

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VALENSİYA SANTA ANNA ŞAPELİ’NİN
RESTORASYON SONRASI AKUSTİK
DEĞERLENDİRMESİ**

Mimar Efser KARA

**F.B.E. Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Hristiyanlık Mimarisinin Tarihsel Gelişimi ve Şapelin Tanımı	2
1.2 Kiliselerde Akustik Koşullar	6
1.2.1 Hristiyanlık Dinî Müzikleri	7
1.2.2 Barok Müzik Tarihi ve Akustik İhtiyaçları	9
2. HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİ	11
2.1 ÖZNEL AKUSTİK PARAMETRELER	11
2.1.1 Akustik Samimilik (Intimacy)	11
2.1.2 Canlılık ve Sesin Dolgunluğu (Liveness and Fullness of Tone)	13
2.1.3 Netlik (Clarity)	14
2.1.4 Sıcaklık (Warmth)	14
2.1.5 Parlaklık (Brilliance).....	15
2.1.6 Seslilik (Loudness)	15
2.1.7 Sesin Düzgün Yayılmışlığı (Uniformity of sound)	15
2.1.8 Mekânsal Algılama (Spaciousness)	16
2.1.8.1 Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width - ASW)	17
2.1.8.2 Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (Listener Envelopment - LEV)	21
2.2 NESNEL AKUSTİK PARAMETRELER	22
2.2.1 Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60}).....	22
2.2.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time - EDT)	28
2.2.3 Netlik (Clarity - C_{80}).....	30
2.2.4 Merkez Zamanı (Center Time - T_s).....	31
2.2.5 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})	31
2.2.6 Bas Seslerin Oranı (Bass Ratio - BR).....	33
2.2.7 Tiz Seslerin Oranı (Treble Ratio - TR)	33
2.2.8 Seslilik (Strength Index - G)	34
2.2.9 Erken Yanal Enerji Oranı (Lateral Energy Fraction - LF_{80})	35
2.2.10 Geç Yanal Enerji Oranı (Late Lateral Energy Fraction - LF_{80}^{∞}) ve Geç Yanal Enerji Düzeyi (Late Lateral Sound Level - LG_{80}^{∞})	35
2.2.11 Toplam Ses Basınç Düzeyi (Total Sound Pressure Level – SPL_t)	37
2.2.12 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)	37

3.	SANTA ANNA ŞAPELİ TARİHİ VE RESTORASYON ÖNCESİ DURUMU .	41
3.1	Şapelin Restorasyon Öncesi Durumu	41
3.2	Santa Anna Şapeli Restorasyon Süreci	44
3.3	Şapelde Akustik Düzenlemenin Amacı	52
4.	RESTORASYON SÜRECİNDEN ÖNCE GERÇEKLEŞTİRİLEN AKUSTİK PROJE ÖNERİLERİ.....	55
4.1	1995'te Gerçekleştirilen İlk Akustik Çalışma	55
4.2	2004'te Gerçekleştirilen ve Uygulanması Planlanmış Olan Çalışma	59
5.	ŞAPELİN MEVCUT AKUSTİK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	69
5.1	Bazı Akustikçilere Göre Parametreler için Optimum Değer Kabulleri	69
5.2	Ölçümlerin Değerlendirilmesiyle İlgili Kabuller, Ölçümler ve Simülasyon	72
5.2.1	Ölçümler.....	74
5.2.2	Simülasyon	78
5.2.2.1	Odeon Programında Simülasyon Yöntemi.....	79
5.2.2.2	Modelleme Aşaması	80
5.2.2.3	Simülasyon Sırasındaki Kabuller	80
5.2.2.4	Malzeme Özellikleri	81
5.3	Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	82
5.3.1	Yansıma Süresi (T_{30}).....	83
5.3.2	Erken Düşme Süresi (EDT).....	91
5.3.3	Netlik (C_{80}).....	97
5.3.4	Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80})	102
5.3.5	Ses İletim Göstergesi (STI)	109
5.3.6	Ayırtedilebilirlik (D_{50})	111
5.3.7	Ses Basınç Düzeyi (SPL)	117
5.4	Akustik Değerlendirmelerden Çıkarılan Sonuç	122
	KAYNAKLAR	127
	EKLER	130
	Ek 1 Santa Anna Şapeli Restorasyon Projesi	131
	ÖZGEÇMİŞ.....	139

SİMGE LİSTESİ

A	Mekândaki toplam yutuculuk
BR	Bas Seslerin Oranı
C ₈₀	Netlik
D ₅₀	Ayırdedilebilirlik
EDT	Erken Düşme Süresi
EDT _{mid}	Orta frekansların ortalama Erken Düşme Süresi
G	Seslilik
G _{mid}	Orta frekansların ortalama Seslilik'i
G ₀ [∞]	Erken Seslerin Sesliliği
G ₈₀ [∞]	Geç Seslerin Sesliliği
GLL	Geç Yanal Enerji Düzeyi
IACC ₀ [∞]	Erken Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı
IACC ₈₀ [∞]	Geç Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı
LF ₈₀	Erken Yanal Enerji Oranı
LF ₈₀ [∞]	Geç Yanal Enerji Oranı
LF ₀ [∞]	Tüm Seslerin Yanal Enerji Oranı
LG ₈₀ [∞]	Geç Yanal Enerji Düzeyi
LLF	Geç Yanal Enerji Oranı
n/s	Gürültü-sinyal oranı
p(t)	Dolaysız ses duyulduğu anda dinleyicinin bulunduğu noktadaki ses basıncı
p _A (t)	Yansısız (anechoic) bir odada kaynaktan 10 m uzaklıktaki ses düzeyi
p _F (t)	Belirli bir noktadaki bidirectional (çift yönlü) bir mikrofona gelen ses basıncı
p _O (t)	Belirli bir noktadaki omnidirectional bir mikrofona gelen ses basıncı
Q	Doğrultululuk çarpanı
RT	Yansıma Süresi
RT _{mid}	Orta frekansların ortalama Yansıma Süresi
S	Mekândaki toplam yüzey alanı
S _n	Hacmin farklı malzemelerle kaplı her bir yüzeyinin alanı
S/N	Sinyal-Gürültü Oranı
SPL	Toplam Ses Basınç Düzeyi
SPL _{anechoic}	Yansısız bir odada kaynaktan 10 m uzaklıktaki Ses Basınç Düzeyi
SPL _d	Dolaysız Ses Basınç Düzeyi
SPL _{hall}	Salonun merkezindeki Ses Basınç Düzeyi
SPL _r	Yayınık Ses Basınç Düzeyi
SPL _t	Toplam Ses Basınç Düzeyi
SWL	Ses gücü düzeyi
T ₆₀	Yansıma Süresi
TR	Tiz Seslerin Oranı
T _s	Merkez Zamanı
U ₅₀	Yaralı Ses-Yararlı Olmayan Ses Oranı
V	Mekânın hacmi (m ³)
α	Yutma çarpanı
α _{ort}	Ortalama yutma çarpanı
α _n	n gerecinin yutma çarpanı

KISALTMA LİSTESİ

ACARMA	Valensiya Politeknik Üniversitesi Mimari ve Çevre Akustiği Grubu
AI	Berrak Söyleyiş Göstergesi (Articulation Index)
ASW	Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width)
IACC	Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı (Interaural Cross-Correlation Coefficient)
ITDG	Erken Ses Gecikme Aralığı (Initial-Time-Delay Gap)
LEV	Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (Listener Envelopment)
MTF	Modülasyon Aktarım Fonksiyonu (Modulation Transfer Function)
PAISAR	Valensiya Politeknik Üniversitesi Kültürel Mirasın Restorasyonu Enstitüsü
STI	Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index)
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Bazilika plan tipinin anlatımı.	3
Şekil 1.2 330'da Constantine tarafından inşası başlatılan Aziz Peter Kilisesi, bazilikal plan tipini gösteren iyi bir örnektir (Long, 2006).....	3
Şekil 1.3 Aziz Mark Katedrali'nin planı	4
Şekil 2.1 Dolaysız ses ile ilk yansıma arasında geçen süreyi işaret eden “a”, erken ses gecikme aralığını (ITDG) göstermektedir (Mehta vd., 1999).....	12
Şekil 2.2 ITDG'de salonun biçiminden dolayı meydana gelen değişikliklerin plan düzleminde gösterimi (Beranek, 1996).....	12
Şekil 2.3 Uyarı Yanıtı Grafiği (Ekogram) (Barron, 1993).	18
Şekil 2.4 Yanal yansıma alanının grafiksel anlatımı (Mehta vd., 1999).	18
Şekil 2.5 Dikdörtgen ve yelpaze biçimli salonlarda erken yanal yansımaların dinleyiciye nasıl ulaştığını gösteren plan (Beranek, 1996).	19
Şekil 2.6 Yanal yansımaların salonun biçimi ile ilişkisi (Mehta vd., 1999).....	20
Şekil 2.7 Yansışım Süresi'nin ses düzeyinin düşüşünü gösteren grafik üzerinde gösterimi (Barron, 1993).	23
Şekil 2.8 Farklı işlevlere sahip mekânlardaki optimum yansışım sürelerinin değişen hacimlere bağlı grafiksel anlatımı (Long, 2006).	24
Şekil 2.9 Konser salonlarında Yansışım Süreleri'nin (T_{60}), frekanslardaki önerilen dağılımı (Long, 2006).	25
Şekil 2.10 t süresinin düşüş eğrisi üzerinde belirlenmesi.	28
Şekil 2.11 Basitleştirilmiş ses düşüş eğrileri. (a) Düzgün düşme. (b) Hızlı erken düşmeyi takip eden yavaş geç düşüş. (c) Yavaş erken düşmeyi takip eden hızlı geç düşüş (Mehta vd., 1999).	29
Şekil 2.12 Yansışım Süresi (T_{60})'nin Netlik (C_{80}) üzerindeki etkisi (Mehta vd., 1999).	30
Şekil 2.13 D_{50} ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Kuttruff, 1991).	32
Şekil 2.14 STI değerinin konuşmanın anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gösteren grafik (Bradley, 1986).	38
Şekil 2.15 STI değerinin farklı birimlerle yapılan ölçümlere bağlı olarak, konuşmanın anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gösteren grafik (Long, 2006).	39
Şekil 2.16 Solda AL_{CONS} değerleri ile STI arasındaki ilişki gösterilmektedir. Sağda ise STI ve AI arasındaki ilişkiyi gösteren grafik görülmektedir (Long, 2006).	39

Şekil 3.1	Santa Anna Şapeli'nin Huerta de Valencia bölgesinin güneyinde görüldüğü 1690 tarihli harita (Aynat, 2007).....	41
Şekil 3.2	Şapelin restorasyon öncesi durumunun gösterildiği ve hasarlı bölümlerinin işaretlendiği bir plan çizimi (Aynat, 2007).	42
Şekil 3.3	Şapelin restorasyon öncesi durumunun gösterildiği ve hasarlı bölümlerinin işaretlendiği bir kesit çizimi (Aynat, 2007).	42
Şekil 3.4	Şapelin apsis ve nef bölümlerinin restorasyon öncesi durumlarının kesit gösterimi. Hasarlı bölgeler çizim üzerinde işaretlenmiştir (Aynat, 2007).....	43
Şekil 3.5	Şapele, 14. yy'da gerçekleştirilen inşaatından itibaren, yapılmış olan ekleri gösteren bir eskiz (Aynat, 2007).	43
Şekil 3.6	Fotoğraflarda Santa Anna Şapeli yan nişlerinde bulunan ikonaların restorasyon sonrası durumu görülmektedir.	44
Şekil 3.7	Apsis bölümünün solda restorasyon öncesi, sağda ise restorasyon sonrası görünümü.	45
Şekil 3.8	Solda şapelin giriş kapısının yanında bulunan graffitonun restorasyon öncesi mevcut durumu, sağda ise aynı graffitonun restorasyon sonrası fotoğrafı görülmektedir.	46
Şekil 3.9	20. yy'da inşa edilmiş olan mevcut cepheye ait bir fotoğraf.	46
Şekil 3.10	Solda apsisten sakristiye açılan kapının silmesi, sağda ise apsis bölümünü neften ayıran sütunlardan birinin altlığı görülmüyor (Aynat, 2007).	47
Şekil 3.11	19. yy'dan kalma yer döşemelerinin, restorasyon sonrası görünümü.	47
Şekil 3.12	15. yy ile 16. yy arasında döşenmiş olan yer karolarının bir fotoğrafı.	48
Şekil 3.13	Tonozların restorasyonu aşamasında yapılmış olan iyileştirmeleri göstermek için çizilmiş olan eskiz (Aynat, 2007).	49
Şekil 3.14	Şapelden, restorasyon öncesi detay fotoğrafları (Aynat, 2007).	49
Şekil 3.15	Tonozların restorasyon sürecinde bir fotoğrafı. Fotoğrafta tonozları korumak amacıyla inşa edilmiş olan geçici çatı örtüsü de görülmekte (Aynat, 2007).	50
Şekil 3.16	Solda nefin beşik çatısının restorasyon öncesindeki durumu, sağda ise aynı çatının restorasyondan sonraki durumu görülmektedir.	51
Şekil 3.17	Şapelin bahçesini ve araziye yerleşimini gösteren bir kesiti (Aynat, 2007).	51
Şekil 3.18	Şapelin bahçe düzenlemesini gösteren vaziyet planı (Aynat, 2007).	52
Şekil 3.19	Neften apsis bölümüne ve altara doğru bir bakış.	52
Şekil 3.20	Apsis bölümünden nefe ve koro bölümüne doğru bir bakış.	53
Şekil 4.1	Şapelin ölçülerinin gösterildiği krokisi.	56

Şekil 4.2	Kesitte şapelin yaklaşık yükseklik ölçüleri gösterilmektedir.....	56
Şekil 4.3	Apsis bölümüne yerleştirilen kaynak ile 1 ve 2 olarak adlandırılmış olan ölçüm noktalarının yerlerini gösteren kroki.	57
Şekil 4.4	Ölçüm noktalarındaki (Bkz. Şekil 4.3) Yansıma Süreleri'nin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).	57
Şekil 4.5	Ölçüm noktalarındaki (Bkz. Şekil 4.3) Ses Basınç Düzeyleri'nin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).	58
Şekil 4.6	Kaynak ve alıcı noktalarının plan düzleminde gösterimi.	60
Şekil 4.7	Kaynağın apsiste olduğu durumda şapeldeki dört alıcı noktası için 1/3 oktav bantlarda T_{30} süreleri (ACARMA, 2004).	60
Şekil 4.8	Kaynağın koro bölümünde olduğu durumda şapel içindeki üç alıcı noktası için 1/3 oktav bantlarda T_{30} süreleri (ACARMA, 2004).	61
Şekil 4.9	Şapeldeki Yansıma Süreleri hacim ortalamalarının, kaynak koroda ve apsiste olmak üzere yapılan iki farklı ölçüm için 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).	61
Şekil 4.10	Hacmin doluluk oranının Yansıma Süreleri'ne olan etkisi (ACARMA, 2004).	63
Şekil 4.11	Giriş kapısının iki yanına yerleştirilmesi planlanmış olan yutucu paneller.	64
Şekil 4.12	Kayar yutucu panellerin planı ve görünüşü (ACARMA, 2004).	64
Şekil 4.13	Yutucu panellerin ve doluluk oranlarının Yansıma Süresi üzerindeki etkisi.	65
Şekil 4.14	Yansıtıcı panellerin planı (ACARMA, 2004).	66
Şekil 4.15	Yansıtıcı panellerin kesiti (ACARMA, 2004).	67
Şekil 4.16	Plan düzleminde gerçekleştirilen ışın diyagramı çalışması.	68
Şekil 4.17	Kesit düzleminde gerçekleştirilen ışın diyagramı çalışması.	68
Şekil 5.1	Şekilde solda mikrofon, sağda ise dodecahedron hoparlör görülmektedir.	75
Şekil 5.2	Solda omnidirectional mikrofonun polar diyagramı, sağda ise figure-of-eight (çift yönlü) mikrofonun polar diyagramı görülmektedir (Mehta vd., 1999).	75
Şekil 5.3	Şekildeki krokide ölçümlerin yapıldığı kaynak ve alıcı noktaları görülmektedir. .	76
Şekil 5.4	Koro bölümünde bulunan yeni yansıtıcı panellerin planı.	77
Şekil 5.5	Koro bölümündeki yeni yansıtıcı panellerin kesiti.	78
Şekil 5.6	Şapelin modelinden iç perspektifler.	80
Şekil 5.7	Şapelin modeli ve Odeon'da kaynak ve alıcıların yerleşimi.	81
Şekil 5.8	Kaynak korodayken şapel içindeki noktalarda ölçülen Yansıma Süresi'nin altı oktav banttaki dağılımı.	84

Şekil 5.9 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Yansışım Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.	85
Şekil 5.10 Yansışım Süreleri'nin dinleyici bölümündeki üç alıcı noktasındaki dağılımı.	87
Şekil 5.11 Kaynak apsisteyken şapel içindeki noktalarda ölçülen Yansışım Süresi'nin altı oktav banttaki dağılımı.	88
Şekil 5.12 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Yansışım Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.	89
Şekil 5.13 Yansışım Süreleri'nin şapelde belirlenmiş olan alıcı noktalarındaki dağılımı.	90
Şekil 5.14 Kaynak korodayken şapeldeki ölçüm noktalarında elde edilen EDT değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.	91
Şekil 5.15 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.	92
Şekil 5.16 Erken Düşme Süreleri'nin şapelde belirlenmiş olan alıcı noktalarındaki dağılımı.	93
Şekil 5.17 Kaynak apsisteyken şapeldeki ölçüm noktalarında elde edilen EDT değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.	94
Şekil 5.18 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.	95
Şekil 5.19 Erken Düşme Süreleri'nin dinleyici noktalarındaki dağılımı.	96
Şekil 5.20 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen C_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	97
Şekil 5.21 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen C_{80} değerleri hacim ortalamalarının üç oktav banttaki dağılımı.	98
Şekil 5.22 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumunda elde edilen C_{80} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.	99
Şekil 5.23 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen C_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	100
Şekil 5.24 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen C_{80} değerleri hacim ortalamalarının üç oktav banttaki dağılımı.	101
Şekil 5.25 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumunda elde edilen C_{80} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.	101
Şekil 5.26 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen LF_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	103

Şekil 5.27 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF_{80} değerlerinin, dört oktav banttaki hacim ortalaması.	104
Şekil 5.28 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF_{80} değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.	105
Şekil 5.29 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen LF_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	106
Şekil 5.30 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF_{80} değerlerinin, dört oktav banttaki hacim ortalaması.	107
Şekil 5.31 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF_{80} değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.	108
Şekil 5.32 Kaynak korodayken ölçüm noktalarında elde edilen STI değerleri.	109
Şekil 5.33 Kaynak şapeldeyken ölçüm noktalarında STI değerleri.	110
Şekil 5.34 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen D_{50} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	111
Şekil 5.35 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamaları.	112
Şekil 5.36 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.	113
Şekil 5.37 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen D_{50} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.	114
Şekil 5.38 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamaları.	115
Şekil 5.39 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.	115
Şekil 5.40 Solda rahibin konuşması için ayrılan kürsünün yanına konulmuş olan mikrofon, sağda ise sesi dinleyiciye yönelten hoparlörlerden biri görülmektedir.	116
Şekil 5.41 Kaynak korodayken şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucu elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.	117
Şekil 5.42 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki hacim ortalamaları.	118
Şekil 5.43 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.	119

Şekil 5.44 Kaynak apsisteyken şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucu elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.	120
Şekil 5.45 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki hacim ortalamaları.	120
Şekil 5.46 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.	121

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Çizelgede Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi görülmektedir (ACARMA, 2004).....	65
Çizelge 5.1 Konser salonları için önerilmiş olan kabul edilebilir değer aralıkları (Barron, 2005).....	70
Çizelge 5.2 Beranek tarafından konser salonları için önerilen puanlandırma sistemi (Maekawa ve Lord, 1994).....	70
Çizelge 5.3 Beranek tarafından konser salonlarının akustik koşullarını değerlendirmek üzere 1996'da oluşturulmuş puanlandırma sistemi (Long, 2006).....	71
Çizelge 5.4 Jordan tarafından konser salonları için önerilmiş olan optimum parametre değer aralıkları (Maekawa ve Lord, 1994).	72
Çizelge 5.5 Çeşitli parametreler için kabul edilebilir değer aralıkları.	73
Çizelge 5.6 Odeon'da kullanılan malzemelerin listesi.....	82
Çizelge 5.7 Kaynak korodayken elde edilen Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.	86
Çizelge 5.8 Kaynak apsisteyken elde edilen Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.....	90
Çizelge 5.9 Kaynak korodayken elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.....	93
Çizelge 5.10 Kaynak apsisteyken elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.....	96
Çizelge 5.11 Kaynak korodayken alıcı noktalarında elde edilen parametre sonuçlarının değerlendirmesi.	122
Çizelge 5.12 Kaynak apsisteyken alıcı noktalarında elde edilen parametre sonuçlarının değerlendirmesi.	123

ÖNSÖZ

Hristiyanlık dini ayinleri, bu din 313 yılında Constantine tarafından meşrulaştırılana kadar gizli ev kiliseleri ve katakomplarda sürdürülmüştür. Hristiyanlığın meşrulaştırılmasıyla gelişmeye başlayan kilise mimarisi ve ayin geleneği 6. yy'da Papa I. Gregory'nin çalışmalarıyla bir ölçüne kavuşmuştur. Musevi sinagoglarının zengin dinî müziklerinin etkilerini de taşıyan Gregoryen dinî müzikleri, kilise mimarisinin de gelişmesiyle değişmiş ve icra edildikleri mekânlar olan kilise ve katedrallerin akustik koşullarından da etkilenerek çeşitlenmiştir. Bu müzik, günümüz çok sesli müziğinin temelini oluşturduğu için kiliselerin akustik koşulları Hacim Akustiği Bilimi içerisinde göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Her ne kadar günümüzde dinî ayinlerde konuşmanın öneminin artmış olmasından kaynaklı olarak tarihî kilise ve katedrallerin sahip olduğu yüksek Yansışım Süreleri önemli bir dezavantaj olsa da müzik hâlâ önemini yitirmediğinden kiliseler içindeki Yansışım Süreleri'ni dinî müziğin karakterine zarar vermeyecek şekilde düşürmek ve elektronik sistemler yardımıyla konuşmanın anlaşılabilirliğini arttırmak tercih edilebilir. Yine de kiliselerin akustik koşullarının bu sistemler olmadan da incelenmesi akustik mirasın korunması bakımından önemlidir.

Bu bağlamda tarihi 14. yy'a dayanan Santa Anna Şapeli'nin de akustik koşullarının incelenmesi önemini korumaktadır. Bu tez çalışmasında, sadece dinî bir yapı olma kimliğinden sıyrılarak konser amaçlı da kullanılması planlanan Santa Anna Şapeli'nin akustik koşulları incelenmiştir.

Tez danışmanım olduğu kadar yüksek lisans eğitimi sürecinde Mimari Akustik alanındaki bilgilerini bana aktaran ve tez çalışmam boyunca bana yol göstererek bu çalışmanın olgunlaşmasına büyük katkılar sağlayan Doç. Dr. Ayşe Erdem Aknesil'e teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamın, İspanya'da kaldığım bir eğitim yılı boyunca gerçekleştirilmiş olan bölümleri, akustik ölçüm ve simülasyon çalışmaları ile önceki akustik çalışmalar ve şapelin tarihi konusundaki araştırmalarımda, bana destek olan ve Akustik Bilimi konusundaki bilgilerini gerek orada aldığım derslerde gerek de ders dışında benimle paylaşarak yardımlarını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Ignacio Guillen Guillamon'a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca orada bir eğitim yılı öğrencisi olduğum Universidad Politecnica de Valencia'da aldığım akustik derslerinde hocalarım olan Ana Llopis Reyna ve José Maria Forteza Oliver'e ve de Santa Anna Şapeli akustik ölçümleri sırasındaki yardımlarından dolayı Patricio Ramirez Hoyos ve Vicente Gómez Lozano'ya teşekkür ederim.

Gerek manevi gerek de akademik anlamda bana destek olan arkadaşım Mimar Zekeriya Kurtulan'a, ayrıca hayattaki her kararımda bana destek olan aileme, özellikle de her zaman zekâsına ve anlayışına güvendiğim sevgili kardeşim Yunus Emre Kara'ya teşekkür ederim.

ÖZET

Bu tezde Valensiya'nın Albal kasabasında bulunan bir kır şapeli olan Santa Anna Şapeli'nin restorasyon süreci ile birlikte akustik koşullarının iyileştirilme çabaları incelenmiştir. Santa Anna Şapeli'nin tarihsel kayıtları 14. yy'a kadar uzanmaktadır fakat şapel inşa tarihinden bu yana pek çok değişim geçirmiştir. Şapelde gerçekleştirilen en yakın tarihli müdahale, 20. yy'ın başlarında yapıya narteks ve giriş cephesinin eklenmesi olmuştur.

Santa Anna Şapeli'nin, Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanmaktadır. Şapelin bu yeni işlevinin gerektirdiği akustik koşulları sağlaması için bir takım müdahalelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu müdahaleleri belirlemek amacıyla restorasyon sürecinden önce iki çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalardan ilki 1995'te gerçekleştirilen çalışmadır. 1995'te Valensiya Politeknik Üniversitesi Mimari ve Çevre Akustiği Grubu (ACARMA) tarafından gerçekleştirilen çalışma şapelin restorasyon öncesi döneme ait mevcut koşullarının belirlenmesi için yapılan bir ön çalışma niteliğindedir. Bahsi geçen çalışmada, kaynak apsis bölümüne konularak dinleyici bölümünde belirlenmiş olan noktalarda Yansıma Süreleri ve Ses Basınç Düzeyleri ölçülmüştür.

Uygulanması planlanmış olan ikinci çalışma ise 2004'te yine ACARMA tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. 2004'te yapılan bu çalışmada ise kaynağın apsiste ve koro bölümünde olduğu durumlarda ayrı ayrı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Dinleyici bölümünde belirlenmiş olan üç alıcı noktası ile koro bölümünde belirlenmiş olan bir alıcı noktasında yapılan bu ölçümler, şapelin dolu ve yarı dolu durumunun simülasyonları ile desteklenmiştir. Bu ölçüm ve simülasyonlarla beraber yapılan ışın diyagramı çalışmasına da dayanılarak koro bölümü için tasarlanan yansıtıcı paneller aracılığıyla bu bölümdeki sesin, nefte bulunan dinleyiciye olabilecek en iyi biçimde yönlendirilmesi planlanmıştır. Şapelin giriş duvarına koyulması planlanan yutucu panellerle ise Yansıma Süresi'nin dengelenmesi ve olası bir yankı riskinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Ne yazık ki Valensiya Politeknik Üniversitesi'ne bağlı, Kültürel Mirasın Restorasyonu Enstitüsü (PAISAR) tarafından Miguel del Rey Aynat önderliğinde gerçekleştirilen restorasyon sürecinin sonunda tavsiye edilmiş olan akustik projeye sadık kalınmadığı görülmüştür. Bunun nedeni öncelikle estetik ve tarihsel mimari özelliklerin korunması ile ilgili kaygılardır. Restorasyon sürecinde koro bölümü için tasarlanmış olan yansıtıcı paneller değiştirilerek korunmuş ancak nefteki ana giriş kapısının yan duvarlarına konulması planlanan yutucu panellere yer verilmemiştir. Bu çalışmada ise şapelin restorasyon sonrası mevcut durumunda akustik parametrelerin ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında şapelin restorasyon sonunda aldığı biçimle yeni bir model yapılmış ve Odeon programı kullanılarak şapelin dinleyici ile dolu olduğu durumu simüle edilmiştir. Bu simülasyon sonucunda şapelin dolu durumu ile ilgili elde edilen sonuçlarla ölçümler desteklenmiş ve şapelin akustik koşulları hakkında daha kapsamlı verilere ulaşılmıştır. Santa Anna Şapeli'nin restore edilmiş durumu ile, öncelikle Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu nedenle şapelin akustik koşulları üzerine farklı dönemlerde yapılan çalışmalarda müzikal parametreler üzerinde durulmuştur. Şapelin akustik koşulları üzerine bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada da konuşma ile ilgili olarak sadece STI ve D₅₀ parametreleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında da üstünde en çok durulan parametreler müzikal parametrelerdir. Restorasyon sonrası mevcut durumu belirlenen şapelin akustik koşulları, hacmin dolu ve boş durumları karşılaştırılarak incelenmiş ve elde edilen akustik parametre sonuçlarının müzik amaçlı bir hacimden beklenen kabul edilebilir değerler içinde

olup olmadığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının 1. bölümünde Hristiyanlık mimarisinin gelişimi ve şapelin tanımı, kiliselerin akustik koşullarının çok sesli müziğin gelişimine etkisi ve de, Santa Anna Şapeli'nin çoğunlukla barok müzik ağırlıklı konserler için kullanılması planlandığından, barok müzik tarihi ve akustik ihtiyaçları incelenmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde, bir hacmin akustik koşullarını belirlemek üzere akustikçiler tarafından tanımlanmış olan parametrelerin başlıcaları üzerinde durulmuş ve bu parametreler, öznel ve nesnel parametreler olarak incelenmiştir.

Tezin 3. bölümünde ise şapelin restorasyon öncesi durumu ve restorasyon süreci Restauración y Rehabilitación dergisinde çıkan ve Mimar Miguel del Rey Aynat'a ait olan makaleden de yararlanılarak anlatılmıştır. Bu bölümde şapelde yapılan akustik düzenlemenin amacına da ayrıntılı bir biçimde yer verilmiştir.

Çalışmanın 4. Bölümünde, 1995'te şapelin restorasyon öncesi akustik koşullarını belirlemek üzere yapılmış olan ön çalışma ve 2004'te şapelin akustik koşullarını yeni, müzikal işlevine uygun duruma getirmek için şapelde gerçekleştirilmesi gereken müdahaleleri belirlemek üzere yapılmış olan çalışma incelenmiştir.

Tez çalışmasının 5. ve son bölümünde ise bu tez kapsamında gerçekleştirilen akustik çalışmalara yer verilmiştir. Bu bölümde, akustik ölçüm süreci ve Odeon 7.01 programında gerçekleştirilen akustik simülasyon kabulleri detaylı bir şekilde anlatılmış, aynı zamanda bazı akustikçilerin nesnel akustik parametrelerle ilgili olarak belirlemiş olduğu kabul edilebilir değer aralıkları incelenmiştir. Ayrıca bölüm içerisinde akustik parametreler için belirlenmiş bu kabul edilebilir aralıklardan yola çıkılarak çalışma kapsamında kullanılmış olan optimum değerlerle ilgili kabuller de yer almaktadır. Son olarak, belirlenen bu aralıklarla T_{30} , EDT, C_{80} , LF_{80} , STI, D_{50} ve SPL parametrelerinin ölçüm ve simülasyonlardan elde edilen değerleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlarla ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır.

ABSTRACT

The main subject of this study is the acoustical conditions of Santa Anna Chapel which is a little, countryside church in Albal, a small town of Valencia, Spain. The historical records of the chapel date to 14th century. However, the chapel had been through a continuous architectural transformation throughout time and the last radical intervention to the building was made in the beginnings of 20th century by attaching a narthex and the modernist façade, which is still standing to this day, to the chapel.

In this study, the restoration process of Santa Anna Chapel and the studies that has been made to improve the acoustical conditions of the chapel is being examined.

Santa Anna Chapel is being planned to be used as a concert hall and a head office during the International Classic and Polyphonic Music Festival of Albal. So as to adapt the chapel to its new function, two acoustical studies were done. Both of those studies were carried out by The Architectural and Environmental Acoustics Group of Valencia Polytechnic University (ACARMA).

The first one of those acoustical studies was made in 1995. It was a preliminary study in order to understand the acoustical conditions of the chapel before the restoration process. During the measurements, they placed the sound source in the apse and measured reverberation time and the sound pressure levels at the two receiver points that were located on the axis of symmetry of the seating area in the nave.

The second study was done in 2004. The acoustical conditions in the choir were also taken into account in that study. Two sets of measurements were made in two different positions in the chapel, which were apse and choir. Three of the receiver positions were located on the axis of symmetry of the seating area and one was in the middle of the choir area. Aside from the measurements, acoustical simulations of the occupied and semi-occupied states of the chapel were made in order to estimate the acoustical conditions of the chapel during a musical performance. In the light of all those data from the simulations and measurements, a project was proposed to improve the acoustical conditions inside the chapel. They offered to place sound absorbent panels on the both sides of the main entrance door in order to prevent possible echoes and to balance the reverberation time by increasing the absorption inside the chapel. Moreover, a geometrical study was done to design sound reflective panels that will direct the sound energy from the choir towards the audience in the nave.

The restoration of Santa Anna Chapel was put into practice by PAISAR (The Restoration of the Cultural Heritage Institute of Valencia Polytechnic University) which was led by architect Miguel del Rey Aynat. Unfortunately, in the end of the restoration process it was observed that the acoustical project hadn't been applied exactly. The main reason for that is the concern about preserving the historical and esthetical values of the chapel. Within this thesis, acoustical measurements were carried out so as to evaluate the actual acoustical conditions of the chapel after the restoration process. Moreover, during this study a model of the restored chapel was made to simulate the acoustical conditions of the fully occupied chapel. A full data about the acoustical conditions of the chapel were obtained by the means of the results that were derived from the simulations and the measurements. The building will serve as a concert hall and a head office during the International Classic and Polyphonic Music Festival of Albal so its major purpose will be music. Thus, the musical parameters were paid attention to in different acoustical studies that were done about the chapel. In the acoustical study within this thesis, only STI and D_{50} parameters about speech were taken into account and the musical parameters were emphasized as well.

The actual acoustical conditions of the chapel were studied by comparing the acoustical parameter results that were obtained via measurements done in unoccupied chapel and the

simulations of the occupied chapel. The results of the measurements and simulations were evaluated by using the optimum values given for a concert hall by the acousticians.

In the first chapter of this study, the developments of the Christian architecture throughout time, the description of chapel and the influence of church music over the improvements in polyphonic music were explained. Moreover, the attributes and the history of baroque music were given place to in this chapter for Santa Anna Chapel is being planned to be used mostly for baroque music concerts.

The most commonly used subjective and objective acoustical parameters that had been defined by the acousticians were explained in the second chapter of this thesis.

In the third chapter, the conditions of the chapel before restoration and the restoration process were explained. The article of Miguel del Rey Aynat published by *Restauración y Rehabilitación* magazine was also utilized to obtain more detailed knowledge about the restoration process. In this chapter, also the object of the acoustical intervention to the chapel was explained in detail.

In the fourth chapter of this study, the acoustical projects that had been proposed in order to improve the acoustical conditions in the chapel were looked into. The first project was a preliminary study that was done so as to understand the acoustical conditions of the chapel before the restoration process in 1995. The second project was done in 2004 to define the necessary interventions to the chapel in order to provide the acoustical conditions that are needed in a concert hall.

In the fifth and last chapter of the study, the acoustical studies that were done within the thesis were given place to. The acoustical measurement process and the simulations that were prepared using Odeon 7.01 were explained in detail in this chapter. Moreover, the optimum values of acoustical parameters that were defined by acousticians and the optimum values that were taken into account in this project were expounded in the fifth chapter. The results of major objective acoustical parameters acquired from the measurements and simulations such as T_{30} , EDT, C_{80} , LF_{80} , STI, D_{50} and SPL were looked into and interpreted by utilizing the optimum values. Furthermore, a general evaluation of these results was given place to as last part of this chapter.

1. GİRİŞ

Müziğin tarihine baktığımızda, çok sesli müziğin ortaya çıkışının, tapınaklarda icra edilen ilahilerle başlayan bir sürecin sonucu olduğunu görürüz. Çok sesli müziğin gelişim sürecinde özellikle Hristiyanlık tapınakları olan kiliselerin ve bu hacimlerin akustik koşullarının müziğin gelişimine olan etkisi dikkat çekicidir. Kilise müziği, tek sesli bir koro müziği olmaktan çıkarak enstrüman eşlikli çok sesli bir müzik hâline geldikten sonra bu hacimlerde icra edilmek üzere orkestralar için eserler de bestelenmeye başlanmıştır. Bu bağlamda dinî yapıların akustik biliminin ilgi alanına girmesi kaçınılmazdır. Dinî müzik, gelişimini sürdürerek özellikle barok dönemde ortaya çıkan dinden bağımsız müziklerin de kitlelere ulaşmasına kadar giden yolu açmıştır.

Her ne kadar kilise mimarisi katedraller gibi büyüleyici yapılara ulaşacak kadar gelişmişse de eski kiliseler ve katedraller, o dönemlerde bilim hâline gelmemiş olan akustik bilgisinden yoksun olarak inşa edilmişlerdir. Kilise mimarisi bu yönüyle incelendiğinde, kiliselerin, günümüzde inşa edilen konser salonlarında olduğu gibi, çok sesli müziğinin gereksinim duyduğu akustik koşullara uyması söz konusu değildir. Tam aksine o dönemlerde besteciler, eserlerini, müziğin halka ulaştığı mekânlar olan kiliselerin akustik koşullarına uygun olarak oluşturmuştur. Katedraller, gerek genellikle taş olan yüzey malzemelerinin yansıtıcılığından gerekse oldukça yüksek olan hacimlerinden kaynaklı olarak yüksek Yansışım Süreleri'ne sahiptir. Besteciler genellikle bu yüksek Yansışım Süreleri'ne uygun eserler bestelemiş, orkestrayı hacme yerleştirirken de hacmin yarattığı etkileri göz önünde bulundurmuşlardır. Örneğin; Venedik'te bulunan Aziz Mark Katedrali neredeyse tam kare planlı kollardan meydana gelen bir haç biçimindedir ve bu karelerin üzeri birbirinden bağımsız kubbelerle örtülür. Bu biçim hacim içinde odaklanmış bir yansışımın ve yer yer de yankının oluşmasına yol açmaktadır. Bu katedralde 27 yıl orgculuk yapmış olan Gabrielli (1557-1612), bu etkileri bestelerinde kullanmış koroyu ve orkestranın çeşitli enstrümanlarını hacim içinde bu etkileri göz önünde bulundurarak dağıtmıştır (Long, 2006).

Bu çalışmada ise Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali kapsamında ve çoğunlukla barok müzik konserleri için kullanılacak olan tarihî bir dinî yapı, Santa Anna Şapeli incelenecektir. Şapel, 14. yy'da inşa edilmiş ve çeşitli eklemelerle süren değişim ve yenileme süreci 20. yy'a kadar sürmüştür. Bu tarihî şapelin restorasyonu ise 2008'de tamamlanmıştır. Konu tarihî dinî yapılar bağlamında ele alındığında Santa Anna Şapeli'nin de yüksek Yansışım Süreleri'ne sahip olması beklenen bir durumdur ve tarihî bir dinî yapı olan şapelin günümüz müziğinin gerektirdiği akustik koşulları ve günümüzde müzik amaçlı bir

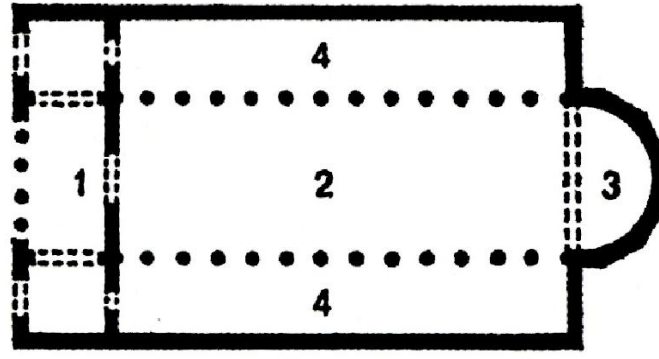
hacimden istenen akustik parametre değerlerini sağlayamayacağı açıktır. Bu nedenle şapel içinde, şapelin tarihî, mimari ve dinî değerinin eksilmesine neden olmayacak küçük müdahalelerle akustik koşullar iyileştirilmeye çalışılmalıdır. Bu tezde daha önce Valensiya Politeknik Üniversitesi Mimari ve Çevre Akustiği Grubu (ACARMA) tarafından önerilmiş olan akustik iyileştirme çalışmasına yer verilmiştir. Fakat yine Valensiya Politeknik Üniversitesi öğretim üyelerinden olan Miguel del Rey Aynat önderliğinde Valensiya Politeknik Üniversitesi Kültürel Mirasın Restorasyonu Enstitüsü (PAISAR) tarafından yapılan restorasyondan sonra, şapelin restorasyonu sürecinde bu önerilere tam olarak uyulmadığı görülmüştür. Restorasyonda, ACARMA tarafından gerçekleştirilen 2004 tarihli öneride yer alan hareketli yutucu panellere yer verilmemiş, korodaki yansıtıcı paneller ise değiştirilerek uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise şapelin restorasyon süreci sonunda sahip olduğu akustik koşulları öğrenmek ve müzik amaçlı bir hacimden beklenen koşullara uygun olup olmadığına karar vermek için şapelde ölçümler yapılmıştır. Ayrıca şapelin dolu durumunun simülasyonu ile elde edilen değerler de bir konser sırasında oluşabilecek akustik koşulları anlamak için kullanılmıştır. Bu sonuçlarla ilgili değerlendirmelere tez çalışmasının 5. bölümünde yer verilmektedir.

1.1 Hristiyanlık Mimarisinin Tarihsel Gelişimi ve Şapelin Tanımı

Hristiyanlığın ilk yıllarında tapınma mekânları ev kiliseleri ve katakomplardır*. Hristiyanların, gereklerini gizlilikle yerine getirdikleri dinleri, 313 yılında Roma imparatoru Constantine tarafından meşrulaştırılmıştır. Dinlerini özgürce yaşama şansını yakalayan Hristiyanların sayısı gittikçe artmıştır. Ev kiliselerinin bu gittikçe artan sayıda insana hizmet edememesi yeni tapınma mekânı arayışına neden olmuştur. Yunanların ve Romalıların pagan tapınakları, çok tanrılı dinlere hizmet ettiklerinden, Hristiyanlık için kullanılamazdı; bu yüzden bazilikalar** kullanılmaya başlandı. Bazilikaların plan tipleri zaman içinde değişip çeşitlenmiş ve kilise mimarisinde kullanılan tipik bir plan tipine dönüşmüştür. Bazilika plan tipine sahip kiliseler doğu-batı yönünde yerleştirilir; giriş batı yönünde, apsis ise doğu yönünde yer alır (Şekil 1.1). Şekil 1.1’de bazilika plan tipinin sade bir anlatımı görülmektedir (Yazıcıoğlu, 1984).

* İlk Hristiyanların gizlice toplanıp dinsel törenler yaptıkları yeraltı mezar ve tapınağı. Zamanla büyüyerek yeraltı şehirleri haline gelmişlerdir. İlginç örnekleri Kapadokya’da görülebilir (Hasol, 1998).

** İlk olarak Atina Pazar yerinde baş yargıç Basile’in, adaleti uyguladığı yapı. Romalıların adaleti uyguladığı dikedörtgen planlı yapı (Hasol, 1998).

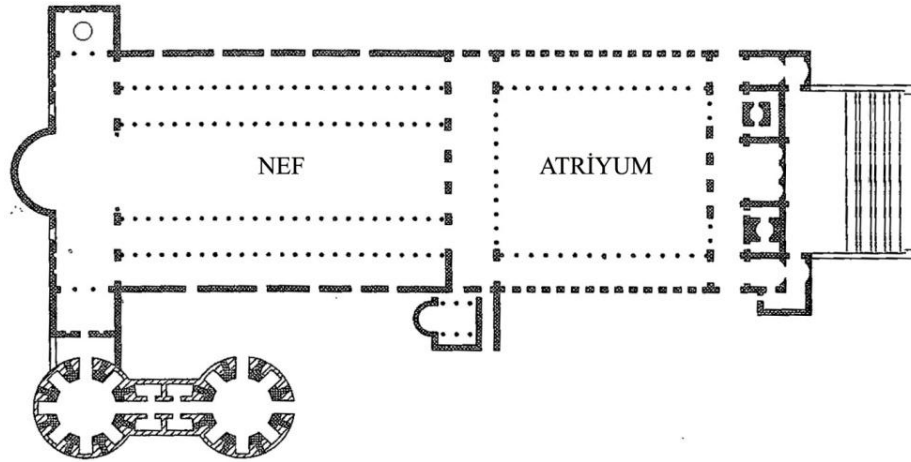


Bazilika Plan Tipi

- | | |
|------------|------------|
| 1. Narteks | 3. Apsis |
| 2. Nef | 4. Yan Nef |

Şekil 1.1 Bazilika plan tipinin anlatımı.

Yüksek tavanlı bir ana nef, ana nefi her iki yanında bulunan ve birbirine paralel yan neflerden ayıran, üst duvarları ve hafif eğimli çatıyı destekleyen sütun dizileri, planın en uç noktasında apsis ve ön tarafında ise narteks veya dış avlu, bazilikal plan tipini oluşturan önemli unsurlardır (Long, 2006). Şekil 1.2’de bu plan tipinin iyi bir örneği olan Aziz Peter Kilisesine ait plan görülmektedir.

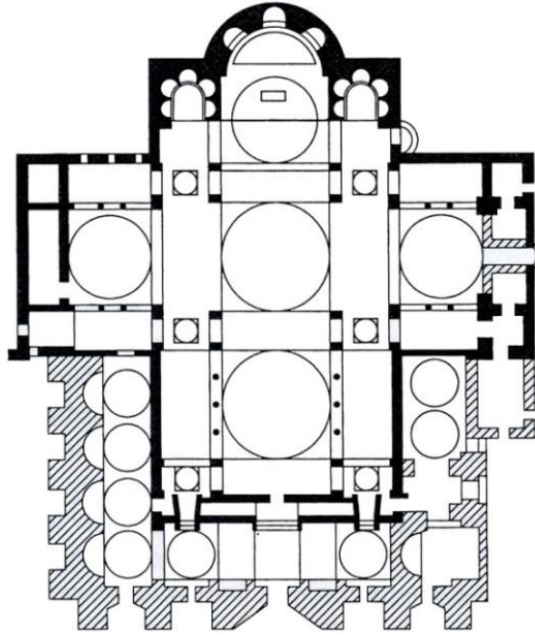


Şekil 1.2 330’da Constantine tarafından inşası başlatılan Aziz Peter Kilisesi, bazilikal plan tipini gösteren iyi bir örnektir (Long, 2006).

Bazilikal plan tipi, Hristiyanlığın ilk dönemlerinde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu plan tipi, daha geç dönemler için de bir model oluşturmuş, tüm Batı Avrupa’ya yayılarak Gotik katedrallere kadar uzanan yolu açmıştır (Long, 2006).

800 ila 1100 yılları arasındaki döneme hâkim olan Romanesk tarzı mimaride hem Roma’ya hem de Bizans’a ait geleneklerin etkileri farkedilir. Bu dönemde, Roma döneminin bazilikal biçimine ait birçok unsur korunurken taban planı haç şekli almaya başlamıştır. Venedik ve

Ravenna gibi dönemin ticari açıdan önemli şehirleri vasıtasıyla doğu tarzının etkileri de görülmeye başlanmıştır. Romanesk dönemin mimari tarzı doğunun küresel biçiminin batının tonoz yapısıyla birleşmiş kubbe tavanları ile kendini gösterir. Dar üst pencereler İtalya'nın güneşinin kontrollü olarak içeri almasını sağlarken binanın kuzeye bakan geniş açıklıkları doğal aydınlatma amaçlı kullanılan, ana yapı elemanlarıydı. Yine güney yönüne daha az eğimli çatılar inşa edilirken kuzey yönünde eğim arttırılmıştır. Romanesk yapılar duvarlar payandalarla desteklenmeye başlanıp daha hafif bir hâle gelene kadar iri ve ağır kütlelere sahip eserler olarak kaldılar. Bu yapıların inşasında eski Roma yapılarından taşınan yıkıntılar kadar tuğla, taş ve toprak malzemeler de kullanılmıştır. Bu dönemde Yunan ve Roma yapılarının zarif mermer işçiliği kaybolmuş, bu tuğla ağırlıklı yapılar geçmiş dönemin süslemeli mimarisine nazaran oldukça kaba ve düz kalmışlardır. Venedik'te bulunan, ilk olarak 864 yılında inşa edilen ve 976'da yanmasının ardında 1042-1085 yılları arasında yeniden yapılarak günümüze ulaşan Aziz Mark Katedrali, bu dönemin en dikkat çekici örneklerindendir (Long, 2006).



Şekil 1.3 Aziz Mark Katedrali'nin planı

Geç Orta Çağ'ın başlarında, Kuzey Fransa'dan başlayarak daha sonra tüm Avrupa'ya yayılan çok büyük kiliseler yani Gotik katedraller inşa etme akımı ortaya çıkmıştır. 1100 ila 1400 yılları arasında hüküm süren bu akım Gotik dönem olarak adlandırılır. Bu devasa yapılar, dinî ayinlerin merkezi hâline gelmiş ve Haçlı Seferleri ile elde edilen kutsal emanetlerin saklandığı yapılar olarak, hac ticaretinin yapıldığı yerlere dönüşmüşlerdir. İlk katedral, Kral VI. Luis zamanında Abbot Suger tarafından 1137 ila 1144 yılları arasında Paris yakınlarındaki St.

Denis'e yaptırılmıştır. Bu yapılar taş işçiliğinin ve mühendisliğinin büyük bir aşama kaydetmesini sağlamıştır. 30 m'nin üzerinde tonoz tavanlı nef, bu nefin iki yanında kolon dizileri, aydınlatma amaçlı karakteristik pencereleri ve dışarıda yüksek duvarlarını desteklemek üzere tasarlanmış uçan payandaları, bu yapıları estetik açıdan üst seviyelere taşıyan unsurlardır (Long, 2006).

1400 yılı ile 1600 yılları arasındaki, sanatta, ticarete ve keşiflerde büyük atılımların yaşandığı dönem, Rönesans olarak adlandırılmıştır. Bu akım ilk olarak Kuzey İtalya'da başlamış sonra tüm Avrupa'ya yayılmıştır. Kilise inşasındaki gelişmeler Rönesans'ın hakim olduğu yıllarda da sürmüştür. Kubbesi rönesans döneminin en etkileyici eserlerinden olan Floransa Katedrali'nin inşasına 1296'da Arnolfo di Cambio'nu planlarıyla başlanmıştır. Yapı, son olarak 1420-1436 yılları arasında Filippo Brunelleschi tarafından inşa edilen sekizgen ve tuğladan kubbesiyle tamamlanmıştır (Pevsner, 1970; http://en.wikipedia.org/wiki/Florence_cathedral). Bu döneme ait diğer bir önemli yapı olan Aziz Peter Katedrali'nin inşası ise 1506'da Roma'da başlamıştır. Dönemin en iyi sanatçıları ve mimarları bu katedralin inşasında çalışmışlardır. Katedralin mimari tasarımı için bir yarışma düzenlenmiş ve birçok eser arasından Bramante'nin tasarımı seçilmiştir. Papa II. Julius'un ölümünden sonra bu projede, içlerinde Raphael'in de bulunduğu birçok farklı mimar yer almıştır. Bu mimarların içlerinden en çok tanınanı Michelangelo'dur. Yapının kubbesinin inşasını yapmaya başlayan Michelangelo'nun ömrü, kubbeyi tamamlamaya yetmemiş fakat ölümünden sonra kubbe onun çizimlerine dayanılarak bitirilmiştir (Long, 2006).

17. yy'ın ilk yarısına hakim olan Otuz Yıl Savaşı, Almanya'nın büyük bölümü ile Orta Avrupa'yı harap ederek, dinî ve politik sınırların değişmesine Habsburg Hanedanlığı'nın* zayıflamasına ve Fransa'nın Avrupa'da baskın güç haline gelmesine neden olmuştur. Bütün bu gelişmeler sonucunda, bu savaşlardan nispeten daha az etkilenmiş olan İtalya sanatın ve müziğin merkezi hâline gelmiştir. Kuzey İtalya'da Floransalı, Camerata olarak bilinen bilgin ve müzisyenler topluluğunun çalışmaları sonucunda barok tarzı ortaya çıkmıştır. Barok, Portekizce'de düzgün şekilli olmayan inci anlamına gelen barocco kelimesinden türemiştir. Barok dönemde müzik de mimari de Rönesans'a göre oldukça süslüydü. Bu dönemde kiliseler ve diğer kamu binaları dekoratif elemanların çokça kullanılmasıyla zamanla barok tarzının da sembolü hâline gelecek şekilde süslü bir görünüme kavuştu (Long, 2006).

* Avrupa'nın önemli bir kraliyet ailesidir. 1452 ila 1740 yılları arasında İspanya ve Avusturya İmparatorluğu'nun hükümdarları kadar resmî olarak seçilen bütün Kutsal Roma İmparatorları bu hanedandan çıkmıştır (http://en.wikipedia.org/wiki/House_of_Habsburg).

Şapel:

Şapel kelimesi, 316-397 yılları arasında yaşamış Tours’lu Aziz Martin’in kutsal emanetinden türemiştir. Aziz Martin, askerî paltosunu bölerek bir parçasını Amiens’in kapılarındaki bir dilenciye vermiş ve diğer parçasını da kendi omzuna atarak pelerin olarak kullanmıştır. Daha sonra bu pelerin, Frenk krallarının savaşlarda yanlarında da taşıdıkları kutsal bir emanet olarak saklanmış ve savaş alanlarında içinde pelerinin saklandığı çadır, Cappella olarak adlandırılmıştır ki Orta Çağ Latince’sinde şapel kelimesinin türediği cappella sözcüğü, pelerin anlamına gelir (<http://www.newadvent.org/cathen/03574b.htm> - Catholic Encyclopedia).

Şapel sözcüğü Hristiyanlık’ın ilk yıllarında ev kiliseleri gibi farklı yapılardaki tapınmaya ayrılmış odaları tanımlamak için de kullanılmıştır. İspanya’da ana altar içeren kiliseler de Büyük Şapel olarak adlandırılır. Günümüzde ise şapel sözcüğü, daha büyük bir kilise, hastane, saray, hapisane veya mezarlık gibi bir mekânın yanında inşa edilmiş olan küçük kiliseyi tanımlar. Şapeller herhangi bir binaya bağlı olmadan, ayrı olarak da inşa edilebilirler. Genellikle Meryem Ana’ya vb. azizelere adanmışlardır (Hasol, 1998; <http://www.newadvent.org/cathen/03574b.htm> - Catholic Encyclopedia). Santa Anna Şapeli de Meryem Ana’nın annesi Azize Anna’ya adanmış bir kır şapelidir.

1.2 Kiliselerde Akustik Koşullar

Bazilikal plan tipi ile başlayan kilise mimarisi, günümüze kadar mezhep farklılıklarının da etkisiyle çeşitlenerek gelişmiştir. Erken dönem bazilikal plan tipli kiliselerde Yansıyım Süreleri, camlar açıkken bile oldukça yüksekti, bu yüzden müziklerin yürüyüşü ve biçimi, müziğin anlaşılabilmesi için bu mekânlara uyum sağlamıştır (Long, 2006).

800 ve 1100 yılları arasında hakim olan Romanesk tarzda inşa edilen kiliselerde de özellikle, kullanılan malzemelerin yansıtıcı olamsından kaynaklı olarak Yansıyım Süreleri yüksektir. Bu dönemde organum olarak adlandırılan ve belirli bir melodinin aynı anda iki şarkıcı tarafından farklı tonlarda seslendirilmesiyle oluşan müzik türü ortaya çıkmıştır. Bu dönemin en dikkat çekici yapısı Venedik’te bulunan Aziz Mark Katedrali’dir (Bkz. Şekil 1.3). Bu katedralin kareye yakın haç şeklinde oluşu ve bu haçın her bir kolunun ayrı bir kubbe tarafından kapatılması, katedralin belli bölümlerinde yüksek yansıtımlı alanlar yaratmıştır (Long, 2006).

Katedrallerin inşasına başlanmasıyla yaklaşık 1100 ila 1400 yılları arasında, mimaride Gotik dönem hüküm sürmüştür. Bu döneme kadar ayinlerin ayrılmaz bir parçası olarak gelen kilise müziği, katedrallerin akustik koşullarıyla da mükemmel bir uyum sağlamıştır. Bu, hacimleri

büyük yapılardaki Yansışım Süreleri oldukça yüksektir. Bu dönemde çok sesli müzik de gerçek anlamda kendini göstermeye başlamıştır (Long, 2006).

Günümüzde görülen geleneksel Katolik kiliseleri de Gregoryen dinî müzikleri* ile ilgili olarak, yüksek tavanlar gibi Orta Çağ katedrallerine benzeyen unsurlara sahiptir. II. Vatikan'ın** kurulmuş olmasının ve komünyonun Latince'den başka bir dilde olmasına izin verilmesinin ardından, 1960'ların sonlarına doğru kilise tasarımlarında, ruhban sınıfı ile halk arasındaki sınırları kaldırmak ve konuşma, büyük önem taşımaya başladı. Tasarımlar daha düşük hacimli ve düşük Yansışım Süreli mekânlar oluşturma eğilimine sahip oldu. Bunun için kilisenin genelinde, minderli kilise sıraları gibi, daha yutucu elemanlar kullanılmaya başlandı (Long, 2006).

Müzik de dinî ayinlerdeki önemini korumaya devam ettiğinden konuşma ve müzik arasındaki dengeyi sağlamak çok önemlidir. Piyano, org ve diğer eşlik enstrümanları, vokalle senkronize olmaları için koroya yakın yerleştirilmelidir (Long, 2006).

Müziğin vurgulanması gerektiğinde kilise mimarisinde karşılaştığımız en önemli sorun mekânın ne kadar yansışımlı olacağıdır. Kilise müziğinin vurgulanması için yansışım sürelerinin yüksek olması gerekmekte, bu durumsa konuşmanın anlaşılabilirliğini tehdit etmektedir. Günümüzde konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamak için sesi dinleyiciye yönelten çeşitli ses sistemleri kullanılmaktadır. Bu ses sistemlerinden faydalanarak Sinyal-Gürültü Oranı'nın*** yükseltilmesi doğru olur. Bu ses sistemi ile dinleyici arasındaki mesafeyi azaltarak ya da doğrultululuğu yüksek bir ses sistemi kullanarak yapılabilir (Long, 2006).

1.2.1 Hristiyanlık Dinî Müzikleri

6. yy boyunca Roma İmparatorluğu'nun eski toprakları çeşitli savaşlar ve bölünmelerle dolu çalkantılı bir dönem geçirdi. Bu dönem Papa I. Gregory'nin başarılı dinî çalışmalarıyla sona ermiştir. Papa I. Gregory, Hristiyanlık'taki ayinler ve de bu ayinlerde kullanılan dinî müzikler için bir ölçün belirlemek üzere önemli çalışmalar yürütmüştür. Kendi adıyla tanınan geleneksel dinî müziği de biçimlendiren kişi olarak anılır. Batı Kilisesi ayinlerinin bir parçası haline gelen Gregoryen dinî müziklerinin geçmişi Musevi sinagoglarının zengin dinî

* Roma Katolik Kilisesine bağlı hristiyanlığın tek sesli ilahilerinin bir biçimidir. Batı kilise müziğinin mekezi geleneğini oluşturur ve çeşitli ayinlerde kullanılır (Long, 2006; http://en.wikipedia.org/wiki/Gregorian_chant).

** Papa 23. Jean tarafından 1962'de kurulmuş, 1965'te Papa 6. Paul tarafından kapatılmış olan ekümenik yani tüm kiliselerin bütünleşmesini amaçlayan konseydir (http://en.wikipedia.org/wiki/II_Vatican_Council).

*** Sinyal gürültü oranı, konuşma sinyalinin seviyesinin, fon gürültüsü üzerine çıkma oranı olarak tanımlanabilir (Desarnaulds vd., 2001).

müziklerine kadar uzanır. Basit bir melodi ve ritimden oluşan eski kilise müzikleri yüzyıllar boyunca dinî ayinlerin müzikal temelini oluşturmuştur (Long, 2006).

9. yy'da ortak bir notasyon sistemi oluşturulana kadar kilise müziklerinde yeterli benzerlik ya da bu kiliselerde icra edilen müziklerin kaydı sağlanamadı. Günümüzün, Gregoryen dinî müzikleriyle ilişkilendirilen kilise müziği 8. ve 9. yy'larda dinsel ayinlerin bir parçası olarak ortaya çıkmıştır (Long, 2006).

800 ve 1100 yılları arasında görülen Romanesk dönemine çok sesli müziğin de temellerini atan organum müzik tarzı ortaya çıkmıştır. Bu müzik tarzının ilk örnekleri, bir şarkıcı tarafından belirli melodi seslendirilirken aynı melodinin başka bir şarkıcı tarafından dördüncü sesinden söylenmesi ile oluşur. Tek sesli müzikten çok sesli müziğe geçişi sağlamıştır (Long, 2006).

Katedrallerin inşa edilmeye başlanmasıyla ortaya çıkmış olan Gotik dönemde, Paris'deki Notre Dame Okulu'nda, kendinden önceki tek sesli müziklerden farklılaşarak gelişen çok sesli müziğin temelleri atılmıştır. Bu besteler yüksek yansızlıklı katedrallerle uyumlu eserlerdir. Leonin, iki sesli organum müzik türünü geliştirirken ardından gelen Perotin üç ve dört sesli organumu geliştirmiştir. Bu eserlerde ikinci, üçüncü ve dördüncü sesler daha öncekiler gibi ana melodiyi tekrarlamaz. Müzikteki bu zenginleşme 13. ve 14. yy'da, farklı melodilerin, aynı zamanda farklı ritimlere de sahip olduğu çok sesli müziklerin doğmasına yol açmıştır (Long, 2006).

1400 ila 1600 yılları arasında hakim olan Rönesans döneminin müziklerinde fark edilir bir gelişme görülür. Bu dönemde binlerce yeni müzik eseri bestelenmiş, dinî müzik hakimiyetini sürdürse de din dışı müzik de zenginleşmiştir (Long, 2006).

Avrupa'da 17. yy'ın ilk yarısına damgasını vurmuş olan Otuz Yıl Savaşı, politik ve dinî sınırların değişmesine neden olmuş ve İtalya, sanatın ve müziğin merkezi haline gelmiştir. Barok tarzı da bu dönemde İtalya'nın kuzeyinde Camerata adındaki bilginler ve müzisyenler topluluğunun çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu topluluk Rönesans'ın vokale dayalı çok sesli müziğini terk ederek tek bir şarkıcı ile melodiye arka planda destek sağlayan tek bir eşlik enstrümanı kullanmışlardır. Bu dönemde besteciler füg, oratoryo, konçerto, sonat gibi daha karmaşık müzikler yazmaya başlamışlardır. Ayrıca Camerata topluluğunun çalışmaları sonucunda kantat, oratoryo, opera gibi vokal biçimleri de ortaya çıkmıştır. Bu dönemde enstrümantal müzik vokale dayalı müzikle eş değer bir konuma gelmiştir (Long, 2006).

1.2.2 Barok Müzik Tarihi ve Akustik İhtiyaçları

16. yy'ın başlarında besteciler, koro ve ayinsel müzikleri hem katedrallerde hem de nispeten daha az yansım süresine sahip kilise ve şapellerde çalınmak üzere yazdılar (Beranek, 1996).

Barok, 1600'den yaklaşık olarak 1750 yılına kadar yazılmış kontrapuan* müzik tarzını tanımlayan bir terimdir. En iyi örnekleri, kuzey Avrupa'da Bach ve Handel'da, İtalya'da ise Correlli ve Vivaldi'de görülebilir. Barok müziğin gelişimi süresince geçen 150 yılda müzik, enstrüman eşliği olmayan bir koro müziği olma halinden oldukça ritmik ve armonik temalı, bir konserde vokal ve enstrümanın birbirine karıştığı bir denge durumuna kavuşmuştur. Tüm bileşenleri melodik kaygılarla oluşturulmayan bu müziğin bir diğer yönü de enstrümantal renklerin aralıklarla düzenlenmesidir. Yüzlerce farklı besteci tarafından bestelenen müziklerdeki farklılıklara rağmen Avrupa'nın büyük bir bölümüne yayılmıştır.

Barok dönemin göze çarpan özelliklerinden biri de birçok bağımsız melodik dizinin eş zamanlı olarak çalınıp söylenmesidir. Bu birleşim, enstrüman eşlikli tek bir melodiden çok, çeşitli melodileri eş değerde bir önemle vurgular. Melodik dizilerin ayrışıklığı, farklı tınılara sahip enstrümanlar seçilerek arttırılabilir. Barok müzikte müziğin hiçbir bölümünün birbirini maskelememesi önemlidir (Beranek, 1996).

Bu dönemde enstrümantal müzik çok gelişmiş ve 17. ve 18. yy'lara ait enstrümanlar da günümüzde eşi görülmeeyen bir ustalikle yapılmıştır. Barok döneminde klavsen ve yaylı çalgılar, orkestra müziğinin ana enstrümanları hâline gelmişlerdir. Barok dönemi bestecileri arasında en önde gelenlerden biri olan Antonio Vivaldi, keman için oldukça karmaşık besteler yapmış, bu bestelerinde diğer enstrümanlar için de bugün oda müziği olarak bilinen müzik türünün karakteristik bir özelliği olan detaylı geçişler yazmıştır (Long, 2006).

Dinî barok müziği icra edildiği mekânla ilişkilendirmek dinsel olmayan barok müziği ilişkilendirmekten zordur. 17. yy'ın önemli kiliselerinin birçoğu çok geniş hacimli ve yüksek yansımılıydı ve de erken dönem vokal ağırlıklı dinî müzikler gibi sesler içlerinde yansıyarak uzun süre duyulmaya devam ederdi. Diğer taraftan o dönemin dinî müziklerinin büyük bir bölümü, Bach'ın erken dönem füğlerini** de icraya imkân verecek, düşük yansım süreli, kraliyet veya düklüğe ait özel şapellerde icra edilmek üzere yazılmıştır. Bach birçok eserini de cemaatin ana salonla beraber galerileri de doldurduğu, dönüştürölmüş veya yeni inşa edilmiş

* Kontrapuan, birbirinden dış hatları ve ritmi bakımından farklı, armonik olaraksa birbirine bağılı iki sesin ilişkisidir. Rönesans döneminde gelişmiş barok döneminde ise zirveye ulaşmıştır (<http://en.wikipedia.org/wiki/Counterpoint>).

** Çok sesli müzikte üretici bir konunun birbirine benzer biçimde yenilenmesinden oluşan bir beste türü (<http://www.tdk.gov.tr>).

ve orta çağ katedrallerinden dikkate değer biçimde daha düşük yansıma sürelerine sahip Luteryan kiliseler için bestelemiştir. Bir İngiliz akustikçi olan Hope Bagenal*, “Luteryan kiliselerde eklenmiş galerilerle yansıma süresinin düşmesi, yaylıların ayrışık bir şekilde duyulmasına ve müzikte canlı bir tempoya izin vererek müzik tarihindeki St. Matthew Passion ve B-Minor Mass gibi yapıtlara giden yolu açan en önemli gerçek olmuştur.” yorumunu yapmıştır.

Gerçekten de Bach, B-Minor Mass ya da St. Matthew Passion gibi çok önemli eserlerinin birçoğunu, Luteryan bir kilise olan Aziz Thomas Kilisesi’nde koro şefliği yaparken bestelemiştir. Bugün ulaşılabilen taş baskılardan, resim dokumalı duvar örtülerinden, altar bölümündeki işçilik ve diğer sanatsal çalışmalardan Aziz Thomas Kilisesi’nin o dönemdeki akustik koşulları tahmin edilebilmekte. Tahminen o dönemlerde kilisenin orta frekanslardaki yansıma süresi, kilise tamamen dolu olduğunda 1,6 s civarında, kısmî olarak dolu olduğunda ise 2 s’nin üzerindedir. 19. yy’da daha yüksek bir tavanla yeniden inşa edilen kilisede orta frekanslardaki yansıma süresi günümüzde 1,9 s civarındadır (Beranek, 1996).

* Philip Hope Edward Bagenal (1888-1979): Mimarî teorisyen ve akustikçi (<http://www.oxforddnb.com/index/101063126/>).

2. HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİ

Gotik, barok, klasik, romantik, dinî ve folk müziği gibi batı müziği çeşitleri ve doğu kültürüne ait diğer müziklerin her biri, dinleyiciye en iyi hâliyle ulaşması bakımından farklı tasarlanmış mekânlara gereksinim duyar. Fakat her bir müzik türü için ayrı mekânlar tasarlamak olanağı malî açıdan mümkün değildir (Mehta vd., 1999). Bu bakımdan hacimleri müzik ve konuşma açısından değerlendirmeye yardımcı olacak ölçütlerin varlığı akustik biliminde çok önemlidir.

Bir hacmin akustik açıdan kalitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar özellikle son yarım yüzyılda hız kazanmıştır (Mehta vd., 1999). Bu çalışmaların sonucunda ortaya çıkan hacim akustığı parametreleri, öznel ve nesnel parametreler olmak üzere iki ana dalda değerlendirilebilir.

2.1 ÖZNEL AKUSTİK PARAMETRELER

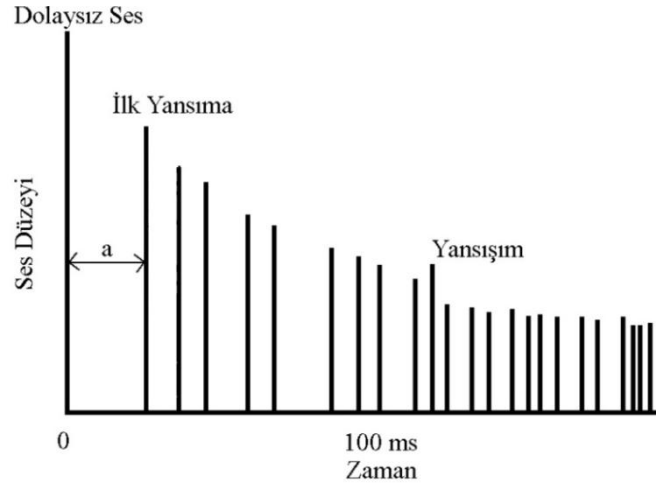
Çalışmanın bu bölümünde tanımlanan öznel parametreler, Leo Beranek tarafından dinleyicinin müziği hissetme biçimini anlatmak için belirlenmiş olan terimlerdir. Beranek, bu parametreleri, akustik konusunda uzmanlaşmış kişilerle müzisyenler arasında ortak bir dil oluşturmak amacı ile belirlemiştir (Beranek, 1996). Ayrıca bu bölümde, öznel parametrelerin, nesnel parametrelerle ilişkisi kurulmaya da çalışılmıştır.

2.1.1 Akustik Samimilik (Intimacy)

Akustik samimilik dinleyiciye müziğin icra edildiği mekânın boyutları hakkında bilgi verir. Farklı tarzdaki müzikler uygun akustik samimiyete sahip salonlarda en iyi şekilde icra edilebilirler. Hacmin uygun bir boyutta olması değil fakat sesin, hacim uygun bir boyuttaymış gibi duyulması önemlidir. Akustik samimiyet genellikle Erken Ses Gecikme Aralığı (Initial-Time-Delay Gap – ITDG) ile belirlenir. Fakat aynı zamanda dinleyici sesin büyük hacimlere oranla küçük hacimlerde daha yüksek olduğunu varsaydığından kısmen Seslilik (Loudness) ile de ilgilidir (Beranek, 1996).

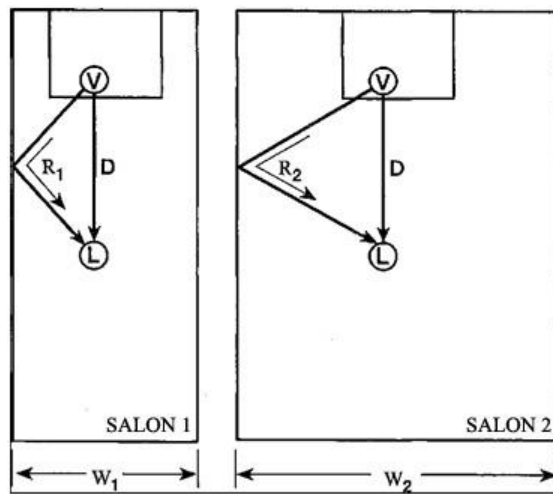
Erken Ses Gecikme Aralığı (Initial-Time-Delay Gap – ITDG), dolaysız sesin* dinleyiciye ulaşması ile ilk yansıyan sesin ulaşması arasında geçen süredir (Beranek, 1996).

* Kapalı bir hacimde, duvarlardan ya da tavandan yansıyan sesler dinleyiciye ulaşmadan önce, doğrudan kaynaktan dinleyiciye ulaşan ses, dolaysız ses olarak adlandırılır (Beranek, 1996).



Şekil 2.1 Dolaysız ses ile ilk yansıma arasında geçen süreyi işaret eden “a”, erken ses gecikme aralığını (ITDG) göstermektedir (Mehta vd., 1999)

Şekil 2.2’deki planda dolaysız ses, sahnedeki kemanın bulunduğu noktadan (V), dinleyicinin bulunduğu noktaya (L) ulaşırken D yolunu izlemektedir. İlk yansıyan ses ise V ve L noktaları arasında R_n yolunu katetmektedir. Planda, salonun genişliğinin (W), dolaysız sesin izlediği yol olan D uzunluğu ile ilk yansıyan sesin izlediği yol olan R_n uzunluğu arasındaki farka ve dolayısıyla Erken Ses Gecikme Aralığı (ITDG)’na etkisini görülmektedir. Eğer 1 nolu salonda D uzaklığını 24,4 m.’ye eşit varsayarsak sesin dinleyiciye ulaşması 0,07 s (70 ms) alacaktır. Yan duvardan kaynaklı ilk yansımanın katedeceği uzaklık 32,9 m’dir ki bu durumda ilk yansıyan sesin ulaşma süresi 0,095 s (95 ms) olacaktır. Böylece Erken Ses Gecikme Aralığı 25 ms olacaktır. 2 nolu salonda ise ITDG 73 ms olacaktır. Her iki salonda da tavanın çok yüksek olduğu ve oradan gelen sesin duvardan gelen sestten sonra dinleyiciye ulaştığı varsayılmaktadır (Beranek, 1996).



Şekil 2.2 ITDG’de salonun biçiminden dolayı meydana gelen değişikliklerin plan düzleminde gösterimi (Beranek, 1996).

Bugünün senfonik repertuarına en uygun salonlarda, salonun ortasında oturan bir dinleyici için ITDG genellikle 15 ile 30 ms arasında olmalıdır (Beranek, 1996).

Besteciler, her zaman bestelerini belirli bir büyüklük ve biçime sahip mekânlara göre yapmışlardır. Örneğin; oda müziği, her zaman, az sayıda enstrümanla küçük hacimlerde icra edilmek üzere yapılmış, 1700-1900 yılları arasında yapılan orkestra müziği, büyük bir orkestrayla o dönem Avrupa'nın büyük ama oldukça dar ve dikdörtgen planlı olan salonlarında icra edilmek üzere yapılmış, operalarsa bu salonlara göre daha küçük olan ve at nalı biçimli opera salonlarında icra edilmek üzere yapılmıştır. Bu farklılaşan mekân seçimleri, bestecilerin eserlerinin icra edileceği mekânlar için tercih ettiği belirli bir Samimilik derecesi olduğunu düşündürmektedir (Beranek, 1996).

2.1.2 Canlılık ve Sesin Dolgunluğu (Liveness and Fullness of Tone)

Yansışım, ses kaynağı susturulduktan sonra hacimde duyulmaya devam eden sestir. Yansışım süresi, bir ses susturulduktan sonra, o ses duyulmaz duruma gelene kadar geçen saniyelerin sayısıdır. Yansışım süresi uzun olan bir mekân canlı, kısa olan bir mekansa ölü veya kuru olarak tanımlanmaktadır.

Canlılık özellikle 350 Hz.'in üzerindeki orta ve yüksek frekanslarla ilişkilidir. Bir hacim Canlı olarak tanımlanabilir ve yine de bas sesler bakımından yetersiz olabilir. Alçak frekanslarda yeterli miktarda yansışımli bir hacim Sıcak olarak tanımlanır (Beranek, 1996).

EDT'yi birkaç münferit erken yansıma oluştururken T_{60} çok sayıda yansıma sonucu oluşur. EDT, belirli yüzeylerden gelen erken yansımalarla bağlı olduğundan hacmin geometresine karşı duyarlıdır. Öte yandan T_{60} , teoride tüm yüzeylerden gelen yansımalarla ilişkili olduğundan hacmin geometrisinden bağımsız olarak gelişir. Bu da gösteriyor ki düşüşün geç kısmı EDT üzerinde etkili değildir, müzikte canlılık hissini yaratan ise sesin geç yansımalarıdır (Mehta vd., 1999).

Canlılık sadece Yansışım Süresi (T_{60}) ile ilgiliyken Sesin Dolgunluğu, yansışmış sesin sesliliğinin erken sesin sesliliğine oranına bağlıdır (Beranek, 1996).

Yansışım, hacmin istenen ya da sakınılan bir özelliği olmaktan çok, icracının ya da bestecinin istediği müzikal etkiyi yaratmak için kullanabileceği ve müziğin bir parçası hâline gelebilen bir akustik özelliktir. Bazı müzik tarzları, peşpeşe gelen notaları birbirine bağlamak ve böylece bütünleşik bir etki yaratmak üzerine kurulmuştur. Birçok erken dönem koro müziği besteleri özellikle kilise müzikleri, çok yansışımli katedrallerde icra edilmek üzere bestelenmiştir ve kayda değer bir ses dolgunluğu ihtiyacıdır. Erken dönem org müziği

bestecileri de müziklerine esler ekleyerek kiliselerin yüksek yansıma süresini vurgulamıştır (Beranek, 1996).

Bir salon icracıların ürettiği müziği doğrudan dinleyiciye yöneltecek şekilde tasarlanmışsa, kaynaktan çıkan ses enerjisi dinleyicilere neredeyse dolaysız sesle aynı sürede ulaşacak ve salon sesin dolgunluğundan yoksun kalacaktır. Eğer ses, çok sayıda yansımayla serbest bir şekilde salonu dolduruyorsa erken seslerin enerjisi düşecek ve yansımış sesin enerjisi ise artacaktır. Bu iki etmenin oranları ve böylece sesin dolgunluğu parametresi, yüzeylerin biçiminde değişiklikler yapılarak ve özel ses yansıtıcı paneller yerleştirilerek düzenlenebilir (Beranek, 1996).

2.1.3 Netlik (Clarity)

Netlik, müziği oluşturan farklı seslerin birbirinden ayrışık olarak duyulma derecesidir. Netlik müzikal etmenlere ve müzisyenin becerisine bağlı olduğu kadar hacmin akustiği ile de ilgilidir (Beranek, 1996).

Dolaysız sestten sonraki ilk 80 ms içinde dinleyiciye ulaşan erken seslerin, dinleyiciye daha sonra ulaşan geç seslere oranla daha baskın oluşu bir müzik eserindeki notaların birbirinden ayrı olarak duyulmasını sağlayacak ve Ayırtedilebilirlik (Distinctness) ve Netlik (Clarity) hissi yaratacaktır. Diğer bir deyişle erken ses enerjisindeki azalma geç ses enerjisini arttıracak ve sesin netliğini azaltacaktır (Mehta vd., 1999).

2.1.4 Sıcaklık (Warmth)

Bir müziğin Sıcaklık'ı, alçak frekansların Yansıma Süreleri'nin, orta frekansların Yansıma Süreleri'ne oranla Canlılık'ı yani daha uzun olması olarak tanımlanabilir (Beranek, 1996). Alçak frekansların Yansıma Süreleri'nde hafif bir artış müzik icra edilen hacimlerin akustik kalitesi açısından önemlidir. Sıcaklık, alçak ve yüksek frekansları karşılaştırmakta kullanılan Bas Seslerin Oranı (Bass Ratio - BR) öznel parametresi ile belirlenir. BR değeri 1.0'dan büyük olan bir salon Sıcak olarak tanımlanır, BR değeri 1.0'dan küçük olan bir salon Sıcaklık öznel parametresinden yoksundur. Hacmin yüzeylerine, arada hava boşluğu bırakılarak yerleştirilen hafif paneller alçak frekanslarda yutuculuğu arttıracak ve BR değerini düşürecektir. Bu sebeple müzik icra edilen mekânların yüzeyleri beton ve taş gibi sert ve ağır malzemelerden olmalıdır. Eğer bu yüzeyler panellerle kaplanmak isteniyorsa bu paneller, hava boşluğu bırakılmadan, doğrudan sert yüzeye monte edilerek kullanılmalıdır (Mehta vd., 1999).

2.1.5 Parlaklık (Brilliance)

Net, uyumlularca zengin ve yansımali bir ses Parlak olarak tanımlanır. Parlak bir seste yüksek frekanslar belirgin ve düşüş süreleri yavaş olacaktır (Beranek, 1996).

2000 Hz'in üstündeki yüksek frekanslar, yapı malzemelerinin birçoğu tarafından orta ve alçak frekanslara oranla daha kolay yutulur. Orta ve alçak frekanslar havanın yutuculuğundan etkilenmezken, yüksek frekanslar hava tarafından da yutularak zayıflatılırlar. Bundan dolayı EDT ve T_{60} değerleri yüksek frekanslarda düşük olma eğilimindedir. Yüksek frekansların EDT ve T_{60} değerlerinde hafif bir düşme kabul edilebilir olduğu halde, bu düşüşün fazla olması durumunda o mekân Parlaklık'tan yoksun olacaktır. Bu durumdan sakınmak için salon tasarımlarında yüksek frekanslarda yutuculuğu fazla olan tekstil ürünleri vb. dikkatle kullanılmalıdır (Mehta vd., 1999).

2.1.6 Seslilik (Loudness)

Seslilik, hacmin içinde bulunan insanların paylaşmak durumunda olduğu ses enerjisidir. Bu enerji, mekânın içinde bulunan insanlar, tefriş ve yüzey malzemeleri tarafından yutularak azalabilir. Bu durumda 1000 kişinin bulunduğu bir konser salonundaki sesliliğin, aynı T_{60} süresine sahip 3000-5000 kişinin bulunduğu bir konser salonundakinden yüksek olacağı açıktır (Beranek, 1996).

Seslilik, dört farklı mimari etmenden etkilenir; dinleyicinin sahneye uzaklığı, erken sesi dinleyiciye ileten yüzeylerin varlığı, dinleyicilerin kapladığı alan ve orta frekansların Yansıma Süresi (Beranek, 1996).

Dolaysız sesin gücü ile yansımış sesin gücünün birleşimi sonucu ortaya çıkan Seslilik, nesnel bir parametre olarak G ile ifade edilir. Bu parametre, hacmin merkezindeki Ses Basınç Düzeyi ile aynı kaynağın yansısız (anechoic) bir odada 10 m. uzaklıktaki Ses Basınç Düzeyi arasındaki fark olarak da açıklanabilir (Mehta vd., 1999).

2.1.7 Sesin Düzgün Yayılmışlığı (Uniformity of sound)

İyi bir konser salonunun diğer bir ihtiyacı da Sesin Düzgün Yayılmışlığı'dır. Eğer dinleyicilerin bir kısmı, derin bir balkonun altında ya da salonun ön bölümünün yanlarında kalma gibi nedenlerle oluşabilecek yankı veya Netlik'in düşük olması gibi sorunlarla karşılaşılırsa o konser salonu akustik kalitesi oldukça düşük bir hacim olacaktır (Beranek, 1996).

Müziyenler bazen bir salonun “ölü noktalar”ından yani müziğin net ya da Canlı duyulmadığı bölümlerden bahsederler. Akustikçiler ise bu ifadeyi, salonda müziğin farkedilir şekilde zayıf olduğu bölgeler için kullanırlar (Beranek, 1996). İyi akustik kaliteye sahip konser salonlarında beklenen, sesin, salonun her noktasında eşit nitelikte duyulmasıdır.

2.1.8 Mekânsal Algılama (Spaciousness)

Mekânsal Algılama, Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width - ASW) ve Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (Listener Envelopment - LEV) olarak adlandırılan iki bileşenden meydana gelmiştir. Algılanan Kaynak Genişliği uzun zaman önce incelenmiş bir parametre olmasına rağmen Dinleyicinin Sesle Kuşatılması daha yeni bir parametredir.

Erken yanal yansımaların müziğin kalitesi üzerindeki etkisi ilk olarak A. H. Marshall tarafından 1967’de ortaya kondu (Beranek, 1996). Marshall’ın çalışmasında vurgulamak istediği “mekansal yanıt” (spatial responsiveness) olsa da bu etki Mekânsal Algılama olarak adlandırılmıştır. A. H. Marshall’ın, özgün çalışmasında açıklıkla üstünde durmamışsa da, erken yanal yansılardan kaynaklı olarak hissettiği öznel etki, konser salonlarında duyulan müziğin kalitesi üzerinde birçok kişinin tahmin edeceğinden daha önemlidir (Barron, 1999).

Tanımlandığı ilk zamanlarda, Mekânsal Algılama’yı etkileyen tek unsurun erken yanal yansımalar olduğu düşünülmüştür. Erken yanal yansımalarla ilgili çalışmalar sonucunda, bu yansımalarla ilgili olarak iki ölçüt ortaya çıkmıştır; biri Barron ve Marshall’ın (1981) çalışmalarıyla belirlemiş olduğu, Erken Yanal Enerji Oranı (Early Lateral Energy Fraction – LE_{80}), ikincisi ise Keet’in 1968’de ortaya koyduğu, Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı (Inter-Aural Cross-Correlation - IACC)’dır. Aslında bu iki ölçüt de Mekânsal Algılama’nın tek bir bileşeni ile ilgilidir; Algılanan Kaynak Genişliği (ASW). Barron da erken dönem çalışmalarında algılanan kaynak genişliğini tanımlamak için mekânsal algı terimini kullanmıştır (Barron, 1999).

Morimoto ve Maekawa, 1989’da yaptıkları çalışmada en az iki farklı öznel mekânsal algı olduğunu ileri sürmüşlerdir (Barron, 1999). Ancak Morimoto ve Maekawa da Dinleyicinin Sesle Kuşatılması ve Algılanan Kaynak Genişliği parametrelerinden bahsettikleri hâlde Algılanan Kaynak Genişliği yerine mekânsal algı terimini kullanmışlardır (Bradley ve Soulodre, 1995b). Morimoto, 1993 yılında Iida ile birlikte yaptığı çalışmada mekânsal algının bu iki temel yönünü net olarak tanımlamıştır (Bradley ve Soulodre, 1995b). Bradley ve Soulodre (1995) Mekânsal Algılama üzerine daha geniş kapsamlı deneyler yapmışlar ve geçmişte genellikle birbirine karıştırılan iki farklı mekânsal etki olduğu konusunda Morimoto

ve Maekawa ile aynı kaniya varmışlardır. Bradley ve Soulodre, bu iki farklı etkiyi, Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width - ASW) ve Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (Listener Envelopment - LEV) olarak adlandırmışlardır (Bradley ve Soulodre, 1995a; 1995b).

2.1.8.1 Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width - ASW)

Bir salonun, dinleyiciye sesin, mevcut kaynağın görünür boyutundan daha geniş bir kaynaktan geldiği hissi vermesi niteliğine Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) denir. Algılanan Kaynak Genişliği'nin büyük olması bir hacmin müzikal kalitesi açısından önem taşır (Beranek, 1996).

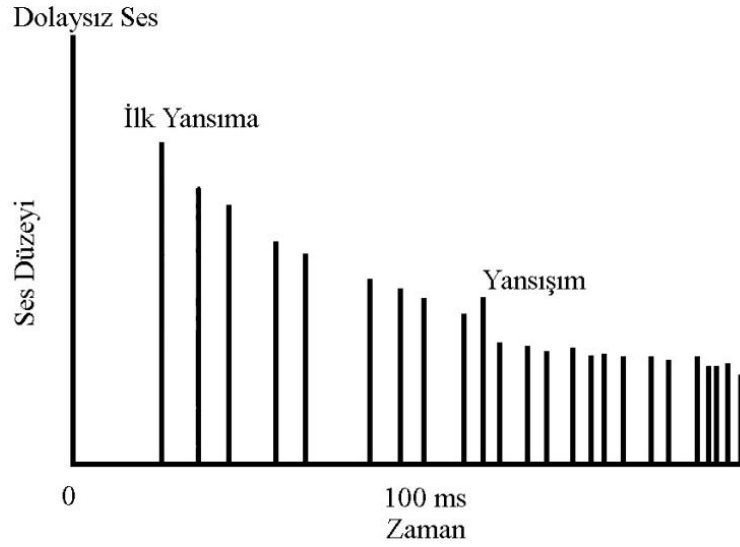
Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) olarak adlandırılan ve dinleyiciye dolaysız sestten sonraki ilk 50-80 ms'de ulaşan yanal yansımalarda bir artış gerektiren bu öznel parametreden ilk olarak A. H. Marshall, 1967'de bahsetmiştir (Beranek, 1996).

Algılanan Kaynak Genişliği parametresinin daha detaylı incelenmesi için bazı kavramların açıklanması gerekmektedir:

Erken Ses ve Erken Yanal Ses:

Dinleyici önce, kaynaktan çıkıp düz bir çizgiyi takip ederek kendisine ulaşan dolaysız sesi duyar. Bunu, yan duvarlardan ve tavandan gelen bir dizi erken yansıma takip eder (Barron, 1993). Bir orchestra veya bir konuşmacı gibi bir ses kaynağı tarafından üretilen ses her yöne dağılır. Havada yaklaşık 344 m/s hızla hareket eden ses 1-2 s içinde birçok defa hacmin farklı yüzeylerinden yansıyacaktır (Mehta vd., 1999). Bu yansımış ses, dolaysız sestten ya da ilk yansımalarından daha uzun bir yol katederek dinleyiciye daha geç ulaşacak ve, bir odaklanma* söz konusu değilse, bu sesin düzeyi dolaysız sese oranla daha az olacaktır. Hacmin sese karşı bu yanıtı, ses düzeyinin zaman içindeki dağılımını gösteren bir grafik ile ifade edilebilir. Bu grafik Uyarı Yanıtı (Impulse Response) olarak adlandırılır. İki nokta arasındaki ses iletimini, doğrultudan bağımsız olarak tanımlayan bu grafiğin bir örneği Şekil 2.3'te görülmektedir (Barron, 1993).

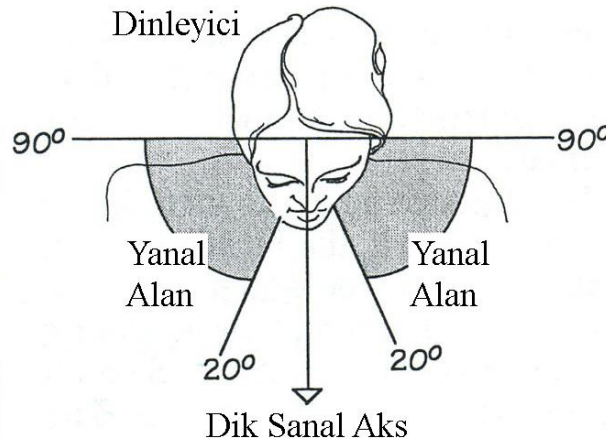
* Ses enerjisinin iç bükey bir yüzeyden yansıyarak belli alanlarda yoğunlaşmasına odaklanma denir (Egan, 1988).



Şekil 2.3 Uyarı Yanıtı Grafiği (Ekogram) (Barron, 1993).

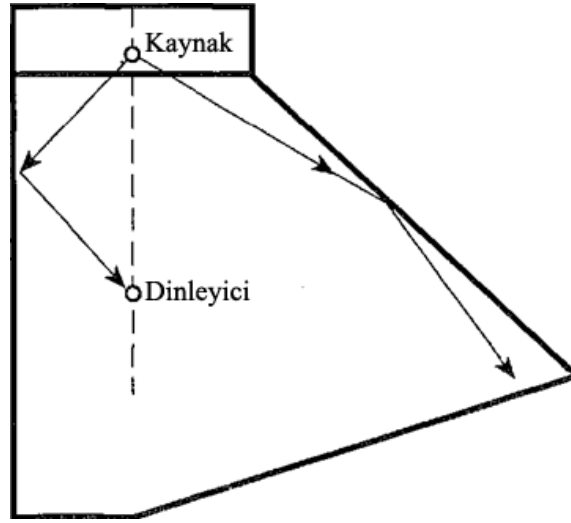
Bir salonun akustik niteliklerinin müzik üzerindeki etkisini anlayabilmemiz için salonda oluşan yansımaları iki zaman aralığında değerlendirmeliyiz. Erken ses olarak değerlendirilen ilk bölüm, dolaysız sesi ve dolaysız sesin dinleyiciye ulaştığı andan itibaren geçen 80 ms içindeki tüm yansıtmış sesleri içerir. İkinci bölüm ise 80 ms'den sonra oluşan yansıtmış sesleri kapsayan bölümdür (Beranek, 1996).

Bu yansımalar yan duvarlardan, tavandan ve sahneyi çevreleyen duvarlardan gelen yansımalar (Beranek, 1996). Eğer yansımalar, dinleyiciye dolaysız sestten sonraki 80 ms içinde yan duvarlardan geliyorsa bu yansımalar Erken Yanal Yansımalar olarak adlandırılır. Yanal yansımalar, dinleyicinin başını simetrik olarak ayırdığı düşünülen sanal bir eksene 20° ve 90° arasında açı ile ulaşan yansımalar (Mehta vd., 1999).



Şekil 2.4 Yanal yansıma alanının grafiksel anlatımı (Mehta vd., 1999).

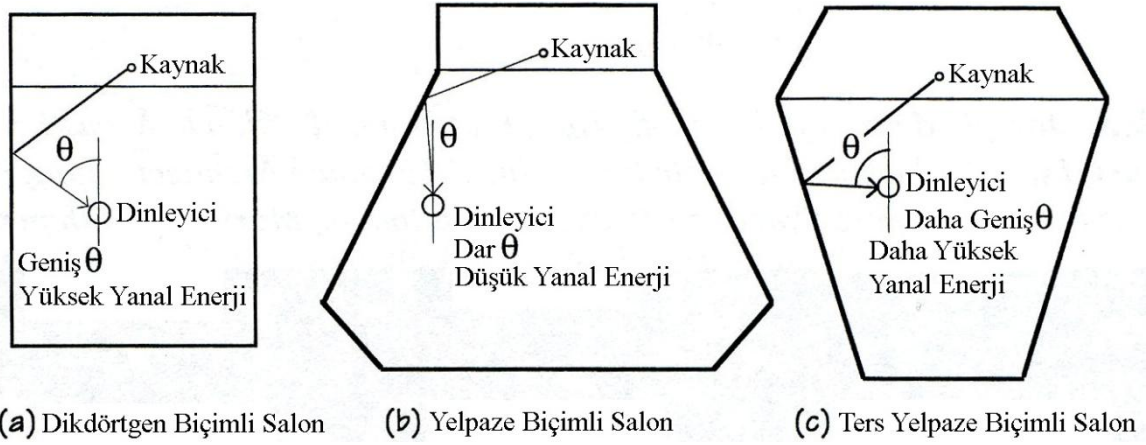
Yanal yansımalar, kaynağın hissedilen genişliğinin yanal yönden büyümesine neden olacak bu da Algılanan Kaynak Genişliği (ASW)'ni arttıracaktır. Algılanan Kaynak Genişliği'ndeki artış bir konser salonunda duyulan müziğin kalitesinde de artışa neden olacaktır. Yan duvarları paralel olan dar bir salonda yanal yansımaları, salonun merkezinde yer alan dinleyicilere ulaştırmak nispeten kolaydır. Yelpaze biçimli bir salonda ise bu yansımalar, yan duvarlarda yansıtıcı paneller kullanılmadığı sürece, arka koltuklara yönelecektir (Bkz. Şekil 2.5). Boston, Viyana ve Amsterdam'dakiler gibi ünlü konser salonlarının çoğu, kutu biçimlidir; yani duvarlar birbirine paralel, tavan ise yataydır (Beranek, 1996).



Şekil 2.5 Dikdörtgen ve yelpaze biçimli salonlarda erken yanal yansımaların dinleyiciye nasıl ulaştığını gösteren plan (Beranek, 1996).

Planın sol yarısında dikdörtgen biçimli bir hacimdeki erken yanal yansımanın dinleyiciye nasıl ulaştığı görülmekte, sağ yarısında ise yelpaze biçimli bir salonda sesin, yan duvarlardan arka bölümlere yansıtacağı gösterilmiştir. İkinci durumda dinleyici ancak tavandan gelecek erken yansılardan faydalanabilir. Fakat yan duvarlara özel yansıtıcılar monte edilmediği sürece dinleyiciler yanal yansılardan mahrum kalacaklardır (Beranek, 1996).

Yanal yansımaların öneminin bir hacmin akustik kalitesi üzerindeki etkilerinin anlaşılması, neden eski, dar ve dikdörtgen biçimli konser salonlarında akustik koşulların daha yeni yelpaze biçimli salonlara göre daha kaliteli olduğu sorusunu cevaplamıştır. Yanal yansımalar çoğunlukla yan duvarlar tarafından yansıtılarak dinleyiciye ulaştığından dikdörtgen biçimli planın yelpaze biçimli plana göre yanal yansımaları daha verimli olarak yansıttığı görülür. Ters yelpaze biçimli mekânlarda ise yanal yansımalar dikdörtgen biçimli mekânlarda olduğundan da verimli olarak dinleyiciye ulaşacaktır (Mehta vd., 1999). Bu durum, Şekil 2.6'da da açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.6 Yanal yansımaların salonun biçimi ile ilişkisi (Mehta vd., 1999).

Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı (Inter-Aural Cross-Correlation Coefficient – IACC): İnsanların işitme süreci, başlarının iki yanında farklı yönlerde bakan kulaklar sayesinde geliştiğinden Schroeder 1974'te konser salonlarında akustik kalitenin belirlenmesi için iki-yönlü ölçüm yapılmasını önermiştir. Bu ölçüm genelde bir insan maketinde kafanın iki yanına mikrofon yerleştirilerek yapılır. Bu ölçümler sonucunda elde edilen verilerden bir matematiksel formül yardımıyla çıkarılan değer Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı (Inter-Aural Cross-Correlation - IACC) olarak adlandırılır.

IACC herhangi bir anda iki kulağa gelen sesler arasındaki farkın ölçümüdür. Dinleyiciye yandan gelen bir ses dalgası, bir kulağa diğerinden önce ulaşacak ve başın biçiminin de etkisi ile iki kulağa ulaşan sesler arasında hafif bir nitelik farkı olacaktır. Eğer iki kulağa ulaşan sesler birbirinden tamamen farklı ise (1-IACC) değeri 1'dir, yani iki kulağa gelen sesler arasında uyum ilişkisi (correlation) yoktur. Eğer ses dalgası, dinleyiciye başın simetri eksenine doğrultusunda ulaşıyorsa kulaklara eşit olarak varacak (mükemmel uyum ilişkisi) ve (1-IACC) 0 değerini alacaktır yani Mekânsal Algılama yoktur. Bu değer konser salonlarında 0-1 arasında değişir (Beranek, 1996).

Erken sesler için hesaplanmış Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı ($IACC_0^{80}$), Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) için, geç sesler için hesaplanmış Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı ($IACC_{80}^{\infty}$) ise Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) için kullanılan bir ölçüttür (Beranek, 1996).

Keet'in 1968'de ve Barron'un 1971'de yaptıkları, öncü nitelik taşıyan çalışmalarında Mekânsal Algı nesnel parametrelerle ilişkilendirilmiştir. Keet 1968'de, bir çift stereo kardioid (cardioid) mikrofon ve de tek bir hoparlörden dinleyici bölümüne doğru yayılan test sinyali kullanarak bir deney yapmış ve Algılanan Kaynak Genişliği'ni Kısa Süreli Çapraz İlişkiye

(short-time cross correlations) bağlamıştır. Barron'un ise 1971'de tek başına ve daha sonra Marshall'la birlikte 1981'de yaptığı çalışmalarda Mekânsal Algı olarak adlandırılmış olan Algılanan Kaynak Genişliği (ASW), erken yanal yansımaların düzeyiyle ilişkilendirilmiştir. Bradley'nin Soulodre ve Popplewell (1993) ile birlikte yapmış olduğu çalışma da Algılanan Kaynak Genişliği'nin (ASW) erken yanal yansımaların göreceli düzeyi ile ilişkili olduğunu doğrulamıştır (Bradley ve Soulodre, 1995a). Bradley ve Soulodre'nin (1994, 1995) daha sonra yaptıkları çalışma ise ASW'nin erken yanal yansımaların göreceli düzeyi kadar dinleyiciye ulaştığı açı ile de ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Algılanan Kaynak Genişliği, öznel değerlendirmelerden Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80}) ve erken yansımalarla kaynaklı Erken Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı ($IACC_0^{80}$) ile ilişkilendirilir. LF_0^{80} , erken gelen yani dolaysız sesin dinleyiciye ulaşmasından sonraki 80 ms içinde gelen yanal yansımaların enerjisinin oranıdır. Aynı şekilde $IACC_0^{80}$ ise dolaysız sesin dinleyiciye ulaştığı 0 ms ile onu takip eden 80 ms arasında bir insan maketinin başının iki yanındaki mikrofonlara gelen sesin çapraz ilişkisidir (Bradley, 1994). İki kulağa gelen sesler ne kadar farklıysa yani IACC değeri ne kadar düşüğe ASW değeri o kadar yüksek olacaktır (Beranek, 1996).

2.1.8.2 Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (Listener Envelopment - LEV)

Mekânsal Algılama'nın ikinci bileşeni olan Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) öznel parametresi, dinleyicinin, yansımış sesin güç ve doğrultu bakımından kendisine nasıl ulaştığıyla ilgili algısıdır. LEV, ses dinleyicinin kulağına her yönden eşit olarak geliyormuş gibi algılandığında en yüksek değerini alır (Beranek, 1996).

Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) parametresi, geç yanal yansımalarla yani dolaysız sesin dinleyiciye ulaşmasından sonra en erken 80. ms'de ulaşan yansımalarla ilişkilidir (Bradley ve Soulodre, 1995a).

Bradley ve Soulodre'nin (1995b) yaptıkları öznel deneyler göstermiştir ki dinleyicinin sesle kuşatılması parametresi birbirinden bağımsız iki bileşenden etkilenmektedir; ses düzeyi ve sesin hacme yayılmışlığı veya açısal dağılımı. Dinleyicinin sesle kuşatılmasını açıklamaya uygun nesnel parametreler incelenmiş ve ilk deneylerde, mekânsal yayılmışlık bileşeni dikkate alınmayarak ses düzeyi ve zamana bağlı yayılmışlıkla ilgili bileşenler incelenmiştir. Bu deneyler sonucunda görülmüştür ki C_{80} , T_s , G_0^∞ , G_{80}^∞ , EDT ve T_{60} parametreleri LEV değerini kayda değer bir şekilde etkilememektedir.

Daha sonra LEV parametresinin hacme yayılmışlık bileşenini de kapsayan bir çalışma yürütülmüş, bunun içinse geç yansımaların doğrultusunu da göz önünde bulunduran ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda, sesin hacme yayılmışlığının LEV üzerindeki önemi de göz önünde bulundurulduğunda, zaten bu parametre ile ilişkili olması beklenen LF_{80}^{∞} , LF_0^{∞} , $IACC_{80}^{\infty}$ ve $IACC_0^{\infty}$ parametrelerinin altı oktav bantta da Mekânsal Algılama'nın LEV bileşeni üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Bradley ve Soulodre, 1995b).

Bradley ve Soulodre (1995b) bütün bu çalışmalarının sonucunda geç yanal enerjinin göreceli düzeyiyle ilgili LG_{80}^{∞} nesnel parametresini ortaya koymuşlardır.

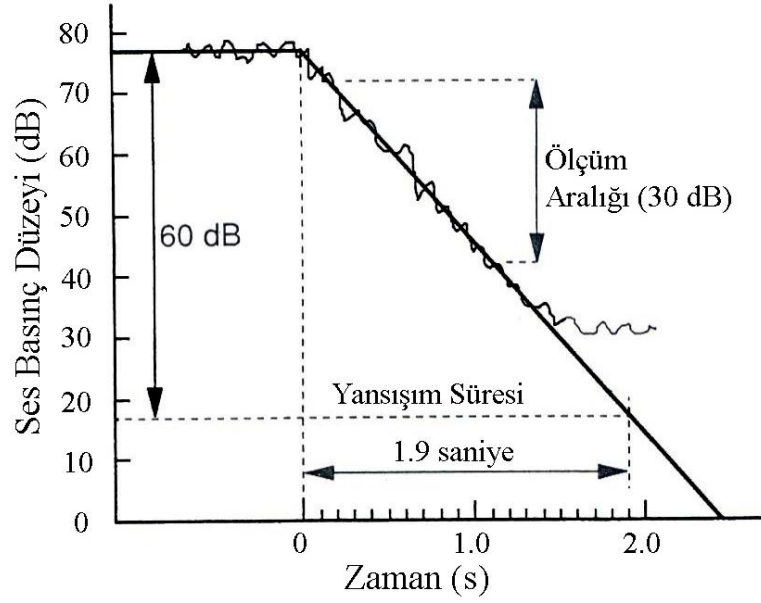
Ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) yüksek değerler aldıkça Algılanan Kaynak Genişliği'ndeki (ASW) değişimlere karşı hassasiyetin azaldığıdır. Bradley ve Soulodre'nin 1994'te yaptıkları çalışmalarında ortaya koydukları bu konu, LEV parametresinin, bir hacmin akustik koşullarının başarısı üzerinde ne kadar etkili bir Mekânsal Algılama bileşeni olduğunu da göstermektedir (Bradley ve Soulodre, 1995a).

2.2 NESNEL AKUSTİK PARAMETRELER

Çalışmanın bu bölümünde, dinleyicinin müziği işitsel olarak algılama biçimini anlatmak için belirlenmiş olan öznel akustik parametrelerin nesnel değerlerle ilişkilerinin kurulmasını ve nesnel olarak tanımlanabilir olmasını sağlayan ve de hesaplar, testler ve ölçümlerle belirlenen nesnel akustik parametreler incelenmiştir.

2.2.1 Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60})

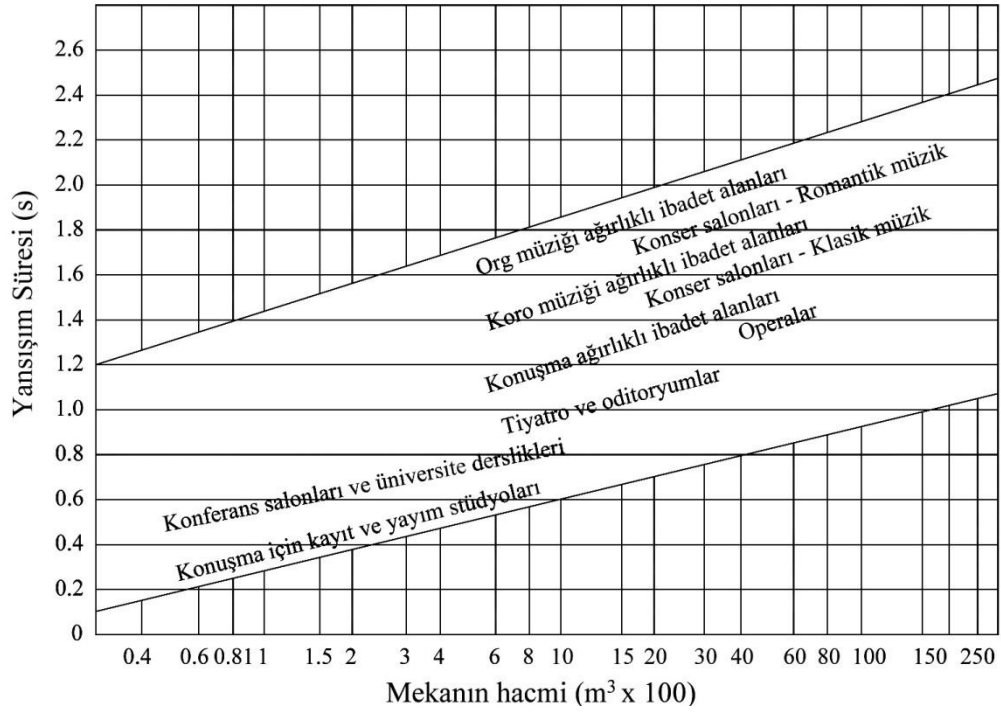
Bir hacmi dolduran ses, hacmi çevreleyen yüzeylerden her yansıdığı anda yüzeyin yutuculuğuna bağlı olarak enerjisinin bir kısmını kaybeder. Böylece, dolaysız sestten sonra oluşan bir yansıma ve ardılları tarafından üretilen ses zamanla zayıflar ve söner. Yüksek düzeyde bir sesin, kaynak kapandıktan sonra 60 dB düşmesi için geçen sürenin saniyelerle ifadesi Yansıma Süresi (T_{60})' dir. Yansıma Süresi, genellikle 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz frekanslarıyla tanımlanan oktav bantlar için ayrı ayrı belirlenir (Beranek, 1996). Uygulamada ise ses düzeyinin fon gürültüsünün 60 dB üzerine çıkması her zaman mümkün olmadığından T_{60} genellikle ilk 30 dB'lik düşüş belirlenerek elde edilir. -5 ile -35 dB arasındaki düşüş süresi belirlenerek bulunan T_{30} değeri 2 ile çarpılarak T_{60} 'a ulaşılır (Mehta vd., 1999).



Şekil 2.7 Yansışım Süresi'nin ses düzeyinin düşüşünü gösteren grafik üzerinde gösterimi (Barron, 1993).

Uygulamada, T_{60} değerine ulaşmak için belirlenmiş olan ölçüm aralığı -5 ile -35 dB arasındaki düşüş süresidir (Barron, 1993). Bu aralık, Şekil 2.7'deki grafik üzerinde de gösterilmiştir.

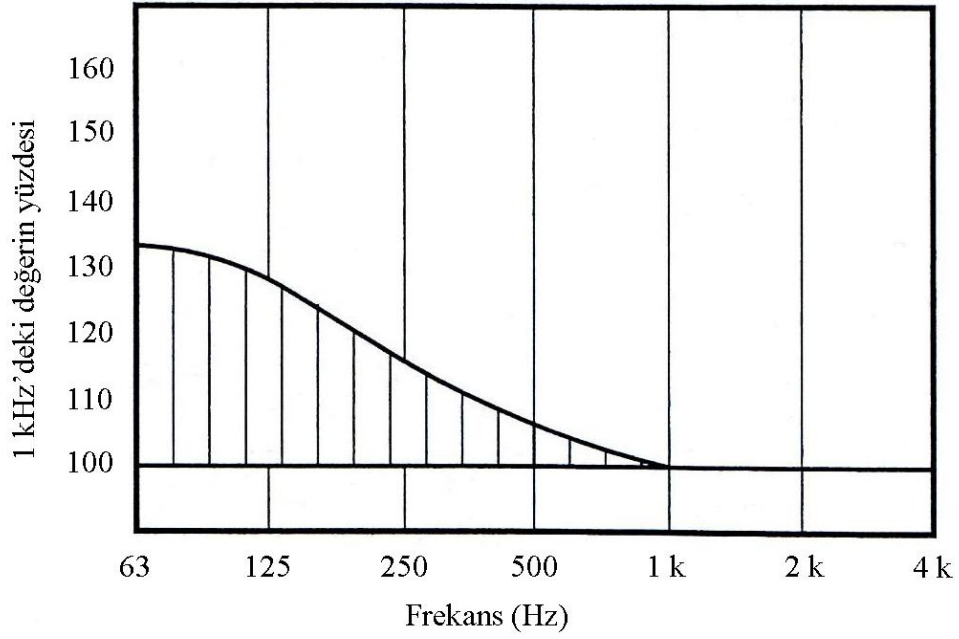
Farklı işlevlere sahip mekânlar için optimum Yansışım Süreleri farklıdır. Bir hacimde konuşma işlevi ne kadar önemli ise optimum Yansışım Süresi o kadar kısalmaktadır. Müzik işlevinin önemli olduğu mekânlarda ise uzun Yansışım Süresi, aranan bir özelliktir fakat optimum Yansışım Süresi, mekânın hacmine ve icra edilen müziğin türüne bağlıdır. Gilbert ve Sullivan'ın operaları gibi sözlerin anlaşılmasının önemli olduğu operalar için uygun Yansışım Süresi 1,0 ile 1,2 saniye arasında iken Wagner operası için uygun Yansışım Süresi 1,2 ile 1,5 saniye arasındadır. Kilise müziği ve org müziği icra edilen mekânlarda ise 2,5 saniye ile 3,5 saniye arasındaki Yansışım Süreleri uygundur (Long, 2006). Farklı işlevlere sahip mekânların optimum Yansışım Süreleri'nin belirlenmesi amacıyla, Knudsen ve Harris tarafından 1950'de, Doelle tarafından 1972'de olmak üzere, birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 2.8'de bu çalışmalardan elde edilen sonuçların Marshall Long tarafından düzenlenmiş hâli görülmektedir. Kuşkusuz, belirli bir hacme sahip bir mekân için, bir tek doğru yansışım süresi olduğunu söylemek yanlış olur; bu grafikten elde edilecek değerlerin %5-10 altı ve üstü arasında kalan değerler, o hacim için kabul edilebilir değer aralığıdır (Long, 2006).



Şekil 2.8 Farklı işlevlere sahip mekânlardaki optimum Yansıma Süreleri'nin değişen hacimlere bağlı grafiksel anlatımı (Long, 2006).

Knudsen ve Harris 1950 yılında yaptıkları çalışmalarında, Doelle ise 1972 yılında yaptığı çalışmasında 500 Hz'in altındaki frekanslarda Yansıma Süreleri'nin, orta frekansların Yansıma Süreleri'nin biraz üzerinde olmasının müzik amaçlı hacimler için uygun olacağı önerisinde bulunmuşlardır. Beranek de çeşitli konser salonlarında çalışmalar yapmış ve bu çalışmalar sonucunda, müzik amaçlı bir hacimde, 125 Hz'deki Yansıma Süresi'nin 500 ve 1000 Hz'deki Yansıma Süreleri'nin ortalamasının, yaklaşık 1,2 katına çıkmasının akustik kalite açısından olumlu olacağı önerisinde bulunmuştur. Ancak yapılarda kullanılan malzemelerin kalınlığı ve ağırlığına bağlı olarak değişen yutuculukları dolayısıyla alçak frekanslardaki bu artışı uygulamada sağlamak oldukça güçtür. Bu sorunu çözmek için başvurulabilecek bir yöntem, alçak frekanslardaki bu artışı elektronik ses düzeniyle sağlamaktır. Müzik icra edilen hacimlerde, alçak frekansların Yansıma Süreleri'nde önerilen artış biçimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir (Long, 2006).

Konser salonlarında, 1000 Hz'den düşük frekanslarda, frekans düştükçe, T_{60} 'ın Şekil 2.9'daki grafikte görülen taralı alan içindeki değerlere uygun olarak artması akustik kalite açısından önerilmektedir (Long, 2006).



Şekil 2.9 Konser salonlarında Yansıma Süreleri'nin (T_{60}), frekanslardaki önerilen dağılımı (Long, 2006).

500 Hz'deki T_{60} süresi ile 1000 Hz'deki T_{60} süresinin ortalaması olan RT_{mid} salonların akustik koşullarının değerlendirilmesinde önem teşkil eder. Matematiksel olarak denklem (2.1) ile ifade edilir:

$$RT = T_{60}$$

$$RT_{mid} = \frac{[RT_{500} + RT_{1000}]}{2} \quad (2.1)$$

Çalışmalar göstermiştir ki yüksek akustik kaliteki konser salonlarının çoğunda RT_{mid} 1,8 ile 2,0 saniye arasında değişirken akustik açıdan tercih edilmeyen konser salonlarında bu değer 1,1 ile 1,4 saniye arasında değişmektedir (Mehta vd., 1999).

Yansıma iki farklı şekilde algılanır; birincisi zamana bağlı algılama, ikincisi ise mekâna bağlı algılamadır. Yansımanın zamansal yönü Canlılık ile ilişkilidir. Yansıma süresinin en uygun değeri zamansal duruma bağlı olarak değerlendirilir.

Yansımanın mekânsal yönü ise biraz daha karmaşıktır. Büyük hacimlerde müzik dinlerken yansımayı her yönden işitmek çok önemlidir. Mekânsal yansımanın en yüksek olduğu hacimler, büyük kiliseler gibi yüksek yansımamlı ve dolaysız sesin hissedilemeyecek kadar zayıf olduğu mekânlardır ki bu gibi durumlarda dinleyici ses kaynağının yönünü algılayamaz (Barron, 1999). Yansımanın mekânsal yönünün etkilerine, bölüm 2.1.8.2 Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) konusu içinde değinilmiştir.

Yansışım Süresi'ni belirlemek için, farklı akustikçiler tarafından gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar sonucunda, farklı hesaplama yöntemleri önerilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları, Wallace Clement Sabine ve Carl Eyring'in tarafından önerilen hesaplama yöntemleridir:

Sabine Yansışım Süresi:

Sesin bir hacmin içinde sönmesi için, belirli bir süre gerektiği fikri, ilk olarak Wallace Clement Sabine'in 1895'te başlayan öncü çalışması ile ortaya çıkmıştır. Sabine, Harvard Koleji'ndeki Fogg Art Müzesi'nin yeni konferans salonunda konuşmanın güçlüğüle anlaşılması sorununu ele aldı. Duvarları sert sıva ile kaplı bu salonda, yansımış ses 5 s'den daha uzun süre duyulmaya devam etmekteydi. İngilizce konuşma sırasında 5,5 s'lik süre içinde ortalama 15 hece tamamlanacağından, salondaki konuşmanın anlaşılması neredeyse imkansızdı (Egan, 1988). Sabine, salonda kullanılan malzemeleri çeşitlendirerek, ses basınç düzeyinin 60 dB düşmesi için gereken süreyi yani Yansışım Süresi'ni ölçtü. Koltukların üzerine 7,5 cm kalınlığında minderler koyan Sabine, bunların sayılarını arttırarak Yansışım Süresi'ni tekrar tekrar ölçtü. Sonunda 550 minder kürsünün üzerine yerleştirerek Yansışım Süresi'ni 1 s'ye yaklaştırmayı başardı. Sabine, bütün bu araştırma sonucunda denklem (2.2)'de verilen deneysel bağıntıya ulaşmıştır (Long, 2006):

$$T_{60} = 0.161 \frac{V}{A} \quad (2.2)$$

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n \quad (2.3)$$

T_{60} = Mekândaki sesin 60 dB düşmesi için gereken süre yani Yansışım Süresi (s)

V = Mekânın hacmi (m^3)

A = Mekândaki toplam yutuculuk (sabine = m^2)

α_n = Hacmin farklı malzemelerle kaplı herbir yüzeyi için ayrı ayrı yutma çarpanları (%)

S_n = Hacmin farklı malzemelerle kaplı herbir yüzeyinin alanı (m^2)

Sabine'in onuruna standart yutuculuk birimi "sabin" olarak adlandırılmıştır. Bu birim, metrik düzende m^2 'ye denk gelir (Long, 2006).

Norris-Eyring Yansıma Süresi:

Carl Eyring 1930'da, R. F. Norris'in çalışmalarına dayandırdığı Yansıma Süresi ile ilgili bir kuram yayımladı. Eyring'in bu çalışma sonucunda ulaştığı bağıntı denklem (2.4)'te görülmektedir (Egan, 1988).

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-S \ln(1-\alpha)} \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{\sum S \alpha}{\sum S} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (2.5)$$

T_{60} = Mekândaki sesin 60 dB düşmesi için gereken süre yani Yansıma Süresi (s)

V = Mekânın hacmi (m^3)

S = Toplam yüzey alanı (m^2)

α_{ort} = Ortalama yutma çarpanı (%)

α_n = Hacmin farklı malzemelerle kaplı herbir yüzeyi için ayrı ayrı yutma çarpanları (%)

S_n = Hacmin farklı malzemelerle kaplı herbir yüzeyinin alanı (m^2)

Bu bağıntı, ölü yani yutuculuğu çok olan hacimlerde Sabine bağıntısından daha doğru sonuç verir. Örneğin; yansız (anechoic) bir odada Sabine bağıntısı ile 0 sonucu elde edilemezken Eyring bağıntısı doğru olan 0 sonucunu verecektir (Long, 2006).

Sabine bağıntısında da Eyring bağıntısında da büyük hacimlerde payda havanın yutuculuk çarpanı da eklenmelidir (Egan, 1988).

Sabine ve Eyring bağıntılarından hangisinin tercih edileceği bu bağıntılarla ilgili bir takım kabullere bağlıdır. Eyring bağıntısında tüm yüzeylerin yutma çarpanlarının eşit olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle bu bağıntının doğru sonuç vermesi için bu koşula olabildiğince yaklaşmak gerekir. Bunu başarmak için yutma çarpanları birbirinden çok uzak gereçlerden tek parçalı, büyük yüzeyler oluşturmaktan kaçınılmalı, bu gereçler küçük parçalar halinde kullanılmalıdır. Bunu yapmak yutuculukların iç yüzeylere düzgün bir şekilde dağılmasını sağlayacaktır. Dışbükey yüzeyler kullanarak sesin yayılmasını sağlamak da oluşacak peş peşe yansımalarla ortalama yutuculuğa ulaşmak için izlenebilecek bir yoldur. Sabine bağıntısı ise her iç yüzey parçasına, her zaman biriminde eşit ses erkesinin geldiği yani ses alanının tam yayınık olduğu varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu koşulu gerçekleştirmek oldukça zor olsa da yüzeylerin yutma çarpanlarının küçük olduğu kimi hacimlerde bu bağıntının kullanılması

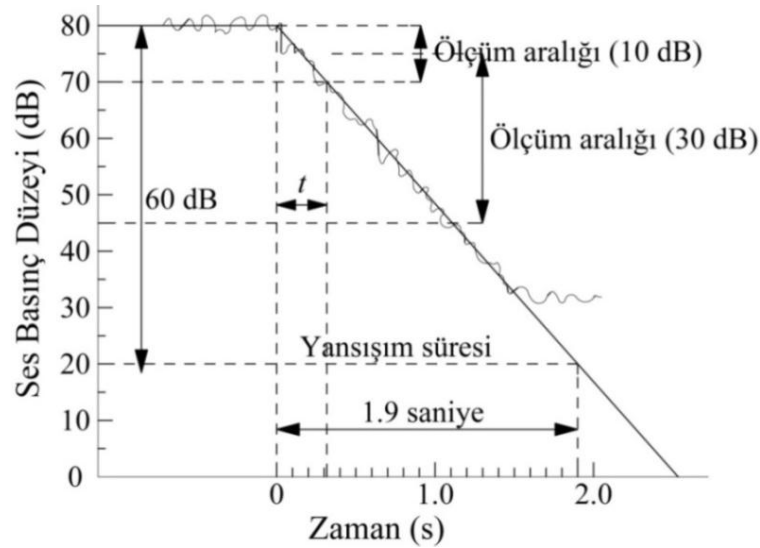
mümkündür. Yutma çarpanlarının küçük olması, Yansıma Süresi'nin uzun olmasına neden olacak bu da hacimde oluşacak peş peşe yansımalarla yeterince yayınlık bir ses alanına ulaşılmasını sağlayacaktır (Sirel, 1981).

2.2.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time - EDT)

Ses kaynağı kapatıldıktan sonra ses düzeyinde meydana gelen ilk 10 dB'lik düşüşün (0-10 dB) 6 katı Erken Düşme Süresi (early Decay Time – EDT) olarak adlandırılır. Bu değer, -5 dB ile -35 dB arasındaki düşüş süresinin 2 ile çarpılmasıyla elde edilen T_{60} 'la karşılaştırma yapabilmek için 6 ile çarpılır (Mehta vd., 1999). Bu durum, matematiksel bir ifade ile denklem (2.6)'da gösterilmiştir.

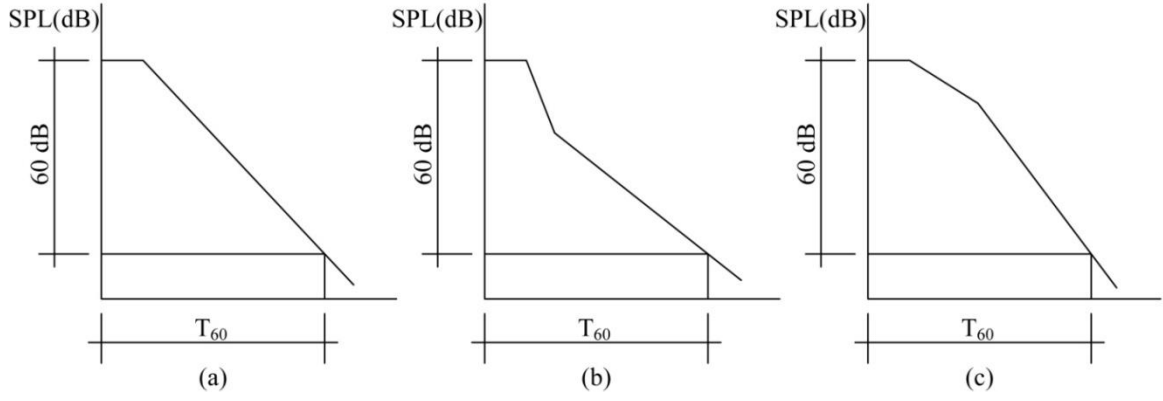
$$EDT = t \times 6 \quad (2.6)$$

$t = \text{Sesin ilk 10 dB'lik düşüşü için geçen süre (s)}$



Şekil 2.10 t süresinin düşüş eğrisi üzerinde belirlenmesi.

W. C. Sabine, ses düşmesi üzerine gerçekleştirdiği çalışmaları, sesin hacimde tam yayınlık olduğunu fikri üzerine kurmuş ve 60 dB'lik ses düşüşünün Şekil 2.11 (a)'da görüldüğü gibi tamamen düzgün ve pürüzsüz gerçekleştiği varsayımında bulunmuştur. Ses düşmesi üzerine yapılmış olan diğer erken dönem çalışmalarda da bu varsayım esas alınmıştır. Fakat mevcut salonlarda yapılan çalışmalar bu düşüşün Şekil 2.11 (b) ve Şekil 2.11 (c)'de görüldüğü gibi, eğimde gerçekleşebilecek kırılmalarla düzensiz olarak da meydana gelebileceğini ortaya koymuştur. Üç grafikte de T_{60} aralığı eşitken düşüş eğrileri farklılık göstermektedir (Mehta vd., 1999).



Şekil 2.11 Basitleştirilmiş ses düşüş eğrileri. (a) Düzgün düşme. (b) Hızlı erken düşmeyi takip eden yavaş geç düşüş. (c) Yavaş erken düşmeyi takip eden hızlı geç düşüş (Mehta vd., 1999).

EDT, birkaç ayırık erken yansımayla belirlendiği hâlde T_{60} birçok yansımayla belirlenir. EDT, hacmin belirli yüzeylerinden gelen erken yansımalarla ilişkili olduğundan, hacmin geometrisinden etkilenir. Diğer taraftan T_{60} , teoride tüm yüzeylerden gelen yansımalarla belirlendiğinden, hacmin geometrisinden de bağımsızdır (Mehta vd., 1999). EDT salonların akustik kalitesini karşılaştırmada, önemli bir parametredir (Beranek, 1996). Fakat bu ses düşmesinin daha geç bölümünün önemsiz olduğu anlamına gelmez. Müziği algılamada önemli bir etkisi olan Canlılık öznel parametresi, bu geç yansımaları da kapsayan T_{60} 'la yakından ilişkilidir. Şekil 2.11 (b)'deki koşullar yani kısa EDT ve uzun T_{60} değerleri sağlanarak akustiğin birbiriyle çelişkili fakat müzikal kalite açısından önemli iki koşulunu gerçekleştirmek mümkündür; kısa EDT değeri müziğin Netlik değerini arttırırken uzun T_{60} ise Canlılık değerini arttıracaktır (Mehta vd., 1999).

Atal, Schroeder ve Sessler'ın 1965'te yaptığı çalışmalar göstermiştir ki ses düşüşünün başlangıç kısmı ile ilgili olan erken düşme süresi (EDT), öznel algılama açısından Yansıma Süresi'nden (T_{60}) daha önemlidir (Barron, 1993). EDT ve T_{60} arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar, birçok konser salonunda EDT'nin, T_{60} değerinden bu değer yaklaşık %10'u kadar daha büyük olduğunu göstermiştir. EDT_{mid} değeri ile RT_{mid} (Bkz. Denklem (2.1)) arasındaki ilişki denklem (2.8)'de gösterildiği gibidir (Mehta vd., 1999):

$$EDT_{mid} = \frac{[EDT_{500} + EDT_{1000}]}{2} \quad (2.7)$$

$$EDT_{mid} = 1.1RT_{mid} \quad (2.8)$$

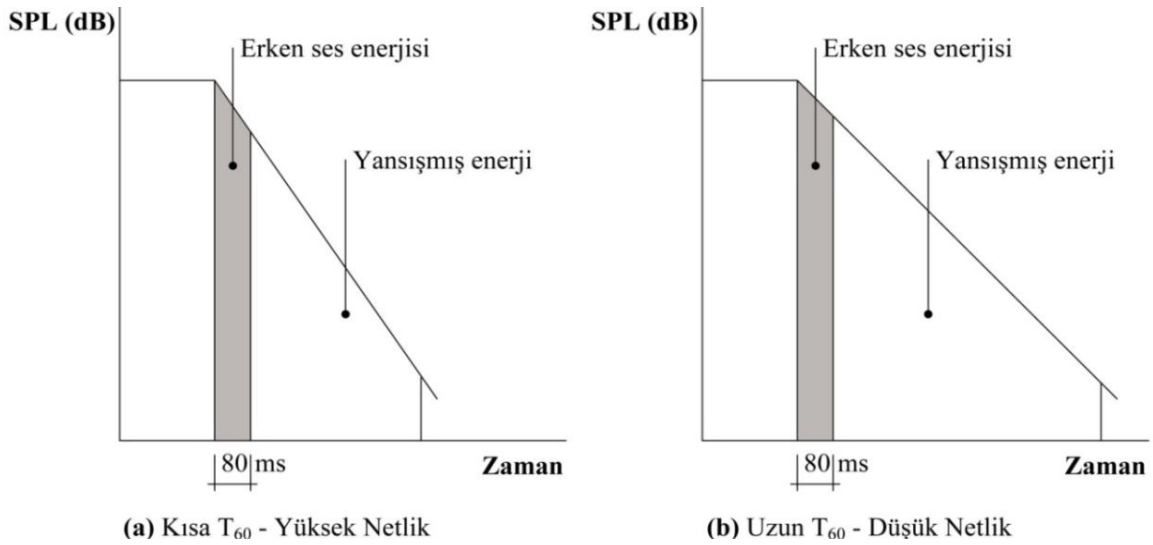
2.2.3 Netlik (Clarity - C_{80})

Bir hacimdeki müzik sesinin Netlik'ini belirlemekte kullanılan bu parametre erken sesin geç sese oranı indeksi (early-to-late sound index) olarak tanımlanır. İlk olarak 1953 yılında Thiele'nin ortaya koyduğu ve dolaysız sestten sonraki ilk 50 ms ile belirlenen Ayırdedilebilirlik (Distinctness – D_{50}) parametresine dayanılarak türetilmiştir. Bu 50 ms'lik zaman dilimi şu an konuşmanın niteliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. 1975'te Reichardt, müzik için erken ses sınırının 80 ms'lik zaman aralığı olmasının daha uygun olacağı önerisinde bulunmuş ve Netlik (C_{80}) parametresi elde edilmiştir. Netlik, dB cinsinden, denklem (2.9) ile ifade edilir (Barron, 1993).

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.9)$$

$p(t)$ = Dolaysız ses duyulduğu anda dinleyicinin bulunduğu noktadaki ses basıncı

C_{80} parametresi T_{60} değeriyle ters ilişkilidir. T_{60} arttıkça yansımış ses artacak ve 0-80 ms arasındaki enerji, 60 dB'lik düşüş içinde daha küçük bir bölüme denk geleceğinden, erken ses enerjisi ise nispeten azalacaktır (Bkz. Şekil 2.12) (Mehta vd., 1999).



Şekil 2.12 Yansıma Süresi (T_{60})'nin Netlik (C_{80}) üzerindeki etkisi (Mehta vd., 1999).

Şekil 2.12 (a)'da taralı alanla gösterilen erken ses enerjisi toplam ses enerjisi içinde nispeten geniş bir alan kapladığından daha yüksek bir Netlik değeri çıkacaktır. Şekil 2.12 (b)'de ise uzayan T_{60} değeri içinde erken ses enerjisi nispeten daha az olduğundan daha düşük bir Netlik değeri çıkacaktır (Mehta vd., 1999).

2.2.4 Merkez Zamanı (Center Time - Ts)

Cremer ve Müller'in 1982'de erken ses ile geç ses arasındaki geçişin aniden gerçekleşmeyeceği varsayımı üzerine tanımladıkları Merkez Zamanı parametresi, Ağırlık Noktası Zamanı (Point of Gravity Time) olarak da anılır (Barron, 1993; Aknesil, 1997). Merkez Zamanı, karesi alınmış uyarı yanıtının zaman aksı boyunca ağırlık merkezi olarak tanımlanabilir (Barron, 1993). Sesin, gelişme bölümünde dengeye ulaşabilmesi teoride sonsuzda olmaktadır. Merkez Zamanı'nın enerji yoğunluğu, denge durumundaki enerji yoğunluğunun 0,62'si kadardır. Bu parametrenin düşük değerler alması, enerjinin büyük bölümünün dinleyiciye erken ulaştığını ve hacimde Netlik (Clarity – C₈₀) değerinin arttığını gösterir. Merkez Zamanı parametresinin yüksek değerler alması ise, ses enerjisinin büyük bölümünün, dinleyiciye dolaysız sesin ulaşmasından uzun süre sonra ulaştığını ve yansımış ses enerjisinin yüksek olduğunu gösterir (Aknesil, 1997). Uygulamada EDT ile yakından ilgilidir. Aralarındaki tipik ilişki katsayısı 0,975'tir. Bu nedenle Merkez Zamanı parametresi akustik değerlendirmelerdeki önemini yitirmiştir. Saniye cinsinden matematiksel ifadesi denklem (2.10)'da görüldüğü gibidir (Barron, 1993).

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.10)$$

$p(t)$ = Dolaysız ses duyulduğu anda dinleyicinin bulunduğu noktadaki ses basıncı

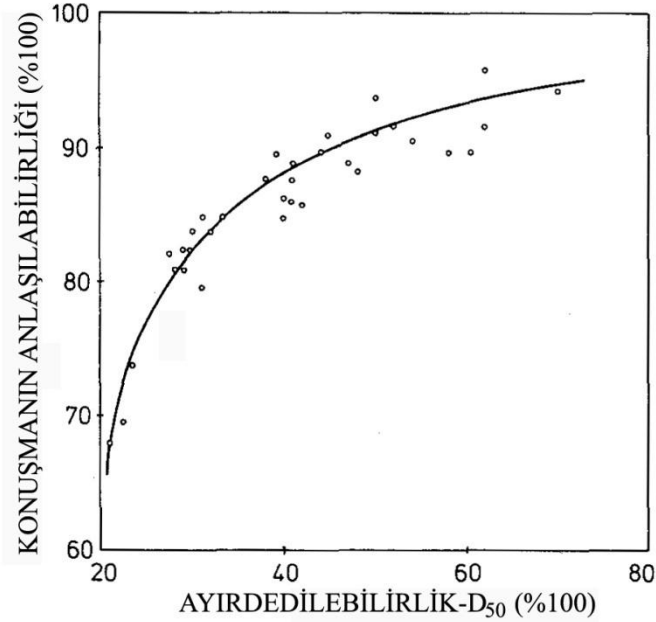
2.2.5 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D₅₀)

Konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine, erken yansımalarla ilgili olarak yapılan çalışmalar sonucunda bir takım parametreler geliştirilmiştir. Bunlardan biri Ayırdedilebilirlik (Distinctness – D₅₀) parametresidir. Erken sesin toplam sese oranı olarak tanımlanabilecek bu parametreden ilk olarak Thiele, 1953 yılında bahsetmiştir. Ayırdedilebilirlik parametresinde söz konusu erken ses, dinleyiciye dolaysız sestten sonraki ilk 50 ms'lik bölümde ulaşan ses enerjisini kapsar. D₅₀ olarak ifade edilen bu parametreyi tanımlayan matematiksel bağıntı denklem (2.11)'de görülmektedir (Barron, 1993).

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.11)$$

$p(t)$ = Dolaysız ses duyulduğu anda dinleyicinin bulunduğu noktadaki ses basıncı

Boré, 1956 yılında gerçekleştirdiği testler sonucunda Ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerleri ile konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişkiyi kurmuştur (Kuttruff, 1991). Bu ilişkiyi gösteren grafik Şekil 2.13’de görülmektedir.



Şekil 2.13 D_{50} ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Kuttruff, 1991).

Şekil 2.13’teki grafikte de görüldüğü gibi D_{50} %50 değerini aldıktan sonra konuşmanın anlaşılabilirliği %90’ın üzerine çıkmaktadır. Anlaşılabilirlik, %50’nin altında kalan D_{50} değerlerindeki değişimlere karşı hassasken bu etkileşim %50’den sonra azalmakta, %60’tan sonra ise D_{50} ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişkiyi gösteren eğri, hafif bir eğimle artış göstermektedir. Bu tez çalışmasında Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi için en uygun değerin %60’ın üzeri olduğu kabul edilmiştir.

Merkez Zamanı ve Ayırdedilebilirlik parametreleri, konuşmanın anlaşılabilirliğini belirleme bakımından birbirleriyle yakından ilişkili olduğundan hangisinin kullanılacağı tercihi tamamen isteğe bağlıdır.

Konuşmanın anlaşılabilirliğini belirlemek için geliştirilen parametrelerden biri de 1986’da Bradley tarafından önerilen ve fon gürültüsünün etkilerini de dikkate alan Yaralı Ses-Yararlı Olmayan Ses Oranı (Useful-to-Detrimental Ratio)’dır. Bu parametre hem Sinyal-Gürültü

Oranı* hem de Uyarı Yanıtı'nı (impulse response) dikkate alır. dB cinsinden değeri denklem (2.12) ile ifade edilir (Barron, 1993):

$$U_{50} = 10 \log \left[\frac{D_{50}}{1 - D_{50} + n/s} \right] \quad (2.12)$$

$n/s = \text{gürültü} - \text{sinyal oranı}$

Erken sesin 50 ms'lik bölümünü tanımlayan bu parametre Sinyal-Gürültü Oranı ve erken ses enerjisinin etkilerini içerir (Barron, 1993).

Hacmin müzikal açıdan akustik niteliğini tanımlamakta kullanılan C_{80} parametresinden yola çıkılarak oluşturulan U_{80} parametresinin de konuşmanın anlaşılabilirliğinin belirlenmesinde başarılı olduğu görülmüştür (Bradley, 1986).

2.2.6 Bas Seslerin Oranı (Bass Ratio - BR)

Sıcaklık öznel parametresini nesnel olarak belirlemekte kullanılan bu değer alçak frekansların, orta frekanslara oranı olarak açıklanabilir.

Konser salonları için tavsiye edilen BR değeri, Yansışım Süresi (T_{60}) 2,2 s'den büyük olduğu zaman 1,1-1,25 arasında iken, T_{60} 1,8 s'ye eşit veya düşük olduğu zaman 1,1 ile 1,45 arasındadır. Yansışım Süresi 1,8-2,2 s arasında değişen bir salonda tavsiye edilen, BR üst değerinin 1,25-1,45 arasında kalmasıdır. Tavsiye edilen değerlerin üzerindeki bir BR değeri müzikal kaliteyi olumsuz yönde etkileyecektir (Mehta vd., 1999; Beranek, 1996). Matematiksel olarak denklem (2.13) ile ifade edilir (Mehta vd., 1999):

$$RT = T_{60}$$

$$BR = \frac{[RT_{125} + RT_{250}]}{[RT_{500} + RT_{1000}]} \quad (2.13)$$

$$BR_{opt} = 1,1 - 1,25 \quad (T_{60} > 2,2 \text{ s})$$

$$BR_{opt} = 1,1 - 1,45 \quad (T_{60} \leq 1,8 \text{ s})$$

2.2.7 Tiz Seslerin Oranı (Treble Ratio - TR)

Parlaklık öznel parametresi ile ilişkili olan bu değer yüksek frekansların, orta frekanslara oranı olarak açıklanabilir. Denklem (2.14) ile ifade edilir (Mehta vd., 1999):

* Konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyen nesnel parametrelerden biri olan sinyal-gürültü oranı, konuşma düzeyinin, yansışım süresi ve rahatsız edici geç yansımalar gibi fon gürültüleri üzerine çıkma oranıdır (Desarnaulds vd., 2001).

$$RT = T_{60}$$

$$TR = \frac{[RT_{2000} + RT_{4000}]}{[RT_{500} + RT_{1000}]} \quad (2.14)$$

(Figueiredo ve Iazzetta, 2005)

EDT parametresi T_{60} ile yakından ilişkili olduğundan, bu parametre için belirlenmiş kabul edilebilir değer aralıkları da 2000 ve 4000 Hz'deki EDT değerlerinin EDT_{mid} 'e oranı ile belirlenebilir (Mehta vd., 1999).

$$EDT_{mid} = \frac{[EDT_{500} + EDT_{1000}]}{2} \quad (2.15)$$

Bir salonda Parlaklık öznel parametresini sağlamak amacıyla EDT_{2000}/EDT_{mid} oranı için tavsiye edilen en düşük değer 0,9 , EDT_{4000}/EDT_{mid} oranı için ise 0,8'dir (Mehta vd., 1999). Beranek, parlaklık ile ilgili değerlendirmelerde, dolu konser salonları için T_{60} değerlerini, boş konser salonları için ise EDT değerlerini kullanmıştır (Beranek, 1996).

2.2.8 Seslilik (Strength Index - G)

Seslilik, dolaysız sesle, yansımış sesin düzeylerinin toplamından oluşur. Dolaysız sesin düzeyi mekânın hacminden etkilenirken, yansımış sesin düzeyi Yansıma Süresi'ne daha doğrusu EDT'ye bağlıdır. Hacim arttıkça dinleyiciye ulaşan dolaysız sesin enerjisi azalır. Dolayısıyla G hacimle (V) ters orantılı iken EDT ile doğru orantılıdır (Mehta vd., 1999). Seslilik (G), dB cinsinden denklem (2.16) ile ifade edilir:

$$G = 10 \log \left(\frac{\int_0^\infty p^2(t) dt}{\int_0^\infty p_A^2(t) dt} \right) \quad (2.16)$$

$p(t)$ = Dolaysız ses duyulduğu anda dinleyicinin bulunduğu noktadaki ses basıncı

$p_A(t)$ = Yansımsız bir odada kaynaktan 10 m uzaklıktaki ses basıncı

$P_A(t)$ yansımsız (anechoic) bir odada kaynaktan 10 m. uzaklıktaki yanittir. Diğer bir deyişle toplam ses, kaynağa 10 m. uzaklıktaki Dolaysız Ses Düzeyi'ne bağlı olarak ölçülür. Seslilik değeri, bir konser salonunda genellikle 0 ile +10 dB arasında değişir (Barron, 1993).

Seslilik, bir mekânın merkezindeki toplam Ses Basınç Düzeyi'nin aynı kaynağın yansımsız (anechoic) bir odada 10 m. uzaklıktaki Ses Basınç Düzeyi'yle farkı olarak da tanımlanabilir. Bu nedenle basitçe denklem (2.17) ile de gösterilebilir (Mehta vd., 1999).

$$G = SPL_{hall} - SPL_{anechoic} \quad (2.17)$$

SPL_{hall} = Salonun merkezindeki Ses Basınç Düzeyi

$SPL_{anechoic}$ = Yansısız bir odada kaynaktan 10 m uzaklıktaki Ses Basınç Düzeyi

Ses Basınç Düzeyi (SPL) frekanslarla ilişkili olduğundan G de frekanslara bağlıdır ve iki hacmin sesliliği karşılaştırılırken genellikle G_{mid} kullanılır (Mehta vd., 1999).

G_{mid} , dB cinsinden denklem (2.18) ile elde edilir.

$$G_{mid} = \frac{G_{500} + G_{1000}}{2} \quad (2.18)$$

G_{500} = 500 Hz'deki Seslilik

G_{1000} = 1000 Hz'deki Seslilik

2.2.9 Erken Yanal Enerji Oranı (Lateral Energy Fraction - LF_{80})

Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80}) , bidirectional (figure-of eight) yani çift yönlü bir mikrofonun dinleyici konumuna yerleştirilip kaynağa doğru yöneltilmesi sonucunda algıladığı ses enerjisinin, aynı konumdaki bir omni-directional yani sesi her yönden algılayan bir mikrofona gelen ses enerjisine oranıdır (Barron, 1993). Bu parametre Mekânsal Algılama'nın Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) bileşeni ile ilişkilidir. Matematiksel olarak denklem (2.19) ile ifade edilir (Barron, 1999).

$$LF_{80} = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p_F^2(t) dt}{\int_0^{0.08} p_o^2(t) dt} \quad (2.19)$$

$p_F(t)$ = Bidirectional (figure-of-eight) bir mikrofona gelen ses basıncı

$p_o(t)$ = Aynı noktadaki omnidirectional bir mikrofona gelen ses basıncı

2.2.10 Geç Yanal Enerji Oranı (Late Lateral Energy Fraction - LF_{80}^∞) ve Geç Yanal Enerji Düzeyi (Late Lateral Sound Level - LG_{80}^∞)

Geç yanal yansımalar Dinleyicinin Sesle Kuşatılması öznel parametresi ile ilişkilidir (Barron, 1999). Yansımış sesle ilişkili olan LEV parametresi üzerinde sesin hacme yayılmışlığının önemi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, zaten bu parametre ile ilişkili olması beklenen LF_{80}^∞ , LF_0^∞ , $IACC_{80}^\infty$ ve $IACC_0^\infty$ parametrelerinin LEV üzerinde altı oktav bantta da etkili olduğu görülmüştür (Bradley ve Soulodre, 1995b).

Dinleyicinin sesle kuşatılması parametresi (LEV), geç yanal yansımalarla yani dolaysız sesin dinleyiciye ulaşmasından sonra en erken 80. ms’de ulaşan yansımalarla ilişkilidir (Bradley ve Soulodre, 1995a). LF_{80}^{∞} ya da LLF olarak da ifade edilen Geç Yanal Enerji Oranı’nı belirlemek için denklem (2.20) kullanılır (Barron, 1999):

$$LF_{80}^{\infty} = \frac{\int_{0.08}^{\infty} p_F^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p_o^2(t) dt} \quad (2.20)$$

$p_F(t)$ = *Bidirectional (figure-of-eight) bir mikrofona gelen ses basıncı*

$p_o(t)$ = *Aynı noktadaki omnidirectional bir mikrofona gelen ses basıncı*

Bradley ve Soulodre’nin 1994 ve 1995 yıllarında yaptıkları çalışmalar göstermiştir ki Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) erken yanal yansımaların göreceli düzeyi ile ilişkilirken, Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) geç yanal yansımaların göreceli düzeyi ile ilişkilidir. Yine Bradley ve Soulodre, 1995 yılında yaptıkları deneyler sonucunda bir hacimde Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) parametresinin, temelde iki bileşen tarafından etkilendiği kanaatine varmışlardır; düzey ve mekânsal ya da açısal dağılım. Bu yüzden LEV’i tanımlayacak nesnel bir ifadenin bu iki bileşeni de hesaba katması gerekmektedir (Bradley ve Soulodre, 1995b).

Bu nedenle Bradley ve Soulodre (1995b), hem sesin düzeyini hem de mekânsal dağılımını hesaba katarak Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) ile daha yakından bağlantı kuran nesnel bir parametre önermişlerdir. LG_{80}^{∞} veya GLL olarak da ifade edilebilen ve geç yanal enerjinin göreceli düzeyini belirleyen bu parametre matematiksel olarak denklem (2.21) ile dB cinsinden hesaplanır (Bradley ve Soulodre, 1995b).

$$LG_{80}^{\infty} = 10 \log \left\{ \int_{0.08}^{\infty} p_F^2(t) dt / \int_0^{\infty} p_A^2(t) dt \right\} \quad (2.21)$$

$p_F(t)$ = *Bidirectional (figure-of-eight) bir mikrofona gelen ses basıncı*

$p_A(t)$ = *Açık alanda, aynı kaynaktan 10 m uzaktaki bir omnidirectional mikrofona gelen ses basıncı*

LG_{80}^{∞} (Geç Yanal Enerji Düzeyi) parametresinin öznel etki üzerinde en çok etkili olduğu yararlı oktav bantlar 125, 250, 500 ve 1000 Hz’dir. Hesaplamalar, bu dört oktav banttaki değerlerin ortalaması alınarak yapılır (Barron, 1999).

2.2.11 Toplam Ses Basınç Düzeyi (Total Sound Pressure Level – SPL_t)

Kapalı bir hacimdeki toplam ses alanı, dolaysız ses ve yayınık ses alanlarından oluşur. Bu nedenle hacmin herhangi bir noktasındaki toplam ses düzeyi de o noktadaki yayınık ses düzeyi ile dolaysız ses düzeyinin toplamıdır. (2.22), (2.24), (2.25) numaralı denklemlerde Dolaysız Ses Düzeyi, Yayınık Ses Düzeyi ve bunların toplamı olan Toplam Ses Basınç Düzeyi matematiksel olarak ifade edilmiştir (Aknesil, 1997).

$$SPL_d = SWL + 10\log(Q/4\pi d^2) \quad (2.22)$$

$$SPL_d = \text{Dolaysız Ses Düzeyi (dB)}$$

$$SWL = \text{Ses gücü düzeyi (dB)}$$

$$Q = \text{Doğrultululuk çarpanı} *$$

$$d = \text{Kaynak – alıcı uzaklığı (m)}$$

$$SWL = 10 \log(W/W_o) \quad (2.23)$$

$$W = \text{Ses kaynağının gücü (W)}$$

$$W_o = \text{Referans ses gücü (10}^{-12} \text{ W)}$$

$$SPL_r = SWL + 10\log(4/A) \quad (2.24)$$

$$SPL_r = \text{Yayınık Ses Düzeyi (dB)}$$

$$SWL = \text{Ses gücü düzeyi (dB)}$$

$$A = \text{Hacmin toplam yutuculuğu (Sabine, m}^2\text{)}$$

$$SPL_t = SWL + 10 \log(Q/4\pi d^2) + (4/A) \quad (2.25)$$

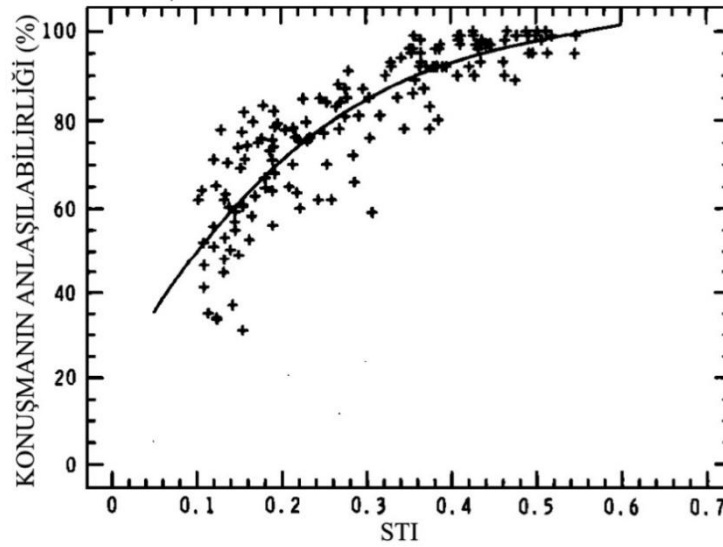
$$SPL_t = \text{Toplam Ses Basınç Düzeyi (dB)}$$

2.2.12 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)

Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI), ses iletiminin konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini belirler. Bu etkiler, kaynaktan çıkan ses sinyalinin dinleyiciye ulaşana kadar aldığı iletim yolu boyunca, enerjisindeki düşüşün analizi yöntemiyle belirlenir (Templeton, 1997). Kaynaktan çıkan ses, dinleyiciye ulaşırken ortam tarafından

* Bir ses kaynağının doğrultululuk çarpanı, o kaynağın belli uzaklık ve doğrultuda ölçülen ses enerji yoğunluğunun, her doğrultuya eşit dağılım yapan, omni dağılım özelliğindeki bir nokta kaynağın aynı uzaklıkta ölçülen ses enerji yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Her doğrultuya eşit ses enerjisi yayımlayan bir nokta (omni) kaynağın doğrultululuk çarpanı 1 olarak kabul edilmektedir (Beranek, 1990).

değişikliğe uğratılır. Sesin bir miktar bozulmasına yol açan, bu hacimdeki ses iletim mekanizması, fon gürültüsü ve yansımış sestten de etkilenir ki fon gürültüsü ortamdaki ses düzeyinin başlangıçta bile 0'ın üstünde olmasına, yansımalarsa bu sinyale, sesin gecikmiş ve muhtemelen bozulmuş bir tekrarının eklenmesine yol açar (Long, 2006). STI, fon gürültüsünün etkisi de hesaba katıldığında, Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio- S/N)* ile uyum içindedir (Barron, 1993). Ses sinyalinde meydana gelen bu değişiklikler, çeşitli frekanslarda yapılan bir analizle belirlenir. Bu analiz, konuşmanın karakterini taklit eden ses sinyalleri kullanılarak 125 Hz ile 8 kHz arasındaki 7 oktav bantta ve 0,63 Hz ile 12,5 Hz arasındaki 1/3 oktav bantların frekansları olan 14 adet Modülasyon Frekansı'nda (f_m)** gerçekleştirilir. Bu konunun sonunda daha detaylı olarak yer alan bu ölçüm yöntemi Modülasyon Aktarım Fonksiyonu (Modulation Transfer Function – MTF) olarak adlandırılır. Analizler sonucunda elde edilen Modülasyon Aktarım Fonksiyonu değerleri daha sonra Ses İletim Göstergesi'ni belirlemek için kullanılır (Templeton, 1997; Long, 2006). Daha açık ifadesiyle, MTF değerinin konuşmanın anlaşılabilirliğiyle ilişkisini Ses İletim Göstergesi kurar. Konuşmanın anlaşılabilirliği ve Ses İletim Göstergesi arasındaki bu bağlantı Şekil 2.14'te ve daha ayrıntılı olarak Şekil 2.15'te gösterilmektedir (Long, 2006).

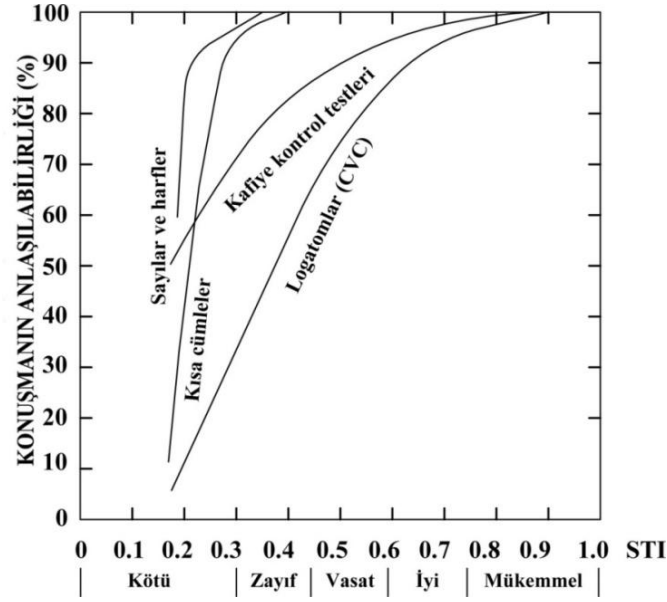


Şekil 2.14 STI değerinin konuşmanın anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gösteren grafik (Bradley, 1986).

STI parametresi, ses iletiminin mükemmel olması durumunda 1 değerini, iletilen ses sinyalinin tanınmaması durumunda ise 0 değerini alır (Templeton, 1997).

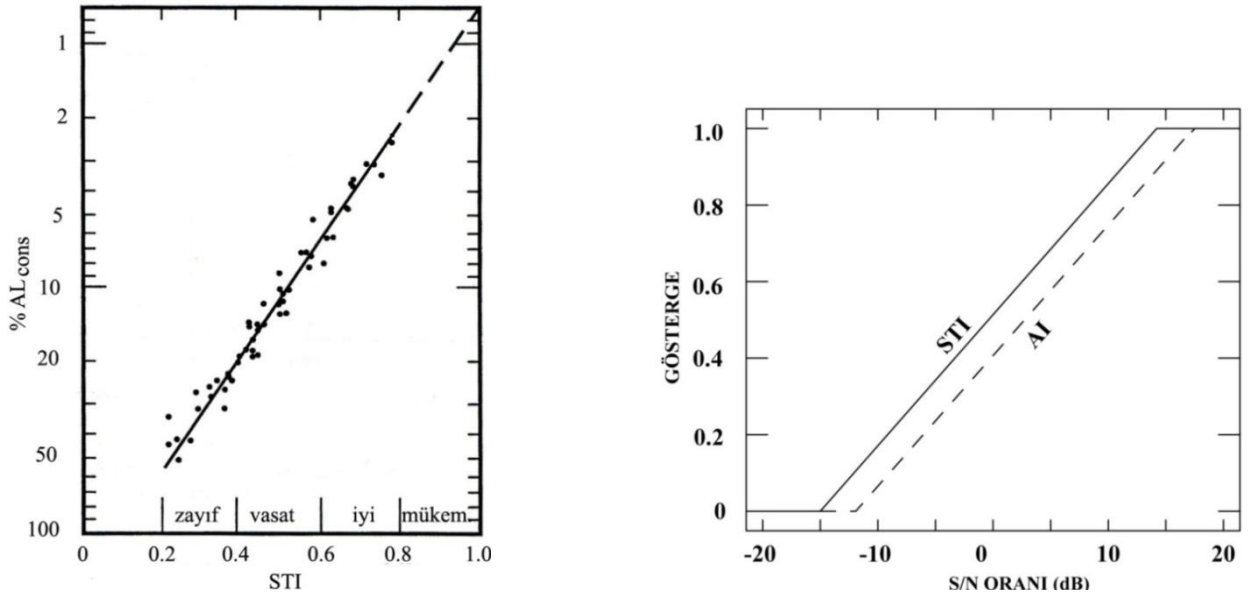
* Sinyal gürültü oranı, konuşma sinyalinin seviyesinin, fon gürültüsü üzerine çıkma oranı olarak tanımlanabilir (Desarnaulds vd., 2001).

** MTF değerini belirlemede kullanılan, 0,63 Hz ile 12,5 Hz arasındaki 1/3 oktav bant frekanslarıdır (Long, 2006).



Şekil 2.15 STI değerinin farklı birimlerle yapılan ölçümlere bağlı olarak, konuşmanın anlaşılabilirliğini nasıl etkilediğini gösteren grafik (Long, 2006).

STI, Berrak Söyleyiş Göstergesi (AI) ve Sessiz Harflerin Kayıp Oranı (AL_{CONS})* ile benzerlikler gösterir. Bu parametrenin AL_{CONS} ve AI ile ilişkisi Şekil 2.16'da gösterilmiştir (Long, 2006).



Şekil 2.16 Solda AL_{CONS} değerleri ile STI arasındaki ilişki gösterilmektedir. Sağda ise STI ve AI arasındaki ilişkiyi gösteren grafik görülmektedir (Long, 2006).

* Türkçe'ye Sessiz Harflerdeki Temiz ve Berrak İfadede Meydana Gelen Kayıp olarak çevrilebilen bu oran % ile ifade edilir. Yanlış anlaşılan sessiz harflerin oranını belirler. V. Peutz'un çalışmaları sessiz harflerdeki kaybın ölçülmesinin, sesli harfler üzerinde gerçekleştirilecek benzer bir testten daha güvenilir olduğunu göstermiştir (Marshall, 2006).

Şekil 2.16’da soldaki grafikte de görüldüğü gibi STI arttıkça konuşmanın anlaşılabilirliği artmakta ve yanlış anlaşılan sessiz harflerin oranı azalmaktadır.

Aşağıda STI parametresinin daha iyi anlaşılabilmesi için Modülasyon Aktarım Fonksiyonu (Modulation Transfer Function – MTF) olarak adlandırılan ölçüm sistemi ve Berrak Söyleyiş Göstergesi (Articulation Index – AI) açıklanmıştır:

Berrak Söyleyiş Göstergesi (Articulation Index – AI):

Bell Laboratories tarafından 1920’lerin sonları ve 1930’ların başlarında geliştirilen bu indeks, konuşmanın anlaşılabilirliğini değerlendirmede kullanılan detaylı bir yöntemdir. Bu indeksi belirlemek için dinleyicilere bir sessiz-bir sesli-bir sessiz harften (consonant-vowel-consonant – CVC) oluşan anlamsız bir hece veya logatomlar gibi bir seri ses birimi, genellikle taşıyıcı cümle (carrier sentence) olarak adlandırılan bir ana cümleye yerleştirilerek, dinletilir ve anlaşılabilen hecelerin yüzdesi ölçülür (Long, 2006).

Modülasyon Aktarım Fonksiyonu (Modulation Transfer Function – MTF):

Konuşmanın anlaşılabilirliğini ölçmek için genellikle dinleyicilere çeşitli kelime listeleri dinletilerek yapılan testler kullanılır. Bu yöntem konuşmanın anlaşılabilirliği için kullanılan yöntemlerin temelini oluştursa da tercih edilen anlaşılabilirliği ölçebilen elektronik bir yöntem kullanılmasıdır. İnsan konuşması karmaşıktır ve sinüs eğrileri ile tam olarak tanımlanamaz. Hollandalı iki bilim adamı, Hutgast ve Steeneken 1973’de Modülasyon Aktarım Fonksiyonu (MTF) olarak adlandırılan ve insan konuşmasının birçok özelliğini taklit eden bir ölçüm sistemi geliştirdiler. MTF, konuşmanın ayarlanmış gürültü bantlarından oluştuğu fikrine dayanmaktadır; ses tellerimiz bir gürültü bandı üretmek üzere titreşir, ağzımız ise kelimeyi biçimlendirmek için çeşitli frekansları ayarlar. Uygun bir ölçüm gerçekleştirmek için test sinyalinin düzeyi bir konuşmacının ortalama ses düzeyine getirilmeli ve kaynak ağzın olduğu konuma yerleştirilmelidir (Long, 2006).

Bir kaynaktan çıkan ses sinyali dinleyicilere ulaşana kadar hacim tarafından biçimlendirilir ve değişikliğe uğrar (Long, 2006). Modülasyon Aktarım Fonksiyonu’nu belirlemek için bu ses sinyalindeki değişiklikler bir dizi frekansta ölçülür ve elde edilen MTF değerleri daha sonra Ses İletim Göstergesi (STI)’ni belirlemek için kullanılır (Barron, 1993).

3. SANTA ANNA ŞAPELİ TARİHİ VE RESTORASYON ÖNCESİ DURUMU

Çalışmanın bu bölümünde Santa Anna Şapeli'nin tarihi ve ilk inşasından bu yana geçirdiği değişimler anlatılmıştır. 14. yy'da inşa edilmiş olan Santa Anna Şapeli, zaman içinde geçirdiği tamiratlar ve farklı dönemlerde inşa edilmiş çeşitli eklemeler sonucunda birçok değişikliğe uğramıştır. Şapele yapılmış olan bütün bu müdahalelerle ilgili bilgiye, restorasyon grubuna liderlik etmiş olan Miguel del Rey Aynat'ın Restauración y Rehabilitación dergisinde yazmış olduğu makaleden ve restorasyon projesinden yararlanılarak ulaşılmıştır.

3.1 Şapelin Restorasyon Öncesi Durumu

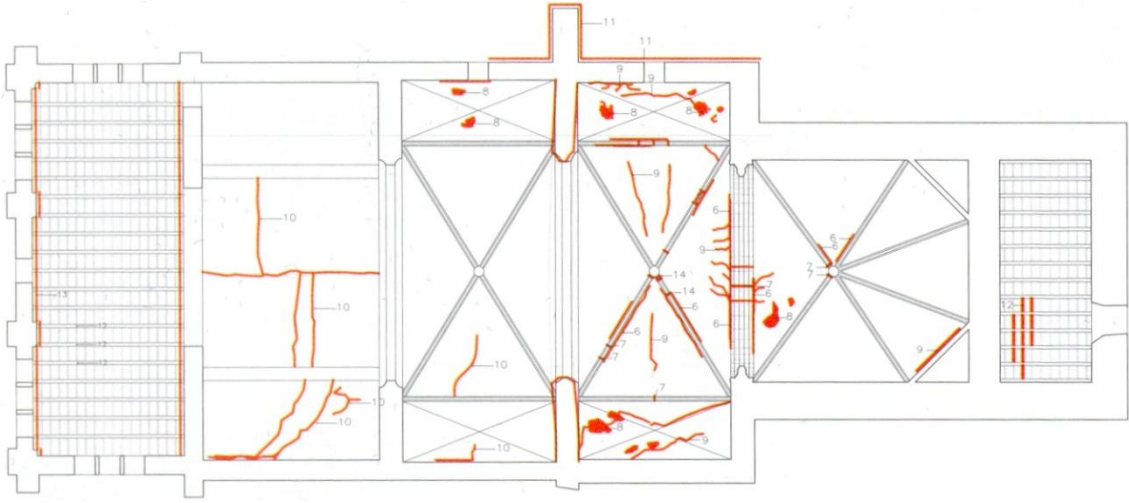
Huerta de Valencia ya da Valensiyaca olarak L'Horta de València, İspanya'da Valensiya Özerk Bölgesi sınırları içinde bulunan tarihî bir bölgedir. Santa Anna Şapeli'nin bulunduğu kasaba olan Albal da Huerta de Valencia bölgesinde bulunmaktadır. Bir kır Şapeli olan Santa Anna Şapeli'nin tarihî kayıtları 14. yy'a kadar uzanmaktadır ve ilk çizimine Asencio Duarte'nin 1595 tarihli planında rastlanır. Bu plandan yaklaşık bir asır sonra, 1690 yılında yapılmış Cassaus kopyasında şapel Huerta de Valencia bölgesinin güney sınırında bu sınırı belirleyici bir unsur olarak gözümüze çarpmaktadır. Santa Anna Şapeli'nin Şekil 3.1'de görülen tarihî haritaya işlenmiş olan yeri, daire içine alınarak gösterilmiştir.



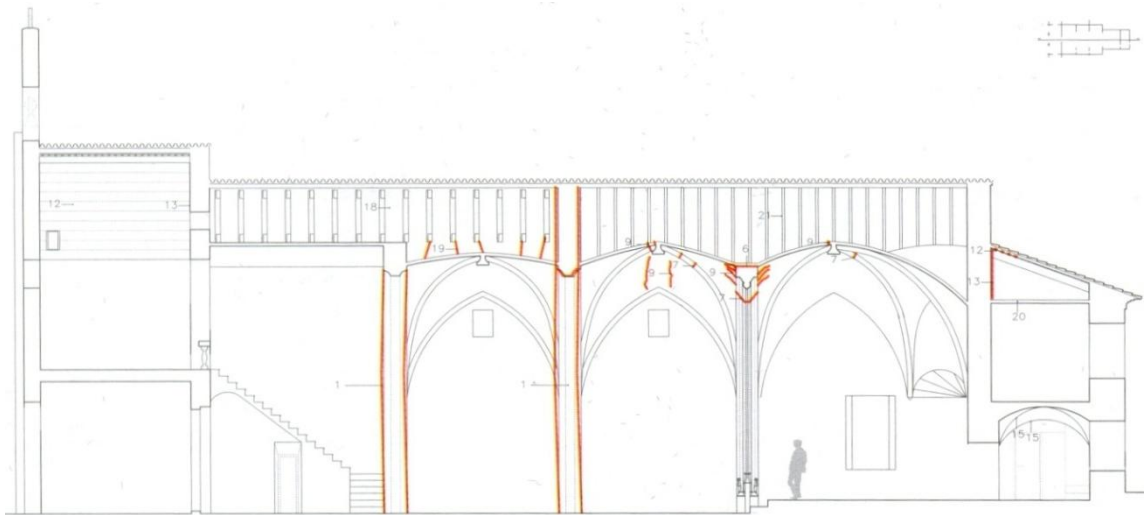
Şekil 3.1 Santa Anna Şapeli'nin Huerta de Valencia bölgesinin güneyinde görüldüğü 1690 tarihli harita (Aynat, 2007).

Santa Anna'ya adanmış olan şapel, ayinsel olarak Meryem Ana kültü içinde sayılmaktadır ve de doğurganlık ve bereket kültü ile yakından ilgilidir. Bu yüzden Albal'ın Santa Anna Şapeli gibi şapellerde sıklıkla evlilik törenlerinin gerçekleştirildiği görülür (Aynat, 2007).

Şapelin inşa edildiği dönemde, o bölgedeki yapıların karakteristik özelliği olan, 14. yy kerpiç duvarlarının şapelin güney yanını oluşturduğunu görürüz. Şapel aynı zamanda bu dönemin yapılarında sıklıkla görülen özelliklerinden biri olan diyafram kemerlerine (diaphragm arches)* de sahiptir. Şapelin restorasyonundan önce gerçekleştirilen çözümleme çalışmaları sonucunda yapılan çizimler Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te görülmektedir.



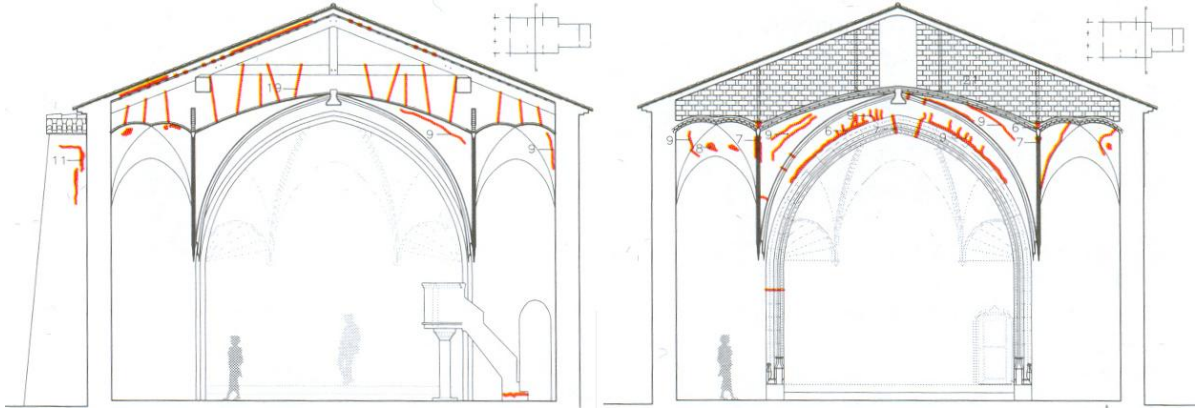
Şekil 3.2 Şapelin restorasyon öncesi durumunun gösterildiği ve hasarlı bölümlerinin işaretlendiği bir plan çizimi (Aynat, 2007).



Şekil 3.3 Şapelin restorasyon öncesi durumunun gösterildiği ve hasarlı bölümlerinin işaretlendiği bir kesit çizimi (Aynat, 2007).

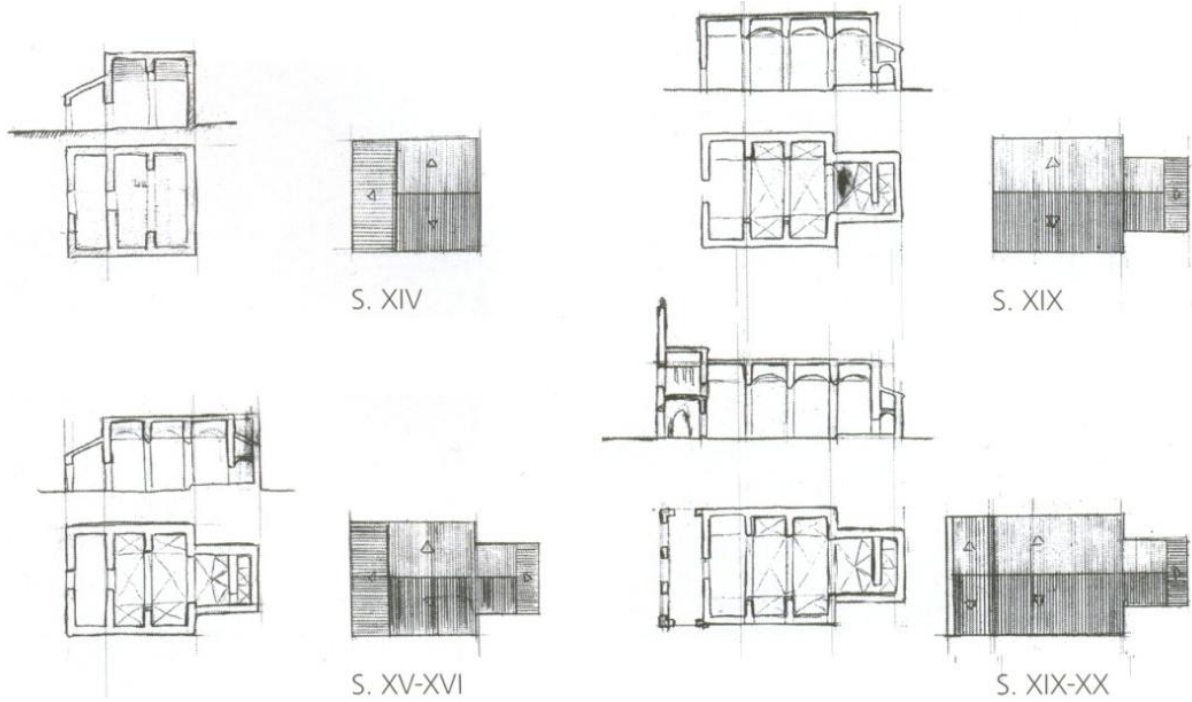
* Diyafram kemei, yatay duvar yükünü alan ve tonoz ya da çatıyı bölgelere ayırarak yangın duvarı işlevi de gören kemerleri tanımlamak için kullanılan bir terimdir (http://en.wikipedia.org/wiki/Diaphragm_arches).

Şekil 3.3'teki kesitin de Şekil 3.4'teki kesitlerin de sağ üst köşelerinde bulunan küçük krokilerde kesit yerleri işaretlenmiştir.



Şekil 3.4 Şapelin apsis ve nef bölümlerinin restorasyon öncesi durumlarının kesit gösterimi. Hasarlı bölgeler çizim üzerinde işaretlenmiştir (Aynat, 2007).

Santa Anna Şapeli inşa edildiği günden bu yana sürekli bir değişim geçirmiştir. Şapelin, taşıyıcı duvarlarını da kapsayan tüm taşıyıcı sistemi, türlü değişikliklere uğramış, dış görünüşü ve ölçüleri de sürekli bir değişim geçirmiştir. Bu dış görünüşteki değişikliklerin en büyüğü, 20. yy'da gerçekleştirilmiş olup şapele narteks ve yeni bir cephe eklenmesiyle şapeli daha çağdaş bir görünüme kavuşturmuştur. Şapelin inşa edildiği tarihten itibaren geçirdiği değişimleri dönemsel olarak gösteren kroki Şekil 3.5'te görülmektedir:



Şekil 3.5 Şapele, 14. yy'da gerçekleştirilen inşaatından itibaren, yapılmış olan ekleri gösteren bir eskiz (Aynat, 2007).

Şekil 3.5'teki eskiz sırasıyla, apsis ve sakristi* bölümlerinin 15. yy ile 16. yy arasında eklendiğini, nefin 19. yy'da büyütüldüğünü ve yine 19. yy ile 20. yy arasında mevcut cephenin ve narteksin eklendiğini göstermektedir.

3.2 Santa Anna Şapeli Restorasyon Süreci

Şapelin restorasyon projesi, Valensiya Politeknik Üniversitesi'ne bağlı, Kültürel Mirasın Restorasyonu Enstitüsü (PAISAR) tarafından gerçekleştirilmiştir. Restorasyon sürecinde gerçekleştirilmesi istenen hedef öncelikle Santa Anna Şapeli'nin doğru olarak tanımlanması ve çözümlenmesi ve de yapıyı tamamlayan ya da tarihî duvarlarını oluşturan, nispeten yakın tarihli bileşenlerinin belirlenmesidir. Böylece yapının inşa edildiği tarihten bu yana geçen süre boyunca geçirdiği değişimler en doğru ve net biçimde anlaşılacak yapı ve bileşenleri için en uygun proje ve tamamlayıcı bir restorasyon stratejisi sunulmuştur. Yapının tarihî duvarları ve onları destekleyen taşıyıcı sistemi, yapıyı önemli ölçüde tanımlayan malzemeleri ve yapıyı tamamlayarak önemli bir parçası haline gelmiş olan ikonaları, restorasyon sürecini oldukça etkilemiştir.



Şekil 3.6 Fotoğraflarda Santa Anna Şapeli yan nişlerinde bulunan ikonaların restorasyon sonrası durumu görülmektedir.

Şapelin restorasyon öncesi mevcut durumu çizilerek duvarların ve taşıyıcı sistemin durumu ve yapının bileşenlerinde zaman içinde meydana gelmiş olan işlevsel ve yapısal mimari

* Kiliselerde, ayin giysilerinin, birtakım kutsal eşyanın ve cemaat ile ilgili kayıtların saklandığı oda (<http://en.wikipedia.org/wiki/Sacristy>).

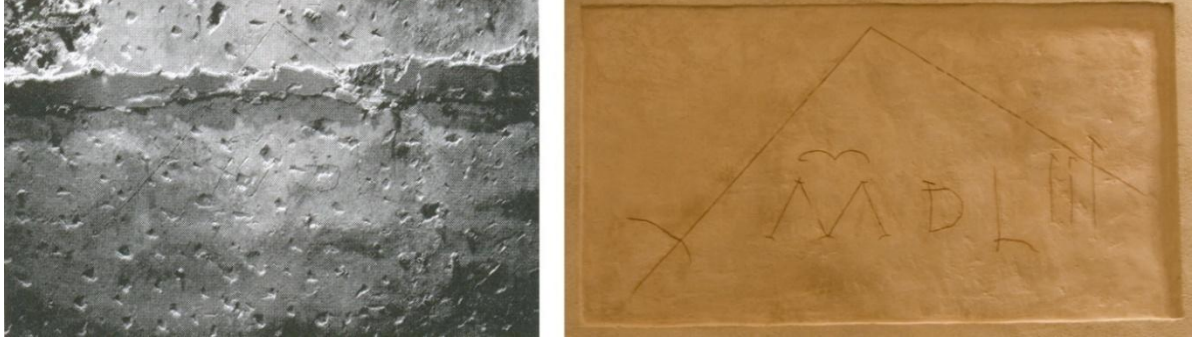
değişiklikler belirlenmiştir. Yapının bileşenlerinde yapılmış olan biçimsel değişiklikler de çözümlenerek mevcut mimarisi değerlendirilmiş ve zamanın yapı üzerinde bıraktığı izleri silecek ve de şapele eski ihtişamını kazandıracak bir proje önerilmiştir. İnşa aşamasında yapının bileşenleri için katman bilgisi analizleri yani bileşenlerin hangi malzemelerden ve, eğer böyle bir durum söz konusuysa, hangi dönemlere ait katmanlardan meydana geldiğinin analizi de yapılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalar, yapının tarihî gelişim sürecine ışık tutmuştur. Bu çalışmalar sonucunda şapelin 14. yy'dan bugüne kadar kalan bölümlerinin, güney cephesi duvarları ve apsis bölümünden başlayan ikinci duvarın taş blokları olduğu anlaşılmıştır. Yine kerpiç bloklardan oluşan diğer bir duvar, 15. ve 16. yy'lar arasında apsis bölümünün arkasına inşa edilmiştir. Üçüncü bir duvar tipi de apsisi çevreleyen, kireç bakımından zengin bir çimento harcı ile yapıştırılmış olan taş duvardır. Bu duvarın köşelerine ve şapelin batı cephesine beceriyle uygulanmış kesme taş işçiliği, bu bölümlerin inşasının şapelin daha zengin bir döneminde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Dördüncü tarihî dönemde inşa edilen duvarlar ise tuğla hatıllı ve nispeten daha yakın zamana ait taş duvarlardır. Bu duvarlar, 18. yy'ın sonları ile 19. yy'ın başları arasında yapının kuzey ve doğu yönündeki cephelerini oluşturmak üzere inşa edilmiştir. Bu dönemde inşa edilen ve bugün narteksin arkasında kalmış olan cephe 20. yy'ın başlarına kadar yapının ön yüzünü oluşturmuştur. Yapıya ait bütün bu duvarlar tamir edilmiş ve içeriden ve dışarıdan çimento ve kireç karışımı bir sıva ile düzeltilerek boyanmıştır.



Şekil 3.7 Apsis bölümünün solda restorasyon öncesi, sağda ise restorasyon sonrası görünümü.

Şapelde kesme taş duvarlar ve bu duvarların köşeleri temizlenerek gerekli görülen bölümleri tamir edilmiştir. Sıvaların birçoğu içinse hafif ve yüzeysel bir temizlik yeterli olmuştur. Son olarak duvara kazınmış yazılar ortaya çıkarılarak tarihî değerleri vurgulanmıştır.



Şekil 3.8 Solda şapelin giriş kapısının yanında bulunan graffitonun* restorasyon öncesi durumu, sağda ise aynı graffitonun restorasyon sonrası fotoğrafı görülmektedir.

Şekil 3.8’de görülen duvara şapelin genişletildiği tarih olan 1553 Roma rakamlarıyla işlenmiştir (Bkz. Şekil 3.5).

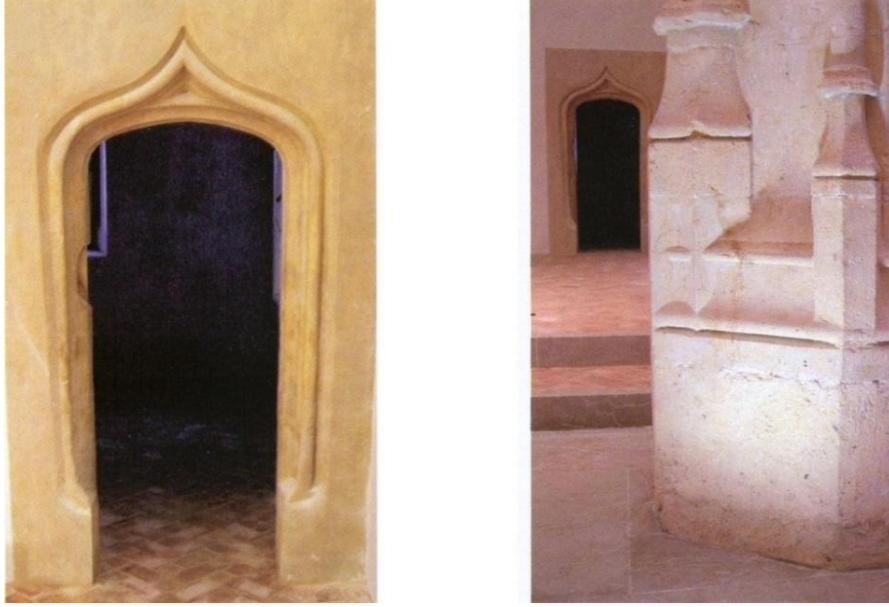
20. yy’da inşa edilen ve narteksi de biçimlendirerek şapele çağdaş bir görünüm vermiş olan cephe restorasyon sürecinde de korunmuştur. Şekil 3.9’da bu cephenin bir fotoğrafı görülmektedir:



Şekil 3.9 20. yy’da inşa edilmiş olan mevcut cepheye ait bir fotoğraf.

* Eskiden yapıların duvarlarına yapılan kazıma şekil. Graffito terimi daha sonra duvara kazılı bütün yazıları kapsamıştır (Hasol, 1998).

Şapelin içinde bulunan ve geç Orta Çağ ve Rönesans'tan kalmış olan ve yaklaşık olarak 15. yy'da veya 16. yy.'ın başlarında döşendiği tahmin edilen taş yer döşemeleri restore edilmiştir. Bu restorasyon sırasında, şapelin apsis bölümünde bulunan sütunlarda ve de apsis ile sakristiyi birbirine bağlayan kapının silmesinde bulunan oyma taş işçiliğini ortaya çıkarmak amacıyla döşeme seviyeleri asıl kotlarına indirilmiştir.



Şekil 3.10 Solda apsisten sakristiye açılan kapının silmesi, sağda ise apsis bölümünü neften ayıran sütunlardan birinin altlığı görülüyor (Aynat, 2007).

Daha önce yapılmış olan müdahalelerin, apsis'e ait bazı döşeme karolarının hasara uğrayıp çıkarılmasına neden olduğu görülmüştür. Sakristinin üst katında, bir bölümü yere döşenmiş bir bölümü ise depolanmış olarak, 19. yy'dan kalma döşeme karoları bulunmuş ve yan nişlerin bir kısmının yer döşemelerinde bu döşeme karoları kullanılmıştır.



Şekil 3.11 19. yy'dan kalma yer döşemelerinin, restorasyon sonrası görünümü.



Şekil 3.12 15. yy ile 16. yy arasında döşenmiş olan yer karolarının bir fotoğrafı.

Tonozların restorasyonu sırasında şapelde meydana gelen değişikliklerle şapelin, inşasından bu yana mimari dönüşümü, kullanılan inşa teknikleri ve bundan önce gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları da incelenmiştir. Şapelin geçirdiği değişimleri dönemsel olarak gösteren kroki (Şekil 3.5) bölüm 3.1’de görülmektedir.

Diyafram kemerleri üzerine inşa edilmiş olan asıl çatıda, sadece ikinci kemer duvarının eski ve kafa karıştırıcı kalıntıları görülmüştür. Söz konusu kemer duvarı, kemerlerle aynı yüksekliğe kadar örülmüş olan kerpiç duvarlarla aynı döneme aittir. Tarihleri, şapelin geçirdiği ikinci değişime rastlayan tonozlar da duvarlarla aynı dönemde yani 15. yy ile 16. yy arasında inşa edilmiştir. Çatı incelenirken apsis ve nefin üzerini örten bu tonozların karmaşık bir kaburga sistemiyle inşa edildiği görülmüştür. Bu tonozlar aynı zamanda nefin iki yanında bulunan ve kesme kireç taşından, yivli duvarayaklarını* ve onların ustalıkla örülmüş altlıklarını da tanımlar. Gövdesi kumtaşından olan bu duvarayakları ve Mozarabik** bir geleneğin devamı olan kaburgalar kesme taşı taklit eden alçı işçiliğiyle çözülmeye çalışılmıştır. Tonozların bitiş köşeleri de, çift sıra yassı tuğla ile örülmüştür.

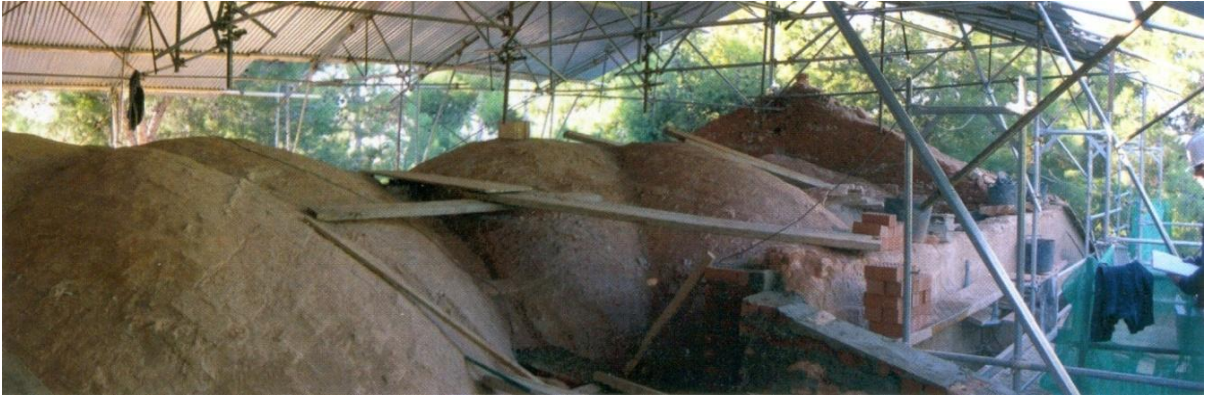
Tonoz ve kaburgalardan oluşan bu çatı örtüsünün bileşenleri, önce çatlakları ve hasar görmüş bölümleri tamir edildikten sonra, birbirine bağlanmıştır. Bu işlem için çelik hasırdan ve hafif betondan yapılmış, ağır olmayan taşıyıcı bir kaburga sistemi, mevcut kaburga sistemi boyunca tonozların üzerine oturtulmuştur. Bu yeni kaburga sistemini mevcut tonoz sistemi ile

* Kimi eski yapılarda süs olarak yapılan, duvara yapışık, üzerinde yukarıdan aşağıya yivler bulunan yarım ayak (Hasol, 1998).

** Mozarapça, İber dillerinin gelişim sürecinde Müslümanlar tarafından İber Yarımadası’nda hakim olarak konuşulan Roman lehçelerinden oluşmuş bir lehçe kontinuumdur. Kontinuum, belirli bir coğrafi bölgede etkin olan ve birbirine yakın bölgeler arasında küçük farklar gösteren lehçe çeşitliliğidir. Mozarapça ise Arapça’nın da etkilerini taşıyan bir kontinuumdur (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Mozarapça>). Mozarabik, bu kültüre ait anlamında kullanılmıştır.

Şekil 3.14'te görülen fotoğraflardan en soldakinde bir kemer kaburgasının restorasyon öncesi durumunu gösteren bir detay, ortada apsis bölümünü de sınırlayan duvarayaklarının üstten bir görünüşü, en sağda ise tonoz kaburgalarının ve kilit taşının restorasyon öncesi durumu görülmektedir.

Çatı örtüsü ile ilgili olarak şapelin iki önemli sorunu çözülmeye çalışılmıştır; şapele ait süslemelerin korunması ve inşa edilmiş taş duvarların kalitesi. Bunu başarmak için oldukça zayıf olan duvarlar yatay bir hatta donatılı betondan bir kenetle birbirine bağlanarak sağlamlaştırılmıştır. Yapılan bu kenet Şekil 3.13'teki eskizde de görülmektedir. Şapelin ikinci kemerinde önemli bir denge sorunu bulunuyordu; kemer yaklaşık 22 cm'lik bir eğime sahipti. Bu sorunu çözmek için destekler inşa edilmiş ve de kemerin üst bölümüne bir çekme çubuğu yapılmıştır.



Şekil 3.15 Tonozların restorasyon sürecinde bir fotoğrafı. Fotoğrafta tonozları korumak amacıyla inşa edilmiş olan geçici çatı örtüsü de görülmekte (Aynat, 2007).

Nefin ikinci tonoz çatı örtüsü, oldukça tutarsız ve diğerinden oldukça farklı bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Saz demetlerinin örülmesiyle elde edilmiş olan ve alçıyı desteklemekte kullanılan bir çerçeve ve alçı ile yapılmış olan tonozun kaburga sistemi de alçı işçiliği ile tamamlamıştır. Bu tonoz, nispeten daha yakın bir tarihte, 19. yy'ın başlarında inşa edilmiştir. Tonozun taşıyıcı sistemini güçlendirmek için de farklı bir yöntem uygulanmıştır; cam lifinden bir ızgara sistemi alçı ile beraber kullanılarak oluşturulan yeni taşıyıcı, yapıştırıcı kullanılarak tonozla bağlanmıştır.

Nefin üçüncü bölümünün çatısında ise farklı bir çözümle karşılaşıldı; kemerleri de destekleyen, iki büyük kiriş üzerine oturtulmuş mertekler ve kuşaklardan oluşan ahşap bir sistemle yapılmış beşik çatı. Bir tonoz sisteminin üstünü örtmeyen ve yapının tarihî değerine katkısı olmayan bu çatının çürümüş ahşap sistemi, büyük kirişler de dahil olmak üzere

kaldırılarak nefin bu bölümü aşık ve merteklerden oluşan yeni bir sistemle örtülmüştür. Bu ahşap sistem, altına herhangi bir kaplama yapılmayarak açıkta bırakılmıştır (Bkz. Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Solda nefin beşik çatısının restorasyon öncesindeki durumu, sağda ise aynı çatının restorasyondan sonraki durumu görülmektedir.

Dış cephelerin korniş ve saçakları aslına uygun olarak restore edildi. Duvarlar sıvanarak kireç ve çimento karışımı renkli bir sıva ile sıvandı. Cephedeki boşluklar, yapının kompakt cephesini bozmayacak fakat ışığın girişine de izin verecek şekilde yeniden düzenlendi. Bu işlem sırasında 20. yy'ın ilk yarısından bu yana şapeli tarifleyen neogotik kemerler temizlenerek olduğu gibi bırakıldı. Batı cephesinin köşelerinde yapılmış olan taş işçiliği temizlenerek belirgin hale getirildi. Cephelerde taş ustalarından kalma izler ve çizimler ortaya çıkarıldı.



Şekil 3.17 Şapelin bahçesini ve araziye yerleşimini gösteren bir kesiti (Aynat, 2007).

Ancak apsis bölümünde altarın varlığı nedeniyle ve bu bölüm aynı zamanda rahibin konuşması için de kullanılacağından, bu bölüme müdahale edilememiştir.

Koro bölümünde ise yaylılara eşlik edecek olan ve 5 ile 10 kişi arasında olması planlanan koro için bu bölümün düzenlenmesi ve sesin dar sayılabilecek bir açıklıktan nefte bulunan dinleyicilere yöneltilmesi en önemli akustik problem olarak ortaya çıkmıştır. 50 m²'lik bir kapalı alan olan koro bölümünden ses enerjisinin dışarı yöneltilebileceği açıklık sadece 11,6 m²'dir. Bu açıklık, Şekil 3.20'de de görülmektedir.



Şekil 3.20 Apsis bölümünden nefes ve koro bölümüne doğru bir bakış.

Çözüm önerilerinden biri bu bölümün ön tarafına koronun yerleşeceği bir balkon inşa etmek olmuştur fakat hem estetik hem de taşıyıcı sistemle ilgili kaygılar nedeni ile bu fikirden vazgeçilmiştir. Bu bölüme, uygun açılarda yansıtıcı paneller yerleştirilerek ses enerjisinin büyük bir bölümünü dinleyiciye yöneltme fikri benimsenmiştir.

Uygulanması planlanan ilk akustik projede, Yansıma Süresi'ni düşürmek ve olası bir yankıdan kaçınmak amacıyla dinleyici bölümünün arkasında kalan duvara yani giriş kapısının yanlarına, seyyar yutucu paneller yerleştirilmesi düşünülmüştür. Ancak restorasyonu gerçekleştiren mimari ekip, söz konusu duvarda önemli bir graffitonun varlığının keşfedilmesinin yanı sıra estetik kaygılar nedeniyle de bu yutucu panelleri restorasyon sürecinde yerleştirmemiştir. Akustik projede yapılan bu değişiklik ancak restorasyon sürecinin sonunda gözlemlenmiştir. Diğer yandan restorasyon ekibi, yansıtıcı panelleri bir takım değişiklikler yaparak korumuştur.

Bu tez çalışmasının amacı, Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanan Santa Anna Şapeli'nin akustik koşullarında, yapının tarihî ve mimari niteliklerini de bozmamaya özen göstererek önerilmiş olan daha önceki akustik çalışmaları incelemek ve şapelin restorasyon sonrası akustik koşullarını değerlendirmektir. Bu çalışmada ayrıca, gerçekleştirilen ölçümler ve simulasyonlar yardımıyla, koro bölümünde bulunan yansıtıcı panellerin yeni durumunun akustik koşullara etkisi de incelenmiştir.

4. RESTORASYON SÜRECİNDEN ÖNCE GERÇEKLEŞTİRİLEN AKUSTİK PROJE ÖNERİLERİ

Restorasyon sürecinin tamamlanmasından önce şapelle ilgili olarak ilki 1995'te olmak üzere iki akustik çalışma gerçekleştirilmiştir. 1995'te Valensiya Politeknik Üniversitesi'nin Mimarî ve Çevre Akustiği Grubu (ACARMA) tarafından gerçekleştirilen ilk çalışma, Santa Anna Şapeli'nin restorasyon öncesi akustik koşullarını belirleyerek akustik iyileştirme için yapılacaklarla ilgili olarak bir fikir geliştirme amacına yönelik bir ön çalışma niteliğindedir.

Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanan Santa Anna Şapeli'nin akustik koşullarında, yapının tarihî değerinden bir şey kaybetmesine de neden olmayacak önerilerle, iyileştirmeler yapmak amacına yönelik olarak yine ACARMA tarafından gerçekleştirilen ve uygulanması planlanmış olan ikinci çalışma ise 2004 tarihli çalışmadır. Çoğunlukla barok müzik konserlerinin gerçekleştirilmesi planlanan şapelde 1995 ve 2004 tarihli iki akustik ölçümde de biri koroda biri de apsiste olmak üzere iki farklı kaynak tanımlanmıştır. Bunun nedeni apsis bölümünde yaylı sazlar orkestrası çalarken, koro bölümünden 5 ila 10 kişilik bir koronun yaylı sazlara eşlik edecek olmasıdır. Dolayısıyla hem apsis bölümündeki hem koro bölümündeki kaynaklardan çıkacak sesin, dinleyiciler tarafından nasıl duyulacağı önemlidir. Her iki ölçümde de 12 yüzlü (Dodecahedron) bir hoparlör olan kaynaktan 100 dB'lik bir pembe gürültü hacme gönderilmiş alıcı olarak da omnidirectional bir mikrofon kullanılmıştır.

Şapelde yansıtıcı yüzey malzemelerinin kullanılması ve hemen hemen hiç yutucu malzeme bulunmaması, 1995 yılında yapılan ölçümlerde de görüldüğü üzere, yansıma süresinin yüksek olmasına neden olmuştur. Ayrıca apsis bölümünde, muhtemelen, ses kaynağının bulunacağı orta nokta ile şapelin giriş kapısının bulunduğu duvar olan, nefin arka duvarı arasındaki yaklaşık 18,5 m'lik uzaklık farkı da olası bir yankı riski yaratmaktadır. Bu nedenle 2004 tarihli çalışmada yer alan akustik iyileştirme önerisinde hem şapeldeki yansıma süresinin düşürülmesi hem de olası yankı sorununun ortadan kaldırılması amacıyla, bu duvarın önüne seyyar yutucu paneller konulması yoluna gidilmiştir. Aynı çalışmada koro bölümünde de yansıtıcı paneller aracılığıyla bu bölümdeki ses, dinleyiciye en iyi şekilde yönlitmeye çalışılmıştır. Apsis bölümde altarın varlığı ve bu bölümün aynı zamanda rahibin konuşması için de kullanılacak olması nedeniyle bu bölüme müdahale edilememiştir.

4.1 1995'te Gerçekleştirilen İlk Akustik Çalışma

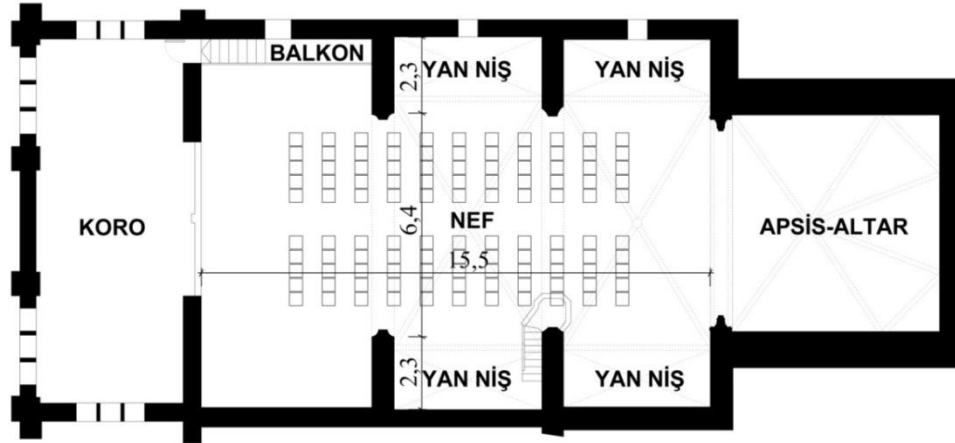
Bu ön çalışmanın öncelikli amacı, Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanan Santa Anna

Şapeli'nin restorasyon öncesi akustik koşulları hakkında bilgi edinmektir. Ölçümler, 12 yüzlü (Dodecahedron) bir hoparlör olan kaynaktan 100 dB'lik bir pembe gürültü hacme gönderilerek gerçekleştirilmiştir. Alıcı olarak kullanılan mikrofon, sesi omnidirectional yani her yöne eşit hassasiyette bir doğrultululukla almaktadır.

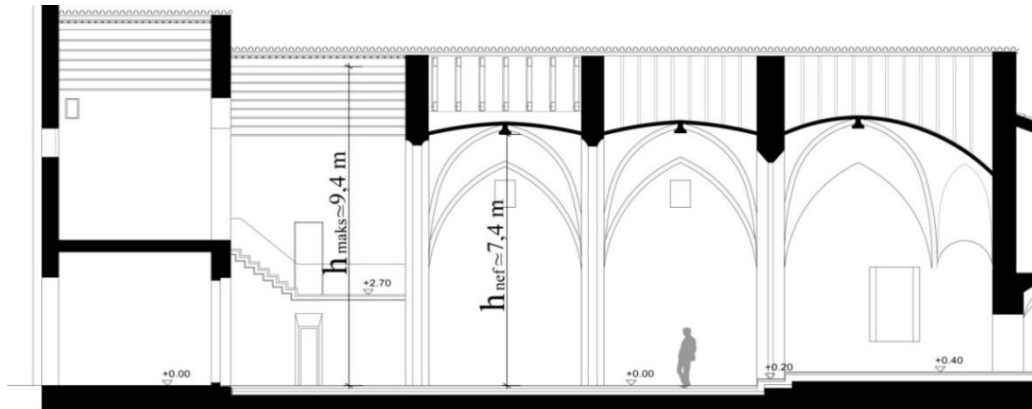
Çalışmada, şapelin geometrik özelliklerinin incelenmesinin yanı sıra yapının henüz restore edilmemiş mevcut durumunda ölçümler de yapılmış ve akustik koşullarda iyileştirme yapmak amaçlı, detaylı olmayan bir öneride bulunulmuştur. Şapelin restore edilmemiş hâlini gösteren iç mekân fotoğrafları Bölüm 3.2'de görülebilir (Bkz. Şekil 3.7 ve Şekil 3.16).

Şapelin Geometrik Özellikleri:

Akustik iyileştirme amaçlı müdahale yapılmadan önce hacmi yaklaşık 1680 m³ olan şapelde dinleyicilerin ahşap sıralarda oturacağı alan dikdörtgen biçimlidir. Şapel restore edilmeden önce 1995'de yapılan ölçümlere göre ise şapelin boyutları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki plan ve kesitte işlendiği gibidir:



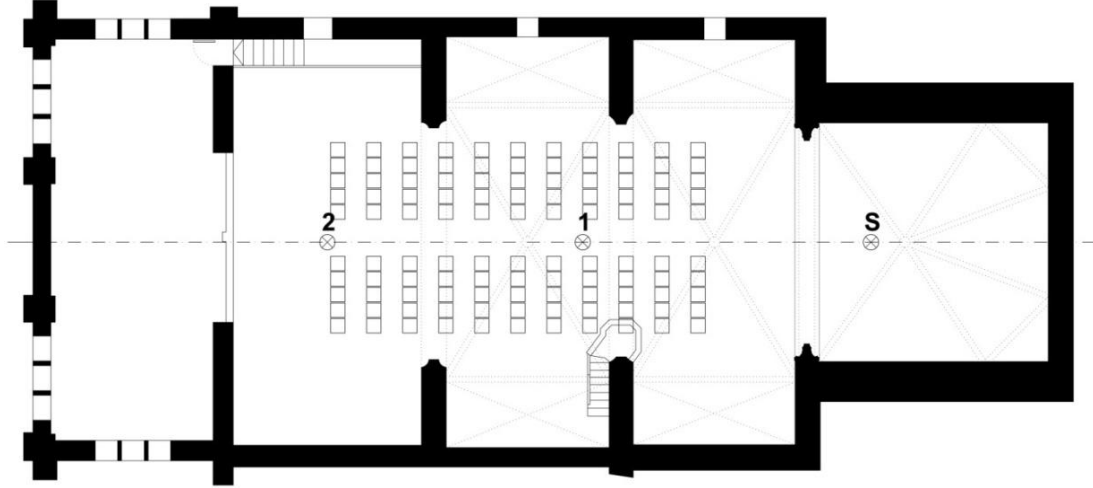
Şekil 4.1 Şapelin ölçülerinin gösterildiği krokisi.



Şekil 4.2 Kesitte şapelin yaklaşık yükseklik ölçüleri gösterilmektedir.

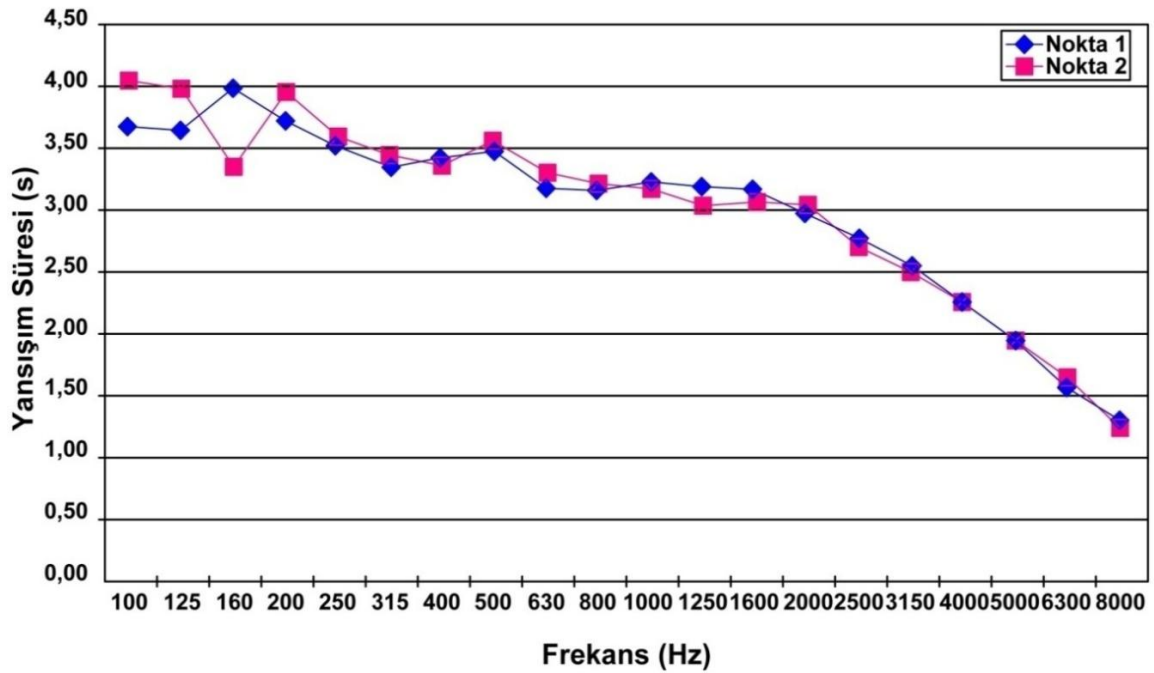
Gerçekleştirilen Ölçümler:

5 Mayıs 1995'te yapılan ölçümler, kaynak apsis bölümünde olduğu hâlde Şekil 4.3'de 1 ve 2 olarak işaretlenmiş noktalarda gerçekleştirilmiştir. Bu noktalarda 1/3 oktav bantlardaki Yansıma Süreleri ve Ses Basınç Düzeyleri ölçülmüştür.



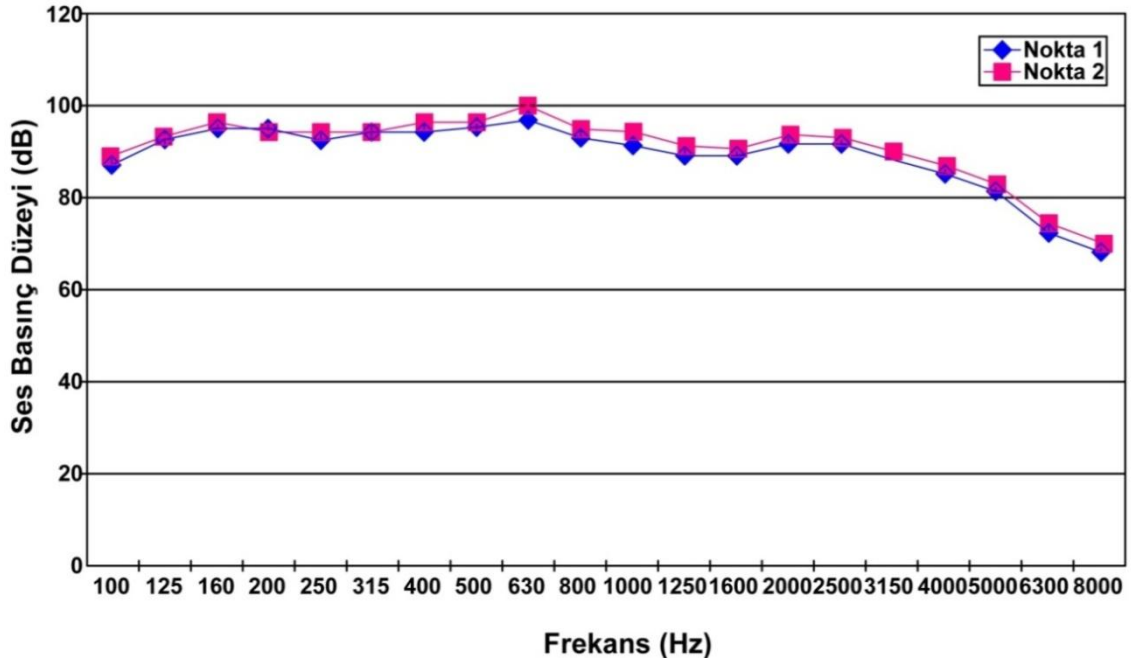
Şekil 4.3 Apsis bölümüne yerleştirilen kaynak ile 1 ve 2 olarak adlandırılmış olan ölçüm noktalarının yerlerini gösteren kroki.

Şekil 4.3'te görülen ölçüm noktalarında elde edilen sonuçlara göre şapeldeki Yansıma Sürelerinin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı Şekil 4.4'teki grafikte görüldüğü gibidir.



Şekil 4.4 Ölçüm noktalarındaki (Bkz. Şekil 4.3) Yansıma Süreleri'nin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).

Şekil 4.3'te görülen ölçüm noktalarında elde edilen sonuçlara göre şapeldeki Ses Basınç Düzeyleri'nin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.5 Ölçüm noktalarındaki (Bkz. Şekil 4.3) Ses Basınç Düzeyleri'nin 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).

Sonuçların Değerlendirilmesi:

Yapılan ölçümler sonucunda her iki ölçüm noktasında da yüksek frekanslardaki Yansıma Süreleri'nin alçak frekanslardakilere göre düşük olduğu görülmüştür. Şapel boşken yapılan bu ölçüm sonuçları, mekânda dinleyicinin bulunması durumunda, özellikle yüksek frekanslardaki Yansıma Süreleri'nin daha da düşmesi yönünde değişecektir. Alçak frekansların Yansıma Süreleri'ndeki uzunluk müzik için tercih edilen (Bkz. Bölüm 2.2.1, Şekil 2.9) ve Sıcaklık'ı arttıran bir durum olsa da tüm frekanslarda Yansıma Süreleri, konser salonları için önerilen 1,8-2,2 s'lik kabul edilebilir aralığın üstünde çıkmıştır (Barron, 2005). Akustik parametrelerle ilgili kabul edilebilir aralıklara bölüm 5.2'de detaylı olarak yer verilmiştir. Şapel doluyken hacimdeki yutuculuk artacağından Yansıma Süreleri düşecektir. Bu durumda yüksek frekanslardaki Yansıma Süreleri uygun değerlere gelecektir, ancak alçak frekanslardaki Yansıma Süreleri, yüksek frekanslarda olduğu kadar düşmeyecek ve bundan kaynaklı dengesiz dağılım pes seslerin daha baskın olmasına neden olacaktır.

Ses Basınç Düzeyleri'nin dağılımı ise her iki noktada da oldukça düzgün bir yayılmışlık göstermiştir. İki ölçüm noktasında da Ses Basınç Düzeyleri arasında uzaklıktan kaynaklanan farklılıklar 2 dB'in üzerine çıkmamaktadır.

Akustik Koşulların İyileştirilmesi Üzerine Değerlendirmeler:

- Şapelin mevcut durumunun değerlendirilmesi sonucunda konser ya da resital salonu olarak kullanılabileceğine kanaat getirilmiştir.
- Yapılan ölçümlerden yola çıkılarak koro bölümünün yan duvarlarının ya da en azından arka duvarının ve tavanının yutucu bir malzeme ile kaplanması teklif edilmiştir. 5-7 cm kalınlığında ve de $50-70 \text{ kg/m}^3$ ağırlığında gözenekli kumaş kaplı taş yününün uygun bir malzeme olacağı düşünülmüştür. ACARMA grubu, bu uygulamayla dolu şapelin Yansıma Süresi'ni özellikle alçak frekanslarda azaltarak Yansıma Süreleri'nde dengeli bir dağılım sağlamayı amaçlamıştır.
- Akustik projeyi gerçekleştiren grup tarafından, şapeldeki Canlılık'ı azaltacak bir etkiye neden olmamak amacıyla, yapılacak olan her akustik iyileştirme çalışması sonrasında şapelin akustik ölçümlerinin yeniden gerçekleştirilmesi ve müdahalelere, çıkan sonuçlara göre yapılacak değişikliklerle devam edilmesi planlanmıştır.

4.2 2004'te Gerçekleştirilen ve Uygulanması Planlanmış Olan Çalışma

Bu çalışmanın amacı, Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali'ne ev sahipliği yapacak bir görev yeri ve konser salonu olarak kullanılması planlanan Santa Anna Şapeli'nin akustik koşullarında iyileştirmeler yapmak ve şapeli, ağırlıklı olarak barok müziğin icra edileceği festival için uygun bir konser salonu haline getirecek bir proje teklifi sunmaktır.

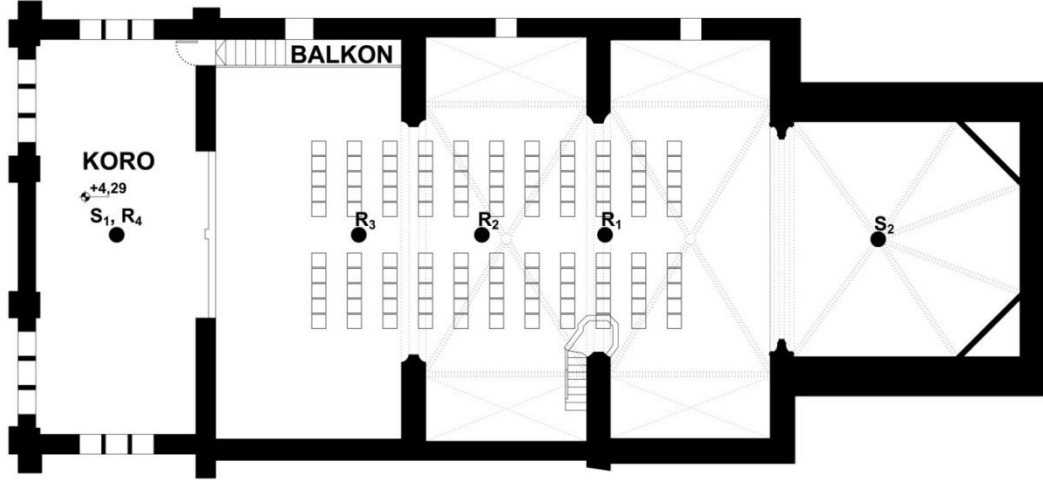
Çalışmada, şapelin henüz restorasyonuna başlanmamış mevcut durumunda ölçümler yapılmış, bu ölçümler Odeon Akustik Programı'nda yapılan simülasyonlarla desteklenmiş ve elde edilen verilerden yola çıkılarak yansıtıcı ve yutucu panellerden oluşan bir akustik proje teklif edilmiştir. Ayrıca, yansıtıcı panellerin tasarımına yönelik bir ışın diyagramı çalışması da gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen Ölçümler:

Bu çalışmada kaynak, koro ve apsis bölümlerine konularak iki küme ölçüm gerçekleştirilmiş ve yapılacak müdahalelere karar vermeye çalışılmıştır. Kaynağın her iki noktada da kullanılmasının nedeni, Albal Uluslararası Klasik ve Çok Sesli Müzik Festivali kapsamında barok müzik konserleri için kullanılacak olan şapelin apsis bölümünde yaylı sazlar orkestrası çalarken, koro bölümünde 5 ila 10 kişilik bir koronun yaylı sazlara eşlik edecek olmasıdır.

Ölçümler, 12 yüzlü (Dodecahedron) bir hoparlör olan kaynaktan 100 dB'lik bir pembe gürültü hacme gönderilerek gerçekleştirilmiştir. Alıcı olarak kullanılan mikrofön sesi omnidirectional

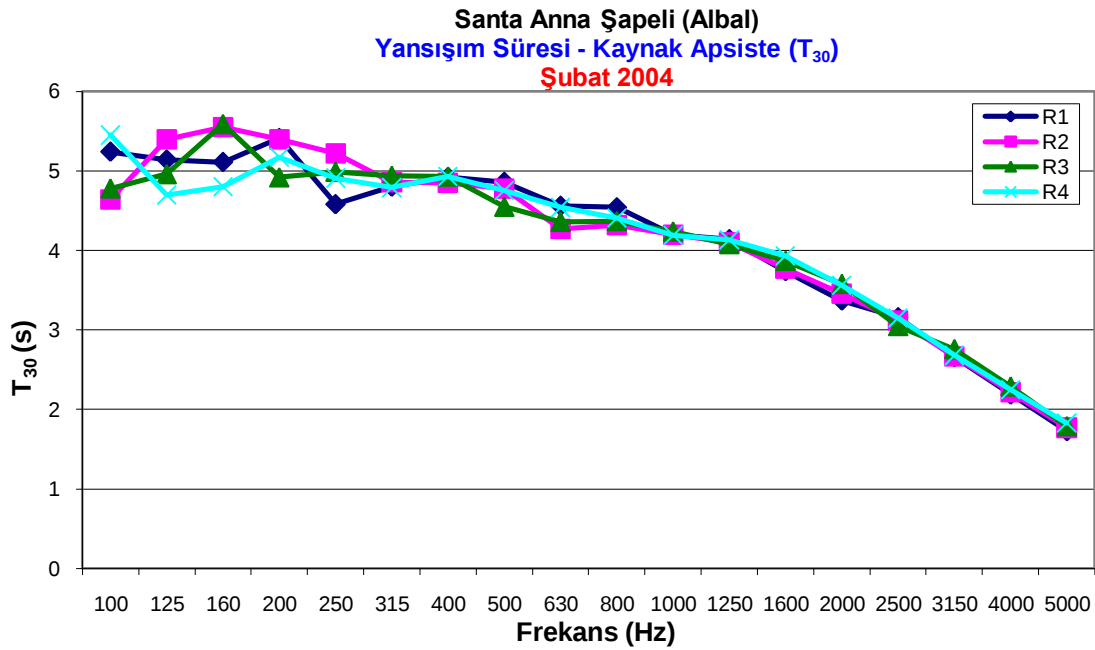
olarak yani her yönden almaktadır. 11 Şubat 2004'te yapılan ölçümlerde kaynak ve mikrofon Şekil 4.6'da görülen plandaki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6 Kaynak ve alıcı noktalarının plan düzleminde gösterimi.

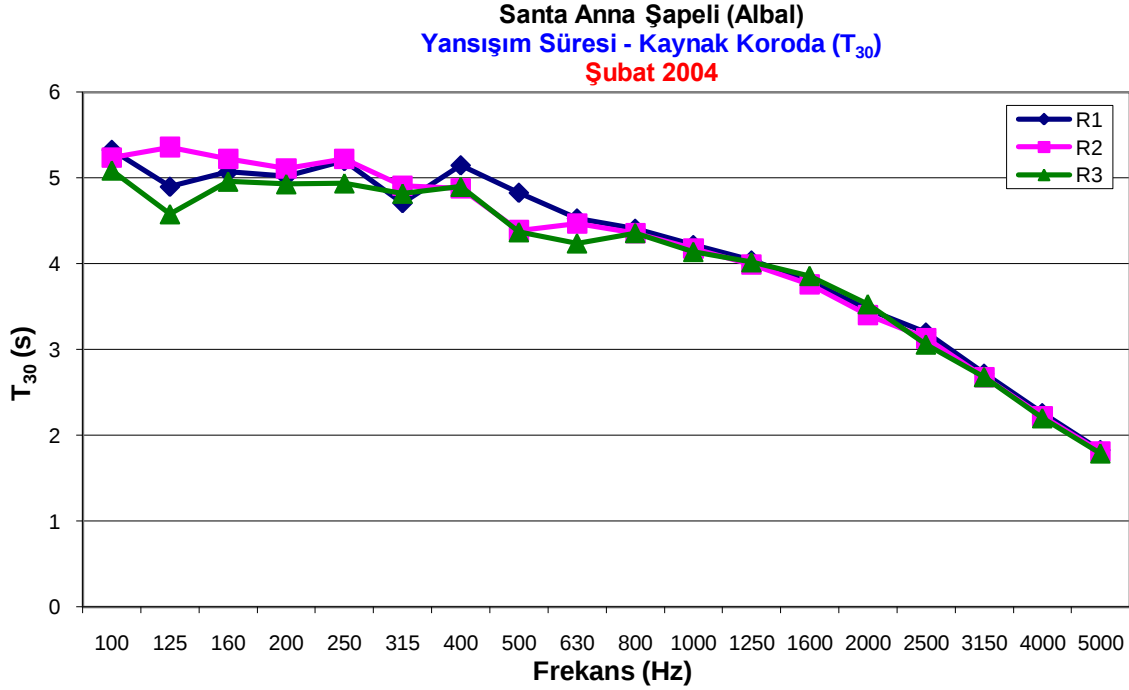
Şekil 4.6'da görülen R1, R2, R3 ve R4 noktalarına alıcılar yerleştirilmiştir. Kaynağın koroda yerleştirildiği nokta olan S₁, R₄ ile yan yana gösterilmiştir. S₂ ise yine kaynağın apsiste yerleştirildiği noktayı ifade etmektedir.

Yanışım Süresi ölçümleri, kaynak apsisin ortasına yerleştirilerek, R1, R2 ve R3 noktaları ile koronun ortasında bulunan R4 noktasında yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.6). 1/3 oktav bantlarda yapılan bu ölçümlerin sonuçları Şekil 4.7'deki grafikte gösterilmiştir.

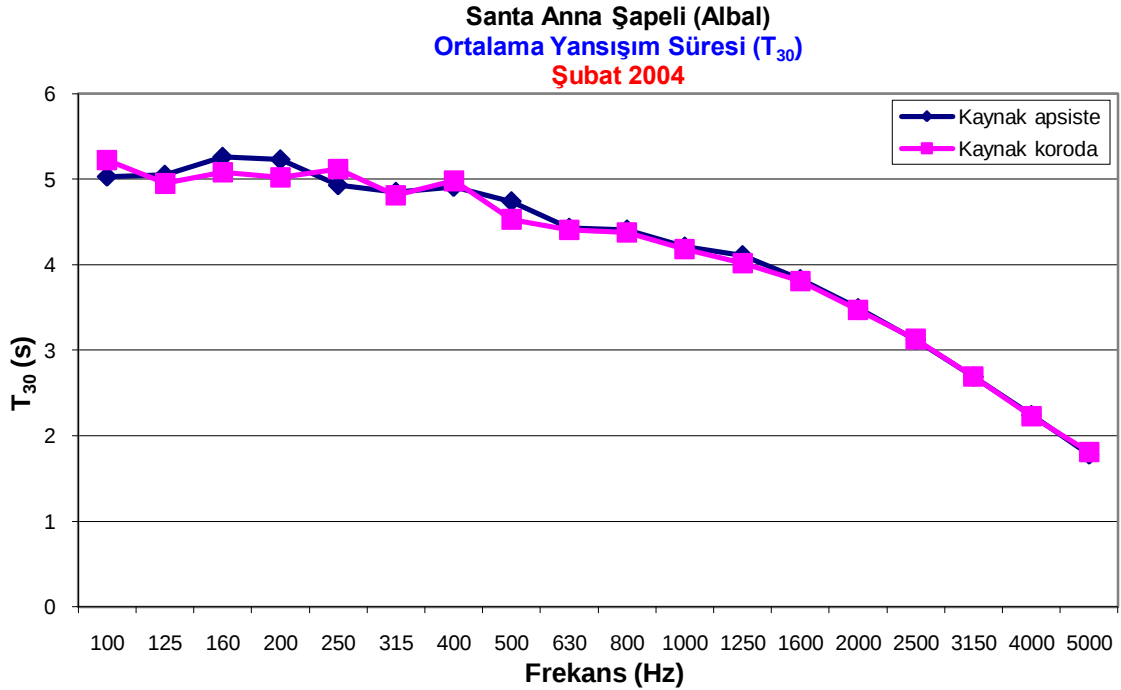


Şekil 4.7 Kaynağın apsiste olduğu durumda şapeldeki dört alıcı noktası için 1/3 oktav bantlarda T₃₀ süreleri (ACARMA, 2004).

Bu ilk ölçümlerin yanı sıra kaynak koro bölümüne yerleştirilerek R1, R2 ve R3 noktalarında (Bkz. Şekil 4.6) ikinci bir dizi ölçüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8’de görülen grafik kaynak korodayken bu üç noktadaki T_{30} sürelerinin 1/3 oktav bantlardaki dağılımını göstermektedir.



Şekil 4.8 Kaynağın koro bölümünde olduğu durumda şapel içindeki üç alıcı noktası için 1/3 oktav bantlarda T_{30} süreleri (ACARMA, 2004).



Şekil 4.9 Şapeldeki Yansıyım Süreleri hacim ortalamalarının, kaynak koroda ve apsiste olmak üzere yapılan iki farklı ölçüm için 1/3 oktav bantlardaki dağılımı (ACARMA, 2004).

Ölçüm Sonuçlarından Yapılan Çıkarımlar:

Yapılan ölçümler sonucunda aşağıdaki yargılara varılmıştır:

- 2004'te gerçekleştirilmiş olan ölçümlerde, Şekil 4.9'daki grafikte de görüldüğü gibi, orta frekanslardaki Yansıma Süresi 4,5 s civarında, 1995 yılında gerçekleştirilen ve Şekil 4.4'te görülen ölçümlerden biraz daha yüksek çıkmış olsa da Yansıma Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı dengelidir. 1995 ve 2004 yıllarında yapılan ölçümlerdeki bu farkın nedeni, şapelde restorasyon sürecinin başlamış olmasıyla meydana gelmiş olan değişiklikler ve de seçilen ölçüm noktalarının konumlarının farklı olmasıdır. Yine de şapelin Yansıma Süreleri'nde meydana gelen değişikliklerin en önemli nedeni, nefte giriş bölümündeki beşik çatının tamir edilmesiyle ilgilidir. Restorasyon öncesinde oldukça hasarlı durumda olan çatının, restorasyona başladıktan kısa süre sonra geçici olarak da olsa yıkık bölümlerinin kapatılmasıyla Yansıma Süreleri yükselmiştir (Bkz. Bölüm 3.2, Şekil 3.16). Yansıma Süreleri'nin alçak ve orta frekanslarda yüksek çıkmış olması, mekânın hacmine ve mekânı sınırlayan yüzeylerin yansıtıcı yüzeyler olmasına bağlıdır. Ortamda yutucu bir gereç olmamasına rağmen Yansıma Süreleri'nin 2000 Hz'in üstünde kalan frekanslarda düşük olması, havanın yutuculuğuna bağlanabilir.
- Mekânda ses, Düzgün Yayılma göstermektedir; mikrofonun farklı noktalara yerleştirilmesiyle de kaynağın apsis ve koro olmak üzere farklı noktalarda konumlandırılmasıyla da çıkan sonuçlar arasında büyük bir fark gözlenmemiştir. Ancak koro bölümü ile nef arasındaki ilişkiyi sağlayan pencere oldukça küçük olduğundan, bu bölüm için sesi koro bölümünden nefe yöneltecek yansıtıcılar tasarlanması uygun görülmüştür.

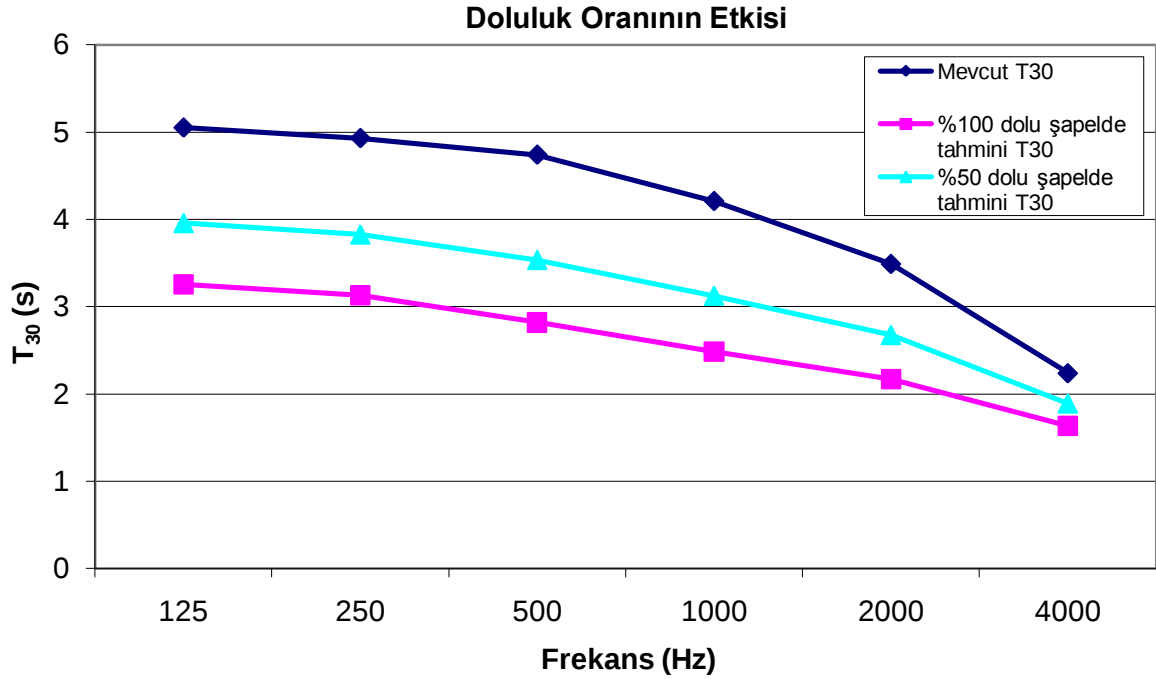
Akustik Koşullarda İyileştirme Önerisi:

Çıkarılan bu sonuçlara dayanılarak akustik koşullarda bir iyileştirme çalışması yapılmış. Bu çalışma kapsamında, doluluk oranının hacmin akustik koşullarına etkisini belirlemek amacıyla simülasyonlardan da yararlanılmıştır.

Neftteki Akustik Koşulların İyileştirilmesi Çalışması:

Nef için gerçekleştirilmesi düşünülen ilk müdahale, tüm oktav bantlarda Yansıma Süreleri'ni düşürmeye çalışmaktır. Bu hedef gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli konu ise Yansıma Süreleri'nin frekanslardaki dağılımını korumaya çalışmaktır. Çünkü oktav bantlardaki mevcut Yansıma Süresi dağılımı konser salonları için olması istendiği gibidir (Bkz. Bölüm 2.1.4).

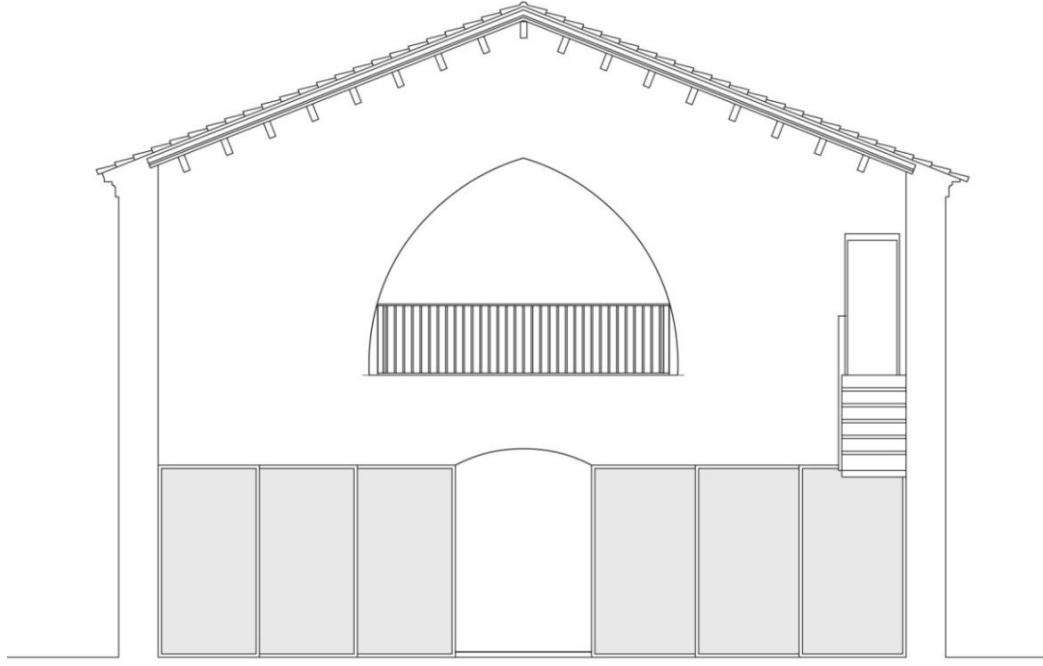
Hacimde dinleyicilerin varlığının özellikle yüksek frekanslarda yutuculuğu arttırdığı göz önünde bulundurulursa, hacmin akustik iyileştirme çalışmasında önemli olan bir diğer konunun da doluluk oranının Yansıma Süreleri üzerindeki etkisi olduğu görülür. Şekil 4.10'da, nefte bulunan oturma bölümünün %100 ve %50 dolu olması durumlarının simülasyonu sonucunda, Yansıma Süreleri'nin aldığı değerler görülmektedir.



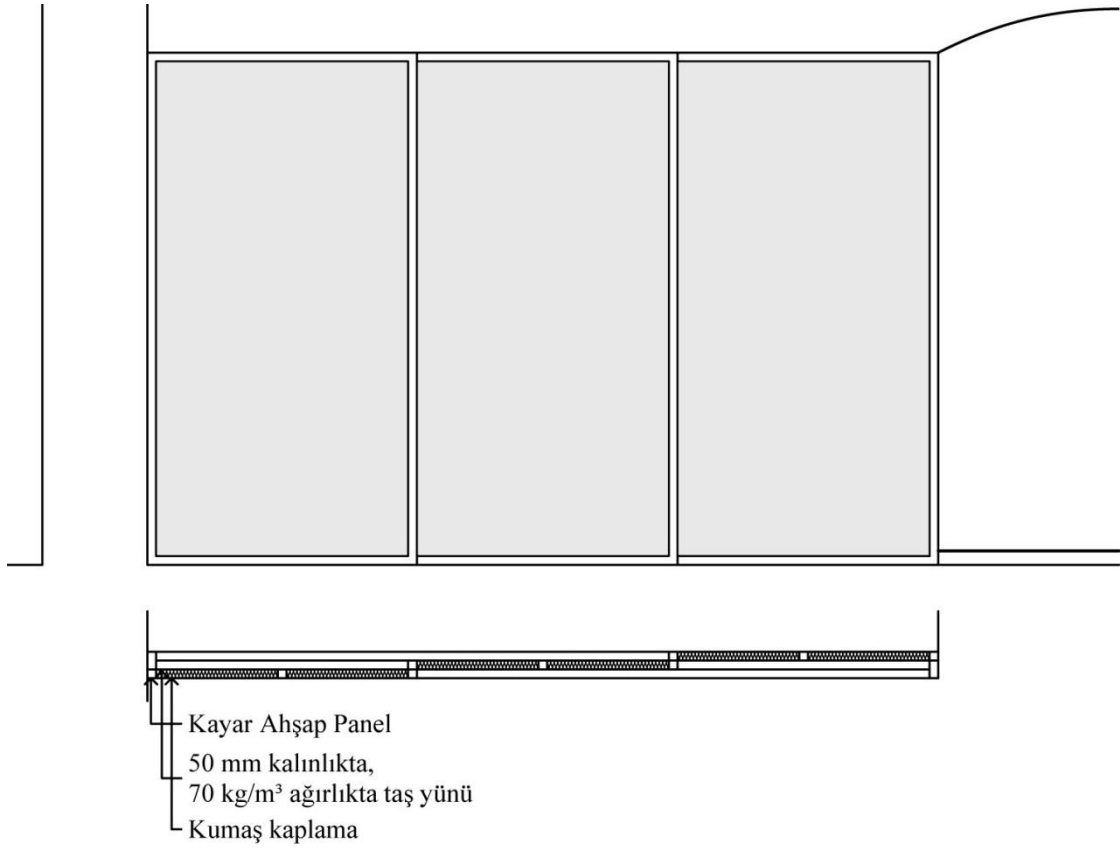
Şekil 4.10 Hacmin doluluk oranının Yansıma Süreleri'ne olan etkisi (ACARMA, 2004).

Yapılan simülasyonlar sonucunda görülmüştür ki nefin %50 dolu olması durumunda ortalama Yansıma Süresi 3,34 s'ye, %100 dolu olması durumunda ise 2,65 s'ye düşmektedir. Her iki durumda da Yansıma Süreleri, mekânın hacmi de göz önünde bulundurulursa, uygun değerlerde değildir. Bu nedenle mekândaki yutucu yüzeylerin arttırılması yoluna gitmek kaçınılmaz hâle gelmiştir.

Önerilen, giriş kapısının her iki yanında bulunan duvarlara seyyar yutucu paneller yerleştirmektir. Toplam 27 m²'lik bir alana sahip olacak bu panellerde ahşap bir çerçevenin ortasına 50 mm kalınlığında 70 kg/m³ ağırlığında gözenekli bir kumaşla kaplı taş yünü yerleştirilecektir. Giriş kapısının iki yanındaki duvarların önüne yerleştirilmesi planlanmış olan bu paneller, kayar düzeneğe sahip üçer parçadan oluşacaktır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de bu panellerin görünüş ve detaylı plan çizimleri görülmektedir.

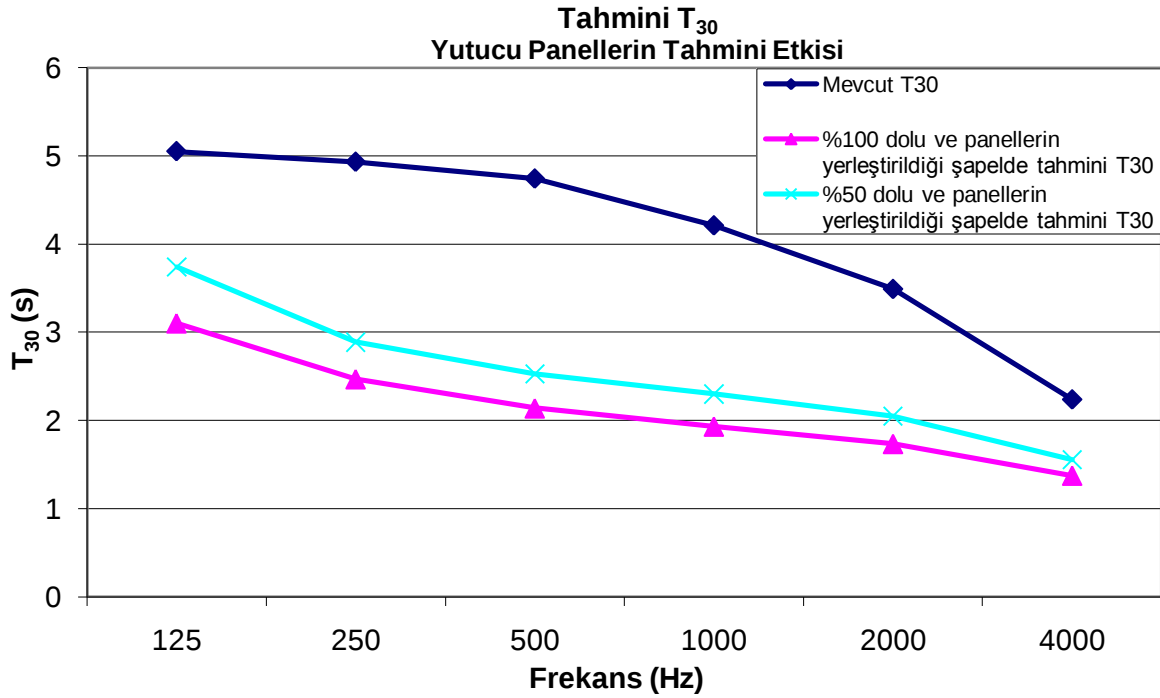


Şekil 4.11 Giriş kapısının iki yanına yerleştirilmesi planlanmış olan yutucu paneller.



Şekil 4.12 Kayar yutucu panellerin planı ve görünüşü (ACARMA, 2004).

Tasarlanan bu panellerin yerleştirilmesinin, yansımın sürelerinde meydana getireceği, yapılan simülasyonlar yardımıyla tahmin edilen, değişiklikler Şekil 4.13'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Yutucu panellerin ve doluluk oranlarının Yansıma Süresi üzerindeki etkisi.

Çizelge 4.1’de, önerilen yutucu ve yansıtıcı paneller yerleştirilerek yapılan simülasyonun sonuçlarıyla beraber, Sıcaklık ve Parlaklık öznel parametrelerinin, Bas Seslerin Oranı ve Tiz Seslerin Oranı ile hesaplanması sonucu ortaya çıkan değerleri de verilmiştir:

Çizelge 4.1 Çizelgede Yansıma Süreleri’nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi görülmektedir (ACARMA, 2004).

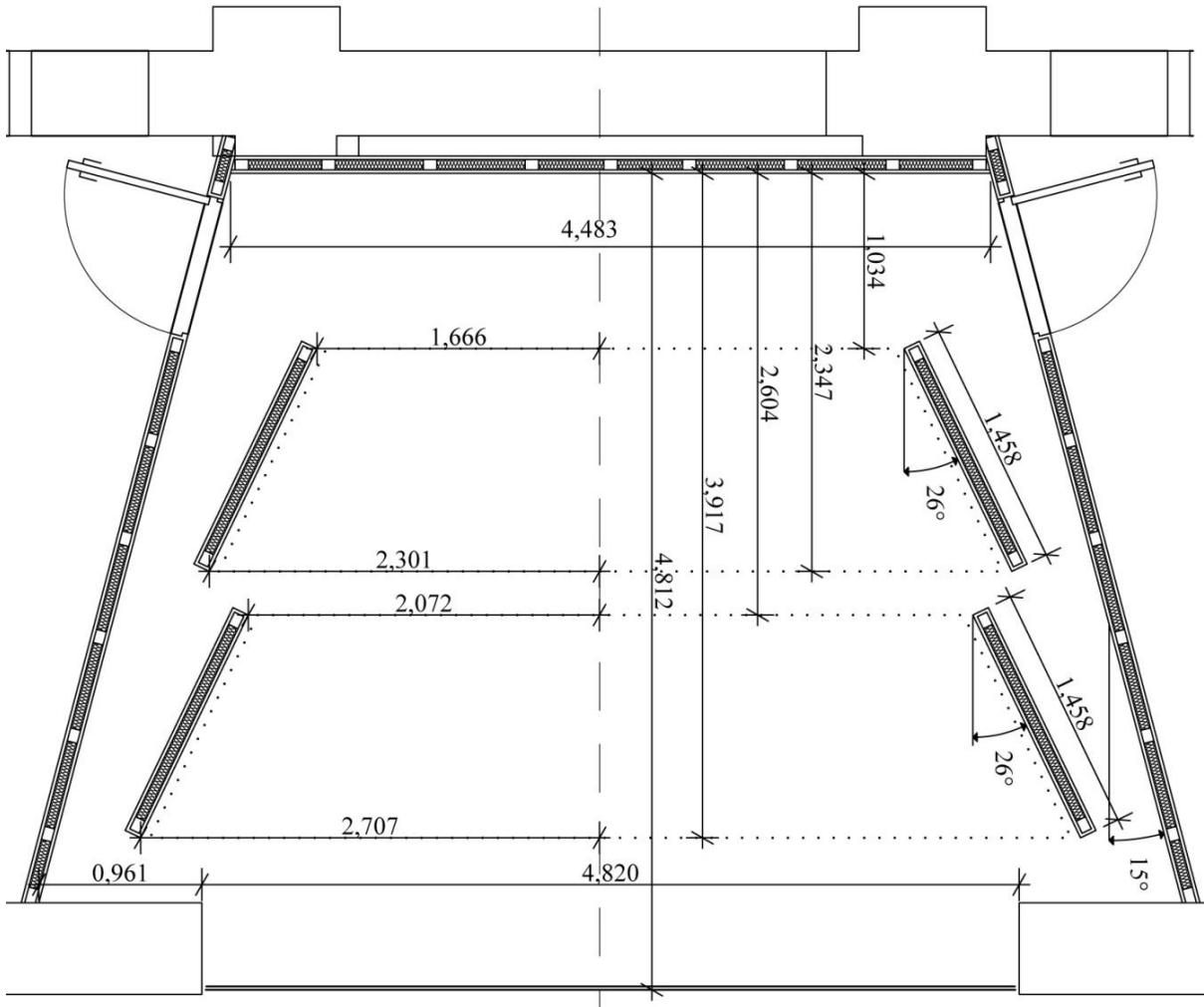
Frekans (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	RT_{mid}	Sıcaklık	Parlaklık
Mevcut T_{30}	5,05	4,93	4,74	4,21	3,49	2,24	4,48	1,12	0,64
%100 dolu ve panellerin yerleştirildiği şapelde tahmini T_{30}	3,10	2,47	2,14	1,93	1,74	1,38	2,04	1,37	0,76
%50 dolu ve panellerin yerleştirildiği şapelde tahmini T_{30}	3,74	2,89	2,53	2,30	2,05	1,55	2,41	1,37	0,75

Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi şapelde Sıcaklık değeri 1,12’dir. Bu değer şapel boşken elde edilen Yansıma Süreleri düşünüldüğünde konser salonları için olması gereken aralık olan 1,1-1,25 aralığı içinde kalmıştır (Bkz. Bölüm 5.2, Çizelge 5.5). Şapel tam doluyken de 1,37 çıkan Sıcaklık değeri, değişen Yansıma Süreleri göz önünde bulundurulduğunda, konser salonları için olması gereken aralık olan 1,1-1,45 arasında kalmıştır (Bkz. Bölüm 5.2, Çizelge 5.5). Sıcaklık değerlerini sağlayan şapelde Parlaklık değerleri ise düşük çıkmıştır. Grafiklerdeki alçak ve yüksek frekanslardaki Yansıma Süresi dağılımına bakıldığında da yüksek frekansların düşük olduğu açıkça görülmektedir.

Koro Bölümünde Akustik Koşulların İyileştirilmesi Çalışması:

Koro bölümü ve nef arasındaki ilişkiyi sağlayan pencerenin boyutları sesin yeterli miktarda çıkışına izin vermediğinden sesi dinleyiciye yöneltecek yansıtıcılar tasarlanması uygun görülmüştür. Bunun için, bu alanı çevreleyip küçülterek, ses enejisini koro bölümü penceresinden nefe yöneltecek yansıtıcı panellerden oluşan bir sistem kullanılması düşünülmüştür. Bu yansıtıcı panellerin arka yüzleri yutucu malzeme ile kaplanarak koro bölümünde Yansıma Süreleri'nin frekanslardaki dağılımının dengelenmesi planlanmıştır.

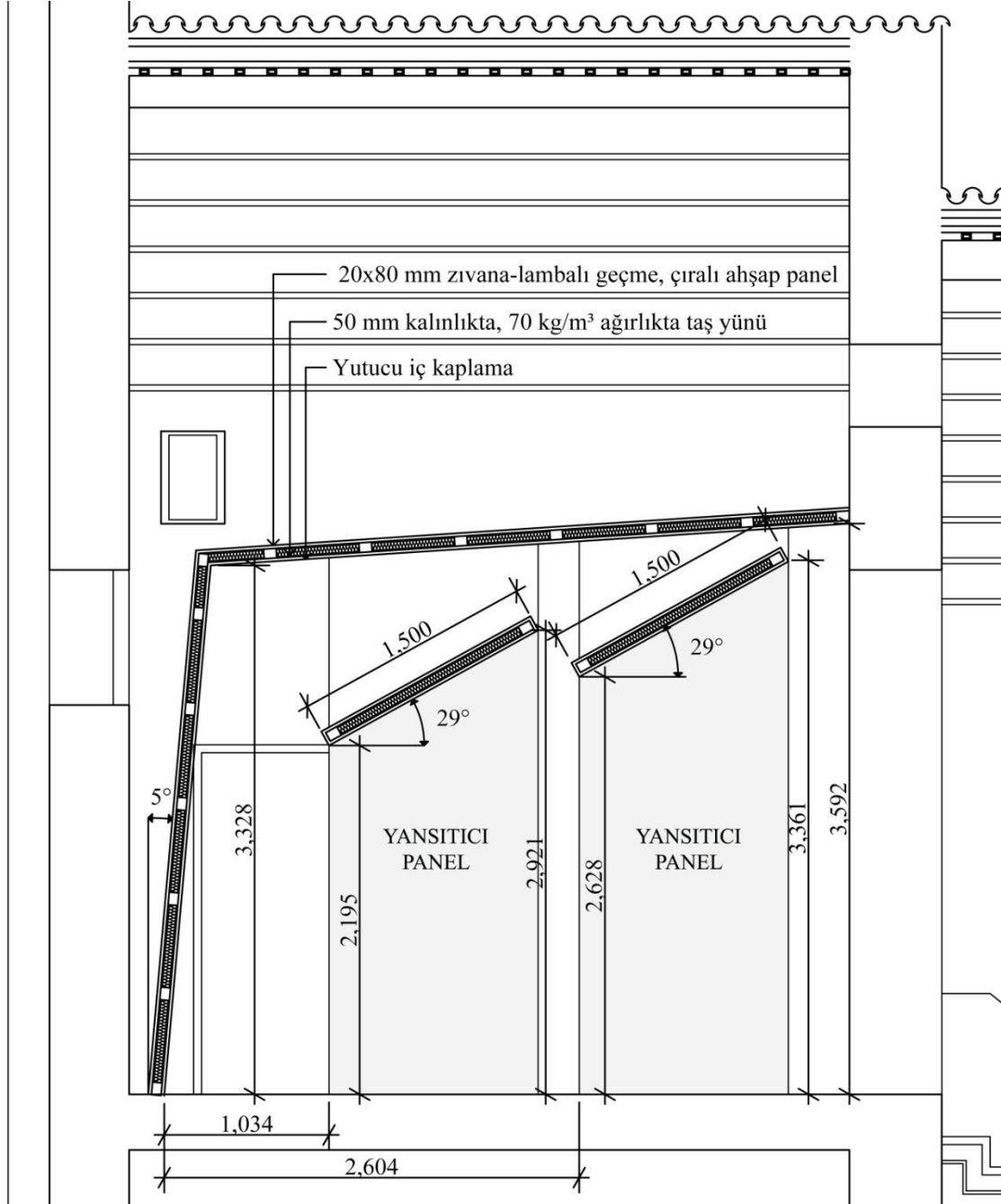
20x80 mm kesitli çıralı ahşap parçaların, zıvana-lambalı* geçme yöntemiyle birleştirilerek metal profillere monte edilmesi sonucu oluşturulacak paneller, bahsi geçen mekânı sınırlayacaklardır. Metal profillerin boyutları, 60x80x4 mm olacaktır. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te panellerin plan ve kesit düzleminde detay çizimleri görülmektedir.



Şekil 4.14 Yansıtıcı panellerin planı (ACARMA, 2004).

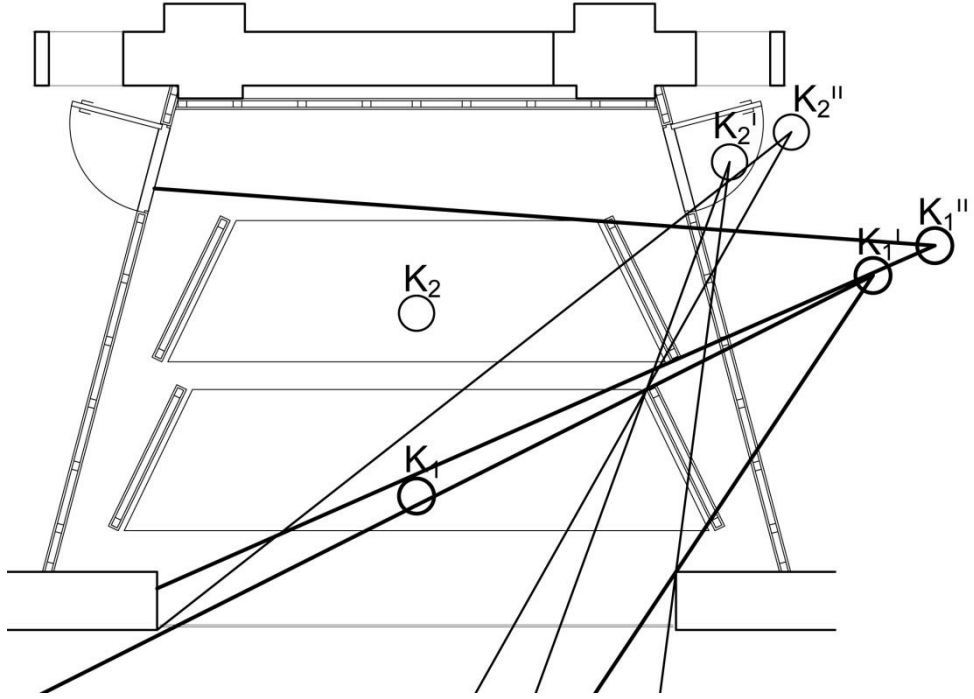
* İki ahşap parçasından birinin kenarında boydan boyaya giden çıkıntının, ötekinin kenarındaki oyuğa girmesiyle yapılan geçme. Burada çıkıntı, lamba veya kineş dili adını alır; girinti ise zıvana veya kineş'tir (Hasol, 1998).

Ses yutucu malzeme olarak panellerin iç yüzeylerinde, gözenekli kumaş ile kaplanmış 70 kg/m³ ağırlığında taş yünü kullanımasına karar verilmiştir. Bu yutucu malzemelerin kullanılmasının nedeni koro içindeki Yansıyım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımını dengelemektir.



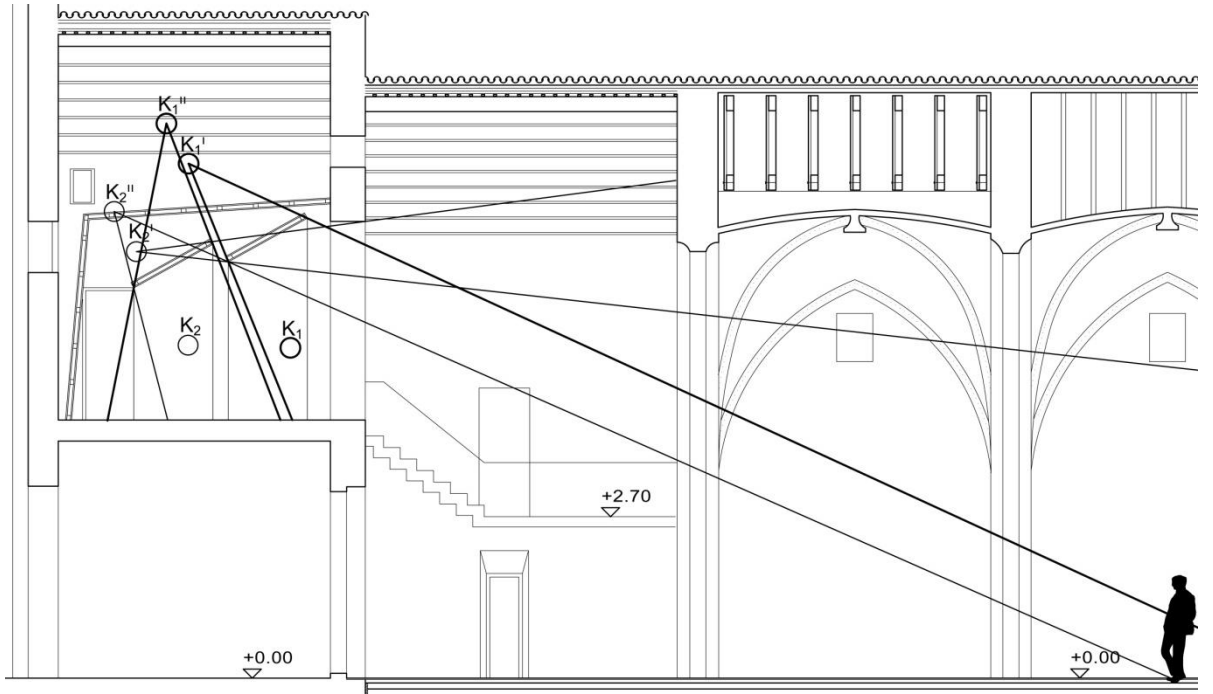
Şekil 4.15 Yansıtıcı panellerin kesiti (ACARMA, 2004).

Yansıtıcı panellerle ilgili olarak ayrıca plan ve kesit düzleminde ışın diyagramı çalışması da yapılmıştır. Bu çalışma, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.16 Plan düzleminde gerçekleştirilen ışın diyagramı çalışması.

Şekil 4.16'daki plan ve Şekil 4.17'deki kesitte, K_1 ve K_2 kaynaklarının ilk panelden yansımaları K_1^I ve K_2^I olarak, ikinci panelden yansımaları ise K_1^{II} ve K_2^{II} olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Kesit düzleminde gerçekleştirilen ışın diyagramı çalışması.

5. ŞAPELİN MEVCUT AKUSTİK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Genelde barok müzik konserleri için kullanılması planlanan Santa Anna Şapeli'nde, restorasyon sonrası mevcut akustik koşulları belirlemek için ölçümler yapıldıysa da bazı parametrelerin sonuçlarına Odeon programının 7.01 versiyonunda yapılan simülasyonlarla ulaşılmıştır.

Müzik amaçlı hacimlerde, mekânın boş halinde gerçekleştirilen akustik ölçümler ile ulaşılan sonuçlarla bir konser sırasındaki akustik koşullar birbirinden farklılık gösterir. Bunun en önemli nedeni, ortamda dinleyicilerin ve sahnedeki müzisyenlerin varlığıdır. Ölçümler ve müzik icrası sırasında oluşan akustik koşullar arasındaki farkı kaldırmanın yollarından biri Hidaka, Nishihara ve Beranek'in 2001 tarihli çalışmalarında da önerdikleri gibi, ölçüm sırasında dinleyicilerin bulunması gereken yerlere insanların yutuculuğuna yakın elemanlar koymaktır (Barron, 2005). Bu çalışmada bunu gerçekleştirmek ya da şapelde dinleyiciler bulunurken ölçüm yapmak mümkün olmadığından, dinleyicilerin varlığının şapelin akustik koşulları üzerindeki etkisi de Odeon 7.01 programında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ölçüm ve simülasyonlara ait sonuçlar ortaya konmuş ve asıl işlevi müzik olacak olan hacimde elde edilen bu sonuçlar, müzik amaçlı hacimler için belirlenmiş olan optimum değerler çerçevesinde değerlendirilmiştir.

5.1 Bazı Akustikçilere Göre Parametreler için Optimum Değer Kabulleri

Bu çalışmanın konusu olan şapel, konser salonu işlevi ile kullanılacağından, üzerinde yoğun olarak durulacak parametreler de müzik amaçlı hacimler için önerilen parametreler olacaktır. Fakat müzik için belirlenmiş olan nesnel parametrelerden hangilerinin değerlendirileceğine karar vermek için çeşitli akustikçilerin önerilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Bir hacmin konuşma işlevi için uygun akustik koşullara sahip olup olmadığını anlamak müzik işlevi için uygunluğunu anlamaktan daha kolaydır. Berrak Söyleyiş Göstergesi (AI) ve Ses İletim Göstergesi (STI) gibi parametreler ve çeşitli testler kullanılarak, hacimdeki konuşmanın anlaşılabilirliği yüzdesi kolayca belirlenebilir. Diğer taraftan müzik söz konusu olduğunda kesin bir yöntem belirlemek oldukça güç ve süreç oldukça karışıktır (Templeton, 1997). Bu konuda, çeşitli akustikçiler, farklı değerlendirme yöntemleri belirlemiş ve müzik için kullanılması gereken nesnel parametreleri farklı bakış açılarıyla değerlendirmiştir:

Michael Barron, müzik amaçlı hacimler için Yansıma Süresi (T_{60}), Erken Düşme Süresi (EDT), Netlik (C_{80}), Seslilik (G) ve Mekânsal Algılama'nın Algılanan Kaynak Genişliği Parametresi ile ilgili olarak da LF_{80} nesnel parametrelerinin incelenmesinin uygun olacağı

önerisinde bulunmuştur (Barron, 1993). Barron'un bu parametrelerle ilgili olarak konser salonları için önerdiği, kabul edilebilir değer aralıkları Çizelge 5.1'de görüldüğü gibidir (Barron, 2005):

Çizelge 5.1 Konser salonları için önerilmiş olan kabul edilebilir değer aralıkları (Barron, 2005).

Parametre	Kabul Edilebilir Aralık
Yansıma Süresi (T_{60})	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s
Erken Düşme Süresi (EDT)	$1,8 \leq EDT \leq 2,2$ s
Netlik (C_{80})	$-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB
Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80})	$0,1 \leq LF_{80} \leq 0,35$
Seslilik (G)	$G > 0$ dB*

Çizelge 5.2'de ise Beranek tarafından akustik parametrelerin müzikal kalite açısından etkisini belirlemede kullanılan puanlandırma sistemi görülmektedir.

Çizelge 5.2 Beranek tarafından konser salonları için önerilen puanlandırma sistemi (Maekawa ve Lord, 1994)

Özel Parametre	Nesnel Parametre	Puan	En Yüksek Puan
Akustik Samimilik	Erken Ses Gecikme Aralığı (ms)	0-20 ms → 40 puan 70 ms → 0 puan	40
Canlılık	Orta Frekansların Yansıma Süresi (500-1000 Hz arası ve dolu konser salonu için)	Romantik 2,2 s Tipik orkestra 1,9 s Klasik 1,7 s Barok 1,5 s (Bu değerlerin dışına çıkıldığında puan düşecektir.)	15
Sıcaklık	Bas Seslerin Oranı (125-250 Hz arasındaki sesleri Yansıma Süreleri'nin, orta frekansların Yansıma Süreleri'ne oranı)	$1.2 \leq BR \leq 1.25$	15
Dolaysız Sesin Sesliliği	Orkestra şefi ile dinleyici arasındaki mesafe	18 m (Her 3 m'de bir, 1 puan düşüyor)	10
Yansıyan Sesin Sesliliği	$\frac{RT_{500} \text{'den } RT_{1000} \text{'e kadar } T_{60} \text{ toplamı}}{V} \times 10^6$	3'den fazlası ya da azı daha düşük puana denk gelir.	6
Dağıtıcılık	Duvar ve tavan yüzeylerindeki düzensizlikler	Eğer uygunsa	4
Denge ve Sesin Kaynaşması	Orkestranın bölgesel dengesi	Eğer iyiye	6
Orkestranın Senkronizasyonu	Müzisyenlerin birbirlerini duyabilmeleri	Eğer Kolaysa	4

* Lehmann ve Wilkens 1980'de yaptıkları çalışmalarında seslilik parametresi'nin +3 dB'den büyük olması gerektiğini savunmuşlardır. Fakat Barron, +3 dB değerinin çok yüksek olduğunu, bu değer kabul edilmesi durumunda İngiltere'deki konser salonlarında dinleyici bölümlerinin %60'ının kabul edilebilir değerler içinde kalmayacağını ifade etmiştir (Barron, 1993).

Beranek, müzik amaçlı bir hacmin akustik kalitesini tanımlamak için kullanılan öznel parametreleri sınıflandırmış ve bu öznel parametreleri, somut bir değerle ifade edebilmek için, bunlarla ilişkili olan nesnel parametrelerde ölçümler yaparak bir değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Geliştirdiği bu yöntemde, parametrelerin müzikal kalite açısından etkisini belirlemek için her birine toplamaları 100 olmak üzere bir puan vermiş ve hacmi bu puana göre değerlendirmiştir (Maekawa ve Lord, 1994). Çizelge 5.2’de de bu değerlendirme yöntemi görülmektedir.

Beranek, her konser salonunun akustik kalitesinin Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi puanlandırılarak ölçülebileceği önerisinde bulunmuştur. Fakat uygulamada, Beranek’in önerdiği bu sistemdeki parametrelerin seçiminde ve puanlandırılmasında bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Örneğin; bu değerlendirme yönteminin ölçütlerine uyularak 1962’de inşa edilmiş olan New York Filarmoni Salonu akustik açıdan zayıftır (Maekawa ve Lord, 1994).

Beranek, daha sonra yaptığı çalışmasında puanlandırma yönteminde önemli olarak nitelediği parametreleri değiştirmiş ve yeni bir puanlandırma yöntemi oluşturmuştur (Long, 2006). Bu puanlandırma yöntemi Çizelge 5.3’te görülmektedir.

Çizelge 5.3 Beranek tarafından konser salonlarının akustik koşullarını değerlendirmek üzere 1996’da oluşturulmuş puanlandırma sistemi (Long, 2006).

Öznel Parametre	Nesnel Parametre	En Yüksek Puan
Algılanan Kaynak Genişliği (ASW)	Erken Ses Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı ($IACC_E$)	25
Yansıma	EDT	25
Dağıtıcılık	Yüzey Dağıtıcılık İndeksi (Surface Diffusivity Index – SDI)	15
Seslilik	G_{mid}	15
Akustik Samimilik	Erken Ses Gecikme Aralığı (ITDG)	10
Sıcaklık	Bas Seslerin Oranı (Bass Ratio – BR)	10

Jordan da 1980’de daha önce konser salonları üzerine yapmış olduğu çalışmalara dayanarak T_{60} , EDT, C_{80} ve Hacim Yanıtı (Room Response – RR)* parametreleri için kabul edilebilir değer aralıkları belirlemiştir (Maekawa ve Lord, 1994). Bu değer aralıkları Çizelge 5.4’te görülmektedir.

* Reichardt tarafından 1978’de önerilmiş mekânsal algılama ile ilgili bir parametredir. dB cinsinden ifade edilir. Erken yanal enerji ile omnidirectional bir mikrofonla ölçülmüş olan geç enerjinin toplamının yine omnidirectional mikrofonla ölçülmüş olan toplam erken enerjiye oranının logaritması alınarak hesaplanır (Maekawa ve Lord, 1994).

Çizelge 5.4 Jordan tarafından konser salonları için önerilmiş olan optimum parametre değer aralıkları (Maekawa ve Lord, 1994).

Parametre	Ortalama Değer	Kabul Edilebilir Değer Aralığı
T_{60} (s)	2,1	1,4 – 2,8
EDT (s)	2,1	1,8-2,6
C_{80} (dB)	0	(-2) – (+2)
RR (dB)	0	(-0,5) – (+0,5)

5.2 Ölçümlerin Değerlendirilmesiyle İlgili Kabuller, Ölçümler ve Simülasyon

Şapelin akustik ölçümleri sırasında, kaynak, biri apsis bölümünde biri de koro bölümünde olmak üzere iki farklı noktada konumlandırılmış ve iki farklı durumun ölçümleri yapılmıştır. Bunun nedeni konserler sırasında orkestra apsis bölümündeyken, koro bölümünde bulunan bir koronun orkestraya eşlik etmesinin planlanmasıdır. Bu nedenle her iki bölümden de dinleyiciye ulaşan sesin akustik nitelikleri önemlidir.

Şapelde müzik icra edecek orkestraların genellikle yaylı sazlardan oluşması planlanmaktadır. Yaylı sazlardan keman, viyola ve viyolonsel in frekans aralıkları 63 Hz ile 2000 Hz arasında değişmektedir. Koro ile ilgili olarak da insan sesi erkekte en kalın vokal olan bas sesten kadında en tiz ses olan soprano ya kadar 63 Hz ile 1000 Hz arasında değişen bir frekans aralığına sahiptir (Long, 2006). Bu çalışmada ise bu ses aralıklarının büyük bir bölümünü de kapsayan ve akustik değerlendirmelerde kullanımı tercih edilen 125-4000 Hz arasındaki altı oktav bantın incelenmesi uygun ve yeterli görülmüştür.

Beranek, 1996'da yayımlanan çalışmasında 66 adet konser salonunu, müzisyenler, müzik eleştirmenleri ve klasik müzik dinleyicileri ile sınırlı bir dinleyici kitlesinin fikirlerinden yararlanarak değerlendirmiştir. Birçok insanın veya insan modelinin, kulaklarına küçük mikrofonlar yerleştirilerek konserler sırasında çift yönlü kayıt yapılmıştır. Daha sonra bu kayıtlar yine çift yönlü olarak, müzisyenler, müzik eleştirmenleri ve klasik müzik dinleyicilerinden oluşan bu gruba sırayla dinletilmiş ve bu dinleyiciler de konser salonlarını karşılaştırarak veya derecelendirerek beğenilerini ortaya koymuşlardır (Beranek, 1996).

Beranek, kayıtlar kullanmak dışında, bu dinleyicilere akustik koşulları hakkında bilgi sahibi olmak istediği konser salonlarından birinde yerinde bir konser dinletip buradaki akustik koşulları iyi tanıdıkları başka bir konser salonu ile karşılaştırmaya yönlendiren sorular sormak suretiyle de bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu çalışmaları sonucunda, konser salonlarını sınıflandırmıştır. Beranek, en iyi akustik kaliteye sahip üstün salonları A+ sembolü ile belirtmiştir; daha sonra, sırasıyla A'yı mükemmel, B+'yı çok iyi, B'yi iyi, C+'yı vasatın üstü,

C'yi ise vasat anlamına gelen semboller olarak kullanılmıştır (Beranek, 1996). Bu çalışmada da Beranek tarafından A+ (üstün), A (mükemmel) ve B+ (çok iyi) olarak sınıflandırılmış konser salonlarından elde edilmiş parametre değerlerinden, çeşitli öznel parametreler için kabul edilebilir değer aralıklarının belirlenmesinde yararlanılmıştır. Çizelge 5.5'te, bazı parametreler için Beranek tarafından belirlenmiş aralıkların yanı sıra diğer kaynaklardan ulaşılmış olan ve farklı akustikçilere ait bazı kabul edilebilir aralıklar da bulunmaktadır.

Çizelge 5.5 Çeşitli parametreler için kabul edilebilir değer aralıkları.

Parametre	Kabul Edilebilir Aralık
Yansıma Süresi (T_{60})	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s (Konser salonları için) (Barron, 2005). $1,8 \leq T_{60} \leq 2$ s (Küçük kiliseler için) (Long, 2006). $1,8 \leq T_{60} \leq 2$ s (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Erken Düşme Süresi (EDT)	$1,8 \leq EDT \leq 2,2$ s (Konser salonları için) (Barron, 2005). $1,9 \leq EDT \leq 2,4$ s (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Netlik (C_{80})	$-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB (Konser salonları için) (Barron, 2005). $-4 < C_{80} < +2$ dB (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Ayırdağılımlılık (D_{50})	$D_{50} > \%60$ (%90'ın üzerinde anlaşılabilirlik (Bkz. Bölüm 2.2.5 Şekil 2.13)) (Kuttruff, 1991).
Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80})	$0,1 \leq LF_{80} \leq 0,35$ (Konser salonları için) (Barron, 2005). $0,11 \leq LF_{80} \leq 0,23$ (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
1-IACC	$0,46 \leq 1-IACC \leq 0,71$ (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Seslilik (G)	$G > 0$ dB (Konser salonları için) (Barron, 2005). $4 \leq G_{mid} \leq 5,5$ dB (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Ses İletim Göstergesi (STI)	0,00-0,30 → Kötü 0,30-0,45 → Zayıf 0,45-0,60 → Vasat 0,60-0,75 → İyi 0,75-1,00 → Mükemmel (Long, 2006).
Bas Seslerin Oranı (BR)	$T_{60} > 2,2$ s ise 1,1-1,25 (Konser salonları için) (Beranek, 1996). $T_{60} \leq 1,8$ s ise 1,1-1,45 (Konser salonları için) (Beranek, 1996).
Tiz Seslerin Oranı (TR)	Boş hacim için: $(EDT_{2000}/EDT_{mid}) \geq 0,9$ $(EDT_{4000}/EDT_{mid}) \geq 0,8$ (Konser salonları için) (Mehta vd., 1999). Dolu hacim için: $(RT_{2000}/RT_{mid}) \geq 0,9$ $(RT_{4000}/RT_{mid}) \geq 0,8$ (Konser salonları için) (Beranek, 1996).

Beranek, Netlik'i (C_{80}) ve Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı'nı (IACC), öznel algılama üzerinde en çok etkilerinin olduğu 500, 1000 ve 2000 Hz oktav bant aralıklarında, Erken Yanal Enerji Oranı'nı (LF_{80}) ise 125, 250, 500 ve 1000 Hz oktav bant aralıklarında inceleyerek ortalamalarını almıştır. Çizelge 5.5'e de bu değerler yansıtılmıştır. Diğer parametrelerin etkileri ise Beranek tarafından tüm frekanslarda incelenmiş ve değerler bu incelemeler sonucunda belirlenmiştir (Beranek, 1996).

5.2.1 Ölçümler

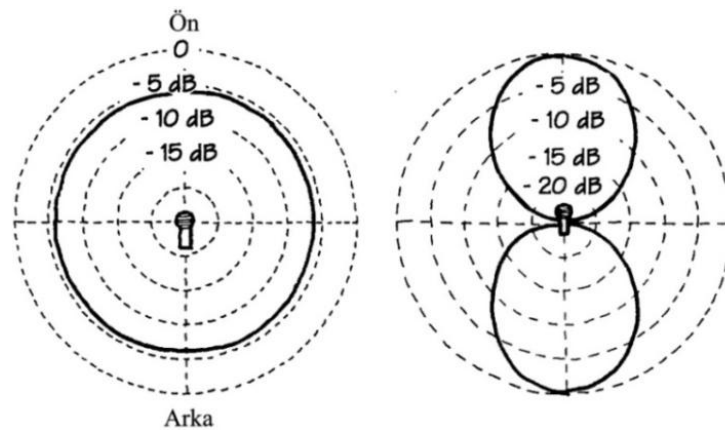
Ölçümlerde 12 yüzlü (Dodecahedron), omnidirectional bir hoparlör kaynak olarak kullanılmış ve önce orkestrayı temsilen apsis bölümüne, daha sonra da koroyu temsilen koro bölümüne yerleştirilerek ölçümler tamamlanmıştır. Kaynaktan MLS (Maximum Length Sequence) olarak 100 dB'lik bir sinyal hacme gönderilmiş ve hacmin Uyarı Yanıtı (Ekogram) çıkarılmıştır. MLS, süreli (periyodik) bir titreşimden meydana gelen ve de ses sinyali ile hacmin yanıtı arasındaki çapraz ilişkiden (cross-correlation) yararlanan, ikili ses sinyali dizisi olarak tanımlanabilir (Gomes ve Gerges, 2001; Türk Standardı, 2006). Çapraz ilişki (cross-correlation) ise değişkenler arasındaki benzerliği belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. MLS, "sahte rastgele" (pseudo-random) bir sinyal dizisi niteliğindedir. Bu ikili ses sinyalinin "sahte rastgele" olarak tanımlanmasının nedeni, yinelenen bu ses sinyallerinin birbirini rastgele izlenimi veren bir şekilde izlemesidir (Türk Standardı, 2006). Bu dizi kullanılarak yapılan ölçümlerde, hacmi uyarmakta kullanılan bu ikili dizi ile hacimden gelen yanıt arasında bir çapraz ilişki kurulur; ölçüm süresince hacmin değişmez olduğu varsayılırsa uyarı sinyali ile hacim arasındaki bu çapraz ilişki hacmin Uyarı Yanıtı (Ekogram) olarak gösterilebilir (Gomes ve Gerges, 2001). Bu yöntemde uyarıcı ses sinyali ve hacmin yanıtı arasındaki çapraz ilişkiye dayalı gerçekleşen işleme bağlı olarak bu ikisi ile ilişkili olmayan gürültü göz ardı edilebilir. Bu durum, Sinyal-Gürültü Oranı'nın yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Ölçüm sırasında ilişkili olmayan sesin göz ardı edilebilmesi hacimde konser ya da konuşma gibi günlük işlevler sırasında da sağlıklı ölçümler yapılmasını sağlayabilecek bir özelliktir ancak bu işlevler sırasında hacim değişmezlik özelliğini yitirmekte ve MLS dizisi ile ölçüm mümkün olmamaktadır. Ancak akustikçiler arasında bu konuda farklı düşünceler bulunmaktadır. Yine de son yıllarda MLS ikili ses sinyali dizisi, ölçümlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Akustikçiler, genellikle hacmin dolu durumunun Uyarı Yanıtı'nı MLS ile elde etmek için ölçümleri konser ya da konuşma başlamadan hemen önce yapmayı tercih etmektedir (Gomes ve Gerges, 2001).

Ölçümler sırasında alıcı olarak kullanılmış olan mikrofon, hem omnidirectional hem de bidirectional olarak çalışabilmektedir. Mikrofonu gelen ses sinyalleri Dirac 3.0 programı kullanılarak bilgisayar aracılığıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.1’de kaynak olarak kullanılan hoparlörün ve mikrofonun ölçümler sırasında çekilmiş fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.1 Şekilde solda mikrofon, sağda ise dodecahedron hoparlör görülmektedir.

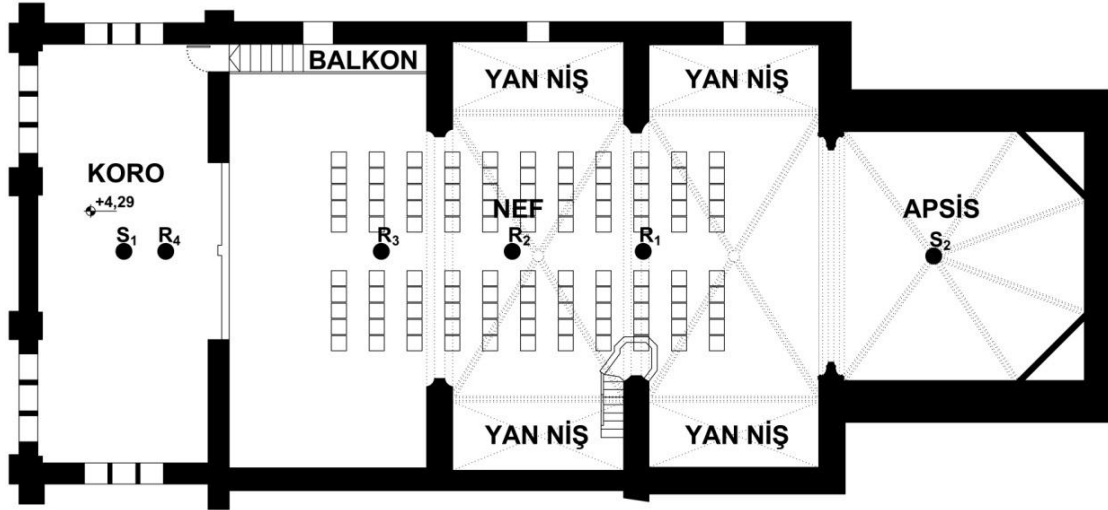
Kullanılan mikrofon hem omnidirectional yani her yönden gelen sese karşı eşit hassasiyette hem de bidirectional yani iki yönden gelen sese karşı hassas olarak çalışabilmektedir. Bidirectional mikrofon, polar diyagramının “8” biçiminde olmasından dolayı bazı akustikçiler tarafından figure-of-eight olarak da adlandırılır. Şekil 5.2’de omnidirectional ve bidirectional mikrofonların polar diyagramları görülmektedir.



Şekil 5.2 Solda omnidirectional mikrofonun polar diyagramı, sağda ise figure-of-eight (çift yönlü) mikrofonun polar diyagramı görülmektedir (Mehta vd., 1999).

Şekil 5.2’de omnidirectional mikrofonun tüm yönlerde eşit hassasiyette olduğunu gösteren polar diyagram ile figure-of-eight (çift yönlü) mikrofonun iki yönde eşit hassasiyette olduğunu gösteren polar diyagram görülmektedir (Mehta vd., 1999).

Şekil 5.3’teki krokide ölçümler sırasında alıcının ve kaynağın yerleştirildiği noktalar işaretlenmiştir.

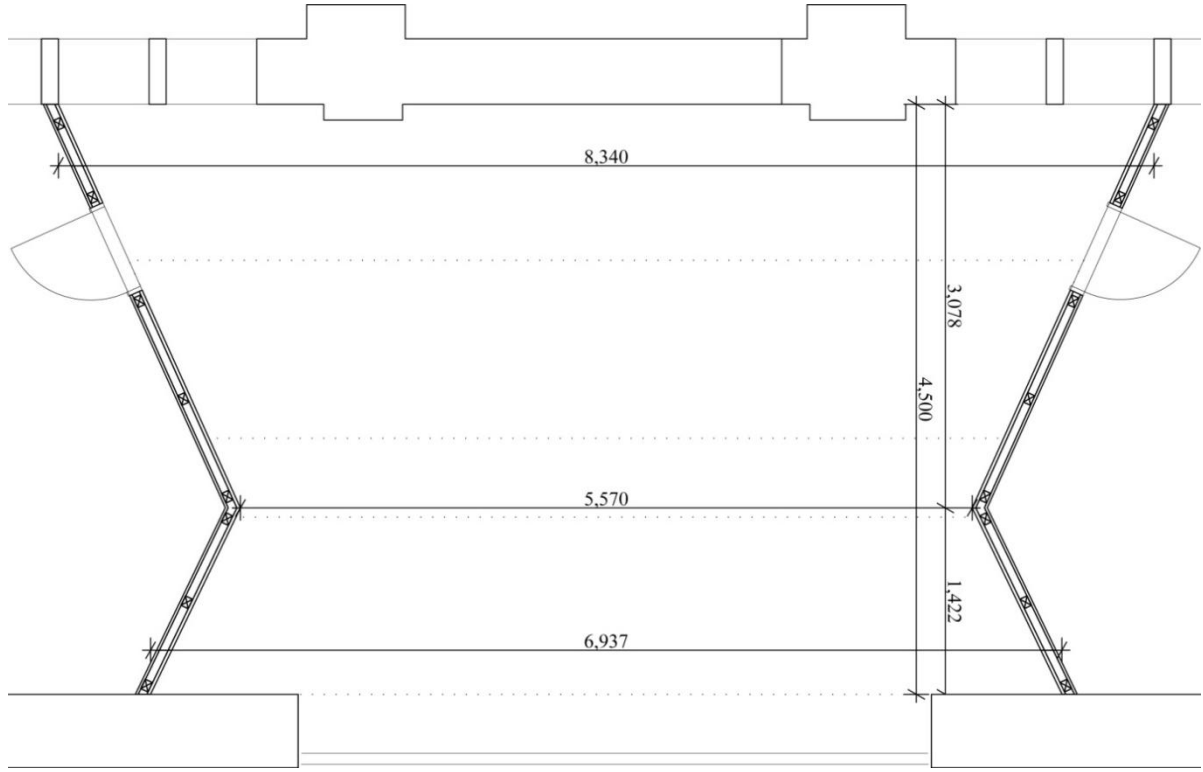


Şekil 5.3 Şekildeki krokide ölçümlerin yapıldığı kaynak ve alıcı noktaları görülmektedir.

Alıcı, nefte bulunan dinleyici bölümünde R1, R2, R3 sembolleriyle gösterilen noktalara ve de koro bölümünün ön tarafında R4 olarak adlandırılan noktaya yerleştirilmiştir. Kaynak, ise koro bölümünde S1 ile gösterilen, apsisi bölümünde de S2 ile gösterilen noktalara yerleştirilmiştir. R1 ve R3 noktalarının dinleyici bölümünde en ön ve en arka sıralara yerleştirilmeyişinin nedeni, alıcının kaynağa çok yakın olması ile oluşabilecek ölçüm hatalarını olabildiğince azaltmaktır. Çünkü alıcının kaynağa çok yakın olması, alıcıya gelen ses sinyalinin dolaysız ses ağırlıklı olmasına ve yansımış ses ve ona bağlı parametrelerin sağlıklı ölçülememesine neden olmaktadır.

Ölçümler sırasında görülmüştür ki koro bölümünde bulunan ve kaynağının ses enerjisini nefteki dinleyici bölümüne yansıtan paneller, 2004 yılında gerçekleştirilen projede önerilenden farklıdır (Bkz. Bölüm 4.2, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te bu yeni panellerin plan ve kesit çizimleri görülmektedir.

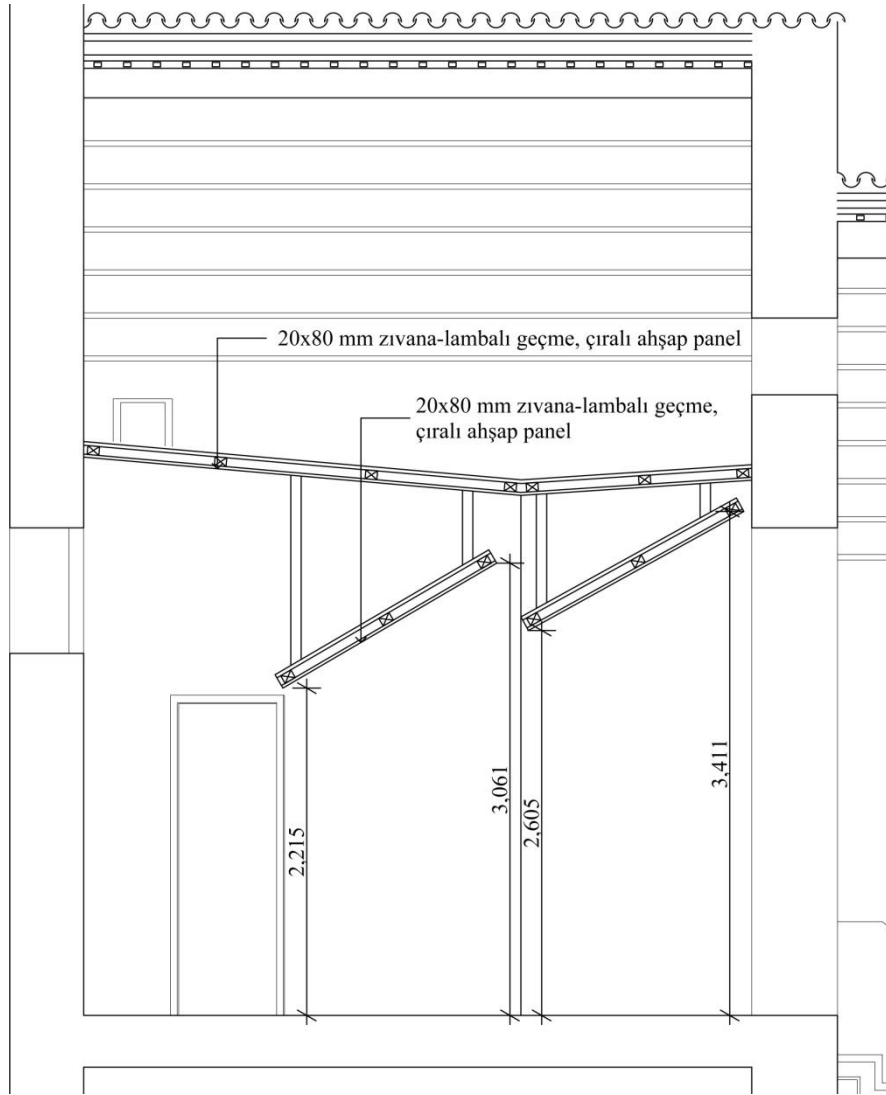
Şekil 5.4’teki planda ve Şekil 5.5’teki kesitte görüldüğü gibi ahşap panellerle tek bir kapalı kabuk oluşturulmuş ve koro bölümünün alanı küçültülmüştür. 2004 yılında gerçekleştirilen öneri projede ise bu alanı küçültülen kabuk daha farklı bir biçime sahiptir; ayrıca, bu öneri projede plan ve kesit düzleminde bu kabuktan bağımsız olarak yansıtıcılar da yerleştirilmiştir.



Şekil 5.4 Koro bölümünde bulunan yeni yansıtıcı panellerin planı.

Şekil 5.4'te plan düzleminde görülen uygulanmış projede ise koro bölümünün hacmini küçülten kabuğun ön bölümü plan düzleminde yansıtıcı olarak biçimlendirilmiş ve bu düzlemde kabuktan bağımsız, yanal yansıtıcılar yerleştirilmemiştir.

Şekil 5.5'te ise düşey düzlemdeki kabuk ve yansıtıcıların kesiti görülmektedir. Bu düzlemde yerleştirilen yansıtıcılar, 2004 yılında önerilen projedeki yansıtıcılara çok benzer bir biçime sahiptir (Bkz. Şekil 4.15). Ancak kabuk, düşey kesit düzleminde de öneri projede olduğundan farklıdır. 2004 yılında önerilen projede kabuk koro bölümünün arkasında bulunan duvarı kapatarak bu duvarı hacmin dışında tutmaktadır. Uygulanan projede ise koro bölümündeki kabuk oluşturulurken bu bölümün arkasının kapatılmamasının ve kabuğun hem plan hem kesit düzleminde arka duvara doğru genişlemesinin nedeni bu bölümdeki, ön cepheden de görülebilen, vitray pencerelerin koro bölümüne katılmak istenmesidir. Bunun sayesinde hem şapelin mimari ve tarihî bir özelliği iç mekânda da korunmuş hem de koro bölümüne doğal ışık almak mümkün olmuştur.



Şekil 5.5 Koro bölümündeki yeni yansıtıcı panellerin kesiti.

5.2.2 Simülasyon

Ölçümler, şapel kullanıma açıldıktan sonra ve de şapelin ölçümler için kullanılmasına izin verilen kısıtlı süre içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ne yazık ki bu durum, ölçümler sırasında kullanılan Dirac 3.0 programında, Ses Basınç Düzeyi (SPL) ölçümleri için gerekli olan kalibrasyonun yapılamamasına ve ayrıca şapeldeki fon gürültüsünün de ölçülememesine neden olmuştur. Ses Basınç Düzeyi değerlerinin elde edilmesiyle ilgili olarak Odeon 7.01 programında gerçekleştirilen simülasyonlardan yararlanılmıştır.

Müzik amaçlı hacimlerde, akustik ölçüm sırasındaki koşullarla müzik icrası sırasındaki akustik koşullar arasında birçok açıdan farklılıklar vardır. Bunlardan en önemlisi, icra sırasında, salonda dinleyicilerin ve sahnede de müzisyenlerin varlığının yarattığı yutucu yüzey alanındaki artıştır. Hacmin dolu ve boş durumları için oluşan akustik koşullardaki bu farkı ortadan kaldırmak için uygulanabilecek çözüm yollarından biri, Hidaka, Nishihara ve

Beranek'in 2001 tarihli çalışmalarında da önerdikleri gibi, ölçümler sırasında dinleyicilerin bulunması gereken yerlere insanların yutuculuğuna yakın elemanlar koymaktır (Barron, 2005). Fakat bunu gerçekleştirmek oldukça zor ve masraflı bir iştir. Gerek malzeme eksikliği, gerekse kısıtlı zaman ölçümler sırasında bu koşulların oluşturulmasına olanak vermediğinden şapelin dolu durumunun, akustik parametrelerin değerleri üzerindeki etkisi de Odeon programı kullanılarak simüle edilmiştir.

5.2.2.1 Odeon Programında Simülasyon Yöntemi

Şimdiye kadar, bir hacmin, bilgisayar yardımıyla akustik simülasyonunu yapmak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri, ışın izleme (ray-tracing) yöntemidir. Işın izleme yöntemi, bir kaynaktan çıkan ve hacimdeki yüzeylere çarparak, yüzeyin yutuculuk katsayısına göre enerji kaybeden çeşitli parçacıkların izlenmesiyle işler. Bu yöntemde bir yüzeye çarpan parçacık, düzgün yansımayla yansıyarak yön değiştirir. Diğer bir simülasyon yöntemi olan görüntü kaynak (image source) yönteminde ise her bir düzgün yansıma hacmin tüm yüzeylerinde kaynağın ayna görüntüsünün oluşturulmasıyla elde edilir. Dikdörtgen planlı, kutu şeklinde bir odada bu yöntemin işlemesi çok kolaydır fakat daha karmaşık bir biçime sahip olan hacimlerde ayna görüntülerini ve bu görüntülerin etkili olduğu alanları tespit etmek güçtür. Üstelik tespit edilen bütün görüntü kaynaklar, alıcıların bulundukları noktadaki akustik koşulları etkilememektedir (Rindel, 2000).

Odeon programı ise iki yöntemi bir arada kullanarak akustik simülasyon konusunda daha verimli bir sonuç elde etmiştir. Bu birleşik yöntem, ışınların takip ettikleri yol ve çarptıkları yüzeyler izlenerek yararlı görüntü kaynakların tespit edilmesi üzerine kuruludur. Yansıma dizileri takip edilir ve alıcı noktasındaki akustik koşullara etkili olup olmadıkları belirlenir. Aynı görüntü kaynağı tanımlayan birden fazla ışın olması olasılığına karşı erken yansılarda oluşmuş olan görüntü kaynakların takibini yapmak gereklidir. Odeon programı bunun için ikincil kaynak (secondary source) yöntemini kullanır. Bu yöntem, erken sestten geç sese geçildiğinde ışınların hacmin biçimini ve görüntü kaynakları tespit eden araçlar olmaktan çıkarak ses enerjisi taşıyıcıları olarak çalışmaları şeklinde işler. Her ışın bir yüzeye çarptıktan sonra çarpma noktasında ikincil bir kaynak oluşur. Bu ikincil kaynağın enerjisi, birincil kaynağın toplam enerjisi ışınların sayısına bölünerek ve bu işlem sonucunda elde edilen sayı da ışının o zamana kadar çarptığı yüzeylerin yansıtma katsayılarıyla çarpılarak bulunur (Rindel, 2000). Erken ve geç yansımaların ayrılıp ikincil kaynağın belirlenmesiyle ortaya çıkan geç ışın (late ray) yansımaları sesin yüzeylerden dağılma biçiminin de simüle edilebilmesine olanak tanır. Odeon'da kullanılabilecek dağıtıcılık yöntemlerinden biri de

Lambert'tir. Bu yöntem kısmen Lambert Kosinüs Yasası'na* dayandığı için bu isimle anılmaktadır. Gerçeğe en yakın sonucu elde etmek için simülasyonun bu yöntem seçilerek yapılması doğru olur (Christensen, 2003).

5.2.2.2 Modelleme Aşaması

Şapel, bir CAD programı kullanılarak modellenmiş ve ardından DXF formatına çevrilerek Odeon programında akustik simülasyon için kullanılmıştır. Şekil 5.6'da şapelin modelinden iç perspektifler görülmektedir.



Şekil 5.6 Şapelin modelinden iç perspektifler.

Santa Anna Şapeli'nin çatısı dört parçalı kaburgalı tonoz sisteminden meydana gelmektedir. Bu durum, şapel içinde birçok eğrisel yüzeyin varlığını beraberinde getirir. Simülasyon için kullanılan Odeon programı düzlemsel yüzeylerle çalıştığından, söz konusu tonoz çatı sistemi modelleme sırasında kırık yüzeylerden oluşturulmuştur. Yüzeylerin sayısı arttıkça programın akustik simülasyon süresi de uzamaktadır. Bu nedenle gerek kaburgalar ve sütunlar üzerindeki süslemeler gerekse yan nişlerde bulunan ikonalar modele yansıtılmaktan kaçınılmıştır.

5.2.2.3 Simülasyon Sırasındaki Kabuller

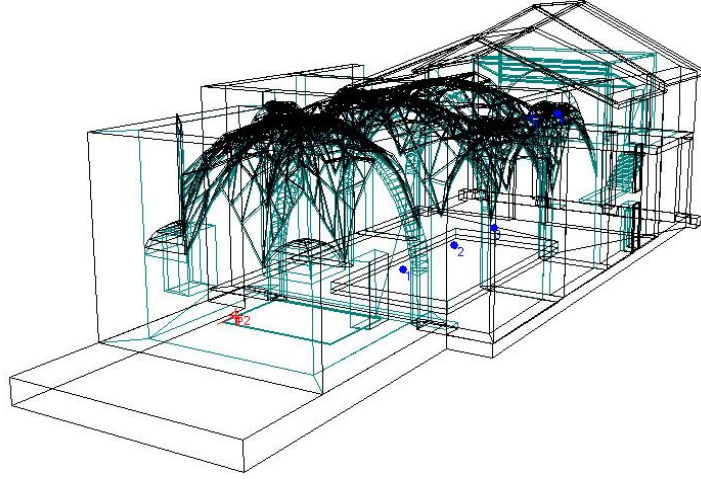
Simülasyon sırasında, kiliselerdeki yüksek Yansıma Süreleri hesaba katılarak Uyarı Yanıtı hesaplama süresi 5000 ms seçilmiştir. Işınlara sayısı Program tarafından tavsiye edilen sayı olan 139874 olarak belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı 20°C ve göreceli nem %50 alınmıştır.

Odeon programında yüzeylerin dağıtıcılık yöntemini belirlemek mümkündür. Gerçeğe en yakın sonuçları elde edebilmek amacıyla kısmen Lambert Kosinüs Yasası'na dayanan

* Erkesel ya da ışıksal ışıklılığın, yüzey üzerindeki yarı kürenin tüm doğrultuları için aynı kaldığı bir yüzey parçacığı için; yüzey parçacığının normali ile α açısı yapan bir doğrultudaki erkesel ya da ışıksal yoğunluk, yüzeyin normali doğrultusundaki erkesel ya da ışıksal yoğunluk ile $\cos \alpha$ 'nın çarpımına eşittir (Sirel, 1997). Sesin de ışık karakteri gösterdiği varsayıldığından ve ses de ışın çalışmalarıyla incelenebildiğinden, sesin yüzeyden yansımaları incelenirken bu yöntemden yararlanılabilir.

Lambert yöntemi tercih edilmiştir. Yüzeyle, program tarafından bu yöntemle göre tavsiye edilen dağıtıcılık katsayıları atanmıştır. Yüzeyle atanan dağıtıcılık katsayıları Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Şekil 5.7’de Odeon programında belirlenmiş olan kaynak ve alıcıların yerleşimi şapelin modeli üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Şapelin modeli ve Odeon’da kaynak ve alıcıların yerleşimi.

Simülasyonda, ölçümlerde de olduğu gibi biri apsis bölümünde biri de koro bölümünde olmak üzere iki kaynak belirlenmiştir. Dinleyici bölümünün simetri ekseninde belirlenen üç noktaya ve de koro bölümünde bir noktaya alıcılar yerleştirilmiştir. Bu kaynak ve alıcıların yerleşimi, ölçümlerde olduğu gibidir ve Şekil 5.3’te plan düzleminde de görülmektedir. Kaynak gücü 90 dB atanmış ve kaynaklar, omnidirectional nokta kaynak olarak tanımlanmıştır; yerden yükseklikleri 1,5 m’dir. Alıcılarsa dinleyici bölümüne eşit aralıklarla yerleştirilmiştir ve yerden yükseklikleri 1 m’dir. Alıcılardan bir tanesi ise koro bölümünde bulunmaktadır; bu alıcının da, diğer alıcılarda olduğu gibi, koro bölümü döşemesinden itibaren yüksekliği 1 m olarak tanımlanmıştır.

5.2.2.4 Malzeme Özellikleri

Odeon programı, 63’den 8000 Hz’e her bir oktav bant için yutma çarpanlarını da içeren bir malzeme kütüphanesi barındırmaktadır. Programda hazır bulunan malzemeler kullanıldıysa da yüzeylerin büyük bölümüne, en gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla, yutuculukları 2004 yılında yapılmış ölçümlere göre ayarlanarak oluşturulan yeni malzemeler atanmıştır. Çizelge 5.6’da da görünen 802 ve 603 kod sayılı malzemeler programın kütüphanesinde oldukları şekilde kullanılırken kilise iç hacminin tavan, döşeme ve duvar yüzeyleri 2468 kodu ile, kilise banklarının dolu ve boş hâlleri ise 2465 ve 2469 kodları ile yeniden tanımlanmıştır.

Lambert dağıtıcılık yöntemi tercih edildiğinde büyük ve düz yüzeyler için dağıtıcılık katsayısı olarak 0,1'in dinleyiciler gibi düzensiz yüzeyler içinse dağıtıcılık katsayısı olarak 0,7'nin alınması doğru olur (Christensen, 2003). Bu bilgiye dayanarak kilise banklarının dolu ve boş hallerinin dağıtıcılık katsayısı 0,7 yansıtıcı paneller ve hacmin diğer yüzeylerinin dağıtıcılık katsayısı ise 0,1 alınmıştır.

Çizelge 5.6 Odeon'da kullanılan malzemelerin listesi.

Malzeme Kodu	Malzeme Adı	Yutma Çarpanları								Dağıtıcılık Katsayısı (Q)
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
2468	Tonoz Sıvası	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,025	0,025	0,10
2468	Duvar Sıvası	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,025	0,025	0,10
2468	Döşeme Kaplamaları	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,025	0,025	0,10
603	Masif Ahşap Kapılar	0,14	0,14	0,1	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10
802	Yansıtıcı paneller	0,12	0,12	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
2465	Dolu Kilise Bankları	0,57	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86	0,86	0,70
2469	Boş Kilise Bankları	0,37	0,55	0,5	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05	0,70

5.3 Parametrelerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, sırasıyla T_{30} , EDT, C_{80} , LF_{80} , D_{50} , STI ve SPL parametreleri kaynak koroda ve kaynak apsiste olmak üzere edinilmiş değerleri ile yorumlanmıştır. Parametreler incelenirken grafiklerde gösterilen kabul edilebilir aralıklarda T_{30} için Barron, EDT, C_{80} ve LF_{80} içinse Beranek tarafından belirlenmiş olan değerler esas alınmıştır (Bkz. Çizelge 5.5). Diğer parametreler için grafiklerinde gösterilen kabul edilebilir aralıklar, Çizelge 5.5'te gösterildiği gibidir.

STI dışındaki tüm parametreler değerlendirilirken önce, dört ölçüm noktasında elde edilen değerlerin altı oktav banttaki dağılımları incelenmiş sonra da yararlı frekanslardaki hacim ortalamalarına yer verilmiştir. Şapel içinde belirlenmiş olan alıcı noktaları ve kaynağın yerleşimi Şekil 5.3'te plan düzleminde görülmektedir. Son olarak da alıcı noktalarında yararlı frekanslarda elde edilen parametre değerlerinin ortalamaları incelenmiştir. Ayrıca T_{30} ve EDT parametrelerinin değerlendirmelerinde Sıcaklık ve Parlaklık öznel parametreleri de birer çizelge oluşturularak incelenmiştir.

Kaynak korodayken, STI dışında tüm parametrelerin değerlendirmelerinde, genel dağılım grafiği hariç, parametrenin R4 noktasında elde edilen değerlerine yer verilmemiştir. Bunun nedeni, kaynak korodayken R4 noktasının, kaynağa çok yakın olmasından dolayı, yansımış sesin değil dolaysız sesin etkisinde kalması ve bu durumun sağlıklı bir değerlendirme

yapılmasını engellemesidir (Bkz. Şekil 5.3). STI, değerleri yararlı oktav bantlarda değişim göstermediğinden ölçüm noktalarındaki dağılımı şapelin dolu ve boş durumları için tek bir grafikte gösterilerek incelenmiştir.

Parametre değerlerinin ortalamaları, yararlı oktav bantlarda incelenmiştir. Yararlı oktav bantlar, nesnel bir parametrenin ilişkili olduğu öznel parametre üzerinde en çok etkili olduğu oktav bantlardır. C_{80} parametresi için yararlı oktav bantlar 500, 1000 ve 2000 Hz, LF_{80} içinse 125, 250, 500 ve 1000 Hz'dir. Diğer parametrelerde altı oktav bant da değerlendirmeye katılmıştır.

Parametreler incelenirken, şapel boşken ölçüm noktalarında elde edilen değerlerin altı oktav banttaki dağılımlarına yer verilmiştir. Hacim ortalamaları ve yararlı oktav bantların alıcı noktalarındaki ortalamaları incelenirken Odeon programında şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucunda elde edilen parametre değerleri boş hacimdeki değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu durum sadece Ses Basınç Düzeyi (SPL), incelenirken değişiklik göstermektedir. Ölçümler sırasında kısıtlı bir zamana sahip olunması, ölçümler için kullanılan Dirac 3.0 programında, Ses Basınç Düzeyi ölçümleri için gerekli olan kalibrasyonun yapılamamasına ayrıca şapeldeki fon gürültüsünün de ölçülememesine neden olmuştur. Şapelin hem boş hem dolu durumundaki Ses Basınç Düzeyi değerlerini elde etmek için Odeon 7.01 programında gerçekleştirilen simülasyonlardan yararlanılmıştır. Hacmin dolu durumunda elde edilen parametre değerleri, bir konser sırasında gerçekleşen koşullara daha uygun olduğundan noktalarda elde edilen Ses Basınç Düzeyi (SPL) değerlerinin frekanslardaki dağılımı için de şapelin dolu durumunda elde edilen simülasyon sonuçlarından elde edilen grafik kullanılmıştır.

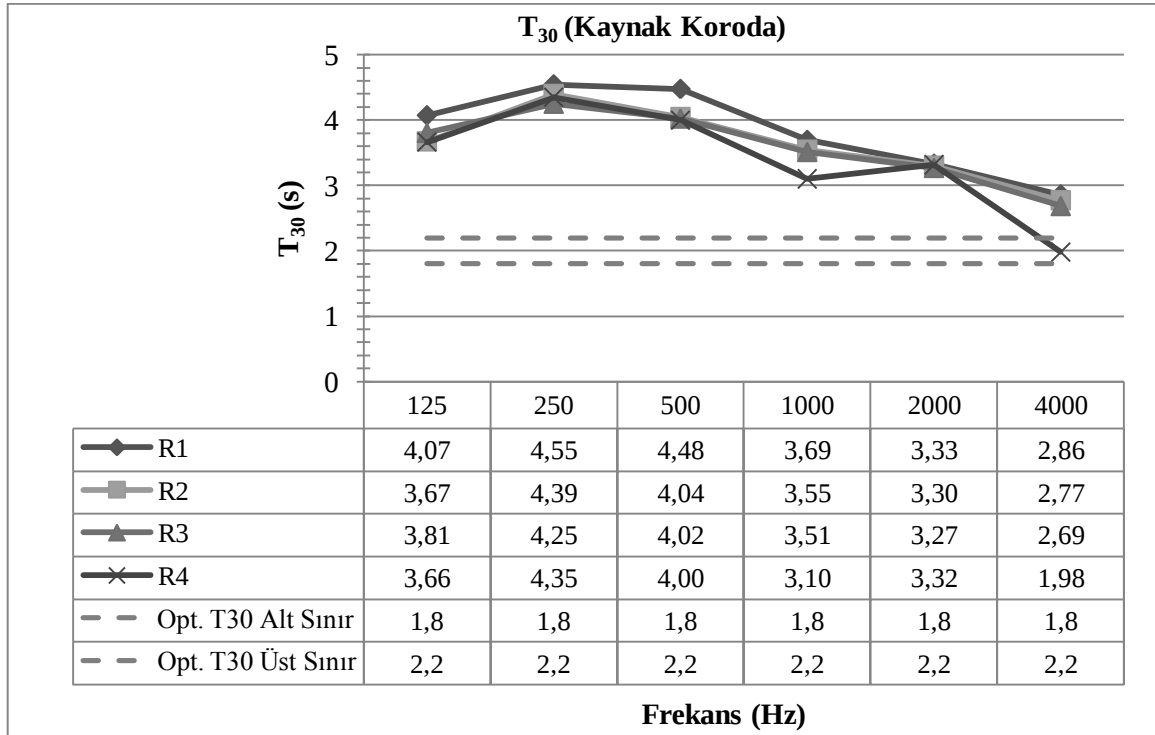
Bölüm 5.4'ü oluşturan sonuç bölümünde ise tüm parametrelerle ilgili genel bir yorum yapılarak hacimde akustik koşulları iyileştirmek adına yapılabileceklerle ilgili kısa bir öneride de bulunulmuştur.

5.3.1 Yansıma Süresi (T_{30})

Kaynak Koroda:

Başlangıç Ses Basınç Düzeyi 0 kabul edildiğinde, bu düzeyin, düşüş eğrisi üzerinde -5 dB'den - 35 dB'e düşmesi sırasında geçen sürenin iki katı olarak kabul edilen T_{30} değeri, Yansıma Süresi (T_{60})'ni belirlemekte kullanıldığından (Bkz. Bölüm 2.2.1), bu bölümde de T_{30} , T_{60} için belirlenmiş kabul edilebilir aralık temel alınarak değerlendirilecektir.

Şekil 5.8’de, kaynak koroda iken R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarında ölçülen T_{30} değerleri görülmektedir. Bu dört alıcı noktasının şapeldeki yerleri Şekil 5.3’te plan düzleminde görülebilir.



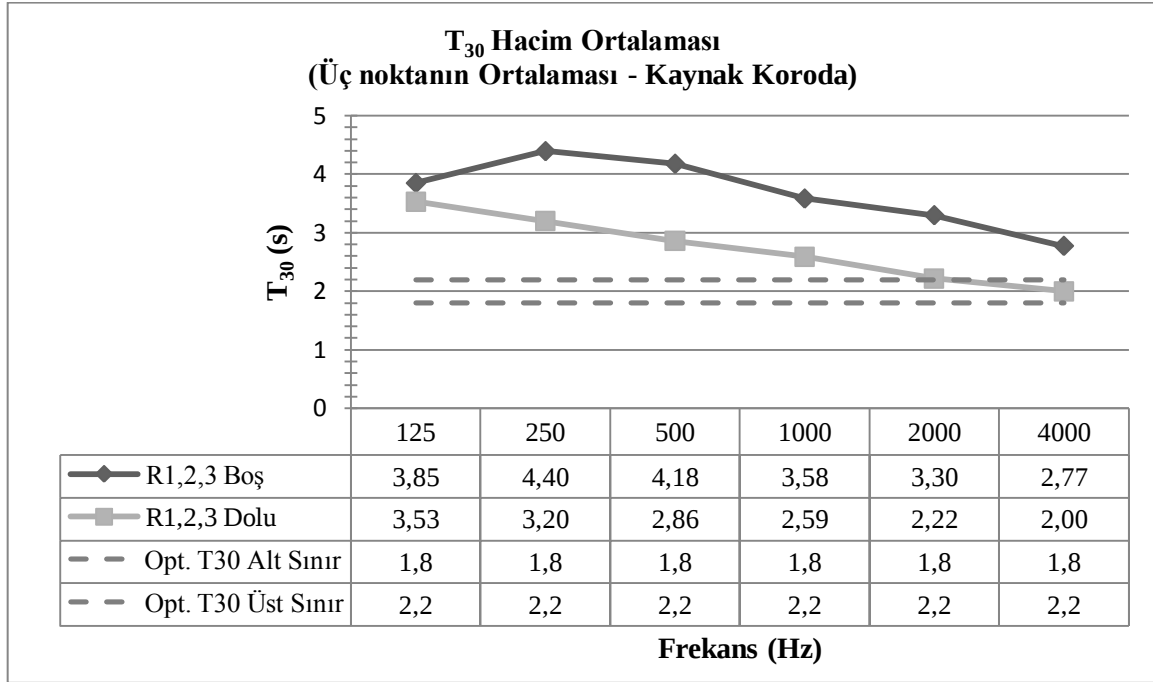
Şekil 5.8 Kaynak korodayken şapel içindeki noktalarda ölçülen Yansışım Süresi’nin altı oktav banttaki dağılımı.

Tüm ölçüm noktalarında da elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır; bu durum şapelde Düzgün Yayılmışlık olduğunun göstergesidir. Ancak, R4 alıcı noktası koroda bulunan kaynağa çok yakın olduğundan, yansımış sestten çok dolaysız sesin etkisi altındadır. Bu durum, bu noktada elde edilen parametre sonuçlarıyla sağlıklı bir değerlendirme yapılmasını engellediğinden, bu bölümün devamında ve diğer parametrelerin ortalamalarının değerlendirilmesinde, kaynak korodayken, R4 noktasında ölçülmüş olan değerler dikkate alınmayacaktır.

Hacimde önemli bir yutucu yüzey oluşturan dinleyicilerin varlığı, yüksek frekansların olduğu kadar alçak frekansların da Yansışım Süresi’ni ayrıca Parlaklık ve Sıcaklık gibi parametreleri etkilendiği için dinleyicilerin bulunmadığı bir mekânın akustik değerlendirmesi yanıltıcı olabilir. Bu nedenle hacmin dolu durumunun simülasyonu yapılarak dolu hacimde oluşan akustik koşullar elde edilmiştir.

Şekil 5.9’da altı oktav banttaki T_{30} değerlerinin hacim ortalamaları görülmektedir. Şapelin boş hâlinde tüm frekanslar olması gerekenden yüksekken, şapel doluyken tüm frekanslarda bir

düşüş gözlenmektedir. Fakat Şekil 5.9’da da görüldüğü gibi şapel dolu durumdayken bile yansısim süreleri, müzik işlevli hacimler için istenenin üstündedir.



Şekil 5.9 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Yansısim Süreleri’nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.

Şapelin dolu durumunda elde edilen T_{30} değerlerinin hacim ortalaması ancak 4000 Hz’de kabul edilebilir aralıktadır. Yansısim Süreleri’nin genel olarak yüksek çıkması hacmin Canlı olarak tanımlanabileceği anlamına gelir. Ancak uzun Yansısim Süresi’nin, hızlı tempolu müziklerde ve konuşmada maskeleye akustik kusuruna da yol açabileceği unutulmamalıdır.

Yansısim Süreleri, şapelin boş hâlinde de dolu hâlinde de alçak frekanslara doğru bir artış göstermektedir ki bu durum, Bas Seslerin Oranı’na bağlı olarak akustik Sıcaklık hissini arttıracığından, müzik amaçlı hacimlerde istenen bir durumdur (Bkz. Bölüm 2.1.4). Sıcaklık parametresi daha ayrıntılı olarak Çizelge 5.7 üzerinden incelenmiştir.

Koro bölümünün kapısı kapalı iken şapelin hacmi yaklaşık 1550 m³’tür. Bu hacimde bir kilisenin sahip olması gereken en yüksek Yansısim Süresi 2 s’dir (Long, 2006). Barron’a göre ise konser amaçlı bir hacmin Yansısim Süresi 2,2 s’nin üstüne çıkmamalıdır. T_{60} , teoride tüm yüzeylerden gelen yansımalarla belirlendiğinden, T_{60} değerleri, hacmin biçiminden bağımsızdır (Mehta vd., 1999). Ancak bu değerler, hacimdeki yüzey malzemeleriyle yakından ilişkilidir. Çizelge 5.7’de de görüldüğü gibi şapel boşken orta frekansların Yansısim Süresi ortalaması 3,88 s, şapel dolu iken ise bu ortalama 2,73 s’dir; bu RT_{mid} değerleri de hacim ortalamaları gibi kabul edilebilir aralığın üstünde çıkmıştır. Bu durum, şapelin mimari ve

tarihî özelliklerini de bozmayacak şekilde, örneğin paneller ve de gözenekli kumaşlar üzerine basılmış ikonaların dekoratif amaçlı kullanımı ile çözülebilir. Hacimde bu gibi elemanların kullanımı yutuculuğu arttıracığından Yansıyım Süreleri düşecektir.

Çizelge 5.7 Kaynak korodayken elde edilen Yansıyım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.

Frekans (Hz)	<u>125</u>	<u>250</u>	<u>500</u>	<u>1000</u>	<u>2000</u>	<u>4000</u>	RT_{mid}^*	Parlaklık	Sıcaklık
T_{30} (Boş) (s)	3,85	4,40	4,18	3,58	3,30	2,77	3,88	0,78	1,06
T_{30} (Dolu) (s)	3,53	3,20	2,86	2,59	2,22	2,00	2,73	0,77	1,24

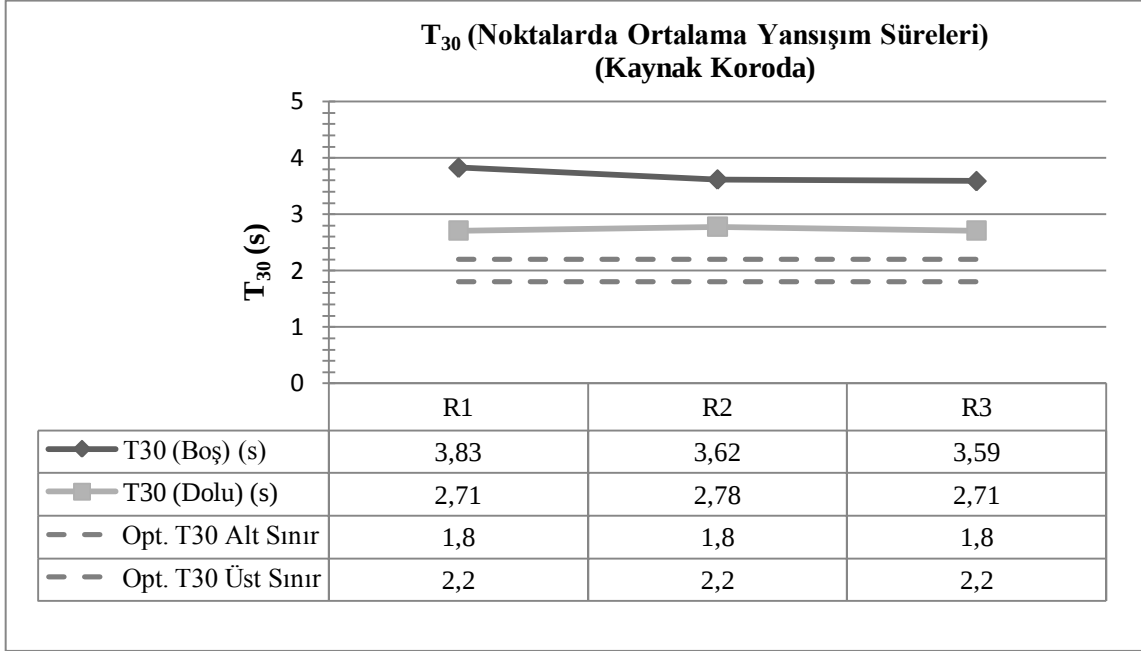
Çizelge 5.7'de de görüldüğü gibi Sıcaklık öznel parametresinin, Bas Seslerin Oranı ile bulunan değerleri, şapel boş iken 1,06 ve şapel dolu iken 1,24'tür. T_{60} 1,8 s'den büyük olduğunda Bas Seslerin Oranı 1,1-1,25 arasında olmalıdır (Bkz. Çizelge 5.5). Şapel boş hâlde iken elde edilen değerler, bu aralığa yaklaşırsa da, Sıcaklık değeri bu aralığın dışında ve düşük çıkmaktadır. Ancak şapel dolu durumda iken 1,24 oranı ile Sıcaklık hissini sağlayacak değer aralığı içinde kalmaktadır.

Beranek, Parlaklık öznel parametresini değerlendirmede, dolu salonlar için, T_{60} 'ın frekanslardaki oranlarını kullanmıştır (Beranek, 1996). Bu çalışmada da Parlaklık öznel parametresi, hacmin dolu durumu için T_{30} 'un frekanslardaki dağılımı ile incelenecektir. Boş hacimdeki Parlaklık öznel parametresi değerlerine ise, EDT incelenirken değinilecektir. Beranek (1996) tarafından belirlenmiş olan kabul edilebilir değerlere göre RT_{2000}/RT_{mid} değeri 0,9'dan büyük veya eşit, RT_{4000}/RT_{mid} değeri ise 0,8'den büyük veya eşit olmalıdır (Bkz. Çizelge 5.5). Şapelin dolu durumunda RT_{2000}/RT_{mid} değeri 0,81 ve RT_{4000}/RT_{mid} değeri 0,73 çıkan şapelde Parlaklık hissi yeterli değildir. Zaten Yansıyım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımına bakıldığında yüksek frekansların orta frekanslara göre düşük değerler aldığı açıkça görülmektedir.

Şekil 5.10'daki grafikte Yansıyım Süresi ortalamalarının dinleyici bölümünde bulunan üç alıcı noktasındaki dağılımı görülmektedir. Şapel hem doluyken hem de boşken her üç alıcı noktasında da elde edilen Yansıyım Süresi ortalamalarının birbirine oldukça yakın olduğu bu grafikte açık bir şekilde görülmektedir yani tüm alıcı noktalarındaki Yansıyım Süreleri hacimde Düzgün Yayılmışlık göstermektedir. Bunun bir nedeni, hacmin biçiminin ve yüzey malzemelerinin yansıyımını arttırarak sesin hacmi doldurmasını sağlamasıdır; diğer bir nedeni

* 500 ve 1000 Hz'deki T_{60} değerlerinin ortalaması (Bkz. denklem (2.1)).

de yan nişlerde bulunan aziz ve azize heykellerinin ve bunların üzerlerinde bulunduğu süslü sunakların dağıtıcı yüzeyler oluşturmaktadır.

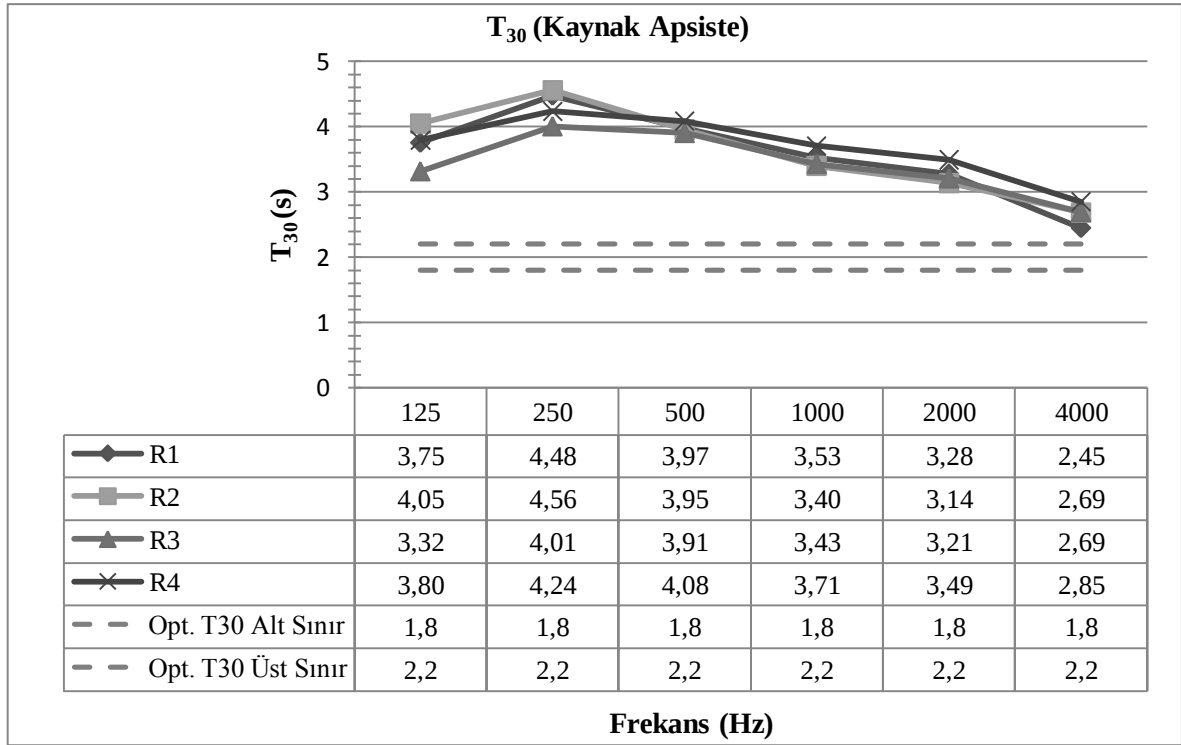


Şekil 5.10 Yansıma Süreleri'nin dinleyici bölümündeki üç alıcı noktasındaki dağılımı.

Şekil 5.10'daki grafikte de görüldüğü gibi hacimde ses yutucu yüzey alanını arttıran dinleyicilerin varlığı, tüm noktalarda Yansıma Süreleri'nin düşmesine neden olmuş. İse de tüm alıcı noktalarındaki Yansıma Süresi dağılımları kabul edilebilir aralığın üzerinde çıkmıştır.

Kaynak Apsiste:

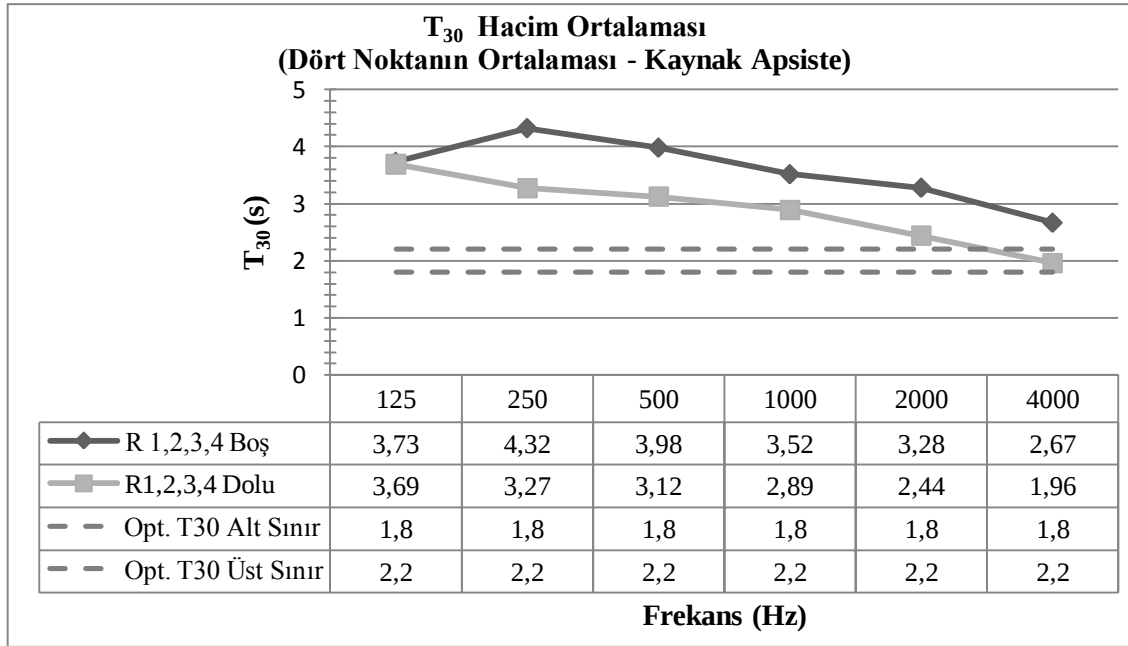
Kaynak apsiste iken şapeldeki ölçüm noktalarında elde edilen T₃₀ değerleri Şekil 5.11'deki grafikte görülmektedir. R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir. Şekil 5.11'deki grafikte de görüldüğü gibi Yansıma Süreleri'nin dört ölçüm noktasındaki sonuçları da birbirine oldukça yakındır yani şapelde Yansıma Süreleri Düzgün Yayılmışlık göstermektedir. Fakat kaynak korodayken olduğu gibi kaynağın apsiste olduğu bu ölçümlerde de Yansıma Süreleri olması gerekenin oldukça üstündedir. Şapelde Yansıma Süreleri'nin bu denli yüksek çıkmasının nedeni yutucu malzemelerin eksikliğidir. Şapel içinde ne alçak frekansları yutabilecek paneller ne de yüksek frekansları yutabilecek gözenekli yüzey malzemeleri vardır. Şapelin yüzeylerinin büyük bölümünü kaplayan sıva, sert ve yansıtıcı yüzeyler oluşturmaktadır. Ayrıca döşeme kaplaması da yansıtıcı bir malzeme olan taştır.



Şekil 5.11 Kaynak apsisteyken şapel içindeki noktalarda ölçülen Yansıma Süresi'nin altı oktav banttaki dağılımı.

Şekil 5.11'deki grafikte Yansıma Süreleri'nde görülen bu yüksek değerler yutucu bir yüzey oluşturacak olan dinleyicilerin varlığı ile bir miktar düşecektir. Hacimde önemli bir yutucu yüzey oluşturan dinleyicilerin varlığı, oktav bantlarda elde edilen Yansıma Süresi'ni, ayrıca Parlaklık ve Sıcaklık gibi parametreleri etkilemektedir. Bu nedenle hacmin dolu durumunun simülasyonu yapılarak dolu hacimde oluşan akustik koşullar da elde edilmiştir.

Şekil 5.12'deki grafikte, şapelin boş hâlinde yapılan ölçümler ve dolu durumunun simülasyonu sonucunda elde edilen T₃₀ değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Bu grafikte de görüldüğü gibi Yansıma Süreleri, şapelin boş hâlinde de dolu hâlinde de alçak frekanslara doğru bir artış göstermektedir ki bu durum, Bas Seslerin Oranı'na bağlı olarak akustik Sıcaklık hissini arttıracığından, müzik amaçlı hacimlerde istenen bir durumdur. Sıcaklık parametresi daha ayrıntılı olarak Çizelge 5.8 üzerinden incelenmiştir. Yansıma Süreleri, dinleyicilerin varlığı nedeniyle, beklenildiği gibi, bir miktar düşmüş olsa da olması gereken aralığın üstündedir.



Şekil 5.12 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Yansıma Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.

Kaynak korodayken olduğu gibi kaynak apsisteyken de şapelin dolu durumunda elde edilen T_{30} değerlerinin hacim ortalaması sadece 4000 Hz'de kabul edilebilir aralık içindedir. Hacmin dolu durumunun simülasyonu sonucu, kaynak apsisteyken elde edilen değerler, kaynak korodayken elde edilen değerlerin biraz üstünde çıkmıştır. Bu durum, korodaki yansıtıcıların sesin bu bölüm içinde çok defa yansıma yapmasına izin vermeyerek ses enerjisini doğrudan nefe yöneltmesiyle ilgili olabilir. Apsis bölümündeyse ses enerjisini nefe yöneltecek yansıtıcılar bulunmamaktadır.

Çizelge 5.8'de de görüldüğü gibi şapel boşken orta frekansların Yansıma Süresi ortalaması 3,75 s, şapel dolu iken ise bu ortalama 3,00 s'dir. RT_{mid} değerleri de hacim ortalamaları gibi kabul edilebilir aralığın üstünde çıkmıştır (Bkz. Çizelge 5.5). Bu hacim, Yansıma Süresi'nin uzun olması nedeniyle Canlı olarak tanımlanabilir. Ancak uzun Yansıma Süresi, hızlı tempolu müziklerde ve konuşmada maskeleye akustik kusuruna da yol açabilir. Yüksek Yansıma Süreleri, şapelin mimari ve tarihî özelliklerini de bozmayacak şekilde, örneğin paneller ve de gözenekli kumaşlar üzerine basılmış ikonaların dekoratif amaçlı kullanımı ile düşürülebilir.

Ancak hacimdeki yutucu elemanlar artırılırken Yansıma Süreleri'nin frekanslardaki dağılımının kullanılan elemanlardan nasıl etkilendiğine dikkat edilmelidir çünkü şapeldeki T_{30} değerleri alçak frekanslara doğru bir artış göstermektedir ve bu, müzik amaçlı hacimlerde

istenilen bir durumdur. Şapeldeki Sıcaklık ve Parlaklık öznel parametreleri, Çizelge 5.8 ile incelenmiştir.

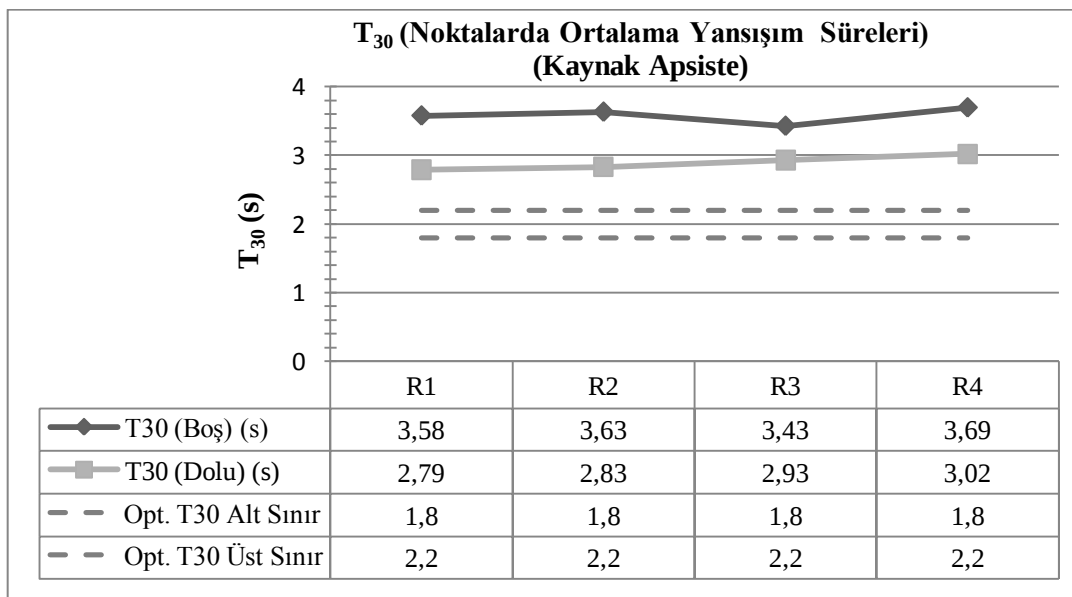
Çizelge 5.8 Kaynak apsisteyken elde edilen Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.

Frekans (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	RT _{mid}	Parlaklık	Sıcaklık
T ₃₀ (Boş) (s)	3,73	4,32	3,98	3,52	3,28	2,67	3,75	0,79	1,07
T ₃₀ (Dolu) (s)	3,69	3,27	3,12	2,89	2,44	1,96	3,00	0,73	1,16

Sıcaklık öznel parametresinin, Bas Seslerin Oranı ile bulunan değerleri, şapel boş iken 1,07 ve şapel dolu iken 1,16'dır. T₆₀ 1,8 s'den büyük olduğunda Bas Seslerin Oranı 1,1-1,25 arasında olmalıdır (Bkz. Çizelge 5.5). Şapel boş hâldeyken, Bas Seslerin Oranı bu aralığın dışında ve düşük çıkmaktadır. Ancak Bas Seslerin Oranı şapel doluyken 1,16 sonucu ile Sıcaklık hissini sağlayacak değer aralığı içinde kalmaktadır.

Berane, Parlaklık öznel parametresini değerlendirmede dolu salonlar için T₆₀'ın frekanslardaki oranlarını kullanmıştır (Berane, 1996). Dolu hâlde iken RT₂₀₀₀/RT_{mid} değeri 0,81 ve RT₄₀₀₀/RT_{mid} değeri 0,65 çıkan şapelde Parlaklık hissi yeterli değildir (Bkz. Çizelge 5.5). Zaten Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımına bakıldığında yüksek frekansların orta frekanslara göre düşük değerler aldığı görülmektedir. Boş hacimdeki Parlaklık öznel parametresi değerlerine, EDT incelenirken değinilecektir.

Şekil 5.13'teki grafikte Yansışım Süresi ortalamalarının şapelde bulunan dört alıcı noktasındaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.13 Yansışım Süreleri'nin şapelde belirlenmiş olan alıcı noktalarındaki dağılımı.

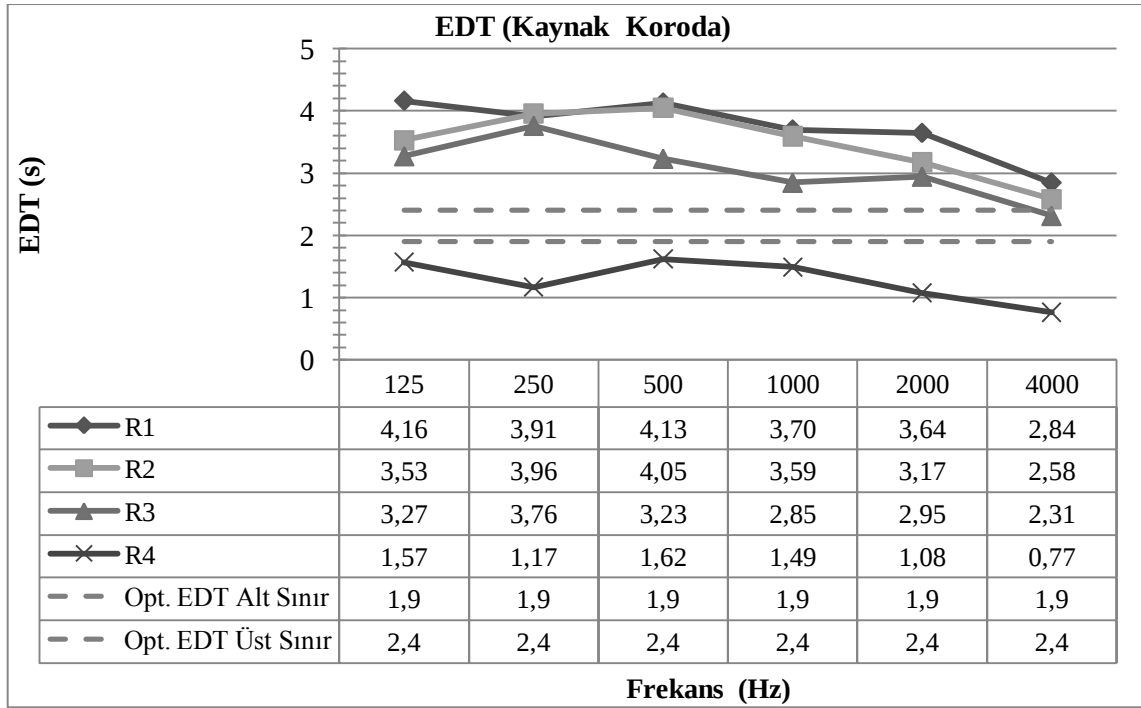
Yansıma Süreleri, tüm noktalarda kabul edilebilir aralığın üstünde olsa da yine tüm alıcı noktalarında birbirine yakın değerlerde çıkmıştır yani ses haciminde Düzgün Yayılma göstermektedir. Bunun bir nedeni, hacmin biçiminin ve yüzey malzemelerinin yansıma arttırarak sesin hacmi doldurmasını sağlamasıdır; diğer bir nedeni de yan nişlerde bulunan aziz ve azize heykellerinin ve bunların üzerlerinde bulunduğu süslü sunakların dağıtıcı yüzeyler oluşturmalarıdır.

5.3.2 Erken Düşme Süresi (EDT)

Kaynak Koroda:

Santa Anna Şapeli, erken yansımalar oluşturmaya beklenene göre dikdörtgen bir plana sahip olsa da dikdörtgenler prizması biçiminde bir hacim değildir. Gerek tavanının tonozlardan oluşmasından kaynaklı eğrisel yüzeyler gerekse yan nişleri oluşturan duvarlar dinleyici bölümüne ulaşabilecek erken yansımaları azaltmakta ve sesin hacmi dolduracak şekilde çok defa yansımasına neden olmaktadır.

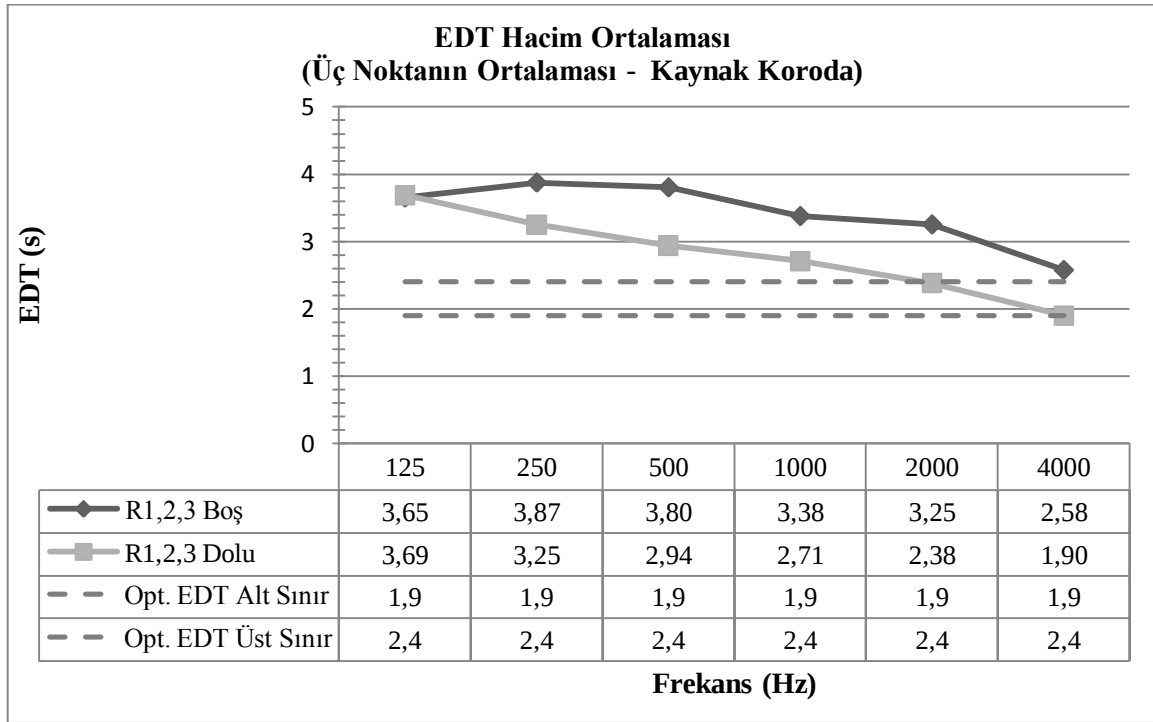
Şekil 5.14'teki grafikte de görüldüğü gibi dinleyici bölümündeki üç noktada EDT değerleri kabul edilebilir aralığın üstündedir. EDT, erken yansımalarla ilgili ve hacmin biçiminden oldukça etkilenen bir parametredir. Bu nedenle EDT değerlerinin yüksek çıkması hacimde erken yansımaların yeterli olmadığının göstergesidir (Bkz. Bölüm 2.2.2., Şekil 2.11).



Şekil 5.14 Kaynak korodayken şapeldeki ölçüm noktalarında elde edilen EDT değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.

Koro bölümünde ise durum farklıdır. Bu bölümde yer alan R4 noktasında EDT değerinin düşük çıkmış olması koro bölümüne yerleştirilmiş olan yansıtıcıların erken yansımaları arttırmış olmasıyla ilgilidir. Ancak bu bölümde, EDT değerlerinin ortalamaları incelenirken, kaynağa çok yakın olduğu için yansımış sesten çok dolaysız sesin etkisinde kalan ve bu nedenle sağlıklı sonuç vermeyecek olan R4 noktasındaki EDT değerleri dikkate alınmayacaktır. R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarının şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

Hacmin dolu durumu, bir konser sırasında oluşacak koşullara daha yakın olduğundan, şapelin dolu hâlinin simülasyonu yapılarak EDT değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.15'te şapelin dolu ve boş durumunda elde edilen EDT değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.15 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.

EDT değerleri hacim dolu iken düşmüş olsa da sadece 2000 ve 4000 Hz'deki değerler, Beranek (1996) tarafından belirlenmiş olan kabul edilebilir aralıktadır (Bkz. Çizelge 5.5).

Sesin Dolgunluğu, yansımış sesin sesliliğinin erken sesin sesliliğine oranına bağlıdır (Beranek, 1996). EDT değerlerinin yüksek çıkmış olması, erken yansımaların dolayısıyla erken ses enerjisinin düşük olduğunun göstergesidir. T_{30} değerleri ise uzundur yani hacimde yansımış ses fazladır (Bkz. Bölüm 5.3.1). Bu durum, hacimde Sesin Dolgunluğu hissi

oluşacağının işaretidir. Ancak EDT değerlerinin yüksek, dolayısıyla erken sesin enerjisinin düşük olması, hacimde Netlik parametresinin sağlanamayacağının da bir göstergesidir.

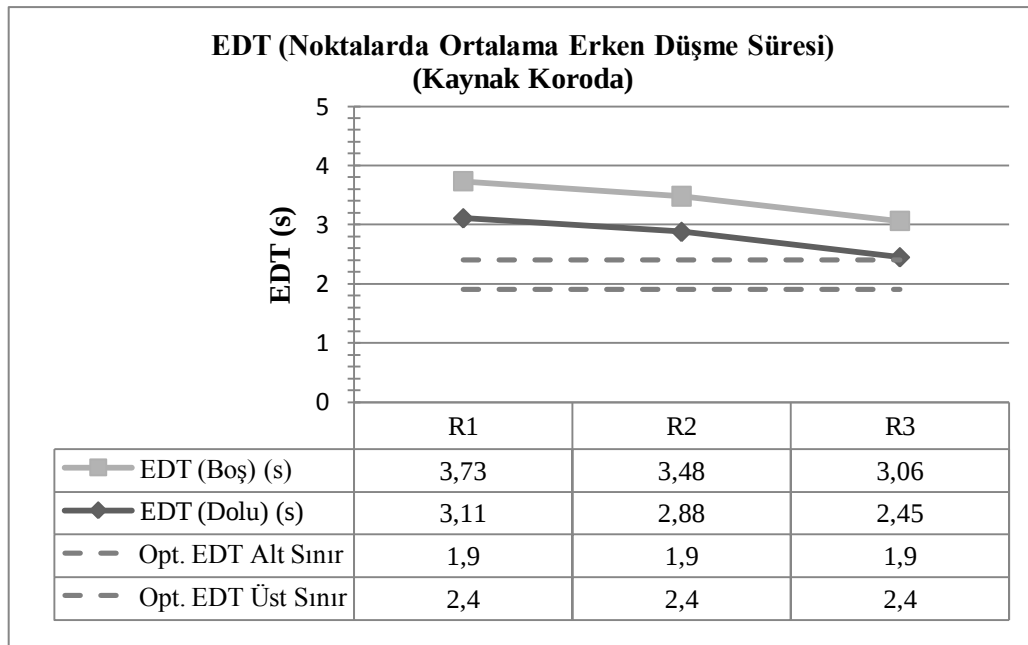
Beraneke boş hacim için parlaklığı frekanslardaki EDT değerlerinin oranlarıyla incelemiştir (Beraneke, 1996). Santa Anna Şapeli'nin de boş durumundaki Parlaklık öznel parametresi Çizelge 5.9'da incelenmiştir.

Çizelge 5.9 Kaynak korodayken elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.

Frekans (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	EDT _{mid} *	Parlaklık
EDT (Boş) (s)	3,65	3,87	3,80	3,38	3,25	2,58	3,59	0,81
EDT (Dolu) (s)	3,69	3,25	2,94	2,71	2,38	1,90	2,83	0,76

Bu verilere göre EDT_{2000}/EDT_{mid} değeri 0,9 ve EDT_{4000}/EDT_{mid} değeri ise 0,7'dir. EDT_{2000}/EDT_{mid} değeri kabul edilebilir aralığın alt sınırında olsa da EDT_{4000}/EDT_{mid} değeri kabul edilebilir değerlerin altındadır (Bkz. Çizelge 5.5). Şapel doluyken incelenen T_{30} değerleri gibi şapel boşken incelenen EDT değerleri de bu hacmin akustik koşullarının Parlaklık parametresini sağlayamayacağını göstermiştir.

Şekil 5.16'daki grafikte Erken Düşme Süresi ortalamalarının dinleyici bölümünde bulunan üç alıcı noktasındaki dağılımı görülmektedir.



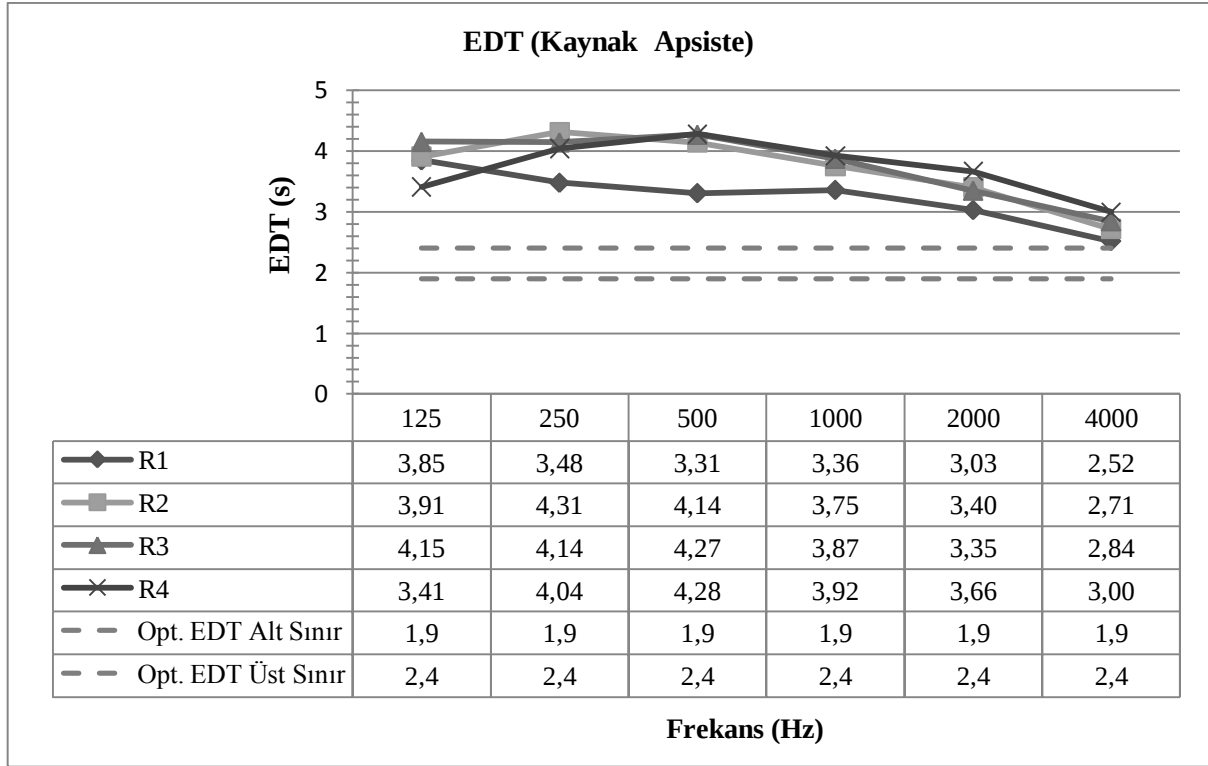
Şekil 5.16 Erken Düşme Süreleri'nin şapelde belirlenmiş olan alıcı noktalarındaki dağılımı.

* 500 ve 1000 Hz'deki EDT değerlerinin ortalaması.

Şekil 5.16'daki grafikte de görüldüğü gibi EDT değerleri şapelin dolu hâlinde genel bir düşüş göstermiştir. Ancak Beranek'in Erken Düşme Süresi için belirlediği kabul edilebilir değerler, bir konser salonunda, 1,9-2,4 s aralığındadır (Bkz. Çizelge 5.5). R3 noktasında şapel doluyken 2,45 s çıkmış olan EDT değeri, kabul edilebilir değerlerin üst sınırına yakın olsa da EDT, şapel doluyken de boşken de diğer tüm noktalarda olması gereken değerlerin üstündedir.

Kaynak Apsiste:

Şekil 5.17'deki grafikte kaynak apsisteyken ve şapel boşken R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarında elde edilen EDT değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Bu alıcı noktalarının ve S_2 ile ifade edilen kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te, plan düzleminde görülebilir.

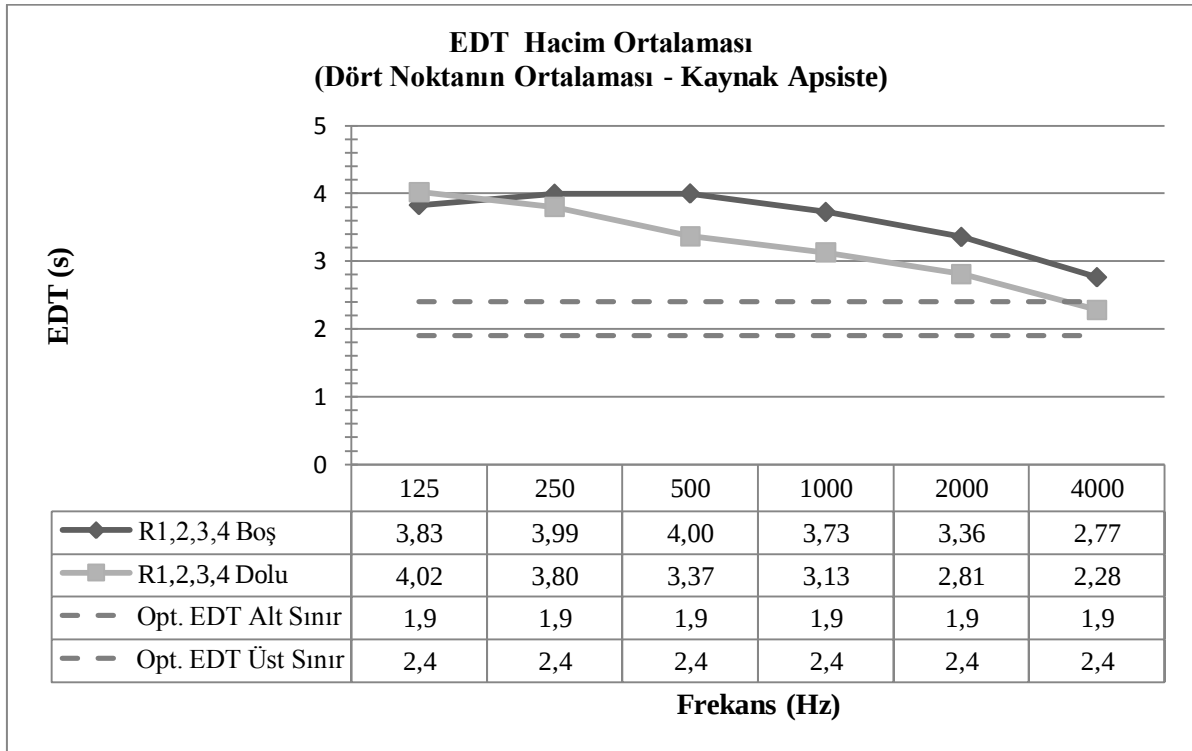


Şekil 5.17 Kaynak apsisteyken şapeldeki ölçüm noktalarında elde edilen EDT değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.

Kaynak apsisteyken, alıcı noktalarında ölçülen EDT değerleri tüm noktalarda birbirine yakın çıkmıştır. Frekanslardaki dağılımın tüm noktalarda birbirine yakın çıkması Düzgün Yayılmışlık'ın göstergesidir. R1 noktasında elde edilen EDT değerleri, diğer noktalarda elde edilen değerlerden düşük çıkmıştır. Bu durum, bu alıcı noktasının apsiste bulunan kaynağa yakın olmasından dolayı diğer alıcı noktalarına ulaşımdan daha fazla erken ses enerjisinin bu noktaya ulaşabilmesiyle açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.3). Yine de EDT değerleri tüm alıcı

noktalarında oldukça yüksektir yani şapelde erken yansımalar genel olarak yetersizdir. Yetersiz erken yansımalar ve ölçümler sonucunda elde edilmiş olan uzun Yansıma Süresi değerleri nedeniyle şapelde Netlik düşük, Canlılık ise yüksek olacaktır.

Hacimde bir konser ya da konuşma sırasında oluşacak akustik koşullar hakkında daha sağlıklı verilere ulaşmak için şapelin dolu hâlinin simülasyonu yapılmış ve hacmin dolu durumundaki EDT değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.18’de şapelin dolu ve boş durumundaki EDT değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.18 Şapel dolu ve boşken alıcı noktalarında elde edilen Erken Düşme Süreleri’nin hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı.

Dört ölçüm noktasındaki Erken Düşme Süreleri’nin frekanslardaki dağılımında da görüldüğü gibi EDT değerleri şapel doluyken düşmektedir. Ancak bu değerler, yine de kabul edilebilir aralık olan 1,9-2,4 s aralığının üstünde çıkmışlardır (Bkz. Çizelge 5.5). Sadece, hacmin dolu durumunda 4000 Hz’de elde edilen EDT değeri hacim ortalaması kabul edilebilir aralıkta kalmıştır. Şapelin dolu durumunda da boş durumunda da EDT değerleri hacim ortalamasında yüksek frekanslara doğru düşüş görülmektedir.

Çizelge 5.10’da Erken Düşme Süreleri’nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi görülmektedir.

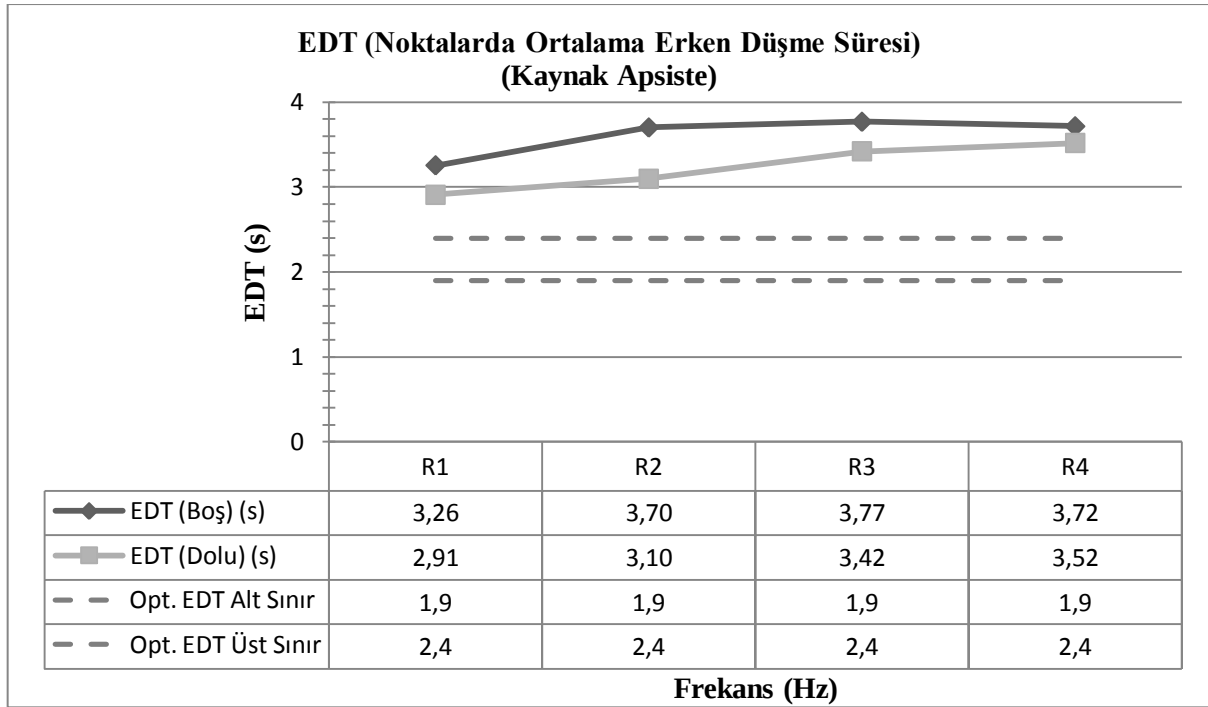
Çizelge 5.10 Kaynak apsisteyken elde edilen Erken Düşme Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ve bu dağılımın Sıcaklık ve Parlaklık parametrelerine etkisi.

Frekans (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	EDT _{mid} *	Parlaklık
EDT (Boş) (s)	3,83	3,99	4,00	3,73	3,36	2,77	3,87	0,79
EDT (Dolu) (s)	4,02	3,80	3,37	3,13	2,81	2,28	3,25	0,78

Berane tarafından, boş hacimlerde yapılan ölçümlerde EDT değerlerinin frekanslardaki dağılımı üzerinden incelenen Parlaklık değerleri, Çizelge 5.10'da da görüldüğü gibi kabul edilebilir aralığın alt sınırından düşüktür (Bkz. Çizelge 5.5). EDT₂₀₀₀/EDT_{mid} değeri 0,87 iken EDT₄₀₀₀/EDT_{mid} değeri 0,71'dir. EDT₂₀₀₀/EDT_{mid} için kabul edilebilir en düşük değer 0,9 EDT₄₀₀₀/EDT_{mid} için kabul edilebilir en düşük değer ise 0,8'dir (Bkz. Çizelge 5.5). Ölçümlerden elde edilen her iki oran da bu verilen değer aralığının altında çıkmıştır.

Çizelge 5.10'da görülen ve 1000 ve 2000 Hz'deki EDT değerlerinin aritmetik ortalaması olan EDT_{mid} değerleri ise şapel doluyken bir miktar düşmüş olsa da kabul edilebilir aralığın üzerinde kalmaktadır (Bkz. Çizelge 5.5).

Şekil 5.19'daki grafikte şapelde bulunan dört alıcı noktasındaki Erken Düşme Süresi ortalamalarının dağılımı görülmektedir. Bu noktaların ve kaynağın şapeldeki konumları, Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.



Şekil 5.19 Erken Düşme Süreleri'nin dinleyici noktalarındaki dağılımı.

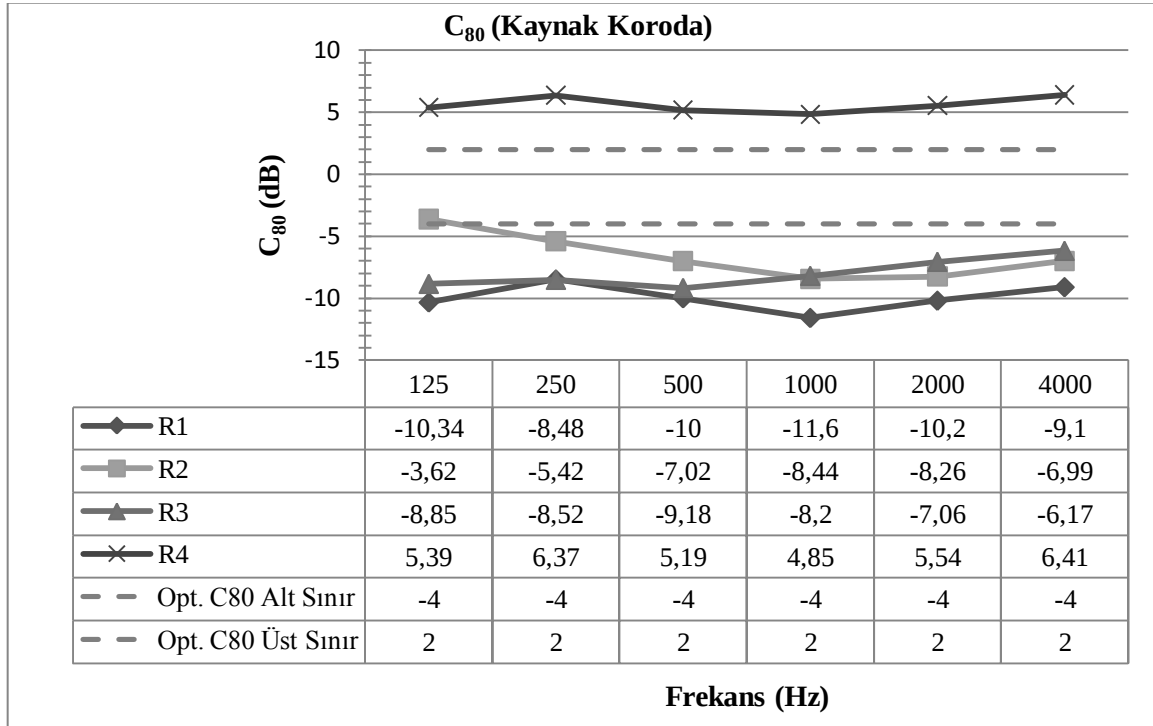
* 500 ve 1000 Hz'deki EDT değerlerinin ortalaması.

EDT değerleri, şapelin dolu durumunda boş durumuna göre genel bir düşüş göstermişse de bir konser salonunda 1,9-2,4 s arasında olması istenen EDT değerleri, tüm noktalarda olması gereken değerlerin üstündedir (Bkz. Çizelge 5.5). Kaynak apsisteyken, kaynağa yakın olan R1 noktasından, kaynaktan en uzak mesafede bulunan R4 noktasına doğru gittikçe EDT değerleri yükselmiştir. Bu durum erken yansımaların ve dolayısıyla Netlik değerinin kaynaktan uzaklaştıkça azaldığını göstermektedir.

5.3.3 Netlik (C_{80})

Kaynak Koroda:

Şapelde belirlenmiş olan dört ölçüm noktasında elde edilmiş olan C_{80} değerleri Şekil 5.20'deki grafikte görülmektedir. Bu alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri, Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

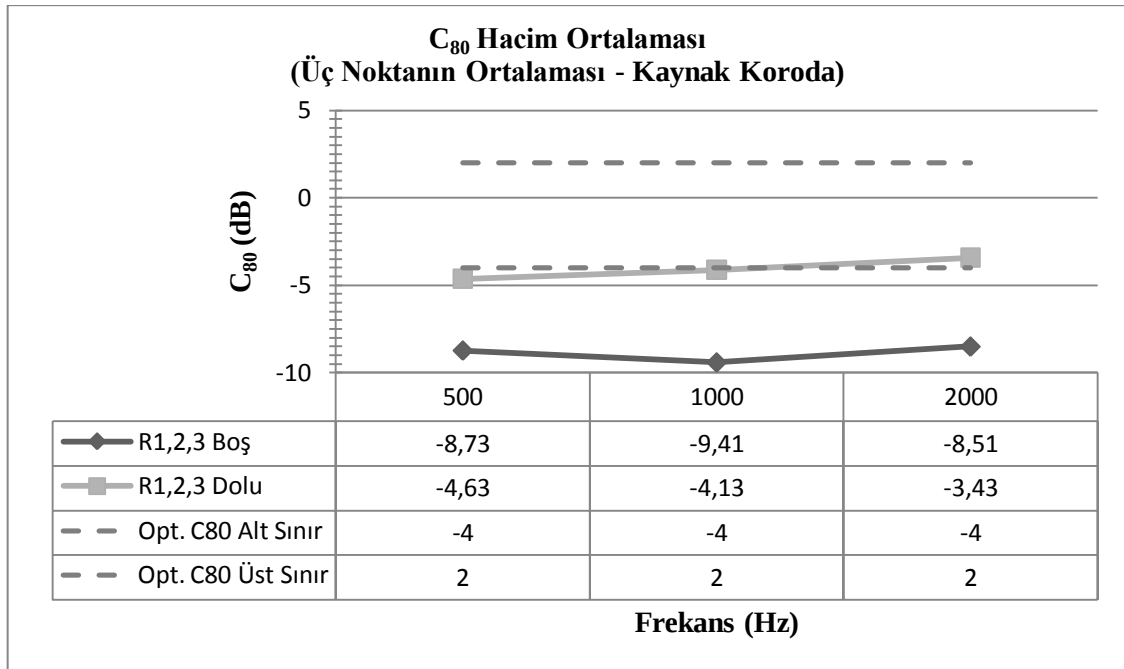


Şekil 5.20 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen C_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Beranek tarafından Netlik parametresi için belirlenmiş olan kabul edilebilir değerler, -4 ile +2 dB arasındadır (Bkz. Çizelge 5.5). Şekil 5.20'deki grafikte görüldüğü gibi, dört alıcı noktasında da neredeyse tüm oktav bantlarda elde edilen C_{80} değerleri, bu kabul edilebilir aralığın çok dışındadır. Şapelde, sadece R2 noktasında 125 Hz için elde edilmiş olan değer, bu aralığın içinde kalmaktadır. EDT ve T_{30} değerlerinden elde edilen verilerin gösterdiği gibi şapelde erken yansımalar düşük, geç yansımalar ise yüksektir. C_{80} değeri de 80 ms'den önceki

erken yansımaların ses basıncının, 80 ms'den sonraki geç yansımaların ses basıncına oranıyla elde edildiğinden (Bkz. Bölüm 2.2.3), hacimdeki erken ve geç yansımalarla ilgili bu durum, şapelde Netlik parametresinin uygun değerlerde sağlanamamasına neden olmaktadır.

Hacimde yutuculuğun artırılması Yansışım Süresi'ni düşürerek Netlik değerlerinin artmasına katkıda bulunabilir. Şapelde dinleyicilerin bulunması da yutucu bir yüzey oluşturacağından bu durumun Netlik (C_{80}) üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Şekil 5.21'deki grafikte, R1, R2 ve R3 alıcı noktalarında ölçülen C_{80} değerlerinin ortalamaları ve aynı noktaların şapelin dolu durumunun simülasyonu ile elde edilen ortalamaları karşılaştırılmaktadır. Ölçümler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen hacim ortalamaları, Netlik parametresi için yararlı oktav bantlar olan 500, 1000 ve 2000 Hz'de incelenmiştir. 500, 1000 ve 2000 Hz'in C_{80} için yararlı oktav bantlar olarak belirlenmiş olmasının nedeni dinleyicilerin bu frekanslarda meydana gelen Netlik değeri değişimlerine karşı daha duyarlı olmasıdır (Beranek, 1996). Koro bölümünde yer alan ve kaynağa çok yakın olan R4 noktasında elde edilen C_{80} değerleri, bu nokta yansımış sestten çok dolaysız sesin etkisinde olduğu için göz ardı edilmiştir.

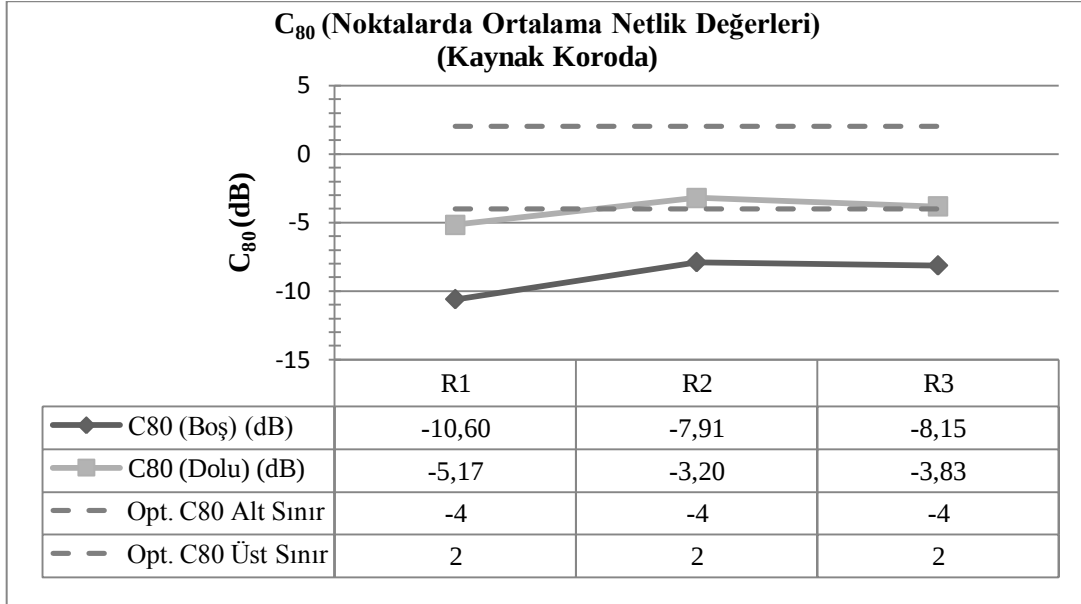


Şekil 5.21 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen C_{80} değerleri hacim ortalamalarının üç oktav banttaki dağılımı.

Şekil 5.21'deki grafikte de görüldüğü gibi şapel doluyken elde edilen C_{80} değerlerinin hacim ortalamaları, ortamda yutuculuğun artması ve Yansışım Süresi'nin düşmesine bağlı olarak kabul edilebilir aralıklara yaklaşmıştır. Şapelin dolu hâlinin simülasyonu sonucu elde edilen

C_{80} değerleri hacim ortalamaları 500 ve 1000 Hz'de -4'ün üzerinde çıksa da 2000 Hz'de -3,43 değeri ile kabul edilebilir aralığın içinde kalmıştır.

Şapel içindeki alıcı noktalarında, yararlı oktav bantlar olan 500, 1000 ve 2000 Hz'deki C_{80} değerlerinin ortalamaları alınarak Şekil 5.22'deki grafikte bu ortalamaların alıcı noktalarındaki dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumunda elde edilen C_{80} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.

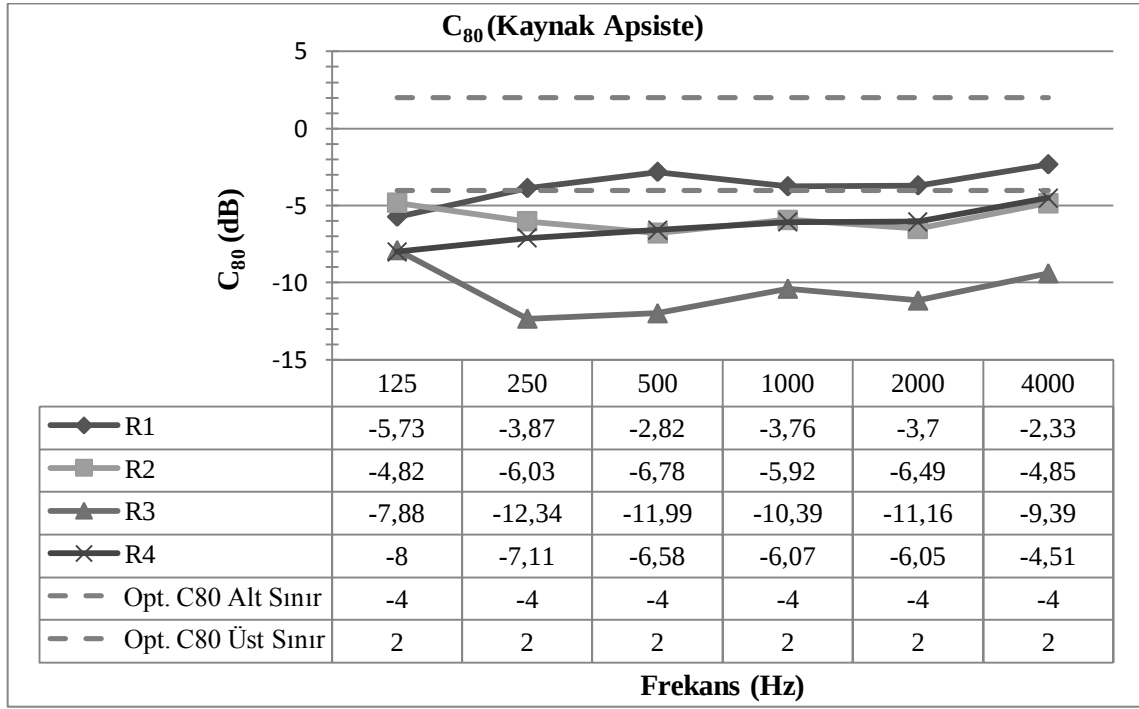
Şapel doluyken R2 ve R3 noktalarında birbirine yakın değerler çıkmış ve ortalamalar kabul edilebilir aralıkta kalmıştır. Ancak kaynak korodayken şapelde kaynağa en uzak alıcı noktası olan R1 noktasında Netlik değeri düşüktür. Bunun nedeni o bölüme ulaşan erken ses enerjisinin diğer noktalara göre düşük olması olabilir. Bu da Netlik'i düşüren bir unsurdur. Şapel boşken ve kaynak korodayken yapılan ölçümlerde de en düşük Netlik değerine sahip olan alıcı noktası R1'dir. Genel olarak kaynak korodayken Netlik parametresi yeterli ölçüde sağlanamamaktadır. Bu durum, şapeldeki erken yansımaların enerjisinin geç yansımaların enerjisine oranla düşük olduğunun göstergesidir.

Kaynak Apsiste:

Kaynak apsisteyken şapel içinde belirlenmiş olan R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarında ölçümler yapılmış ve bu ölçümler sonucunda elde edilmiş olan C_{80} (Netlik) değerleri incelenmiştir. Bu alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

Netlik parametresi için yararlı oktav bantlar; 500, 1000 ve 2000 Hz'dir ve C_{80} değerleri bu oktav bantlarda değerlendirilmiştir. 500, 1000 ve 2000 Hz'in C_{80} için yararlı oktav bantlar olarak belirlenmiş olmasının nedeni dinleyicilerin, bu oktav bantlarda meydana gelen Netlik değeri değişimlerine karşı daha duyarlı olmasıdır (Beranek, 1996).

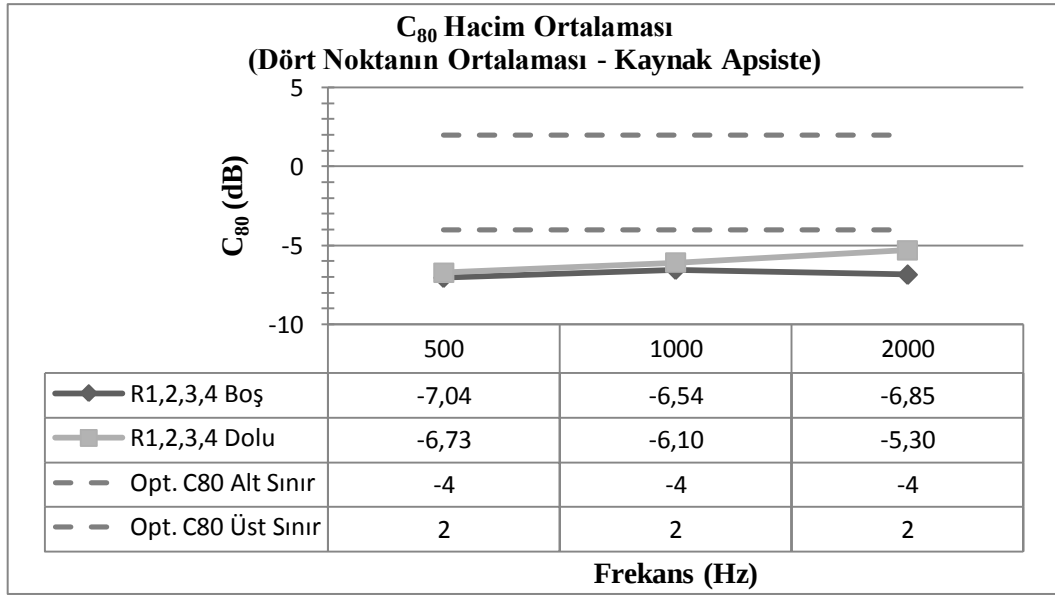
Şekil 5.23'te yer alan grafikte alıcı noktalarında elde edilen C_{80} değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.23 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen C_{80} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Kaynak apsisteyken elde edilen C_{80} değerleri sadece R1 noktasındaki yararlı oktav bantlarda C_{80} için kabul edilebilir aralık olan -4 ile +2 arasındadır (Bkz. Çizelge 5.5). Netlik (C_{80}) değerleri diğer tüm noktalarda kabul edilebilir değerlerden düşüktür.

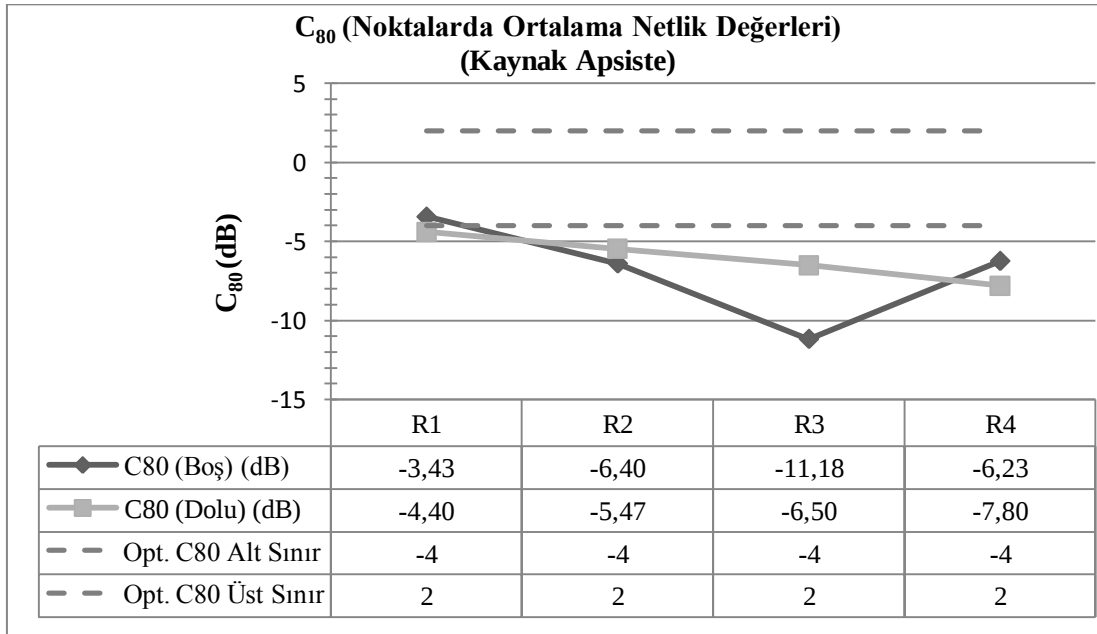
Bir hacmin dolu durumunda yapılan akustik değerlendirme, hacimde konser ya da konuşma gibi bir işlevin gerçekleştirilmesi durumunda oluşacak koşulların daha sağlıklı çözümlenebilmesini sağladığından Odeon'da yapılan simülasyonlarla şapelin dolu hâlindeki C_{80} değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.24'teki grafikte şapelin dolu durumunda elde edilen C_{80} değerlerinin yararlı frekanslardaki ortalamaları, boş durumunda elde edilen C_{80} değerlerinin ortalamaları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.24 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen C₈₀ değerleri hacim ortalamalarının üç oktav banttaki dağılımı.

Şapelin dolu hâlinde elde edilen C₈₀ hacim ortalaması değerleri, kabul edilebilir aralığa yaklaşıp da Netlik değerleri şapel boşken de doluyken de kabul edilebilir aralıktan düşüktür. Bu durum şapelde erken yansımaların yetersiz olduğunu göstermektedir.

Şapel içindeki alıcı noktalarında, yararlı oktav bantlar olan 500, 1000 ve 2000 Hz'deki C₈₀ değerlerinin ortalamaları alınarak Şekil 5.25'teki grafikte bu ortalamaların alıcı noktalarındaki dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 5.25 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumunda elde edilen C₈₀ değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.

Şapel boşken elde edilen Netlik değerleri R2, R3 ve R4 noktalarında düşüktür. C_{80} değerleri, şapel boşken sadece R1 noktasında kabul edilebilir aralıktadır. Bunun nedeni kaynak apsiste iken kaynağa en yakın alıcı noktası olan R1’de erken ses enerjisinin diğer noktalara göre yüksek olmasıdır.

Şapel doluyken elde edilen C_{80} değerleri, R2 ve R3 noktalarında, kabul edilebilir aralığa, şapel boşken aynı noktalarda elde edilen değerlerden daha çok yaklaşmıştır. Ancak Netlik değerleri, yine de tüm noktalarda kabul edilebilir aralığın dışında kalmaktadır.

Genel olarak kaynak apsisteyken Netlik parametresi yeterli ölçüde sağlanamamaktadır. Kaynak korodayken ise C_{80} değerleri, en azından şapelin dolu durumu için daha uygun bir aralıkta kalmıştır. Bu durum, kaynak apsisteyken, şapeldeki erken yansımaların enerjisinin geç yansımaların enerjisine oranla düşük olduğunun göstergesidir. Kaynak korodayken C_{80} değerlerinin kabul edilebilir aralıkta olması ise bu bölümde bulunan yansıtıcıların, erken ses enerjisini nefte bulunan dinleyicilere yöneltmesinden kaynaklı olabilir.

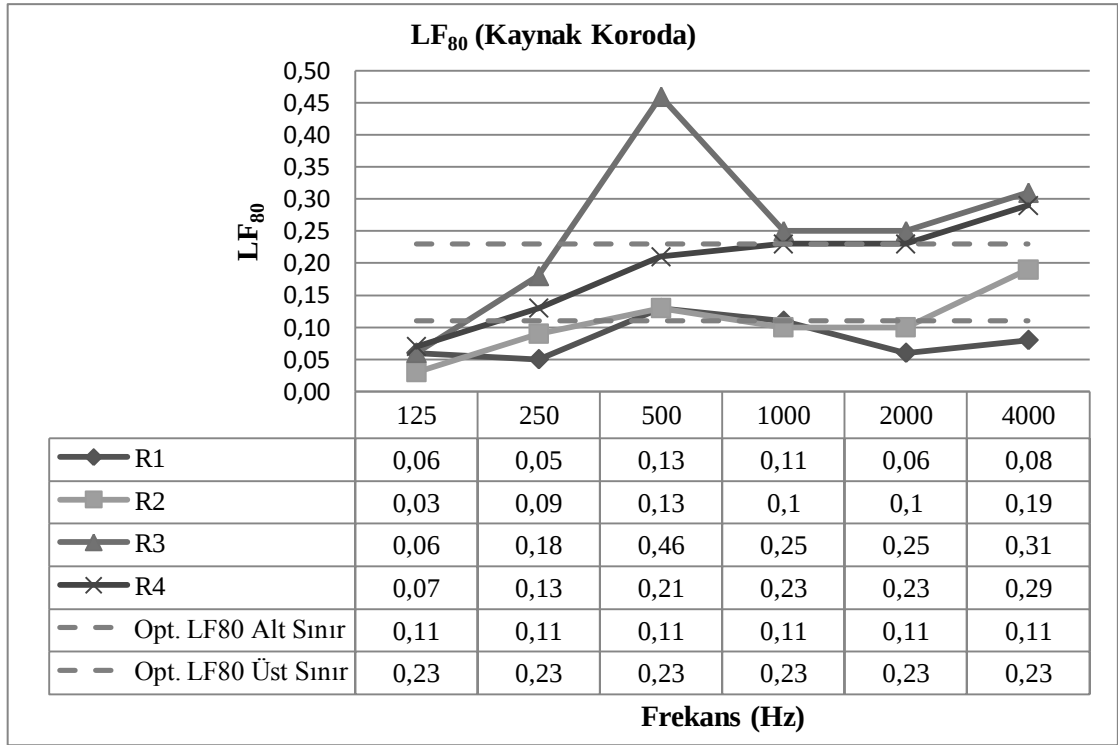
5.3.4 Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80})

Kaynak Koroda:

Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80}), Mekânsal Algılama’nın bileşenlerinden biri olan Algılanan Kaynak Genişliği’ni belirlemekte kullanılan iki parametreden biridir. Diğer parametre ise Kulaklar Arası Çapraz İlişki Katsayısı (IACC)’dır (Bkz. Bölüm 2.1.8.1). Ölçümler sırasında, LF_{80} değerleri elde edilmiş olduğu için Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) parametresi LF_{80} değerleriyle incelenecektir.

Mekânsal Algılama’yı oluşturan iki bileşen olan Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) ve Dinleyicinin Sesle Kuşatılması (LEV) yansımasının farklı bölümleriyle ilgilidir. Algılanan Kaynak Genişliği erken yansımalarla ilişkiliyken, Dinleyicinin Sesle Kuşatılması geç yansımaların yönü ve gücü ile belirlenir. Ancak LEV parametresi yüksek değerler aldıkça dinleyicinin Algılanan Kaynak Genişliğindeki (ASW) değişimlere karşı hassasiyetinin azaldığı unutulmamalıdır (Bradley ve Soulodre, 1995a).

Şekil 5.26’daki grafikte, şapelde belirlenmiş dört alıcı noktası olan R1, R2, R3 ve R4 noktalarında ölçülmüş olan LF_{80} değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Bu alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3’te plan düzleminde görülebilir.



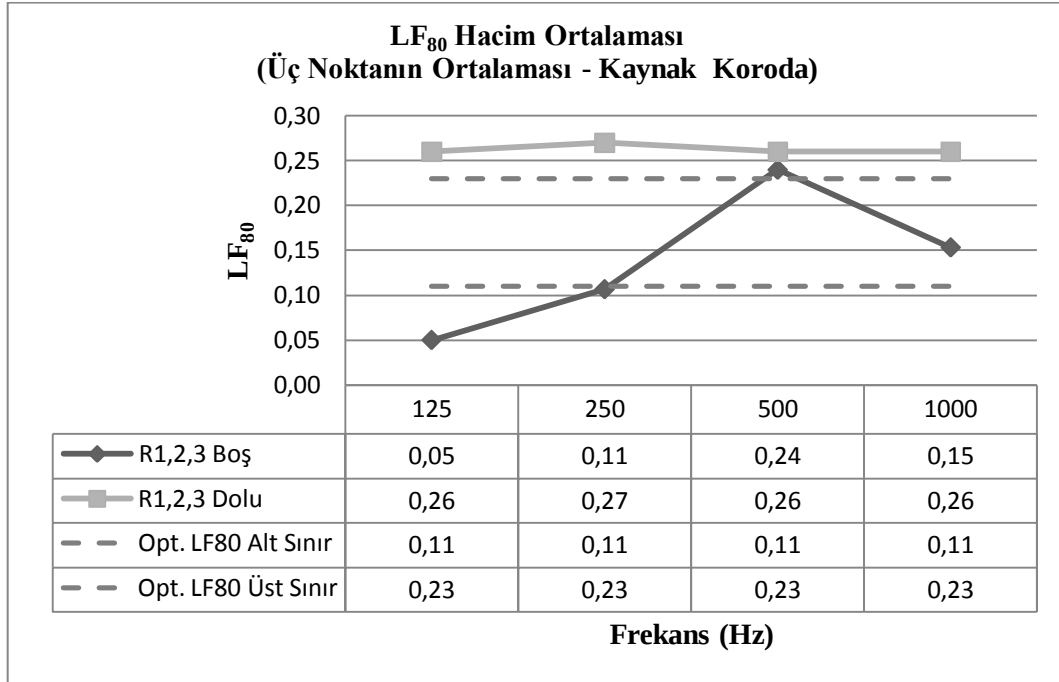
Şekil 5.26 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen LF₈₀ değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Şekil 5.26'daki grafikte Erken Yanal Enerji Oranları'nın altı oktav banttaki dağılımı gösterilmişse de LF₈₀ parametresi için yararlı frekanslar 125, 250, 500 ve 1000 Hz oktav bantlarıdır. Erken Yanal Enerji Oranı (LF₈₀) için Beranek tarafından belirlenmiş olan kabul edilebilir aralıksa 0,11 ile 0,23 arasındadır (Bkz. Çizelge 5.5).

Şekil 5.26'daki grafikte görüldüğü gibi, şapel içinde belirlenmiş olan ölçüm noktalarından R3 ve R4'te 125 Hz'deki LF₈₀ değerleri kabul edilebilir aralıktan düşüktür. Aynı alıcı noktalarındaki değerler, 250 Hz'de kabul edilebilir aralığın alt sınırına yakinken 500 ve 1000 Hz oktav bantlardaki erken yanal enerjiler yüksektir; özellikle R3 noktasında 500 Hz'de erken yanal enerjilerde dolayısıyla LF₈₀ değerlerinde ani bir artış gözlenmektedir. R1 ve R2 noktalarında ise LF₈₀ değerleri 500 ve 1000 Hz'de kabul edilebilir aralığın alt sınırında çıkmıştır fakat 125 ve 250 Hz'de erken yanal enerjiler düşüktür.

Bir hacmin dolu durumunda yapılan akustik değerlendirme, hacimde konser ya da konuşma gibi bir işlevin gerçekleştirilmesi durumunda oluşacak koşulların daha sağlıklı çözümlenebilmesini sağladığından Odeon'da yapılan simülasyonlarla şapelin dolu hâlindeki LF₈₀ değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.27'deki grafikte kaynak korodayken ve şapel boşken dinleyici bölümündeki üç ölçüm noktasında elde edilmiş olan LF₈₀ değerleri hacim ortalamaları

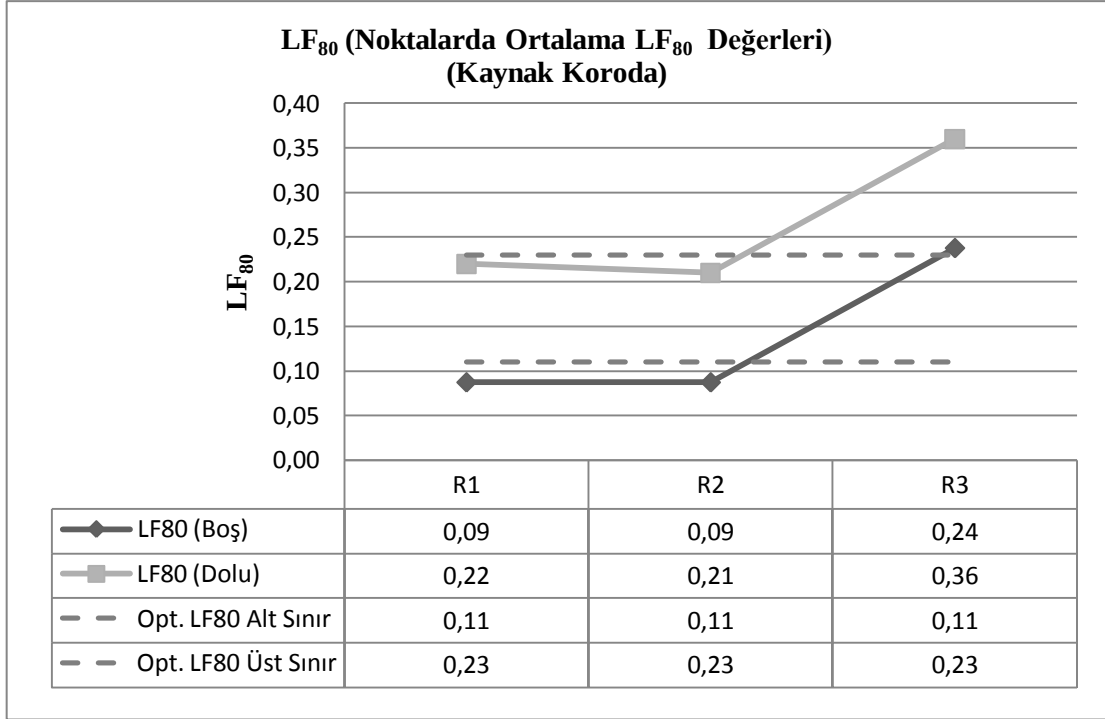
ile şapelin dolu hâlinin simülasyonu sonucu elde edilmiş olan LF_{80} değerleri hacim ortalamaları, yararlı frekanslarda, karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.27 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF_{80} değerlerinin, dört oktav banttaki hacim ortalaması.

Bir konser salonundaki LF_{80} değerleri için Barron (2005) tarafından önerilen kabul edilebilir aralık 0,1 ile 0,35 arasında değişirken, Beranek (1996) tarafından önerilen aralık 0,11 ile 0,23 arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 5.5). Şekil 5.27'deki grafikte görüldüğü gibi hacim boşken ölçülen LF_{80} değerleri, 125 Hz'de Beranek tarafından belirlenmiş kabul edilebilir aralıktan düşük, 250 Hz'de bu aralığın alt sınırında, 500 Hz'de bu aralığın üst sınırından çok az yüksek, 1000 Hz'de de uygun aralığın içindedir. Hacmin dolu hâlinde elde edilen LF_{80} değerleri ise Beranek'in belirlediği üst sınırdan yüksekken Barron tarafından belirlenmiş olan aralığa göre kabul edilebilir değerlerdedir.

Şekil 5.28'deki grafikte ise şapelin içinde belirlenmiş olan alıcı noktalarında yararlı oktav bantlarda elde edilen LF_{80} değerleri ortalamasının bu noktadaki dağılımı, görülmektedir. Bu grafikte şapel boşken LF_{80} değerleri, R1 ve R2 noktalarında kabul edilebilir aralığın alt sınırından düşük çıkarken, R3 noktasında ise kabul edilebilir aralığa yakın çıkmıştır. Bu durum şapel içinde özellikle R3 noktasında erken yanal enerjinin R1 ve R2'dekine oranla yüksek olduğunu gösterir. Bunun nedeni, koroda bulunan kaynağa daha yakın olan R3 noktasına ulaşan erken ses enerjisinin, korodaki yansıtıcılar tarafından artırılmasıdır.

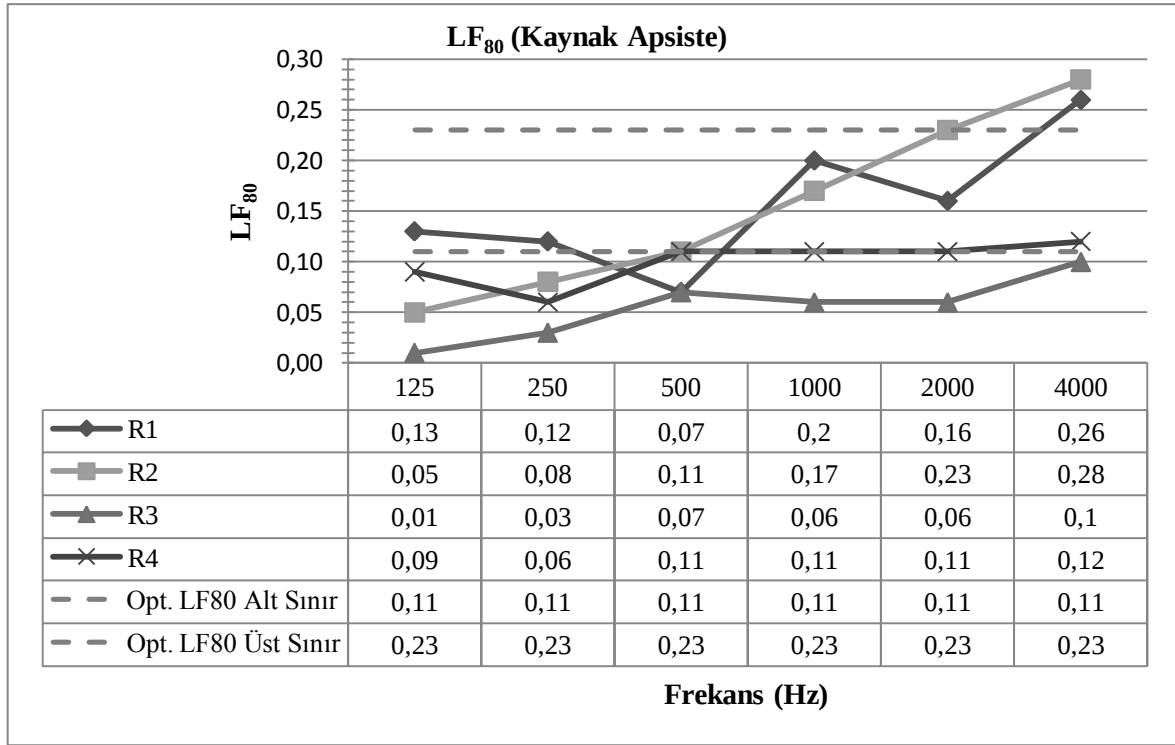


Şekil 5.28 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF₈₀ değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.

Şapelin dolu durumunda ise tüm noktalardaki LF₈₀ değerlerinde artış olmuştur. Şapel doluyken R1 ve R2 noktalarında elde edilen LF₈₀ değerleri kabul edilebilir aralıktayken R3 noktasında 0,36 değeriyle Barron tarafından da belirlenmiş üst sınırdan yani 0,35'den yüksek çıkmıştır (Bkz. Çizelge 5.5). Bu durumda şapel doluyken ve kaynak korodayken; bir salonun, dinleyiciye, sesin mevcut kaynağın görünür boyutundan daha geniş bir kaynaktan geldiği hissi vermesi niteliği olan; Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) büyük olacaktır. Algılanan Kaynak Genişliği'nin büyük olması bir hacmin müzikal kalitesi açısından önemli olduğundan bu, olumlu bir durumdur.

Kaynak Apsiste:

Şekil 5.29'daki grafikte Erken Yanal Enerji Oranları'nın altı oktav banttaki dağılımı gösterilmişse de LF₈₀ incelenirken yararlı oktav bantlar 125, 250, 500 ve 1000 Hz'dir. Ölçümler R1, R2, R3 ve R4 olarak adlandırılan alıcı noktalarında kaynak korodayken yapılmıştır. Bu dört ölçüm noktasının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

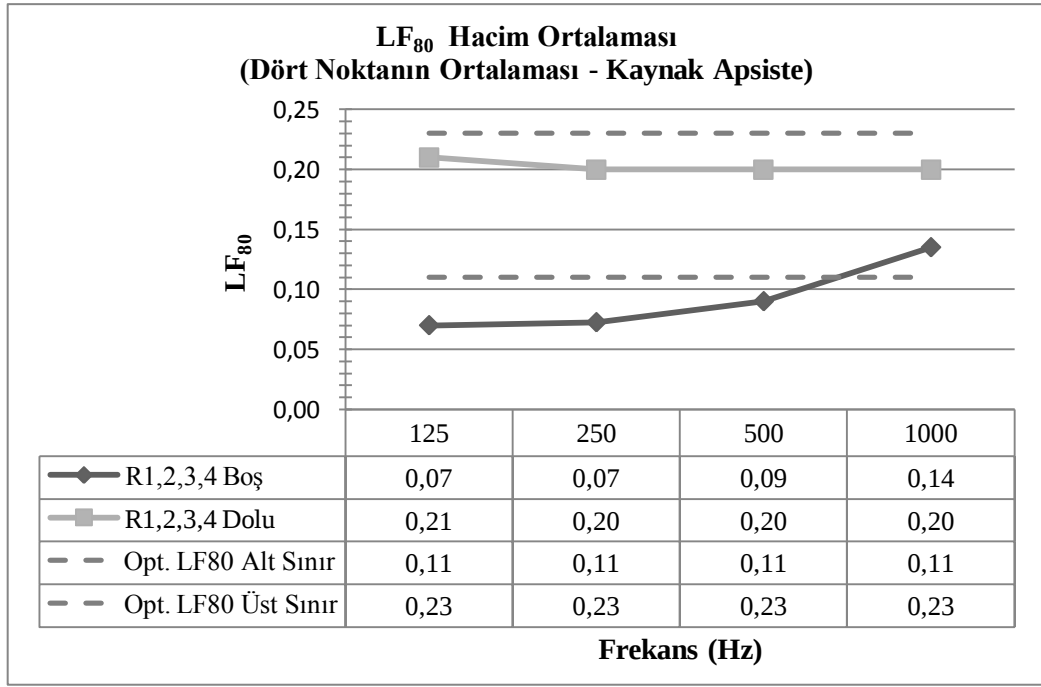


Şekil 5.29 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen LF₈₀ değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Beranek (1996) tarafından konser salonları için belirlenmiş olan kabul edilebilir LF₈₀ değerleri 0,11-0,23 arasında, Barron (2005) tarafından yine konser salonları için belirlenmiş olan kabul edilebilir LF₈₀ değerleri ise 0,1-0,35 arasında olmalıdır (Bkz. Çizelge 5.5). Şekil 5.29’da görülen grafikte Beranek tarafından önerilmiş olan kabul edilebilir aralık işlenmiştir.

Bu grafikte görülen ve şapel boşken elde edilen LF₈₀ değerleri incelendiğinde dört ölçüm noktasında da yararlı frekanslardaki Erken Yanal Enerji Oranları’nın genel olarak düşük olduğu görülmektedir. Ancak R1, R2 ve R4 noktalarında bazı oktav bantlardaki LF₈₀ değerleri kabul edilebilir aralık içindedir. Erken Yanal Enerji Oranları’nın kabul edilebilir aralıkta olduğu oktav bantlar, R2 ve R4 noktalarında 500 ve 1000 Hz, R1 noktasında ise 125 ve 1000 Hz’dir.

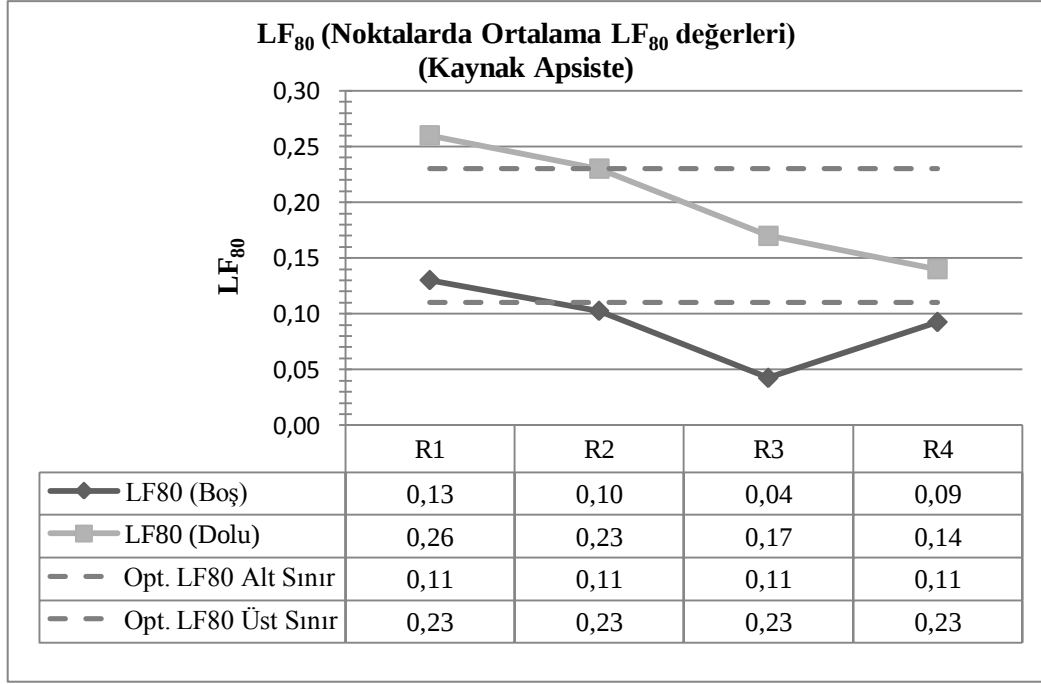
Şekil 5.30’da kaynak apsisteyken, şapel boşken yapılan ölçümler ve şapelin dolu durumunun simülasyonları sonucunda elde edilen LF₈₀ değerleri hacim ortalamalarının dört yararlı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. 125, 250, 500 ve 1000 Hz’in LF₈₀ için yararlı oktav bantlar olarak belirlenmiş olmasının nedeni dinleyicilerin bu frekanslarda meydana gelen Algılanan Kaynak Genişliği (ASW) değerlerindeki değişimlere karşı daha duyarlı olmasıdır (Beranek, 1996).



Şekil 5.30 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF₈₀ değerlerinin, dört oktav banttaki hacim ortalaması.

Şapel boşken LF₈₀ değerleri 1000 Hz dışında, tüm yararlı frekanslarda kabul edilebilir aralığın alt sınırından düşük çıkmıştır. Şapelin dolu hâlinde elde edilen LF₈₀ değerleri ise tüm yararlı frekanslarda kabul edilebilir aralığın içindedir. Kaynak korodayken elde edilen hacim ortalamalarında şapelin dolu olduğu durumda Erken Yanal Enerji Oranları kabul edilebilir aralığın üstündeyken kaynağın apsiste olduğu durumda hacim ortlamalarının daha düşük çıkmış olmasının nedeni apsis bölümünde erken ses enerjisini nefte bulunan dinleyiciye yönletecek yansıtıcı panellerin olmayışdır.

Alıcı noktalarında elde edilen LF₈₀ değerlerinin yararlı oktav bantlardaki ortalamaları alınarak bu ortalamaların R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarındaki dağılımı elde edilmiştir. Şapelin hem boş hem dolu durumu için elde edilen bu ortalama LF₈₀ değerlerinin alıcı noktalarındaki dağılımı, Şekil 5.31'deki grafikte görülmektedir. Bu grafikte de görüldüğü gibi şapel boşken elde edilen LF₈₀ değerleri R1 ve R2 noktalarında kabul edilebilir değer aralığının alt sınırına yakın, R3 ve R4 noktalarında ise kabul edilebilir değer aralığının altında çıkmıştır.



Şekil 5.31 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen LF₈₀ değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.

Yine Şekil 5.31'deki grafikte görüldüğü gibi şapelin dolu durumunda tüm LF₈₀ değerleri, Barron tarafından önerilen 0,1-0,35 kabul edilebilir değer aralığındadır (Bkz. Çizelge 5.5). Ancak Beranek tarafından önerilen ve grafikte de gösterilen kabul edilebilir aralık göz önünde bulundurulduğunda LF₈₀ değerleri R2, R3 ve R4 noktalarında kabul edilebilir aralığa ulaşırken R1 noktasındaki LF₈₀ değeri, Beranek tarafından belirlenmiş en yüksek değerin biraz üstünde çıkmıştır (Bkz. Çizelge 5.5).

Kaynak korodayken de kaynak apsisteyken de elde edilen LF₈₀ değerleri şapelin dolu durumu için şapelin boş durumunda olduğundan yüksek çıkmıştır. Hacmin dolu durumu için Odeon programı kullanılarak elde edilen LF₈₀ değerleri, aynı programda hacmin boş durumu için yapılan simülasyonda da ölçümler sonucunda elde edilen değerlerden yüksektir. Şapelin boş durumunun simülasyonu sonucunda ulaşılan LF₈₀ değerleri, alıcı noktalarındaki yararlı oktav bant ortalamalarında, neredeyse tüm noktalarda, hacmin dolu durumundaki LF₈₀ değerlerine eşit çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni; Odeon programının LF₈₀ değerlerini ölçerken figure-of-eight (çift yönlü) mikrofonun (Bkz. Şekil 5.2) doğrultululuğunu tam olarak simüle etmesinin mümkün olmaması ve bu nedenle, programın bu değerleri elde etmek için kullandığı hesaplama yönteminin akustikçilerce tanımlanan LF₈₀ bağıntısından, çift yönlü mikrofonun ses basıncına karşı hassasiyeti de göz önünde bulundurularak, farklılaştırılmış olmasıdır. Odeon'dan elde edilen LF₈₀ değerleri için kabul edilebilir aralık ise 0,25'in üzeri

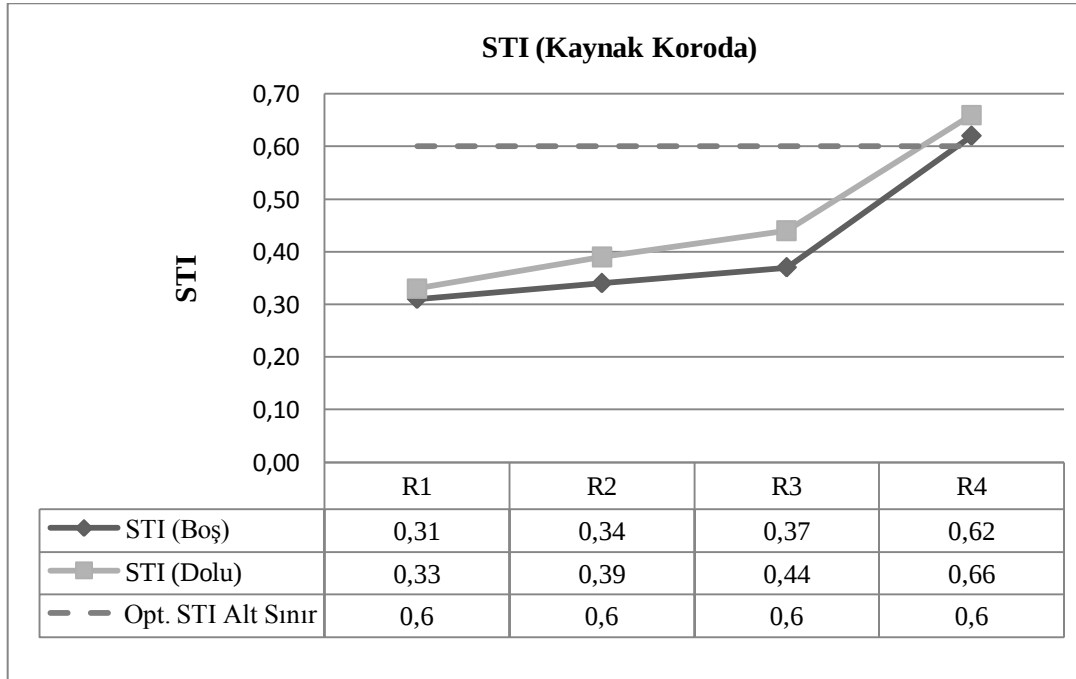
olarak belirlenmiştir (Christensen, 2003). Bu değer aralığı esas alındığında kaynak korodayken elde edilen LF_{80} değerlerinden sadece R3 noktasındaki, kaynak apsisteyken elde edilen LF_{80} değerlerindense sadece R1 noktasındaki ortalama değerler kabul edilebilir aralıktadır.

5.3.5 Ses İletim Göstergesi (STI)

Kaynak Koroda:

Kaynaktan çıkan ses, dinleyiciye ulaşırken, hacmin malzemeleri ve biçiminden etkilenen yansımalar ile fon gürültüsü tarafından değişikliğe uğratılır. Ses İletim Göstergesi (STI), kaynaktan çıkan ses sinyalinin dinleyiciye ulaşana kadar aldığı yol boyunca enerjisinde meydana gelen düşüşün analizi yöntemini kullanarak, ses iletiminin, konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkisini belirler. Ses İletim Göstergesi 0-1 arasında değişen değerler alır. STI, konuşmanın anlaşılabilirliği en yüksek düzeyde olduğunda 1, en düşük düzeyde olduğunda 0 değerini alacaktır (Bkz. Bölüm 2.2.12).

Şekil 5.32'deki grafikte Santa Anna Şapeli'nde, kaynak korodayken yapılan ölçümler sonucunda elde edilen STI değerleri ile yine kaynak korodayken şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucunda elde edilen STI değerleri görülmektedir. Grafikte sadece, STI için kabul edilebilir değer aralığının alt sınırı olan 0,6 değeri gösterilmiştir (Bkz. Çizelge 5.5). STI'nın alabildiği en yüksek değer olan 1, grafiğe işlenmemiştir.

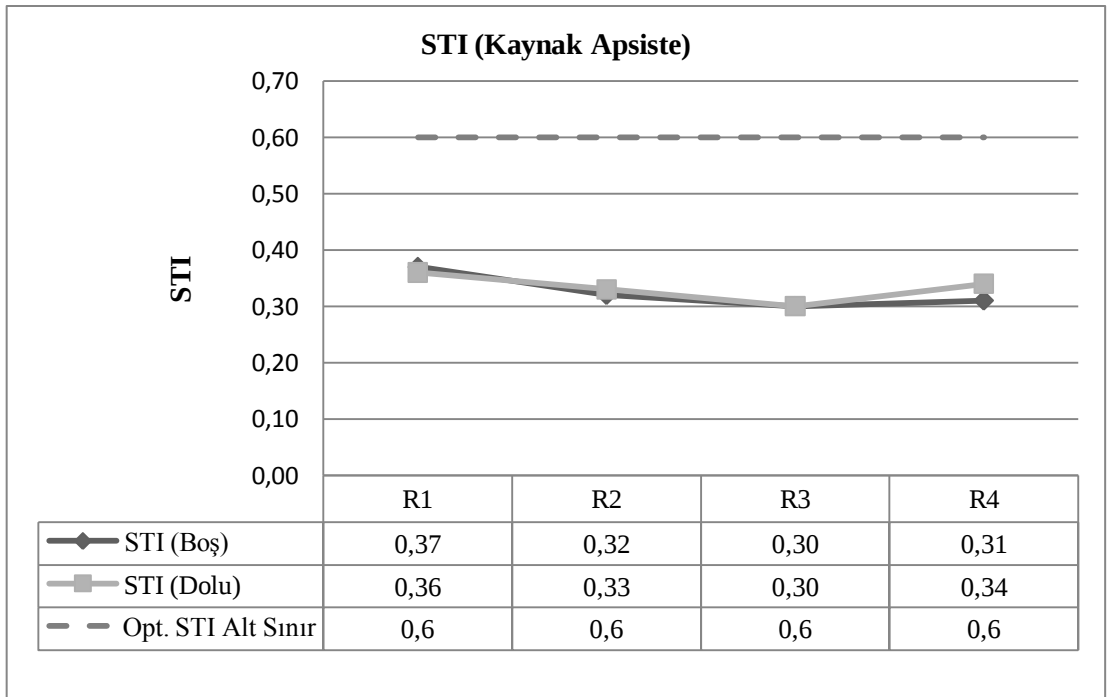


Şekil 5.32 Kaynak korodayken ölçüm noktalarında elde edilen STI değerleri.

STI değerleri, R1, R2 ve R3 noktalarında oldukça düşük çıkmıştır. Dinleyici bölümüne denk gelen bu alıcı noktalarında konuşmanın anlaşılabilirliği zayıftır. Bu alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir. Kaynak korodayken yine kaynağın yanında olan R4 noktasında çıkan değer için konuşmanın anlaşılabilirliği iyi sayılsa da bu nokta yansımış sesten çok dolaysız sesin etkisi altında olduğundan değerlendirmede bir önemi yoktur. Konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili olan STI parametresi değerlendirilirken dinleyici bölümündeki R1, R2 ve R3 noktalarında şapelin dolu durumu için elde edilen değerler önem taşımaktadır. Ancak dinleyici bölümündeki bu alıcı noktalarında elde edilen değerler, kaynak korodayken, şapeldeki konuşmanın anlaşılabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir (Bkz. Çizelge 5.5).

Kaynak Apsiste:

Rahip konuşma yaptığı sırada apsis bölümünde duracağından konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili parametreler değerlendirilirken kaynak apsisteyken elde edilen değerler kaynak korodayken elde edilen değerlerden daha önemlidir. Şekil 5.33'te, kaynak apsisteyken şapelin boş ve dolu durumları için belirlenen STI değerleri görülmektedir.



Şekil 5.33 Kaynak şapeldeyken ölçüm noktalarında STI değerleri.

Kaynak korodayken elde edilen STI değerleri, yetersiz olmalarına rağmen, ses sinyalini dinleyici bölümüne yönelten yansıtıcı panellerin etkisiyle kaynak apsisteyken elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Fakat apsis bölümünde rahibin sesini dinleyiciye

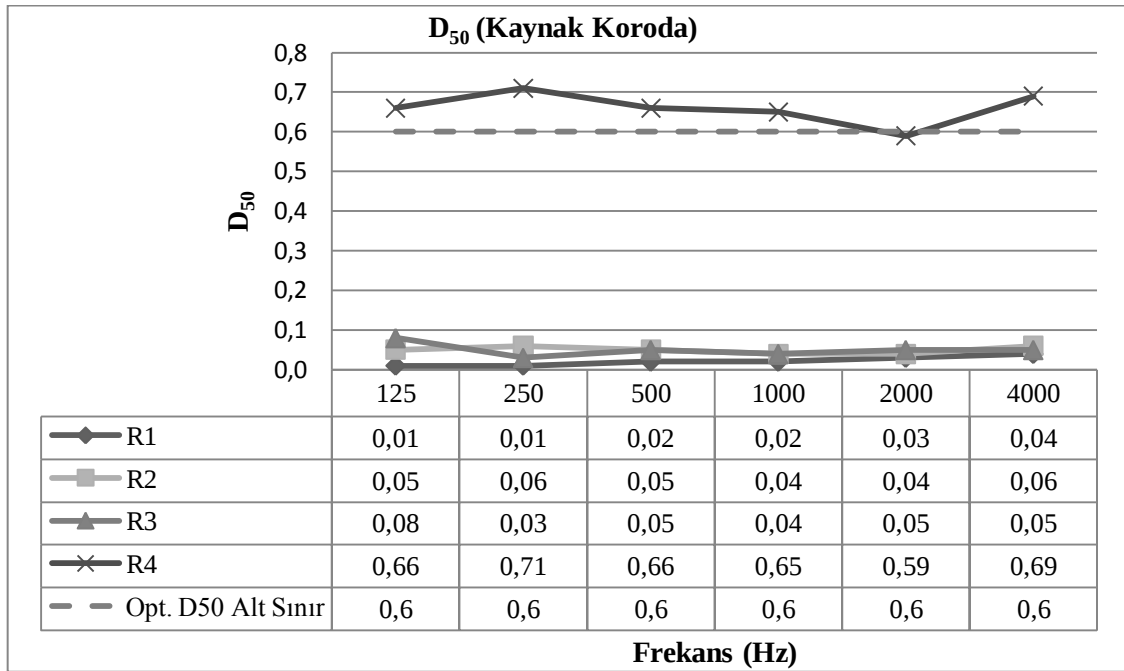
yöneltecek hiçbir yansıtıcı panel bulunmamaktadır. Dinleyici bölümünde bulunan R1, R2 ve R3 alıcı noktalarında hem şapel boşken hem de doluyken çıkan değerler çok düşüktür. Bu durumda STI parametresinin değerlendirmelerinden çıkan sonuç, şapeldeki konuşmanın anlaşılabilirliğinin kaynak hem korodayken hem de apsisteyken zayıf olduğudur (Bkz. Çizelge 5.5).

5.3.6 Ayırdedilebilirlik (D_{50})

Kaynak Koroda:

Dinleyiciye, dolaysız sesin ulaşmasından sonraki 50 ms içinde gelen seslerin basıncının toplam ses basıncına oranı olarak tanımlanabilecek olan bu parametre, konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgilidir. Bu oran yüksek değerler aldıkça konuşmanın içinde geçen hecelerin anlaşılabilirliği de artacaktır (Bkz. Bölüm 2.2.5). Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi için belirlenmiş kabul edilebilir en düşük değer 0,6'dır (Bkz. Bölüm 2.2.5; Çizelge 5.5). D_{50} parametresinin alabileceği en yüksek değer olan 1, grafiklere işlenmemiştir.

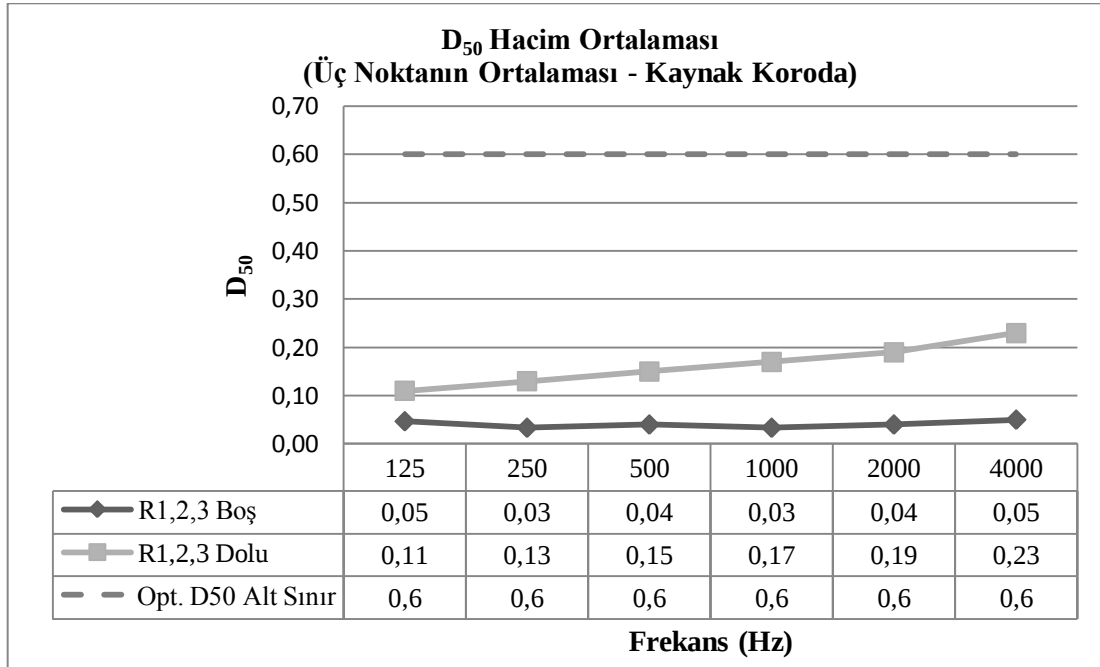
Her ne kadar konuşma söz konusu olduğunda koro bölümünde bulunan kaynağın yarattığı akustik koşullar bizim için önemli olmasa da bu çalışmada, hacmin genel durumun anlamak bakımından kaynak korodayken elde edilen D_{50} değerlerine de yer verilmiştir. Şekil 5.34'teki grafikte kaynak korodayken şapel içinde belirlenmiş olan R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarında ölçülen D_{50} değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Bu alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.



Şekil 5.34 Kaynak koroda ve şapel boşken ölçülen D_{50} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Koro bölümüne yerleştirilmiş olan yansıtıcıların, dinleyici bölümüne yöneltilen erken sesleri arttırması beklenen bir durumsa da dinleyici bölümündeki her üç noktada da D_{50} değerleri oldukça düşük çıkmıştır. Bu durum, yansımış sesin enerjisinin erken ses enerjisine oranla yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

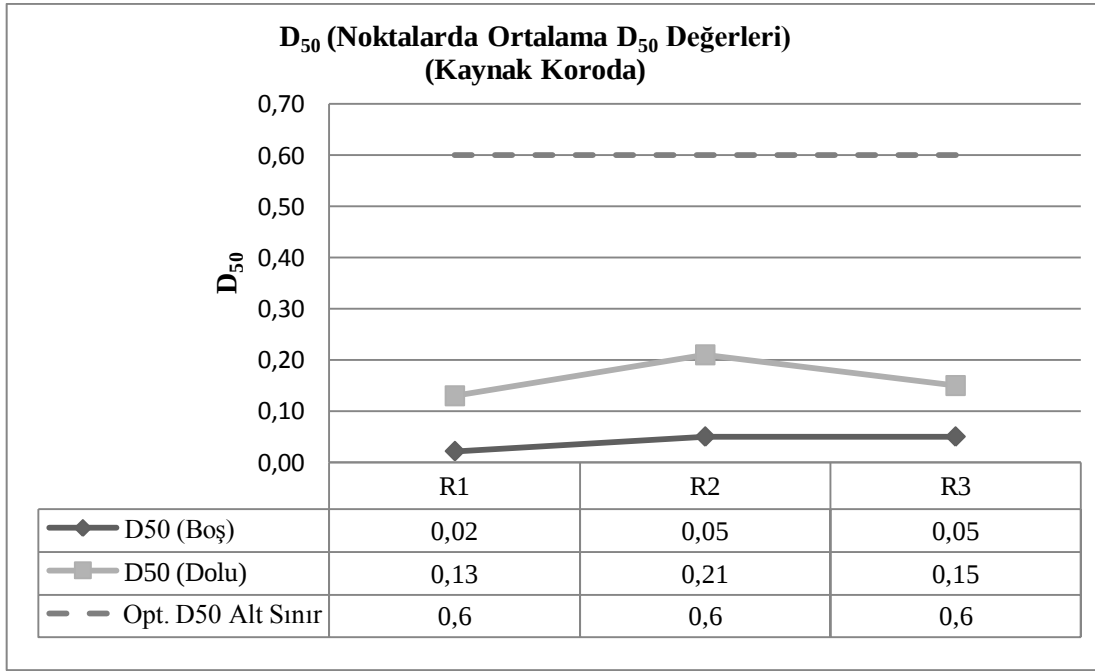
Şekil 5.35'teki grafikte kaynak korodayken, şapelin boş durumunda yapılan ölçümlerle şapelin dolu durumunun simülasyonları sonucunda elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Şapelin dolu durumunda elde edilen D_{50} değerleri, dinleyicilerin yutuculuğundan kaynaklı olarak düşen yansımış ses nedeniyle bir miktar artmış olsa da şapel boşken de doluyken de elde edilen Ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerleri oldukça düşüktür.



Şekil 5.35 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamaları.

Şekil 5.35'teki grafikte, sadece dinleyici bölümündeki R1, R2 ve R3 noktalarının hacim ortalamaları gösterilmiştir, koro bölümünde bulunan R4 noktasındaki D_{50} değerleri ise kaynağa çok yakın olduğundan dolayı göz ardı edilmiştir. Şapelin dolu durumunda elde edilen D_{50} değerlerinde yüksek frekanslara doğru görülen artış, şapel doluyken hacimde geniş bir yüzey oluşturan dinleyicilerin yutuculuğunun yüksek frekanslarda, alçak frekanslardaki yutuculuklarına oranla daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü yüksek frekanslarda artan yutuculuk bu frekanslardaki yansımış ses enerjisini düşürmüştü ve D_{50} değerlerinin artmasına neden olmuştur.

Şekil 5.36'daki grafikte şapel doluyken ve boşken dinleyici bölümündeki alıcı noktalarında elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamalarının bu noktalarındaki dağılımı görülmektedir. Koro bölümünde bulunan R4 noktası yansımış sesten çok dolaysız sesin etkisinde kaldığı için bu noktadaki ölçümlerin sağlıklı sonuç vermeyeceği düşünülmüş ve Şekil 5.36'daki grafikte bu değerlere yer verilmemiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi, dinleyici bölümündeki R1, R2 ve R3 alıcı noktalarında elde edilen D_{50} değerleri şapelin dolu durumunda boş durumunda olduğundan daha yüksek çıkmışsa da Ayırdilebilirlik (D_{50}) değerleri tüm noktalarda düşüktür.



Şekil 5.36 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D_{50} değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.

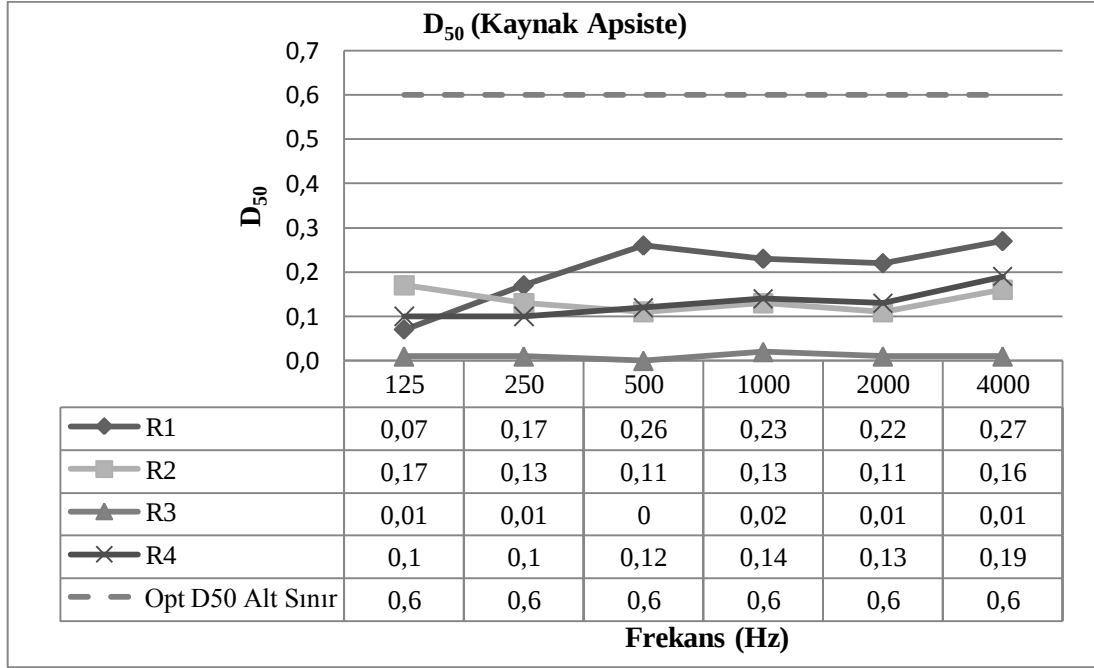
Şekil 5.36'daki grafikte de görüldüğü gibi kaynak korodayken D_{50} değerleri tüm alıcı noktalarında düşük çıkmıştır. Bu durum, şapel içinde konuşmanın anlaşılabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Kaynak Apsiste:

Rahip konuşma yaptığı sırada apsis bölümünde duracağından konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili bir parametre olan D_{50} değerlendirilirken, kaynak apsisteyken elde edilen değerler, kaynak korodayken elde edilen değerlerden daha önemlidir.

Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçüm noktalarında elde edilen D_{50} değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı, Şekil 5.37'deki grafikte görülmektedir. R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir. Ayırdilebilirlik (D_{50})

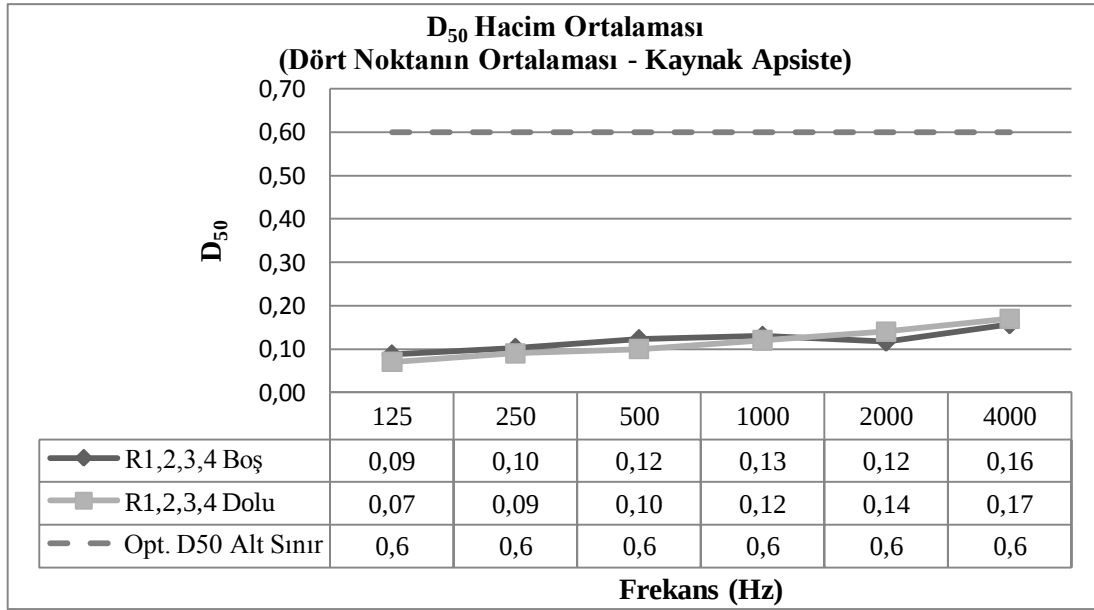
parametresi için belirlenmiş kabul edilebilir en düşük değer 0,6'dır (Bkz. Bölüm 2.2.5; Çizelge 5.5). Bu değer grafiklerde de görülmektedir, ancak D_{50} parametresinin alabileceği en yüksek değer olan 1, grafiklerde gösterilmemiştir.



Şekil 5.37 Kaynak apsiste ve şapel boşken ölçülen D_{50} değerlerinin frekanslardaki dağılımı.

Şekil 5.37'deki grafikte de görüldüğü gibi kaynak apasiteyken elde edilen D_{50} değerleri genel olarak, dinleyici bölümündeki alıcı noktalarında kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Ayırtedilebilirlik (D_{50}) değerlerinde orta ve yüksek frekanslarda R1'den R3 alıcı noktasına kadar bir düşüş gözlenirse de koro bölümündeki R4 noktasında R3'e göre hafif bir artış dikkat çekicidir. Ancak dört ölçüm noktasında da D_{50} değerleri dolayısıyla konuşmanın anlaşılabilirliği kabul edilebilir değerin altındadır.

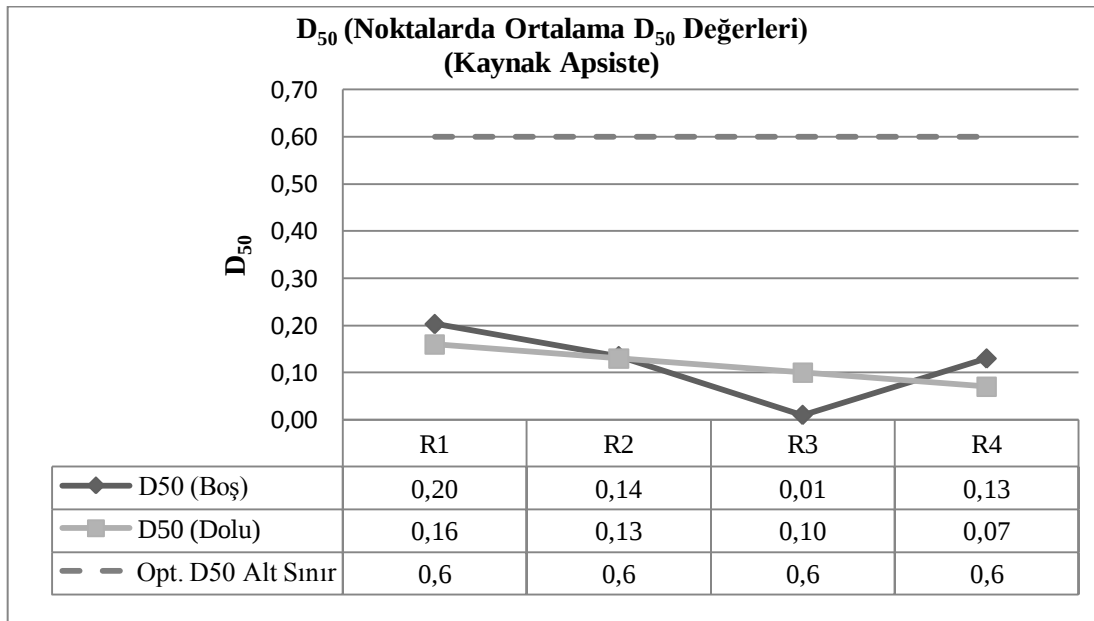
Hacimde önemli bir yutucu yüzey oluşturan dinleyicilerin varlığı, oktav bantlarda elde edilen parametre değerlerini dolayısıyla da konser ya da konuşma gibi işlevler sırasında oluşacak akustik koşulları etkilediğinden, şapelin akustik koşulları hakkında sağlıklı bir değerlendirme yapmak için şapelin dolu durumunun simülasyonu yapılmıştır. Şekil 5.38'deki grafikte kaynak apsisteyken, şapelin boş durumunda yapılan ölçümlerle, şapelin dolu durumunun simülasyonları sonucunda elde edilen D_{50} değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir. Kaynak korodayken elde edilen hacim ortalamalarında D_{50} değerleri şapel doluyken bir miktar artmıştır fakat kaynağın apsiste olduğu durumda Şekil 5.38'deki grafikte de görüldüğü gibi ölçümler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen D_{50} değerleri, şapelin dolu ve boş durumlarında birbirine oldukça yakındır.



Şekil 5.38 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D₅₀ değerleri hacim ortalamaları.

Şekil 5.38’deki grafikte görülen D₅₀ değerleri şapelin dolu ve boş durumunda da kabul edilebilir değerin altındadır. Bu değerler şapelde konuşmanın anlaşılabilirliğinin de düşük olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.39’daki grafikte şapel doluyken ve boşken alıcı noktalarında elde edilen D₅₀ değerlerinin ortalamalarının bu noktadaki dağılımı görülmektedir. R4 noktası kaynağa çok yakın olduğu için bu noktadaki sonuçlar değerlendirmede dikkate alınmamıştır.



Şekil 5.39 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen D₅₀ değerlerinin ölçüm noktalarındaki ortalamaları.

Dinleyicilerin konuşmayı anlama yüzdeleri dinleyici bölümünde bulunan R1, R2 ve R3 noktalarında elde edilen değerlerle anlaşılabildiğinden bu noktalarda ölçülen ve simülasyon sonucu elde edilen D_{50} değerleri daha önemlidir. R1, R2, R3 ve R4 alıcı noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

Şekil 5.39'daki grafikte de görüldüğü gibi R1 ve R2 noktalarındaki D_{50} değerleri şapelin boş durumunda dolu durumunda olduğundan biraz daha yüksektir fakat bu noktalarındaki değerler karşılaştırıldığında iki durum arasında dikkat çekici bir fark yoktur. Şapel doluyken D_{50} değeri sadece R3 noktasında küçük bir artış göstermiştir. Bu da dinleyicilerin yutuculuğundan kaynaklı olarak yansımış sesin düşmesinin D_{50} 'yi artırıcı etkisi göz önünde bulundurulduğunda beklenen bir durumdur. Şapel doluyken de boşken de elde edilen D_{50} değerleri birbirine yakındır ancak bu değerler, tüm noktalarda düşük çıkmıştır yani şapel içinde konuşmanın anlaşılabilirliği yeterli değildir.

Kaynak korodayken de apsisteyken de D_{50} için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, şapelde konuşmanın anlaşılabilirliğinin zayıf olduğu görülür (Bkz. Çizelge 5.5). Hacimde, konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili olan parametrelerden, hem STI hem D_{50} değerleri, şapelde konuşmanın anlaşılabilirliğinin zayıf olduğunu göstermiştir. Hacmin yüzey malzemeleri ve biçimi, Yansıma Süresi'nin uzun ve erken yansımaların da yetersiz olmasına neden olmaktadır; bu durum hacimde konuşmanın anlaşılabilirliğinin de yetersiz olmasını beraberinde getirir. Şapelin mevcut durumunda, konuşmanın, elektronik bir sistemden yararlanmadan anlaşılabilir olması olanaklı değildir. Bu nedenle ses, dinleyiciye küçük bir hoparlör düzeneği kurularak yönlendirilmiştir. Bu düzeneğin hakkında bir çalışma yapılmamıştır fakat düzeneğin sesi dinleyiciye yöneltip doğrultululuğunu ve Sessizlik'ini artırarak konuşmanın anlaşılabilirliğini de artırması beklenmektedir.



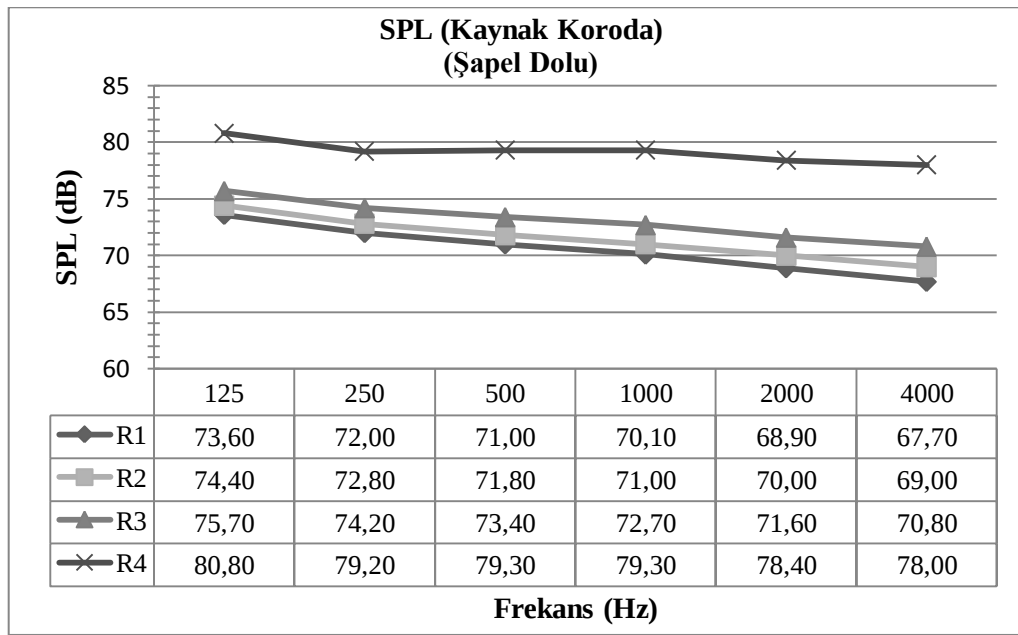
Şekil 5.40 Solda rahibin konuşması için ayrılan kürsünün yanına konulmuş olan mikrofon, sağda ise sesi dinleyiciye yönelten hoparlörlerden biri görülmektedir.

5.3.7 Ses Basınç Düzeyi (SPL)

Kaynak Koroda:

Şapelde ölçüm yapılırken sahip olunan kısıtlı sürede ölçümler için kullanılan Dirac 3.0 programında SPL ölçümleri için gerekli kalibrasyon yapılamamıştır. Bu nedenle şapeldeki fon gürültüsü dolayısıyla alıcı noktalarındaki Ses Basınç Düzeyleri (SPL) ölçülememiştir. Bu değerler Odeon 7.01 programından yararlanılarak elde edilmiştir.

Şekil 5.41'deki grafikte şapelin dolu durumunun simülasyonu ile alıcı noktalarında elde edilen SPL değerleri görülmektedir. Odeon programında kaynak, 90 dB ve omnidirectional nokta kaynak olarak koro bölümünde tanımlanmıştır.

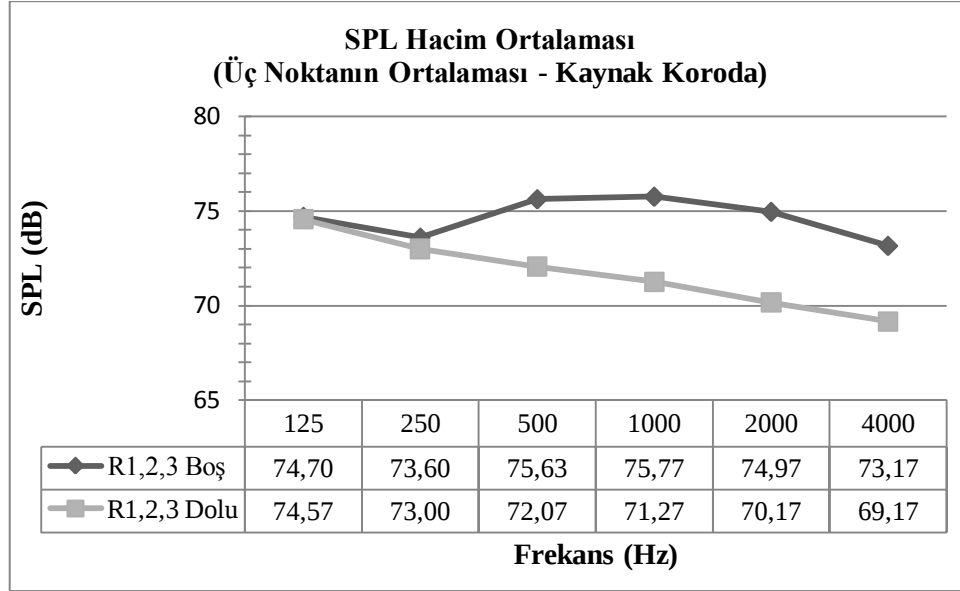


Şekil 5.41 Kaynak korodayken şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucu elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.

Koro bölümünde bulunan kaynaktan çıkan ses yansıtıcı paneller aracılığıyla dinleyiciye yöneltilmiş olsa da Şekil 5.41'deki grafikte de görüldüğü gibi, Dolaysız Ses Düzeyi uzaklıkla ters orantılı olduğu için kaynaktan uzaklaştıkça ses düzeyinde düşüş gözlenmektedir.

Şekil 5.42'deki grafikte kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için yapılan simülasyonlarda alıcı noktalarında elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki hacim ortalamaları görülmektedir. Bu ortalamalarda kaynağa çok yakın olması nedeniyle yansımış sestən çok, dolaysız sesin etkisinde olan R4 noktası dikkate alınmamıştır. R1, R2, R3 ve R4 noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.

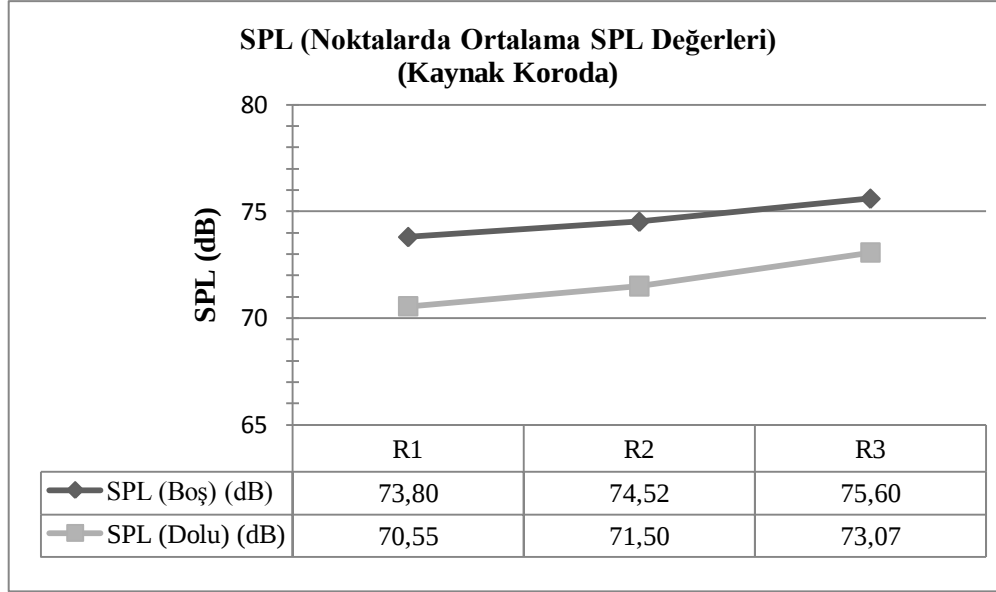
Şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucunda elde edilen SPL hacim ortalamaları, Şekil 5.42'deki grafikte de görüldüğü gibi, yüksek frekanslara doğru düşmektedir. Bu durum T_{30} değerleri incelenirken de görülen Yansışım Süreleri'nin frekanslardaki dağılımı ile açıklanabilir (Bkz. Bölüm 5.3.1). Hacimde yüksek frekanslara doğru düşen Yansışım Süresi, bu frekanslardaki Yansışmış Ses Düzeyi'nin de düşük olmasına neden olmuştur.



Şekil 5.42 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki hacim ortalamaları.

Şekil 5.42'deki grafikte görülen, şapel boşken elde edilen SPL değerleri ise orta frekanslarda artış göstermektedir. Bunun nedeni bu frekanslarda yansımış sesin Toplam Ses Düzeyi'ni arttırmasıdır. Ölçümlerde yüksek frekanslarda Yansışım Süresi düşük çıktığı hâlde Odeon'dan elde edilen Yansışım Süresi değerlerinde, bu frekanslarda, bir miktar artış görülmektedir. Özellikle orta frekanslarda görülen bu durum Yansışmış Ses Düzeyi'ni arttırarak hacmin boş durumunun simülasyonu ile elde edilen SPL değerlerine de yansımıştır.

Şekil 5.43'teki grafikte alıcı noktalarında elde edilen SPL değerlerinin ortalamalarının dinleyici bölümündeki üç alıcı noktasındaki dağılımı görülmektedir. Bu grafikte de görüldüğü gibi, şapel boşken de doluyken de elde edilen SPL değerleri kaynaktan uzaklaştıkça, Dolaysız Ses Düzeyi'ndeki azalmaya bağlı olarak düşmektedir.



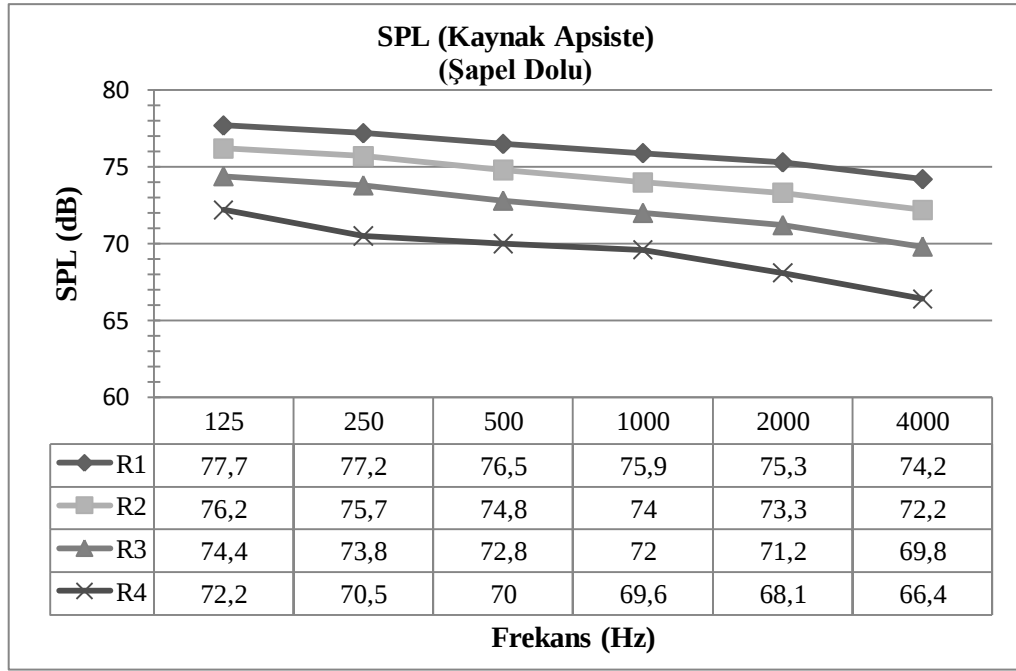
Şekil 5.43 Kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.

Şapelde yansımış sesin düzgün yayılmış olduğu elde edilmiş olan T_{30} değerlerinin incelenmesiyle belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 5.3.1). Bu durum da alıcı noktalarındaki SPL değerlerinde kaynaktan uzaklaştıkça meydana gelen değişimin, Yansımış Ses Düzeyi'nde meydana gelmiş olabilecek değişikliklerden değil, Dolaysız Ses Düzeyi'nin kaynaktan uzaklaştıkça düşmesinden kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Kaynak Apsiste:

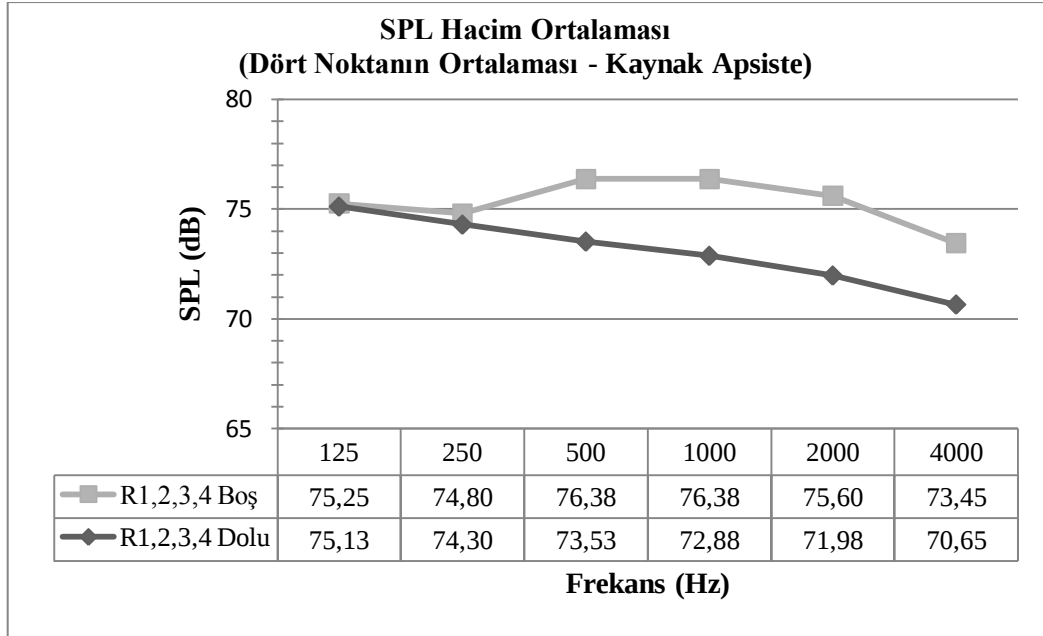
Şapelde ölçüm yapılırken sahip olunan kısıtlı sürede ölçümler için kullanılan Dirac 3.0 programında SPL ölçümleri için gerekli kalibrasyon yapılamamıştır. Bu nedenle şapeldeki fon gürültüsü dolayısıyla alıcı noktalarındaki Ses Basınç Düzeyleri (SPL) ölçülememiştir. Bu değerler, kaynak korodayken olduğu gibi, kaynağın apsiste olduğu durumda da Odeon 7.01 programından yararlanılarak elde edilmiştir.

Şekil 5.44'teki grafik kaynak apsisteyken ve şapel doluyken alıcı noktalarında elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki dağılımını göstermektedir. 90 dB gücündeki kaynak, apseye yerleştirilmiştir. Tüm noktalarda görülen yüksek frekanslardaki SPL değerlerinin düşüşü, Yansımış Ses Düzeyi'nin oktav bantlardaki dağılımına bağlıdır. Yansımış Ses Düzeyi'nin yüksek frekanslarda daha düşük olmasının nedeni; Yansıma Süresi'nin frekanslardaki dağılımıdır. Alıcı noktaları arasında görülen R1 noktasından R4 noktasına kadar düşüş de Dolaysız Ses Düzeyi'nin uzaklığa bağlı olarak azalmış olmasıyla ilgilidir. R1, R2, R3 ve R4 noktalarının ve kaynağın şapeldeki yerleri Şekil 5.3'te plan düzleminde görülebilir.



Şekil 5.44 Kaynak apsisteyken şapelin dolu durumunun simülasyonu sonucu elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki dağılımı.

Şekil 5.45'deki grafikte, şapelin dolu ve boş durumunun simülasyonu sonucunda elde edilen SPL değerleri hacim ortalamalarının altı oktav banttaki dağılımı görülmektedir.



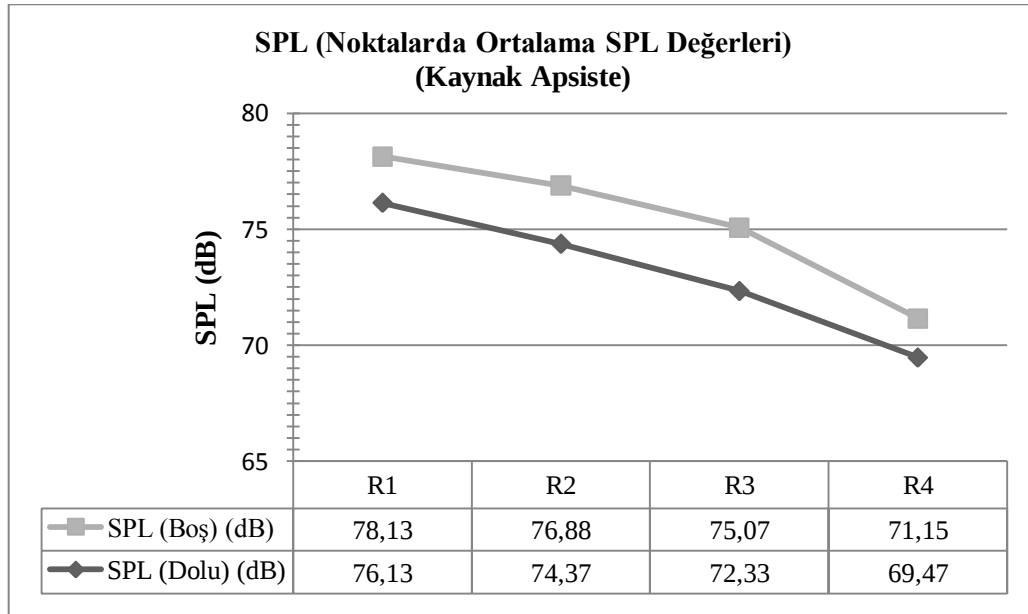
Şekil 5.45 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin altı oktav banttaki hacim ortalamaları.

Kaynak apsisteyken de kaynak korodayken olduğu gibi şapelin boş hâlinin simülasyonu ile elde edilen SPL değerleri orta frekanslarda artış göstermektedir. Bunun nedeni şapelin boş

durumunun simülasyonundaki Yansımış Ses Düzeyi'nin bu frekanslarda daha yüksek olmasıdır. Bu da simülasyonda elde edilen T_{30} değerlerinin frekanslardaki dağılımıyla ilgilidir. Şapelin boş hâlinde yapılan ölçümlerle elde edilen T_{30} değerleri ile boş durumunun simülasyonu ile elde edilen T_{30} değerleri arasındaki bu fark, muhtemelen, simülasyon sırasında şapelin gerçek durumundaki akustik koşulların tam olarak yaratılamamış olmasından kaynaklıdır.

Kaynak apsisteyken de korodayken de şapelin dolu durumundaki SPL değerleri yüksek frekanslarda düşmektedir. Bu durum D_{50} ve STI parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda görülen, konuşmanın anlaşılabilirliğinin şapelde düşük olması durumunu desteklemektedir. Çünkü konuşmanın anlaşılabilirliğinde ünsüzlerin anlaşılabilirliği önemli rol oynar ve ünsüz harfler yüksek frekanslı seslerden oluşur. Konuşmanın yapısı gereği düzeyleri düşük olan ve fon gürültüsü tarafından kolayca maskelenebilecek bu seslerin düzeyini, şapelin akustik koşulları da desteklememektedir. Şapelde konuşmanın anlaşılabilirliğini arttırmak üzere elektronik bir sistemden yararlanılmıştır. Bu hoparlör düzeneği hakkında bir çalışma yapılmamıştır fakat düzeneğin, sesi dinleyiciye yöneltip doğrultululuğunu ve Sesslilik'ini arttırarak konuşmanın anlaşılabilirliğini de arttırması beklenmektedir (Bkz. Bölüm 5.3.6, Şekil 5.40).

Şekil 5.46'daki grafik, şapelin dolu ve boş durumunun simülasyonu sonucunda alıcı noktalarında elde edilen ortalama SPL değerlerinin bu noktalardaki dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.46 Kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen SPL değerlerinin alıcı noktalarındaki ortalamaları.

Grafikte, R1 noktasından R4'e doğru yani apsisteki kaynaktan uzaklaştıkça Ses Basınç Düzeyi düşmektedir. Şapelin dolu durumundaki Ses Basınç Düzeyi, şapelin boş durumuna oranla daha düşüktür. Bunun nedeni, dinleyicilerin yutuculuğuna bağlı olarak Yansımış Ses Düzeyi'nin düşmüş olmasıdır.

5.4 Akustik Değerlendirmelerden Çıkarılan Sonuç

Bölüm 5.3'te, sırasıyla T_{30} , EDT, C_{80} , LF_{80} , D_{50} , STI ve SPL parametreleri kaynak koroda ve kaynak apsiste olmak üzere edinilmiş değerleri ile yorumlanmıştır. SPL dışında, tüm parametreler incelenirken şapelin boş durumunda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerle, Odeon 7.01 programında şapelin dolu durumu için yapılan simülasyon sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Ölçümler sırasında kısıtlı bir zamana sahip olunması, ölçümler için kullanılan Dirac 3.0 programında, Ses Basınç Düzeyi (SPL) ölçümleri için gerekli olan kalibrasyonun yapılamamasına ve ayrıca şapeldeki fon gürültüsünün de ölçülememesine neden olmuştur. Ses Basınç Düzeyi değerleri, şapelin hem boş hem dolu durumunda Odeon 7.01 programında gerçekleştirilen simülasyonlarla elde edilmiştir.

Çizelge 5.11'de kaynak korodayken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen parametre sonuçları ve bu sonuçların konser salonları için kabul edilebilir değer aralıkları ile değerlendirilmesi görülmektedir.

Çizelge 5.11 Kaynak korodayken alıcı noktalarında elde edilen parametre sonuçlarının değerlendirmesi.

Kaynak Koroda	R1	R2	R3	Kabul Edilebilir Aralık	Değerlendirme*
T_{30} (Boş)	3,83	3,62	3,59	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s	Olumsuz
T_{30} (Dolu)	2,71	2,78	2,71	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s	Olumsuz
EDT (Boş)	3,73	3,48	3,06	$1,9 \leq EDT \leq 2,4$ s	Olumsuz
EDT (Dolu)	3,11	2,88	2,45	$1,9 \leq EDT \leq 2,4$ s	Olumsuz
C_{80} (Boş)	-10,60	-7,91	-8,15	$-4 < C_{80} < +2$ dB	Olumsuz
C_{80} (Dolu)	-5,17	-3,20	-3,83	$-4 < C_{80} < +2$ dB	Olumlu
LF_{80} (Boş)	0,09	0,09	0,24	$0,11 \leq LF_{80} \leq 0,23$	Olumlu
LF_{80} (Dolu)	0,22	0,21	0,36	$0,11 \leq LF_{80} \leq 0,23$	Olumlu
STI (Boş)	0,31	0,34	0,37	$0,6 < STI$	Olumsuz
STI (Dolu)	0,33	0,39	0,44	$0,6 < STI$	Olumsuz
D_{50} (Boş)	0,02	0,05	0,05	$0,6 < D_{50}$	Olumsuz
D_{50} (Dolu)	0,13	0,21	0,15	$0,6 < D_{50}$	Olumsuz

* Değerlendirmeler, R1, R2 ve R3 noktalarında elde edilen değerlerin ortalaması üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 5.12’de kaynak apsisteyken şapelin dolu ve boş durumu için elde edilen parametre sonuçları ve bu sonuçların konser salonları için kabul edilebilir değer aralıkları ile değerlendirilmesi görülmektedir.

Çizelge 5.12 Kaynak apsisteyken alıcı noktalarında elde edilen parametre sonuçlarının değerlendirmesi.

Kaynak Apsiste	R1	R2	R3	R4	Kabul Edilebilir Aralık	Değerlendirme*
T ₃₀ (Boş)	3,58	3,63	3,43	3,69	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s	Olumsuz
T ₃₀ (Dolu)	2,79	2,83	2,93	3,02	$1,8 \leq T_{60} \leq 2,2$ s	Olumsuz
EDT (Boş)	3,26	3,70	3,77	3,72	$1,9 \leq EDT \leq 2,4$ s	Olumsuz
EDT (Dolu)	2,91	3,10	3,42	3,52	$1,9 \leq EDT \leq 2,4$ s	Olumsuz
C ₈₀ (Boş)	-3,43	-6,40	-11,18	-6,23	$-4 < C_{80} < +2$ dB	Olumsuz
C ₈₀ (Dolu)	-4,40	-5,47	-6,50	-7,80	$-4 < C_{80} < +2$ dB	Olumsuz
LF ₈₀ (Boş)	0,13	0,10	0,04	0,09	$0,11 \leq LF_{80} \leq 0,23$	Olumsuz
LF ₈₀ (Dolu)	0,26	0,23	0,17	0,14	$0,11 \leq LF_{80} \leq 0,23$	Olumlu
STI (Boş)	0,37	0,32	0,30	0,31	$0,6 < STI$	Olumsuz
STI (Dolu)	0,36	0,33	0,30	0,34	$0,6 < STI$	Olumsuz
D ₅₀ (Boş)	0,20	0,14	0,01	0,13	$0,6 < D_{50}$	Olumsuz
D ₅₀ (Dolu)	0,16	0,13	0,10	0,07	$0,6 < D_{50}$	Olumsuz

Şapelde yapılan ölçümlerde elde edilen T₃₀ değerleri, şapel içindeki ölçüm noktalarında Düzgün Yayılmışlık göstermektedir. Bunun bir nedeni, hacmin biçiminin ve yüzey malzemelerinin yansıması arttırarak sesin hacmi doldurmasını sağlamasıdır; diğer bir nedeni de yan nişlerde bulunan aziz ve azize heykellerinin ve bunların üzerlerinde bulunduğu süslü sunakların dağıtıcı yüzeyler oluşturmalarıdır. T₃₀ değerleri şapel içinde düzgün yayılmışsa da bu değerlerin altı oktav banttaki dağılımı incelendiğinde alçak frekanslardaki T₃₀ değerlerinin orta ve yüksek frekanslara göre daha uzun olduğu görülmüştür. Şapelde Sıcaklık hissini oluşturmasının göstergesi olan bu durum, konser salonlarının akustik kalitesi açısından tercih edilmektedir (Bkz. Bölüm 2.2.1, Şekil 2.9). Şapelde Sıcaklık hissini müzik amaçlı bir hacim için yeterli olduğu, Bas Seslerin Oranı (BR) değerleri incelenerek de doğrulanmıştır (Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8). Parlaklık değerleri, şapelin dolu hâli için, konser salonları incelenirken Beranek (1996) tarafından tercih edildiği gibi T₃₀ değerleriyle incelenmiş ve şapel doluyken Parlaklık hissini yeterli olmadığı görülmüştür. Şapelin dolu durumu için Parlaklık ise yine Beranek (1996) tarafından önerildiği gibi EDT ile incelenmiştir. T₃₀ değerleri, şapel boşken ve doluyken değerlendirilmiş ve bu değerlerin kaynak korodayken de apsisteyken de konser

* Değerlendirmeler, R1, R2, R3 ve R4 noktalarında elde edilen değerlerin ortalaması üzerinden yapılmıştır.

salonları için kabul edilebilir değer aralığı olan 1,8-2,2 s aralığının üstünde olduğu görülmüştür. Yansışım Süreleri'nin uzunluğu göz önünde bulundurulduğunda bu hacmi Canlı olarak tanımlamak doğru olacaktır.

Şapelde kaynak korodayken de apsisteyken de ölçüm ve simülasyonlar sonucunda elde edilen EDT değerleri, T_{30} değerlerinden uzundur. Yansışım Süresi'ni hesaplamak için Sabine tarafından önerilen bağıntının temel kabulü sesin hacimde tam yayınık olduğu ve ses düşüşünün tamamen düzgün ve pürüzsüz gerçekleştiğidir (Bkz. Bölüm 2.2.1 ve Bölüm 2.2.2). Bu varsayıma göre EDT ve T_{60} değerleri birbirine eşit olmalıdır. Oysa mevcut hacimlerde yapılan çalışmalar bu varsayımın genelde geçerli olmadığını göstermiştir (Bkz. Bölüm 2.2.2). EDT değerlerinin T_{30} değerlerinden daha uzun çıkması şapeldeki ses düşüş eğrisinin bölüm 2.2.2'deki Şekil 2.11(c)'de görülen düşüş eğrisine benzer olduğunu gösterir. Konser salonları için kabul edilebilir aralık olan 1,9-2,4 s aralığının da üstünde çıkan yüksek EDT değerleri, hacimde erken yansımaların düşük olduğunun göstergesidir. Bu durum ve yüksek T_{30} değerleri ise şapelde Netlik değerinin düşük olduğuna işaret eder (Bkz. Bölüm 2.2.2). Bu da elde edilen C_{80} değerleri incelendiğinde doğrulanmaktadır. Beranek hacmin boş durumu için Parlaklık öznel parametresini EDT değerlerinin frekanslardaki dağılımını inceleyerek belirlemiştir (Beranek, 1996). Şapel boşken elde edilen EDT değerleriyle Tiz Seslerin Oranı (TR) incelendiğinde kaynak korodayken de apsisteyken de hacimdeki Parlaklık işitsel algısının yeterli olmadığı görülür.

Şapel boşken elde edilen C_{80} değerleri kaynak korodayken de kaynak apsisteyken de kabul edilebilir aralığın dışında ve düşük çıkmıştır (Bkz. Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12). Şapel doluyken ve kaynak korodayken elde edilen Netlik (C_{80}) değerleri, R2 ve R3 noktalarında kabul edilebilir aralık olan -4 ve +2 dB arasında kalmışsa da R1 noktasında olması gereken aralığın dışında ve düşük çıkmıştır (Bkz. Çizelge 5.11). Şapel doluyken ve kaynak apsisteyken elde edilen Netlik değerleri de tüm noktalarda düşüktür. EDT ve T_{30} değerleri incelenirken de öngörüldüğü gibi şapelin akustik koşulları Netlik (C_{80}) parametresi için olması gereken değerleri sağlayamamaktadır. Bu parametre müziği oluşturan seslerin birbirinden ayrışık olma derecesi ile ilgili olduğundan bu durum, hacme, erken yansımaları arttıracak ya da Yansışım Süresi'ni düşürecek bir müdahale yapılmadığı sürece şapelde müziğin net olarak duyulma kalitesinin düşük olacağını gösterir (Bkz. Bölüm 2.1.3). Şapelde erken yansımaları arttıracak panellerle ikinci bir kabuk oluşturmak şapelin tarihî ve mimari değeri göz önünde bulundurulduğunda mümkün olmadığından ancak bu kaygılar dikkate

alınarak yerleştirilecek ve şapelin mimarisini bozmayacak olan elemanlarla yutuculuğu arttırmak, dolayısıyla T_{30} değerlerini düşürmek, bir çözüm önerisi olarak doğru olacaktır.

Şapel boşken elde edilen Erken Yanal Enerji Oranı (LF_{80}) değerleri düşüktür. Ancak şapelin dolu durumunun Odeon programında simülasyonu sonucunda görülmüştür ki kaynak korodayken de apsisteyken de elde edilen LF_{80} değerleri, hacmin dolu durumu için şapelin boş durumunda olduğundan yüksek çıkmaktadır. Bu duruma açıklık getirmek için şapelin boş durumunun simülasyonu sonucunda ulaşılan LF_{80} değerlerini incelediğimizde, alıcı noktalarındaki yararlı oktav bant ortalamalarının, neredeyse tüm noktalarda, hacmin dolu durumundaki LF_{80} değerleri ortalamalarına eşit olduğu görülmüştür. Bu durum, hacmin boş hâlinin simülasyonu sonucunda elde edilen LF_{80} değerlerinin, hacmin boş hâlinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen LF_{80} değerlerinden farklı olduğunu göstermektedir. Bunun en önemli nedeni; Odeon programının LF_{80} değerlerini ölçerken figure-of-eight (çift yönlü) mikrofonun (Bkz. Şekil 5.2) doğrultululuğunu tam olarak simüle etmesinin mümkün olmaması ve bu nedenle programın bu değerleri elde etmek için kullandığı hesaplama yönteminin, akustikçilerce tanımlanan LF_{80} bağıntısından, çift yönlü mikrofonun ses basıncına karşı hassasiyeti de göz önünde bulundurularak, farklılaştırılmış olmasıdır (Christensen, 2003). Odeon programının kitapçığında da açıklandığı üzere Odeon için belirlenen kabul edilebilir LF_{80} aralığı Beranek ve Barron tarafından önerilenden farklıdır (Bkz. Çizelge 5.5). Bu öneriye göre LF_{80} için kabul edilebilir değer 0,25'in üstünde olmalıdır (Christensen, 2003). Bu aralık göz önünde bulundurulduğunda kaynak korodayken şapelin dolu durumunda elde edilen değerlerin genel olarak yeterli olduğu, kaynak apsisteykense elde edilen LF_{80} değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Ancak Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12'de LF_{80} için Beranek tarafından önerilen kabul edilebilir aralık temel alınmıştır.

STI ve D_{50} parametreleri incelendiğinde şapelde konuşmanın anlaşılabilirliğinin zayıf olduğu görülmüştür. Santa Anna Şapeli daha çok müzik amaçlı bir hacim olarak kullanılacak olsa da dinî işlevi de olan bir şapeldir. Bu nedenle konuşmanın anlaşılabilirliğinin şapele bir hoparlör düzeneği kurularak desteklenmesi tercih edilmiştir. Hoparlörlerin sesin doğrultululuğunu ve düzeyini arttırarak konuşmanın anlaşılabilirliğini arttırdığı öngörülmektedir. Ancak bu tez çalışması kapsamında şapelde bulunan bu hoparlör düzeneğiyle ilgili bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

Ses Basınç Düzeyi (SPL) parametresinin ise ölçüm noktalarındaki ve frekanslardaki dağılımı beklenildiği gibi çıkmıştır. SPL değerleri, kaynak apsisteyken de korodayken de kaynaktan uzaklaştıkça, dolaysız sesin azalması nedeniyle düşmüştür ve bu değerlerin frekanslardaki

dağılımında ise SPL değerleri, Yansıymış Ses Düzeyi ile bağlantılı olarak Yansıym Süresi ve Erken Düşme Süresi'nde olduğu gibi yüksek frekanslara doğru bir azalma göstermiştir. SPL değerleri, kaynak korodayken de apsisteyken de şapelin dolu durumunda, artan yutuculuğa bağlı olarak azalan Yansıymış Ses Düzeyi'nden dolayı şapelin boş durumunda olduğundan düşüktür.

Şapelde, Netlik (C_{80}), Ses İletim Göstergesi (STI) ve Ayırdedilebilirlik (D_{50}) gibi parametreler ile yakından ilişkili olan T_{60} ve EDT değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Kabul edilebilir değer aralıkları dışında çıkan bu değerlerin düşürölmesi, bu parametrelerin değerlerinden etkilenen C_{80} , STI ve D_{50} değerlerini dolayısıyla şapelin akustik kalitesini iyileştirme açısından önemlidir. EDT değerlerini uygun aralıklara getirmek için yansıtıcılarla ikinci bir kabuk oluşturarak erken yansımaları arttırmak, teoride doğru bir çözüm olsa da uygulamada şapelin tarihî ve mimari değeri göz önünde bulundurulduğunda mümkün değildir. T_{30} değerlerini düzenlemek için de ikinci bir kabuk oluşturarak yüzey alanlarını arttırmak teoride uygun bir öneridir fakat aynı mimari ve tarihî kaygılar dolayısıyla bunun için en uygun çözüm şapelde yutucu malzemelerin arttırılmasıdır. Ancak bunun uygulanması sırasında da şapelin tarihî ve estetik değerinden bir şey yitirmemesinin önemli bir konu olduğu unutulmamalıdır. Bu durum şapelin, estetik özelliklerini de bozmayacak şekilde, örneğin paneller ve de ağır kumaşlar üzerine basılmış ikonaların dekoratif amaçlı kullanımı ile çözülebilir. Fakat şapelde yutuculuğu arttırmak amacıyla paneller veya gözenekli malzemeler kullanılırken dikkat edilmesi gereken bir konu da Yansıym Süresi ve Erken Düşme Süresi değerlerinin frekanslardaki dağılımının korunmasının önemli olduğudur. Bu değerlerin frekanslara dağılımında görölen alçak frekanslardaki artışın konser amaçlı hacimler için gerekliliği unutulmamalıdır. Bu nedenle şapelde yutucu malzemeleri arttırırken bu malzemelerin şapeldeki dağılımına ve boyutlarına önem verilmeli ve simölasyonlar yardımıyla gerçekleştirilecek titiz bir ön çalışma yapılarak, uygulama gerçekleştirilmeden önce bu malzemelerin şapelin akustik koşulları üzerine etkileri dikkatle denetlenmelidir.

KAYNAKLAR

- ACARMA, (1995), “Ermita del Convento de Santa Anna, Albal, Estudio Acústico Previo”, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- ACARMA, (2004), “Rehabilitación de Santa Anna, Albal, Estudio Acústico”, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- Aknesil, A. E., (1997), “Salonların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesinde Akustik Koşul Dağılımlarının Öneminin Ortaya Konulması ve İrdelenmesine Yönelik Bir Yaklaşım”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Aynat, M. del R., (2007), “Proceso de Restauración, Ermita de Santa Anna, Albal, Valencia”, Restauración y Rehabilitación, 104:26-33.
- Barron, M., (1993), Auditorium Acoustics and Architectural Design, Clays Ltd., London.
- Barron, M., (1999), “Late Lateral Energy Fractions and the Envelopment Question in Concert Halls”, Applied Acoustics, 62:185-202.
- Barron, M., (2005), “Using The Standart on Objective Measures for Concert Auditoria, ISO 3382, to Give Reliable Results”, Acoustical Science and Technology, 26(2):162-169.
- Beranek, L., (1996), Concert and Opera Halls: How They Sound, Acoustical Society of America, New York.
- Bradley, J. S., (1986), “Predictors of Speech Intelligibility in Rooms”, Journal of the Acoustical Society of America, 80(3):837-845.
- Bradley, J. S., Soulodre, G. A. ve Popplewell, N., (1993), “Pilot Study of Simulated Spaciousness”, Journal of the Acoustical Society of America, 93:2283.
- Bradley, J. S. ve Soulodre, G. A., (1994), “The Influence of Late Arriving Energy on Concert Hall Spatial Impression”, Proceedings of the Sabine Centennial Symposium, Acoustical Society of America, pp. 101-104, 1994, Cambridge.
- Bradley, J. S. ve Soulodre, G. A., (1995a), “The Influence of Late Arriving Energy on Spatial Impression”, Journal of the Acoustical Society of America, 97:2263-2291.
- Bradley, J. S. ve Soulodre, G. A., (1995b), “Objective Measures of Listener Envelopment”, Journal of the Acoustical Society of America, 98:2590-2597.
- Christensen, C. L., (2003), Odeon Room Acoustics Program User Manual, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

- Desarnaulds, V., Carvalho, A. P. O. ve Monay, G., (2001), "Church Acoustics and the Influence of Occupancy", *Building Acoustics*, 9:29-47.
- Egan, M. D., (1988), *Architectural Acoustics*, McGraw-Hill, New York.
- Figueiredo, F. L. ve Iazzetta, F., (2005), "Comparative Study of Measured Acoustic Parameters in Concert Halls in the City of São Paulo", *The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, 7-10 Aug. 2005, Rio de Janeiro.
- Gomes, M.A. ve Gerges, S.N.Y., (2001), "Modelling of room acoustic parameters using MLS technique and numerical simulation", *7 th International IBPSA Conference*, 13-15 Aug 2001, Rio de Janeiro, Brazil.
- Hasol, D., (1998), *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Kuttruff, H., (1991), *Room Acoustics*, Elsevier Science Publishing, New York.
- Long, M., (2006), *Architectural Acoustics*, Elsevier Academic Press, Burlington.
- Maekawa, Z. ve Lord, P., (1994), *Environmental and Architectural Acoustics*, E & FN Spon Press, Londra.
- Mehta, M., Johnson, J. ve Rocafort, J., (1999), *Architectural Acoustics: Principles and Design*, Prentice Hall, New Jersey.
- Morimoto, M. ve Maekawa, Z., (1989), "Auditory Spaciousness and Envelopment", *Proc 13th International Congress on Acoustics*, 2:215-218, 1989, Belgrade.
- Pevsner, N., (1970), *Avrupa Mimarisinin Anahtarları*, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Rindel, J. H., (2000), "The Use of Computer Modeling in Room Acoustics", *Journal of Vibroengineering*, 3(4):41-72.
- Sirel, Ş., (1981), *Hacim Akustiğinde Yansıma Süresi*, Yapı Fiziği Bilim Dalı Yayınları, İDMMA Basımevi, İstanbul.
- Sirel, Ş., (1997), *Aydınlatma Sözlüğü*, YEM Yayın, İstanbul.
- Templeton, D., (1997), *Acoustics In The Built Environment: Advice For The Design Team*, Architectural Press, Oxford.
- Türk Standardı, (2006), TS EN ISO 18233, ICS 91.120.20, Aralık 2006.

Yazıcıoğlu, M.L., (1984), “İlk Hıristiyan Mimarisi”, Yıldız Üniversitesi Yayınlar, 175, İstanbul.

<http://www.newadvent.org/cathen/03574b.htm> - Catholic Encyclopedia

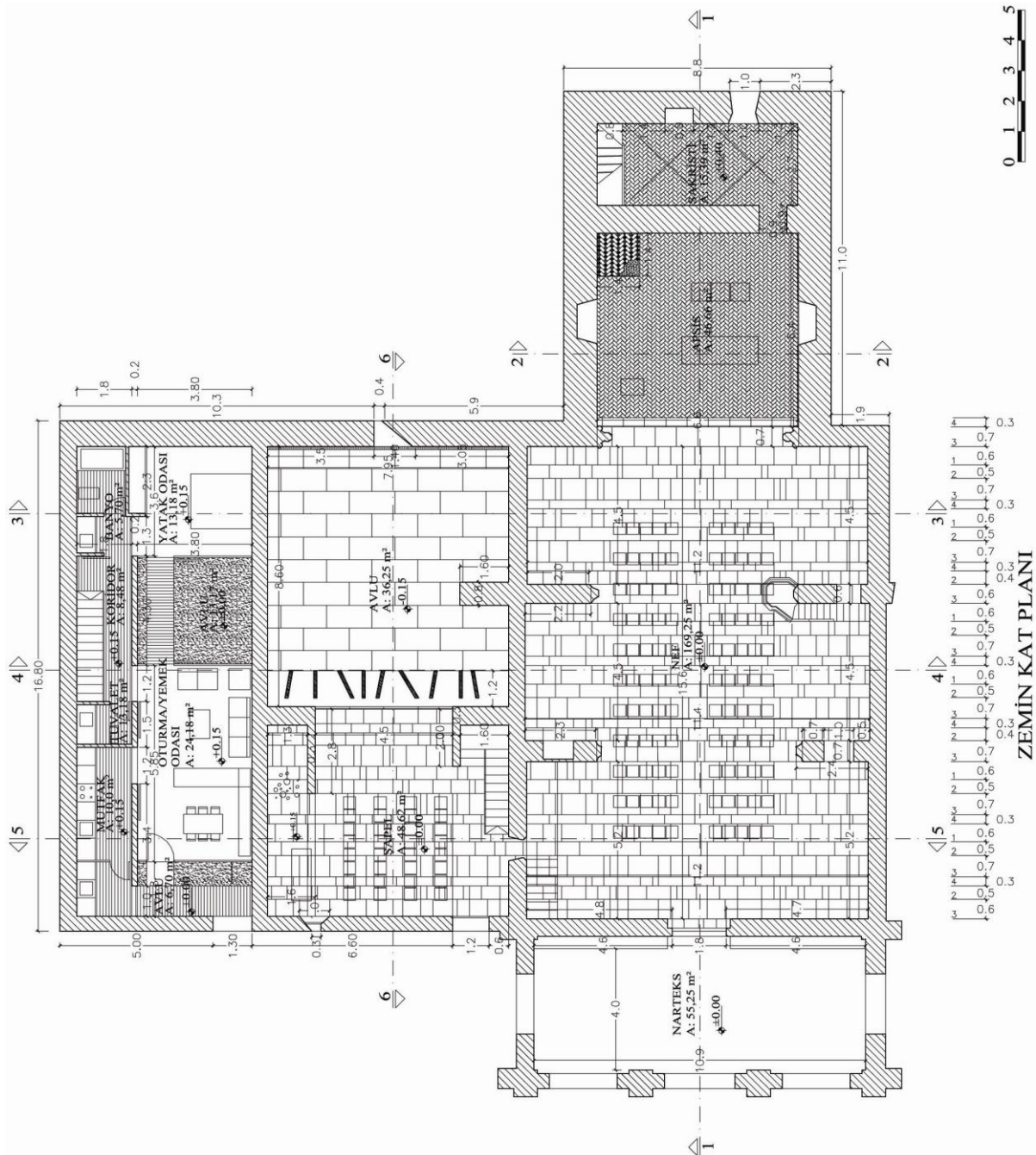
<http://www.oxforddnb.com/index/101063126/>

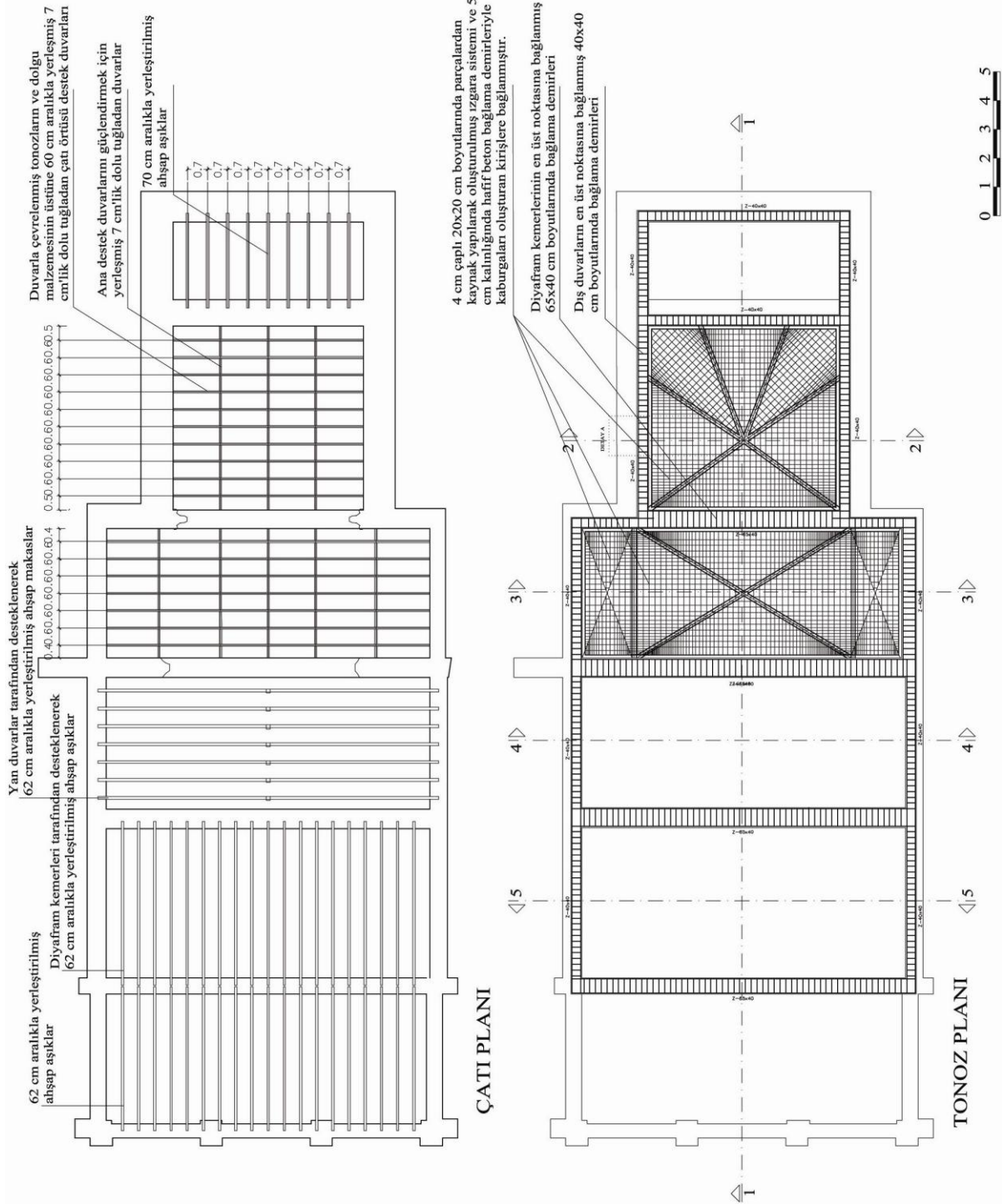
<http://www.tdk.gov.tr>

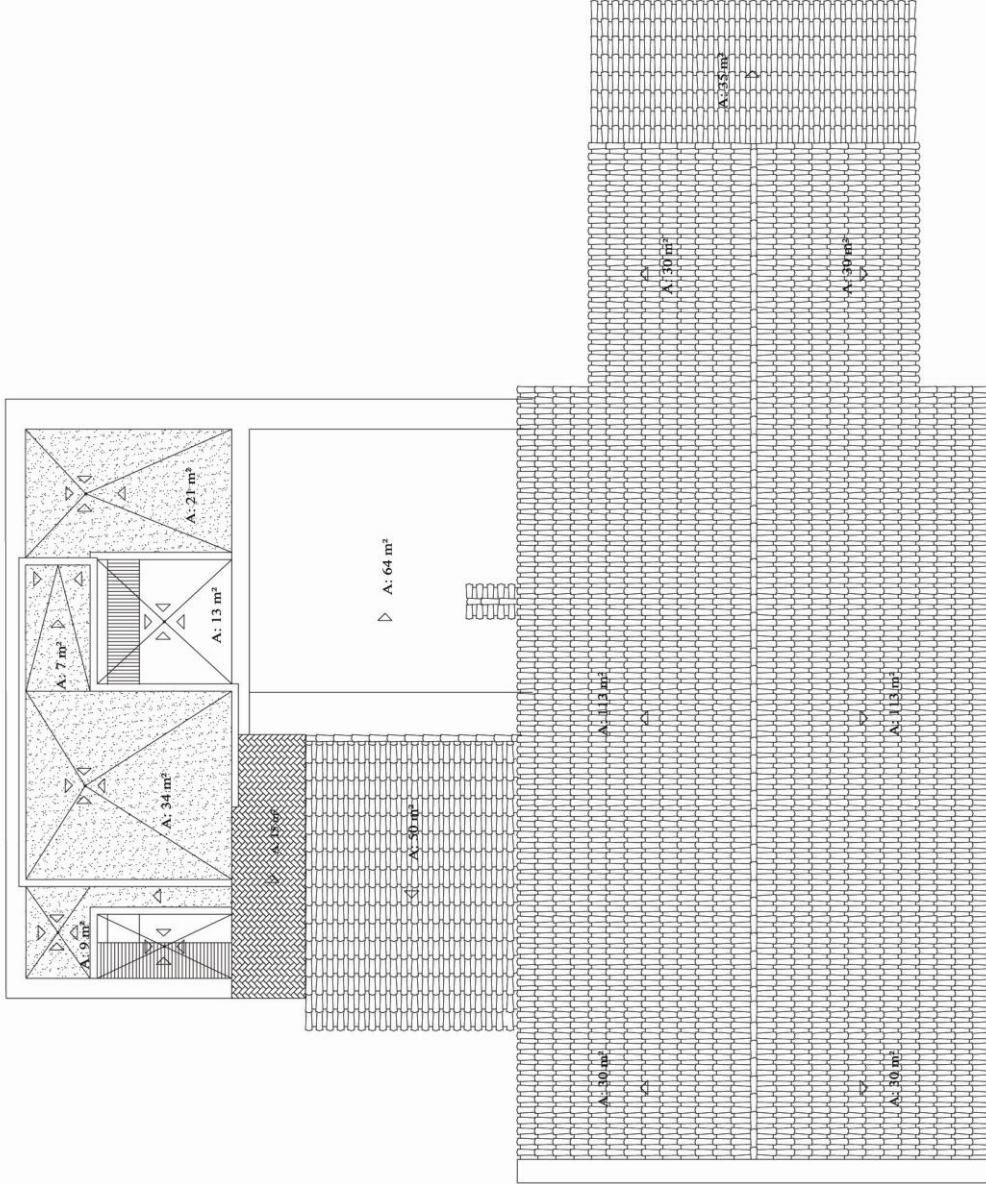
<http://www.wikipedia.org> – The Free Encyclopedia

EKLER

Ek 1 Santa Anna Şapeli Restorasyon Projesi

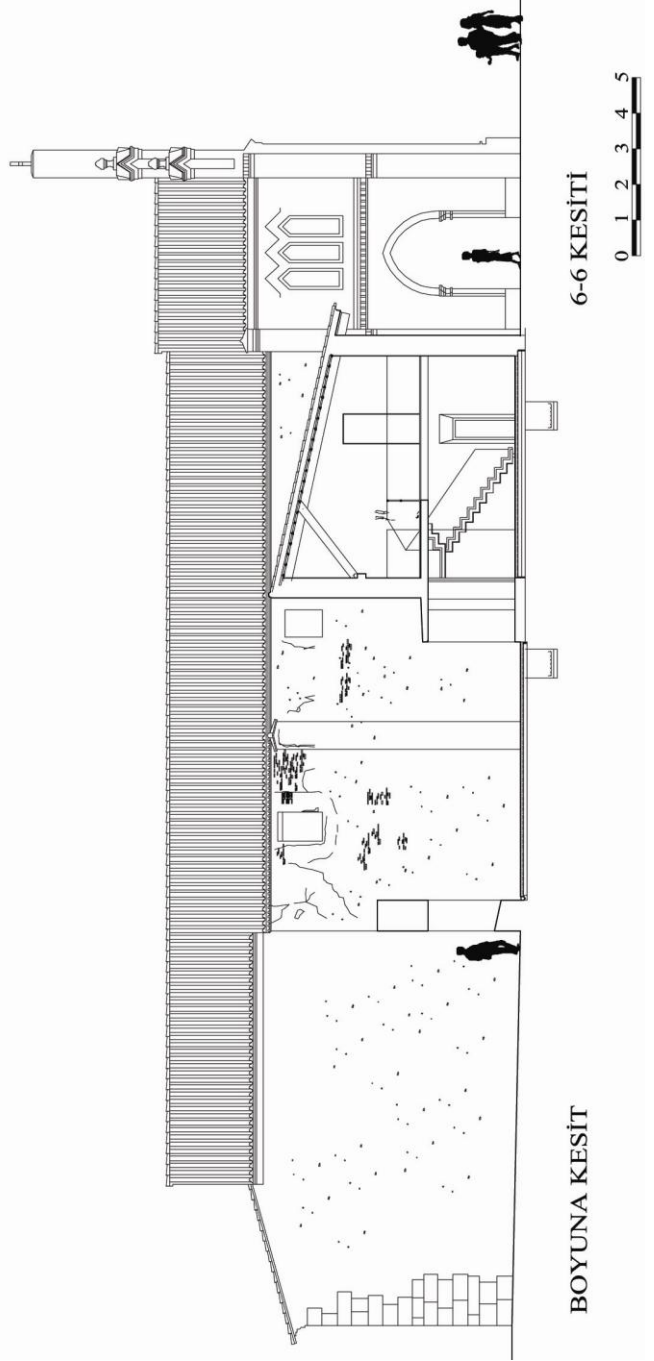
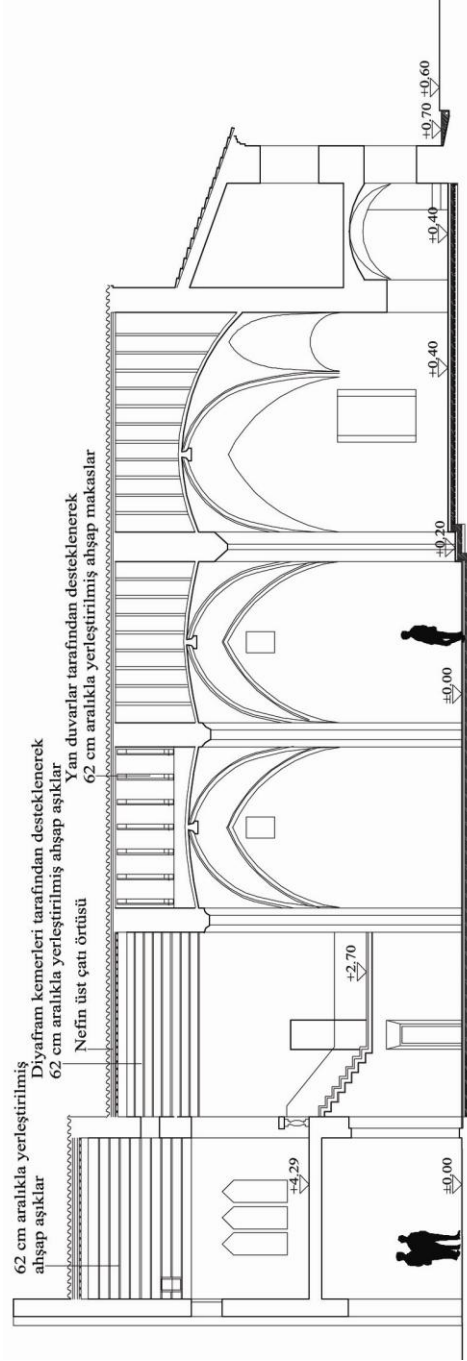


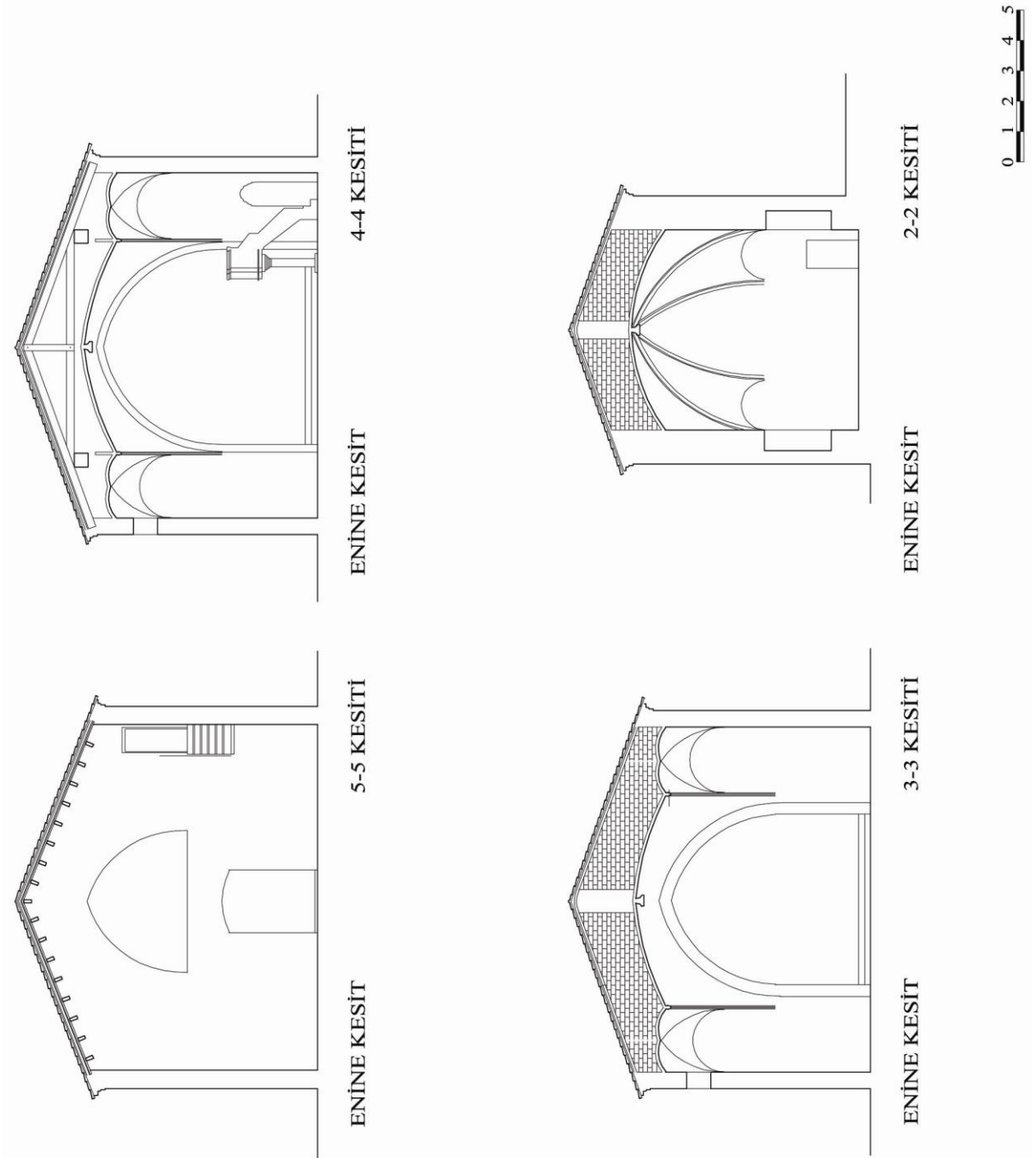




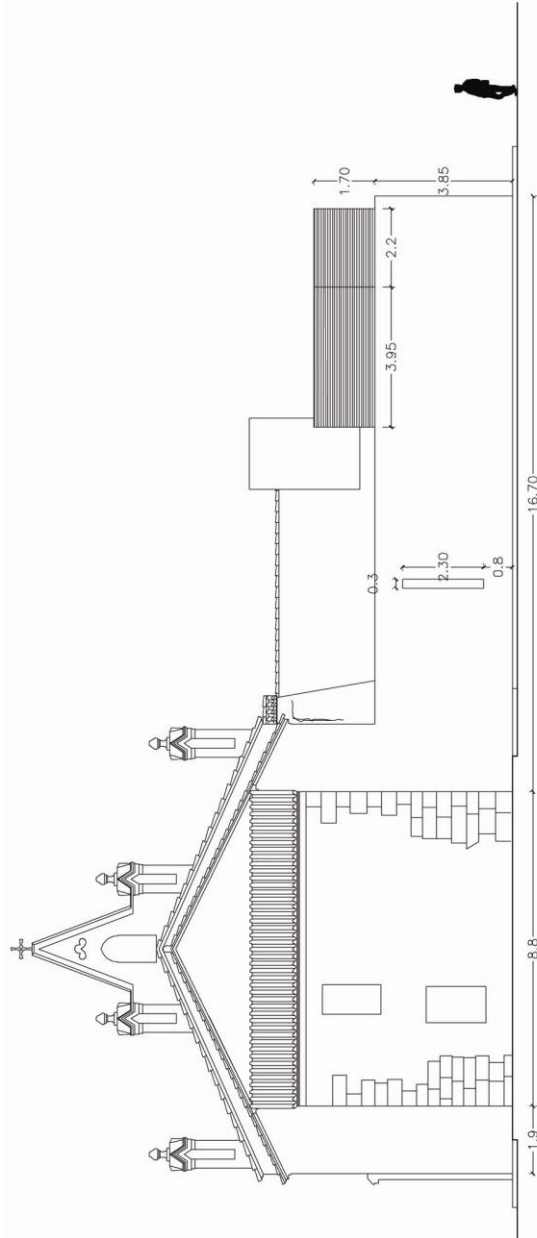
ÇATI ÖRTÜSÜ PLANI



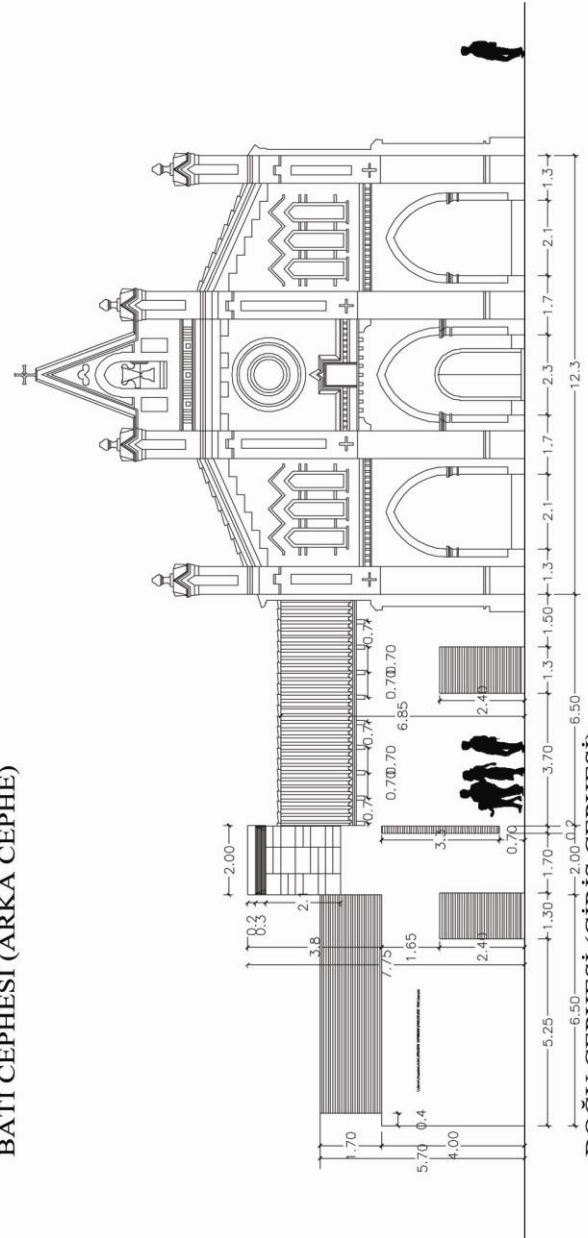


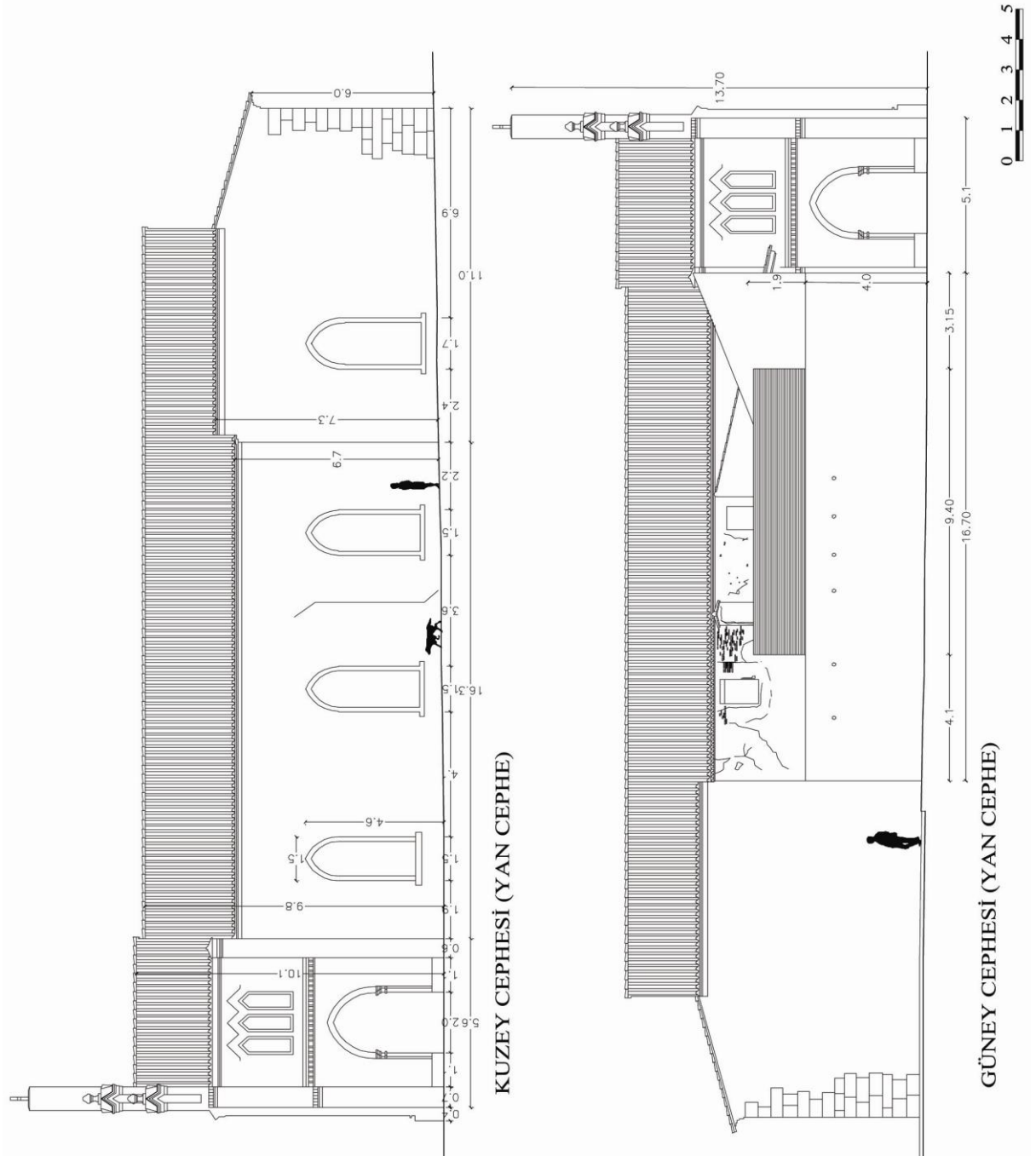


BATI CEPHESİ (ARKA CEPHE)



DOĞU CEPHESİ (GİRİŞ CEPHESİ)





ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.06.1979

Doğum yeri Ünye/ORDU

Lise 1994-1997 Samsun Özel Ar Fen Lisesi

Lisans 1998-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-2003	Geyran Mimarlık Atölyesi
2004-2004	IBS
2004-2006	Akan Mimarlık
2006-2007	Aksüt İnşaat