



**CAMİLERDE MİMARİ AKUSTİK TASARIM KRİTERLERİ VE
BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: HASAN TANIK CAMİİ**

Esra UYSAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2015

ETİK BEYAN

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

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

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

Esra UYSAL

24/12/2015

CAMİLERDE MİMARİ AKUSTİK TASARIM KRİTERLERİ VE
BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: HASAN TANIK CAMİİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Esra UYSAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2015

ÖZET

Camilerin akustik özellikleri ve ihtiyaçları konusundaki farkındalığın artırılması amacıyla yapılan bu çalışmada; camiler için mimari akustik tasarım kriterleri ortaya konulmuş ve örneklem olarak seçilen bir caminin akustik performans kriterleri değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yöntem olarak öncelikle cami akustiğini etkileyen iç mekan düzenlemeleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Çalışmanın devamında, camiler için hacim akustiği tasarım kriterleri incelenerek literatür çerçevesinde akustik performans kriterleri oluşturulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise bu performans kriterleri kapsamında, Hasan Tanık Camii hacim akustiği koşulları, alan ölçümü ve Odeon (v 10.02) simülasyon programından elde edilen veriler ile değerlendirilmiştir. Son bölüm kapsamında; öncelikle, sözü edilen caminin, TS EN ISO 3382-1 standardı doğrultusunda reverberasyon süresi (RT), ses basınç seviyesi (SPL) ve arka plan gürültü düzeyi (LeqA) ölçümleri yapılmıştır. Ardından, ODEON (v 10.02) simülasyon programı aracılığı ile reverberasyon süresi (RT), erken sönmelenme süresi (EDT), sesin berraklığı (C80), konuşmanın iletim indeksi (STI), konuşmanın belirginliği (D50) ve ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPLA) parametreleri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, elde edilen ölçüm ve simülasyon verileri karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bilim Kodu : 804.1.040
Anahtar Kelimeler : Hacim akustiği, Cami akustiği, Akustik ölçüm, Akustik simülasyon
Sayfa Adedi : 133
Danışman : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

ARCHITECTURAL ACOUSTICS DESIGN CRITERIA FOR MOSQUES AND
A CASE STUDY: HASAN TANIK MOSQUE

(M. Sc. Thesis)

Esra UYSAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2015

ABSTRACT

In this study, architectural acoustics design criterias of mosques are revealed and an example of mosque acoustical performance criterias are evaluated to increase the awareness of the acoustic characteristics and needs of mosques. In accordance with this purpose, first, general information about interior design affecting mosque acoustics is depicted. Next, acoustics design criterias for mosques have been investigated and acoustic performance criterias have been established in the framework of relevant literature. As a result, volume acoustic conditions of Hasan Tanık Mosque is evaluated using data obtained from Odeon (v 10.02) simulation program and acoustics measurement with respect to performance criterias. In acoustics measurements, reverberation time (RT), sound pressure level (SPL) and the background noise level (LeqA) in accordance with EN ISO 3382-1 standard are measured for the aforementioned mosque. Then, reverberation time (RT), early decay time (EDT), clarity (C80), speech transmission index (STI), definition (D50) and weighted sound pressure levels (SPLA) parameters were obtained by ODEON (v 10.02) simulation program. In conclusion, the obtained measurement and simulation data are compared and evaluated.

Science Code : 804.1.040
Key Words : Room acoustics, Mosque acoustics, Acoustics measurements, Acoustic simulation
Page Number : 133
Supervisor : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince; tezimin şekillenmesinde ve gelişiminde değerli katkılarını ve desteğini esirgemeyen, danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e; değerli katkılarından dolayı jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Papatya Nur DÖKMECİ YÖRÜKOĞLU'na; Hasan Tanık Camii planlarını benimle paylaşan Mimar Mustafa Şahin'e; örnek çalışmam için destek veren Çankaya Müftülüğü'ne ve Hasan Tanık Camii çalışanlarına; 48/2010-01 no'lu BAP projesi kapsamında ölçüm cihazlarına ulaşmamızı sağlayan Gazi Üniversitesi'ne; çalışmam sırasında yanımda olan ekip arkadaşlarım Rıza TÜRKMEN, Yusuf SEVEN, Zuhale ÖZÇETİN, S. Gül İLİSULU ve Sümeyra PEKTAŞ'a; yaşantım boyunca maddi manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan ailem Hülya ve Mesut BAKIRCI'ya; her koşulda yanımda olan sevgili eşim Ümit UYSAL'a ve kardeşlerim Tuğba ve Merve BAKIRCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. CAMİLERDE HACİM AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN TEMEL ETKENLER	5
2.1. İç Mekan Tasarım Elemanları	5
2.1.1. Sahın / namaz holü	6
2.1.2. Kible duvarı ve yan duvarlar	7
2.1.3. Mihrap	7
2.1.4. Minber ve kürsü	8
2.1.5. Mahfil.....	10
2.1.6. Örtü elemanları ve taşıyıcı elemanlar	12
2.1.7. Geçiş elemanları.....	19
2.1.8. Bitiş malzemeleri	22
2.2. İbadet Pozisyonları	22
2.3. Sesli Eylemler	28
2.3.1. Konuşma eylemi.....	28
2.3.2. Müzik eylemi	29

3. CAMİLERDE HACİM AKUSTİĞİ TASARIM VE PERFORMANS KRİTERLERİ.....	31
3.1. Hacim Akustiğı Tasarım Kriterleri	32
3.1.1. Direkt ses.....	32
3.1.2. Arka plan gürültü düzeyi (LeqA).....	34
3.1.3. Reverberasyon süresi (RT).....	35
3.1.4. Erken sönümlenme süresi (EDT).....	39
3.1.5. Konuşmanın belirginliği (D50).....	39
3.1.6. Sesin berraklığı (C80)	40
3.1.7. Konuşmanın iletim indeksi (STI).....	41
3.1.8. Ses basınç seviyesi (SPL)	42
3.1.9. A-ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPL-A).....	43
3.2. Camilerde Akustik Kusurlar	45
3.2.1. Eko	45
3.2.2. Odaklanma	47
3.2.3. Akustik gölge	50
3.2.4. Fısıldayan galeri - ikincil kaynak.....	52
3.3. Camilerde Hacim Akustiğı Performans Kriterleri	53
4. BİR ÖRNEKLEM: HASAN TANIK CAMİİ AKUSTİK ANALİZİ.....	57
4.1. Mekansal ve Yapısal Özellikler	57
4.2. Alan Ölçüm Yöntemi ile Analiz	66
4.3. Simülasyon Yöntemi ile Analiz	81
4.4. Değerlendirme.....	91
5. SONUÇ	109
KAYNAKLAR	115

Sayfa

EKLER.....	121
EK-1. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları.....	122
EK-2. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametreler için çubuk grafiği	127
EK-3. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) ve S2 kaynağı (müezzin) aktifken ve cami dolu iken ölçülen parametreler için çubuk grafiği	130
ÖZGEÇMİŞ	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. ODEON'da STI parametresi için önerilen değer aralığı	42
Çizelge 3.2. Ses basınç seviyesinin frekansa göre ağırlık katsayıları	44
Çizelge 3.3. Önerilen kişi başına düşen hacim miktarı	54
Çizelge 3.4. Cami hacim akustiği parametreleri optimum değerleri	56
Çizelge 4.1. Hasan Tanık Camii'nin fiziksel özellikleri ile ilgili veriler	64
Çizelge 4.2. Alan ölçümündeki alıcı ve kaynak noktaları için genel kabuller	67
Çizelge 4.3. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri (sn)	71
Çizelge 4.4. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)	72
Çizelge 4.5. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri (sn)	75
Çizelge 4.6. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)	75
Çizelge 4.7. S1 ve S2 kaynağı için ortalama RT değerleri	76
Çizelge 4.8. S1 ve S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)	77
Çizelge 4.9. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri (dB)	78
Çizelge 4.10. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri (dB) ..	79
Çizelge 4.11. Hasan Tanık Camii arka plan gürültü seviyesi ölçüm değerleri	81
Çizelge 4.12. ODEON'da yüzeylere atanan malzemelerin 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki yutuculuk değerleri	89
Çizelge 4.13. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen RT değerleri ...	92
Çizelge 4.14. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama RT değerleri	92
Çizelge 4.15. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen EDT değerleri	96
Çizelge 4.16. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama EDT değerleri	96

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.17. ODEON'da elde edilen orta frekanslardaki ortalama RT ve EDT değerleri	98
Çizelge 4.18. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen D50 değerleri .	98
Çizelge 4.19. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama D50 değerleri	98
Çizelge 4.20. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen C80 değerleri .	100
Çizelge 4.21. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama C80 değerleri.....	101
Çizelge 4.22. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen STI değerleri ..	103
Çizelge 4.23. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen SPL(A) değerleri	104
Çizelge 4.24. Müezzin mahfilinin cami akustiğine etkisini gösteren değerler	106
Çizelge 4.25. Doluluğun cami akustiğine etkisini gösteren değerler.....	108
Çizelge 5.1. Hasan Tanık Camii'nin akustik performansının değerlendirilmesi	110
Çizelge 5.2. Reverberasyon süresi için alan ölçümü ve simülasyon programı (Odeon) sonucunun karşılaştırılması.....	111

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Cami temel tasarım elemanları	6
Şekil 2.2. Başlıca kubbe tipleri	13
Şekil 2.3. Kubbedeki ses enerjisinin davranışı	13
Şekil 2.4. Helmholtz rezonatörünün şematik gösterimi	15
Şekil 2.5. Başlıca tonoz tipleri	16
Şekil 2.6. Başlıca kemer tipleri	17
Şekil 2.7. Uçan payanda örneği	19
Şekil 2.8. Namaz hareketleri	23
Şekil 2.9. Cemaat ve imamın kıyam ve oturuş esnasındaki duruşu	23
Şekil 2.10. Cemaat ve imamın cuma hutbesi esnasındaki duruşu	24
Şekil 2.11. Cemaat ve imam/vaizin vaaz esnasındaki duruşu	24
Şekil 2.12. Cemaatin ve imamın ibadet esnasındaki plan görünüşü	25
Şekil 2.13. Yatay düzlemde konuşmanın yayılması	26
Şekil 2.14. Dinleyici platformunun düz ya da eğimli olmasının karşılaştırılması	27
Şekil 3.1. Bir odada gerçekleşen ses olaylarının şematik gösterimi	33
Şekil 3.2. Yansıma olmayan anlık ses enerjisi grafiği ve yansıyan sesin enerji kaybı grafiği	36
Şekil 3.3. Reverberasyon süresinin anlaşılabilirliğin üzerindeki maskeleyme etkisi	37
Şekil 3.4. Reverberasyon süresi grafiği	38
Şekil 3.5. Belirginlik-anlaşılabilirlik ilişkisi	40
Şekil 3.6. Sesin berraklığı parametresinin reverberasyon süresi ile ilişki grafiği	41
Şekil 3.7. Salondaki eko olayı	46
Şekil 3.8. Salondaki eko benzeri geç yansımalar	46
Şekil 3.9. Kubbe ya da kabuk tavan nedeniyle oluşan odaklanma	47

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10. Kubbeli bir camide konuşma eylemi sırasında oluşabilecek odaklanmalar ve yansımalar	48
Şekil 3.11. Ses kaynağı ve kubbe uzaklığının odak notası ile ilişkisi	49
Şekil 3.12. Galeri katındaki akustik gölge	50
Şekil 3.13. Galeri katından kaynaklı akustik gölge	51
Şekil 3.14. Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki.	51
Şekil 3.15. Fısıldayan galeri.....	52
Şekil 3.16. İnsanların frekanslara göre yutuculuk katsayıları.....	55
Şekil 4.1. Hasan Tanık Camii bodrum kat planı	59
Şekil 4.2. Hasan Tanık Camii zemin kat planı.....	60
Şekil 4.3. Hasan Tanık Camii asma kat planı	61
Şekil 4.4. Hasan Tanık Camii kesit 1	62
Şekil 4.5. Hasan Tanık Camii kesit 2.....	62
Şekil 4.6. Hasan Tanık Camii ibadet alanı (m ²).....	64
Şekil 4.7. Hasan Tanık Camii'nde oluşan akustik gölgeler.....	66
Şekil 4.8. Hasan Tanık Camii kaynak ve alıcı noktaları.....	68
Şekil 4.9. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri grafiği.....	72
Şekil 4.10. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği	73
Şekil 4.11. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri grafiği.....	74
Şekil 4.12. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği	75
Şekil 4.13. S1 ve S2 kaynağı için ortalama RT değerleri grafiği	76
Şekil 4.14. S1 ve S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği	77
Şekil 4.15. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri grafiği...	78

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri grafiği...	80
Şekil 4.17. Hasan Tanık Camii arka plan gürültü seviyesi ölçüm noktaları.....	81
Şekil 4.18. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden perspektif 1.....	82
Şekil 4.19. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden perspektif 2.....	83
Şekil 4.20. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden kesit 1	83
Şekil 4.21. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden kesit 2	83
Şekil 4.22. Odeon sızdırmazlık testinden bir görüntü.....	84
Şekil 4.23. ODEON'da arka plan gürültüsü, nem ve sıcaklık için kabul edilen değerler	85
Şekil 4.24. Odeon'da hesaplama parametreleri görüntüsü	86
Şekil 4.25. ODEON'da kaynak ve alıcı yerleri kesit görüntüsü.....	87
Şekil 4.26. ODEON'da kaynak ve alıcı yerleri plan görüntüsü	88
Şekil 4.27. Hasan Tanık Camii malzeme yutuculuk değerleri grafiği	90
Şekil 4.28. ODEON'da belirlenen malzeme yutuculukları	91
Şekil 4.29. ODEON'da tüm alıcı noktalarında RT değeri dağılımı	93
Şekil 4.30. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de RT değeri dağılımı	93
Şekil 4.31. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de RT değeri dağılımı	94
Şekil 4.32. Reverberasyon süresi için alan ölçümü ve simülasyon programı (Odeon) sonucunun karşılaştırılma grafiği	94
Şekil 4.33. Camiler için optimum T-V grafiği.....	95
Şekil 4.34. ODEON'da tüm alıcı noktalarında EDT değeri dağılımı.....	96
Şekil 4.35. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de EDT değeri dağılımı	97
Şekil 4.36. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de EDT değeri dağılımı	97
Şekil 4.37. ODEON'da elde edilen ortalama RT ve EDT değerleri karşılaştırma grafiği.....	98
Şekil 4.38. ODEON'da tüm alıcı noktalarında D50 değeri dağılımı	99

Şekil	Sayfa
Şekil 4.39. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de D50 değeri dağılımı	99
Şekil 4.40. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de D50 değeri dağılımı	100
Şekil 4.41. ODEON'da tüm alıcı noktalarında C80 değeri dağılımı.....	101
Şekil 4.42. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de C80 değeri dağılımı.....	102
Şekil 4.43. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de C80 değeri dağılımı.....	102
Şekil 4.44. ODEON'da tüm alıcı noktalarında STI değeri dağılımı	103
Şekil 4.45. ODEON'da tüm alıcı noktalarındaki STI değerleri dağılımı	104
Şekil 4.46. ODEON'da tüm alıcı noktalarında SPL(A) değeri dağılımı	105
Şekil 4.47. ODEON'da tüm alıcı noktalarındaki SPL(A) değerleri dağılımı.....	105

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Hasan Tanık Camii kible duvarı, mihrabı, minberi ve kürsüsü.....	7
Resim 2.2. Hasan Tanık Camii minberi ve kürsüsü.....	10
Resim 2.3. Hasan Tanık Camii müezzin mahfili	11
Resim 2.4. Hasan Tanık Camii kadınlar mahfili.....	11
Resim 2.5. Sütun örneği - Kurtuba Camii.....	18
Resim 2.6. Pandantif örneği - Hasan Tanık Camii orta kubbesi ve pandantifler.....	20
Resim 2.7. Tromp örneği - Delhi Sultanı Şemseddin İltutmuş Mozolesi	20
Resim 2.8. Türk üçgeni örneği – Konya Alâeddin Camii	21
Resim 2.9. Mukarnas örneği - Konya Karatay Medresesi taç kapısındaki mukarnaslı kavsara	22
Resim 2.10. Basamaklı namaz holü örneği (Sancaklar Cami).....	27
Resim 2.11. Minbere çıkılarak icra edilen hutbe görüntüsü	28
Resim 2.12. Kürsüye çıkılarak icra edilen vaaz görüntüsü.....	29
Resim 2.13. İmamın namaz esnasındaki kıraati.....	30
Resim 4.1. Hasan Tanık Camii uydu görüntüsü	57
Resim 4.2. Hasan Tanık Camii ön cephe görüntüsü.....	58
Resim 4.3. Hasan Tanık Camii namaz holünden görüntüler	63
Resim 4.4. Ölçüm cihazları.....	67
Resim 4.5. Hasan Tanık Camii ölçüm anında kaynağın konumu.....	69
Resim 4.6. Hasan Tanık Camii ölçüm anında mikrofon yerlerinden örnekler	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler Açıklamalar

m²	Metrekare
m³	Metreküp
sn	Saniye
ms	Milisaniye
dB	Desibel - Ses basınç seviyesi birimi
dBA	A-Ağırlıklı ses basınç seviyesi birimi
Hz	Hertz - frekans birimi

Kısaltmalar Açıklamalar

C80	Sesin berraklığı (Clarity)
D50	Konuşmanın belirginliği (Definition)
EDT	Erken sönümlenme süresi (Early decay time)
NC	Gürültü düzeyi eğrisi (Noise criteria)
ort.	Ortalama
RT	Reverberasyon süresi (Reverberation time)
SPL	Ses basınç seviyesi (Sound pressure level)
SPL(A)	Ağırlıklı ses basınç seviyesi (Weighted sound pressure levels)
STI	Konuşmanın iletim indeksi (Speech transmission index)

1. GİRİŞ

Müslüman toplumların ibadet etmek üzere toplandıkları kutsal mekanları camilerdir. Cami, Arapça “cem” kökünden türemekte olup "toplayan, bir araya getiren" anlamına gelmektedir.

Camiler bir bina olarak ele alındığında, yapının temel tasarım etkeni Kible’ye yönelenmeden yola çıktığı söylenebilir. Kible yönüne dik olarak yönelmiş basit bir duvar dahi cami işlevini yerine getirmek için yeterlidir. Tavan örtüsü, ibadet için minimum alan olup dış duvar ya da süsleme gibi unsurlardan söz edilmemektedir. Kibleye bakan duvarın mevcudiyetinin gerekliliği bile tartışılabilir. Çünkü Hz. Muhammed’in hadislerinden pis yerler ve mezarlıklar hariç nerede namaz kılınırsa orasının bir cami olduğu anlaşılmaktadır. Bu söylemden, caminin aslında kavram olarak bir binayı tariflemeyeceği sonucu çıkarılabilir. Ancak cuma ve bayram namazlarının toplu olarak kılınması gerekliliği sonucu Müslümanlar bu ihtiyacı karşılamak üzere özelleşmiş bir mekan arayışına gitmişler ve bunun sonucunda cami yapıları ortaya çıkmıştır [1].

İslamiyet’in Mekke döneminde toplu ibadet için belirli bir bina yapılmadığı bilinmektedir. Hz. Peygamber, hicret sırasında Medine’ye girmeden bir süre kaldığı Kuba’da "Takva Mescidi" adıyla anılan ilk ibadet yerini kurdurmuştur. Diğer yandan, İslam dünyasının ilk camii olarak Medine’deki Mescid-i Nebevi kabul edilmektedir. Yıllar boyunca birçok onarım geçiren cami, ilk yapısının bütün izlerini tamamen kaybetmiş olmasına rağmen yazılı kaynakların yardımıyla oluşturulan basit şeması ilk camilerin planlarının belirlenmesinde büyük rol oynamıştır. Medine’deki bu ilk ibadet yeri, ondan sonra gelişen cami mimarisine prototip olmuştur denilebilir [2].

Osmanlı Türkleri Dönemi şeklinde ifade edeceğimiz dönemde cami mimarisi, önceki dönemde başlamış olan yeni tipler arama yolundaki tecrübelerle devam ederek yepyeni sonuçlara ulaşabilmiştir. Az bir zaman içinde varılan bu birbirinden farklı ve diğer İslam ülkelerinde pek rastlanmayan çok ileri sonuçlar elde edilmiştir. Erken Bizans devrinde bir tecrübe eseri olarak yapılmış olan ve gerek ölçüleri gerekse kullanılan mimari usuller bakımından eski Roma geleneklerine bağlı olan Ayasofya, Türk mimarlarına yeni tecrübelerinde faydalı bir örnek olmuştur [2].

Cami mimarisinin Ankara'daki gelişimine baktığımızda; form olarak Ankara cami yapı öğeleri, klasik Osmanlı camilerindeki gibi bir bütünlüğe sahip olamamıştır. Ankara'da tarihsel olarak Osmanlı dönemine ait olarak görülen dini yapılar devamlı surette Selçuklu ve beylikler devri mimari kültürüne daha yakındırlar. Ankara'da camiler ancak küçük ölçekli imkanlarla gerçekleştirilebilmiş olup büyük girişimler için gerekli olan maddi ve manevi desteği bulamamıştır [3].

Bir zamanlar cami mimarlığı alanında çok önemli eserler verilirken, günümüzde özgün bir cami tipolojisi oluşturulmadığı, az sayıda modern örnekler verilmekle birlikte her yere Klasik Osmanlı Dönemi camilerine öykünen cami tasarımlarının uygulandığı görülmektedir. Klasik Dönem cami tipolojisinin elemanları olan kubbe, minare, avlu, revak ve eyvanlar gibi cami elemanlarının o dönemlerdeki yapılış mantığı kavranmadan, günümüz teknolojik ve mimari koşullarında cami tasarımlarında kullanılmaya devam etmektedir [4].

Namaz bir kültürfizik olmamakla birlikte, detaylı bir şekilde tariflenmiş bir kalp ve ruh işidir ve en önemli bileşeni huşudur. Dolayısıyla ibadet mekanının da huşuyu zedeleyecek, yok edecek faktörlerden arınmış olması beklenir. Aşırı sıcak, aşırı soğuk, aşırı ışık, aşırı karanlık, dikkat dağıtıcı esinti, koku, ses gibi mekan konsantrasyonunu zayıflatacak faktörlerden arınmış olmalıdır [5]. Camide hem istenmeyen seslerin kontrolü hem de ibadetin huşu içinde gerçekleşebilmesi için cami akustiği büyük önem arz etmektedir.

Mimari akustiğin camilerdeki gelişimine baktığımızda; Mimar Sinan, Osmanlı imparatorluğunun en parlak dönemi olan 16. yy.'de yaşamış, sadece Türkiye'de değil dünya ölçüsünde, "dahi bir sanatkar" olarak kabul edilen, çok önemli bir mimardır. Şaheser yapıtlarıyla Osmanlı İmparatorluğunun her köşesine Türk sanatının damgasını vurmuştur [6].

Mimar Sinan'ın akustik bilim ve teknolojisine olan hakimiyeti ile ortaya çıkacak akustik sorunları önceden belirlediği ve bunlara çözüm getirdiği ortadadır. Sinan'ın uyguladığı teknolojilerin çoğu, Sinan öncesinde de görülmektedir. Ancak, akustik bir tasarıma dayanan uygulama, ilk defa Sinan'da görülmektedir. Sinan camilerinin plan ve kesitleri incelendiğinde, hacim içinde homojen ses dağılımını sağlamak amacıyla yönelik önlemlerin alınmış olduğu ve bunların tasarıma yansıdığı görülebilir. Sinan, düzgün prizmatik formlardan kaçınmıştır. Kare plan şemalı camilerinde dahi niş, payanda, maksure gibi

elemanlarla forma hareket vermiştir. Hacim içindeki payanda, ayak gibi taşıyıcı elemanlara sesi dağıtarak yansıtacak formlar vermiştir. Bu amaçla yapı içindeki bütün elemanlardan yararlanmıştır. Dik açılı köşelerden, kubbeye geçiş elemanı olarak kullandığı mukarnaslardan yararlanarak sesin dağılarak yansımaları sağlamıştır. Bu şekilde mukarnaslara, strüktürel işlevlerinin yanı sıra, estetik ile birleştirilerek akustik işlev de yüklemiş, diğer bir deyişle statik, estetik ve akustik işlevleri bir uyum içinde birleştirmiştir. Ses yutucu elemanlar olarak horasan harcı sıvası, boşluklu rezonatör ve halı kullanılmıştır [7].

Literatür incelendiğinde camilerde; hacim akustiği parametrelerinin alan ölçümü yöntemi ya da simülasyon yöntemi aracılığı ile araştırıldığı görülmektedir. Ayrıca, cami hacminin ve bitiş malzemelerinin parametreler üzerindeki etkisinin ortaya koyulduğu çalışmalar da bulunmaktadır. Kayılı, 1986-1987 yılları arasında Kültür Bakanlığı'nın talebi ve mali desteği ve TRT'nin ekipman desteği ile, "Sinan Camileri'nin Akustik Verilerinin Belirlenmesi" konulu araştırmayı yürütmüştür. 2000-2003 yılları arasında, Avrupa Komisyonu 5. Çerçeve INCO-MED Programı kapsamında yürütülen CAHRISMA -Sinan Camilerinin Akustik Özelliklerinin Tanımlanması ve Yeniden Canlandırılması Yolu ile Akustik Mirasın Korunması- Araştırma Projesi yürütülmüştür. 2001 yılında Roma'da gerçekleştirilen Uluslararası Akustik Kongresinde (ICA2001) dini yapıların akustiği konulu bölümde çeşitli çalışmalar yapılmıştır [8]. Kongrede, Soegijanto, Endonezya camileri üzerinde simülasyon yöntemi aracılığı ile, kubbe, piramit ve düz çatı olmak üzere 3 adet tavan tipinin cami akustiğine etkisi incelenmiş olup kubbe ve piramit tip tavan tipinin düzen tavan tipine oranla daha çok eko yarattığı sonucuna ulaşmıştır. Weitze ve arkadaşları, Bizans kiliseleri ile cami akustiğini simülasyon yöntemi ile karşılaştırmıştır. Yine Weitze ve arkadaşları [9], Ayasofya'nın odeon programında cami kilise ve müze olarak simülasyonunu yaparak değerlendirmiştir. Topaktaş ve arkadaşları, Cenab-ı Ahmet Paşa Camii'ne ait EDT parametresini ışın izleme yöntemi ile incelemektedir. Abdou [10], Arabistan'da 21 adet günümüz camisi ile örneklendirdiği ve dolu caminin boş camiye oranla akustik koşullarının daha iyi olduğu tezini ortaya koyduğu bir çalışma yapmıştır. Yine, Abdou [11], simülasyon yöntemi aracılığı ile kare, dikdörtgen, ikizkenar yamuk, altıgen ve sekizgen cami formlarının akustik parametreler üzerindeki etkisini incelemiştir. Karabiber ve Erdoğan [12], CAHRISMA Araştırma Projesi'nin bir parçası olarak geçmiş ve günümüz camilerinin akustik parametrelerini karşılaştırmaları olarak incelerken Su ve Yılmaz [13], alan ölçümü ve simülasyon yöntemi ile Ankara'da bulunan Kocatepe Camii'nin hacim akustiği

parametrelerini incelemiştir. Odabaş ve arkadaşları tarafından [14], Ankara'daki Doğramacızade Ali Paşa Camii'nin tasarım aşamasında simülasyon programı ile elde edilen parametre değerleri ve cami yapımından sonra alan ölçümünde elde edilen verilerin karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Carvalho ve Monteiro'nun [15] yapmış olduğu, camiler ve kiliselerin akustik parametreler açısından karşılaştırıldığı çalışmalara da rastlanmaktadır. Ayrıca, Yıldırım 2003 yılında hazırlamış olduğu yüksek lisans tezi ile Yeni Camii'nin alan ölçümü ile reverberasyon süresi ve test yöntemi ile konuşmanın anlaşılabilirliği parametrelerini değerlendirmiştir. Topaktaş ise, 2003 yılında hazırlamış olduğu doktora tezinde, Cenabı Ahmet Paşa, Süleymaniye, Rüstem Paşa, Mihrimah Sultan Camii'nin alan ölçümü ile Bass Software simülasyon yöntemi ile reverberasyon süresi değerlendirilmiştir. Orfali'nin doktora tezinde ise camilerin yapımı ya da onarımı sırasında kullanılan elektro akustik ses sistemleri üzerine çalışılmıştır.

Bu çalışmanın amacı ise; camiler için mimari akustik tasarım kriterlerini ortaya koyarak örneklem olarak seçilen bir caminin akustik performans kriterlerini değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda, yöntem olarak öncelikle cami akustiğini etkileyen iç mekan düzenlemeleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Çalışmanın devamında, camiler için hacim akustiği tasarım kriterleri incelenerek literatür çerçevesinde performans kriterleri oluşturulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise bu performans kriterleri kapsamında, Hasan Tanık Camii hacim akustiği koşulları, alan ölçümü ve Odeon (v 10.02) simülasyon programından elde edilen veriler ile değerlendirilmiştir.

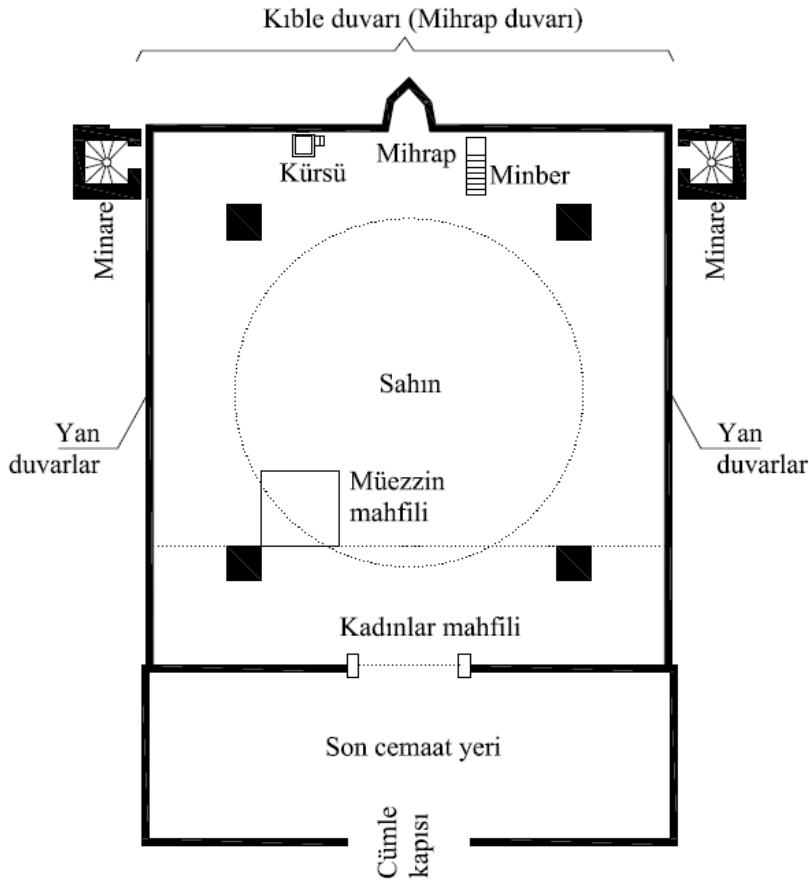
2. CAMİLERDE HACİM AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN TEMEL ETKENLER

Camilerde hacim akustüğini etkileyen temel etmenler; iç mekan tasarım elemanları, ibadet pozisyonları ve sesli eylemler olmak üzere 3 alt başlıkta ele alınmıştır.

2.1. İç Mekan Tasarım Elemanları

Cami akustüğünün anlaşılabilmesi için, öncelikle iç mekan tasarım elemanları hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Günümüz cami mimarisinde kullanılan ve caminin akustik konfor koşullarını etkileyen iç mekan tasarım elemanları; sahn/namaz holü, kible duvarı, yan ve arka duvarlar, mihrap, minber ve kürsü, mahfiller, örtü elemanları, geçiş elemanları ve bitiş malzemeleri olarak sayılabilir (Şekil 2.1).

Mimar Sinan camilerinde hacim içinde homojen ses dağılımının elde edilmesi için geometrik form ve yapı elemanlarından yararlanıldığı bilinmektedir. Bu amaçla, hacimlerde paralel yüzeylerden kaçınmak için, yüzeylerde niş, taşıyıcı ayak (fil ayakları), mahfil gibi unsurlar kullanılmıştır. Ayrıca, mukarnas, pendentif, taşıyıcı ayak gibi yapı elemanları ile sesin dağılmasını sağlamıştır. Kare plan şeması ile oluşan kübik formun akustik üzerindeki olumsuzluklarını, mihrap, niş, yarım kubbe, gibi yapı elemanları ile etkisiz hale getirmiştir [16].



Şekil 2.1. Cami temel tasarım elemanları

2.1.1. Sahın / namaz holü

Sahın, cami ve kiliselerin içinde ibadete ayrılmış olan geniş bölüm şeklinde ifade edilir. Orta sahn/merkezi sahn ve yan sahn olarak kullanımlarını da görmekteyiz. Orta sahn; cami ve kiliselerdeki ortadaki büyük sahn, yan sahn ise; orta sahnın yanında, sütunlarla ayrılmış bölüm olarak ifade edilir [17].

Sahn, hacim akustiği açısından cami içerisinde bütün ses olaylarının gerçekleştiği mekan olması yanında, cemaatin yan yana saflar halinde toplandığı ve namaz kıldığı, caminin içinde en büyük hacmi kaplayan mekandır. Sahnında namaz kılarken cemaat kible yönüne yani kible duvarına yönelir. Buhari (721) tarafında rivayet edildiğine göre; ön safların fazileti, Hz. Muhammed tarafından “Ön saftaki olan, (hayrı) bilseydiniz veya bilselerdi, kur'a atmak zaruri olurdu.” şeklinde ifade edilmiştir. Bu sebeple, genellikle ön safların geniş tutulması amaçlanmış, camilerin derinlemesine değil enlemesine büyümesi istenmiştir [1].

2.1.2. Kible duvarı ve yan duvarlar

Kible duvarı, camilerde mihrabın bulunduğu ve kible yönüne bakan, kibleye paralel duvardır [17]. Camiler dünyanın neresinde yaptırılırsa yaptırılsın, kible duvarının Kabe'ye paralel şekilde konumlanması gerekmektedir. Minber ve çoğunlukla kürsüler de cami içinde bu duvara yaslı şekilde konumlanır. Kible duvarı, mihrap duvarı şeklinde de ifade edilebilir. Yan duvarlar, caminin kible duvarı haricindeki diğer duvarlarıdır. Resim 2.1'de, Hasan Tanık Camii'nin kible duvarı, minberi ve kürsüsü görülmektedir.



Resim 2.1. Hasan Tanık Camii kible duvarı, mihrabı, minberi ve kürsüsü [18]

2.1.3. Mihrap

Mihrap, camilerin kible duvarında bulunan ve imamın namaz kıldırırken durması için ayrılmış olan safları bozmayacak şekilde dışa doğru girintili yerdir [17].

Mihraplar, kible duvarının ortasında yer alır ve cami içinde kible yönünü tarifler. Ayrıca, mihraplar büyüklük, şekil ve malzeme olarak farklılık gösterebilir, ancak kibleye yönelmiş imamın ağzından çıkan ses sinyallerinin yansıma yoluyla cemaate iletilmesine yardımcı olmak amacıyla, mihrapta genellikle yansıtıcı yüzeyler kullanılmaktadır.

Dini mimarinin en önemli elemanlarından biri olan mihrabın gelişimi uzun bir döneme yayılır. Mescid-i Nebevi'nin ilk zamanlar bir mihrabının bulunmadığı, yalnız Hz. Peygamber'in namaz kıldırıldığı yerin belli olduğu bilinmektedir. Ömer b. Abdülaziz, Medine Valiliği sırasında Mescid-i Nebevi'yi imar ettirmiş ve Hz. Peygamber'in namaz kıldırırken

durduğu yere niş tarzında bir mihrap ilave ettirmiştir. Bu niş, Hz. Peygamber'in mihrabı olarak tanınmıştır. İslamiyet'in ilk yıllarında, diğer mescitlerde kible yönü renkli bir çizgi, bir kaya parçası veya alçı bir levha ile belirtilmiştir [19].

Niş tarzında tasarlanan mihrap sütunçeler, bordürler, kavsara, kemer, köşelik, kitabe ve tepelik gibi elemanlardan oluşur. Kavsara yarım kubbeli, dilimli yarım kubbeli ve mukarnaslı formlardan oluşabilir. Niş ise yarım daire, at nalı, dikdörtgen, çok kenarlı veya çift kademeli olabilmektedir. Ancak bu elemanların bir kısmının yer almadığı mihraplar da olabilir. Plan ve cephe düzeni bakımından farklılıklar gösteren mihraplarda niş kible duvarından dışarıya da taşabilir, duvar kalınlığı içinde de kalabilir. İmamın cemaat tarafından rahatça görülebilmesi için, bazı mihraplarda tabanının cami zemininden biraz yükseltildiğine rastlanmaktadır. Taş, alçı, çini, tuğla ve ahşap malzemenin kullanıldığı mihraplarda süsleme elemanları, silmeler, geometrik-bitkisel kompozisyonlar ve yazı şeritleri olarak gruplandırılabilir [19].

2.1.4. Minber ve kürsü

Minber

Minber kelimesi sözlükte "yükselme, yükseltme" anlamlarındaki “nebr” kökünden türemektedir. Ayrıca, "kademe kademe yükselerek çıkılan yer" anlamına gelir. Genelde camilerde hatibin hutbe okurken daha iyi görülmek ve sesini daha iyi duyurmak üzere çıktığı basamaklı mimari ögedir [20].

Minber, kible duvarına karşıdan bakıldığında, genellikle mihrabın sağ tarafında bulunur. Minberlerin eni fazla geniş olmayıp, ancak bir kişinin çıkabileceği genişlikte, yaklaşık 1 m enindedirler [1].

Hiz. Muhammed'in Medine'de inşa ettirdiği Mescid-i Nebevi'de, önceleri bir minber bulunmamaktadır. Cemaatin çoğalması nedeniyle Hiz. Muhammed'in ders ve hutbelerinin daha rahat duyulabilmesi için, Hicretten yedi yıl kadar sonra ilk minber yapılmıştır. Bu ilk minberde iki basamak ve üst tarafında bir oturma yeri yer alır. İlerleyen yıllarda cemaatin artması ile birlikte, arkadaki bulunan kişilerin hutbe sırasında imamı görebilmesi için

basamak sayısı arttırılmıştır. Minberler de mihraplar gibi tas, ahşap vb. değişik malzemelerden yapılabilir [1].

Minber yükseklikleri bir camiden diğerine değişiklik gösterebilir. Ancak, genellikle yerden yüksekliği 1-3 m. arasında değişmektedir [10].

Kürsü

Kürsü, asıl şekli Arapça “küresi” olup Türkiye’de özellikle cami ve medreselerde vaaz veya ders vermeye mahsus, üstüne genelde merdivenle çıkılan bir mimari öğedir. "Vaiz kürsüsü" şeklinde de kullanılabilir [21].

Camilerdeki kürsü, cami içinde kibleye bakan duvar üzerinde ya da kible duvarına yakın bir konumda bulunabilir. İmam, müftü, vaiz gibi konuşmacılar, toplu kılınan bayram namazı, cuma namazı gibi namazlardan önce ya da dini gün ve gecelerde kürsüye çıkarak cemaate dini dersler verir [1]. Minber ya da kürsünün kullanıldığı konuşmalarda, konuşmacının yüksekte bulunması direkt sesin cemaate iletilmesi açısından olumlu etki yaratır [22].

Türk mimarisinde kürsüler ahşap ya da taştan, hareketli ya da sabit olarak yapılabilir. Sabit olan kürsüler kible duvarına ya da taşıyıcı bir ayağa bağlı konumlanır. Kürsülerin alt kısmına "kürsü ayağı", gövdesine "kürsü bedeni/gövdesi" veya "kürsü taşı" denir. Oturulan kısma “sedir bölümü” denir ve genellikle korkuluk ile çevrilidir. Sedir bölümünde, konuşmacının kitap ve notlarını koymasına için bir tabla veya rahle bulunabilir. Özellikle, sabit kürsü örneklerinde şekiller yapıldıkları çağın sanat üsluplarına, bulundukları yere ve kullanılan malzemeye göre değişkenlik gösterir. Taşınabilen ahşap örnekler de yine devir üsluplarına göre farklılıklar gösterir [21]. Resim 2.2’de Hasan Tanık Camii minberi ve kürsüsü görülmektedir.



Resim 2.2. Hasan Tanık Camii minberi ve kürsüsü [18]

2.1.5. Mahfil

Müezzin mahfili

Müezzin mahfili, namaz kılınırken imamın tekbirlerini arka saflara işittirmek için tekbirleri tekrar yaptıkları yerdir [17].

Başka bir deyişle, müezzinlerin namaz sırasında bulundukları, namaz kılınan zeminden yükseltilerek ayrılmış ve parmaklıklarla çevrilmiş alana verilen isimdir. Buradaki müezzinler imamın namaz sırasındaki sesli komutlarını arka tarafa duyurmak amacıyla sesli olarak tekrar ederler. Genellikle mihrap ile doğrultu hizası bir olmakla birlikte minber hizasında olanlar da mevcuttur. Yerden yüksek olan müezzin mahfilleri insan boyundan yüksektir ve merdivenle çıkılır. Yüksek mahfilin altındaki alanda cemaat namaz kılabilir. Yerden fazla yüksek olmayan müezzin mahfilleri zeminden 30-50 cm yükseklikte bir sofa şeklindedir (Resim 2.3). Müezzin mahfilleri ses sistemlerinin yaygınlaşması ile artık eskiden

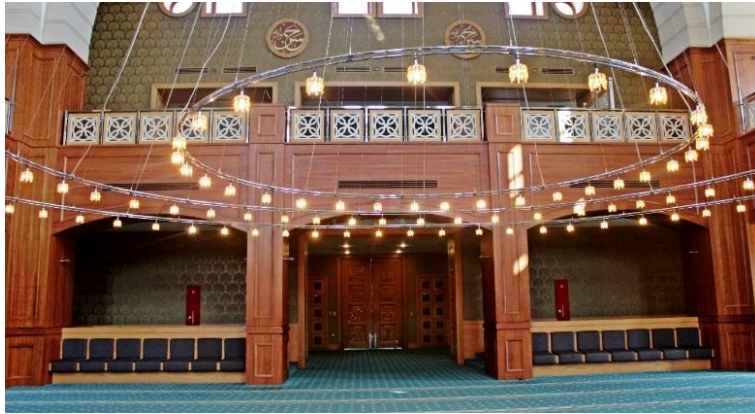
olduğu yüksek yapılmamaktadır [1]. Camilerde ses kaynağı ile dinleyicilerin aynı seviyede olması sesin dinleyiciler tarafından yutulmasına neden olmaktadır. Müezzin mahfilinin zemin kotundan yukarıda yapılması, ses ışınlarının cemaat tarafından yutulmadan iletilmesini ve cemaatin direkt sesi alabilmesini sağlamaktadır.



Resim 2.3. Hasan Tanık Camii müezzin mahfili [18]

Kadınlar mahfili

Kadınlar mahfili, camilerde kadınlara ayrılmış olan bölüm şeklinde ifade edilir [17]. Genellikle, namaz holünün bir üst kotunda yer alır (Resim 2.4).



Resim 2.4. Hasan Tanık Camii kadınlar mahfili [18]

Kadınların ve müezzinlerin kullanımına mahsus mahfiller dışında camilerde yer alan diğer bir mahfil de, günümüzde güncelliğini yitirmiş ancak eski dönem camilerinde hala varlığını görebildiğimiz hünkar mahfilidir.

Kadınlar mahfilleri hem asma katta yer almaları hem de mahremiyetin sağlanması nedenleri ile genellikle korkuluk ile çevrili olmaktadır.

Hünkar mahfili

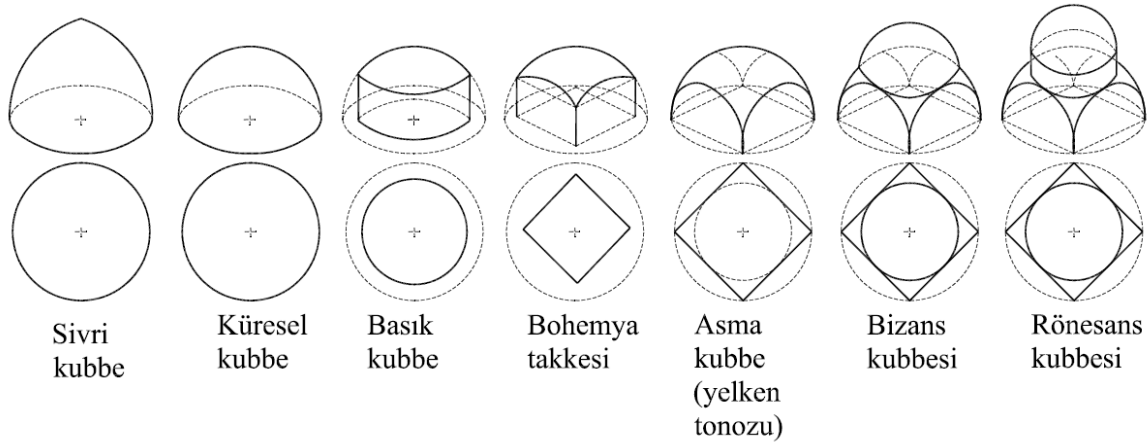
İslam mabetlerinde halifelerin, hükümdarların veya bu iki niteliği şahsında birleştiren devlet başkanlarının yanında bulunan kimselerle birlikte namaz kılması için ayrılan yer için maksure veya mahfil ifadesi kullanılmıştır. Aslında İslam dininin özüne ters düşen ve Hz. Peygamber zamanında görülmeeyen bir uygulamadır. İkinci halife Hz. Ömer'in camide şehit edilmesi üzerine halifenin hayatını güvenlik altına almak için başlatıldığı, ilk defa üçüncü halife Hz. Osman'ın Medine'deki Mescid-i Nebevi'de maksure olarak adlandırılan, zemini yükseltilmiş ve çevresi kuşatılmış bir mahalde namaz kılmayı adet edindiği bilinmektedir. Emeviler döneminde gelenek iyice güçlenmiş olup Emeviler'in ardından İslam dünyasında hakimiyet kuran diğer hanedanlarca da devam ettirilmiştir [23].

2.1.6. Örtü elemanları ve taşıyıcı elemanlar

Kubbe

Kubbe, küre takkesi, yarım küre ya da toparlakça kümbet biçimi verilen yapı örtüsü şeklinde tanımlanabilir. Bir kemer yayının tepe noktasından inen dikin çevresinde dönmesiyle oluşan bir örtü biçimidir. Kubbeler kare, çokgen ya da dairesel planların üzerini örtmek için kullanılmıştır. Çokgen plandan dairesel plana kubbeyele geçişte pandantif, tromp ve Türk üçgeninden yararlanılmıştır [17].

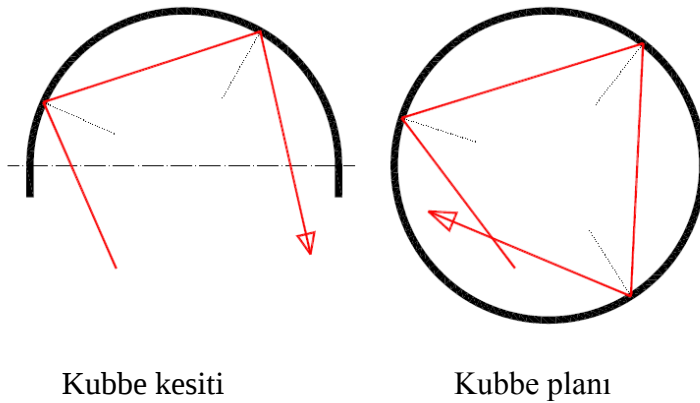
Ana kubbe, camilerde filayakları ya da ana duvar üzerindeki kasnağa oturtulmuş kubbe; orta kubbe, orta sahnı örten kubbe; yarım kubbe, planı yarım daire olan yapı parçasının üstünü örten dörtte bir küre biçimindeki kubbe parçası; kubbe bileziği/kasnağı, kubbeyi taşıyan daire, kare ya da çokgen planlı kaide; kubbe eteği, kubbenin kasnakla birleştiği yer şeklinde tanımlanır [17]. Belli başlı kubbe tipleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Başlıca kubbe tipleri [17]

Düz dam, kırma çatı veya külah şeklindeki örtü sistemlerine göre kubbe dışbükey formu dolayısıyla estetik değeri güçlü bir etkiye sahiptir. Bunun yanında geniş açıklıkları örtebilen teknik özelliği bakımından iyi bir mimari çözümdür. Ahşap, tuğla ve taş örgü teknikleri kullanılarak mimarlık tarihi boyunca kubbe yapımı araştırılmış ancak asıl dikkat çekici gelişmesini Türk ve İslam mimarisinde ortaya koymuştur. Özellikle Osmanlı mimarisinde tam ve yarım kubbelerle en gelişmiş şeklini almıştır [24].

Kubbe, akustikte en rahatsız edici formlardan biridir. Nedeni de kubbenin içbükey formlardan oluşuyor olmasıdır. Ses enerjisi kubbeye birkaç kez yansımadan uzaklaşmamaktadır. Bu nedenle, kubbeden yansıyan ses enerjisi geri mekanın içine gecikmeli olarak gelmektedir. Bu da, mekanda gürültüye ya da ekoya ve anlaşılabilirlik yüzdesinin azalmasına neden olmaktadır. Kubbedeki ses enerjisinin davranışı hem plan hem de kesit olarak Şekil 2.3'te gösterilmektedir [25].



Şekil 2.3. Kubbedeki ses enerjisinin davranışı [25]

Yansıyan ve bu nedenle giderek geciken ses enerjisi özellikle büyük kubbeli mekanlarda ekoya neden olmaktadır. Akustik rezonatör burada devreye girmektedir. Kubbenin içinde yer alan akustik rezonatörler, ses enerjisinin yansımaları önler ve enerjiyi mekanın içinde tekrar yayar. Enerjiyi her yönde tekrar yayar. Böylece mekan, homojen bir ses alanı haline gelir ve kubbeden yansıyan sesin gecikmesinin neden olduğu eko tehlikesi engellenmiş olur. Homojen ses alanının oluşmasının yanında, direkt sestten hemen sonra kubbeden yansıyarak gelen ses cami atmosferinde ilahi bir etki yaratmaktadır. Bu uygulamanın Osmanlı camilerinde bir gelenek haline geldiğine inanılmaktadır [25].

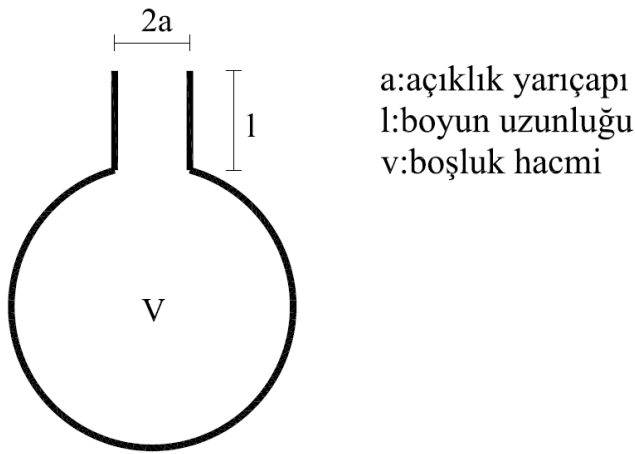
Akustik rezonatör

Akustik rezonatörlerin Anadolu'da kullanımı Antik Yunanlılara dayanmaktadır. Rezonatörler, zaman içinde özellikle de dini bir yapı olan camilerde geleneksel bir uygulama haline gelmiştir. Beçin'deki Menteseoğulları Beyliği dönemine (1340-1400) ait Yelli Camisine baktığımızda kubbedeki her testi rahatlıkla görülebilmektedir. 16.yüzyılda Mimar Sinan da camilerinde akustik rezonatörleri yaygın şekilde kullanmaktadır [26].

Rezonans yutucuların en basit tipi Helmholtz rezonatörüdür. Bu, dolu bir kütledeki bir oyuk içinde yer alan odanın hacmine ufak bir açıklıkla ve boyunla bağlanan bir hava hacmidir. Çarpan ses enerjisi boyundaki havanın titreşmesine neden olur. Bu hava sıkıştırılmış hacim nedeniyle boşluğun arkasındaki havayı da içeren bir yay gibi kitle olarak hareket etme eğilimindedir. Bu yay-kitle sistemi bir rezonans frekansına sahiptir ve çarpan ses dalgası ile aynı frekansta oldukları zaman maksimum enerji transferi olmaktadır. Enerji, boyna ve içindeki hava partiküllerine sürtünerek yutulur. Enerjinin birazı içerideki boşluğa iletilir ve ses durana kadar tekrar yayılmaya devam eder. Bu nedenle rezonatörler, oda hacminde reverberant ses enerjisinin uzatabilirler [27].

Kullanılan rezonatörün iç yüzeyi yutucu değil ise kendi rezonans frekansının altındaki ve üstündeki frekanslarda çok çabuk dışarı çıkacaktır. Yani, rezonatör yutucu özellikte olursa daha büyük bir bant genişliğinde etkili olacaktır. Odaya tekrar yayılan ses enerjisi de enerjinin yutulması nedeniyle azalacaktır [27].

Literatürde, çok gelişmiş bir akustik sistem olan akustik rezonatörlerin ilk defa 1862 yılında Alman bilim adamı Helmholtz tarafından ele alındığı belirtilmektedir. İngiliz Fizikçi Rayleigh "Theory of Acoustics" adlı eserinde bu çalışmaya dayanarak akustik rezonatörlere Helmholtz rezonatörü adını vermiştir. Helmholtz rezonatörünün şematik kesiti Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Boşluklu rezonatörlerin fiziksel tanımlaması tam olarak ancak 1953 yılında Ingard tarafından yapılabilmektedir [28].



Şekil 2.4. Helmholtz rezonatörünün şematik gösterimi [28]

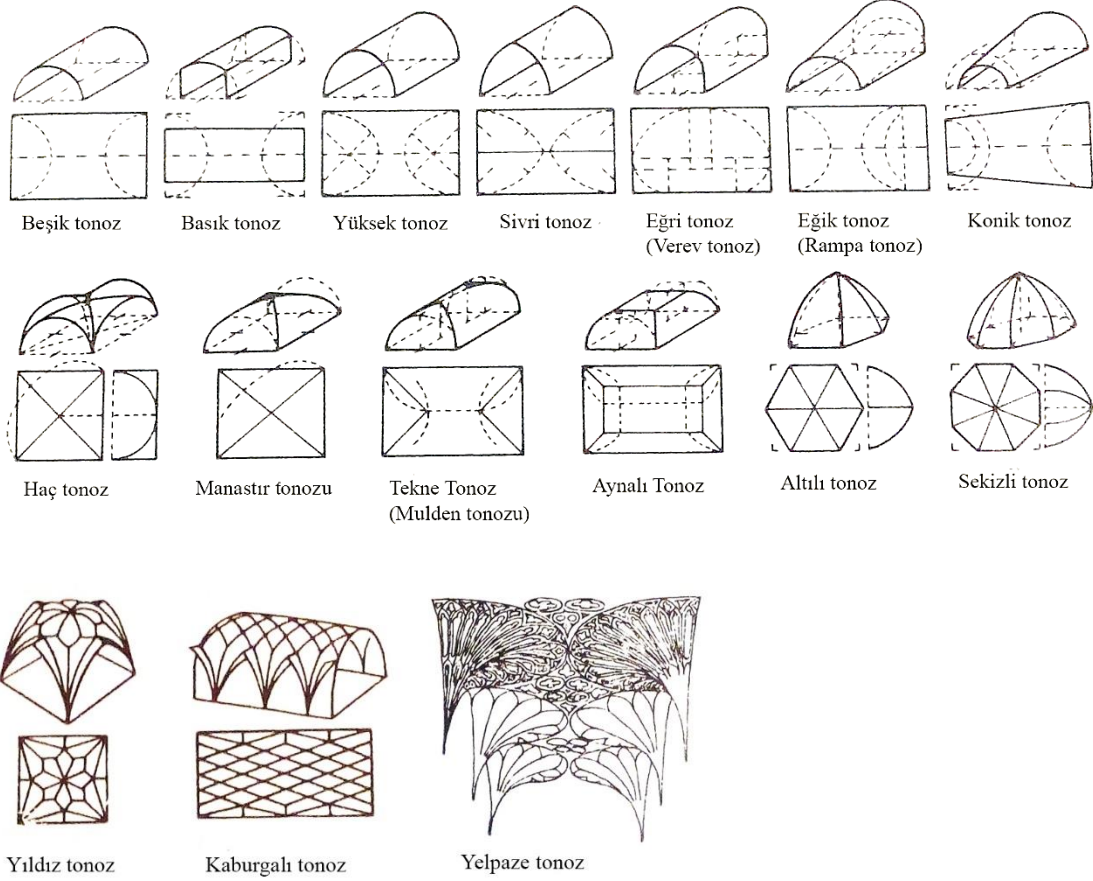
Boşluklu rezonatörlerin boyutları dalga boyundan çok küçüktür. Özellikle alçak frekanslarda etkili olan akustik bir sistemdir [7]. Mimar Sinan'ın cami yapılarında yansıtıcı, yutucu, dağıtıcı gibi akustik önlemlerin yanında ileri düzey olarak akustik bilimi içinde yer alan akustik rezonatörlerden de yaralandığı bilinmektedir [16].

Tonoz

Tonoz, biçimi alttan içbükey olmak üzere taş ya da tuğla ve harçla örülmüş yarım silindir biçiminde tavan şeklinde ifade edilebilir. Diğer bir deyişle, bir kemerin ötelenmesi ile meydana gelen örtü anlamına gelir [17]. Başlıca tonoz tipleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.

Çoğunlukla dikdörtgen planlı mekanları örten bir yapı unsurudur. Çelik putrel ve betonarme kirişin henüz bulunmadığı geleneksel mimaride uzun açıklıkları tek parçalı atkılarla geçmek statik bakımdan elverişsiz ve malzeme kullanımı açısından ekonomik sayılmadığından, kemerin tekrarlanarak sürdürülmesiyle daha uygun bir örtü elemanı olan tonoz bulunmuştur. Böylece mekanın planıyla örtüşen içbükey bir kabuk elde edilmiştir. Bu örtünün taşıyıcı

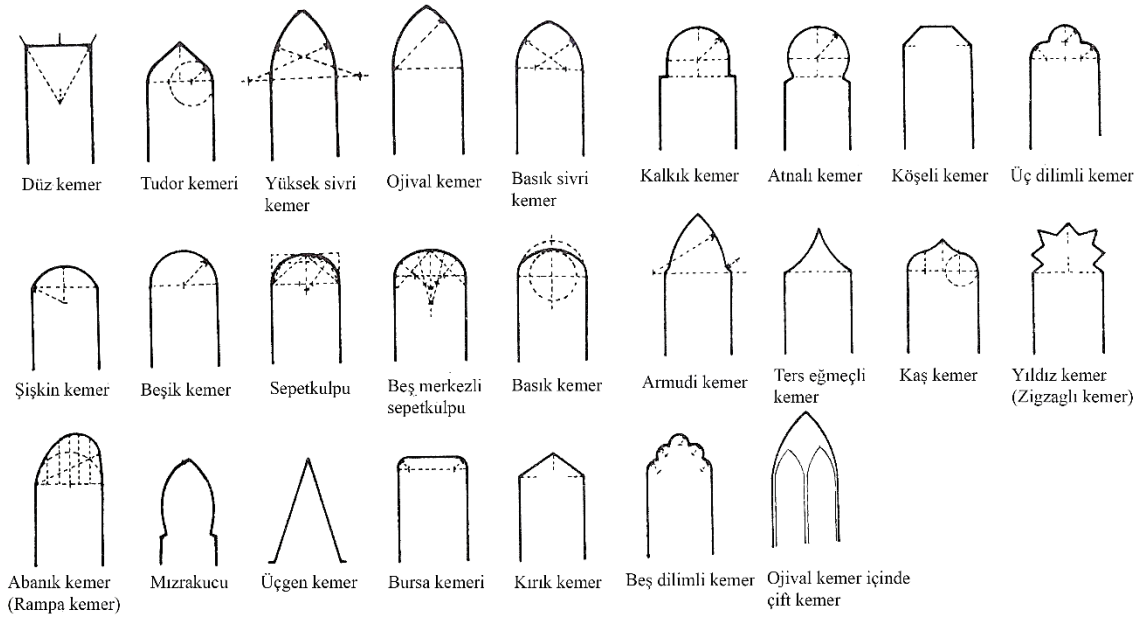
gücü de arttırılmış olduğundan bu kabuğun aynı zamanda üst katın zemini olarak da kullanıldığı olmuştur. Tonoz, taşıyıcı işlevi dolayısıyla alt katlarda tercih edilmiştir. Ayrıca, aynı doğrultuda uzunlamasına gelişen hacimlerin üzerine de uygulanabilen tek örtü tonozdur. Eğrisel bir örtünün kemer-tonoz ayırımının yapılabilmesi ve bir örtüye tonoz denebilmesi için derinliğin açıklıktan daha fazla olması gerekir [29].



Şekil 2.5. Başlıca tonoz tipleri [17]

Kemer

Kemer, iki sütun ya da iki ayak arasındaki bir açıklığın üstünü örtmek için alt uçları bu sütun veya ayaklara oturmak üzere yay şeklinde yapılan ahşap, maden ya da kagir yapı parçası şeklinde tanımlanabilir [17]. Başlıca kemer tipleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Başlıca kemer tipleri [17]

Sütun

Sütun, taştan yapılmış taşıyıcı dikme şeklinde ifade edilebilir [17]. Sütun, mimarlık tarihinin en eski ve yaygın unsurlarından biridir. Hemen her kültür çevresinde kullanılmış olup çok çeşitli olmasıyla üslup belirleyici bir rol oynamıştır. Tarih öncesi çağlarda korunma ve barınma ihtiyacının çadır şeklinde somutlaşması nedeniyle örtücü elemanın bir orta dikmeye dayandırılması zorunluluğu doğmuştur. Daha sonraları, kulübe yapan insan da dal, çalı, saz, çamur veya deri gibi örtü unsurunu taşıyacak bir desteğe ihtiyaç duyduğundan inşaat teknolojisinin ilk buluşu ahşap direk ve dikmeler olmuştur denilebilir. En eski yerleşme alanlarında toprak altında rastlanan kömürleşmiş ahşap direk ve dikme kalıntıları da barınak yapımında kullanılan ilk sütunların arkeolojik verileridir [30]. Kurtuba Camii'nin tavan örtüsü sütunlarla desteklenmiştir (Resim 2.5).



Resim 2.5. Sütun örneği - Kurtuba Camii [31]

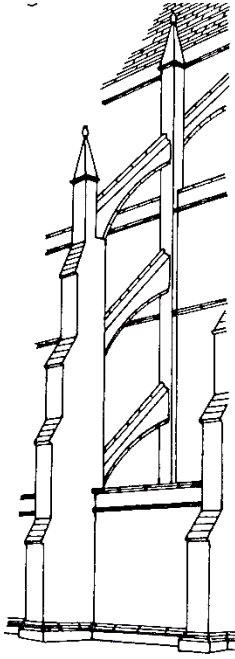
Ayak / paye

Ayak, örülerek yapılan ve bir sütun gibi çalışan yapı ögesidir. Ayaklar serbest ya da bir duvara bitişik olabilir ve genellikle duvar gibi örülür. Filayağı/filpaye/pilpaye ise eski taş yapılarda görülen çok yüksek ve kalın kagir ayak şeklinde ifade edilebilir [17].

Ayak, sütunlardan farklı olarak büyük çaplı ve bir hayli yüksek yapı elemanıdır. Tuğla yahut kesme taş örgü şeklinde yükseltelen ayaklar, bir sütun gövdesi gibi silindir biçiminde ya da kare, dikdörtgen, çokgen, yonca planlı olarak inşa edilebilir. Mimarlık tarihi boyunca genişleyen iç hacim nedeniyle örtü unsurları da büyümüş ve daha küçük mekanlarda taşıyıcı olarak kullanılan duvarlar giderek taşıyıcı işlevlerini iç desteklere bırakır. Büyüyen üst örtüyü sütunlarla karşılamamanın mümkün olmamakla birlikte, belirli bir yükseklikten sonra tek parçadan oluşan sütun gövdesinin elde edilmesi de güçtür. Böyle bir taşıyıcı gövde imal edilebilse de mukavemeti garanti edilememektedir. Ayaklar, bağımsız taşıyıcı olarak yükseltilebildiğinden, mekanın enini ve boyunu arttırmak isteyen mimarların karşılaştıkları sorunu çözmüştür. Düz yüzeyli ve kalın payelerin hareketsiz yüzey etkisini azaltmak ve görsel sorunu çözmek için, düşey yivler ve nişler eklenmiş, köşeleri pahlanmış [32].

Payanda

Payanda, düşey bir taşıyıcıyı güçlendirmek için eğik olarak kullanılan destek yapı elemanıdır. Uçan payanda şeklindeki kullanımından kastedilen payanda kemerdir (Şekil 2.7) [17]. Bu göğüsleyici dayanak, düşey taşıyıcıyı dengede tutabilmek ve devrilmesini, çökmesini ya da kaymasını engellemek amacıyla ahşap ya da betondan yapılabilir.



Şekil 2.7. Uçan payanda örneği [17]

2.1.7. Geçiş elemanları

Pendantif

Bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesi arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgen şeklinde ifade edilebilir. Bu küre parçası şeklindeki üçgenler, tabandaki çember karenin dışından geçtiği durumda kubbeyle bütünleşirken taban çemberi karenin içinde ise pendantifler bağımsız birer öge olarak görünürler. Çoğu zaman pendantiflerle kubbe arasına giren kasnak, çepeçevre pencerelerle donanabilir. Pendantif ilk defa Ayasofya’da kullanılmıştır [17]. Resim 2.6’da Hasan Tanık Cami pendantifleri görülmektedir.



Resim 2.6. Pandantif örneği - Hasan Tanık Camii orta kubbesi ve pandantifler [18]

Tromp

Tromp, bir bina köşesine bindirmeli olarak örülen tonoz parçası şeklinde ifade edilebilir. Diğer bir deyişle, kare planlı kubbeli bir yapının duvarları arasında kalan köşelerin üst bölümüne yapılan ve binanın üstünü sekiz kenarlı hale getirerek kubbenin oturmasına elverişli hale getiren ve köşeleme örülen köşe tonozudur (Resim 2.7) [17].



Resim 2.7. Tromp örneği - Delhi Sultanı Şemseddin İltutmuş Mozolesi [33]

Türk üçgeni

Türk üçgeni, Türk mimarlığında duvarla kubbe arasında kullanılmış üçgen geçiş elemanıdır. Bu üçgenlerden meydana gelen kuşak ile kubbeye yumuşak bir geçiş sağlanır (Resim 2.8) [17].



Resim 2.8. Türk üçgeni örneği – Konya Alâeddin Camii [33]

Mukarnas

Mukarnas, düşey bir yüzeyden üzerinde bulunan daha taşkın bir yüzeye geçmek ve ona bindirmelik görevi yapmak için yaş ya da tuğladan küçük prizmalar şeklinde birbiri üzerine oturan bindirmeliklere verilen isimdir (Resim 2.9) [17]. Aynı zamanda süs teşkil etmek üzere kullanılır.

Mukarnas, petekler dizisi ya da hücreler halinde istiflenmiş gibi bir görüntü verir. Mukarnas, bulunduğu yerde hem taşıyıcı hem süsleyici işlev görmektedir. Aynı zamanda, geometrik bir tasarımın üçüncü boyuta aktarılmış bir uygulaması olduğu için ışık-gölge oyunları ile soyut anlamlar içerir. Taç kapı ve mihrap kavsaralarında da sıkça rastlamak mümkündür [34].



Resim 2.9. Mukarnas örneği - Konya Karatay Medresesi taç kapısındaki mukarnaslı kavsara [34]

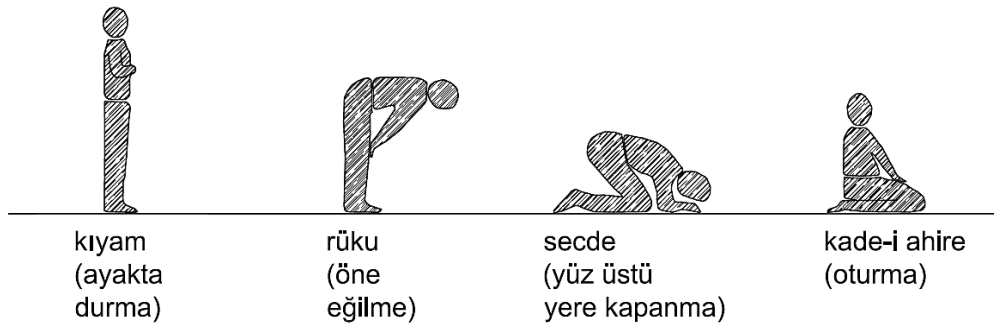
2.1.8. Bitiş malzemeleri

Mimar Sinan tarafından cami yapılarında düşük ve orta frekanslarda ses enerjisinin sönümlemesini sağlayan özel sıvalar kullanılmıştır. Bu sıvaların keten ile birleştirilerek gözenekli hale getirildiği ve sesi yutuculuğunun artırılmış olduğu bilinmektedir [16].

Namaz holünün dolu ve boş olmasına göre ses yutma değerlerinin değişmesi, cemaat az iken ses yutma değerinin azalması ve reverberasyon süresinin uzaması, Mimar Sinan camilerinde de görüldüğü üzere, zeminin insan ses yutuculuğuna yakın değerde ses yutma özelliğine sahip halılar ile döşenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

2.2. İbadet pozisyonları

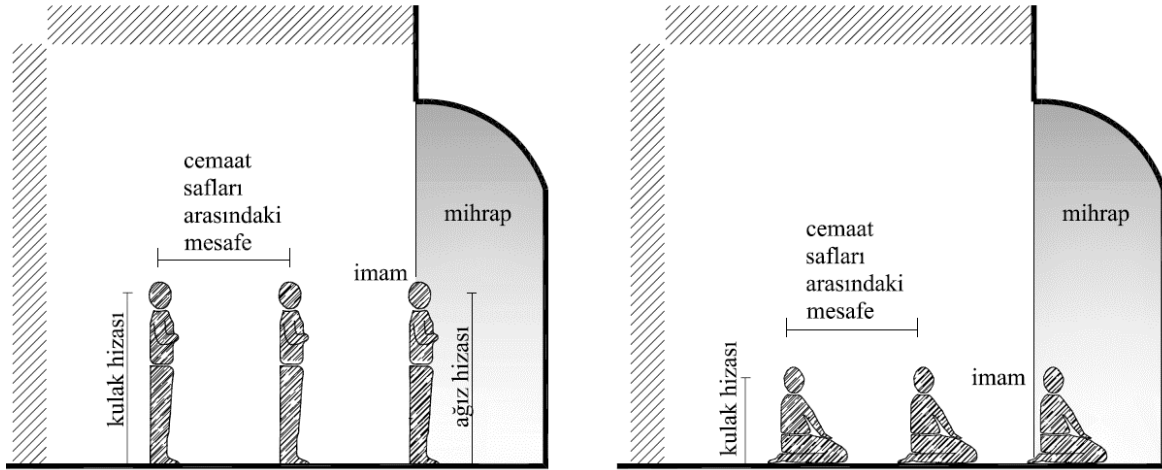
Cami tasarımı esas olarak ibadetin nasıl yapıldığına göre şekillenmektedir. Bir camide ibadet etmenin cemaat açısından iki temel şekli vardır. Namaz pozisyonu dediğimiz ilk şekil, kişinin bireysel ya da cemaat içinde namaz kılarken alması gereken pozisyonudur. Cemaat kıble duvarına paralel yaklaşık 120 cm aralıklarla imamın arkasında saflar oluşturur ve sırasıyla cemaatin kıyam (ayakta durma), rüku (öne eğilme), secde (yüz üstü yere kapanma) ve kade-i ahire (oturuş) namaz hareketlerini gerçekleştirir (Şekil 2.8) [10].



Şekil 2.8. Namaz hareketleri

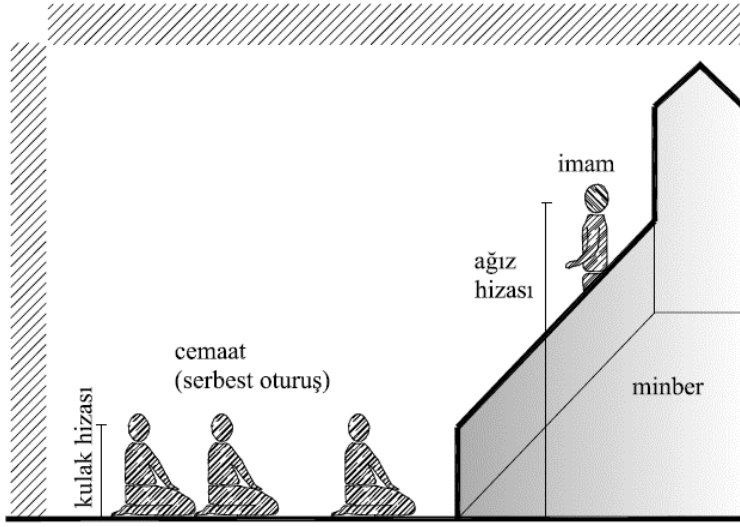
Saflar arası mesafeyi genellikle zemine serilen ve safların kolay oluşabilmesine yardımcı olmak için saf çizgisi üzerine işlenmiş cami halıları belirlemektedir.

Kuran kıraati, namazın kıyam (ayakta durma) pozisyonunda söylenmektedir. Bu durumda, imamın yerden ağız mesafesi imamın boyuna göre 150-175 cm arası değişirken, kadın ve erkek cemaati birlikte düşündüğümüzde cemaatin yerden kulak mesafesi 140-175 cm arasındadır (Şekil 2.9).



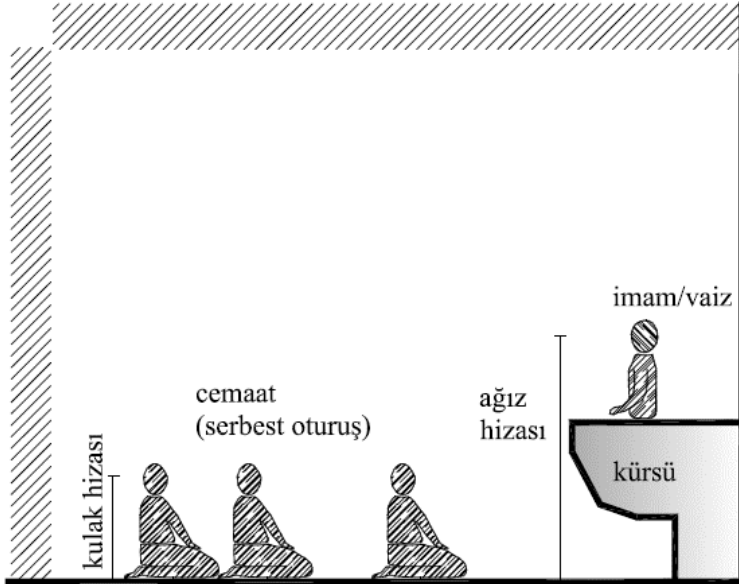
Şekil 2.9. Cemaat ve imamın kıyam ve oturuş esnasındaki duruşu

İkinci pozisyon ise vaaz ya da hutbe dinlerken alınan pozisyonudur. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de görüldüğü üzere; dinleyiciler namaz şeklindeki gibi saflar halinde değil rastgele zemine otururlar ve imamın kürsüde verdiği vaazını ya da minber üzerinde okuduğu hutbesini dinlerler [10].



Şekil 2.10. Cemaat ve imamın cuma hutbesi esnasındaki duruşu

İmam, cuma namazında minbere çıkarak Cuma hutbesini ayakta okumaktadır. İmam minberin en tepesine çıkmamakta, birkaç basamak aşağıda durmaktadır. Bu durumda, imam ya da vaizin ağız mesafesinin zeminden yüksekliği, minber yüksekliğine göre değişkenlik göstermektedir. Minber yüksekliği de 1 ila 3 m arasında değişebilmektedir.

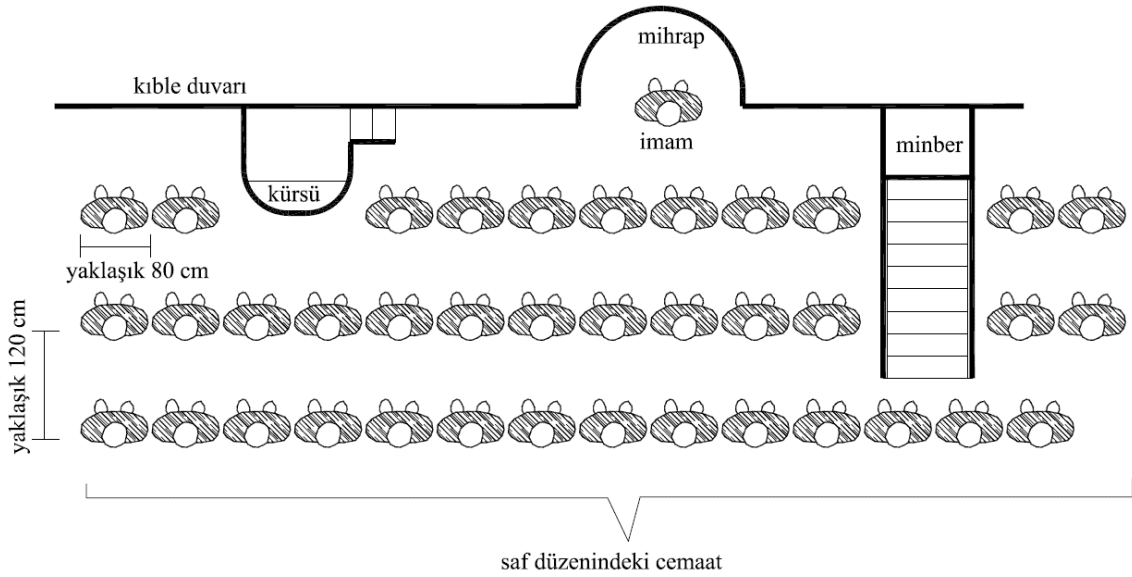


Şekil 2.11. Cemaat ve imam/vaizin vaaz esnasındaki duruşu

İmam ya da vaiz, namazın öncesinde veya sonrasında kürsüye çıkıp oturarak vaazını vermektedir. Kürsü yüksekliği de camiden camiye değişiklik göstermekle birlikte, genellikle kürsüye 2-3 basamakla çıkılmaktadır.

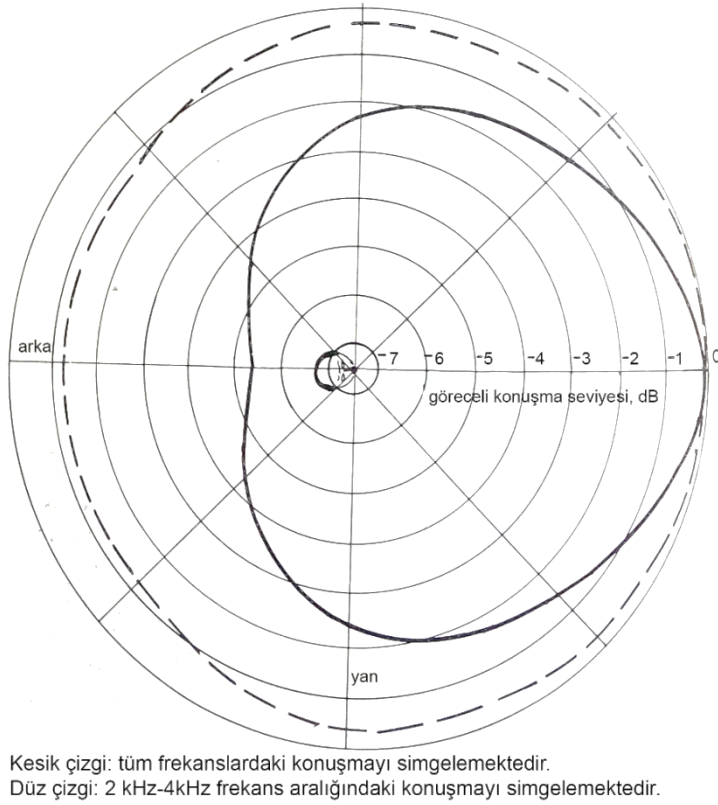
Namaz esnasında bir kişinin ihtiyacı olan alan yaklaşık $0,80 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} = 0,96 \text{ m}^2$ 'dir [11]. Camilerin kişi kapasitesi, ibadet alanının kişi başı ibadet alanına bölünmesi ile elde edilir.

Camide ön saflarda namaz kılmanın faziletinin daha büyük olduğuna inanıldığı için kişilerin daha önlerde namaz kılabilmelerini sağlamak adına saflar sıkıştırılır. Bu durumda kişi başına düşen ibadet alanı $0,96 \text{ m}^2$ 'nin altına inmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Cemaatin ve imamın ibadet esnasındaki plan görünüşü

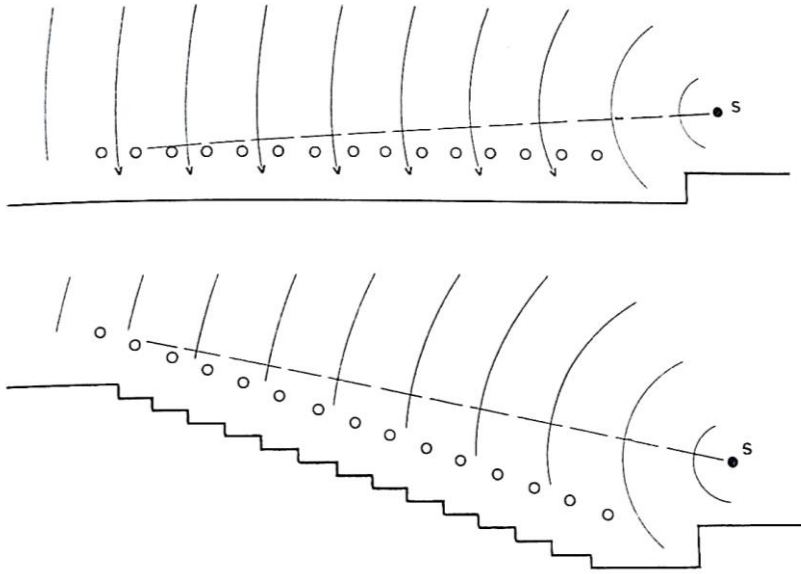
Dalgalar halinde yayılan ses enerjisi, konuşma esnasında konuşmacının etrafında eşit olarak yayılmamaktadır (Şekil 2.13). Özellikle yüksek frekanslar, konuşmacının ağzından direkt çıkarak dar bir açıyla yayılma eğilimindedir. Düşük frekanslar ise daha eşit yayılırlar. Bu nedenle, konuşmacının arkasına ya da bir yanına oturan dinleyici konuşmayı anlamakta zorlanacaktır, çünkü önemli yüksek frekans bileşenleri direkt ses olarak kaçacaktır. Konuşmacının etrafında yansıtıcı yüzeylerin olması konuşmanın anlaşılabilirliğine yardımcı olacaktır ancak yüksek frekans sesler düşük frekans seslere oranla, malzemeler ya da hava ile kolayca emilmektedir [27].



Şekil 2.13. Yatay düzlemde konuşmanın yayılması [27]

Camide namaz esnasında da buna benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. İmam mihraba arkası dönük namazı kıldırılmaktadır. Bu nedenle, mihrabın yansıtıcı yüzeylerden oluşması ve sesin bu yansıtıcı yüzeylerden yansıyarak arka cemaate ulaşması önemli bir husustur.

Kaynaktan çıkan ve dinleyicilere sürtünerek ilerleyen direkt ses, dinleyiciler tarafından oldukça fazla yutulmaktadır. Bu yutulma arka taraflara doğru artarak devam eder ve arka tarafların sesi duyamamasına neden olur. Arkalar da hem mesafeden kaynaklı hem de ses yutulmasından kaynaklı ses seviyesinde azalma olmaktadır. Ancak, dinleyicileri basamaklı şekilde ya da eğimli bir zemine yerleştirdiğimizde, kaynaktan çıkan sesin dinleyici kafaların üzerinden ilerlediğini ve birincil ses dalgalarının arka sıralara da ulaştığını ve ses yutulmasının çok daha az olduğunu görebiliriz (Şekil 2.14) [35]. Resim 2.10'da basamaklı bir sahna sahip bir cami örneği görülmektedir.



Şekil 2.14. Dinleyici platformunun düz ya da eğimli olmasının karşılaştırılması [35]

Camilerde namaz esnasında cemaat düz bir zeminde saf tutmaktadır, bu durum imamın sesinin arka taraflara iletilmeden cemaat tarafında yutulmasına neden olmaktadır. Bu durumun, biraz da olsa önüne geçebilmek için müezzin mahfillerini zeminden yüksekte yapıldığını görmekteyiz. Aynı şekilde vaiz verilirken ve hutbe okunurken kaynak sesin dinleyicilere, yutulmadan iletilmesi için kaynağı zeminden yükseltebilmek adına minber ve kürsü kullanılmaktadır.



Resim 2.10. Basamaklı namaz holü örneği (Sancaklar Cami) [36]

2.3. Sesli Eylemler

Bir caminin tasarımındaki en önemli akustik husus; konuşma ve konuşmanın anlaşılabilirliğidir [37]. Konuşmanın yanı sıra, camilerde ilahiler gibi melodik söylemler de icra edilir.

Diğer bir deyişle; akustik açıdan camilerde iki tür etkinlikten bahsedilebilir. Bu etkinlikler, hutbe ve vaazı içeren konuşma eylemi ve enstrüman kullanılmadan insan sesi ile icra edilen müzik eylemidir.

2.3.1. Konuşma eylemi

Hutbe

Hutbe, cuma günü ve bayram günlerinde hatip tarafından minbere çıkılarak okunan bir dini hitabet türüdür. Hutbede Allah’a dua, Hz. Peygambere salat ve selam, dinleyenlere nasihat, o günün önemi ve cemaatin bir ihtiyacını konu alan bilgiler sunulur. Hutbeler kısa ve öz, halkın ihtiyaçlarına ve toplumun yapısına uygun olarak hazırlanır [38].



Resim 2.11. Minbere çıkılarak icra edilen hutbe görüntüsü

Vaaz

Dini hitabetin bir diğerk türü de vaazdır. Vaaz, cami kürsüsünden namazın öncesinde veya sonrasında yapılan konuşmadır. Vaaz, hutbeye göre daha uzun ve detaylıdır. Vaaz, insanları dini konularda bilgilendirme amacı taşır [38].



Resim 2.12. Kürsüye çıkılarak icra edilen vaaz görüntüsü

2.3.2. Müzik eylemi

Cami musikisi enstrüman ile icra edilmediğinden kişinin sesi en önemli unsur olarak karşımıza çıkar. Hz. Peygamber musikiye büyük önem vererek Kuran-ı Kerim'in güzel sesle ve bir üslup dahilinde okunmasını tavsiye etmiştir. Yine, Hz. Peygamber'in Hz. Bilal-i Habeşi'nin okuduğu ezanları beğenmesi de cami musikisinin ortaya çıkmasına neden olmuştur [39].

Cami musikisi, ibadet sırasında ya da ibadet öncesi ve sonrasında çoğu zaman doğaçlama olarak makamların melodik yapıları uygulanarak ortaya çıkan ses musikisidir. Cami musiki formlarından bazıları; Kuran kıraati, mihrabiye, tekbir, temcid, teşbih, kaside, mevlid ve ilahilerdir [39].

Camideki ibadetin esasını namaz teşkil ettiğinden cami musikisi deyince ilk akla gelen namazın cemaatle kılınması sırasında imam ve müezzinin ya da müezzinlerin ilk tekbirden selam verinceye kadar geçen sürede, Kuran'ı melodik olarak okumalarıdır. Bu nedenle kıraat kavramını daha ayrıntılı olarak ifade etmek gerekir [40].

Kıraat

Kıraat, Kuran okuma anlamına gelmektedir. Camide kılınan namazlarda kıraat açıktan ve gizli olarak iki şekilde yapılır [41]. Açıktan yapılan kıraatin cemaat tarafından duyulması ve anlaşılması gerekmektedir.

İmam her namaza açıktan “Allahuekber” diyerek başlar. Sabah namazı ile akşam ve yatsı namazlarının ilk ikişer rekatlarında ve vitir namazının her üç rekatında, Cuma ve bayram namazlarının bütün rekatlarında Fatiha süresi ile ilave edeceği ayetleri açıktan yani cemaatin işitebileceği bir sesle okur. Diğer tekbirleri, tesmileri (semi allahü limen hamideh) ve selamları açıktan yapar. Akşam namazının üçüncü ve yatsı namazının üçüncü ve dördüncü rekatları ile öğle ve ikindi namazının bütün rekatlarında tekbirleri, tesmileri ve selamları açıktan okur [42].



Resim 2.13. İmamın namaz esnasındaki kıraati

3. CAMİLERDE HACİM AKUSTİĞİ TASARIM VE PERFORMANS KRİTERLERİ

Hangi salon tasarlanırsa tasarlansın ses kaynağının doğal özelliği ve konumu öncelikli olarak ortaya koyulmalıdır. Kaynaktan yaklaşık 3 m mesafede, kaynağın ses düzeyi 30 dBA (fısıltı) ile 60 dBA (normal konuşma sesi) arasında değişmektedir. Bir tiyatro sanatçısı performansı sırasında sesini 70 dBA düzeyine çıkarabilir ama orkestra ile karşılaştırıldığında, bu ses seviyesi de zayıf kalır ki anlaşılabilirlik söz konusu olunca çoğu ses gerçekten de zayıf kalmaktadır. Ayrıca konuşma için, bir dizi hızlı ve ayırık sesin ki bunlardan bazıları kısa süreli olabilir, net bir şekilde algılanması gerekmektedir. Dinleyicinin algıladığı ses düzeyi, dinleyicinin kaynağa olan mesafesi, dinleyicinin direkt sesi alabilmesi, sesin yansıtıcı yüzeylerle güçlendirilmesi, ses gölgelerinden kaçınılması ve hoparlör kullanımı gibi hususlardan etkilenmektedir. Konuşmanın netliği ya da berraklığı ise, ortamdaki ekonun varlığı, reverberasyon süresi, ortam gürültüsü, istenmeyen dış gürültü ve hoparlör kullanıldığı durumlarda sesin hoparlörden tekrarlı olarak duyulması gibi hususlardan etkilenir [35].

Müzik icra edilen orta boyutlu bir oditoryum için müzik 30 dBA ile 80 dBA arasında değişmektedir ve çoğu zaman 80 dBA'yı da geçmektedir. Müzikten keyif almak için gereken frekans aralığı konuşma için gerekenden oldukça fazladır [35].

Konuşma için kriter, odayı çevreleyen yüzeylerdeki yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin arasındaki uyumu sağlayabilmektir. Yani, yüksek frekanslı bileşenler birçok malzeme ve hava ile kolayca yutulabilmelerine rağmen, konuşmanın anlaşılmasında azalmaya neden olabilir. Bu nedenle, her dinleyicinin güçlü olarak ve arka plan gürültü düzeyinin üzerinde direkt ses bileşenlerini alması gerekmektedir [27].

Müzik eylemi için de, yine konuşma eylemi için gereken direkt sesin güçlü şekilde dinleyicilere ulaşması gerekmekte olup bu sefer direkt ses, sesin yoğunluğunun yeterince sağlanması için gerekli olan yansıyan seslerle desteklenebilir. Müzik için diğer kriterler, yeterli reverberasyon süresinin sağlanması, sesin berraklığı, alçak frekanslarda tonun doygunluğu ve yüksek frekanslarda tonun parlaklığıdır. Tonun parlaklığı dinleyici ve kaynak arasındaki direkt sesin kat ettiği yola ilişkilidir, çünkü yüksek frekanslar birçok malzeme ve

hava tarafından yutulma eğilimindedir. Tonun doygunluğu kriterinin yani bas seslerin yetersizliği eğer yanlış malzeme seçimini nedeniyle ortaya çıkan titreşimden kaynaklı aşırı bir emilim varsa oluşur [27].

Camilerdeki konuşmanın duyulabilirliği ve anlaşılabilirliği büyük önem taşır. Konuşmanın anlaşılabilirliği, ortalama bir dinleyici tarafından doğru şekilde tanımlanan konuşmanın yüzdesidir. Bir hacimdeki konuşmanın anlaşılabilirliği hacmin akustik karakterine de bağlıdır. Konuşmanın anlaşılabilirliği, hacimdeki konuşmanın ses seviyesinden, arka plan gürültüsünden ve reverberasyon süresinden etkilenmektedir [10].

Camiler, hem konuşma hem müzik eylemlerini bir arada barındıran salonlardır. Cami akustiği için gerekli temel hususlar; cami musikisinin icrası sırasında uhrevi duygunun hissedilebilmesi, vaaz ve hutbenin okunması sırasında anlaşılabilirliğin sağlanması, cami içindeki sesin yeterli düzeyde olması, cami içindeki dinleyici konumlarında homojen ses dağılımı, odaklanma gibi akustik sorunların çözümlenmesi, arka plan gürültüsünün konuşmanın anlaşılabilirliğini bozmayacak düzeyde olması şekilde sıralanabilir.

3.1. Hacim Akustiği Tasarım Kriterleri

Cami akustiğini etkileyen başlıca hacim akustiği parametreleri; arka plan gürültü düzeyi (L_{eqA}), reverberasyon süresi (RT), erken sönümlenme süresi (EDT), konuşmanın belirginliği (D50), sesin berraklığı (C80), konuşmanın iletim indeksi (STI), ses basınç seviyesi (SPL) ve ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPLA) parametreleridir. Parametrelerin daha iyi anlaşılması adına direkt ses, erken ses ve geç ses tanımlarının da bilinmesi önemlidir.

3.1.1. Direkt ses

Ses bir odada oluştuğu zaman, odanın şekline göre çeşitli yollarla iletilir, yansır ve yutulur. Şekil 3.1’de, odanın içinde gerçekleşen ses olayları numaralandırılmış olarak verilmiştir [35].

3.1.2. Arka plan gürültü düzeyi (LeqA)

Arka plan gürültü düzeyi, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde “bir çevrede incelenen sesler bastırıldığında, verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam ses” şeklinde ifade edilmektedir [44].

Oda içindeki kabul edilebilir arka plan gürültüsü düzeyinin karar verilmesinde genel prensip, oda içindeki normal aktivitenin yapıldığı esnada, oda dışındaki (bu teknik oda olabilir) bir kaynaktan gelen sesin fark edilebilir olmamasına bakılır. Genel olarak, aktivitenin gerçekleşeceği oda için tahmin edilen ses seviyesi belirlenmelidir. Daha sonra, bu oda için uygun arka plan gürültü düzeyi belirlenebilir [27].

Dini yapılarda cemaatin dış dünyadan kopması istenir, bu nedenle dış kaynaklardan oluşan arka plan gürültüsünün içeriye girmesi engellenmelidir [27].

Arka plan gürültüsünü oluşturan izinsiz sesler, kaynağın sesini maskeleyebilir ve anlaşılabilirliği azaltabilir. Bunlar odanın dış çeperinden geçerek odaya iletilen seslerdir. İstenmeyen sesler yalnızca trafik ve yol gürültüsü olarak düşünülmemelidir. Fuaye, lobi, merdiven ve koridordan gelen sesler, performans odasına bitişik restoran ve lounge gibi mekanlardan ya da tesisat odası, projeksiyon odası, jeneratör odası gibi teknik odalardan gelen sesler ya da üst örtü olarak kullanılmış hafif metal bir çatıya yağın yağmur sesi olabilir [35]. Bu nedenle, mekan içerisindeki çevresel gürültüyü azaltabilmek için yapı elemanlarının ses yalıtım özelliğine çok dikkat edilmelidir.

Mekan içerisinde de istenmeyen gürültü diye tanımladığımız ve oda amacının dışında ama oda içinde oluşan sesler de olabilmektedir. Bunlar dinleyicinin kendi çıkardığı sesler olup dinleyicinin ayağını sürümesi, sandalyesini kaydırması, kapıyı kapatması gibi sesler olabilir. Dinleyici bunlara daha çok dikkat etmesinin yanında tasarımcı da, zemine kullandığı malzeme, kapıda ve sandalye altlarında kullanılacak susturucular gibi detaylarla buna katkı sağlamalıdır [35].

Yüksek arka plan gürültüsü, camideki konuşma eylemleri ya da imam ve müezzinin kıraati sırasında, sesin maskelenmesine neden olabilir. Sesin maskelenmemesi için, istenmeyen

seslerin varlığında algılanması istenen sesin desibel olarak normal eşik değerin üzerinde olması gerekmektedir [27].

Kapalı mekanlarda arka plan gürültü düzeyi kriterleri farklı şekillerde ifade edilmektedir, bunlar; NC gürültü kriteri, PNC tercih edilen gürültü ölçütü, RC oda kriteri eğrileri, NR gürültü sınıflandırma ölçütü ve NCB dengelenmiş gürültü kriteri ve SIL konuşma girişim düzeyidir [45].

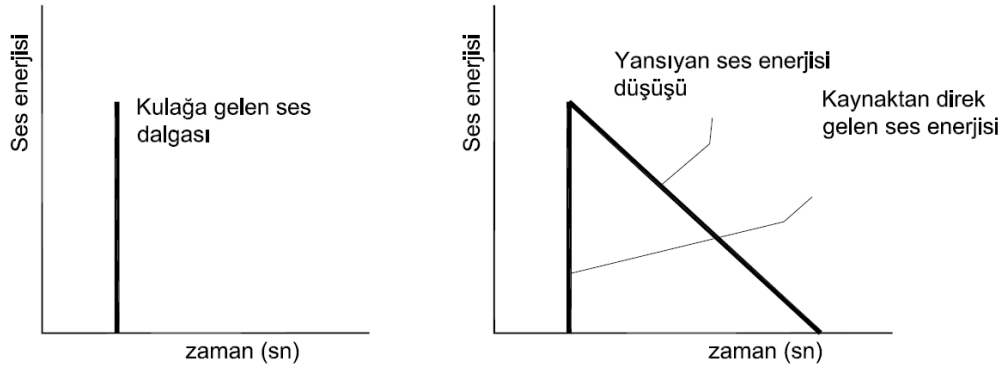
3.1.3. Reverberasyon süresi (RT)

Reverberasyon süresi, bir hacmin akustik özelliğini frekansa bağlı olarak belirleyen parametreyi ve hacim içinde faaliyette olan bir ses kaynağının susmasından itibaren ses basınç seviyesinin 60 dB azalması için geçen süreyi ifade etmektedir [44].

W.C. Sabine, durdurulan bir ses kaynağından sonra elde edilen ve kapalı hacimler için en önemli akustik özellik olan ses enerjisi gecikme oranını elde etmiştir. Org enstrümanı kapatıldıktan sonra sesin duyulmayacağı zamana kadar düşmesi için geçen süre ölçülmüş ve reverberasyon süresi olarak adlandırılmıştır. Sabine, bu parametrenin odanın hacmi ve sesin hacimde yutulması ile ilgili olduğunu bulmuştur. Bir salon için reverberasyon zamanı, salonda kullanılan malzemelerin, mobilyaların ve dinleyicilerin ses yutma özellikleri bilindiği takdirde tasarım aşamasında belirlenebilir [27].

Büyük hacimli salonlarda ses hava tarafında önemli derecede yutulmakta olup yutulma oranı birincil ve etkili derecede bağıl neme, ikinci olarak da sıcaklığa göre değişmektedir. Salonlardaki diğer önemli yutucu eleman ise dinleyicilerin kendisidir. Bu tasarımcılar için çeşitli problemlere neden olur. Öncelikle, eğer dinleyici yerleri dolu ya da seyrek olması şeklinde geniş aralıkta değişkenlik gösteriyorsa, hacimdeki sesin yutulması ve buna bağlı olarak reverberasyon süresi oldukça değişkenlik gösterecektir. Bu sorunu çözmenin bir yolu, salon boş olduğunda da insan yutuculuğunu karşılayabilecek ses yutuculuğuna sahip koltuklar kullanmaktır, ancak bunun için ağır kumaş döşenmiş koltuklar kullanılması gerektiğinde bu her zaman mümkün olmamaktadır. Diğer dikkat edilmesi gereken durum ise, dinleyicilerin aralarında boşluk kalmayacak şekilde yerleşmesinin ya da dinleyici alanına seyrek şekilde dağıtılmasının reverberasyon süresini değiştirmesidir [27].

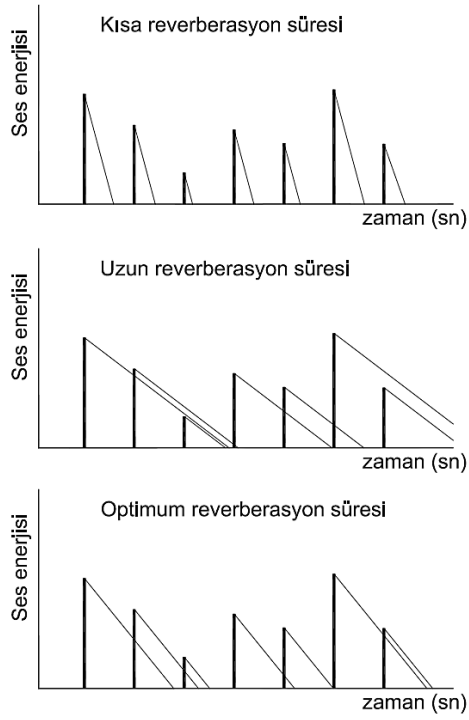
Ses enerjisi kaynaktan küresel dalgalar halinde yayılır. Eğer dalgalar bir engelle karşılaşmazsa ve herhangi bir yüzey ya da bileşenden yansımazsa dış mekanda bile olsa, bütün ses enerjisi hava tarafından emilene kadar dalgalar halinde yayılmaya devam eder. Ses dalgalarının yayılma yolunda bulunan bir dinleyici enerji dalgasının gelişini ve geçişini, kulağına teması anında hisseder. Sesin hızı ile ilgili olarak, bu sürenin çok kısa olduğu anlaşılmalıdır. Kapalı mekanlarda, engellerden yansıyan ses enerjisi kaybolana kadar varlığını sürdürmektedir (Şekil 3.2) [25].



Şekil 3.2. Yansıma olmayan anlık ses enerjisi grafiği ve yansıyan sesin enerji kaybı grafiği [25]

Bu fiziksel olaya reverberasyon denir. Reverberasyon süresinin uzun ya da kısa olması odanın çeperindeki yüzeylerin ve odada bulunan bileşenlerin ses emilim özellikleri ile ilgilidir. Ses enerjisindeki düşüşe reverberasyon süresi denir [25].

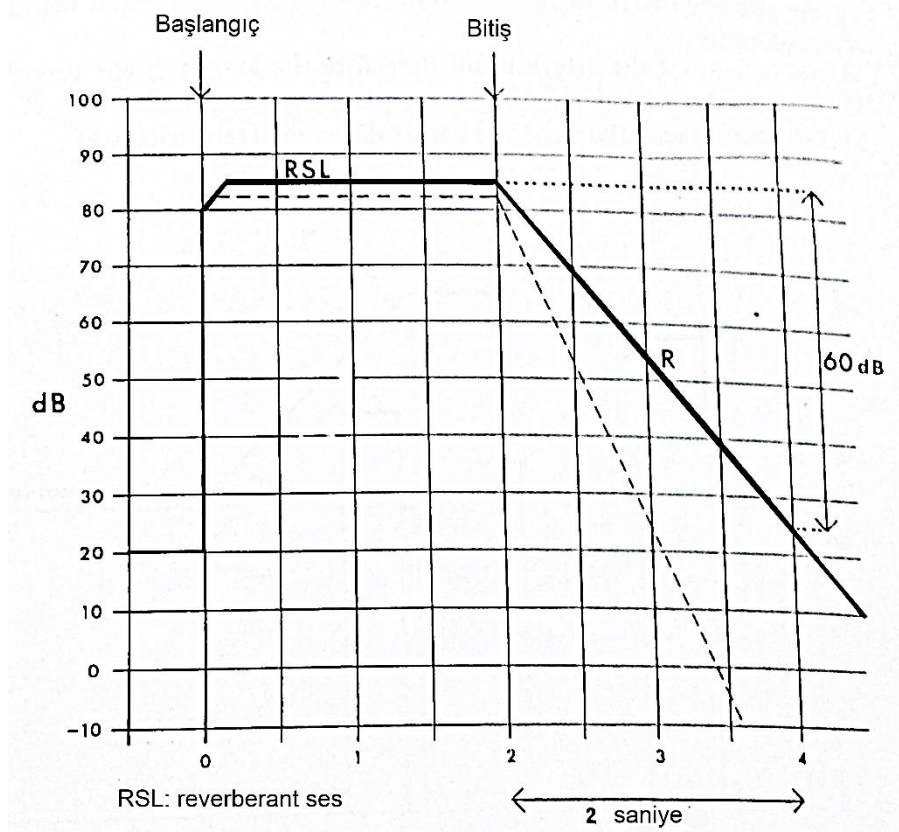
Etrafımızdaki ses alanı, her zaman birbirini takip eden ses enerji bileşenlerinin oluşturduğu bir diziden oluşur. Bu bileşenler hem enerji yoğunluğu hem de frekans özellikleri açısından sık sık birbirinden farklılık gösterir. Bunlar müziğin ve doğanın içindeki sesler ve insan sesidir. İnsan kulağı her zaman reverberasyonu hissetmek ister, ayrıca ses bileşenlerinin birbirinden ayrılmamasını ve ses enerjisi düşüşü (reverberasyon) ile seslerin birbirini takip etmesini ister. Bu nedenle, optimum reverberasyon süresi daha iyi duyma şartları oluşturur. Kısa bir reverberasyon süresi yetersiz hissi veren bir işitme olayına neden olurken, uzun bir reverberasyon süresi yetersiz bir anlaşılabilirlik hatta anlaşılamayan bir işitme olayı ile sonuçlanan birbirini maskeleyen bileşenlere neden olur. Bu yüzden, bir hacimdeki problem, konuşma, müzik, tiyatro gibi farklı ses fonksiyonlarına göre optimum reverberasyon süresini elde edebilmektir. Hacmi çevreleyen bitiş malzemelerinin ve hacimdeki bütün bileşenlerin ses emilim özellikleri bu değeri verir (Şekil 3.3) [25].



Şekil 3.3. Reverberasyon süresinin anlaşılabilirliğin üzerindeki maskeleye etkisi [25]

Başka bir deyişle, hareket halindeki ses enerjisi oda yüzeyine çarptığı zaman, her defasında yüzeyin ses yutuculuğu nedeniyle gücü zayıflar. Bu nedenle, peşi sıra yansiyarak oluşan ses zamanla tamamen yutulur ve buna sesin düşüşü denir. Ses kaynağı kapatıldıktan sonra sesin 60 dB düşmesi için geçen süreye reverberasyon süresi denmektedir. Reverberasyon süresi genellikle 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz gibi frekanslar üzerinde ayrı ayrı belirlenir [43].

Şekil 3.4'te, 85 dB ses gücünün 2 sn içerisinde 60 dB düştüğü gösterilmektedir. Bu reverberasyon süresinin 2 sn olduğu anlamına gelir. Bu veri bize, bir salonun akustik karakteri hakkında önemli bir bilgi verir. Farklı işlevler için farklı reverberasyon süresine ihtiyaç duyulur. Reverberasyon süresi odanın hacmi ya da yutucu eleman kullanımı ile ya da her ikisi birden ayarlanarak istenilen reverberasyon süresi elde edilebilir [35].



Şekil 3.4. Reverberasyon süresi grafiği

Sesin yok olma oranı oda içindeki yansıtıcı sayısına bağlıdır. Çok uzun reverberasyon süresi, konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltırken müziği ahenksiz kılar ve yüksek arka plan gürültüsüne neden olur. Kısa reverberasyon süresi ise konuşmayı boğar ve müziği zayıf ve kesik kılar [45]. Yani, uzun reverberasyon süresi hacim içindeki ses alanını canlı hale getirirken kısa reverberasyon süresi kuru ve ölü bir ses alanına neden olur.

Konuşma ve müzik eyleminin bir arada gerçekleşmesi beklenen oditoryum ya da cami gibi yapılarda, her iki işlev için de gereksinimleri karşılamak gerekmektedir. bu iki durumu birleştirmek ve uygun reverberasyon süresini elde edebilmek için bazı metotlar uygulamak gerekebilir. Bunlardan biri, bir yüzeyi yansıtıcı bir yüzeyi yutucu malzeme ile kaplanmış, tersine çevrilebilir ve dönebilir hareketli paneller kullanmaktır. İkinci metot, salonun hacmini ilave hacim ekleyerek ve çıkararak değiştirmektir. Üçüncü çözüm ise, elektro akustik sistemle suni bir reverberasyon süresi elde etmektir. Bunun için hacmin reverberasyon süresi, istenen en kısa reverberasyon süresine göre tasarlanır [27].

3.1.4. Erken sönümlenme süresi (EDT)

Erken sönümlenme süresi, ses kaynağı kapatıldıktan sonra, sesin 10 dB düşmesi için geçen süreyi ifade eder. Erken ses ile karıştırılabilmektedir [43].

EDT değeri reverberasyon süresinin asıl tanımı olan ses kaynağı kapatıldıktan sonra 60 dB'lik düşüş için geçen süre ile kıyaslanabilir olabilmesi adına 6 faktörü ile çarpılarak RT cinsine dönüştürüp ele alınmaktadır [46,47].

Erken sönümlenme süresi, erken yansılardan meydana gelmektedir. Reverberasyon süresi, çok sayıda yansımadan meydana gelmekte ve tüm hacim yüzeylerinden gelen yansılardan oluştuğu için de hacim geometrisinden bağımsız kabul edilir. Erken sönümlenme süresini oluşturan erken yansılar, hacmin geometrisinin hacim akustiği üzerindeki etkilerinin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Reverberasyon süresi ise müziğe canlılığını katan kısımdır. Kısa EDT süresi sesin berraklığını sağlarken, uzun RT süresi müziğe canlılığını kazandırmaktadır [48,49].

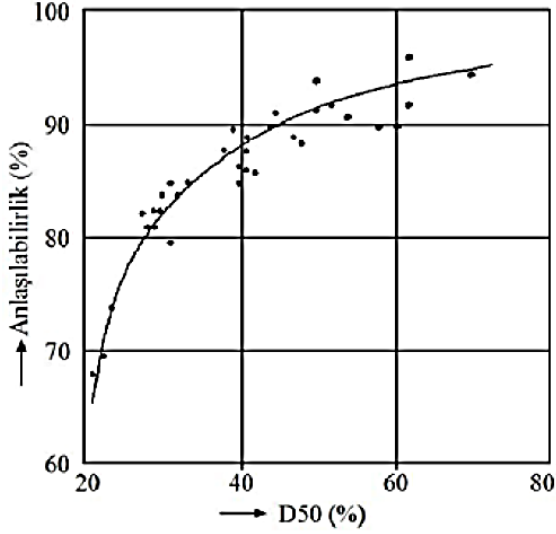
Erken sönümlenme süresi, reverberasyon süresi gibi salonu dolduran ses enerjisinin sönümlenmesi ile ilgili olup ilk 10dB ses düzeyi azalması ile hesaplandığı için salonun doluluğundan reverberasyon süresi kadar fazla etkilenmemektedir [14]. Camilerde, kaynak ve alıcılar birbirine yakın konumda oldukları ve doluluğa göre kaynak etrafındaki yutuculuk ve yansıtıcılık değerleri değiştiği için edt parametresi de bundan etkilenmektedir.

3.1.5. Konuşmanın belirginliği (D50)

Thiele'nin 1953 yılında ortaya koyduğu konuşmanın belirginliği parametresi kısa süren bir ses sinyalinin ölçülen ilk 50 ms'lik zaman diliminde alıcıya ulaşan erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır [50]. Kaynak ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça, konuşma belirginliği ve anlaşılabilirliği azalır. Belirginlik, reverberasyon süresi ile ters orantılıdır.

D50 parametresinin konuşmanın anlaşılabilirliği ile olan ilişkisi Şekil 3.5'te görülmektedir. Bu duruma göre, D50 değerinin artmasıyla, konuşmanın anlaşılabilirliği artmaktadır; % 50 üzerindeki D50 değeri % 90 konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamaktadır. Bu sebepten

dolayı D50 parametresinin % 50 üzerinde aldığı değerler kabul edilebilir olarak görülmektedir [51].



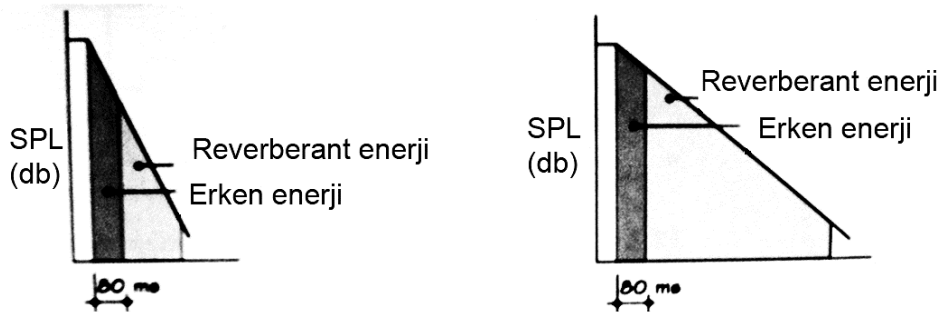
Şekil 3.5. Belirginlik-anlaşılabilirlik ilişkisi [51]

3.1.6. Sesin berraklığı (C80)

Reichardtts müziğin net ve açık bir şekilde algılanabilmesi için dinleyiciye direkt sestten sonra ulaşan erken yansımalarının direkt ses ile bütünleşme zamanının 80 msn ile sınırlı olduğunu belirlemiştir. Thiele'nin önerdiği konuşmanın belirginliği parametresinden sesin berraklığı parametresini elde etmiştir. C80 parametresi, ilk 80 ms'lik zaman diliminde dinleyiciye ulaşan erken ses enerjisinin geç ses enerjisine oranının indeksidir ve dB cinsinden ifade edilir [50].

Sesin berraklığı parametresi ile reverberasyon süresi arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Yansımanın olmadığı ölü bir hacimde müzik oldukça açık olarak algılanacak ve C80 parametresi dB cinsinden yüksek pozitif değerlerle ifade edilecektir. C80 parametresinin yüksek değerlere sahip olması, ilk yansımaların enerjisinin fazla olduğunu ve öznel olarak sesin net ve açık olarak anlaşıldığını gösterir [47].

Sesin berraklığı parametresi erken sesin geç sese oranı olduğu için, Şekil 3.6'dan anlaşılacağı üzere, kısa reverberasyon süresi yüksek berraklık sağlarken, uzun reverberasyon süresi düşük berraklık ve netlik sağlamaktadır.



Şekil 3.6. Sesin berraklığı parametresinin reverberasyon süresi ile ilişki grafiği [48]

Camilerde, cami musikisinin hem duyulabilir olması hem de dinleyenler üzerinde ruhani bir etki bırakması istenmektedir.

3.1.7. Konuşmanın iletim indeksi (STI)

Konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili çalışmalar, on dokuzuncu yüzyılda başlamış olup nitel ölçümlere dayanmamaktadır. Konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili ilk nicel ölçümleri 1924'te Fletcher ve Steinberg yapmıştır. Bu ölçümler, söylenilen harfin, kelimenin ve cümlelerin yüzde kaç doğru anlaşıldığını gösteren bir çalışmadır. French ve Steinberg, 1947'de konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili en kapsamlı çalışmayı yapmış ve AI'yı (articulation index) geliştirmişlerdir. Bundan sonraki araştırmalarda konuşmanın anlaşılabilirliği ve AI üzerinde etkili olan nedenler araştırılmış olup yapılan çalışmalarda, ortamın arka plan gürültüsünün, mekan içinde konumlanmanın, uzaklığın ve çınlama süresinin konuşmanın anlaşılabilirliğini etkiledikleri öne sürülmüştür. Konuşmanın anlaşılabilirliği, geleneksel olarak bir salonda dinleyiciler ve çeşitli kelime listeleri ile yürütülen testler aracılığıyla ölçülmektedir ve bu testler aracılığıyla ölçülen yöntem AI adı verilmektedir. AI, 0 ile 1 arasında değer alır ve değer 1'e yaklaştıkça konuşmanın anlaşılabilirliği artar [49].

Konuşmanın iletim indeksi ise günümüzde geçerliliği kanıtlanmış ve standartlara geçmiş bir ölçme yöntemi olup STI şeklinde ifade edilir. STI, 1973 yılında Houtgast ve Steeneken'in çalışmalarını AI üzerine kurarak geliştirdikleri bir yöntemdir. Houtgast ve Steeneken, STI'yı insan sesini taklit eden modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) isimli sistem üzerinden geliştirilmiştir. Bu fonksiyonun temelini konuşmanın akort edilmiş gürültü bantlarından meydana gelmesi oluşturmaktadır. Ses telleri titreşerek bir gürültü bandı oluşturur, ağız bu

gürültüyü çeşitli frekanslarda akort ederek kelimelere dönüştürür. MTF sistemi, ses teli gibi ağız ile yapılan sesleri taklit etmektedir. Tüm çalışmalar elektronik ortamda gerçekleştirildiği için AI gibi sonuçları kişisel değerlendirmelere, yorumlara ve çalışma sırasındaki kişilerin psikolojik durumlarından etkilenmemektedir. STI’da AI gibi 0 ile 1 arasında değer alır ve değer 1’e yaklaştıkça konuşmanın anlaşılabilirliği artar [49]. Reverberasyon süresi ve arka plan gürültüsü STI parametresi ile ters orantılıdır [52].

Konuşmanın iletim indeksi parametresi, konuşmanın anlaşılabilirliğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Parametrenin 0,60 üzerindeki değerleri kabul edilebilirken, “çok iyi” anlaşılabilirlik için 0,75 üzerindeki değerler önerilmektedir. 0,45 ve altındaki değerler ise konuşmanın anlaşılabilirliği açısından “kötü” olarak değerlendirilmektedir (Çizelge 3.1) [53].

Çizelge 3.1. ODEON'da STI parametresi için önerilen değer aralığı

Özel Değerlendirme	STI Değeri
Kötü	0,00-0,30
Zayıf	0,30-0,45
Orta	0,45-0,60
İyi	0,60-0,75
Çok İyi	0,75-1,00

3.1.8. Ses basınç seviyesi (SPL)

Ses dalgalarından ötürü hava moleküllerinin titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan değişime ses basıncı denmektedir. Birimi N/m^2 ’dir. Ses basıncı, kulağımızda ses duymamızı sağlar. İnsan kulağı tek bir sesin basıncını değerlendiremediği için başka bir ses ile karşılaştırır ve hangisinin yüksek olduğuna o şekilde karar verebilir. Ses basınçları çok geniş bir sayı aralığını kapsadığı ve insan kulağının da bunları ayırt etmedeki yetersiz duyarlılığı nedeniyle söz konusu değerlerin ifadesi için logaritmik bir ölçek kullanılmaktadır. Bu ölçeğe göre ses basınç düzeyinin birimi desibeldir [45].

Genel olarak, herhangi bir sesin basınç düzeyi şu şekilde ifade edilebilir [45];

$$SPL=20 \log_{10} (P/P_0) \quad (3.1)$$

Sesin basınç düzeyi formülü

SPL: Ses basınç düzeyi, dB

P: Söz konusu olan sesin basıncı

P₀: Duyulan en küçük ses basıncı

Toplam ses basınç düzeyi aşağıda verilen formülle bulunur [45];

$$L_p = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10} \right) \quad (3.2)$$

Toplam ses basınç düzeyi formülü

Ses düzeyleri eşit kaynakların toplam ses düzeyleri aşağıda verilen formülle bulunur [45];

$$\text{Toplam Ses Düzeyi} = N + 10 \log n \quad (3.3)$$

Ses düzeyleri eşit kaynakların toplam formülü

N: Bir ses kaynağının düzeyi

n: Kaynak sayısı

3.1.9. A-ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPL-A)

A, B ve C olmak üzere üç tip ağırlık eğrisi bulunmaktadır. A eğrisine 40 fon eğrisi, B eğrisine 70 fon eğrisi, C eğrisine ise 100 fon eğrisi denir. A eğrisi 55 dB'den daha az sesler için, B eğrisi 55 ile 85 dB arasındaki sesler için, C eğrisi de 85 dB'den daha fazla olan sesler için kullanılır. Ancak, A eğrisi kulak duyarlılık eğrisiyle olan doğrudan ilişkisi nedeniyle, her yükseklikte ses seviyesi için kullanılmakta olup dB(A) şeklinde ifade edilir. Gürültü ölçümünde, kimi gürültüler için ses basınç seviyesi ne olursa olsun A eğrisinin kullanılması Uluslararası Standartlarda kabul edilmiştir (Çizelge 3.2) [45].

Çizelge 3.2. Ses basınç seviyesinin frekansa göre ağırlık katsayıları

Frekans (Hz)	A – ağırlıklı (dB)	B – ağırlıklı (dB)	C – ağırlıklı (dB)
10	- 70.4	- 38.2	- 14.3
12.5	- 63.4	- 33.2	- 11.2
16	- 56.7	- 28.5	- 8.5
20	- 50.5	- 24.2	- 6.2
25	- 44.7	- 20.4	- 4.4
31.5	- 39.4	- 17.1	- 3.0
40	- 34.6	- 14.2	- 2.0
50	- 30.2	- 11.6	- 1.3
63	- 26.2	- 9.3	- 0.8
80	- 22.5	- 7.4	- 0.5
100	- 19.1	- 5.6	- 0.3
125	- 16.1	- 4.2	- 0.2
160	- 13.4	- 3.0	- 0.1
200	- 10.9	- 2.0	0
250	- 8.6	- 1.3	0
315	- 6.6	- 0.8	0
400	- 4.8	- 0.5	0
500	- 3.2	- 0.3	0
630	- 1.9	- 0.1	0
800	- 0.8	0	0
1,000	0	0	0
1,250	+ 0.6	0	0
1,600	+ 1.0	0	- 0.1
2,000	+ 1.2	- 0.1	- 0.2
2,500	+ 1.3	- 0.2	- 0.3
3,150	+ 1.2	- 0.4	- 0.5
4,000	+ 1.0	- 0.7	- 0.8
5,000	+ 0.5	- 1.2	- 1.3
6,300	- 0.1	- 1.9	- 2.0
8,000	- 1.1	- 2.9	- 3.0
10,000	- 2.5	- 4.3	- 4.4
12,500	- 4.3	- 6.1	- 6.2
16,000	- 6.6	- 8.4	- 8.5
20,000	- 9.3	- 11.1	- 11.2

Camilerdeki namaz holü gibi kapalı bir akustik alanda, A-ağırlıklı ses basınç seviyesinin dağılımı hem her alıcı noktasında ses gücünün belirlenmesi hem de alan boyunca eşit sesin nasıl dağıldığının gösterilmesi açısından önemlidir [52].

3.2. Camilerde Akustik Kusurlar

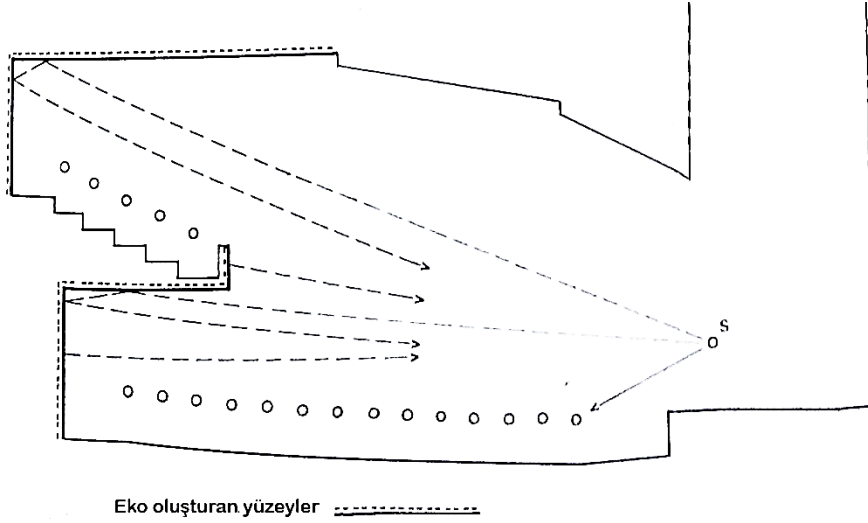
Camilerde karşılaşılabilecek akustik kusurlar eko, odaklanma, fısıldayan galeri, ölü noktalar ve akustik gölgeler şeklinde sıralanabilir. Özellikle, eski dönemlerde uzun açıklıkları geçmek için yapı elemanı olarak kullanılan ancak günümüzde camiler için bir simge haline gelmiş kubbenin neden olduğu odaklanma sorunu cami akustiği tasarlanırken mutlaka ele alınmalıdır.

3.2.1. Eko

Eko, bütünü işitildikten sonra çok yüksek ve çok uzun gelen orijinal sesin tekrarıdır. Paralel yansıtıcı duvarlar arasında meydana gelen eko, tekrarlayan eko olarak tariflenir [45].

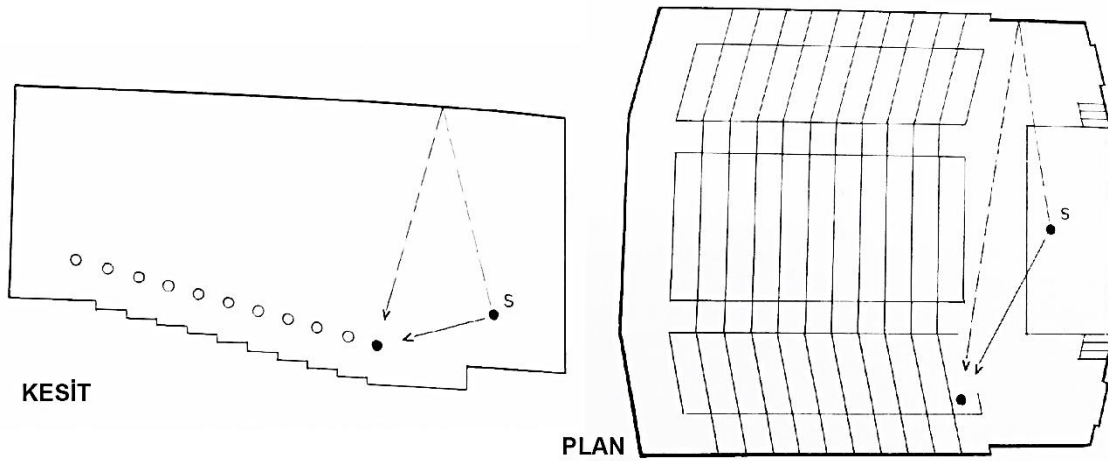
Gecikme $1/15$ sn ya da daha fazla olursa eko duyulabilir hale gelmektedir. Direkt ses ile yansıyan sesin izlediği yol arasındaki farkın, yaklaşık 22 m den fazla olması durumunda gerçekleşir. Bir ucunda ses kaynağı bulunan bir salonda, arka duvardan, tavan ile arka duvarı birleştiren köşe açısından ya da balkon çıkmasından yansiyarak gelen ses ışını sonucu, ilk dinleyici sırasında eko duyulabilir. Eko oluşturan yüzeyler iç bükey oldukları zaman eko daha şiddetli olacaktır. Bu tip durumlarda eko oluşturan yüzeylerin ses yutucu malzeme ile kaplanmalıdır. Köşeler potansiyel eko sebebi olup ise köşelere ufak yansıtıcı yüzeyler konularak ekonun önüne geçilebilir. Ses kaynağı her zaman salonun bir köşesinde olmamaktadır. Eğer ses kaynağı salonun her yerinde ise, bütün duvarlar ve köşe açılar ekoya neden olabilir. Bu durumda bütün dik yüzeylerin yutucu malzeme ile kaplanması uygun olacaktır (Şekil 3.7) [35].

Eko ve çınlama aynı şeyler olmayıp eko belirgin bir şekilde algılanan orijinal sesin tekrarıdır. Çınlama ise çoğul yansımalarından dolayı sesin uzamasıdır ve müzik için genelde yararlıdır. Uzun gecikmiş yansımalar ekoya benzer ancak gecikme zamanları daha kısadır ve ayrı sesler olarak algılanmazlar, ama orijinal sesin anlaşılmasında bulanıklığa yol açar [54].



Şekil 3.7. Salondaki eko olayı

Eko olmamakla birlikte eko benzeri geç yansımalar yani 1/15 sn ile 1/30 sn arasındaki gecikmiş sesler de sesin uzamasına ve bulanıklaşmasına neden olur. Direkt ses ile yansıyan sesin izlediği yol arasındaki farkın, yaklaşık 11-22 m arasında olması durumunda gerçekleşir. Bu yansımalar genellikle kaynağın yanındaki ya da üzerindeki yüzeyler nedeniyle oluşur (Şekil 3.8) [35].

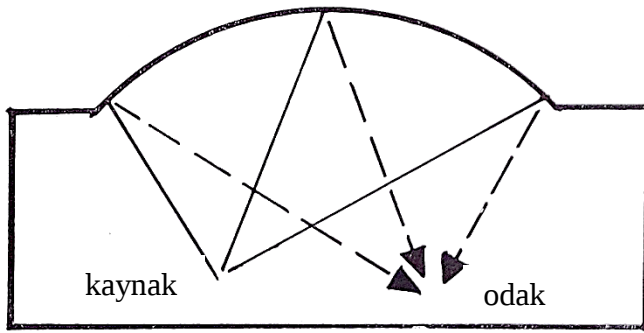


Şekil 3.8. Salondaki eko benzeri geç yansımalar

Geleneksel camilerin büyük boyutlarda olması, üst örtü olarak tonoz ve kubbe kullanılması nedenleriyle oluşan eko, konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir [52].

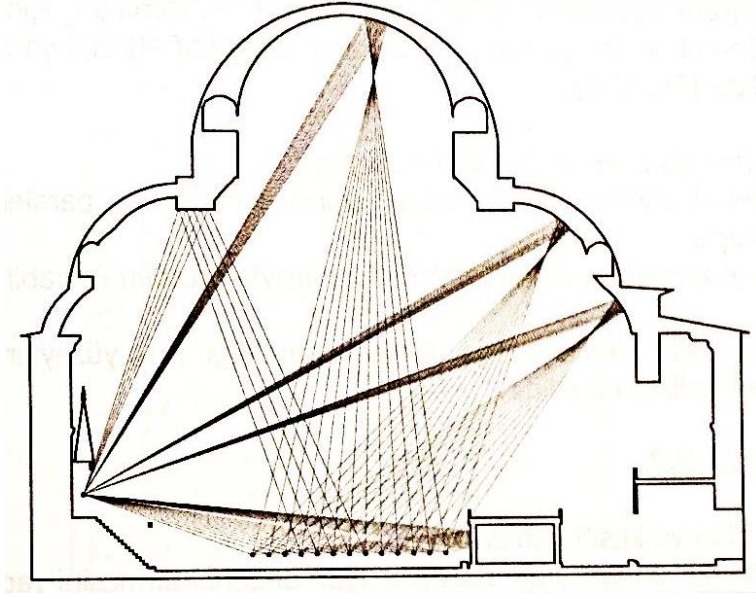
3.2.2. Odaklanma

İç bükey yüzeylerden yansıyan ışınlar bir noktada odaklanma eğilimindedir. Bu durum, odak noktasındaki bir dinleyicinin çok yüksek bir sese maruz kalmasına (hatta ses yeteri kadar gecikirse dinleyici eko şeklinde sesi duyabilir) ya da odak noktasından uzaktaki dinleyicilerin çok az ses duymasına neden olmaktadır ve akustik olarak istenmeyen bir durum oluşmaktadır (Şekil 3.9). Salonun arka duvarı için iç bükey yüzeylerin kullanılması mimari açıdan çekici bulunmasına rağmen bu akustik olarak zayıf bir tasarımdır ve ekoya neden olabilir. Beşik tonoz, kubbe ya da kabuk tavan da akustik bir problemin kaynağı olabilir. Dış bükey yüzeyler ise, sesi farklı yönlerde saçma eğiliminde oldukları için saçıcı yüzeyler olarak oldukça kullanışlıdır [27].

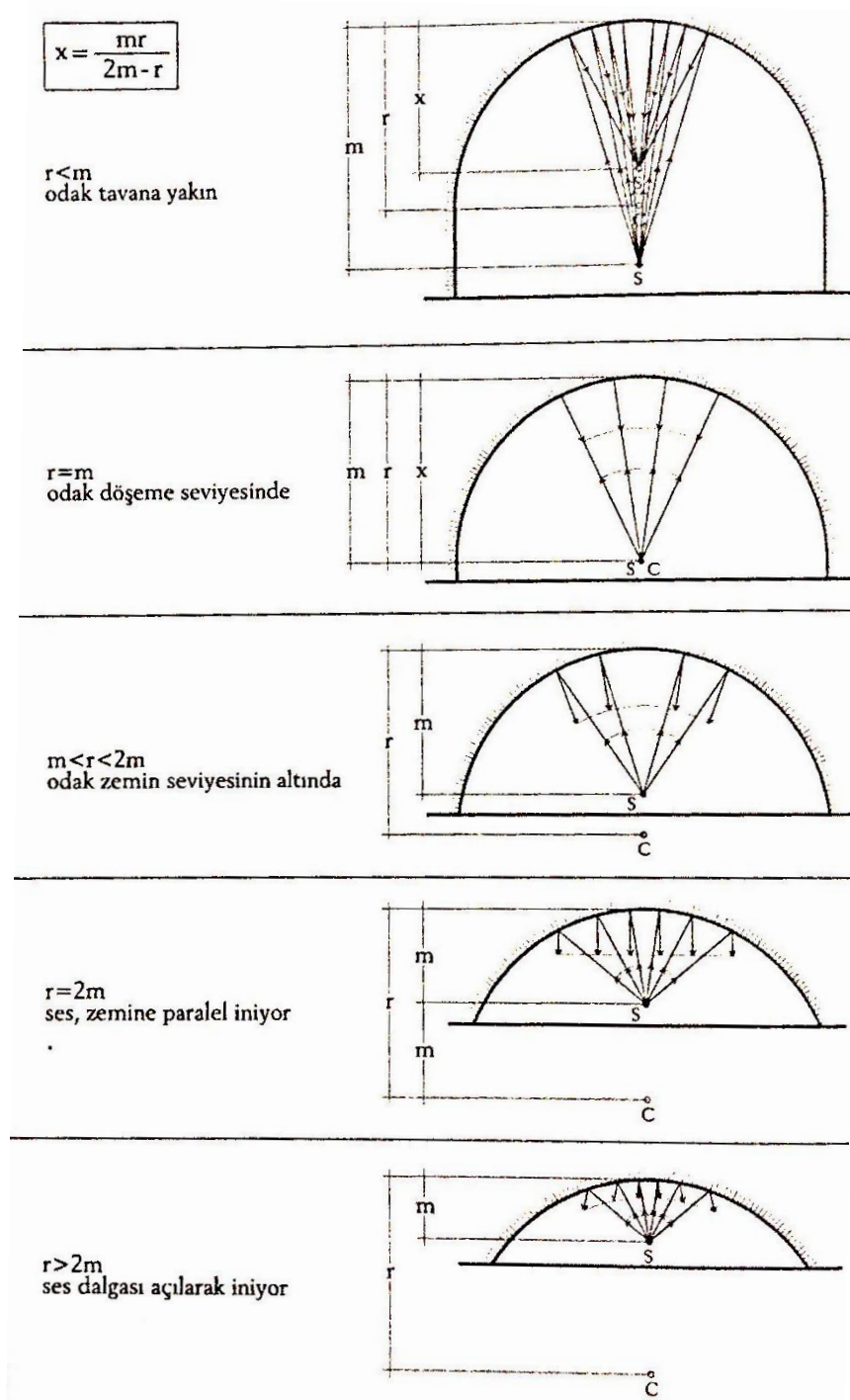


Şekil 3.9. Kubbe ya da kabuk tavan nedeniyle oluşan odaklanma [27]

Sesin odaklanması, içbükey yüzeylerde sesin yansımaya bağlı olarak gerçekleşir. Sesin odaklandığı noktalarda, ses şiddeti doğal olmayan yüksekliktedir [45]. Kubbeli bir camide konuşma eylemi sırasında oluşabilecek odaklanmalar ve yansımalar Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Kubbeli bir camide konuşma eylemi sırasında oluşabilecek odaklanmalar ve yansımalar



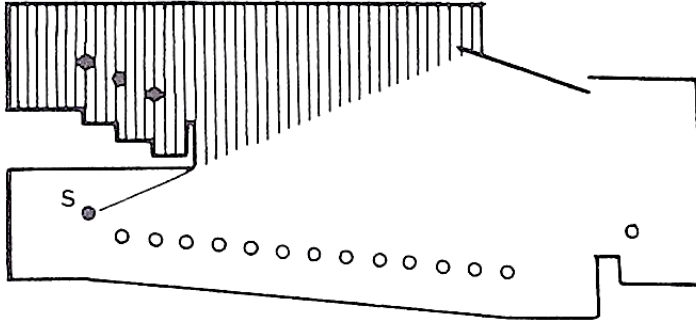
Şekil 3.11. Ses kaynağı ve kubbe uzaklığının odak notası ile ilişkisi [45]

Kubbenin boyutları, odak noktası ve odak noktasının cami zemininden yüksekliği ayarlandığı zaman odaklanma sorununa neden olmamaktadır. Ses kaynağı ve kubbe uzaklığının odak notası ile ilişkisi ve odak noktası hesaplama formülleri Şekil 3.11’de gösterilmektedir.

3.2.3. Akustik gölge

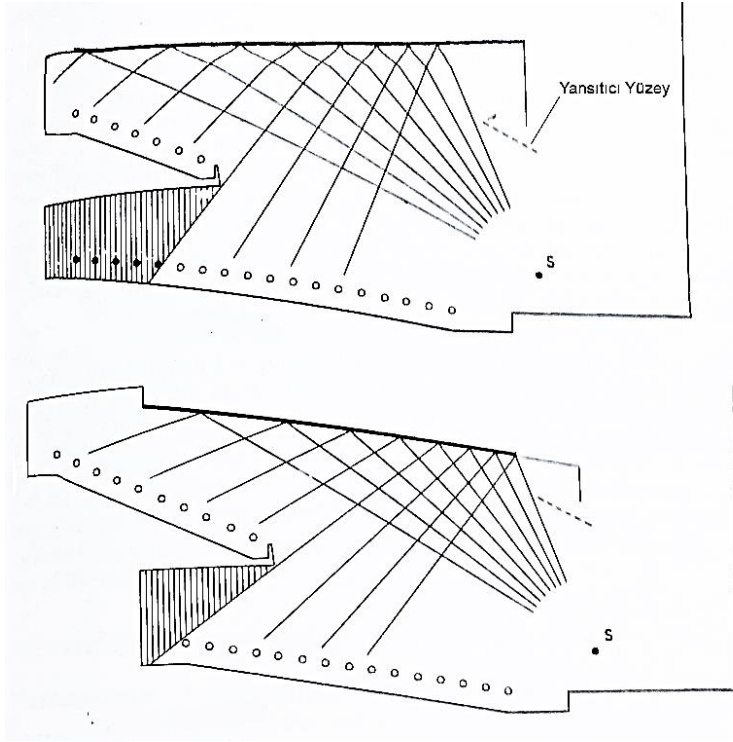
Direkt sesin ya da faydalı ilk yansımaların iletilemediği alanlar için akustik gölge altında olduğu söylenebilir, bir başka deyişle, ölü alanlar olarak ifade edilir.

Galeri katı bulunan bir salonda galeri altında yer alan bir dinleyicinin konuşmaya katılması ile galeride oturan dinleyiciler direkt sesi alamayacaklardır, bu durumda akustik gölge içinde kalmış olurlar (Şekil 3.12) [35]. Camilerde müezzin mahfilinin galeri katı altında yer alması, müezzin mahfilinden yayılan direkt sesin galeri katına ulaşmamasına ve sesin galeri katında zayıf olmasına neden olmaktadır.



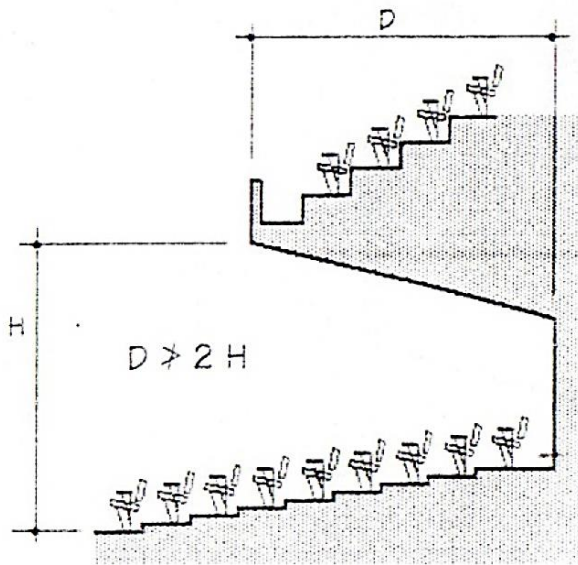
Şekil 3.12. Galeri katındaki akustik gölge [35]

Galeri katı olan dinleyici salonlarında diğer bir problem de, özellikle tavandan gelen faydalı ilk yansımaların galeri altlarına iletilememesi ve sesin akustik gölge nedeniyle buralarda zayıf kalmasıdır (Şekil 3.13). Tavanın eğimli olması ya da kaynak üstüne açılı yerleştirilecek bir yansıtıcı yüzey, bu durumu iyileştirici rol oynar [35]. Camilerde de, kadınlar mahfilinin galeri katında yer alması nedeniyle uzun balkonlar oluşmaktadır. Oluşan balkon altlarında cemaat saf tutmakta ve tavandan gelen ve sesi güçlendirmeye yarayan ilk yansımalarından faydalanamamaktadır.



Şekil 3.13. Galeri katından kaynaklı akustik gölge

Derin balkona sahip salonlarda akustik bir kusur olan akustik gölge etkisi oluşmaması için balkon derinliği, balkon yüksekliğinin 2 katından fazla olmamalıdır (Şekil 3.14) [48,49].



Şekil 3.14. Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki [48,49].

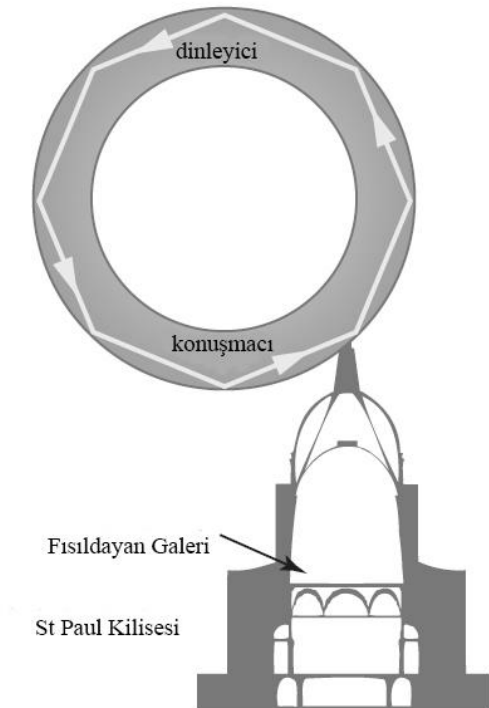
Cami işlevi içerisinde ses kaynağı minber, mihrap ya da kürsüde yer almaktadır. Bu nedenle genellikle galeri katında yer alan kadınlar mahfili direkt sesi alamamaktadır. Yine, kubbeyi

taşıyan ayakların ya da tavanı taşıyan kolonların direkt sesi engellemesi nedeniyle bu ayaklar ve kolonlar arkasında kalan alanlar da akustik gölge altında kalmaktadır.

3.2.4. Fısıldayan galeri - ikincil kaynak

Hafif bir sesi bile özellikle yüksek frekanslarda içbükey yüzeylerde sürünerek yol alması sonucu, kubbe eteğindeki çok uzak bir noktada duyulması olayına fısıldayan galeri denmektedir. Genelde kubbe eteğinin hizası, dinleyicilerin çok üstündeki bir seviyede bulunduğu için bu durum çoğunlukla fark edilmemekte olup kimseyi rahatsız etmez. Kimi zaman bu olay yapının iyi bir akustik özelliği olarak söylenir. Ancak kubbe eteğinde bir galeri yer alması durumunda, sesin bir uçtan işlevi farklı diğer bir bölgeye istenmeyen bir şekilde ulaşmasına sebep olmaktadır [45].

Başka bir deyişle; bir ses kaynağı dairesel bir alanda dış duvara çok yakın şekilde yerleştirilirse, sesin bir kısmı yüzeyde çok dar bir açı ile ilerleyip ve defalarca yansıyıp bütün oda boyunca ilerlemesine fısıldayan galeri denmektedir. Odanın ters tarafında oturan bir dinleyici bile kaynaktan çıkan sesi rahatlıkla duyabilecektir [54]. St. Paul Kilisesi fısıldayan galeri için iyi bir örnek sayılmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Fısıldayan galeri [55]

3.3. Camilerde hacim akustiği performans kriterleri

Konuşmanın anlaşılabilirliği birinci öncelik olmasına rağmen, cami bir konferans salonu ya da bir oditoryum gibi klasik bir konuşma eyleminin gerçekleştiği bir mekan değildir. Bir caminin akustik ortamı, imam ve müezzinin ilettiklerinin algılanabileceği en uygun ortamı sağlarken, ibadetin de ruhani yönüyle tatmin edici olmasını sağlamalıdır. Cami işlevi için mekanın akustik anlamda sönük olmaması, aynı zamanda mekanda aşırı yansımanın da olmaması gerekmektedir. Dolayısıyla, sesin etkisi ve kubbenin fonksiyonu akustik tasarım temellerini belirlemede beraber hesaba alınmalıdır [56].

Camiler insanın inancını yaşadığı ve dünyevi işlerden biraz olsun kopması istenilen mekanlardır, bu nedenle çevre gürültüsünün mekan içerisine girmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Dış yapı elemanlarının ses yalıtım değerlerinin yüksek olması, gürültü kaynağı olabilecek tesisat odası gibi mahallerin namaz holüne bitişik olmaması gibi hususlara dikkat edilmelidir.

Camilerin çevredeki evlerden ve sokaklardan ayrılması için duvarlarla çevrili bir dış avlu yani harim içinde yer alması çevresel gürültüyü engellemeye yardımcı olacaktır.

Camilerde konuşma ve insan sesi ile icra edilen müzik eylemlerinin yapıldığı dini bir mekan olması, konuşmanın belirgin şekilde anlaşılabilir olmasını sağlayacak reverberasyon süresine sahip olurken müziğin de ruhani etki bırakabilmesine yardımcı olacak kadar uzun reverberasyon süresine sahip olması için optimum sürenin tespit edilmesi gerekmektedir.

Camilerde cemaatin yapması gereken bazı ritüeller olduğu için; namaz esnasında imam önderliğinde ve müezzin eşliğinde cemaatin saf düzeninde durması, imam ya da vaizin minber ya da kürsü de konuşması esnasında cemaatin zeminde serbest oturur pozisyonda olması sesin dinleyiciler tarafından algılanması açısından göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir.

İnsanın her frekanstaki ses yutuculuğu yüksek olduğu için cami akustiği tasarlanırken kişi kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir.

Camilerde geleneksel olarak kullanılan kubbe ve tonoz gibi üst örtülerin tavan yüksekliğini artırması ya da camilerde estetik olarak da yüksek tavan istenmesi nedenleri ile reverberasyon süresinin artacağı, kişi başına düşen hava hacminin artacağı, optimum değerleri yakalayabilmek için cami hava hacminin her zaman için göz önünde bulundurulmalıdır.

Camiler hem konuşma işlevini hem müzik işlevini bir arada barındıran yapılar olduğu için hava hacmi açısından çok amaçlı salonlar gibi değerlendirilebilir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Önerilen kişi başına düşen hacim miktarı

Fonksiyon	Hacim (m ³ /Kişi)			
	Doelle [57]			Maekawa [58]
	Min	Max	Önerilen	Önerilen
Konuşma	2.3	4.3	3.1	4-6
Tiyatro-Sinema	2.8	5.1	3.5	4-6
Opera	4.5	7.4	5.7	6-8
Çok amaçlı salon	5.1	8.5	7.1	6-8
Konser salonu	6.2	10.8	7.8	8-10

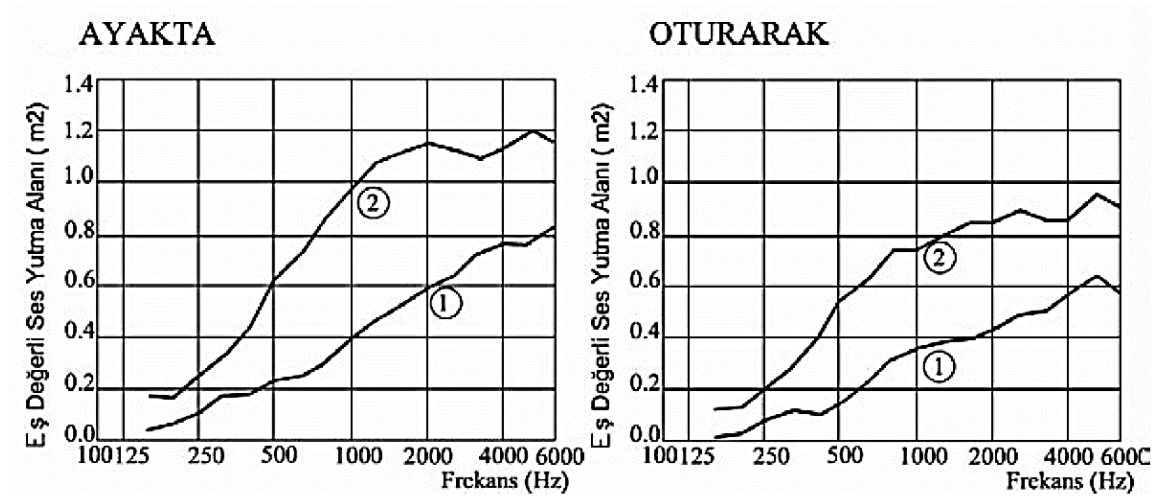
Namaz esnasında imam kıbleye dönük yani cemaate arkası dönmüş şekilde komut verdiği için mihrabın yansıtıcı malzemeler ile kaplanması ve ilk yansımaların cemaate ulaşması, yine aynı şekilde müezzin mahfili etrafındaki yüzeylerde de yansıtıcı yüzeyler kullanılması müezzinden çıkan sesin ilk yansımalarının ilerilere iletilmesine yardımcı olacaktır.

Namaz esnasında imam ile cemaat aynı seviyede olduğu için, imamdan çıkan direkt ses arka taraflara iletilmeden cemaat tarafından yutulmaktadır. Bu nedenle ibadet alanının basamaklı yapılması ile direkt sesin arka saflara kadar yutulmadan iletilmesi sağlanarak cami sahnına yeni bir yorum getirilebilir.

Camilerde karşılaşılabilecek akustik kusurlardan eko, odaklanma, fısıldayan galeri, ölü noktalar ve akustik gölgeler gibi camilerde karşılaşılabilecek akustik kusurların oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Camilerde örtü olarak kullanılan kubbenin odak noktası önceden hesaplanmalı ve cemaat ile aynı seviyede olmamasına dikkat edilmelidir.

Tekrarlayan ekonun önüne geçebilmek için paralel duvarlarda saçıcıların bulunmasına dikkat edilmelidir. Kadınları mahfilinin yer aldığı asma katın varlığı, pencerelerin girintili ya da çıkıntılı olması saçıcılığa yardım edecektir. Aynı zamanda camilerde kullanılan Mukarnas, Türk üçgeni gibi hem geçiş hem süsü elemanları da sesin saçılmasına yardımcı olur.

Zemin kaplaması olarak kullanılan halının insan yutuculuğuna yakın değerlerde yutuculuk özelliği göstermesi, dolu- boş cami arasında akustik parametre değerlerinin aynı kalmasına yardımcı olacaktır. İnsanların ayakta dururken oturmasına oranla özellikle yüksek frekanslarda daha yutucu değer aldığı Şekil 3.16’da ifade edilmektedir.



Şekil 3.16. İnsanların frekanslara göre yutuculuk katsayıları [59]

Her hacmin kullanılışına ve işlevine bağlı olarak kabul edilebilir bir arka plan gürültüsü bulunmaktadır. Dini mekanlar için ülkemiz mevzuatında arka plan gürültüsüne yönelik bir sınır değer bulunmamakla birlikte, camiler için arka plan gürültü seviyesi 34 dBA veya gürültü kriteri NC-25’i aşmamalıdır [45,60].

Literatürden elde edilen veriler doğrultusunda, cami akustiğine yönelik ilgili parametrelerin optimum değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Cami hacim akustiği parametreleri optimum değerleri

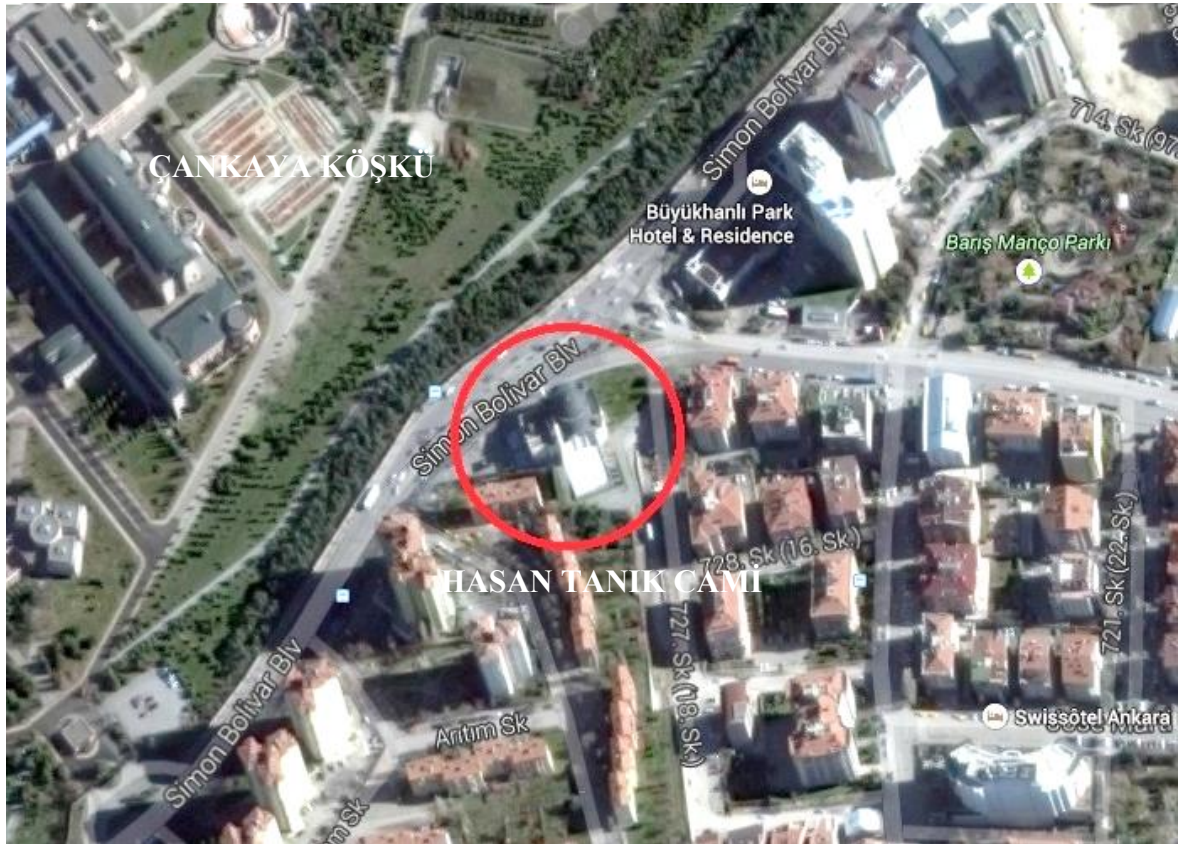
Hacim Akustiği Parametreleri	Kaynaklar	Kabul Edilebilir Değerler		
		Konuşma İşlevi	Müzik İşlevi	Cami
RT Reverberasyon Süresi, sn (500-1000 Hz ort.)	Karabiber Yüksel [61,62]	-	-	2,7 sn – 3,2 sn
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	-	1,0 sn - 3,0 sn	-
D50 Konuşmanın Belirginliği (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	0,30 – 0,70	-	-
C80 Sesin Berraklığı, dB (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	-	-5 dB- +5 dB	-
	Beraneck [64]		-4 dB - +4 dB	
	Odeon [53]		-1 dB- +1dB	
STI Konuşmanın İletim İndeksi	Odeon [53]	0,45<orta<0,60 0,60 <iyi< 0,75 0,75 <çok iyi<1,00	-	-
Δ SPL(A) Ağırlıklı Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	Tachibana ve ark. [65]	Δ SPL(A) < 10 dBA		-

4. BİR ÖRNEKLEM: HASAN TANIK CAMİİ AKUSTİK ANALİZİ

4.1. Mekansal ve Yapısal Özellikler

Hasan Tanık Camii, günümüzde Başbakanlık Binası (eski Cumhurbaşkanlığı Köşkü) olarak kullanılan Çankaya Köşkü karşısında konumlanması açısından önem arz etmektedir. Konumundan dolayı halk arasında “Köşk Camii” olarak da bilinmektedir. Güvenlik açısından minare boyu diğer camilere göre nispeten kısadır. Hem Mimar Sinan Camilerine öykünen, hem de 20. yy teknolojisiyle inşa edilmiş ve modern dokunuşlar içeren bir örnek olması, içerisinde kadınlar ve müezzin mahfili bulundurması ve cuma camisi olması, caminin seçilmesindeki nedenleri oluşturmaktadır.

2010 yılında kullanıma açılmış caminin mimarları Mustafa Şahin ve Mutlu Şahin’dir. Resim 4.1’de Hasan Tanık Camii ile Çankaya Köşkü’nün karşılıklı konumu görülmektedir.



Resim 4.1. Hasan Tanık Camii uydu görüntüsü



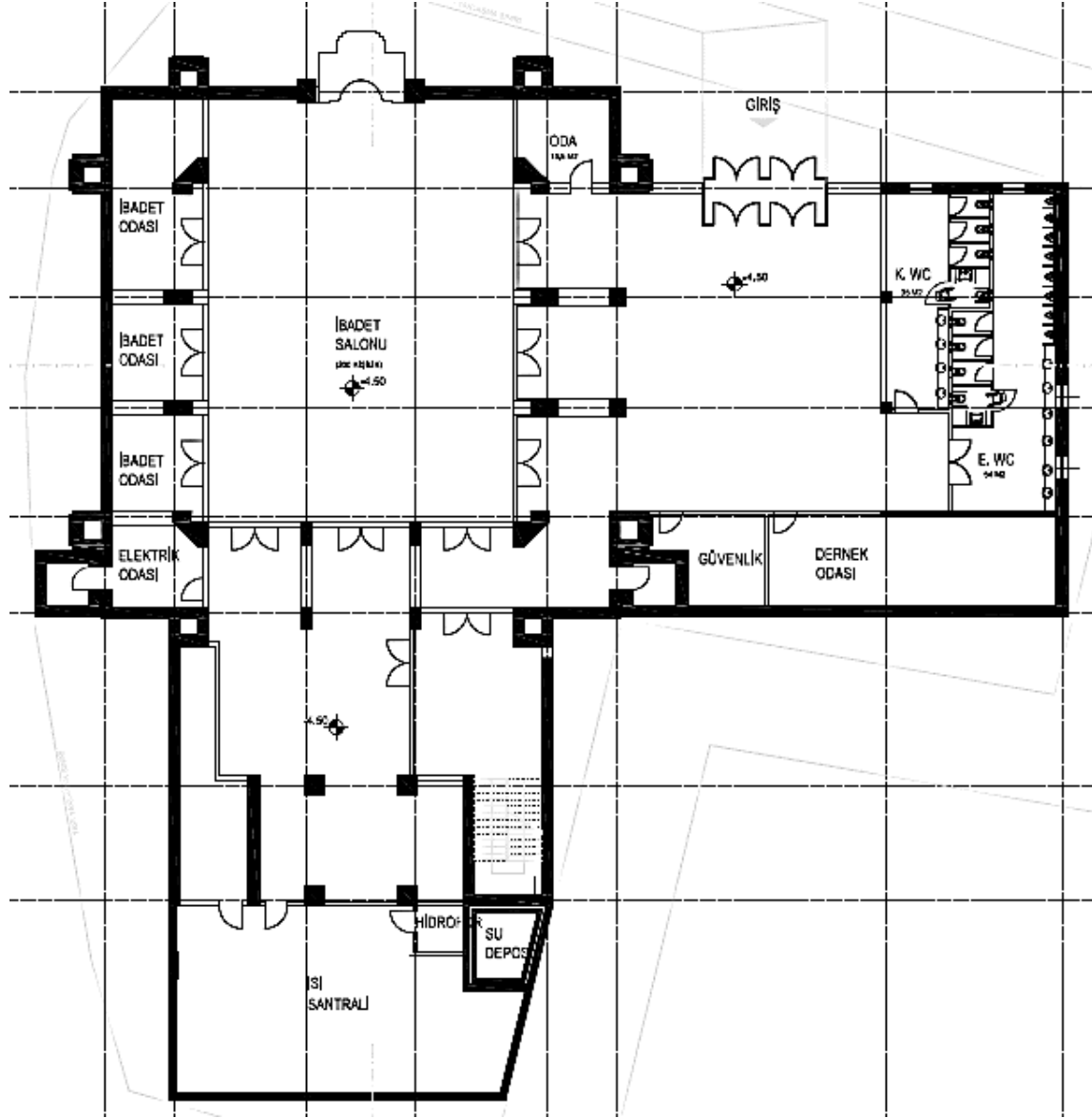
Resim 4.2. Hasan Tanık Camii ön cephe görüntüsü [18]

Bir caminin nereye yapılacağı kararlaştırılırken şehir ve trafik gürültüsünden uzak olmasına dikkat edilmelidir. Eski dönem camilerinin, camiye çevredeki evlerden ve sokaklardan ayırmak için duvarla çevrilmesinin yani harim içinde yer almasının nedenlerinden biri de budur.

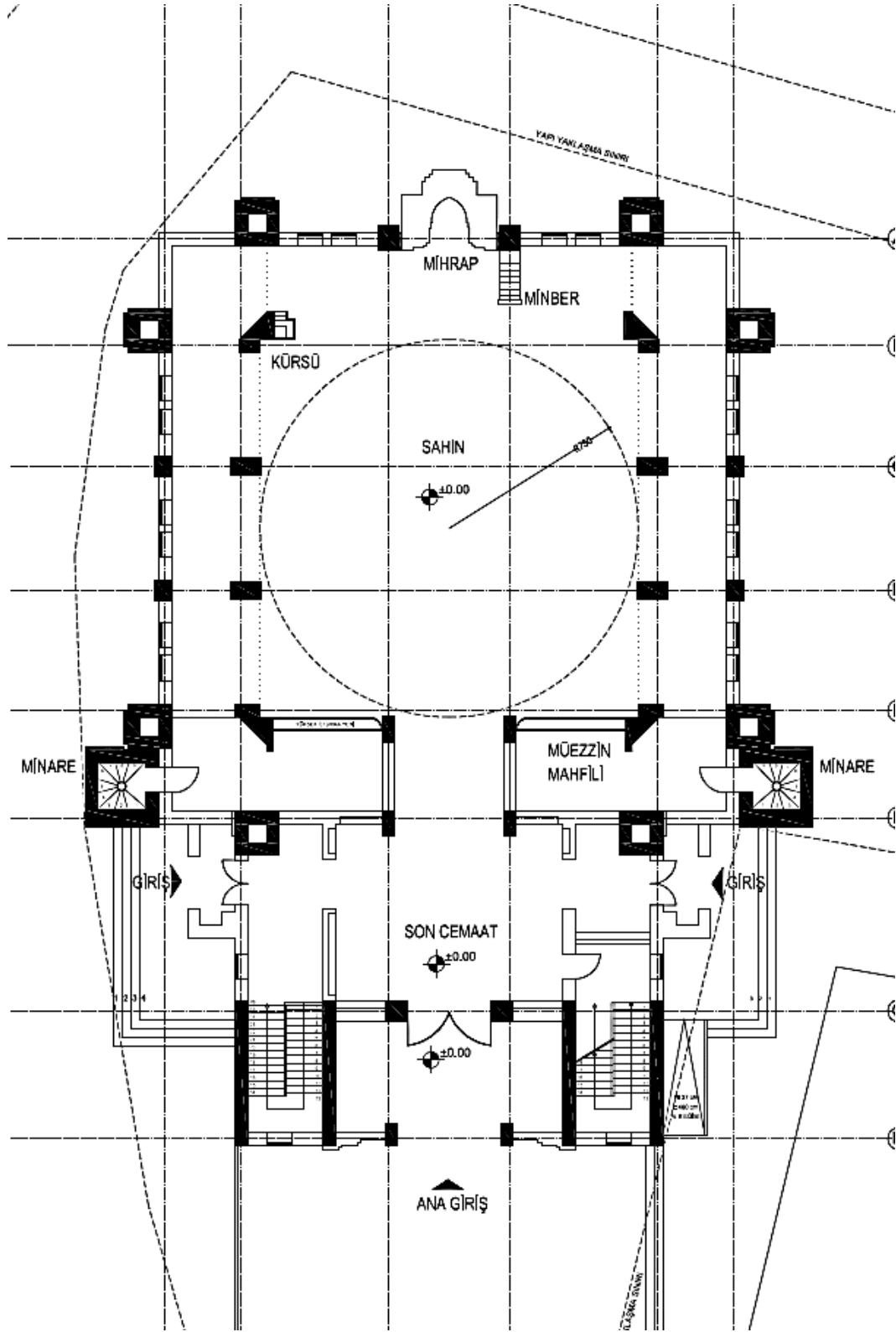
Hasan Tanık Camii'nin bir cephesi bulvar ile bitiş olduğundan, cami trafik gürültüsüne maruz kalmaktadır. Diğer bir cephesi ara yol ile bitişik, diğer iki cephesi ise kendi bahçesi ile çevrilidir. Bahçesinde peyzaj kullanılmış olsa da gürültüyü engellemek için yeterli değildir. Ayrıca, caminin yakınında haftanın belli günlerinde bir pazar kurulduğundan özellikle o zamanlarda yoğun bir trafik oluşmaktadır ve bu yönden gelen gürültüye karşı tampon bölge bulunmamaktadır.

Cami, bodrum, zemin ve asma kattan oluşmaktadır. Bodrum katta, personel ofisleri, mekanik hacimler, kadın/erkek wc ve abdesthane, itikafa çekilmek için kullanılan ibadet odaları ve

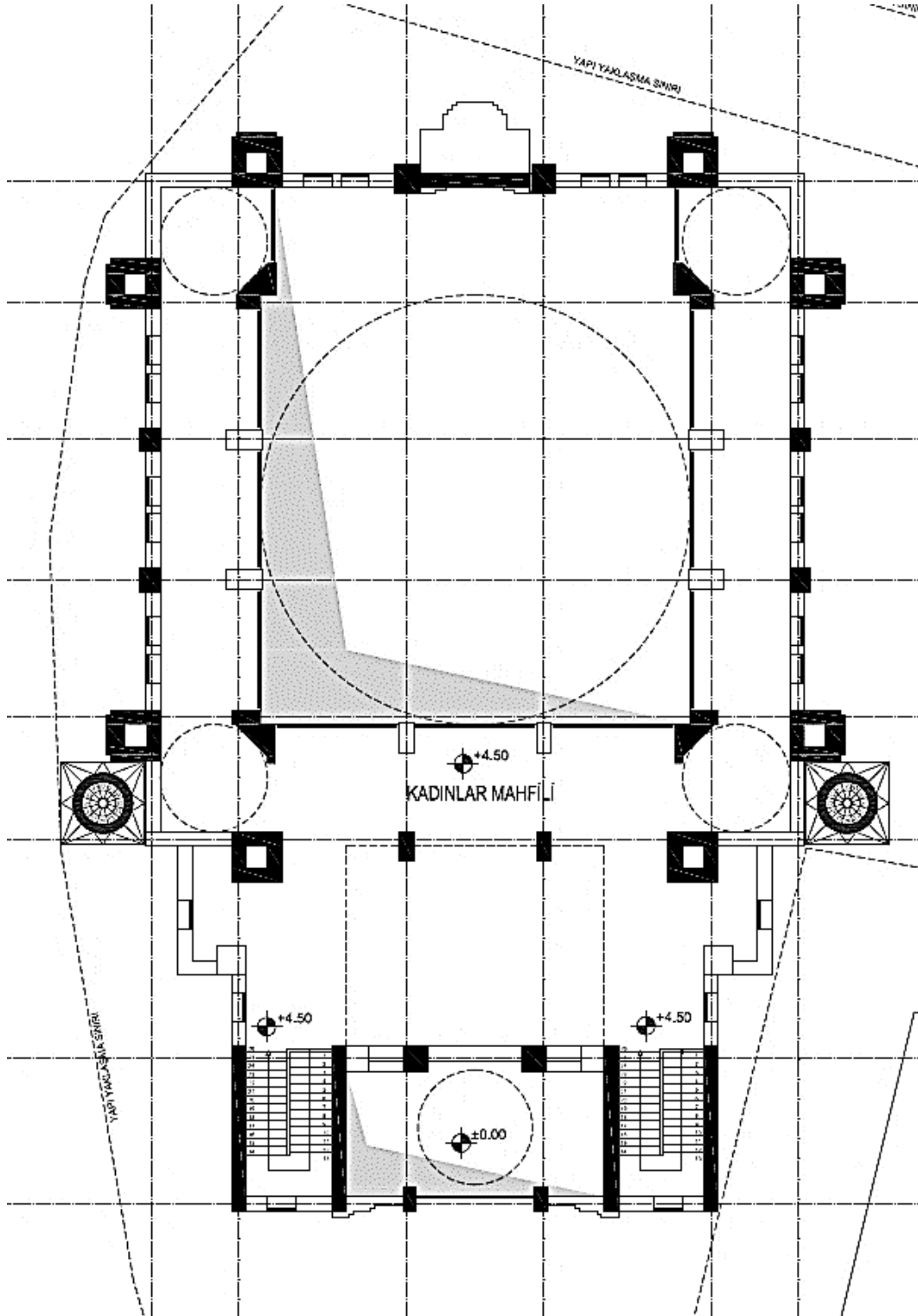
ilave bir ibadet alanı; zemin katta, son cemaat yeri, sahnın, müezzin mahfili; asma katta ise kadınlar mahfili bulunmaktadır.



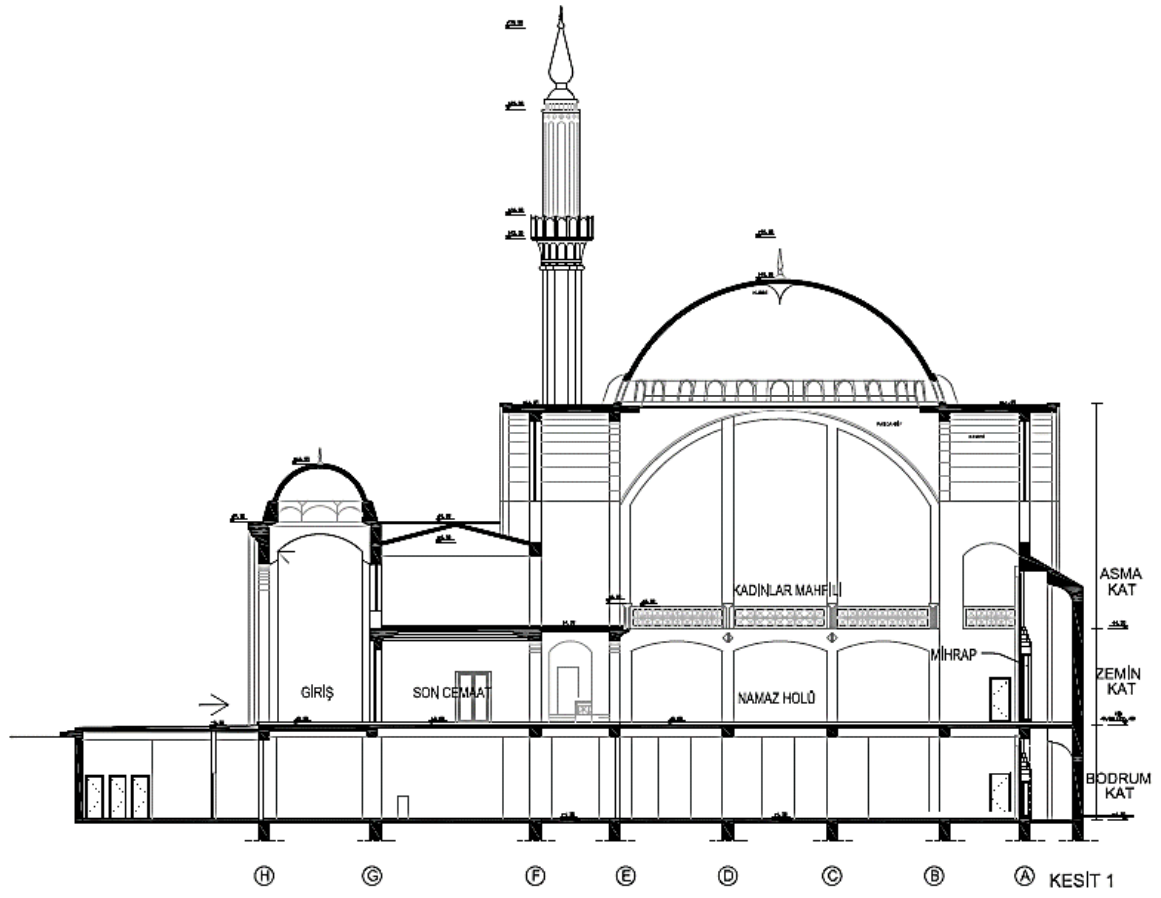
Şekil 4.1. Hasan Tanık Camii bodrum kat planı



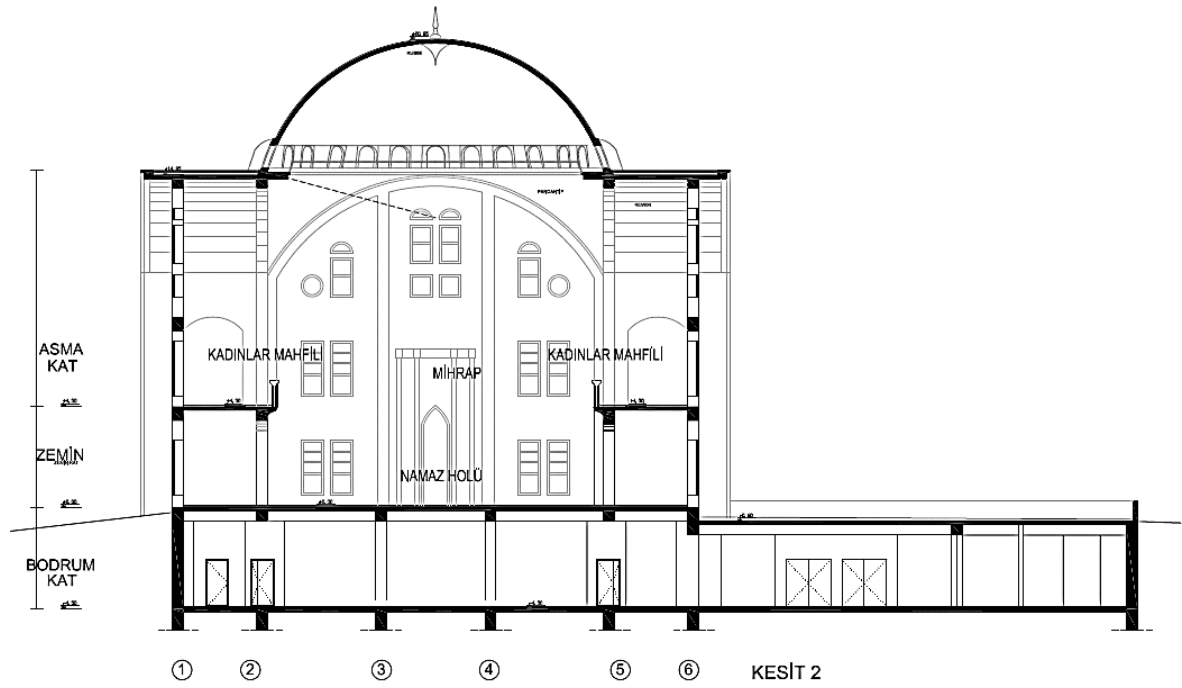
Şekil 4.2. Hasan Tanık Camii zemin kat planı



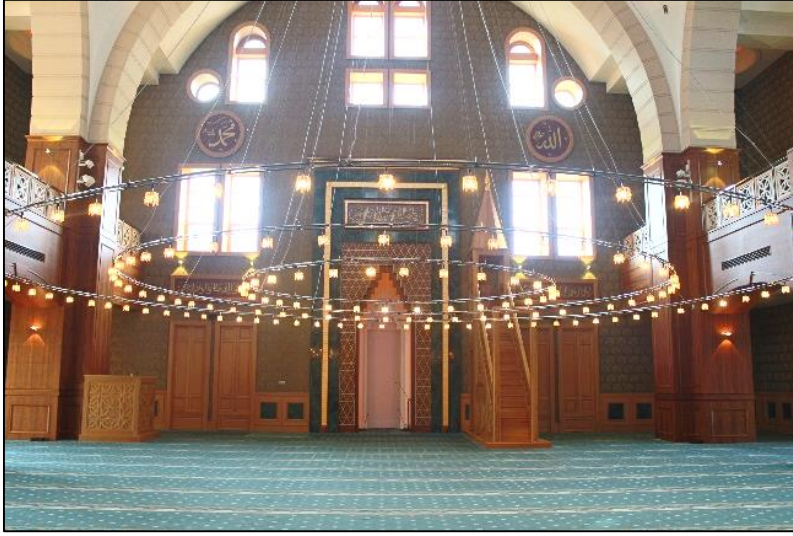
Şekil 4.3. Hasan Tanık Camii asma kat planı



Şekil 4.4. Hasan Tanık Camii kesit 1

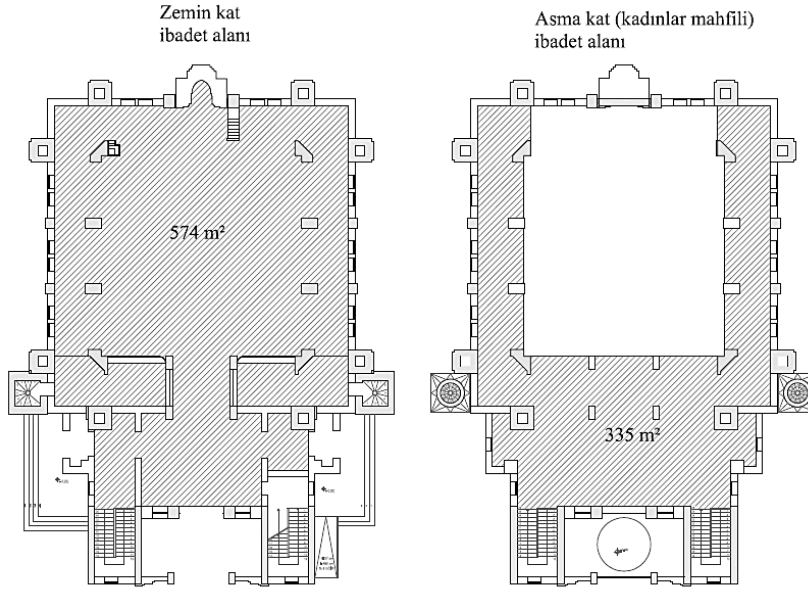


Şekil 4.5. Hasan Tanık Camii kesit 2



Resim 4.3. Hasan Tanık Camii namaz holünden görüntüler [18]

Caminin ibadet alanı, 4 kemer ve pandantiflerle desteklenmiş olup bir orta kubbe ve 4 köşe kubbe ile örtülmüştür. Orta kubbe; 15x15 m kare plana oturmaktadır. Kubbe yarıçapı 7,76 m olup zemin kattan yüksekliği 20 m'dir.



Şekil 4.6. Hasan Tanık Camii ibadet alanı (m²)

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere, yaklaşık 900 m² ibadet alanına sahip olan cami, yaklaşık 1000 kişinin aynı anda namaz kılmasına imkan sağlamaktadır. İbadet alanı toplam hacmi; yaklaşık 8800 m³’tür. Kişi başına düşen hacim 8,8 m³/kişi olup bu değer göz önüne alındığında caminin konuşmadan çok ilahiler için uygun olduğu düşüncesini doğurmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Hasan Tanık Camii'nin fiziksel özellikleri ile ilgili veriler

Özellik	Veri
Toplam salon hacmi	8800 m ³
Toplam ibadet alanı	900 m ²
Kapasite	1000 kişi
Kişi başına düşen hacim	8,8 m ³

İç yüzey elemanları: Sahında bulunan kolonlar ve duvarlar zeminden 1m’ye kadar ahşap kaplamadır. Duvarlarda ahşap kaplamadan sonra dokulu olmayan duvar kağıdı bulunmaktadır. Ana kubbe ve köşe kubbeler ile kemerler ve pendentiflere alçı sıva ve boya uygulanmıştır. Caminin kare planlı olması nedeniyle karşılıklı duvarlar birbirine paraleldir. Son cemaat alanı hacim olarak sahnın ile birleşmekte olup son cemaatin tavanı düz alçı panel tavadır ve mekanın duvarlarında ahşap ayakbaşıklar bulunmaktadır. Cami içinde kullanılan kapılar ahşaptır.

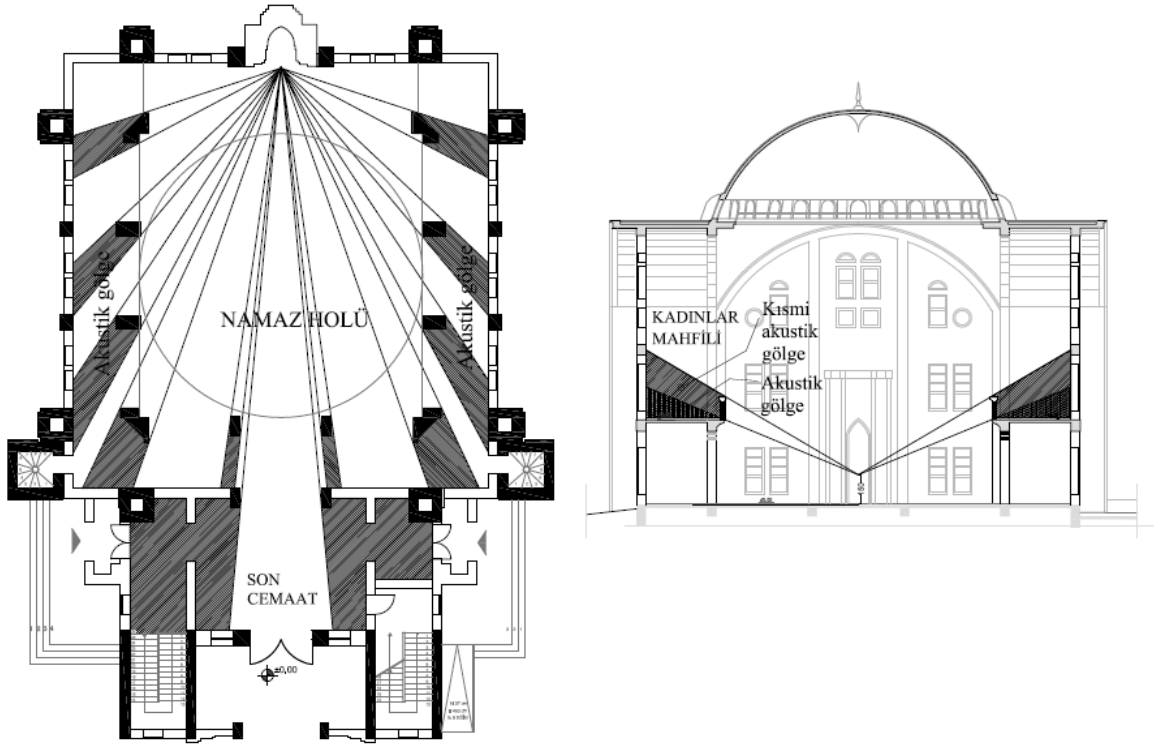
Minber ve kürsü ahşap kaplamadır. İmamın namaz esnasındaki sesinin yansıyarak arka saflara ulaşmasına yardımcı olmak için, mihrapta yansıtıcı yüzeyler kullanılmıştır. Mihrabın iç kısmı sıva, dış sövesi mermer kaplamadır.

Camide kullanılan pencereler sayesinde gün içinde yeterli aydınlık sağlanmaktadır. Caminin iç ve dış aydınlatma tasarımına özellikle önem verilmiş olup dış aydınlatma alanında çeşitli ödülleri bulunmaktadır.

Caminin namaz holü zemin kaplaması halıdır. Camide beton zemin üzerine serilmiş halı kullanıldığı için, cami için özellikle yüksek frekanslı seslerin yutulmasında önemli bir role sahiptir.

Akustik kusurlar: Camilerde en sık görülen akustik problemlerden biri olan odaklanma sorunu için daha önceki bölümlerde verilmiş olan (Bkz. Şekil 3.11) odaklanma formülünü kullandığımızda, Hasan Tanık Camii’de odaklanma sorunu yaşanmadığı, odaklanmanın zeminden yaklaşık 15,10 m yüksekte olduğu tespit edilmiştir.

Hasan Tanık Camii’nin sahnı asma katı taşıyan kolonlar ile bölündüğü için vaaz ve hutbe esnasında kolon arkalarında akustik gölge oluşmaktadır. Namaz esnasında müezzinin varlığı kaynak sayısını ikiye çıkardığı için konuşma eylemine oranla kıraat esnasında akustik gölge olan alanların miktarı azalmaktadır. Ayrıca kadınlar mahfili kaynaktan gelen direkt sesi alamadığı için akustik gölgeye maruz kalmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Hasan Tanık Camii'nde oluşan akustik gölgeler

4.2. Alan Ölçüm Yöntemi ile Analiz

Caminin, akustik alan ölçümleri 11 Nisan 2015 günü, TS EN ISO 3382-1 [63] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri yapılan parametreler caminin hacim akustiği koşulları açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi için yeterli veri oluşturmuştur.

Ölçümler, cami boşken yapılmıştır. Düzenek Brüel&Kjaer marka cihazlar (Resim 4.4) kullanılarak ve standartlara uygun şekilde kurulmuştur. Cihazlar aşağıda listelenmiştir:

Ses Kaynağı (122dB-re:1 pW)

2734-A Güç yükselticisi (500 W)

4192 ½ inç mikrofon

2669-B mikrofon önyükselticisi



Resim 4.4. Ölçüm cihazları [18]

Salon içerisinde belirlenen alıcı ve kaynak noktaları için genel kabuller aşağıda listelenmiştir.

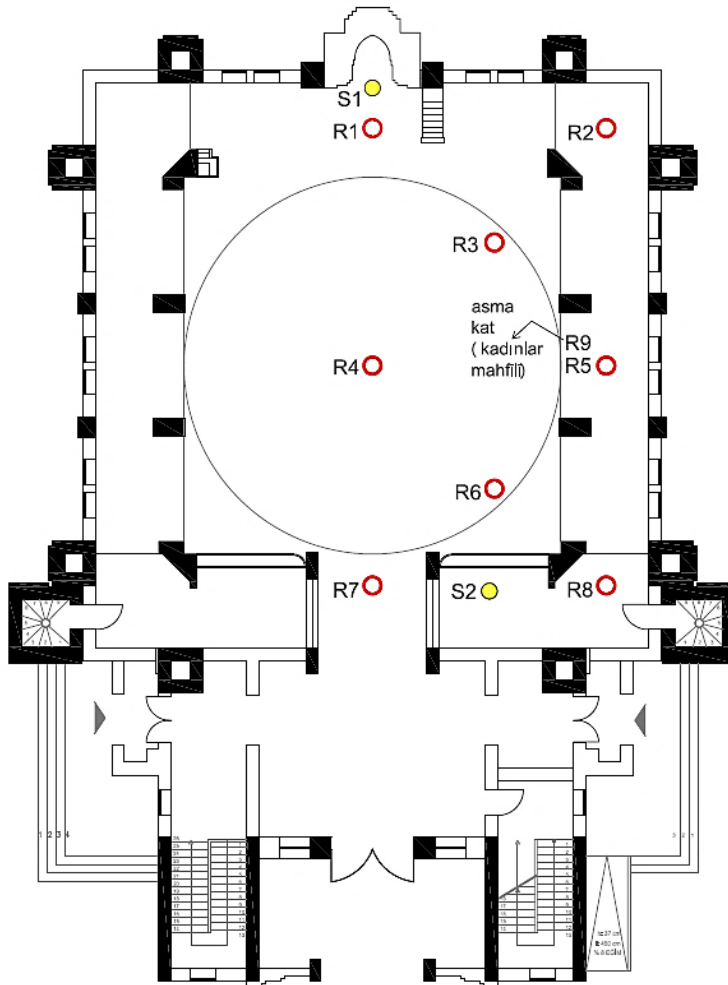
Çizelge 4.2. Alan ölçümündeki alıcı ve kaynak noktaları için genel kabuller

TS EN ISO 3382-1	Ölçümdeki kabuller
Hoparlör, ses yükseltici, ses analizörü ve mikrofondan oluşan bir düzenek kurulmalıdır.	Kurulmuştur.
Ölçüm yapılacak kaynak omnidirectional (çok yönlü) ses kaynağı olmalıdır.	Omni kullanılmıştır.
En az iki kaynak noktası belirlenmeli ve ses kaynağı ile alıcılar doğal yerlerine koyulmalıdır.	Mihraba ve müezzin mahfiline kaynak koyulmuştur.
Kaynak ve alıcı arasındaki mesafe en az 1,5 m olmalıdır.	2 m mesafe bırakılmıştır.
Kaynak zeminden 1,5 m yüksekte olmalıdır.	1,5 m yüksekliğe ayarlanmıştır.
Reverberasyon süresi ölçümleri için tüm salonu ifade edecek alıcı noktaları seçilmelidir ve özellikle salondaki farklı akustik koşullara sahip olması muhtemel yerlere alıcı yerleştirilmelidir.	Caminin simetrik olması nedeniyle yarısına 9 adet alıcı yerleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. (devam) Alan ölçümündeki alıcı ve kaynak noktaları için genel kabuller

Mikrofonlar aralarında en az 2 m mesafe olacak ve çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden ve zeminden en az 1m uzak olacak şekilde yerleştirilmelidir.	Mesafeler korunmuştur.
Salonlardaki dinleyici sayılarına göre yerleştirilmesi gereken minimum alıcı sayıları şöyledir: 500 Kişi – en az 6 nokta 1000 Kişi – en az 8 nokta 2000 Kişi – en az 10 nokta	İbadet alanı yaklaşık 1000 kişiliktir. Caminin simetrik olması nedeniyle yarısına 9 adet alıcı yerleştirilmiştir.
Ölçümler, tüm ölçüm koşullarını ve sonuçlarını belirtecek şekilde raporlanmalıdır.	Rapor edilmiştir.

Şekil 4.8’de görüldüğü üzere, Hasan Tanık Camii için caminin yarısında konumlanan 2 kaynak noktası ve 9 alıcı noktası belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Hasan Tanık Camii kaynak ve alıcı noktaları

Omnidirectional ses kaynağı namaz işlevi sırasındaki kullanım şekline, imamın ve müezzinin doğal pozisyonlarına göre mihrap ve müezzin mahfili olmak üzere iki noktaya, imam ve müezzinin zeminden ağız mesafesini temsilen yerden 1,5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir (Resim 4.5).



Resim 4.5. Hasan Tanık Camii ölçüm anında kaynağın konumu [18]

Mikrofon sayısı, yaklaşık 1000 kişilik cami kapasitesi göz önüne alınarak standarda uygun olması açısından 9 adet olarak tespit edilmiştir. Cami planı simetrik olduğundan planın yarısında homojen olarak dağıtılmıştır. Alıcı yerleri aralarında en az 2 m mesafe bırakılarak namaz esnasında cemaatin yaklaşık zeminden kulak mesafesi için 1,5 m yükseklikte ve

çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden en az 1 m mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır (Resim 4.6).

Alıcı noktaları farklı akustik özelliklere sahip olması muhtemel noktalara dikkat edilerek ana kubbe altı, köşe kubbe altları, mihrap önü, kolon arkaları, kadınlar mahfili gibi noktalara yerleştirilmiştir.



Resim 4.6. Hasan Tanık Camii ölçüm anında mikrofön yerlerinden örnekler [18]

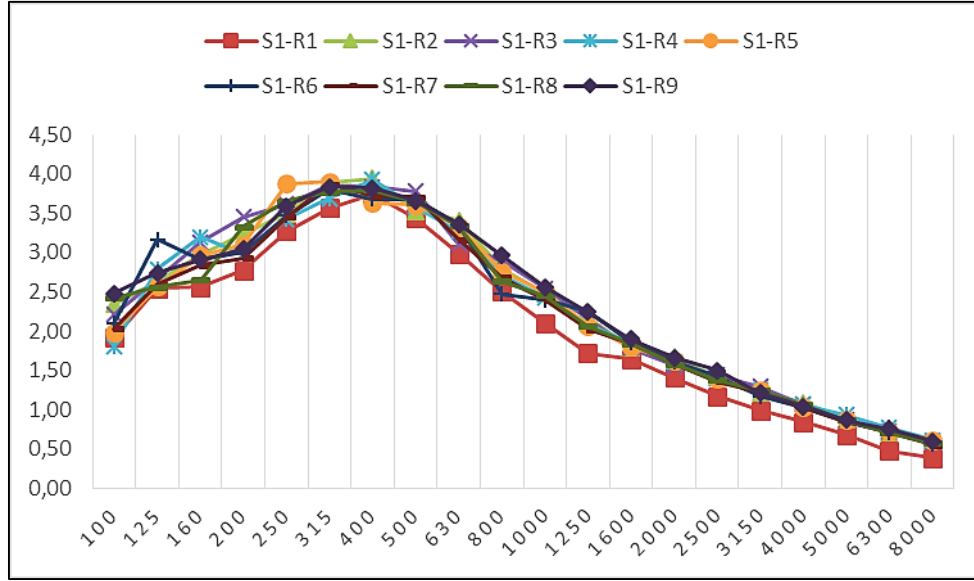
Camideki ses güçlendirme sistemleri ölçüm esnasında kapalı durumdadır. Ölçüm esnasındaki bağıl nem %29 ve ortam sıcaklığı 19 derecedir.

Caminin sahnında S1 ve S2 kaynakları için R1-R9 kaynaklarında, tüm frekans spektrumlarında aynı ses seviyesine sahip olacak şekilde 95 dB pembe gürültü sinyali verilerek 100 Hz ve 8000 Hz arasındaki frekanslar için hem reverberasyon süresi (RT) hem de ses basınç seviyesi (SPL) ölçümleri yapılmıştır. Cami zeminin halı kaplı olması hacmin yutuculuğunu artırdığından hacim boşken yapılan reverberasyon süresi ölçüm değerleri ile hacim dolu iken yapılacak reverberasyon ölçüm değerlerinin benzer olacağı düşünülmektedir.

Reverberasyon süresi (RT) alan ölçümü sonuçları: Camide mihrap önüne yerleştirilen S1 kaynak noktası için R1-R9 alıcı noktalarında elde edilen 100-8000 Hz arasındaki RT değerleri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri (sn)

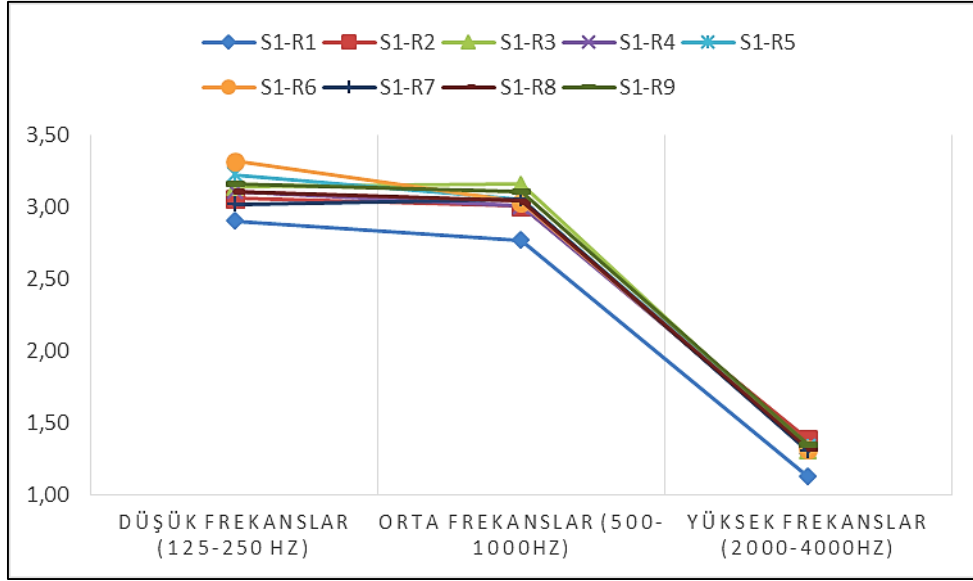
Frekans	S1-R1	S1-R2	S1-R3	S1-R4	S1-R5	S1-R6	S1-R7	S1-R8	S1-R9	Ort.
100	1,91	2,34	2,21	1,81	1,99	2,09	2,03	2,42	2,48	2,14
125	2,54	2,63	2,66	2,79	2,57	3,17	2,59	2,56	2,74	2,69
160	2,56	2,98	3,13	3,20	2,96	2,91	2,84	2,65	2,91	2,90
200	2,77	3,23	3,45	2,98	3,10	3,01	2,93	3,33	3,04	3,09
250	3,27	3,49	3,62	3,43	3,88	3,47	3,45	3,66	3,59	3,54
315	3,57	3,89	3,85	3,69	3,90	3,81	3,87	3,77	3,84	3,80
400	3,75	3,94	3,84	3,93	3,63	3,68	3,72	3,80	3,82	3,79
500	3,44	3,53	3,78	3,58	3,61	3,67	3,71	3,64	3,66	3,62
630	2,99	3,41	3,11	3,27	3,33	3,35	3,17	3,34	3,36	3,26
800	2,50	2,79	2,90	2,72	2,76	2,47	2,68	2,63	2,96	2,71
1000	2,10	2,48	2,54	2,43	2,50	2,40	2,40	2,45	2,56	2,43
1250	1,72	2,17	2,16	2,09	2,07	2,25	2,02	2,06	2,24	2,09
1600	1,64	1,79	1,78	1,84	1,80	1,86	1,85	1,84	1,90	1,81
2000	1,41	1,68	1,56	1,61	1,63	1,61	1,58	1,58	1,66	1,59
2500	1,17	1,41	1,44	1,39	1,39	1,42	1,36	1,37	1,50	1,38
3150	0,99	1,21	1,29	1,24	1,24	1,17	1,23	1,24	1,21	1,20
4000	0,84	1,09	1,06	1,06	1,03	1,02	1,03	1,06	1,04	1,03
5000	0,68	0,87	0,87	0,93	0,87	0,85	0,85	0,87	0,87	0,85
6300	0,47	0,71	0,73	0,77	0,72	0,71	0,72	0,70	0,75	0,70
8000	0,38	0,61	0,60	0,61	0,61	0,56	0,55	0,57	0,60	0,57



Şekil 4.9. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri grafiği

Çizelge 4.4. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)

	Düşük Frekanslar (125-250 Hz)	Orta Frekanslar (500-1000 Hz)	Yüksek Frekanslar (2000-4000 Hz)
S1-R1	2,91	2,77	1,13
S1-R2	3,06	3,01	1,39
S1-R3	3,14	3,16	1,31
S1-R4	3,11	3,01	1,34
S1-R5	3,23	3,06	1,33
S1-R6	3,32	3,04	1,32
S1-R7	3,02	3,06	1,31
S1-R8	3,11	3,05	1,32
S1-R9	3,17	3,11	1,35
Ort.	3,12	3,03	1,31

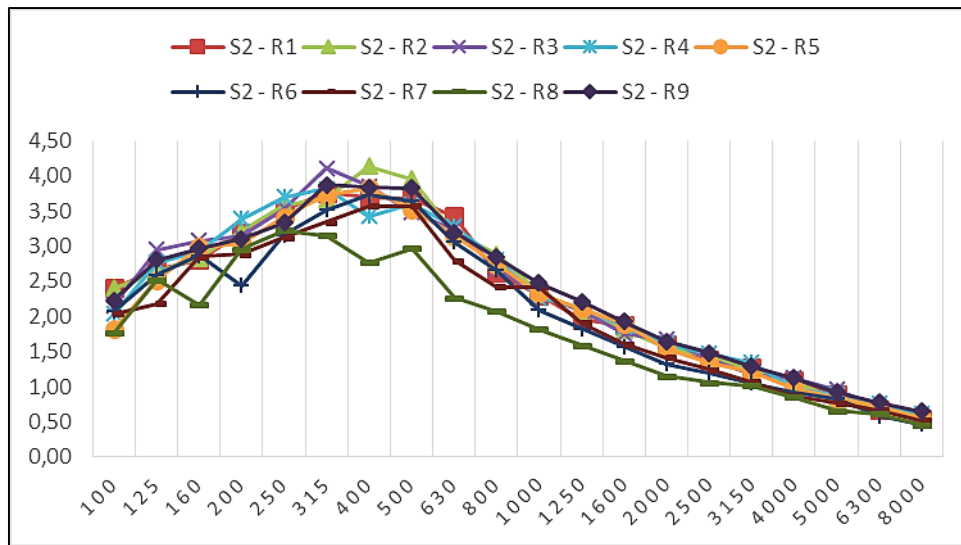


Şekil 4.10. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği

Müezzin mahfiline yerleştirilen S2 kaynak noktası için R1-R9 alıcı noktalarında elde edilen 100-8000 Hz arasındaki RT değerleri Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri (sn)

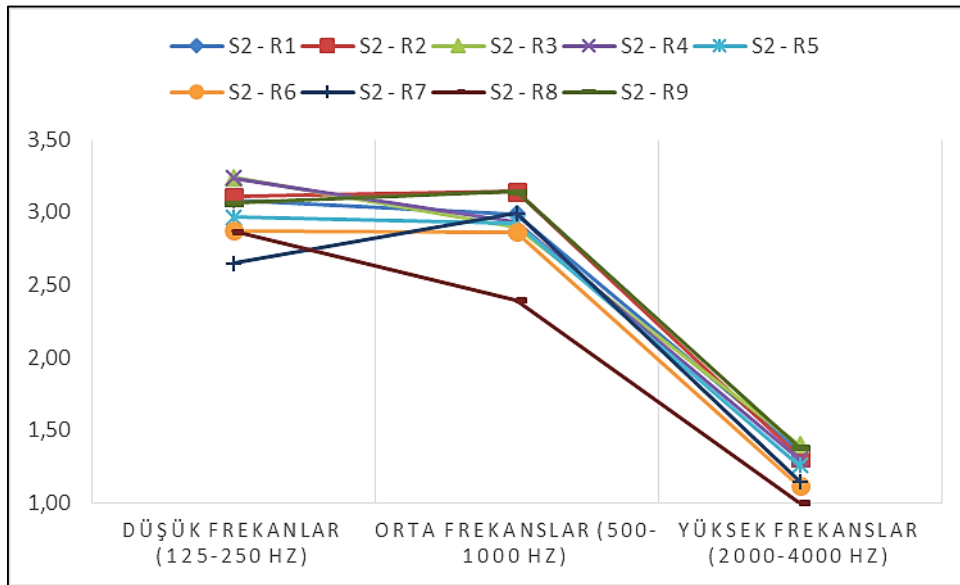
Frekans	S2 - R1	S2 - R2	S2 - R3	S2 - R4	S2 - R5	S2 - R6	S2 - R7	S2 - R8	S2 - R9	Ort.
100	2,40	2,40	2,15	2,04	1,82	2,07	2,04	1,76	2,23	2,10
125	2,67	2,64	2,95	2,77	2,52	2,59	2,18	2,52	2,80	2,63
160	2,80	2,83	3,08	2,92	2,98	2,87	2,85	2,16	2,97	2,83
200	3,19	3,21	3,14	3,39	3,04	2,44	2,88	2,96	3,10	3,04
250	3,50	3,58	3,53	3,70	3,41	3,16	3,12	3,22	3,33	3,39
315	3,76	3,67	4,11	3,81	3,72	3,51	3,34	3,15	3,87	3,66
400	3,69	4,13	3,85	3,42	3,82	3,72	3,57	2,77	3,83	3,64
500	3,68	3,95	3,48	3,60	3,52	3,64	3,57	2,97	3,82	3,58
630	3,42	3,18	3,24	3,28	3,14	3,06	2,79	2,26	3,19	3,06
800	2,62	2,88	2,68	2,81	2,74	2,66	2,42	2,07	2,84	2,64
1000	2,30	2,34	2,31	2,26	2,33	2,09	2,42	1,82	2,47	2,26
1250	1,95	2,07	2,08	2,13	2,11	1,83	1,91	1,59	2,21	1,99
1600	1,87	1,81	1,75	1,86	1,90	1,57	1,61	1,37	1,93	1,74
2000	1,61	1,56	1,67	1,62	1,53	1,32	1,42	1,15	1,64	1,50
2500	1,38	1,43	1,39	1,47	1,34	1,20	1,24	1,06	1,48	1,33
3150	1,28	1,24	1,18	1,34	1,21	1,05	1,07	1,01	1,29	1,19
4000	1,09	1,06	1,12	0,98	0,98	0,91	0,87	0,85	1,12	1,00
5000	0,89	0,82	0,96	0,89	0,84	0,83	0,77	0,66	0,92	0,84
6300	0,68	0,70	0,71	0,76	0,71	0,59	0,67	0,61	0,78	0,69
8000	0,54	0,57	0,57	0,61	0,56	0,47	0,52	0,46	0,65	0,55



Şekil 4.11. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen RT değerleri grafiği

Çizelge 4.6. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)

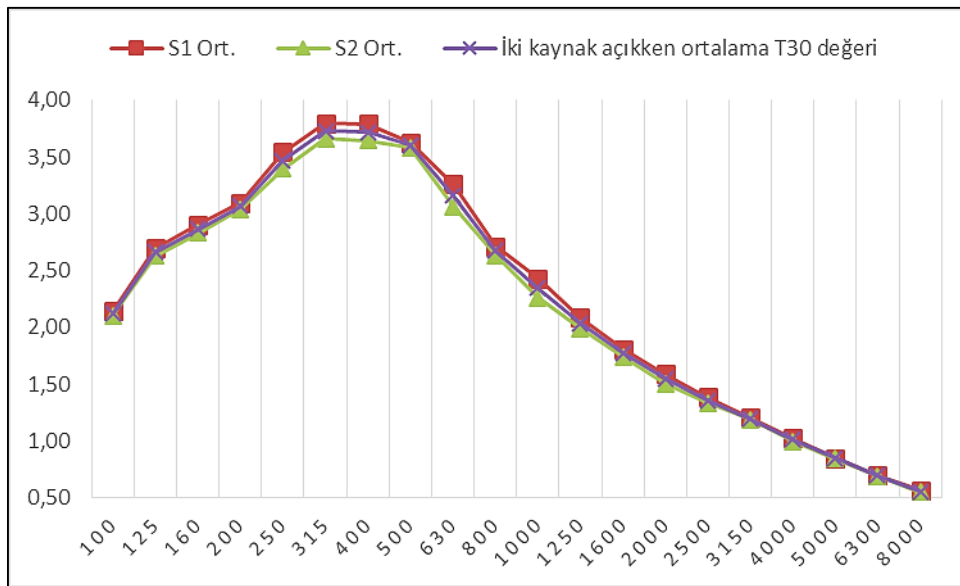
	Düşük Frekanslar (125-250 Hz)	Orta Frekanslar (500-1000Hz)	Yüksek Frekanslar (2000-4000Hz)
S2 - R1	3,09	2,99	1,35
S2 - R2	3,11	3,15	1,31
S2 - R3	3,24	2,90	1,40
S2 - R4	3,24	2,93	1,30
S2 - R5	2,97	2,93	1,26
S2 - R6	2,88	2,87	1,12
S2 - R7	2,65	3,00	1,15
S2 - R8	2,87	2,40	1,00
S2 - R9	3,07	3,15	1,38
Ort.	3,01	2,92	1,25



Şekil 4.12. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği

Çizelge 4.7. S1 ve S2 kaynağı için ortalama RT değerleri

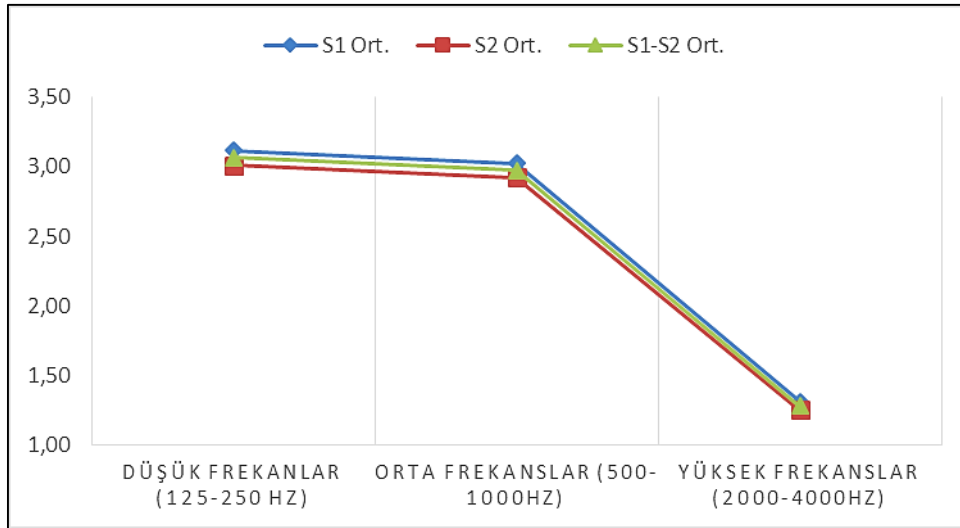
Frekans	S1 Ort.	S2 Ort.	İki kaynak açıkken ort. RT değeri
100	2,14	2,10	2,12
125	2,69	2,63	2,66
160	2,90	2,83	2,87
200	3,09	3,04	3,07
250	3,54	3,39	3,47
315	3,80	3,66	3,73
400	3,79	3,64	3,72
500	3,62	3,58	3,60
630	3,26	3,06	3,16
800	2,71	2,64	2,67
1000	2,43	2,26	2,34
1250	2,09	1,99	2,04
1600	1,81	1,74	1,78
2000	1,59	1,50	1,55
2500	1,38	1,33	1,36
3150	1,20	1,19	1,19
4000	1,03	1,00	1,01
5000	0,85	0,84	0,85
6300	0,70	0,69	0,69
8000	0,57	0,55	0,56



Şekil 4.13. S1 ve S2 kaynağı için ortalama RT değerleri grafiği

Çizelge 4.8. S1 ve S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri (sn)

	Düşük Frekanslar (125-250 Hz)	Orta Frekanslar (500-1000Hz)	Yüksek Frekanslar (2000- 4000Hz)
S1 Ort.	3,12	3,03	1,31
S2 Ort.	3,01	2,92	1,25
S1-S2 Ort.	3,06	2,97	1,28

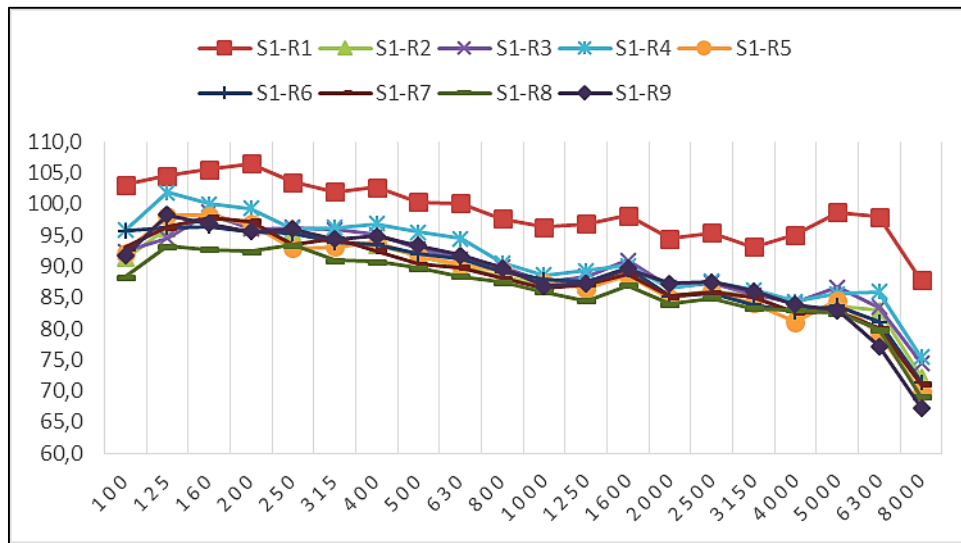


Şekil 4.14. S1 ve S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen RT değerleri grafiği

Ses basınç düzeyi (SPL) alan ölçümü sonuçları: Camide mihrap önüne yerleştirilen S1 kaynak noktası için R1-R9 alıcı noktalarında elde edilen 100-8000 Hz arasındaki SPL değerleri Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri (dB)

Frekans	S1-R1	S1-R2	S1-R3	S1-R4	S1-R5	S1-R6	S1-R7	S1-R8	S1-R9
100	103,1	91,2	92,4	95,8	92,2	95,7	93,0	88,3	91,7
125	104,5	96,1	94,5	101,8	98,1	96,2	96,3	93,2	98,2
160	105,5	97,9	98,6	100,0	98,1	96,4	97,8	92,7	96,8
200	106,5	96,4	96,0	99,3	96,8	95,5	97,2	92,4	95,6
250	103,5	95,4	96,2	96,0	92,9	95,3	93,4	93,4	96,0
315	101,9	93,9	95,9	96,2	93,1	93,8	94,4	90,9	94,3
400	102,7	93,4	95,1	96,8	93,8	93,5	92,5	90,7	94,8
500	100,3	91,7	92,8	95,5	91,7	92,0	90,3	89,7	93,3
630	100,1	89,9	91,1	94,4	90,3	91,3	89,8	88,4	91,8
800	97,6	88,4	89,9	90,5	89,2	89,1	88,1	87,4	89,7
1000	96,3	87,1	87,6	88,6	87,4	87,9	86,4	85,9	86,8
1250	96,8	87,0	88,4	89,3	86,4	87,4	87,1	84,5	87,2
1600	98,1	89,3	90,9	90,1	88,5	89,8	88,8	86,9	89,6
2000	94,4	85,3	86,6	86,4	84,9	85,2	85,2	84,0	87,2
2500	95,4	86,1	87,3	87,5	86,0	85,7	85,8	84,9	87,4
3150	93,1	85,3	85,4	86,2	84,1	83,8	85,1	83,2	86,0
4000	95,1	82,4	84,2	84,4	81,1	82,7	82,6	83,0	83,9
5000	98,6	83,6	86,6	85,6	84,6	83,6	82,8	82,5	82,9
6300	97,9	82,9	83,4	85,9	79,1	81,1	80,0	79,8	77,2
8000	87,8	72,2	74,5	75,4	69,9	71,4	71,1	69,0	67,3

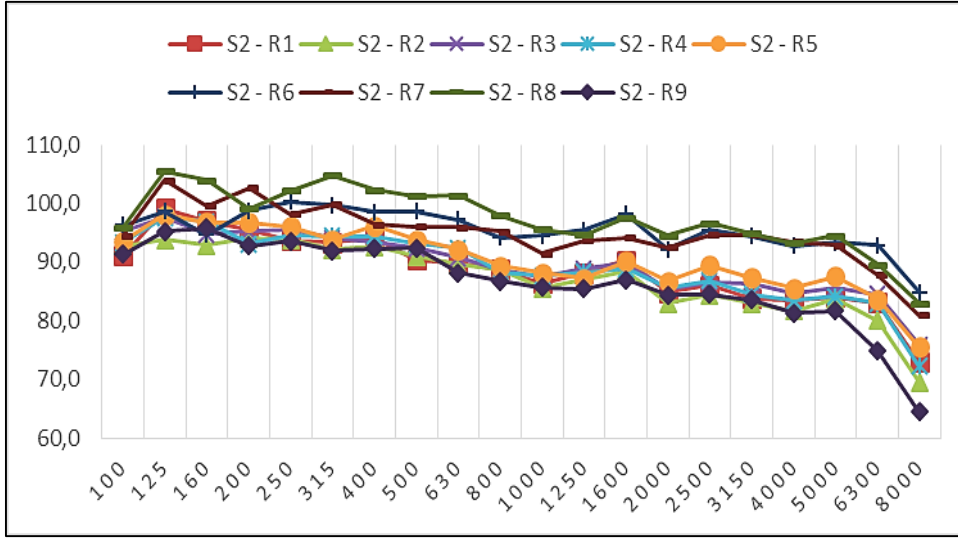


Şekil 4.15. S1 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri grafiği

Müezzin mahfiline yerleştirilen S2 kaynak noktası için R1-R9 alıcı noktalarında elde edilen 100-8000 Hz arasındaki SPL değerleri Çizelge 4.10’da verilmektedir.

Çizelge 4.10. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri (dB)

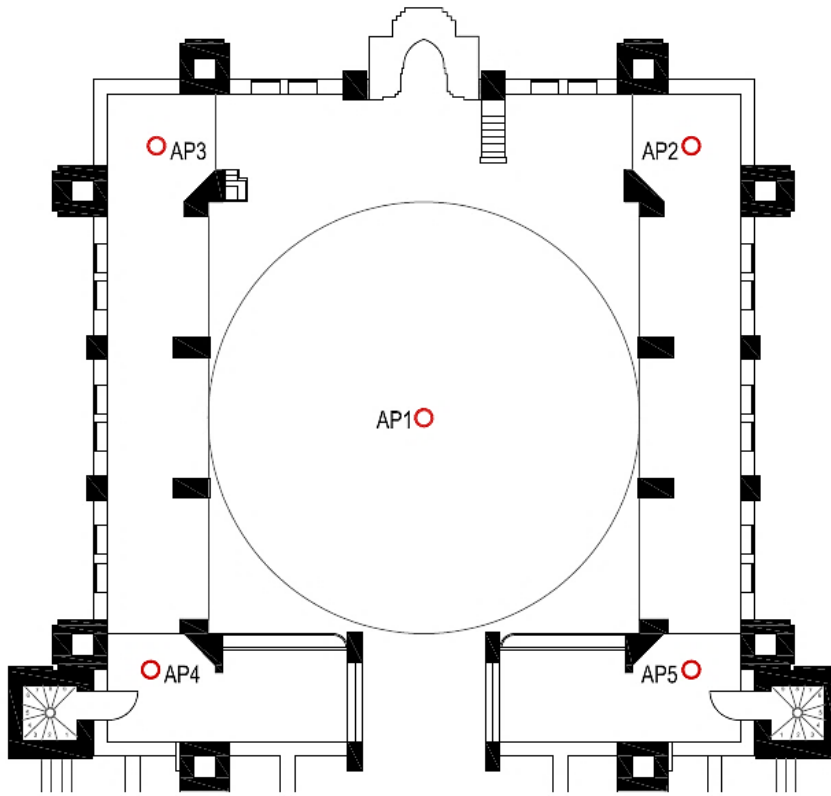
Frekans	S2 - R1	S2 - R2	S2 - R3	S2 - R4	S2 - R5	S2 - R6	S2 - R7	S2 - R8	S2 - R9
100	91,1	92,7	95,2	93,3	93,6	96,3	94,5	95,9	91,3
125	99,1	93,8	97,7	97,6	98,0	98,6	104,0	105,5	95,2
160	97,0	92,9	94,8	96,9	96,7	94,6	99,6	104,0	95,8
200	95,4	94,1	95,2	93,1	96,7	98,8	102,6	99,1	92,7
250	93,7	93,8	95,4	94,5	96,0	100,3	98,2	102,2	93,6
315	93,3	92,1	94,0	94,4	93,8	99,7	99,8	104,8	91,9
400	94,0	92,6	93,4	94,4	96,2	98,5	96,4	102,3	92,3
500	90,4	91,0	92,4	93,1	93,8	98,6	96,1	101,2	92,4
630	89,8	89,6	90,7	92,4	92,1	97,2	95,9	101,3	88,1
800	88,7	88,6	88,6	88,3	89,3	94,2	95,2	97,9	86,7
1000	86,4	85,5	87,4	87,7	88,1	94,5	91,4	95,6	85,7
1250	88,2	87,0	88,8	88,3	87,2	95,4	93,7	94,6	85,4
1600	90,3	88,5	89,9	88,9	90,1	98,2	94,2	97,6	87,0
2000	84,9	83,0	85,4	85,5	86,7	92,1	92,5	94,5	84,4
2500	86,0	84,4	86,6	86,8	89,4	95,4	94,6	96,6	84,5
3150	83,8	82,9	86,4	84,5	87,3	94,4	94,6	94,9	83,6
4000	83,5	81,7	84,7	83,4	85,5	92,7	93,5	93,2	81,3
5000	84,0	83,7	85,7	84,1	87,6	93,3	92,9	94,5	81,6
6300	83,1	80,0	84,5	83,0	83,7	92,9	87,8	89,6	74,8
8000	72,9	69,5	75,9	72,2	75,5	84,9	80,9	83,0	64,4



Şekil 4.16. S2 kaynağı aktifken 9 alıcı noktasında elde edilen SPL değerleri grafiği

Arka plan gürültü düzeyi (Leq) alan ölçümü sonuçları: Mekanı içeriden ve dışarıdan etkileyen gürültülerin tümü, arka plan gürültüsüdür. Dışarıdan gelen araç trafiği gibi etkenler ile mekan içerisinden gelen havalandırma, aydınlatma sistemleri, kullanılan elektronik cihazlardan kaynaklanan gürültüler arka plan gürültüsünü oluşturmaktadır.

Arka plan gürültü düzeyi ölçümlerinde “Reten Electronic RS104 SLM” ses seviyesi ölçer kullanılmıştır. Camideki ölçümler ısıtma, soğutma ve havalandırma kapalı, aydınlatmalar açık ve cami boşken yapılmıştır. Cumartesi trafiğin en yoğun olduğu 14.30-15.20 saatleri arası alınan arka plan gürültü ölçümleri Şekil 4.17’de gösterilen 5 alıcı noktasında üç kez yapılmış ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.17. Hasan Tanık Camii arka plan gürültü seviyesi ölçüm noktaları

Çizelge 4.11. Hasan Tanık Camii arka plan gürültü seviyesi ölçüm değerleri

Arka Plan Gürültüsü Ölçümü	
AP1	32 dBA
AP2	32 dBA
AP3	31 dBA
AP4	31,5 dBA
AP5	29 dBA

Ölçülen arka plan gürültü düzeylerinin birbirine oldukça yakın ve 32 dBA dolaylarında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11). Dini mekanlar için ülkemiz mevzuatında [44] arka plan gürültüsüne yönelik bir sınır değeri bulunmamakla birlikte, camiler için arka plan gürültü seviyesi 34 dBA veya gürültü kriteri NC-25'i aşmamalıdır [45,60]. Bu bağlamda, söz konusu caminin arka plan gürültüsünün kabul edilebilir sınırlarda olduğu söylenebilir.

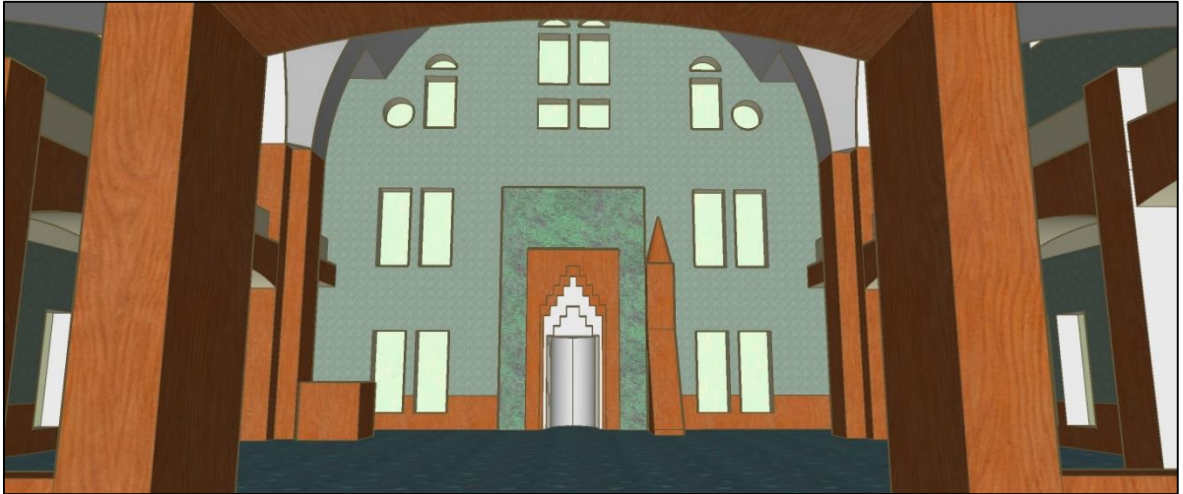
4.3. Simülasyon Yöntemi ile Analiz

Bilgisayar destekli simülasyon programları ve akustik analizler en önemli tasarım araçları olarak kabul edilmektedir. Yapım aşamasına geçmeden bir mekanın tasarım aşamasında, mekana ait akustik özelliklerin analizinde bilgisayar simülasyonu kullanmanın pratik ve güvenilir bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

Hasan Tanık Cami'nin mevcut durumunu yansıtan üç boyutlu akustik modeli için mimarından temin edilen çizimler esas alınmış ancak as-built projeleri olmadığından yerinde ölçü alınarak projeler revize edilmiştir.

Caminin modellenmesi: ODEON (10.02) akustik simülasyon programı için, akustik ölçümü yapılacak hacmin boyutları x, y, z koordinatları yardımı ile belirlenmiş olmalı ya da AutoCAD, SketchUp ve benzeri çizim programlarının yardımı ile modeli yapılmalıdır.

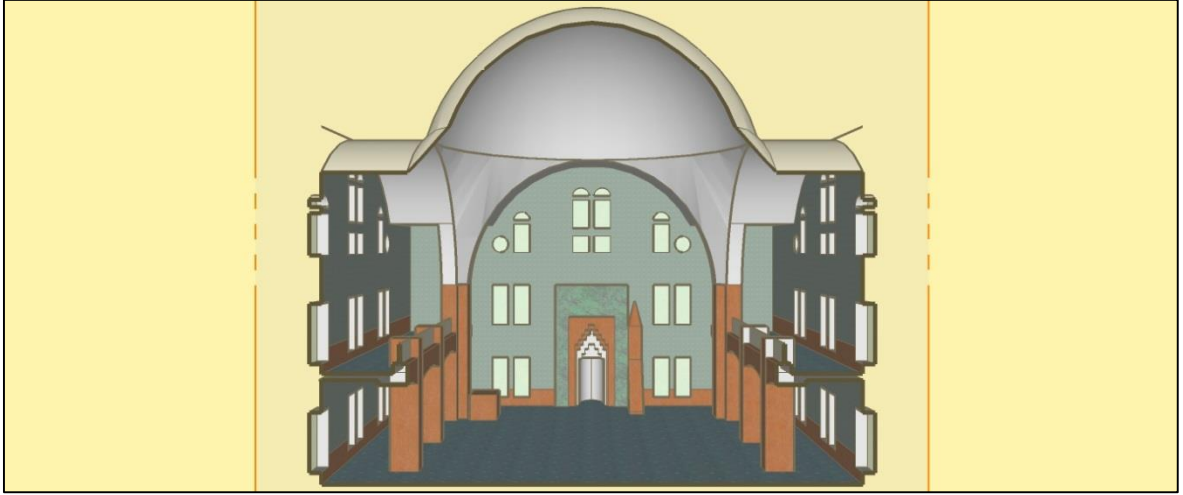
Caminin modeli, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görüldüğü üzere, SketchUp2014 yazılımında, simülasyon programı düzlemsel yüzeyler üzerinde çalıştığından 3D-face elemanlarından oluşturulmuştur. Modelleme, programda önerildiği gibi cami içindeki ince detaylar dikkate alınmadan genel hatları ile yapılmış ancak maksimum oranda gerçek ölçülere uyulmuştur. Akustik simülasyon programında malzeme ataması yapılabilmesi için farklı malzemeye sahip yüzeyler modellenirken farklı katmanlar şeklinde modellenmiştir.



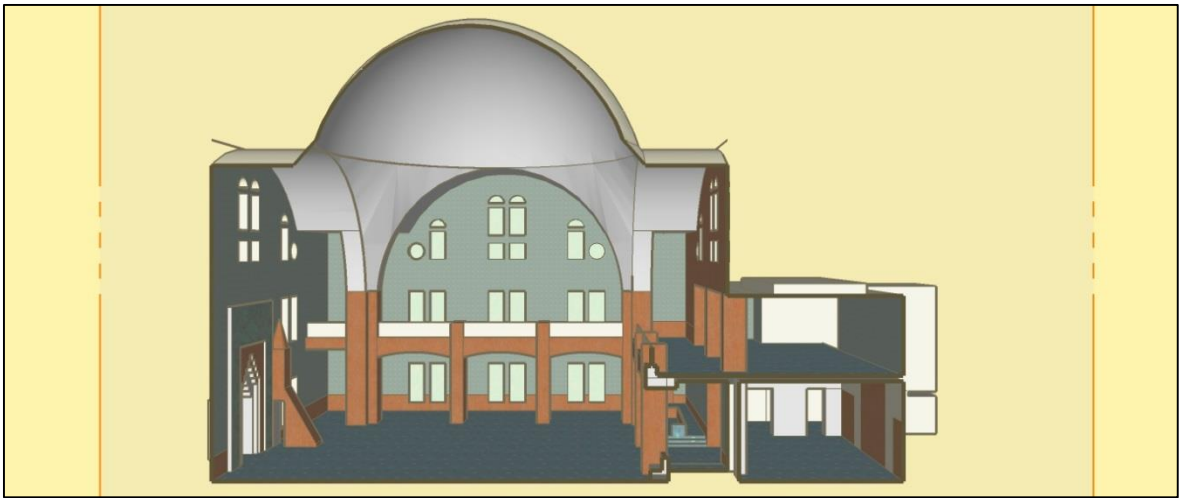
Şekil 4.18. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden perspektif 1



Şekil 4.19. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden perspektif 2



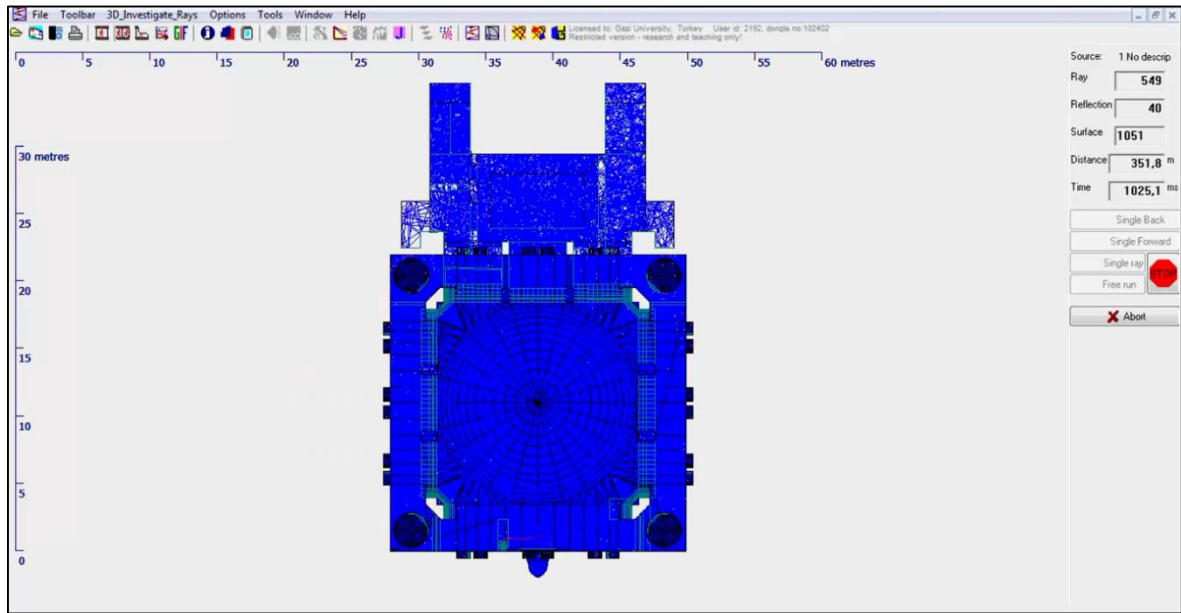
Şekil 4.20. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden kesit 1



Şekil 4.21. Hasan Tanık Camii SketchUp modelinden kesit 2

Modelin ODEON simülasyon programına aktarılması: Model, ibadet alanının akustik performansının elde edilebilmesi için ODEON (10.02) simülasyon programına aktarılmıştır. ODEON, Danimarka Teknik Üniversitesi Akustik Bölümü uzmanları tarafından hazırlanmış, doğruluğu ve geçerliliği bilimsel olarak kanıtlanmış bir akustik simülasyon programıdır. Işın izleme, hacim akustiği yazılımının en önemli özelliğidir. Ses geçirmez, kapalı ve yankılı bir ortam oluşturabilmek için mekanda ses sızıntısı olmadığının kanıtlanması gerekmektedir [52].

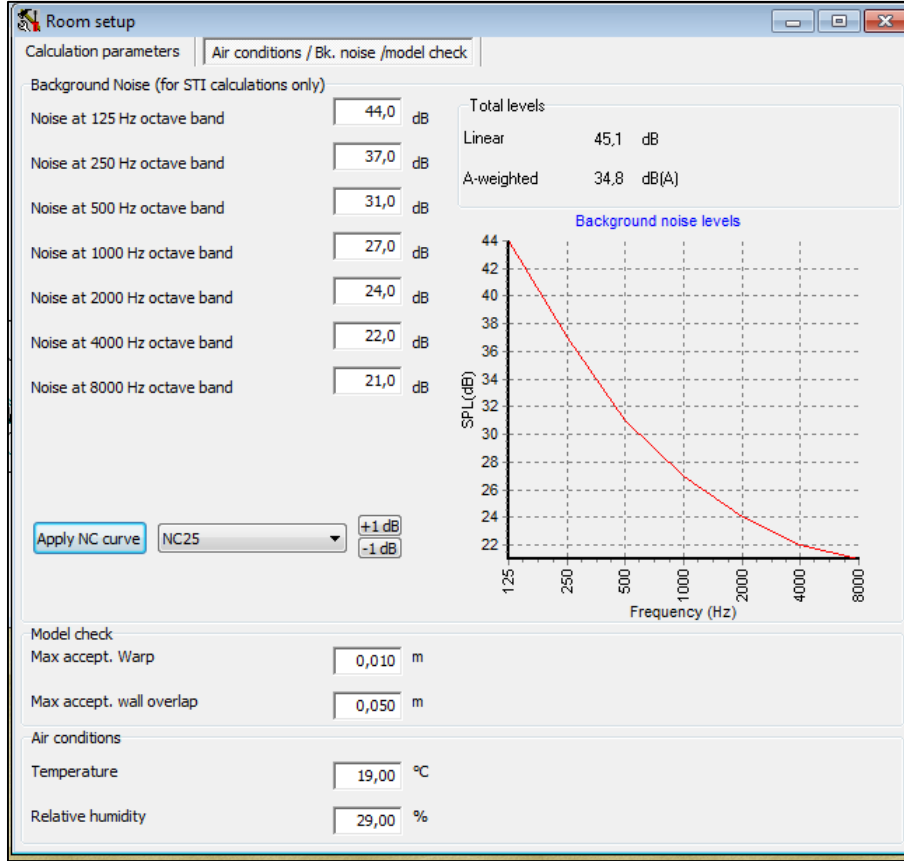
ODEON simülasyon programında modelin kapalılığı, yüzeylere %20 yutuculuk verilerek kontrol edilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Odeon sızdırmazlık testinden bir görüntü

Arka plan gürültüsü; Literatürde camiler için tavsiye edilen iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri baz alınmış ve NC 25 grafiği uygulanmıştır [45,60].

Nem ve sıcaklık; Salon koşullarına ilişkin mevcut ve dinleyicisiz koşullarda salondaki nem oranı %29 sıcaklık 19 °C olarak ölçülmüş olduğundan aynı koşullar simülasyon için de kabul edilmiştir (Şekil 4.23).



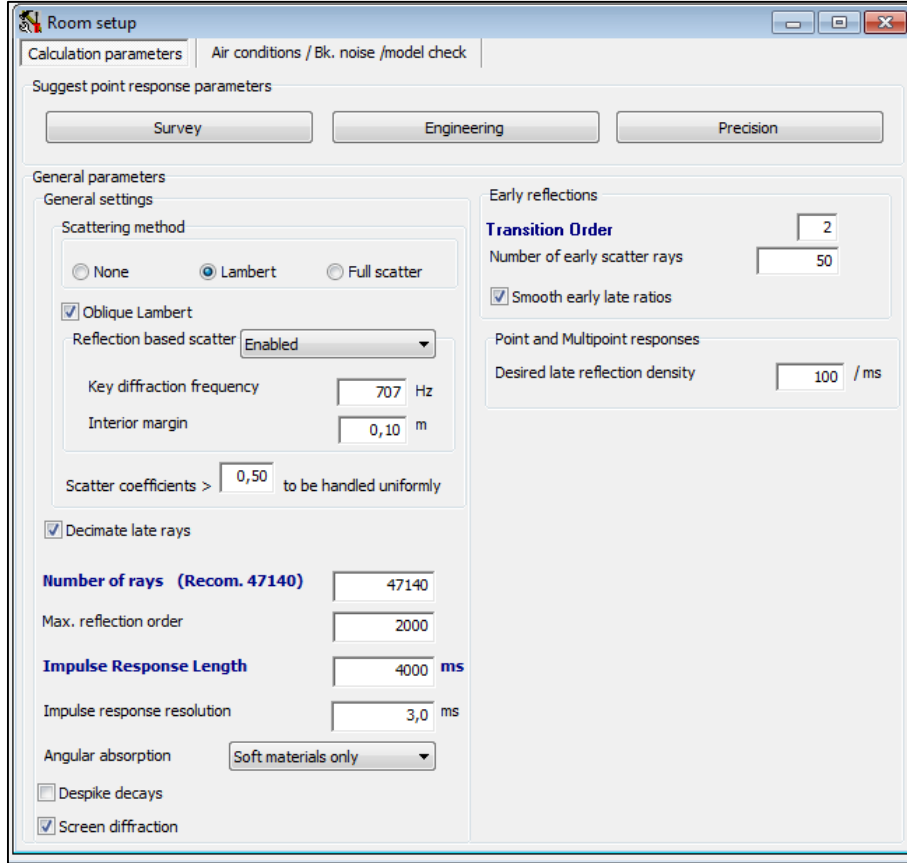
Şekil 4.23. ODEON’da arka plan gürültüsü, nem ve sıcaklık için kabul edilen değerler

Şekil 4.24’te ifade edildiği üzere, ışın sayısı (number of rays); ODEON, hacmin en boy oranı ile geometrisindeki yüzey sayısına göre ışın sayısı için bir öneride bulunmaktadır. Tavsiye edilen ışın sayısı kullanılmış ve model 47.140 ışın sayısı ile taranmıştır. Işın taraması, ‘engineering’ nokta sinyal parametresi ve ‘lambert’ saçıcılık yöntemine dayalı olarak yapılmıştır.

Maksimum yansımaya sayısı (max. reflection order); Işınlara yansımaya sayılarını belirleyen parametredir. Bu örnek için, ODEON’un önerdiği 2000 yansımaya sayısı kullanılmıştır.

Darbe yanıtı uzunluğu (impulse response length): Işınlara kaynaktan çıktıktan sonra tamamen yutulmasına kadar geçen süre olarak tanımlanabilir. Bu örnek için maksimum yansımaya süresi 4000 ms olarak kabul edilmiştir.

Yansımaya derecesi (transition order); İlk yansımaların enerjisinin hesaplanmasında programın tavsiye ettiği 2. dereceye kadar olan sanal kaynaklar kullanılmıştır.



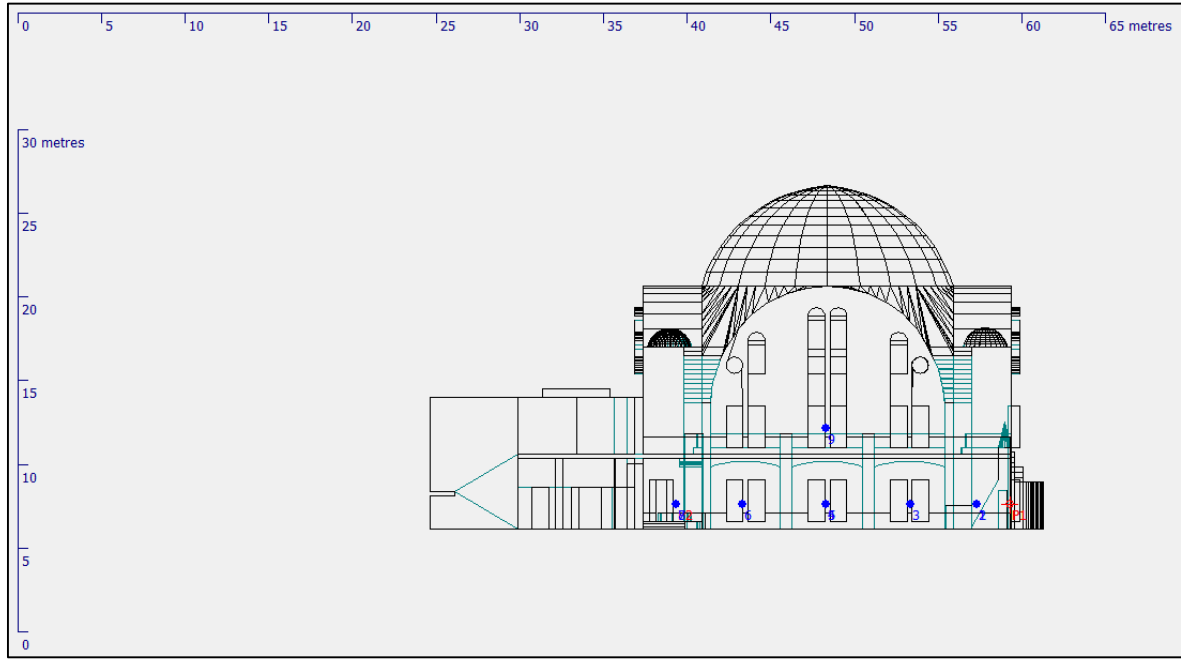
Şekil 4.24. Odeon'da hesaplama parametreleri görüntüsü

Kaynak ve alıcıların yerleştirilmesi: Simülasyon programı için hacim içinde yer alacak kaynak ve alıcı sayıları, kullanılacak kaynağın tipi, kaynak ve alıcıların konumları/yükseklikleri, baktıkları yön, kaynak/kaynakların gücü, birden fazla kaynak kullanıldığında farklı zamanlarda çalıştırıldıkları durumda aralarındaki gecikme süreleri belirlenmelidir.

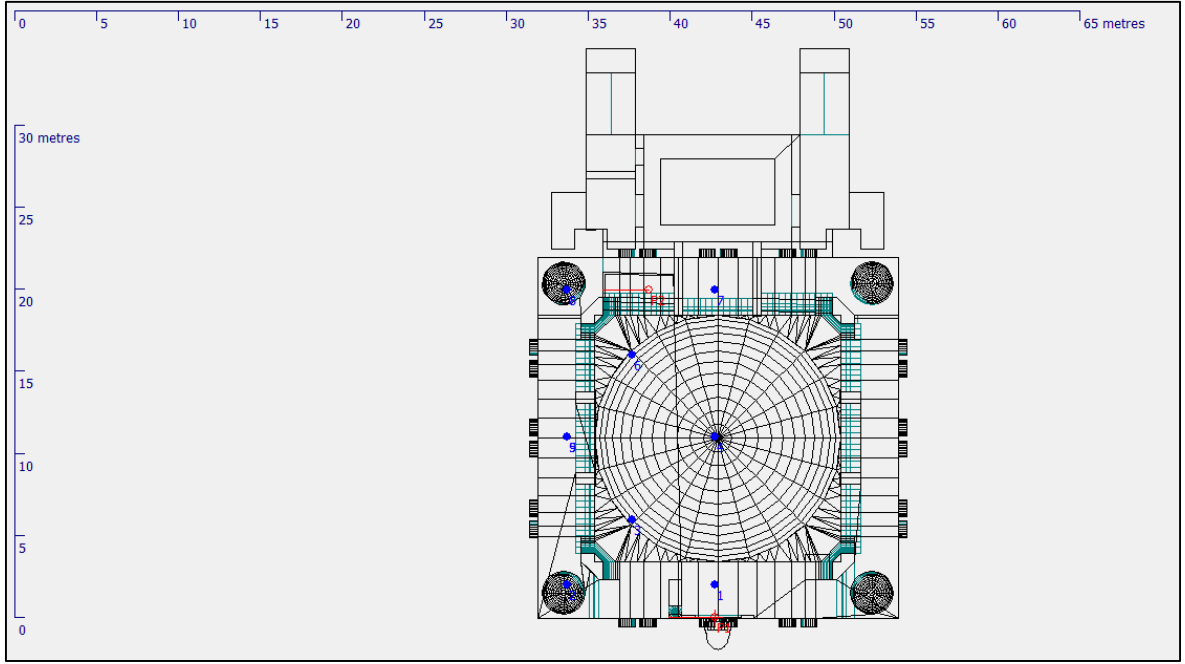
Hasan Tanık Camii için iki adet çok yönlü (omnidirectional) kaynak yerleştirilmiştir. Namaz esnasındaki doğal konumlarını yansıtabilmek için, bir tanesi imamı temsilen mihrap önüne (S1) diğeri müezzini temsilen müezzin mahfiline (S2) yaklaşık ağız yüksekliğine karşılık gelen yerden 1,50 m'de konumlandırılmıştır. Elektro-akustik güçlendirme olmaksızın, imam ve müezzinin namaz esnasında sesini yükseltme eğiliminde olduğu düşünülerek kaynaklara akustik alan ölçümünde de kullanılan 95 dB ses gücü atanmıştır.

Alıcılar ise, caminin orta aksa göre simetrik olduğu göz önünde alınarak yalnızca orta aksın bir tarafına yerleştirilmiştir. 9 adet alıcı noktası, caminin yarısına homojen olarak

dağıtılmıştır. 8 alıcı (R1-R8) zemin kata yerleştirilirken bir alıcı da (R9) kadınlar mahfiline yerleştirilmiştir. Zemin kata yerleştirilen alıcı noktalarının yerleri seçilirken ana kubbe altı, köşe kubbe altları ve mahfil altı gibi özel noktalara alıcı yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Alıcıların birbirine, yansıtıcı yüzeylere ve ses kaynaklarına mesafesi, akustik alan ölçümünde yapıldığı gibi TS EN ISO 3382-1 standardına göre ayarlanmıştır. Vakit namazları, cuma ve bayram namazları boyunca çoğunlukla ayakta durulduğu için, kaynak yüksekliği için ayakta iken yaklaşık kulak yüksekliğine denk gelen 1,50 m alınmıştır.



Şekil 4.25. ODEON'da kaynak ve alıcı yerleri kesit görüntüsü



Şekil 4.26. ODEON'da kaynak ve alıcı yerleri plan görüntüsü

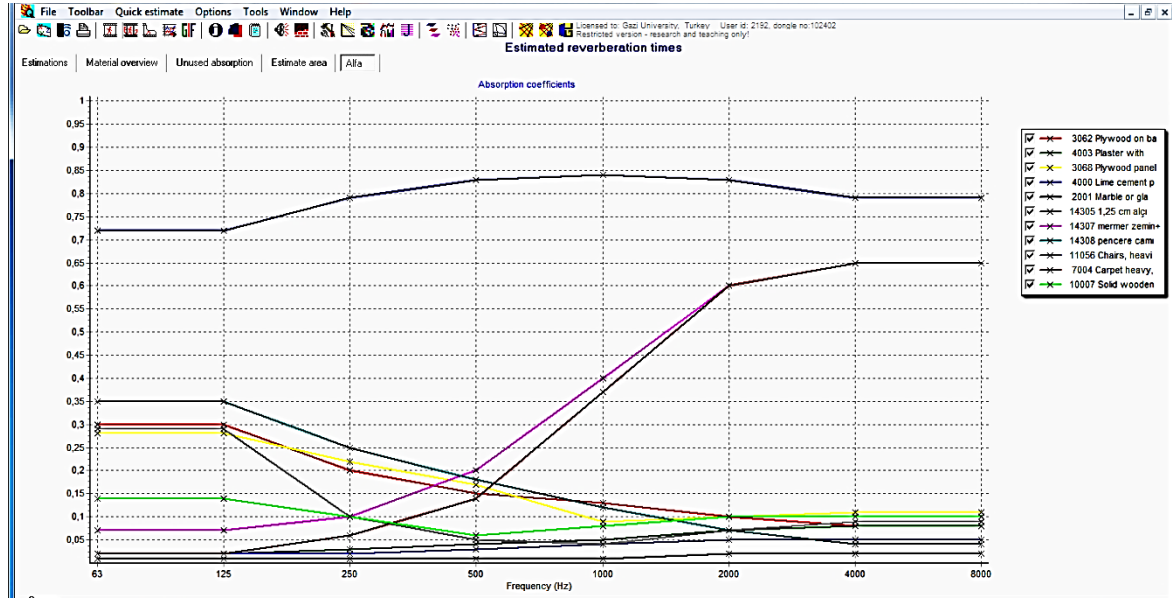
Kullanılan Malzemeler: Cami iç yüzeylerindeki mevcut malzemeler, program içinde yer alan malzeme kütüphanesinden seçilmiş ve model yapımı esnasında farklı malzemeler için ayrı ayrı oluşturulan katmanlara atanmıştır. ODEON simülasyon programı kütüphanesinde malzemelerin 63 ile 8000 Hz arasında yutuculuk değerleri verilmektedir. Ayrıca, ODEON yüzeydeki pürüzlülüğe bağlı olarak düşük, orta ve yüksek saçıcılık oranları için malzemelere 0,7 ile 0,005 arasında saçıcılık katsayısı girilmesine imkan tanımaktadır. Cami iç yüzeyi düz yüzeylerden oluştuğu için, tüm iç yüzey malzemelerinde ODEON tarafından genel düz yüzeyler için tavsiye edilen 0,02-0,05 aralığında saçıcılık değeri verilmiştir [53]. Çizelge 4.12’de ODEON’da Hasan Tanık Camii’nin yüzeylerine atanan malzemelerin 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki yutuculuk değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.12. ODEON’da yüzeylere atanan malzemelerin 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki yutuculuk değerleri

Malzeme Atanan Yüzey	Malzemenin Özelliği	Saçı- cılık Değeri	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Odeon Kod
Pencere	Pencere camı	0,05	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04	Master Hand-book [66]
Kolonlar ve yerden 1m yüksekli-ğe kadar duvarlar	Ahşap çita ile betonarme/duvara monte edilmiş kontrplak kaplama	0,05	0,30	0,30	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08	0,08	3062
Yerden 1m yükseklik-ten başlayarak duvarlar	Sıva üzeri dokusuz duvar kağıdı	0,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	4003
Korkuluk	1 cm kalınlığında kontrplak panel	0,05	0,20	0,20	0,35	0,65	0,85	0,30	0,80	0,80	3068
Orta ve köşe kubbeler ile kemerler	Sıvalı yüzey	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	4000
Mihrap alınlık	Mermer	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	2001
Minber-Kürsü	Ahşap çita ile betonarme/duvara monte edilmiş kontrplak kaplama	0,05	0,30	0,30	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08	0,08	3062
Zemin	Beton zemin üzerinde halı	0,05	0,08	0,08	0,08	0,30	0,60	0,75	0,80	0,80	7004
Düz tavan	1,25 cm alçı levha	0,05	0,15	0,15	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,09	Master Hand-book [66]
Merdiven	Mermer zemin+halı	0,05	0,07	0,07	0,10	0,20	0,40	0,60	0,65	0,65	Odeon-Cahrisma

Çizelge 4.12. (devam) ODEON’da yüzeylere atanan malzemelerin 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki yutuculuk değerleri

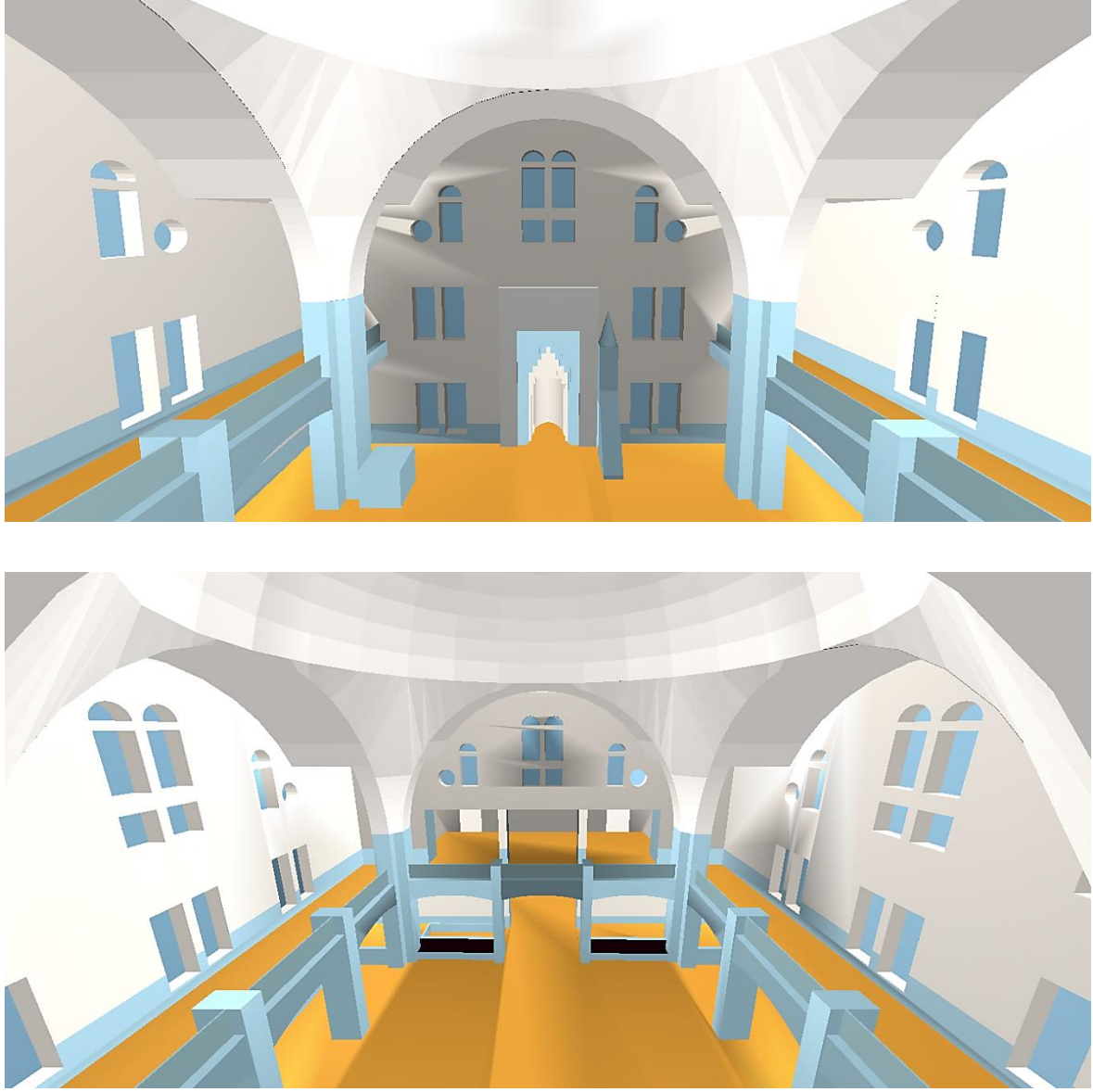
Ayakkabılık	1 cm kalınlığında kontrplak panel	0,05	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06	3068
Oturma yeri	Kumaş kaplı koltuk	0,05	0,72	0,72	0,79	0,83	0,84	0,83	0,79	0,79	11056
Kapı	Masif ahşap kapı	0,05	0,14	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	10007



Şekil 4.27. Hasan Tanık Camii malzeme yutuculuk değerleri grafiği

Cami yapımında tercih edilen malzemelerden namaz holüne ve merdivenlere kaplanan halının yüksek frekanslarda; sahında yer alan kumaş kaplı koltukların her frakansta; ayakkabılık, ahşap duvar kaplaması ve perfore korkulukların ise alçak frekanslarda yutucu özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle duvarlarda ve tavanda uygulanan sıva imalatı sesin yansımaya neden olmaktadır.

Camilerde perfore korkulukların ya da bölücülerin kullanılması, reverberasyon süresinde artışa neden olmaktadır [67].



Şekil 4.28. ODEON'da belirlenen malzeme yutuculukları

Şekil 4.28'den anlaşılacağı üzere, ODEON simülasyon programından elde edilen üç boyutlu görüntülerden anlaşıldığı üzere, programın özelliği olarak, yüzeylere atanan malzemelerin yutuculuk değerleri arttıkça malzemelerin görsel olarak atandığı renk de koyulaşmaktadır.

4.4. Değerlendirme

Reverberasyon süresi (RT) ODEON simülasyon programı sonuçları: Hem konuşmanın hem de müzikli eylemlerin yapıldığı mekanlarda, ideal reverberasyon süresinin yakalanması gerekmektedir, çünkü yüksek reverberasyon süresi konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkilerken, düşük reverberasyon süresi de sesin kaybolmasına neden olabilir.

Hesaplanan RT parametresi için 8 oktav bant ile düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’te verilmektedir.

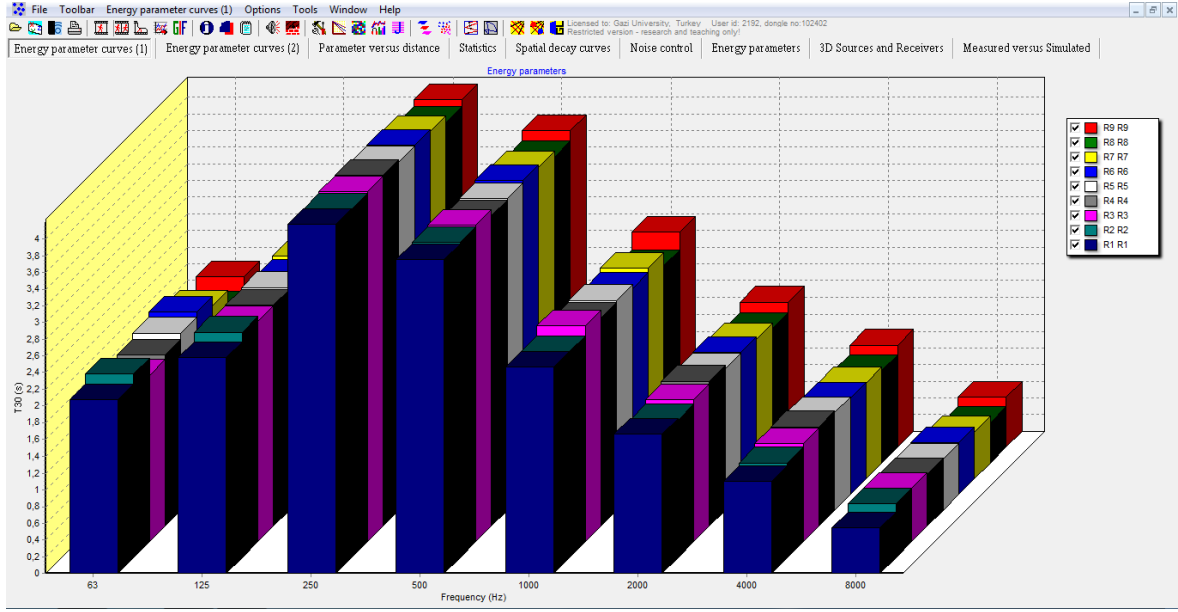
Çizelge 4.13. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen RT değerleri

RT (s) Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,86	2,58	4,07	3,66	2,36	1,6	1,10	0,48
Maximum	2,19	2,81	4,20	3,79	2,58	1,73	1,22	0,64
Average	2,07	2,66	4,16	3,74	2,49	1,68	1,15	0,59

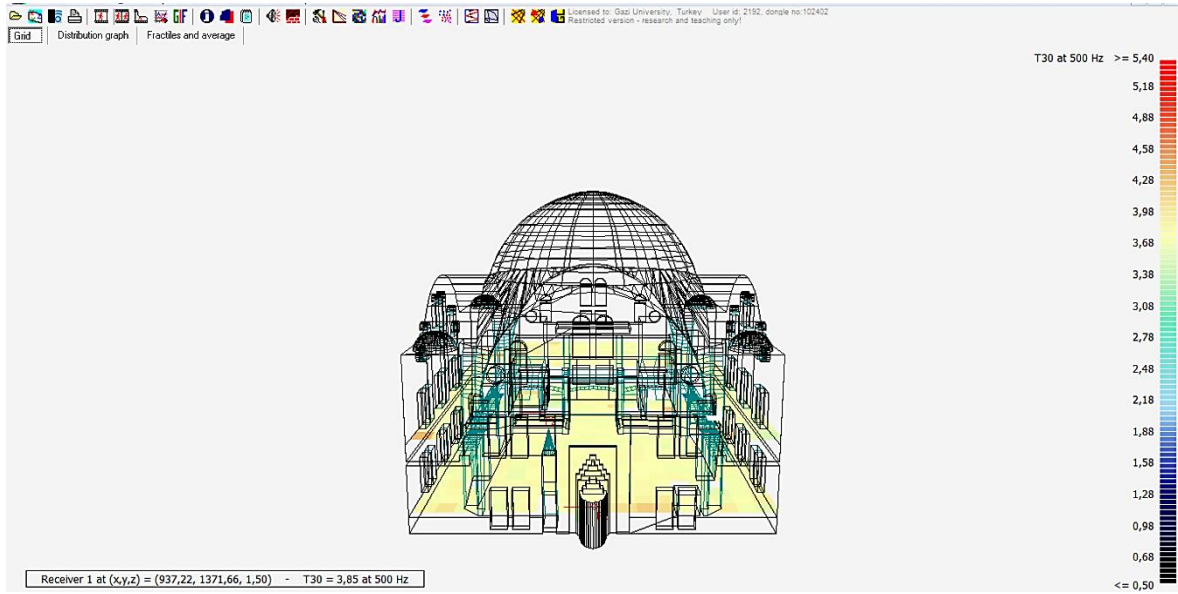
Çizelge 4.14. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama RT değerleri

Frekans Aralığı (Hz)	Düşük Frekanslar (125- 250)	Orta Frekanslar (500- 1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
RT (sn)	3,41	3,115	1,42

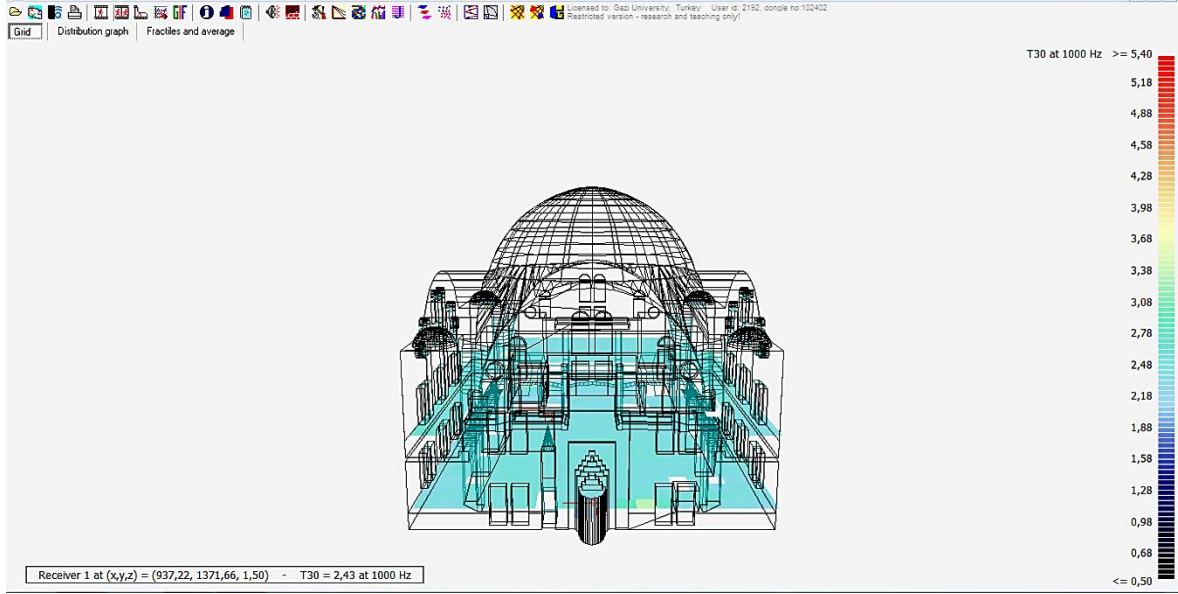
ODEON simülasyon programında, iki kaynak aktifken tüm alıcı noktalarında hesaplanan RT değerlerinin grafik gösterimine ve salondaki dağılımı daha iyi ifade eden grid gösterimine bakıldığında parametrenin salondaki dağılımının homojen olduğu, kadınlar mahfilinin kaynaklara uzak mesafede olması ve direkt sesi alamamasından kaynaklı diğer alıcı noktalarına oranla biraz daha uzun reverberasyon süresine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.29. ODEON'da tüm alıcı noktalarında RT değeri dağılımı

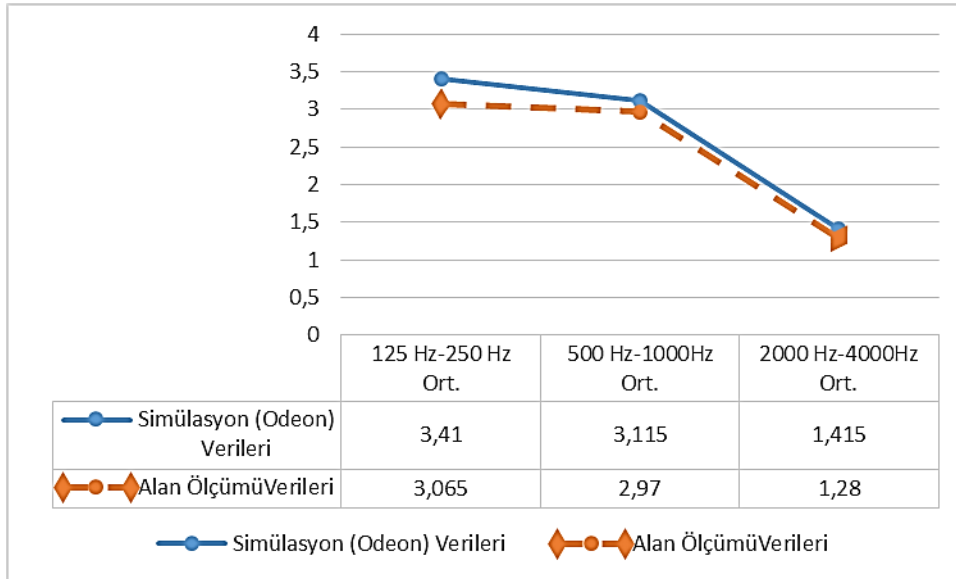


Şekil 4.30. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de RT değeri dağılımı



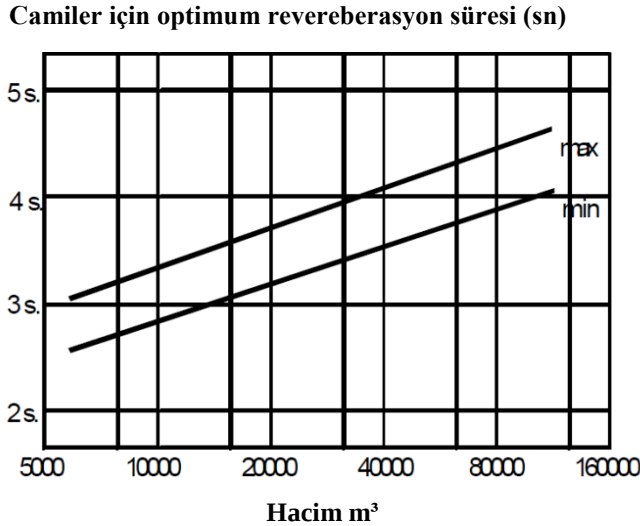
Şekil 4.31. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de RT değeri dağılımı

Reverberasyon süresi parametresi alan ölçümü ve simülasyon sonuçları Şekil 4.32’te karşılaştırılmıştır. Orta frekanslarda (500Hz ve 1000Hz) alan ölçüm değeri 3,115 sn olarak belirlenmiş iken simülasyon sonucunda 2,97 sn olarak tespit edilmiştir. Orta frekanslarda, alan ölçümü ile simülasyon ölçümü sonuçları arasındaki yaklaşık 0,145 sn’lik fark oldukça düşük olup diğer parametreler için simülasyon programının güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.32. Reverberasyon süresi için alan ölçümü ve simülasyon programı (Odeon) sonucunun karşılaştırılma grafiği

Alan ölçümü değerlerinin simülasyonda programında elde edilen değerlerden daha düşük çıkmasının sebebinin her ne kadar boş olarak ölçüm yapılmaya çalışılsa da ölçüm anında ibadet alanında bulunan kişilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.33. Camiler için optimum T-V grafiği

Şekil 4.33'te görüldüğü üzere, Karabiber'e göre 8800 m³ hacme sahip bir cami için orta frekanslarda optimum değer aralığı 2,7 ile 3,2 sn'dir [61,62]. Bu değer aralığına göre camide orta frekanslarda hesaplanan 3,115 sn RT değerinin uygun olduğu görülmektedir.

Erken sönümlenme süresi (EDT) ODEON simülasyon programı sonuçları: Erken sönümlenme süresi, sönümlenme eğrisinin ilk kısmından yani 0 - 10 dB düşüş için hesaplanan erken reverberasyon süresi anlamına gelmektedir. EDT değerinde öncelikle, kaynak çevresinde yani mihrap ve müezzin mahfili çevresinde yer alan yansıtıcı yüzeylere çarpan ışınlar etkilidir, TS EN ISO 3382-1'e göre EDT parametresi, öznel olarak algılanan reverberasyonda daha etkili olmaktadır. EDT değeri hacmin geometrisinden etkilen bir parametredir. Kısa EDT canlılık sağlarken uzun RT değerleri müziğe canlılık katar [48,63].

Hesaplanan EDT parametresi için 8 oktav bant ile düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'te verilmektedir.

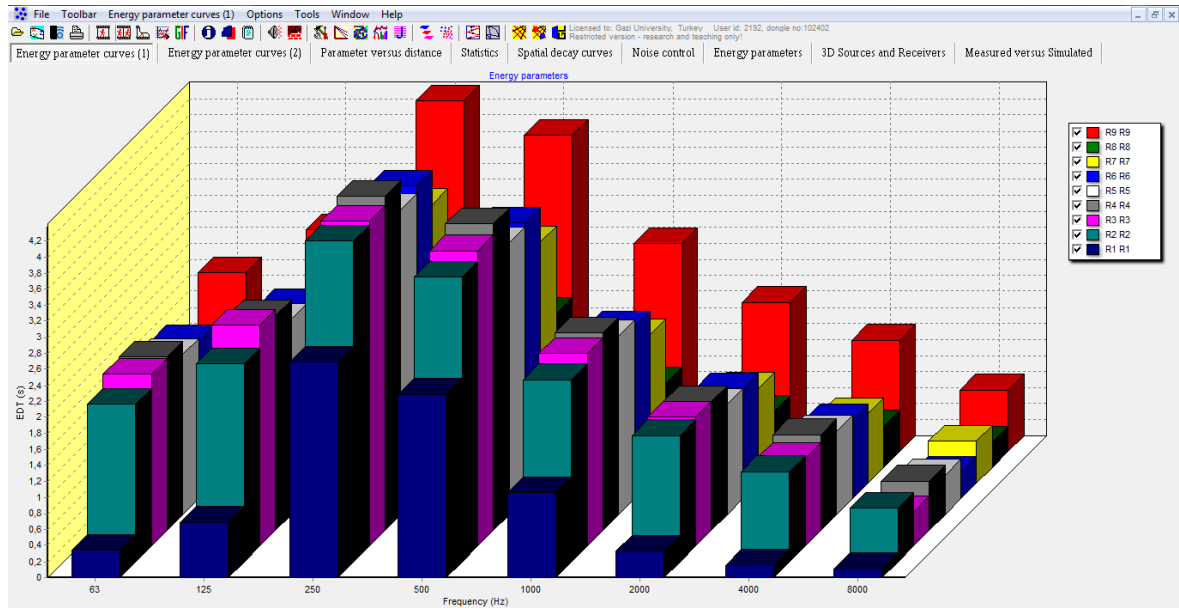
Çizelge 4.15. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen EDT değerleri

EDT (sn) Band(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,34	0,69	2,21	1,92	1,05	0,32	0,16	0,11
Maximum	2,23	2,77	4,38	3,95	2,6	1,86	1,38	0,76
Average	1,65	2,1	3,63	3,23	2,01	1,29	0,93	0,47

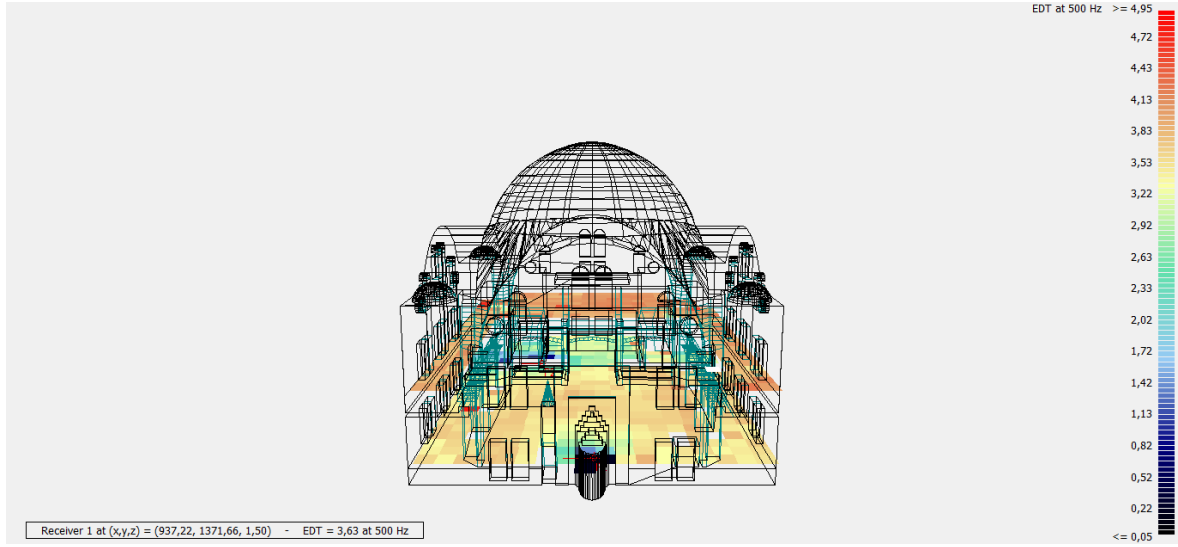
Çizelge 4.16. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama EDT değerleri

Frekans Aralığı (Hz)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
EDT (sn)	2,87	2,62	1,11

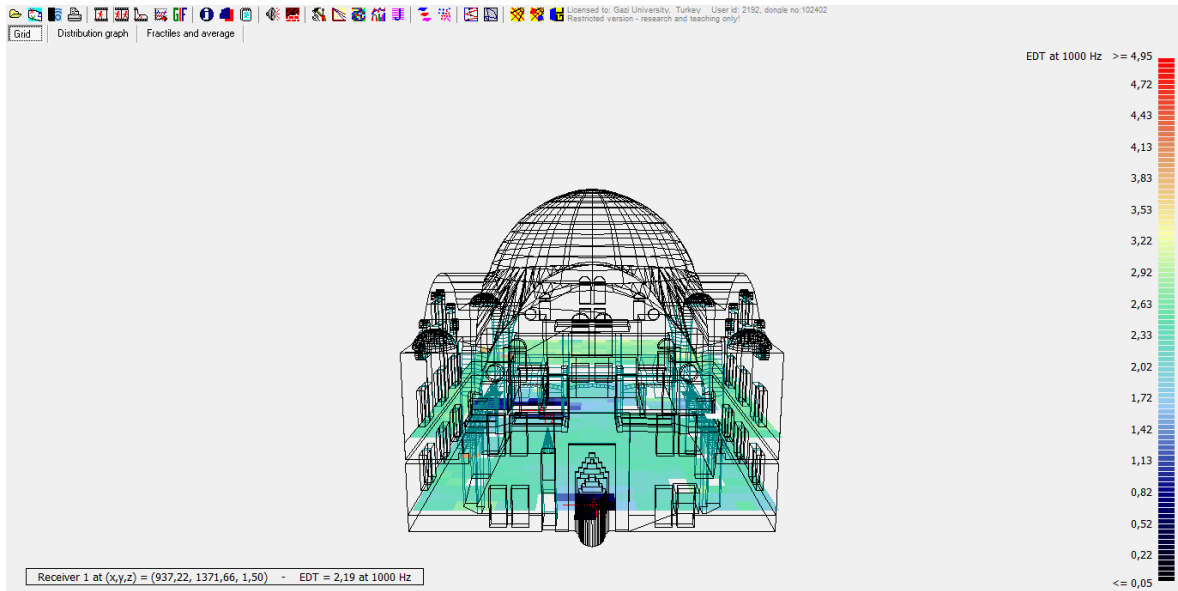
ODEON simülasyon programında, iki kaynak aktifken tüm alıcı noktalarında hesaplanan EDT değerlerinin grafik gösterimi ve salondaki dağılımı daha iyi ifade eden grid gösterimine bakıldığında kadınlar mahfili direkt ses almadığı, sadece yansıyan seslerden beslendiği için kadınlar mahfilinde elde edilen EDT değerinin diğer yerlere oranla yüksek olduğu, kaynağa yakın mesafedeki yerlerde EDT değerinin düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.34. ODEON'da tüm alıcı noktalarında EDT değeri dağılımı



Şekil 4.35. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de EDT değeri dağılımı



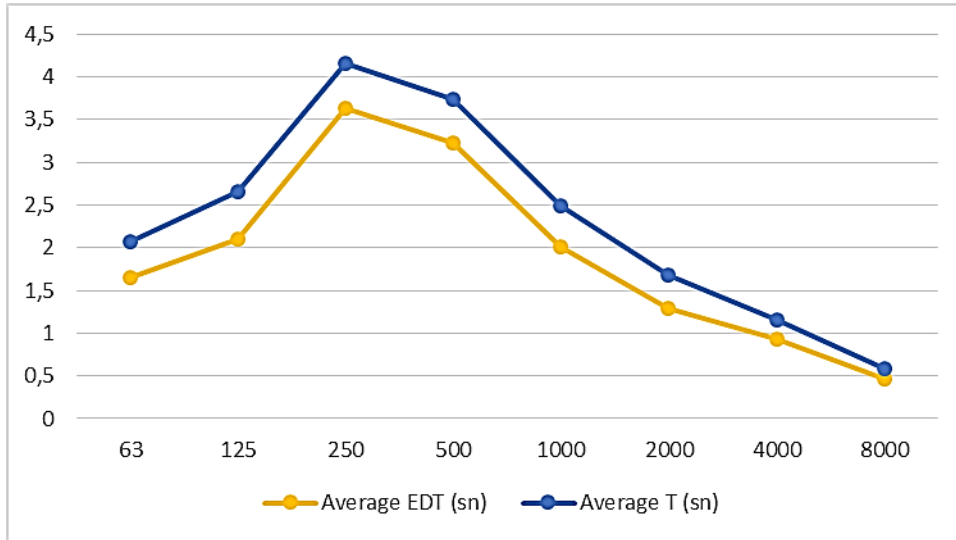
Şekil 4.36. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de EDT değeri dağılımı

TS EN ISO 3382-1 standardına göre EDT için orta frekanslarda optimum değer aralığı 1,0 ile 3,0 sn'dir [63]. Bu değer aralığına göre camide orta frekanslarda hesaplanan 2,62 sn EDT değeri standartlara göre uygun olduğu görülmektedir.

ODEON simülasyon programında orta frekanslarda elde edilen RT ve EDT parametreleri karşılaştırması Çizelge 4.17'da verilmektedir.

Çizelge 4.17. ODEON'da elde edilen orta frekanslardaki ortalama RT ve EDT değerleri

ODEON'da 500-1000Hz Ort. EDT Değeri (sn)	2,62
ODEON'da 500-1000Hz Ort. RT Değeri (sn)	3,115



Şekil 4.37. ODEON'da elde edilen ortalama RT ve EDT değerleri karşılaştırma grafiği

Konuşmanın belirginliği (D50) ODEON simülasyon programı sonuçları: Hesaplanan D50 parametresi için 8 oktav bant ile düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'de verilmektedir.

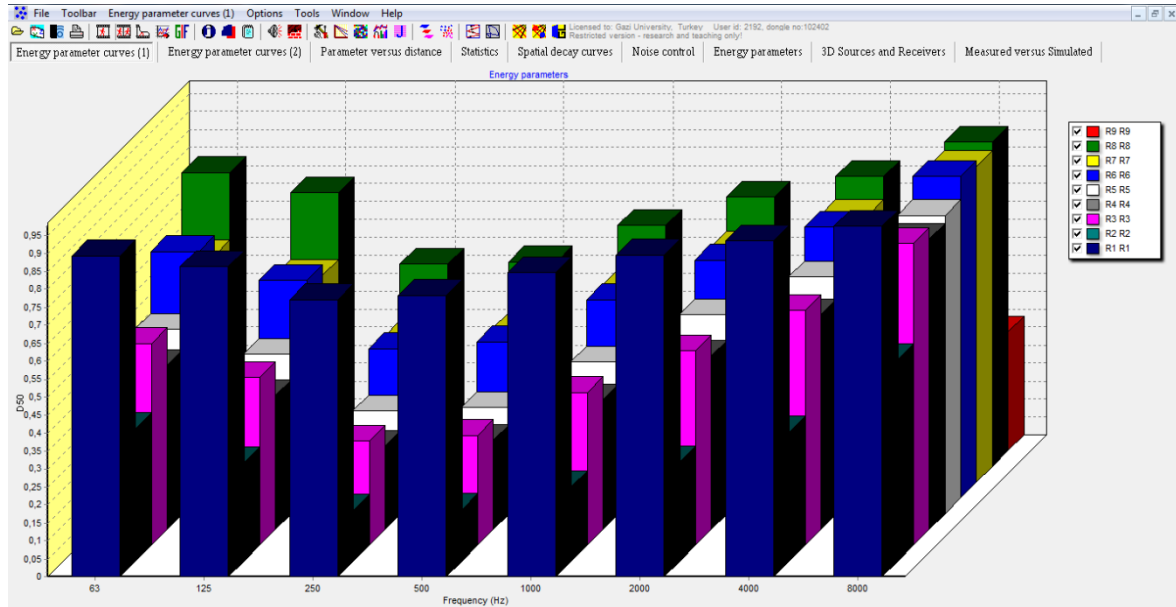
Çizelge 4.18. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen D50 değerleri

D50 Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,10	0,06	0,04	0,04	0,07	0,12	0,18	0,33
Maximum	0,89	0,86	0,77	0,78	0,85	0,90	0,93	0,98
Average	0,56	0,49	0,35	0,36	0,46	0,55	0,63	0,78

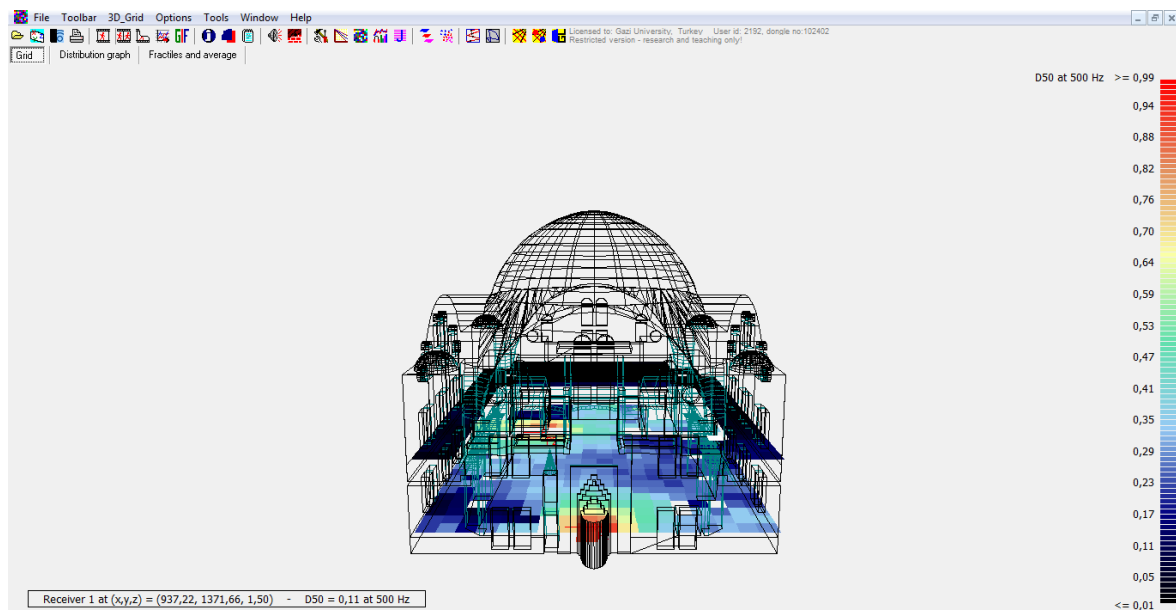
Çizelge 4.19. ODEON'da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama D50 değerleri

Frekans Aralığı (Hz)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
D50	0,42	0,41	0,59

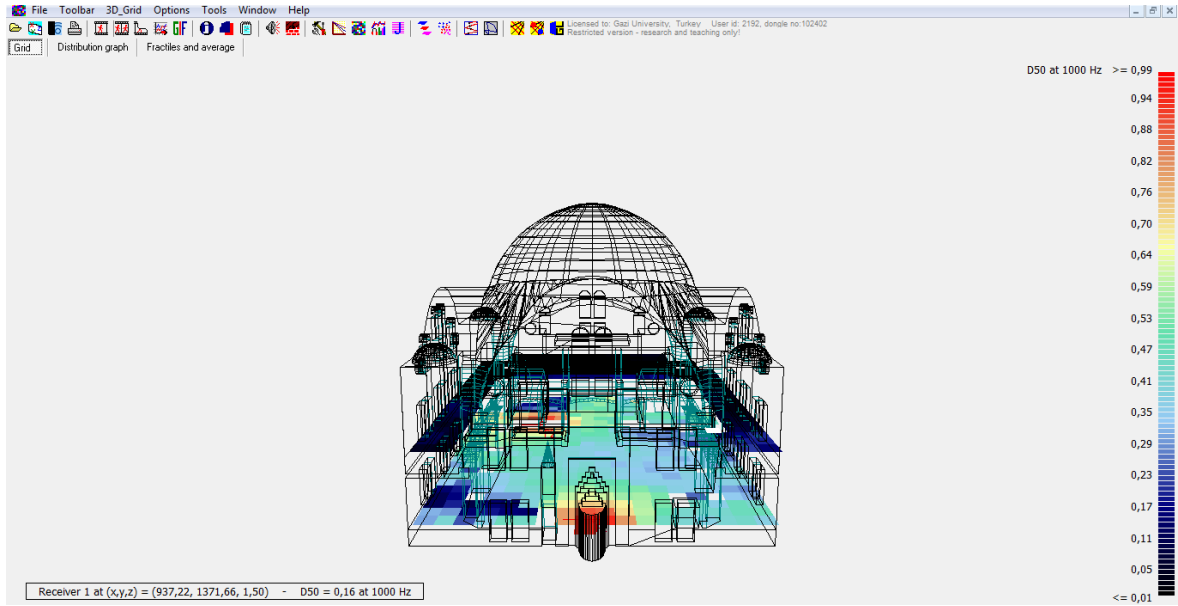
ODEON simülasyon programında, iki kaynak aktifken tüm alıcı noktalarında hesaplanan D50 değerlerinin grafik gösterimi ve salondaki dağılımı daha iyi ifade eden grid gösterimine bakıldığında kadınlar mahfili direkt ses almayıp sadece yansıyan seslerden beslendiği için kadınlar mahfilinde konuşmanın belirginliğinin oldukça düşük, yine R2 kaynağının konumlandığı kolon ve minber arkasında kalan alanda parametrenin düşük değer aldığı ve kaynağa yakın mesafedeki yerlerde konuşmanın belirginliğinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.38. ODEON'da tüm alıcı noktalarında D50 değeri dağılımı



Şekil 4.39. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de D50 değeri dağılımı



Şekil 4.40. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de D50 değeri dağılımı

TS EN ISO 3382-1 standardına göre EDT için orta frekanslarda optimum değer 0,30 – 0,70 aralığıdır [63]. Kadınlar mahfilinde ve R2 alıcı noktasının bulunduğu kolon ve minber arkasında konuşmanın berraklığı yeterli seviyede olmasa da, cami genelinde optimum değer aralığına göre orta frekanslarda hesaplanan 0,41 EDT değerinin standartlara göre uygun olduğu görülmektedir.

Sesin berraklığı (C80) ODEON simülasyon programı sonuçları: Hesaplanan C80 parametresi için 8 oktav bant ile düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilmektedir.

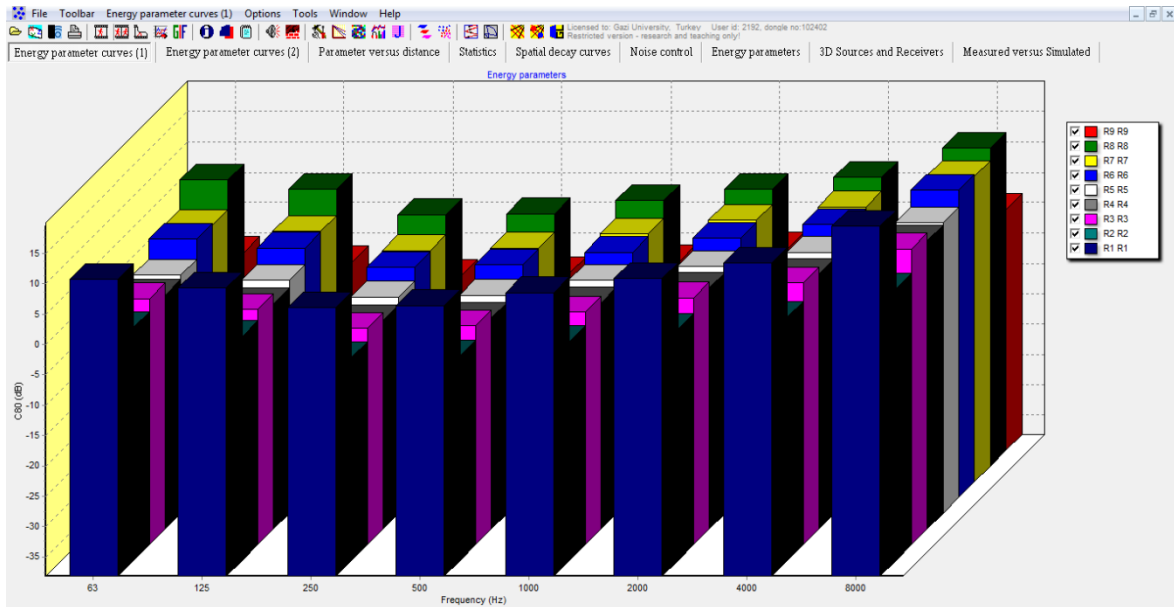
Çizelge 4.20. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen C80 değerleri

C80 Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-5,5	-7,2	-9,3	-8,9	-7	-4,8	-2,8	1,5
Maximum	10,8	9,3	6,1	6,4	8,5	10,8	13,4	19,5
Average	3	1,5	-1,6	-1,2	1	3,3	5,5	10,7

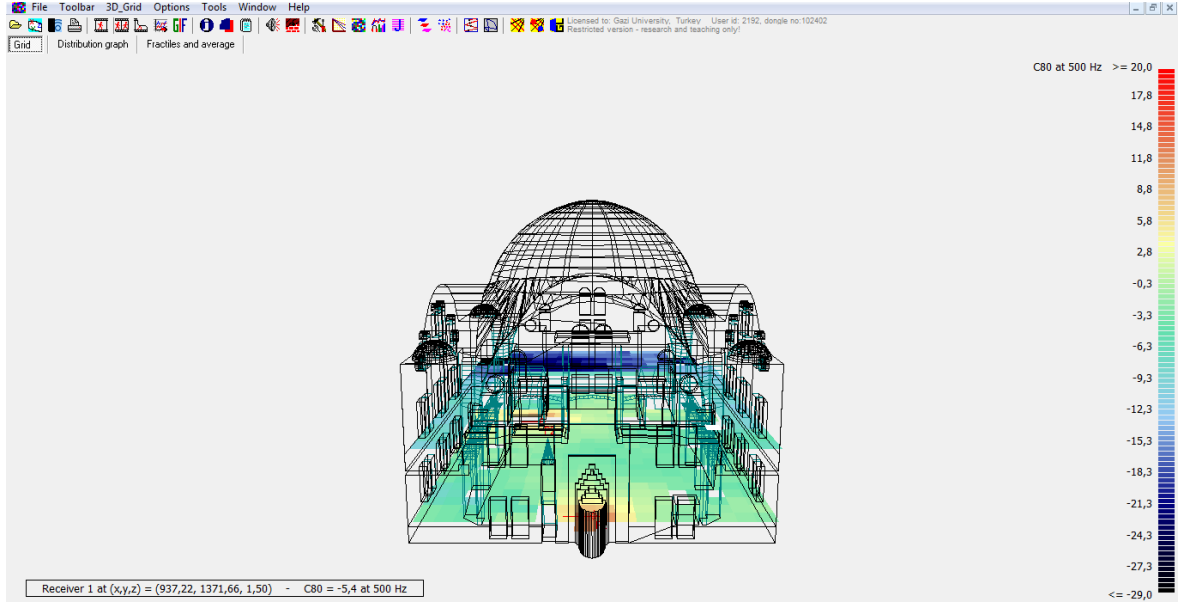
Çizelge 4.21. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen düşük, orta ve yüksek frekanslarda ortalama C80 değerleri

Frekans Aralığı (Hz)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
C80	-0,05	-0,10	4,40

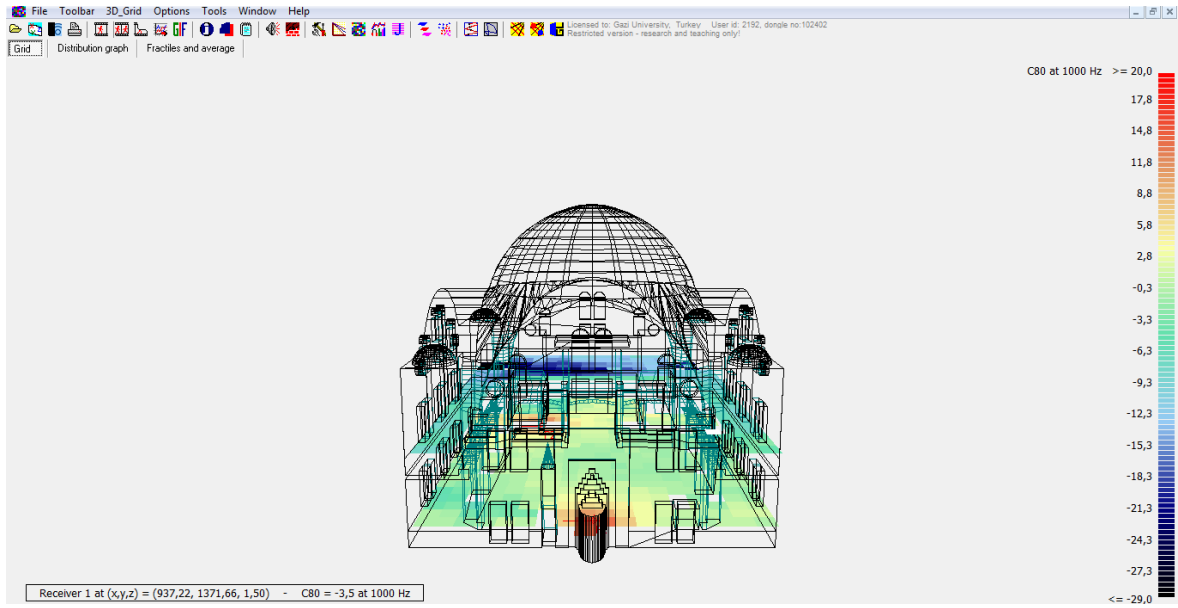
ODEON simülasyon programında, iki kaynak aktifken tüm alıcı noktalarında hesaplanan C80 değerlerinin grafik gösterimi ve salondaki dağılımı daha iyi ifade eden grid gösterimine bakıldığında kadınlar mahfilin C80 değerinin azaldığı, mihrap ve müezzin mahfili yakınlarında değerin arttığını görebilmekteyiz. C80 parametresinin yüksek değerlere sahip olduğu mihrap ve müezzin mahfilinde, ilk yansımaların enerjisinin fazla olduğu ve öznel olarak sesin net ve açık olarak duyulduğunu anlamaktayız.



Şekil 4.41. ODEON'da tüm alıcı noktalarında C80 değeri dağılımı



Şekil 4.42. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 500 Hz'de C80 değeri dağılımı



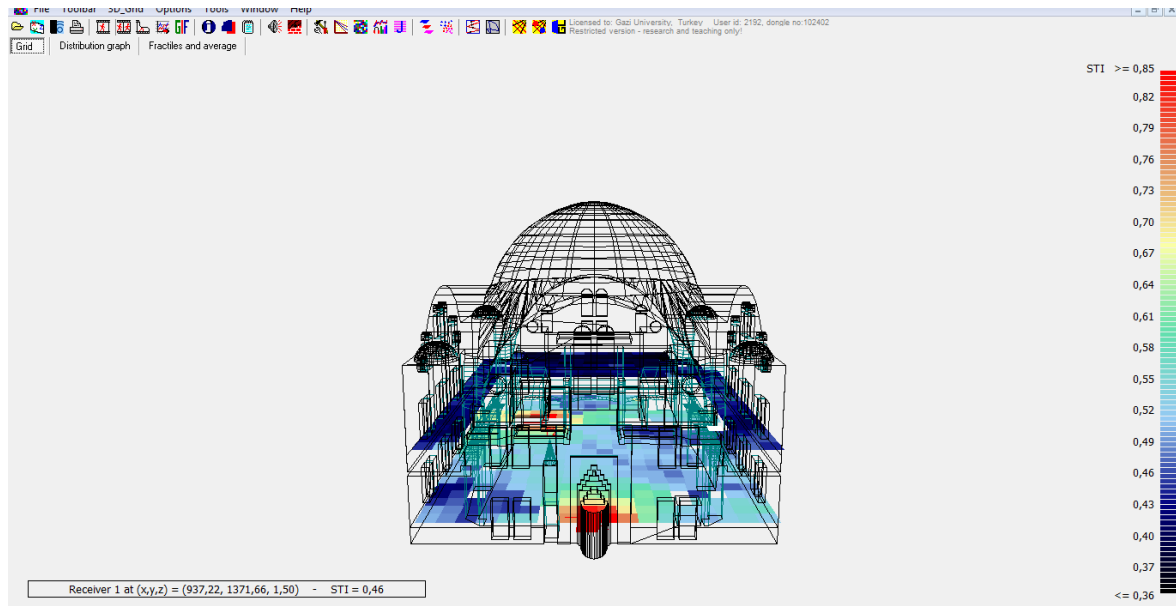
Şekil 4.43. ODEON'da tüm alıcı noktalarında 1000 Hz'de C80 değeri dağılımı

C80 parametresi için orta frekanslarda optimum değer TS EN ISO 3382-1 standardına [63] göre -5 - +5 dB aralığı, Beranek'e [60] göre -4 - +4 dB aralığı, Odeon simülasyon programına [53] göre -1 - +1 dB aralığı olarak belirlenmiş olup cami genelinde optimum değer aralığına göre orta frekanslarda hesaplanan -0,01 dB, EDT değerinin standartlara göre uygun olduğu görülmektedir.

Konuşmanın iletim indeksi (STI) ODEON simülasyon programı sonuçları: Hesaplanan STI parametresi için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22’de verilmektedir.

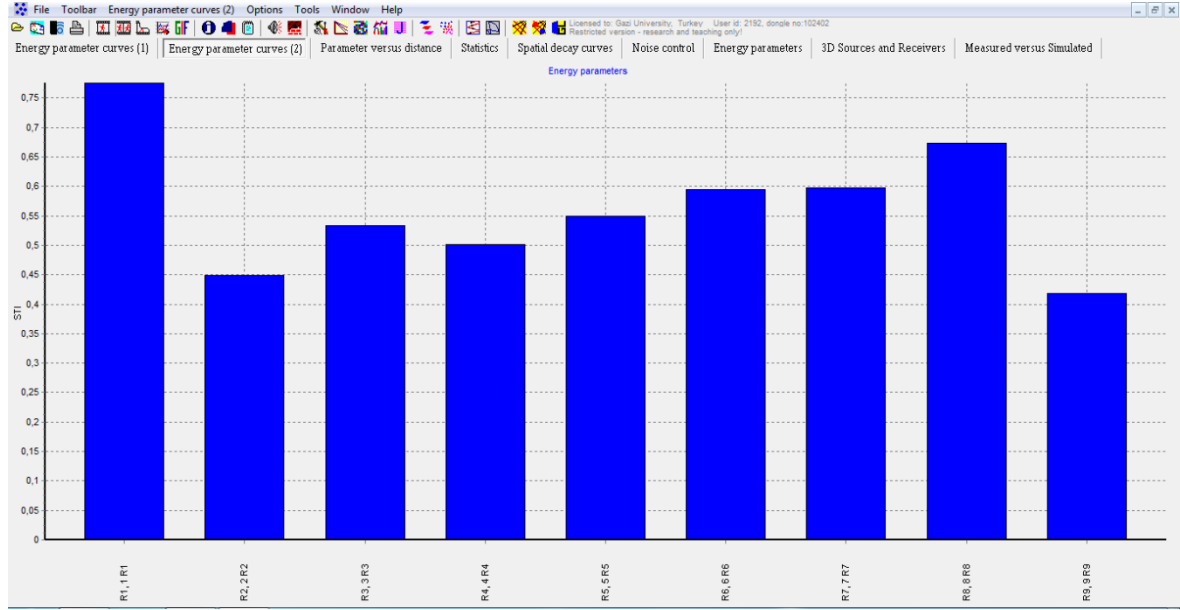
Çizelge 4.22. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen STI değerleri

STI, minimum	0,42
STI, maximum	0,78
STI, Average	0,57



Şekil 4.44. ODEON'da tüm alıcı noktalarında STI değeri dağılımı

Analizden elde edilen konuşma iletim indeksi ortalaması 0,57’dir ve Odeon simülasyon programına [53] göre salon geneli için “orta” değeri aralığı içinde kalmıştır.



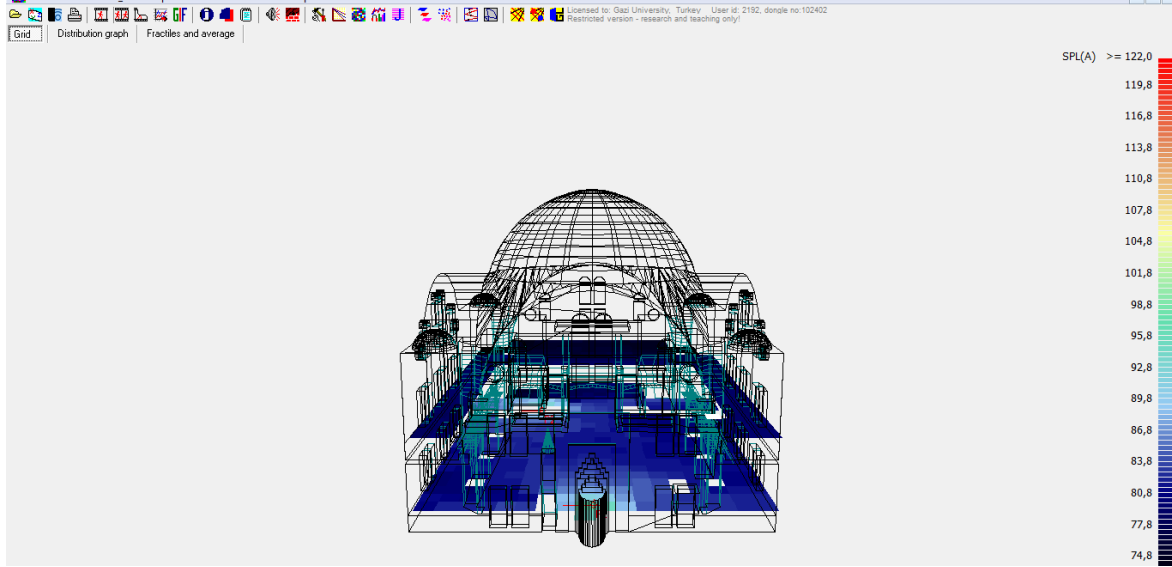
Şekil 4.45. ODEON'da tüm alıcı noktalarındaki STI değerleri dağılımı

Konuşma iletim indeksi, parametresi reverberasyon süresi ile yakından ilgilidir. Reverberasyon süresi arttıkça konuşmanın anlaşılabilirliği azalmaktadır. Üstteki grafiğe baktığımızda, konuşmanın iletim indeksi parametresinin sadece mihrapta konumlanan S1 kaynağına en yakın R1 alıcı noktasında “çok iyi” değer aralığına ulaştığı görülürken, kadınlar mahfilinde “zayıf” değer aralığında olduğu ve konuşmanın anlaşılabilirliğinin yeterli olmadığı görülmektedir.

Ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPLA) ODEON simülasyon programı sonuçları: Hesaplanan SPL(A) parametresi için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23’de verilmektedir.

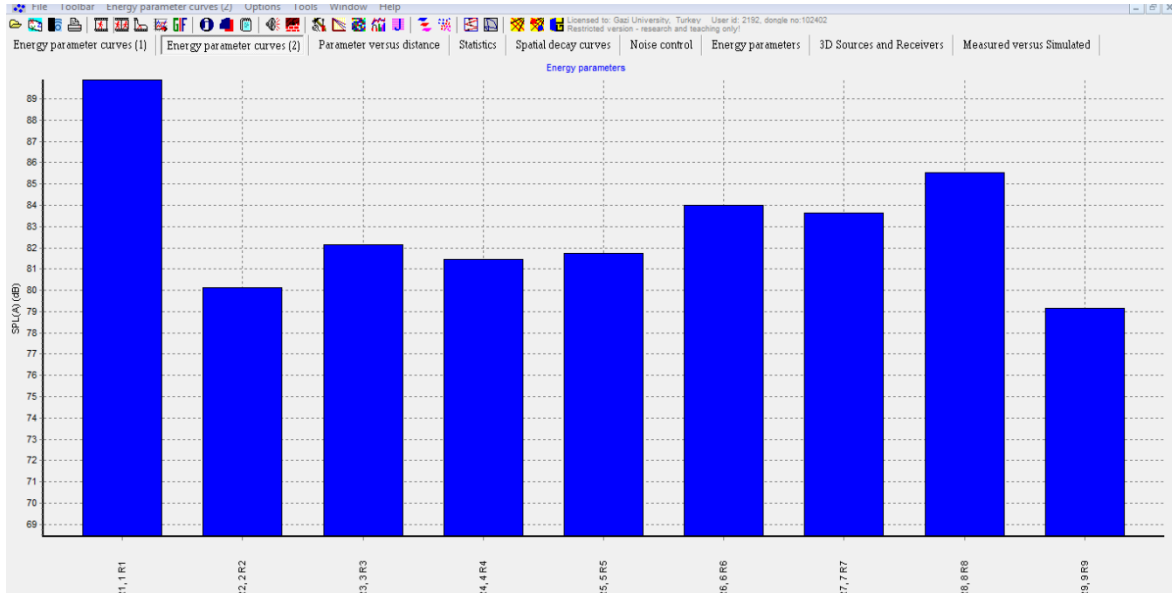
Çizelge 4.23. ODEON’da her iki kaynak (S1-S2) aktifken elde edilen SPL(A) değerleri

SPL(A), minimum	79,2(dB)
SPL(A), maximum	89,9(dB)
SPL(A), Average	83,1(dB)



Şekil 4.46. ODEON'da tüm alıcı noktalarında SPL(A) değeri dağılımı

Ağırlıklı ses basınç seviyesi farkının Tachibana ve ark. [65] göre, 10dB'den küçük olması gerekmektedir. İki kaynak aktifken, tüm alıcı noktalarında elde edilen SPL(A) minimum ve maksimum değer arasındaki fark 10,7'dir. Ses seviyeleri arasındaki 10 dB'den fazla fark ibadet alanı içerisindeki ses enerjisi dağılımının düzgün olmadığı anlamına gelmektedir. Ancak aradaki farkın üst sınıra çok yakın bir değerde olduğu da belirtilmelidir.



Şekil 4.47. ODEON'da tüm alıcı noktalarındaki SPL(A) değerleri dağılımı

Şekilde görüldüğü gibi, SPL(A)'nın almış olduğu en yüksek değer mihraptaki S1 kaynağına en yakın noktada konumlanan R1 noktasında ölçülürken, en düşük değer ise iki kaynağa da en uzak noktada, kadınlar mahfilinde (R9) ölçülmüştür.

Müezzin mahfilinin cami akustiğine etkisi: Camilerde müezzin mahfilinin gerekliliğini ortaya koyabilmek için sadece imamın temsil edildiği S1 kaynağı aktifken ikinci bir simülasyon çalışmasına gidilmiş olup elde edilen sonuçlara göre müezzin mahfilinde bulunan ve imamın sözlerini arka cemaate iletilmesine yardımcı olan müezzinlerin cami akustiğine etkisi ortaya konulmuştur (Çizelge 4.24).

Reverberasyon süresi (RT) caminin hacmi ve malzemelerin ses yutuculukları ile yakından ilgili olduğu için, S2 kaynağının olmamasından yani müezzinin olmamasından etkilenmediği; konuşmanın belirginliği (D50), sesin berraklığı (C80) ve konuşmanın iletim indeksi (STI) parametre değerlerinin olumsuz etkilendiği ancak optimum sınır değerlerini yine de sağladığı; SPL(A) parametresinin ise bu durumdan en olumsuz etkilenen parametre olduğu yani cami içinde ses basınç seviyesi dağılımındaki problemin arttığı, imamın sesinin özellikle arka taraftaki cemaate iletilmesinde sorun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 4.24. Müezzin mahfilinin cami akustiğine etkisini gösteren değerler

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum değerler	S1 (imam) ve S2 (müezzin) kaynağı aktifken (500-1000 Hz)	Yalnız S1 (imam) kaynağı aktifken (500-1000 Hz)
RT, sn (500-1000 Hz ort.)	2,7 sn – 3,2 sn [61,62]	3,115	3,110
EDT, sn (500-1000 Hz ort.)	1,0 sn - 3,0 sn [63]	2,62	2,81
D50 (500-1000 Hz ort.)	0,30 – 0,70 [63]	0,41	0,32
C80, dB (500-1000 Hz ort.)	-5 dB - +5 dB [63]	-0,1	-1,6
	-4 dB - +4 dB [64]		
	-1 dB- +1dB [53]		
STI	0,45<orta<0,60 [53]	0,57	0,52
Δ SPL(A), dBA	Δ SPL(A) < 10 dBA [65]	10,7	13,9

Doluluğun cami akustiğine etkisi: Bu çalışmada, Hasan Tanık Camii boşken ölçüm ve simülasyon yönetimi ile değerlendirmeye gidilmiştir, ancak caminin doluluk oranının cami akustiği açısından büyük önem taşıdığı bilinmektedir. Bu nedenle üçüncü bir simülasyon çalışmasına gidilmiş ve cami tam dolu (1000 kişi) iken optimum değerlere bakılmış ve boş camide elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.25).

Kaynaktan çıkan sesler cemaat tarafından yutulduğu için reverberasyon süresi (RT) ve erken sönümlenme süresinde (EDT) önemli bir düşüş yaşanmıştır. Reverberasyon süresinin düşmesi ile konuşmayı etkileyen parametreler konuşmanın belirginliği (D50) ve konuşmanın iletim indeksi (STI) parametrelerinde iyileşme görülmüştür. Bu nedenle dolu caminin konuşma için daha uygun hale geldiği söylenebilir. Sesin berraklığı (C80) parametresinin değerinde artış, müziğin net bir şekilde algılandığını ancak reverberasyon düşük olduğu için ruhani etkinin biraz azaldığı söylenebilir. Ses basınç seviyesi (SPLA) farkındaki artış cami içinde ses dağılımının daha da bozulduğunu, kaynağa uzak noktalara sesin yeterli iletilmediğini göstermektedir.

Caminin mimarisi ve yapı elemanları haricinde, caminin dolu ve boş olması caminin hacim akustiği parametrelerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle özellikle, zeminde kullanılacak halının insan yutuculuğuna yakın değerlerde seçilmesi ve dolu cami ile boş cami arasındaki farkın azaltılması gerekmektedir.

Çizelge 4.25. Doluluğun cami akustiğine etkisini gösteren değerler

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum değerler	S1 ve S2 aktif, cami boş (500-1000 Hz)	S1 ve S2 aktif, cami dolu (500-1000 Hz)
RT, sn (500-1000 Hz ort.)	2,7 sn – 3,2 sn [61,62]	3,115	1,42
EDT, sn (500-1000 Hz ort.)	1,0 sn - 3,0 sn [63]	2,62	1,09
D50 (500-1000 Hz ort.)	0,30 – 0,70 [63]	0,41	0,53
C80, dB (500-1000 Hz ort.)	-5 dB - +5 dB [63]	-0,1	3,6
	-4 dB - +4 dB [64]		
	-1 dB- +1dB [53]		
STI	0,45<orta<0,60 0,60<iyi<0,75 [53]	0,57	0,65
Δ SPL(A), dBA	Δ SPL(A) < 10 dBA [65]	10,7	14

5. SONUÇ

Camilerdeki akustik konfor koşullarına dikkati çekmek amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasında, öncelikle literatür taraması yapılarak camilerde ihtiyaç duyulan akustik tasarım kriterleri ve bu kriterlerin oluşmasında temel teşkil eden etkenler ortaya konulmuştur. Camiler için önemli hacim akustiği parametrelerinin optimum değerleri tanımlanmış ve örnek olarak seçilen Hasan Tanık Camii'nin akustik performansı alan ölçümü ve ODEON simülasyon programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Öncelikle, alan ölçümünde TS EN ISO 3382-1 standardı doğrultusunda reverberasyon süresi (RT), ses basınç seviyesi (SPL) ve arka plan gürültü düzeyi (LeqA) ölçümleri yapılmıştır. Ardından, ODEON (v 10.02) simülasyon programı aracılığı ile reverberasyon süresi (RT), erken sönümlenme süresi (EDT), konuşmanın belirginliği (D50), sesin berraklığı (C80), konuşmanın iletim indeksi (STI), ve ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPLA) parametreleri belirlenmiştir.

Bir binada; elektro-akustik güçlendirme sistemleri olmaksızın binanın mimari özellikleri ile doğal akustik konfor koşullarının sağlanması beklenmektedir. Bu bağlamda elektro-akustik sistemler çalışmanın sınırları dışında bırakılmıştır.

Simülasyon ve ölçüm sonucunda elde edilen RT, EDT, D50, C80, STI ve SPL(A) parametreleri; TS EN ISO 3382-1 standardında ve temel referans kaynaklarda belirtilen optimum değer aralıklarına göre değerlendirilerek Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Hasan Tanık Camii'nin akustik performansının değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Kaynaklar	Kabul Edilebilir Değerler			Alan Ölçüm Sonuçları	Simülasyon (ODEON) Sonuçları	Değerlendirme
		Konuşma İşlevi	Müzik İşlevi	Cami			
RT Reverberasyon Süresi, sn (500-1000 Hz ort.)	Karabiber Yüksel [61,62]	-	-	2,7 sn – 3,2 sn	2,97 sn	3,115 sn	Uygun
EDT Erken Sönümlenme Süresi, sn (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	-	1,0 sn - 3,0 sn	-	-	2,62 sn	Uygun
D50 Konuşmanın Belirginliği (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	0,30 – 0,70	-	-	-	0,41	Uygun
C80 Sesin Berraklığı, dB (500-1000 Hz ort.)	TS EN ISO 3382-1 [63]	-	-5 dB - +5 dB	-	-	-0,1 dB	Uygun
	Beraneek [64]		-4 dB - +4 dB				
	Odeon [53]		-1 dB- +1dB				
STI Konuşmanın İletim İndeksi	Odeon [53]	0,45<orta<0,6 0,6 <iyi< 0,75 0,75 <çokiyi<1,0	-	-	-	0,57	Orta
Δ SPL(A) Ağırlıklı Ses Basınç Seviyesi Farkı, dBA	Tachibana ve ark. [65]	Δ SPL(A) < 10 dBA		-	-	10,7 dBA	Uygun değil

Alan ölçümünde ve simülasyon programı aracılığıyla elde edilen reverberasyon süreleri arasındaki farkın, insanın yutuculuğu düşünüldüğünde alan ölçümündeki değerlerin simülasyon programından elde edilen değerlerden daha az olmasının, ölçüm esnasında salonda bulunan yaklaşık 10 adet kişiden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Reverberasyon süresi için alan ölçümü ve simülasyon programı (Odeon) sonucunun karşılaştırılması

Reverberasyon Süresi - RT (sn)	125 - 250 Hz Ort.	500 - 1000 Hz Ort.	2000 – 4000 Hz Ort.
Simülasyon Programı (Odeon) Verileri	3,41	3,115	1,415
Alan Ölçümü Verileri	3,065	2,97	1,28

Hasan Tanık Camii’nde alan ölçümü ve simülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen ve Çizelge 5.1’de verilen akustik parametreler incelendiğinde camide konuşmanın ve cami musikisinin istenen nitelikte dinleyiciye ulaşmasının ölçütü olan temel parametrelerden RT, EDT, D50 ve C80 parametreleri standartlarda belirtilen aralıklarda olup STI parametresi cami genelinde “orta” değerlerde, SPL(A) parametresi ise istenilen değerlerin altında olduğu görülmüştür. Camilerde reverberasyon süresinin makul sınırlarda uzun olması, caminin ruhani etkini artırmaktadır.

Her ne kadar incelenen camide; orta frekanslarda uygun reverberasyon süresi söz konusu olsa da, yüksek frekanslardaki düşük reverberasyon süresi; alçak ve orta frekanslı seslerin, yüksek frekanslı sesleri bastırması sonucunu doğurarak, konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Reverberasyon süresi cami musikisi için uygun değerlerdedir, ancak konuşmanın anlaşılabilirliği için reverberasyon süresi uzun sayılabilir. Nitekim “orta” düzeyli konuşmanın iletim indeksi (STI) değeri de bu sonucu destekler niteliktedir.

Cami içerisinde kaynağa en yakın ve en uzak mesafelerdeki ağırlıklı ses basınç seviyesi (SPL) farkına bakıldığında ise, ses basınç seviyesi değerlerinin cami içerisinde dağılımının problemli olduğunu göstermektedir.

Hasan Tanık Cami ağırlıklı olarak yansıtıcı yüzeylerle kaplı olması reverberasyon süresini etkilemektedir. Ayrıca, caminin ana kubbe odaklanmasına baktığımızda zeminden oldukça yukarıda olduğu ve cemaat üzerinde olumsuz bir odaklanma olayı yaşanmadığı tespit edilmiştir.

Camilerde müezzin mahfilinin gerekliliğini ortaya koyabilmek için ikinci bir simülasyon çalışmasına gidilmiştir. Reverberasyon süresi (RT) caminin hacmi ve malzemelerin ses yutuculukları ile yakından ilgili olduğu için, S2 kaynağının olmamasından yani müezzinin olmamasından etkilenmediği; konuşmanın belirginliği (D50), sesin berraklığı (C80) ve konuşmanın iletim indeksi (STI) parametre değerlerinin olumsuz etkilendiği ancak optimum sınır değerlerini yine de sağladığı; SPL(A) parametresinin ise bu durumdan en olumsuz etkilenen parametre olduğu yani cami içinde ses basınç seviyesi dağılımındaki problemin arttığı, imamın sesinin özellikle arka taraftaki cemaate iletilmesinde sorun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Doluluğun cami akustiğine etkisini ortaya koyabilmek için üçüncü bir simülasyon çalışmasına gidilmiş olup cami tam dolu (1000 kişi) iken optimum değerlere bakılmış ve boş camide elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Kaynaktan çıkan sesler cemaat tarafından yutulduğu için reverberasyon süresi (RT) ve erken sönümlenme süresinde (EDT) önemli bir düşüş yaşanmıştır. Reverberasyon süresinin düşmesi ile konuşmayı etkileyen parametreler konuşmanın belirginliği (D50) ve konuşmanın iletim indeksi (STI) parametrelerinde iyileşme görülmüştür. Bu nedenle dolu caminin konuşma için daha uygun hale geldiği söylenebilir. Sesin berraklığı (C80) parametresinin değerinde artış, müziğin net bir şekilde algılandığını ancak reverberasyon düşük olduğu için ruhani etkinin biraz azaldığı söylenebilir. Ses basınç seviyesi (SPLA) farkındaki artış cami içinde ses dağılımının daha da bozulduğunu, kaynağa uzak noktalara sesin yeterli iletilmediğini göstermektedir. Caminin mimarisi ve yapı elemanları haricinde, caminin dolu ve boş olması caminin hacim akustiği parametrelerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle özellikle, zeminde kullanılacak halının insan yutuculuğuna yakın değerlerde seçilmesi ve dolu cami ile boş cami arasındaki farkın azaltılması gerekmektedir.

Gerek alan ölçümü gerekse simülasyon aracılığı ile elde edilen bu sonuçlar; Hasan Tanık Camii akustiğinin daha konforlu hale getirilebilmesi için; caminin doğal akustiğinin kabul edilebilir değerlere uyum sağlayacak şekilde, özellikle STI ve SPL(A) parametreleri

özelinde yeniden düzenlenmeye ihtiyacı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, ülkemiz mevzuatlarında camiler için akustik tasarım kriterleri belirlenmemiş olduğundan özellikle Müslüman toplumlar için çok önem arz eden camiler için akustik performans kriterlerine yönelik çalışmalara ülkemizde daha çok yer verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Uzun, Ç. (2010). Günümüz Cami Mimarisinin İşlev-Biçim ve Teknoloji İlişkisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 4-69.
2. Eyice, S. (1993). Cami. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 56-90.
3. Ersay, A. (2010). Ankara'daki Dini Yapılarda Mahalli Üslup, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Türk İslam Sanatları Tarihi Ana Bilim Dalı, Ankara.
4. Haseki, S. (2006). 20. Yüzyıl Çağdaş Cami Mimarisine Ankara Örnekleri Üzerinden Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Cebeci, N. (2008, 6 Mart). Dini yapılar denince şehirdeki bütün çirkinlikler gözümüze takılıyor, ama söz konusu 'sivil mimari' olunca kendimizi avutuyoruz. URL: http://www.mimarizm.com/makale/numan-cebeci-dini-yapilar-denince-sehirdeki-butun-cirkinlikler-gozumuzu-takiliyor-ama-soz-konusu-sivil-mimari-olunca-kendimizi-avutuyoruz_113511 Son Erişim Tarihi: 24.12.2015.
6. Erdem, B. (2011). Mimar Sinan'ın Eseri Olan Üç Önemli Caminin Mekansal Özelliklerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Kayılı, M. (1988). Sinan Eserlerinde Akustik, IV. Vakıf Haftası - Türk Vakıf Medeniyeti Çerçevesinde Mimar Sinan ve Dönemi Sempozyumu, İstanbul.
8. Acoustic of Worship Buildings. (2001). International Congresses on Acoustics ICA, Roma.
9. Weitze, C. A., Rindel, J. H., Christensen, C. L., Gade, A. C. (2002). The Acoustical History of Hagia Sophia revived through Computer Simulation. Forum Acusticum, Sevilla.
10. Abdou, A. A. (2003). Measurement of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia. Journal of Acoustical Society of America, 113(3), 1505-1517.
11. Abdou, A. A. (2003). Comparison of the Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies. Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven.
12. Karabiber, Z., Erdoğan, S. (2002). Comparison of The Acoustical Properties of An Ancient and A Recent Mosque. Forum Acusticum, Sevilla.
13. Yüksel, Z., Erdoğan, S. (2005). Virtual Conservation of Acoustical Heritage: CAHRISMA and ERATO Projects. Forum Acusticum, Budapest.
14. Odabaş, E., Sü Gül, Z., Çalışkan, M. (2011). Doğramacızade Ali Paşa Camii'nin Akustik Ölçümlerle Değerlendirilmesi. 9. Ulusal Akustik Kongresi, Ankara.

15. Carvalho, A., & Monteiro, C. G. (2009). Comparison of the Acoustics of Mosques and Catholic Churches. The Sixteenth International Congress on Sound and Vibration, Krakow.
16. Eröz, F. (2015). Mimar Sinan, Üsküdar Mihrimah Sultan Camii Akustik Öncesi ve Sonrası. Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 77-89.
17. Hasol, D. (2014). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. İstanbul: Yem Yayın.
18. Uysal, E. (2015). Esra Uysal Fotoğraf Albümü.
19. Erzincan, T. (2005). Mihrap. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 30, 30-37.
20. Bozkurt, N. (2005). Minber. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 30, 101-103.
21. Çoruhlu, Y. (2002). Kürsü. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 26, 573-574.
22. Acar, Ş. (2000). Süleymaniye'nin Düşündürdükleri. Tasarım Dergisi, 102, 108-117.
23. Tanman, M. B. (2003). Mahfil. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 27, 331-333.
24. Mülâyim, S. (2002). Kubbe. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: Türk Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 26, 300-303.
25. Kayılı, M. (2005). Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture. Foundation for Science technology and Civilization, 1-15.
26. Kayılı, M. (2002). Evolution of Acoustics and Effect of Worship Buildings on It. 3rd European Congress on Acoustics-Forum Acusticum, Sevilla.
27. Lawrence, A. (1970). Achitectural Acoustics. Amsterdam- London-New York: Elsevier Publishing Company Limited.
28. Kayılı, M. (1988). Mimar Sinan'ın Camilerindeki Akustik Verilerin Değerlendirilmesi. Mimarbaşı Koca Sinan Yaşadığı Çağ ve Eserleri. İstanbul: Vakıflar Genel Müdürlüğü, 546-554.
29. Mülâyim, S. (2012). Tono. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: TDV Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 41, 238-240.
30. Mülâyim, S. (2010). Sütun. TDV İslam Ansiklopedisi. İstanbul: TDV Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 38, 181-182.
31. İnternet: URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki>

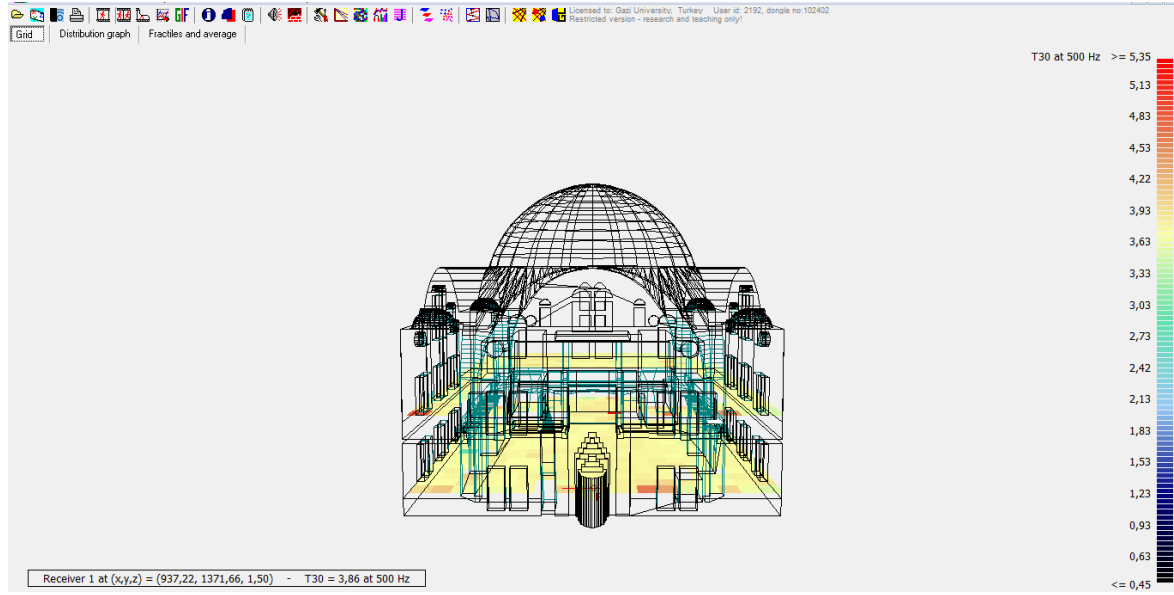
- %2FKurtuba Camii%23%2Fmedia%2FFile%3AMosque Cordoba.jpg&date=2016-01-13 Son Erişim Tarihi: 13.01.2016.
32. Mülayim, S. (2007). Paye. TDV İşlam Ansiklopedisi. İstanbul: TDV Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 34, 194.
 33. İnternet: URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhistorum.com%2Fmiddle-eastern-african-history%2F58289-architecture-seljuk-turks-4.html&date=2016-01-13>
Son Erişim Tarihi: 13.01.2016.
 34. Mlayim, S. (2006). Mukarnas. TDV İşlam Ansiklopedisi. İstanbul: TDV Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 31, 126-128.
 35. Moore, J. E. (1978). Design for Good Acoustics and Noise Control. London and Basingstoke: The Macmillan Press Ltd.
 36. İnternet: URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emrearolat.com%2F&date=2016-01-13> Son Erişim Tarihi: 13.01.2016.
 37. Kleiner, M., Klepper, D., Torres, R. (2010). Worship Space Acoustics. Ford Lauderdale: J. Ross Publishing.
 38. Ekşi, A., Türker, A. S., Meydan, A., şahan, R., Adıyaman, K., zket, H. (2012). Hitabet ve Mesleki Uygulama Ders Kitabı. İstanbul:Mili Eēitim Bakanlıēı Yayınları.
 39. Turabi, A. H. (2012). Cami Musikisi. Cami Yazıları. Ankara: Diyanet İşleri Bařkanlıēı Yayınları, 159-181.
 40. zcan, N. (1997). Cami Musikisi. TDV İşlam Ansiklopedisi. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 7, 102.
 41. Sifil, E. (2002). Kıraat. TDV İşlam Szlē. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayın Matbaacılık ve Ticaret İşletmesi, 25, 432-435.
 42. Kamili, F. (2006). İşlam Fıkhında Namaz İbadeti, Yüksek Lisans Tezi, Uludaē Üniversitesi İşlam Hukuku Bilim Dalı, Bursa.
 43. Beranek, L. (1996). Acoustics and Musical Qualities. The Journal of the Acoustical Society of America, 99, 5.
 44. Çevre ve şehircilik Bakanlıēı, (2010). Çevresel Gürültünün Deēerlendirilmesi ve Yönetimi Ynetmeliēi. Ankara: Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Mdrlē.
 45. Demirkale, S. Y. (2007). Çevre ve Yapı Akustiēi. İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. şti.
 46. Beranek, L. L. (1996). Concert and Opera Halls: How They Sound. New York: ASA.

47. Balcı, H. (2007). Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Akustiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
48. Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J. (1999). Architectural Acoustics Principles and Design (1st ed). New Jersey: Prentice Hall.
49. İlisulu, S. G. (2010). Tiyatro Salonlarının Akustik Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Örnek Çalışma: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
50. Barron, M. (1993). Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E&FN Spon.
51. Kuttruff, H. (1991). Room Acoustics (3rd ed.). Londra: Elsevier Applied Science.
52. Sü Gül, Z., Çalışkan, M. (2013). Impact of Design Decisions on Acoustical Comfort Parameters: Case Study of Doğramacızade Ali Paşa Mosque. Applied Acoustics, 834-844.
53. Christensen, C. L. (2009). Odeon Room Acoustics Program User Manual. Denmark: Odeon A/S.
54. Long, M. (2006). Architectural Acoustics. USA: Elsevier Academic Press.
55. Foreman, M. R., Swaim, J. D., Vollmer, F. (2015). Whispering gallery mode sensors. Advances in Optics and Photonics 7. Erlangen: OSA Publishing, 632-634.
56. Orfali, W. A. (2007, 4-8 Haziran). Sound Parameters in Mosques. 153rd Meeting of ASA. Salt Lake City.
57. Doelle, L. L. (1965). Acoustics in Architectural Design. Ottawa: National Research Council of Canada.
58. Maekawa, Z., Lord, P. (1994). Environmental and Architectural Acoustics. London: E&FN Spon.
59. Özer, M. (1979). Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı. İstanbul: Apraz.
60. Egan, M. D. (1988). Architectural Acoustics . New York: McGraw-Hill.
61. İnternet: URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dat.dtu.dk%2Fcahrismma.htm&date=2016-01-13> Son Erişim Tarihi: 13.01.2016
62. Yüksel, Z., Erdoğan, S. (2005). Virtual Conservation of Acoustical Heritage: CAHRISMA and ERATO Projects. Forum Acusticum, Budapest.
63. TS EN ISO 3382-1. (2010). Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters- Part 1: Performance Spaces.

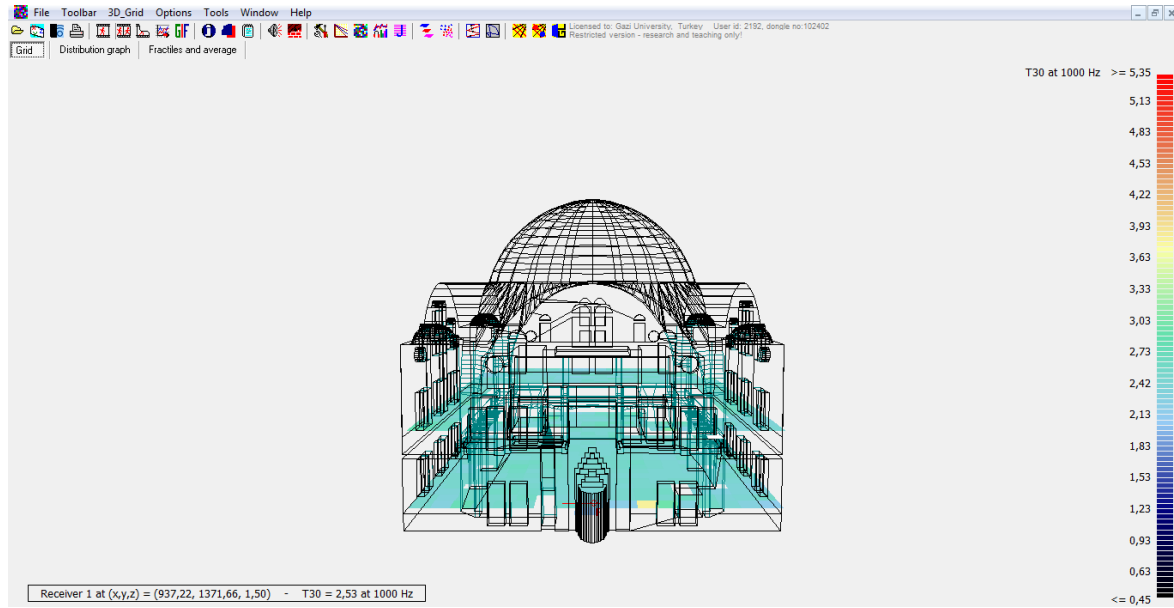
64. Beranek, L. L. (1988). *Acoustical Measurements*. New York: ASA.
65. Tachibana, H., Yamasaki, Y., Morimoto, M., Hirasawa, Y., Maekawa, Z., Posselt, C. (1989). Acoustic survey of auditoriums in Europe and Japan. *Journal of the Acoustical Society of Japan*. 10(2), 1-13.
66. Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2009). *Master Handbook of Acoustics*. New York: The McGraw-Hill Companies.
67. Dimon, M. N., Adzim, S. D., Hassan, H., Azliza, N., Jusoh, M. Z. (2010). Good speech intelligibility through novel acoustics material of geometric perforated panel in mosques. *The International Symposium on Room Acoustics ISRA2010*, Melbourne.

EKLER

EK-1. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

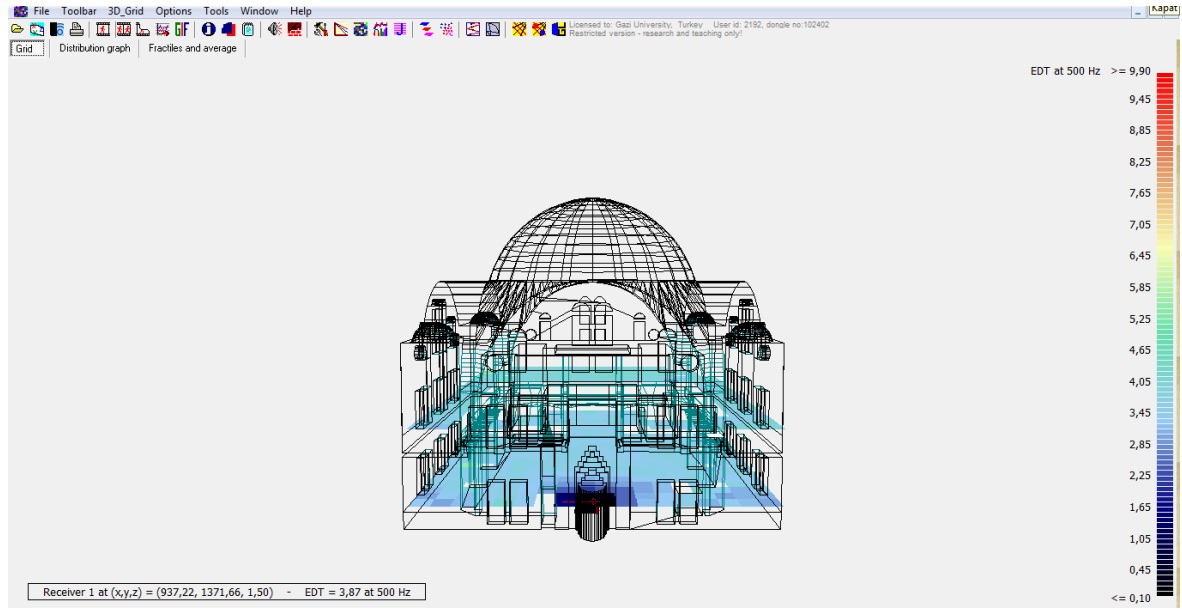


Şekil 1.1. RT Parametresi 500 Hz

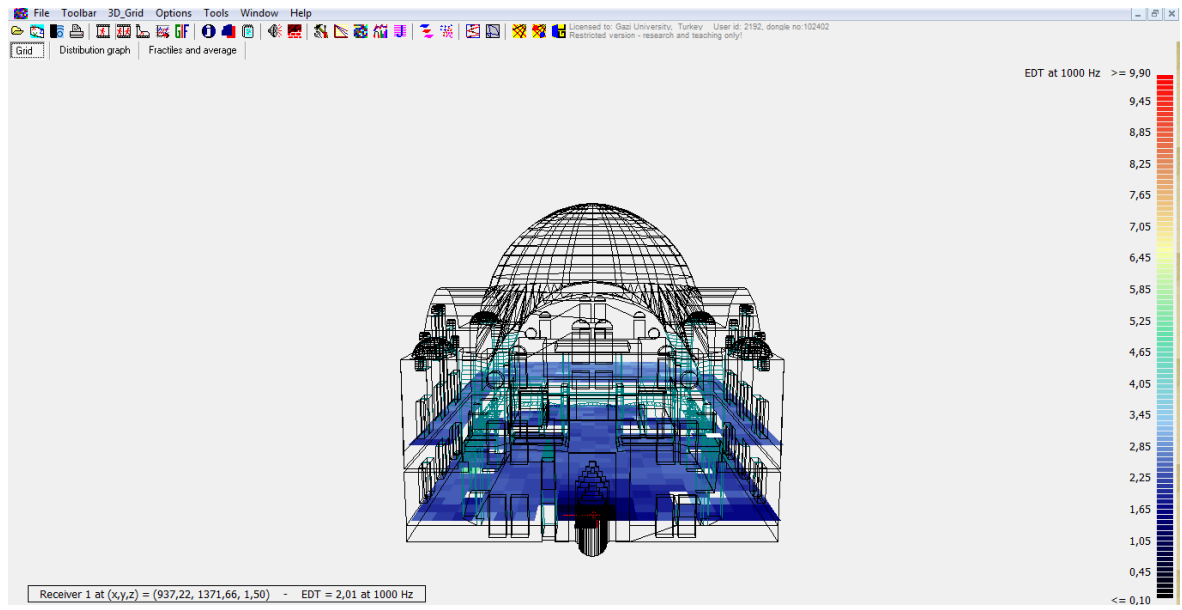


Şekil 1.2. RT Parametresi 1000 Hz

EK-1. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

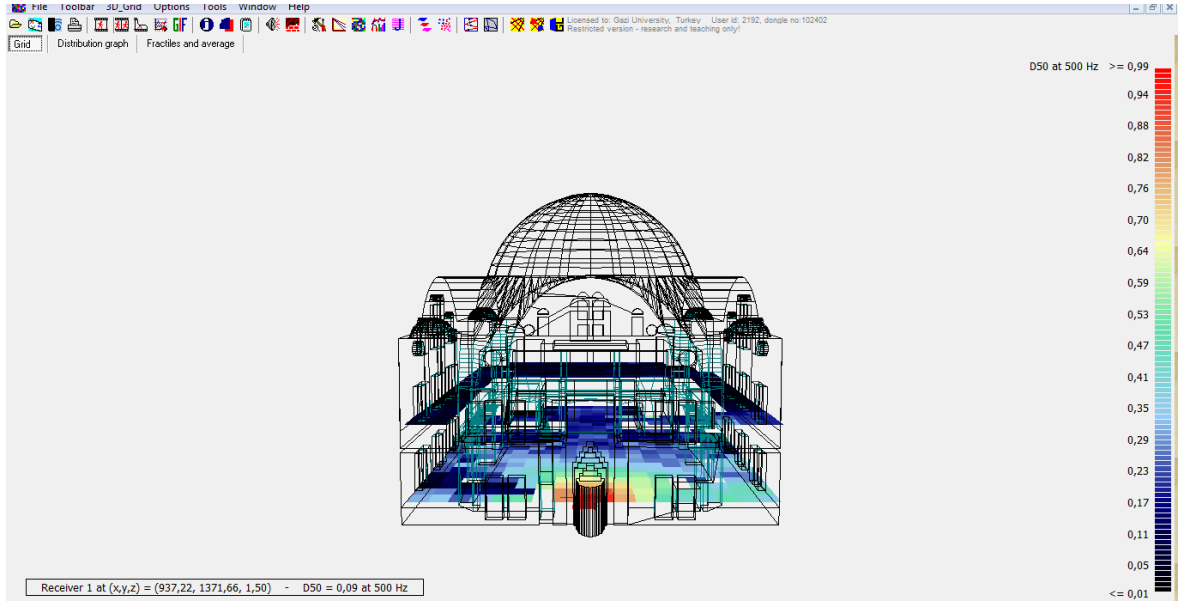


Şekil 1.3. EDT Parametresi 500 Hz

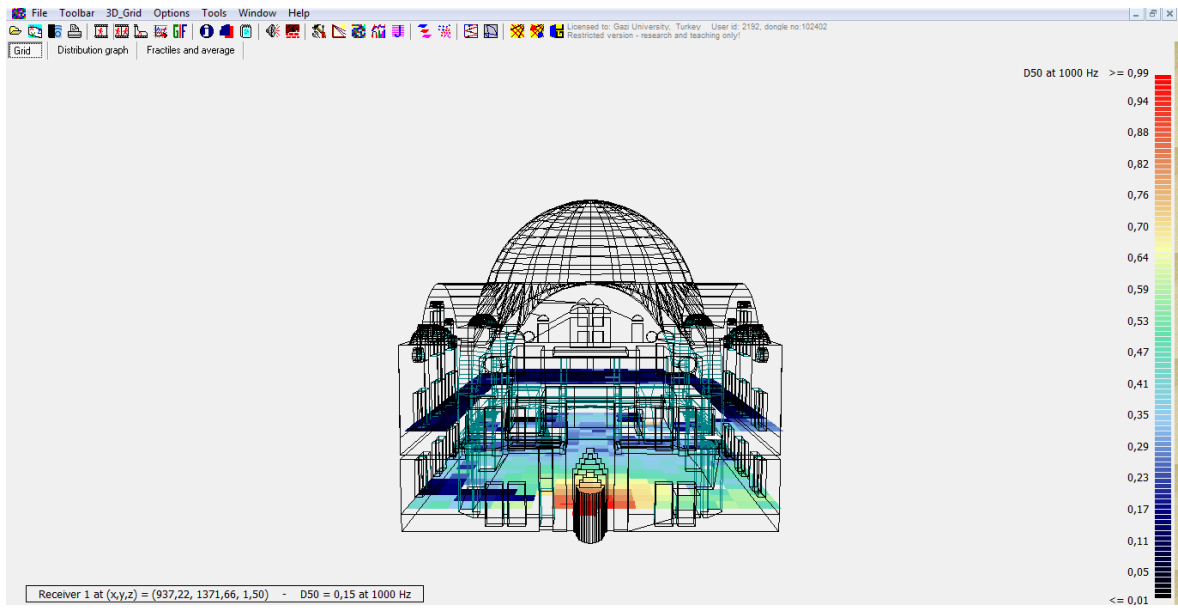


Şekil 1.4. EDT Parametresi 1000 Hz

EK-1. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

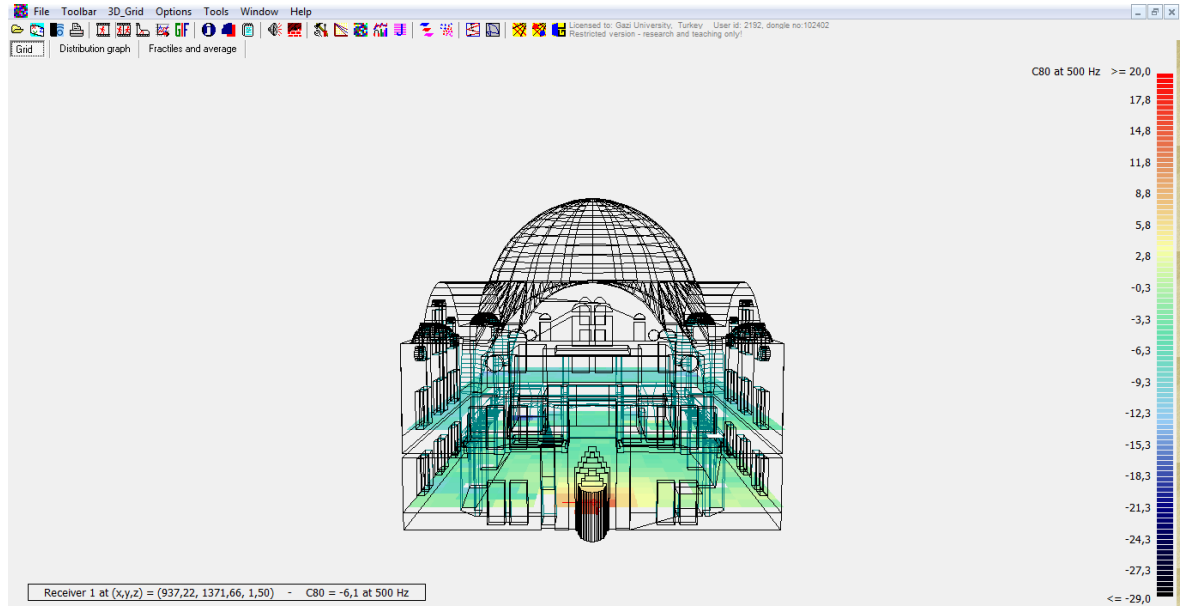


Şekil 1.5. D50 Parametresi 500 Hz

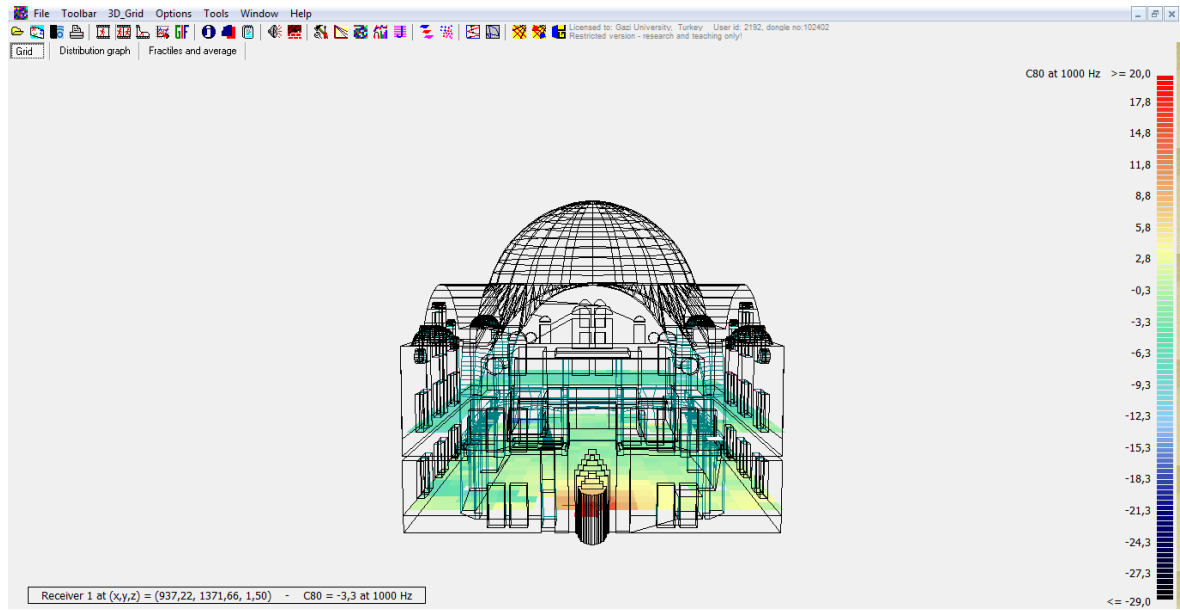


Şekil 1.6. D50 Parametresi 1000 Hz

EK-1. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

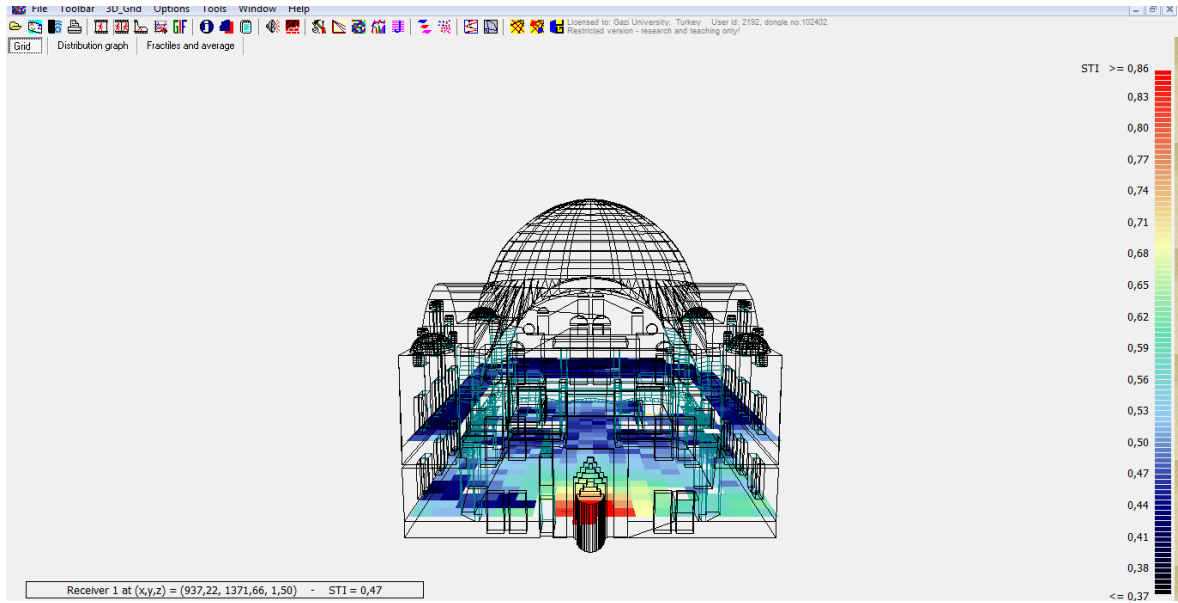


Şekil 1.7. C80 Parametresi 500 Hz

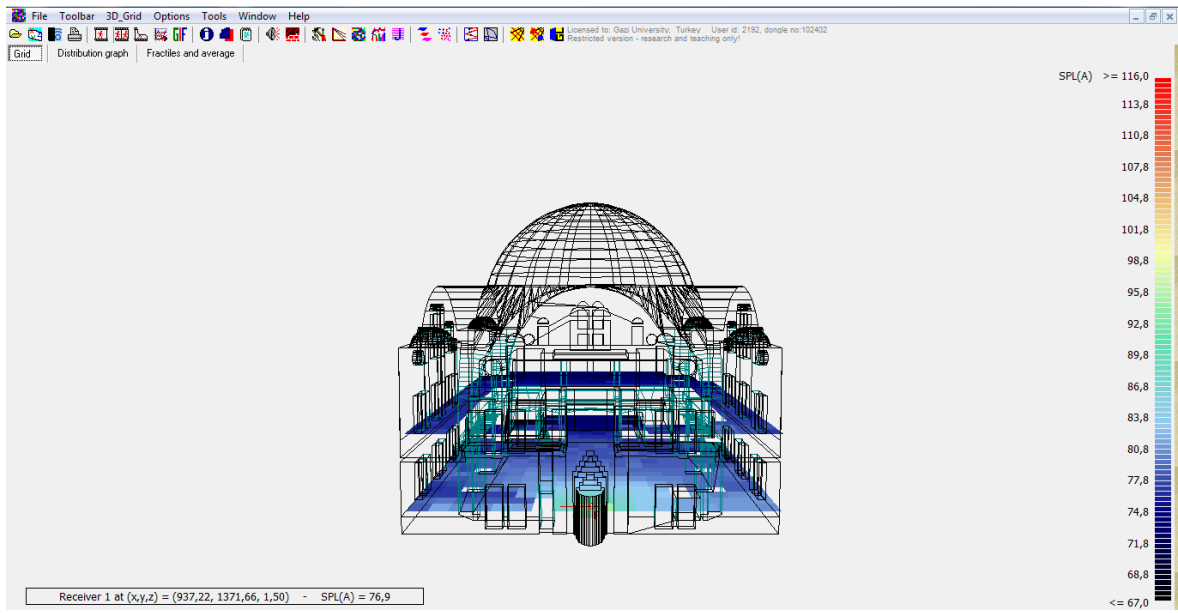


Şekil 1.8. C80 Parametresi 1000 Hz

EK-1. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

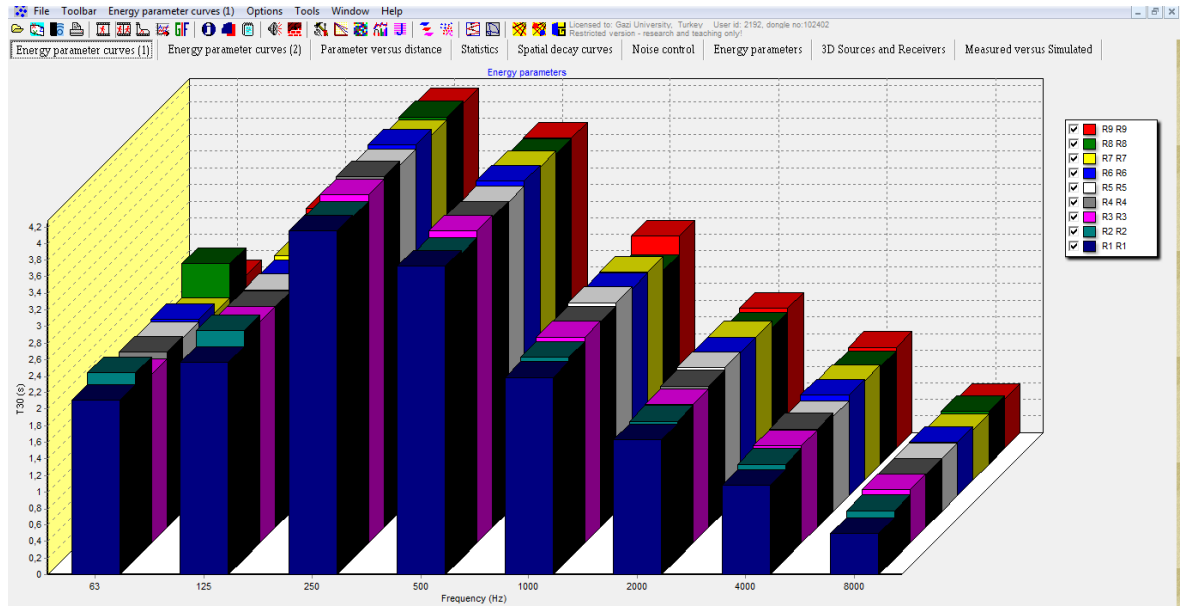


Şekil 1.9. STI Parametresi

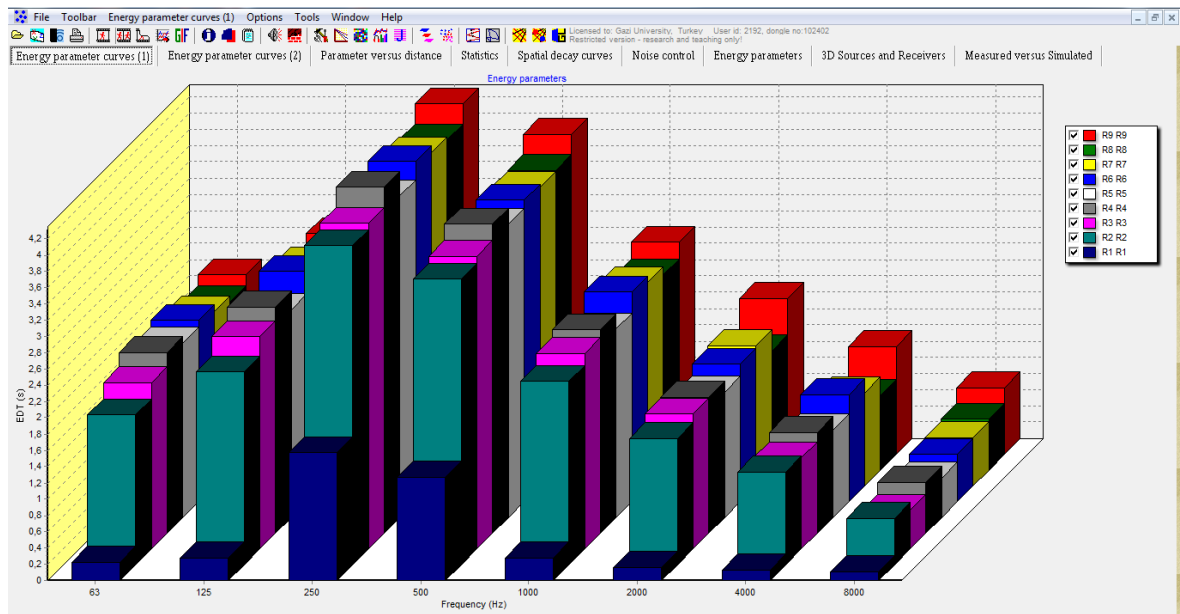


Şekil 1.10. SPLA Parametresi

EK-2. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametreler için çubuk grafiği

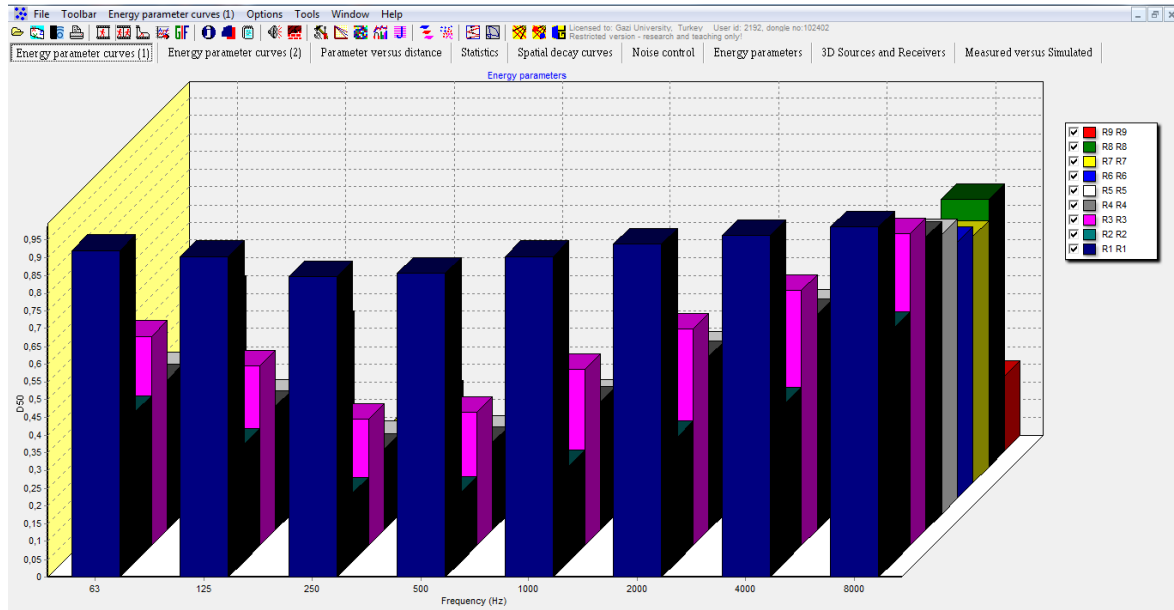


Şekil 2.1. RT Parametresi

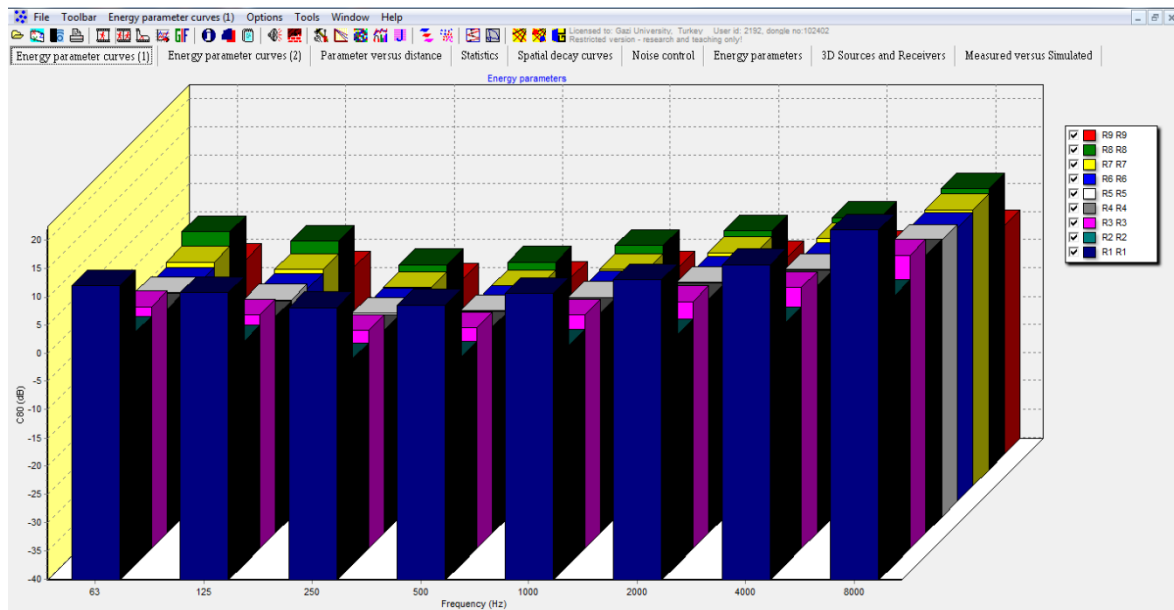


Şekil 2.2. EDT Parametresi

EK-2. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametreler için çubuk grafiği

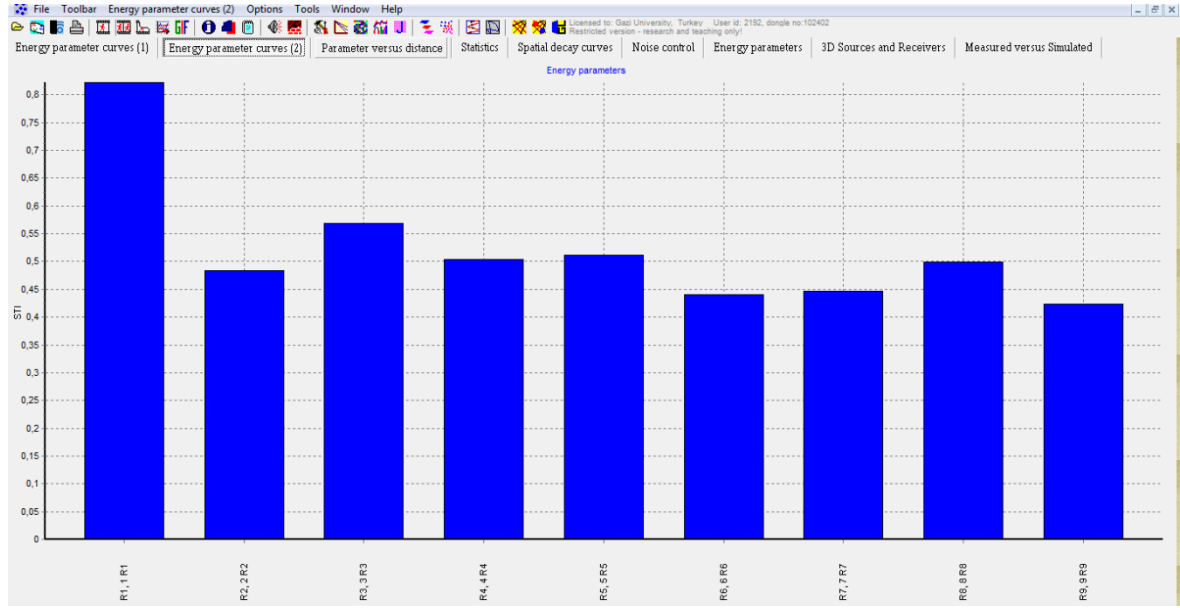


Şekil 2.3. D50 Parametresi

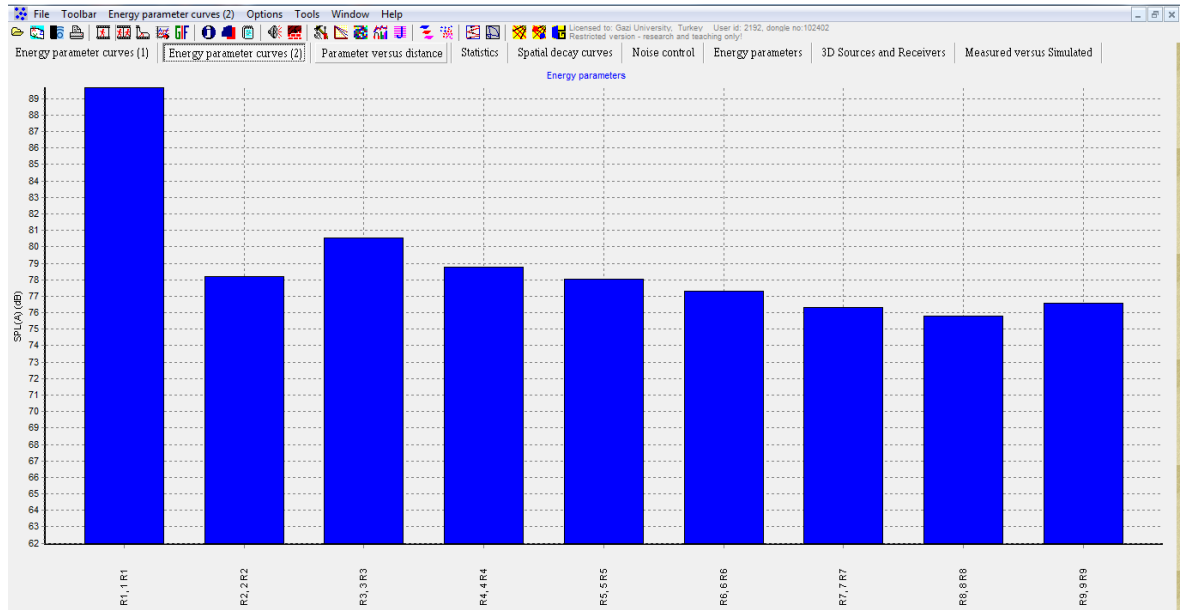


Şekil 2.4. C80 Parametresi

EK-2. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) aktifken ölçülen parametreler için çubuk grafiği

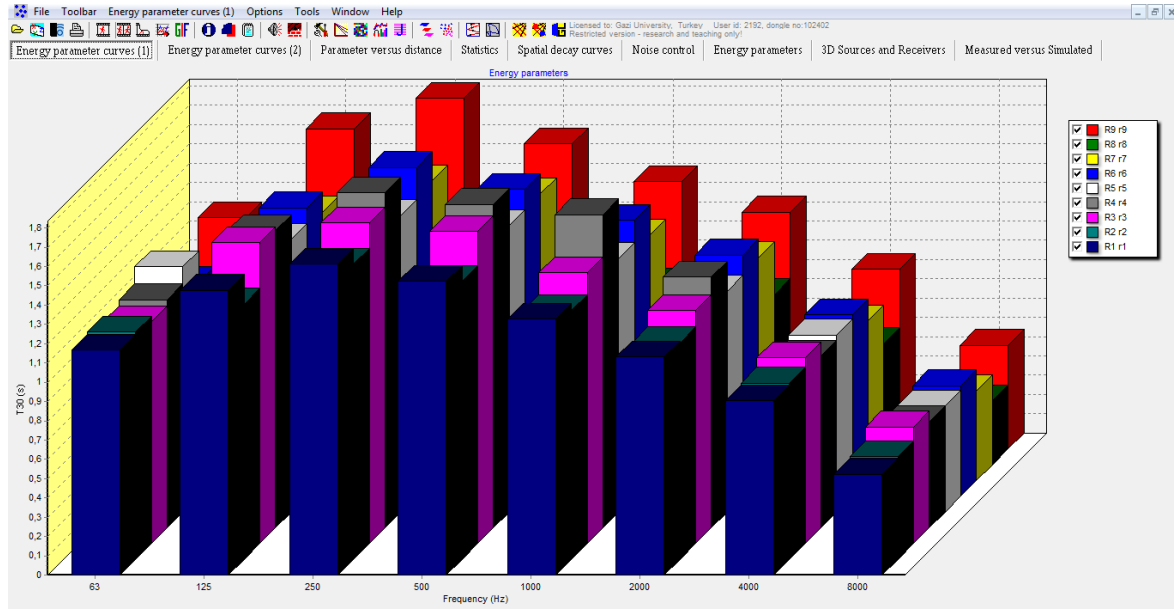


Şekil 2.5. STI Parametresi

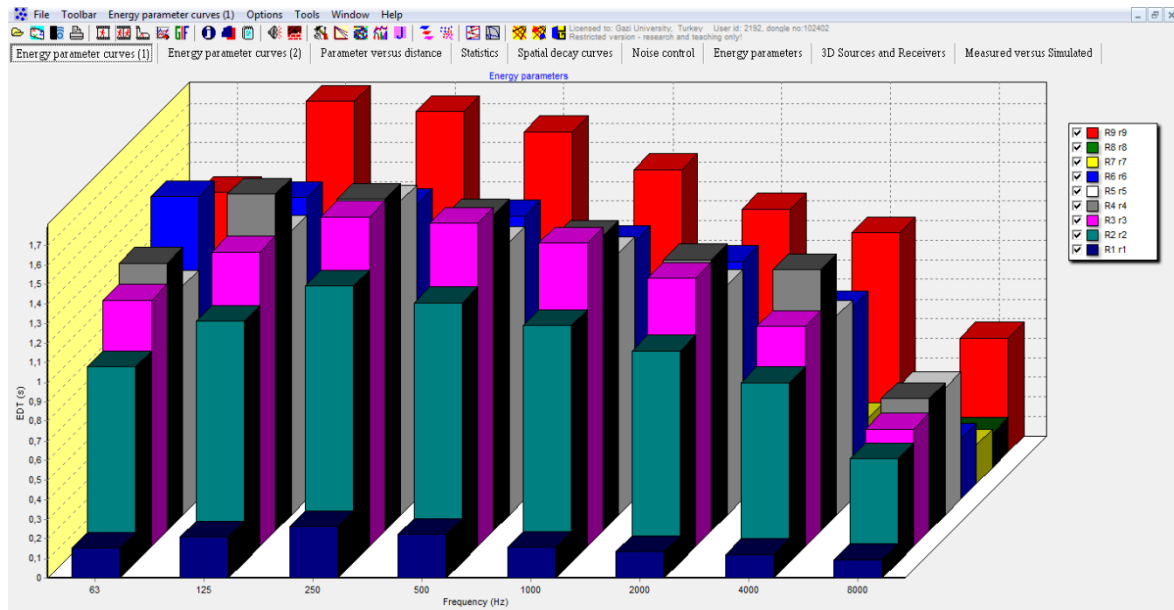


Şekil 2.6. SPLA Parametresi

EK-3. Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) ve S2 kaynağı (müezzin) aktifken ve cami dolu iken ölçülen parametreler için çubuk grafiği

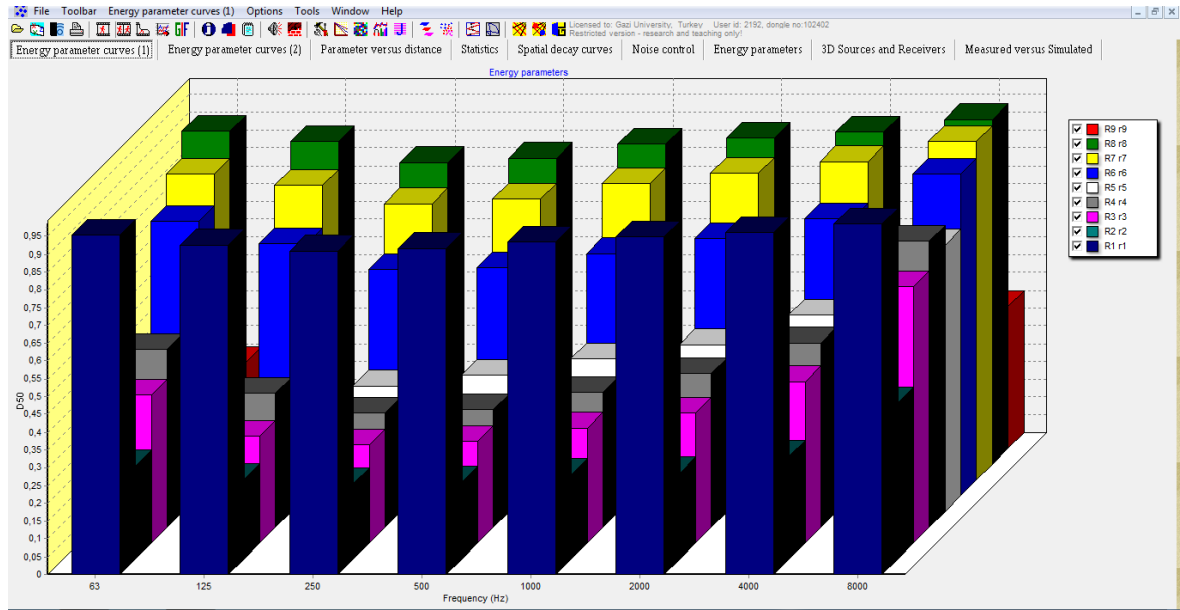


Şekil 3.1. RT Parametresi

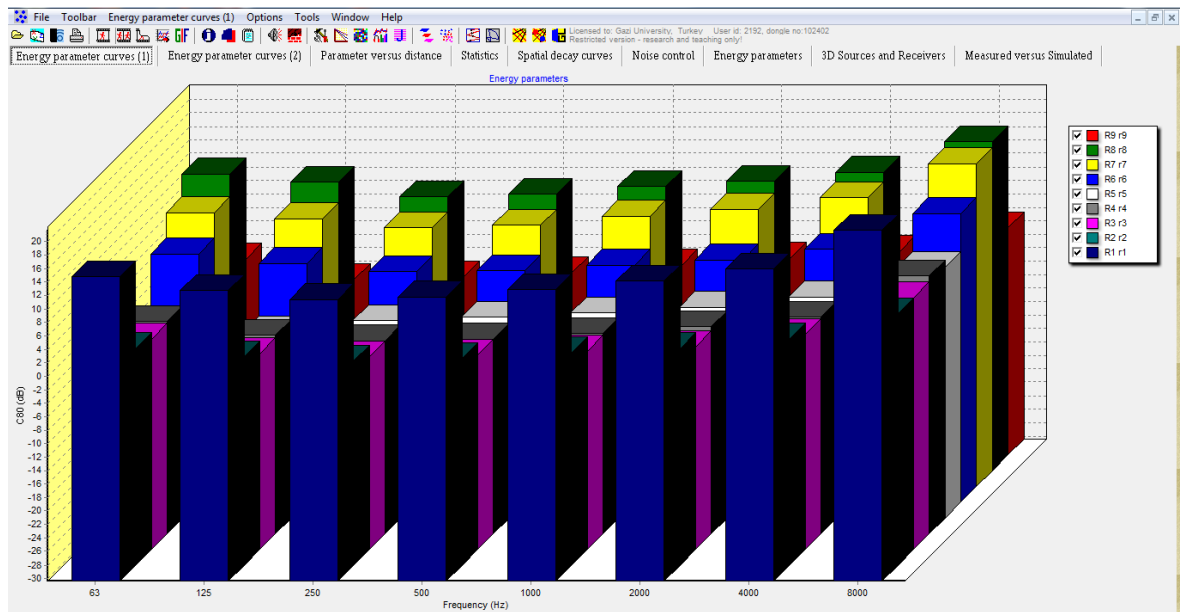


Şekil 3.2. EDT Parametresi

EK-3. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) ve S2 kaynağı (müezzin) aktifken ve cami dolu iken ölçülen parametreler için çubuk grafiği

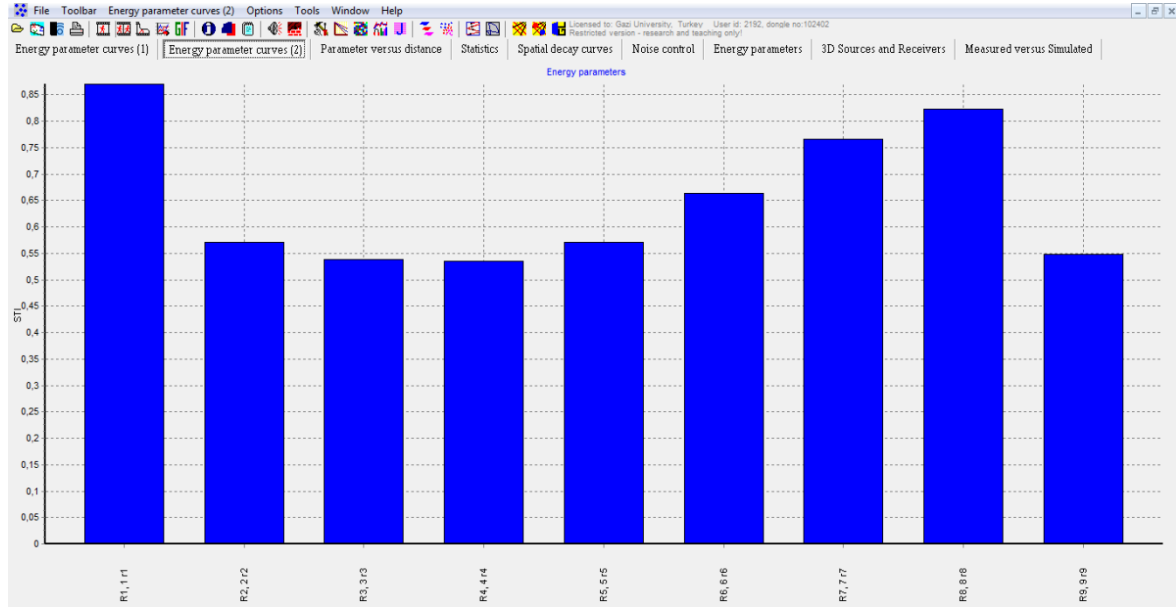


Şekil 3.3. D50 Parametresi

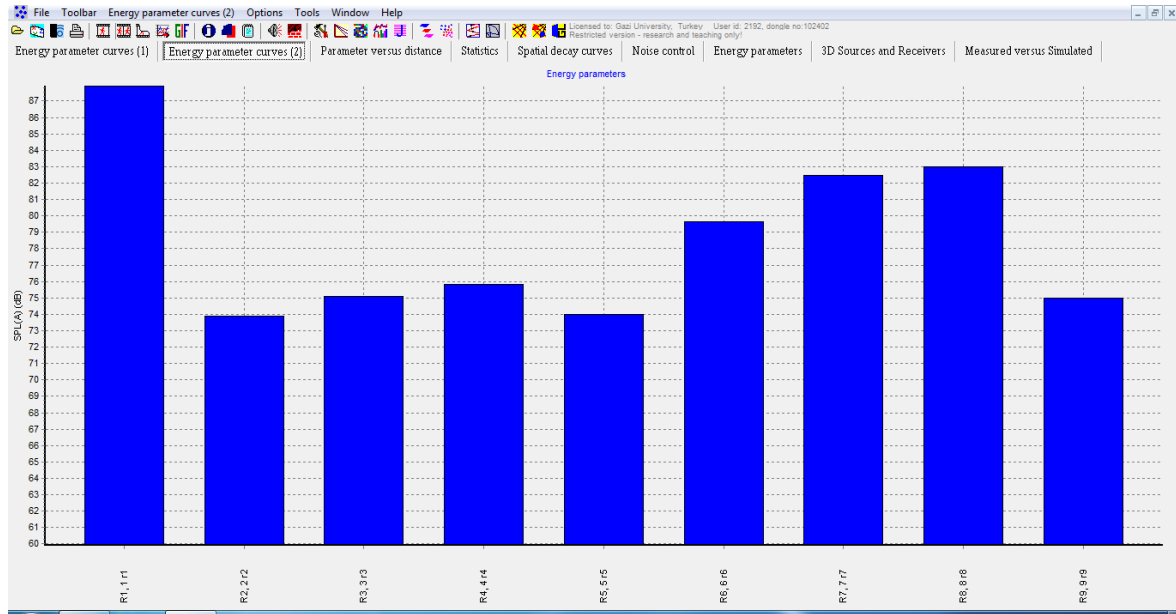


Şekil 3.4. C80 Parametresi

EK-3. (devam) Hasan Tanık Cami için S1 kaynağı (imam) ve S2 kaynağı (müezzin) aktifken ve cami dolu iken ölçülen parametreler için çubuk grafiği



Şekil 3.5 STI Parametresi

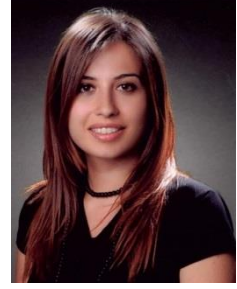


Şekil 3.6 SPLA Parametresi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UYSAL, Esra
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.06.1984, Kastamonu
 Medeni hali : Evli
 e-mail : uysallesra@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	2016
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2007
Lise	Kastamonu Mustafa Kaya Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013 -	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü	Yapı Projeleri Sorumlusu
2009-2013	Devlet Malzeme Ofisi Genel Müdürlüğü	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uysal, E. ve Demirel F. (2015). *Ankara'da Bir Caminin Akustik Koşullarının İncelenmesi*. 11. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, İstanbul.

Hobiler

Seyahat etmek, amatör fotoğrafçılık, dünya mutfağı, DIY (do it yourself)



GAZİ GELECEKTİR..