli birimlerin ilişkileri gibi ışın ve model yüzeyleri için yapılan tanımlamalarla kurulmuştur. Hazırlanan simülasyon programı bir gürültü geçişi hesap programı olsaydı, ışınların ve üç boyutlu genel özelliklerinin modellenmesinden sonra yapılması istenilen işler ve işler sırasında gerçekleşen olayların tanımlanması, farklı ayrıntılandırmalarla bilgisayara tanıtılmalıydı. Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı'nın ilk versiyonlarında oluşturulan modele, ışık ve aydınlatma ile ilgili geliştirmeler yapılarak program farklı alanlarda tasarımcıya destek sunması amacıyla kullanılabilir. Tez çalışmasında, akustik biliminin bir konusu üzerinde örneklenen yöntem, programın karmaşıklığı arttırılarak detaylı akustik hesaplamalar için de kullanılabilir, karmaşıklığın daha az olduğu ilk versyonlarından yararlanılarak farklı alanlar üzerine de geliştirilebilir.

Kodlayarak tasarlamanın bir başka olumlu noktası, sistem kurulduktan sonra değişikliklerin hızlıca gerçekleştirilebilmesidir. Örneğin 200 oturma biriminin bulunduğu ya da 2 oturma biriminin bulunduğu farklı planlama seçenekleri arasında geçişin sağlanabilmesi için tasarımcının yapması gereken iş, 198 birimin modelden silinmesi değil, kodda değiştirmesi gereken bir değişkendir. Bu durumda tasarımcı, kodun ilgili bölümündeki 200 tanımını silerek yerine 2 yazmakta ve bu işlemin etkisini ekranında görmektedir. Mevcut mimari çizim programlarında da, yapılan işlem sonuçta kod değişikliğidir. Tasarımcı grafik arayüzün olanaklarıyla çalışabildiği için, genellikle ekrandaki model ya da çizgileri seçmek ve silmek durumundadır. Başka bir sorunda, 1500 x 1500 cm'lik bahçeye a tipi, b tipi, c tipi, d tipi, e tipi farklı biçimlerde olmak üzere, oturma birimlerinden a ve b birbirine en yakın 40 cm, b ve c birbirine en uzak 50 cm uzaklığında yerleştirilsin, e tipi oturma birimi en çok olsun, b ve c tipinden toplam 10 adet olsun, a ve d tipindeki oturma birimleri hiç yan yana gelmesin, a ve c tipleri 100 kg taşıyıcılığa sahip bir kesitte olsun v.b. kriterlerle tasarlamak gerektiğinde, tasarımcı bilgisayara kodlarla hesaplamaları tanımlarken, bir çizim ya da modelleme programında bu kriterlere göre tasarımını geliştirmesi için, her adımı kendisi hesaplamalıdır. Kriterler arttırıldığında, birine uygun diğerine uygun olmayan tüm durumları, aklında tutması gerekmektedir. Bu durum, tasarım süresi ve işin yapılma kolaylığını etkilemektedir. Kriterler bilgisayara tanımlandığında ise, kriterleri sağlayan olası planlamalar bilgisayardan edinilerek çeşitli durumlar

değerlendirilebilecektir. Benzer bir yaklaşımla hazırlanan, literatüre bakışta anlatılan, kendi içinde ve birbiri ile ilişkisinde çeşitli kriterler bulunan yaşam birimlerinin tasarlandığı ön projeden alınan kodun bir bölümü ve bilgisayar tarafından önerilen planlama görselleri tezin ekinde şekil 5.2'de yer almaktadır.

Literatürde, kodlayarak tasarlamanın yanısıra mekanik sistemlere bağlanarak gerçekleştirilen sıra dışı örnekler de sanatçılar ve mimarlar tarafından gerçekleştirilmiştir. Hannes Jung tarafından hazırlanan, bir reaktif yüzey projesi olan ''*.fluid''*(Url-40) *,* bir *Arduino* (Url-41) (herkesin kendi yapabileceği bir bilgisayar), non-newtonian akışkan (Newton'un viskozite kanununa uymayan akışkan), bir hoperlör ve *Processing* kullanarak, yüzeyden gelecek dokunma etkileri ile, düzlemin içine yerleştirilmiş bir havuza benzeyen sıvı, düzlemden üç boyutlu simetrik dokular oluşturulacak şekilde hareket etmektedir. Tasarımcı düşüncesini, kodlayarak kurgulamış ve bir bilgisayarla bağlayarak hayata geçirmiştir. İnsanla dokunarak iletişim kuran fiziksel bir yüzey yaratmıştır. Örneğin, çok amaçlı bir salonun klasik müzik ve konuşma etkinliği için kullanılması istenildiğini varsayalım. Akustik tavan panellerinin müzik ya da konuşmaya uygun olarak hacimde konumunu alması gerekmektedir. Anlatılan sistem kontrolü, bu noktada kullanılabilmektedir. Klasik düzene göre tasarlanmış dikdörtgen kesitli bir salonda, yeni bir kullanımla orkestranın karşılıklı duvarlarda olmak üzere 2 adet olduğunu ve tezde önerilen algoritmayı bir mekanik sisteme bağladığımızı varsayalım. Tavan panel açıları nasıl olmalı ki, ses dinleyicilere uygun koşullarda ulaşabilmeli sorusunun cevabına göre, mevcut panellere göre en uygun açılar veri kayıtlarından bulunarak paneller istenilen konuma getirilecektir. Çok amaçlı bir salonda, hacmin kontrol edilerek farklı müzik tiplerine göre akustik koşulların yaratılması da benzer bir durumdur. Çeşitli alanlardan örnek projeler, internet sitesi (Url-6), Fry ve Reas (2010), Shiffman (2015), Bohnacker ve diğ. (2012), Pearson (2011)'ın hazırladığı kaynaklarda detaylı açıklamalarla görülebilmektedir.

Geleneksel geometri esaslı modelleme programlarında model hazırlayan bir mimar, programın grafik arayüzünde yer alan araçların el verdiği olanaklarla tasarımını geliştirebilmektedir (kalem tuşu ile düz çizgi, küp tuşuna basarak küp şekli elde etmesi gibi) ya da çıktı paftasını programda hazırlandığı şekilde alabilmektedir. Grafik arayüzünde bulunmayan araçların geliştirilmesi, örneğin kendi projesine uygun boyutlarda ve biçimde çıktı paftasının hazırlanması ya da parametrelerle oluşturulan

farklı geometrilere sahip matematiksel olarak tanımlanabilen biçimlerin hazırlanması, genellikle ek bir programlama platformu ile mümkün olmaktadır. Tasarımcılar, istedikleri yapıyı bir yazılım platformunda geliştirip mevcut programlara da ekleyebilmektedir. Örneğin, özel bir parabolik silindir modeli yapılmak istenildiğinde, analitik sistemde x, y ve z eksenlerinde tanımlanabilen bir silindir, bilgisayara komutlarla tanıtılır. Geleneksel geometri esaslı modelleme programlarında ise bu durum uzun sürebilmektedir. Tasarımcı, mevcut modelleme programındaki kalem aracını kullanarak, tek tek silindir yüzeylerini çizmelidir ya da programda tanımlanmış olan bir silindiri değiştirmelidir. Mimari gereksinimler ve akustik performansını yorumlamak için ise farklı programlara ve uzun çalışma sürelerine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Hesaplamalı tasarım tekniklerinin, kriterlere ve teknik bilgilere göre gerçekleşen yapı fiziği alanlarında, pek çok fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Programlayarak, kriter ve parametrelere göre tasarlamanın, yapısı nedeniyle teknik alanlarda mimarlığa geniş fırsatlar sunabileceği düşünülmektedir. Tez çalışmasında, düşünülen fırsatlardan bir olası durum test edilmiştir (önerilen yöntemin Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı'nda örneklenmesi ve sınanması). Akustik işlevli salonların tasarımında kullanılabilecek bir yöntem önerisi yapılarak, mimari birim üretebilen, veri kaydı, geometrik akustik simülasyon, hesapları yapabilen ve dinleyici alanına göre çeşitli kriterler belirleyerek tasarımcıya akustik konusunda fikir vermesi hedeflenen bir program geliştirilmiştir. Akustik paneller üzerinden gerçekleştirilen testlerde, akustik panellerin sayı, biçim, açı vb. özelliklerinin değişiminin salonda etkin ses dağılımına etkisinin ölçülmesi ve kayıt edilmesi gibi özellikler tanımlanmıştır. Tasarımcının tasarım üretimini ve ürettiği tasarımın akustik sonuçlarını öğrenebilmesi hedeflenmiştir. Akustik paneller üzerinden örneklenen işlemlerin tümü, geometride yer alan tüm mimari birimler ya da tüm parametreler (yutuculuk değerlerinin sistematik bir biçimde değerinin artırılıp azaltılması gibi) için gerçekleştirilebilmektedir.

Tasarımcı, programını ve tasarımını geliştirirken, içinde farklı yöntemleri bir arada kullanabilmektedir. Kullandığı yöntemlere ve kullanma biçimine göre, program modeli şekillenmektedir. Örneğin, Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Program'ında ses ışınlarının kaynaktan çıkarılması ve yayılması ile ilgili kullanılan *Monte Carlo* yöntemi bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

2.5.11 Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo yöntemleri ya da deneyleri, rastgele (*random*) örneklemeye dayanan, sayısal sonuçlar elde edilebilen bir bilgisayarlı algoritma sınıfıdır. Algoritma, rastgele sayılar üreterek rastlantısal değişkenler oluşturmaktadır. 1940'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Temel konsept, rasgeleliği kullanarak prensipte belirleyici olabilecek sonuçları elde ederek sorun çözümü gerçekleştirmektir. Genellikle fiziksel ve matematiksel sorun çözümünde kullanılan bu yöntem, dalga simülasyonlarındaki zorluklar gibi diğer yaklaşımların zor veya olanaksız olduğu durumlarda faydalıdır. Monte Carlo yöntemi geliştirilmeden önce, simülasyonlar deterministik sorun olarak çözümlenmeye çalışılmakta, istatistiksel örneklemeler belirsizlik tahminlerinde kullanılmaktaydı. Bu yaklaşım, Monte Carlo simülasyonları ile değiştirilerek, deterministik sorunlar, olasılıksal bir yaklaşımla çözülmeye başlanmıştır. Bu yöntemde kullanılan modeller; istatistiksel, deterministik sayısal, simülasyon ve sayısal, olabilirlik ve *Bayesian* olarak sayılmaktadır (URL-7, 2019). Ses yayılımının hesaplanması ve yerinde ölçülmesi ile ilgili yapılan çalışmalarla, deneysel verilerin algoritmanın hesaplama sonuçları ile uygun sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Belov, Burkatovskaya, Krasnenko, Shamanaeva, 2018) .

Tezde, ışınlar bu yönteme göre yayılım gerçekleştirmektedir. Rastgele ışınlarla çok defa ve çok sayıda ışınla tekrarlanan simülasyon sayısı arttıkça, değerlendirme sonuçları da daha hassaslaşmakta ve gerçeğe yakınlaşmaktadır. Bu yöntemle ses dağılımı gerçekleştirebilmek için, kaynaktan çıkan ses ışınlarını temsil eden vektörlerin çok sayıda olması gerekmektedir. Günümüzde, bilgisayarların hesaplama gücünün gelişmesi ile bu yöntemi mimari akustikte kullanmak mümkün olmuştur. Tez çalışmasındaki testlerde bir kaynaklı ve bir sinyalli durum kullanılmıştır. Hazırlanan program, birden fazla ses kaynağının eklenmesine, kaynak hareketine ya da sürekli sinyal verilmesine uygun olarak tasarlanmıştır.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM, İŞLEYİŞİ, ÖRNEKLENMESİ, SINANMASI ve KARŞILAŞTIRMALAR

Tez çalışmasında, mimar ve akustik danışmanlar başta olmak üzere tasarımcılara; tasarımın ilk aşamalarından itibaren akustik işlevli salonların tasarımında kullanabilecekleri, aktif ve algoritmik bir dijital tasarım destek yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, önerilen yöntem, geliştirilmesi, işleyişi ve sınanması, yöntemin örneklenmesi için hazırlanan programların tasarımı ve özellikleri, performans testleri, akustik sonuçlarının sayısal değerleri, test ve karşılaştırmalarla ilgili bulgularla, tasarımcıların faydalanabilmesi için oluşturulan komut kılavuzu yer almaktadır.

3.1 Önerilen Yöntem

Önerilen yöntemde akustik performans, tasarımcının üzerinde çalıştığı mevcut tasarımın dışında, olası diğer tasarım durumlarında da sınanarak, sonuçlar, ayrıntısız ve hızlı bir biçimde tasarımcıya sunulmaktadır. Tasarımcı, en iyi performansı veren tasarımı seçmekte ya da tasarımını ilerletebileceği yönü, akustik performansa göre belirlemektedir. Kodlayarak tasarlama tekniği ile, olası diğer mimari birim ya da salon tasarımlarının otomatik üretimi, temsili, simülasyon, hesaplama, akustik performans ölçümü, veri kaydı vb. tasarımcının karar ve yorumlamasını gerektirmeyen, hesaplamalı tüm işlemlerin bilgisayara yaptırılması, tezde hazırlanan algoritma ile gerçekleşmektedir. Tasarım sırasında çalışılan model aktiftir (hareketlidir). Olası farklı tasarım durumları, çizim ya da modelleme yapılmadığı halde ekranda görülmektedir. Bilgisayarın yapması istenilen işler (mevcut yöntemlerde tasarımcının gerçekleştirdiği işler), kodlarla net bir biçimde bilgisayara adım adım tanımlanmıştır. Bilgisayar, tasarımcının oluşturduğu ve kontrol ettiği algoritmayı işletmektedir. Hazırlanan algoritma kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlarda, belirli bir durumdan, sonlu sayıda adımda belirli bir sonucu elde etmek üzere, tam olarak izlenilmesi

gereken adımlar ve ayrıntılı tanımlanması gereken kurallar (başka bir algoritma) bulunmaktadır. Bu nedenle yöntem, algoritmiktir.

Gerçekleşen işlemler; dijital bir platformda, tasarımcının belirlediği kriterlere göre, panel, duvar, kanopi, balkon, platform, hacim, salon çeperi vb. seçilen mimari birimlerin, sistematik bir biçimde bilgisayara ürettirilmesi, tasarımcının belirlediği kurallara göre üretilen rastgele ya da tüm olası tasarımların (geometrik durumlarının), farklı malzemelerin ya da ilgili parametrelerin sınanarak akustik performans değerlendirmelerinin yapılması, verilerinin kaydedilmesi ve değerlendirilmesidir. Yöntemin verimli kullanılabilirliği, güncel bilgisayar teknikleri ile mümkündür. Tasarımcı, her karar adımında, tasarım sorusunu detaylandırarak ve bilgisayara tanımlayarak, bilgisayarın sunduğu performans değerlenirmelerinden yararlanmakta, tasarımını geliştirmektedir. Mimaride güncel olarak geliştirilen kodlayarak tasarlama, hesaplamalı, bilgi işlemsel, parametrik, algoritmik, sayısal, performansa dayalı tasarım vb. isimler kullanılarak nitelendirilen bilgisayarlı hesaplama tekniklerinin, akustiğin çok kriterli gereksinimlerini mimari tasarım ile birlikte ele alarak değerlendirmeye uygun olduğu düşünülmüştür. Bu tekniklerin, mimarların kullanımına uygun bir biçimde geliştirilerek akustik işlevli salonların tasarımında kullanılmasının tasarımcıya çeşitli olanaklar sunabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle yöntem, tez çalışmasında geliştirilen Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nda örneklenmiştir ve akustik özelliklerle detaylandırılarak sonuçları test edilmiştir. Program, geometrik akustik teorisine dayanmaktadır ve Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır. Kayıt edilen verilerin görselleştirilmesi için bir alt program da hazırlanmıştır. Alt programla, olası tasarım durumlarının bilgilerini ve performans verilerini içeren sayısal değerlerden, tasarımcının seçtiği durumun değerleri görselleştirilmektedir.

Önerilen yöntemin geliştirilmesinde, tezin 2. bölümünde anlatılan bilgisayar ve akustik biliminde kullanılan yöntem, hesaplama ve formüllerden yararlanılmıştır. Kapalı salonlarda farklı geometri ya da malzemlerle oluşturulan tasarımların, ses hareketleri ve olaylarına bağlı olarak kayıt edilen akustik performans bilgileri tasarımcıya, özgür bir yazılım platformunda, örnekler üzerinden geliştirilerek hazırlanan simülasyon programı aracılığı ile sunulmuştur. Önerilen yöntem, tasarımcıya tasarımın ilk aşamalarından itibaren destek olması hedeflenerek tasarlanmıştır. Tez süresince geliştirilen program, mevcut başka bir tasarım üretimi ya da analiz programıyla aynı amaç ve özellikleri taşımamaktadır. Akustik hesap

sonuçlarının uygunluğunu kontrol etmek üzere, tasarım desteği sırasında oluşturulan olası geometrik durumlar arasından seçilen 7 farklı salon tasarımının (geometrik durumun) sonuçları, tasarımcılar tarafından kullanılan ve geçerliliği kabul edilen mevcut bir akustik simülasyon programının (*Odeon*) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hazırlanan kod strüktürü, tez süresince, yöntemin uygun işleyişi için gereken hesaplama sonuçlarının mevcut bir program sonuçları ile karşılaştırılabilir noktaya gelinceye kadar ayrıntılandırılmaya çalışılmıştır. Bu noktaya kadar sesle ilgili çeşitli parametreler ve modüller programa eklenmiştir. Program kodlanarak geliştirildiği için, sürekli geliştirilmeye açıktır. Programın karmaşıklığı arttırıldıkça, akustik açıdan daha hassas hesaplar yapılabilecektir.

Tezin literatüre bakış bölümünde anlatılan, tasarımcıların akustik işlevli salon tasarımının ilk aşamasından başlayarak kullanabileceği, akustik yorumlamayı sağlayabilecek bir platformun ve mimarlar için detaylı akustik bilgisinden bağımsız kullanabilecekleri, akustiğin yön gösterici olduğu bir geometrik tasarım geliştirme yönteminin eksikliği düşünülerek, önerilen yöntemin ve örnek programın araştırma sorununa cevap verebilmesi hedeflenmiştir. Tezin, ileride yapay zeka ve salon akustiği çalışmalarına katkıda bulunabilmesi, literatürde anlatılan noktalara çözüm bulabilmesi ve tasarımcıya hız kazandırabilmesi de düşünülerek yazılan programın, akustik parametrelerinin detaylandırılmasından (yazılım modelinin karmaşıklaştırılmasından ve hassas akustik hesap yapabilmesinden) çok, hızlı çalışmasına, mimar, tasarımcı ve akustik danışmanlara yönelik geliştirilmesine önem verilmiştir. Literatürde önemli olduğu belirtilen akustik kriterler, önerilen yöntemin geliştirilmesinde temel alınmıştır. Yöntem tasarlanırken, çok sayıda salonun akustik analizlerinin yapılmasına gereksinim duyulduğu (çok sayıda olası geometrik durum denemeleri), mevcut yöntemler ile analiz yapılmasının uzun sürebileceği de değerlendirilmiştir. Mevcut dijital destek programlarının tez dahilinde kullanılamama nedenleri, tezin 1. bölümünde açıklanmıştır. Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı, farklı biçimlerdeki salonlarda denenerek, çalışabilirliği ve yönteme uygunluğu kontrol edilmiştir. Dört adet test salonu oluşturulmuştur. Program, test salonları üzerinde geliştirilmiştir. Programda yorumlanması istenilen akustik veriler, test sonuçlarına dayalı gelişmeler eklenerek tanımlanmıştır. Karşılaştırmalar, programın akustik özelliklerle geliştirilmesinden sonra yapılmıştır. Dört adet test salonundan 2. ve 4. test salonu seçilerek Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programına 7 farklı geometrik durum

ürettirilmiş (kuralları girilen durumlar otomatik olarak modellenmiştir) ve akustik sonuçları hesaplanmıştır. Bu geometrik durumlar, *Sketchup* mevcut mimari modelleme programında da modellenerek, *Odeon* Akustik Simülasyon Programında akustik sonuçları hesaplanmıştır. Ses düzeyi haritaları, sayısal değer sonuçları ve yöntemler, süre açısından da karşılaştırılmıştır.

Tezde, yöntem işleyişinin test edilmesi için hareketli bölüm, akustik paneller olarak seçilmiştir. Hazırlanan geometrik durumların testlerinin ve karşılaştırılmalarının yapılması, akustik panellerin üzerinde çalışılarak gerçekleştirilmiştir. Mimari modeller, değişkenler, koordinatlar ve yüzeyler tanımlanarak bilgisayara tanıtılmaktadır. Bu nedenle, haraketli birimin, panel, tavan, balkon, platform, duvar, döşeme, kolon, kiriş, çatı olması, algoritma yapısı için fark etmemektedir. Mimari birimin değişimi, algoritmanın içinde kullanılan parametrelerdeki tanımlama değişikliklerinde önem kazanmaktadır. Akustik panellerin hareket ettirilmesi, sayı, boyut, biçim, konum, açıları, malzemelerinin değiştirilmesi gibi, Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programında uygulanabilen her olay ve durum, diğer tüm birimlere uygulanabilmektedir. Akustik paneller, çok sayıda, farklı özelliklerde ve konumda olabildiği için, bilgisayara tanımlanırken matematiksel olarak daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Örneğin, birim çoğaltmada duvarlardan daha uygun (genellikle çok sayıda yan duvara sahip bir salon tasarlanmamaktadır), açı değiştirme ve olası sonuçların kayıtlarının oluşturulmasında döşemeden (1 adet salon döşemesi olması ve açı değişikliğinin sınırlı olması nedeniyle) daha uygun olduğu düşünülerek seçilmiştir. Sistem, karmaşık bir tanımlamada çalıştığında (örneğin panelin boyutu büyürken, ilerlemesi ve biçim değiştirmesi), basit yapılı (örneğin dikdörtgen bir salonun hacim arttırılması) problemlerde de çalışacaktır. Kodda iki değişken tanımlanarak, aynı anda farklı birimler de hareket ettirilebilecetir. Bu durum, bilgisayarın hesaplama gücüne göre, simülasyon süresini etkileyebilmektedir.

3.2 Önerilen Yöntemin İşleyişi ve Kullanım Örnekleri

Üç boyutlu aktif model simülasyonunda, geliştirilen yöntem ve program, tasarımcılara destek olmak amacı ile hazırlandığı için, salonun modellenmesi ve kurallarının girilmesi ile başlayan süreç, tüm aşamalarda, tasarımcının yorumlamasına açık tasarlanmıştır. Tasarımcı, bilgisayara tasarım ürettirmek için kuralları belirleyerek simülasyonları başlatmalıdır. Tasarımcı, simülasyonları eş zamanlı izleyerek ve / veya

tasarımının performans sonuçlarını incelemekte ve kararlar almaktadır. Aldığı kararlara göre, tasarımında değişiklikler yapabilmekte, farklı yönlerden tasarımının performansını değerlendirebilmektedir. Düşündüğü ya da düşünmediği farklı olası tasarım durumlarının performans verileri ile karşılaştırmalar yapabilmekte, tasarımının temsilini elde edebilmektedir.

Tasarımcı, önerilen yöntemle tasarlarken, detaysız bir yaklaşımdan, adım adım tasarımını detaylandırarak her simülasyonda bir parametreyi değiştirerek çalışabilmektedir. Örneğin, tasarımcı farklı alanların, akustik gereksinimlerin ve değerlendirme kriterlerinin tanmlamalarını yaparak, kare bir salonla, 30 x 30 m olduğunu varsayalım, tasarımına başlar. İki duvarının uzunluğunu dikdörtgen kesitli 30 x 50 m bir salona doğru, her adımda 1'er metre uzatarak 21 farklı durumu test eder (30 x 30, 30 x 31, 30 x 32, 30 x 33….30 x 49, 30 x 50 m). Başlat tuşuna basıldıktan itibaren, 21 salon modelinin üretimi ve testi otomatik gerçekleşir. Tasarımcı istediği performans sonuçlarını (akustik dışında, tasarımın strüktürel gereksinimlere uygunluğu, yapının planlaması ile uygun boyut oranları, dinleyicilerin konumu yüzey boyutu, işlevsel olarak uygunluğu, çeşitli tasarımların görünümü vb. geometri üretim ile ilgili çeşitli gereksinimler dahil edilebilir) veren bir durumu değerlendirerek seçer. Sonrasında salonun içinde kaç adet akustik panel kullanacağının akustik performansını test eder (örnek kural: miktarı büyüdükçe boyutu küçülen paneller, 1, 2 3, 4,…en çok 200 olsun ve toplam 600 farklı kombinasyon denensin). Yirmi beş adet panele karar verdiğini varsayalım, panellerin hangi açıda (örnek kural: panellerin 10'ar derece döndürülmesi ile 25 panelin tüm olası durum kombinasyonlarının test edilmesi) ya da hangi yükseklikte durması gerektiğini (3 m'den başlayarak 10 m yüksekliğe kadar her panel aynı anda olmak üzere 50 cm yukarı kaldılıralarak 15 durumu) test eder ve akustik performans sonuçlarını yorumlar. Soruyu detaylandırarak, belirli panellerin hangi konumunda, belirli bir dinleyici alanı bölgesini etkilediğini sorabilir. Geometriyi sabitleyerek, panel malzemesi yutuculuğunun her simülasyonda düşürülmesinin belirli bir dinleyiciye olan etkilerini araştırabilir. İstediği performans sonuçlarını da benzer bir biçimde, birer parametre olarak tezde hazırlanan algoritmada tanımlamalıdır.

Bu adımlar, farklılaşabilir ve birleştirilebilir. Bilgisayar her simülasyonda belirtilen parametreleri hesaplamalarla ilişkilendirmektedir. Bu durumda tasarımcı; hacim her simülasyonda 100 m^3 büyütülerek ve akustik panel sayısı 2 katına çıkarılarak olası tasarım durumlarının (en küçük 3000 büyük hacim 300000 m^3 olsun) performans

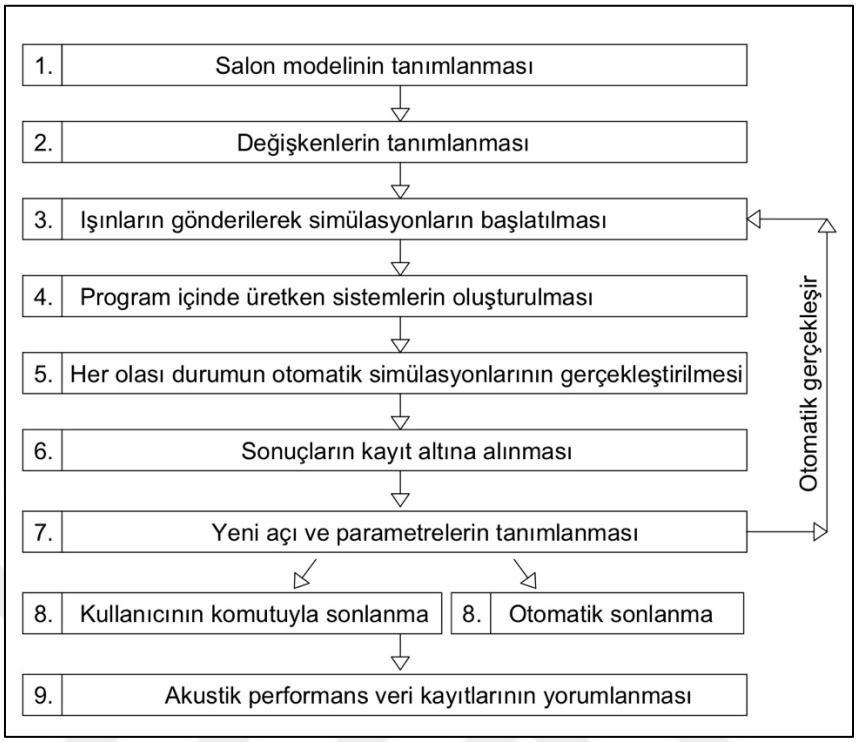
sonuçlarını elde etmek istediğini de bilgisayara tanımlayabilir. Mevcut bir yapıda bulunan bir salona akustik panel eklenilerek akustik performansının arttırılması istenilen bir durumda, paneller, hangi açıdayken salondaki ses düzeyi ve ses dağılımının en yüksek performansı gösterdiği sınanabilir.

Çizelge 3.1'de sürecin işleyiş şeması görülmektedir. Her testte (simülasyonlar dizisinde) kuralların belirlendiği bölüm, çizelge 3.1'de görülen değişkenlerin tanımlanması aşamasında gerçekleşir. Kurallar değişkenlere tanımlandıktan sonra, sonlanma adımına kadar olan adımlar, otomatik olarak gerçekleştirildiği için model yapılmasına, farklı programlarla çalışılmasına, farklı olası tasarımların akustik hesaplarının yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Bu işler, tez süresince algoritmaya tanımlanmıştır. Tasarımcı simülasyon dizilerinin bitişinde tüm ya da istediği herhangi bir tasarımının performans sonuçlarını yorumlamaktadır. Giriş (birim sayısı, mesafe, açı vb.) ve çıkış (belirli bir noktadaki ses düzeyi, gelen ışının yolu, sesin ulaşma süresi, dinleyici alanı üzerindeki dağılım vb.) parametrelerinden başka, algoritmada (simülasyon işleyişi ve hesaplama formülleri) değişiklik yapılmak istenildiğinde, kaynak kodun ilgili bölümüne, tanımlamalar yapılmalıdır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde, tasarımcının önerilen yöntemle tasarım yapabilmesi için geliştirilen programın farklı kullanımından örnekler verilmiştir. Parametrik olarak kriterlerin ele alınması ile, panellerde uygulanan belirtilen kriterlere göre tasarımcının tüm durum seçeneklerini bilgisayara test ettirmesi düşüncesinin, farklı yüzey malzemeleri, farklı reverberasyon sürelerinin denenmesi, farklı salon boyutlarının denenmesi, farklı değerlendirme kriterlerinin seçilmesi (ses basınç düzeylerinin ağırlıklı değerlendirmeleri vb.) ya da yeni kriterler eklenmesi (netlik, bas oranı vb. parametre hesaplamaları) gibi çeşitli girdilere uygulanması mümkün olabilecektir.

Farklı durumların denenmesini istemeyen bir tasarımcı, önerilen yöntemi statik bir biçimde kullanarak da, akustik performans sonuçlarından faydalanabilecektir. Bu durumda, simülasyon dizileri, tasarımcının tanımladığı 1 geometrik duruma göre gerçekleşir (mevcut akustik tasarım yöntemlerinde olduğu gibi). Salondaki mimari birimler ya da kaynak otomatik hareket etmez, malzeme özellikleri değer değiştirmez.

Çizelge 3.1: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yönteminin İşleyişi



Çizelge 3.1'de görülen işleyiş adımları:

1. Salon modelinin tanımlanması: Tasarımcı salon modelinde, simülasyonun değerlendirmesini istediği model parçalarını bilgisayara kayıt eder. Bu sayede modelin bu parçaları ve parçaların birbiri ile etkileşimi üzerinde çalışabilmektedir. Model parçaları, ağ olarak bilgisayara tanıtılır. Bu model bölümlerinin ismini, üç boyutlu aktif simülasyon programına yazar.

2. Değişkenlerin tanımlanması: Üretilmesi istenen mimari birimlerin (tezde panel ürettirilmiştir) kaç adet, hangi aralıklarla ve açılarla, hangi yöne doğru, hangi boyutlarda vb. tanımlamalarını programa girer. Tanımlamak istediği ek özellikler varsa tanımlar.

3. Işınların gönderilerek simülasyonların başlatılması: Tasarımcı, başlat butonu ile simülasyonlar dizisini başlatır ve isterse izler.

4., 5., 6. ve 7. adımlarda belirtilen işlemleri, tasarımcının hazırladığı ya da kontrol ettiği algoritma gerçekleştirmektedir. Işınlar gönderilerek ekrandaki başlangıç geometrik durumun akustik simülasyonu gerçekleşir. Bilgisayar tarafından geometrik durum değiştirilerek tekrar akustik simülasyon gerçekleşir. Her

simülasyon sonucunda, veriler kayıt altına alınır. Önceden tanımlanan kurallara göre, kaç adet olası tasarım durumu varsa, aynı miktarda simülasyon tekrarlanır. Otomatik gerçekleşen, bilgisayara tanımlanmış işlemler, tezin 3.3.1. kod geliştirme süreci bölümünde anlatılmıştır.

8. Tasarımcı, istediği bir zamanda işemleri sonlandırabilir ya da tüm olası tasarım durumlarının akustik performansının sınanmasını bekleyebilir.

9. Tasarımcı, simülasyon sonuçlarının kayıt edildiği dosyayı açar ve önceden tanımladığı, kayıt edilmesini istediği kriter sonuçlarını (Tezde renk toplamı, homojenlik ortalama ve standart sapma olarak 4 adettir, ismi ve hesaplanma biçimi değiştirilebilir) inceleyerek tasarımını nasıl ilerleteceğinin kararlarını verir. Kararları, otomatik değerlendirilmiş diğer olası tasarım durumlarının performansına göre alır.

Geometrik değişiklik yapmak isterse, mimari modelleme programına geri dönmeden, üç boyutlu aktif simülasyon programında, 2. adımda belirtilen tanımlama bölümüne istediği değişiklikleri yazar ve programa düşündüğü tasarımları yeniden ürettirir.

Bu durumda, belirtilen geometrik değişiklikler için tasarım ve akustik değerlendirme sırasında akustik ve mimari modelleme programları arasında geçişler yapılmaz. Tasarım, akustik performans sonuçlarına göre, her simülasyon dizisinde belirli bir ya da daha çok parametrenin değiştirilmesi ve detaylandırılması ile geliştirilir. Video ve görseller de üretildiği için, tasarımcı sunumunu aynı platform içinde hazırlayabilmektedir. Aşağıda çizelge 3.2'de, önerilen yöntemle tasarım sürecinin işleyiş şemasında, diğer programlarla ilişki görülmektedir.

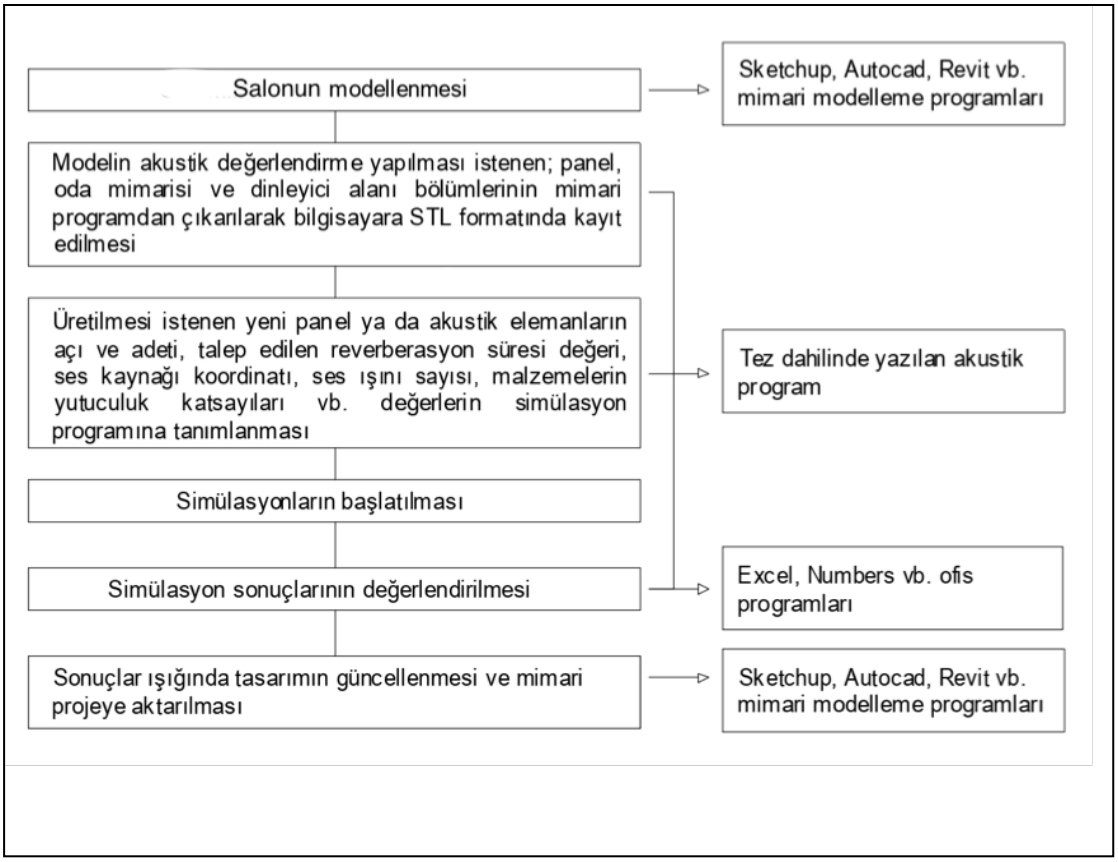
Simülasyonlarda, salonda yer alması istenilen tek bir birimin modellenmesi yeterlidir. Örneğin bir salonda dairesel paneller kullanmayı düşünen tasarımcı, mimari modeline bir dairesel panel modelleyecektir. Üç boyutlu simülasyon programına getirdiği bir panelin, kaç adet, hangi aralıklarda, yükseklikte, açılarda vb. test edilmesini istediği vb. kriterlerini yazı ile numara girerek ya da evet hayır komutları ile tanımlayacaktır. Üç adet dairesel panelin salonda farklı yerleşimlerinin akustik dağılıma olan etkilerini incelemek istediğinde, aktif simülasyonda panel sayısı bölümüne 3 yazarak, koordinat sisteminde panellerin her simülasyonda ne kadar hareket etmesi gerektiğini belirtmelidir. Mimari modelde bulunmayan ve test edilmek istenilen farklı birimler (mimari modelde 1 panel ancak aktif simülasyon programında 3 panel görülmekte),

programın üretken sistemleri ile üretilmektedir. Simülasyonlar başlatıldığı anda, tasarımcının belirlediği kriterlerde (belirli bir yönde 50 cm aralıklarla varsayalım) üç panel oluşturularak her simülasyonda 3 panel 50 cm ilerleyerek, salonda farklı konumlarda test edilecektir. Tasarımcı 3 değil ancak 5 panel test etmek isterse, tekrar mimari modele dönerek farklı noktalara paneller yerleştirmek yerine, aktif simülasyon programının panel sayısı bölümüne 5 yazarak 1'i mimari modelden gelen 4'ü programda üretilen 5 panelle çalışmaktadır. Olası durumların sınırları da belirtilmelidir. Örneğin, 50 cm ilerleyen paneller, toplam 10 m yer değiştirdiğinde dursun, ya da arka duvardan 100 cm mesafeye kadar tüm olası durumlar denensin kuralları, başta tanımlanması gereken parametrelerdir. Bilgisayar tanımlanan kurallara göre olabilecek tüm tasarım durumlarını üreterek sınayacaktır. Parametreler, ilgili değişkenlere tanımlanmalıdır. Değişkenler birden fazla olduğunda, örneğin 6 m yüksekliğinde, 20 x 20 m kare bir salonun paralel iki duvarlarının 1'er metre arttırılarak hacmin her simülasyonda büyümesi ve tavan panellerinin her simülasyonda 20 cm aşağıya inmesi kuralları, 2 değişken olarak başta tanımlanmalıdır. Bu durumda ekranda sınanan salon tasarımı, 1. simülasyonda, 2400 m^3 hacme ve 5.50 m yüksekliğinde duran panellere sahiptir. 2. simülasyonda, 2646 m^3 hacme ve 5.30 m yüksekliğinde duran panellere sahiptir. Panellerin en az 4.50 m yüksekliğinde bulunması kuralı başta tanımlanmışsa, simülasyon dizileri 6. simülasyon sonunda durarak, 6 farklı tasarım durumunun akustik performansını ve simülasyonlarda gerçekleşen olayları tasarımcıya sunmaktadır. Başta tanımlanan parametreler gibi, sınamanın biçimi, sonucunda alınması istenilen parametreler de bilgisayara tam olarak tanımlanmalıdır.

Örnekler arttırılırsa, bir salon 500 kişiye göre sınanmak istenmektedir. Mimari modelde 1 birimin oluşturulması yeterlidir. Üç boyutlu aktif simülasyon programında istenilen adette, mimari modelde değişiklik yapmadan, sandalye ve kişi sayısı çoğaltılabilecektir. Orkestranın ortada olduğu ve üç farklı dinleyici alanının olduğu bir salon tasarlanmak istenildiğini varsayalım. Dinleyici alanları hangi konumdayken salonun ortasında bulunan ses kaynağından en uygun biçimde yararlanabilmektedir? sorusu sorulsun. Bu durumda, bir dinleyici alanı oluşturup, üç boyutlu aktif simülasyon programında dinleyici alanı sayısı bölümüne 3 yazarak kurallar belirlenmeli ve simülasyonlar gerçekleştirilmelidir. Bilgisayar, dinleyici alanlarını küçültüp büyüterek, konumlarını açılarını değiştirerek belirlenen kurallara göre üretmekte ve

akustik simülasyon gerçekleştirmektedir. Birimler, tasarlanan geometrik düşüncenin yazı ile ifade edilmesi ile modele aktarılmakta ve kısa sürede çok sayıda farklı tasarım sınanmaktadır.

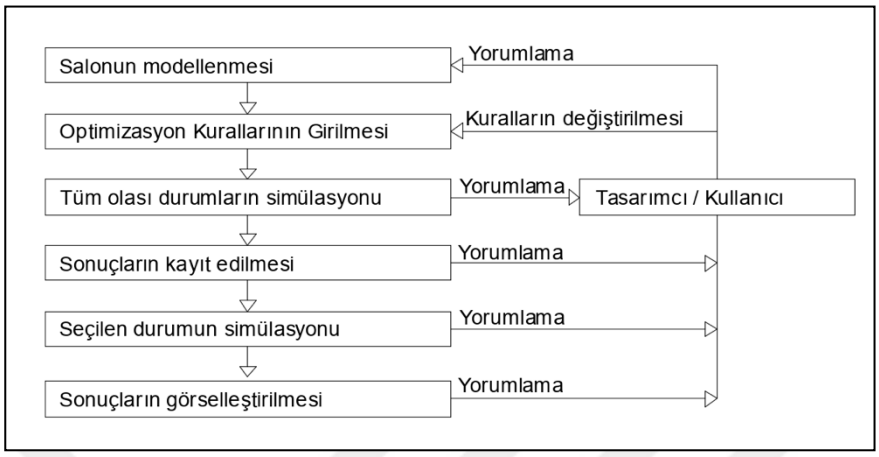
Çizelge 3.2: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yöntemi ile tasarlama sürecinin diğer programlarla ilişkisi



Biçimde, matematiksel olarak zor tanımlanabilecek değişiklikler bulunuyorsa, tasarımcı modelde parça değişikliği de yaparak tasarımına dahil edebilecektir.

Örneğin salonda x biçiminde ve y akustik özelliklerine sahip bir panelin, başka özelliklerde (z, p) bir panelle değiştirilmesi isteniliyor. Bu durumda, salon ya da dinleyici alanını değiştirmeden, yeni panelin ismi ve tanımlamaları programa girilerek (x değişkeni z ve y değişkeni p ile değiştirilir) farklı tasarımlar elde edilebilmektedir. Tüm süreçte tasarımcının, sürece etkin katılabilmesi istenilmiştir. Çizelge 3.3'te, tasarımcının süreci yorumlayabildiği basamaklar belirtilmiştir.

Çizelge 3.3: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Yöntemi'nde tasarımcının yorumuna açık basamaklar



Çizelge 3.3' te görüldüğü gibi, tasarımcı tasarımda yapılan simülasyon sürecinin her aşamasına katılabilmektedir. Katılım, yorum yaparak, hesap sonuçlarına göre kararlar alarak ya da tasarım düşüncelerine göre kodlanarak gerçekleşmektedir. Kodlamalarda, istenilen görev tam olarak algoritmaya tanımlanmalıdır. Bilgisayar, tasarımcının tanımladığı tasarımı görselleştirmektedir (üretmektedir) ve tasarımcının tanımladığı biçimde test etmektedir. Çizim, panel üretimi, panel açısı döndürme, akustik formüllere uygun hesap yapma, simülasyonlarla tasarımın akustik performansını hesaplama, hatalı noktaları tespit etme, etkin ses dağılımını belirleme vb. işleri bilgisayar yapmaktadır. Tasarımcı ise simülasyonları izleyerek ya da veri kaydı sonuçlarına göre farklı tasarımları yorumlamakta, kararlar almakta ve tasarımını geliştirmektedir.

Bir salon tasarımında, hareketli platformlar, döner sahneler, orkestra çukuru, kablo makas sistemleri, ışık köprü sistemi, dekor askı sistemi, hoperlör vinç sistemleri gibi sahne mekanik ürünleri kullanılabilmektedir. Bu ürünlerin bir bölümü, diğer birimlerin, örneğin tavan panellerinin aralıklarında, yüksekliklerinde, biçim ve boyutlarında tasarıma sınırlandırmalar getirmektedir. Tasarımcı böyle bir durumda bu sınırlandırmaları da bilgisayara tanımlamalıdır. Bilgisayar, üreteceği tasarımlarda bu alanların gereksinimlerini de hesaplayarak işlem yapacaktır.

Mimari tasarımda, akustiğe uygun geometrik yerleşimin hazırlanması, malzemelerin uygun özellikte seçilmesi, sese etki eden mimari birimlerin engel oluşturacak şekilde salonda bulunmaması, sesin hem uygun düzeyde hem de salonda homojen bir ses alanı

oluşturabilecek şekilde yayılması vb. parametreler, salonun akustik performansını belirlemektedir. Tasarım gerçekleştirilirken, akustikle ilgili az bilgisi olan bir tasarımcının da, yaptığı tasarımın salon akustiğine olan etkilerini, simülasyonları inceleyerek ve belirlenen değerlendirme kriterinin sonuçlarını karşılaştırarak anlayabilmesi hedeflenmiştir. Bu durumda tasarımcı, farklı geometrik durumlar için, değerlendirme kriterlerinde en yüksek ve en düşük değer karşılaştırmaları yaparak ilerleyebilir ya da akustik danışmanın başta sınırladığı ve kodladığı değişkenlere sahip kod üzerinden belirli bir akustik performans çerçevesinde çalışabilir. Tasarımcının akustik bilgisinin olması ile, değerlendirme kriterlerine, hesaplama yöntemine uygun istediği akustik parametre değerlerini girmesi mümkündür. Bu durumda, yöntem daha verimli kullanılarak ve hesaplamalar ayrıntılandırılabilecektir.

Bunu gerçekleştirmek için hazırlanan programa, akustik hesaplamalar yapılabilecek şekilde bir simülasyon sisteminin oluşturulması kodlanmıştır. Değerlendirme kriterlerine ait formüller eklenmiştir. Sesi temsil eden ışınlar (tanımlanan vektörler), sesin havadaki hızına göre kodlanmıştır. Her ışının üzerinde taşıdığı ses düzeyleri ölçülmektedir. Işınların ses düzeyleri, renklerle belirtilmiştir. Tezin ilgili bölümlerinde renklerin ifade ettiği ses düzeyleri açıklanmıştır. Her simülasyon sonrasında, dinleyici alanına düşen değerler (tanımlanan renk değerleri) toplanmaktadır. Bu sayede, farklı salon tasarımları arasında ses düzeyi karşılaştırılması yapılabilmektedir. Toplamın ışın sayısına bölünmesi ile salonda ortalama ses düzeyi elde edilmektedir. Her ışının bir zaman parametresi bulunmaktadır. Salon gereksinimlerine göre simülasyonların başlangıcında bilinen, istenilen reverberasyon süresi ya da simülasyon süresi programa yazılmalıdır. Yüzeylerde, malzeme yutuculuğunu tanımlayan enerji kaybı hesaplamaları bulunmaktadır. Etkin ses dağılımı, tek bir dinleyici noktasında ya da tüm alanda, hazırlanan grid sistemi üzerinde tanımlanan kriterlere göre hesaplanmaktadır.

Final tasarıma Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının içinde çalışarak karar veren tasarımcı, başka bir akustik hesap programında ayrıntılı akustik değerler elde edebilir ya da, tezde önerildiği biçimde, tümleşik geliştirme platformuna istediği ayrıntılı akustik hesaplama modüllerini girerek tasarımı ve performans ölçen yazılımını geliştirebilir. Geliştirme yapılırken, akustik hesaplamaların uygunluğu kontrol edilmelidir. Tezde hazırlanan program, mimarlara final tasarıma gelinceye kadar, salonlarda akustik konusunda fikir verebileceği düşünülen bir noktaya kadar

geliştirilmiştir. Bu aşama sonrası, genellikle projeler elektroakustik sistemler eklenilerek çalışılmakta, mühendislik, elektroakustik gibi farklı alanların da katılımı ile tasarım geliştirilmektedir. Önerilen yöntemin bu alanda işleyebilmesi için, geliştirmeler bu alanların katılımı ile yapılmalıdır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde, önerilen yöntemin kullanılabileceği örnek durumlar yazılmıştır. Örnek durumlardan sonra, programın ilk aşamalardan itibaren geliştirilme adımları, değerlendirme kriterlerinin oluşumu, karşılık geldikleri akustik değerler, yapılan eklemeler, simülasyonlarla elde edilen veriler, komut kullanım çizelgesi, test sonuçları ve karşılaştırmalarda elde edilen bulgular belirtilmiştir.

3.2.1 Önerilen Yöntemin Kodlama Yapılmadan, Tezde Oluşturulan Koda Değer Girilerek Kullanımı

Bu seçenekte, tasarımcının tezde oluşturulan kod strüktürünü, doğrudan kullanarak önerilen yöntemi kullandığı varsayılmıştır (kodu açıp kapatmaz, hazır modüllere değerler girer ve hazırlanan kriterlerle değerlendirme yapar). Akustik işlevli salonların tasarımına, ilk aşamalardan itibaren çeşitli nedenlerle bir akustik analiz yapılamayabilmekte ya da tasarımcının konu ile ilgili az bilgisi bulunabilmektedir. Çağdaş, yeni ya da mekansal müzik isimleri ile belirtilen müziklerin icra edildiği, geleneksel salon tasarımlarının dışında bir tasarıma sahip, ilk aşamalarda istenilen akustik koşulları bilinmeyen ve müzikle birlikte oluşan salon tasarımları bulunmaktadır. Bu durumda, tasarımcının etkin ses dağılımına göre uygun geometrik yerleşimi bulması için değerlendirebileceği dört kriter oluşturulmuştur. Hazırlanan kriterleri kullanarak tasarımcının, hassas akustik hesaplamaların yapılacağı final tasarıma kadar, tasarımda akustik destek alabileceği düşünülmektedir. Değerlendirme kriterleri de tasarımcının kurallarını belirleyebileceği birer değişkendir, başka bir alana yönelik kullanılabilecekleri için isimleri akustik parametre isimlerinden seçilmemiştir. Tez süresince, bu kriterlere akustik özellikler tanımlanmıştır. Tasarımcı, belirli bir ses düzeyine sahip ses kaynağının, dinleyici alanının belirli bir noktasında bulunan bir kişiye hangi düzeyde ulaştığı, dinleyici alanında hangi noktaların ses almadığı, salondaki ortalama ses düzeyi, ortalamaya göre dinleyici alanında seçilen farklı noktalardaki ses düzeyinin farkı, etkin dağılımın belirlenen sürede sağlanıp sağlanamadığı konularında fikir edinerek, üzerinde çalıştığı tasarımı, diğer olası

durumlara göre değerlendirir. Kriterlerin akustik programlarda karşılık geldiği parametre isimleri belirtilmiştir.

Bu durumda, tez dahilinde yazılan algoritma bir şablon gibi kullanılmalıdır. Tasarımcı, modelinden üç adet değerlendirme birimini (tez süresince üç değerlendirme alanı seçilmiştir, çoğaltılabilmektedir) salon, dinleyici alanı ve akustik panellerini üç boyutlu aktif simülasyon programında açmalıdır. Sonrasında bilgisayarın üretmesini ve sınamasını istenilen farklı geometrik durum ya da tasarımların kuralları tanımlanır. Tasarımcı, çok sayıda tasarım denemelerinin yapılacağı simülasyon dizilerinde, hangi mimari birim ya da birimlerin etkisini araştırıyorsa tam olarak belirtmelidir. Açılar, programa radyan cinsinden tanımlanmıştır. Örneğin, kural belirleme işlemini, 10 dairesel, 40 özel tasarım, 3 kare panelin salonda farklı yerleşim kombinasyonlarının denenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi olarak yapabilir. Başka bir kural, her simülasyonda tavan açısının 10 derece döndürülmesi olabilir. Önemli olan, sistematik ya da rastgele verilerle gerçekleştirilecek simülasyon dizilerinin tanımlamalarının yapılmasıdır. Tasarımcı, ses kaynağının koordinatını belirler, ne kadarlık ses düzeyine sahip olduğunu yazar ve simülasyonları başlatır. Simülasyonlar dizisi, tanımlanan kriterlere göre olası tasarım durumlarını üretir ve sınar. Simülasyonlar devam ederken üretilen tasarımla ilgili bilgiler, örneğin açıları ve değerlendirme kriterlerinin (renk toplamı, homojenlik, ortalama ve standart sapma) sonuç tabloları otomatik olarak program tarafından oluşturulur. Tasarımcı, renk toplamı değerinin tabloda en yüksek olduğu simülasyondaki salon tasarımında, dinleyicilere en yüksek düzeyde ses ulaştığını anlar. Simülasyonlar sırasında, dinleyici alanına ulaşan ışın, ulaştığı grid yüzeyinin rengini değiştirir. Tasarımcı, homojenlik değeri en yüksek olduğunda, simülasyonlar sırasında kırmızıdan yeşile dönen grid alanının en çok ses ışını almış olduğunu anlar. Örneğin salonda 100 birim grid oluşturulmuşsa ve homojenlik değeri 85 ise, simülasyonda %85 oranında grid birimi ses ışınını almaktadır. %15'lik alanın üzerine ses ışını direk olarak kesişim yapmamıştır. Bu değer, salondaki etkin ses dağılımının dinleyici alanı üzerinde tasarımcının takip edebilmesi için ve ses almayan bölgeleri belirlemede kullanılabilmektedir. Bu kriter, tezin ilerleyen bölümünde anlatılan, mevcut akustik programlarda oluşturulan reverberasyon haritaları (T30, T60 vb.) ile ilişkilidir. Tezin ek bölümünde, Odeon programından alınan harita örnekleri görülmektedir. Tasarımcı, simülasyonlar sırasında modelin çevresinde dönerek, yakınlaşıp uzaklaşarak çeşitli bulgular (tasarımın bir noktasından hiç yansıma

gerçekleşmiyor, dinleyici alanında bir bölüm belirli tasarım durumlarında yeşile dönmüyor ya da dinleyici alanının en arkası yeşile dönmeden (ses alamadan) simülasyonlar kesiliyor vb.) elde etmektedir. Tasarımcı için, ses alıp alınmadığının kontrolü işlevine sahip yeşile dönen grid alanı birimleri, akustik biliminde belirli bir sürede belirli bir ses düzeyinin düşüşünün kayıtlarını taşımaktadır. Önerilen yöntemde, tasarımcıların kullanımına daha uygun olduğu düşünüldüğü için, farklı bir işlevde tasarlanmıştır. Ses, belirlenen bir sürede belirli bir düzeyde düşüş yaşayarak en arka sıralara ulaştığında simülasyonun sonlanması, tasarımın, uygun reverberasyon süresini sağlayabilen uygun malzeme ve hacime ulaştığını göstermektedir. Ortalama değer, akustik programlarda ortalama ses basınç düzeyine (*SPL-Average*) karşılık gelmektedir. Standart sapmanın hesaplanması ve salondaki ortalama ses düzeyinin bilinmesi için oluşturulmuştur. Salondaki ortalama ses düzeyi elde edildiğinde (ortalama değerlendirmesinden), dinleyici alanındaki farklı alıcı noktalarının birbirinden düzey olarak ne kadar farklı olduğu (standart sapma değerlendirmesinden) anlaşılabilmektedir. Tasarımcı, ortalama ve standart sapma değerlerine bakarak, olası seçenekler arasından en küçük standart sapma değerine sahip salon tasarımının dinleyici alanı üzerinde seçilen noktalarının ses düzeyi farkının en az olduğu, bu tasarımda dinleyicilerin sesi birbirleri ile yakın düzeylerde işittiğini anlayabilmektedir. En yüksek standart sapma değerine sahip salonda, iki farklı dinleyici noktasındaki düzey farklılığı en büyük demektir. Bu, genellikle istenilmeyen bir durumdur. Tezde oluşturulan kriterlerin hesaplama biçimleri değiştirilebilir. Tasarımcı, kayıt tablolarındaki değerleri karşılaştırarak, hangi tasarım durumunda akustik performansın uygun olduğunu yorumlamalıdır. Önerilen yöntemi kullandığında, final tasarıma kadar akustiği işin içine katarak, akustik performansa göre tasarımını belirli bir noktaya getirebilir ya da büyük hataları önleyebilir.

Projenin bir akustik danışmanının olduğu ya da tasarımcının akustik bilgisi bulunması durumunda, önerilen yöntem kullanılarak proje başlangıcında olması gereken akustik özellikler değişkenlere tanımlanır. Bu durumda, salonun optimum reverberasyon süresi, öngörülen malzeme yutuculukları (örneğin dinleyici arkasında daha yutucu bir değer aralığı baştan verildiğinde, simülasyonlar bu değerleri tek tek sınar ve duvar malzemesi kararları sınama sonuçlarına göre verilir), boyut oran aralıkları, olması gereken hacim aralığı, dikkat edilmesi gereken özellikler, kaynağın ses düzeyi vb. kural tanımlamaları, koda tanımlanmıştır. Akustik bilgilerin koda tanımlanması ile

tasarımcı, akustik çerçevenin çizildiği bir platformda, çeşitli geometri üretimlerini gerçekleştirerek tasarımını geliştirir. Üretilen her tasarım, başta tanımlanan akustik kriterlere uygun üretilecektir ve hatalar görülebilecektir. Değerlendirmede, ses düzeyi haritaları okunarak, kaynağa göre harita değerleri karşılaştırılarak, olumlu mesafeler yorumlanarak, direkt ve yansıyan seslerin yolları incelenerek yöntem kullanılabilmektedir.

Tasarımcının kısıtlı akustik bilgisi bulunduğu varsayılırsa, önerilen yöntemde kaynağa ve reverberasyon süresine herhangi bir sayısal değer verilebilmektedir. Bu değer, değerlendirme kriterlerinin sonuçlarını sayısal olarak farklılaştırsa da, karar verebilmesi için en yüksek ve en alçak değeri tablodan karşılaştırılmasını etkilememektedir. Örneğin, ses kaynağı değerine 300 yazdı. Böyle bir desibel değeri bir salonda imkansız olsa da 5 numaralı simülasyonda dinleyici alanına düşen dört değer örneğin 250, 200, 100, 50 olsun. 10 numaralı simülasyonda da 100, 50, 75, 75 olsun. Bu değerlerin aritmetik toplamı (renk toplamı) kriteri 5 numaralı simülasyonda 600, 10 numaralı simülasyonda 300 dür. Tasarımcı 5 numaralı simülasyonda salondaki ses düzeyinin daha yüksek olduğunu sayısal olarak anlayabilmektedir. Benzer bir yorumlama biçimi standart sapma ve ortalama değer için de söz konusudur. Bu durumda kısıtlı akustik bilgisi bulunan bir tasarımcı, önerilen yöntemle, salondaki akustik koşulların olumlu ya da olumsuzluğu konusunda bilgi sahibi olabilmektedir. Örneğin homojenlik değerinde, 100 gridden 25'i tarandıysa, program tasarımcıya %75 dinleyici alanının sesi uygun koşullarda almadığını, tasarımında bir sorun olduğunu belirtmektedir. Uygun ses dağılımının sağlanabilmesi için belirlenen reverberasyon süresi 2s (T60) olan bir salonda başta tanımlanan simülasyon süresi değeri; 3 saniye yazılmış olduğunu varsayalım, 2 saniye sonra ekrana geç yansımalara ait birkaç siyah nokta eklendiğini (düşük ses düzeyi) ve sonrasında simülasyon ekranında değişiklik olmadığını görülecektir. Sayaç, süre 3 saniyeye ulaşana kadar çalışacaktır ve ekranda 3 saniye sonra hesaplanan ses düşüşü değeri görülecektir. Bu değer çok düşük seçildiğinde ise, sesin henüz arka sıralara ulaşamadan simülasyonun sonlandığını görülecektir ve sonuçlarda uygunsuz (örneğin homojenlikte %50) değerler elde edilecektir. Tasarımcı anlatılan şekilde tasarımını bir noktaya getirdiğinde, kodu kopyalayıp akustik tasarımcıya gönderebilir. Akustik tasarımcı, kodu bilgisayarına yapıştırarak mimarın tanımladığı değişkenleri kod üzerinden okuduğunda,

simülasyonları ayrıntılandırarak çalışmaya mimarın getirdiği noktadan itibaren devam edebilmektedir.

3.2.2 Önerilen Yöntemin Koda Müdahale Edilerek Kullanımı

Bu seçenekte, tasarımcı, tezde hazırlanan kod strüktürüne çeşitli formüller girerek, yeni tanımlamalar yaparak ya da modüller ekleyerek müdahale edebilmektedir ve geliştirebilmektedir. Örneğin, hazırladığı tasarımın reverberasyon haritasını elde etmek isteyen bir tasarımcı, her grid birimine ışın ulaştığında kırmızıdan yeşile dönen grid alanındaki komutu değiştirerek, her grid birimine ulaşan ışın eğer 1 saniyede ulaştıysa kırmızı, 0.8 saniyede ulaştıysa mavi, 0.7 saniyede sarı olsun vb. tanımlamalar yapmalıdır. Bu tanımlamanın da çıktısını al komutunu koda işleyerek, salonda mevcut durumda ölçülen reverberasyon haritalarını elde etmektedir. Reverberasyon haritalarının üretilen her durumda oluşturulmasını ama görselleştirilmemesini istediğinde, ses düzeylerini kayıt eden modüldeki gibi, alt programda sonradan görselleştirebileceği, koordinat ve değer kayıtlarını tanımlamalıdır. Ses kaynağını her simülasyonda hareket ettirerek, sürekli sinyale dönüştürerek ya da salon boyutları ve hacmi ile farklı denemeler yapabilecektir. Aynı zamanda, 1. Seçenekte gerçekleşen tüm işlemleri, akustik parametreler açısından değerlendirebilecektir. Değerlendirme kriterlerinin isim ve hesaplama biçimlerini kodda değiştirebilecek, yeni kriterler ekleyebilecektir. Önerilen yöntemin örneklendiği akustik programın temel amacı, final tasarımı hazırlanmış bir salonun akustik hesaplarının gerçekleştirilmesi değildir. Akustiğin yönlendirdiği salon tasarımlarının tasarım sürecine, hızlıca temel akustik geribildirimlerle destek olmak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle, akustik hesaplamalar belirli bir karmaşıklık sınırında tutularak, akustik biliminin temelini oluşturduğu literatürde belirtilen, reverberasyon süresi, geometri ve enerji kayıpları, ses düzeyleri (watt ve desibel olarak) vb. özellikler programa eklenmiştir. Farklı değerler elde etmek isteyen ya da hesaplamaları hassaslaştırmak isteyen bir tasarımcının (örneğin erken düşme süresi, netlik vb.) formüllerini girerek programa eklemeler yapması gerekmektedir. Tez süresince programın geldiği noktada simülasyonlar gerçekleştirilebildiği ve çeşitli hesaplar yapılabildiği için, yeniden bir simülasyon programı geliştirilmesine gerek bulunmamaktadır. Tasarımcı, kullanılmayacak modülleri (örneğin geometri üretilmesini istenilmezse) kapatabilmektedir.

Eklenen her doğru modül (örneğin salonda netlik değerinin ölçülmesi ve çıktı olarak alınması ya da işitselleştirme (*auralization*) vb.) diğer tasarımcılar için de faydalı olacaktır. Her geliştirmeden sonra, diğer tasarımcılar, kodu kopyalayıp yapıştırdıklarında bu modüle de sahip olmuş olacaklardır. Bu geliştirme eklentileri önerilen yöntemle çalışıldığında, kod satırlarını içeren bir metin dosyası olacağı için, araştırmacı ya da tasarımcılar e-posta yoluyla, ilgili modülleri birbirlerine iletebilmektedir.

Veri dosyaları, simüle edilen salonların kayıtlarından oluşturulmaktadır. Bu sayede her çalışma, ileride, istenilen akustik parametrelerin başta programa girilmesi ile akustik parametrelere uygun geometrik durum seçeneklerinin otomatik olarak tasarımcıya sunulması için, sisteme katkıda bulunmaktadır. Örneğin 15 x 20 m bir salonda 10 akustik tavan panelinin kullanılma olasılığının olduğunu düşünelim. Tasarımcı, salonu tasarlarken sistemde 1, 2, 3, 4, 5 ... , 10 olmak üzere tüm olası tavan paneli sayısı ve açılarını kayıt etmiş olsun. Bu projede 3 panel kullanılmış olsun. Başka bir projesinde ya da aynı projenin benzer geometriye sahip başka (örneğin toplantı odaları olabilir) bir salonunda salondaki ortalama sesin 65 dB olması, standart sapmanın en yüksek 5 dB olması ve dinleyici alanının en az %90'ının tarandığı tasarımlar alınmak istenilsin. Bu durumda, istenilen üç parametre programa tanımlandığında sistem veri kayıtlarından bu değişkenlere uygun, daha önce simüle edilerek hesaplanmış tasarım önerilerini sunacaktır. Örneğin 2 adet yüksek yutuculuğa sahip, 5 adet daha düşük yutuculuk değerine sahip tavan paneli kullanılan ya da istenilen performans kriterlerini sağlayan düşük ve yüksek yutuculuğa sahip panel kombinasyonlarının modelleri tasarımcıya sunulabilecektir. Her uygun ekleme ve veri kayıtlarının çoğaltılması, ileride gerçekleşecek tasarımların değerlendirilmesini hızlandırmaktadır. Yanlış eklemeler ise sistemi yanıltabilmektedir (özellikle hassas hesaplama gerektiren noktalarda). Her eklemede, mevcut başka bir programla karşılaştırmalar yapılarak sistemin sağlanması yapılırsa, araştırmacılar daha emin adımlarla ilerleyebilmektedir.

3.2.3 Salon Akustiği Araştırmalarında Kullanımı

Akustik literatüründe, tezin 1. bölümünde, literatür çalışmasında anlatıldığı gibi, salonların akustik performansını geliştirebilmek için araştırmacıların, geometri (açılar, hacim, boyutlar, salon içindeki konum vb. mimari projede modellenen her geometrik yapı) ve yüzey malzemelerindeki farklılaşmaların akustik parametrelere etkisini

inceledikleri görülmüştür. Önerilen yöntemin, salonlarda geometri değişiminin akustik parametrelere etkisi ya da geometri sabit tutularak, akustik parametre değişiminin diğer parametrelere etkisinin sistematik bir biçimde inceleme çalışmalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. Cevaplanabilecek örnek araştırma soruları, tavan açısının değişimi, belirli bir koordinatta yer alan dinleyici için direk ses ile yansımış ses ışınının yol farkını nasıl etkilemektedir? Kaynaktan çıkan ses düzeyi 20 dB düştüğünde, hangi tasarım durumunda, uygun düzeyde ses ulaşmayan dinleyici sayısı en azdır? Hangi tasarım durumunda (5 ve 20 arası kaç adet panelle? hangi açısal durumdaki panellerle, hangi yükseklikteki tavanla, salon boyu sabit olmak üzere 300 ve 9000 m^3 arası hangi hacimde?, mevcut bir salonda dinleyici alanı hangi konumdayken, hangi malzeme kombinasyonlarıyla, hangi sahne boyutunda, kaç adet balkon kullanılmasıyla vb.) belirli bir akustik parametre en yüksek, alçak ya da belirlenen bir değerde olmaktadır? olarak sayılabilmektedir.

Mimari birim yerine, geometri sabit tutularak her simülasyonda belirli duvar ya da bölgelerdeki yutuculuk katsayısının 0.1 arttırılarak direk sesin, netlik parametresi ile ilişkisinin sorgulanması, ses kaynağının her simülasyonda hareket ettirilmesinin belirli bir geometrideki erken düşme süresine etkisi, dikdörtgen kesitli bir salonda, balkon yüksekliğinin değişiminin balkon altında bulunan belirli bir dinleyici noktasındaki ses yüksekliği parametresine etkisi vb. araştırmalar yapılabilir. Son örnek detaylandırıldığında, tasarımcı panel ağına (hareketli bölüme) balkonu getirmeli ve her simülasyonda balkonun belirli bir değerde yükselmesi gerektiğini tanımlamalıdır. Balkon altında, ses yüksekliğinin değerlendirilmesi istenilen noktadaki değer, bir kriter olarak tanımlanmalıdır. İşlem sonunda tasarımcının sorusu cevaplanır. Balkonun durabileceği tüm yüksekliklerin akustik sonuçları, işlem süresince kayıt altına alındığı için, ileride benzer özelliklere sahip bir salon çizilmek istenildiğinde, akustik olarak belirli bir özelliği taşısın komutu ile balkonun uygun konumu tasarımcıya gösterilecektir. Bu durum, modeller üzerinden gerçekleştirilebileceği gibi, salonlarda fiziksel olarak hacmi değiştiren robotik sistemlere de aktarılabilmektedir. Örneğin farklı müzik tipleri çalınan bir salonda, panellerin hareket ettirilerek oda geometrisinin istenilen biçime getirilmesinde de benzer bir durum söz konusudur. Bunu gerçekleştirmek için salonun farklı hacimlerde ya da malzemelerle test edilmesi gerekmektedir. Fiziksel mekanda, her müzik tipine göre panellerin farklı malzemelerle

değiştirilmesi ekonomik olmayan bir mimari çözümdür. Paneller sistematik bir biçimde farklı bir yüksekliğe getirilerek salonun hacmi arttırılabilmektedir.

Üç boyutlu aktif simülasyon yönteminde kullanılan program, bir arayüze sahip değildir ve kodun kopyalanıp yapıştırıldığı her bilgisayarda çalışılabilmektedir. Bu durum, yöntemin farklı bilim insanlarınca paylaşımlı kullanılmasını sağlamaktadır. Farklı araştırmacılar, araştırmalarını, aynı anda gerçekleştirilerek, sonuçları birbirleriyle çakıştırılabilecektir. Örneğin 10 mimari birimli (3 panel, 4 adet duvar, döşeme, tavan, dinleyici alanı olduğunu varsayalım) bir salonda her bir araştırmacı 1 birimin salon içindeki hareketinin (malzeme değerlerini sabit tutarak) olası her geometrik durumunu deneyerek salon akustiğine olan etkisini araştırmaktadır. Salondaki 1. araştırmacı ilk panelin uzunluk değişimini, 2. araştırmacı 2. panelin kalınlığının değişiminin, 3. araştırmacı döşeme eğimini, 4. araştırmacı yan duvar eğimini vb. ses düzeyi ve dağılımına olan etkilerini araştırmaktalar. Bu araştırma için her biri, kendi bilgisayarlarına kopyalayıp, *Processing* yazılım geliştirme platformuna yapıştırdıkları Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nın kodunu açarak çalışabilmektedir. 10 mimari birimin farklı değişimlerinin (sayı, büyüklük, açı, malzeme vb.) incelenmesi için 10 araştırmacı gerekmektedir. 10 araştırmacı (örneğin bir üniversitenin mimarlık bölümü öğrencileri proje ekibi), yukarıda yazılan araştırmanın sonuçlarını toplam 25 dakika gibi bir sürede edinebileceklerdir. Her araştırmacının 100 simülasyon dizisine sahip (her simülasyon dizisinde 100 simülasyon gerçekleştirildiğini, olası durumların 100 adet olduğunu varsayalım (örneğin döşemenin 100 derece eğime kadar 1'er derece döndürülmesi ya da 2 panelin 100 kombinasyonunun denemesi, 4 balkonun salonda bulunacağı konumun belirtilen kriterlerde 100 farklı kombinasyonunun denenmesi vb. örnekler çoğaltılabilmektedir) toplam 1000 simülasyon sonuçları, bir metin dosyasında yazı olarak kayıt edilmektedir. Her bir değişikliğin salona ve birbirlerine olan etkileri, sayısal değerlerden karşılaştırılabilecektir. Mevcut programlarla aylar sürebilecek bir çalışma, iki saat sürede (25 dakika simülasyon ve 95 dakika değerlendirme ve tartışma olduğunu varsayalım) gerçekleştirilebilmektedir.

3.2.4 Bir Salon Tasarımının Önerilen Yöntemle Gerçekleştirilmesinde, İzlenilebilecek Adımlar (Kod Üzerinde):

Tez süresince paneller üzerinden karşılaştırmalar yapıldığı için bu bölümde de paneller, sorgulanan ve performansı test edilen hareketli birim olarak seçilmiştir.

Tasarımcının tasarımında diğer mimari birimleri sabit tutarak, panellerdeki değişikliklerin salon akustiğine etkisini ölçmek istediği varsayılmıştır.

Tasarımcı, mimari bir çizim programında modelini ve diğer panellerin üretilebileceği bir ya da daha fazla (denemek istediği başka özellikte paneller ya da grup paneller) panel tipini modeller. Salon geometrisi, dinleyici alanı ve tavan panelleri olarak üç ayrı gruba ayırır.

Adım 1:

Tasarımcı, öncelikle salona hangi boyutlarda kaç panelin yerleştirilebileceğini öğrenmek istemektedir. Üç boyutlu aktif simülasyon programının panel bölümünde, panel sayısını çoğaltabilmekte, boyutlarını, x en ve y boy olarak tanımlamak üzere x + 10 cm, y + 5 cm vb. , yüksekliğini z – 10 vb. şeklinde yazarak tanımlayabilmektedir. Tasarımcı, programa isteklerini girerek modelleme ve çizim yapmadan istediği tasarımı görebilmektedir. En, boy, aralarındaki uzaklıklar, konumu, yüksekliği vb. tüm geometrik kriterleri tasarımcı belirleyebilmektedir.

Aşağıda şekil 3.1'de, paneller arasındaki mesafenin yazılabildiği kod satırı görülmektedir. Kodda görülen *PANEL_DISTANCE* değişkeni, paneller arası uzaklığı mm cinsinden tanımlamak üzere oluşturulmuştur.

```
int PANEL_DISTANCE = 300;
```

Şekil 3.1: Paneller arası mesafenin yazılması gereken kod satırı

Paneller arası uzaklıklar, kopyalanıp yapıştırma ya da yeniden modelleme yapılmadan bu seçenek ile belirlenmektedir.

Adım 2:

Tasarımcı, panel şekli, boyutu, sayısı belirlendikten sonra programa; tüm panellerin rastgele, belirlenen panellerin rastgele ya da belirlenen paneller belirlenen açı aralıklarıyla döndürülmesinin seçimlerini yapmalıdır. Tasarımcı, tüm panelleri rastgele de döndürebilir. Önceden tahminleri varsa, belirli bir açı aralığında da rastgele döndürebilir. Ön analizler ya da başka işlevsel gereksinimler, boyutsal zorunluluklar vb. nedenlerle, önceden bilgisi varsa, rastgele değil kurallı olarak simülasyon yapılmasını istediği durumu programa girmelidir.

Seçim yapabilmek için, kodun hazırlanan bölümüne, radyan olarak açının yazılması ve rastgele ya da kurallı seçeneğinin doğru ve yanlış biçiminde yazılması

gerekmektedir. Aşağıda, şekil 3.2'de görülen kod satırında, rastgele döndürmenin gerçekleşmesi, yanlış (*false*) olarak belirtilmiştir. Bu durumda, tasarımcı kurallı döndürmeyi tanımlamıştır. Kuralı, şekil 3.3'te, 0.0, 0.0, 0.0 radyan açılarında üç panel oluşturularak açısız konumda durması şeklide girmiştir (örneğin salon 2'nin şekil 3.73'te görülen üç adet düz panelli durumu).

GENERATE = Rastgele döndürme

false : yanlış

```
boolean GENERATE = false;
```

Şekil 3.2: Rastgele döndürme yapılmaması gerektiğini ifade eden kod satırı

```
float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0.0, 0.0, 0.0 };
```

Şekil 3.3: Tasarımcının simülasyon yapılmasını istediği panel açılarını girebileceği kod satırı

Kodda yazılan 0.0 açısının radyan olarak 30 dereceye karşılık gelen 0.523499 değeri girildiğinde, şekil 3.4'te görülen salon 2 açılı durum (şekil 3.74) elde edilmektedir.

```
float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0.523599, 0.0, 0.0 };
```

Şekil 3.4: Tasarımcının simülasyon yapılmasını istediği panel açılarını girebileceği kod satırı- ilk panel 30 derece açılı konumda

Koddaki şekil 3.2'de görülen rastgele ya da belirli radyan aralıkları ile kurallı döndürmeyi ayarlayan bölüm, şekil 3.5'te görüldüğü gibi yanlıştan doğruya (true) çevirildiğinde, paneller her simülasyonda rastgele üretilen açılarla döndürülmektedir.

```
boolean GENERATE = true;
```

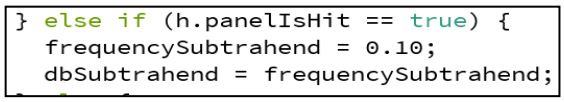
Şekil 3.5: Programın rastgele açılar oluşturarak simülasyonlar gerçekleştirmesi için doğru olarak değiştirilmesi gereken kod satırı

Panellerin rastgele ya da verilen değere göre döndürülmesi ya da üretilmesi her projenin gereksinimlerine göre farklılıklar gösterecektir. Tez süresince paneller örnek verilse de, hesaplamalı tasarım sistemleri ile gerçekleştirilen tasarımlarda ve mecvut yapılarda, kurallı ve rastgele gerçekleşen birim hareketlerinin performans

değerlendirmesinde farklı etkileri olabilmektedir. Mimarlar, tasarladıkları yapının her köşesini sayısal olarak belirtmek yerine, belirli kurallar içinde olan ve bilgisayarın hesaplama sistemine göre rastgele oluşturulan çeşitli tasarımlar üzerinde çalışmaktadır. Hesaplamalı tasarımdan destek alarak inşa edilmiş yapılar, *Shanghai Tower, Data Moiré Duvarı, Pure Tension Pavilion, The Austrian Pavilion at Shanghai Expo* 2010 (Leach N., Philip F., 2017), Zaha Hadid'in yapıları (Url-49), *ElbPhilharmonie* Konser Salonu (Url 50), Lowa Üniversitesi Konser Salonu (Url 51) sayılabilmektedir.

Üç panel üzerinden örneklemeye devam edildiğinde, mimari birimlerin rastgele döndürülmesi durumunda, şekil 3.2 ve 3.3 arasındaki geçişler, tüm olasılıkları değerlendirecek şekilde 3 panele de uygulanacaktır. Kural, değişkenlere her simülasyonda 0.1 radyan olarak açı değişiminin gerçekleşmesi olarak tanımlandıysa, sistemde simülasyonlar her seferinde 0.1 radyanlık değişimlerle tüm olası tasarım durumlarını deneyecektir (0, 0, 0; 0, 0.1, 0; 0, 0.2, 0 ; 0.1, 0.2, 0.1,……0.5, 0.6, 0.9 vb.). Örnek olarak aşağıda çizelge 3.4'te ilk 2 kolon, iki panelli bir sistemdeki olası açısal durumların simülasyon sonuçlarını görülmektedir. Kural, değişkenlere her simülasyonda panel sayısının aralarında 50 cm boşluk bırakılacak şekilde 2 katına çıkarılması olarak belirlendiyse, 1. simülasyonda 1 panel, 2.'sinde 2, 3.'sünde 4 panel, 5.'sinde 8 panel olmak üzere ekranda farklı tasarım olasılıkları ve akustik performans değerlendirmeleri görülecektir. Her olası durumda, kurallarda tanımlandığı için paneller arasında 50 cm boşluk bulunacaktır.

Geometrik kriterler belirlendikten sonra, odada kullanılması düşünülen malzemelerin yutuculuk katsayıları programa tanımlanmalıdır. Aşağıda şekil 3.6'da, panelin sahip olması gereken ortalama yutuculuk değeri 0.10 olan bir durum için kodun, ilgili bölümüne (*frequencySubtrahend)* yutuculuk değerinin girilmesi örnek olarak görülmektedir. Program, bir ışın panel ile kesiştiğinde, tasarımcının tanımladığı yutuculuk değerine göre, hesaplamaları gerçekleştirmektedir. Bu tanımlama, salonda simülasyonların doğru sonuç vermesi için tüm yüzey malzemelerinde yapılmalıdır.



Şekil 3.6: Panel yüzeylerinin yutuculuk katsayılarının girilebileceği kod satırı

Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programında, en çok kullanılan 6 frekans bandında yutuculuk katsayısı tanımlayabilecek şekilde kodlamalar yapılmıştır. Akustik biliminde bilinen bir yöntem (Bayazıt, 1999) olan ortalama değer ile çalışılmıştır. Odeon'da salondaki ortalama ses düzeyini ifade eden SPL (*average*) parametresinin 500 ve 1000 Hz frekans bantlarında ortalaması alınmaktadır. Ses düzeyi haritalarında çıkarılan ortalama değer aynı teknikle, iki frekans bandının ortalamasını alarak hesaplanmıştır. Tasarımcı farklı katsayıların girişlerini yapabilecektir. Ya da simülasyonları farklı frekans bantlarına göre başlatabilecek, bu frekanslarda çıktıları alabilecektir. Malzeme özellikleri şekil 3.6'da görülen bölüm gibi farklı yüzeyler için farklı satırlara tanımlanmalıdır.

Adım 3:

Simülasyonlar, malzeme özellikleri ve simülasyon kriterlerinin tanımlanmasından sonra, başlat tuşuna basılarak başlatılmaktadır. Bu ekran, tezin bir önceki bölümünde yer alan şekil 2.11 ve şekil 2.12'de görülmektedir. Bu adımdan itibaren bilgisayar önceden programlandığı biçimde otomatik işlemler gerçekleştirir.

Adım 4:

Simülasyonlar devam ederken istenilirse izlenilerek, ses ışınlarının tasarımcının belirlediği kriterlerde salona etkileri, oluşturulan grid sisteminde taradığı alanlar, panellerin dönüşü ve farklı açıların yarattığı tasarım etkileri vb. gibi değerlendirmeler yapılabilecektir. Simülasyon videoları oluşturularak sunumlarda kullanılabilecektir (örneğin iç mimari, aydınlatma vb. farklı ekiplerin birlikte tasarladığı salonlarda bilgi alışverişi simülasyon videolarının izlenmesi ile de olabilecektir). Simülasyonları sonlandırmak için, tüm olası durumların değerlendirmesinin bitmesi beklenebilir ya da sonlandırma tuşuna basılabilir. Tez dahilinde sonlandırma değişkeni "q" harfine atanmıştır. Değerlendirmeler, simülasyonlar takip edilmek istenilmezse, otomatik oluşturulan veri kayıt tablolarından yapılabilecektir. Teze demo videolarının eklenmesi mümkün olmadığı için, tezin ek bölümünde, videolardan alınan ekran görüntüleri sırayla incelenerek fikir edinilebilmektedir.

Adım 5:

Tasarımcı, kaç simülasyon gerçekleştirdiyse, o miktarda satıra sahip bir veri tablosu elde etmiştir. Tezin ek bölümünde örneğin çizelge 5.5'te 100 simülasyonlu bir kayıt tablosu görülmektedir. Aşağıda, çizelge 3.4'te programın hazırladığı veri

tablolarından, olası üç durumun kayıtlarını içeren ilk üç satır, örnek olarak görülmektedir. Her satır, simülasyonlar dizisindeki bir simülasyonun (olası 1 durumun) bilgilerini içermektedir.

	Panel 1	Panel 2	Renk toplamı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
1	0.0	0.0	110576	214	65.659843	12.798695
2	0.0	0.1	110702	207	65.813271	13.168545
3	0.0	0.2	110079	214	65.239342	13.066535

Çizelge 3.4: Veri tablolarından örnek üç satır

Panel 1 sabit tutularak her simülasyondan panel 2, 0.1 radyan açıda döndürülmüştür. Salonda en yüksek ses düzeyine sahip (renk toplamı en yüksek olan) durum, 2 numaralı simülasyonda elde edilmiştir. Homojenlik değeri 1 ve 3 numaralı simülasyonlarda aynıdır. İki numaralı simülasyonda daha yüksek düzeyli bir ses hakim olmasına rağmen, homojenlik değerlendirmesi (grid alanında kaç birimle ses ışınlarının kesişim yapmış olması) daha düşüktür. Benzer şekilde 2 numaralı simülasyonun standart sapma değeri diğer simülasyonlara göre daha yüksektir. Bu da, ses dağılımının ikinci simülasyonda 1 ve 3 numaralı simülasyona göre daha olumsuz olduğunu tasarımcıya göstermektedir (Yukarıdaki tablolar, yöntemin işleyişini ve programdan elde edilen bilgileri örneklemek amaçlıdır. Bu değerlerin, sayısal olarak akustikte olumlu ya da olumsuz olmasının yorumu tezin bu aşamasında yapılmamaktadır. İlerleyen bölümlerde, hesaplamalar ayrıntılandırılarak sayısal değerler hassaslaştırılmıştır). Bu değerlerin farklılığı, akustik literatüründe de belirtilen, geometri değişiminin akustik parametreler üzerinde farklı etkileri olduğunu tasarımcıya göstermektedir.

Çizelgeye göre, salondaki ortalama ses düzeyi, üç simülasyonda da 65 dB'dir ve grid üzerine düşen birimlerde (farklı dinleyici noktalarında) düzeyler 12, 13 dB farklılıklar (standart sapma) göstermektedir. Çok küçük bir geometrik değişiklik olan 0.1 radyan değeri, salonun akustik performansında büyük farklılıklar yaratmamaktadır. Tasarımcı, bu yorumu, ortalama ve standart sapma değerlerinin üç simülasyonda da çok yakın olduğunu görerek yapabilmektedir. Salonda elde ettiği ortalama ses düzeyine göre standart sapmayı ele alarak iki farklı dinleyici noktasındaki ses düzeyi

farklarını incelemektedir. En yüksek ses düzeyine sahip tasarımı seçmek istiyorsa 2. durumu seçmelidir. Bu düzeyin hesaplanma biçimini değiştirerek (örneğin ortalama yeğinlik ya da ses basınç düzeyi yerine, A ağırlıklı ses basınç düzeyi) farklı hesaplara ya da birimlere sahip düzeyleri elde ederek benzer bir yaklaşımla karşılaştırmalar yapabilecektir. Simülasyonları, devam ettirerek büyük geometrik değişiklikler yaptığında, değerler de büyük farklılıklara sahip olabilmektedir. Örneğin "her simülasyonda, 1 panelin ekle ve 0.1 radyan olarak panelleri döndür, hacmi 10 m3 küçült" kuralı tanımlandıysa, 2. simülasyonda 0.0, 0.1 açılarında olan panellerin (2 panelli simülasyon) 541. simülasyonda 0.0, 0.5, 0.8, 0.2, 0.3, 0.5 (6 panelli) açılarında olduğunu varsayalım. Bu durumda, tasarımcı 2 panelli ve 6 panelli salon geometrik durumlarında renk toplamı değerini 2. simülasyonda 25000, 541. simülasyonda 75000 olarak elde edebilmektedir. Salonda duyulan ortalama ses düzeyi 2. simülasyonda 60 dB, 541. simülasyonda 85 dB çıkabilecektir. Bu salon, 100 m3 ise 6. simülasyonda 50 m3'lük bir salon ekranda test edilmektedir. Kurallar ve ölçülmesi istenilen akustik performans kriterleri programa tanımlanarak, akustik değerler literatürede belirtilen prensiplere göre (tezde bu şekilde çalışılmıştır, farklı hesaplamalarla denemeler yapılabilir) simüle edilmekte ve hesaplanmaktadır. Mevcut tasarımın yanısıra, içinde bulunulan tüm koşullar ve diğer tasarım olasılıkları da değerlendirildiği ve kayıt edildiği için, ileride ortalama ses düzeyi değişkenine 85 dB değerini yazıldığında, sistem 541. simülasyondaki geometrik durumu gösterecektir. Genellikle, verilen değerleri sağlayan çok sayıda geometrik durum olabilmektedir. Bu örnekte panel hareketlerine bağlı ortalama ses düzeyi değişimi anlatılmıştır. Verilerle, tezde hazırlanan algoritmanın geliştirilmesi sonucunda, mimar projeye başlarken istediği akustik parametre değerlerini girerek, bu parametreleri sağlayan olası geometrik tasarımları görecektir (Örneğin değerlendirme kriteri ortalama yerine netlik değeri üzerinden tanımlanmışsa, konuşma ya da müziğe uygun netlik değerini girerek tasarladığı salonun müzik ya da konuşma işlevlerindeki olası geometrik durumlarını görüntüleyecektir).

Adım 6:

Tasarımcı, veri kayıtlarından uygun değerleri sağlayan tasarımları seçmelidir. Belirli bir kriteri, daha değerli bir tasarım parametresi olarak görmekte ise onu ana kriter olarak belirleyerek diğer kriterleri kabul edilebilir değerlerde mi diye kontrol amaçlı da kullanabilir. Projede değişiklik gereken durumlarda, değişen geometrinin akustik

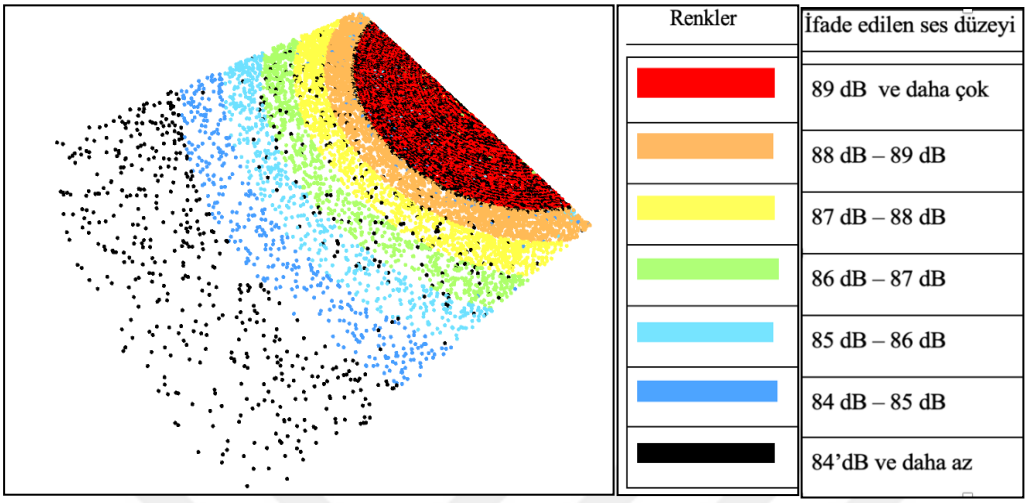
performansa etkisini görebilir. Örneğin mekanik proje kaynaklı bir zorunluluktan, bir salonda panel 1'in 0.3 yerine 0.6, panel 2'nin ise hiç olmaması gerekmektedir. Bu durumda, salon akustiğinde etkili dağılımın durumunu, daha önce oluşturulan veri kayıtlarından kontrol edebilir. Panel 1'in 0.6, panel 2'nin olmadığı bir tasarımda, diğer yerleşim ne şekilde olursa uygun akustik performansın sağlanabileceğini yeni simülasyonlar gerçekleştirmeden bilecektir. Kaynaktan çıkan ve dinleyicilere ulaşan ses düzeylerini karşılaştırabilir ve uygun olup olmadığına karar verir. Bunun için, tezin son bölümünde Odeon karşılaştırmalarında kullanılan simülasyonlar gibi, ses düzeyi haritalarını kullanmalıdır.

Adım 6a: Adım 6'daki sonuçların hiç birini istemeyen tasarımcı, yeni olası durumları farklı değerlerde denemek için yapmak istediği değişikliğe göre adım 1 ya da 2'ye dönerek yeni kural tanımlamaları yapabilecektir.

Adım 6b: İstediği geometrik tasarımı elde eden tasarımcı, bu tasarımın açılarını ve akustik değerleri (kaynağın ses düzeyi, simülasyon ışın sayısı, yansıma sıralaması, direk ve yansıyan seslerin izlediği yol, frekans bantları, malzemeler, akustik parametreler vb. akustik tasarım için gereken akustikle ilgili değerleri) programa girerek daha detaylı simülasyonlar gerçekleştirebilecek ve alt program ile istediği parametrenin haritasını oluşturabilecektir. Aşağıda, şekil 3.7'de tezde üç boyutlu aktif simülasyon programında tanımlanan, bir örnek ses düzeyi haritası görülmektedir. Şekildeki tüm noktalar belirli ses düzeylerini desibel cinsinden ifade etmektedir. Hesaplanma biçimi tezin 2. bölümünde anlatılmıştır, akustik biliminde, literatürde belirtilen ses yeğinliği ile hesaplanan ses basınç düzeyi değerine karşılık gelmektedir. Tezde hesaplanan ses haritalarının verdiği ses düzeyi, tezin ilerleyen bölümlerinde anlatılan; ortalama değer ve standart sapma değerleri, Odeon Programı'nın verdiği değerler ile karşılaştırılarak, sağlanmıştır.

Bu şekil (şekil 3.7), üç boyutlu bir dinleyici modeline aittir. Bu nedenle tasarımcı sadece iki boyutlu bir harita görmez, aynı zamanda modele yaklaşarak her bir noktanın (dinleyici alanındaki farklı alıcıların) hangi düzeyde ses duyduğunu inceleyebilir. Dinleyici alanı üzerindeki ses düzeylerinin yanısıra, ışınların salon içindeki her yansıma noktasının kayıtları da yapıldığı için (örneğin balkon yüzeyine ulaşan, akustik panelde, akustik panelin arkasındaki duvarda vb.) salon içindeki farklı yüzeylere ulaşan ses düzeyleri de kaydedilmektedir. İleride bu olanak, gürültü kontrolü hesaplamalarıyla birleştirilerek salonun komşuluk yaptığı alanların salonla olan

akustik ilişkisini de anlamakta kullanılabilecektir (ne kadar enerji ulaştığının ve düzeylerin bilinmesi, bölücülerin gürültü konusundaki performansı ile birlikte simüle edilerek, salon dışına hangi düzeylerde ses iletildiği ölçülebilecektir).



Şekil 3.7: Örnek ses düzeyi haritası

3.3 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının Tezde Geliştirilen Özellikleri

Program, kullanıcının belirttiği değerlerle, mimari birimlerde çevirme, büyütme, küçültme, açı değişikliği, sayı arttırma vb. değişiklikler yapabilmekte, yeni değerlerle birlikte simülasyonlar alarak sonuç değerlerini mimari yorumlama için kayıt altına almaktadır. Sonuçlar, rastgele, kriterlere göre üretilen ya da tüm seçeneklerin deneneceği simülasyonlar dizisinden elde edilebileceği gibi, koordinatlar verilerek ya da istenilen edilen açılar el ile yazılarak da alınabilmektedir. Amaç, tasarımın ilk aşamalarından itibaren akustiğin işin içine katılabilmesi, tasarımın hızlıca etkin dağılıma göre değerlendirilebilmesi olduğu için programın kurgulanmasında detaylı akustik parametre ölçümlerinden kaçınılmıştır. Yazılım modeli oluşturulurken, konsept, amaç ve simülasyon işleyişine göre farklı teknikler bulunmaktadır. Tezde, en hızlı ve verimli sonuçları elde edebilmek için kaynak, 360 derece ses dağılımı yapan bir küre olarak (*omni*) tasarlanmıştır. Işın yoğunluğu, kullanıcı tarafından belirlenmelidir. *Monte Carlo* yöntemine göre simüle edilen ışınlarda, ışın sayısı arttıkça, sonuçlar gerçeğe yaklaşmaktadır. Dinleyiciler, düzlem olabildiği gibi, insan, küre vb. farklı biçimlerde de olabilmektedir. Yapılan simülasyon testlerinde dinleyici alanı, düzlem olarak modellenerek, ışınlardan gelen etkinin ölçümü yapılmıştır. Salonun mimari modellerinin üç boyutlu aktif simülasyon programına aktarımında, salon ve dinleyici alanı olmak üzere en az iki, ideal olarak en az üç (dinleyici alanı,

panel, salon, insan, koltuk vb. salon akustiğine etkisi olan birimler arttırılabilir) tanımlama yapılması gerekmektedir. Her tanımlama *mesh* olarak isimlendirilen ağlara yapılmaktadır. Simülasyonlar, öncesinde tanımlanan değerlere (değişkenlere) göre gerçekleştirilmektedir. Tasarımcı bir simülasyon süresini belirten, hacmin hesaplarına göre uygun reverberasyon süresi değerini programa girebilmektedir. Bu süre, her bir simülasyonun ne kadar süre ile devam etmesini istediği ile ilgilidir. İstenilen, optimum reverberasyon süresinin başta girilmesinin, ileride kullanılabilecek optimizasyon uygulamalarında kullanılmak için de uygun olacağı düşünülmüştür. Farklı bir süre değeri girerek de, araştırmalar yapılabilmektedir. Üç boyutlu aktif simülasyon programında, öncelikle T_{60} ile kod strüktürü oluşturulmuştur. Sonrasında Odeon programı ile karşılaştırmalar, Odeon T_{30} değerini hesapladığı için T_{30} değerine getirilmiştir. Üç boyutlu aktif simülasyon programında, tasarımcı hangi değerde hesaplama yapmak istediğini kodun ilgili bölümüne yazarak hesaplamaları bu yönde gerçekleştirebilmektedir. Akustik biliminde en çok kullanılan reverberasyon süresi değerleri, T_{60}, T_{30} ve T_{20} olsa da, örneğin T_{54} gibi farklı değerler de programa girilebilmektedir. Bu durumda tasarımcı, sınadığı geometrik durumların 54 dB düşüş gerçekleşene kadar geçen sürenin sonuçlarını almaktadır. Üç boyutlu aktif simülasyon yönteminin sürdürülebilir olması için başta, istenilen reverberasyon süresinin programa tanımlanması katkı sağlamaktadır. Ölçülen mevcut reverberasyon değerleri ise grid alanı üzerinde takip edilmelidir.

Her analiz otomatik olarak bir yazı dosyasına dönüştürülerek kayıt edilmektedir. Tüm veri sonuçları yazılı olarak değerlendirilmektedir. Dinleyici alanına tanımlanan bir *grid* sistemi, eş zamanlı ses düzeyi dağılımı analizini izlemeye olanak vermekte aynı zamanda ses dağılımının homojenliğinin ölçülmesi için katkıda bulunmaktadır. Tasarımcının seçtiği kaynak noktasından çıkan ses ışınları, salonda geometrik yüzeylere çarparak ve yansıyarak ilerler. Dinleyici alanında ses ışınının ulaştığı grid birimi kırmızıdan yeşile döner (Tasarımcı bu renkleri, boyut, kurgu vb. istediği an değiştirebilmektedir). Bu sırada ses ışınlarının yüzeylerle kesişim yaptığı noktalardaki ses düzeyi bilgisi kayıt edilir ve renklerle ifade edilir. Programda, renkler ses düzeylerini temsil eder. Her simülasyon bitişinde, programda tasarımcının belirlediği kriterlere göre oluşturulan mimari birimler döner ve başka bir geometrik konumun akustik değerlendirmesini kayıt eder.

Simülasyonlar, girilen kurallara göre, kaç olası tasarım durumu var ise o sayıda gerçekleşir. Tasarımcı belirlediği kriterlerin kayıt edildiği kayıt tablolarında değerleri okur ve tasarımına katkıda bulunacak şekilde yorumlamalar yapar. Simülasyonlar tamamlandığında, kaydedilen yazı dosyalarınan oluşturulan çizelgeler değerlendirilmektedir. Tablolarda, panel açıları ve dinleyici alanına düşen ışınların taşıdığı değerler görülmektedir. Tezde bu değerler, ses düzeyi (renk toplamı), ortalama, homojenlik ve standart sapma olmak üzere dört adettir. Bu değerler *grid* sisteminden faydalanılarak kayıt edilmektedir. Tasarımcı, tasarımına en uygun sonucu seçerek, salondaki ses düzeyi çıktılarını programın yalnızca dinleyici alan bölgesini çalıştıran alt programında görselleştirir. Kullanıcıların kodu, kopyalayıp yapıştırarak kendi bilgisayarlarında kullanabilmesi, geliştirebilmesi, *Windows* (Url- 26), *MacOs* (Url- 27), *GNU/Linux* (Url-28) vb. en çok kullanılan işletim sistemlerinden erişilebilmesi ve çıktı alabilmesi mümkün olmaktadır.

3.3.1 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının Kod Geliştirme Süreci

Simülasyon programı; kodlayarak tasarlamanın gerçekleştirilebileceği sayısal bir platform olan *Java* tabanlı programlama dili olan *Processing* yazılım geliştirme dilinde hazırlanmıştır. Programda model dosyalarının açılması, ışın vektörü tanımlanması, kütüphanelerin getirilmesi, kesişimlerin olması durumlarında vektörlerin yapması gerekenler, geometri üretiminin adımları, sayaç, vektörlerin ilerleme hızı, kesişimlerde ne olması gerektiği (örneğin veri kaydı), ışınların enerji kaybetme biçimi (sayısal değerlerin yüzde olarak çıkarılması), ekran görüntüsü kayıt etme, renk, yazı, biçim özellikleri, simülasyon başlangıç bitirme, kayıtlar vb. tüm model üretimi, simülasyon, hesaplama ve veri kayıt kurgusu yazılıma tanımlanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için yönü olan bir doğru parçası (ışın vektörü) tanımlamaktan başlanarak adım adım ilerlenerek kod geliştirilmiştir. Yazılım hazırlanırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. İlk adımda veri tiplerine değişkenler tanımlanmıştır.
2. Değişkenlerin görevi tanımlanmıştır.
3. Algoritma kurulmuştur (verilerin birbiri ile ilişkisi ve program akışının tasarlanması), renk, boyut gibi biçim özelliklerinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir.
4. Program çalıştırılarak hatalar bulunmuştur (kodda ya da algoritmada yolunda gitmeyen ya da beklenmeyen durumların tespiti) ve düzeltilmiştir.

Hazırlanan programa tasarımcının eklemek istediği her modül ya da iş, yukarıdaki 4 adım izlenerek gerçekleştirilebilmektedir. Yazılan programın yazım biçimi ve modelleme yapısı, programı kullanarak mimari tasarım süreci ile büyük farklılıklar taşımaktadır. Örneğin ses kaynağının modellenmesi, vektörleri matematiksel olarak tanımlayarak ve vektörlere görevler vererek gerçekleşmektedir. Tanımlamalar, değişkenlerden ve çeşitli veri tiplerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Öncelikle üç boyutlu bir vektör oluşturarak koordinat kayıtları ile işe başlanılmıştır. Sonrasında yön bilgisini de içeren iki vektörün kayıt edildiği veriler programlanmıştır. Tezde ağ olarak geçen *mesh,* üçgen yüzeylerden oluşan üç boyutlu gridler olarak düşünülebilmektedir. STL dosyasından bu yüzeyler okunarak, üzerinde işlem yapılmaktadır. Salon, panel ve dinleyici alanı olmak üzere, programda üç tip ağ üzerinde çalışılmıştır. Ağlar, çoğaltılıp azaltılabilmetedir. Programda tanıtılan ağlar, farklı mimari birimler tanımlanarak da kullanılabilmektedir.

Bir program yazılırken, yapılması gereken işler uygun dil ve veriler kullanılarak adım adım tanımlanmalıdır. Her tasarımcının kendine ait bir tasarlama tekniği bulunuyorsa, her programın da kendine özgü bir tasarımı bulunmaktadır.

Ses kaynağı, global ses düzeyi olarak ifade edilen ses düzeyinin mesafeye oranla düşüşünde ses yeğinliği düzeyi kullanılmıştır (Bu düzey, ses basınç düzeyi (SPL) değerine çok yakındır ve geometrik akustik modellemede kullanılmaktadır). Dinleyiciler, bu düzeyi ses yüksekliği düzeyi olarak algılamaktadır. Bir noktada bir ses kaynağı tanımlayarak, ışınların üç boyutlu yayılımı ve yansımaları, bu olaylar gerçekleştirilirken ışınların enerjisini kaybetmesi programlanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için tezin 2. Bölümünde belirtilen ses yeğinliği (bağıntı 2.2) ve düzeyi (çizelge 2.5), direkt alan ses şiddeti (bağıntı 2.5), ses kaynağının gücü, toplam küresel alan (bağıntı 2.4), alan enerji bağıntılarından (2.8) yararlanılmıştır. Ses ve ses olaylarının modellenmesinde, direkt alanda formül üzerinden enerji kaybı yaşanırken, yansımış alanın enerji kaybı, salon geometrisi (hacim ve ışının gittiği yol da dahil edilmiştir) ve malzemesine göre (Bağıntı 2.7 algoritmaya tanıtılarak) üç boyutlu simüle edilerek (bağıntı 2.6'nın işi, algoritmaya tanıtılarak) hesaplanmaktadır. Salonun yüzey malzemelerinin ses yutumu, vektörün enerji kaybının modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu durum, modele aktararak, hacim sabitinin işi bilgisayara tanımlanmıştır. Simülasyonun, yansımış ses alanındaki ses olaylarını hesaplayarak ses düzeyi olarak kullanıcıya sunması programlanmıştır.

Bir noktasal kaynaktan yayılan ses dalgasının başka bir noktadaki şiddeti, kaynağın gücü modellenerek kaynaktan uzaklığına göre hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar gücün alana bölünmesi ile gerçekleştirilir ve referans düzey ile karşılaştırılır. Ses modellemesinde alan, küresel alan üzerinden hesaplanmaktadır. Bu durumda, ses kaynağının gücünün bir dinleyici noktasına ulaşımı hesaplanarak, referans düzeyle birlikte ele alınıp üzerinde işlem yapılabilmektedir. Direkt alandaki ses şiddeti, küresel yayılım yapan bir kaynağa göre, bağıntı 2.5'te görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Bağıntının üstünde Watt biriminden modelleme yapılması, desibelin bir oranlı büyüklük olması nedeniyle daha uygundur. Çizelge 2.5'teki ses yeğinliği düzeyi ve referans değeri, aşağıda anlatıldığı gibi çalışılarak hazırlanmış ve programlanmıştır.

Ses yeğinliği düzeyinin L=10 log (Id / I_0) bağıntısıyla (çizelge 2.5) hesaplandığı bilinmektedir. Bu formüle, Id = W / $4\pi r^2$ (bağıntı 2.5), referans değer $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 işlenildiğinde aşağıdaki bağıntı 3.1 elde edilmektedir.

L_1 = Ses yeğinliği (*sound intensity*) W = Ses kaynağının gücü

Id = Direkt alandaki ses şiddeti I_0 = Referans değer, 10^{-12} W/m^2

$$L=10 \log \left(\frac{W / 4\pi r^2}{10^{-12}} \right) \quad (3.1)$$

Bu durumda, istenilen mesafede bulunan dinleyici alanındaki ses düzeyi ölçülebilmektedir. Bağıntı 3.1, koda aşağıdaki şekil 3.8'de görüldüğü gibi işlenmiştir. Tasarımcılar çoğunlukla, ses düzeyini desibel olarak projelerinde kullanmaktadır. Bu nedenle, hazırlanan programda, desibel yazılarak kaynak ve dinleyici alanı çıkış düzeyleri belirlenmekte, hesaplamalar watt birimi ile gerçekleştirilmektedir. Programa tanımlanan desibel ve watt birimleri, ses olayları simüle edilirken birbirine dönüştürülerek hesaplamalar yapılmaktadır.

```
485
486     float distance = 0.0344*gtime;
487     float surface_area = 4*PI*sq(distance);
488     float i_0 = pow(10, -12);
489     float watt = i_0*pow(10, (DB_START/10));
490     float intensity = watt/surface_area;
491     float intensity_level = 10*log10(intensity/i_0);
492     globalDb = intensity_level;
493     println(gtime + ", " + globalDb);
```

Şekil 3.8 : Ses düzeyinin global düşüşünün programa işlenmesi

Aşağıda çizelge 3.5'te, mesafe ve başlangıç düzeyin formüle işlenmesi ile oluşturulan, (başlangıç ses düzeyinin 120 dB = 1 Watt olduğunu varsayalım) örnek bir çizelge görülmektedir.

Çizelge 3.5 : Metre ile ölçülen mesafelerle ses düzeyi düşüşü

Mesafe (m)	Yeğinlik (W) (Id)	Ses düzeyi (dB)
1	0.079577472	109.01
2	0.019894368	102.99
4	0.004973592	96.97
8	0.001243398	90.95

Tasarımda kullanılan, formül yazılarak sonuç verme hesaplamaları, değer yazılarak veri tablosu oluşturma gibi işlemler, örnek olarak *excel* tablosunda yapılabilmektedir. Simülasyonlarda ise, gerçek bir sürecin veya olayın benzeri modellenmektedir. Çok sayıda hesaplama, olay ve kayıt eş zamanlı olarak gerçekleşmekte, nesneler arasında ilişkiler tanımlanmaktadır. Tezde, bir simülasyon sistemi oluşturmak için, boş bir sayfa ile işe başlanılarak öncelikle ayrıntısız bir simülasyon sistemi oluşturulmuştur ve tasarımcılara uygun olabileceği düşünülen şekilde ayrıntılandırılmıştır. Oluşturulan ilk kod strüktürü, mimari tasarımda olduğu gibi, ileride gerçekleştirilecek diğer eklemelerin temelini oluşturmaktadır. İlk aşamada kullanılan programlama tekniği, ileride programın hızını, farklı sistemlerle etkileşimini, ses gibi teknik alanlarla kullanılabilirliğini vb. ekleme ve ayrıntılandırmayı etkilemektedir.

Ses kaynağından ışınların çıkarak hareket etmesi, yüzeylerle karşılaşması ve etkileşimi gibi özelliklerin bir simülasyon modeli oluşturulabilmesi için, yönü olan bir doğru parçası tanımlayarak program başlatılmıştır ve vektörlerin yapması gerekenler, sahip olması gereken özellikler, kesişim noktaları, yüzey tanımlamaları vb. bilgiler koda işlenmiştir. Bu nedenle, programın ilk versyonlarında ışınlar, hareket eden vektörlerdir. İşleyen bir simülasyon modelinin oluşturulmasıyla, kriterlerin hesaplanıp kayıt edilmesi için formüller ve sesle ilgili ek özellikler, ses hareketinin zamanla ilişkisi programa tanıtılarak düzenlenmiştir. Simülasyon modelinde, simülasyon başlatıldıktan itibaren bir mesafe girişi yapılmadığı için, geçen zamana göre ışınların kat ettiği mesafe hesaplanmaktadır. Bu durumda kullanıcı, bir değer girip sonuç almaz.

Bilgisayar, oluşturulan algoritmaya göre sürekli hesaplamaları gerçekleştirir. Bunu gerçekleştirmek için, bilgisayar hızını ses hızına eşitleyerek mesafelerin hesaplanmıştır. Bu durumda, ışın hareketi, salonun belirtilen sıcaklıktaki hava özelliklerine göre gerçekleşmektedir. Ses hızının 344 m/s olduğunu kabul edilmiştir (istenildiği zaman değiştirilebilmektedir). Işının ilerlediği en küçük mesafe 10 milisaniyede 0.0344 m'dir. Kat edilen ilk mesafe bilgisayar birim zamanında (*gtime*) 1 alınmaktadır. 2. Birim zamanda 20 milisaniye geçmektedir ve vektör 0.0688 m ilerlemektedir.

Çizelge 3.5'in bilgisayar simülasyonundaki karşılığı, çizelge 3.6'da görülmektedir.

Bilgisayar birim zamanı	Geçen süre (ms)	Mesafe (r) (m)	Yeğinlik (W) (I)	Ses düzeyi (dB)
1	10	0.0344	67.2470521	138.28
2	20	0.0688	16.811763	132.26
10	100	0.344	0.67247052	118.28
29	**290**	**0.9976**	**0.07996082**	**109.03**
30	**300**	**1.032**	**0.07471895**	**108.73**
59	**590**	**2.0296**	**0.01931831**	**102.86**

Çizelge 3.6 : Simülasyon mesafeleri ile ses düşüşü

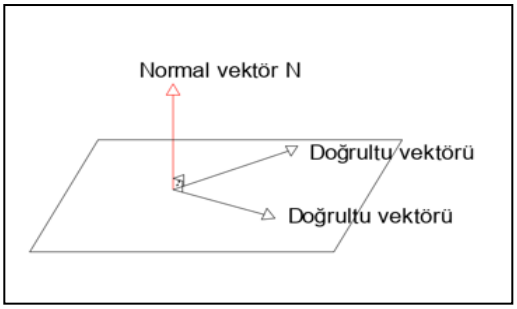
Yukarıda çizelge 3.6'da 29 ve 30 numaralı birim zamanda 1 m (Görülen değer hassas hesaplamalar nedeniyle 0.9976 m'dir 1 kabul edilebilir), 59. birim zamanda 2 metre (2.0296 m) yol kat edilmiştir. Simülasyon sayacı bu birim zamanı saymaktadır. Bu sayede model, sesin hareketine uygun davranmaktadır. Simülasyon 1 metreye ulaştığında (ses ışınını ifade eden vektörün belirli bir hızla belirli bir sürede belirli bir mesafeyi kat etmesi programlanmıştır) değerler, çizelge 3.6 değerlerini göstermektedir. Şekil 3.17'de tablonun tamamı (global düşüş), 3.18'de 3.17'den alınan bir bölüme daha yakından bakılarak bu durumu anlatan grafik görülmektedir.

Üç boyutlu aktif simülasyon programında, ışın tarama yöntemi, tezin önceki bölümlerinde anlatılan Monte Carlo metodu ile kaynaktan yayılan ses ışınlarının, çeşitli doğrultularda yayılması başlatılmaktadır. Her bir ışın, bilgisayara üzerlerinde çeşitli özellikler taşıyan 2 vektör olarak tanıtılmıştır. Her bir ses ışını, bir başlangıç

noktası (ses kaynağının koordinatlarında x, y, z değerlerini taşıyan üç boyutlu bir nokta) ve yön bilgisine sahiptir. Yön bilgisi, simülasyonu gerçekleştirmek için bilgisayara ürettirilmektedir. Yön bilgisi de, x, y ve z olmak üzere üç koordinat değerinin birleşiminden oluşan üç boyutlu bir nokta olarak tanımlanmıştır. Bu durumda ses ışını her birim zamanda kaynak koordinatından, ses hızı ile kat edilen mesafeye göre üretilen (hedef) x, y, z koordinatına ulaşmaktadır. Bu durum, ışın bir yüzeyle kesişim yapana kadar devam ederek ses ışını ilerlemektedir. Çizelge 3.6'da görülen, "bilgisayarda geçen birim" kolonunda görülen değerler, bilgisayarın sayacını ifade etmektedir (*gtime*). Ses ışınlarının kaç adet gönderileceği bir değişken olarak tanımlanmıştır. Verilen değere göre, 1'den başlayarak tanımlanmış zamana kadar ışınlar adım adım ilerlemektedir. Bilgisayara, yapması gereken işlemler adım adım tanımlandıktan sonra, bilgisayar tekrar tekrar işlemleri gerçekleştirmektedir. Bir ışının ilerlemesi, bir noktanın koordinat değerlerinin verilen kurallara (burada kural hız x zamandır) göre değişmesi anlamına gelmektedir.

Göz önünde canlandırabilmek için, ses kaynağı noktasına A diyelim, bir adımda 0.0344 m ilerleyerek ışın B noktasına ulaşmaktadır. B noktası, ışının yoluna devam edebilmesi için, sistemin yeni A noktasını oluşturmaktadır. Böylelikle programlandığı gibi ses ışını bir adım daha ilerleyerek yeni A noktasından yeni B noktasına ulaşmaktadır ve toplam 2 adımda 0.0688 m yol kat edilmiş olur. Bilgisayar programlandığına verilen kurala göre (her adımda 0.344 m ilerlemesi), ışını (üç boyutlu noktayı (değişkeni)) ilerletmektedir.

Bir düzlemin doğrultu vektörlerine dik olan vektöre düzlemin normal vektörü (N) denilmektedir. Düzleme dik olan normal vektörün, doğrultu vektörlerinin birbiriyle vektörel çarpımı ile bulunması gibi işlemler programda matematiksel olarak gerçekleştirilmektedir. Aşağıda şekil 3.9'da bir normal vektör temsili görülmektedir.



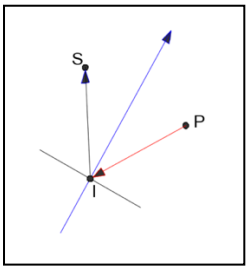
Şekil 3.9 : Normal vektör

Normal vektörden yararlanılarak yansımalar hesaplanmaktadır. Aşağıda, şekil 3.11'de kod ve 3.10'da temsili bir biçimde ışınların yansıma tanımlamaları görülmektedir. Programlamanın yapısı nedeniyle, yapılacak işlem adımlarının temsil edilme biçimleri, birbirine dönüşebilen harfler ya da kelimeler kullanılarak yapılabilmektedir. A noktasından B noktasına ilerleyen ışın, kesişim gerçekleştirdiğinde kesişim noktasının da bilgisayara bir değişken olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda, kesişim noktasına ulaşan ışının normal vektörden faydalanarak yön değiştirmesi sağlanmaktadır. Bu durum, başka değişken isimleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Aşağıda, şekil 3.10'da yansıma gerçekleştiren noktaların tanımlamaları görülmektedir. P noktasından gelen ışın I noktasında kesişim yaparak ortadaki normal vektöre göre yansımakta ve S noktasına ilerlemektedir. Şekil 3.11'de kodda görülen formülde, r değişkeni, hesaplanan S noktasınının oluşturulma biçimini ifade etmektedir. Buna göre n değişkeni normal vektörü, v değişkeni P üç boyutlu noktasından I üç boyutlu kesişim noktasının çıkarılmasını (gelen ışının bir parçasını) ifade etmektedir. Kesişim olduğunda, r değerinin hesaplanması formülüne göre, şekil 3.10'da görülebilen S noktası bulunmaktadır. Eğer tekrar bir kesişim olmazsa, S noktası tekrar A noktasının görevini görmeye başlamakta ve B noktasına ilerlemektedir.

Vektörler, bir yüzeyle karşılaştıklarında, ışık gibi dalgaların bir yüzeyden ayna benzeri fiziksel yansıma prensiplerine göre yansırlar. Yansımalar, aynasal yansıma biçiminde gerçekleştirilmek üzere programa tanımlanmıştır (*Specular Reflection*). Mükemmel yansıtan bir yüzeyde, yansıma açısı gelme açısına eşittir. Bu kurala göre, düz yüzeylerde ışınlar aynasal yansıma gerçekleştirmektedir (Comninos, 2006). Bu yansıma biçimi genellikle yüzeylere parlak bir görünüm sağlamak için kullanılan bir aydınlatma modelidir.

Mimari modeller STL sistemi kullanılarak mimari olarak girintili ve çıkıntılı olsalar da akustik simülasyon modeli oluştururken STL formatıyla üçgen düz yüzeylere bölünmektedir. Bu durumda, eğimli bir yüzey farklı üçgen biçimlerinin bir birleşimi olarak hesaplanmaktadır. Her bir üçgen yüzeyin, bir düzlem olduğu kabul edilmektedir. Program, tanımlanan görevlere göre, koordinatlarla ve vektörlerle çalışarak değişkenler üzerinde işlemler gerçekleştirir.



Şekil 3.10 : Vektörlerin geometrik görünümü

Kaynaktan gelen ışın P, yansıyan ışın S, ışının yüzeyle kesiştiği noktadaki normal N olarak ele alındığında yansıma vektörü aşağıdaki bağıntı 3.2'de görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır:

$$S = N\,(2 * (P \bullet N)) - P \qquad (3.2)$$

Bağıntı 3.2'nin koda işleniş biçimi aşağıda şekil 3.11'de görülmektedir.

```
566          Vec3D r = n.scale(2 * (v.dot(n))).sub(v);
```

Şekil 3.11 : Vektörlerin yansımasının programa işlenmesi

Tasarımcı, başka yansıma türlerinin gerçekleşmesini istediğinde, kodun şekil 3.11'de görülen kısmında değişiklikler yapabilecektir.

Bir değişken, içerisinde bilgiyi depolar. Değişkenler, bir program içinde çağırılarak istenildiği zaman kullanılabilir ve program işlerken değerleri değiştirilebilir. Örneğin, paneller arası mesafe bir değişken olarak bilgisayara temel veri tiplerinden *int* kullanılarak şekil 3.1'de olduğu gibi tanımlanmıştır. Program, bu değeri tanımaktadır. Tasarımcı, oluşturduğu kurallarda değişken değerini kullanarak işlem yapabilmektedir. Tanımlamayı yaptıktan sonra, tekrar panel mesafesi ile ilgili, hangi hesapların yapılması gerektiğini yazmasına gerek kalmadan değişkenin yanında yer alan sayısal değeri değiştirilerek işlem yapabilmektedir.

Üç boyutlu aktif akustik simülasyon programında, bilgisayar birim zamanı, dinleyici alanı kesişimleri, grid boyutu, simülasyon süresi vb. değerler, değişken olarak programa tanıtılmıştır. Temel veri tiplerinde anlatıldığı gibi (çizelge 2.10), değişkenlerin de farklı tipleri bulunmaktadır. Değişkenler, tasarımcının verdiği isimleri alabilmektedir. Değişkenin değiştirdiği yapının ismini belirtmesi, sonradan programı kullanacak başka tasarımcılar için kılavuz görevi görebilmektedir. Örneğin "sahne" birimi için bir değişken oluşturmak istenildiğinde 2 adımda kodlama yapılmaktadır.

1. Adım: Tanımlama, ilan etme (*declaring*)

int SAHNE_BOYU; (Sahne boyunun bir değişken olduğunu ve bir tamsayı (integer) değerinde olduğunu tanımlar)

2. Adım: Değişkenin alabileceği değerin tanımlanması (*initializing*)

SAHNE_BOYU = 10; (Bir önceki adımda tanımlanan sahne boyu değişkeninin 10 değerini aldığını belirtir)

Bu kodlama biçimi, daha kısa bir biçimde aşağıdaki gibi tek bir adımda da ifade edilebilmektedir:

1. ve 2. adımın birlikte gerçekleştirilmesi:

int SAHNE_BOYU = 10 (Sahne boyu değişkeninin bir tamsayı olduğu ve 10 değerini alması gerektiği tanımlanmıştır. Farklı sahne boyları istenildiğinde ya da farklı projelerde, 10 değeri istenildiğinde değiştirilebilmektedir)

İki değişkenin bir değeri tanımlayamayacağına dikkat edilmelidir. Örneğin:

int SAHNE_BOYU;

int SAHNE_BOYU = 10;

yazıldığında, program hata vermektedir. Bu nedenle, program hazırlanırken, her değere tek tek değişkenler atanmıştır. Sayısal değerlerle işlem yapabilmek için operatörler kullanılmıştır. Bu operatörler; toplama, çıkarma gibi matematiksel işaretlerle gösterilse de programlamada çalışılan platforma göre işlevleri farklı olabilmektedir. Tezde kullanılan operatör örnekleri; "+" toplama, "-" çıkarma, "*" çarpma, "/" bölme ve "=" atamadır. Örneğin eşittir işareti çift "= =" yazıldığında, eşitlik ifade etmektedir ancak tek başına "=" işareti programda, değiştirilebilir bir değeri atamaktadır. Ses ışınlarının bilgisayar birim zamanında (*gtime*) ilerlemesi, operatörleri kullanarak aşağıdaki gibi yazılarak koda tanımlanmıştır. Örneğin, *float distance* = 0.0344**gtime* tanımlamasına göre birim zamanda ses ışını, 0.0344 m (yol) kadar ilerlemektedir. Çizelge 3.6'da görülen ses düşüş tablosunun ilk satırında bu mesafe görülmektedir. Ses ışınının hareket etmesi (A noktasından B noktasına gitme işlemi) gibi, tekrar ve tekrar yapılması gereken işlemler (örneğin hareket biçimleri ya da hesaplamalar) bilgisayara döngü (*loop)* olarak tanımlanmıştır. Bu değer, aynı işlem basamağının tekrar tekrar yazılması yerine kullanılan bir tanımlama biçimidir.

Örneğin, dört çizginin çizilmesi, belirtilen değerlerin koordinat sisteminde x1, y1, x2, y2 olmak üzere:

```
line (30, 20, 10, 100);
line (50, 20, 30, 100);
line (70, 20, 50, 100);
line (90, 20, 70, 100);
```

yazılarak gerçekleşmektedir. *Line*, kelimesi ingilizcede çizgi anlamına gelmektedir. Dört satır yazılarak çizilen paralel çizgiler, döngülerden faydalanarak daha kısa bir yoldan çizilebilmektedir. Bu durumda geçici bir değer olan i (*integer*) kullanılmıştır:

```
for (int i = 10; i <= 70; i += 20 ) {
 line (i + 20, 20, i, 100);
}
```

kodu ekrana yazılarak aynı sonuç elde edilmektedir. Belirtilen kodlar, kopyalanarak tümleşik geliştirme platformuna yazıldığında görselleştirilebilmektedir. Benzer bir biçimde, ortalama yutuculuk yerine 6 frekans bandında işlem yapılması, aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır. Kod düzenlenerek ortalama değer elde edilebilmekte ya da ayrı ayrı frekans bantları üzerinde çalışma yapılabilmektedir.

```
float maximumValue = 1;
for (int i = 0; i < 6; i++)
```

Yukarıda yazılan koda göre *float maximumValue = 1* yazılması, yutuculuk değeri en fazla 1 olabilmektedir tanımını ilk satırda yapmaktadır. Sonrasında döngü yazılmıştır. *for (int i = 0; i < 6; i++)* ifadesi, 0. panelden 6. panele kadar adım adım işlem yapılsın isteğini sisteme tanımlamaktadır. Yazılım geliştirme platformuna özgü bir özellik, 0'dan başlayarak sayma yapılmasıdır. 0. 1. 2. 3. 4. ve 5. frekans bandı olmak üzere, mimari akustikteki 6 frekans bandını ifade etmektedir.

Programda, algoritma oluşturuken, eğer (*if*) ifadeleri ile de işlemler gerçekleştirilmektedir. Kesişimler, bu ifadelerin yardımı ile bilgisayara tanımlanmıştır. Aşağıda, dinleyici alanı ve panellere gelen ışınların enerji kaybetmesi için (ortalama yutuculuk değeri kullanılarak) kullanılan eğerli ifade görülmektedir.

```
if (h.audienceIsHit = = true) {
```

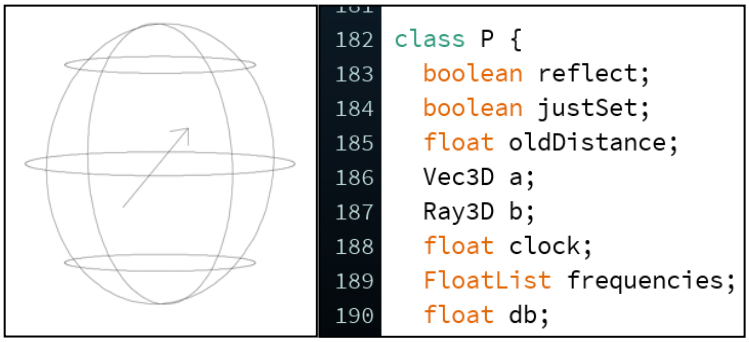
frequencySubtrahend = 0.80;

} else if (h.panelIsHit = = true) {

frequencySubtrahend = 0.10;

Yukarıdaki tanımlama, ışın eğer dinleyici alanı yüzeyi ile kesişim yaparsa (*audienceIsHit*), 0.80 (yüzeye atanan ortalama yutuculuk değeri) oranda enerji kaybına uğrasın. Işın eğer panel yüzeyi ile kesişim yaparsa 0.10 oranında enerjisini kaybetsin işlerini, bilgisayara tanımlamak için kullanılmıştır.

Işınlar, bir yüzey ile karşılaştıklarında, bilgisayar bu karşılaşmayı, bir kesişim olarak yorumlamaktadır. Yüzey özelliklerine göre, ışın kesişimde bulunduğunda enerjisinin bir miktarını kaybederek yansımaktadır. Kaybettiği enerji miktarı, yüzey yutuculuklarını temsilen atanan enerjinin yüzde kaybı ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.10'da tanımlanan I noktasında (değişkeni) tasarımcının verdiği görevler gerçekleştirilmektedir. Ses ışınlarının, ilerleme, kesişme ve yön değiştirerek yoluna devam etmesi görevlerinin tanımlanmasının yanısıra, üzerinde taşıdığı özelliklerin de tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlama, tezin temel veri tipleri bölümünde anlatılan sınıflardan yararlanılarak yapılmıştır. Bir sınıfın bir küre olduğunu gözümüzde canlandırırsak, şekil 3.12'de vektörün çevresini saran bir kürenin temsili görseli görülmektedir. Yanındaki kodda, 182 numaralı satırda, P noktasının sınıfını ifade eden "*class P"* tanımlaması görülmektedir. Sınıf küreyi, P vektörün ismini, parantezden sonraki, noktalı virgül ile yazılan tüm özellikler kürenin içine yazılmış ve vektörün sahip olması gereken özellikleri belirtmektedir. Bu durumda, P ışınının, ses düzeyi değeri, frekansı, rengi, saati vb. çeşitli özellikler bulunduğu sınıfın içine tanımlanır.

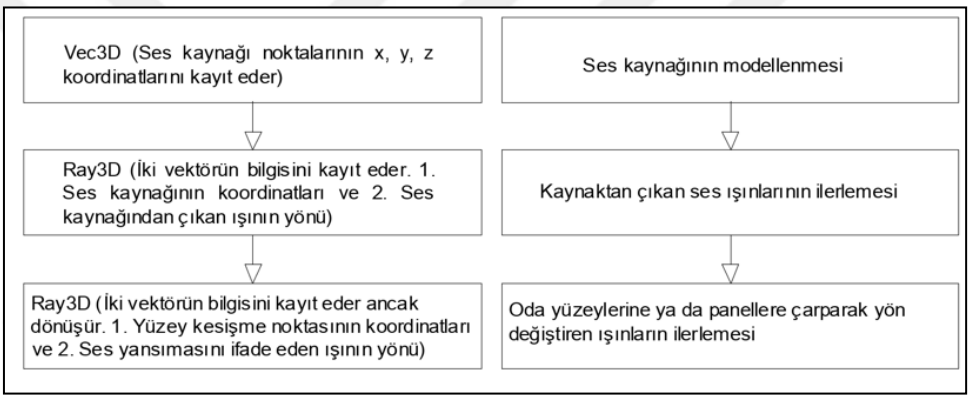


```
182 class P {
183   boolean reflect;
184   boolean justSet;
185   float oldDistance;
186   Vec3D a;
187   Ray3D b;
188   float clock;
189   FloatList frequencies;
190   float db;
```

Şekil 3.12 : Bir sınıfın içindeki bir ses ışını temsili ve koddaki ifadesi

Aşağıda çizelge 3.7'de kod kütüphanesinden alınan üç boyutlu vektör ve üç boyutlu ışın olarak ifade edilen veri tipleri *Vec3D* ve *Ray3D* sınıflarının, programdaki görevleri ve mimari olarak ne anlama geldiklerinden örnekler belirtilmiştir. *Vec3D* veri tipi (sınıfı*)* 1 koordinat noktasını kayıt ederken *Ray3D* veri tipi (sınıfı) 2 farklı koordinat bilgisini kayıt etmektedir. Veri tiplerinin bir bölümü sınıf özelliği taşımaz. Sınıf özelliği taşımayan veri tiplerinde, Şekil 3.12'de görülen kürenin bulunmadığı düşünülerek göz önüne getirilebilmektedir. Bu durumda, işlemler daha hızlı gerçekleşmektedir. Çizelge 2.10'da görülen *int, boolean, float* veri tipleri sınıf özelliği taşımazken, *String, ArrayList* ya da burada olduğu gibi *Vec3D, Ray3D* veri tipleri aynı zamanda birer sınıftır. Çizelge 3.7'de görüldüğü gibi, farklı görevlerde kullanılmıştır.

Çizelge 3.7 : Programda tanımlanan üç boyutlu vektör sınıfının (Vec3D) ya da üç boyutlu ışınların (Ray3D) örnek işlevlerinin ifadeleri



Tezin, kodlayarak tasarlama bölümünde anlatıldığı gibi, kartela oluştururken bir karenin kenar uzunlukları ve rengi kod yazılırken aynı anda tasarlanabiliyorsa, ışınlar gönderilirken de renkler olduğu gibi ışının farklı frekans bantlarındaki değerleri ışının üzerine atanabilmektedir. Aynı kodlama tekniği yüzeylerde de yapılabilmektedir. Işınlar bir yüzeyle karşılaşmadan ilerlerken, şekil 3.17 ve şekil 3.18'de anlatıldığı gibi enerji kaybederler ve düzeylerinde değişiklikler yaşarlar. Işın bir yüzeye ulaştığında, yüzey kesişimlerindeki bilgiler kayıt edilmektedir. Bu kayıt bilgisi ile tasarımcı çeşitli yorumlar yapabilmektedir. Sistem oluşturulduktan sonra sınıfın içineki özelliklerle işlem yapılabilmektedir. Örneğin ışın, koyu kırmızı olsun ve her duvara çarptığında, rengi belirlenen oranda bir ton açılsın diye bir kural girilerek, bu hesaplamaların sonuçları da alınabilmektedir. Her bir ışın, mimari modelde tanımlanmış yüzeylere çarparak, çarptığı yüzeylerin tanımlanan yutuculuk katsayısına göre enerjisini kaybetmektedir. Dinleyici alanına ulaşan ışınlar, akustik değerlendirmede ve ses haritalarının çıkarılmasında önemlidir. Eğer anlamına gelen şartlı tanımlamalar için

kullanılan "*if*" verileriyle belirtilen durum kodlanmıştır. Örneğin, ışın dinleyici alanına ulaştı mı? Cevap evet ise, program devam ederek ışının sınıfında, bu duruma özel tanımlanan değerler üzerinden işlem yapılır. Cevap hayır ise ışın global düşüşe göre yoluna devam eder. Cevap evet olduğunu varsayarsak aşağıda şekil 3.13'teki gibi tanımlamalar yapılabilir. Örneğin, 125 Hz frekans bandında, ışın 0.07, 250 Hz'te 0.31, 500 Hz'te 0.49, 1000 Hz'te 0.81, 2000 Hz'te 0.66, 4000 Hz'te 0.54 yutulsun (değerler alınırken dinleyici alanının halı ile kaplandığının varsayılmıştır ve halı yutuculuk katsayıları kullanılmıştır) komutları verilebilmektedir. Şekil 3.13'te görüldüğü gibi 6 farklı frekans bandı 0'dan 5'e kadar, *int* veri tipine tanımlanarak alması gereken değerlerin üzerinde uygulanacak işlemler belirtilmiştir.

```
if (h.audienceIsHit == true) {
  frequencySubtrahend = 0.85;
  dbSubtrahend = frequencySubtrahend;
  int f125hz  = 0;
  int f250hz  = 1;
  int f500hz  = 2;
  int f1000hz = 3;
  int f2000hz = 4;
  int f4000hz = 5;
  p.frequencies.set(f125hz,  p.frequencies.get(f125hz)  - p.frequencies.get(f125hz)  * 0.07);
  p.frequencies.set(f250hz,  p.frequencies.get(f250hz)  - p.frequencies.get(f250hz)  * 0.31);
  p.frequencies.set(f500hz,  p.frequencies.get(f500hz)  - p.frequencies.get(f500hz)  * 0.49);
  p.frequencies.set(f1000hz, p.frequencies.get(f1000hz) - p.frequencies.get(f1000hz) * 0.81);
  p.frequencies.set(f2000hz, p.frequencies.get(f2000hz) - p.frequencies.get(f2000hz) * 0.66);
  p.frequencies.set(f4000hz, p.frequencies.get(f4000hz) - p.frequencies.get(f4000hz) * 0.54);
} else if (h.panelIsHit == true) {
```

Şekil 3.13 : Yutuculuk düzeylerinin programa işlenmesi

Işınlar, yüzey alanına çarptığında farklı frekans bantlarındaki yüzey yutuculuk değerlerine göre, enerjilerinin bir bölümünü kaybetmiş olan ışınları temsil eden yeni değerler kazanırlar. Tasarımcı, tezde oluşturulan kod strüktürü üzerinden işlem yapmak istediğinde, yutuculuk değerlerini, kendi istediği malzemeye göre değiştirerek de işlem yapabilmektedir. Bu durumda, toplam yutuculuk alanını ifade eden (A) hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Havanın yutuculuğu da eklenilerek hacim sabiti hesaplanılmak istenildiğinde, programa aşağıda bağıntı 3.3'te görülen formül girilmelidir.

R = Hacim Sabiti

A = Toplam Yüzey Yutuculuğu

m = Yutuculuk Sabiti

V = Hacim

$$R = A + 4mV \tag{3.3}$$

Long, hava moleküllerinin etkileşimi nedeniyle, sesin atmosferde ilerlerken enerjisini mesafeye göre kaybettiğini ve bu kaybın mesafe başına enerji yoğunluğu olarak ele alınarak karakterize edildiğini belirtmektedir. Hava yutuculuğunun, Sabine'nin formülüne dahil edilerek mimari akustikte hesaplandığını belirtmektedir (Long, 2006). Havanın yutuculuğu, çizelge 2.6 'da görüldüğü gibi etkili yutuculuk alanına dahildir. Hava için yutuculuk sabiti (*intensity attenuation coefficent*), sıcaklığa ve bağıl neme bağlıdır ve aşağıda bağıntı 3.4'te görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır. Birimi dB/m'dir.

ΔL= Ses Düzeyi Değişimi (Yeğinlik düzeyi (*intensity*))

V = Hacim

m = Yutuculuk sabiti

R = Hacim Sabiti

$$m = \frac{\Delta L}{4.34} \qquad \text{(Long, 2006)} \qquad (3.4)$$

Harris, yutuculuk sabitini, ölçümlerle ortaya çıkarmıştır. Salon akustiğinde, havanın yutuculuğu, yalnızca büyük salonlarda ve yüksek frekanslarda önem kazanmaktadır (Harris, 1967). Çizelge 2.6'da görülen Sabine formüllerinin içinde reverberasyon süresi hesaplarına katılmaktadır. Büyük salonlarda 1000, 2000 ve 4000 Hz frekans bantlarında hesaplamaları etkilemektedir. Reverberasyon süresinin hesaplandığı sayısal tablolarda, hacimde bulunan havanın yutuculuk etkisi de hesaplara katılmaktadır.

Tezde hazırlanan salonlarda, salonların çok büyük olmaması, önerilen yönteme (programın hassas akustik hesaplamalar yapması tez aşamasında amaçlanmamıştır) ve karşılaştırmalara uygun olmadığı (Odeonda ve Üç Boyutlu Simülasyon Programında ortalama değerle çalışılmıştır) için havanın yutuculuğu modülü, tezde programlanarak kapalı kullanılmıştır. İleride, bu özelliğin test edilebilmesi için öngörüler aşağıda belirtilmiştir.

Geometrik akustik simülasyon modellerinde, havanın yutuculuğu, ses ışını ya da partikülünün havadaki yer değiştirme mesafesine göre tahmin edilmektedir. Bilgisayar modelleri genellikle, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz, merkez frekanslarında saf tonla işlem yapmaktadır. Havanın yutuculuk etkisinin farklı yöntemlerle (*edge frequency method*) modellenmesi daha uygun olabileceği belirtilmektedir (Wenmaekers, R. ve diğ.,

2008). Hava yutuculuğunun eklenmesinin, reverberasyon süresi hesaplarındaki gibi, etkili frekans bantlarında sayısal yutuculuk değerlerinin işlenmesi ile modelde elde edilebileceği düşünülmüştür. Farklı frekans bantlarındaki düşüşün aşağıdaki şekilde işlenilebileceği düşünülmektedir. Örnek olarak, simülasyonlarda vektör adım adım ilerlerken, 2000 ve 4000 Hz'teki yutuculuk değeri kadar düşüşün koda işlenme önerisi belirtilmiştir. Bilgisayara tanıtılan işemlerde, değeri matematiksel olarak elde edebilmek için, çeşitli adımlarda geçici değer isimleri verilmektedir. Örneğin aşağıda görülen g_1 ve g_2 değişkenleri, kendinden bir önceki adımın geçici değerini belirtmektedir. Her adımda, değerler birbirine dönüşmektedir. Sonuç, yeni işlemin başlangıç değeri olmaktadır.

f_1 : 2000 Hz ve g_1 (bilgisayar saatine göre bir birim zaman sonra oluşacak ve kullanılacak değer)

f_2 : 4000 Hz ve g_2 (bilgisayar saatine göre bir birim zaman sonra oluşacak ve kullanılacak değer)

g_1 : f_1'in ilk değeri (bilgisayar saatine göre bir birim zaman önceki değeri)

g_2 : f_2'nin ilk değeri (bilgisayar saatine göre bir birim zaman önceki değeri)

olarak ifade edilmiştir. Bu durumda hava yutuculuğunun, 2000 ve 4000 Hz frekans bantlarında, aşağıdaki bağıntı 3.5 ve 3.6'ya göre tanımlanabileceği öngörülmüştür.

2000 Hz için,

$$f_1 = g_1 - \frac{g_1}{100} \tag{3.5}$$

4000 Hz için,

$$f_2 = g_2 - \frac{2g_2}{100} \tag{3.6}$$

Havanın yutuculuğu bir başka deyişle havadaki enerji kaybı, yukarıdaki bağıntılardan yola çıkılarak aşağıda şekil 3.14'te görüldüğü biçimde kodlanmıştır.

```
// Air absorption + speed
for (P p : ps) {
  if (gtime > 0) {
    // float distance = 0.34*gtime;
    p.db = globalDb;
    p.frequencies.set(HZ2000, p.frequencies.get(HZ2000) - p.frequencies.get(HZ2000) * 0.01);
    p.frequencies.set(HZ4000, p.frequencies.get(HZ4000) - p.frequencies.get(HZ4000) * 0.02);
  }
```

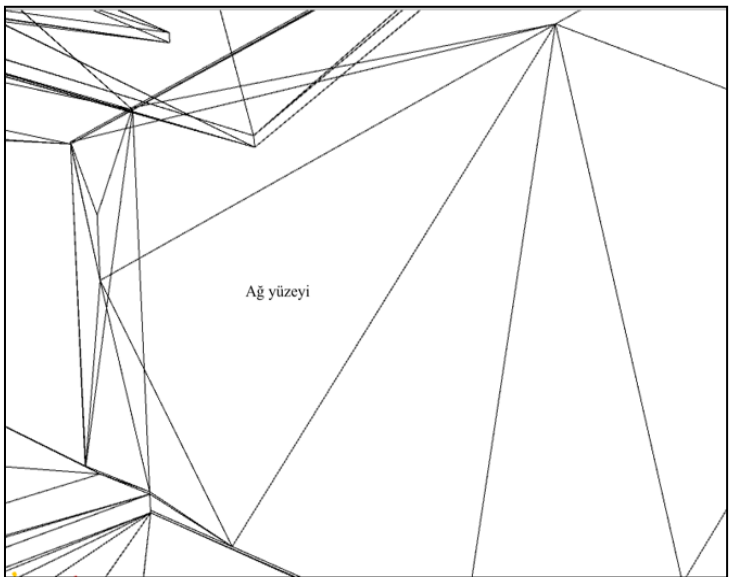
Şekil 3.14 : Hava yutuculuğunun programa işlenmesi

Geçen sürede, ses düzeyi düşüşü, vektörün kat ettiği mesafe, kesişimler vb. işlemler simülasyonlar boyunca bilgisayar tarafından hesaplanmaktadır. Kullanıcı, bu hesaplamaların büyük bir bölümünü görmemektedir. Tasarımcı, hesaplamaların gerçekleşme biçimini, programlamıştır. Tasarımcı, sistem oluşturulduğunda, devam eden simülasyon ya da hesaplamalardan istediği anda, istediği frekansta, özellikte, renkte vb. vektörlere ait bilgileri alabilmektedir.

Üzerinde işlem yapılması istenilen mimari birimlerin (ağların) tanımlanması:

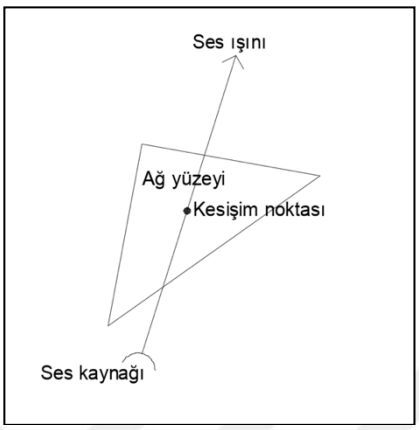
Paneller, dinleyici alanı ve salon modeli programa ağ (*mesh*) olarak tanımlanmıştır. Algoritma, ağın her yüzeyini tarayarak ses ışınlarıyla bir kesişim olup olmadığını kontrol etmektedir. Bir yüzey üç farklı koordinat noktası, dönme ve yön değişkenlerine sahip olan bir vektör içerir (a, b, c, ro, dir). *Float*, *if* ve *return* temel veri tipleri kullanılarak oluşturulan kod dizisi ile kesişim olup olmadığını belirler. Her ağ yüzeyi aşağıda şekil 3.15'te görüldüğü gibi üçgen yüzeylerin bir araya gelmesiyle oluşturulmaktadır. Mimari model programlarında üç boyutlu birimlerin bilgisayara tanıtılmasında bilinen bir yöntemdir (tezin ikili sayı sistemi ve dosya formatı (STL) bölümünde anlatılmıştır).

Ses ışınları, ilerlerken enerjilerini sürekli olarak tanımlandığı biçimde (bağıntı 2.5 ve 3.1) kaybederler. Işınlar adım adım ilerlerken, aşağıda şekil 3.16'da görüldüğü gibi bir yüzeyle kesişim yaptıklarında kesişim noktasının bilgileri kayıt edilmektedir.



Şekil 3.15 : Tanımlanan bir ağın bir üçgen yüzeyi

Program her bir üçgen yüzeyde bir kesişim olup olmadığına bakarak yansıma olup olmaması gerektiğine karar verir. Kesişim noktası bulunduğunda ışın, bağıntı 3.2'e göre yansımaktadır. Aynı zamanda kesişim noktasında, yüzeye tanımlanan yutuculuk katsayısına göre de, enerjisinin bir miktarını kaybetmektedir.



Şekil 3.16 : Ses ışınının, üçgen bir ağ yüzeyi ile kesişimi

Bir bilgisayar simülasyonunda ışınların hareketleri, yüzey tanımlaması, kesişimler vb. temel tanımlamalar yapıldığında, yeni tanımlamalarla sistem detaylandırılmakta, işlem yapılarak bilgiler edinilebilmekte ve eklemeler, çıkarmalar yapılabilmektedir.

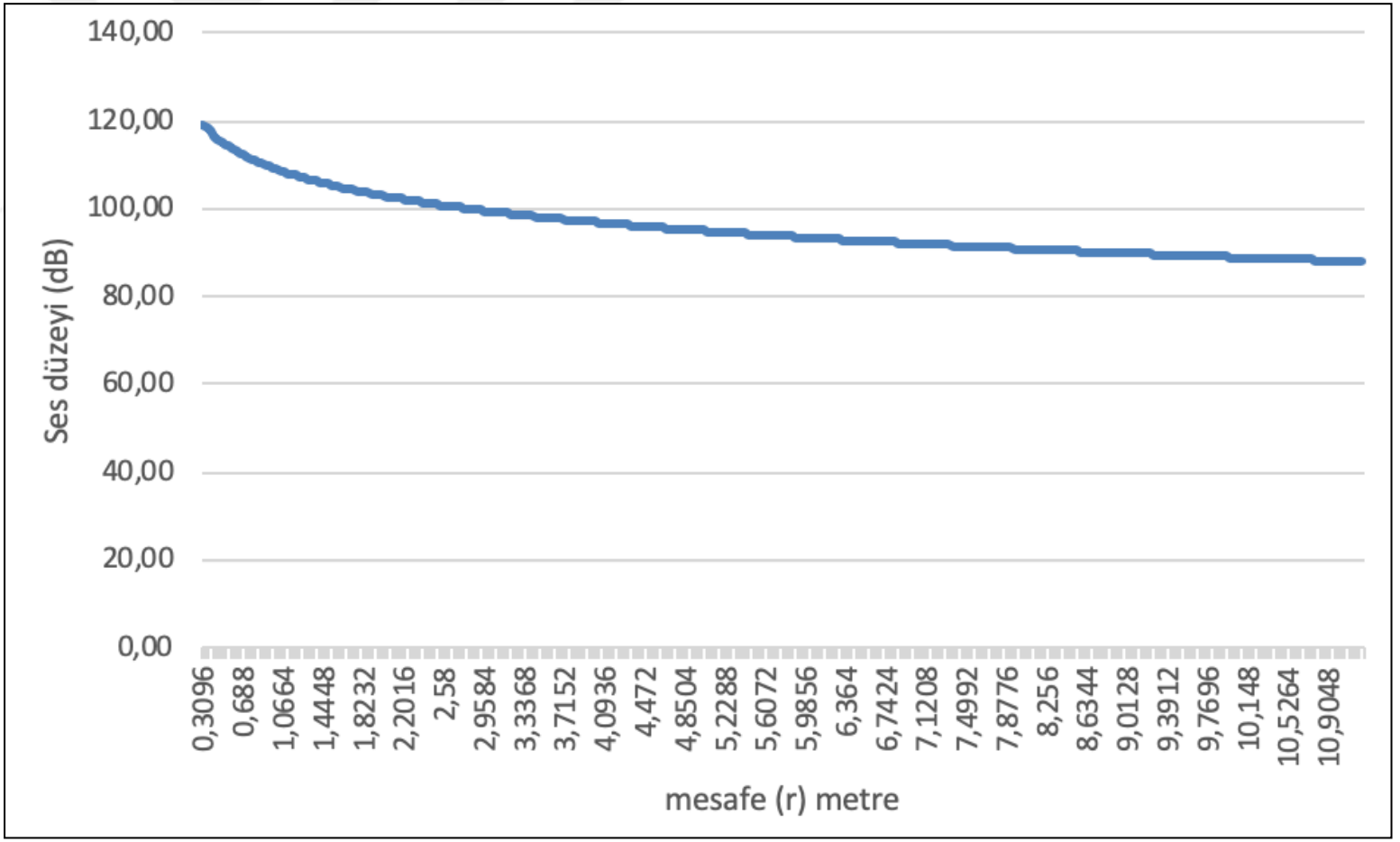
Programın ilk versiyonlarında, ışınların yüzeyler ile yaptığı ilk kesişim noktası kırmızı olmak üzere son yansıma noktası mavi ile belirtilmiştir. Ara renkler, sırayla ara yansıma noktalarını göstermektedir. Renkler başlangıçta, verileri işleyebilmek ve tezin amacını gerçekleştirmek için pratik bir araç olarak hazırlanmıştır. Programı kullanan tasarımcı, renk toplamı değerine istediği değeri tanımlayabilmektedir. Program, tez süreci ilerledikçe geliştirilerek çeşitli akustik özellikler eklenmiştir. Işınların kaybolması, tasarımcının belirlediği simülasyon süresi (tezde reverberasyon süresi olması önerilmiştir) sonunda gerçekleşmektedir.

Tezde önerilen yöntemde amaç, modeli hazırlanan bir salonun reverberasyon süresi sonuçlarını kullanıcıya sunmak değildir. Olası tüm tasarım durumları üzerinde çalışan tasarımcı, istediğinde bu hesap sonuçlarını alabilecek şekilde algoritmayı yönlendirmelidir. Üç boyutlu aktif simülasyon programında, ses kaynağı oluşturularak mesafe ile bağlantılı olarak ses gücü düzeylerinin düşüşü modellenmiştir. Yansımış alanda, sesin malzemelerin yutuculuğu ile ilişkili kaybettiği enerji simüle edilmiştir. Her ışının (vektörün) kendine ait frekans bantları, desibel ve zaman parametresi gibi üzerinde taşıdığı özellikleri bulunmaktadır. Işınların düzlemlerle yaptığı kesişimler,

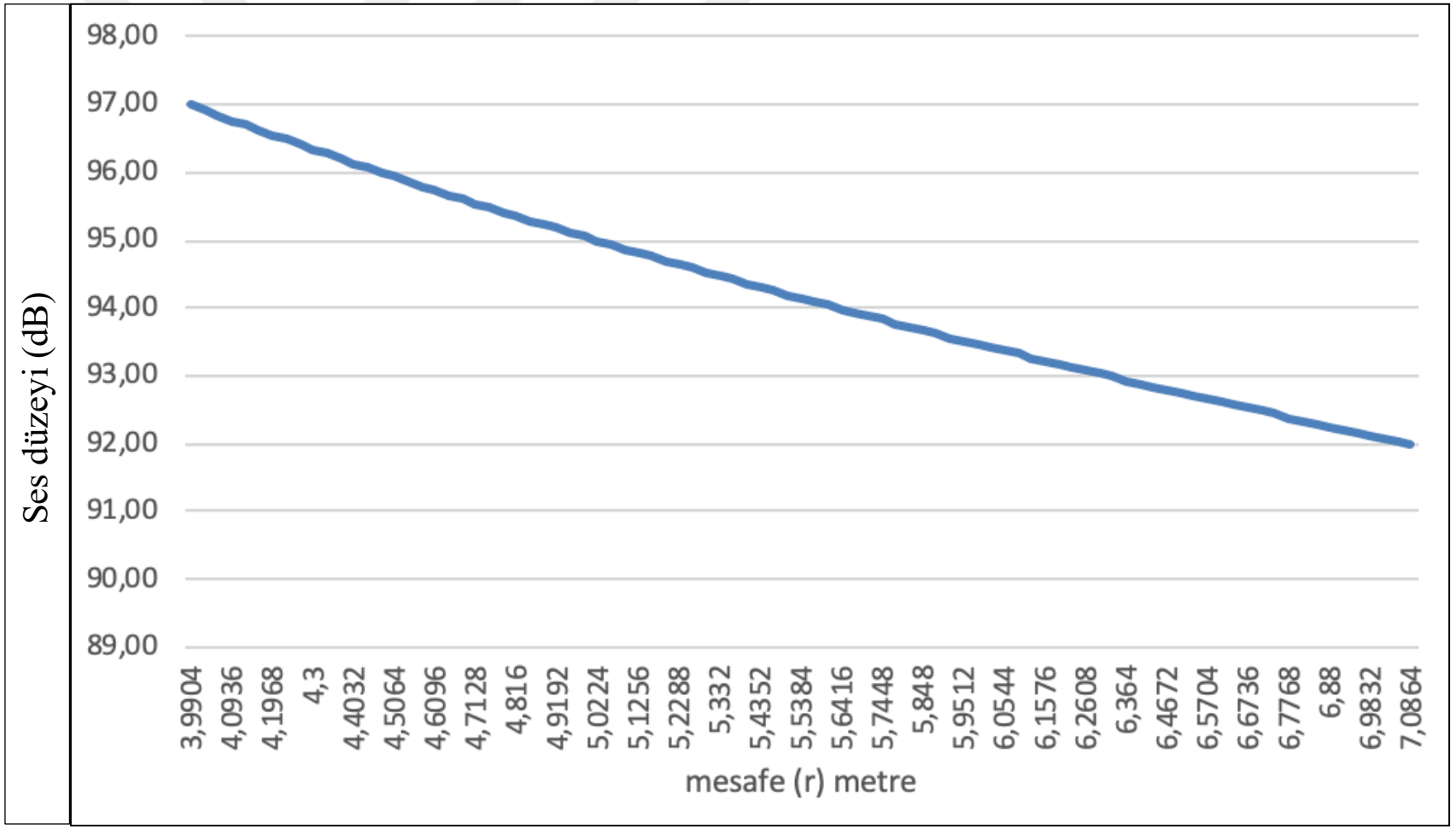
yansıma noktalarının özellikleri kayıt altına alınmaktadır. Bu noktalarda enerji kaybı, renk tanımlaması, metin tanımlaması vb. çeşitli işlemler gerçekleştirilmektedir.

Her simülasyonda, dinleyici alanı üzerine düşen ışınların ses düzeyleri ölçülerek (tanımlanan ışınların tanımlanan işlemlerden geçerek dinleyici alanını ifade eden yüzeye ulaşması ile) kayıt edilmiştir. Hazırlanan bir alt programla, kayıt edilen bilgiler, ses düzeyi haritaları oluşturmak üzere görselleştirilmiştir. Bu durum, dinleyici alanını birimlere bölen bir grid sistemi ile desteklenmiştir.

Kod geliştirme süreci, tasarımcının bakış açısıyla ilerletilmiştir. Algoritmanın teknik olarak geliştirme süreci ve örnek durumlar, 3.3 ve 3.4 bölümlerinde anlatılmıştır. Tezin 3.5. bölümünde, kodlanan programın kullanılabilmesi için komut çizelgesi hazırlanmıştır. Bölüm 3.6'da, kod geliştirme sürecinde bulunan, tasarımcının fikir edinebileceği düşünülen, salonlara özgü performans değerlendirmeleri sıralanmıştır. Tezin 4. bölümünde, tezin genel sonuçları yazılmıştır.



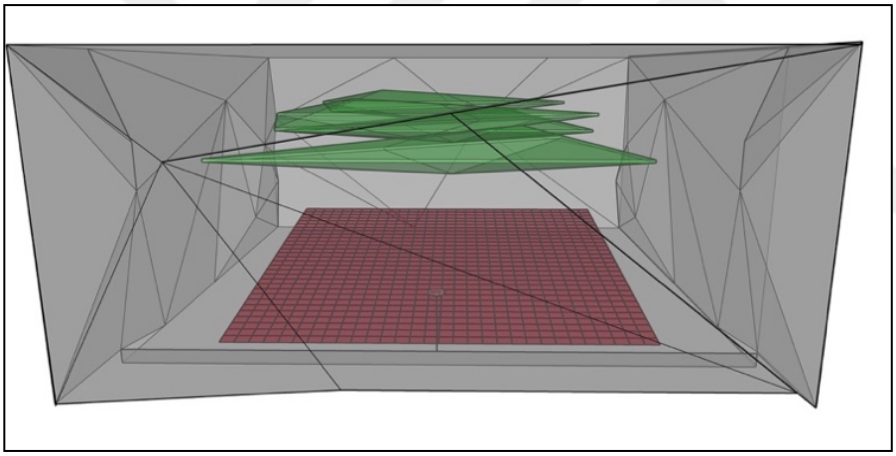
Şekil 3.17 Mesafeye göre ses düzeyi değişimi – Global düşüş (120-90 dB)



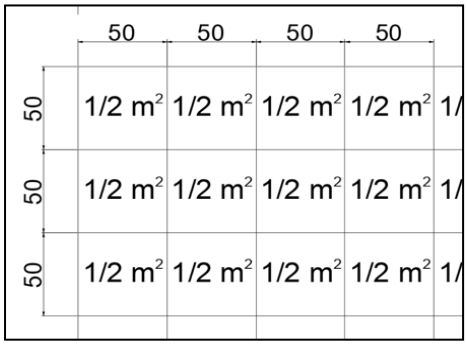
Şekil 3.18: Mesafeye göre ses düzeyi değişimine yakından bakılması – Global düşüş (97-92 dB)

3.3.2 *Grid* Sistemi

Akustik simülasyonunun dinleyici alanındaki etkilerinin değerlendirilebilmesi için, bir grid sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem, dinleyici alanı üzerine tanımlanmıştır. *Grid* sisteminin birim büyüklüğü, tasarımcı tarafından veri girişi aşamasında belirlenir. Her simülasyonda dinleyici alanında yer alan *grid* sisteminin birim alanına ses ışınını temsil eden noktalar çarptığında, birim karenin rengi değişmektedir. Kullanıcıların eş zamanlı olarak izleyebildiği bu durum, bir metin dosyasına sayısal olarak kaydedilmektedir. Her bir simülasyonda ışınların kaç birim karenin üstüne ulaştığı görülmektedir. Karşılaştırma ve değerlendirme yapılabilmesi için üzerine ışın ulaşan birim kare miktarı ve tüm grid kesişimlerinin değerleri tablo olarak kayıt edilmektedir. Aşağıda şekil 3.19'da grid sisteminin dinleyici alanı üzerindeki yerleşimi görülmektedir. Testlerde kullanılan yarım metrekarelik birimlerin planından bir bölüm, şekil 3.20'dedir.



Şekil 3.19: Grid sisteminin bir salonda dinleyici alanı üzerinde görünümü


50
50
50
50
50
50
50
1/2 m²
1/2 m²
1/2 m²

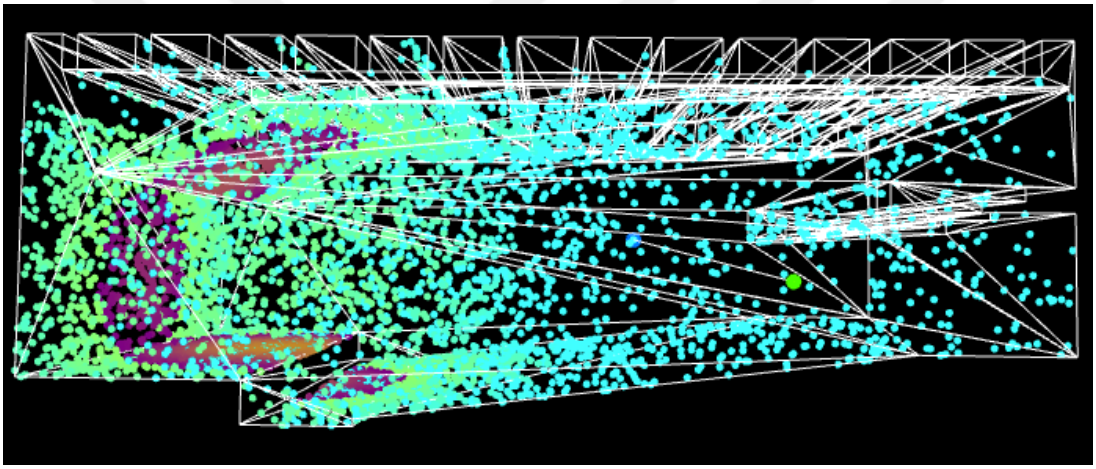
3.3.3 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programında Kullanılan Kütüphaneler

Programlamada kod kütüphaneleri, düzenlenmiş dosyalardır. Farklı uygulamalarda, aynı fonksyonların gerekmesi durumunda, bu kütüphanelerden faydalanılmaktadır. Örnek olarak, yazılan simülasyon programında çeşitli açık kod kütüphaneleri de kullanılmıştır. Bu kütüphaneler; Karsten Schmidt'in hazırladığı *processing.opengl, toxi.geom, peasy, toxi.processing.toxiclibsSupport, toxi.geom.mesh*'tir (URL-8, URL-9, URL-10, URL-11, URL-12, 2019). Örneğin, üç boyutlu aktif simülasyon programında kullanılan *peasy* kütüphanesi, farenin tuşları ile tasarımcının modelin etrafında dönme, modele yaklaşma, uzaklaşma vb. işleri gerçekleştirebilmek için programlanmış bir kameradır. Bu kütüphaneler, içinde çeşitli sınıfların (*class*) bulunduğu paketler olarak da düşünülebilmektedir. Tasarımcının, programlamayı derinlemesine öğrenerek bir kamera programlamasına gerek yoktur. Kod kütüphanelerinden ihtiyacı olan paketler varsa kullanabilmektedir. Tasarımcı, kendi işine yarayan araçlardan oluşan kütüphaneleri kendisi de hazırlayabilmektedir. Gereken durumlarda işlemler kütüphanelerden çağırılmaktadır. Tasarımcının kod yazmadığı platformlarda örneğin grafik arayüze sahip mimari programlarda, eklentilerin çağırılması, kütüphanenin koda eklenmesi anlamına gelmektedir. Diyelim ki *Sketchup* programında, bir tuşa basarak tasarımcının imzasının atılması isteniyor. Tasarımcı bu eklentiyi oluşturarak, gerekli yazılımı bir yazılım geliştirme platformunda hazırlar (*Sketchup* için örneğin mimarların sıkça kullandığı *Ruby API* (Url-42)'da, imzasını çizer, fotoğrafını çeker vb. tanımlar sonrasında gereken koordinatlara getirilmesi, ne şekilde ve hangi durumda getirilmesi gerektiği vb. özellikleri tanımlar). Sonrasında kodlardan oluşan yazılım paketini koda ekler. Her tasarımda tekrar aynı programı hazırlamak yerine, kütüphaneden faydalanır ve imzasının gerektiği başka projelerinde çalıştığı proje ne kadar farklı olursa olsun bu paketi kullanabilir.

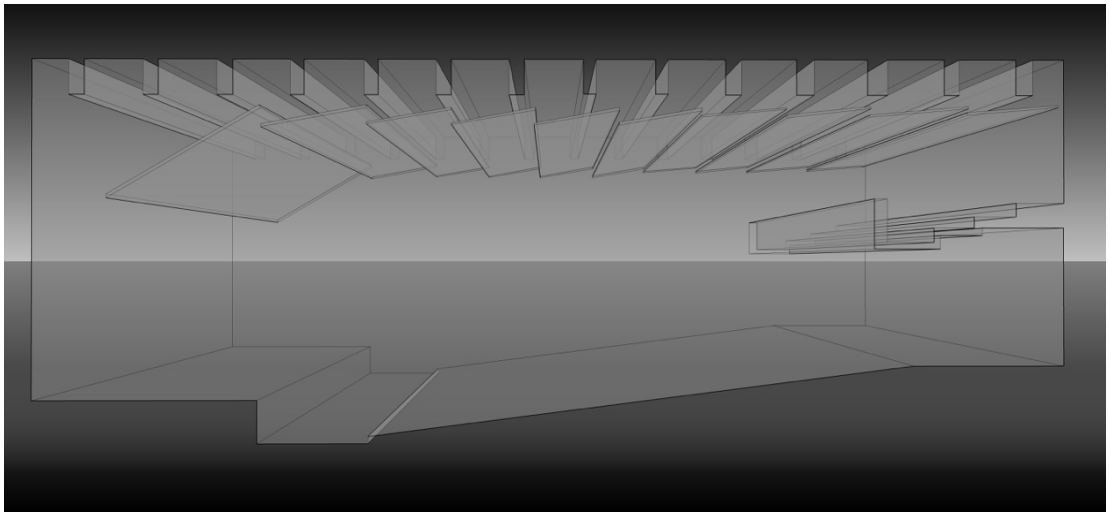
Üç boyutlu aktif simülasyon programında hazırlanan çeşitli fonksiyonlarla, paketler halinde kütüphaneler oluşturulup diğer tasarımcılarla paylaşılabilecektir. Örneğin, ses ışınlarının değerlerini dinleyici alanı ile kesişimlerinde kayıt eden sistem paketi, kütüphane olarak paylaşıldığında başka tasarımcılar bu kütüphaneden faydalanarak güneş ışınlarının cephede yarattığı etkilerin değerlerini bulabilmek için kullanabilecektir.

3.3.4 Simülasyonlardan Alınan Örnek Ekran Görselleri

Yöntemin geliştirilmesi için oluşturulan test salonları ve içlerindeki mimari birimlerin, basit bir tasarımda ve farklı geometrilerde olmasına dikkat edilmiştir. Çeşitli mimar ve sanatçıların proje modellerinde çalışabilirlik kontrol edilmiştir. Sonuçlar, iki boyutlu analizlerle de karşılaştırılmıştır. Aşağıda şekil 3.21 ve 3.22'de dikdörtgen kesitli ve balkonu olan bir salon görülmektedir. Şekil 3.23 ve 3.24'te kare biçiminde ve dairesel oturma düzenine sahip bir salon görünmektedir. Şekil 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, bir kürenin alt ve üst bölümlerinden oluşan iki ayrı salon görülmektedir. Şekil 3.29 ve 3.30, simülasyon programının kodlanması sırasında ilk yansımaları test edebilmek üzere tasarlanmıştır. Aşağıda, programın ilk versiyonlarından itibaren salonlar üzerinde test edilerek değiştirilen, eklenen ya da çıkarılan özellikleri anlatılmıştır.



Şekil 3.21 : Üç boyutlu aktif model simülasyonu detay ekran görüntüsü



Şekil 3.22 : Mimari model görüntüsü. Dikdörtgen salon simülasyonu (Url – 32).

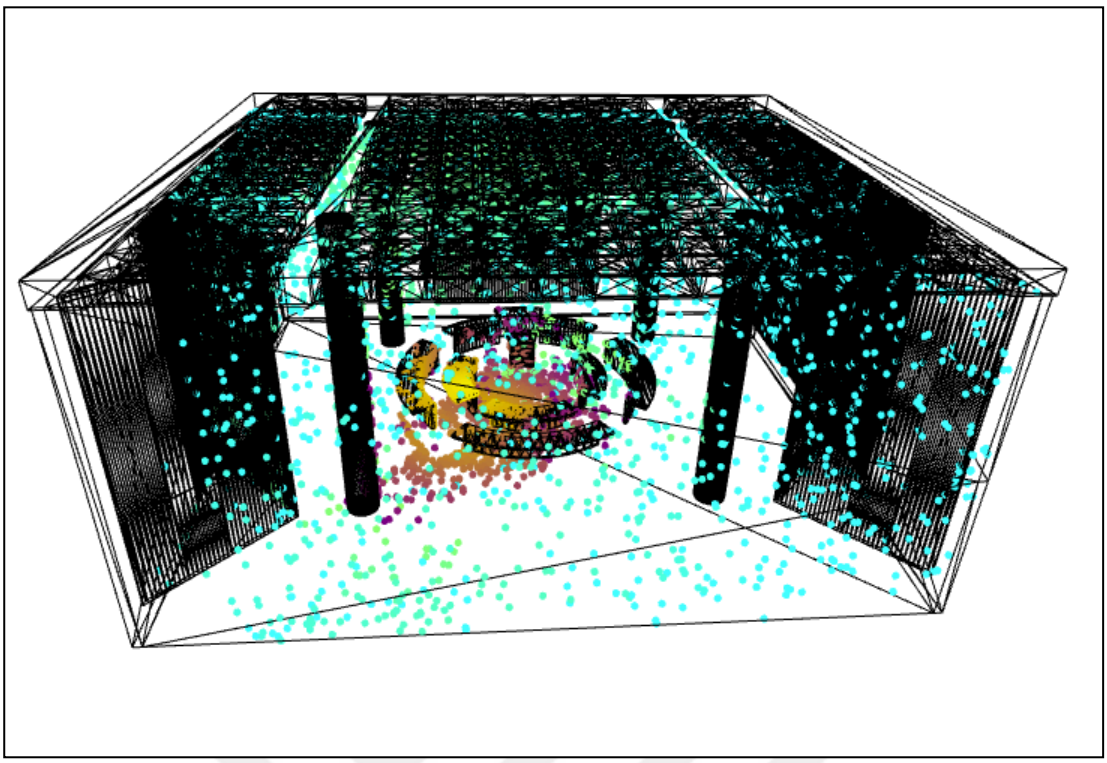
Yukarıda, şekil 3.21'de hazırlanan programdan alınan bir ekran görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.22'de ise *Sketchup* programından alınan bir model görüntüsü görülmektedir. Balkonu olan, girintili çıkıntılı bir tavana ve parçalı akustik panellere sahip bir model üzerinde çalışılarak ışın tarama sistemi sınanmıştır. İlk simülasyonlarda ışın sayısı 1000 ve 50000 arasında tutulmuştur. Performans değendirilerek, koddaki gereksiz bölümler çıkarılmıştır. Kodda yapılan her düzeltme, programın daha etkin bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Tezin kod geliştirme sürecinde anlatılan ışının ilerlemesi sırasında, karşılaşılan noktalar kod üzerinde çalışılmıştır. Örneğin A noktasından B noktasına giden ışının kesişme noktaları girintili çıkıntılı yüzeylerde farklı mesafelerde gerçekleşmektedir. Bu mesafenin hesaplanması, ya da köşelerde sıkışan ışın yansımalarının çözümlenmesi gibi teknik tanımlamalar yapılmıştır.

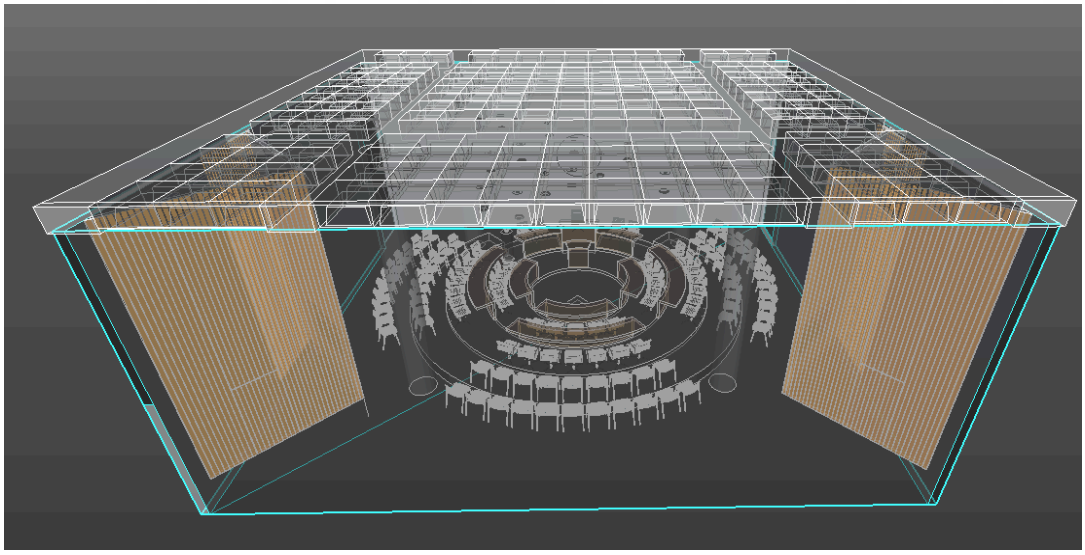
Aşağıda, şekil 3.23 ve 3.24'te, dairesel oturma düzenine sahip bir salon modeli ile çalışılmıştır. Girintili çıkıntılı tavan yüzeyinde ışınların yansımaları, dairesel oturma düzeni ile ilişkilendirerek kontrol edilmiştir. Salonun iki yanında görülen yansıtıcı panellerin ses yolları üstündeki etkisi ve yansımalar incelenmiştir.

Şekil 3.25 ve 3.26'da ise küresel tavanda yansımalar incelenmiştir. Müzisyenleri temsil eden ses kaynakları üç ayrı bölgede test edilmiştir. Her simülasyon sonrasında ışın sayısı arttırılarak kompleks geometrilerde ışın yoğunluğunun etkileri ve simülasyon süresi incelenmiştir. Salon geometrisinin dikdörtgen kesitli salonlardan farklı olmasının, yöntemi etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Ses kaynağı, farklı koordinatlarda bulunduğunda dinleyici alanı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

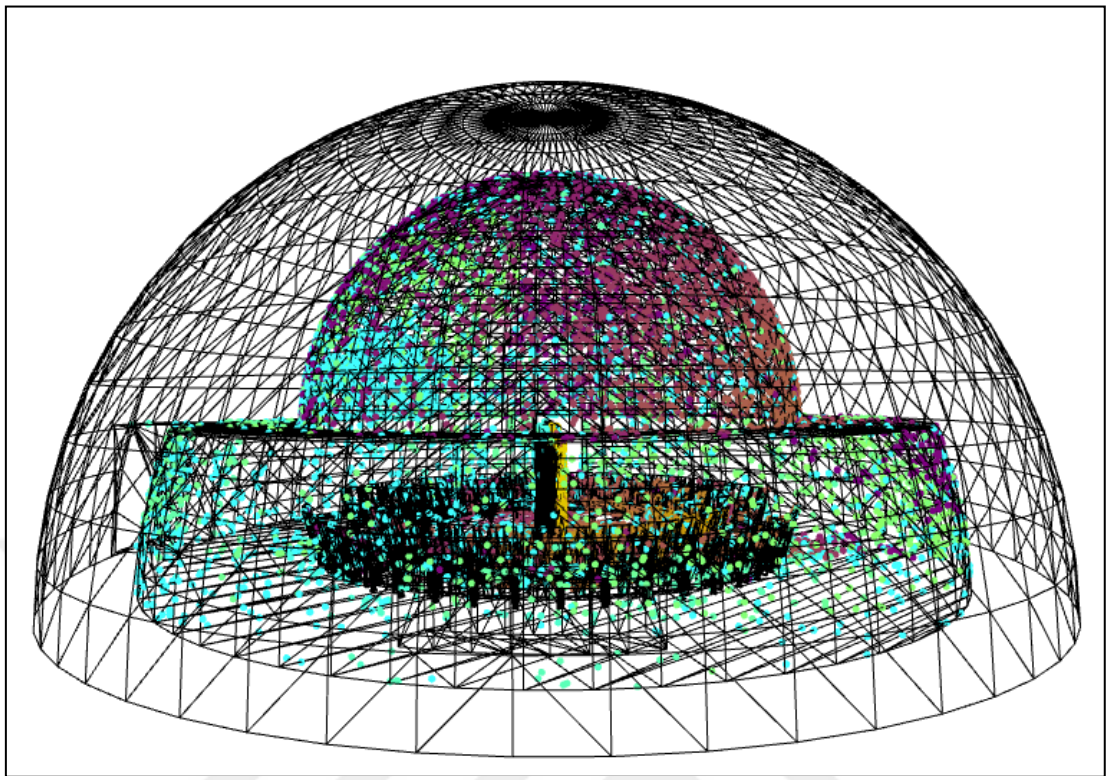
Şekil 3.27 ve 3.28'de görülen görseller, küre biçimli yapının alt bölümünde yer alan başka bir salona aittir. Ses kaynağı farklı bölgelere yerleştirilerek çeşitli kamera açılarından simülasyonlar incelenmiştir.



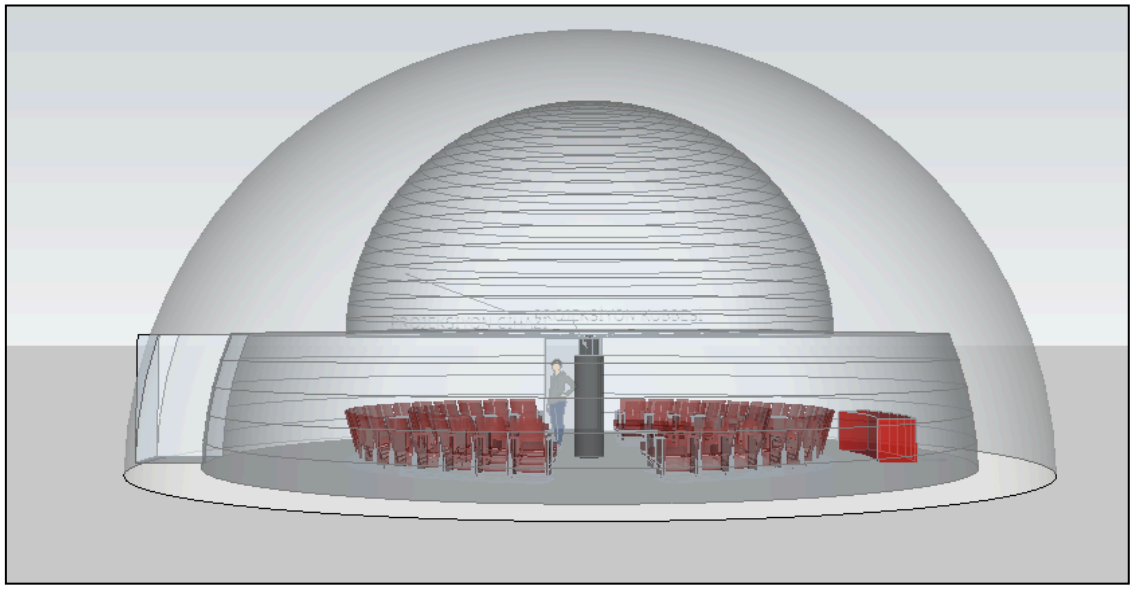
Şekil 3.23 : Üç boyutlu aktif model simülasyonu ekran görüntüsü. Dairesel oturma düzenine sahip kare salon simülasyonu.



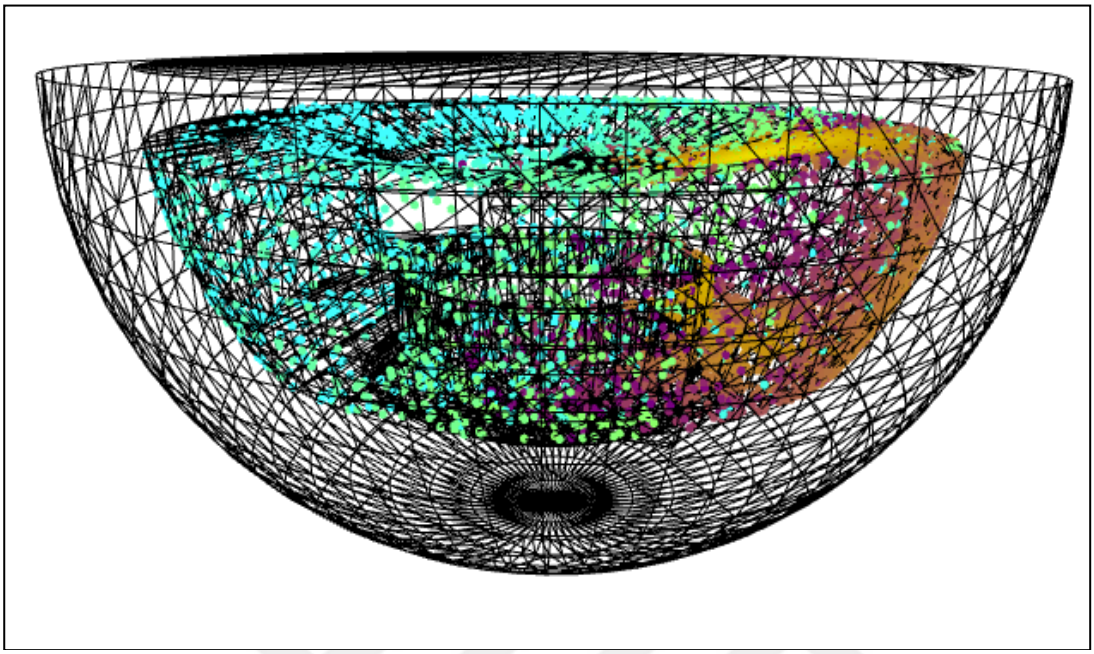
Şekil 3.24 : Mimari model. Dairesel oturma düzenine sahip kare salon (Mimari proje modeli: Url – 32).



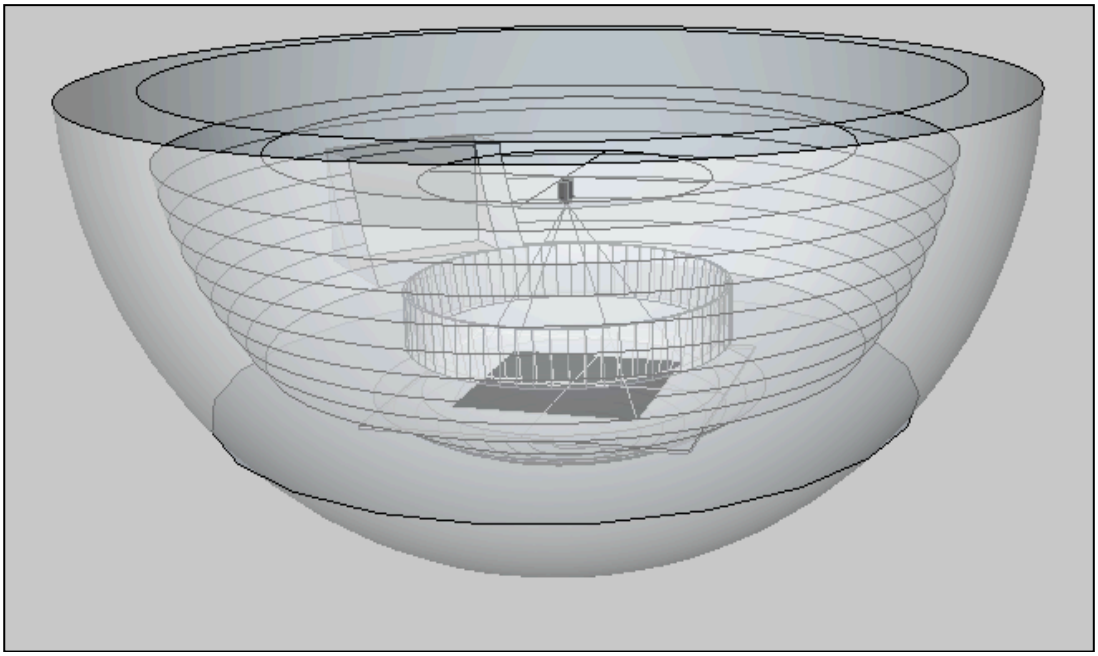
Şekil 3.25 : Simülasyon ekran görüntüsü



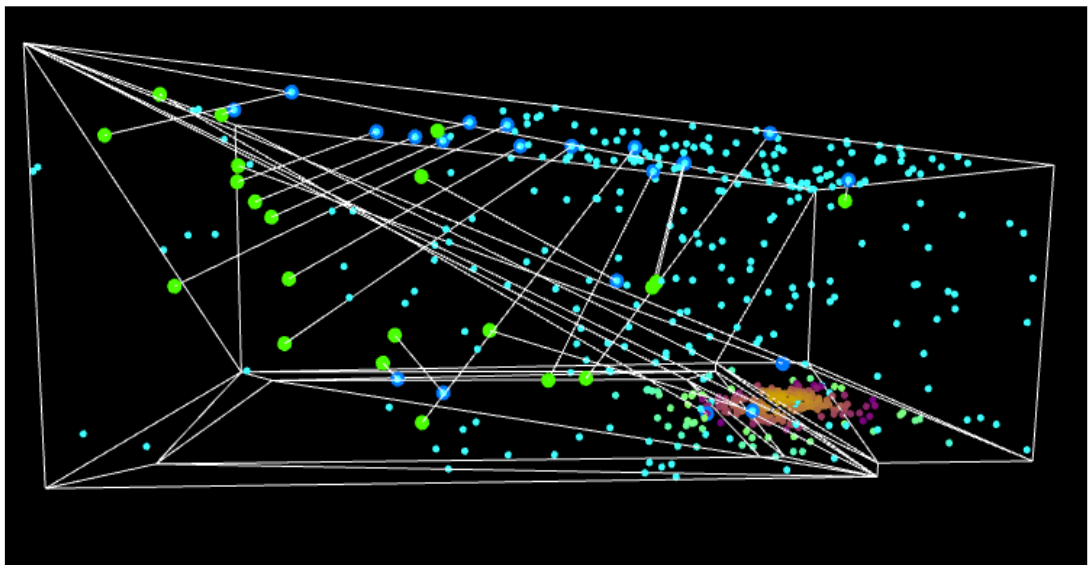
Şekil 3.26 : Mimari model ekran görüntüsü (Mimari proje moeli: Url – 33).



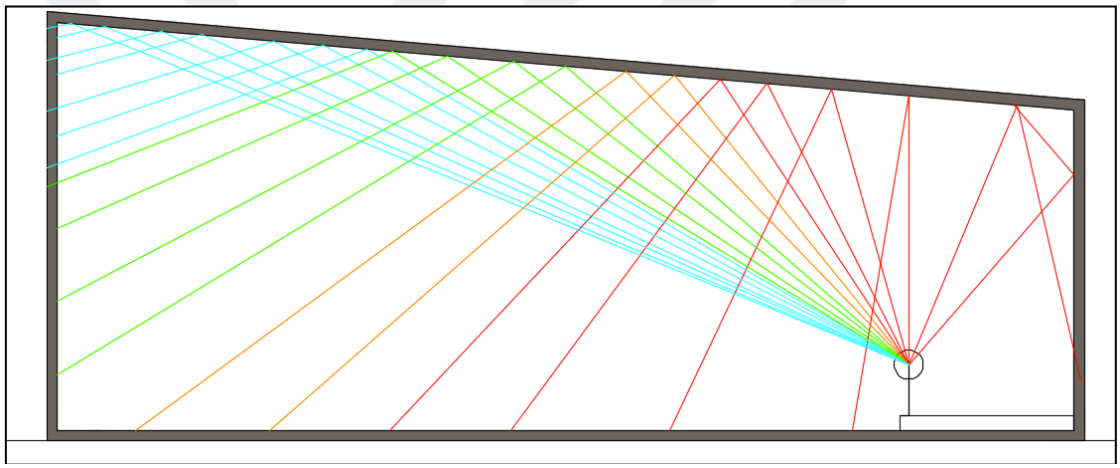
Şekil 3.27 : Simülasyon ekran görüntüsü



Şekil 3.28 : Mimari model ekran görüntüsü (Url – 33).



Şekil 3.29 : Yansımaların simülasyon ekran görüntüsü



Şekil 3.30 : İki boyutlu yansıma analizi

Yukarıda şekil 3.30'da el ile hazırlanan iki boyutlu bir geometrik analiz, şekil 3.29'da yazılan simülasyon programı ile elde edilen bir üç boyutlu analiz görülmektedir. Karşılaştırmalar yapılarak ışınlar çakıştırılmıştır. Yansımaların tümü eş zamanlı izlenilmiştir. Model yüzeylerinin seçilen bölümlerinde yer alan nokta özelliklerini çıktı olarak alabilmek için kod geliştirilmiştir. Işınların izlediği yolların görünür olmasının kodlandığı bölüm ilk aşamalarda açık tasarlanmıştır. Tasarımcılara daha uygun olduğu düşünülerek kapatılmıştır. İleride tasarımcının istediği şekilde değişiklik yapması mümkündür. İlk aşamalardan itibaren gerçekleştirilen denemelerde, programın kolay kullanılabilir, hızlı ve eş zamanlı izlenilebilir, her geometriye kolayca uygulanabilir, kolayca ulaşılabilir gibi özellikleri olması hedeflenmiştir.

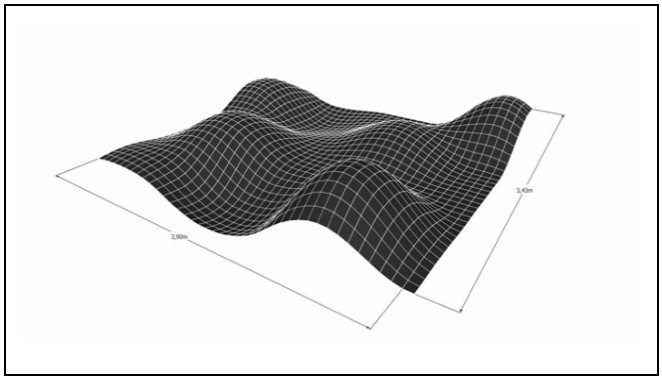
Model çalışma boyunca yeni versiyonlarda test edilmiştir. Üçlü ağ biçimi testlerdeki gibi, dinleyici alanı, tavan paneli ve salon çeperi olarak kullanılmak zorunda değildir. Örneğin modern müzik salonlarında görülebilen iki, üç orkestra platformunun ya da farklı dinleyici alanlarının olması durumlarında, tasarımcı daha çok ağ tanımlayabilecektir. Dikkat edilmesi gereken nokta, üzerinde farklı işlemlerin gerçekleştirilmesidir. Örneğin, tezde salon ağı, içeride reverberasyonu simüle edebilmek için bir kabuk oluşturmaktadır. Panel ağı, üretken sistemlere olanak tanır, çoğaltılabilir, hareket ettirilebilir vb. sistemde tasarımcının belirlediği işleri gerçekleştirir. Dinleyici alanı da değerlendirme yüzeyi olarak alıcı noktası görevi görmektedir.

3.4 Geliştirme Testleri

Yöntem, dört test salonu oluşturularak, salonlar üzerinde yapılan testlerle geliştirilmiştir. Test salonlarında karşılaşılan programlama hataları düzeltilmiştir. Simülasyonlardan alınan veriler, programın kod strüktürünü geliştirmiştir. Testler, bir kaynakla gerçekleştirilmiştir. Pratikte iki veya daha fazla kaynak eklenebilecektir. Kaynak yöneltim faktörü 1 alınmıştır, kodda değiştirilebilmektedir.

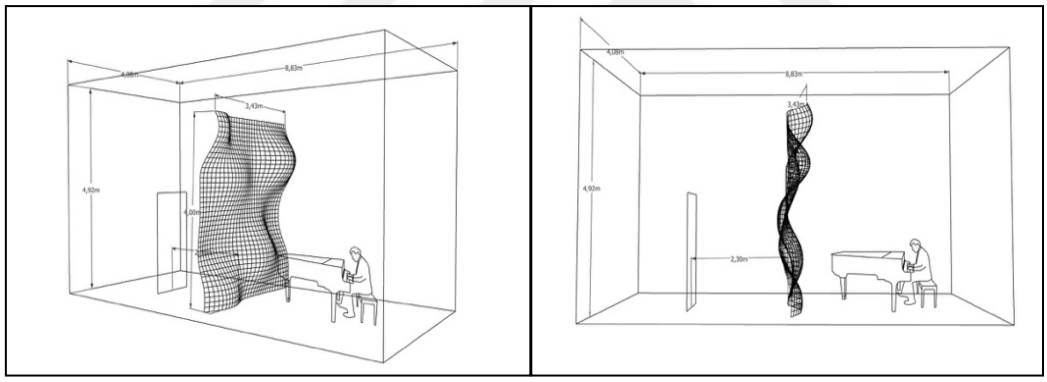
3.4.1 Birinci Test Salonu

Birinci test salonu boyutları, 8.83 x 4.92 m olarak belirlenmiştir. Yerden 1.72 m yükseklikte bulunan alıcı noktasına ulaşan akustik ışınlar gözlemlenmiştir. Eğrisel biçimlerde ışınların hareketini izleyebilmek için, 4 x 3.43 m boyutlarında, test salonunu ikiye bölecek şekilde yerleştirilen bir panel modellenmiştir. Test salonuna yerleştirilerek simülasyonlar yapılmıştır. Aşağıda şekil 3.31'de panelin, 3.32'de salonun mimari modeli ve 3.33'te alınan ilk simülasyonların görselleri görülmektedir.



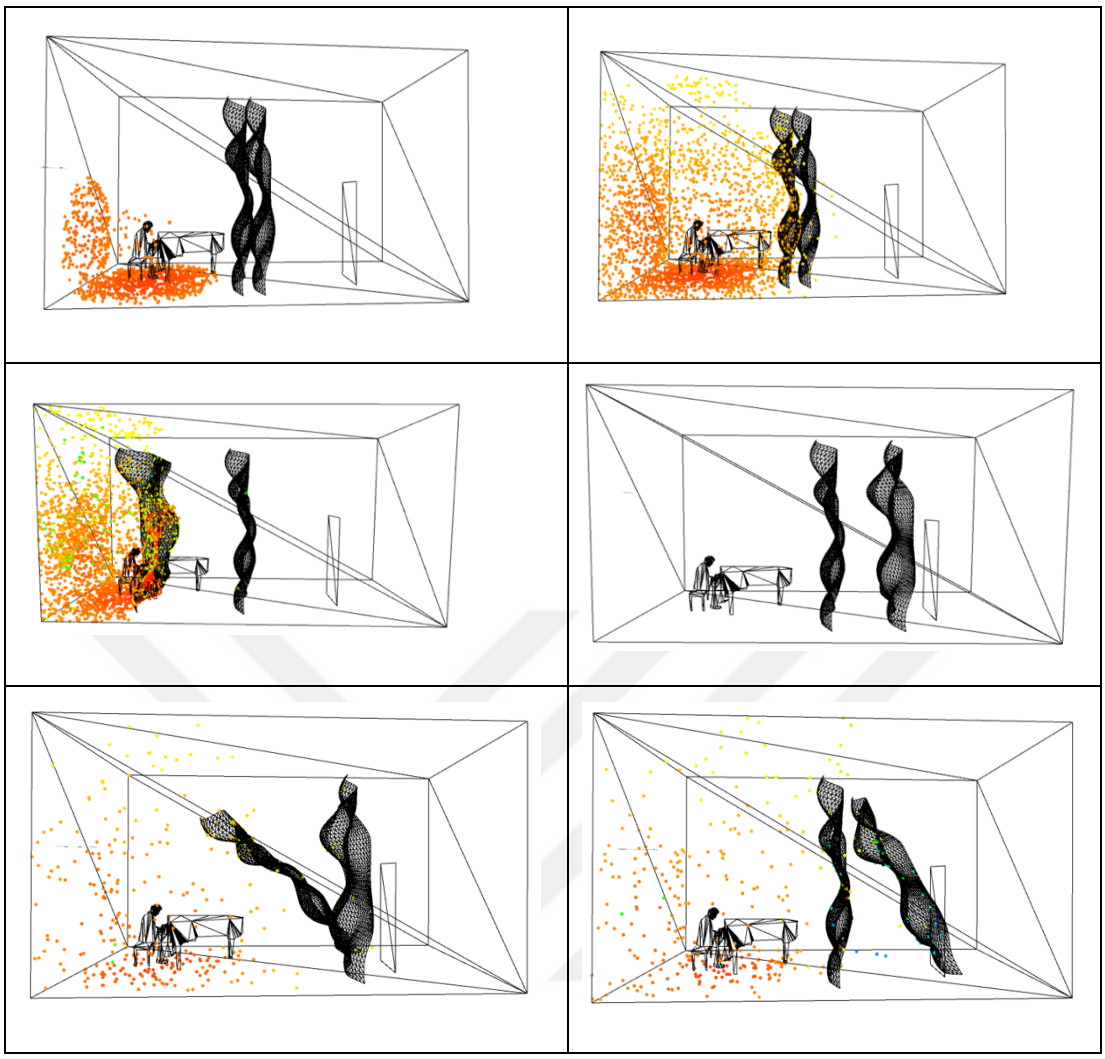
Şekil 3.31 : Eğrisel panel modeli

Amaç, oluşturulan ışın tarama sisteminin çalışabilirliğini kontrol ederek, hesaplamaların bilgisayara anlatımını gerçekleştirmektir. Bu versiyonlarda, şekil 3.31'de görülen eğrisel panel, bir duvar ya da bir tavan paneli, seperatör ya da bir oturma birimi de olabilirdi. Yazılım üzerinde çalışırken, mimari olarak neyi temsil ettiği değil, öncelikle üzerinde işlem yapılıp yapılamadığı araştırılmıştır. Örneğin, bir geometrik birimin çoğaltılması ve eğrisel yüzeylerde simülasyonun devam edip etmediğinin sorgulanması, birimin ileri geri ya da belirtilen aralıklarla ilerletilmesi mümkün mü? Yüzeye bir değer atanabilir mi? Ses ışınları bu yüzey ile kesişim yaptığında kodda ne tür bağıntılar kullanılmalı? Kod simülasyonlar sırasında hata veriyor mu? v.b. sorulara yanıt verilebilmesi için test salonu 1 üzerinde çalışılmıştır. Sistemin temeli oluşturulduktan sonra, akustik detaylandırmalar ve literatürde anlatılan prensipler programa eklenmiştir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, bu gelişme ve eklemeler anlatılmıştır. Şekil 3.32'de görülen model, mimarlar tarafından sıkça kullanılan *Sketchup* programında çizilmiş statik bir modeldir.



Şekil 3.32 : Test salonu 1 mimari model

Aşağıda şekil 3.33'te görülen görseller, üç boyutlu aktif simülasyon programından alınmıştır. Yazılım geliştirilirken, tasarıma destek olması için her aşamasında çeşitli tasarım senaryoları oluşturulmuştur. Örneğin bir piyanistin yutucu bir oda seperatörü kullanması durumunda, salonun diğer yarısındaki ses düzeylerine ya da yansımalarına etkisi araştırılan bir tasarım senaryosunda, akustik özellikler eklenerek, program tasarıma destek olabilir mi? sorusuna cevap aranmıştır. Dinleyici alanı, seperatörlerin sağ tarafında yer alan bir insanı temsil eden dikdörtgen biçimi olarak görülmektedir.



Şekil 3.33 : Test salonu 1 üç boyutlu aktif simülasyon ekran görüntüleri

Panel ağı, şekil 3.33'te görülen seperatöre tanımlanmıştır. İşlem yapılmak istenilen birimin odadaki konumu, bu aşamada yöntemin geliştirilmesi ya da programlama ve kullanma tekniği açısından bir farklılık oluşturmamaktadır. Tasarımcının yazılımda ağ olarak tanımlanan kod parçalarına, çalışmak istediği mimari birimi tanımlayabilmesi, dinleyici alanının seçimi, birimlerin hareket ettirilmesi ve birbiri ile ilişkilendirilebilmesiyle tasarımını geliştirebilmesi için yöntemin işleyişi ve bu işleyişi bilgisayarın gerçekleştirebilmesi için uygun bir yapının kurulması üzerinde çalışılmıştır. Geometri üretimi, hesaplama, simülasyon ve model hareketlerinin ışın tarama sistemi içinde hangi yapıda ve ne şekilde tanımlandığında mimari tasarım için uygun olduğu sorgulanarak çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.32'de görüldüğü gibi, mimari modelde tek bir panel modellenmiştir. İkinci panel, önerilen yöntemle, programa ürettirilerek farklı açılarda sınanmıştır. Test salonu bir ve ikiden itibaren ağırlıklı toplam, ışın tarama, biçim üretme ve hareket ettirme

özellikleri gibi tasarıma yardımcı olabileceği düşünülen kullanım özellikleri tasarlanmıştır. Dikdörtgen bir salonda eğrisel panellerle alınan testler sonucunda bu tip geometrilerde programın olumlu bir biçimde çalıştığı, programın birim üretebildiği ve birimin büyüklüğünden, şeklinden bağımsız olarak hareket edebildiği gözlenmiştir.

3.4.2 İkinci Test Salonu

İkinci test salonunun, yüksekliği 4 m, eni 6 m ve boyu 10 metredir. Salon içine, genişliği 60 cm olan, 4.2 m uzunluğunda, 11 adet akustik tavan paneli, kodlanarak ürettirilmiştir. Ses kaynağı, x, y ve z olmak üzere 280, 87, 170 koordinatında yer almaktadı. Dinleyici alanı olarak belirlenen bölgenin boyutları, 4.20 m genişliğinde ve 6.70 m uzunluğundadır.

Birinci test salonundan farklı olarak, dikdörtgen bir salonda çok sayıda panel kullanılarak test sonuçları elde edilip programa eklemeler yapılmıştır. Program karmaşıklaştırılarak, çeşitli akustik hesaplamaları yapan formüller tanıtılmıştır. Bu test salonunda, en önemli gelişme, permütasyon hesaplarına göre simülasyon sayısı özelliğinin eklenmesidir. Örneğin 10 derecelik açılarla 90 derece döndürülen 3 panelin permütasyon hesabı; $9^3 = 729$'a denk gelmektedir. Bilgisayar 729 adet simülasyon alarak tüm panel açı kombinasyonlarını denemiş ve kayıt altına almıştır. Açısız durum, 0 kabul edilerek 1 olasılık sayılmış ve 10 üzerinden hesaplanacak şekilde (her panel yaklaşık 60 derecelik bir açı oluşturabilecek şekilde) kodlanmıştır. Bu özellik, tüm olası geometrik durumların bilgisayarın gücünü zorlamadan, üretilerek sınanabilmesi için önemli bir adım olarak düşünülmektedir.

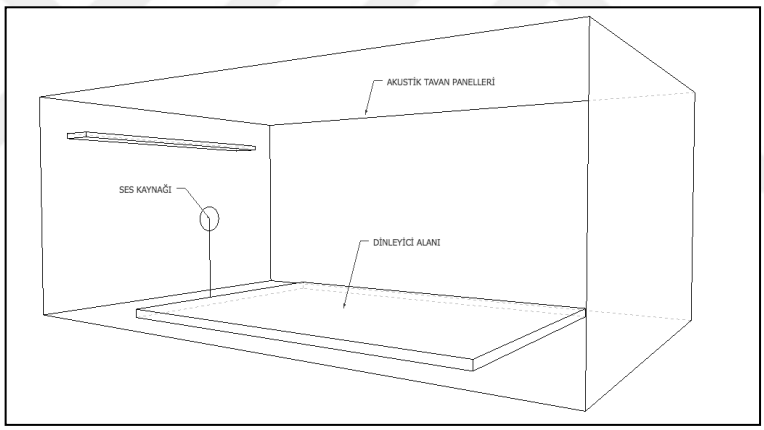
Aşağıda şekil 3.34'te, test salonunun üç boyutlu modeli görülmektedir. Ana mimari elemanlar ve tek bir panel, *SketchUp* programı kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3.35'te görülen tavan panellerinin biri hariç tümü, üç boyutlu aktif simülasyon programının içinde üretilmiştir. Test salonu 1 için, iki panel olması nedeni ile tasarımcıların farklı tekniklerle, büyük zaman kaybı yaşamadan, statik olarak mimari modeli hazırlayıp mevcut akustik programlarla simülasyon alarak değerlendirmesi, farklı yerleşimleri denemesi mümkün olabilse de, test salonu 2'nin tasarım senaryosunda bulunan çok panelli yerleşimde, dijital desteğin daha verimli olabileceği düşünülmüştür. Yerleştirilen dokuz adet panel açıları değerlendirmek istenildiğinde ve her panelin 90 derece döndürülerek hesaplandığı düşünüldüğünde, salondaki toplam olasılıklar büyük bir sayıya denk gelmektedir. Mimari modelde yer alan tavan

panellerinin tüm açı olasılıklarının değerlendirilmesi için gereken zaman da uzundur. Yapılarda yalnız tavan panellerinin değil, salon yüzeylerinin farklı açılara sahip olduğu düşünüldüğünde, teknolojik olanaklardan yararlanmadan, optimum sonuçların el ile tek tek hesaplanarak bulunması mümkün değildir.

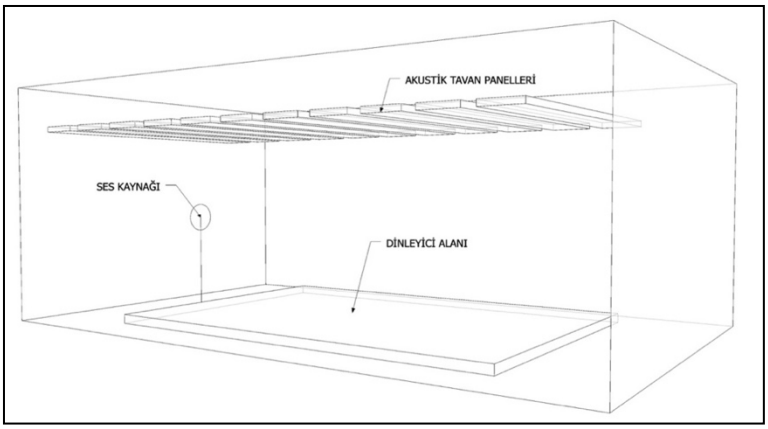
Bu salonda yapılan testlerin amacı, çoklu mimari birimlerin olasılık hesaplarına göre hareket ettirilerek eş zamanlı simülasyon yapılması ve izlenilmesinin mümkün olup olmadığını anlamaktır. Bu testlerde karşılaşılan sorun ya da çözümler, benzer bir yapıya sahip diğer tasarım senaryolarında da uygulanabilecektir. Örneğin, bu salonun bir atrium olduğunu düşünelim. İçeride, reverberasyon süresinin düşürülmesi araştırılıyor. Bu durumda, atriumda havada asılı duran *buffle* olarak da isimlendirilebilen yutucu panellere ihtiyaç bulunduğunu düşünelim. Mimar, üç boyutlu aktif simülasyon yöntemi ile, bu birimleri üreterek ve simülasyonları gerçekleştirerek uygun reverberasyon süresine sahip atriumu tasarlayabilecektir. Bu tasarım senaryosunda, birimlerin döndürülmesinin dinleyici alanına yansıması ile değil, bilgisayarın farklı olasılıkları oluşturarak mimara sunması ile tasarım desteği alınabilecektir. Böyle bir tasarımda, üç boyutlu aktif simülasyon programının dinleyici alanı ile ilgili olan hesaplama özellikleri bulunan kod grubu kapatılabilir ya da farklı bölgelerde tanımlanabilir. Bu durumda atriumdaki panel yerleşiminin 10 ya da 12 olması ile 1000 ya da 5000 birim olması arasında, mimar için modelleme zamanı farkı bulunmamaktadır. Statik modelleme programları ile çalışıldığında ise, tasarımcı tüm birimleri tek tek modellemek ya da kopyalayıp yapıştırarak istediği açıya getirmelidir. Önerilen yöntemle panel miktarına mimar 1000 yazarak farklı geometrik durumlarını bilgisayar ürettiği için, üç boyutlu simülasyon programında görebilmekte (rastgele döndürme seçeneğini kullanabilir ya da kurallı olarak da olabilir), bu durumların salona olan akustik etkilerini araştırabilmektedir. Tezde oluşturulan kod strüktürü temel alınarak, tasarımcının başka tasarım sorunlarına çözüm bulabileceği düşünülmektedir.

Bu aşamada, salonda gerçekleştirilen simülasyonlarda akustik detayların tümü bulunmamaktadır. Her adımda, kod, yeni özellikler eklenerek detaylandırılmıştır. Tezin karşılaştırmalar bölümünde, akustik olarak daha detaylı bir versyonda, bu salon kullanılarak farklı bir geometri üretimi yaptırılmıştır. Daha az sayıda daha geniş paneller kullanılarak oluşturulan farklı geometrik durumlar sınanarak sonuç karşılaştırmaları yapılmıştır.

Aşağıda, şekil 3.34'te görülen mimari modeldeki tek bir akustik panel, simülasyon programında aşağıda şekil 3.35'te görüldüğü biçimde çoğaltılmıştır. Çoğaltma değer yazılarak kontrol edilmektedir. Şekil 3.36 ve 3.37'de rastgele ya da kurallı döndürme biçimleri görülmektedir. Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek ve karşılaştırmalar yapabilmek amacıyla öncelikle el ile analiz edilen bir örnek grubu oluşturulmuştur. Bu amaca yönelik, rastgele üretilen açılarla oluşturulmuş 20 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Aşağıda şekil 3.36'da test salonundan alınan yirmi rastgele açılı simülasyondan, ilk 2 simülasyonun görselleri görülmektedir. Sonrasında belirlenen açıların el ile yazılabildiği bir program versiyonu oluşturularak 8 farklı açı ile test edilmiştir. Aşağıda şekil 3.37'de, açıların el ile yazıldığı simülasyonlardan ilk 2 simülasyonun ekran görüntüleri görülmektedir. İlk 20 simülasyonun detaylı açı değerleri, tezin ek bölümünde çizelge 5.1, görselleri ise şekil 5.3'te görülmektedir. Testin 8 farklı açı ile gerçekleştirilmesinden elde edilen görseller şekil 5.4'te, değerleri ise çizelge 5.2'de görülmektedir.

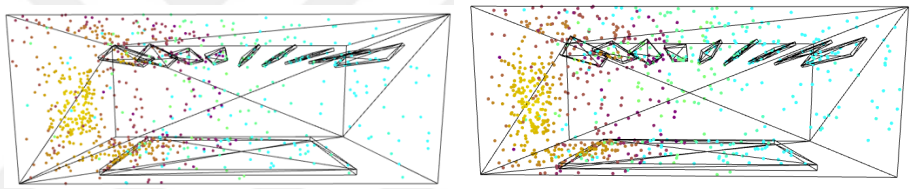


Şekil 3.34 : Test salonu 2 mimari model

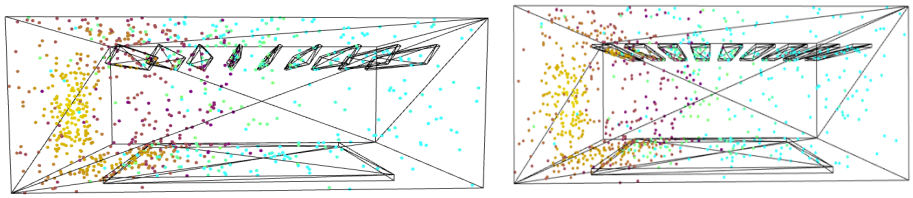


Şekil 3.35 : Test salonu 2 üç boyutlu aktif simülasyon modeli ve üretilen paneller

Tasarım destek tekniği geliştirilirken, mimarın tekniği kullanabilmesi için salona özgü çıkarımlar da yapılarak yöntem geliştirilmiştir. Örneğin, test salonu 2'de, akustiğe en etkili olan panellerin, sahne üstünden itibaren yerleştirilmiş olan ilk üç panel olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumun, literatürde belirtilen, faydalı mesafeler ile ilgili geometrik önerileri desteklediği görülerek, simülasyonlar, üç panel verilerine göre ilerletilmiştir (diğer panellerin hareketi durdurularak ilk üç panel üzerinde çalışılabilirlik ve ayrıntılandırma yapma işlemleri kontrol edilmiştir). Dokuz ya da üç panelli versiyonun farkları veri tabanının büyüklüğüdür ve özel algoritmalarına gerek kalmadan sonuçların mimari olarak yorumlanabildiği görülmüştür. Bu nedenle program, diğer test salonlarında, mimari ve mimari akustik verilere yönlenerek ve akustik özellikler eklenerek geliştirilmiştir.

Simülasyon Numarası	Görsel
1-2	

Şekil 3.36 : Rastgele açılarla üretilen ilk 2 simülasyonun panel açılarını gösteren görseller

Simülasyon Numarası	Görsel
1-2	

Şekil 3.37 : Açıların el ile yazılarak alındığı 8 simülasyondan ilk 2 simülasyonun panel açılarını gösteren görseller

Renk toplamı kriteri, geliştirilirken, öncelikle, erken yansımalara daha yüksek, geç yansımalara (mavi renkli noktalar) daha düşük bir değer verilerek sistem oluşturulmuştur. Sonrasında renklerin, kaynağa göre hesaplanan ses düzeylerini ifade etmesi tanımlanmıştır. Bu versiyonda, aşağıda yazılan gelişmeler kodlanmıştır.

3.4.2.1 **Yüzey Yutuculuk Değerlerinin Eklenmesi**

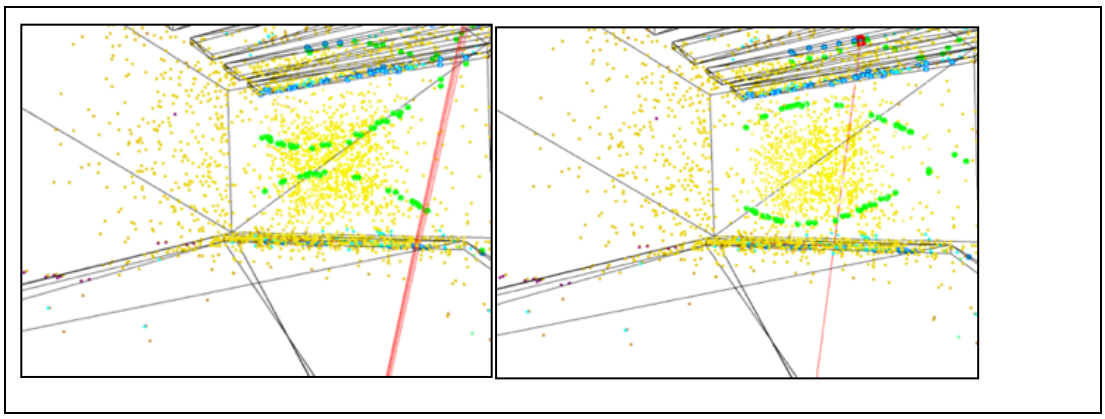
Salonlarda akustik tasarım için en önemli kriterlerden biri de yüzey malzemelerinin tanımlanmasıdır. Malzeme tanımlanması, programlama dilinde, yüzeye gelen değerin yüzde kaç oranda yansımasına karar vermek anlamına gelmektedir. Malzemelerin yutuculuk değerleri, farklı frekans bantlarında farklı değerleri içerir. Tezde, reverberasyon süresi hesaplarında genellikle kullanılan, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz , 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekans bantlarındaki yutuculuk değerleri alınmıştır. Kod, farklı bantlarda işlem yapmaya olanak vermektedir. Simülasyon programı, salon 2'de sistemin işlediği görüldükten sonra, bu frekans bantlarında malzeme yutuculuk değerlerinin sisteme tanıtılması ile geliştirilmiştir. Tekniği, tezin kod geliştirme süreci bölümünde anlatılmıştır ve şekil 3.13'te kodlanma biçimi görülmektedir.

3.4.2.2 **Ses Düzeyi Dağılımı Özelliğinin Eklenmesi**

Salondaki ses düzeyi dağılımı ve değerlendirilmesi, direkt ve yansıyan ses alanı enerjileri, ses yeğinliği, reverberasyon süresi ve istatistiksel değerlendirme formüllerinden yararlanılarak bu test salonunda geliştirilmiştir. Tezin kod geliştirme süreci bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır. Kaynaktan çıkan ses şiddetinin, havada ilerlerken azalarak literatürde belirtilen prensiplere göre düşüşü programlanmıştır.

3.4.2.3 **Saptanan Karşılıklı Yansıma Durumu**

Eklenen özelliklerden yüzey malzemesi modülü kapatıldığında, bir testte paralel köşe noktalarından sürekli yüzey yansımaları tespit edilmiştir. Işınların karşılıklı yansıma hareketi, gerçek akustik ortamlarda dalga girişimi olayına karşılık gelmektedir. Girişim, geometrik akustik teorisine dayalı modellerde ses dalgası olarak modellenmemektedir. Simülasyonda sonsuza kadar devam eden yansımalar şeklinde incelenmektedir. Beş bin ışınla yapılan ve merkezin 280, 87, 170 koordinatlarında olduğu durumda görülen olay, video olarak kaydedilmiştir. Işınlar, belirtilen simülasyonda yüzey yutuculukları henüz modellenmediği için şekil 3.38'de görüldüğü gibi karşılıklı yüzeyler arasında sürekli olarak yansımıştır. Bu durum, yansımanın doğru biçimde, geometrik akustiğin kabullerine uygun olarak gerçekleştiğini, kullanılan Monte Carlo tekniğinin işlediğini göstermiştir. Eklenen her yeni özellikte, diğer eklentilerin çalışma durumu ve yeni özelliklerden etkilenip etkilenmediği test edilmiştir.



Şekil 3.38 : Simülasyon ekran görüntüleri

3.4.2.4 **Renk Optimizasyonu**

Süre ve ses düzeyi dağılımı özelliklerinden sonra renk dağılımı da güncellenmiştir. Bilgisayar programlarına renkler, temelleri Young (Young, 1801) tarafından oluşturulup, Helmholtz (Helmholtz, 1855) tarafından geliştirilen, RGB kısaltmasına sahip, ingilizcede kırmızı, yeşil, mavi anlamına gelen *red, green, blue* sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir model yardımıyla tanıtılmaktadır. Her renk, kırmızı, yeşil ve mavinin oranlarını belirten 0 ve 255 arasındaki numaralarla kodlanmaktadır. Şekil 3.39'da ve 3.40'ta üç boyutlu aktif simülasyon programında kullanılan renk kodları belirtilmiştir. Mevcut akustik programlarla karşılaştırmaların kolayca yapılabilmesi için, renk dağılımında, ilk yansımalar kırmızı, son yansımalar (enerjisi düşük olanlar) siyah ile tanımlanmıştır. Farklı renklere ses düzeyleri atanmıştır. Aşağıda, şekil 3.39'da kod strüktüründe bu durumun ve şekil 3.40'ta renklerin ifade ettiği ses düzeyi tanımlamaları görülmektedir. Tasarımcı, bu aralıkları ve atanan renkleri değiştirebilmekte, tasarımının amaçlarına yönelik olarak kullanabilmektedir.

```
287   //}
288   if (c >= 97) {
289     result = color(255, 0, 0);
290 } else if (96 <= c && c < 97) {
291     result = color(255, 185, 98);
292   } else if (95 <= c && c <  96) {
293     result = color(255, 255, 90);
294   } else if (94 <= c && c <  95) {
295     result = color(175, 255, 118);
296   } else if (93 <= c && c <  94) {
297     result = color(118, 228, 255);
298   } else if (92 <= c && c <  93) {
299     result = color(77, 164, 255);
300   } else {
301     result = color(0);
302   }
```

```
279   if (89 <= c) {
280     result = color(255, 0, 0);
281   } else if (88 <= c && c < 89) {
282     result = color(255, 185, 98);
283   } else if (87 <= c && c <  88) {
284     result = color(255, 255, 90);
285   } else if (86 <= c && c <  87) {
286     result = color(175, 255, 118);
287   } else if (85 <= c && c <  86) {
288     result = color(118, 228, 255);
289   } else if (84 <= c && c <  85) {
290     result = color(77, 164, 255);
291   } else {
292     result = color(0);
293   }
```

Şekil 3.39 : Salon 2 ve salon 4 renklerinin programa tanımlanması

Renk tablosu; renklerin RGB kodları ve ifade edilen ses düzeyleri:

Renkler	RGB Kodu	İfade edilen ses düzeyi
	255, 0, 0	89 dB ve daha çok
	255,185, 98	88 dB – 89 dB
	255, 255, 90	87 dB – 88 dB
	175, 255, 118	86 dB – 87 dB
	118, 228,255	85 dB – 86 dB
	77, 164, 255	84 dB – 85 dB
	0	84’dB ve daha az

Şekil 3.40 : Renk tablosu. Renklerin ifade ettiği ses düzeyleri

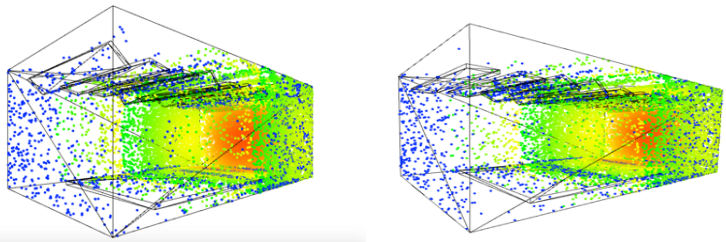
Şekil 3.40’ta yer alan tabloya göre, kırmızı, 89 dB ve üstü, turuncu 88-89 dB, sarı 87-88 dB, yeşil 86-87 dB, açık mavi 85-86 dB, koyu mavi 84-85 dB, siyah 84 dB ve daha az ses düzeyi aralıklarını ifade etmektedir.

Tasarımcı, renklerin sahip olduğu değerlerin aralıklarını, temsil etmek istediği aralığa göre seçebilmekte ya da üç boyutlu aktif simülasyon programında mevcut atanan renkler üzerinden çalışabilmektedir. Kayıt tablolarında kayıt edilen değerler, hesaplamaların sonuçlarını göstermektedir. Bu nedenle renklerin veri tablolarında kayıt edilen değerlere bir etkisi bulunmamaktadır. Renkler, sonuç değerlere atanmaktadır. Siyah beyaz alınacak çıktılarda ya da çalışma ortamlarında beyaz, gri tonları, siyah olarak renk kartelası tasarımcı tarafından belirlenebilecektir. Düzey aralıkları ile ilgilenilmeyen projelerde simülasyonlar tüm düzeylere aynı renk atayarak da gerçekleştirilebilecektir. Tezde hazırlanan kullanım komut çizelgesinde (çizelge 3.20), siyah beyaz bir simülasyon örneği de görülmektedir.

3.4.2.5 **Eklenen Özelliklerle Birlikte Alınan Simülasyon Testleri**

Sağlıklı sonuçlar elde edebilmek ve karşılaştırmalar yapabilmek amacıyla ilk aşamada olduğu gibi, öncelikle el ile analiz edilen bir örnek grubu oluşturulmuştur. Bu amaca yönelik, rastgele üretilen açılarla oluşturulmuş ikinci testte, 20 adet simülasyon

tekrarlanmıştır. Programa eklenen özelliklerle test salonundan alınan ikinci, yirmi simülasyonun görselleri tezin ek bölümünde şekil 5.5'te, üretilen açıların kodları, ilk yirmi simülasyondan farklı bir biçimde çizelge 5.4'te görülmektedir. Aşağıda yirmi simülasyonun ilk ikisinin videodan alınan görselleri görülmektedir. Şekil 3.41'deki iki görsel farklı simülasyonlardan alındığı için tavan paneli açıları farklıdır.

Simülasyon	Salon Görseli
1-2	

Şekil 3.41 : İkinci yirmi simülasyonun ilk iki simülasyonu videodan alınan görüntüler

Simülasyonların merkez noktasının koordinatları 200, 87, 170'tir. Her bir simülasyonda 50000 ışın kullanılmıştır.

3.4.2.6 **Test Salonu Sonuçlarının Kayıt Edilmesi**

Veri kayıtları, simülasyonlar gerçekleşirken, tanımlanan özelliklere göre oluşturulmaktadır. Kayıtlarda çok sayıda simülasyon testi bulunursa, veri indeksi de büyük olacağı için, verilerden elde edilen araştırma sonuçları da doğru ve detaylı olacaktır. Önerilen yöntemle, sonsuz sayıda simülasyonun farklı veri girdi ve çıktı değerlerinin kayıt edilmesi mümkündür.

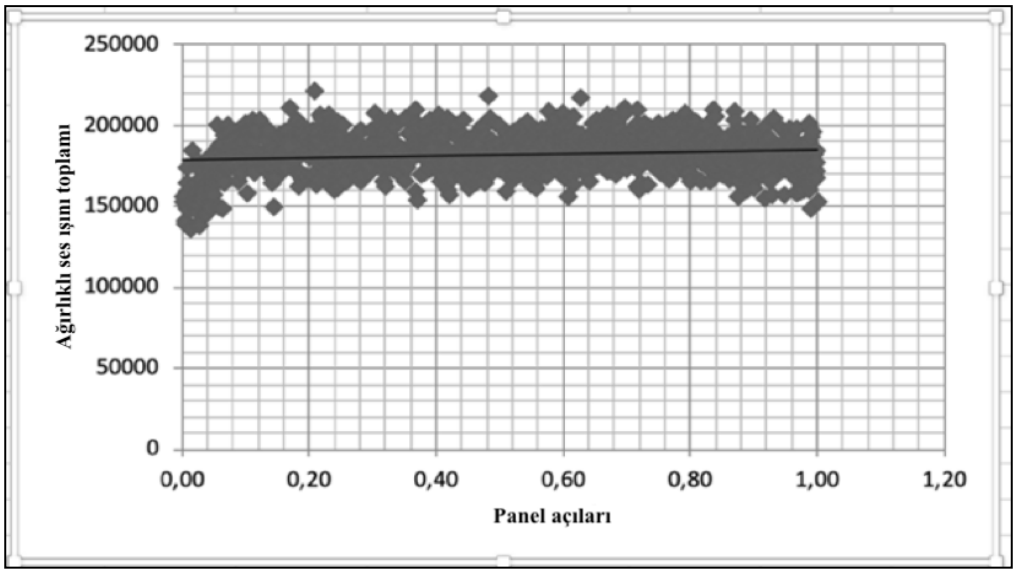
Aşağıdaki şekil 3.42-48'lerde, sonuç verilerinin grafik haline dönüştürülen örnekleri bulunmaktadır. Her panel için ayrı hazırlanan grafiklerde, y aksı dinleyici alanına ulaşan ağırlıklı ses ışın toplamını, x aksı ise panel açılarını (radyan olarak) göstermektedir. Grafik üzerindeki her bir nokta bir simülasyonu temsil etmektedir. Simülasyonlar dizisinde her bir simülasyonda, farklı bir panel yerleşimi denenmiştir. Daha önce belirtilen, salonda ilk üç panelin, salonun akustik koşullarında en belirleyici paneller oldukları sonucu bu veri kayıt sonuçlara göre belirlenebilmiştir. Panellerin, farklı kriterlere uygun açıları elde edilmiştir.

Şekil 3.42'de görüldüğü gibi, panel 1'in açı değişimi, genel ışın toplamını etkilemektedir (çizgi panel açılarının değişiminden etkilenerek eğimlidir). Şekilde yer

alan her bir kare, bir simülasyonun renk toplamı değerini ifade etmektedir. Panel 1'in açı değişimlerinin simülasyonlar dizisindeki etkisi anlaşılabilmektedir. Panel 1'in açısı arttıkça, dinleyici alanı daha çok ışın almakta ve daha çok ses enerjisinden faydalanabilmektedir. Çeşitli kombinasyonlarda (ilk panelin 0,20, 0,50, 0,65 radyan olduğu) da yüksek değerler elde edilebildiği görülmektedir. Tasarımcı, bu performansları da değerlendirebilmektedir.

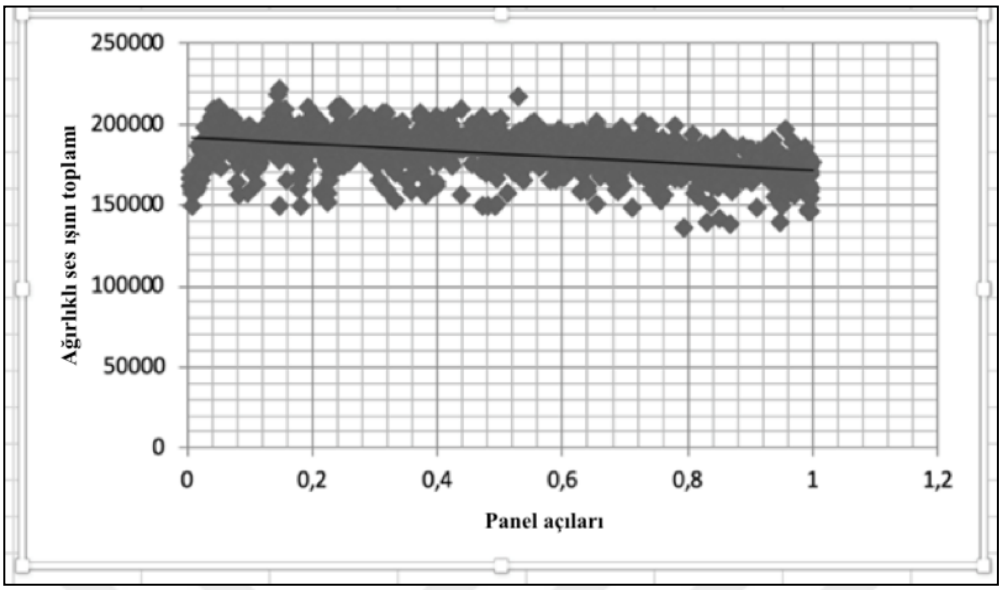
Bu aşamada amaç, salon 2'nin akustik yorumlaması (sayısal parametrelerle) olmadığı için, bu etki düzeyinin bu salonda uygunluğu, dinleyici alanının hangi bölümünün hangi ses alanından faydalanmasının daha olumlu olup olmadığı gibi performans detayları yorumlanmamıştır. Amaç, tasarımcıya çoklu geometri örnekleminde parametrelerle olan ilişkilerin yorumlanması için bir yöntem önerisi olarak geliştirmektir. Adım adım ilerleyebilmek için, bu aşamada, işleyişin kontrolü ve veri kayıt sistemini oluşturabilmek amaçlanmıştır. Tezde şekil 3.64'ten itibaren, yöntemin geliştirilmesiyle elde edilen farklı grafikler de görülecektir. Oluşturulan sistemin detaylandırılarak akustik performans değerlendirilmesinde kullanılabilir bir hale dönüşmesi, tezin ilerleyen bölümlerinde anlatılmıştır. Akustik hesaplamalar, tezin karşılaştırmalar bölümünde detaylandırılmıştır.

Panel 1:



Şekil 3.42 : Panel 1'in açı değişimi – salondaki ışın toplamı

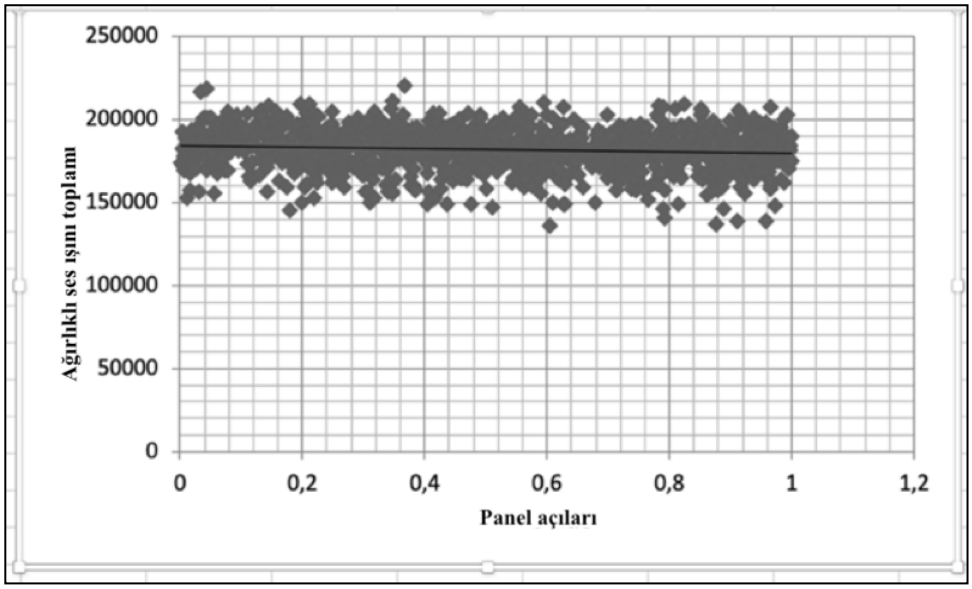
Panel 2:



Şekil 3.43 : Panel 2'nin açı değişimi-salondaki ışın toplamı

Şekil 3.43'te görüldüğü gibi 2. panelin açı değişimi de, genel ışın toplamını etkilemektedir. Panel açısının 1 radyana yaklaşması ile, dinleyici alanı daha az ışın almakta ve ses enerjisinden daha az yararlanabilmektedir.

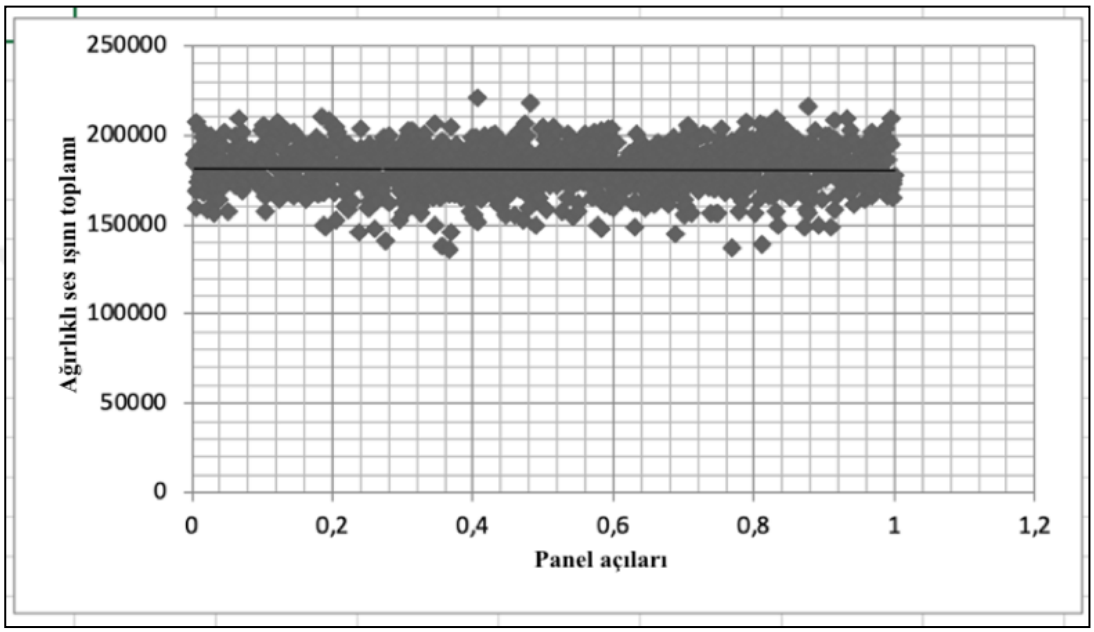
Panel 3:



Şekil 3.44 : Panel 3'ün açı değişimi- salondaki ışın toplamı

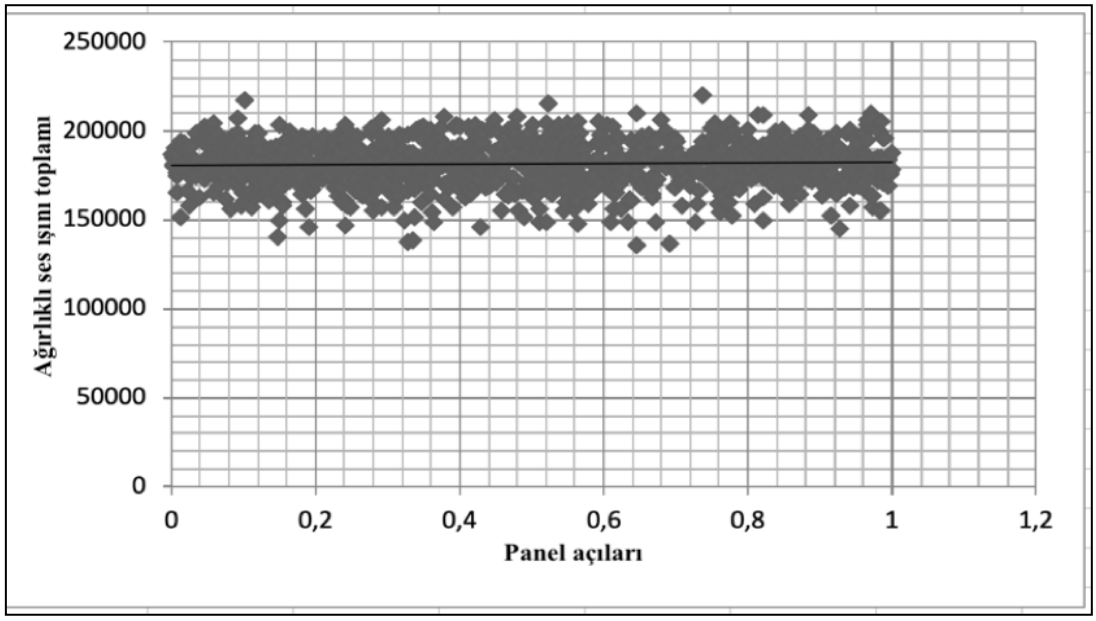
Şekil 3.44'te görüldüğü gibi 3. panelin açı değişimi de, genel ışın toplamını etkilemektedir. Etki, grafikteki eğimden anlaşıldığı üzere, şekil 3.43 ve 3.42'ye göre daha azdır. Şekil 3.45'ten itibaren çizginin düz bir duruma ulaştığı görülmeye başlanılmıştır. Bu durumda, bu salon için açı değişimlerinin ilk üç panelden itibaren farklı bir bakış açısı ile değerlendirmeye alınması gerektiği düşünülmüştür.

Panel 4:



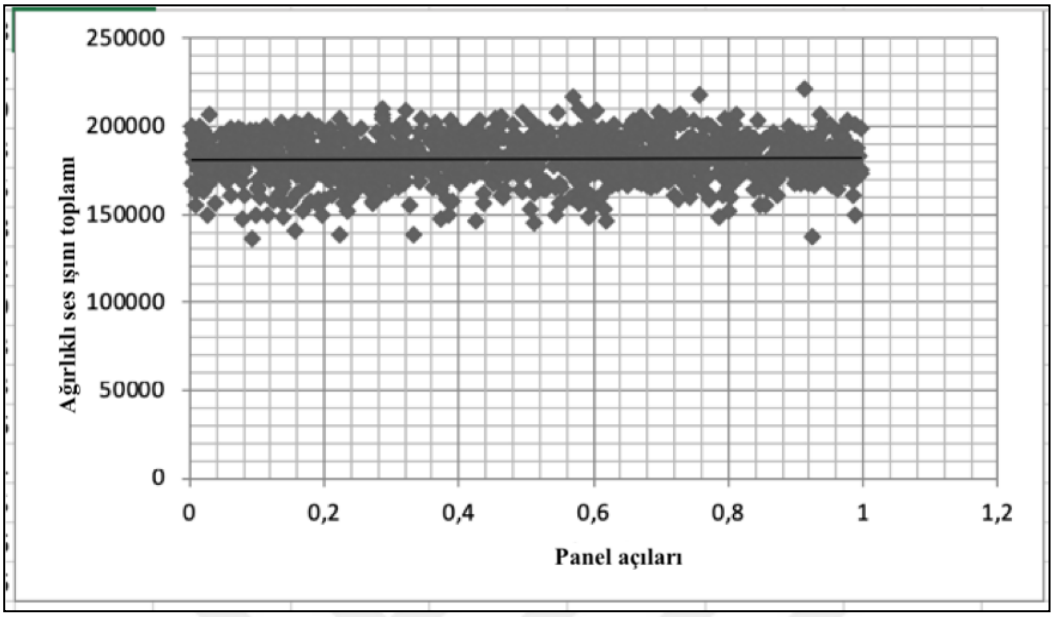
Şekil 3.45 : Panel 4'ün açı değişimi-salondaki ışın toplamı

Panel 5:



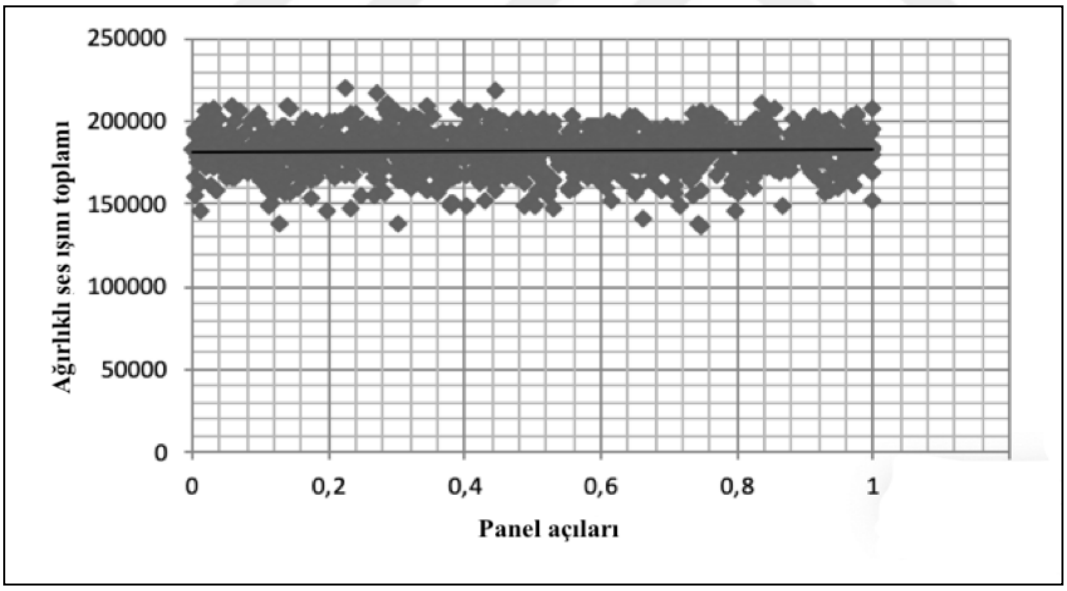
Şekil 3.46 : Panel 5'in açı değişimi ve salondaki ışın toplamı

Panel 6:



Şekil 3.47 : Panel 6 açı değişimi-salondaki ışın toplamı

Panel 7:



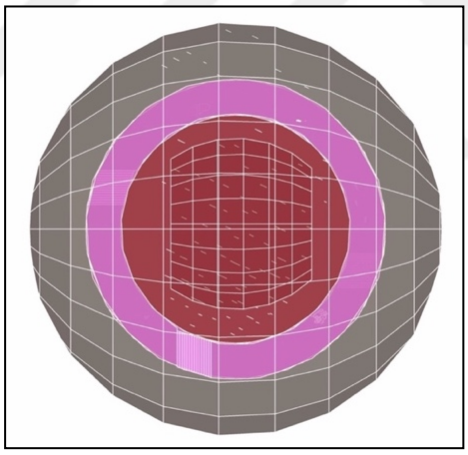
Şekil 3.48: Panel 7 açı değişimi ve salondaki ışın toplamı

Panel 4, 5, 6, 7, 8, 9'un grafikleri (8 ve 9' un biçimi aynıdır, eklenmemiştir), bir düz çizgi olarak takip edilebilmektedir. İlk üç panelden farklı olarak genel ışın toplamını, bu panellerin hareketi (farklı tasarımlarda olması) az etkilemektedir. Işın toplamını ifade eden renk toplamı ne kadar büyük ise salonda genel ses düzeyinin o kadar yüksek

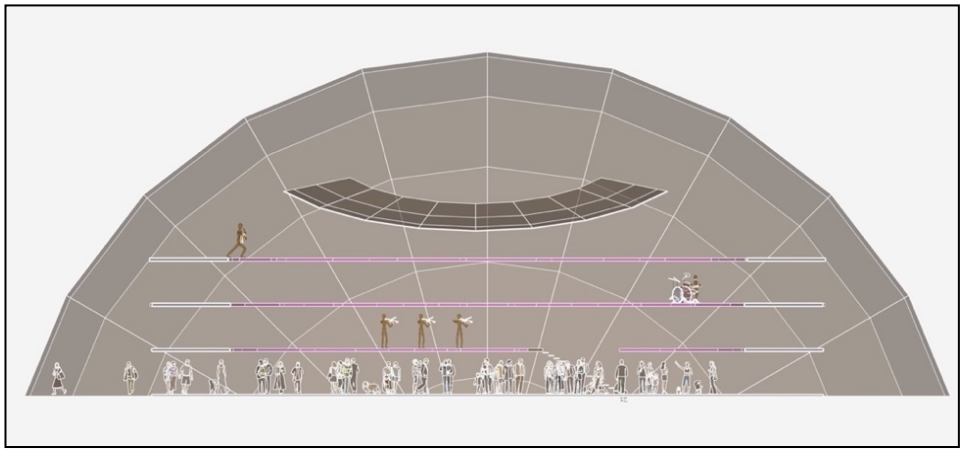
olduğu anlaşılmaktadır. Bu salonda gerçekleştrilinen ilk üç panelin salon akustiğine olan etkisi en büyük olmasıyla, tasarımcı, ilk üç panelin optimum boyut ve açıda tasarlanmasının, salondaki ses düzeyi yüksekliği konusunda önemli olduğu gibi yorumları yapabilecektir. Diğer panellerin tasarımını etkileyebilecek, başka parametrelerle, simülasyonları gerçekleştirebilecektir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, yazılım geliştirildikçe, renk toplamını oluşturan dinleyici alanı üzerinde alınan değerlerin, ses düzeyi haritaları oluşturmak için kullanıldığı görülecektir.

3.4.3 Üçüncü Test Salonu

Üçüncü test salonu, büyüklük, form ve kullanım biçimi açısından diğer test salonlarından farklıdır. Çeşitli performans sanatları etkinliklerinin gerçekleştirilebileceği bir salon gibi düşünülerek tasarlanmıştır. Programın büyük salonlarda gerçekleştirdiği performansı test etmek, ses kaynağının farklı noktalara yerleştirilmesinin verdiği sonuçları ve alıcı model biçimlerini incelemek üzere hazırlanmıştır. Dinleyici modelleri iki ve üç boyutlu test edilmiştir.

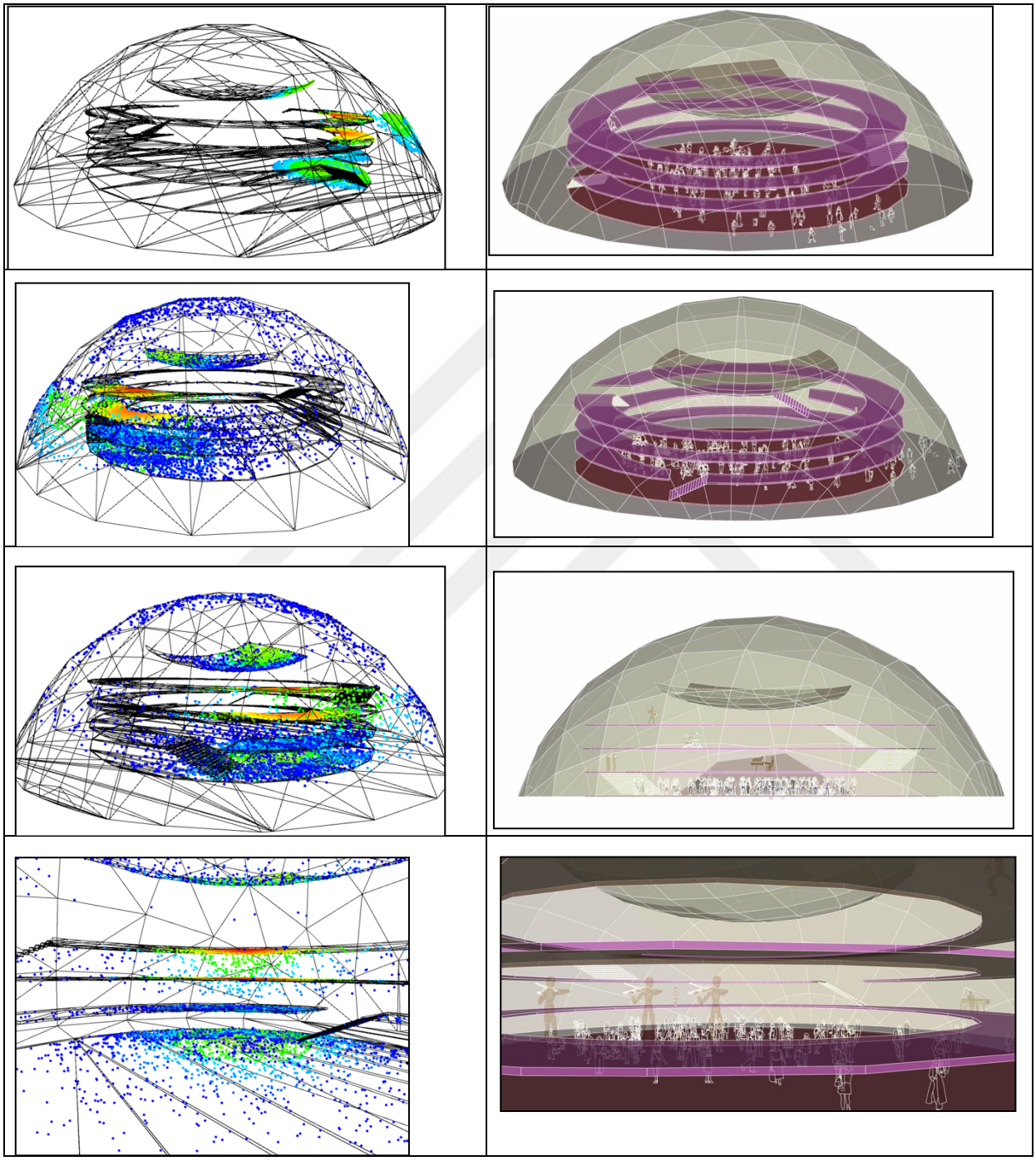


Şekil 3.49 : Test salonu 3 plan



Şekil 3.50 : Test salonu 3 kesit

Yukarıda şekil 3.49'da üçüncü test salonunun planı, şekil 3.50'de kesiti görülmektedir. Simülasyonlar sırasında tavan panelinin dinleyici alanına etkileri incelenmiştir. Hacim büyüklüğün artması ve üç boyutlu insanların eklenmesi nedenleriyle bilgisayarın okuması gereken daha çok yüzey verisinin olması, simülasyon süresini uzatmıştır.



Şekil 3.51 : Test salonu 3 üç boyutlu aktif simülasyon ve mimari model

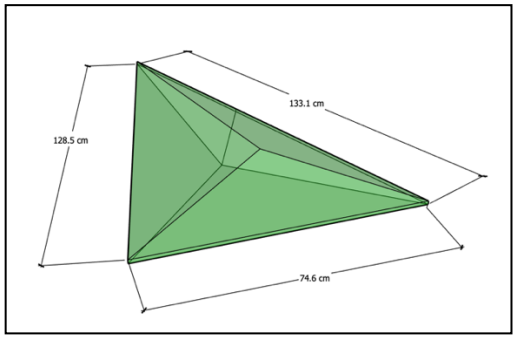
Yukarıda şekil 3.51'de görselleri görülen simülasyonlarda, insan modelleri üç boyutlu alınmıştır. Simülasyonların, insan modellerinin iki boyutlu yapılarak ya da dinleyici alanında yutuculuk değeri tanımlanarak yapılmasının olumlu olacağı anlaşılmıştır.

Tasarımcı, üç boyutlu insan modeli üzerinden simülasyon gerçekleştirmek isterse, daha az sayıda insan modellemelidir. Ya da simülasyonları başlattıktan sonra, uzun bir süre beklemelidir. Mevcut simülasyon modellerinde, dinleyiciler genellikle dikdörtgen prizmalardan oluşmaktadır. Dinleyicilerin insan biçiminde modellenerek alıcı alanına yerleştirilmesinin daha uygun olabileceği düşünülmektedir.

Salonun yarımküre biçimindeki kabuğu üzerinden gerçekleşen yansımlar ve tavandaki dış bükey panelin dönüşü de incelenmiştir. Müzisyenleri temsil eden ses kaynağının koordinat değişiminin programda çalışabilirliği, malzemeden bağımsız olarak test edilmiştir. Malzeme özellikleri, üç boyutlu simülasyon programında değiştirilebilmektedir (Örneğin kabuğun beton ya da cam ya da taş yünü olmasının tanımlanması yutuculuk değerlerinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır). Bu salonda, ek panel ürettirilmemiştir ve mevcut panel üzerinde çalışılmıştır.

3.4.4 Dördüncü Test Salonu

Dördüncü test salonu, 20 x 24 m boyutlarındadır. Dinleyici alanı, 15 x 15 m boyutlarında olup toplam 225 m^2'dir. Sahne üstündeki tavan yüksekliği, 9.5 m, dinleyici alanı üstündeki tavan ise 10 ve 7.95 m arasında değişmektedir. Dinleyici alanı eğimli tasarlanmıştır. Tavanda yer alan üçgen panellerin kenar uzunlukları, 7.5 ve 13 m arasında değişmektedir. Aşağıda şekil 3.52'de bir panelin görseli görülmektedir.



Şekil 3.52: Üçgen panel

Salon 1, 2 ve 3'te geometrik birim hareketleri ile ilgili özellikler test edildiği için, dördüncü test salonunda, veri kayıtlarının ve değerlendirme sistemi üzerinde çalışılarak ek bir alt program daha yazılmıştır. Alt program, simülasyon sırasında, dinleyici salonu üstündeki ses düzeylerini, koordinat (hesap sonuçları ya da simülasyon sonuçları metin dosyası olarak yazı biçiminde alınır) biçiminden görsel bir üç boyutlu modele dönüştürmektedir. Oluşturulan model, salonun ses düzeyi haritasını temsil etmektedir. Standart sapma hesapları, dinleyici alanı üzerine bir grid sisteminin

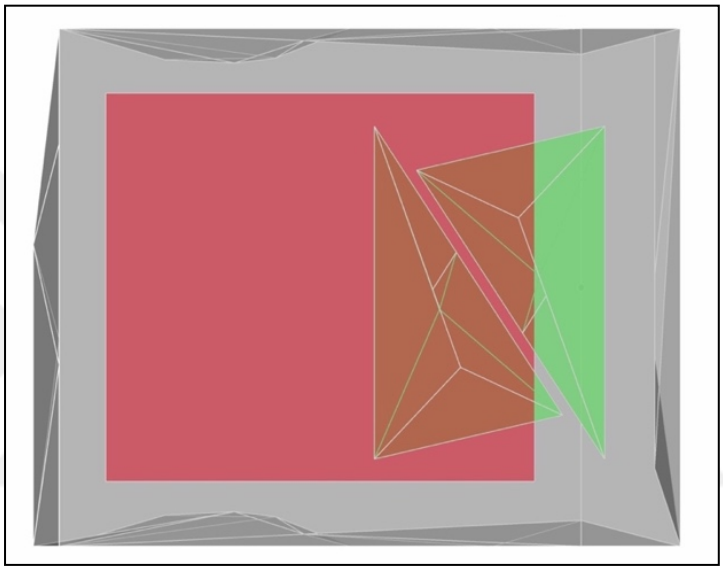
eklenmesi ve salondaki ortalama değerin bulunması gibi yeni özellikler de salon 4 üzerinde çalışılarak kodlanmıştır.

Aynı zamanda, ağlar (*mesh*) iki panel aynı anda hareket ettirilebilir mi sorusunu yanıtlamak üzere iki panele tanımlanmıştır. Bu durumda tasarımcı gerektiğinde birlikte çalışmak istediği birimleri birbiri ile ilişkilendirerek yazılımda tanımlanan alana birlikte tanımlayabilmektedir. Sabit tutulması istenilen gruplar, grup olarak panel ağına tanımlanabilmektedir. Aşağıda, şekil 3.53 ve 3.54'te görüldüğü gibi mimari modelde bir çift modellenen tavan panelleri simülasyonlarda birbirinden bağımsız iki çifttir. Bu durumda mimari modelde yer alan iki panel bir olarak sayılmakta, bilgisayara, dört panel iki panel olarak tanıtılmaktadır. Koordinatlar çevirilerek simülasyon programında düzenlenebilmiş, panel aralıkları değiştirilerek yeni tasarımlar denenmiştir. İlk test salonunda yer alan toplam olasılık hesabı, iki panel ve açısız durumu ifade edecek şekilde yenilenmiştir. Otomatik gerçekleştirilen 100 simülasyonun sonuçları elde edilerek, grafikler mimari olarak yorumlanabilir duruma getirilmiştir.

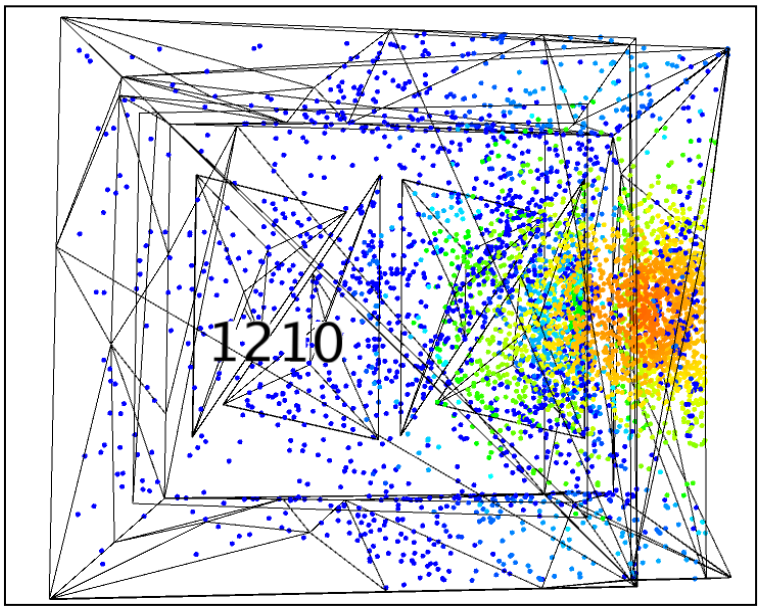
Aşağıda, şekil 3.53 ten itibaren, şekil 3.60'a kadar olan görsellerde, test salonunun mimari modelinden ve simülasyonlarından alınan ekran görüntüleri görülmektedir. Her salonun olası durum hesabı farklı olacaktır. Programda bir konsol oluşturularak, salonlardaki tüm olası durumlar değerlendirilene kadar, tasarımcının kaçıncı simülasyonda olduğunu görmesi sağlanmıştır. Konsol, programda açılıp kapatılabilmektedir. Simülasyonlar sırasında kullanıcıya bilgi sağlama amacıyla eklenmiştir. Örneğin 100 simülasyonlu bir testte, konsolun yarıya kadar dolması, 50 simülasyonun gerçekleştirilip sonuçların kayıt altına alındığı anlamına gelmektedir. Çok birimli sistemlerin çok sayıda olasılığı olması nedeniyle, tasarımcı, konsoldan simülasyon dizileri bitene kadar ne kadar beklemesi gerektiğini anlayabilmektedir.

Şekil 3.54'te görülen görselin üzerinde yer alan rakam, bu görüntünün kaçıncı milisaniyede elde edildiğini belirtmektedir. Tasarımcı, simülasyonda kaçıncı milisaniyede neler gerçekleştiğini bilmek isterse konsol yerine bu sayacı da açabilmektedir. Örneğin, bir tasarımcı simülasyon yaparken tam olarak 100. milisaniyede ne olduğunu bilmek istiyor. Bu durumda, programa 100 değerini girerek belirtilen milisaniyedeki görüntüyü, veri kayıtlarını alabilir, simülasyonları bitirebilir ya da farklı işlemler gerçekleştirebilir.

Bu özellik, tasarımcının belirtilen sürede simülasyonun durumunu bilebilmesinin yanısıra, ileride, besteci ve mimarların birlikte tasarladığı salonlarda (Sabah, 2013) (mekansal müzik, modern, çağdaş ya da yeni müzik olarak da isimlendirilmektedir), da faydalı olabileceği düşünülerek geliştirilmiştir. Bu özellikle, ses kaynaklarının hareketli olduğu, müzisyenlerin sahnede olmadığı, yer değiştirdiği ya da insansız hava araçları, hareketli elektroakustik sistemler kullanılarak gerçekleştirilen performanslar için önceden planlama olanağı sunabilmesi hedeflenmiştir. Aşağıda şekil 3.53'te salonun mimari model planı görülmektedir. Şekil 3.54, simülasyonun 1210. milisaniyedeki durumunu göstermektedir.

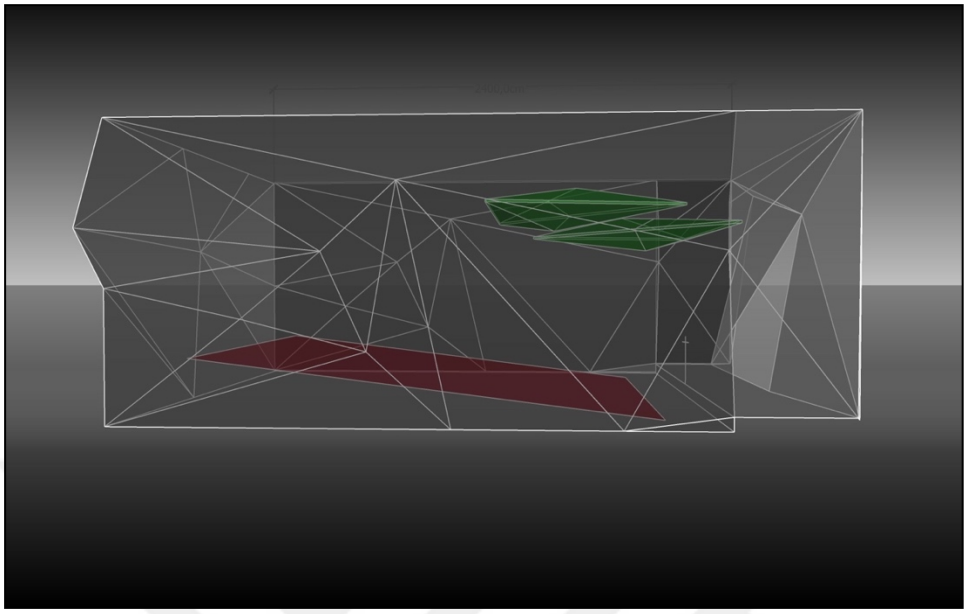


Şekil 3.53 : Test salonu 4 mimari model



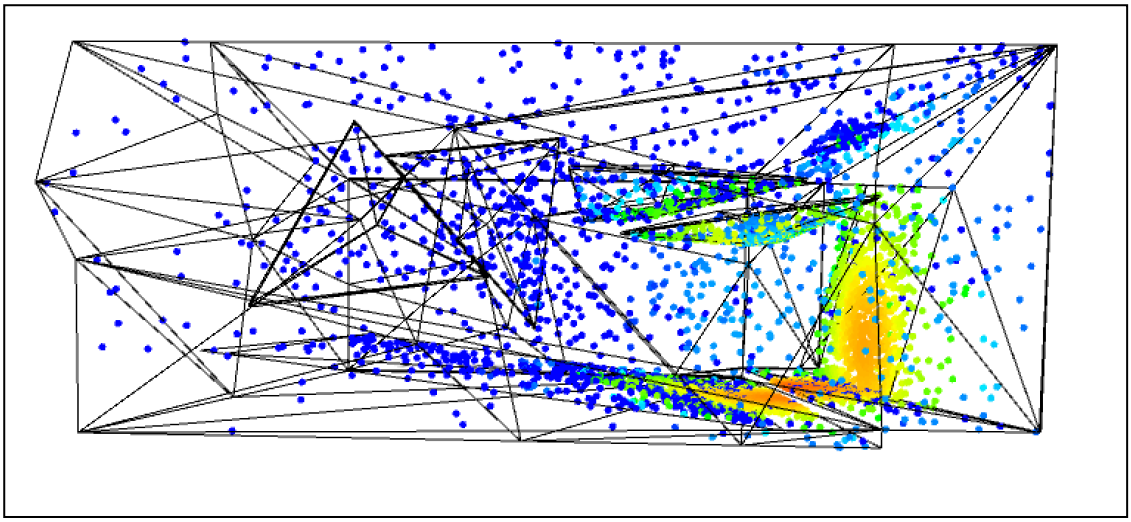
Şekil 3.54 : Simülasyondan alınan ekran görüntüsünde, üretilen sanal panellerle birlikte mimari modelde yer alan panellerin görünümü ve süre sayacı(1210. Milisaniye durumu)

İlerleyen bölümlerde, değerlendirme kriterlerleri ayrıntılı anlatılarak, 4. salon üzerinden oluşturulan veri tablolarında örnek bir yorumlama yapılmıştır

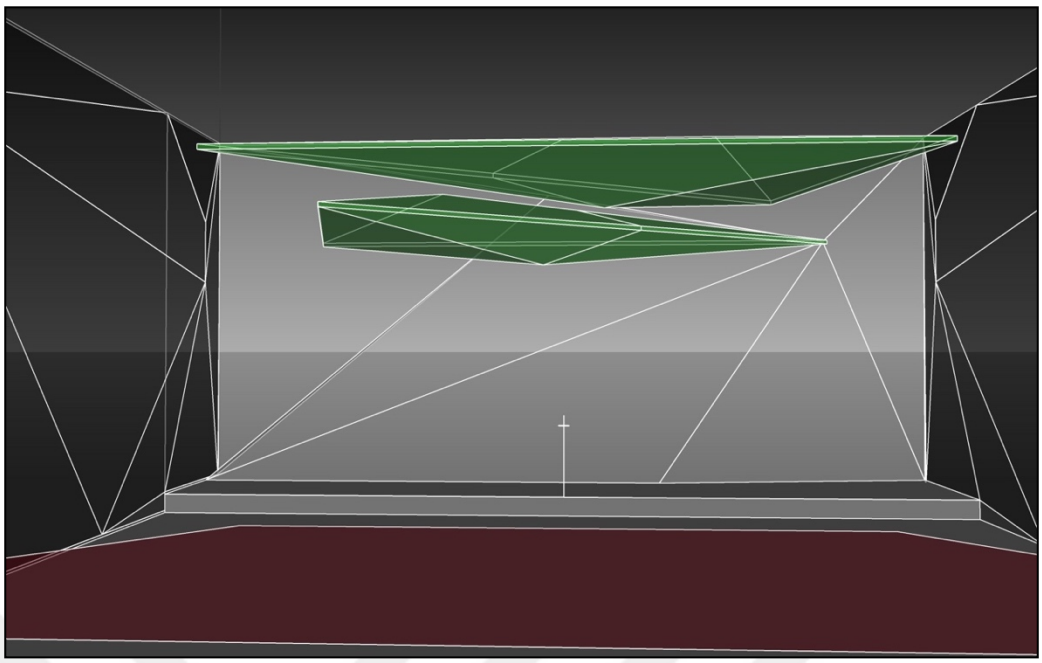


Şekil 3.55 : Modelin mimari programda yan görünüşü

Şekil 3.55'te görülen iki panelli statik mimari model, aşağıda şekil 3.56'da farklı açılara sahip 4 panel olarak görülmektedir. Modelde yer alan iki panel simülasyon programının oluşturduğu sanal panellerdir. Programın döndürme biçimi de şekil 3.56'da görülmektedir. Mimari birimlerin hareket ettirilmesi ya da döndürülmesi gibi işlemlerin yönünü ve miktarını tasarımcı belirlemektedir.

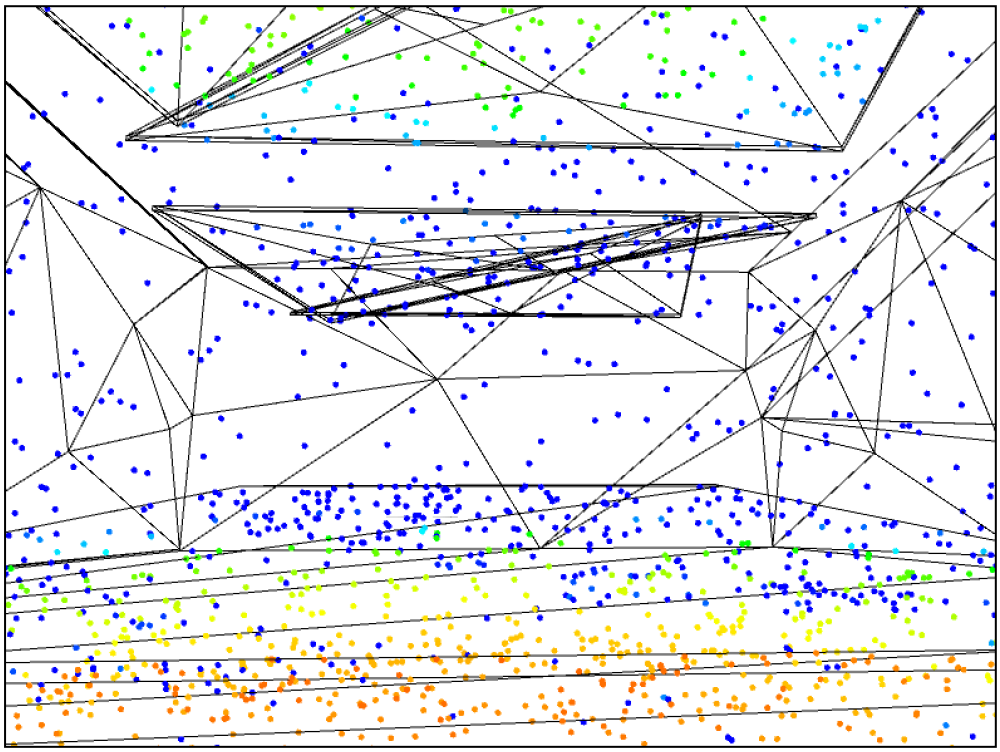


Şekil 3.56 : Modelin simülasyon programında yan görünüşü

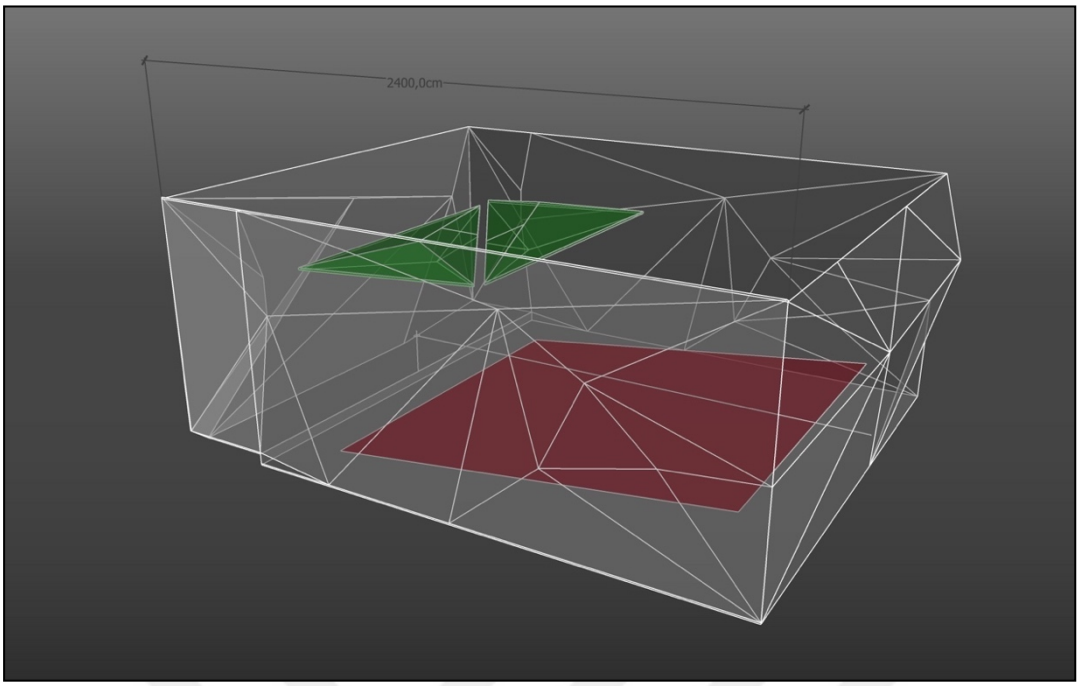


Şekil 3.57 : Mimari programda dinleyici alanından sahneye bakış görünümü

Şekil 3.57'de sahneye doğru bakış görülmektedir. Ses kaynağının konumu da işaretlenmiştir. Kırmızı bölge dinleyici alanını, yeşil alanlar panelleri ifade etmektedir. Aşağıda şekil 3.58'de üç boyutlu aktif simülasyon programından alınan ekran görüntüsü görülmektedir.

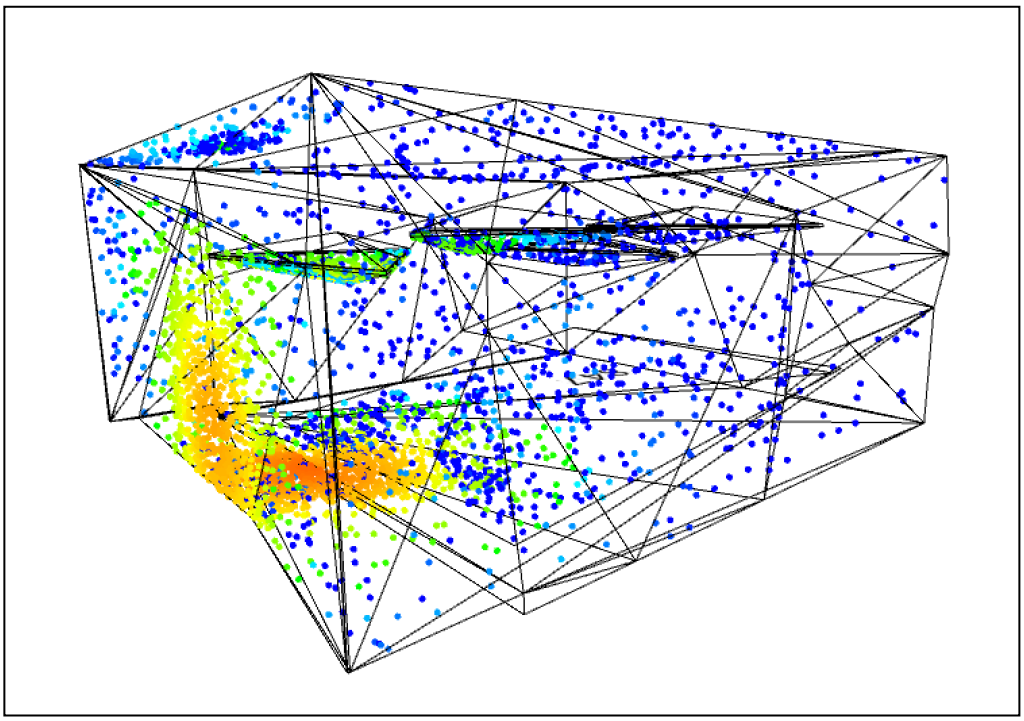


Şekil 3.58 : Simülasyon programında dinleyici alanından sahneye bakış görünümü



Şekil 3.59 : Mimari programda perspektif model

Şekil 3.59'da *Sketchup* programında hazırlanan modelin perspektifi görülmektedir. Şekil 3.60'ta simülasyonlardan alınan ekran görüntüsü görülmektedir. Kaynağın yer aldığı sahne yüzeyinde, yüksek değerli ışınların yüzeyle kesişim noktaları kırmızı-turuncu ve sarı ile gösterilmiştir. Noktalar sahne bölgesinde daha sıktır.



Şekil 3.60 : Simülasyon programında perspektif model

Simülasyon programına, test salonu 4 üzerinde çalışılarak kodlanan ek özellikler:

- Ses hızı, renk ve ses düzeyi ayrıntılandırmaları yapılmıştır.
- Simülasyon sayısı ve kaydının olasılık hesaplarına göre yapılması özelliği geliştirilmiştir.
- Simülasyonlara yeni verilerle yeniden otomatik başlanılarak sonuçların kaydedilme özelliği eklenmiştir. Tüm simülasyonların q tuşuna basılarak sonlandırma ve geçen süredeki tüm açı verilerini kaydetme özelliği eklenmiştir.
- Hacim değeri, hava yutuculuğu ve farklı frekans bantlarında yutuculuk yazabilme özelliği yazılıma eklenmiştir.
- Grid alanının birim boyutlarının tasarımcı tarafından belirlenen boyutlarda girilebilmesi için kodlama yapılmıştır. Fazla veya hatalı kodlar temizlenmiştir.
- Alt programda, başka bir programla karşılaştırılmaya el verişli olabilecek ses düzeyi haritalarının görselleştirilmesini sağlayan düzenlemeler yapılmıştır. Ses düzeyi görme, dinleyici noktaları çevresinde dönme, yaklaşıp uzaklaşma gibi kamera ve yazı ayarlarının yapılması kodlanmıştır.

3.4.5 Test Verilerinin Uygun Geometriyi Beslemesi

Yazılan simülasyon programının bir veri sağlayıcısı olarak çalışabilmesi ve simülasyonlardan alınan verilerin geometriyi uygun biçimde etkileyebilmesi için dosya dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Bilgiler, her simülasyonda, 2 farklı metin dosyasına kayıt edilmektedir. 1. tip metin dosyasında, simülasyonlardaki mimari birimlerin değerleri (açılar, renk toplamı, standart sapma, mesafeler vb.), 2. tip metin dosyasında da değerlendirilmek istenilen yüzeylerin ses ışınları ile yaptığı kesişimlerin bilgileri ve koordinatları bulunmaktadır. Her simülasyon sonucu 1 satır olmak üzere, 2 tip metin dosyasında kayıt altına alınır. Örneğin 3000 simülasyonlu bir çalışmada, iki farklı metin dosyasında 3000'er satır bilgi kayıt edilmektedir.

Dosya dönüşüm sırası:

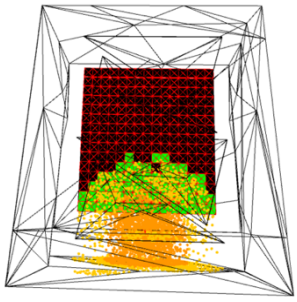
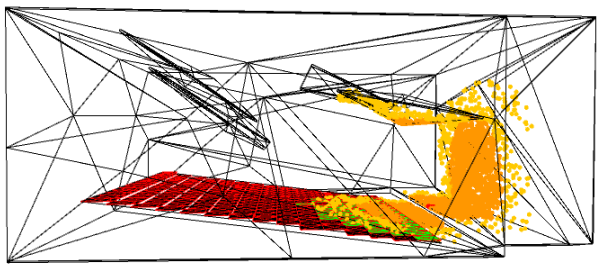
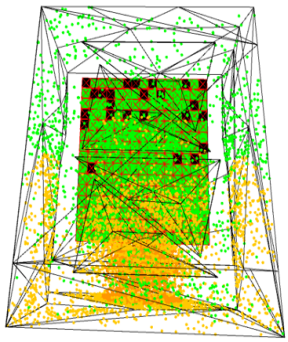
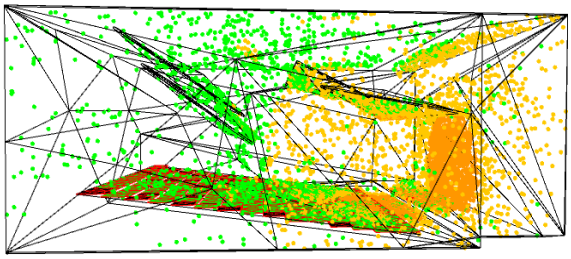
Model dosyaları (örnek: dinleyici, salon, panel) ⟶ Üç boyutlu aktif simülasyon programı ⟶ Metin dosyaları (örnek: her açı varyasyonu ve kriter kayıtları, kesişim noktaları ve değerleri)

1. Metin dosyası, *excel, word* vb. mevcut metin okuyabilen bir programda açılarak tasarımcının değerlendirmesine sunulmaktadır. 2. Metin dosyası da istenildiğinde metin okuyabilen bir programda değerlendirilebilir (örneğin modelin 15, 25, 15 koordinatında ölçülen ses düzeyi 65.1231 desibeldir vb.). Tezde önerilen yöntemin Odeon Programı ile karşılaştırılması için ses düzeyi haritaları biçiminde olması daha uygun bulunmuştur. Bu nedenle, hazırlanan bir alt program 2. metin dosyasından aldığı bilgileri görselleştirmektedir.

Alt programın dosya dönüşüm sırası:

Metin Dosyası (Kesişim noktaları ve değerleri) ⟶ Üç boyutlu aktif simülasyon alt programı

Panellerin uygun yerleşimleri, verilerden yararlanılarak belirlenebilmektedir. Aşağıda, şekil 3.61'de sürekli devam eden simülasyonlardan örnek ekran görüntüleri bulunmaktadır. Üretilen açıların daha detaylı simülasyon görünümü ekte şekil 5.6'da görülebilir. Tezle birlikte teslim edilen cd'de simülasyondan alınan video kesitleri izlenilebilmektedir. Tavan panellerinin hareketi, her simülasyonda incelenmelidir.

Plan	Yan Görünüş
	
	

Şekil 3.61 : Simülasyon örnek görüntüleri

3.4.6 Kayıt Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nda, salonun değerlendirmesinde kullanılabilecek 4 veri kayıt kriteri örnek olarak kodlanmıştır. Bu kriterler, renk toplamı (ses düzeyi değerleri atanmıştır), homojenlik (ses dağılımı), ortalama (dinleyici alanında duyulan ortalama ses düzeyi) ve standart sapma (ortalama ses düzeyine göre farklı dinleyici noktalarındaki düzey farkı) değerleridir. Tasarımcı, kriterlerin hesaplama biçimini ya da isimlerini değiştirebilmekte, kendi öğrenmek istediği kriterlere uygun hale getirebilmektedir.

3.4.6.1 **Renk toplamı**

Ses düzeylerinin aritmetik toplamı, renk toplamı kriteri olarak isimlendirilmiştir. Renk toplamı olarak yazılmasının sebebi; tasarımcıya, formüllerde değişiklikler yaparak, etkili dağılımı kendi belirlediği düzey ve hesaplama biçimine göre değerlendirebilme özgürlüğünü sağlamaktır. Bu değişken, farklı birimlere, formül ya da değerlere hizmet edebilecektir.

Dinleyiciye ulaşan ses düzeyi (Ando, 1985) ve reverberasyon süresi değeri (Sabine, 1923), salonlarda dinleme kriterlenin en önemlileri olarak nitelendirilmektedir. Ses düzeyinin tarifinde, ses gücü, ses yeğinliği, ses basıncı gibi parametrelerden yararlanılmaktadır. En yüksek değere sahip simülasyon, salonda en yüksek ses düzeyinin dinleyici alanına ulaştığını ifade etmektedir. Simülasyonlar dizisinin en düşük renk toplamını veren simülasyonda ise salonda dinleyici alanına ulaşan ses düzeyi en düşük anlamına gelmektedir. Bu değer, ışın sayısına bölünerek salondaki ortalama ses düzeyinin bulunmasını sağlar. Odeon Programı'nda elde edilen ses basınç düzeyi haritalarına denk gelmektedir. Tezde, SPL (*average*) hesaplamak için kullanılmıştır. Renk toplamının nasıl değerlendirilmesi gerektiğini tasarımcı tanımlayarak diğer SPL değerlerini (ağırlıklı ses basınç düzeyi vb.) de elde edebilecektir. Belirli bölgelere en az ses düzeyinin iletilmesi istenilen tasarımlarda, kriter bu yönde de değerlendirilebilecektir. Tezde değerlendirilen, değerin kendisi değil, simülasyon dizilerindeki yeridir. Hangi simülasyonda en yüksek ses düzeylerinin elde edildiğini bilen tasarımcı, farklı olası geometrik tasarımların akustik sonuçları ile ilgili fikir edinebilmekte, üzerinde çalıştığı tasarımın hangi yöne ilerlerse akustik olarak daha olumlu olabileceğini anlayabilmektedir. Örneğin 10000 simülasyonlu ve en yüksek düzeye sahip açısal durumun bulunmaya çalışıldığı bir

tasarım sorununda, 10000 farklı renk değeri toplamı elde edilmekte, kayıt tablolarında en yüksek değeri veren açısal durumlar yorumlanmaktadır. Farklı kullanımlara örnekler verildiğinde, belirli bir simülasyonda en yüksek renk değerini veren panel açıları 0.2, 0.1 ve 0.3 olduğunda, tasarımcı bu açıların diğer işlevsel gereksinimlere uygunluğunu kontrol edebilmektedir. Aynı salonda, farklı biçim ve özelliklerdeki panellerin, salondaki ses düzeyine etkisini karşılaştırabilmektedir. Farklı simülasyonlarda, çeşitli panel ve salon biçimlerinin, dinleyici alanı ve balkon konumlarının, tavan büyüklüğünün vb. geometri değişiminin salondaki ses düzeyine etkisini öğrenerek, yorumlamalar yapabilmektedir. Tezde, en yüksek renk toplamına sahip ilk on değer seçilerek ilerlenilmiştir. On değer arasından uygun olmayanlar elenerek de tasarıma devam edilebilir. Örneğin, bir projede tavandan ışık köprüsünün geçmesi, panelin içinden ya da üstünden geçmek zorunda olan bir platform, boru vb. birimlerin bulunması ve en iyi simülasyonlardaki panellerin açısal değerleri ile çakışması durumunda, tasarımcı 1., 2., 5. değil 3., 4., ve 6. en yüksek renk toplamına sahip açısal durumu değerlendirilebilecektir.

3.4.6.2 **Homojenlik**

Bu kriter, salonda belirli bir ses düzeyi düşüşünde, kaç grid birimine ışınların ulaştığını ifade etmektedir. Tezin veri tabloları ve karşılaştırma grafiklerinin olduğu bölümünde, bu değerin Odeon Programından alınan reverberasyon haritaları ile ilişkisi anlatılmaktadır. Önerilen yönteme, reverberasyon haritalarının farklı bir işlevde ele alınması ile katılmaktadır. Bu nedenle, simülasyon süresinin başta reverberasyon süresi olarak programa tanımlanması önerilmiştir. Simülasyonlarda takip edilen homojenlik değişkeni ile, simülasyon süresi ve ses düzeyi düşüşü değişkenleri ilişkilendirilmiştir. Mimar, salonun mevcut ve ulaşılması istenilen reverberasyon süresini, sayısal değerlerden bağımsız birlikte ele alarak tasarımını geliştirmektedir. Yaptığı geometri değişikliklerinin reverberasyona etkilerini, ayrıntılı teknik bilgisi olmaksızın görebilmektedir.

Homojenlik değeri, tasarımlarda, hiç ses almayan noktaları tespit etmek üzere ve mevcut reverberasyon süresini görsel bir biçimde hesaplayabilmek üzere geliştirilmiştir. Bir salonun mevcut reverberasyon süresini, grid sisteminin kırmızıdan yeşile dönen (üzerine ses ışını düşen) birimlerinin en arka sıradalardaki dinleyicilere ulaşması ile ekrandaki sayaç kaç saniyeyi gösteriyorsa, tasarımcı tasarımının mevcut

reverberasyon süresini ölçebilmektedir. Literatürdeki uygun değerlerle karşılaştırabilmektedir.

Örneğin dinleyici alanının 10 x 10 m olduğu bir salonda, 1 m^2 lik toplam 100 grid birimi bulunmaktadır. Tasarımcı, üç boyutlu aktif simülasyon programında grid yüzeyinin kaç birimden oluşacağını ya da birim ölçülerini belirlemelidir. Homojenlik değerlendirmesi, simülasyonlar sırasında izlenilerek veya sonuçlardaki sayısal değerlere bakılarak yapılmalıdır. Simülasyonlarda, ışınların grid yüzeyine ulaşmasıyla, grid birimleri kırmızıdan yeşile dönmektedir. Ön tasarımda, genel bir bilgiye ulaşılmak istenildiğinde, grid değeri düşük tutularak, dinleyici alanı daha geniş parçalara bölünerek değerlendirilebilmektedir. Detaylı analizler için, değerin yüksek tutularak, dinleyici alanının 50 x 50 cm ya da daha küçük parçalara bölünmesi gerekmektedir.

Tasarımcı, homojenlik değerlendirmesiyle, gridin ne kadarının ışınlar tarafından tarandığını ya da taranmadığını anlayabilmektedir. Kayıt edilen değer, yüzdelik olarak bakılabilmektedir. Örneğin homojenlik değeri 98 olan, 100 birimli bir grid sisteminin %2'lik bölümü simülasyon sırasında ışınlar tarafından taranılamamış anlamına gelmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde yer alan örnek simülasyon test sonuçları 225 birime sahip bir grid sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik değerini ifade eden tablo, 217, 224, 215 vb. kaç birimin ışınlar tarafından tarandığını göstermektedir. Tasarımcı, hiç ışın almayan bölgeleri tespit edebilmekte ya da dinleyici alanına düşen ışınların dağılımı konusunda fikir edinebilmektedir.

Bir başka kullanım biçimi, simülasyonlarda, salondaki reverberasyon süresinden daha az bir sürenin (örneğin reverberasyon süresi 2 saniye olan bir salonda ilk 30 milisaniyede (erken yansıma ile ilgili parametreler)) salondaki ses etkileri araştırılıyor. Bu durumda, gridin belirli bir bölümü taranmıştır (örneğin %25 grid birimi taralıdır ve ilk 3 sıra dinleyici sırasında yeşil birimler bulunur). Uygun reverberasyon süresinde, en arka sıradaki birimler de yeşile dönmeli ve grid sisteminin en az %50'si taranmalıdır. Işın sayısının arttırılmasına rağmen, gridin taranan bölgesinde yükselme olmuyorsa (örneğin %25'lerde kalıyorsa) ve simülasyon süresini çok kısa yazılmadıysa (bu nedenle uygun reverberasyon süresi önerilmiştir), tasarımcı, tanımladığı malzemelerin salon için uygun olmadığını (salon çok yutucu) anlayabilmektedir. Bu durum, gönderilen ışınların enerjisi karşılaştıkları yüzeylerde yutularak dinleyici alanına ulaşamıyor anlamına gelmektedir. Simülasyonlar, henüz

dinleyici alanının ortaları yeşile dönmeden sonlanıyor ve yeniden başka bir geometri ile başlıyorsa, tasarımcı girdiği simülasyon süresinin reverberasyon süresinden kısa olduğunu anlamaktadır. Salondaki ses düşüşünün uygun reverberasyon süresine göre desibel olarak başka bir değişkene tanımlanması ile, mevcut projelerde ölçülerek bakılan değerler, görsel bir biçimde birbirleriyle çakıştırılmıştır ve algoritmaya birer parametre olarak tanımlanmıştır.

3.4.6.3 **Ortalamanın Değerlendirmesi**

Dinleyici alanı ile kesişim yapan tüm ses ışınlarının ses düzeyi değeri toplanarak (renk toplamı), dinleyici alanına düşen ışın sayısına bölündüğünde ortalama değer elde edilmektedir. Standart sapma değerlendirmesini ölçebilmek için hazırlanan bir ön kriterdir aynı zamanda salondaki ortalama ses düzeyini tasarımcıya vermektedir. Bu özellik, logaritmik toplam ile de çalışabilmektedir. Örneğin, ses düzeylerinin sayısal değerleri ile ilgilenmeyen bir salon tasarımcısı, salondaki ortalama ses düzeyi değerini öğrenmek istemeyebilir. Akustik konusunda detaylı incelemeler yapmak isteyen bir tasarımcı ise kodda oluşturulan toplama işlemini, logaritmik gerçekleştirmek ve 5. bir kriter olarak kayıt etmek isteyebilir. Aşağıda şekil 3.62'de, ortalamanın koda işleniş biçimi görülmektedir. Görselde, 368 ve 369 numaralı kod satırında görüldüğü gibi, toplama işleminin yapılması, kesişim noktalarının kayıtlarının tekrar eden bir sistemde (döngülerle(*loop)*-tezin kod geliştirme sürecinde açıklanmıştır) gerçekleştirilmektedir. Bu kodu tasarımcı değiştirebilir.

```
365 float mean(ArrayList<AudienceHit> points) {
366   float x = 0.0;
367
368   for (AudienceHit p : points)
369     x += p.db;
370
371   return x / points.size();
372 }
```

Şekil 3.62: Ortalama değerin üç boyutlu aktif simülasyon programının koduna işlenmesi

Ortalama değer ile tek tek dinleyici noktalarının ses düzeyi değerinin düzey farkı ölçümü, bir sonraki bölümde anlatılan standart sapmanın değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç kayıtlarını gösteren tablolarda, tasarımcının salondaki ortalama ses düzeyi değerini de bilmesinin karşılaştırma kolaylığı sağlayabileceği ve çeşitli araştırmalarda kullanılabileceği düşünülmüştür.

Bu değer, tezin ilerleyen bölümlerinde Odeon programı haritalarındaki değerler ile karşılaştırılarak, doğru sonuçlar verdiği sağlanmıştır.

3.4.6.4 **Standart Sapmanın Değerlendirilmesi**

Standart sapma, bir çalışma veri grubundaki her verinin ortalama değere göre ne kadar uzaklıkta olduğunu vermektedir. İncelenen değerin, hangi aralıkta değiştiğini göstermektedir. Örneğin, ortalaması 60 dB olan 10 ışınlık bir veri grubunun standart sapması 2 olsun, bu grupta dinleyici alanına düşen ışınların büyük bir kısmı, 58 ve 62 dB arasında olacaktır. Standart sapması 4 olursa, 56-64 dB arasında olacağı anlaşılmaktadır. Akustik işlevli salonlarda genellikle, ses düzeyinin dinleyicilere eşit şekilde ulaşması ve salonda ses dağılımının homojen olması istenmektedir. Standart sapma, dinleyici alanına çarpan her bir noktanın ses düzeyi değerini karşılaştırmaktadır. Standart sapma değerlendirmelerinde, değer ne kadar küçükse sonuç o kadar iyi kabul edilmektedir. Dinleyicilerin duyduğu ses düzeyinin birbirinden farklılığının oldukça az olduğu anlamına gelmektedir.

Bu değerden başka yorumlamalar da yapılabilmektedir. Örneğin, üç boyutlu aktif simülasyon programında alınan 50 simülasyonlu bir örnekte, 50 farklı açısal durum denendiğini varsayalım. Standart sapma değerleri, simülasyon dizisinde birbirinden düşük farklılıklarla çıkıyorsa, tasarımcı denediği açısal değişikliklerin salonda tekli dinleyici noktalarındaki ses düzeyi farklılıklarına etkisinin çok az olduğunu, tasarımında daha serbest hareket edebileceğinin yorumunu yapabilmektedir. Geometride değişiklikler yaptıkça, salon akustiğine etki sınırlarını bularak ilerleyeceği yönü keşfedebilmektedir. Standart sapma hesaplamasını yapabilmek için, yansıyarak ya da doğrudan gelerek dinleyici alanı üzerine düşen tüm noktaların (ses düzeylerini temsil eden) ağırlıklı ortalaması alınmakta, sonrasında her bir nokta ile ortalama karşılaştırılarak standart sapma değeri bulunmaktadır.

Aşağıda, bağıntı 3.8'de standart sapmanın matematiksel formülü ve programdaki kodlanma biçimi görülmektedir.

σ : Standart sapma x_i :Dizinin x. elemanı

x : Salondaki dinleyici alanına ulaşan ses düzeyinin ortalama değeri

N: Dinleyici alanına ulaşan ışın sayısı

Σ: Toplam

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2} \tag{3.8}$$

Şekil 3.63'te formülün koda aktarım biçimi görülmektedir. Tüm ışınlar aynı anda değerlendirilmektedir.

```
float standardDeviation(ArrayList <AudienceHit> points) {
  float s = 0.0;
  float m = mean(points);
  for (AudienceHit p : points)
    s += pow(p.db - m, 2.0);

  return sqrt(s / points.size());
}
```

Şekil 3.63 : Standart sapmanın programa işlenmesi

Şekil 3.63'te görülen kodun yaptığı işlem, aşağıda açıklanmıştır.

1. Dinleyici alanına düşen her ışının taşıdığı ses düzeyi değeri aritmetik olarak toplanır ve ortalaması alınır.
2. Birinci adımda elde edilen değer, dinleyici alanına düşen bir ışının ses düzeyi değerinden çıkarılır. Negatif değerler de çıkabileceği için karesi alınır.
3. İkinci adımda belirtilen işlem her bir ışın için tekrarlanır
4. Tekrarlanan işlem sonuçları toplanır
5. Dördüncü adımın sonucunda elde edilen değer, dinleyici alanına düşen ışın sayısına bölünür ve kare kökü alınır.

Simülasyon dizileri sırasında kayıt altına alınan değerler, örnek çizelge 3.8'de, standart sapma kolonu ile birlikte görülmektedir.

	A	B	C	D	E
61	Panel 1	Panel 2	Ağırlıklı Renk Toplamı	Izgara Sistem Toplamı	Standart Sapma
62	0.4	0.9	132535	211.0	1,91E+02
63	0.4	0.5	132447	220.0	2,29E+02
64	0.4	0.6	132427	217.0	1,91E+02
65	0.6	0.1	132391	215.0	1,91E+02
66	0.6	0.2	132385	217.0	1,91E+02
67	0.6	0.3	132372	220.0	1,91E+02
68	0.6	0.6	132317	218.0	1,91E+02
69	0.4	0.7	132252	221.0	1,91E+02
70	0.6	0.7	132237	221.0	1,91E+02
71	0.4	0.2	132224	223.0	1,91E+02
72	0.7	0.2	132182	216.0	1,91E+02

Çizelge 3.8 : Simülasyonlar sırasında kayıt altına alınan değerler

Tezde standart sapma değerlendirilirken, amaç geometrik tasarımda simülasyonlar dizisinden uygun seçimler yapılarak tasarımın ilerleme yönünü belirleyebilmektir. Aşağıda çizelge 3.9'da, ilk 10 simülasyonu gösteren örnek sonuç tablosu görülmektedir. Bu çizelgede, 10 farklı tasarım durumunun simülasyonunda, salondaki ortalama ses düzeyi 65-66 dB'dir ve dinleyicilerin duyduğu ses düzeyi farkı 12-13 dB arasındadır (standart sapma kolonu). Tasarımcı, tasarım değişiminin salonda işitilen ortalama ses düzeyini ve farkını çok etkilemediğinin yorumunu yapabilecektir. Tezin ekinde çizelge 5.5'te, 100 simülasyonu gösteren detaylı kayıt tabloları bulunmaktadır.

Çizelge 3.9 : İlk 10 simülasyonun kayıt tablosu

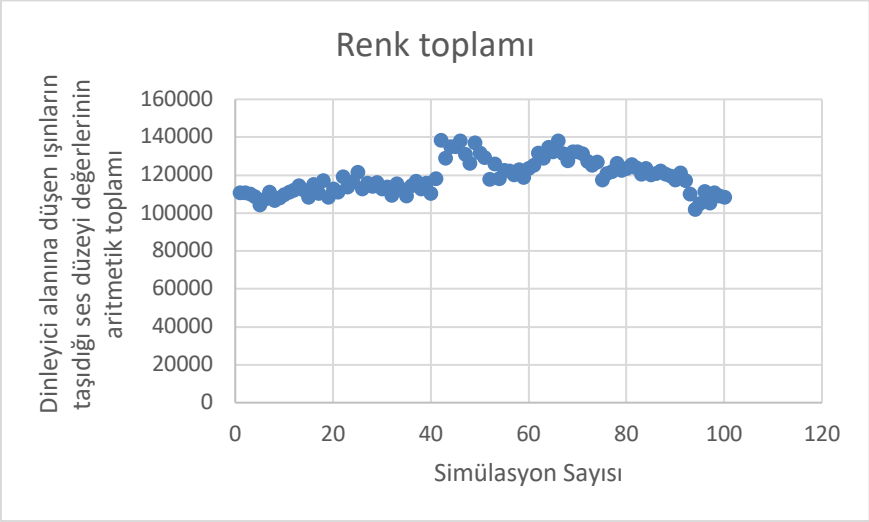
	A	B	C	D	F	H	J
1		Panel 1	Panel 2	Renk toı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
2	1	0.0	0.0	110576	214	66	12,798695
3	2	0.0	0.1	110702	207	66	13,168545
4	3	0.0	0.2	110079	214	65	13,066535
5	4	0.0	0.3	108589	217	66	13,131055
6	5	0.0	0.4	104314	215	65	12,687894
7	6	0.0	0.5	107206	218	66	13,538683
8	7	0.0	0.6	110901	215	66	13,260288
9	8	0.0	0.7	106584	214	65	13,035767
10	9	0.0	0.8	107780	212	66	13,14403
11	10	0.0	0.9	109590	210	66	13,244401

3.4.6.5 **Olası durumların değerlendirilmesi**

Tasarımcı, gereken tanımlamaları yapıp başlat tuşuna bastığında, salonda farklı geometrik durumları deneyen simülasyonlar dizisi başlamaktadır. Aşağıda, örnek bir simülasyon dizisi olan 100 simülasyonun test sonuçları şekil 3.64, 3.65, 3.66, 3.67'de görülmektedir. Her bir simülasyon farklı bir tasarım durumudur. Simülasyonlar ve sonuçları, test salonu 4 üzerinde çalışılmıştır. Bu salonda, panel 1 tanımı, salonda bulunan iki panele denk gelmektedir. Bu durum, aynı zamanda panel gruplarının (tasarımcı tarafından seçilen mimari birimlerin işlevsel nedenlerle birleştirilmesi) hareketinin yazılımla etkileşimini ölçmek üzere de tasarlanmıştır. Tezde bölüm 3.3.4'te, salonla ilgili detaylı bilgiler yer almaktadır. Aynı salondaki en yüksek değerlere sahip on simülasyonun seçilerek değerlendirildiği özelleştirilmiş tablolar şekil 3.68, 3.69, 3.70, 3.71'de görülmektedir. Örnek tablolar, tasarımcının değerlendirmek istediği kritere göre özelleştirilebilmektedir. Örneğin tasarımcı, en düşük renk değeri toplamına sahip salonları da seçmek isteyebilir. Ya da, işlevsel zorunluluklar nedeniyle 2. panelin 0.0 açısında, düz konumda bulunduğu simülasyonları değerlendirmek isteyebilir. Tasarımcı, sadece istediği bir ya da daha fazla belirli geometrik durumun da simülasyonlarını, gerçekleştirebilir. Bu çalışmada,

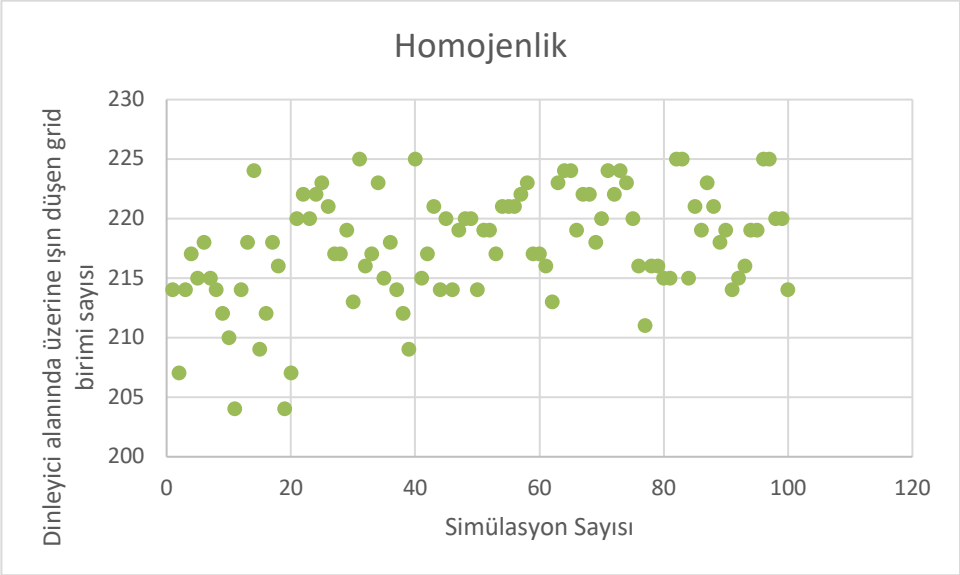
öncelikle 100 simülasyon, sonrasında 10 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Genelden ayrıntılı tasarıma doğru bir yaklaşımla, 10 simülasyondan en uygun değerlerin bulunduğu 1-2 simülasyon seçilerek ve programdan alınması istenilen yeni akustik parametre sonuçları tanımlanmalıdır. Amacın, mevcut programlarla alınabilen detaylı akustik parametre sonuçları elde etmek olmaması düşünülerek, bu noktada tasarım 10 simülasyonla (10 farklı geometrik durumun genel performans değerlendirmesi) yorumlanmıştır. Tezin karşılaştırmalar bölümünde, belirli geometrik durumlar için seçilen salonların akustik performansının da, değerlendirildiği görülecektir. Aşağıdaki örnekte, paneller 0.1 radyan döndürülerek, programın olası tüm geometrik durumların verilerini tasarımcıya sunması istenilmiştir. Aşağıdaki örnekte, 100 simülasyonlu bir dizi bulunmaktadır (toplam 2 panelin olası durum hesabı, 100 adettir). Aşağıda yer alan tüm veriler, programın 1 defa çalıştırılması ile oluşturulmuştur.

100 simülasyonlu bir simülasyon dizisinin kayıt tabloları:



Şekil 3.64 : 100 simülasyonda elde edilen renk toplamları

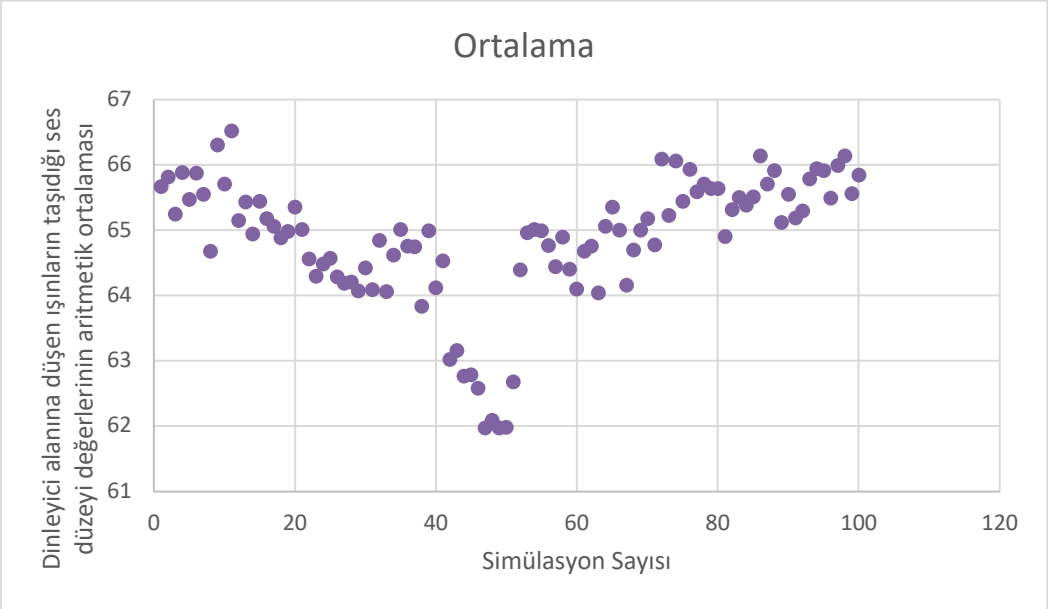
Şekil 3.64'te görülen renk toplamı değeri, 42, 46, 49, 67 numaralı simülasyonlarda en yüksektir. Bu tasarımlarda, dinleyici alanına en yüksek düzeyde ses ulaşmaktadır. Tasarımcı veri tablolarında bu değeri bularak, bu simülasyonlarda panellerinin hangi açıda olduğunu öğrenebilir. Kendi istediği açıların salondaki ses düzeyine olan etkisini tablo ya da grafikten bakarak anlayabilmektedir. Renk toplamı, algoritmik yöntemi örneklemek için seçilmiştir ve geometrinin ses yüksekliğine etkisi ile ilgili genel bir değerlendirme için kullanılmıştır. İlerleyen bölümlerdeki ortalama, homojenlik ve standart sapma değerleri ile tasarıma devam edilmiştir.



Şekil 3.65 : 100 simülasyonda elde edilen homojenlik değerleri

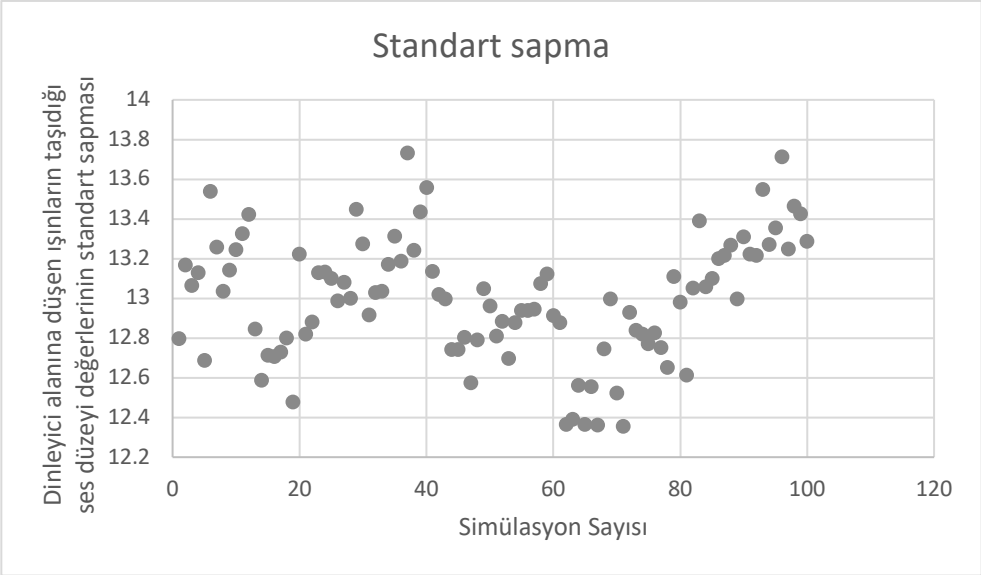
Şekil 3.65'te, 100 simülasyonun her birinde, grid alanında kaç birim ile ses ışınlarının kesiştiği görülmektedir. Bu grafikte, 31, 40, 82, 83, 96, 97 numaralı simülasyonlarda 225 birim (gridin tamamı) taranmıştır. 19 ve 11 numaralı simülasyonlarda ise, 204 birim taranmıştır. Genellikle salon tasarımında, homojen bir dağılım istenildiği için, taranan birim sayısının yüksek ya da grid birimi miktarına eşit olması akustik olarak daha yüksek performanslı bir geometrik durum olduğunu göstermektedir. Ses ışınlarının hiç alınmaması gereken bir alan üzerinde çalışan bir tasarımcı, kayıt tablolarında, en düşük ya da 0 değerini veren simülasyonlar üzerinde çalışabilecektir.

Test amaçlı gerçekleştirilen simülasyon dizisinde, 225 birimden 204 birimin taranmış olması, salonda belirtilen süre içinde grid alanının %90'ının üzerine ışının doğrudan denk gelerek düştüğünü belirtmektedir. Bu durumda, bu salonda etkin akustik dağılımın, az değişen panel açılarından çok etkilenmeyerek, genel olarak olumlu olduğu çıkarımı da yapılabilmektedir. Salona daha yüksek sayıda ışın gönderilerek %10'luk bölgenin geometrik nedenlerle mi yoksa başka nedenlerle mi ışın almadığı araştırılabilecektir. Örneğin bir salonda 100 birimli bir grid sisteminde, homojenlik değeri 25 çıkıyorsa, salonun %75'i sesi uygun koşullarda almıyor olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun, reverberasyon süresinin çok düşük olması, malzemelerin çok yutucu olması, alanın önünde engeller olması, yanlış tasarlanmış olması vb. nedenleri olabilecektir. Tasarımcı giriş parametrelerine göre çıkış parametrelerini değerlendirmelidir.



Şekil 3.66 : 100 simülasyonda elde edilen ortalama değerler

Şekil 3.66'da görüldüğü gibi, 47, 49 ve 50 numaralı simülasyonlarda dinleyici alanında hesaplanan ortalama ses düzeyi 62 desibeldir. 11 numaralı simülasyonda, ortalama değer 66.5 desibeldir. Her farklı geometrik durum için salonda elde edilen ortalama ses düzeyleri görülmektedir.



Şekil 3.67 : 100 simülasyonda elde edilen standart sapma değerleri

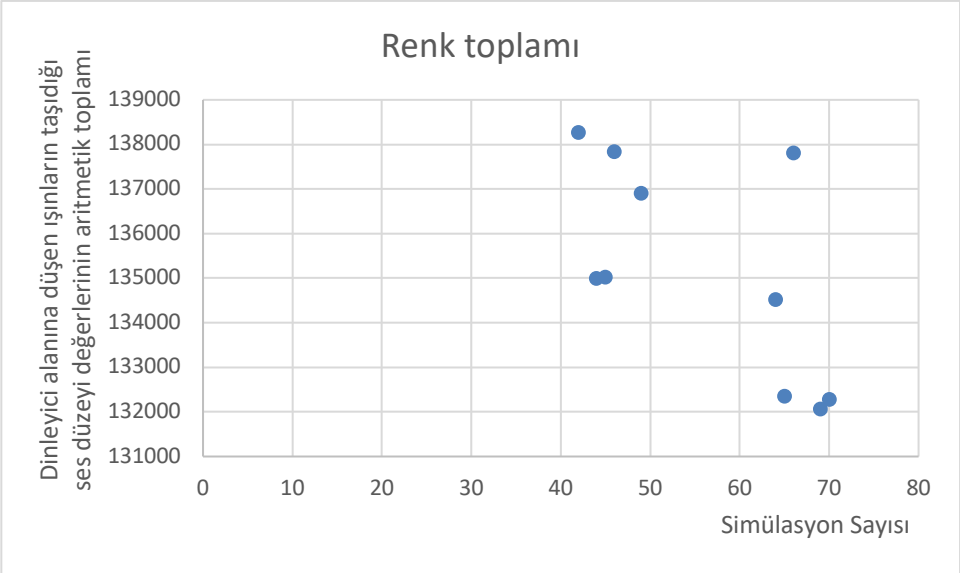
Şekil 3.67'de görülen standart sapma değerleri, 62, 67 ve 71 numaralı simülasyonlarda en düşüktür. Bu durumda, bu simülasyonlarda etkin akustik dağılımın, farklı dinleyici noktalarında ortalama ile olan farkının en az olduğu, bu nedenle dağılımın daha olumlu bir biçimde (büyük düzey farklılıkları olmadan), salona sesin yayıldığı yorumu

yapılmaktadır. 37 ve 96 numaralı simülasyonlarda bu değer en yüksek çıkmıştır. Bu iki simülasyon 100 simülasyon arasında, en büyük düzey farklılıklarının bulunduğu iki örnek olarak, bu açıdan en olumsuz iki geometrik durum olarak yorumlanabilecektir. Simülasyonlar dizisinde, 12.4 ve 13.7 değerleri birbirine yakın değerlerdir. Bu nedenle, homojenlik ve ortalama değerde olduğu gibi, genel olarak bu simülasyon dizisinde salonda etkin ses dağılımının olumlu olduğu görülmektedir. Bu değerler, örnek olarak yorumlanmıştır. Tasarımcı, önerilen yöntemi kullanarak çalışmasına, 100 simülasyondan oluşan değerlerin her birini 10 değere indirerek devam edebilir. Kendine özgü başka seçimler de yapabilir. Aşağıda, renk toplamı, homojenlik, ortalama ve standart sapma değeri olmak üzere, salonda etkin akustik dağılımı yorumlayabilmek için hesaplanan, 4 kriterde en yüksek sonuçları veren 10 simülasyonun değerlendirme grafikleri ve veri kayıt tabloları görülmektedir. Çizelgelerde yer alan ilk kolon, simülasyon numarasını ifade etmektedir.

Seçilen 10 simülasyonun panel Açıları, Renk toplamı, Homojenlik, Ortalama ve Standart Sapma Değeri Veri Kayıt Tabloları ve Grafikleri:

Renk toplamı:

Çizelge 3.10 ve şekil 3.68, yapılan 100 simülasyondan renk toplamı en yüksek değere sahip 10 simülasyonu göstermektedir. Örneğin, 42 numaralı simülasyon (tasarımcı başlat tuşuna bastıktan itibaren bilgisayar tarafından gerçekleştirilen 42. Geometrik durum denemesi) en yüksek renk toplamı değerini vermiştir.



Şekil 3.68 : En yüksek renk toplamına sahip olan simülasyonlar

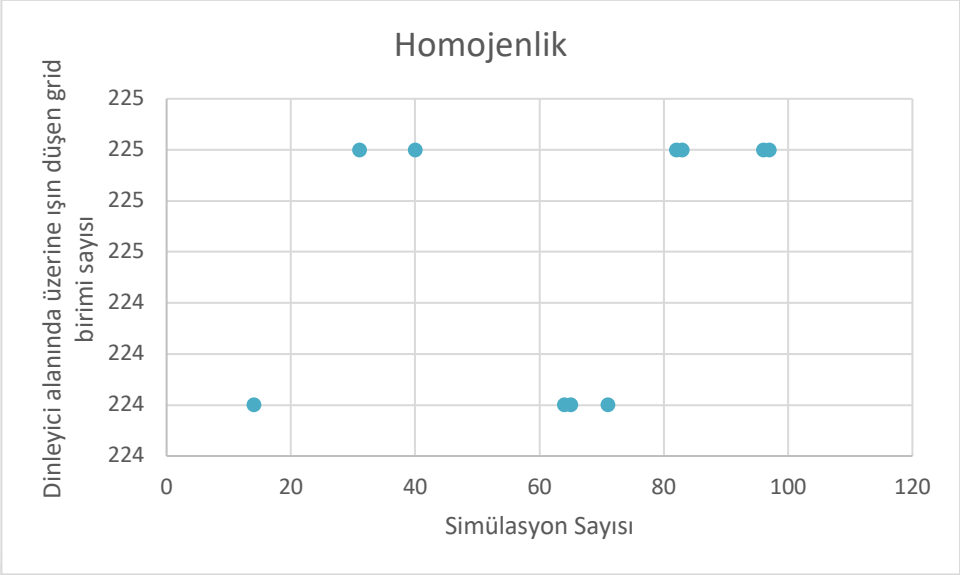
Çizelge 3.10 : En yüksek renk toplam değerlerinin kayıt tablosu

S.No	Panel 1	Panel 2	Renk toı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
42	0.4	0.1	138272	217	63	13.020219
46	0.4	0.5	137845	214	63	12.802715
66	0.6	0.5	137812	219	65	12.556533
49	0.4	0.8	136904	220	62	13.050347
45	0.4	0.4	135026	220	63	12.741511
44	0.4	0.3	134994	214	63	12.742159
64	0.6	0.3	134533	224	65	12.563413
65	0.6	0.4	132355	224	65	12.364941
70	0.6	0.9	132280	220	65	12.525103
69	0.6	0.8	132071	218	65	12.997776

Renk toplamı, panel açıları ile ilişkilendirilerek 10 farklı tasarım durumu karşılaştırıldığında, gerekli akustik koşulların sağlanabilmesi için salon akustiğini açısal olarak etkileyen en önemli panel, sahne üstünden itibaren ilk paneldir. Bu panel (panel 1) 0.4-0.6 radyan açısında, en olumlu konumda bulunmaktadır. İkinci panel 0.1-0.9 açıları arasında değişen farklı değerler alabilmektedir ve salonun akustiğini ilk panelden daha az etkilememektedir. Birinci panelin konumu 0.4 radyan, ikinci panelin konumu 0.1 radyan açılarda bulunduğunda, salondaki ses düzeyi en yüksek değere ulaşmaktadır. İkinci panel, 0.5 radyan açısında bulunduğunda, 46 ve 66 numaralı simülasyon değerlerinden anlaşılabileceği gibi, birinci panel 0.4 yada 0.6 radyan açılarında bulunmalıdır.

İlk panelin, işlevsel gereksinimlere göre (örneğin ışık, kamera, mikrofon vb. ekipman yerleşimi) 0.6 radyan açısında durması istenildiğini varsayalım, bu durumda, 64, 65, 66, 69 ve 70 numaralı simülasyon sonuçlarından yararlanılabilir. Salonun ses düzeyinin bu simülasyonlarda, 0.4 radyan konumuna göre daha düşük olmasına rağmen, homojenlik ve ortalama değerleri daha yüksektir. Ses daha homojen bir biçimde salona dağılmıştır yorumlarını tasarımcı yapabilecektir. Tasarımcı, hazırlanan kayıtlardan, homojenlik, ortalama ve standart sapma değerlerini de kontrol ederek tasarımını değiştirebilmekte, ya da çeşitli tasarım kararları verebilmektedir.

Homojenlik:



Şekil 3.69 : En yüksek homojenlik değerine sahip olan simülasyonlar

Şekil 3.69'da, çizelge 3.11'deki homojenlik kolonunun bilgileri görülmektedir. Yapılan testlerde, grid sistemi, 225 birimdir ve 31, 83, 96, 40, 82 ve 97 numaralı simülasyonlarda, tüm dinleyici alanı gridleri taranmıştır. Ses almayan ya da gölgede kalan alanlar, bu simülasyonlarda bulunmamaktadır. 14, 64, 65 ve 71 numaralı simülasyonlar da, yüksek performans göstermiştir.

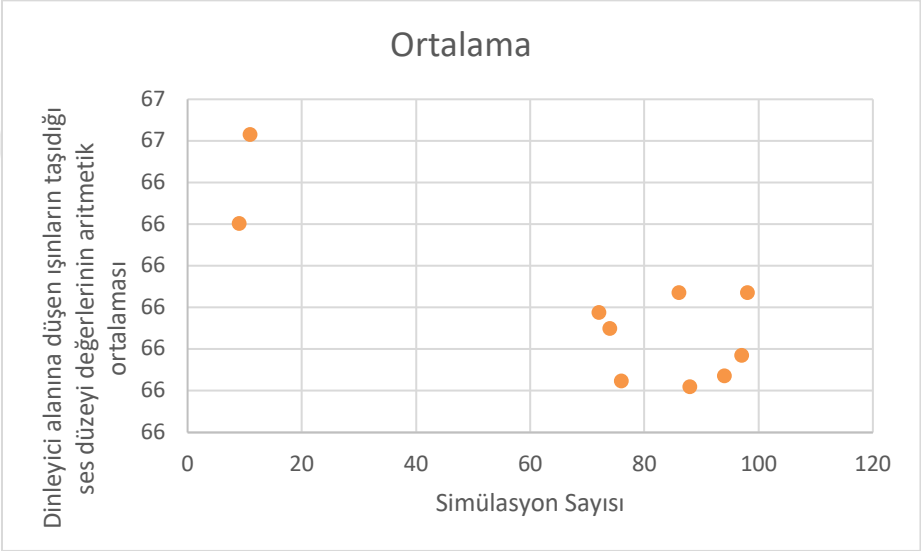
Çizelge 3.11 : En yüksek homojenlik değerlerinin kayıt tablosu

S.No	Panel 1	Panel 2	Renk toplamı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
31	0.2	0.0	113578	225	64	12.918065
83	0.8	0.2	120510	225	65	13.391136
96	0.9	0.5	111178	225	65	13.713516
40	0.3	0.9	110258	225	64	13.557203
82	0.8	0.1	123856	225	65	13.051496
97	0.9	0.6	105159	225	66	13.248912
14	0.1	0.3	111789	224	65	12.588471
64	0.6	0.3	134533	224	65	12.563413
65	0.6	0.4	132355	224	65	12.364941
71	0.6	0.0	131368	224	65	12.355861

En iyi homojenliğe sahip on panel konumunun, renk toplamında en iyi sonuç veren panel konumları ile aynı olmadığı görülmektedir. 0.4 radyan durumu için, homojenlik sonucu 0.6 radyan konumuna göre daha olumsuzdur. Bu durumda en iyi ses düzeyi ve homojenliğe sahip panel konumunun ilk panel için 0.6 radyan olduğu

belirlenebilmektedir. İkinci panel için renk tablosunda 0.3 radyan değerleri, homojenlik tablosunda 0.0 ve 0.3 radyan değerleri öne çıkmaktadır. Bu durumda kullanıcı, ilk panel için 0.4 ikinci panel için 0.3 radyan konumunu uygun bir durum olarak alabilmekte, el ile bu değerleri yazarak ve ışın sayısını çoğaltarak simülasyonu tekrar inceleyebilmektedir. Sonuç ses düzeyleri, tezde hazırlanan alt programda her yüzeyde detaylı olarak görülmektedir. Dinleyici alanına düşen ses düzeyi değerleri, harita ve üç boyutlu model olarak elde edilmektedir.

Ortalama:



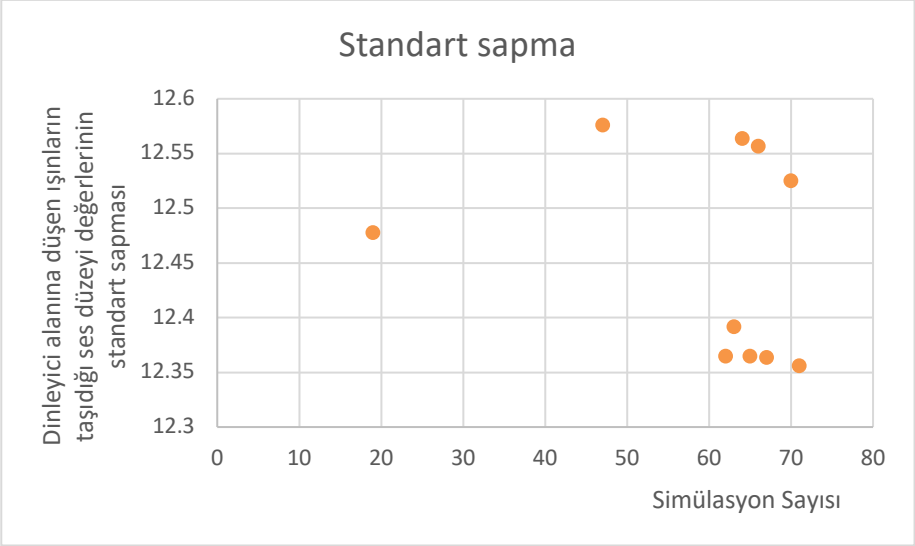
Şekil 3.70 : En yüksek ortalama değerine sahip olan simülasyonlar

Çizelge 3.12'deki ortalama değer kolonu, şekil 3.70'de grafik haline getirilmiştir. 11 numaralı simülasyonda, 1 dB daha yüksek olan ortalama ses düzeyi, 9, 98, 86, 72, 74,97, 94, 76 ve 88 numaralı simülasyonlarda 66 dB olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.12 : En yüksek ortalama değerinin kayıt tablosu.

S.No	Panel 1	Panel 2	Renk toplamı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
11	0.0	0.0	111081	204	67	13.325632
9	0.0	0.8	107780	212	66	13.14403
98	0.9	0.7	110474	220	66	13.464549
86	0.8	0.5	120898	219	66	13.200183
72	0.7	0.1	127093	222	66	12.929229
74	0.7	0.3	126796	223	66	12.81987
97	0.9	0.6	105159	225	66	13.248912
94	0.9	0.3	101760	219	66	13.271112
76	0.7	0.5	120826	216	66	12.825379
88	0.8	0.7	120480	221	66	13.268014

Standart sapma:



Şekil 3.71 : En olumlu standart sapma değerine sahip olan simülasyonlar

Çizelge 3.13 : En olumlu standart sapma değerlerinin kayıt tablosu

S.No	Panel 1	Panel 2	Renk toı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
71	0.6	0.0	131368	224	65	12.355861
67	0.6	0.6	131128	222	64	12.363593
62	0.6	0.1	131399	213	65	12.364906
65	0.6	0.4	132355	224	65	12.364941
63	0.6	0.2	128793	223	64	12.391837
19	0.1	0.8	108237	204	65	12.4778
70	0.6	0.9	132280	220	65	12.525103
66	0.6	0.5	137812	219	65	12.556533
64	0.6	0.3	134533	224	65	12.563413
47	0.4	0.6	130849	219	62	12.575939

Bu salonda, verilen değişkenlere göre sonuçlar yorumlandığında, tasarımcı öncelikle 100 simülasyonda, salonda düşük ses düzeyinin elde edildiği ve etkin akustik dağılımın sağlanamadığı 60 üzeri simülasyonun gösterdiği olumsuz tasarım olasılıklarını planlamasından çıkarmıştır ve ilerleme yönünü akustik performansa göre bulmuştur (Bu durum, bu noktada karmaşık gibi görünse de, 60 olumsuz durumun veri kayıdının bulunması ile ileride benzer özelliklerdeki bir salonda simülasyon yapmadan soncun bulunmasına da olanak sunmaktadır). Sonrasında, belirlediği dört kritere göre, salonda en yüksek değerleri veren tasarım durumlarını, sonuç tablolarından incelemiştir. Çizelgelerde renk toplamı değerine bakıldığında, ilk iki paneli ifade eden panel 1 grubunun 0.4 ve 0.6 radyan açısında en olumlu konumda olduğunu anlamıştır. İkinci panelin açısının, salon akustiğinde ses düzeyini, özellikle kaynaktan çıkan ve

ilk yansımaları gerçekleştiren ses ışınları incelendiğinde ve renk tablosundaki farklı radyan açılarına da bakarak 1. Panele oranla daha az etkilediğini anlamıştır. Salon homojenliğini, etkin dağılımını incelemiştir. En yüksek homojenlik değerinin görüldüğü tabloda, 1. Panel için 0.6 radyan değerinin 0.4'e göre daha yüksek performans gösterdiğini bulmuştur. İkinci panel için, renk toplamı ve homojenlik sonuçlarının ikisinde de yer alan bir değeri bulmak, ikinci panel konumunu belirlemek için uygulanabilecek bir yöntemdir. Tezde renk toplamı ya da homojenlik olarak isimlendirilen kriterler, başka bir tasarımda, akustik parametrelerden erken düşme süresi ve netlik karşılaştırmaları olabilecektir. Çizelge 3.10'da en yüksek değere sahip 7. Sırada bulunan, 64. simülasyonun sonuçlarında panel 1, 0.6, panel 2, 0.3 radyan konumundadır. Bu tasarım durumu, çizelge 3.11'de 8. sırada, çizelge 3.13'te standart sapma değerinin 9. en iyi simülasyon sıralamasında olduğu görülmektedir. Salonda, sadece renk toplamı ve homojenlik kriterlerinin önemli olduğunu düşünen tasarımcı, bu kriter sonuçlarına göre ilerler. Tüm parametreleri önemsediğinde, tüm kriterleri değerlendirmelidir. Bu örnekte, standart sapma hesaplamada yardımcı bir değer olarak kullanılmıştır. Standart sapma değerlendirmelerinde, değer ne kadar küçükse sonuç o kadar olumlu kabul edilmektedir. Akustik olarak, her bir dinleyicinin duyduğu ses düzeyinin birbirinden farklılığının az olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle, 0.6, 0.3 radyan kombinasyonunda bulunan açıların standart sapma tablosunda da bulunması beklenen bir sonuçtur ve çizelge 3.13'te görülmektedir. Eğer bu değer en iyi standart sapma tablosunda bulunmasaydı, tasarımcı bu durumun, beklenmeyen bir sonuç olması nedeniyle, nedenini araştırmak için tekrar simülasyon yapabilir, mimari modeli inceleyebilir ya da 100 simülasyon sonucunun bulunduğu tabloya bakarak yorumlamalar yapabilir. Sonuçlarda belirtilen kombinasyon olmasaydı, ses almayan bir bölgenin olduğu, ya da standart sapmayı etkileyecek bir ses düzeyi farkının tasarımında bulunduğunu anlayabilecekti. Bu durumda, tasarımın güncellenmesi gerekebilecektir. Bu test salonunda, standart sapma tablosunda da belirtilen kombinasyon bulunduğu için güncellemeye gerek görülmemiştir.

Yukarıdaki anlatılanlardan anlaşılabileceği gibi, değerlendirme kriterleri olarak seçilen ağırlıklı renk toplamı, homojenlik, ortalama ve standart sapma değerleri farklı açı durumlarına göre karşılaştırılmıştır. Tasarımcı, kodu geliştirerek farklı kriterler ekleyebilecektir. Hazırlanan algoritmik yöntemin farklı biçimlerde, farklı kriter değerlendirmelerinde ya da aynı kriterlerin farklı hesaplanma biçimleri ile salonda

uygun akustik koşulları sağlayabilmek için kullanılabileceği düşünülmektedir. Sayısal değerlerden (akustik parametrelerin değerleri) bağımsız bir biçimde (sayısal değerler ve aralıklar yerine en yüksek, en düşük değerler, var olan ya da olmayan vb. karşılaştırmalı yorumlanması) ya da gerçek değerleri ile (gerçek ses düzeyi değerleri ve istediği parametrelerin değerlerini girerek) tasarım değerlendirilebilecektir. Tasarımcı, hangi tasarımda? tasarım, hangi yöne ilerlediğinde? vb. soruların cevapları ile ilerlemelidir.

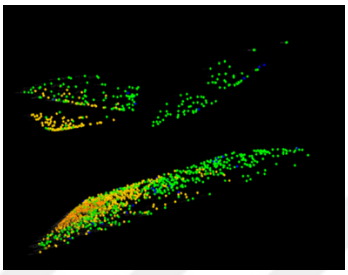
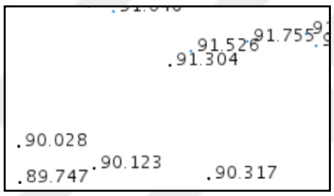
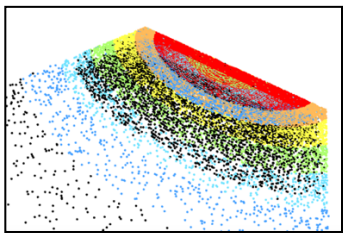
3.4.7 Alt Program

Simülasyonlar boyunca, metin dosyasına kayıt edilen ses düzeyi koordinatlarını görselleştirmek üzere, tez süresince yazılarak, özgün bir alt program hazırlanmıştır. Salonda kayıt altına alınan değerler, görsel olarak da yorumlanabilmektedir. Olası tüm tasarım durumları değerlendirildiği için, tüm sonuçlar grafik haline dönüştürülmemekte, seçilen tasarım durumu dönüştürülmektedir. Diğer değerlendirmeler ise metin dosyası olarak tutulmaktadır. Alt programa verilmek için hazırlanan metin dosyası kayıtları ekte çizelge 5.6'da görülmektedir.

Üç boyutlu aktif simülasyon programının kodlanmasına benzer bir biçimde, tasarlanan program, tasarımcıya, belirlenen yüzeylerle yapılan kesişimlerde hangi ses düzeyi değerleri elde edildiğini sunmaktadır. Akustik araştırmalarda genellikle, detaylı akustik değerler elde edilmesi istenilmektedir. Bu nedenle, tüm kesişimlerin model içinde görünebileceği bir program tasarlanmıştır. Tasarımcı, üç boyutlu bir model haline getirilen ses düzeylerini, salon yüzeylerinde salonun içine girerek inceleyebilmektedir. Kendi belirlediği şekillerde bu değerlerleri toplayıp çıkarabilmekte ya da işlem yapabilmektedir. Tezde tasarımcının bu çalışmaları yapabilmesi için, bir altyapı hazırlanmıştır. Şekil 3.72'de görülen tüm görseller, alt programda oluşturulmuştur. 1 numaralı satırdaki görseller, ses düzeylerinin gösterildiği üç boyutlu modelden alınmıştır. Tasarımcı bu modelin içine girerek, isterse panellerde isterse salonun çeşitli kıvrımlarında, balkon altlarında, platform kenarlarında vb. noktalarda (tasarlanan salonlar salon 4'e göre çok daha detaylı mimari birimlere sahip olabilmektedir) hangi değerlerin bulunduğunu görebilmektedir. Tasarımcı, alt programdaki modele yaklaştığında, şekil 3.72'de 2. satırda bulunan düzey değerlerini görmektedir. Ses düzeylerinden oluşan modelde, fare ile gezinilebilmekte, yaklaşma, uzaklaşma, küçültme, büyütme, 360 derece döndürme

işlemleri yapılabilmektedir. Başka bir akustik programla sonuçların karşılaştırılabilmesi için, model özelliği alt programda kapatılarak ses düzeyleri sadece dinleyici alanı bölgesinde görülecek ve bir harita oluşturabilecek şekilde kodda düzenlemeler yapılmıştır (şekil 3.72'nin 3. satırında düzenleme sonrası görsel görülmektedir). Alt programdan alınan çeşitli görseller, tezin ek bölümünde şekil 5.7 ve şekil 5.9'da görülmektedir.

Alt program görselleri:

1	
2	
3	

Şekil 3.72 : Alt program örnek görselleri

Alt programda, modelde tasarımcının belirlediği yüzeylere düşen ses düzeyleri farklı renklerle ya da yazı ile belirtilmiştir. Tasarımcı, görmek istediği yüzeyi parçalara ayırarak ya da ses düzeylerinin renk skalasını değiştirerek, elde etmek istediği bölgeleri seçerek çıktıları alabilmektedir. Arkaplan rengi, yazı biçimi gibi özellikler değiştirilebilmektedir. Ses düzeylerinin yazı ile görünür olması gibi çeşitli özellikler açılıp kapatılabilecek bir biçimde tasarlanmıştır. Bu modüllerden yararlanma biçimi, tasarımcının önerilen yöntem ile nasıl çalıştığına bağlı olarak değişmektedir.

3.5 Önerilen Yöntemin Sınanması

Önerilen yöntemde, akustik parametrelerin çıktı olarak alınması ya da hesaplanması öncelikli amaç değildir. Yöntemin uygulanabilmesi için hazırlanan programın, akustik işlevli salonlarda ve akustik tasarımda kullanılabilirliği için, belirli geometrik durumların verdiği sonuçlar, geçerliliği kanıtlanmış olan Odeon programının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Odeon programı ile karşılaştırılmak üzere salon 4 ve salon 2 seçilmiştir. Dinleyici alanı, 1/2 m^2'lik birimlere ayrılmıştır. Sayaç karşılaştırmalarda reverberasyon süresi sabit tutulacağı için kapatılmıştır. Olasılık hesaplarına göre, tüm olasılıkları deneyen modül kapatılmıştır. Tek bir geometrik duruma göre simülasyon yapan bölüm ile çalışılmıştır. Bir geometrik duruma göre simülasyon yapılsa da, model değişiklikleri çizilmemiştir. Yazılarak tanımlanmıştır. Geometri, algoritmaya yazılan miktar ve özelliğe göre bilgisayara ürettirilmiştir.

Salon 2'nin panelsiz, panellerin düz durduğu, sahne üzerinden itibaren ilk panelin 30 derece açılı durduğu 3 farklı durumun ve salon 4'ün panelsiz, panellerin düz durduğu, sahne üzerinden itibaren iki panelin 30 derece açılı durduğu ve çok panelli olmak üzere 4 farklı, toplam 7 geometrik durumun ışın tarama simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, harita, parametre ve değerlerin tümünün, hesaplama modeli farklılıkları nedeni ile birbiri ile tam olarak çakışmasının mümkün olmadığı göz önünde bulundurulmuştur. Karşılaştırmalarda, öncelikle ses düzeyi harita sonuçları ve veri tablolarındaki sayısal değerler değerlendirilmiştir. Değerlerden sonra da, yöntemlerin çalışma biçimleri ve çeşitli durumlarda geçen süreler karşılaştırılmıştır.

Üç boyutlu aktif simülasyon programında tüm model çizilmemektedir. Odeon programına, tüm model hazırlanmalıdır. Bu nedenle, aynı geometrik durumu oluşturacak şekilde (her iki salonda üretilen panellerle birlikte), mimari bir modelleme programında (*Sketchup*) tasarımlar modellenmiştir. Sonrasında 7 tasarım olasılığını gösteren geometrik durumlar, ayrı model dosyaları olarak Odeon programına aktarılmıştır. Gerçekleştirilen karşılaştırmalarda, salonun reverberasyon süresi değeri, grid boyutları, yüzeylerdeki malzeme yutuculukları, kaynak konumu ve özellikleri (*omni:* enerji dağılımının her yöne aynı derecede bulunduğu), kaynağın ses düzeyi, ışın sayısı, malzemelerin yutuculuk değerleri iki programda da aynı değerlerde

seçilerek sabit tutulmuştur. Aşağıda çizelge 3.14'te yüzeylere atanan yutuculuk katsayıları görülmektedir.

Çizelge 3.14: Karşılaştırmalarda yüzeylere atanan yutuculuk katsayıları

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Salon	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Dinleyici alanı	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Panel	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Odeon programının kod strüktürüne müdahale edilemediği için, yazılımda var olan seçenekler kullanılmıştır. Odeon programında erken ve geç yansımaların düzeni, *transition order* değerinin seçimi ile hesaplanmakta ve görselleştirilmektedir. Bu değer, 0 seçilmiştir. Rindel ve Naylor, bu değerin oda geometrisinin karmaşıklığı ile ilgili olduğunu belirtmektedir. Odanın karmaşık bir geometriye sahip olması durumunda en düşük değerin seçilmesi gerektiğini önermektedir. Bu değerin 4 gibi yüksek seçilmesinden eko ve benzeri geç yansımalarla ilgili olan araştırmalar dışında kaçınılması gerektiğini belirtmiştir.

Çeşitli durumlarda sonuçların, seçilen geçiş düzenine daha duyarlı olmasının Odeon yazılım modelinin zayıf noktası olduğunu belitilmektedir (Naylor, Rindel, 1992). Odeon yazılımının kodlarına ulaşılamadığı için, program bu düzenlemeyi nasıl yaptığı elde edilememiştir. Değerin yükseldikçe eko araştırmalarında kullanılabildiği, düşük seçilince, karmaşık geometrilerde uygun sonuçları vermesi bilgisinden, programın, bu geç yansımaları hesaplamadığı ya da sonuç haritasından çıkardığı tahmin edilmiştir. Bu nedenle, üç boyutlu aktif simülasyon programından alınan görsellerde bulunan yüksek ses düzeyi belirten kırmızı noktalar üzerindeki düşük düzeyli geç yansımaları belirten siyah noktalar göz ardı edilerek karşılaştırmalar yorumlanmıştır.

Dinleyici alanına tanımlanan grid, her iki programda da 50 cm x 50 cm karelerden oluşmaktadır. Salonların Odeon için hazırlanan modellerinde alıcı noktası, aşağıda şekil 3.73, 3.74, 3.75, 3.76, 3.77, 3.78, 3.79'da "1" olarak görülmektedir. Görsellerde "P1" noktası, ses kaynağını ifade etmektedir. İki programda da kaynak aynı koordinatta bulunmaktadır. Üç boyutlu simülasyon programında, monte carlo yöntemi ile çok sayıda ışın gönderildiği için, tüm alıcı noktaları aynı anda hesaplanmaktadır. Tasarımcı, istediğinde alıcı noktası tanımlayarak, sadece bu nokta üzerinde ya da

dinleyici alanının bir bölümü üzerinde de çalışmayı tercih edebilmektedir. Bu durumda, ilgili kod satırı kapatılarak ya da tüm alıcıların değil, belirli alıcıların görselleştirilmesi konusunda komut verilerek işlem yapılmalıdır. Mimari modellerin Odeon programına hazırlanması için 2 numaralı salonda yer alan üç panelin ikisinin, 4 numaralı salonda yer alan dört panelin ikisinin, ve çok panelli durumda biri hariç tüm diğer panellerin modellenmesi ve açılarının karşılaştırma için hazır duruma getirilmesi *Sketchup* programında gerçekleştirilmiştir. Tüm gruplanan birimler, Odeon programının okuyabilmesi için yüzey haline getirilmiştir.

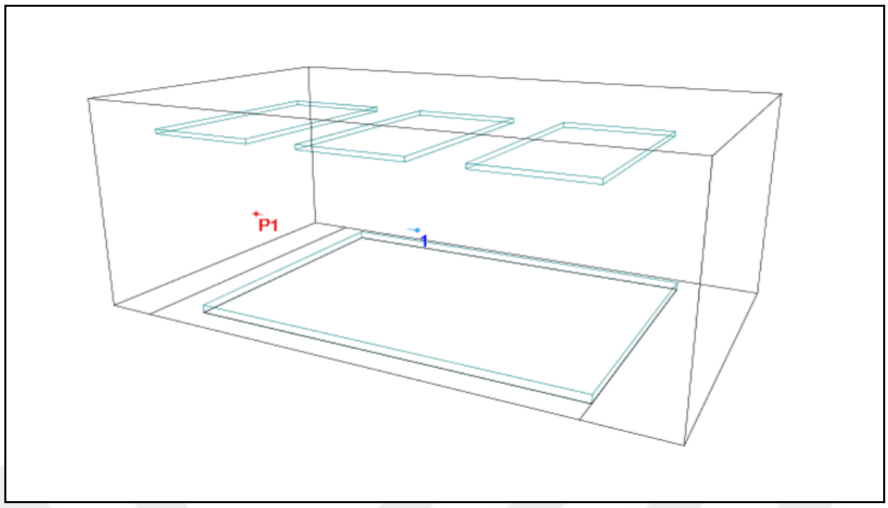
3.5.1 Karşılaştırmalar:

İki programda da, renkli noktalar ya da bir araya getirilerek oluşturdukları bölgeler, belirli aralıklarda ses düzeylerini ifade etmektedir. Ses düzeyleri değerleri, görsellerinin yanında bulunmaktadır. Öncelikle ses düzeyi haritaları karşılaştırılmıştır. Sonrasında, veri kayıtlarında elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Sonuç değerlerin sağlanmasından sonra, yöntem işleyişi ve süre açılarından karşılaştırılmalar yapılmıştır.

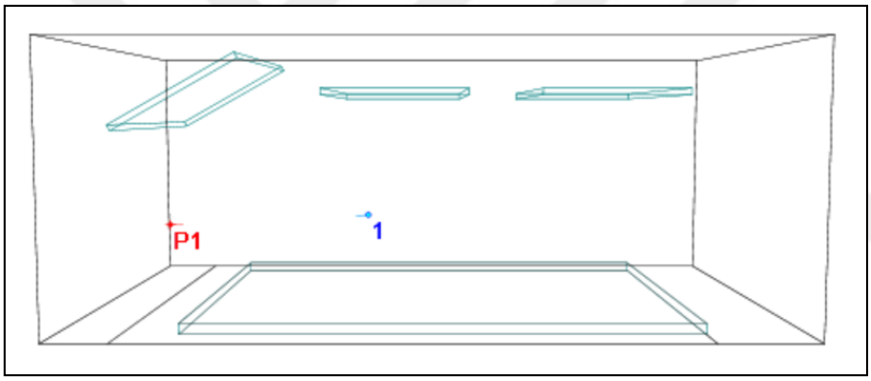
Salon 2'nin şekil 3.34'te mimari modeli ve 3.35'te üç boyutlu aktif simülasyon programında üretilen farklı bir biçimi görülmektedir. Aşağıda şekil 3.73, 3.74 ve 3.75'te, yeni testlerin yapılabilmesi için, panel boyutu ve sayısı değiştirilmiştir. Bu değişiklik, önerilen yöntemle kodun ilgili değişkenlerine, uzunluk ve sayısal değer girerek tanımlanmıştır. Şekil 3.76, 3.77, 3.78 ve 3.79 salon 4 modelinden geliştirilmiştir. Şekil 3.78'de olduğu gibi çok panelli durum, benzer şekilde önerilen yöntemle koda yazı ile tanımlanarak elde edilmiştir. Panel sayısı 10'a çıkartılarak paneller küçültülmüştür ve salonda farklı bir yerleşimde bulunmaktadır. İki salonun da, panelsiz durumunun modeli aşağıda şekil 3.75 ve 3.79'da görülmektedir.

Karşılaştırılan salonların görselleri:

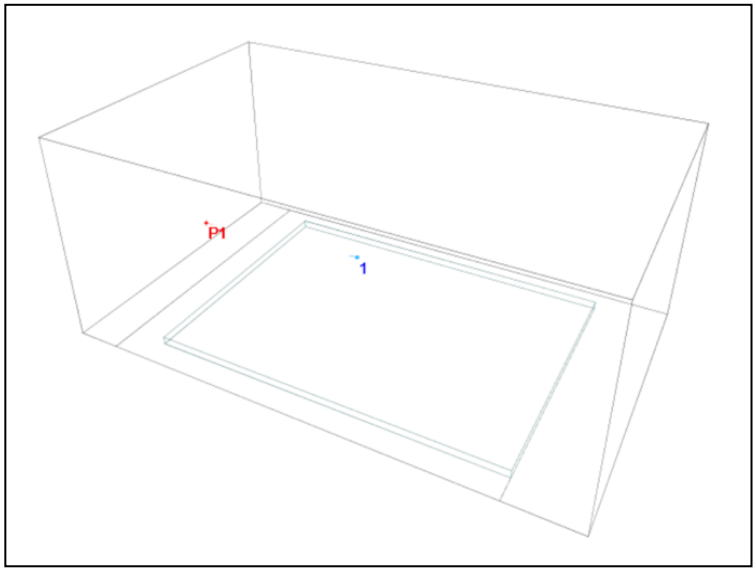
Salon 2:



Şekil 3.73: Salon 2 panellerin tümünün düz olduğu geometrik durum

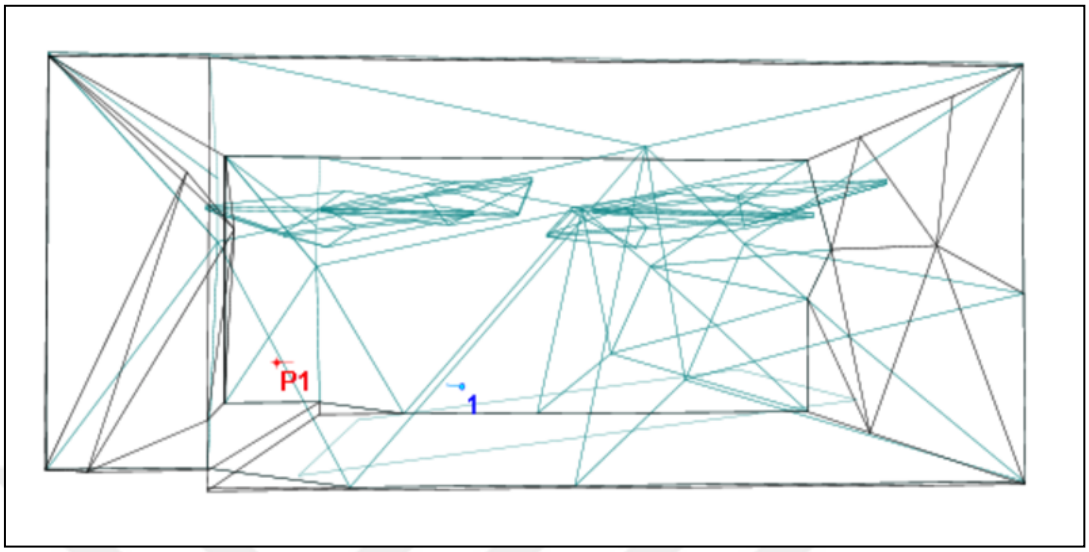


Şekil 3.74: Salon 2 ilk panelin 30 derece açılı bulunduğu geometrik durum



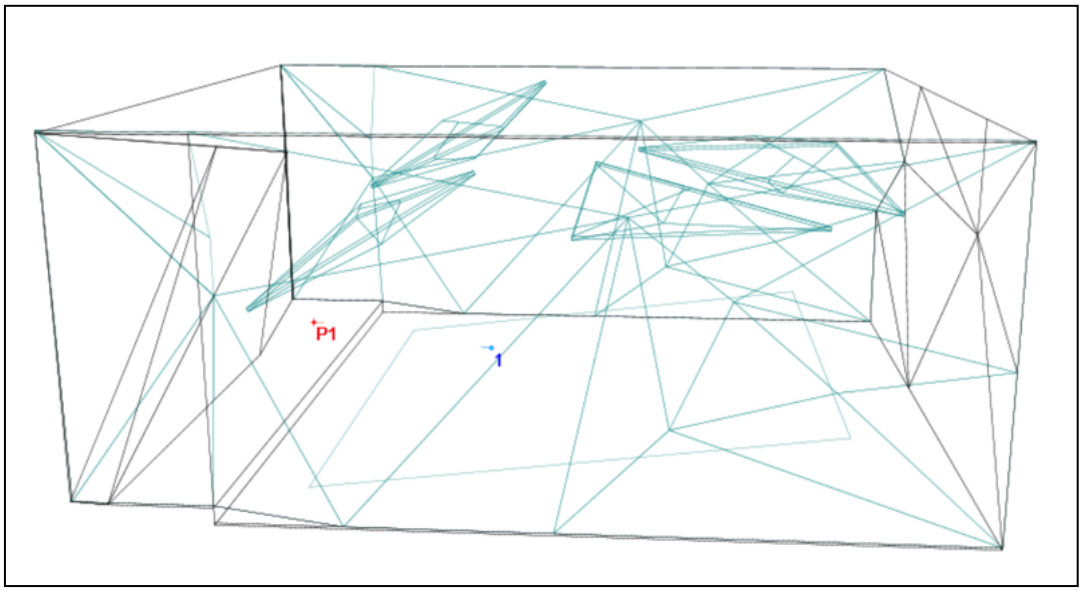
Şekil 3.75: Salon 2 panelsiz geometrik durum

Salon 4:

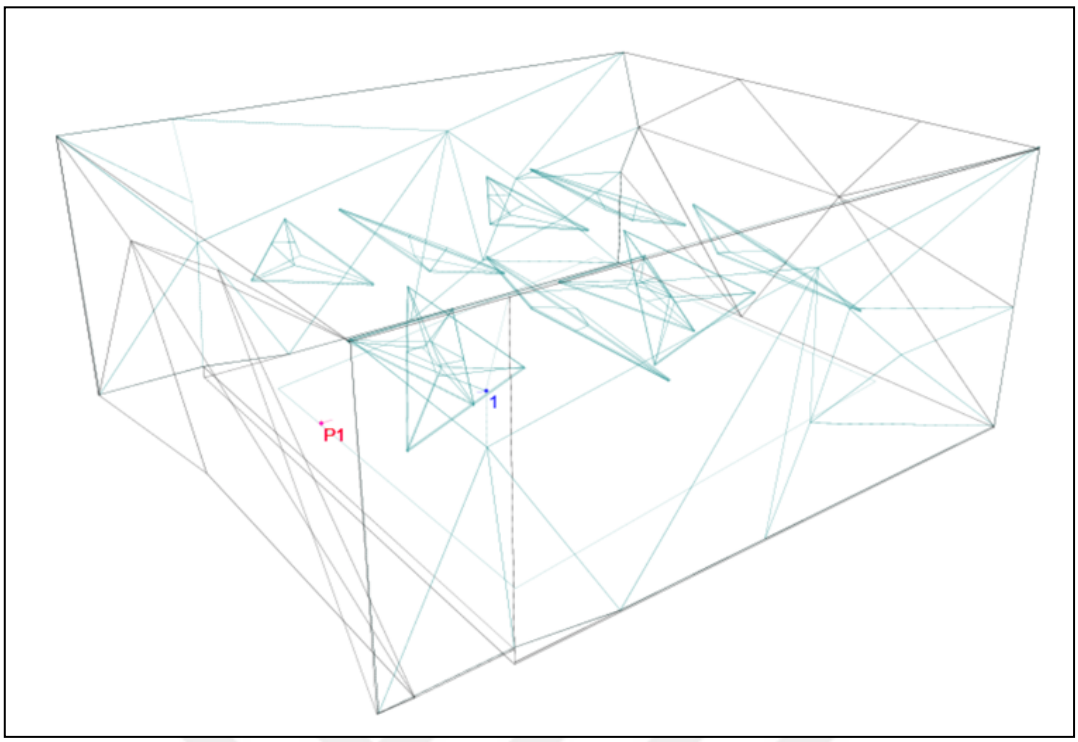


Şekil 3.76: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durum

Şekil 3.76'da salon 4'te bulunan 4 panelin de düz durumda olduğu görülmektedir. Şekil 3.77'de ise sahne üstünden itibaren ilk iki panelin (değerlendirmede gruplandığı için panel 1'in) açılı durduğu görülmektedir.

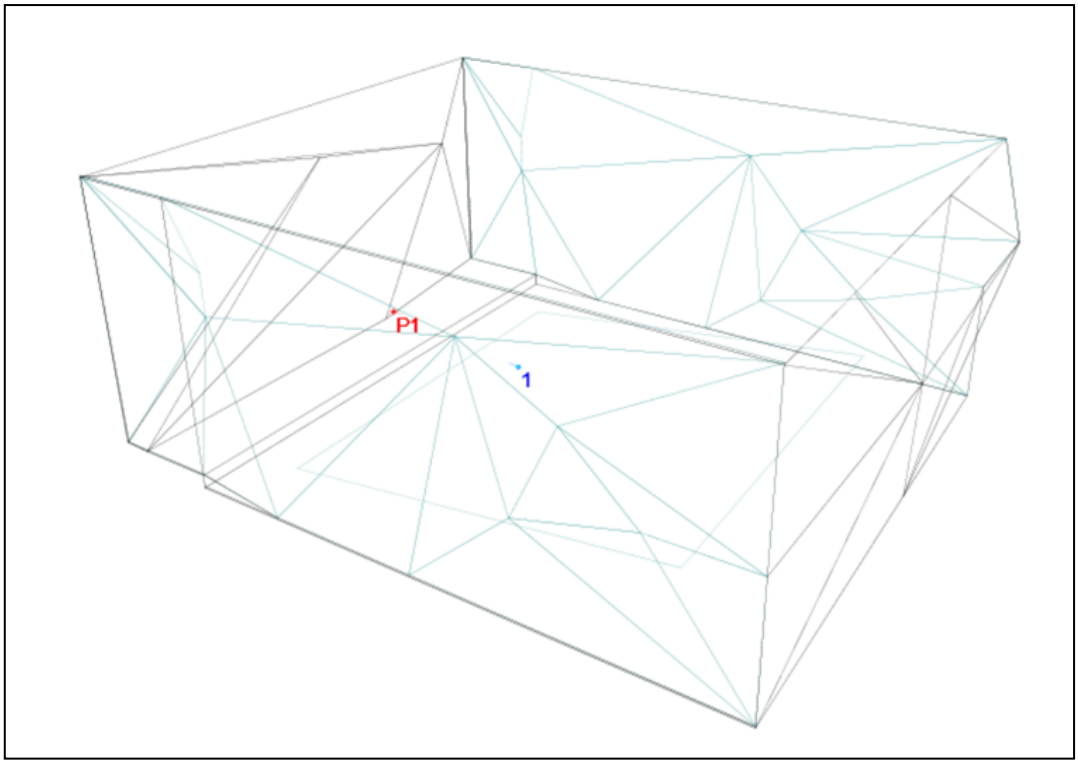


Şekil 3.77: Salon 4 ilk iki panelin 30 derece açılı olduğu geometrik durum



Şekil 3.78: Salon 4 çok panelli geometrik durum

Salon 4'te bulunan 1 panelin 10 panel olacak şekilde salona farklı açılarda dağılmış geometrik durumu şekil 3.78'de görülmektedir. Şekil 3.79, salon 4'ün panelsiz durumunu ifade etmektedir.



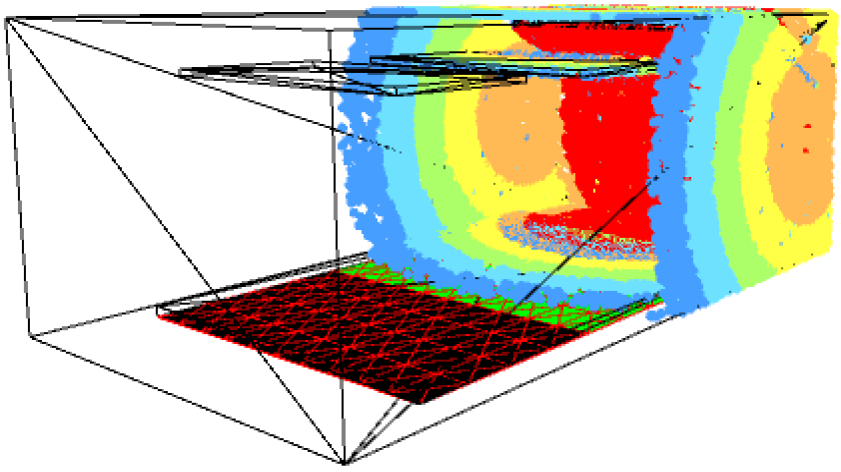
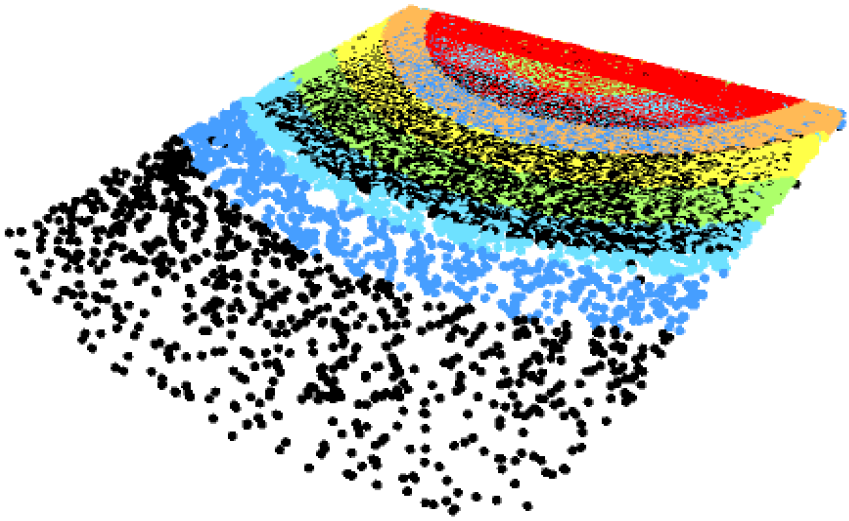
Şekil 3.79: Salon 4 panelsiz geometrik durum

Odeon programında salon geometrisi de sonuçlarda görselleştirilmektedir. Üç boyutlu aktif simülasyon alt programında ise salon geometrisi, simülasyonlar sırasında görselleştirilir. Alt programda görselleştirilmez. Bu durum, çizelge 3.15 ve 3.16'da incelenebilmektedir. Alt programda oluşturulan haritalarda görülen, kırmızı bölge üzerindeki mavi noktalar, belirtilen süre içinde gecikmiş yansımalardan kaynaklanan ses düzeylerini göstermektedir.

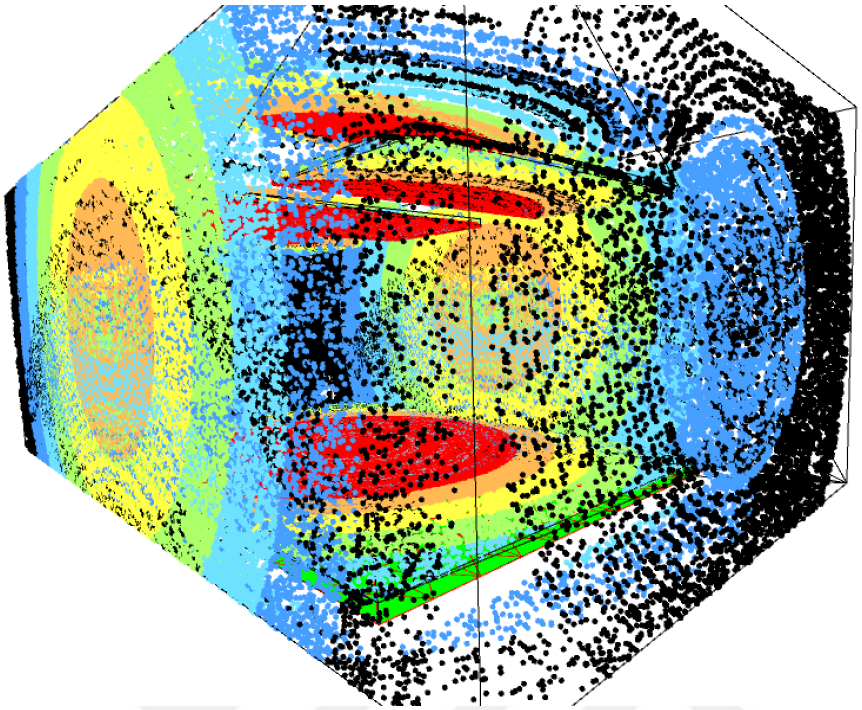
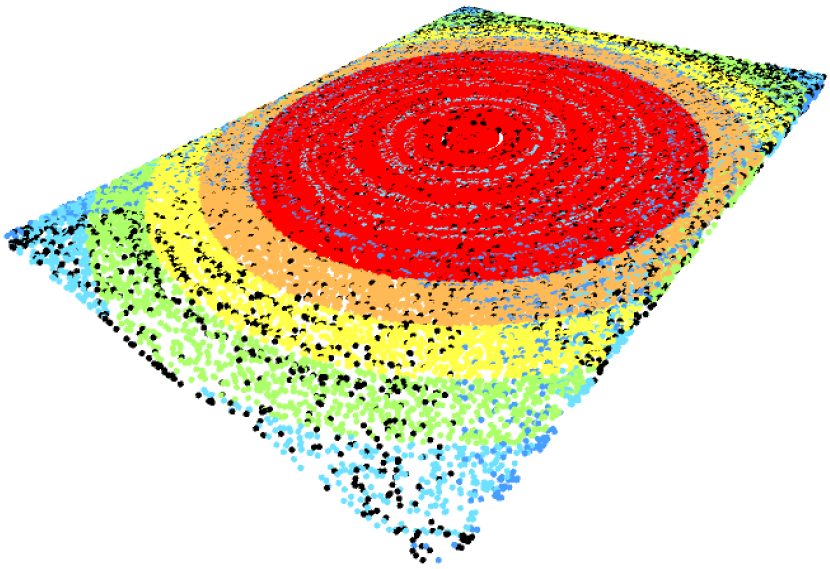
Simülasyonlar sırasında, sesi temsil eden noktaların salon geometrisi içerisinde ilerleyişi ve hareketleri takip edilmiştir. Bilgisayar ekranı ikiye bölünmüştür ve simülasyon izlenilmiştir. Grafik farklılıkları nedeniyle karşılaştırmaların, üç boyutlu simülasyon programı ve alt programının bir arada takip edilerek yorumlanması uygundur. Alt programda geç yansımaların incelenmesi istenilmiyorsa tasarımcı belirli bir süre sonunda klavyenin "q" tuşuna basmalıdır. Yazılım modelinin bu şekilde tasarlanması, akustik araştırmalara erken ve geç yansımalarla ilgili veri sağlamak üzeredir. Yansıma sırası, simülasyon süresi vb. değerler tasarımcının kontrolündedir. Karşılaştırmalarda, reverberasyon süresi iki programda da aynı olduğu için simülasyon bitişi beklenilmiştir.

Çizelge 3.15'te elde edilen düzeylerin, alt programda ses haritası biçimine getirilmiş görselleri görülmektedir. Kaynak koordinatının değişiminde yaşanan etkilerin öğrenilebilmesi için, kaynak konumu değiştirilerek de simülasyon ve alt programından alınan veriler incelenmiştir. Bu durumun sonuçları da, çizelge 3.16'da görülmektedir. Şekil 3.80-93 arasında, karşılaştırma görselleri görülmektedir. Karşılaştırmalarda, ışın sayısı iki programda da eşit gönderildiği için (Odeon'un yazılım modeli nedeni ile çok ışın gönderilmesi uygun olmayabilmektedir), çizelge 3.15 ve 3.16'da görülen görsellere göre, alt programdan alınan ses düzeyi haritalarında daha az ışın görülmektedir. Simülasyonlardan alınan, ışın sayısı yükseltilmiş sıralı görseller, tezin ek bölümünde şekil 5.10'da görülmektedir.

Tanımlama değerlerinin, akustikte farklı frekans bantlarında olması, bas frekansların yorumlanmasında farklı bilgisayar modelleri tercih edilebilmesi nedeniyle, mimari akustikte kullanılan, Odeon Programı'nda 500 ve 1000 Hz oktav bantlarının sonuçlarını aritmetik bir biçimde toplayarak ortalamasını alan ses basınç düzeyi SPL (*average*) parametresi uygun bulunarak karşılaştırmalarda yorumlanmıştır.

Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Sırasında Alınan Örnek Anlık Ekran Görüntüsü

Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Alt Programdan Alınan Örnek Dinleyici Alanı Ses Düzeyi Haritası


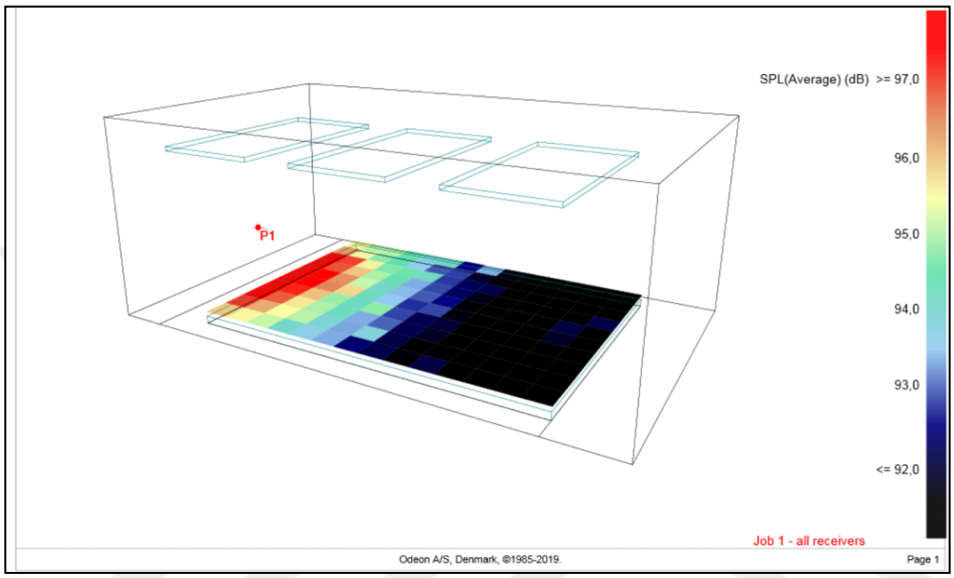
Çizelge 3.15 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programından ve alt programdan alınan görseller-Ses kaynağı sahnede

Kaynak konumunun değiştirilmesi ile elde edilen anlık ekran görüntüsü

Kaynak Konumunun Değiştirilmesiyle Elde Edilen Dinleyici Alanı Ses Düzeyi Haritası


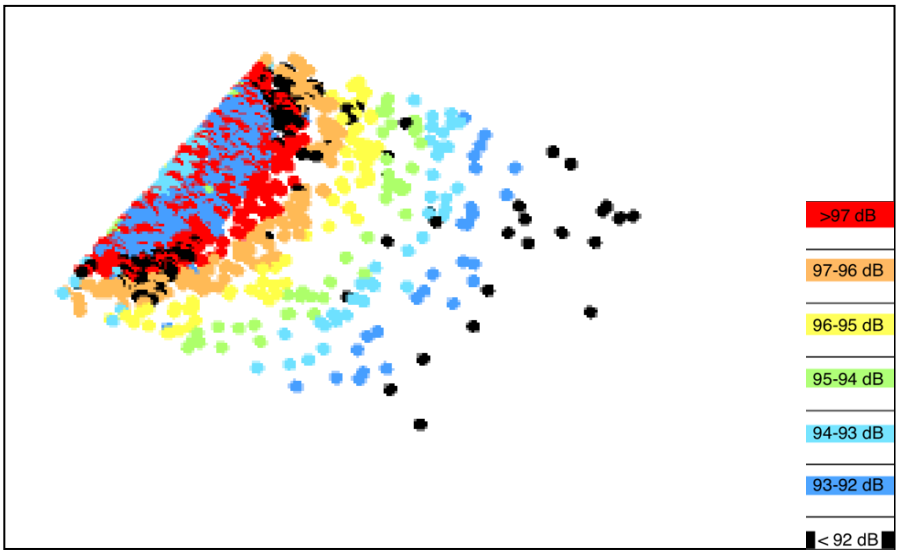
Çizelge 3.16: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programından ve alt programdan alınan görseller-Ses kaynağı ortada

3.5.1.1 **Salon 2 panellerin düz olduğu durum karşılaştırması**

Renklerin üç boyutlu aktif simülasyon programında koda tanımlanış biçimi şekil 3.39'da gösterilmiştir. Şekil 3.81'de yer alan görsel, salonun dinleyici alanı üzerinden alınmıştır. İki programın verdiği sonuçların sayısal değerleri, 97-92 dB aralığında, tam olarak aynıdır. Dinleyici alanında elde edilen haritanın dokusu, alan genelinde birbirine çok yakındır. Tekli dinleyici noktalarında farklılıklar görülmektedir.



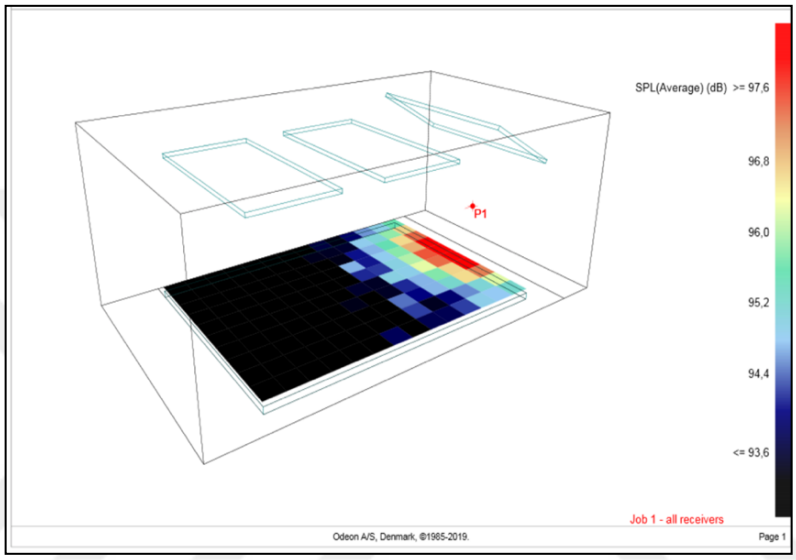
Şekil 3.80: Salon 2, panellerin düz olduğu durum, Odeon Programı'ndan alınan sonuç



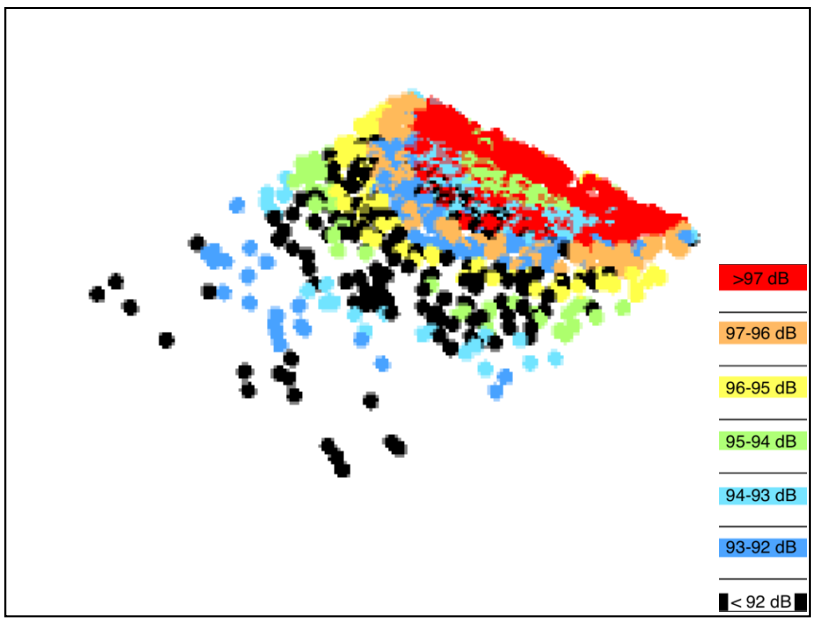
Şekil 3.81: Salon 2, panellerin düz olduğu durum, Üç Boyutlu Simülasyon Alt Programından alınan sonuç

3.5.1.2 **Salon 2 panellerin açılı olduğu durum karşılaştırması**

Salon 2 açılı durumda, Odeon Programı'nda simülasyon sonuçlarınna göre elde edilen renklerin ifade ettiği ses düzeyi aralıkları, 97.6 dB ve üstü kırmızı, 96- 97.6 dB arası sarı veya turuncu, 94-96 dB arası mavi veya yeşil, 93.6 dB ve altı ses düzeyleri siyahtır. Ses düzeyinde 0.6 dB farkla, üç boyutlu aktif simülasyon programında elde edilen sonuçlarda 97 dB üstü, kırmızı, 95-97 dB sarı veya turuncu, 93-95 dB mavi veya yeşil, 93 dB ve altı, siyahtır.



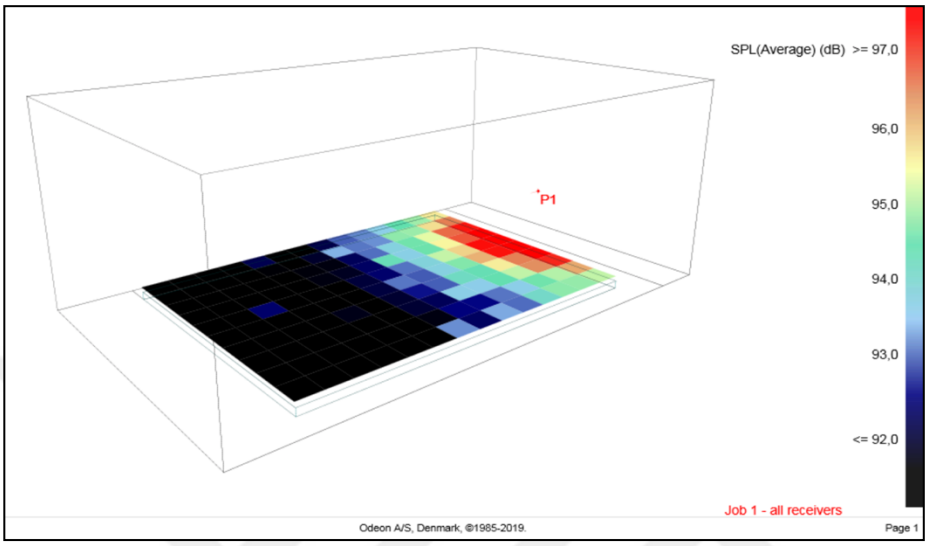
Şekil 3.82: Salon 2, ilk panelin 30 derece açılı olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç ekran görüntüsü



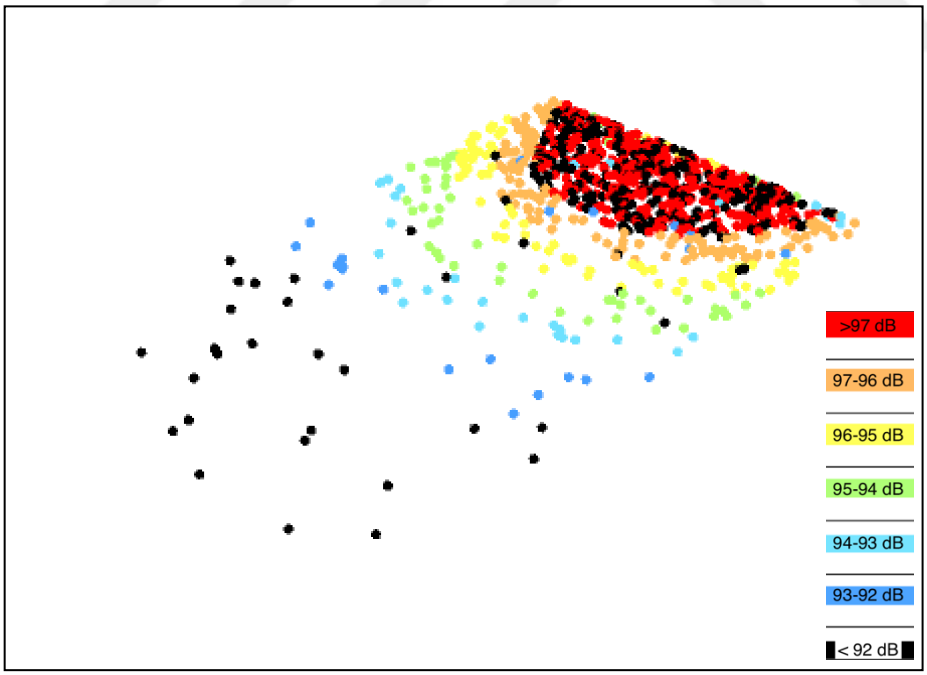
Şekil 3.83: Salon 2, ilk panelin 30 derece açılı olduğu durum, Üç Boyutlu Simülasyon Program'ndan alınan sonuç

3.5.1.3 **Salon 2 panelsiz durum karşılaştırması**

İki programın verdiği sonuçların sayısal değerleri, tam olarak aynıdır. Dinleyici alanında elde edilen haritanın dokusu, alan genelinde birbirine çok yakındır. Tekli dinleyici noktalarında farklılıklar görülmektedir.



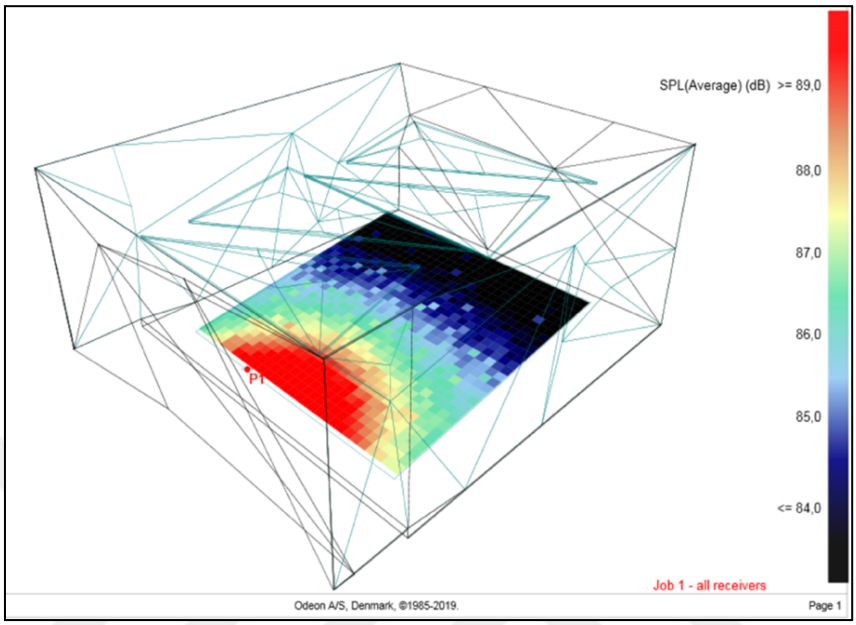
Şekil 3.84: Salon 2, panelsiz durum, Odeon Program'ndan alınan sonuç



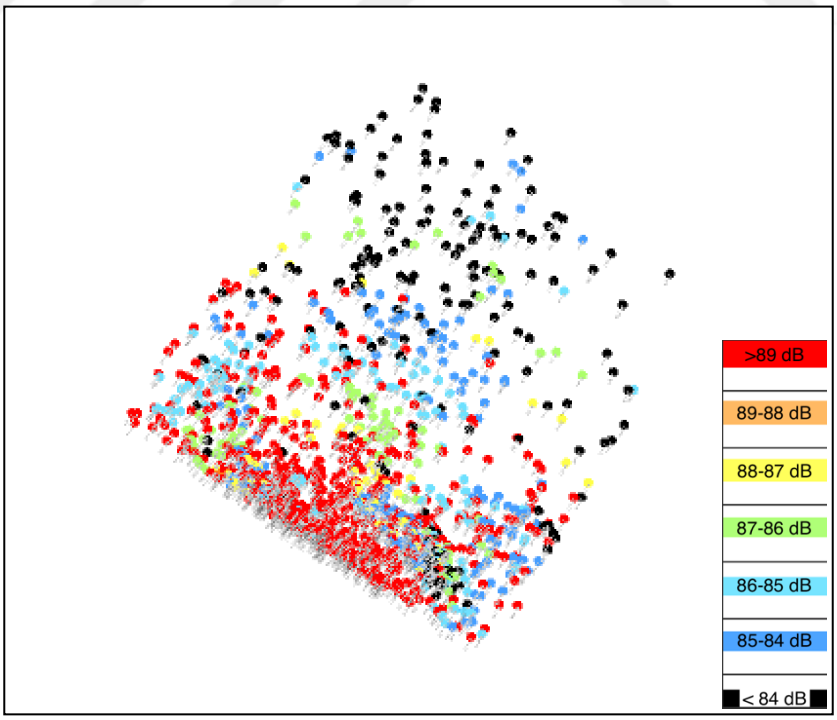
Şekil 3.85: Salon 2, panelsiz durum, Üç Boyutlu Simülasyon Program'ndan alınan sonuç

3.5.1.4 **Salon 4 panellerin düz olduğu durum karşılaştırması**

Simülasyon sonuçlarınna göre elde edilen renklerin ifade ettiği ses düzeyi aralıkları iki programda da, 89 dB ve üstü kırmızı, 87-89 dB sarı veya turuncu, 85-87 dB arası mavi veya yeşil, 84 dB ve altı ses düzeyleri siyahtır.



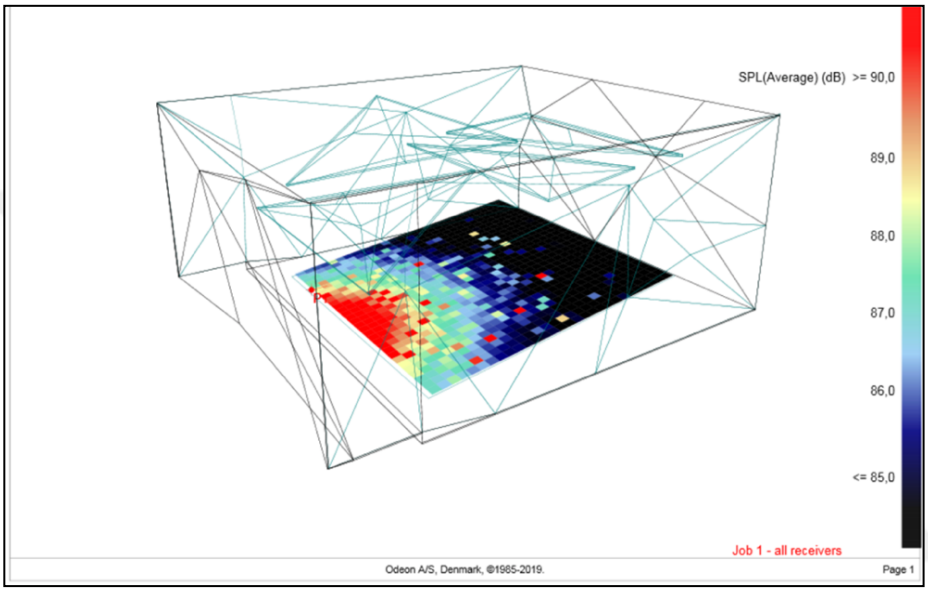
Şekil 3.86: Salon 4, panellerin düz olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç



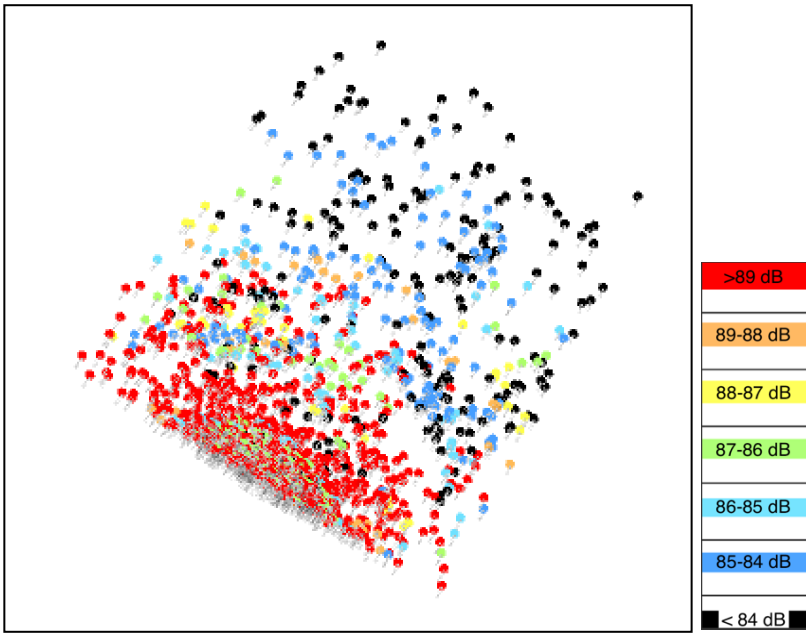
Şekil 3.87: Salon 4, panellerin düz olduğu durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç

3.5.1.5 **Salon 4 panellerin açılı olduğu durum karşılaştırması**

Salon 4 panellerin açılı bulunduğu durum için, Odeon Programı'nda simülasyon sonuçlarınna göre elde edilen renklerin ifade ettiği ses düzeyi aralıkları, 90 dB ve üstü kırmızı, 88-90 dB sarı veya turuncu, 86-88 dB arası mavi veya yeşil, 85 dB ve altı ses düzeyleri siyahtır. Üç boyutlu aktif simülasyon programında 1 dB bir farklılıkla ses düzeyleri, 89 dB üstü, kırmızı, 87-89 dB sarı veya turuncu, 85-87 dB mavi veya yeşil, 84 dB ve altı, siyahtır.



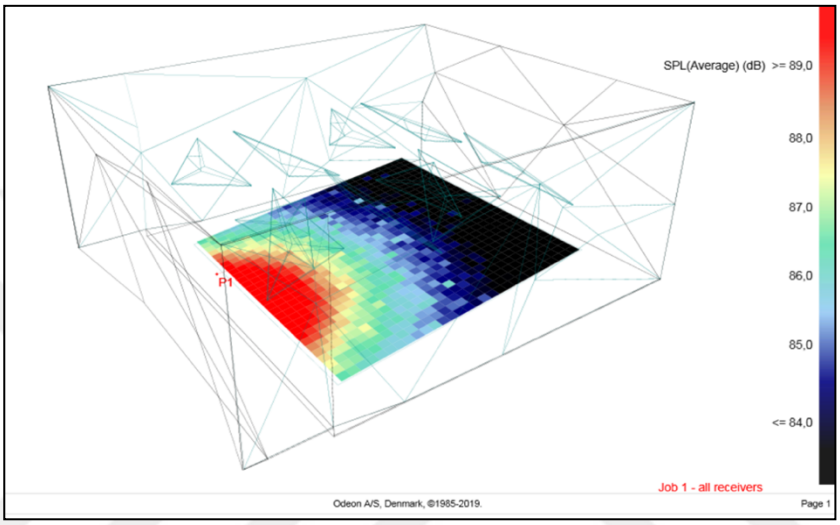
Şekil 3.88: Salon 4, panellerin açılı olduğu durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç



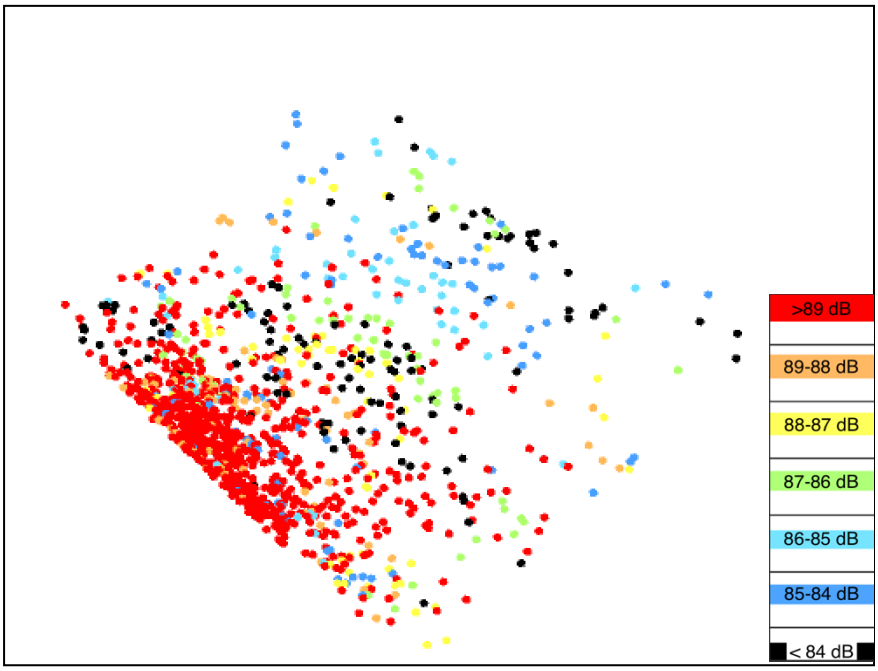
Şekil 3.89: Salon 4, panllerin açılı olduğu durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç

3.5.1.6 **Salon 4 çok panelli durum karşılaştırması**

Salon 4 çok panelli durumda, Odeon Programı'nda simülasyon sonuçlarınna göre elde edilen renklerin ifade ettiği ses düzeyi aralıkları, 89 dB ve üstü kırmızı, 87-89 dB sarı veya turuncu, 85-87 dB arası mavi veya yeşil, 84 dB ve altı ses düzeyleri siyahtır. Üç boyutlu aktif simülasyon programında ses düzeyleri aynı aralıklarda, 89 dB üstü, kırmızı, 87-89 dB sarı veya turuncu, 85-87 dB mavi veya yeşil, 84 dB ve altı, siyahtır. Harita sonuçları, dokusal olarak, diğer salonlarda olduğu kadar yakın değildir.



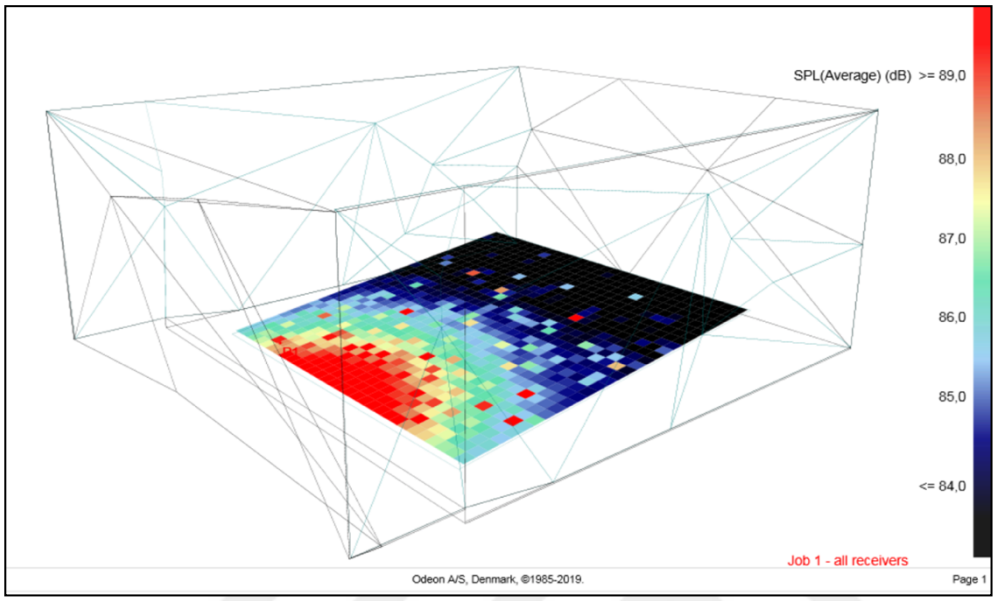
Şekil 3.90: Salon 4 çok panelli durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç



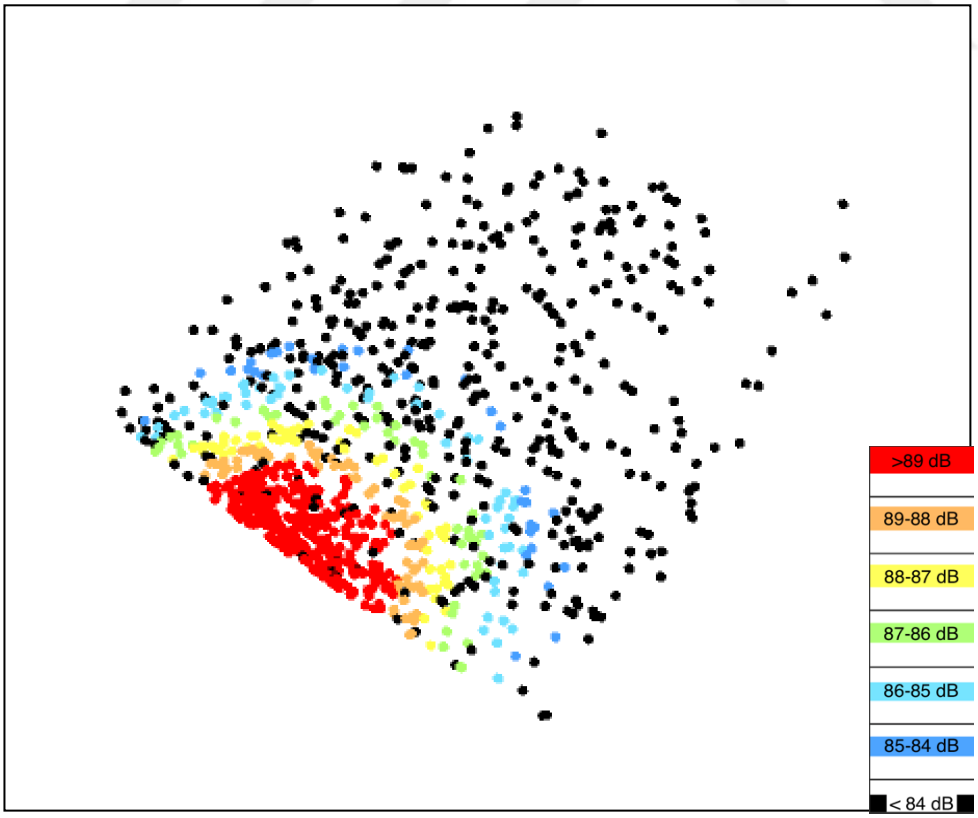
Şekil 3.91: Salon 4 çok panelli durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç

3.5.1.7 **Salon 4 panelsiz durum karşılaştırması**

İki programın verdiği sonuçların sayısal değerleri, tam olarak aynıdır. Dinleyici alanında elde edilen haritanın dokusu, alan genelinde birbirine çok yakındır. Tekli dinleyici noktalarında farklılıklar görülmektedir.

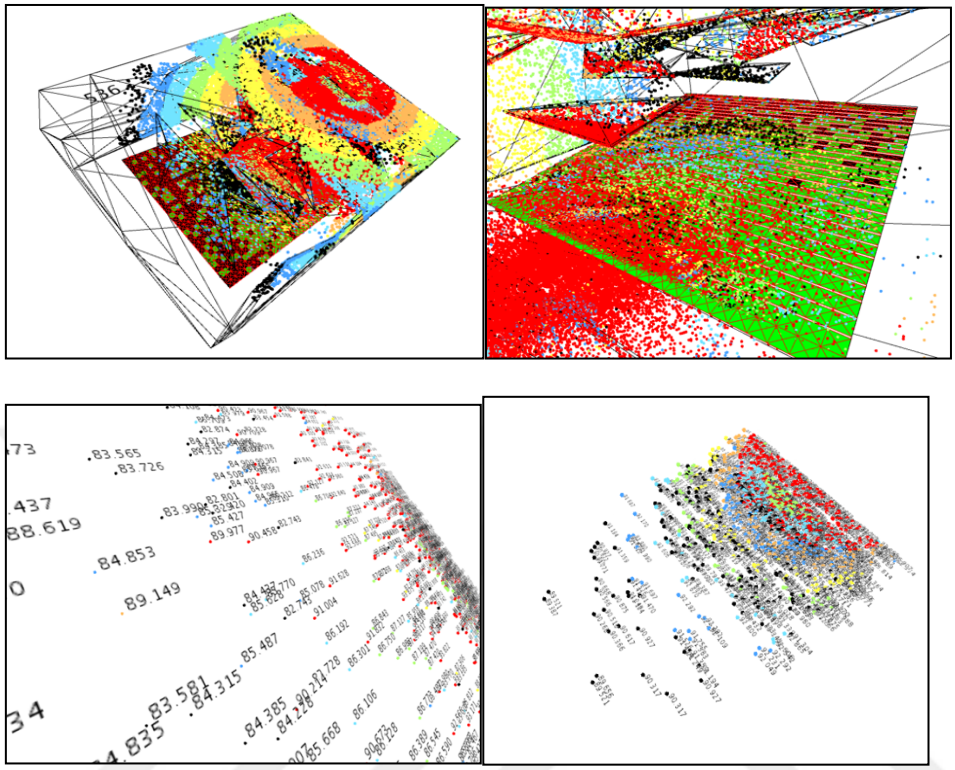


Şekil 3.92: Salon 4 panelsiz durum Odeon Programı'ndan alınan sonuç



Şekil 3.93: Salon 4 panelsiz durum Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'ndan alınan sonuç

Aşağıda şekil 3.94'te, salon geometrisinin ve grid sisteminin simülasyonlar sırasında elde edilen görüntüleri ve alt programında oluşturulan ses haritalarına yaklaşarak bakıldığında değerlerin görünümü incelenebilmektedir.



Şekil 3.94 Salon geometrisi ve grid sisteminin simülasyonlarda görünümü:

Aşağıda, şekil 3.95'te veri tablolarından alınan salon 2 değerlerinin sayısal karşılaştırması görülmektedir. Tablolara göre, açılı panelli durumda, yaklaşık 1 dB düzeyinde ses yükseldiği için 10000 ışınla alınan simülasyonların renk toplamı değerlerinin panelsiz durumdan sayısal olarak yaklaşık 10000 daha büyük olduğu görülmektedir. Salonun ortalama ses düzeyi değeri 94 dB olarak üç boyutlu aktif simülasyon programında hesaplanmaktadır (Şekil 3.95 satır 2). Odeon programının çıktılarında da, bu değerin, renk skalasındaki tam ortadaki ses düzeyi değeri olduğu görülmektedir (Şekil 3.80, 3.84). Üç boyutlu aktif simülasyon programında ölçülen standart sapma değerleri, 2.5-3 dB arasında değişmektedir (Şekil 3.95, satır 2). Odeon programından alınan sonuçlarda da, düzeylerin 2.5-3 dB ortalamaya göre farklılıklar taşıdığı görülmektedir (Şekil 3.80, 3.84). Testlere devam edilerek, üç boyutlu aktif simülasyon programında sadece simülasyon süresindeki değişimin tablolara etkisi ve tasarımcıya sunduğu değerler karşılaştırıldığında, ilk saniyelerdeki örneğin simülasyon başladıktan itibaren 0.1.saniyede, ortalama ses düzeyi değeri 97 dB

çıkmaktadır. Şekil 3.84'te görülen Odeon sonuçlarında da salondaki en yüksek değerlerin 97 dB (kırmızı alan) olduğu görülmektedir. Simülasyon süresi 0.3 saniyede değer 92 dB'e inmektedir. Odeonda da en düşük değer 92 olarak görünmektedir. Bu durumdan çıkarabilecek bir başka sonuç da, tasarımcının simülasyon süresi ile dinleyici alanı üzerine düşen ses düzeylerini ilişkilendirerek, salonun reverberasyon süresi değerlerini yorumlayabilmesidir. Özellikle akustik konusunda kısıtlı bilgisi bulunan bir mimar ya da geometri-akustik parametre araştırmaları yapmak isteyen bir akustik tasarımcı için bu değerlerin salonda nasıl oluştuğunun görselleştirilmesi ve tablolardaki sayısal değerlerden kontrol edilebilmesinin, tasarıma katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Süre ve ses düzeyi düşüşü, alışılagelmiş bir değerlendirmeden farklı olarak ele alındığında, sistem baştan belirli bir ses düzeyi düşüşünde geçen süreye göre tanımlandığı için (örneğin karşılaştırmalarda T30) tasarımcı 0.1. saniyede ne oldu, 0.2 de nereler hangi düzeyi duydu, 0.3. saniyede ne oldu anlayabilmektedir. Simülasyonları takip ettiğinde, 0.3 sn reverberasyon süresine sahip bir salonda, grid alanının sınırına (en arka sıradaki grid biriminin kırmızıdan yeşile dönmesi) sesin ulaştığını görmektedir. Bu durumda, kısıtlı akustik bilgisine sahip olsa da, önerilen yöntemi kullanarak salonda uygun reverberasyon süresine yaklaşabilmekte ve görsel olarak da deneyimleyebilmektedir. Sayısal değer, konsoldan okunmaktadır. Her adımda (ışının ilerleme adımı) geçen süre ve ışının taşıdığı ses düzeyi konsolda belirtilmektedir. Ses ışınlarının hangi dinleyiciye hangi düzeyde ulaştığı da görülmektedir (Şekil 3.95 satır 15). Konsolda 120 dB kaynak düzeyinin 90 dB'e ulaştığında, şekil 3.95'in 15. satırındaki konsol görselinden anlaşıldığı gibi sayaç 200-300 aralığındadır. Şekil 3.95'teki Odeon'dan alınan T30 haritası incelendiğinde, salondaki reverberasyon süresi renk skalasından 0.2-0.3 olarak okunmaktadır ve aynı aralıktadır. Bu durum ölçüm değerlerinin uygun olduğunu göstermektedir. Odeon programından alınan diğer T30 ve Spl A Direkt parametre sonuçları, tezin ek bölümünde, şekil 5.11-24 arasında görülmektedir.

Tezin 3.3.6.2 bölümünde, homojenlik kriterinin kullanımında, bu durumdan tasarımcının, tasarım geliştirirken nasıl yararlanabileceği açıklanmıştır. Tasarımda, mevcut reverberasyon süresini, sayısal değerlerden bağımsız bir biçimde görerek (kurgulanan sistemde görsel olarak takip ederek), istenilen reverberasyon süresine (başta süre ve ses düzeyi değişkenleri tanımlanmalıdır) malzeme, hacim, ya da boyut değişiklikleri ile ulaşabilmektedir.

Str Nr.	Sayısal değer karşılaştırmaları
1	Salon 2'nin veri kayıtları: Aşağıda, salondaki ortalama ses düzeyi, standart sapma, açısız durum ve açılı durum arasındaki ses düzeyinin 1 dB yükselmesinin renk toplamına (ses düzeyine) etkisi görülmektedir. Salondaki mevcut ortalama reverberasyon süresi 0.2-0.3 sn aralığındadır. Odeon da şekil 3.82 açılı panelli ve şekil 3.84 panelsiz durumda aynı sonuçları vermektedir. Harita karşılaştırmalarında görülen, açı değiştikçe gerçekleşen ses düzeyi yükselmesi veri tablolarında görülmektedir. Bu durumda, haritalardaki değerlerin görselleştirme ayarları hassaslaştırıldığında, görülen 0.6-1 dB'lik farkın azalacağı düşünülmektedir.
2	Salon 2 - açılı panelli **Renk Toplamı / Ortalama / Standart Sapma** **112161 / 94.501785 / 2.416103** 112610 / 94.326324 / 2.468206 105103 / 94.30838 / 2.400043 108299 / 94.405167 / 2.40865 113911 / 94.317825 / 2.437165 107769 / 94.511459 / 2.513648 112382 / 94.50351 / 2.410792 111006 / 94.324463 / 2.443777 110236 / 94.383804 / 2.50648 102022 / 94.344505 / 2.497183 104699 / 94.282524 / 2.443063 108617 / 94.256302 / 2.517544 108004 / 94.394569 / 2.554908 Salon 2 - panelsiz **Renk Toplamı / Ortalama / Standart Sapma** **91314 / 94.348625 / 3.117101** 95476 / 94.193695 / 3.044205 90361 / 94.315056 / 3.148168 91307 / 94.326607 / 3.117976 93100 / 94.538513 / 2.996922 87832 / 94.314308 / 2.982946 88198 / 94.21476 / 3.105359 95064 / 94.315834 / 3.037767 93003 / 94.336601 / 3.07957 90395 / 94.256424 / 2.986138 87613 / 94.19426 / 3.110839 91595 / 94.2369 / 3.145026 89179 / 93.960335 / 3.137664
3	Simülasyon süresinin 0.1 verilmesi ile elde edilen, simülasyon başlangıcından 0.1 sn sonraki ses düzeyi değerleri aşağıda görülmektedir. Simülasyon 10000 ışınlıdır. Şekil 3.84'te görülen Odeon programının sonuçlarında da skala, 97dB ile başlamaktadır.

4

Salon 2 - panelsiz durum - simülasyon süresi 0.1 sn

Renk Toplamı	Ortalama	Standart Sapma
45835	**97.358353**	**0.970089**
42597	97.266403	0.988527
48908	97.289711	0.922958
46197	97.323097	0.949144
44862	97.329643	0.96184
44102	97.385544	0.988028
45532	97.351578	0.974028
44527	97.261124	1.004733
46535	97.23185	0.99459
43196	97.290817	0.949621

5

Simülasyon süresinin 0.3 verilmesi ile elde edilen, simülasyon başlangıcından 0.3 sn sonraki ses düzeyi değerleri aşağıda görülmektedir. Şekil 3.84'te görülen Odeon programının sonuçlarında da skala, 92dB ile bitmektedir.

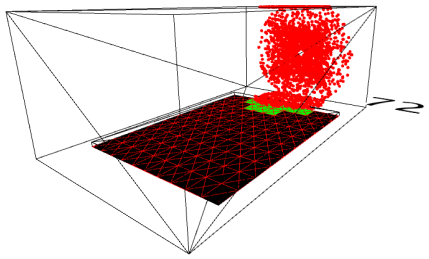
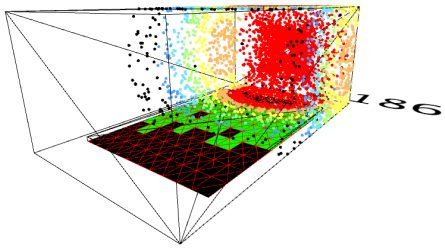
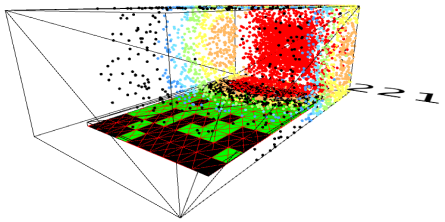
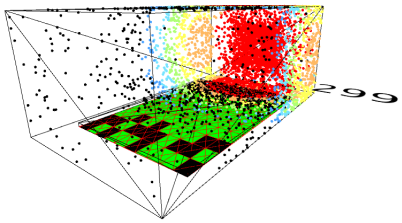
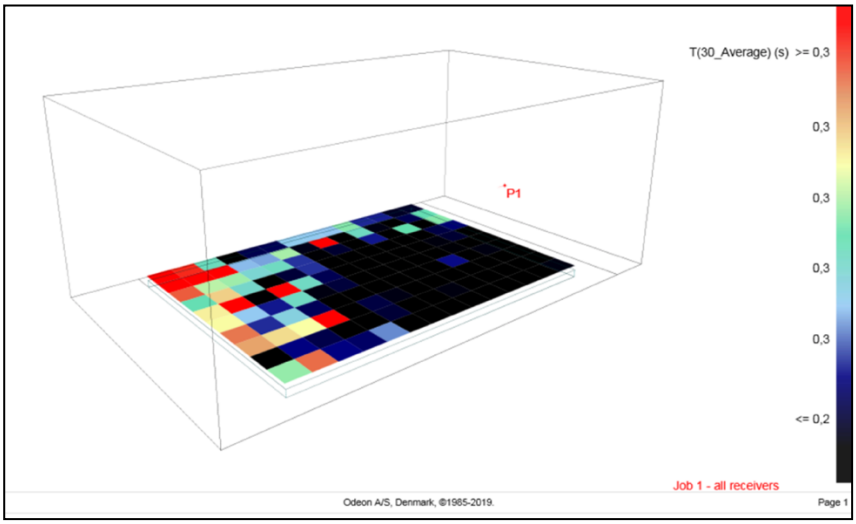
6

Salon 2 - panelsiz durum - simülasyon süresi 0.3 sn

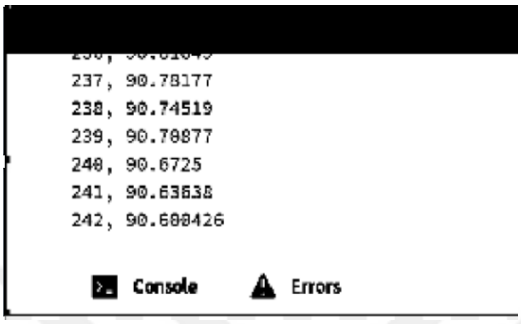
Renk Toplamı	Ortalama	Standart Sapma
134593	**91.983078**	**3.789855**
139537	92.332878	3.97173
135766	92.145424	3.981602
138569	92.066086	3.800129
133590	92.224037	3.877838
138453	91.993729	3.841366
138113	91.943604	3.767654
131551	92.20414	3.87951
134077	91.951881	3.831524
135560	92.144798	3.855542
134765	92.217186	3.874273
136740	92.247108	3.911439
136731	92.16806	3.925999
140662	92.169495	3.859967

7

Salon 2'de sayacın açılması ile reverberasyon süresi tespiti ve Odeon sonucu ile karşılaştırılması aşağıda görülmektedir.

8	72. milisaniyedeki simülasyon durumu	186. milisaniyedeki simülasyon durumu
9		
10	221. milisaniyedeki durum:	299. milisaniyedeki durum
11		
12	Odeon programından alınan simülasyon sonuç reverberasyon harita değeri	
13		

Salonun mevcut reverberasyon süresinin 0.2 ve 0.3 arasında olduğu görülmektedir. 0.2'den az olan bölgelere 200 milisaniye öncesinde ses ulaşmış demektedir. Odeon programında siyah olan bu bölüm, Üç boyutlu aktif

	simülasyon programında yeşildir 186. Milisaniyedeki durumda (yukarıda satır 9-11) görülmektedir. Her değer, adım adım sayaçta okunabilmektedir.
14	Aşağıda, Üç Boyutlu Simülasyon Programı'nda Konsolda Okunan Değerler görülmektedir. Sayaç süresinde, konsol görselindeki ilk değer geçen süreyi (ms), ikinci değer ise ışınların taşıdığı ses düzeyi değerini göstermektedir.
15	

Şekil 3.95: Veri tablolarının ve grafiklerin karşılaştırılması

Şekil 3.95'te görülen Salon 2'de sayaçlı reverberasyon süresi tespitinde, tasarımcı sayaç 0-300 (0-3 saniye) arasındayken gerçekleşen ses olayları adım adım izlenmektedir. Örneğin 72. ms durumunda ilk yansımalar gerçekleşmektedir. 186. Saniyede yeşil birimler ilerlemektedir (ses ışınları dinleyici alanının ortasını geçmiştir) 221. ms görselinde, yeşil birimler dinleyici alanının en arka sırasına ulaşmıştır (salonun mevcut reverberasyon süresi başlangıcı (dinleyici alanı konumu arka duvardan çok uzak değilse bu durum geçerlidir. Arka duvar çok uzaksa, mesafe hesaba katılarak değere tablolardan bakılmalıdır)). Tasarımcı 299. Ms'deki duruma baktığında en arka sıradaki dinleyici sırasının sesi aldığı ve sonra ortalardan başka birimlerin yeşile döndüğünü takip edebilmektedir. Gönderilen ışınlar salonu tarayarak 3 saniyede yansımış alanı yaratmaktadır. Tasarımcı, tasarımının 0.2 ve 0.3 saniye reverberasyon süresine sahip olduğunu anlamaktadır. Başta yapılan tanımlamalara göre, tasarımını şekillendirmiştir. Bu tanımlamaları, akustikle ilgili çalışan uzmanlar yapabileceği gibi, mimarın da salonunun işlevine göre, literatürde ya da standartlarda, hacim-optimum reverberasyon süresi tablolarından (URL-47) bularak başta koda tanımlaması mümkündür.

3.5.2 Ses düzeyi haritalarının karşılaştırılmasının değerlendirilmesi

Salon 2 ve 4'ün, 7 durumunun karşılaştırmalarında, salonların elde edilen ses haritaları ve veri tablolarında görüldüğü gibi; iki program çok benzer değerleri vermektedir. İki

programda da, salon 2'nin reverberasyon süresi 0.2-0.3, salon 4 için 0.5-0.6 sn'dir. Simülasyonlarla elde edilen değerlerde, iki programın harita sonuçlarında, salon 2'nin açılı durumunda 0.6 dB, salon 4'ün açılı durumunda 1 dB'lik bir fark bulunmaktadır. Karşılaştırmalarda, şekil 3.95'te de görülen veri kayıt değerlerinin, harita değerlerinden daha net bilgiler verdiği düşünülmektedir. Bu farklılık sayısal değerlerde daha azdır. Diğer geometrik durumlarda, iki program aynı sayısal sonuçları vermektedir. Salon 2'de gerçekleştirilen tasarımlarda, iki programın da salon için verdiği düzeyler 97-93 dB aralıklarında, salon 4 için ise 89-84 dB aralıklarındadır. Salonun en baş ve en sonundaki sıraların değerleri de aynıdır. Dinleyici alanlarına yakınlaşarak, tek tek dinleyiciler incelendiğinde ise çeşitli noktalarda farklılıklar görülmektedir.

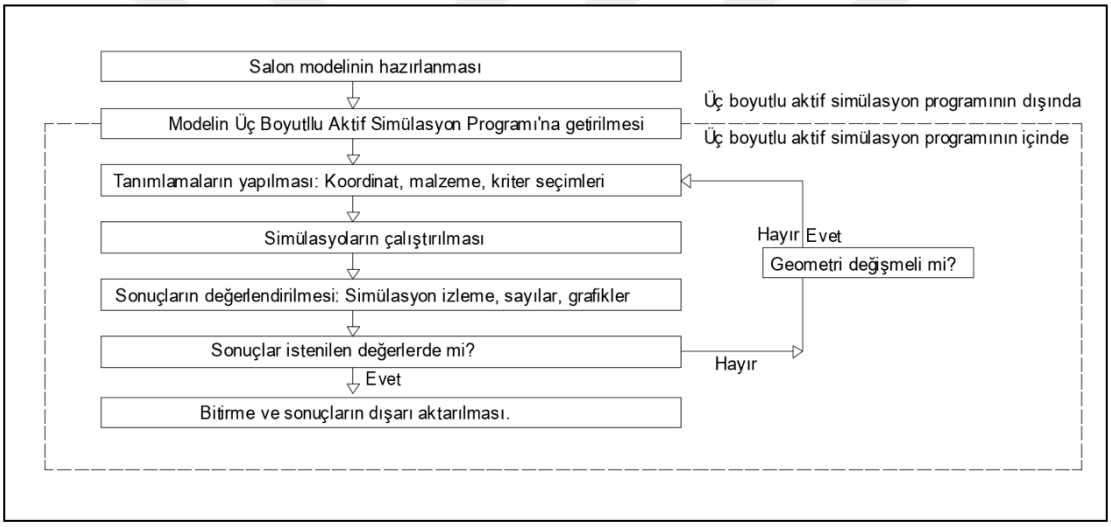
Çeşitli noktalarda görülen 0.6-1 dB'lik ses düzeyi farklılıkları veya haritaların tamamen aynı olmamasının nedenlerinin: Ses haritalarının görselleştirilme biçimi, yansıma sistemi (monte carlo simülasyonlarında simülasyon başında gönderilen ışınlar rastgeledir bu nedenle aynı parametrelerle aynı programda simülasyonların tekrarlanmasında da bazı farklılıklar olabilecektir), arkaplan gürültüsü, alıcı noktalarının değerlendirme biçimi, dinleyici alanının üzerine düşen değerlerin bir bölümünün program ayarları ile gösterilmemesi (Odeon programından yansıma sıralaması seçilir ve bazı geç yansıma değerleri işin içine katılmayabilir), atanan renklerdeki farklılıklar (Odeon programı, renk skalasını çeşitli durumlar için otomatik değiştirmektedir. Örneğin, 100 dB bir ses düzeyi sonucu bulunduğunda, skala bu düzeye kırmızı rengi atamaktadır. Tezde karşılaştırmaların uygun bir biçimde yapılabilmesi için renklerin ifade ettiği düzeyler sabit tutulmuştur) vb. yazılımların amaç farklılığından kaynaklanan yazılım model farklılıklarından olduğu düşünülmektedir.

3.5.3 Çalışma yöntemlerinin karşılaştırılması

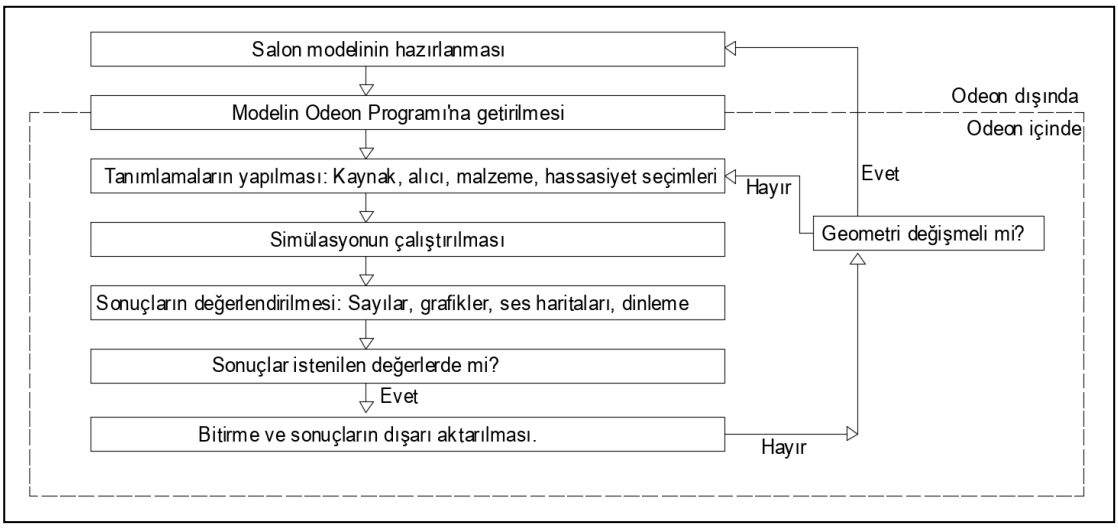
Bu bölümde, mevcut bir yöntem ve önerilen yöntemin uygulandığı programların işleyiş şemaları karşılaştırılmıştır. Üç boyutlu aktif simülasyon programının Odeon'dan farklı bir amacı ve farklı özellikleri bulunmaktadır. Odeon programının 1984 yılından itibaren, farklı projelerden alınan test sonuçları, farklı yöntemlerle kullanılmasından alınan sonuçlar ve farklı alanlardaki bilim insanlarının birlikte çalışması ile uzun bir geliştirme süreci bulunmaktadır. Aynı zamanda, final tasarımın

akustik değerlerini elde etme amacı ile kullanıldığı için farklı bir yazılım modelleme tekniğine sahiptir. Odeon programı, çok detaylı akustik hesaplar yapabilmektedir. Üç boyutlu aktif simülasyon programında akustik parametrelerin ya da ses hareketlerinin (kırılma, saçılma vb.), tümünün, yazılıma aktarımı tez dahilinde sınırlı bir sürenin bulunması nedeni ile mümkün olmamıştır. Aşağıda, çizelge 3.17'de, önerilen yöntemin belirli bir tasarım senaryosu için işleyiş şeması görülmektedir. Bu durumda tasarımcı salonun birkaç geometrik durumu için etkin akustik dağılım, varsa uygun olmayan noktaların bulunması ve salondaki ses düzeyleri ile ilgili bilgi edinmek istemektedir. Çizelge 3.18'de, tasarımcılar tarafından kullanılan mevcut bir yöntemin işleyiş şeması görülmektedir (Odeon programı kullanılarak). Şema, Odeon'un kendi internet sitesinden (Url-21) alınmıştır.

Çizelge 3.17: Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı'nın çalışma şeması



Çizelge 3.18: Odeon Programı'nın çalışma şeması (Url-21)



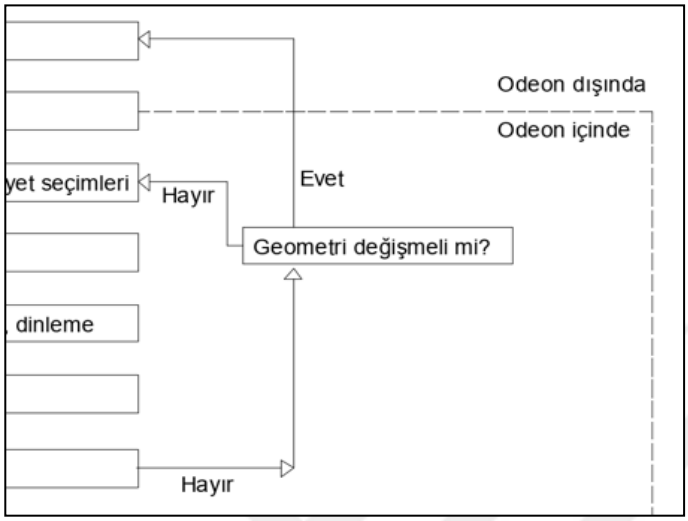
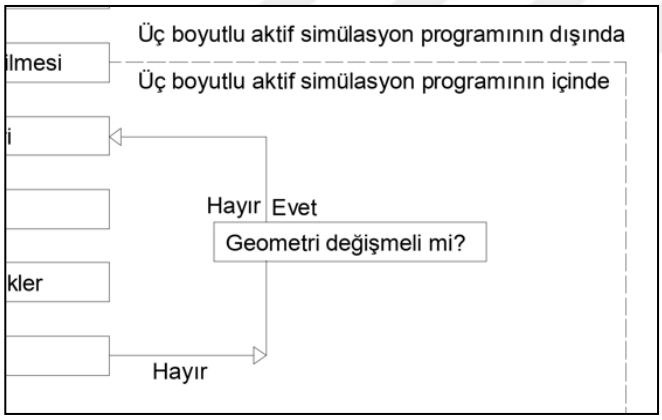
Çalışma şemalarında görülen benzerlikler:

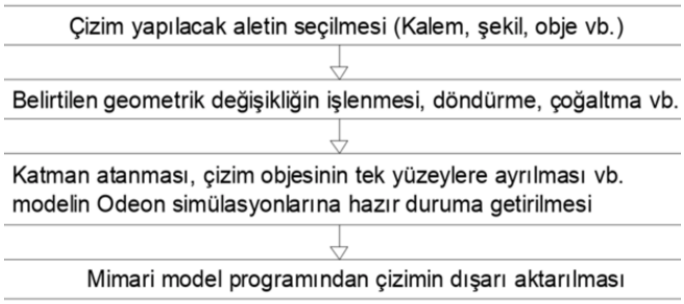
1. Mimari modellerin baştan sona kadar akustik yazılım içinde hazırlanması önerilmemektedir.
2. İki programda da, simülasyonlara başlamadan önce çeşitli kriterlerin belirlenmesi ve yazılıma tanımlamaların yapılması gerekmektedir.
3. Sonuçlar istenilen değerlerde ise programlardan alınan çıktılar mimari sunumlarda kullanılabilmektedir.

Çalışma şemasında görülen farklılıklar:

1. Mimari modellerin bir bölümünün hazırlanması, üç boyutlu simülasyon programı için yeterlidir. Tekrar eden (kiriş, panel, otruma birimi vb.) ya da hareketli birimler yazılım içinde üretilmektedir. Odeon programı kullanarak çalışan bir tasarımcı, salondaki her birimi mimari programda modellemelidir.
2. Mevcut yöntemlerle çalışıldığında, hazırlanan tasarımın öncelikle mevcut akustik durumu öğrenilir ve tasarımcı tahminleri ve deneyimleri ile tasarımı geliştirir. Final tasarımın akustik olarak uygun olup olmadığını tekrar sınar. Önerilen yöntemle, sağlanması gereken akustik koşular baştan tanımlanır ve tasarımcı, çerçevesi çizilmiş bir sistemin içinde olası tasarım durumlarının akustik geribildirimleri ile tasarımını geliştirir.
3. 2. seçenekte anlatılan durum nedeni ile, tasarımcı mevcut yöntemlerle sınırlı sayıdaki (örneğin mevcut, 1-2 ara durum ve final) tasarımların akustik geribildirimlerini alabilir. Önerilen yöntemle, tasarımcı mevcut ve final tasarımların arasındaki tüm diğer olası durumların akustik performansı konusunda fikir edinmektedir.
4. Tasarımda geometri değişikliği gerektiğinde, üç boyutlu aktif simülasyon yöntemi ile tasarımını ilerleten bir tasarımcı geometrik değişiklikleri yazılım içinde tanımlamaktadır. Odeon Programı ile tasarımda, değişiklikler başka bir mimari modelleme programında yapılır. Aşağıda çizelge 3.19'da, tasarım adımlarındaki değişiklik görülmektedir. Odeon programında gerçekleşen geometrinin dışarı aktarılması, mimari model programında yapılması gereken işlemler atlanılarak, üç boyutlu aktif simülasyon programında, geometrik değişiklikler komut (paneli 5 cm uzat (PANEL_BOYU + 5) , 5 panel ekle (PANEL_SAYISI + 5), paneli döndür vb.) değişkenlere yazılarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.19 Tasarlama adımlarındaki değişiklikler

<table>
<tr><th colspan="2">Tasarlama Adımlarındaki Değişiklikler</th></tr>
<tr><td colspan="2">Tasarım adımları ve geometri değişmeli mi? sorusunun sorulması:</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>Odeon programında</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programında</td></tr>
<tr><td>Mevcut yöntem ve Odeonla akustik tasarım:</td><td>Önerilen yöntem ve Üç Boyutlu Aktif Simülasyonla akustik tasarım:</td></tr>
<tr><td>Evet cevabı alındığında yapılması gerekenler: Mimari Model Programı (Sketchup, AutoCad vb.) kullanılarak</td><td>Evet cevabı alındığında yapılması gerekenler: Mimari model programı kullanılmaz.</td></tr>
</table>

	Kodun ilgili bölümüne geometri değişikliğin sayısal olarak tanımlanması (Örneğin, 5 yerine 10 panel kullanılması gerekiyorsa kodun ilgili bölümündeki 5 silinerek 10 yazılır. Panellerin her birinin x uzunluğunun 5 birim arttırılması isteniliyorsa, ilgili bölüme x+5 yazılarak) .
Hayır cevabı alındığında gerekenler Odeon Programının İçinde yapılır.	Hayır cevabı alındığında gerekenler Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programının İçinde yapılır.

5. Odeon programında grafik arayüzü ile, butonlar ve menüler kullanılarak çalışılmaktadır, önerilen programda yazılım geliştirme platformuna kodlar ve sayısal değerler girilerek çalışılmaktadır.
6. Mevcut yöntemlerde model ve simülasyonlar statiktir. Önerilen yöntemde aktif (hareketli ve değişen) bir çalışma sistemi bulunmaktadır.
7. Odeon programında, tezin ek bölümünde görülebilen çeşitli akustik parametreler, detaylı bir biçimde çıktı olarak alınabilmektedir ve işitselleştirme özelliği bulunmaktadır. Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programında işitselleştirme modülü bulunmamaktadır. Detaylı akustik parametrelerin tümü, henüz geliştirilmemiştir.
8. Odeon, yüksek ücretli bir programdır ve programın kodlarına ulaşılamamakta, müdahale edilememektedir. Önerilen yöntemde, tasarımcı yazılımı istekleri

doğrultusunda geliştirebilmekte, hatalarını görerek (örneğin ses almayan bölgeler) düzeltebilmektedir. Hazırlanan program, özgür yazılımdır.

9. Odeon programının bilgisayarlar arasında aktarımı ve kurulumunda, bir donanım kilidine ihtiyaç bulunmaktadır. Her kullanıcı (üniversite, şirket ya da enstitü de olabilir) için program, bir donanım anahtarı ile çalışmaktadır. Üç boyutlu simülasyon programı, mimar (özellikle sayısal tasarım ile çalışan) ve tasarımcıların bilgisayarında bulunan ya da internetten ücretsiz indirilen *Processing* yazılım platformuna kodun kopyalanıp yapıştırılması ya da dosyanın bilgisayarlar arasında e-posta olarak transfer edilmesi ile kullanılmaktadır.
10. Blok modeller, mimari çizim ve modelleme programlarında bir arada bulunan yüzey ya da birimlerin grup haline getirilmesini ifade etmektedir. Mimari birimlerden oluşan gruplarla çalışma, Odeon programında gerçekleştirilememektedir. Modelin, başka bir mimari programda Odeon Programına uygun bir biçimde hazırlanması (katmanların ayarlanması, grupların ayrılarak yüzeylere dönüştürülmesi, koordinat sisteminde yapılması gereken çalışmalar vb.) gerekmektedir. Üç boyutlu aktif simülasyon yöntemiyle bloklar okunarak gruplarla çalışma gerçekleştirilebilmektedir.
11. İki programın, tasarım desteği olarak farklı kullanım zamanları, amaçları ve alanları olduğu düşünülmektedir. Tasarımın ilk aşamalarından itibaren, üç boyutlu aktif simülasyon yöntemi ile tasarıma destek alınması, farklı geometriler ve olası durumlar üzerinde çalışılması, final geometrinin belirlenmesi ile mevcut yöntemler kullanılarak detaylı akustik parametre hesaplarının elde edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

3.5.4 Sürelerin karşılaştırılması

Bu bölümde, tezde salon 2 ve salon 4 için yapılan karşılaştırma çalışmalarında geçen süreler anlatılmıştır.

3.5.4.1 **Kabuller:**

Bir tasarımın modele aktarımı, tasarımcının model programını kullanma deneyimine göre değişebilmektedir. Tezde kullanılan örnek salonlar gibi, çok karmaşık geometrilere sahip olmayan salonların karşılaştırılması için tasarımcının 5 yıl ve üzeri

mimari programda modelleme deneyimine sahip olduğu, Odeon ve Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı kullanmayı bildiği, 1 yıl altında deneyime sahip olduğu ve geçen sürelerin benzer deneyim sürelerine sahip farklı tasarımcılarda benzer sonuçlar vereceği kabul edilmiştir.

Sürelerin tasarıma bakış açısından karşılaştırılması için, bu bölümde anlatılanlarda, tasarımcı üç boyutlu aktif simülasyon yöntemi ile tasarım yapmaz var olan bir tasarımı mimari model programıyla modeller. Akustik performanslarını değerlendirmek istemektedir. Mimarın salonlarla ilgili önceden bir tasarım fikri ve ön görüleri bulunmaktadır. Geometri değişikliklerini ve tekrarlayan birimlerin üretimini üç boyutlu aktif simülasyon programında gerçekleştirilir. Yazılımı geliştirmez, tezde hazırlanan kodu kullanır. Kodlama ile modelleme tekniklerinde bilgisi bulunmamaktadır.

Odeon programında alınan sonuçlarda, belirtilen süre içinde çeşitli akustik parametre değerleri de elde edilmiştir. Önerilen yöntemde, geliştirilmemiş olan ve kullanılmayan parametreler ihmal edilmiştir. Tezin amaçlarına yönelik, geometrik tasarımda faydalı olabilecek (örneğin ses düzeyi haritaları vb.) verilerin elde edilebilmesi için geçen çalışma süresi karşılaştırılmıştır.

3.5.4.2 **Mimari modellerin mevcut olarak bulunmaması durumunda süre karşılaştırmaları:**

Bu seçenekte, önerilen ve mevcut tasarım yöntemleri kullanılarak, projeye sıfırdan başlanılarak, tasarım yapılmaktadır. Mimari modelleme programında düşünülen 2 farklı salonda 7 farklı geometrik tasarım durumunun modelinin hazırlanarak akustik performansının elde edilmesi istenilmektedir. Mevcut yöntemlerde, en çok kullanılan modelleme programlarından olan *Sketchup* ve Odeon, önerilen yöntemle *Sketchup* ve Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı kullanılarak tasarımlar hazırlanmıştır. Mevcut ve önerilen yöntem, tasarımcının çalışma süresi açısından karşılaştırılmıştır.

Mevcut yöntemle yapılan tasarımlarda geçen süreler:

Yedi modelin, *Sketchup* programında hazır hale getirilmesi, iki çalışma günü toplam 16 saat sürmüştür. Modellerin Odeon programına aktarılarak incelenmesi ve sonuçlarının alınması, 8 saat sürmüştür. Tasarımcı için, bir salonun 2 ya da 3 geometrik durumunun değerlendirilmesi toplam 3 günlük çalışmanın ikiye bölünmesi (iki salon olduğu için) ile elde edilen 1.5 güne denk gelmektedir. Her farklı geometrik durum,

yaklaşık 3.5 saatte incelenebilmektedir. Modelleme ve simülasyonda geçen en uzun süre, mimari model programı içinde çoklu yüzeye ve farklı açılara sahip 4. salonun çok panelli durumunun çalışılması sırasındadır. Yedi modelin her yüzeyi ve mimari birimleri modellenmiştir. Bu birimlere (Odeon programı ile gruplar üzerinde çalışılamadığı için), katmanlar vemalzemeler atanmıştır.

Önerilen yöntemin statik kullanımı ile yapılan tasarımlarda geçen süreler:

Mimari model programında, salon 2'nin hazırlanması 2.5 saat, salon 4'ün hazırlanması 3.5 saat sürmüştür. Yedi modelin, Sketchup programında hazır hale detirilmesi bir çalışma gününün belirli bir bölümü olan toplam 6 saat sürmüştür. Salon, tezin önceki bölümlerinde anlatıldığı gibi, iki salonun bir bölümü modellenmiştir ve her bir salonda 1'er panel modellenmiştir. Diğer birimler, üç boyutlu aktif simülasyon programında sayısal olarak tanımlanarak üretilmiştir. En uzun süre, salon 4'ün çok yüzeyli ve farklı açılara sahip durumunun çalışılmasında geçmiştir. Simülasyonların gerçekleştirilmesi, kayıt edilmesi ve incelenmesi, yaklaşık 2 saat sürmüştür. Toplamda (mimari tasarımın temsili ve akustik değerlendirmesi) geçen 1 günlük sürenin ikiye bölünmesi ile, her salon yarım günlük bir çalışma süresinde değerlendirilmiştir. Her geomertik durum için geçen süre, 1.14 saate denk gelmektedir.

3.5.4.3 **Mimari modellerin mevcut olarak bulunması durumunda süre karşılaştırmaları:**

Salonun mimari modellerinin tasarımcıda bulunduğu (bir modelleme programında, önceden salon modelinin hazırlanmış olması) ve sadece paneller ile ilgili farklı geometrik durumların değerlendirilmek istenildiği varsayılmıştır. Üç farklı durum ile ilgili süre karşılaştırmaları yapılmıştır. Durum 1'de öncelikle mevcut yöntemlere daha çok benzeyen, statik bir teknikle yapılan performans değerlendirilmesi anlatılmıştır. Tasarımcı üç boyutlu aktif simülasyon programının rastgele üretme, çevirme vb tüm durum seçeneklerinin otomatik değerlendirilmesini sağlayan özelliklerini bu karşılaştırmada durum 1'de kullanmaz. Salonun belirlediği geometrik durumları için elde edilebilecek analizleri kullanır. Baştan, akustik performansı ölçülecek geometrik durumların koordinat, açı, vb. durum girdilerini bilgisayara yazar (rastgele değil kurallı geometri üretimi). Durum 2 ve 3'te ise aktif kullanım ile tasarımın gerçekleştirilmesi karşılaştırılarak anlatılmıştır.

Önerilen yöntemin statik kullanımı ile tasarım yapıldığında:

Durum 1:

Tasarımcının, salondaki en iyi akustik sonucu veren açıyı tahmin edebildiği ya da bir başka analizle öğrendiği kabul edildiğinde (mevcut akustik tasarım yaklaşımlarında benzer bir durum söz konusu olabilmektedir. Tasarımcı deneyimlerine göre, mimari projeden gelen modellerin akustik açıdan doğru açılarını bulmak için tahminlerde bulunur ve oluşturulan geometrik değişikliklerin akustik simülasyon sonuçlarını kontrol eder), testlerde salonda kaynağa en yakın konumda olan panelin açı değişikliğinin akustik etkilerinin incelenme süresi karşılaştırılmıştır. Şekil 3.81 ve şekil 3.83 karşılaştırıldığında belirtilen değişiklik görülmektedir. *Sketchup* Programı'nda yapılan model açı değişiklikleri birlikte, aynı biçime sahip bir odada, açılı ve açısız iki durumun karşılaştırılması Odeon programı ile değerlendirilerek yaklaşık 1,5 saat sürmüştür. Bu seçenekte, aynı model üzerinde çalışıldığı için çeşitli değişikliklerin yapılmasına gerek kalmamıştır. Öncelikle ilk model simülasyonu yapılmıştır. Sonrasında mimari programa dönülerek açı değiştirilmiştir, açı değişikliklerinde panel gruplandığı için tekrar yüzeyler haline getirilmiştir. Koordinat, malzeme tanımı vb. değişiklikler kontrol edilmiştir ve model Odeona aktarıma hazır duruma getirilmiştir. Yeni durumu gösteren model, Odeon programına getirilip simülasyon tekrarlanmıştır.

Üç boyutlu simülasyon programında, koda kriter yazılması ile birlikte bu süre yaklaşık 20 saniye sürmüştür. İlk simülasyon 5 saniye, koda 0.0 yerine 0.523599 yazılarak çalıştır tuşuna basılması (açı değişikliğinin yapılması) 10 saniye, yeni simülasyon ise 5 saniye sürmüştür. Mimari model programında işlem yapılmamıştır.

Yöntemin aktif kullanımı ile tasarım yapıldığında:

Durum 2a:

Tasarımcı, değişikliğe işlemesi gereken uygun akustik panel açısını tahmin edememektedir (Durum 2b'de anlatıldığı gibi, tahmin ederse süreç hızlanmaktadır).. Farklı durum denemeleri ile tasarımını hangi yöne doğru geliştirebileceğini öğrenmek istemektedir. Örneğin, 20 farklı hacim, 100 farklı balkon konumu ya da 5 farklı panel açısının değerlendirilmesi aynı tekniklerdir. Bir panelin 0.1 radyan değişikliklerle 30 derece açılı konuma getirilmesi, 5 durum denemesi ile mümkündür. 5 simülasyonda 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 radyanlık açılı duruma sahip panellerin geometrik durumunun salon akustiğine etkileri incelenebilmektedir. Mevcut yöntemlerle Odeon ve *Sketchup*

programı kullanarak (Programlar arası bir geçişin (mimari model-Odeon (Mevcut durum)-mimari model-Odeon (olumlu olduğu tamin edilen durum)) 1.5 saat sürdüğü düşünüldüğünde) 7.5 saat sürecektir. Önerilen yöntemle, 0.1'den 0.5 radyan açısına kadar tüm seçenekleri deneyip bana göster komutu yazarak (3 sayısal değerin programa yazılması) tasarımcı, bir simülasyon süresi 5 saniye olmak üzere toplam 5 simülasyonda 25 saniyede 5 durumun akustik performansını değerlendirmiştir. Başlat tuşuna basıldığında simülasyonlar (0.1-0.5 radyan arası 5 simülasyon olsun) program tarafından otomatik gerçekleştirilmektedir. Sonucunda, veri tablolarından, akustik kriterlere göre elde edilen uygun açı bulunmuştur.

Panelin 90 derece açılı konuma kadar 0.1 radyanlık açılarla ilerletilerek sonuçlarının alınması da yaklaşık 1.5 dakika sürecektir. Geometri değişikliklerinde önerilen yöntemle, tasarımcının simülasyonları başlattıktan sonra çalışması gerekmemektedir. Tasarımcı işlemlerin sonlanmasını bekleyebilir ya da izleyebilir.

Genellikle kullanılan mevcut yöntemlerle, bu sonucun alınması 24 (3 x 7.5) saatten oluşan 3 çalışma günü sürecektir. Tasarımcının, çeşitli komutlar vermesi ve farklı çizim aracını kullanması nedeni ile çalışması gerekmektedir.

Durum 2b (Aktif teknik kullanıldığında):

Tasarımcı önceden bir açı değeri tahmin edebiliyorsa, örneğin panelin bir seferde 30 derece döndürülerek sınanmasını öngörebiliyorsa, bu durumda programa, durum 2'a da tanımladığı 5 adımlı değerlendirme yerine 2 adımlı değerlendirme kuralını atayarak işlem yapabilmektedir. İki farklı geometrik durum için 2 simülasyon gerçekleştirilmelidir. Salon 2 için her simülasyon 5 saniye sürmektedir. Her simülasyonda, 0.5 radyan döndürülerek 2 simülasyonda 30 derece açılı konuma toplam 5 saniyede getirilebilmektedir. Panelin 90 derece (1.571 radyan) açılı konuma kadar 0.5 radyanlık açılarla ilerletilerek sonuçlarının alınması da 3 simülasyonda, 15 saniye sürecektir.

Durum 3:

Bu durum, mevcut tasarım yöntemlerinde bulunmamaktadır. Tasarımcının, salondaki en iyi akustik sonucu verebilecek hiç bir panel açısını bilmediği ve tahmin edemediği, salonda genel bir analiz yapmak istediği, tasarımını ne şekilde yönlendirebileceğine karar vermek istediği kabul edilmektedir. Ön tasarımda, salonun olumlu akustik koşullara sahip geometrik durumu tahmin edilemiyorsa, tüm olası geometrik durumlar

rastegele ya da kurallı bir biçimde bilgisayar tarafından değerlendirilerek, akustik performansın en yüksek olduğu durumlar, tasarımcıya veri tablolarıyla sunulmaktadır. Üç boyutlu aktif simülasyon yönteminde, daha önce anlatılan rastgele üretme ve açı değiştirme, tüm seçeneklerin denenmesi seçeneğinin seçilmesi ve çalıştır tuşuna basılması gerekmektedir. Algoritma, rastgele ya da kurallara göre adım adım açılar üreterek panellerin olası açı kombinasyonlarının tümünü denemekte ve sonuçlarını tasarımcıya vermektedir. Tasarımcı, salondaki kayıt edilen ses düzeyi ya da homojenlik, standart sapma değerlerine bakarak, hangi tasarım durumunda daha olumlu değer elde edilmiş, görebilmektedir. Önerilen yöntemle örnek durum çözümleri; salonda kaç panel kullanılırsa ses düzeyi daha yüksek olacaktır?, salonda dairesel panel mi kare panel mi (bir şekil olmak zorunda değil, örnek olarak verilmiştir) aynı sayıda, metraj ve yutuculuk değerlerinde kullanıldığında daha iyi performansı gösterecektir? Salondaki hangi paneller 10 m hangi paneller 8 m yüksekliğinde olursa daha olumlu akustik koşullar elde edilebilir? Daha olumlu akustik koşullar elde edebilmek için, salondaki mevcut balkon konumunun, farklı hangi olası konumları olabilir gibi çeşitli tasarım soruları cevaplanabilmektedir. Bu durumda, tezde önerilen yöntem ile bilgisayar, rastgele tüm ya da belirli sınırlardaki seçenekleri değerlendirmektedir. Tasarımcı simülasyon ya da geometri değişikliklerinde hiçbir işlem yapmaz. Kurallar bilgisayara tanımladıktan sonra algoritma diğer işleri (olabilecek her geometrik durum için mimari modele geometri değişikliğinin yapılması, akustik performansının ölçülmesi) gerçekleştirerek veri tabloları oluşturur.

Bir salon modellendikten sonra farklı durumlarını elde etmek için tezdeki benzeri karmaşık olmayan geometrilerin mimari model programında hazırlanması, uzun sürmeyebilir. Modelin tekrar eden parçaları kopyalanıp yapıştırılarak, aynalanarak, tüm çizgileri çizmek yerine çizime hız kazandırılmaktadır. Karmaşık ya da parametrik çalışmalarda, geleneksel geometri esaslı modelleme araçları olan, *AutoCad, Sketchup* vb. mimari modelleme programlarında modelleme süresi, yukarıda anlatılan sürelerden daha uzun sürecektir.

3.6 Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programının Kullanım Kılavuzu

Aşağıda, tasarımcının yazılımda herhangi bir değişiklik yapmadan ya da yeni bir yazılım üretmeden tez süresince hazırlanan örnek programı kullanmak istediğinde, kod

strüktürünü kontrol edebilmesi için aşağıda bir kılavuz hazırlanmıştır. Koddaki satır numarası, siyah kutular içinde görülmektedir. Tasarımcı kendi projesini programa getirip sayısal değerleri değiştirerek tezde önerilen yöntemle tasarımını geliştirebilecek, tasarladığı geometrinin akustik etkileri konusunda bilgilerini edinebilecektir. Kodları değiştirmek, grafik arayüzünde değer girilmesi gibi bilgisayar klavyesinden yazarak yapılmaktadır. Birkaç tip işlemle, yazılan program kullanılabilmektedir. Bu işlem tipleri:

1. Kodların kapatılıp açılması
2. Kodların sayısal değerlerinin değiştirilmesi
3. Klavyenin tuşuna basılarak işlem yapılması
4. Kodların belirlenen bölümlerine doğru (true) ya da yanlış(false) yazılmasıdır.

Aşağıda çizelge 3.14'te açık ve kapalı bir kod örneği verilmiştir. Kodların açılıp kapatılması // işaretinin kod satırının başına yazılması ile mümkün olmaktadır. Örneğin bir tasarımcı ses düzeyi sonuçlarını öğrenmek istediği bir simülasyonun görüntü kaydını yapmak istemiyor, ya da homojenlik değerini öğrenmek istiyor ancak renk toplamı değeri ile ilgilenmiyor. Bu durumda ilgilenmediği hesaplama bölümünün kodlarını satır başına // yazarak kapatabilmektedir. Bu sayede programı daha hızlı çalıştırabilir, istemediği verileri görmesine gerek kalmaz ya da istemediği işlemleri yaptırmaz. Örneğin sadece direkt sesin ulaştığı dinleyici alanı bölgesini bulmak isteyen bir akustik tasarımcı, kodda yansımaların gerçekleştiği bölümü kapatarak ya da önceden planlanmış bir parametreyi değiştirerek (örneğin ilgili alanda yansıma olmalı mı sorusuna cevap veren doğru (true) seçeneğini yanlış (false) ile değiştirerek), sadece direkt sesin etkisini inceleyebilmektedir. Ses düzeyi toplamı yerine sadece belirli düzeylerin altında kalan değerlerin toplanması, dinleyici alanının yarısında işlem yapılması gibi çeşitli durumlarda, tamamen kapatılması istenilmeyen ancak hesaplama biçimi değiştirilmek istenen bölümler uygun tanımlamalar yapılarak detaylandırılır. Örneğin dinleyici alanının yarısında işlem yapılması istenildiğini varsayalım. Dinleyici alanı ağının tanımlandığı değişken, bölü 2 yazarak yönlendirilmelidir. Değerlendirme, yarım yüzeyde yapılır ya da yarım yüzeyde görülür. Komut girilen değişkene tanımlanılan göreve ve programda kullanım yerine göre sonuç alınır. Işın sayısının, panel uzaklıklarının, konumun belirlenmesi gibi işler ise, sayısal değerlerin verilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Simülasyonların

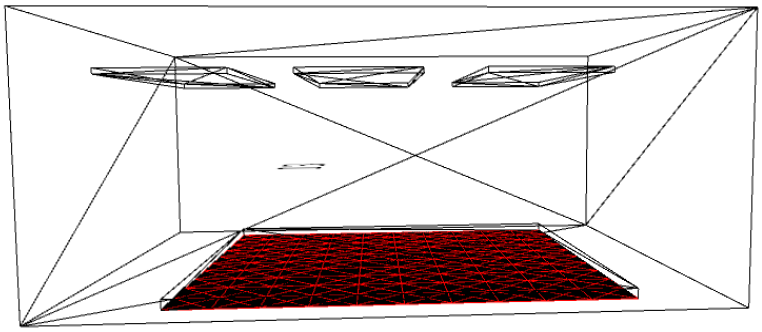
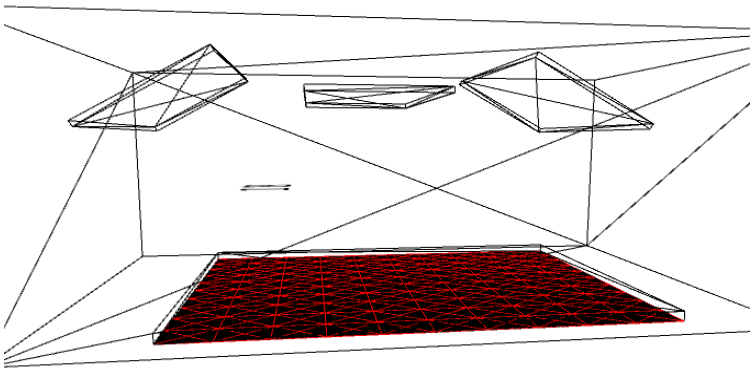
sonlandırılması, klavyeden bir tuşa basılarak yapılabilmektedir. Geometri üretiminde, üretimin rastgele açılarla olup olmaması, temel veri tiplerinde belirtilen *boolean* değerinin doğru ya da yanlış olarak yazılması ile kontrol edilmektedir. Çizelge 3.14'te komutlar anlatılmıştır ve programdan alınan örnek görseller görülmektedir.

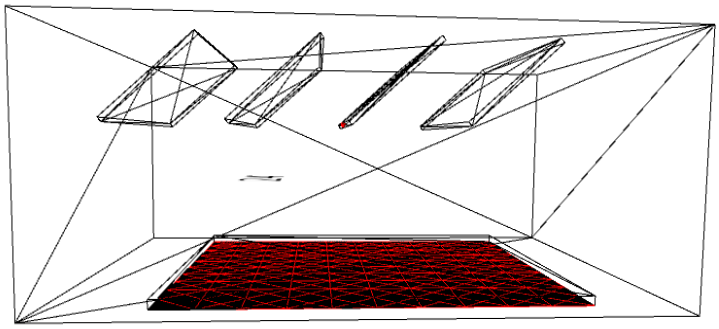
Çizelge 3.20: Üç Boyutlu Aktif Akustik Simülasyon Programı Komutları

Komut Nr.	**Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı Komut Çizelgesi**
1	Dosyaların isimlerinin yazılması ve açılması (tasarımcı kodda görülen salon 3, panel 3 vedinleyici 3 dosya isimlerini kendi dosya isimleri ile değiştirmelidir. Bu değiştirmeyi kodun ilgili kısmına gelip salon 3'ü silerek örneğin mimaritest yazarak gerçekleştirebilecektir): Bu modülle, farklı tasarımlar programa getirerek işlem yapılabilmektedir. Örneğin bir tasarımcının, dikdörtgen tasarladığı 3 panelli tasarımını 40 dairesel panelle değitşrerek akustik performansını öğrenmek istediğini varsayalım. Bu durumda dairesel panelini panel 4 olarak salona çağırarak (43. satırda isim değişikliği yapılması) panel sayısını 3'ten 40 a çevirmelidir. Kodda gerçekleştirilen 2 adımlık sayısal değişiklik ile, ekranda 37 birim arttırılmış model, çizim yapılmadan görülecektir.

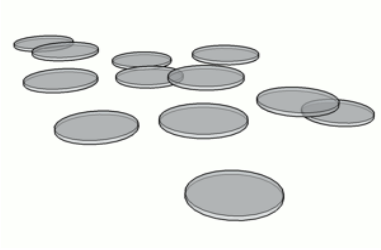
Kod	`String SCENE_FILENAME = "./salon3.stl";`
	`String PANEL_FILENAME = "./panel3.stl";`
	`String AUDIENCE_FILENAME = "./dinleyici3.stl";`

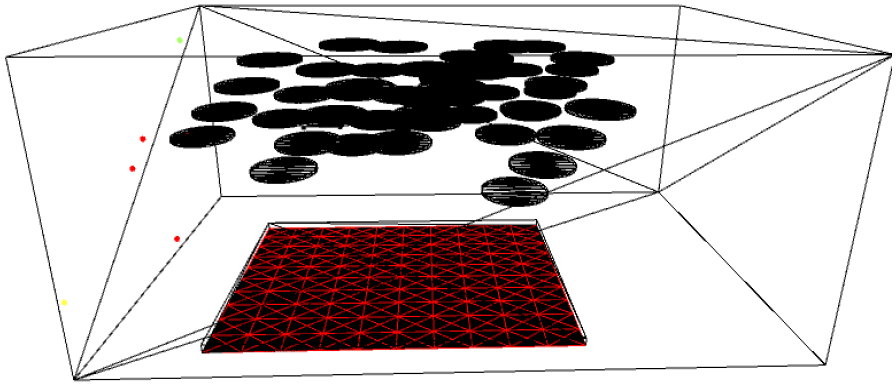
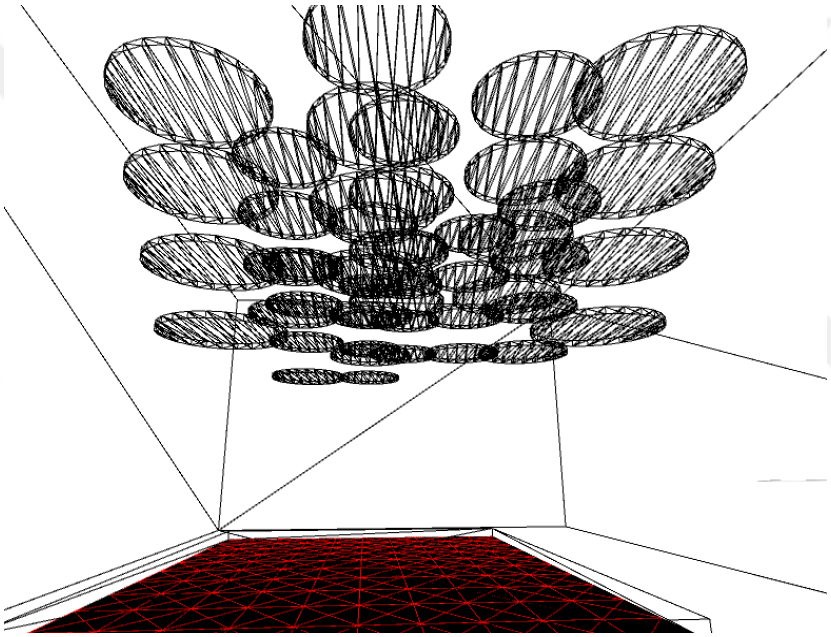
2	Simülasyonun ışın sayısının yazılması için NRAYS değişkeni kullanılmalıdır.
Kod	`int NRAYS = 100000;`
3	Mimari birimler (tezde paneller) arası mesafenin belirlenmesi:
Kod	`int PANEL_DISTANCE = 300;`
4	Rastgele ya da belirli açıların simülasyonlarının alınmasının seçilmesi. Bu değer, "true" yazıldığında, simülasyonlar bilgisayarın rastgele

	oluşturduğu açılarla alınmaktadır. “False” yazıldığında ise tasarımcı, istediği durumun (örneğin 2. panel 0.3 radyan olsun) simülasyonlarını gerçekleştirir.
Kod	`48 boolean GENERATE = false;`
5	Sanal panellerin üretilmesi gereken durumlarda, virgül ile birbirinden ayrılan her rakam, bir paneli ifade etmektedir. Kurallı yerleşimin simülasyonu alınmak istediğinde panel sayısı ve açılarının yazılması (3 panelli düz geometrik durum) için, parantezler içine 0, 0, 0 yazılarak düz durum tanımlaması yapılır.
Kod	`37 float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0, 0, 0 }`
6	
7	Kurallı yerleşimin simülasyonu alınmak istediğinde panel sayısı ve açılarının yazılması (3 panelli orta panel düz iki panel açılı geometrik durum) ile 1. ve 3. paneli ifade eden 0 değeri istenilen açılarda değiştirilir.
Kod	`37 float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0.523599, 0.0, -0.523599 };`
Ekran	

8	Kurallı yerleşimin simülasyonu alınmak istediğinde panel sayısı ve açılarının yazılması (4 panelli ve açılı geometrik durum) için, 1. ve 3. paneli ifade eden 0 değeri istenilen açılarda (örnekte 0.7) değiştirilir ve virgülden 4. paneli üreten bir sayısal değer daha eklenir.
Kod	`37 float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0.7,0.7,0.7, 0.7 };`
Ekran	

9	Farklı bir biçime ve sahip, 4 birim tanıtımlı başka bir simülasyon denenmesi istenildiğinde, satır 43'te görülen ağ dosyasında isim değişikliği yapılarak, istenilen panel biçimi ya da yerleşimi çağırılır (komut çizelgesinin en başındaki kod ile karşılaştırılmalıdır).
	`42 String SCENE_FILENAME = "./salon3.stl";`
	`43 String PANEL_FILENAME = "./daireselpanel.stl";`
	`44 String AUDIENCE_FILENAME = "./dinleyici3.stl";`
	Dairesel panellerin tanımlandığı ağ, (model parçası) kodda isim değişikliği yapılarak aynı salonun içine çağırılmıştır. Her panel grubunda 12 panel olmak üzere 4 farklı yükseklikte toplam 48 panelli durumun değerlendirmesi yapılmak istenilmiştir. Diğer parametreler aynıdır.

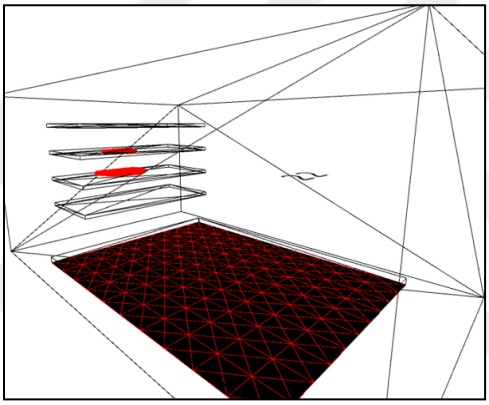
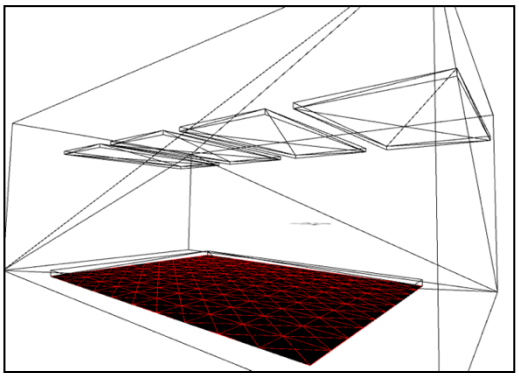
Ekran	 Çağırılması istenilen 12 birimlik panel grubu.

Ekran	 Panel grubunun 4 farklı yükseklikte üretilerek sınanması
Ekran	 Panel grubunun 4 farklı yükseklikte üretilerek sınanması iç görünüm
10	Kaynak konumunun belirlenmesi x, y, z koordinatlarının yazılması.
Kod	`40 Vec3D center = new Vec3D(246, -3, 200);`
11	Tezde reverberasyon süresi olarak önerilen, istenilen simülasyon süresinin yazılması.
Kod	`50 int REVERBERATION_TIME = 200;`
12	Başlangıç ses düzeyi değerinin yazılması (tezde 120 dB)

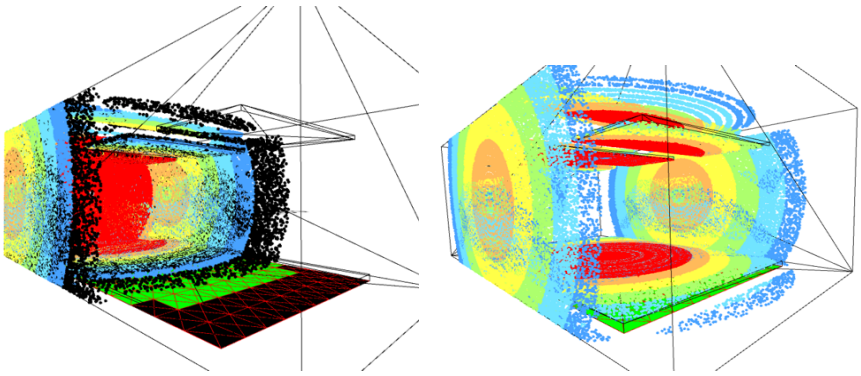
Kod	52 float DB_START = 120;
13	Grid boyutlarının verilmesi
Kod	53 int GRID_SIZE =10;
14	Panel, duvar vb. Hareketli ya da üretilmesi istenilen mimari birimlerin yönlerinin belirlenmesi. Örneğin 380 numaralı satır etkinleştirilirse 1 numaralı, 379 numaralı satır etkinleştirilirse geometri üretimi 2 numaralı görseldeki gibi görülmektedir.
Kod

	koda bir 0 daha eklemesiyle aşağıda görülen 4 panelli durum 3 ve 4 elde edilmektedir.

Kod	Mevcut 37 numaralı kod satırı:
	`37 float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0, 0, 0 };`
	Koda bir 0 eklendiğinde elde edilen kod satırı:
	`37 float[] FIXED_PANELS = new float[] { 0, 0, 0, 0 };`

	Elde edilen geometrik durumlar:
Ekran 3 Ekran 4	 3  4
15	Yüzeylerin yutuculuk katsayılarının girilmesi. 572. satır, dinleyici alanı, 575. panel, 578. salonun duvar ve tavan yüzeylerine tanımlanmıştır. Tasarımcı, birimleri detaylandırabilmekte ve geliştirebilmektedir (örneğin, sahne yüzeyleri sahne zemini, arka duvar, insan, koltuk vb.).

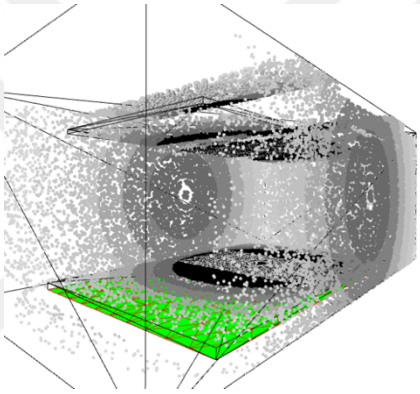
Kod	571 `if (h.audienceIsHit == true) {` 572 `frequencySubtrahend = 0.80;` 573 `dbSubtrahend = frequencySubtrahend;` 574 `} else if (h.panelIsHit == true) {` 575 `frequencySubtrahend = 0.10;` 576 `dbSubtrahend = frequencySubtrahend;` 577 `} else {` 578 `frequencySubtrahend = 0.50;` 579 `dbSubtrahend = frequencySubtrahend;` 580 `}`
16	Tüm olası geometrik durumların denenmesi istenilmiyorsa, ‘’q’’ tuşuna basılarak simülasyonların sonlandırılmasının kontrol edildiği kod satırı.
Kod	623 `if (key == 'q') {`
17	Havanın yutuculuğunun 2000 ve 4000 Hz frekans bantlarındaki kontrol noktası.
Kod	505 `p.frequencies.set(HZ2000, p.frequencies.get(HZ2000) - p.frequencies.get(HZ200` 506 `p.frequencies.set(HZ4000, p.frequencies.get(HZ4000) - p.frequencies.get(HZ400`
18	Yansıma sırası, biçimlerini kontrol eden *loop* başlangıcı
Kod	501 `for (P p : ps) {`
19	Ekran görüntüsü kayıt satırı
Kod	616 `saveFrame("frame-###.png");`
20	Bir satırdaki kodun kapatılması için kodun başına yazılması gereken işaret ve örnek bir kapalı kod.
Kod	// işareti konularak oluşturulan örnek bir kapalı kod 52 `//int GRID_SIZE =10;`
Kod	// işareti kaldırıldığında, örnek bir açık kod 52 `int GRID_SIZE =10;`

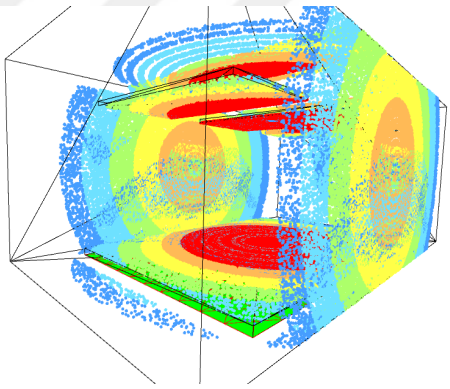
21	Kapatılan satırların yazılımda yorum yapma ya da kılavuz cümlesi olarak kullanılması: Tasarımcı, bir sonraki cümlenin (623. Satırın) ne anlama geldiğini 622. Satırda anlamaktadır. İsterse kodu değiştirebilir.
Kod	622 // Programı durdurmak için q'ya basınız 623 if (key == 'q') {
22	Ses kaynağının konumunun koordinat yazılarak değiştirilmesi: 39. satırda görülen kodda, üç boyutlu vektör olan kaynak noktası parantez içinde (x, y, z) koordinatlarındadır. Örnek olarak y koodinatı -3'ten 400 değerine getirilmiştir.
Kod	Ses kaynağı salonun kenarında: 39 Vec3D center = new Vec3D(246, -3, 200); Ses kaynağı salonun ortasında: 39 Vec3D center = new Vec3D(246, 400, 200);
Ekran	Kodun değiştirilmesi ile elde edilen simülasyon görselleri: Ses kaynağı konumu: y = -3 y = 400 
23	Ses düzeylerine renklerin tanımlanması ve renklerin, değiştirilmesi renk anlamına gelen *color* değişkeninin yanındaki renk kodlarının girilmesi ile olmaktadır. 306, 308, 310, 312, 314, 316, 318 numarali kod satırlarında görülmektedir.

	Siyah Beyaz	Renkli

Kod	`//Grayscale colors`
	`if (c >= 97) {`
	`  result = color(0, 0, 0);`
	`} else if (96 <= c && c < 97) {`
	`  result = color(105, 105, 105);`
	`} else if (95 <= c && c < 96) {`
	`  result = color(128, 128, 128);`
	`} else if (94 <= c && c < 95) {`
	`  result = color(169, 169, 169);`
	`} else if (93 <= c && c < 94) {`
	`  result = color(192, 192, 192);`
	`} else if (92 <= c && c < 93) {`
	`  result = color(200, 200, 200);`
	`} else {`
	`  result = color(215,215,215);`
	`}`
		`//colors`
		`if (c >= 97) {`
		`  result = color(255, 0, 0);`
		`} else if (96 <= c && c < 97) {`
		`  result = color(255, 185, 98);`
		`} else if (95 <= c && c < 96) {`
		`  result = color(255, 255, 90);`
		`} else if (94 <= c && c < 95) {`
		`  result = color(175, 255, 118);`
		`} else if (93 <= c && c < 94) {`
		`  result = color(118, 228, 255);`
		`} else if (92 <= c && c < 93) {`
		`  result = color(77, 164, 255);`
		`} else {`
		`  result = color(0);`
		`}`

Ekran	Yukarıdaki kodlardan elde edilen simülasyon görüntüleri:	





Tasarımcı, yukarıdaki çizelgede verilen değerleri, değiştirerek (örneğin q yerine e yazarak ya da salon duvarının yutuculuk değerlerini 0.50'den 0.01'e çevirerek vb.) ya da kodları açıp kapatarak (yapılmasını istemediği işlem satırlarının başına // koyarak bir başka deyişle kodu kapatarak) hazırlanan programı kullanabilmektedir. Tasarımı için kural belirleyerek bilgisayara düşüncesini ifade edebilmekte ve tezde önerilen yöntemle hazırlanan programı kullanarak tasarımını geliştirebilmektedir.

Kodun üzerine farenin sağ düğmesi ile tıklanıldığında açılan menüden, Türkçe'de kullanımını göster anlamına gelen *"show usage"* komutu açılmaktadır. Bu alanda, üzerine tıklanılan değişkenin, program içinde nerelerde ve nasıl kullanıldığı okunabilmektedir. Bu durumda, tasarımcı hangi formül ya da hesaplama biçiminin nerelerde kullanıldığını öğrenebilmekte ve değiştirebilmektedir.

Ses odaklanması, oda geometrisi, kaynak uzaklıkları ve yansıma biçimi ile doğrudan ilişkili olduğu için üç boyutlu aktif simülasyon programında saptanabilmektedir. Kullanıcı, odaklanma istediği durumlarda, odaklanmanın yerini, kodla kontrol ederek geometrik değişikliklerle değiştirebilmektedir. Odaklanma istenmeyen durumlarda ise, oda geometrisinde, hangi yansıyan ışınların odaklanmaya neden olduğunu tespit ederek (simülasyonları izleyerek) ya da alt program sonuçlarında değerlendirerek çizelge 3.14'te görülen 27 ve 38 numaralı kod satırlarından tasarımını güncellenebilmektedir.

Üç boyutlu aktif simülasyon programında, hem simülasyonlar sırasında izlenilirken, hem de değerlendirme kriterlerinde homojenlik değerinde ses gölgeleri tespit edilebilmektedir. Ses gölgesi çıktısı alınması istenildiğinde, ilgili bölümde sadece direkt ses ışınlarının kayıtlarının alınması programa tanımlanmalıdır. Nesne tabanlı bir programlama biçimi kullanıldığı için, tasarımcının sadece yansımış ya da sadece direkt alan üzerinde deneyler yapması, veri tiplerinde belirtilen *boolean* değerinin doğru ya da yanlış olarak değiştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu bölüm, bir *loop* ile kontrol edilmektedir. Çizelge 3.14'te başlangıç noktası (501 numaralı kod satırı) belirtilmiştir.

3.7 Test ve Karşılaştırma Bulguları

Final tasarımı belirli olan mimari projelerin akustik tasarımında, tezde çalışılan akustik performans değerlendirme kriterlerinden daha fazla ve ayrıntılı parametre ölçümleri yapılmaktadır. Mevcut ve final tasarımların arasında çok sayıda olası tasarım durumunu, akustiğin yön gösterdiği bir tasarım sistemi içinde geliştirebilmek için bir yöntem önerisi yapılmıştır. Testler ve karşılaştırmalar, hazırlanan programın, tez süresinin el verdiği oranda akustik özellikleri geliştirilerek, akustik konusuna hizmet edecek şekilde yapılmıştır. Sistemde tanımlanan kaynak, ses kaynağı özelliklerini taşıyabilecek bir biçimde tasarlanarak detaylandırılmıştır. Simülasyon modeli, salonda sesin ve literatürdeki kurallara göre belirli ses olaylarının modellenmesi, ses düzeyi hesaplamaları ve geometrik akustikte tahmin yapılabilmesi için kabul edilen temel bilgiler kodlanarak kurulmuştur. Literatürde yer alan global ses düzeyi düşüşü, formüllere göre düzenlenmiştir. Analizler, akustik biliminde kullanılan ses düzeyi birimlerinden Desibel ve Watt değerleri programda, birbirlerine dönüştürülerek (tasarımcıların genellikle Desibel, teknik alanlarda ise Watt değerinin kullanılması nedeniyle) yapılmaktadır. Bilgisayar, akustik performans değerlendirme kriterlerini,

parametrelerini ya da bir noktadan başka bir noktaya iletilen bir noktanın bir ses ışını olarak hangi özelliklere sahip olması gerektiğini, bu işlemin hangi sürede gerçekleşmesi gerektiğini vb. bilgileri bilmemektedir. Uygun akustik performans değerlerini tasarımcıya sağlayabilmek için, reverberasyon süresi, ses hızı, farklı frekans bantlarının tanımlanması vb. akustikle ilgili olay ve kriterler önerilen yöntemin kullanımına bir örnek oluşturabilecek programa kodlanarak tanıtılmıştır. Program, dört adet test salonu hazırlanarak, uygulamalı bir biçimde geliştirilmiştir. Test salonlarından üretilen yedi farklı tasarım durumunda elde edilen akustik sonuçlar, mevcut ve geçerliliği kabul edilmiş bir akustik yazılımla karşılaştırılarak sağlanmıştır. Simülasyonlarda incelenebilen, mimari tasarımda akustik performansı arttıran etkilerin literatürde belirtilen kriterlere uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aşağıda öncelikle, programın geliştirme aşamalarında yapılan testlerden çıkan akustik performans ile ilgili alt bulgular, sonrasında karşılaştırma sonuçları ile elde edilen bulgular özetlenmiştir.

Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Testlerde, test salonları üzerinde, iligili yöntemin ve programın geliştirilerek tasarımcılara projelerinde akustik performans değerlendirme olanağı sunulması hedeflenmiştir. Yöntem ve çalışabilirlik, test salonlarının modelleri üzerinde geliştirildiği için salonlar tek tek incelendiğinde, akustik performansla ilgili alt sonuçlar da elde edilmiştir. Önerilen yöntemi kullanarak tasarlayan bir mimar, farklı tasarımlara sahip salonlardan farklı alt bulgular elde edebilecektir. Yorumlamalar, sesle ilgili detayların tamamının tez süresince programa eklenemediği, amacın projelerin sonuç değerlendirmesi olmayıp, tasarımın ilk aşamalardan itibaren akustik etkileri konusunda tasarımcıya fikir verebilmesi olduğu da düşünülerek yapılmıştır.

Programın ilk versiyonları, test salonu 1'de çalışılmıştır. Akustikle ilgili özelliklerin eklenebilmesi için; kapalı geometrilerde, birim üretimi ve ışın tarama sisteminin işleyişi hazırlanarak gerekli tanımlamalar yapılmıştır. Test salonu 2 ve 4, programın ilk versyonlarından, akustikle ilgili bilgilerin bulunduğu gelinen noktaya kadar, test ve karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Test salonu 3, farklı boyut ve geometri değişiminin simülasyonlara etkisi, tek ve geniş hacimli bir kabuk sisteminin dinleyici alanına etkileri, simülasyon programındaki değer geri bildirimlerini ölçmek üzere kullanılmıştır. Program geliştirilirken, en uzun zaman, ışın tarama sisteminin

kurulması ve akustikle ilgili bilgilerin (örneğin global düşüşün) uygun bir dille bilgisayara tanımlanması çalışmalarında geçmiştir.

Akustik performansla ilgili test salonlarına özgü bulgular:

- Klasik düzene sahip test salonu 2 ve 4'te, salondaki akustik koşulları en çok etkileyen panellerin, sahnenin hemen üstünden itibaren ilk sıralarda yer alan paneller olduğu görülmüştür. Bu durum, literatürde belirtilen faydalı tavan panel mesafeleri ile ilgili yapılan önerileri desteklemektedir.
- Akustik literatüründe, tasarım salona özgü gerçekleştirildiği için, belirli bir salon biçimi ve yerleşimi üzerinden çalışılan bağıntıların farklı geometrilerde olumlu sonuçlar veremeyebileceği ve araştırılması gerektiği belirtilmektedir. Mimar, önerilen yöntemle, gerçekleşen yansımaların, dinleyiciye ulaşma düzeylerini kaynağın hareketli olabildiği farklı biçim ve özellikteki panellerin ve salon geometrik durumlarının simülasyonları ile elde ederek karşılaştırabilmektedir. Yeni bağıntıların da ileride veri sonuçlarından okunarak geliştirilebileceği düşünülmektedir.
- Test salonu 2 ve 4'ün farklı durumlarında, açılı panelli geometrik durumda, düz duran panelli duruma göre dinleyici alanının genelinde ve özellikle sahneye yakın sıralarda oturan dinleyicilere ulaşan ses düzeyi yükselmektedir ve dağılımdaki homojenlik düşmektedir. Bu durumda, ilgili panellerin açı değişiminin ilk yansımalara doğrudan etkisi bulunmaktadır ve bir akustik parametreyi yükselten geometri değişimi başka bir parametrenin değerini düşürebilmektedir.
- Kullanılan tavan panelleri açılı ise, açılı yüzeye göre, dinleyici alanındaki çeşitli alıcı noktalarında beklenmeyen ses düzeyleri de görülmüştür. Salonda bulunan her yüzey açısının dinleyici noktasına etkisi olduğu ve doğru tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır.
- Test salonu 1'de akustik olarak gölgede kalan alanların bulunduğu tespit edilmiştir. Yutuculuk hedeflenmediyse, ara bölücü boyutlarının sesi etkilemesi nedeniyle, uygun boyutlarda seçilmesi gerektiği anlaşılabilmektedir.

- Test salonu 3'te ses dağılımı, yarım elips biçimindeki dış bükey panelle, panelsiz iç bükey tavanın kullanılmasındansa daha olumludur. Ses ışınlarının yansıma yönlerini dış bükey bir panelin sesi salon içine doğru dağıtarak dinleyiciye daha uygun dinleme koşulları sunabileceği anlaşılmıştır. *Shanghai* Konser Salonu (Url-52), *Elbphilermonie* konser salonu (Url-50) gibi benzer mevcut yapılarda da, tavanda dış bükey büyük akustik kontrol birimlerinin kullanıldığı görülmektedir.
- Test salonu 2'nin panelsiz ve düz panelli tasarımlarında tavanın altında birbirine yakın ve geniş yüzeylere sahip olan panellerle çalışıldığında akustik sonuçlar, diğer durumlara göre birbirine daha yakın çıkmaktadır. Bu durumun, tavan panellerinin yerleşimi nedeniyle düz bir tavan görevi görmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.
- Salon 4, düz bir tavana sahip olduğu panelsiz durumda, çeşitli dinleyici alanı noktalarında beklenmeyen yüksek düzeyler görülmektedir. Bu durumun duvarlardaki girintili çıkıntılı yüzeylerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu düzeylerin olumlu olmadığını düşünen bir tasarımcı, simülasyon ışınlarından uygunsuz duran yüzeyi bularak tasarımında değişiklikler yapabilecektir.
- Test salonu 2'de, malzeme yutuculuklarının bulunmadığı durumda, elde edilen karşılıklı yansıma durumu, geometrik akustik teorisine dayalı modellerde dalga prensiplerinin geçerli olmadığını ve ışın tarama simülasyonunun teoriye uygun işlediğini göstermektedir.
- Dağılım, salonda panel bulunması ya da panel açılarına göre değişmektedir. Örneğin salon 2'de panellerin düz olduğu ve açılı bulunduğu durum karşılaştırıldığında, düz durumda dinleyici alanının ortalardan itibaren arkasının daha çok yansımış ya da enerjisini daha çok kaybederek ulaşan ve daha düşük düzeye sahip seslerden faydalanmaktadır. Açılı durumda ise bu alan genişlemektedir.
- Test salonu 2 ve 4'ün farklı durumlarında, odaklanma noktası ya da gölgede kalan alanlar görülmemiştir.

Karşılaştırma Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Karşılaştırma sonuçları iki farklı yönden incelenmiştir. Mevcut ve önerilen yöntem kullanılarak elde edilen akustik performans sonuçları ve karşılaştırmalar gerçekleştirilirken geçen süreler değerlendirilmiştir.

1. **Sonuç Değerlerine İlişkin Bulgular:**

    - Odeon sonuçları ile değerlerin yakınlığı sadece ses haritalarında değil, önerilen yöntemde ölçülen kriterlerin (renk toplamın, ortalama ve standart sapma) sayısal değerlerinde de görülmektedir. Bu durumda, sonuç değerler ile ilgili ikinci bir sağlama yapılmıştır. İlgili bölümde anlatılan durum, (şekil 3.95) değerlerin Odeondan alınan sonuç değerlerle (şekil 3.82 ve 3.84) karşılaştırılması ile elde edilmiştir.
    - Simülasyon modellerinin farklılığına rağmen, iki programda, harita dokularının ve sonuç sayısal değerlerinin yakınlığı, tezde kullanılan programların ayrıntılandırıldıkça genel sonuçlardan çok, hassas değerlere etkisinin bulunduğu görülmektedir.
    - Tasarımcı Odeon programını, grafik arayüzüne, Üç boyutlu aktif akustik simülasyon programını koda veri girişi yaparak kullanabilmektedir. Tezin komut çizelgesi bölümünde, hazırlanan programın kullanım kılavuzu oluşturularak veri girişi yapılması gereken kod satırları (çizelge 3.20) belirtilmiştir.
    - Dinleyici noktalarına yakından bakıldığında, küçük geometrik değişiklikler olsa da tek bir dinleyici için ses düzeyinde büyük değişiklikler görülebilmektedir. Bu durum, kaynağın konumunun değiştirilmesiyle de gerçekleşmektedir. Salonun akustik performansının değerlendirilmesinde, genel düzeylerin yanısıra, tek tek dinleyici noktalarında da farklı kaynak koordinatlarına göre verilerin ele alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

2. **Süre İle İlgili Bulgular**

Önerilen yöntemle, mevcut yöntemlerin mimari tasarıma yaklaşım biçimleri farklıdır. Mevcut yöntemlerde mimar eskizler, modeller yaparak ya da düşünerek mimari tasarım konseptini oluşturmaktadır. Sonrasında bilgisayardan destek

alarak, düşüncesinde oluşturduğu verileri bilgisayara depolayarak, tasarımının temsilini gerçekleştirmektedir. Önerilen yöntemle tasarlama koşulları, algoritmik bir düşünce yapısını da içinde barındırdığı için tasarlama ve temsil iç içedir. Salon tasarımının yapılarak akustik performansının değerlendirilmesinde geçen sürelerin karşılaştırılması, karşılaştırmalar yapılırken, bir mimari tasarım süreci olmadığı için (test salonları, tezde teknik testler için hazırlanmıştır) tasarımcının hafızasında salonla ilgili bir tasarımın bulunduğu kabul edilmiştir. Bunu modele aktardığı düşünülerek modelin hazırlanma ve değerlendirme süreleri karşılaştırılmıştır. İlerleyen çalışmalarda, tasarımla ilgili süre karşılaştırmalarının yapılması, önerilen yöntem salon tasarımına yönelik olduğu için mimari tasarım alanında farklı tasarımcılarla yapılması önerilmektedir. Anlatılan kabulle, farklı durumlara göre farklı zaman kazanımları elde edilmiştir.

- Mimari model hazır değilse, mevcut yöntemlerle 3.5 saat süren temsil ve akustik performans değerlendirilmesi, önerilen yöntemle 1.14 saat sürmüştür.
- Mimari model hazırsa, üzerinde değişiklikler yapılarak farklı geometrik durumların akustik değerlendirmesi yapılması istenildiğinde, geçen süreler aşağıda belirtilmiştir. Durumlar, tezin karşılaştırma bölümünde, ayrıntılı anlatılmıştır.

  1. Durum 1: İlk durumda, mevcut yöntemlerle 1.5 saat süren değerlendirmeler, önerilen yöntemle 5 saniye sürmektedir.

  2. Durum 2a: İkinci durum a'da, mevcut yöntemlerle 7.5 saat süren değerlendirmeler, önerilen yöntemle 25 saniye sürmektedir.

  Durum 2b: İkinci durum b'de mevcut yöntemlerle 3 saat süren değerlendirmeler, önerilen yöntemle 5 saniye sürmektedir.

  3. Durum 3: Tüm olası tasarım durumlarının değerlendirildiği üçüncü durum, mevcut yöntemlerle 150 saat, önerilen yöntemle 8 dakika 20 saniye sürmektedir.

- Hesaplamalı bir yaklaşımla tasarlanan, ayrıntılı ve çok girdili gereksinimlere sahip projelerde, söz konusu süreler arasında daha büyük farklar olabileceği düşünülmektedir. Olası durumların sayısı ve değiştirilen geometrik farklılıklar arttıkça tasarımcının çalışma süresi uzamaktadır.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Akustik işlevli salonlarda geometri, akustik parametreleri etkilemektedir. Akustik gereksinimlerin geometri ile bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Salonlarda istenilen akustik konfor ve performansı sağlayabilmek için, teknolojik gelişmelerden destek alınmaktadır. Salon tasarımında mimarların, ilk aşamalarda salonun akustik performansının belirleyicisi olabilecek kararlar alması nedeniyle, özellikle ilk aşamalardan itibaren akustiğin işin içine katılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Bu aşamalarda, bilgisayar desteği alınırken, salon tasarımında kullanılan mevcut yöntemlerde ve mimari modelleme araçlarında, akustik işin içine, ilk aşamalardan itibaren yeterli oranda katılamamaktadır. Akustik tasarıma yönelik araçların (akustik simülasyon programlarının) ise genellikle tasarımın son aşamalarında fikir verebildiği ve detaylı akustik parametre hesaplamaları yapmaları nedeniyle tasarım sürecini yavaşlatabildiği (yüksek hesaplama düzeyi ile işlem hızı yavaşlamaktadır), literatür çalışmasında anlaşılmıştır.

Bununla beraber, hesaplamalı tasarlama yaklaşımıyla, bilişim teknolojilerinden yararlanılarak, tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler algoritmalar yoluyla incelenebilmekte, performans analizleri gibi analitik incelemeler, tasarımın ilk aşamalarından itibaren tasarıma katılabilmektedir. Bu yaklaşımın, yapı fiziği alanlarında kullanılarak geliştirilmesiyle, detaylı hesaplamalara dayanan teknik gereksinimlerin, birer tasarım parametresi olarak ele alınarak, performans analizlerinin (akustik üzerinden örneklenmiştir) ilk aşamalardan itibaren mimari tasarımı yönlendirebileceği düşünülmüştür. Performansa dayalı, hesaplamalı tasarım sayesinde tasarımcılar, geliştirdikleri tasarımların teknik özelliklerini, süreç boyunca sorgulayabilmekte, içinde bulunulan tüm koşulları değerlendirebilmektedir. Geometri üzerinde sayısal denetim, değişkenlerle ifade edilen parametrelerle sağlanmaktadır.

Aşağıda, tez çalışmasında elde edilen genel bulgular, 4 başlık altında yorumlanmıştır.

4.1 Mimarlıkta ve Akustik Biliminde Hesaplamalı Yaklaşımla Kurulan Teorik Çerçeve ve Ön Kodlama Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular:

- Mimarlıkta kullanılan matematiksel ve geometrik hesaplamaların görselleştirilmesi, dijital platformlardan destek alınarak modellenebilmekte ve kriterlere uygun olası teknik çözümlemeleri içeren tasarımlara, geleneksel tasarım ve temsil yöntemlerine göre daha az çaba sarf ederek ulaşılabilmektedir.
- Mimaride bilgisayar tekniklerinin kullanımı, bilgisayar destekli çizimden, bilgisayar destekli mimari tasarıma ve günümüzde hesaplamalı tasarıma dönüşmüştür. Bilgisayar, sayısal tabanlı bir mimari tasarım ortamı ya da bir tasarım ortağı olarak görülmektedir. Bilgisayarlar, temsil, veri tabanı oluşturma ya da verilen formül hesaplamalarının dışında, eş zamanlı simülasyon, yapay zeka algoritmaları vb. yeni tekniklerle tasarıma farklı biçimlerde katılabilmektedir. Akustik çözümlemelerde bu tekniklerden yararlanabilmek için, tasarımcılara yönelik, ayrıntılı hesaplamalar yapılmadan, tasarımcıya akustik performans konusunda fikir verebilen, tasarımın ilk aşamalarında kullanılabilen, hızlı çalışan ve yeni tasarım parametreleriyle sınama yinelemeleri (farklı olası parametreleri ya da bir fonksiyonu yineleyerek bir tekrardaki çıkış bilgisini bir sonrakinin girişi olarak kullanabilen) yapabilen yeni yöntemlere ve uygulanabilecekleri programlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Tasarımcılar, bilgisayara isteklerini anlatma ve kodlayarak işlerini yaptırmayı, görselliğin ön planda olduğu tümleşik geliştirme ortamlarında sağlayabilmekte ve çeşitli tasarım destek araçları geliştirebilmektedir. Kodlayarak, tasarımcının ihtiyacı olan aracı tasarlaması ve kullanması, tasarımcı ve dijital destek sistemi arasındaki etkileşimi hızlandırmakta ve bilgisayarla iletişimi özgürleştirmektedir. Bu durum, tasarımcının bilgisayarı hesaplayabilen bir eskiz defteri gibi kullanabilmesine olanak sunmaktadır.
- Mimarların kullanabileceği çeşitli temel veri ve tanımlama türleri bulunarak, kullanımları Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı ve

diğer kodlama örnekleri üzerinde anlatılmıştır. Tez çalışmasından yararlanarak, tasarımcıların kendi yardımcı yazılımlarını geliştirebilecekleri ya da tez çalışmasında hazırlanan yazılımdan yararlanabilecekleri düşünülmektedir. Tasarımcının mevcut kodları okuyarak değiştirmesi, yazdığı hesaplama sonuçlarının etkilerini görmesi, yeni geliştireceği yazılımlarda kullanabileceği teknikler için temel hazırlamaktadır.

4.2 Önerilen Yöntemin Mimarlık ve Akustik Bilimine Katkıları ve Kullanılabilirlik alanları

Tez çalışmasında önerilen yöntemin, akustik işlevli salonların mimari tasarımı ve geometri ile ilişkilendirilen akustik parametre araştırmalarda kullanımı olmak üzere, iki farklı alanda kullanılabileceği düşünülmektedir. Aşağıda iki alanda elde edilen bulgular belirtilerek, cevaplanabilecek araştırma sorularından örnekler verilmiştir.

Akustik işlevli salon tasarımında kullanımı:

- Önerilen yöntemde mimar, tasarımın taşıması gereken özellikleri belirleyerek kural koymakta, bu kurallara bağlı üretilen ve sınanan tasarımların akustik performans sonuçlarını yorumlamaktadır. Bu durumu sağlayabilmek için tez çalışmasında, genel bir strüktür hazırlandıktan sonra (simülasyon ortamının, yöntem işleyişinin planlanması, tasarım üretimi ve sınanmasının kodlanması), ayrıntılar (akustik ve ses olaylarının eklenerek sınamanın akustik kriterlerle geliştirilmesi) tasarlanmıştır. Algoritma, mimarın, salon tasarımında, uzun süre ve emek harcayarak gerçekleştirdiği tasarım denemeleri, temsilleri ve akustik performans değerlendirmelerinde yaptığı hesaplama, tasarım varyasyonu üretimi ve modellenmesi, simülasyon, değişikliklerin işlenmesi, veri kaydı ve sıralaması işlemlerini otomatik gerçekleştirmektedir. Bu durumun, daha iyi akustiğe sahip salonların tasarlanmasına ve mevcut salonlarda gereken değişikliklerin değerlendirilmesine katkıda bulunabilineceği, tasarımcıya hız ve ekonomiklik kazandırabileceği düşünülmektedir.
- Önerilen yöntemde amaç, mevcut tasarımın akustik performansının ayrıntılı değerlendilmesi değildir. Amaç, üzerinde çalışılan tasarım, hangi

yöne ilerlerse akustik performansının artabileceğini anlayabilmektedir. Bu nedenle üzerinde çalışılan tasarımın akustik sonuçları, simülasyon dizilerindeki yerine göre (diğer olası tasarım durumları ile karşılaştırılarak) değerlendirilmelidir.

- Tasarımların matematiksel formüller gibi yazılarak ve hesaplanarak geliştirilmesi, kodlama ile mümkün olmaktadır. Bu durum tasarımcıya, tasarım aşamasında göz önüne getiremediği biçimleri de programlayarak görme ve düşünmediği tasarım olasılıklarının da akustik performans değerlerini elde etme olanağı sunmaktadır. Tasarımcı, simülasyonları izleyerek, girdiği kuralların ve hesaplamaların görselleştirilmesi ile tasarımında sesin etkileri ile ilgili keşifler yapmaktadır. Beklenmeyen bir geometrik durumun, yüksek akustik performans gösterebilmesi ya da tam tersi mümkün olabilmektedir.
- Simülasyonlardan anlaşılan ve literatürde belirtilen, salonların mimari tasarımın ilk aşamalarında geometri ile ilişkilendiren akustik performansı arttıran etkiler; uygun malzemelerin, hacim, salonun yükseklik ve boyutların, akustik kontrol birimlerinin seçimi, uygun ses düzeylerinin her dinleyici noktasında sağlanması, yüzey açılarının, salonda kullanılan birimlerin, uygun miktara, konuma, yerleşime, biçime, boyuta sahip olması, dinleyicilerle ses kaynağı arasında bir engelin bulunmaması, tavan ya da tavan panellerinin uygun geometrik biçimde olması, dinleyici alanının farklı bölgelerinin ses almasında ve düzeylerinde farklı geometrik yüzey ya da birimlerin etkili olabildiği ve bu birimlerin tek tek de ele alınarak dinleyici noktalarında elde edilen uygun ses düzeylerini sağlayabilecek bir biçimde tasarlanması gerektiğidir.
- Akustik performans değerlendirmesi, salona özgü olduğu gibi salondaki her bir birimin geometrik durumu ile de ilişkilidir. Farklılaşan geometri ile değişen ses haritaları sonuçlarından anlaşıldığı gibi, salonda yer alan birimlerin sayısı, kapladığı hacim arttıkça veya boyutları büyüdükçe, akustik performansa daha çok etkisi bulunmaktadır. Bu durum, salonda, özellikle büyük metrajlarda yer kaplayan birimlerin tasarımına dikkat edilmesi gerektiğini göstermektedir. Aynı zamanda, çeşitli yüzeylerin (örneğin, sahne üstü ve dinleyici alanı arasındaki tavan ya da panellerinin)

dinleyici alanının sahneye yakın ilk ve ikinci yarısında farklı etkileri olabilmektedir. Bu birimler, ilişkili yüzeyler ile birlikte ele alınarak da değerlendirilmelidir.

- Geometri değişimi ile genel ses düzeyi haritaları düzey ve tek tek dinleyici noktalarına bakılarak karşılaştırıldığında, değerlendirme kriterlerinde de görülebilen farklı etkileşimler bulunmaktadır. Bu durumda, ilgili akustik parametreleri olumlu etkileyen bir değişiklik, başka bir parametreyi olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum literatürde belirtilen bilgileri desteklemektedir.
- Tasarımla eş zamanlı akustik etkilerin öğrenilmesinin, daha iyi akustik koşullara sahip salonlar tasarlamaya katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu etkiler, veri kayıtları incelenerek ve/veya simülasyonlar izlenilerek değerlendirilmelidir. Bir tasarım parametresinin değiştirilemesi üzerine sorulan örnek tasarım soruları ve cevaplarının bulunuşu: Bir duvarın 5 ile 10 m arasında uzatılmasının salonun akustik performansına olan olumlu, olumsuz etkileri nelerdir? Soru, veri kayıtları incelenerek ve simülasyonlar izlenerek cevaplanır. Kaynaktan çıkan ses, belirli bir dinleyiciye, belirlenen bir sürede hangi tavan açısında ulaşabilmektedir? Hangi düzeylerde ulaşmaktadır? Soru, alt programda oluşturulan ses düzeyi haritası ve üç boyutlu model incelenerek cevaplanır.
- Yapılarda sesin, ses olaylarının görselleştirilmesi ve üretilen tasarımlarda sesin etkilerinin izlenilmesiyle, mimarlık öğrencilerine ya da konu ile ilgili kısıtlı bilgisi olan kişilere anlatımı ve açıklanmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.
- Tasarımcı anlatılan şekilde tasarımını bir noktaya getirdiğinde, kodu kopyalayıp akustik tasarımcıya gönderebilmektedir. Akustik tasarımcı, kodu bir bilgisayara yapıştırarak mimarın tanımladığı değişkenleri kod üzerinden okuyarak ve yeni değişkenlerle simülasyonları ayrıntılandırarak çalışmaya mimarın getirdiği noktadan itibaren devam edebilmektedir. Tam tersi, akustik danışmanın olması gereken değişkenleri koda tanımlayarak mimara göndermesi ile de mümkündür. Bu durumda mimar, akustik çerçevenin çizildiği bir platformda çeşitli geometri üretimlerini

gerçekleştirerek tasarımını geliştirir. Üretilen her tasarım, başta tanımlanan akustik kriterlere uygun üretilecektir. Bu durumun, çalışmaya verimlilik kazandırabileceği düşünülmektedir.

- Tasarımcı, bir salon tasarlarken salonun kişi sayısı, hacmi, yüzey büyüklükleri, malzemeleri, aydınlatma, gibi işlevsel gereksinimler ile statik, yangın, mekanik, elektrik vb. teknik alanların gereksinimleri ile birlikte ele alarak tasarımını şekillendirmektedir. Bu gereksinimler, salon geometrisini, salon geometrisi de mimari tasarım ve akustiği etkilemektedir. Önerilen yöntemle, tasarım ve diğer alanların gereksinimleri birer parametre olarak bilgisayara tanıtılmıştır. Örnek olarak, yeri belirli bir ışık köprüsünün salonda koordinatlarının başta bir değişken olarak tanımlanarak, üretilen panellerin bu koordinatlarda bulunmadığı olası tasarım denemelerinin üzerinde çalışılması verilebilir.
- Akustik işlevli salonlarda mimari ve akustik tasarım, genellikle farklı zamanlarda ve programlarda modellenip hesaplanarak gerçekleştirilmektedir. Ekonomik nedenlerle, akustik tasarım sürece hiç dahil edilemeyebilmektedir. Literatürde belirtilen bu noktalara yönelik, önerilen yöntemde, hazırlanan geometrik tasarımın akustik geribildirimi, ilk tasarım aşamalarında ve aynı dijital platformun içinde alınmıştır. Temel kararlarda salon akustiğini etkileyen geometrik tasarımların uygun olmasının, ses sistemlerinin dahil edilerek ayrıntılı akustik tasarım sürecini ve salonun akustik performansını olumlu etkileyeceği düşünülmektedir.
- Akustik olarak uygun olmayan çeşitli koşulların tasarımın ilk aşamalarında fark edilebilmesinin ve kaynağının bulunmasının, akustik kaliteyi arttırabileceği düşünülmektedir. Bu koşullar; ses almayan bölgelerin görülerek ya da sayısal olarak belirlenmesi (örneğin homojenlik değerinin düşük olması), etkin ses dağılımının uygunsuz olması (ses düzeyi haritalarının yorumlanması), ses odaklanması (simülasyonda renklerin belirli bir noktada toplanması), sesin salonun bir noktasında düzeyinin çok düşük olması (ses düzeyi haritasında belirli bir dinleyici koordinatındaki ses düzeyi değerlerinin incelenmesi), salondaki ses düzeyinin başta tanımladığı simülasyon süresinde salonda uygun ses dağılımı

sağlayamaması ile salonda uygun olmayan malzeme seçimi olduğunun anlaşılmasıdır.

- Tasarımcı önerilen yöntem ile sadece geometrik birim üretimi üzerinde çalışmak istediğinde, akustik sınama bölümü kapatılmalıdır ve bir tasarım denemesinin ekranda ne kadar kalması gerektiği tanımlanmalıdır. Bu durumda, akustik performans ölçülmez. Farklı geometrik tasarım denemeleri gerçekleşirken, tasarımcı izleyerek yorumlar.

Akustik araştırmalarında kullanımı:

- Akustik parametrelerin büyük bir bölümü; ilk ve gecikmiş yansımaların, direkt ve yansıyan seslerin sürelerinin, yansıma yüzeylerinin, yansımaların dinleyici alanına olan etkilerinin incelenmesi ile yorumlanabilmektedir. Tasarımcı kaynak koda müdahale edebildiği için, hesapladığı parametrenin hesaplanma biçimine hakim olabilmekte ve akustik literatüründe önerilen farklı hesaplama biçimlerini deneyebilmektedir. Bu durumun, nesnel parametrelerle ilişkilendirilen öznel parametrelerin araştırılmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Örnek olarak reverberasyon süresi, ses yüksekliği (*loudness*), ortalama ses basınç düzeyi, direkt ve yansımış ses alanlarının etki süreleri, düzeyleri ya da direk ses ve yansımış seslerin kat ettiği mesafelerle ilgili parametreler verilebilmektedir. Önerilen yöntemin ve hazırlanan programın statik kullanımı ile cevaplanabileceği düşünülen örnek araştırma soruları aşağıda belirtilmiştir.
    - Tek bir geometrik durum ile ilgili olan sorular (bu soruların bir bölümü mevcut yöntemlerle de cevaplanabilmektedir): Kaynaktan çıkan ses düzeyi 20 dB düştüğünde, hangi dinleyicilere ses uygun düzeyde ulaşmamıştır? Tasarlanan salonda, direkt ses ile yansımış ses ışınının yol farkı belirli bir koordinatta yer alan dinleyici için nedir? Belirli bir koordinattaki dinleyici noktasında, belirli bir sürede kaynak ve alıcı noktası uzaklığına bağlı olan ses düzeyleri (ses yüksekliği, canlılık vb) nedir? Yüzey açıları ve boyutlarla ilgili olan netlik, mekansal algılama belirli bir koordinatta yer alan dinleyici için nedir?

- Tasarım değişimi bir kriteri olumlu etkilerken başka bir değerlendirme kriterini olumsuz etkileyebilmektedir (Örneğin 3.bölümde anlatılan açı değişiminde ön sıralardaki dinleyicilerin sesi daha yüksek düzeyli duyması, salon genelindeki düzey farklılıklarının artması). Önerilen yöntemle farklı durumların akustik sonuçları kayıt altına alınarak, analiz sonuçlarını içeren akustik veriler tasarımcıya sunulmaktadır. Bu nedenle önerilen yöntemin salonlarda geometrinin etkilediği ve birbirinden etkilenen akustik parametre araştırmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir. Aktif kullanım ile cevaplanabilecek örnek araştırma soruları, aşağıda belirtilmiştir.
    - Farklı geometrik durumlarla ilgili sorular (Bir önceki maddede belirtilen bir geometrik duruma ait soruların birer parametre (kural) olarak tanımlanarak, olası salon tasarım durumları için değerlendirilmesi): Tavan açısının değişimi, belirli bir koordinatta yer alan dinleyici için direkt ses ile yansımış ses ışınının yol farkını nasıl etkilemektedir? Kaynaktan çıkan ses düzeyi 20 dB düştüğünde, hangi tasarım durumunda, uygun düzeyde ses ulaşmayan dinleyiciler en azdır? Hangi tasarım durumunda (5 ve 20 arası kaç adet panelle? hangi açısal durumdaki panellerle, salon boyu sabit olmak üzere 300 ve 9000 m^3 arası hangi hacimde?, dinleyici alanı hangi konumdayken, hangi malzeme kombinasyonlarıyla, kaç adet balkon kullanılmasıyla vb.) belirli bir akustik parametre en yüksek, alçak ya da belirlenen bir değerde olmaktadır? Geometri değişimi, belirtilen parametreler sabit tutulduğunda istenilen parametreleri nasıl etkilemektedir? Belirli bir parametrenin değişimi, geometri sabit tutularak diğer tanımlanan parametreleri nasıl etkilemektedir?
- Kaynak noktası konumunun, dinleyici ile ilişkisinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Kaynak noktası değiştirildiğinde, çeşitli dinleyici noktalarında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sahnede şarkı söyleyen bir sanatçı, hareketli bir ses kaynağıdır. Bu durum, önerilen yöntemde kaynak koordinatının bulunduğu kod satırına, fareyi (*mouse*) takip et komutu verilerek, modellenebilmektedir. Ses kaynağı, farenin hareketi ile hareket

etmektedir. Bu durumun akustik araştırmalara katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

- Tezde, geometri değişken bir parametre olarak ele alınmıştır. Değişken parametrelere farklı tanımlamalar yapmak mümkündür. Örneğin, reverberasyon süresi ve geometri sabit tutularak simülasyonlar dizisi başlatılır. Bu çalışmada, panelin açı değiştirme parametresi yerine, duvarın ortalama yutuculuk değerinin her simülasyonda 0.1 değerinde arttırıldığı programa kural olarak belirlenir. Her simülasyonda duvar yutuculuğu arttırılarak akustik performans sonuçları otomatik kayıt edilir. Tasarımcı, simülasyonların sonunda, uygun değerlere ulaşılan simülasyonları veri tablosundan seçerek, duvarın mermer, taş yünü ya da alçıpanel olması konusunda, karar verebilecektir.

4.3 Üç Boyutlu Aktif Tasarım Programı ve Alt Programının Tasarıma Katkıda Bulunabilmesi İçin Tez Süresince Geliştirilen Özellikleri ve Gelinen Nokta

Tezin konusunu oluşturan aktif bir modelleme tekniği ile yeni bir bilgisayar programı ve onu destekleyen bir alt program, literatürde yer alan bilimsel bilgilere göre, kodlama yapılarak yazılmıştır. Programa, istatistiksel ve akustik hesaplamalar eklenmiştir.. Tezin test ve karşılaştırma sonuçlarını içeren 3. bölümünde detaylı anlatılan bulgulara göre, Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programı ve tasarımcıların kullandığı, geçerliliği kabul edilmiş Odeon Programının simülasyon sonuçları, ses düzeyi haritalarının dokusu, sayısal ve görsel olarak birbiri ile çok yakındır. Bu benzerlik, Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Programındaki akustik hesaplamaların uygun çalıştığını, tasarımcının, tasarım sırasında geometri ile ilgili akustik bilgiler konusunda fikir edinebileceğini ve ileride programın akustik özelliklerinin geliştirilmesi ile hassas sonuçlar da elde edilebileceğini göstermektedir. Programın yazım amacı, önerilen yöntemi sınamak ve tasarımcılara ileride kullanabilecekleri ya da geliştirebilecekleri bir temel strüktür oluşturmaktır. Tez sonucunda gelinen noktada, olumlu ve olumsuz özellikler aşağıda belirtilmiştir.

Olumlu noktlar:

- Yazılıma her bilgisayardan ulaşılabilmektedir. Program, yüklemeye gerek kalmaksızın kodun kopyalanıp yapıştırılmasıyla çalıştırılmaktadır.

- Salondaki her yüzey noktasında, simülasyonun istenilen bir zamanındaki ses düzeylerinin sayısal değerleri ve çeşitli performans sonuçları, veri setleri olarak kayıt altına alınabilmektedir. Kayıt edilen veri setleri, hazırlanan alt programla mimari sunumlarda ya da yorumlamalarda kullanılmak üzere tekrar görselleştirilebilmektedir. Alt program, görselleştirilen ses düzeyi değerlerinin farklı grafik çıktılarını alarak, ses düzeyi ve reverberasyon süresi haritaları oluşturmaktadır.
- Yaratılan yazılım, hızlı çalışmaktadır. Aktif (ileride interaktif olabilecek), hareketli bir çalışma tekniği bulunmaktadır.
- Modele yaklaşıp uzaklaşılarak, dinleyici koordinatı belirleyerek, dinleyici modelleyerek vb. tekniklerle, tek tek her dinleyici için sonuçlar incelenebilmektedir.
- Yansımalar doğrudan simüle edilmektedir. Tüm ışınların yansımaları değerlendirilmektedir.
- Salon malzemeleri belirli ise, tasarımcı geometrik değişiklikler konusunda optimizasyon çalışmaları yapabilmekte, geometrik durum belirli ise malzeme yutuculuklarını değiştirerek uygun malzemelere karar verebilmektedir.
- Simülasyonlar tasarım boyunca izlenilebilmektedir.
- Tasarımcı isteğine göre mimari birimler üretilebilmekte, üzerinde değişiklik yapabilmekte ve onları hareket ettirebilmektedir.
- Yazılımın mevcut durumunda, dinleyici alanına ya da noktalarına ulaşan ses düzeyi, bu düzeylerin hangi sürede elde edildiği, salondaki ortalama ses düzeyi, salondaki ortalama ses düzeyine göre dinleyici noktalarındaki düzey farkı, dinleyici alanında ses almayan bölümler ve ses odaklanmaları görselleştirilebilmektedir.
- Yansımış alan ya da direkt alan simülasyonları birlikte ya da ayrı ayrı başlatılabilmektedir.
- Simülasyon dizileri, her seferinde yeni tasarım özellikleriyle, otomatik gerçekleştirilmektedir. Belirli bir tuşla tüm simülasyonlar sonlandırılmaktadır.

- Salonlardaki yüzeylerin farklı frekans bantlarında yutuculuk katsayıları girilebilmektedir.
- Simülasyon dizilerinin ilerleyişi ya da kalan süre, konsol üzerinden izlenilmektedir.

Olumsuz noktalar:

- Birimler, çeşitli hareketlerde modelde salon çeperinden dışarı çıkabilmektedir. Tasarımcı, önceden hesaplayarak ya da önlem alan değişkenlerle (örneğin çevresini kontrol et özelliği) çalışmalıdır.
- Geliştirilen programda elektroakustik modellemeler ve tüm akustik parametreler bulunmamaktadır. Mevcut haliyle tasarımların final akustik değerlendirilmesinde kullanılmamalıdır.

4.4 Çalışmanın İleride Yapılacak Araştırmalarda Kullanılabilirliği:

- Gelişen teknoloji, çeşitli işlerin robot ve makinelere yaptırılmasına olanak sağlamıştır. Önerilen yöntemin ve kodlanan programın, mimaride, makine öğrenmesi ve yapay zeka ile tasarım çalışmalarına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bu konularda çalışan farklı alanlardaki bilim insanları, genellikle büyük veri setleri ile çalışmaktadır. İstatistiksel bir algoritmanın, başarıya ulaşması için verilere ihtiyacı bulunmaktadır. Akustik işlevli salonlarda geometri ve akustik kriterlere göre tasarımı sınayarak büyük veri setlerini kayıt altına alabilecek bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır. Sistem geliştirildikçe, bulgular birbirine eklemlenmekte ve süreç hızlanmaktadır.
- Bilgisayarın kayıtlı verileri okumasıyla, tasarımcının daha önce yaptığı ya da başka bir tasarımcının çalışmalarıyla ilişki kurularak sonuçlar, simülasyonlara gerek kalmadan elde edilebilecektir (örneğin girilen bir akustik parametreye uygun, olası tasarımların bilgisayar tarafından üretilmesi). Bu durumda, otomatik optimizasyon için uygun algoritmalar eklenmelidir. Tezde önerilen yöntem ve program bu

sistemin oluşturulması için bir başlangıç önerisi olarak değerlendirilebilmektedir.

- Dalga simülasyonu yapabilen algoritmalar geliştirilip mimari akustikte yaygın kullanım alanı bulduğunda, tezde önerilen yönteme uygulanması mümkün olabilecektir. Bu durumda, tüm geometrik durum ya da belirli kriterlere göre oluşturulan olası geometrik durumların akustik performanslarının otomatik sınanması, ışın tarama yerine dalga simülasyonuyla gerçekleştirilerek, gerçek duruma daha yakın sonuçların elde edilmesi mümkün olabilir.
- Önerilen yöntemin yapısında bulunan parametrelerde genel (akustik yerine aydınlatma ya da yangın konusu ele alınarak bu yönde geliştirilebilir) ya da ayrıntılı (farklı akustik parametrelerin tanımlanması, değerlendirilmesi vb.) değişiklikler yapılarak diğer yapı fiziği konularında da çözümler üretilebilecektir.
- Paralel programlama sistemleri ile araştırmacının birlikte çalışması, kaynak kodun çakıştırılarak, verilerin aynı anda kayıt edilmesi süreci hızlandırabilecektir. Örneğin, belirli bir hacimde, yan duvarların malzemesi, tavan açısı ve sahne genişliği değişimlerinin, belirli kurallara göre tüm olası durumlarının, belirli bir akustik parametreye etkisi 3 bilgisayarda aynı anda denenerek öğrenilebilir. Başka bir bilgisayarda, kayıt edilen sayısal değerler yorumlanır. Bu durumda, araştırma hız kazanmaktadır ve araştırmada test edilen örnek miktarı artmaktadır.
- Akustik tasarımda kullanılan tüm parametrelerin, yazılıma aktarımı tezde, sınırlı bir sürenin bulunması nedeni ile mümkün olmamıştır. İleride kod strüktürüne bu eklemeler yapılabilir. Örneğin, mimari akustikte kullanılan öznel ve nesnel parametrelerin hesaplanması ve görselleştirilmesi için çeşitli modüller eklenilebilir. Eklenilmesi istenilen akustik parametrelerin ışın tarama simülasyonu ve hazırlanan hesaplama yöntemleri ile elde edilebilecek olanları formülleri girilerek ve çıktısı alınarak, farklı hesaplama gereksinimleri olan parametreler (örneğin işitselleştirme için ses dosyalarının eklenmesi veya sinyal

işleme vb.), programa modül ekleyerek geliştirilebilecektir. Programa eklenen her modül, diğer kullanıcılara da fayda sağlayabilecektir.

- Kodlara müdahale edilebilen bir yöntem olması nedeniyle, akustik mimarlık literatüründe anlatılan, akustik programların hesaplama biçimlerinin bilinmemesiyle karşılaşılan sorunların bir bölümünün çözümlenebileceği düşünülmektedir.
- Mimari akustikte alınan statik simülasyonlar, genellikle olası durumlardan birinin (tek bir koordinattaki ses kaynağı), tek bir sinyale göre akustik performansını önceden tahmin etmektedir. Simülasyonlarda gerçeğe daha yakın olduğu için, sürekli sinyal gönderiminin daha uygun olabileceği düşünülmektedir. Önerilen yönteme, sürekli sinyal gönderme modülü eklenilebilir.
- Çalışmaya, işitselleştirme eklenilebilir. Dinleme özelliği eklenirse, müzisyenlerin de programdan faydalanabileceği düşünülmektedir.
- Mimarlık öğrencilerine, üç boyutlu aktif akustik simülasyon programı ile sesin hareketi anlatılarak ses hareketinin görselleştirilmesinin ve kriterler üzerinden sayısal değerlerle yorumlamalar yapılmasının öğrenmeye olan etkileri incelenebilir.
- Önerilen yöntem, interaktif bir biçime dönüştürülebilir ya da sanal gerçeklik ile ilişkili çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bir salon maketi ile, geometrik hareketlerin ilişkilendirilmesi sağlanarak, robotik bir ölçekli makette ses düzeyi ölçümleri yapılabilir.
- Tez çalışmasının farklı mimari akustik konularına da katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Gürültü kontrolü ile ilgili hesaplamaların tanımlandığını varsayalım. Önerilen yöntemin olası durum denemesi özelliği, duvar katmanları için çalışılabilecektir. Testler, bir duvarda, katman kalınlığı, yoğunluğu ya da sıralaması değiştirilerek çok sayıda kombinasyonun hesaplanmasıyla gerçekleştirilebilecektir. Otomatik denemeler sonucunda, tasarımcı veri kayıtlarını inceleyerek istediği performansı sağlayan duvar katmanları değerlendirilebilecektir. Bir sonraki aşamada, istediği

performans değerini yazdığında, bu değeri sağlayan katman kombinasyonlarını görebilecektir.

- İlerleyen çalışmalarda, önerilen yöntem ile geometrisi belirlenen bir salonun, yerinde ölçümlerle performans karşılaştırılmaları yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

Ahnert W., Feistel S., Schmitz O. (2003). Modern tools in acoustic de- sign of concert halls and theatres use and limitations of computer simulation and auralisation, XIII Session of the Russian Acoustical Society, p. 863-874, Moskova, Rusya.

Aish, R., Woodbury, R. (2005). Multi – level Interaction in Parametric Design. Conference Paper in Lecture Notes in Computer Science.

Akipek, F., İnceoğlu Necati. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıkta Kullanımları, Megaron - Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, Url-25.

Allen, J., Berkley, D. (1978). Image method for Efficiently Simuleting Small-Room Acoustics, Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey.

Allred, J., Newhouse., A. (1958). "Applications of the Monte Carlo method to architectural acoustics," J. Acoust. Soc. Am. 30(1), 1–3.

Alpaydın, E. (2013). Introduction to Machine Learning, The MIT Press, second edition.

Ando, Y. (1985). Concert Hall Acoustics, Springer Verlag, Heidelberg.

Aretz, M. (2012). Combined Wave and Ray Based Room Acoustic Simulations of Small Rooms, Challenges and Limitations on the Way to Realistic Simulation Results, Doktora Tezi, RWTH Aachen University.

Atal, B. S., Schroeder, **M. R.** (1967). Study of sound decay using ray-tracing techniques on a digital computer, J. Acoust. Soc. Am. 41(6), 1598.

Ballou, G., (2008). Handbook for Sound Engineers, fourth edition, Elsevier Inc, USA.

Barrios, C. (2011). Parametric Affordances What, When, How, ACADIA Regional, Parametricisim, USA.

Barron, M. (1993). Auditorium Acoustics and Architectural Design, London.

Barron, M. (1994). The New Measures in Concert Hall Acoustics, How much do they explain?, Proceedins of W.C.Sabine Centennial Symposium, CA, Massachusetts, Acoustic Society America, New York.

Barron, R., (2003). Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker Inc., New York.

Barron, M. (2010). Auditorium Acoustics and Architectural Design, Second Edition, Spon Press an imprint of Taylor and Francis, USA.

Bassuet, A., Dellatorre, L., (2013). Computational and Optimization Design in Geometric Acoustics, Building Acoustics Conference Paper.

Bayazıt, N., (1999). Dikdörtgen Kesitli Konser Salonlarının Akustik Değerlendirmesi İçin Bir Tasarım Yöntemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, doktora tezi.

Belov, VV., Burkatovskaya, YB., Krasnenko, NP., Shamanaeva, L. (2018). Application of the Monte-Carlo Method for Solving Problem of Acoustic Radiation Propagation Along Vertical Paths in the Atmosphere, Physics and Astronomy International Journal., 2,2.

Beranek, L. L. (1962). Music, Acoustics & Architecture, John Wiley & Sons Inc, New York.

Beranek, L. (1992). How They Sound: Concert and Opera House, Acoustical Society of America, Newyork.

Beranek, L. (1993). Concert Halls and Opera Houses, Cambridge.

Beranek, L. (2004). Concert Halls and Opera Houses, Music, Acoustics and Architecture, second edition of 1996, springer verlag, USA.

Beranek, L. (2006). Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorbtion, The Journal of the Acoustical Society of America

Beranek, L. (2011). Strength of Sound G, and Its Importance in Evaluating and Planning the Acoustics of Halls for Music, The Journal of the Acoustical Society of America 129, 3020.

Bohn, D. (1988). Environmental Effevts on the Speed of Sound, J. Audio Engineering Society, Vol 36, No 4.

Bohnacker, H., Laub, J., Groß, B., Lazzeroni, C.(2009), Generative Gestaltung, www. Generative-gestaltung.de.

Bohnacker, H., Laub, J., Groß, B., Lazzeroni, C., (2012). Generative Design, Visualize, Program and Create with Processing, Princeton Architectural Press.

Bradley, J. (1990). A Comparison of Three Classical Concert Hall, Journal of Acoustical Society of America, vol 89.

Cavanaugh, W., Wilkes, J. (1999). Architectural Acoustics, Johm Wiley & Sons, Ing.

Cavanaugh, W., Tocci, G., Wilkes, J., (2010). Architectural Acoustics Principles and Practice, second edition, John Wiley and Sons Inc., Canada.

Cérda, S., Segura, J., Giménez, A., Barba, A., Cibrián, R. (2014). Optimal Volume for Concert Halls Based on Ando's Subjective Preference and Barron Revised Theories, Buildings, 4.

Chiang, W. (1994). Effects of Various Architectural Parameters on Six Room Acoustical Measures in Auditoria, doktora tezi, The Graduate School of the Umiversity of Florida.

Charalampous, A., Michael, **D.** (2014). Sound propagation in 3D spaces using computer graphics techniques," in Proceedings of the 20th International Conference on Virtual System Multimedia, Hong Kong, China, pp. 43–49.

Christensen, L., Koutsouris, G., (2013). Odeon Room Acoustic Software User Manual, Version 12, 2. Edition, Odeon A/S, Denmark.

Comninos, P. (2006). Mathematical and Computer Programming Techniques for Computer Graphics, Springer, sf. 361.

Cowan, J. (2000). Architectural Acoustics Design Guide, Mc Graw Hill.

Çağdaş, G., Bacınoğlu, Z., Çavuşoğlu, Ö. (2015). Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar, dosya 35, Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar: Bilgisayarlar Mimarlığın Neresinde? Mimarlar Odası Ankara Şubesi.

Çolakoğlu, B., Yazar, T. (2007). Mimarlık Eğitiminde Algoritma: Stüdyo Uygulamaları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 22, 3.

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

Dalenbäck, B., Strömberg, M. (2006). Real time walkthrough auralization – the first year, Proceedings IOA, Copenhagen.

Davis, A., Fleming, N. (1926). Sound pulse photography as applied to the study of architectural acoustics, J. Sci. Instrum. 3(12), 393–398.

Demirkale Yılmaz, S. (2007). Çevre ve Yapı Akustiği Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Dino, İ. (2012). Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture, Metu Journal of the Faculty of Architecture 2012/1.

Dino, İ. (2015). Tasarım ve Hesaplamanın Doğası, dosya 35, Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar: Bilgisayarlar Mimarlığın Neresinde? Mimarlar Odası Ankara Şubesi.

Diri, B. (2014). Makine Öğrenmesine Giriş, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ders notları.

Doelle, L. (1972). Environmental Acoustics, Reprinted with permission from McGraw-Hill Book Company, New York.

Echenagucia, T., Astolfi, A., van der Herten, A. (2013). Interactive Design Methods for Complex Curved Reflectors in Concert Halls, International Symposium on Room Acoustics, Canada.

Edward, R. (1974). A subjective Assessment of Concert Hall Acoustics, Acustica 30, 183.

Everest, F., Pohlmann, K. (2009). Master Handbook of Acoustics, 5. baskı, McGraw-Hill.

Eyring, C. F. (1930). Reverberation time in "dead" rooms. The Journal of the Acoustical Society of America, 1:217–241.

Fricke, F., Nannariello, J., Cabrera, D. (2006). A Statistical Approach to Concert Hall Acoustical Design, Proceedings of Acoustics, New Zealand.

Funkhouser, T., Tsingos, N., Jot, J. M. (2003). Survey of methods for modeling sound propagation in interactive virtual environment systems.

Funkhouser, T., Tsingos, N., Carlbom, I., Elko, G., Sondhi, M., West, J., Pingali, G., Min, P., Ngan, A. (2004). A Beam Tracing Method for Interactive Architectural Acoustics, Journal of Acoustic Society America, 115.

Gade, A. (1990). The Influence of Architectural Design on the Acoustics of Concert Halls, Applied Acoustics, Vol 31, Issue 1 – 3, 207-214.

Gade, A. (1991). Prediction of Room Acoustical Parameters, 121 Meeting of Acoustical Society of America, Maryland, 1992.

Gerhard, S., Bratoev, I., Strelchenko, V., Petzold, F. (2019). I hear what you are doing! Workspace Awareness in Collaborative Virtual Environments, In: Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA, New Zealand.

Ginn, K. B. (1978). Architectural Acoustics, Bruel and Kjaer, Kopenhagen.

GNU Tasarısı (1983). GNU işletim özgür yazılım işletim sistemi (Url- 36).

Goldschmidt, G. (1994). On Visual Design Thinking: the viz kids of architecture. Journal offprint paper: Design Studies, Vol 15.

Gül, F., Çağdaş, G., Çağlar, N., Gül, M., Sipahioğlu, I., Balaban, Ö. (2013). Türkiye'de Mimarlık Eğitimi ve Bilişim Teknolojileri, 7. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumui Sayısal Tasarım, Entropi, Yaratıcılık, İTÜ, İstanbul.

Haan, C. (1992). Geometry as a Measure of Acoustical Quality of Auditoria, doktora tezi, University of Sydney.

Harris, C. (1967). Absorbtion of Sound in Air Versus Humidity and Temperature, NASA Contractor Report for George C. Marshall Space Flight Center, Columbia University, New York.

Helmholtz, H. (1855). Das Sehen des Menschen, Leopold Voss, Leiopzig.

Holger, J. (2010). Rindel, Room Acoustic Prediction Modelling.

Okawa, H., Hotta, K., Ikeda, Y., (2017). The Computational Study of Sand Dune Architecture – pre- simulation for Sand Forming with Wind-Directing Robots, International Journal of Parallel, Emerhent and Distributed Systems, vol. 32, Issue sup 1: Parallelism in Architecture and Computing Techniques.

Haviland,J., Thanedar, D. (1972). Monte Carlo applications to acoustical field solutions, The Journal of the Acoustical Society of America 52, 136.

International Standard, ISO 532-1 (2017). Acoustics – Methods for Calculating Loudness, Zwicker method, ISO 2017, Switzerland.

International Standard, ISO 532-2 (2017). Acoustics – Methods for Calculating Loudness, Moore-Glasberg method, ISO 2017, Switzerland.

Jeong, K., Hong, T., Kim, S., Kim, J., Lee, S. (2018). Acoustic Design of a Classical Concert Hall and Evaluation of its Acoustic Performance – A Case Study, Technology Advancement Research Program, Korea.

Jurkiewicz, Y., Wulfrank, T., Kahle, E. (2013). How far should the geometry of a concert hall be optimized?, International Symposium on Room Acoustics, Toronto.

Kahle, E. (2013). Room acoustical quality of concert halls: perceptual factors and acoustic criteria-return from experience, International Symposium on Room Acoustics, Toronto.

Karaoğlan, D. (2017). Yöneylem Araştırması 2 ders notları, EME 3220, Balıkkesir Üniversitesi ders notları, Url-24.

Kleiner, M., Dalenback, B., Svensson, P. (1993). Auralization-An overview, J. Audio Eng. Soc. 41(11), 861–875

Karsan Erbaş, S. (2013). Mimaride Parametrik Tasarım ve Eğitimi, Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, cilt 2, makale no 14.

Kimura, S., Sekiguchi, K. (1976). Study on Criteria for Acoustical Design of Rooms by Subjective Evaluation of Room Acoustics. J. Acoustic Society Japan, 32, 606.

Klosak, A., Gade, A. (2008). Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls, Acoustics Paris.

Kotnik, T., 2010, Digital Architectural Design as Exploration of Computable Functions, IJAC, cilt: 8, sayı: 1.

Knudsen, **V.** (1934). Recent developments in architectural acoustics, Rev. Mod. Phys. 6(1), 1–22.

Krokstad, A., Strøm, S., Sørsdal. (1968). Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique, J. Sound Vib. 8(1), 118–125.

Kurtay, C., Eryıldız Irklı, D., Harputlugil Ulukavak, G. (2008) Mimar Kemaleddin Salonu Akustik Performans Değerlendirmesi ve Performans İyileştirme Önerileri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 23, no 3.

Kuttruff, H. (1994). On the Acoustics of Auditoria, Building Acoustics, A Multi-Science Publication.

Kuttruff, **H.** (1995). A simple iteration scheme for the computation of decay constants in enclosures with diffusely reflecting boundaries, J. Acoust. Soc. Am. 98(1), 288–293.

Kuttruff, H. (2000). Room Acoustics, Fourth edition, Taylor and Francis Group, Spon Press.

Lakka, E., Malamos, A. G., Pavlakis, K. G., Ware, J. A. (2018). Spatial Sound Rendering – A Survey. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, Vol 5, No 3.

Lam, Y. W. (1993). On the Modelling of Auditorium Acoustics, Part 2: the Validation of a Hybrid compute Model, Jasa.

Lam, Y. (1996). A Comparison of Three Diffuse Reflection Modelling Methods used in Room Acoustics Computer Models, Jasa, 100.

Larsson, P., Vastfjall, D., Kleiner, M. (2002). Better presence and performance in virtual environments by improved binaural sound rendering, in Audio Engineering Society Conference: 22nd International Conference: Virtual, Synthetic, and Entertainment Audio, http://www.aes.org/e- lib/browse.cfm?elib=11148

Lawson, B. (2005). How Designers Think, The Design Process Demystified, fourth edition, Elsevier, Great Britain.

Leach, N., Yuan, P. (2017). Computational Design, Tongji University Press, Çin.

Levine, S., Prietula, M. (2014). Open Collaboration for Innovation: Principles and Performance. Organization Science, 25(5), 1414-1433.

Liu, Z., Zhan, J., Fard, M., Davy, J. (2017). Acoustic Measurement of a Printed Micro-Perforated Panel Combined with a Porous Material, Elsevier, Measurement. J. Int. Meas. Confed., vol 104.

Lokki, T. (2016). Why is it so hard to design a concert hall with excellent acoustics?, Second Australasian Acoustical Societies Conference, Acoustics.

Lokki, T. , Pätynen, J. (2015). The Acoustics of a Concert Hall as Linear Problem, Europhysics News, Volume 46, Number 1.

Long, M. (2006). Architectural Acoustics, Elsevier Academy Press.

Lu, S., Yan, X., Xu, W. (2016). Improving Auditorium Designs with Rapid Feedback by Integrating Models and Acoustic Simulation, Building Simulation 9, 235-250.

Maa, **D. Y**. (1941). The flutter echoes, J. Acoust. Soc. Am. 13(2), 170–178.

Marshall, A. (1967). A Note On The Importance of Room-Cross Section in Concert Halls, Journal of Sound and Vibration, Academic Press, London.

Mahalingam, G. (1998). The Algorithmic Auditorium: A Computational Model for Auditorium Design, Proceedings of 3. Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Osaka, Japan.

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

Mehta, P., Bhadradiya, V. (2015). Measurement of Room Impulse Response Using Image Source Method, International Conference on Electrical, Electronics and Mechatronics (ICEEM), Thailand.

Mendilcioğlu, F. (2017). Parametrik Tasarım Yönteminin Sürdürülebilir İç Mekanlarda Doğal Aydınlatmaya Etkisi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İç Mimari ve Çevre Tasarımı Anasanat Dalı, Sanatta Yeterlilik Tezi, Ankara

MSTAS 2017. (2017). İmkansız Mekanlar, Olanaksızın Olanağı, 11. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Sim Matbaa, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Bildiri Kitabı, Ankara.

Naylor, G., Rindell, J. (1992). Predicting Room Acoustical Behaviour with the Odeon Computer Model, 124. Asa Meeting, New Orleans.

Olshausen, J. (2019). Acoustic Regulations and Design of the Multipurpose Hall and Exhibition Halls of the New Munch Museum in Oslo, Proceedings of the 23. International Congress on Acoustics, Aachen.

Orhan, U. (2016). Makine Öğrenmesi, Çukurova Üniversitesi Ders Notları.

Oxman, R. (2005). Theory and Design in thr First Digital Age, Elsevier, Design Studies vol 27, no 3.

Oxman, R. (2008). Digital Architecture as a challenge design pedagogy: theory, knowledge, models and medium, design studies, vol 29, no 2.

Özgenel, F., Sorguç Gönenç, A. (2011). Sayısal Ortamda Tasarımın Deneyimlenmesi İçin Arayüzlerin Geliştirilmesi: Bir Ön-Tasarım Parametresi Olarak Ses, METU JFA, 2011/2.

Özkartal, N. E. (2011). Konser Salonlarında Akustik Konfor Parametrelerinin Analizi ve Bir Örnek Çalışma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

Paar, C., Pelzl, J. (2010). Understanding Cryptography, A Textbook for Students and Practitioners, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

Pearson, M. (2015). Generative Art, a practical guide using processing, Manning Publications Co., NY.

Pelzer, S., Aspöck, L., Schröder, D., Vorländer, M. (2014). Interactive Real-Time Simulation and Auralization for Modifiable Rooms, Building Acoustics, Vol 21, 1.

Peters, B. (2009). Parametric Acoustic Surfaces. In ACADIA 09: reForm(): Proceedings of the 29th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), 174-181.

Peters, B. (2010). Acoustic Performance as a Design Driver: Sound Simulation and Parametric Modeling using SmartGeometry, international journal of architectural computing, issue 3, vol. 8, 337.

Peterson, A. (1980). Handbook of Noise Measurement, GenRad Inc., USA

Raichel, D. (2006). The Science and Applications of Acoustics, second edition, Springer Science + Business Media, Inc. New York.

Reas, C., Fry, B. (2010). Getting Started with Processing, O'Reilly Media Inc, USA.

Reas, C., McWiliams, C., LUST (2010). Form + Code in Design, Art and Architecture, A Guide to Computational Aesthetics, Princeton Architectural Press, New York.

Rindell, J. H. (1995). Computer Simulation Techniques for Acoustical Design of Rooms, Acoustics Australlia, vol 23. no 3.

Rindell, J. H. (2010). Room Acoustic Prediction Modelling, XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica.

Robinson, P., Siltanen, S., Lokki, T., Savioja, L. (2004). Concert Hall Geometry Optimization with Parametric Modeling Tools and Wave-Based Acoustic Simulations, Journal of Building Acoustics, 21(1), 55-64.

Rumpf, M., Schein, M., Kuhnen, J., Grohmann, M. (2017). Adaptable Acoustic Structures – design, detailing and fabrication of a parametric acoustic ceiling, Proceedings of the IASS Annual Symposium, Interfaces: architecture, engineering, science., Hamburg.

Russel, J., Norvig P.(2009). Artificial Intelligence, third edition, Pearson.

Sabah, A. (2013). Antik Çağ Konser Mekanlarından 20. Yüzyıl Mekansal Müzik Konser Salonlarına Müzik ve Mimarlık İlişkisi, Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Sabine, W. C. (1923). Collected Papers On Acoustics, Reverberation. Harvard University Press, Cambridge.

Sabine, P.E.(1932). Acoustics and Architecture, Mc Graw Hill Book Company,

Sabine, W. (1922). Theater acoustic, in Collected Papers on Acoustics (Harvard University Press, Cambridge, Chap. 7, pp. 163–198.

Savioja, L., Peter, S. (2015). Overview of Geometrical Room Acoustic Modeling Techniques, Journal of the Acoustical Society of America, 138.

Schroeder, **M. R.** (1973). Computer models for concert hall acoustics, Am. J.

Phys. 41, 461–471.

Schroeder, M., Gottlob, D., Siebrasse, K. (1974). Comparative Study of European Concert Halls: Correlation of Subjective Preference with Geometric and Acoustic Parameters, J. Acoustic Society America, 56, 1195.

Schubert, G. (2014). Interaction forms for digital design: a concept and prototype for a computer-aided design platform for urban architectural design scenarios, dissertation, TU Münich, Department of Architectur, Chair for Architektural Informatics.

Schubert, G. CDP-Colaborative Design Platform Yearbook 2015, Faculty of Architecture, TU München.

Salleb-Aouissi, A. (2017). Columbia Üniversitesi Yapay Zeka Yüksek Lisans Notları, edX.

Samuel, A. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers, IBM Journal of Research and Development (Volume:44, Issue:1.2).

Sato, S., Otori, K., Takizawa, A., Sakai, H., Ando, Y., Kawamura, H., (2002). Applying Genetic Algorithms to the Optimum Design of a Concert Hall, Journal of Sound and Vibration, Volume 258, Issue 3, sf. 517-526.

Sato, S., Hayashi, T., Takizawa A., Tani, A., Kawamura, H., Ando, Y. (2004). Acoustic Design of Theatres Applying Genetic Algorithms, Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment, Vol. 4, No 1.

Savioja, L., Huopaniemi, J., Huotilainen, T., Takala, T. (1996). Real-Time Virtual Audio Reality.

Savioja, L. (1999). Modeling Techniques for Virtual Acoustics, Helsinki University of Technology, doktora tezi.

Savioja, L. (1999). Creating Interactive Virtual Acoustic Environments, J. Audio Engineering Society, vol 47, no 9.

Savioja, L., Svensson U.P, 2015., Overview of geometrical room acoustic modelling techniques, The Journal of the Acoustical Society of America, 138, 708.

Schroeder, M.R., Atal, B.S., Bird, **C.** (1962). 4th Int. Congr Acoust. Digital Computers in Room Acoustics.

Schroeder, R. (1970). Digital simulation of sound transmission in reverberant spaces, J. Acoust. Soc. Am., 424–431.

Sebetci, Ö. (2019). Nesne Temelli Programlama Mantığı ve Veri Tabanı, Hiper Yayın.

Shiffman, D. (2012). The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing, Creative Commons Attribution, USA.

Seifert, N., Mühlhaus, M., Schubert, G., Fink, D., Petzold, F. (2014). Decision support for inner-city development: An interactive customizable environment for decision-making processes in urban planning, towards smarter cities, vol 1.

Siebein, G., Gold, M. (1997). Designing the Concert Hall of the 21st Century: Historic Precedent and Virtual Reality, 85th ACSA Annual Meeting and Technology Conference.

Singh, V., Gu, N., (2011). Towards an Integrated Generative Design Framework, Design Studi- es cilt: 3, sayı: 2, 185-207.

Svensson, U. P., Kristiansen, U. (2002). Computational modelling and simulation of acoustic spaces," in *Proceedings of the AES 22nd Conference on Virtual, Synthetic Entertainment Audio*, Espoo, Finland.

Svensson, P. (2018). Geometrical Acoustics ++ Preliminary Version, Department of Electronic Systems – NTNU.

Sutherland, I. (2003). Sketchpad: A man – machine graphical Communication System, University of Cambridge Computer Laboratory, Doktora tezi tabanlı elektronik rapor, orj. Massachusetts Institure of Technology, 1963- (Url-34).

Şeker, Ş. (2009). Kaba Kuvvet Metin Arama Algoritması, Algoritma analizi, Veri yapıları, Url-23.

Takizawa, A., Otori, K., Hayashi, T., Sakai, H., Ando, Y., Kawamura, H. (2001). Optimum Design of a Concert Hall by Genetic Algorithms, ICA 2001, Roma.

Tunger, C., Pektaş, Ş. (2014). Öğrencilerin Geleneksel ve Parametrik Üç Boyutlu Modelleme Ortamlarındaki Deneyimlerinin Fenomenografik Yöntem ile Karşılaştırılması.

Turan, O., Şahin, K. (2016). Mimarlık Öğrencilerine Yönelik Parametrik Tasarım Proje Değerlendirme Ölçeği, Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, cilt 5, makale no 35.

Turan, O. (2011). 21. Yüzyıl Tasarım Ortamında Süreç, Biçim ve Temsil İlişkisi, Megaron, cilt 6, sayı 3, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Turrin, M., Buelow, P., Stouffs, R. (2011). Design Explorations of Performance Driven Geometry in Architectural Design unsing Parametric Modeling and Genetic Algorithms, Advanced Engineering Informatics, Volume 25, 4.

Welch Labs (2015)**,** Acoustics to Deep Learning, http://www.welchlabs.com/blog/2015/2/27/acoustics-to-deep-learning, erişim tarihi: 14.2.2020, 16:59.

Wenmaekers, R. H. C, Hak, C. C.J. M., Martin, H. J., & Luxemburg, van, L. C. J. (2008). Air Absorption Error in Room Acoustical Modeling. In Proceedings of the 155th ASA conference, Paris 2008.

Wilkens, H. (1977). Mehrdimensionale Beschreibung Subjektiver Beurteilungen der Akustik von Konzertsälen, Acustica, 38, 10.

Wirth, N. (1985). Algorithms + Data Structures = Programs, Oberon version, ETH Zürih, 2004 (Url-43).

Välimäki, V., Parker, J., Savioja, L., Smith, J. O., and Abel, J. S. (2012). Fifty years of artificial reverberation, IEEE Trans. Acoust. Speech Lang. Proc.

Vorländer, M. (1995). International Round Robin on Room Acoustical Compute Simulations, 15. ICA, Norway.

Vorländer, M. (2007). Auralization**:** Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms, and Acoustic Virtual Reality Springer-Verlag, Berlin.

Vorländer, M. (2008). Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality, Springer- Verlag Berlin Heidelbeg.

Vorländer, M. (2010). Performance of Computer Simulations for Architectural Acoustics, RWTH Aachen University.

Vorländer, M. (2011). Models and Algorithms for Computer Simulations in Room Acoustics, International Seminar on Virtual Acoustics, Valencia.

Yamaguchi, K. (1972). Multivariate Analysis of Subjective and Physical Measures of Hall Acoustics, J. Acoustic Societiyi America, 52, 1271.

Yoichi, A., Sato, S., Nakajima, T., Sakurai, M. (1997). Acoustic Design of a Concert Hall Applying the Theory of Subjective Preference, and the Acoustic Measurement After Construction, S. Hirzel Verlag, EAA, Acustica, vol 83, s. 635-643.

Young, T. (1801). Bakerian Lecture: On thr Theory of Light and Colours. Philosophy in the Royal Institution.

"3D Systems Inc." (1988). Stereolithography Interface Specification, Valencia.

Url-1 <http://www.odeon.dk >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-2 < http://ease.afmg.eu>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-3 <http://www.catt.se >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-4 <http://i-simpa.ifsttar.fr/>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-5 < https://bidb.itu.edu.tr/seyir-defteri/blog/2019/02/05/object-oriented-programming>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-6 < https://processing.org/>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-7<https://www.webpages.uidaho.edu/~stevel/565/R/R%20-%20George%20Casella/MCSMshortcourse09.pdf , Monte Carlo Statistical Methods, Christian Robert and George Casella, 2004, Springer-Verlag >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-8 < processing.opengl >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-9 < toxi.geom >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-10 < peasy >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-11< toxi.processing.toxiclibsSupport >, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-12< toxi.geom.mesh>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-13<https://www.coursera.org/learn/machine-learning/lecture/db3jS/model-representation>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url-14 <http://thi.ng/>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url15<https://github.com/postspectacular/toxiclibs/blob/master/src.core/toxi/geom/mesh/MeshIntersector.java>, erişim tarihi 29.11.2019.

Url16<https://github.com/postspectacular/toxiclibs/tree/master/src.core/toxi/geom>, erişim tarihi 30.11.2019.

Url17<https://github.com/postspectacular/toxiclibs/blob/master/src.core/toxi/geom/Ray3D.java>, erişim tarihi 30.11.2019.

Url18<https://github.com/postspectacular/toxiclibs/blob/master/src.core/toxi/geom/Vec3D.java>, erişim tarihi 30.11.2019.

Url 19 <Annex-Cern Döküman Veri tabanı https://cds.cern.ch/record/1251519/files/978-3-540-48830-9_BookBackMatter.pdf>, erişim tarihi 30.11.2019.

Url 20 < https://www.grasshopper3d.com/ >, erişim tarihi 30.11.2019.

Url 21 < https://odeon.dk/product/what-is-odeon/>, erişim tarihi 17.12.2019.

Url 22 < https://www.3dsystems.com/resources/information guides/stereolithography/sla >, erişim tarihi 22.12.2019.

Url 23< http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2009/11/24/kaba-kuvvet-metin-arama-algoritmasi-bruteforce-text-search-algorithm/>, erişim tarihi 24.12.2019

Url 24< http://w3.balikesir.edu.tr/~ocaktan/yoneylemII_2017.htm>, erişim tarihi 24.12.2019

Url25<http://www.megaronjournal.com/tr/jvi.aspx?pdir=megaron&plng=tur&un=MEGARON-63825&look4=>, erişim tarihi 24.12.2019

Url 26< https://www.microsoft.com/de-de/windows>, erişim tarihi 28.12.2019

Url 27< https://www.apple.com/>, erişim tarihi 28.12.2019

Url 28< https://www.linuxfoundation.org/ >, erişim tarihi 28.12.2019

Url 29< http://www.mimdap.org/?p=61427>, erişim tarihi 30.12.2019

Url 30< https://www.ptb.de/cms/de/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163/absorption-coefficient-database.html>, erişim tarihi 30.12.2019

Url 31< http://formandcode.com/code-examples/parameterize-chair>, erişim tarihi 31.12.2019

Url 32< Mimari proje, http://www.eyusta.com/>, erişim tarihi 01.01.2020

Url 33< Mimari proje, http://www.nsmh.com/>, erişim tarihi 01.01.2020

Url 34< https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf >, erişim tarihi 03.01.2020

Url 35< https://www.smartgeometry.org/>, erişim tarihi 03.01.2020

Url 36< https://www.gnu.org/home.en.html>, erişim tarihi 06.01.2020

Url 37< https://finch3d.com/#lecture>, erişim tarihi 06.01.2020

Url 38< https://www.autodesk.de/products/maya/overview>, erişim tarihi 06.01.2020

Url 39< https://www.sketchup.com/de>, erişim tarihi 08.01.2020

Url 40< http://www.generative.co.za/2013/02/21/fluid-manipulating-non-newtonian-fluid-with-processing-and-arduino/>, erişim tarihi 09.01.2020

Url 41< https://www.arduino.cc/>, erişim tarihi 09.01.2020

Url 42< https://ruby.sketchup.com/>, erişim tarihi 10.01.2020

Url 43< http://www.ethoberon.ethz.ch/WirthPubl/AD.pdf>, erişim tarihi 12.01.2020

Url 44<http://wp.usp.ai.ar.tum.de/algorithmic-design/>, erişim tarihi 13.01.2020

Url 45< https://www.detail.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/DRX2012_Report_SR_200_V3.pdf>, erişim tarihi 13.01.2020

Url 46< http://wp.usp.ai.ar.tum.de/>, erişim tarihi 13.01.2020

Url 47 < https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3382:-2:ed-1:v1:en>, erişim tarihi 17.01.2020

Url 48 < https://www.arch2o.com/extraordinary-concert-hall-designs/ >, erişim tarihi 7.02.2020

Url 49 < https://www.zaha-hadid.com/>, erişim tarihi 11.02.2020

Url 50 < https://www.elbphilharmonie.de/de/>, erişim tarihi 11.02.2020

Url 51 < https://lmnarchitects.com/project/university-of-iowa-voxman-music-building>, erişim tarihi 11.02.2020

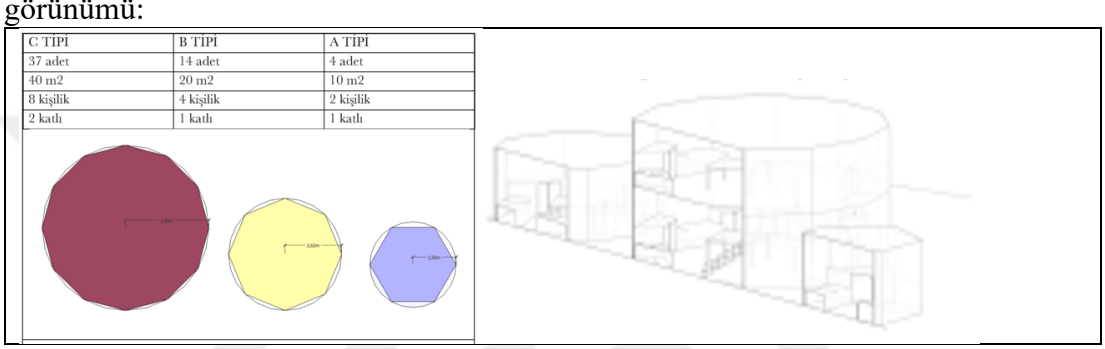
Url 52 < http://concerthall.asia/portfolio/shanghai-symphony-hall/, erişim tarihi 28.02.2020

Url 53 < https://processing.org/books/>, erişim tarihi 06.03.2020

5. EK

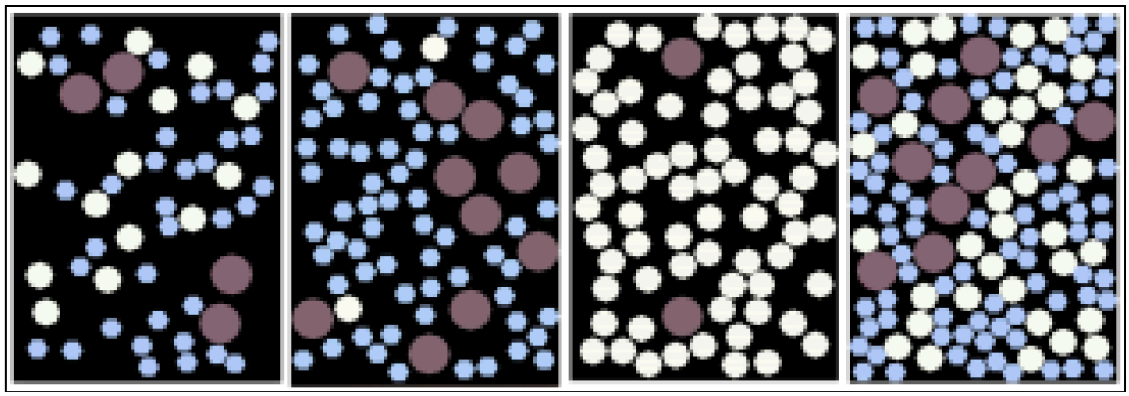
Ön kodlama çalışmalarının yapıldığı, kodlayarak tasarlamanın gerçekleştirildiği proje örneği:

Farklı işlevsel gereksinimlere göre hazırlanmış planlar ve plan tiplerinin üç boyutlu görünümü:



Şekil 5.1: Kodlayarak tasarlama yöntemi ile geliştirilen ön proje

Belirlenen kural tanımlamalarına göre bilgisayar tarafından tasarımcıya önerilen çeşitli yerleşimler:

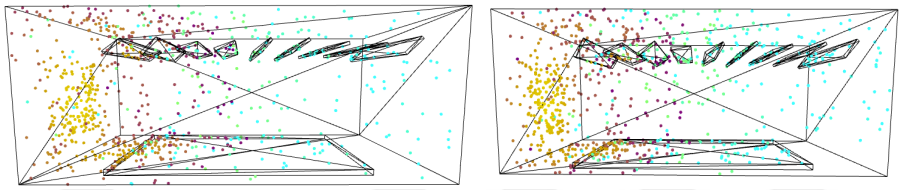
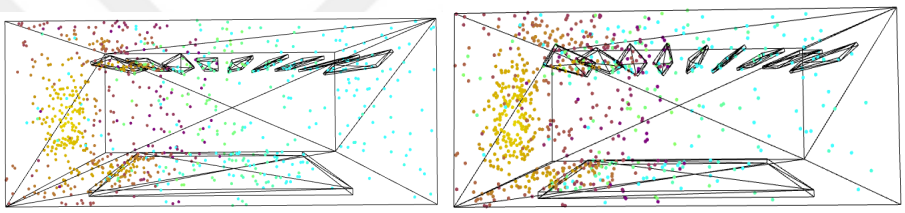
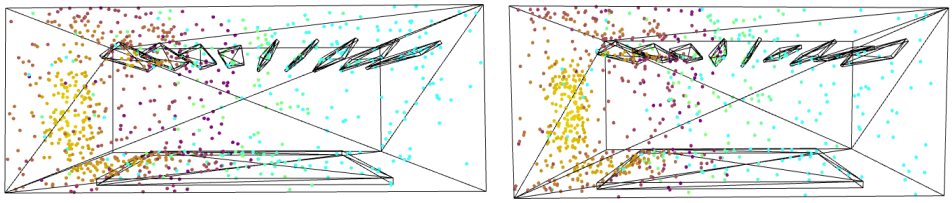
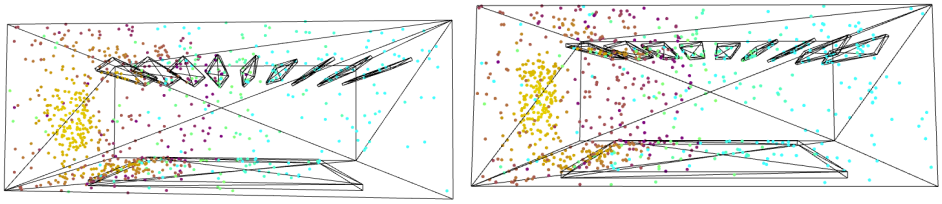
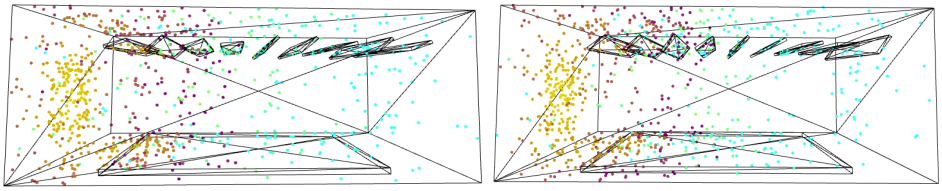


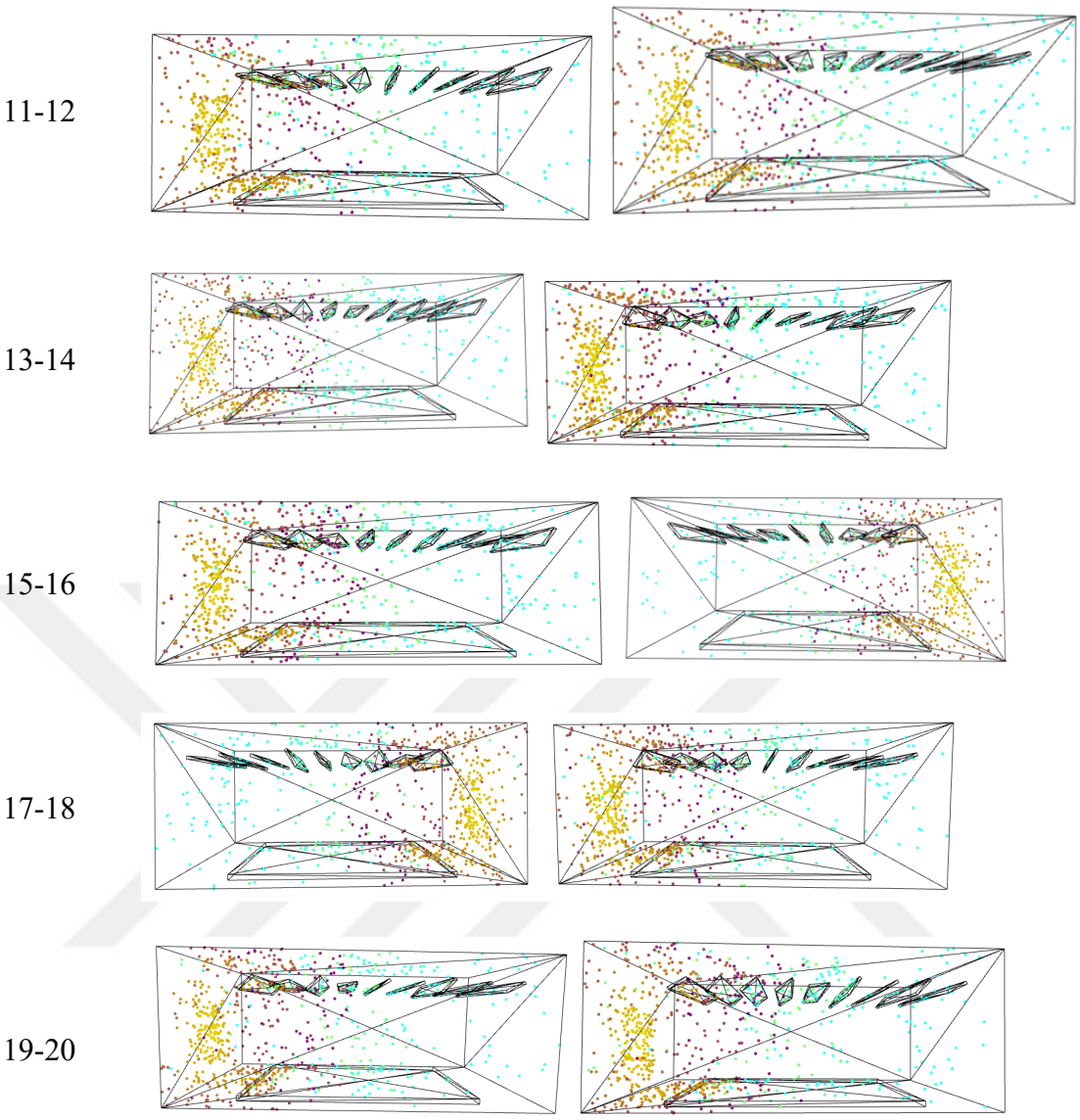
Şekil 5.2: A, B ve C tipi yaşam birimlerinin belirtilen kriterlere göre bilgisayar tarafından rastgele üretilen yerleşim seçenekleri

Kodun bir bölümünün görünümü:

```
int aTipi = 37; //10 m2
int bTipi = 14; // 20 m2
int cTipi = 4; // 40 m2
void setup() {
size(500, 700);
```

```
noStroke();
background(0);
}
boolean isBlack(int c) {
return c != 0 && c == color(0);
}
boolean checkAround(int x, int y, float radius, int npoints) {
```

Simülasyon Numarası	Görsel
1-2	
3-4	
5-6	
7-8	
9-10	



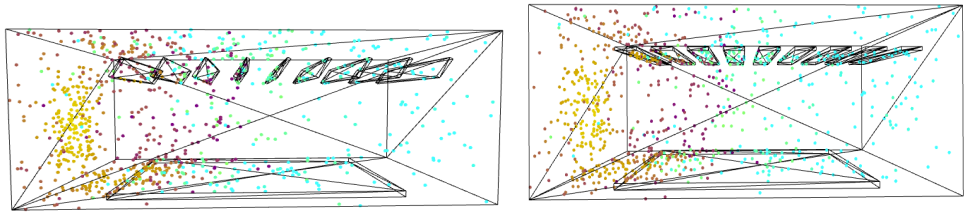
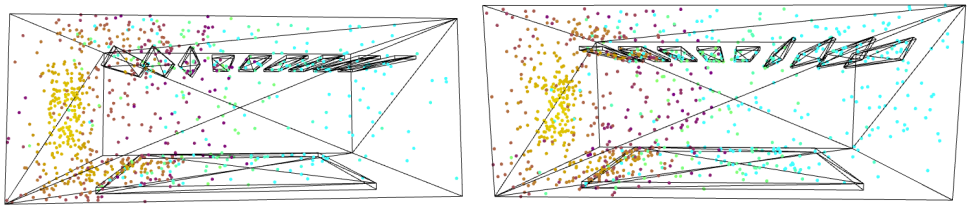
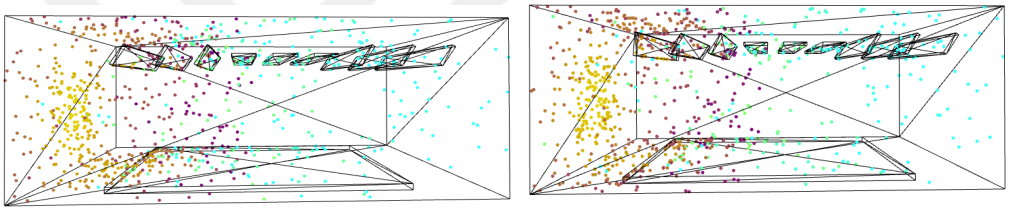
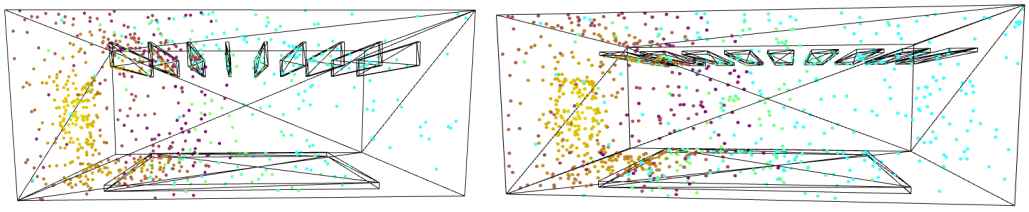
Şekil 5.3 : Rastgele açılarla alınan ilk 20 simülasyonun görselleri

Çizelge 5.1 : İlk yirmi simülasyonun açı kodları ve sonuçların sayısal tablosu

Simülasyon Numarası	Üretilen Açılar	Toplam
1	0.61712855, 0.76024497, 0.2599575, 0.33945644, 0.6595019, 0.6118275, 0.2349667, 0.11401832, 0.7801957,	85194
2	0.99777067, 0.34484994, 0.56479836, 0.054214656, 0.49670178, 0.5783137, 0.2822498, 0.49140042, 0.88832986,	90058
3	0.2644136, 0.0065657496, 0.44571096, 0.007047057, 0.18276721, 0.27013367, 0.093746364, 0.19008327, 0.716348,	114056
4	0.9619328, 0.4646315, 0.89331794, 0.8976069, 0.5846566, 0.55238086, 0.19773877, 0.012656271, 0.66450334,	-67917
5	0.6338965, 0.50530577, 0.34323323, 0.20749319, 0.82116747, 0.8342087, 0.9557546, 0.8460339, 0.51026565,	83417
6	0.41515023, 0.22782785, 0.22496659, 0.78795993, 0.969683, 0.14024985, 0.6792183, 0.05678588, 0.79650015,	69245
7	0.5723993, 0.63434386, 0.7359928, 0.9712447, 0.7895558, 0.30406356, 0.51939476, 0.6632464, 0.41395032, .174357	73204
8	0.03506577, 0.20948231, 0.079535306, 0.10604209, 0.027409434, 0.35433638, 0.47479415, 0.92547697, 0.9927575,	78284
9	0.31690472, 0.74435604, 0.3730778, 0.098462224, 0.797256, 0.71012604, 0.18670326, 0.6964981, 0.35679436,	89465
10	0.6367835, 0.72233784, 0.916157, 0.5886227, 0.7226993, 0.45683497, 0.14577734, 0.0154726505, 0.9365354,	132860
11	0.0731585, 0.19476396, 0.12549484, 0.6119471, 0.95587754, 0.7525047, 0.36499625, 0.64270854, 0.7951386,	79558

Çizelge 5.1 (devam) : İlk yirmi simülasyonun açı kodları ve sonuçların sayısal tablosu

Simülasyon Numarası	Üretilen Açılar	Renk Toplamı
12	0.07274705, 0.09877926, 0.28636265, 0.13812107, 0.23269725, 0.03798932, 0.3436948, 0.14235622, 0.3675276,	83969
13	0.24095905, 0.33204693, 0.8379511, 0.5504261, 0.07226807, 0.68693966, 0.8358446, 0.7013672, 0.87441957,	90150
14	0.93979496, 0.6565833, 0.26813155, 0.9401156, 0.6530639, 0.20323145, 0.3241865, 0.81598634, 0.66519064,	65815
15	0.44928777, 0.6501202, 0.18457401, 0.6864227, 0.55810887, 0.844255, 0.50049907, 0.053828716, 0.9886371,	83350
16	0.73171747, 0.28382736, 0.21657073, 0.9255171, 0.6121297, 0.008945227, 0.5616009, 0.32569474, 0.8155804,	71687
17	0.7793023, 0.11283451, 0.8994505, 0.41432774, 0.6181068, 0.98070127, 0.28638846, 0.3878038, 0.05608827,	82062
18	0.950676, 0.4232213, 0.48750353, 0.4986971, 0.9817875, 0.8881033, 0.23999804, 0.09173018, 0.37958544,	79557
19	0.70337117, 0.22299534, 0.73024434, 0.14032632, 0.5095291, 0.32529032, 0.8098651, 0.40809536, 0.4518993,	89675
20	0.5217275, 0.7548892, 0.65459174, 0.6026864, 0.109893024, 0.93945414, 0.51542217, 0.8114237, 0.46324265,	80873

Simülasyon Numarası	Görsel
1-2	
3-4	
5-6	
7-8	

Şekil 5.4 : Açılar yazılarak alınan 8 simülasyonun görselleri

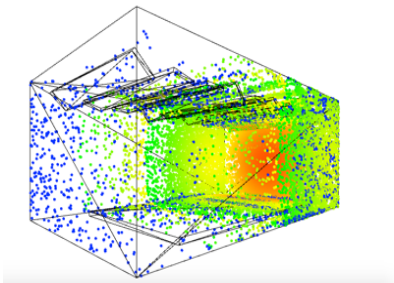
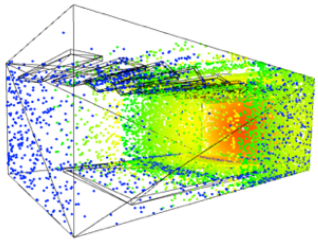
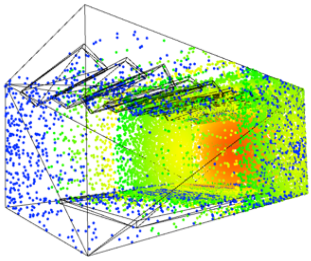
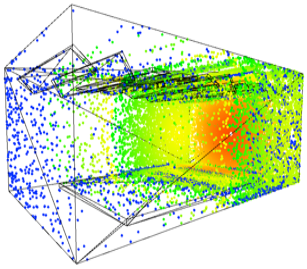
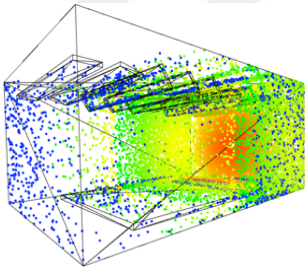
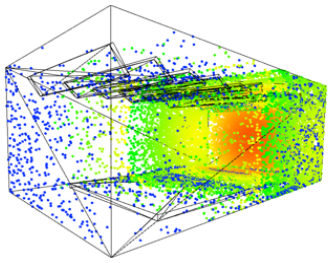
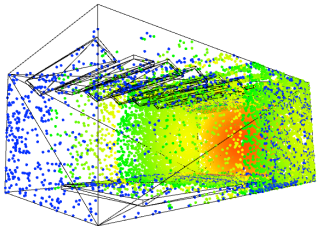
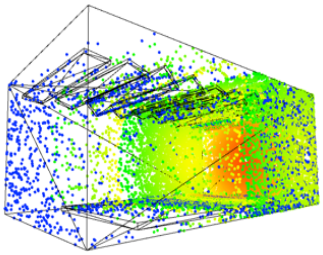
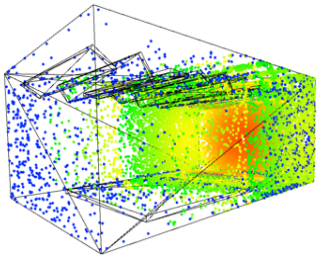
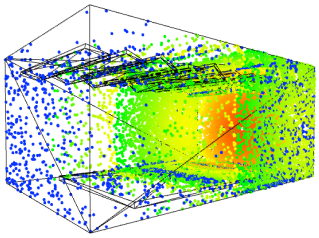
Çizelge 5.2 : Açılar yazılarak alınan sekiz simülasyonun açı kodları ve sonuçların sayısal tablosu

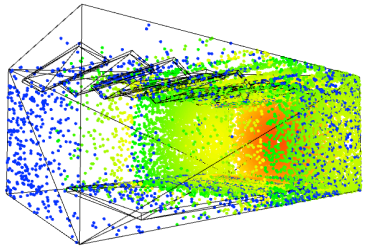
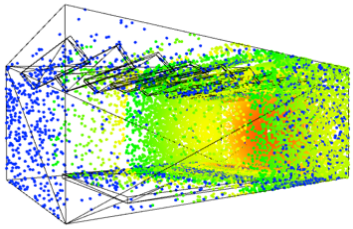
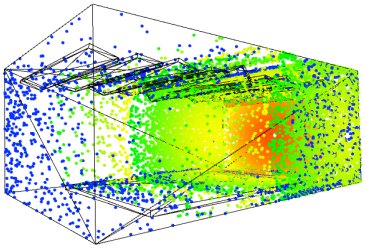
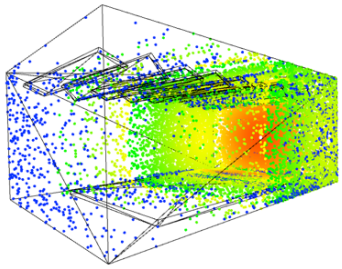
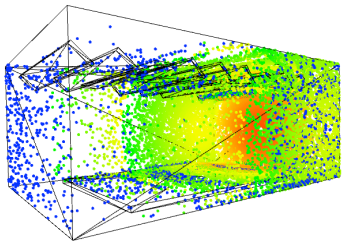
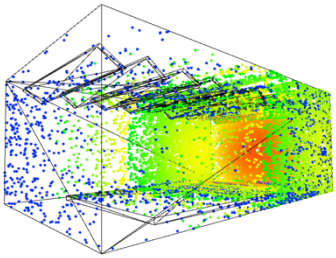
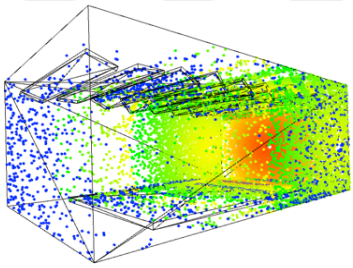
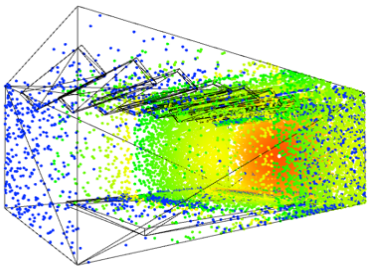
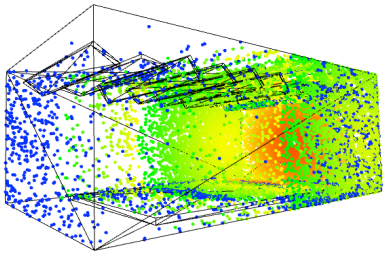
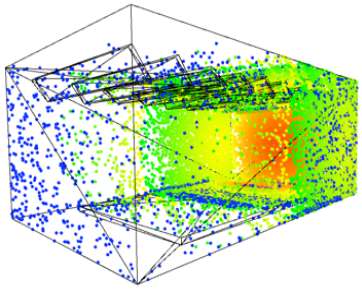
Simülasyon Numarası	Üretilen Açılar	enk Toplamı
1	0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999, 0.999999,	108141
2	0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009	99993
3	1, 1, 1, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009	78057
4	0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 0.0000009, 1, 1, 1, 1	123082
5	1, 1, 1, 0.0000009, 0.0000009,0.0000009, 1, 1, 1	89299
6	1.5, 1, 1, 0.0000009, 0.0000009,0.0000009, 1, 1, 1	64950
7	1.6, 1.6, 1.6, 1.6, 1.6,1.6, 1.6, 1.6, 1.6	57573
8	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0	108229

Çizelge 5.3 : Simülasyon testlerinde üretilen açı ve renk toplamı

Simülasyon Numarası	**Üretilen Açıla**	**Renk toplamı**
1	0.530069, 0.24716622, 0.39182407, 0.47927153, 0.07243222, 0.88093126, 0.05477208, 0.24449706, 0.7267619,	955796
2	0.82507926, 0.00612396, 0.50279796, 0.14222795, 0.2542197, 0.73372704, 0.5254559, 0.13585305, 0.026020527,	857446
3	0.8107037, 0.46597153, 0.7760798, 0.29342002, 0.50568426, 0.27238202, 0.8585484, 0.4566965, 0.5813521,	915978
4	0.1911022, 0.43291622, 0.41579026, 0.8434001, 0.37965804, 0.028855503, 0.07591653, 0.96960175, 0.65131503,	950758
5	0.4665072, 0.036949575, 0.8725697, 0.31138366, 0.8599779, 0.83836246, 0.9443555, 0.24936664, 0.034062922,	941464
6	0.83773375, 0.52352524, 0.0053408146, 0.94068766, 0.1822142, 0.5323719, 0.39027214, 0.7110156, 0.9832481,	900868
7	0.31949937, 0.2828197, 0.23501539, 0.5833539, 0.44924623, 0.59249127, 0.5188681, 0.049446702, 0.68936753,	966111
8	0.7235564, 0.66943765, 0.97058076, 0.6440802, 0.29007047, 0.64019215, 0.7580153, 0.29961532, 0.13976336,	876243
9	0.27371478, 0.18054944, 0.21830595, 0.90728134, 0.96531665, 0.4809608, 0.10332137, 0.9616144, 0.5743557,	925577
10	0.06010288, 0.6010398, 0.31428778, 0.3374709, 0.6334681, 0.08358264, 0.49098527, 0.33360505, 0.21522176,	875994
11	0.16912764, 0.32913423, 0.31093466, 0.103880525, 0.6148032, 0.1195845, 0.65865445, 0.5386447, 0.42239374,	940690
12	0.61177236, 0.46804667, 0.57005185, 0.71292955, 0.57429266, 0.3231129, 0.70659006, 0.90505475, 0.8716868,	906552

13	0.9298853, 0.030222714, 0.53039, 0.1596567, 0.8948619, 0.122466385, 0.3670839, 0.17468506, 0.3049609,	890740
14	0.48137516, 0.9127066, 0.6088888, 0.14906651, 0.34054315, 0.47397184, 0.3956082, 0.7913196, 0.38218868,	898145
15	0.8347143, 0.9103895, 0.3543777, 0.9101307, 0.77297914, 0.7954004, 0.03006047, 0.6588209, 0.691898,	878048
16	0.6553039, 0.16510409, 0.47846866, 0.74524784, 0.053522527, 0.43270308, 0.47609973, 0.66678005, 0.57905924,	988391
17	0.92425954, 0.24218303, 0.7734267, 0.7554117, 0.6805383, 0.89366317, 0.49374646, 0.049441695, 0.34487212,	942263
18	0.19895506, 0.7796221, 0.521082, 0.7583106, 0.3879099, 0.23070467, 0.6192779, 0.7708757, 0.78090554,	884300
19	0.3021236, 0.7649177, 0.4317155, 0.94498515, 0.8290222, 0.7475815, 0.98706055, 0.25955802, 0.5689838,	872653
20	0.6373025, 0.6446835, 0.42644173, 0.8003531, 0.85662913, 0.53152716, 0.55338395, 0.9286012, 0.91115695,	907647

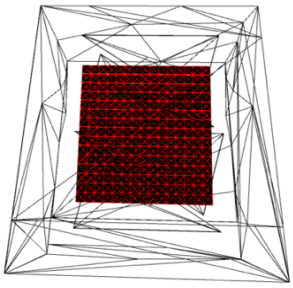
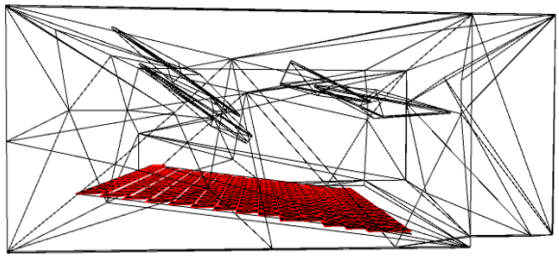
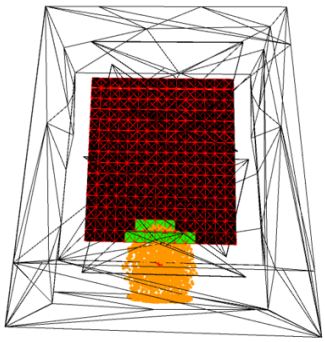
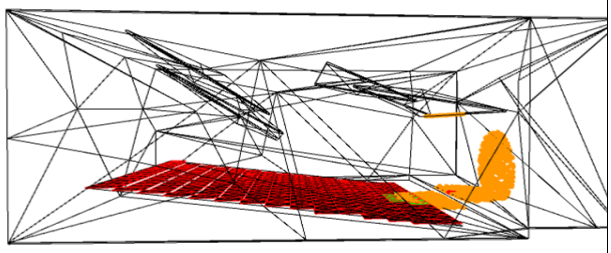
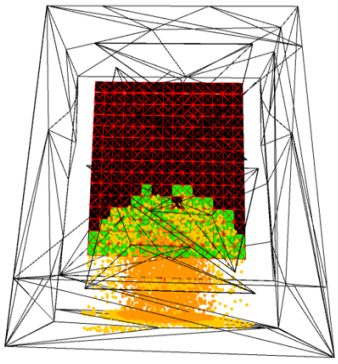
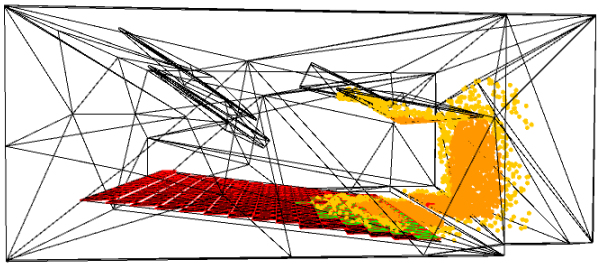
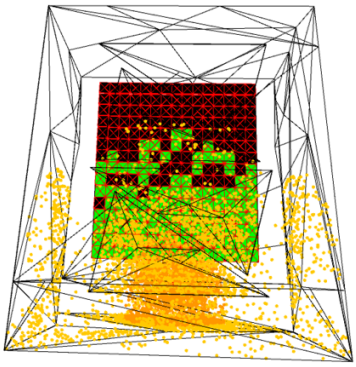
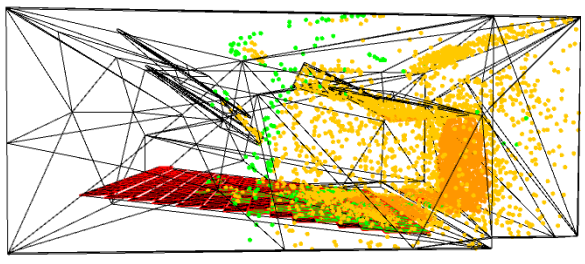
Simülasyon Nr.	Salon Görseli	
1-2		
3-4		
5-6		
7-8		
9-10		

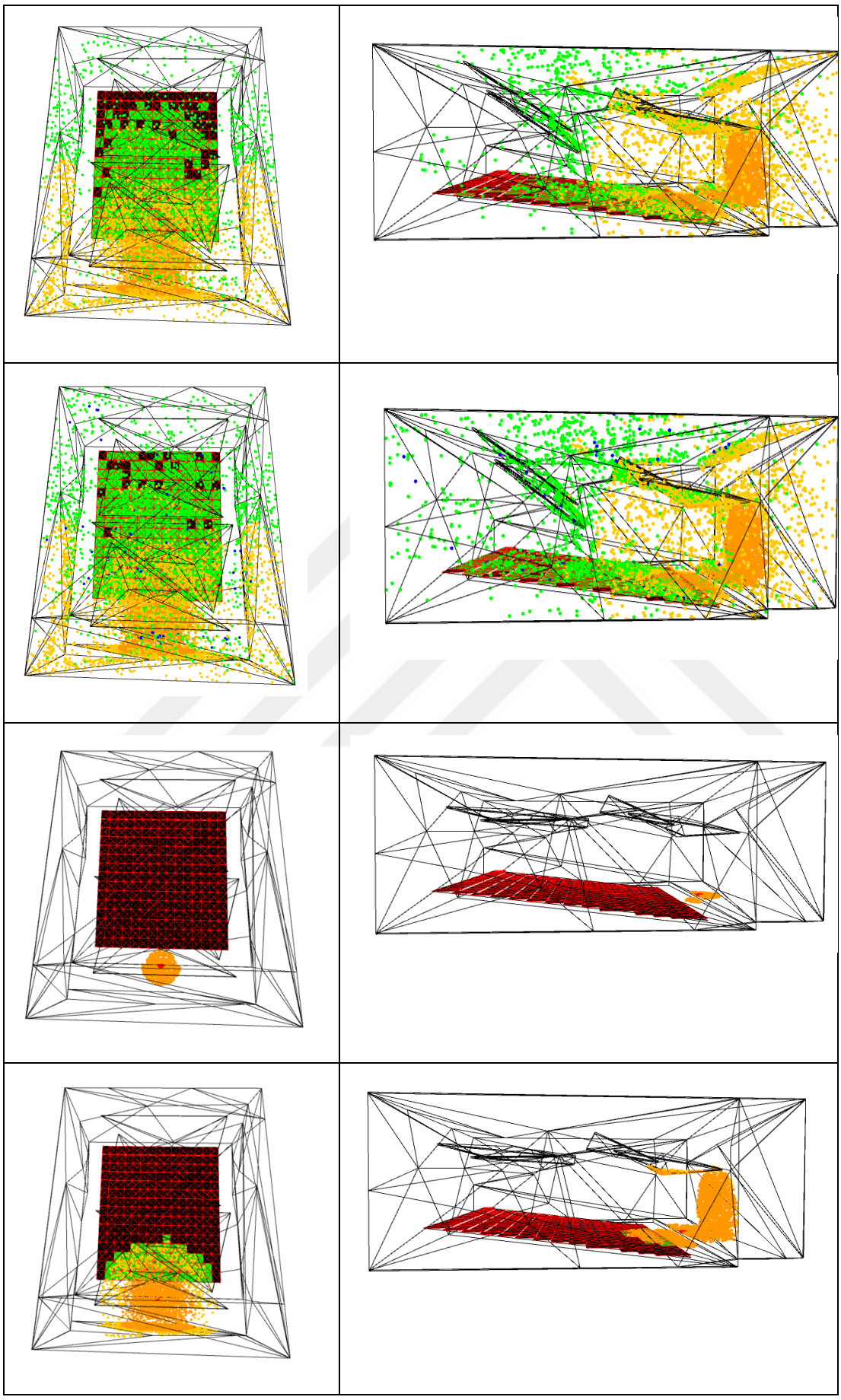
11-12		
13-14		
15-16		
17-18		
19-20		

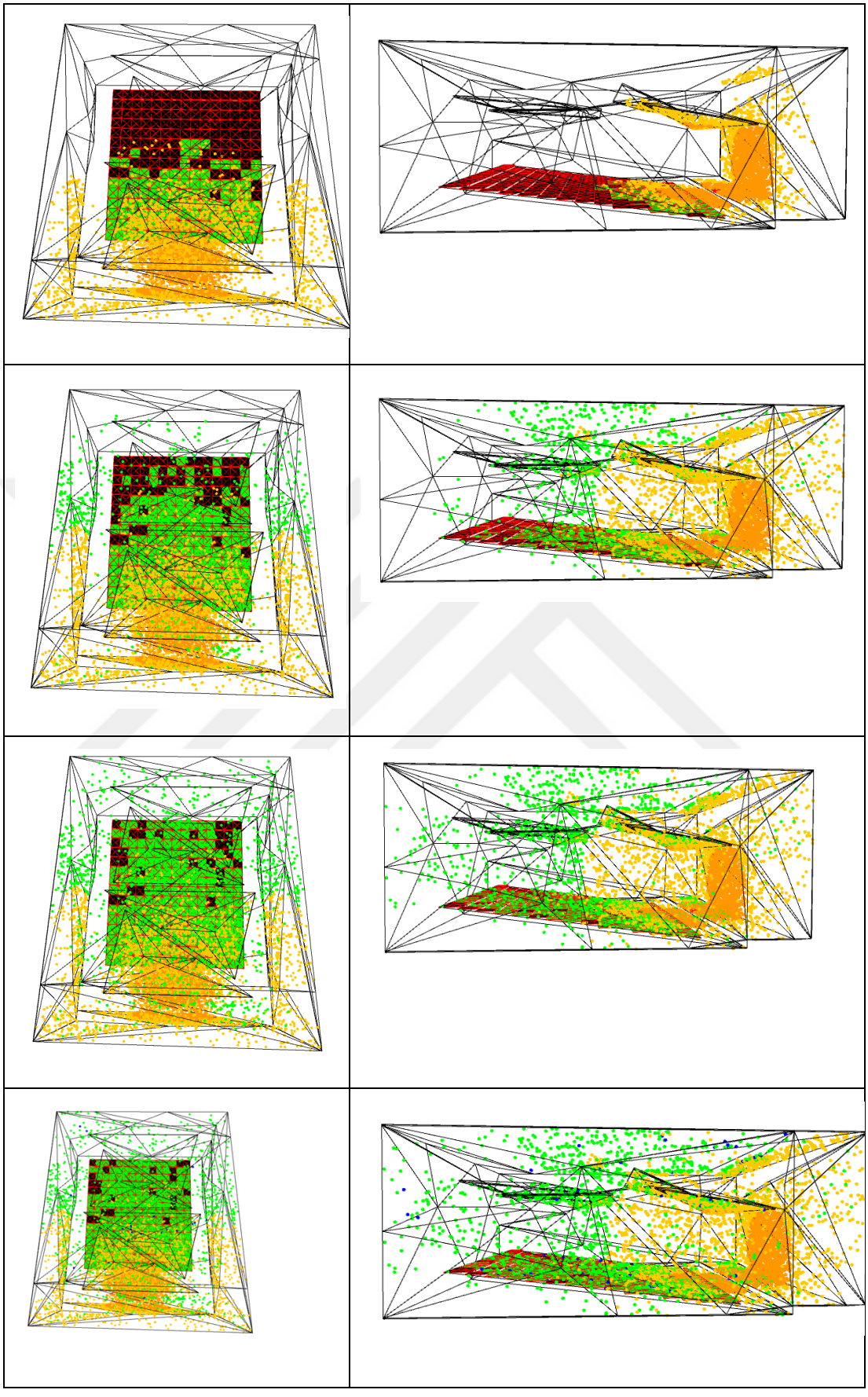
Şekil 5.5 : İkinci yirmi simülasyon görselleri

Çizelge 5.4 : Veri kayıt tablosu

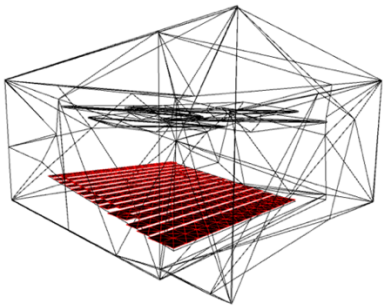
```
0.444372, 0.14969355, 0.1519332, 0.839632, 0.76750124, 0.2097311,
0.32956564, 0.0054010153, 0.6772851, 212368
0.26848102, 0.13454759, 0.28951377, 0.97904, 0.14236027, 0.9079592,
0.29116672, 0.5111256, 0.51439005, 212619
0.50958914, 0.20599163, 0.8625726, 0.46291554, 0.16363245, 0.88441914,
0.96149737, 0.10756111, 0.10532057, 212626
0.5472598, 0.040825665, 0.20807594, 0.31594235, 0.5606348, 0.040348828,
0.9044385, 0.39147496, 0.3864385, 212644
0.5310787, 0.12979323, 0.43860805, 0.83219075, 0.256231, 0.72886705,
0.2619413, 0.9536132, 0.16653901, 212661
0.29024023, 0.04184991, 0.08134735, 0.3817662, 0.4923072, 0.6126374,
0.75790346, 0.9885077, 0.9965491, 212693
0.85661185, 0.07727623, 0.32962435, 0.6727092, 0.036074758, 0.14444232,
0.2680459, 0.29906422, 0.89495224, 212801
0.7953427, 0.14082617, 0.31015223, 0.9668112, 0.6932557, 0.60422623,
0.67149216, 0.33863455, 0.8971152, 212894
0.85040456, 0.2032693, 0.6916755, 0.71697724, 0.8632342, 0.5585075,
0.95722175, 0.78874123, 0.47612804, 213003
0.0962947, 0.5434451, 0.3722735, 0.28406668, 0.17524844, 0.4793508,
0.6608297, 0.6282288, 0.16225737, 213285
0.94550514, 0.1513784, 0.47538638, 0.091585636, 0.4537139, 0.30493516,
0.30601668, 0.3672583, 0.63622725, 213489
0.69934356, 0.13489985, 0.33307302, 0.45672655, 0.15149635, 0.13789201,
0.2608989, 0.42479736, 0.39924085, 213543
0.33515316, 0.20789391, 0.0062034726, 0.38156772, 0.5511698, 0.6984863,
0.8384744, 0.7458348, 0.57785225, 213774
0.52730143, 0.12707949, 0.5768346, 0.2637456, 0.11138803, 0.95098704,
0.9482881, 0.41285545, 0.50033736, 213779
0.17991376, 0.14489919, 0.09003508, 0.15987271, 0.03276819, 0.015488148,
0.32441407, 0.9402584, 0.1425916, 213849
0.809757, 0.20843554, 0.786272, 0.86984664, 0.6504552, 0.94963384,
0.07782072, 0.44409323, 0.30449045, 213961
0.6135047, 0.24546516, 0.28461725, 0.20630634, 0.4284587, 0.30781686,
0.5611684, 0.70591986, 0.67097, 214286
0.262555, 0.21618402, 0.36112577, 0.61400294, 0.9475041, 0.76201963,
0.28766626, 0.25783634, 0.51264906, 214363
0.1707058, 0.05333996, 0.28741783, 0.088759184, 0.3028205, 0.3533972,
0.43471444, 0.31620407, 0.7147679, 214439
0.75266874, 0.2861455, 0.3613025, 0.5736774, 0.32462007, 0.26246178,
0.52647644, 0.6568212, 0.94095933, 214807
0.09244162, 0.14679599, 0.19849002, 0.11552453, 0.019089997, 0.7804592,
0.38437498, 0.16063815, 0.61653405, 215095
0.7286701, 0.09877193, 0.09565079, 0.5982426, 0.8672078, 0.31972122,
0.47524464, 0.041571617, 0.80585635, 215205
0.8318736, 0.19720113, 0.055477798, 0.26967704, 0.9404212, 0.32771218,
0.8836578, 0.039456666, 0.8569118, 215208
0.60445696, 0.1489718, 0.5445219, 0.2689829, 0.81566143, 0.69340795,
0.6194755, 0.3785839, 0.7900435, 215272
0.36101955, 0.041248262, 0.06019956, 0.57743233, 0.54811275, 0.087029636,
0.81442595, 0.3289566, 0.41595775, 215589
0.62678605, 0.53036994, 0.033501983, 0.8762022, 0.52411944, 0.56827307,
0.612635, 0.26960957, 0.54148513, 216301
0.57766634, 0.28893268, 0.22621816, 0.44628423, 0.90435404, 0.15273112,
0.70515096, 0.58138376, 0.006986499, 216482
0.8660543, 0.31464732, 0.15465587, 0.25934714, 0.5396169, 0.8980006,
0.5576645, 0.71285385, 0.7936133, 217258
0.112992465, 0.34303504, 0.1499291, 0.09577954, 0.13403147, 0.29749364,
0.31449074, 0.9340905, 0.890694, 217518
0.21151835, 0.09771347, 0.03220445, 0.049254596, 0.52811235, 0.10681242,
0.8447854, 0.060825408, 0.98905444, 217851
0.481556, 0.14474314, 0.04364419, 0.48165888, 0.10063225, 0.7579884,
0.6766766, 0.4467765, 0.7948332, 218184
0.44482172, 0.13276923, 0.16156471, 0.24828565, 0.33552414, 0.45175135,
0.60363203, 0.13801932, 0.26898468, 220437
```

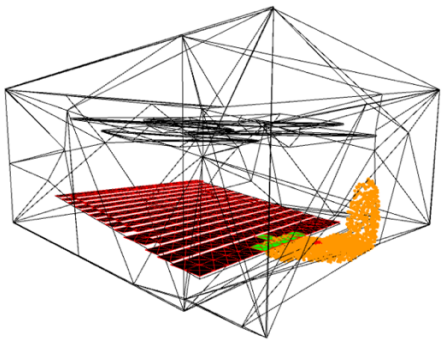
Plan	Yan Görünüş
	
	
	
	

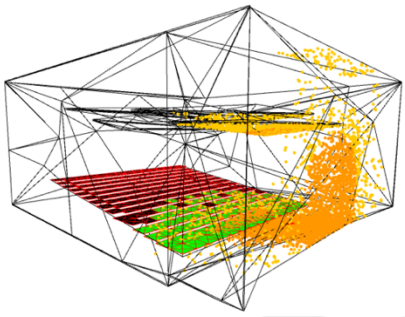


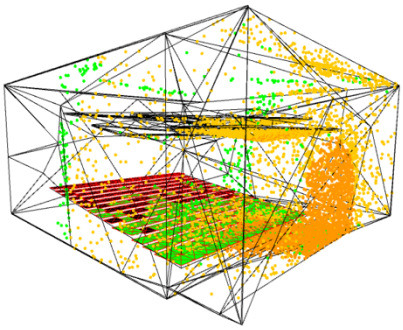


Simülasyon 1

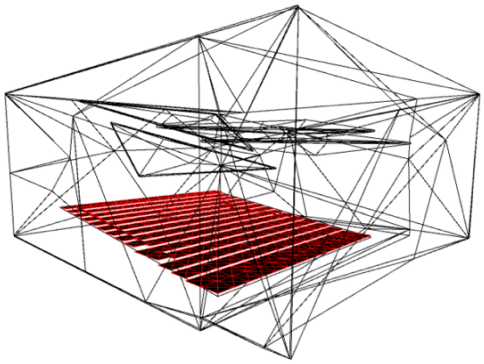


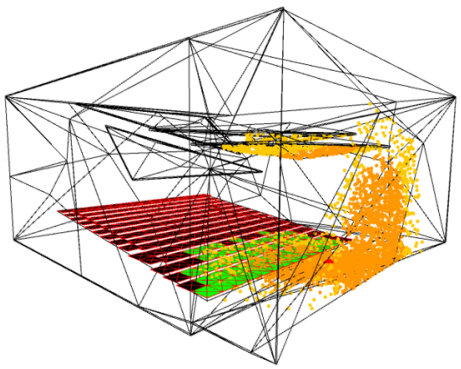


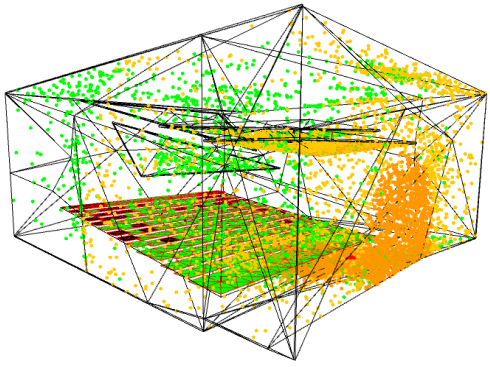


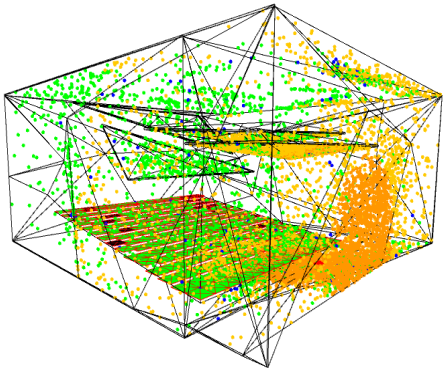


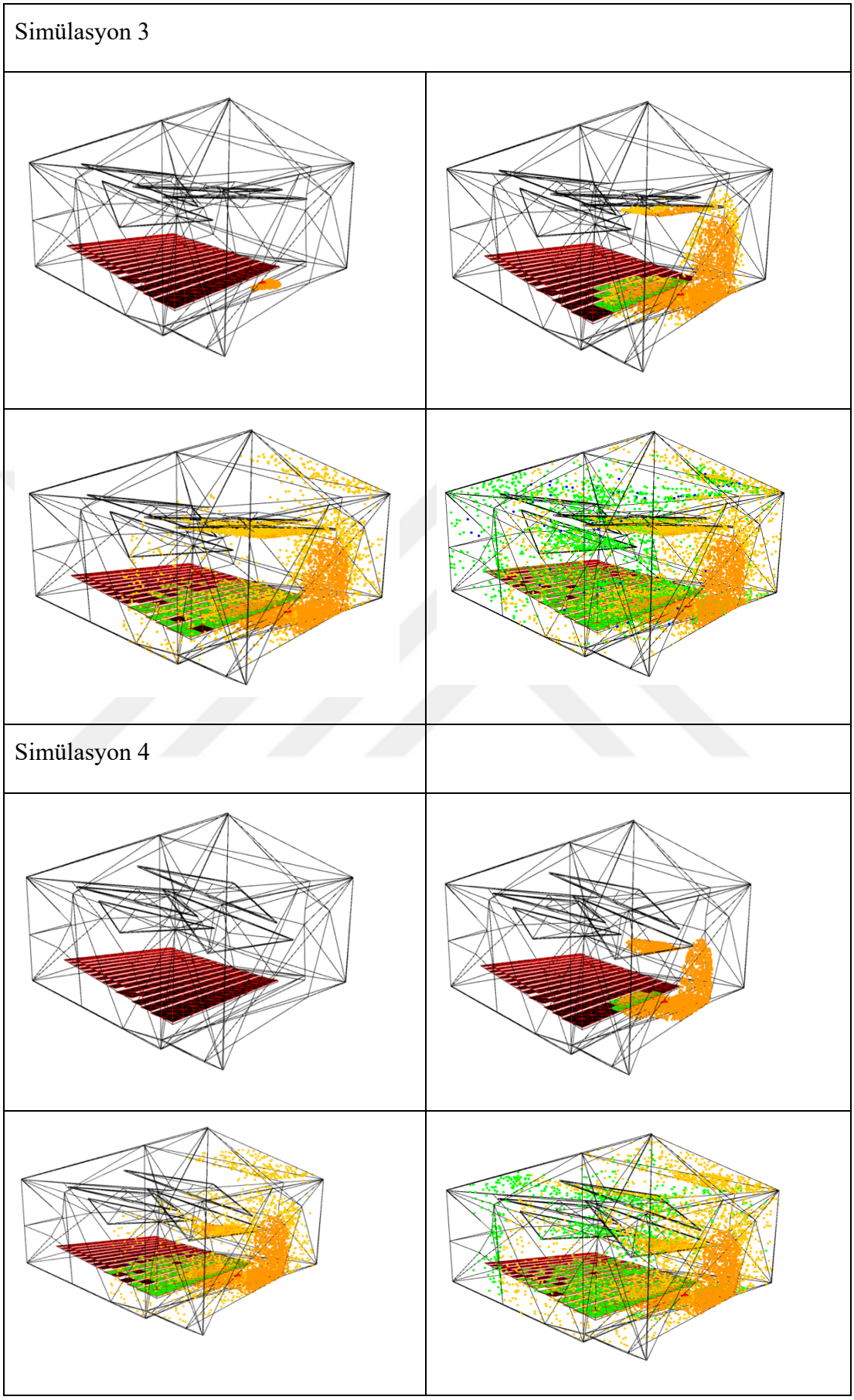
Simülasyon 2











Şekil 5.6 : Üretilen farklı açıların simülasyondan alınan ekran görüntüleri

Çizelge 5.5 : Dördüncü test salonunun 100 simülasyonu kayıt tablosu

	Panel 1	Panel 2	Renk toplamı	Homojenlik	Ortalama	Standart sapma
1	0.0	0.0	110576	214	65.659843	12.798695
2	0.0	0.1	110702	207	65.813271	13.168545
3	0.0	0.2	110079	214	65.239342	13.066535
4	0.0	0.3	108589	217	65.875923	13.131055
5	0.0	0.4	104314	215	65.469582	12.687894
6	0.0	0.5	107206	218	65.86808	13.538683
7	0.0	0.6	110901	215	65.5457	13.260288
8	0.0	0.7	106584	214	64.677979	13.035767
9	0.0	0.8	107780	212	66.302124	13.14403
10	0.0	0.9	109590	210	65.700775	13.244401
11	0.0	0.0	111081	204	66.516068	13.325632
12	0.1	0.1	111839	214	65.144875	13.423935
13	0.1	0.2	114340	218	65.432785	12.845858
14	0.1	0.3	111789	224	64.937843	12.588471
15	0.1	0.4	108197	209	65.439621	12.712262
16	0.1	0.5	115123	212	65.173233	12.708378
17	0.1	0.6	110173	218	65.056778	12.729982
18	0.1	0.7	117034	216	64.874535	12.799693
19	0.1	0.8	108237	204	64.974159	12.4778

20	0.1	0.9	112636	207	65.349518	13.221982
21	0.1	0.0	110840	220	65.008514	12.819336
22	0.2	0.1	118951	222	64.551567	12.882261
23	0.2	0.2	113668	220	64.287041	13.129306
24	0.2	0.3	116447	222	64.474533	13.133852
25	0.2	0.4	121335	223	64.567543	13.101479
26	0.2	0.5	112557	221	64.279411	12.988846
27	0.2	0.6	115771	217	64.181755	13.082037
28	0.2	0.7	114147	217	64.203949	13.000834
29	0.2	0.8	115882	219	64.066414	13.44779
30	0.2	0.9	112493	213	64.422424	13.275417
31	0.2	0.0	113578	228	64.084671	12.918065
32	0.3	0.1	109119	216	64.840546	13.030505
33	0.3	0.2	115438	217	64.054817	13.035398
34	0.3	0.3	112448	223	64.614647	13.172258
35	0.3	0.4	108754	215	65.004684	13.312029
36	0.3	0.5	114333	218	64.75457	13.189444
37	0.3	0.6	116655	214	64.744286	13.732563
38	0.3	0.7	112477	212	63.833874	13.241544
39	0.3	0.8	115623	209	64.986351	13.437347
40	0.3	0.9	110258	225	64.112808	13.557203
41	0.3	0.0	117943	215	64.528069	13.137713

42	0.4	0.1	138272	217	63.016033	13.020219
43	0.4	0.2	128859	221	63.153278	12.998899
44	0.4	0.3	134994	214	62.76659	12.742159
45	0.4	0.4	135026	220	62.782974	12.741511
46	0.4	0.5	137845	214	62.574074	12.802715
47	0.4	0.6	130849	219	61.966732	12.575939
48	0.4	0.7	126186	220	62.090736	12.792593
49	0.4	0.8	136904	220	61.971535	13.050347
50	0.4	0.9	131488	214	61.977203	12.962498
51	0.4	0.0	129260	219	62.674725	12.812071
52	0.5	0.1	117550	219	64.388245	12.883129
53	0.5	0.2	125968	217	64.959396	12.698847
54	0.5	0.3	117897	221	65.00946	12.879848
55	0.5	0.4	122264	221	64.98455	12.938527
56	0.5	0.5	121925	221	64.75882	12.938993
57	0.5	0.6	120206	222	64.438194	12.94592
58	0.5	0.7	122654	223	64.890305	13.076322
59	0.5	0.8	118795	217	64.397346	13.123706
60	0.5	0.9	123438	217	64.096764	12.912378
61	0.5	0.0	125223	216	64.677711	12.877279
62	0.6	0.1	131399	213	64.752266	12.364906
63	0.6	0.2	128793	223	64.037575	12.391837

64	0.6	0.3	134533	224	65.055939	12.563413
65	0.6	0.4	132355	224	65.345978	12.364941
66	0.6	0.5	137812	219	64.99469	12.556533
67	0.6	0.6	131128	222	64.156898	12.363593
68	0.6	0.7	127494	222	64.691002	12.745631
69	0.6	0.8	132071	218	64.9991	12.997776
70	0.6	0.9	132280	220	65.176285	12.525103
71	0.6	0.0	131368	224	64.769157	12.355861
72	0.7	0.1	127093	222	66.088913	12.929229
73	0.7	0.2	125177	224	65.219131	12.838378
74	0.7	0.3	126796	223	66.051041	12.81987
75	0.7	0.4	117266	220	65.433701	12.770481
76	0.7	0.5	120826	216	65.92485	12.825379
77	0.7	0.6	121631	211	65.581413	12.753585
78	0.7	0.7	126212	216	65.701187	12.653307
79	0.7	0.8	122395	216	65.635094	13.111815
80	0.7	0.9	123524	215	65.629883	12.98303
81	0.7	0.0	125523	215	64.903801	12.614149
82	0.8	0.1	123856	225	65.311127	13.051496
83	0.8	0.2	120510	227	65.496048	13.391136
84	0.8	0.3	123536	215	65.37886	13.058482
85	0.8	0.4	120054	221	65.506348	13.100917

86	0.8	0.5	120898	219	66.136047	13.200183
87	0.8	0.6	122182	223	65.702919	13.215646
88	0.8	0.7	120480	221	65.911285	13.268014
89	0.8	0.8	119468	218	65.118439	12.996327
90	0.8	0.9	117348	219	65.543854	13.310097
91	0.8	0.0	121086	214	65.183762	13.221889
92	0.9	0.1	117185	215	65.291901	13.217597
93	0.9	0.2	109875	216	65.785355	13.547935
94	0.9	0.3	101760	219	65.937508	13.271112
95	0.9	0.4	104727	219	65.90937	13.356391
96	0.9	0.5	111178	227	65.486198	13.713516
97	0.9	0.6	105159	225	65.986153	13.248912
98	0.9	0.7	110474	220	66.137085	13.464549
99	0.9	0.8	109017	220	65.556602	13.425223
100	0.9	0.9	108395	214	65.84269	13.286682

Çizelge 5.6 : Koordinat-ses düzeyi kayıtlarının bir bölümü:

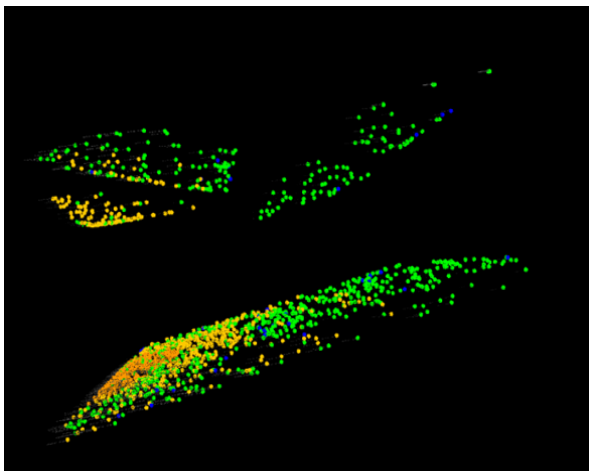
X	y	z	x
2363.9795	36.843204	-2.0886688	2363.9796
2360.1328	-19.139347	-1.6163788	2360.1329
2366.0798	-58.139084	-2.3466034	2366.0799
2354.1523	5.7743096	-0.88209534	2354.1524

2362.0786	-47.30659	-1.8553009	2362.0787
2356.0544	27.157568	-1.1156006	2356.0545
2352.076	31.355911	-0.62713623	2352.077
2350.9976	-29.3986	-0.4947052	2350.9977
2359.1892	-53.953125	-1.5005188	2359.1893
2352.0652	-39.177933	-0.6257782	2352.0653
2356.6687	-52.362995	-1.19104	2356.6688
2358.855	62.702503	-1.4595032	2358.856
2352.0479	-25.986198	-0.62368774	2352.0480
2365.951	-88.566536	-2.3307648	2365.952
2343.4988	-16.791328	0.4260254	2343.4989
2354.5605	64.516304	-0.9321747	2354.5606
2361.3723	-77.46649	-1.7685852	2361.3724
2350.2021	-64.99649	-0.39704895	2350.2022
2341.9526	39.08329	0.61582947	2341.9527
2336.8174	5.4859653	1.2463837	2336.8175
2355.742	-81.15284	-1.07724	2355.743
2356.5142	-96.258736	-1.1720581	2356.5143
2350.7158	-80.478546	-0.46009827	2350.7159
2359.956	99.48362	-1.5946808	2359.956
2359.5078	97.259575	-1.5396576	2359.5078
2348.3071	-79.016594	-0.16438293	2348.3072

2354.581	-90.208916	-0.93470764	2354.582
2339.6992	-50.72011	0.89256287	2339.6993
2347.2263	87.51311	-0.031661987	2347.2264
2353.8762	-99.058426	-0.8481903	2353.8763
2357.9507	108.7992	-1.3484344	2357.9508
2330.1204	-36.449867	2.0686798	2330.1205
2336.754	61.176765	1.2541809	2336.755
2327.145	20.288319	2.4340057	2327.146
2346.9626	101.68443	7.324219E-4	2346.9627
2319.1455	-0.5834593	3.4161987	2319.1456
2334.787	-75.67763	1.495697	2334.788
2344.3723	-97.719666	0.31878662	2344.3724
2339.1636	83.2482	0.95832825	2339.1637
2343.1294	91.17648	0.471344	2343.1295
2340.1912	-86.07916	0.83213806	2340.1913
2356.708	112.69045	-1.1958771	2356.709
2327.6604	58.243603	2.3707275	2327.6605
2323.0044	-39.889294	2.9424286	2323.0045
2325.7468	-49.515736	2.605667	2325.7469
2316.1643	28.578962	3.7822723	2316.1644
2314.5393	16.866674	3.9817963	2314.5394
2341.697	99.658485	0.6472473	2341.698

2315.458	3.4437578	3.8690033	2315.459
2318.5425	44.402218	3.490265	2318.5426
2356.4338	124.25892	-1.1622162	2356.4339
2359.5713	124.874405	-1.5474243	2359.5714
2316.1206	-32.379864	3.7876282	2316.1207
2317.3125	-37.030624	3.6412811	2317.3126
2346.373	-118.28502	0.07310486	2346.374
2312.0156	18.674852	4.2916718	2312.0157
2310.9883	21.459183	4.417816	2310.9883
2310.2722	24.219875	4.5057373	2310.2722
2363.3245	140.19334	-2.0082703	2363.3246
2336.1445	100.40064	1.3290558	2336.1446
2335.736	102.70828	1.3791351	2335.737
2358.6016	136.65724	-1.42836	2358.6017
2308.3574	-3.4956782	4.7408295	2308.3575
2309.644	-0.33354974	4.58284	2309.645
2313.7073	-36.959137	4.083954	2313.7074
2309.9802	-44.95581	4.541565	2309.9803
2347.7268	128.2698	-0.09310913	2347.7269
2328.4692	95.26936	2.271408	2328.4693
2363.1196	-145.4855	-1.9830933	2363.1197
2334.8267	-107.14897	1.4908295	2334.8268

2305.5037	-18.405394	5.091202	2305.5038
2329.6797	-100.47368	2.1228027	2329.6798
2317.7305	-75.36868	3.589981	2317.7306
2326.3806	-93.97567	2.5278473	2326.3807
2305.4397	3.3700218	5.0990753	2305.4398
2298.3083	6.9509826	5.974701	2298.3084
2353.182	142.9652	-0.76290894	2353.182
2353.9165	-143.9871	-0.85313416	2353.9165
2306.085	58.144073	5.0198364	2306.086
2365.82	-158.72989	-2.314682	2365.83
2325.0945	100.39907	2.6857758	2325.0946
2312.9663	76.0895	4.1749268	2312.9664
2298.723	-3.534814	5.923813	2298.724
2335.9497	121.88674	1.352951	2335.9498
2300.6077	-26.219755	5.6923523	2300.6078
2335.7512	-120.010086	1.3772583	2335.7513



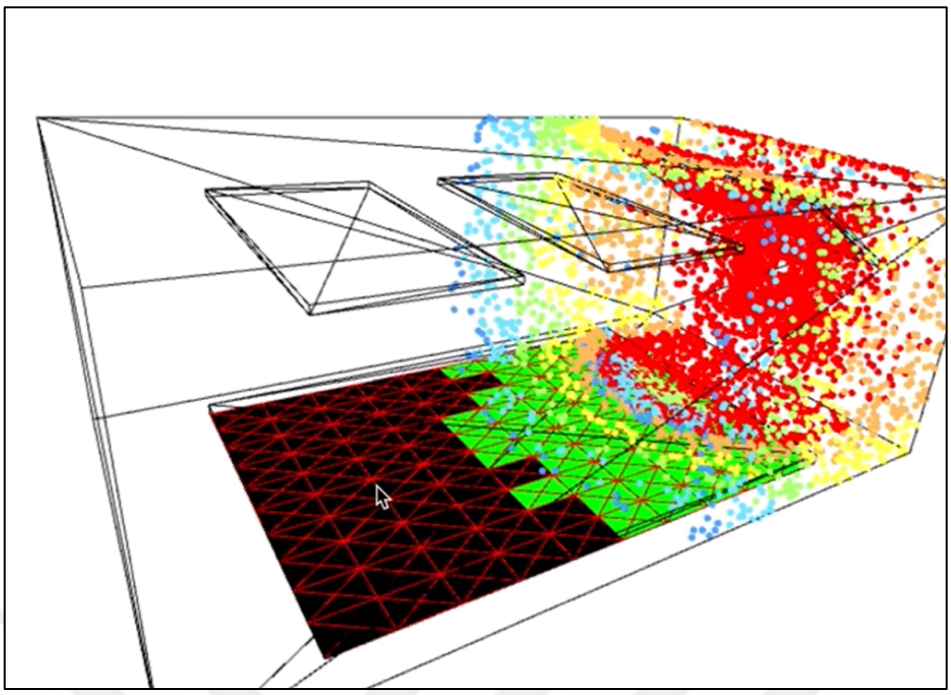
Yakın görüntü:



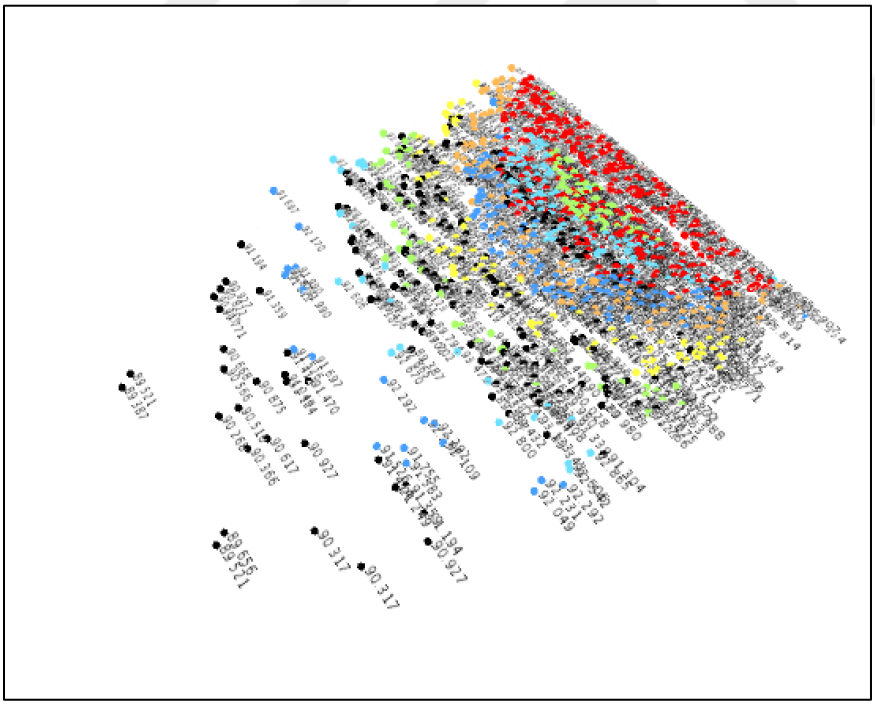
Yakın görüntü:



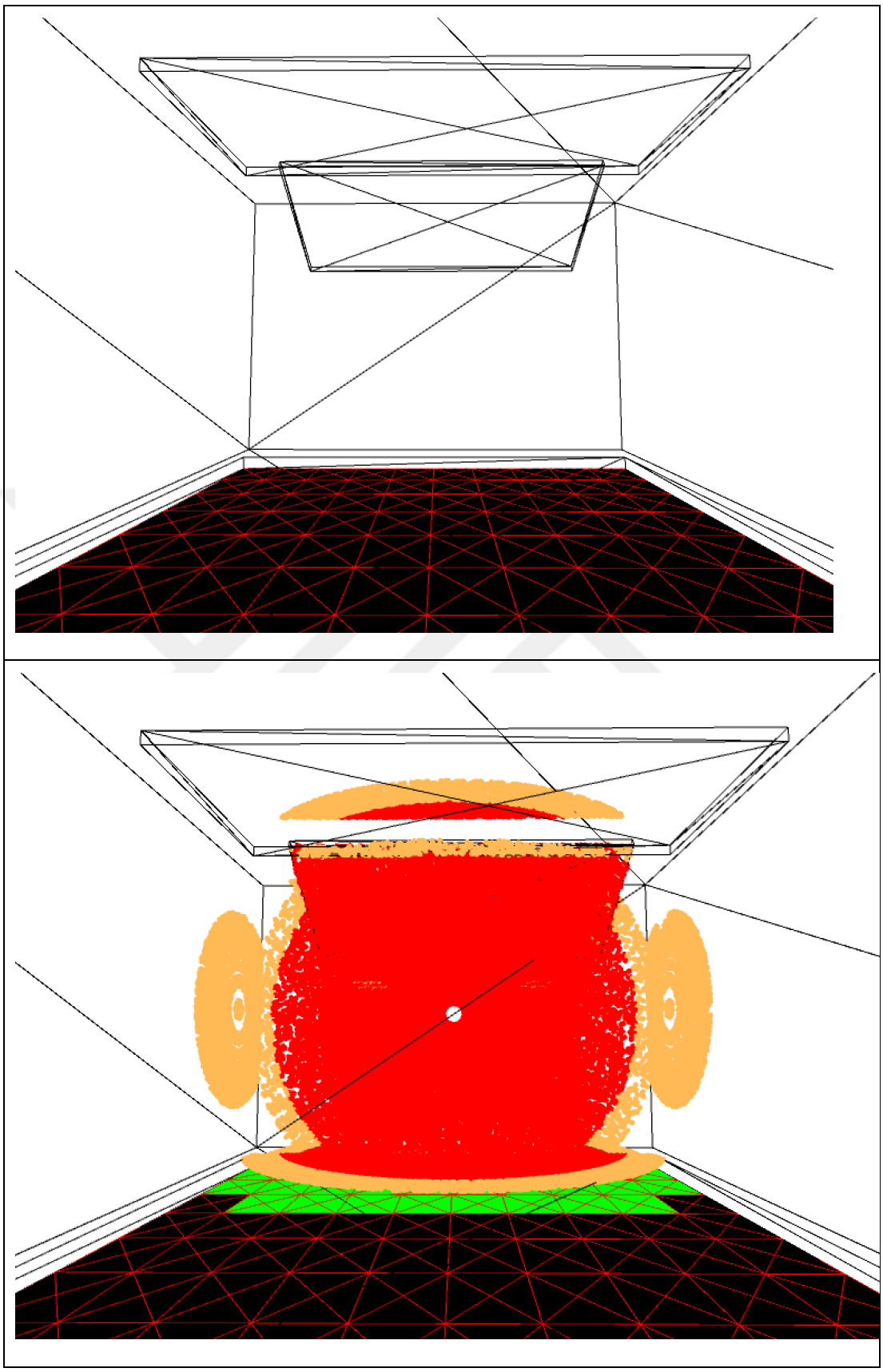
Şekil 5.7: Alt program görselleri

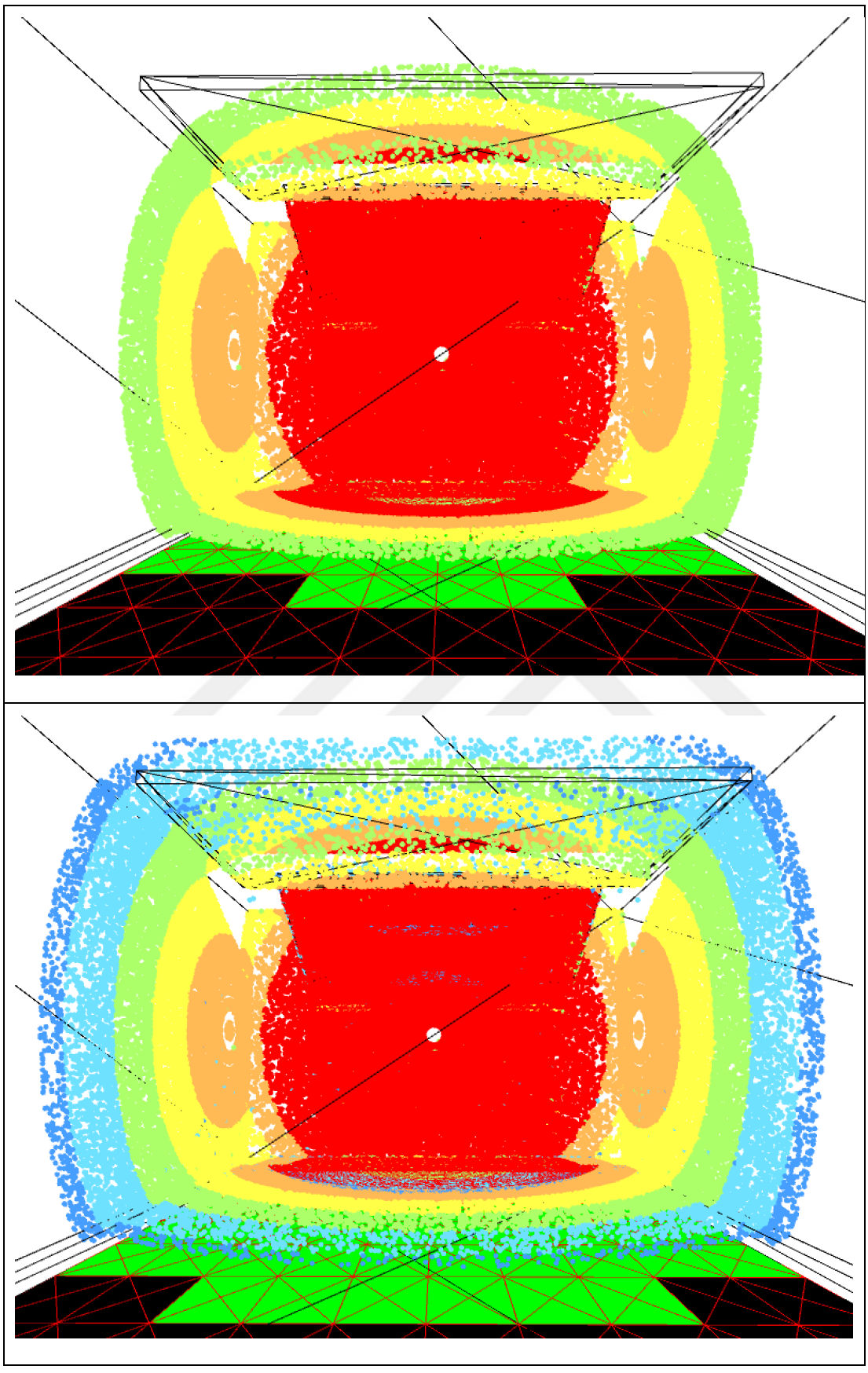


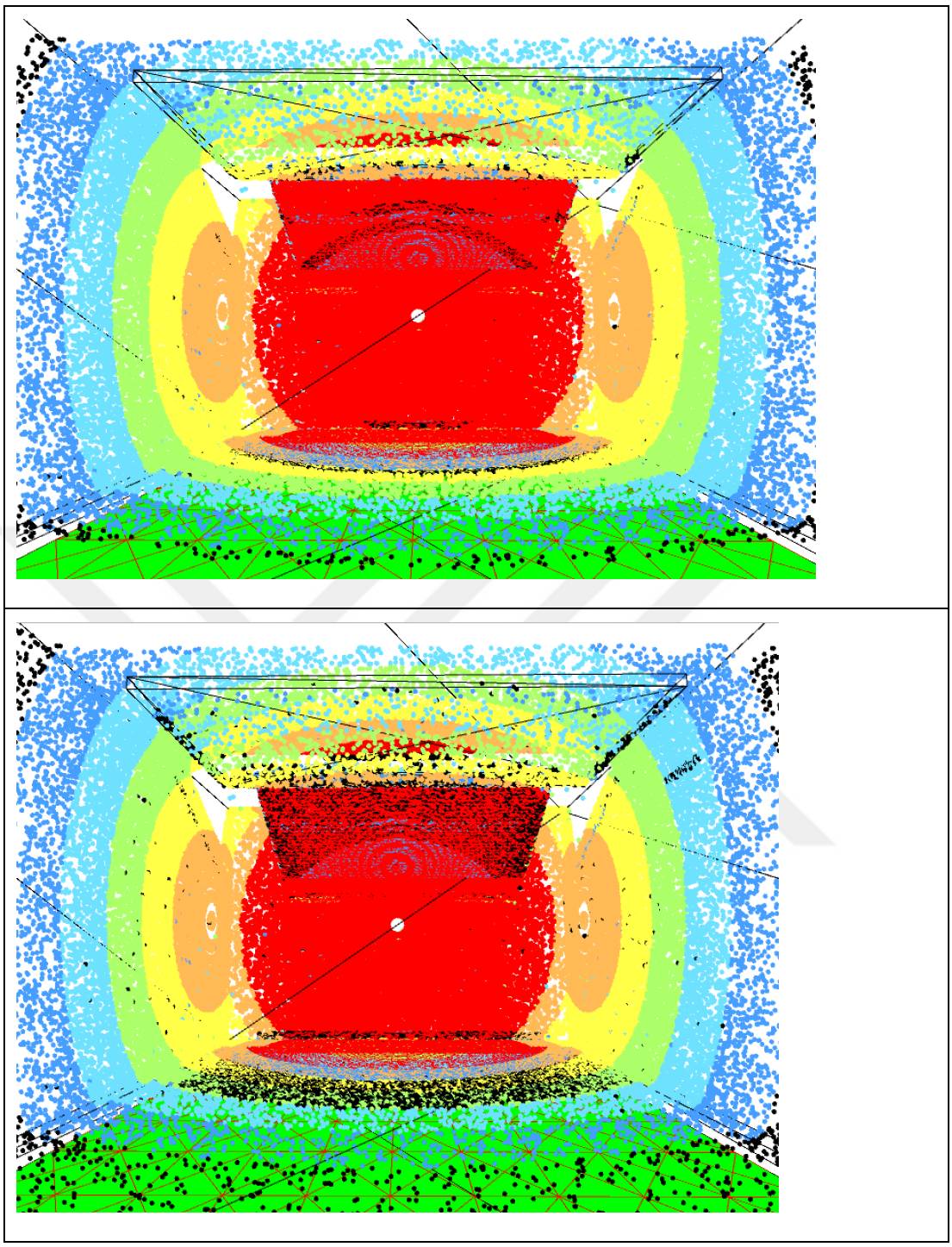
Şekil 5.8: Üç Boyutlu Aktif Simülasyondan Alınan Örnek Görüntü



Şekil 5.9 Üç Boyutlu Aktif Simülasyon Alt Programından alınan örnek dinleyici alanı görüntüsü



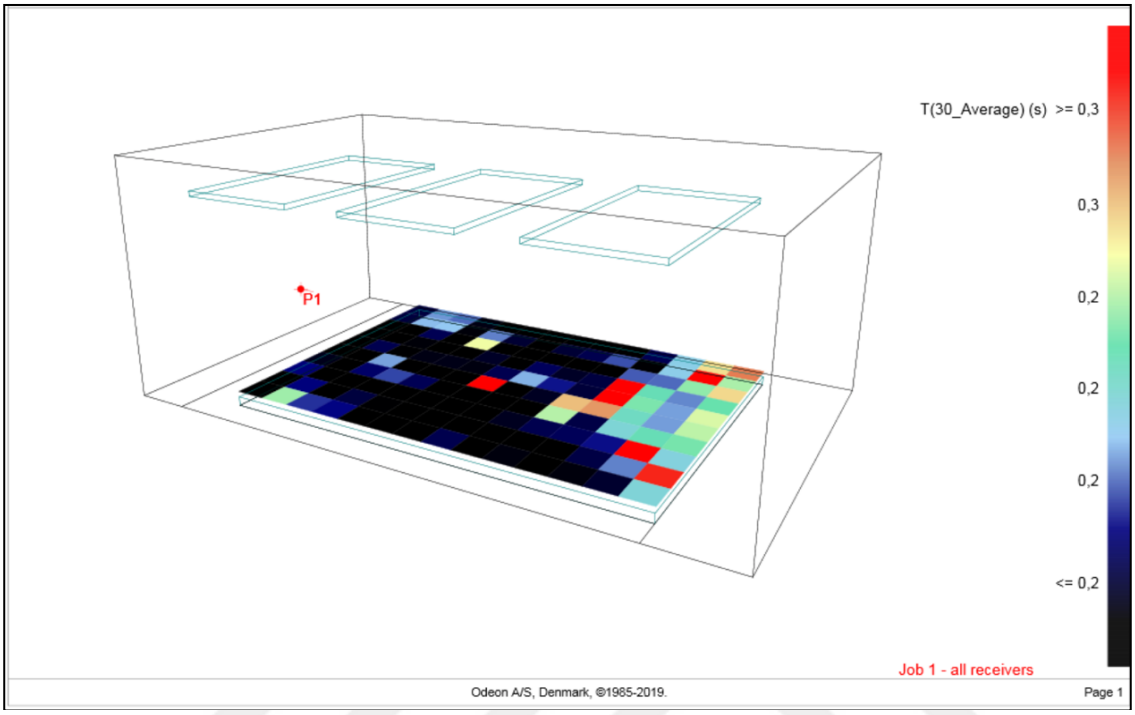




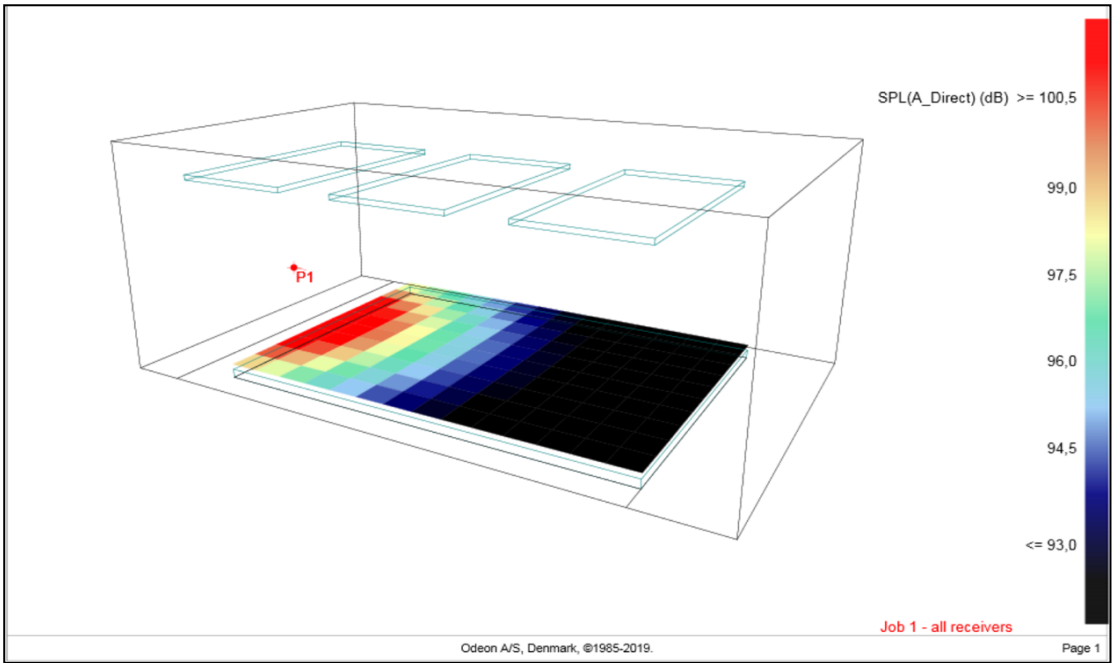
Şekil 5.10: Üç Boyutlu Aktif Simülasyondan Alınan Işın Sayısı Yükseltilmiş (300000) Örnek Sıralı Görüntüler

Odeon Programı'ndan alınan T30 ve SPL (A_Direct) parametrelerin hesap grafikleri:

Salon 2 panellerin düz olduğu geometrik durum:

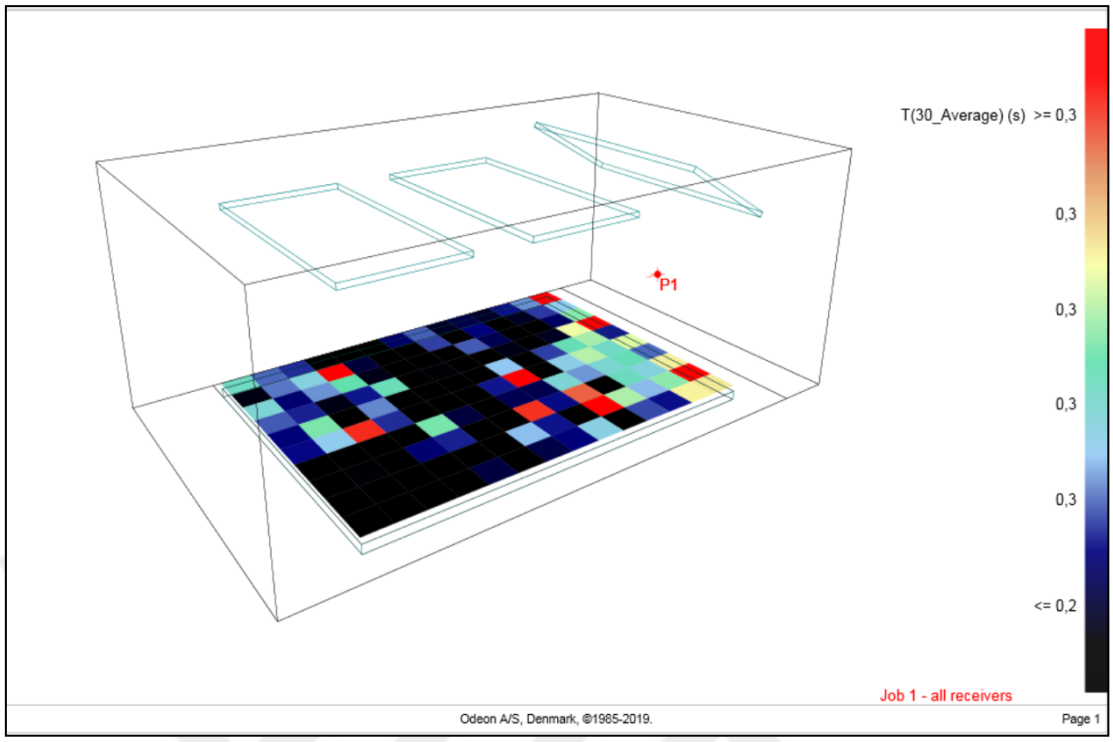


Şekil 5.11: Salon 2 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

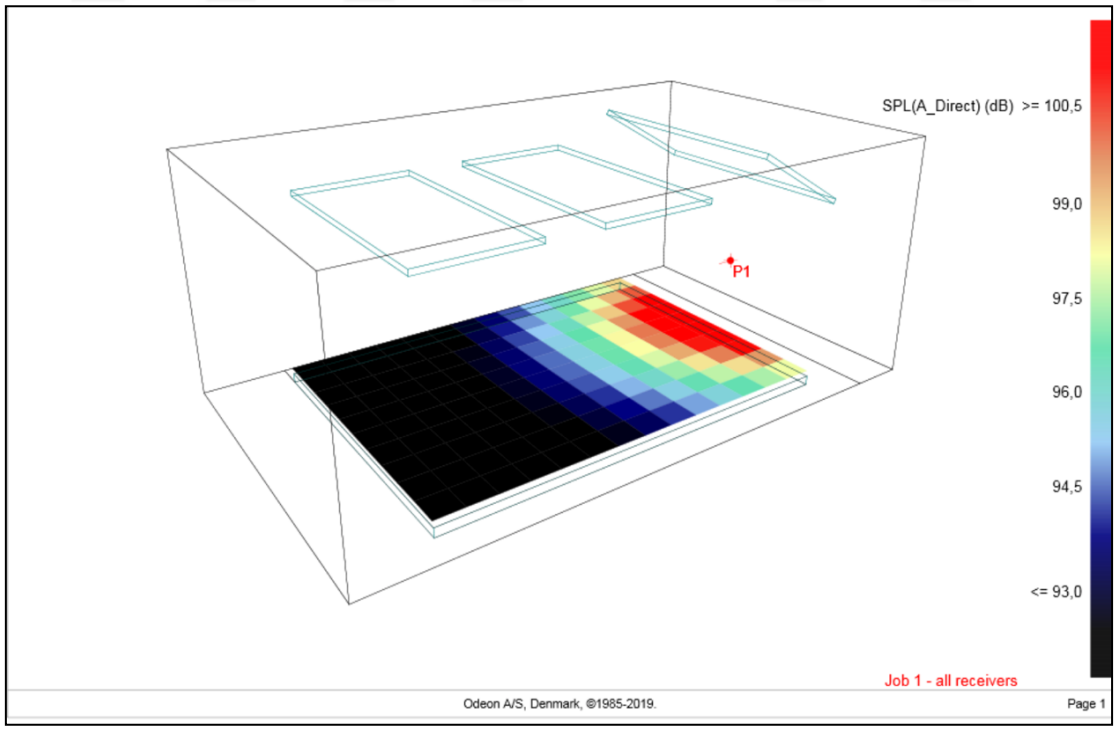


Şekil 5.12: Salon 2 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

Salon 2 panellerin açılı olduğu geometrik durum:

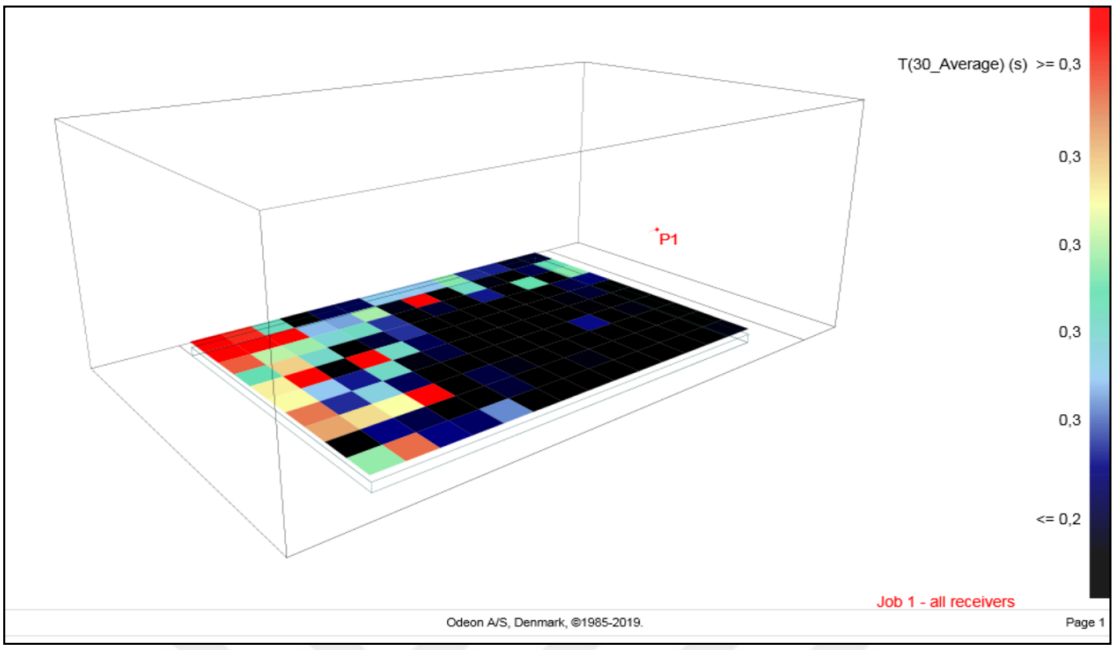


Şekil 5.13: Salon 2 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

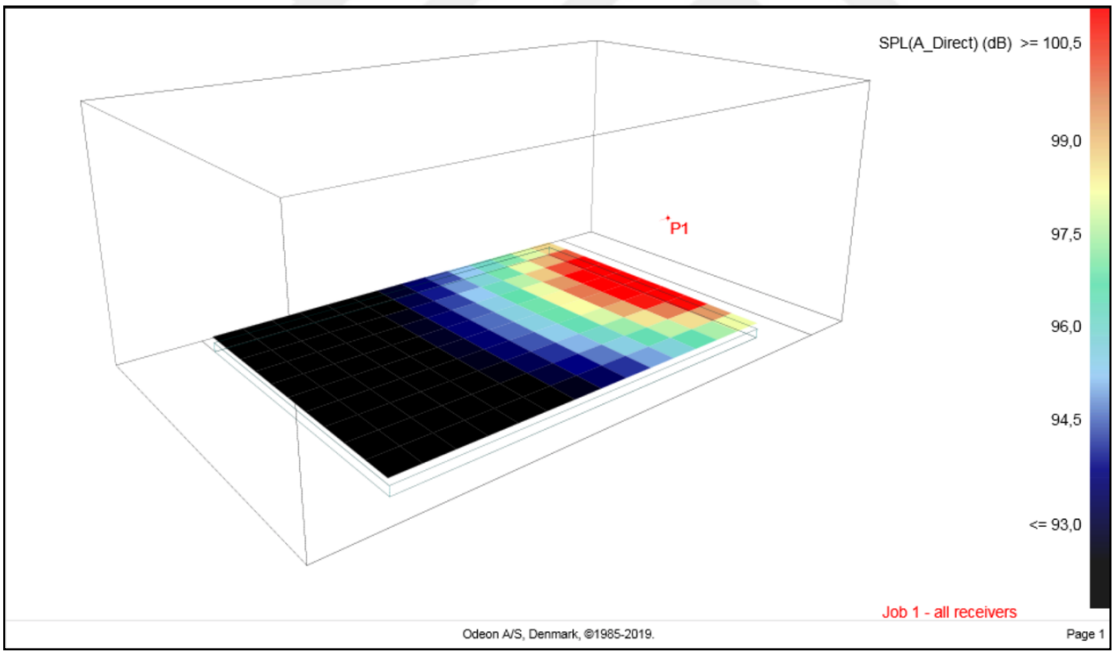


Şekil 5.14: Salon 2 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

Salon 2 panelsiz geometrik durum:

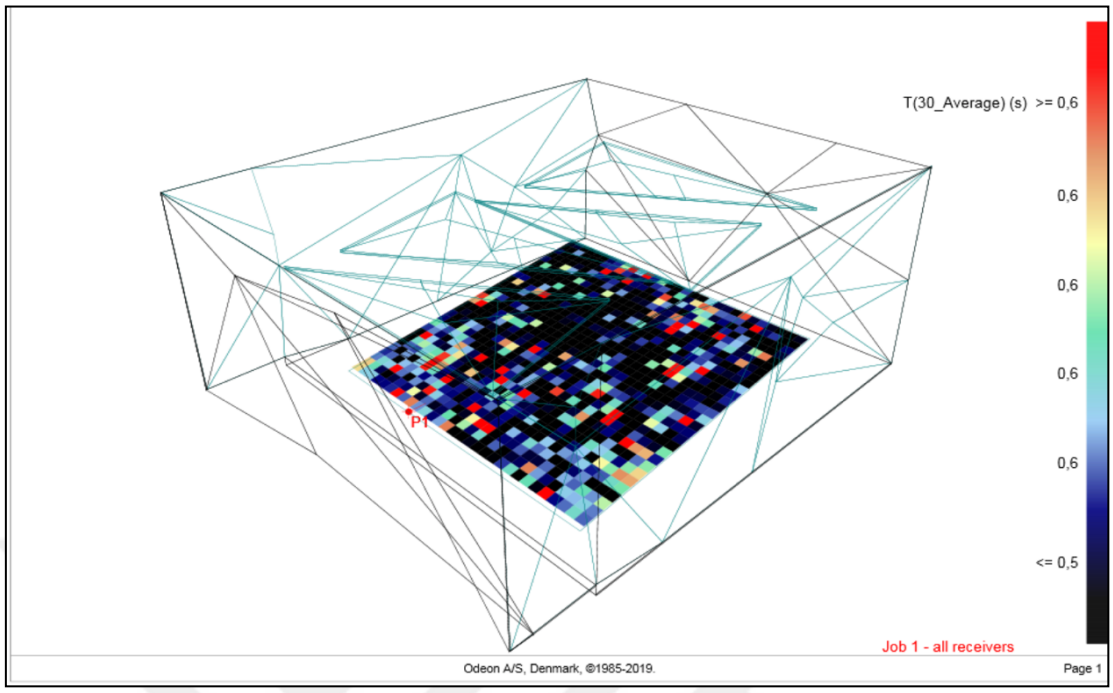


Şekil 5.15: Salon 2 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

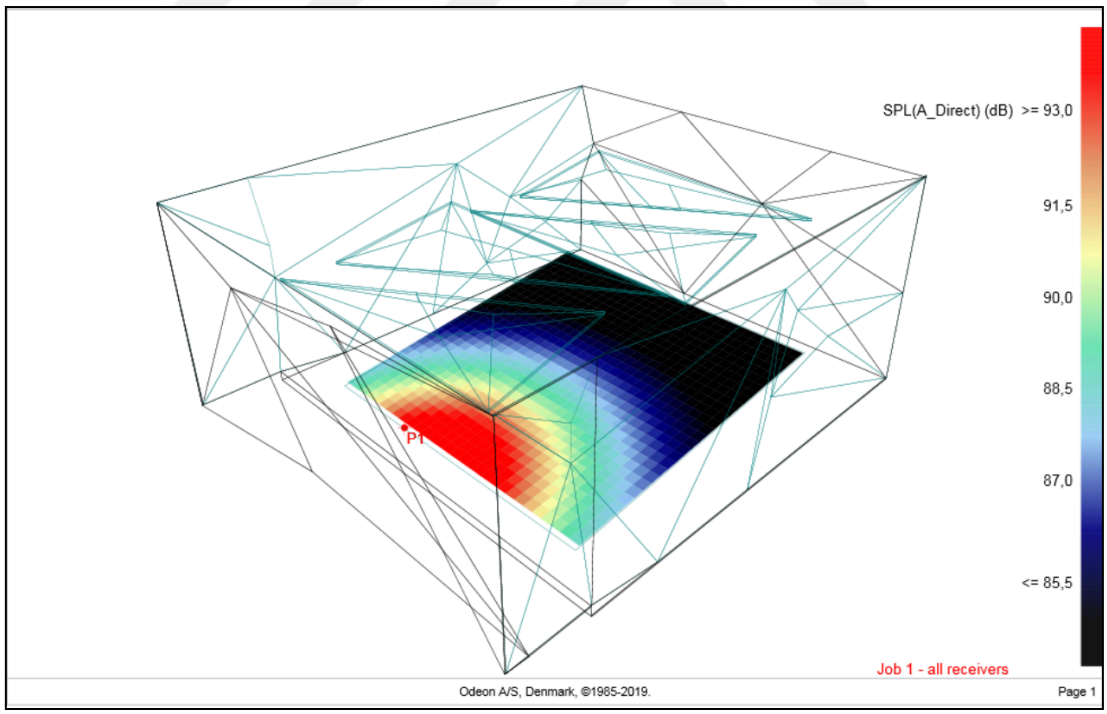


Şekil 5.16: Salon 2 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durum

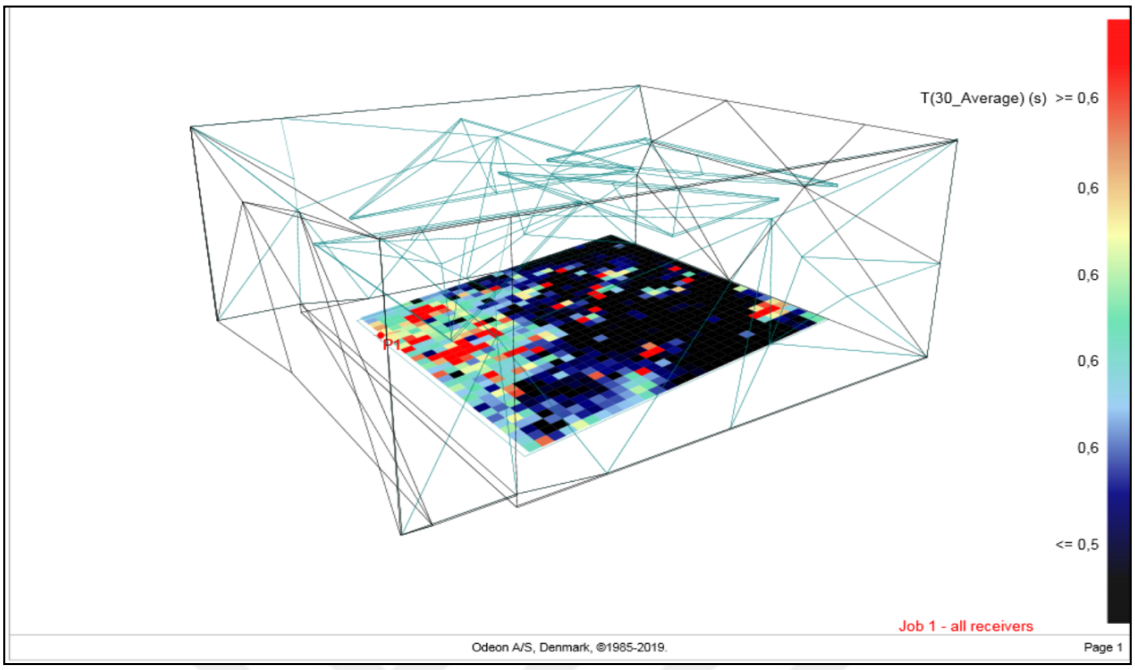


Şekil 5.17: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

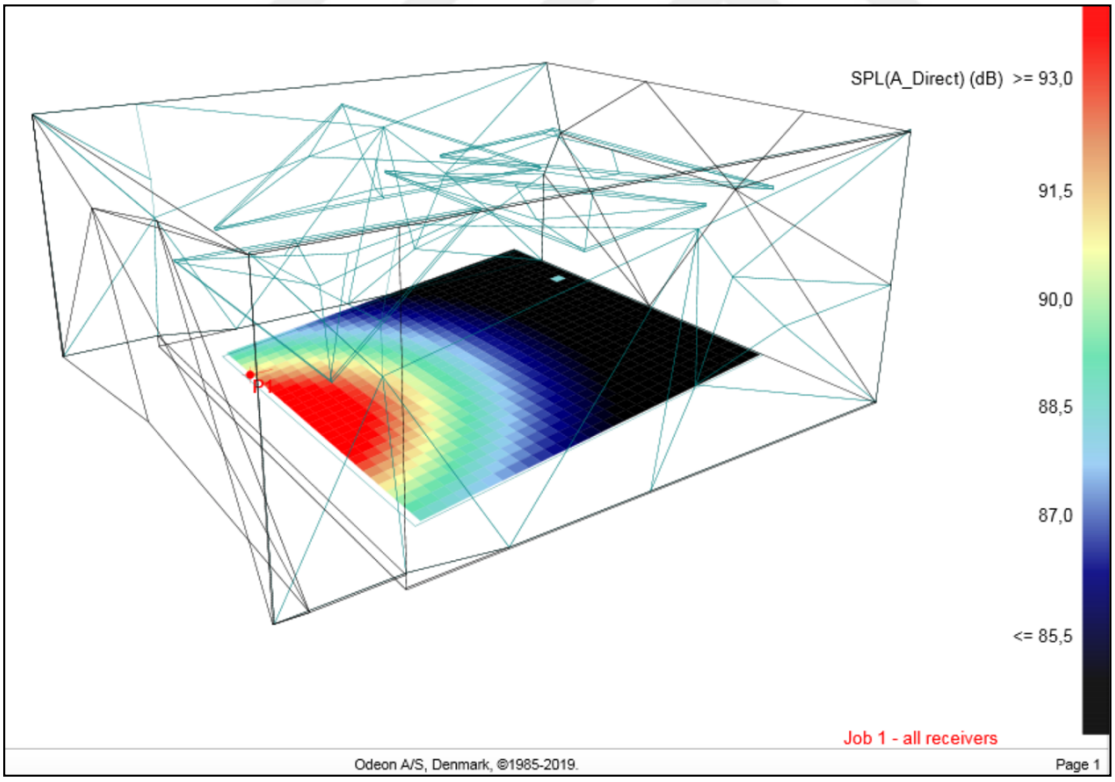


Şekil 5.18: Salon 4 panellerin düz olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (*A_direkt*) sonucu

Salon 4 panellerin 30 derece açılı olduğu geometrik durum:

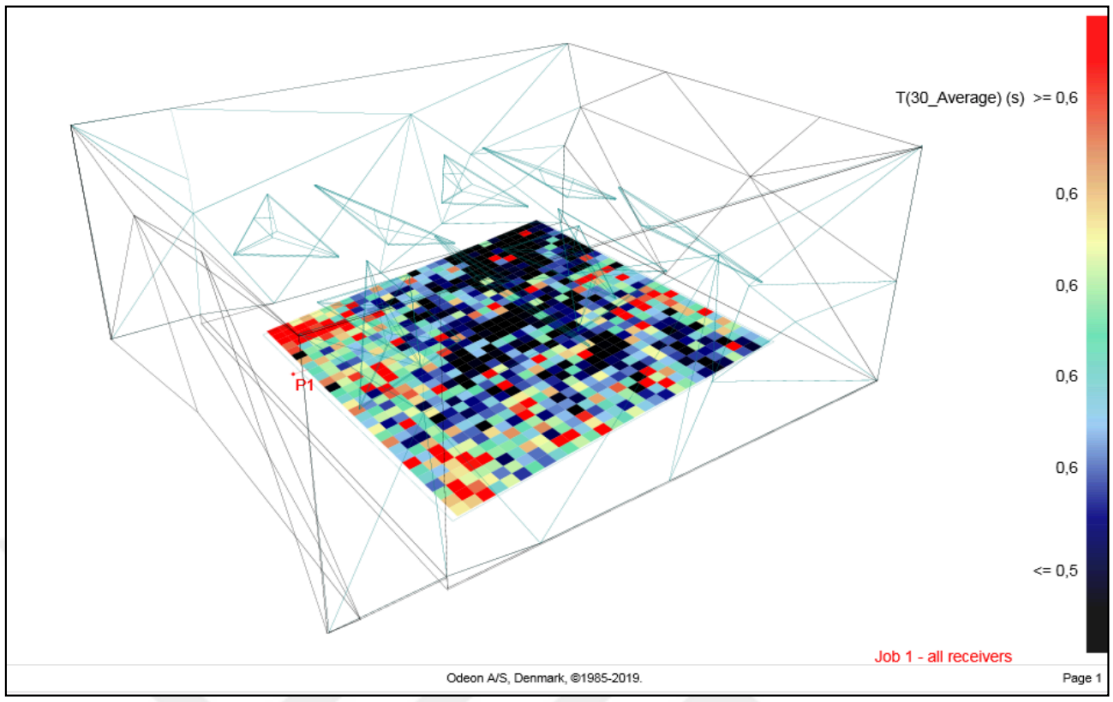


Şekil 5.19: Salon 4 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

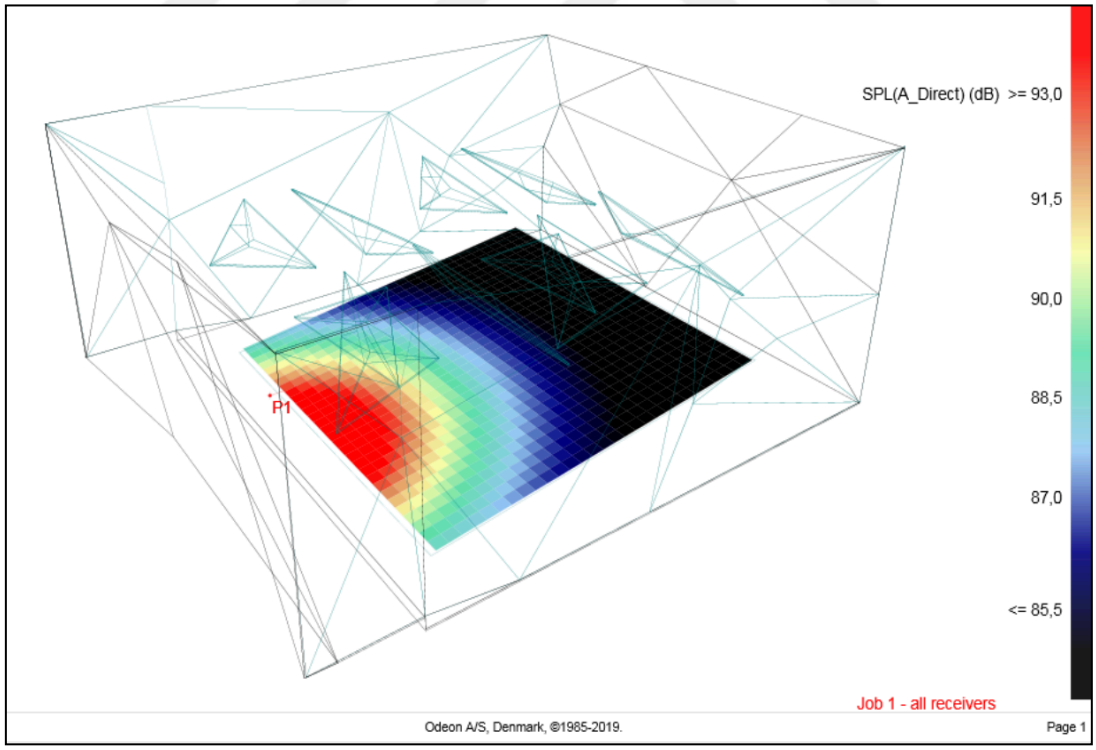


Şekil 5.20: Salon 4 panellerin açılı olduğu geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

Salon 4 çok panelli geometrik durum:

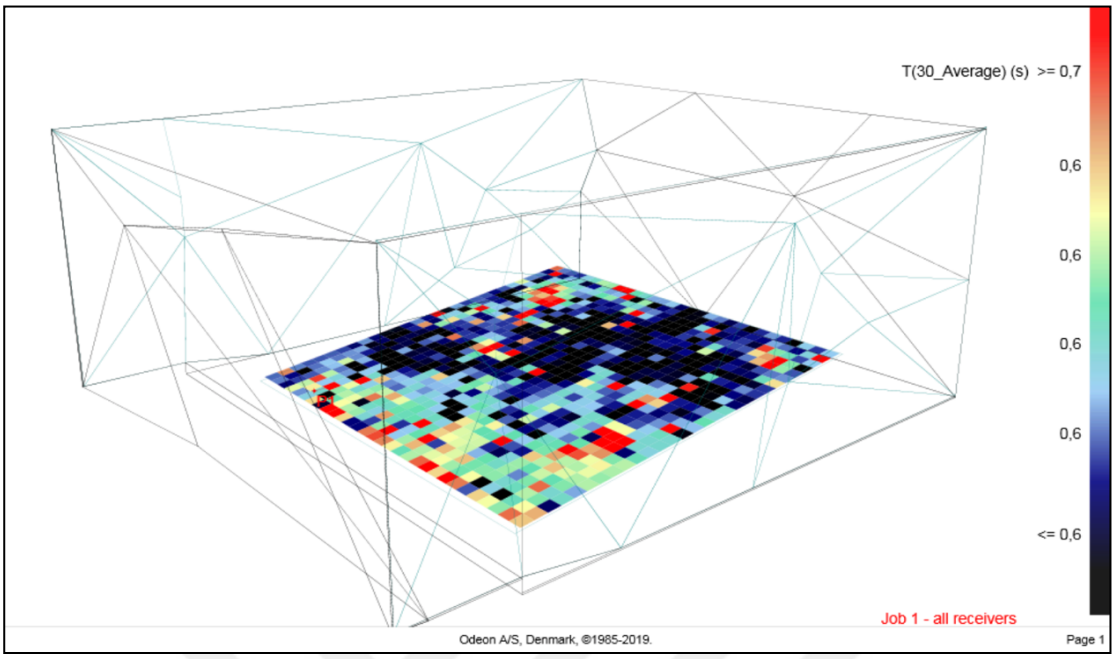


Şekil 5.21: Salon 4 çok panelli geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu

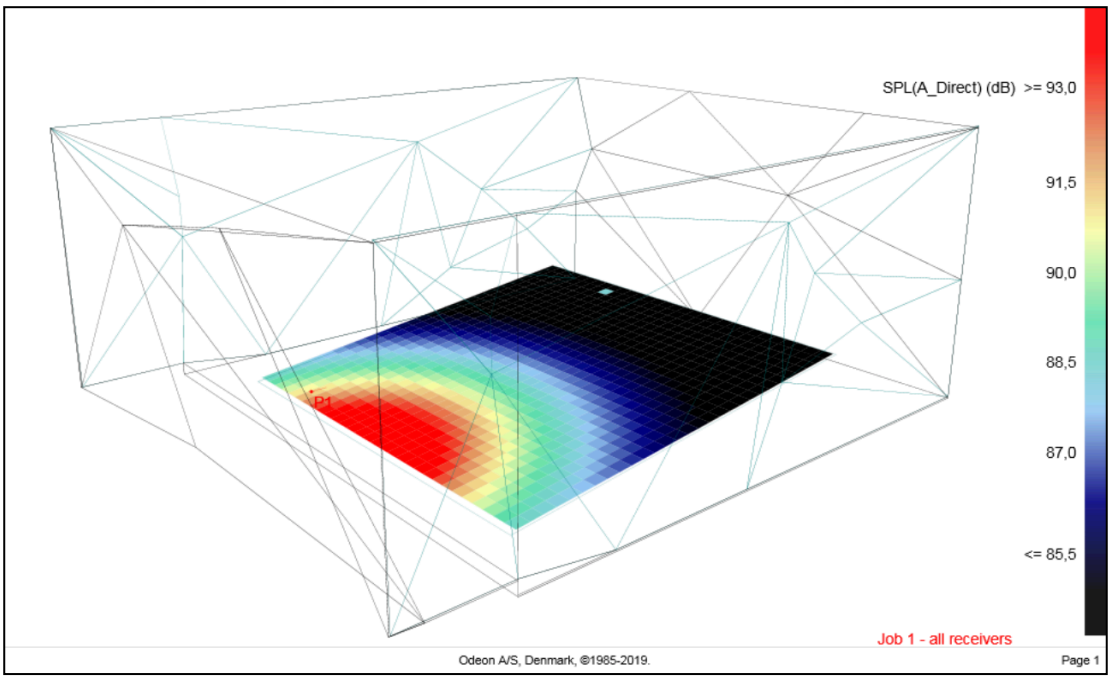


Şekil 5.22: Salon 4 çok panelli geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

Salon 4 panelsiz durum:



Şekil 5.23: Salon 4 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan ortalama T30 sonucu



Şekil 5.24: Salon 4 panelsiz geometrik durumda, Odeon Programı'ndan alınan SPL (A_direkt) sonucu

ÖZGEÇMİŞ



Ayşe GLASS, 1988 yılında İzmir'de doğmuştur. Yüksek öğrenimine kadar sırasıyla; Kars Halil Atilla İlköğretimokulu (1995-1988), Özel Ege İlköğretimokulu (1998-2002), Suphi Koyuncuoğlu İlköğretimokulu (2002) ve İzmir Atatürk Anadolu Lisesi (2006)'ni bitirmiştir. 1993 yılında piyano çalarak klasik müzik eğitimine başlamıştır. ABRSM (İngiliz Kraliyet Müzik Okulları Birleşik Kurulu) sınavlarına girmiştir. İleri düzeyde İngilizce, Almanca ve başlangıç düzeyinde Çince bilmektedir. 2006 yılında caz ve türk müziği alanlarında çalışmalarına başlamıştır. Çeşitli orkestra, müzikal ve tiyatrolarda müzisyen olarak görev almaktadır. 2006 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık bölümüne başlamıştır. 2010 yılında "Mimar" ünvanıyla mezun olduktan sonra 2013 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Fiziği ve Malzemesi Anabilim Dalı'ndan "Yüksek Mimar" ünvanıyla mezun olmuştur. Yüksek lisans sürecinde İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nde "Özel Öğrenci" statüsünde mimari akustik derslerine katılarak sınavlarında başarılı olmuştur. "Antik Çağ Konser Mekanlarından 20. Yüzyıl Mekansal Müzik Konser Salonlarına Müzik ve Mimarlık İlişkisi" isimli yüksek lisans tez çalışması sürecinde konser salonlarını detaylı olarak araştırma fırsatı bulmuştur. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yapılan A-2 Tipi Mühendislik Akustiği ve C1 Tipi Bina Akustiği eğitimlerini almıştır. 2015 yılında Mimar Sinan Üniversitesi Yapı Bilgisi Bilim Dalı'nda başladığı doktora derslerini 2017 yılında tamamlayarak tez çalışmasına başlamıştır. Enformatik ve iç mimarlık bölümlerinden aldığı doktora seçmeli derslerinde tasarım, istatistik ve bilgisayar bilimleri kesişimindeki çalışmaları inceleme ve projeler hazırlama fırsatı bulmuştur. Çeşitli kongrelerde araştırmacı olarak yer almaktadır. Odelia Ada ve Rosalia İpek'in annesidir. Çalışmalarına, ses mekanlarıyla ilgili çeşitli projelerle ve araştırmalarla devam etmektedir.