

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜLTÜREL MİRASIMIZ OLAN
YEREBATAN SARNICININ
AKUSTİK SORUNLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mim. Emine Gül ATEŞ**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : ÇEVRE KONTROLÜ VE YAPI TEKNOLOJİSİ

OCAK 2007

**KÜLTÜREL MİRASIMIZ OLAN
YEREBATAN SARNICININ
AKUSTİK SORUNLARININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Emine Gül ATEŞ
(502021363)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sevtap YILMAZ DEMİRKALE (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Yrd.Doç. Dr. Nurgün TAMER BAYAZIT (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Müjgan ŞEREFHANOĞLU (Y.T.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması 1500 yıllık tarihiyle önemli mimarlık eserlerinden biri olan Yerebatan Sarnıcı'nın akustik performansının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Tezde Yerebatan Sarnıcı'nın mimari ve akustik özellikleri incelenerek bir öneri geliştirilmiştir. Akustik simülasyon programı ile yapılan analizlerle ve yerinde alan ölçümleri yardımıyla hacim akustiği parametreleri değerlendirilerek mekanın sahip olduğu akustik kalitenin belirlenmesi ve düzeltilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasına başladığım günden bu güne, beni destekleyen, yönlendiren ve çalışmalarında yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, sarnıcın akustik performansının Odeon programı ile değerlendirilmesi sırasında yardımını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Nurgün Tamer Bayazıt'a, alan ölçümleri sırasında yardımlarını esirgemeyen Y. Müh. Alper Akgül'e, Öğretim görevlisi Mine Aşçıgil'e, sarnıçtaki çalışmalarımız sırasında yardımcı olan Yerebatan Sarnıcı müdürü ve çalışanlarına, her konuda bana destek olan sevgili babam Ali Ateş'e ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

ARALIK 2006

Emine Gül ATEŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yerebatan Sarnıcı'nın Tarihçesi ve Geçirdiği Restorasyonlar	2
2. KAPALI MEKANLARIN AKUSTİK KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	11
2.1. Müzik ve Konuşma Eylemi	12
2.2. Akustik Kaliteyi Etkileyen Parametreler	18
2.2.1. Nesnel akustik parametreler	18
2.2.1.1. Çınlama süresi (T)	18
2.2.1.2. Erken düşme süresi (EDT)	29
2.2.1.3. Sesin açıklığı-netliği (C80)	30
2.2.1.4. Ses yüksekliği (G)	31
2.2.1.5. Yanal enerji oranı (LEF)	33
2.2.1.6. Zamansal ağırlık merkezi (TS)	33
2.2.1.7. İlk ulaşım gecikmesi (ITDG)	34
2.2.1.8. Konuşmanın Belirginliği (D50)	35
2.2.2. Öznel akustik parametreler	36
2.2.2.1. Ses dolgunluğu ve Canlılık	37
2.2.2.2. Belirlilik ya da Açıklık	39
2.2.2.3. Samimilik	39
2.2.2.4. Mekansal algılama	40
2.2.2.5. Tını ve Ses rengi	42
2.2.2.6. Bas seslerin sıcaklığı	42
2.2.2.7. Parlaklık	44
2.2.2.8. Sesin yüksekliği	44

3. YEREBATAN SARNICI'NIN AKUSTİK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	48
3.1. Simülasyon Programı ile Değerlendirme	49
3.1.1. Odeon programının dayandığı temel teorilerin açıklanması	50
3.1.2. Hacim-Kaynak-Alıcı ile İlgili Kabuller ve Simülasyon Programında Değerlendirilecek Hacim Akustiği Parametreleri	52
3.1.2.1. Hacim ile ilgili kabullerin yapılması	52
3.1.2.2. Hacimde kullanılan malzemelerin yüzey yutuculukları ile ilgili kabullerin yapılması	54
3.1.2.3. Kaynak ve alıcı ile ilgili kabullerin yapılması	55
3.1.2.4. Değerlendirilecek hacim akustiği parametreleri ile ilgili kabullerin yapılması	58
3.1.2.5. Değerlendirilecek frekanslar ile ilgili kabullerin yapılması	59
3.1.3. Hacim akustiği parametrelerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi	59
3.1.4. Hesaplanan parametrelerin önerilen değerler ile karşılaştırılması	72
3.2. Yerinde Ölçüm Yapılması	78
3.2.1. Ölçüm koşulları ve ölçüm düzeneği	79
3.2.2. Ölçülen çınlama süreleri	80
3.3. Ölçüm Sonuçları ile Simülasyon Programı Sonuçlarının ve Önerilen Değerlerin Karşılaştırılması	82
4. YEREBATAN SARNICI'NDA AKUSTİK PERFORMANSI İYİLEŞTİRMEYE YÖNELİK ÖNERİ GELİŞTİRİLMESİ	83
4.1. Sahne Önündeki Dinleyici Bölgesine Yönelik Öneri Geliştirme	83
4.1.1. Sahne ve dinleyici bölgesini kapsayan bir kabuk tasarımı	83
4.1.2. Kullanılan malzeme ve özellikleri	84
4.1.3. Simülasyon programı ile değerlendirme	88
4.1.3.1. Hacim akustiği parametrelerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi	90
4.1.3.2. Hesaplanan parametrelerin mevcut durum ve önerilen değerlerle karşılaştırılması	98
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	104
KAYNAKLAR	108
EKLER	111
ÖZGEÇMİŞ	180

KISALTMALAR

T20, T30	: Çınlama Süresi (Reverberation Time)
EDT	: Erken Düşme Süresi (Early Decay Time)
C80	: Netlik (Clarity)
G	: Ses Yüksekliği (Strength-Loudness)
SPL	: Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level)
LEF	: Yanal Enerji Oranı (Lateral Energy Fraction)
TS	: Zamansal Ağırlık Merkezi (Center Time)
ITDG	: İlk Ulaşım Gecikmesi (Initial Time Delay Gap)
D50	: Konuşmanın Belirginliği (Distinctness)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Dinlemede çınlamanın etkisi	19
Tablo 2.2 Çınlama süreleri	27
Tablo 2.3 Yüksek frekanslarda çınlama süresi oranları	38
Tablo 2.4 Salonlarda akustik sıcaklık.....	43
Tablo 2.5 Öznel-Nesnel ve tasarım parametrelerinin birbirleri ile ilişkileri.....	45
Tablo 2.6 Dinleyici görüşüne göre gruplandırılmış akustik parametreler.....	46
Tablo 2.7 Nesnel hacim akustiği parametreleri için tavsiye edilen değerler.....	46
Tablo 2.8 Nesnel akusik parametrelerin optimum değerleri ve kabul edilebilecek tolerans aralıkları.....	47
Tablo 3.1 Her bir layer için malzeme listesi	54
Tablo 3.2 Malzemelerin yutuculuk katsayıları	55
Tablo 3.3 Seçilen kaynak ile ilgili özellikler	56
Tablo 3.4 Alıcılarla ilgili özellikler	58
Tablo 3.5 15 Alıcı için hesaplanan Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.....	61
Tablo 3.6 15 Alıcı için hesaplanan Çınlama Süresi (T30) değerleri.....	63
Tablo 3.7 15 Alıcı için hesaplanan Ses Basınç Düzeyi (SPL) değerleri.....	65
Tablo 3.8 15 Alıcı için hesaplanan Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.....	66
Tablo 3.9 15 Alıcı için hesaplanan Konuşmanın Belirginliği(D50) değerleri....	68
Tablo 3.10 15 Alıcı için hesaplanan Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri...	70
Tablo 3.11 15 Alıcı için hesaplanan Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.....	71
Tablo 3.12 15 Alıcı için hesaplanan parametre değerlerinin minimum maksimum ve ortalama değerleri.....	73
Tablo 3.13 1000 Hz’de hesaplanan parametre değerlerinin çeşitli kaynaklarda önerilen değerler ile karşılaştırılması.....	76
Tablo 3.14 Yerebatan Sarnıcı’nda ölçülen Çınlama süreleri (T20-T30 ortalama)	81
Tablo 3.15 Çınlama süresi için ölçüm ve simülasyon programı sonuçları ile önerilen değerlerin karşılaştırılması.....	82
Tablo 4.1 Eklenen layer’lar için malzeme listesi.....	90
Tablo 4.2 Eklenen malzemelerinin yutuculuk katsayıları.....	90
Tablo 4.3 5 Alıcı için hesaplanan Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.....	91
Tablo 4.4 5 Alıcı için hesaplanan çınlama süresi (T30) değerleri.....	92
Tablo 4.5 5 Alıcı için hesaplanan Ses Yüksekliği (G) değerleri.....	93
Tablo 4.6 5 Alıcı için hesaplanan Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.....	94
Tablo 4.7 5 Alıcı için hesaplanan Konuşmanın Belirginliği(D50) değerleri	95
Tablo 4.8 5 Alıcı için hesaplanan Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri....	96
Tablo 4.9 5 Alıcı için hesaplanan Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.....	97
Tablo 4.10 5 Alıcı için hesaplanan parametre değerlerinin minimum-maksimum ve ortalama değerleri.....	98

Tablo 4.11	1000 Hz’de hesaplanan parametre değerlerinin önerilen değerler, mevcut durum ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	101
Tablo B.1	1. Alıcı (R_1) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	113
Tablo B.2	2. Alıcı (R_2) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	116
Tablo B.3	3. Alıcı (R_3) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	119
Tablo B.4	4. Alıcı (R_4) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	122
Tablo B.5	5. Alıcı (R_5) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	125
Tablo B.6	6. Alıcı (R_6) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	128
Tablo B.7	7. Alıcı (R_7) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	131
Tablo B.8	8. Alıcı (R_8) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	134
Tablo B.9	9. Alıcı (R_9) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	137
Tablo B.10	10. Alıcı (R_{10}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	140
Tablo B.11	11. Alıcı (R_{11}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	143
Tablo B.12	12. Alıcı (R_{12}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	146
Tablo B.13	13. Alıcı (R_{13}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	149
Tablo B.14	14. Alıcı (R_{14}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	152
Tablo B.15	15. Alıcı (R_{15}) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri...	155
Tablo C.1	1. Alıcı (R_1) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	159
Tablo C.2	2. Alıcı (R_2) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	162
Tablo C.3	3. Alıcı (R_3) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	164
Tablo C.4	4. Alıcı (R_4) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	167
Tablo C.5	5. Alıcı (R_5) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.....	170

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Binbirdirek Sarnıcı	2
Şekil 1.2 : Yerebatan Sarnıcı ve etrafındakilerin konumu	3
Şekil 1.3 : Kemerler ve platformun giriş merdiveninden görünüşü	4
Şekil 1.4 : Güneydoğudan Yerebatan Sarnıcı'na bakış	5
Şekil 1.5 : Ters olarak yerleştirilmiş Medusa başı	6
Şekil 1.6 : Yan olarak yerleştirilmiş Medusa başı	7
Şekil 1.7 : Onarımlar sırasında sarnıç içindeki suyun boşaltılarak dipteki balçık tabakasının temizlenmesi	8
Şekil 1.8 : Sarnıcın karakalem eskizi	9
Şekil 1.9 : Uçsuz bucaksız kolonların görünüşü	10
Şekil 2.1 : Konuşmacının ses basınç düzeyinin yönsel dağılımı	15
Şekil 2.2 : Frekansın bir fonksiyonu olarak ortalama konuşma gücü ve konuşma anlaşılabilirliği	16.
Şekil 2.3 : 30 sıradan oluşmuş bir oditoryum için insan sesinin uzaklığa bağlı olarak ses basınç düzeyindeki değişim	17
Şekil 2.4 : Knudsen ve Haris tarafından bulunmuş eş anlaşılabilirlik konturu	17
Şekil 2.5 : Ses kaynağı sustuktan sonra sesin sönümlenmesi	20
Şekil 2.6 : İki farklı kelimenin zaman ve ses yüksekliği arasındaki ilişki	20
Şekil 2.7 : Çınlama süresinin tanımlandığı ve bu süre için ses basınç düzeyindeki azalmanın 60 dB olduğunu gösteren grafik	22
Şekil 2.8 : Değişik fonksiyonlu salonlar ve konuşma için hacme bağlı tavsiye edilen optimum çınlama süreleri	23
Şekil 2.9 : 3.048 m kübik bir oda için farklı formüllerle hesaplanmış çınlama süreleri	28
Şekil 2.10 : Basit ses düşüş grafikleri.....	29
Şekil 2.11 : Düşüş eğrisi üzerinde EDT ve T'nin belirlenmesi	29
Şekil 2.12 : T ve açıklık-netlik arasındaki ilişki	31
Şekil 2.13 : Bir mekanda direkt ses ve yansıyan ses yolları	35
Şekil 2.14 : Dinleyicinin kulağına gelen direkt sesler	35
Şekil 2.15 : D50-Belirginlik ilişkisi	36
Şekil 2.16 : Yanal ses yönünün tanımı	41
Şekil 2.17 : Salon şekli ve sesin yanallığı	42
Şekil 3.1 : Yerebatan Sarnıcı'nın üç boyutlu modeli	50
Şekil 3.2 : Modellenen Yerebatan Sarnıcı'nın planı	53
Şekil 3.3 : Kesit A-A	53
Şekil 3.4 : Kesit B-B	54
Şekil 3.5 : Perspektif görünüşü	54
Şekil 3.6 : Yerebatan Sarnıcı planında kaynağın konumu	56
Şekil 3.7 : Odeon programında kaynağın konumu	56

Şekil 3.8	: Yerebatan Sarnıcı'nda dinleyici bölge kafesi	57
Şekil 3.9	: Kaynak ve gezi platformu üstündeki 15 alıcı	58
Şekil 3.10	: 15 Alıcı için Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.....	60
Şekil 3.11	: 15 Alıcı için Çınlama süresi (T) parametre değerleri.....	62
Şekil 3.12	: 15 Alıcı için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	64
Şekil 3.13	: 15 Alıcı için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	66
Şekil 3.14	: 15 Alıcı için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	68
Şekil 3.15	: 15 Alıcı için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri..	69
Şekil 3.16	: 15 Alıcı için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	71
Şekil 3.17	: 15 Alıcı için EDT parametresinin min-max-ort değerleri.....	74
Şekil 3.18	: 15 Alıcı için T30 parametresinin min-max-ort değerleri.....	74
Şekil 3.19	: 15 Alıcı için SPL parametresinin min-max-ort değerleri.....	74
Şekil 3.20	: 15 Alıcı için C80 parametresinin min-max-ort değerleri.....	74
Şekil 3.21	: 15 Alıcı için D50 parametresinin min-max-ort değerleri.....	75
Şekil 3.22	: 15 Alıcı için TS parametresinin min-max-ort değerleri.....	75
Şekil 3.23	: 15 Alıcı için LF 80 parametresinin min-max-ort değerleri.....	75
Şekil 3.24	: Ölçüm düzeneğinde kullanılan ekipmanlar.....	80
Şekil 3.25	: 5 Alıcı için ölçülen Çınlama Süresi değerleri.....	81
Şekil 4.1	: Tasarlanan kabuğun plan ve yandan görünüşü.....	84
Şekil 4.2	: Şeffaf yutucu panel (clearsorber panel).....	86
Şekil 4.3	: Şeffaf yutucu panelin yerleştirme şekli.....	86
Şekil 4.4	: Şeffaf yutucu panel için yutuculuk katsayıları.....	87
Şekil 4.5	: Tasarlanan kabuğun perspektif görünüşü.....	89
Şekil 4.6	: 5 Alıcı için Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.....	91
Şekil 4.7	: 5 Alıcı için Çınlama Süresi (T) değerleri.....	92
Şekil 4.8	: 5 Alıcı için Ses Yüksekliği (G) değerleri.....	93
Şekil 4.9	: 5 Alıcı için Sesin açıklığı-netliği (C80) değerleri.....	94
Şekil 4.10	: 5 Alıcı için Konuşmanın belirginliği (D50) değerleri.....	95
Şekil 4.11	: 5 Alıcı için Zamansal ağırlık merkezi (TS) değerleri.....	96
Şekil 4.12	: 5 Alıcı için Yanal enerji oranı (LF80) değerleri.....	97
Şekil 4.13	: 5 Alıcı için EDT parametresinin min-max-ort değerleri.....	99
Şekil 4.14	: 5 Alıcı için T30 parametresinin min-max-ort değerleri.....	99
Şekil 4.15	: 5 Alıcı için SPL parametresinin min-max-ort değerleri.....	99
Şekil 4.16	: 5 Alıcı için C80 parametresinin min-max-ort değerleri.....	99
Şekil 4.17	: 5 Alıcı için D50 parametresinin min-max-ort değerleri.....	100
Şekil 4.18	: 5 Alıcı için TS parametresinin min-max-ort değerleri.....	100
Şekil 4.19	: 5 Alıcı için LF 80 parametresinin min-max-ort değerleri.....	100
Şekil B.1	: 1. Alıcının (R ₁) Yerebatan Sarnıcı planında konumu	113
Şekil B.2	: R1 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.....	114
Şekil B.3	: R1 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	114
Şekil B.4	: R1 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri	114
Şekil B.5	: R1 için Ses açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	115
Şekil B.6	: R1 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri	115
Şekil B.7	: R1 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	115
Şekil B.8	: R1 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri	116
Şekil B.9	: 2. Alıcının (R ₂) Yerebatan Sarnıcı planında konumu	116
Şekil B.10	: R2 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri	117
Şekil B.11	: R2 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	117
Şekil B.12	: R2 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	117
Şekil B.13	: R2 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri	118

Şekil B.14	: R2 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	118
Şekil B.15	: R2 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	118
Şekil B.16	: R2 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	119
Şekil B.17	: 3.Alicının (R3) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	119
Şekil B.18	: R3 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.....	120
Şekil B.19	: R3 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	120
Şekil B.20	: R3 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	120
Şekil B.21	: R3 için Ses açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	121
Şekil B.22	: R3 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	121
Şekil B.23	: R3 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	121
Şekil B.24	: R3 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	122
Şekil B.25	: 4.Alicının (R4) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	122
Şekil B.26	: R4 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.....	123
Şekil B.27	: R4 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	123
Şekil B.28	: R4 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	123
Şekil B.29	: R4 için Sesin açıklığı-netliği(C80) parametre değerleri.....	124
Şekil B.30	: R4 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	124
Şekil B.31	: R4 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	124
Şekil B.32	: R4 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	125
Şekil B.33	: 5. Alicının (R5) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	125
Şekil B.34	: R5 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.....	126
Şekil B.35	: R5 için Çınlama Süresi (T30) parametre değerleri.....	126
Şekil B.36	: R5 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	126
Şekil B.37	: R5 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	127
Şekil B.38	: R5 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	127
Şekil B.39	: R5 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	127
Şekil B.40	: R5 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	128
Şekil B.41	: 6. Alicının (R6) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	128
Şekil B.42	: R6 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	129
Şekil B.43	: R6 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	129
Şekil B.44	: R6 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	129
Şekil B.45	: R6 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	130
Şekil B.46	: R6 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	130
Şekil B.47	: R6 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	130
Şekil B.48	: R6 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	131
Şekil B.49	: 7. Alicının (R7) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	131
Şekil B.50	: R7 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	132
Şekil B.51	: R7 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	132
Şekil B.52	: R7 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	132
Şekil B.53	: R7 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	133
Şekil B.54	: R7 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	133
Şekil B.55	: R7 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	133
Şekil B.56	: R7 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	134
Şekil B.57	: 8. Alicının (R8) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	134
Şekil B.58	: R8 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	135
Şekil B.59	: R8 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	135
Şekil B.60	: R8 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	135
Şekil B.61	: R8 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	136
Şekil B.62	: R8 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	136
Şekil B.63	: R8 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	136

Şekil B.64	: R8 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	137
Şekil B.65	: 9. Alıcının (R9) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	137
Şekil B.66	: R9 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	138
Şekil B.67	: R9 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	138
Şekil B.68	: R9 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	138
Şekil B.69	: R9 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	139
Şekil B.70	: R9 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	139
Şekil B.71	: R9 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	139
Şekil B.72	: R9 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	140
Şekil B.73	: 10. Alıcının (R10) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	140
Şekil B.74	: R10 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	141
Şekil B.75	: R10 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	141
Şekil B.76	: R10 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	141
Şekil B.77	: R10 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	142
Şekil B.78	: R10 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	142
Şekil B.79	: R10 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	142
Şekil B.80	: R10 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	143
Şekil B.81	: 11. Alıcının (R11) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	143
Şekil B.82	: R11 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	144
Şekil B.83	: R11 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	144
Şekil B.84	: R11 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	144
Şekil B.85	: R11 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	145
Şekil B.86	: R11 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	145
Şekil B.87	: R11 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	145
Şekil B.88	: R11 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	146
Şekil B.89	: 12. Alıcının (R12) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	146
Şekil B.90	: R12 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	147
Şekil B.91	: R12 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	147
Şekil B.92	: R12 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	147
Şekil B.93	: R12 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	148
Şekil B.94	: R12 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	148
Şekil B.95	: R12 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	148
Şekil B.96	: R12 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	149
Şekil B.97	: 13. Alıcının (R13) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	149
Şekil B.98	: R13 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	150
Şekil B.99	: R13 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	150
Şekil B.100	: R13 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	150
Şekil B.101	: R13 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	151
Şekil B.102	: R13 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	151
Şekil B.103	: R13 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	151
Şekil B.104	: R13 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	152
Şekil B.105	: 14. Alıcının (R14) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	152
Şekil B.106	: R14 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	153
Şekil B.107	: R14 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	153
Şekil B.108	: R14 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	153
Şekil B.109	: R14 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	154
Şekil B.110	: R14 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	154
Şekil B.111	: R14 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	154
Şekil B.112	: R14 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	155
Şekil B.113	: 15. Alıcının (R15) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.....	155

Şekil B.114	: R15 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	156
Şekil B.115	: R15 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	156
Şekil B.116	: R15 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	156
Şekil B.117	: R15 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	157
Şekil B.118	: R15 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	157
Şekil B.119	: R15 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	157
Şekil B.120	: R15 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	158
Şekil C.1	: R1 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	159
Şekil C.2	: R1 Alıcı için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	160
Şekil C.3	: R1 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	160
Şekil C.4	: R1 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	160
Şekil C.5	: R1 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	161
Şekil C.6	: R1 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	161
Şekil C.7	: R1 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	161
Şekil C.8	: R2 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	162
Şekil C.9	: R2 Alıcı için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	162
Şekil C.10	: R2 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	163
Şekil C.11	: R2 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	163
Şekil C.12	: R2 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	163
Şekil C.13	: R2 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	164
Şekil C.14	: R2 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	164
Şekil C.15	: R3 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	165
Şekil C.16	: R3 Alıcı için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	165
Şekil C.17	: R3 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	165
Şekil C.18	: R3 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	166
Şekil C.19	: R3 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	166
Şekil C.20	: R3 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	166
Şekil C.21	: R3 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	167
Şekil C.22	: R4 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	167
Şekil C.23	: R4 Alıcı için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	168
Şekil C.24	: R4 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	168
Şekil C.25	: R4 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	168
Şekil C.26	: R4 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	169
Şekil C.27	: R4 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	169
Şekil C.28	: R4 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	169
Şekil C.29	: R5 için Erken düşme süresi(EDT) parametre değerleri.....	170
Şekil C.30	: R5 Alıcı için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.....	170
Şekil C.31	: R5 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.....	171
Şekil C.32	: R5 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.....	171
Şekil C.33	: R5 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.....	171
Şekil C.34	: R5 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.....	172
Şekil C.35	: R5 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.....	172

SEMBOL LİSTESİ

t_{10}	: Sesin ilk 10 s'lik azalması için geçen süre
$p^2(t)$	: Ses basıncı
V	: Salon hacmi
$p^2_A(t)$	: Hacim içerisindeki ses kaynağına eşdeğer bir kaynağın 10 m uzağında ve yansımatsız odada ölçülen ses basıncı
Θ	: Gelen sesin yönü ile dinleyicilerin kulak aksı arasındaki açı
$E(t_1, t_2)$	: t_1 - t_2 zaman aralığı içindeki enerji yoğunluğu
ΣA	: Mekandaki toplam yutuculuk
S	: Mekanın yüzey alanları
α	: Yutuculuk katsayısı
$\bar{\alpha}$	: Ortalama ses yutuculuğu
α^t	: Yutuculuk eksponenti
$\overline{x}, \overline{y}, \overline{z}$	: Mekandaki zıt ve paralel iki duvarın toplam alanı
$\overline{a_x}, \overline{a_y}, \overline{a_z}$	: Zıt ve paralel duvarların bir parçasının yutuculuğu
δ	: Yüzeylerin yayılma katsayısı

ÖZET

Akustik parametrelerin hacim içindeki dağılımı konusu, üzerinde yeterli düzeyde çalışılmayan bir alan olarak kalmıştır. Hacimlerin akustik yönden değerlendirmenin yeterliliği, parametrelerin doğru saptanması ve irdelenmesinin yanı sıra düzgünlüklerinin de ortaya konulmasına bağlıdır.

Tez çalışmasının amacı 1500 yıllık tarihi bir mekanda yapılan etkinliklerde akustik kalitenin yeterliliği konusunu araştırmaktır. Bu amaçla bilgisayarla simülasyon yöntemi ve yerinde yapılan ölçümlerle mevcut duruma bakılmış ve olması gereken parametre değerleri ile karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu amaca yönelik olarak yapılan tez çalışması beş ana bölüm ve eklerden oluşmaktadır.

Bölüm 1’de, Yerebatan Sarnıcı’nın tarihçesi verilmiştir. Sarnıcın ne amaçla yapıldığı, geçmişten günümüze kadar geçirdiği restorasyonlar ve şimdiki durumu fotoğraflar ve çizimlerle anlatılmıştır. Konuya tez kapsamında yapılan çalışmalarda açıklık getirileceği belirtilmiş ve tezin amacı ortaya konulmuştur.

Bölüm 2’de, kapalı mekanlarda yer alan müzik ve konuşma eylemlerinden ve her iki eylemin de oluşumlarından bahsedilmiştir. Önemli hacim akustiği parametreleri hakkında bilgiler verilmiş ve hacimleri akustik açıdan değerlendirmeye yönelik yöntemler ele alınmıştır. Öznel ve nesnel değerlendirmeye yönelik ilişkiler ortaya konmuştur ve önerilen değerler grafiklerle verilmiştir.

Bölüm 3’de, Yerebatan Sarnıcı’nın akustik performansının değerlendirilmesinde kullanılan iki yöntem; simülasyon programı ile değerlendirme ve yerinde ölçüm yapılarak değerlendirme konularından bahsedilmiştir. Kullanılan simülasyon programı hakkında teorik bilgiler verilmiş ve mekandaki akustik parametreleri değerlendirmek için simülasyon programında yapılması gereken çalışmalar ve kabullerden bahsedilmiştir. Bu aşamadan sonra hesaplanan veriler hakkında bilgi

verilmiş ve önerilen hacim akustiği parametre değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yerinde ölçüm yöntemiyle yapılan değerlendirmeden, kullanılan cihazlardan, standart ölçüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Son olarak da ölçüm sonucunda elde edilen değerler ile önerilen değerlerin karşılaştırılmalarına yer verilmiştir.

Bölüm 4’de, Yerebatan Sarnıcı’nda yapılan etkinliklerde akustik yeterliliği ve kaliteyi sağlamak için neler yapılabileceği düşünülmüş ve çözüme yönelik bir öneri geliştirilmiştir.

Bölüm 5’de, tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirmesi yapıldıktan sonra, mekanda alıcı noktaları arasında akustik parametre dağılımları açısından ayrımların bulunduğu saptanmıştır. Böylece akustik parametrelerin konuşma ve müzik amaçlı mekanların akustik kalitesinde göz ardı edilemeyecek bir öneme sahip olduğu kanıtlanmıştır. Sarnıcın konuşma ve müzik eylemi açısından uygun olmadığı görülmüştür.

Ekler bölümünde ise, mevcut durum için Odeon 7.0 programı ile 15 alıcı noktası için yapılan analiz sonuçları, geliştirilen öneride 5 alıcı noktası için analiz sonuçları, inceleme ve değerlendirmede kullanılan hacim akustiği simülasyon programı hakkında bilgiler ve Yerebatan Sarnıcı’nda ölçüm yapmak için alınan izin verilmiştir.

SUMMARY

The acoustical parameters within a room still remain a subject about which little satisfactory work exists. Acoustical evaluation of rooms and the determination and questioning of acoustic parameters depends on the distribution of these parameters in the room.

The purpose of the thesis is to investigate the sufficiency of the acoustical quality in a historical space which is 1500 years old. For this aim, simulation techniques and acoustical measurements are made to determine the existing condition and the evaluation is made by comparison the acoustical parameter values.

This thesis consists of five chapters and appendixes.

The first chapter, the history of Cistern Basilica is explained. The aim of the construction of a basilica, restorations which is made for years and the present conditions are explained with photographs and drawings. Furthermore, it is claimed that this issue will be clarified within the context of this thesis and the purpose of the thesis is stated.

The second chapter, music and speech activities and their conditions are explained. The information is given about important room acoustic parameters and the methods which are evaluating the rooms according to acoustical criterias are explained. Objective and subjective evaluations are made and recommended values are given with graphics.

The third chapter, two methods which are used to evaluate the acoustical quality of Cistern Basilica; evaluating with simulation software and evaluating with acoustical measurements are explained. The theoretical information is given about the simulation software which is used for the thesis study and it is explained that, studies to evaluate acoustical parameters in simulation software are clarified. After that, the information is given about calculated parameters and corresponded with proposed

room acoustic parameter values. The evaluations which is made with acoustical measurements in room, equipment which is used for measurement and standard measurement techniques are explained and the values which are obtained from acoustical measurement and proposed values are corresponded.

The fourth chapter, it is investigated that, what suggestions are recommended for the acoustical sufficiency and quality in Cistern Basilica and a suggestion for improving an acoustic quality.

The fifth chapter, after the evaluation of the results is made about the studies in thesis, it is stated that there exists significant differences in acoustic parameter distributions between listening points. Thus, it is exposed that the acoustical parameters are very important for acoustical quality of music performance space and lecture room. It is seen that, the Cistern Basilica does not appropriate for speech and music facilities.

In the appendixes, the analyses for 15 receiver point in common situation, the analyses for 5 receiver point in suggestion, the information about room acoustic simulation software which is used for examination and measurement permission for Cistern Basilica are given.

1. GİRİŞ

Yerebatan Sarnıcı, İstanbul'un tarihi yarımadasında günümüze ulaşabilen sayılı erken dönem mimarlık eserlerinden biridir. Doğu Roma'nın parlak dönemini simgeleyen yapı 100 bin ton su depolama kapasitesi ile oldukça etkileyicidir. İstanbul'un Osmanlılarca fethinden sonra sadece Osmanlı Sarayı'nın ihtiyacını karşılar olmuştur. Osmanlılar kente kendi su sistemlerini kurunca da unutulmuş ve batılıların meçhulü olarak kalmıştır.

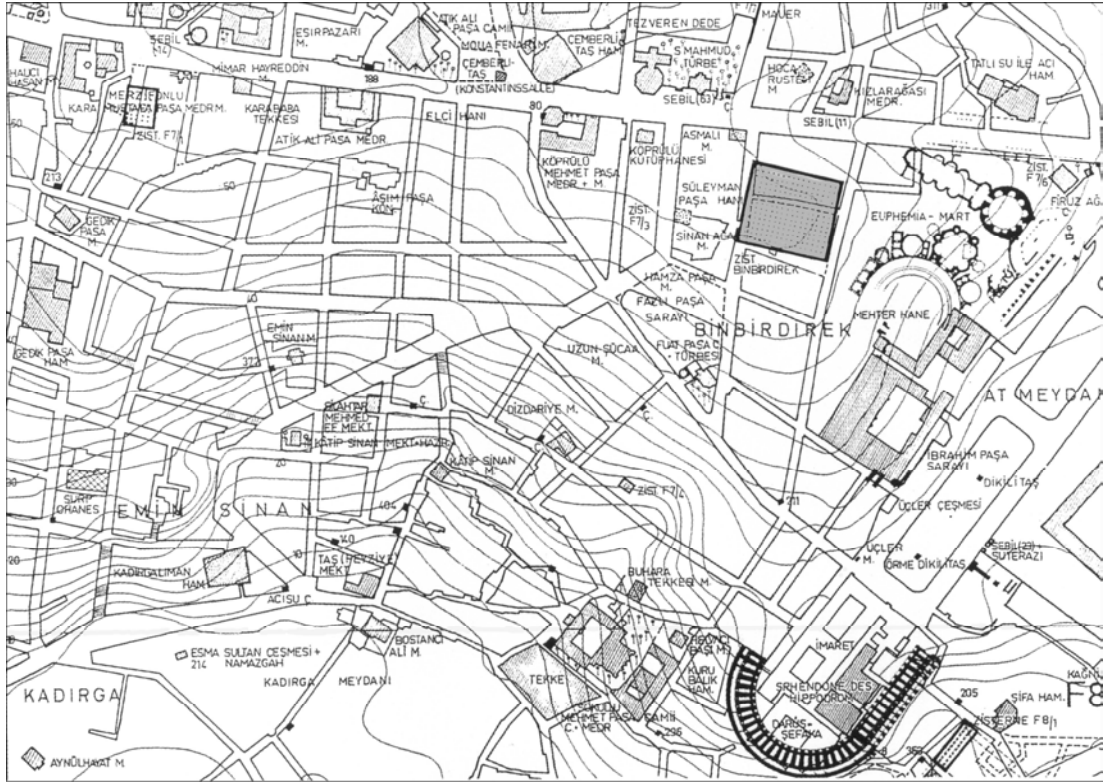
Yaklaşık 1500 yıllık bir öyküsü olan sarnıç kurulduğundan bugüne çeşitli onarımlardan geçmiştir. Osmanlı döneminde iki defa restore edilen sarnıç, Cumhuriyet Döneminde İstanbul Belediyesi tarafından müze haline getirilerek ziyarete açılmıştır. O dönemde sandalla gezilebilmektedir. Daha sonra gezi platformunun yapılmasıyla 1987'de tekrar ziyarete açılmıştır. 1994 yılında yeniden büyük bir temizlik ve bakımdan geçirilerek yaşam serüvenine devam etmektedir.

Kültür A.Ş. tarafından işletilen sarnıçta konserler, şiir dinletileri, tiyatro gösterileri ve çeşitli kültürel etkinlikler düzenlenmektedir. Yüzlerce sütunuyla, balıklarıyla, serinliğiyle, yeşilimsi sularıyla böyle bir mekanda müzik ya da şiir dinlemek büyüleyici bir olaydır. Bu nedenle mekanın akustik karakteri, öncelikle düşünülmesi, iyileştirilmesi ve korunması gereken özelliklerindendir. Bu sebeple Yerebatan sarnıcının akustik açıdan performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Mimarlık tarihinde özel bir yere sahip olan, her yıl yüzlerce kişinin ziyaret ettiği bu yapının bakımı ve korunması kültürel zenginliğimiz açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle yapının akustik kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma bu amaca yönelik araştırmalar iki yöntemle yapılmıştır. Simülasyon programı ve ölçüm yöntemiyle yapılan araştırmalar sonucu elde edilen sonuçlar önerilen değerlerle karşılaştırılmış ve mekanın akustik kalitesi hakkında bilgi verilmiştir. Mekanın akustik kalitesinin yükseltilmesi için bir öneri getirilerek tez çalışması tamamlanmıştır.

1.1 Yerebatan Sarnıcının Tarihçesi ve Geçirdiği Restorasyonlar

Bazilika Sarnıcı, İstanbul'un görkemli tarihsel yapılarından biridir. Ayasofya'nın güneybatısında ve biraz ilerisinde bulunur. Bizans imparatoru I. Justinianus (527-565) tarafından yaptırılan bu büyük yer altı sarnıcı, suyun içinden yükselen ve sayısız gibi görülen mermer sütunlara bakılarak halk arasında yerinde bir deyimle “Yerebatan Sarayı” olarak isimlendirilmiştir. Şekil 1.1’de Binbirdirek sarnıcının görüldüğü haritanın sağ üst köşesinin hemen dışında Yerebatan Sarnıcı bulunmaktadır.

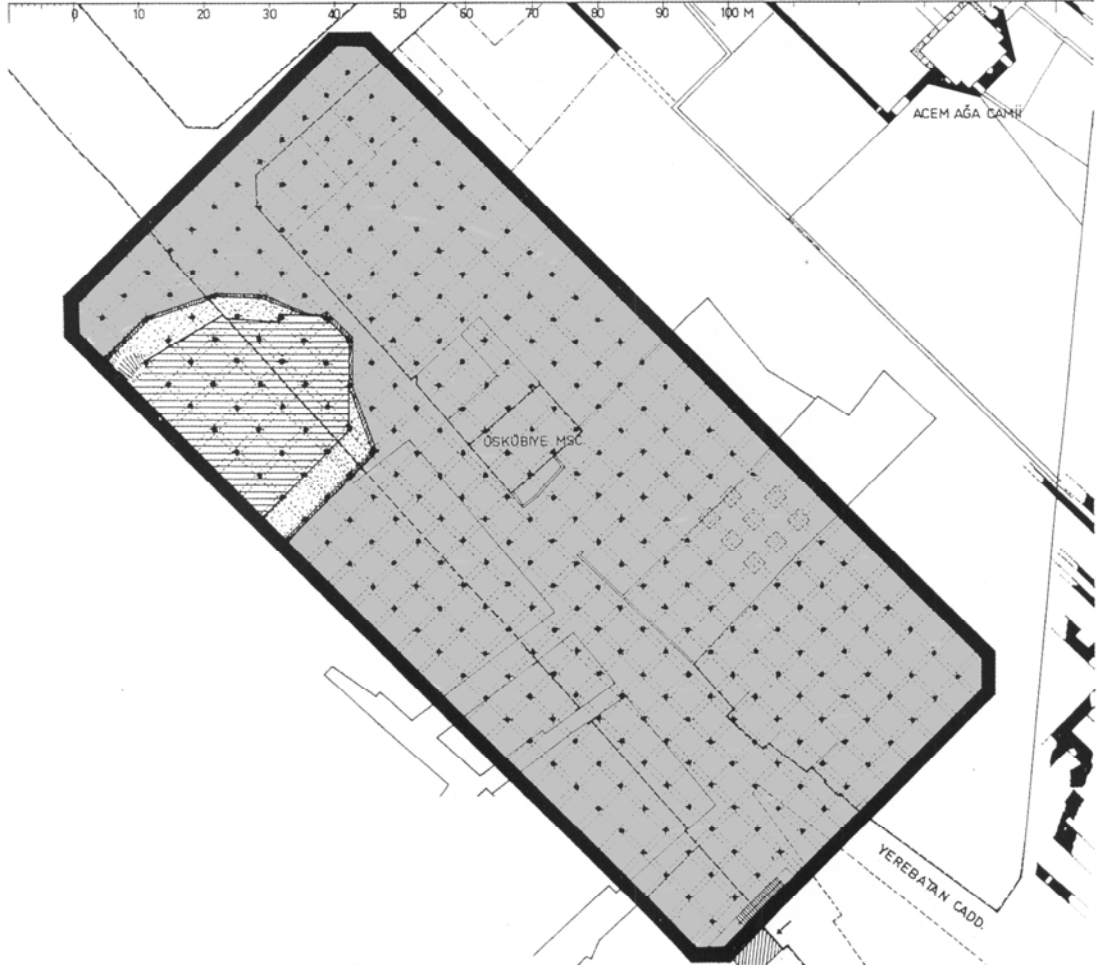


Şekil 1.1: Binbirdirek Sarnıcı, Ö:1/5000.

Sarnıcın yerinde daha önce Genç Roma çağında, muhtemelen III-IV.yüzyılda yapılmış olan, ticari ve hukuki işlerde, bilim ve sanat faaliyetlerinde kullanılan büyük bir Bazilika vardı. 476 yılında çıkan bir yangında tamamen harap olduktan sonra Ilius tarafından yeniden yaptırılan ve tekrar bir yangın felaketine uğrayan yapı 532 yılında şehri kasıp kavuran Nika isyanında büyük hasar görmüştür.

İmparator Justinianus yangına uğramış olan büyük bazilikayı yaklaşık 532 yılında, rivayetlere göre 7.000 köle çalıştırarak inşa ettirmiştir. Sarnıç ismini yakınındaki

Ilius Bazilika'sından almıştır. Bazilika Sarnıcı'nın suyu İmparator Valens tarafından (368) yılında yaptırılan 971 m uzunluğundaki Valens (Bozdoğan) kemeri ile İmparator Justinianus'un yaptırdığı 115.45 m uzunluğundaki Mağlova Kemerini yardımıyla şehre 19 km Mesafede Belgrat ormanlarındaki Eğrikapı su taksim merkezinden gelmektedir.



Şekil 1.2: Yerebatan Sarnıcı ve etrafındakilerin konumu, Ö: 1/1000.

Bazilika Sarnıcı'nın planı yüzyılımızın başında Alman Denizaltıcılar tarafından çıkarılmıştır. Buna göre uzunluğu 138 m genişliği 64.6 m dikdörtgen biçimde bir alanı kapsayan dev bir yapıdır. 52 basamaklı taş bir merdivenle inilen bu sarnıcın içerisinde her biri 9 m yüksekliğinde 336 sütun bulunmaktadır. Planın görünüşteki düzenine rağmen sütunların arası hep aynı değildir. Güneybatıdan başlayarak sayıldığında ilk 8 nef 4.7 m, doğudaki 4 nef 5.1 m uzunluktadır. Son sıralardaki duvar mesafeleri ise 4.8 m'dir. (Sütunların ortası ve duvar arası) Her sırada 28 tane 12 sıra meydana getirirler. Suyun içerisinde yükselen bu sütunlar uçsuz bucaksız bir

ormanı hatırlatmakta ve ziyaretçiyi sarnıca girer girmez etkilemektedir. Sarnıcın tavan ağırlığı haç biçiminde tonozlardan, kemerler vasıtasıyla sütunlara aktarılmıştır, çoğunluğu daha eski yapılardan toplandığı anlaşılan ve çeşitli mermer cinslerinden ve granitten yontulmuş sütunların büyük bir kısmı tek parçadan, bir kısmı da üst üste iki parçadan oluşmaktadır. Bu sütunların başlıkları yer yer farklı özellikler taşır. Bunlardan 98 adedi Korinth üslubunu yansıtırken bir bölümünde Dor üslubunu yansıtmaktadır. Sarnıçta kullanılan yapı öğelerinin Marmara Adası'nın mermer ocaklarında üretildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 1.3: Kemerler ve Platformun giriş merdiveninden görünüşü.

Sarnıcın tuğladan örülmüş 4.80 m kalınlığındaki duvarları ve tuğla döşeli zemini Horasan harcından kalın bir tabakayla sıvanarak su geçmez hale getirilmiştir. Toplam 9.800 m^2 alanı bulunan bu sarnıç yaklaşık 100.000 ton su depolama kapasitesine sahiptir. Sarnıçtaki sütunların, köşeli veya yivli biçimde olan birkaç tanesi hariç büyük çoğunluğu silindirik biçimindedir. Bu sütunlar içerisinde üzeri oyma ve kabartma halinde Tavuz Gözü, Sarkık Dal, Gözyaşı şekillerinin tekrarıyla süslenmiş olanı özellikle dikkati çeker. Bu sütun Bizans devrinde "Farum Tauri" denilen bugünkü Beyazıt meydanında kalıntıları bulunan IV. yy. zamanına ait büyük

Theodesiusun (379-395) zafer takındaki sütunların benzeridir. Sarnıcın orta yerini geçtikten sonra, güneybatı duvarından içeriye doğru, yaklaşık 40 m uzunluğunda 30 m genişliğinde düzensiz bir çıkıntı halinde görülen kısım ağırlığı taşıyabilmesi için geçmiş yüzyıllarda yapılan onarımlar sırasında örülen duvarlardır. En uzun yerinde 9 sütun, en dar yerinde ise 2 sütun olmak üzere toplam 40 sütun bu duvarların arkasında kaldığı için görülmemektedir.



Şekil 1.4: Güneydoğudan Yerebatan Sarnıcı'na bakış.

Sarnıcın kuzeybatı köşesindeki iki sütunun altında kaide olarak kullanılan iki Medusa başı Roma Çağı heykeltıraşlık sanatının şaheser örneklerindendir. Sarnıcı ziyarete gelenlerin hayretler içersinde seyrettikleri IV.yy. ait bu başların hangi yapıdan alınarak buraya getirildiği konusunda kesin bir bilgi olmamakla birlikte Medusa Heykellerinin Sarnıcın inşasında salt sütun kaidesi olarak ihtiyaç olduğu için kullanıldığı görüşü araştırmacılar arasında genel kabul görmektedir.



Şekil 1.5: Ters olarak yerleştirilmiş Medusa Başı.

Medusa'yla ilgili mitolojiye dayandırılan birçok söylentiyle tarihin eski çağlarına doğru bir yolculuk yapmak istersek şu gibi rivayetlerle karşılaşabiliriz. Bir söylentiye göre Medusa Yunan Mitolojisinde yeraltı dünyasının dişi canavarı olan üç Gorgonadan biridir. Bu üç kız kardeşten yalnızca yılan başlı Medusa ölümlüdür. Ve kendisine bakanları taşa çevirme gücüne sahiptir. O dönemde büyük yapıları ve özel yerleri kötülüklerden korumak amacıyla Gorgona kafalarının resim ve heykellerinin konulduğu, Medusa'nın da bu düşünceyle buraya konulduğu zannedilmektedir.

Yine bir rivayete göre Medusa siyah gözleri, uzun saçları ve güzel vücudu ile öğünen bir kızdı. Uzun zamandan beri Yunanlı Tanrı Zeus'un oğlu Perseus'u sevmektedir. Bu arada Tanrıca Athene'de Perseus'u sevmekte ve Medusa'yı kıskanmaktadır. Bunun için Tanrıca Athene Medusa'nın saçlarını korkunç yılanlar biçimine sokar. Artık Medusa kime baksa, taş kesilir. Daha sonra onu bu biçimde gören Perseus heyecanla Medusa'nın büyülendiğini düşünerek başını keser, başı eline alıp düşmanlarını taşa çevirerek birçok savaş kazanır. Bu olaydan sonra Medusa'nın eski Bizans'ta kılıç kabzalarına ve sütun kaidelerine ters ve yan olarak işlendiği söylenmektedir. Diğer bir rivayete göre ise Medusa kendisine bakanları taşa çevirme özelliğinden dolayı, kendisini bazen Perseus'un kılıcında bazen de aynaya bakıp görüyor ve kendisini taşa

eviriyor. Bunun için buradaki heykeli yapan heykeltıraş ışığın yansıma pozisyonlarına göre Medusa'yı üç ayrı pozisyonda yapmıştır. Birinci normal olan yani şu anda Didim'de olan, ikinci ters olan, üçüncü yan olandır. Buradaki heykel Didim'den getirtilmiştir. Roma Cağı heykelcililiğinin önemli eserlerinden olan dev büyüklükteki iki Medusa başı ters ve yan duruşlarıyla insanların büyük ilgisini çekmeye devam ederken o tarihten bugüne Bazilika Sarnıcında sular ahenkle damlayarak sarnıcın yarı karanlık gizemli atmosferinde dolaşanlara Medusa'nın şarkısını mırıldanmaktadır.



şekil 1.6: Yan olarak yerleştirilmiş Medusa Başı.

Bazilika Sarnıcı kurulduğundan günümüze kadar çeşitli onarımlardan geçmiştir. Osmanlı İmparatorluğu döneminde iki defa restore edilen sarnıcın ilk onarımı 18. yüzyılda III. Ahmet zamanında (1723) Mimar Kayserili Mehmet Ağa tarafından yaptırılmıştır. 19. yüzyılda ikinci büyük onarım Sultan II. Abdülhamit (1876-1909) zamanına isabet eder. Sarnıcın ortasına doğru kuzeydoğu duvarı önünde yer alan 8 sütün, 1955-1960 yıllarında yapılan bir inşaat sırasında kırılma tehlikesine maruz kaldıklarından bunların her biri kalın bir beton tabaka içine alınarak dondurulmuş ve bu yüzden eski özelliklerini kaybetmişlerdir.



Şekil 1.7: Onarımlar sırasında sarnıç içindeki suyun boşaltılarak dipteki balçık tabakasının temizlenmesi.

Bizans Devrinde civarda geniş bir sahayı kaplayan İmparatorların ikamet ettiği büyük sarayın ve bölgenin su ihtiyacını karşılayan Yerebatan Sarnıcı, İstanbul'un Osmanlılar tarafından 1453 yılında fethinden sonra, bir müddet daha kullanılmış ve padişahların oturduğu Topkapı Sarayı'nın bahçelerine buradan su verilmiştir. Durgun su yerine çeşme suyunu yani akan suyu tercih eden Osmanlıların şehirde kendi su tesislerini kurduktan sonra kullanmadıkları anlaşılan Sarnıç XVI.yüzyılın ortalarına gelinceye kadar batılıların meçhulü olarak kalmış nihayet 1544-1550 yıllarında Bizans kalıntılarını araştırmak üzere İstanbul'a gelen Hollandalı gezgin P. Gyllius tarafından yeniden keşfedilerek batı alemine tanıtılmıştır. P.Gyllius araştırmalarından birinde Ayasofya civarında dolaşırken kendisine, buradaki evlerin zemin katlarında bulunan kuyu benzeri yuvarlak büyük deliklerden ev halkının aşağıya sarkıttıkları kovalarla su çektikleri, hatta balık tuttıkları söylenince büyük bir yer altı sarnıcının üzerinde bulunan, ahşap bir binanın duvarlarla çevrili avlusundan, yerin altına inen taş basamaklardan, elinde bir meşaleyle sarnıcın içerisine girmeyi başarmıştır. P. Gyllius çok zor şartlarda sarnıcı sandalla dolaşarak ölçülerini alıp, sütunlarını tespit etmiştir. Gördüklerini ve edindiği bilgileri seyahatnamede yayımlanan Gyllius,

birçok seyyahı etkilemiştir. Bunun üzerine yüzyıllar boyu İstanbul'a gelen bütün gezginler bu muhteşem eseri görmeden gitmek istemezler. Bazilika Sarnıcını araştıran, başka bir araştırmacı olan tarihçi G. Inciciyan "İstanbul Tarihi" adlı eserinde şehrin XVIII. yüzyılındaki durumunu anlatırken, Yerebatan Sarnıcı hakkında şunları yazmaktadır.

“Ayasofya'nın güneybatısında, yarım mil mesafede, evlerin arasında bulunan bu sarnıç büyük Constantius tarafından büyük sarayın altına yapılmış olup Bazilika Kinotexna adını taşırdı. Özellikle kış mevsiminde deniz gibi dolan sarnıçta balıklar bulunuyordu. Hatta buraya Alibeyköy deresinden yeraltı kanallarıyla su geldiği sanılmaktadır.”



Şekil 1.8: Sarnıcın karakalem eskizi.

Burada P. Inciciyan Bazilika Sarnıcı'nın Büyük Contantius (324-337) tarafından yaptırıldığını söylerken birçok eski araştırmacı ve tarihçi gibi yanılgıya düşmüştür. XIX yüzyılın sonlarına doğru 1874'te İstanbul'a gelen İtalyan yazarı Edmundo De Amicis, güzelliğine hayran kaldığı bu şehrin toplumsal yaşayışı ve tarihi eserleri hakkında okuyucuya zengin bilgiler veren Costantinapoli (İstanbul) adlı kitabında Yerebatan Sarnıcı'nın gizemli havasını şiirli bir dille şöyle anlatmaktadır.

“Bir müslüman evinin avlusuna giriyor, karanlık ve rutubetli bir merdivenin son basamağına kadar iniyor ve kendimi İstanbul halkına göre nasıl bittiği bilinmeyen Bizans'ın büyük Bazilika Sarnıcı'nın kubbeleri altında buluyorum. Karanlığın verdiği dehşeti daha da arttıran çivit renkli bir ışıkla yer yer aydınlanmış, yeşilimsi sular, kara kubbelerin altında kayboluyor, üzerinden sular sızan duvarları parlıyor ve her tarafta, budanmış bir ormandaki ağaç gövdeleri gibi gzn önüne dikilen bitmez tükenmez sütün sıralarını belli belirsiz ortaya cıkartıyor.”

Bunun gibi hakkında birçok hikayenin anlatıldığı Bazilika Sarnıcı geçirdiği onarımlardan sonra Cumhuriyet döneminde İstanbul Belediyesi tarafından müze haline getirilerek ziyarete açılmıştır. Sarnıç bugünkü durumunu 1985 yılında başlatılan restorasyonda içerisinden 50.000 ton çamurun cıkartılması ve gezi platformunun yapılmasıyla birlikte 1987 yılında tamamlanmış ve tekrar ziyarete açılmıştır. Bazilika Sarnıcı 1994 Mayısında yeniden büyük bir temizlik ve bakımdan geçerek bundan sonraki yaşam serüvenine tıpkı geçmişteki gibi balıklarla birlikte devam etmeye başladı [1-7].



şekil 1.9: Uçsuz bucaksız kolonların görünüşü.

2. KAPALI MEKANLARIN AKUSTİK KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Ses günlük yaşamımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Canlılar arasındaki iletişimin temelini oluşturur. Ses, duyulabilir frekanslardaki ses dalgalarının, kulak tarafından algılanması olarak tanımlanabilir. Gürültü ise, alıcı tarafından istenmeyen sestir. Sesin rahatsızlık vermesi için her zaman yüksek seviyeli olması gerekmez. Rahatsızlık kavramı sübjektif bir yargı olduğu için bir müzik sesi bazı insanların hoşuna giderken bazıları tarafından gürültü olarak algılanabilir [8].

Hacim akustiğinde ana hedef, hacimdeki işlevsel sesin iyi anlaşılabilmesini sağlamaktır. Bu amaçla arka plan gürültüsünün kabul edilebilir düzeye indirilmesinin yanı sıra, hacimde homojen ve yaygın ses alanı oluşturulması gerekir.

Binaların akustik tasarımında düşünülecek iki temel faktör vardır, ilk olarak istenen ses mümkün olan en iyi koşullar altında duyulmalıdır ve ikinci olarak istenmeyen ses ya da gürültünün (konuşma ya da müziği içerebilir) mekana girmesi ya da çıkması önlenmelidir. İstenen ses ve gürültü arasında çok küçük bir ayrım vardır ya da hiç yoktur, örneğin açık planlı bir ofiste iki kişi arasındaki konuşma sesi onlar tarafından istenebilir fakat rahatsız olan üçüncü bir kişi için gürültü olabilir.

Mekan ve malzemelerin akustik karakterleri genellikle frekansa bağlıdır ve istenen ve istenmeyen sesi kontrol altında tutmak için frekans spektrumuna karar vermek gerekir. Dış mekanda ses yayılma tahminlerinin yapıldığı meteorolojik etkiler binaların içinde olmadığı için, düşükten orta frekansa kadar seslerin dalga boyları mekanların ölçüleri ile aynı ya da daha büyüktür ve mekan içindeki objeler kesin bir ses yayılma tahminini zorlaştırır [8, 14].

Bu bölümde, konuşma ve müziğin önemli özelliklerinden bir kısmı tanımlanacak ve konuşma ve müzik için mekanların tasarlanma prensipleri ve hacim akustiği parametreleri açıklanacaktır.

2.1 Müzik ve Konuşma Eylemi

Müzik Eylemi

Müzik muhtemelen ilkel insanın boş bir kütük ya da gerilmiş hayvan derisi ile ses oluştuğunu anladığında meydana gelmiştir. Daha sonra bu sesler ritmik hale getirilmiş, belki de kalp atışı ya da nefes alıp verme ritmi kopyalanmıştır. Daha sonra konuşma gelişmiş insan şarkı söylemeye başlamıştır ve bundan sonra melodi ya da farklı perde seslerinin birbirini izlemesi ile şarkı söyleme gelişmiştir. Uzun yıllar yalnızca ritim ve melodi müzik elementleri olmuştur, sonra harmoni ya da çeşitli notalarla birlikte çalma ya da söyleme geliştirilmiştir. Melodide erken vurgu perde değişikliklerinin organizasyonunda farklı metotlar geliştirilmesine izin vermiştir, ses frekans değişiklikleri benzerdir. Bundan dolayı, enstürmanlar birleşik ezgi ile kullanıldığında devamlı frekansların herhangi biri müzikte kullanılabilir.

Pythagoras müzikal seslerin araştırılmasında en erken kayıtları yapmıştır. Yayların titreşim uzunluk oranları ile ilgilenmiş, bu sesin sıcak perde aralıklarında yükselme vermiştir. Bu olayın, uzunluğun yarıya bölündüğü her zaman aralığında oluştuğunu bulmuştur, bu ses frekans çiftine eşittir. Western müziğinin temel perde aralıklarına ($2f/f$) verilen isim oktavdır. Diğer sıcak frekans oranları kararlaştırılmış ve tüm müzikal ölçekler geliştirilmiştir.

Şimdi dünyanın farklı kesimlerinde çok çeşitli müzikal enstürmanlar vardır, bazıları özel müzikal eğitimler için tektir. Batı'da kayıt aletleri 12. Yüzyıl'da dinsel olmayan kullanımlar içindir ve flüt iki yüzyıl sonra gelişmiştir. Erken dönem telli enstrümanların çoğu çeşidi ile eğik viyol ailesi üstünlük kazanmış ve insan sesinin farklı kayıtları ile birlikte gelişmiştir. Erken dönem orkestraları sadece birkaç sanatçıdan oluşmaktadır, günümüzde bu durum 'oda müziği' olarak adlandırılır. Bununla beraber, modern bir senfoni orkestrası yüz çalgıcıdan fazlasını ve farklı birçok enstrümanı içermelidir, sonrasında yaylı çalgılar, nefesli sazlar, bando ve timpani olarak gruplanır. Müzik enstrümanlarının çoğu harmonik serilerle birlikte müzikal ölçek gereklerine dayanan temel frekansları üretmek için tasarlanmıştır. Aynı zamanda enstrümanlar üretilen diğer seslerin ayrılması için de tasarlanmıştır. Basit terimlerle, temel frekanslar ses durakları ve müzikal kaliteyi etkileyen harmonilere karar verirler. Çalınan müziğin gereklerine göre, sesler her saniyede

15'den 20 sese kadar üretilir ve her ses 100 ms'den 2000 ms'ye kadar bir süreye sahiptir ya da önemli bir geçici üst üste gelme (overlap) vardır. Her enstrümanın ürettiği ses bir *başlangıç zamanı*, *sabit periyot* ve *azalmaya* sahiptir; ilk ses başlangıcı boyunca, temel ve sonrasında çeşitli harmoniler tespit edilmiş olur ve frekans spektrumunda önemli değişimler meydana gelebilir. Bu değişimler *süreksiz* olarak adlandırılır. Bir sesin ilk süreksizlerinin duyulması kabiliyeti dinleyiciye bir enstrümanı diğerinden ayırma imkanı verir. Bu nedenle seyircilerin her birinin her enstrümandan yansıyan ses ile maskelenmeden yeterli direk sesi alması çok önemlidir. Tam bir müzikal etki oluşturmak için birçok yansımış sesin sağlanması da gereklidir [9].

Tez çalışmasında incelenecek olan Yerebatan sarnıcında müzik eylemi olarak solo ve koro konserler verilmektedir.

Akustik biliminde yapılan araştırmalar, bir mekanın akustik kalitesinin tespit edilmesinde önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Bu parametreleri başlıca iki bölümde inceleyebiliriz.

1. Salonların akustik özelliklerini belirten nesnel akustik parametreler.
2. Salonların akustiğinin dinleyiciler üzerinde bıraktığı izlenimleri belirten öznel akustik parametreler [13].

Konuşma Eylemi

Hacim akustiğinde ana hedef, hacimdeki işlevsel sesin iyi anlaşılabilmesini sağlamaktır. Bir mekanın akustik performansının değerlendirilmesi için, mekandaki temel işlevler, bunları etkileyen faktörler ve oluşumları incelenmelidir. Hesaplamalar, deneysel ve teorik veriler ve kriter değerlerle yapılan kıyaslamalar sonucu, mevcut durumun akustik performans üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri ortaya konabilir.

İnsan sesi, ses telleri soluk verme akışını düzeltmek için kullanıldığında oluşmuştur. Tellerin hızla titreşimi vızıltı şeklinde duyulan nefes serileri içinde akışa çevrilir, frekansı ses tellerinin titreşim hızına bağlıdır. Bu vızıltı daha sonra boğaz, burun ve ağız içeren, dil ve dudakları da kapsayan bir ses sistemi ile düzenlenir. Dudakların şekli konuşma sesinin oluşumunda bir parça rol oynar ve birbirine bağlı dudak

şekilleri sağır insanların konuşmayı anlamasını sağlayacak hareketler üretir. Normal duyan insanlar için, görsel ipuçları konuşma sesinin algılanmasına yardımcı olarak kullanılır [9].

Ses tellerinden geçen hava, dişler ve dil ile şekillendirilir ve farklı türde sesler çıkar. Fısıltı şeklindeki konuşmada ses telleri kullanılmaz [14].

Herhangi bir oditoryumda öncelikle ses kaynağının doğallığı ve konumlanması düşünülmelidir. Herhangi bir ses güçlendirme sistemi ile desteklenmemiş sesin 3 m uzaklıktan ölçülen ses basınç düzeyi normal olarak 30 dBA (fısıldama)’dan 60 dBA (normal konuşma sesi)’ya kadardır. Bazen oyuncular seslerini 70 dBA düzeyine yükseltebilirler fakat orkestranın yüksek sesi ile karşılaştırılacak olursa oyuncuların çoğu sesinin anlaşılabilirliği zayıf olacaktır.

Konuşmanın bir başka karakteristik özelliği de açık bir konuşmanın farklı seslerin hızlı ve ardışık bir şekilde anlatımına bağlı olmasıdır, bazen konuşma süresi kısa olabilir [13].

Aşağıda dinleyici tarafından konuşmanın algılanmasını etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir.

- **Konuşma Sinyali**

İnsan konuşmasının akustik gücü oldukça sınırlıdır, devam eden bir konuşmada uzun dönem ses gücü erkekler için 34 μwatts bayanlar için 18 μwatts civarındadır. Bu nedenle, anlık konuşma gücü sıraları en sessiz ses için 0.01 μwatts ’dan en gürültülü ses için 5000 μwatts ’a kadardır. Sohbet edilen sesin uzun dönem ortalama dinamik sırası 30 dB’dir, zirveleri içine alırsak ortalama düzeyden 12 dB daha yüksek olur. Konuşma frekans sırası 200 Hz’den 6300 Hz’e kadardır, en önemli bileşenler 1000 Hz’den 4000 Hz’e kadardır [9].

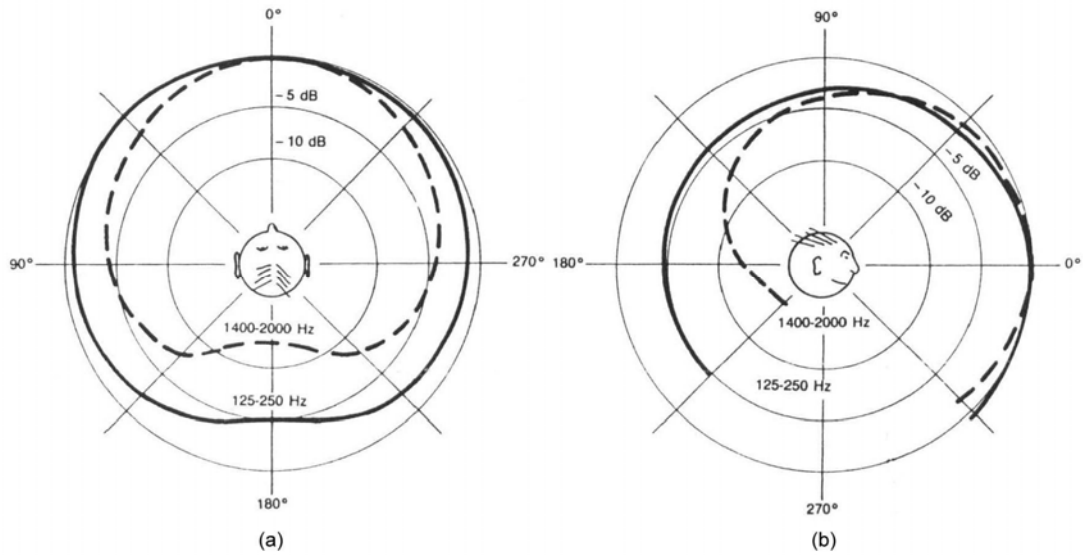
İnsan sesi, 100 Hz ve 400 Hz aralığında bir temel frekansı olan sürekli bir dalga yapısına sahiptir. Bu temel frekansın tam katlarında, sesin rezonans karakteristikleri tarafından belirlenen ve ‘formant’ olarak adlandırılan harmonik değişkenler bulunur. Formantlar, sesli harfleri ve aralarındaki geçişleri oluşturur. Sessiz harfler, 2000 Hz-

9000 Hz frekans aralığında oluşurlar. Konuşmadaki ses gücü, 30-300 ms sürebilen sesli harfler tarafından taşınır [25].

Anlaşılabilirlik oranı ise, sesli harflerden oluşan sesi anlamlı ses parçalarına bölen ve 10-100 ms sürebilen sessiz harfler tarafından belirlenir. Bu farklı birimleri örtüştüren formant mekanizması sayesinde konuşma sinyali, bir bütün olarak hareket eder [14].

- **Yön Faktörü**

Konuşma, noktasal olarak nitelendirilebilecek bir ses kaynağından yönlendirilmiş olarak çıkar. Bu plan düzleminde, konuşmacının önünden arkasına doğru, ses basıncında yaklaşık 12 dB'lik bir düşüş olduğu anlamına gelir (Şekil 2.1).



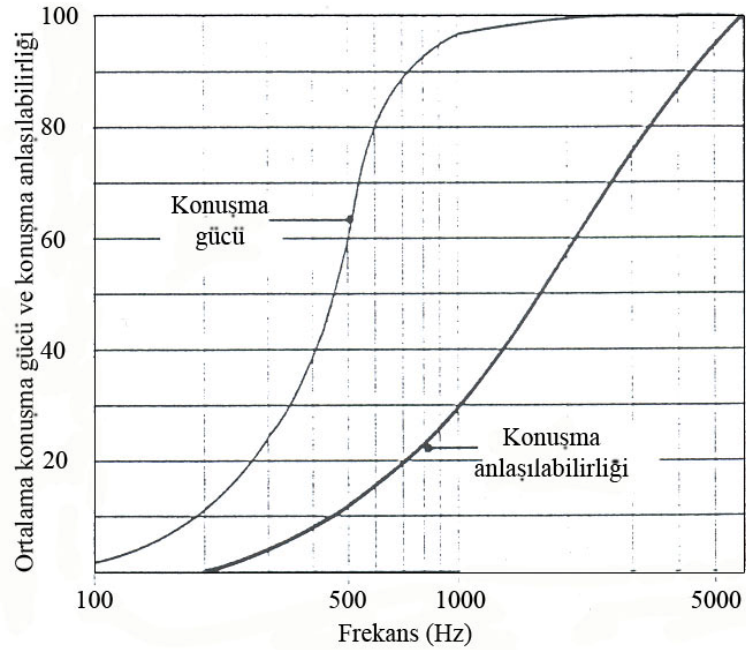
Şekil 2.1: Konuşmacının ses basınç düzeyinin yönsel dağılımı, (a) yatay düzlem ve (b) dikey düzlem [27].

Konuşmacının kafası akustik gölge oluşturduğundan konuşma bütün yönlerde eşit miktarda yayılmaz. Şekil 2.1 (a), yatay bir düzlemde konuşmacının ağzını merkez alarak iki frekans aralığı için (125 Hz - 250 Hz ve 1400 Hz - 2000 Hz) konuşmanın ses basınç düzeylerini gösterir. Ses basınç düzeyi konuşmacının önünde (0°) en büyük değerini alır ve aynı yönün her iki yanında azalır. Azalma 1400 Hz - 2000 Hz bandında daha büyüktür. Şekil 2.1 (b), konuşmacının ağzını merkez alan dikey düzlemde konuşmanın yönsel karakterini gösterir. Ses basınç düzeyi açının artmasıyla azalır [11].

- **Konuşmacı-Dinleyici Uzaklığı**

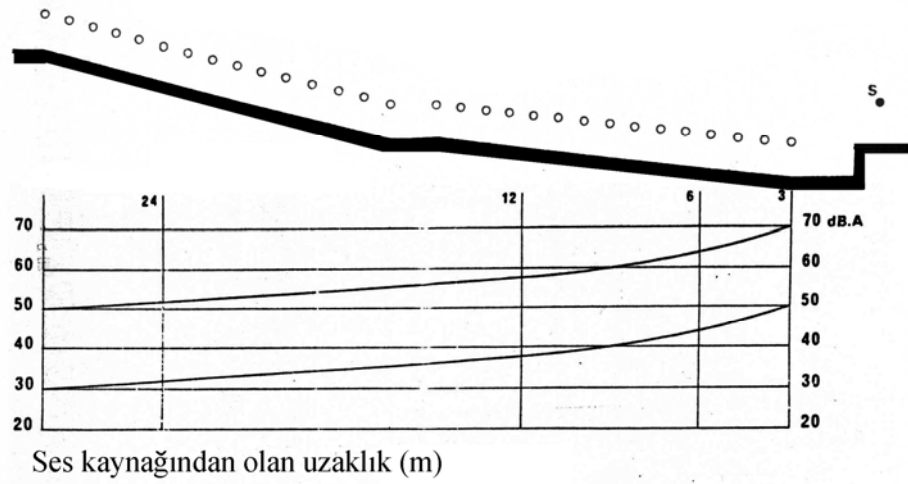
Konuşmacı sesinin anlık akustik g¼c¼, zaman ile değişiklik g¼sterir. Bununla birlikte, uzun d¼nem (5 dakika ya da daha uzun) ortalama g¼ç yaklaşık 35 microwatts'dır. Konuşmanın toplam akustik g¼c¼n¼n 1000 Hz frekans bandı altındaki b¼lgede yaklaşık % 95'i bulunur. Bu konuşma anlaşılabilirliğinin yalnızca % 30'una katkıda bulunur. Aynı şekilde konuşma g¼c¼n¼n % 30'u, 500 Hz frekans bandı altındaki b¼lgededir. Anlaşılabilirliğe katkısı % 10'dur (şekil 2.2).

Konuşmacıdan dinleyiciye direk sesin azalması iki fakt¼re bağlıdır: Ters kare kanununda belirtildiği gibi uzaklık ile azalma ve havanın yutuculuğu ile azalma [11].



şekil 2.2: Frekansın bir fonksiyonu olarak ortalama konuşma g¼c¼ ve konuşma anlaşılabilirliği [11].

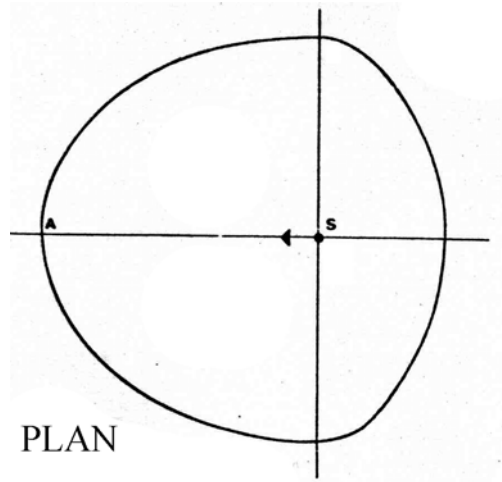
şekil 2.3'de 30 sıradan oluşmuş bir oditoryum için insan sesinin uzaklığa bağlı olarak ses basınç düzeyindeki değişim g¼sterilmektedir. Sahne kenarındaki y¼ksek ses düzeyine sahip konuşma 70 dBA salonun arka tarafında 50 dBA'ya d¼řmektedir. Normal d¼zeydeki bir konuşma ses basınç d¼zeyi 50 dBA'dan 30 dBA'ya d¼řmektedir, tabi bu durumda arka plan g¼r¼lt¼s¼ olan seyirci g¼r¼lt¼s¼ sessiz olarak kabul edilmelidir [12].



Şekil 2.3: 30 sıradan oluşmuş bir oditoryum için insan sesinin uzaklığa bağlı olarak ses basınç düzeyindeki değişim gösterilmektedir [12].

- **Konuşmacı ile Direkt İlişki**

Birçok ses kaynağı gibi, insan sesi de yönlenmeye meyillidir. Knudsen ve Harris, konuşmacının dinleyiciye doğru yönelimi ile ilişkili olarak konuşma anlaşılabilirliğinin uyum içinde olup, değişebileceğini bulmuştur ve bu bilgiler sonucunda “*Eşit anlaşılabilirlik konturu*” oluşturulmuştur. Bu kontur Şekil 2.4’de gösterilmiştir ve konuşmacının yüzünün yönü ok ile belirtilmiştir. Bu belirlenmiş alan için herhangi bir ölçü belirtilmemiştir ve bu konturun herhangi bir yerindeki bir noktada konuşma anlaşılabilirliğinin ölçütüne bağlı olarak anlaşılabilirlik eşit miktarda iyi veya zayıftır.



Şekil 2.4: Knudsen ve Harris tarafından bulunmuş “*Eşit Anlaşılabilirlik Kontörü*”

Belirlenmiş alanın ne şekilde ölçülendirileceği ortalama kriter koşulları ile belirlenmiştir. Bunlar:

- 15 m'den fazla: Rahat dinlenebilir,
- 15 m – 20 m arası: İyi anlaşılabilirlik,
- 20 m – 25 m arası: Tatmin edici,
- 30 m: Herhangi bir elektronik destek sistemi olmadan kabul edilir limit.

Genellikle dinleyici alanları düzenlenirken pek fazla seçenek olmayıp değişmez pozisyon konuşmacıyla yüz yüze olmaktır, çoğu zaman optimum dinleyici koşulları belirlenmiş olan kontur alanı içinde yer alıp oturma yerleri bu alana veya yaklaşık olarak daha fazla alana yerleştirilir. Başka bir önemli nokta sadece izlemeden konuşmacının arkasında yer alarak dinlemektir fakat konuşmacının önündeki kontur içinde bulunmak diğer pozisyona göre daha iyidir. Sadece görme amacı var ise ön taraftaki yerlerde bulunulmalı arka tarafta oturmayı kabul etmemelidir. Konuşmacı veya konuşmacılar seyirciyle birçok durumda ilişki kurabilir. Fakat kontur sabit olduğu için, oturma yerlerinin hassas düşünülmesi gerekmektedir [12].

2.2 Akustik Kaliteyi Etkileyen Parametreler

2.2.1 Nesnel Akustik Parametreler

Müzik ve akustik birbirine bağlı olarak gelişmiştir. Boston Senfoni Salonunun yapılması ile birlikte bu konudaki araştırmalar artmış ve Sabine tarafından ortaya konulan “çınlama süresi” parametresi, konser salonlarının akustik tasarımı için en önemli nesnel hacim akustiği parametresi olarak kabul edilmiştir. Çınlama süresi kadar önemli başka parametreler de vardır.

2.2.1.1 Çınlama Süresi (Reverberation Time-T)

Çınlama süresi bir hacmin akustik özelliklerini belirtmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Çınlama müzikal tonları kuvvetlendirir, minör müzikal eksiklikleri maskeler. Kısa bir çınlama süresi müziğe “tanımlılık” ya da “açıklık” verirken uzun bir çınlama süresi “karışık” bir müzik ortaya çıkarır. Müzikte çınlamanın etkisi konuşmadaki gibi kesin olarak gösterilemez yani müziğin algılanması oldukça öznel. Akustik kalitenin konuşma anlaşılabilirliği ile

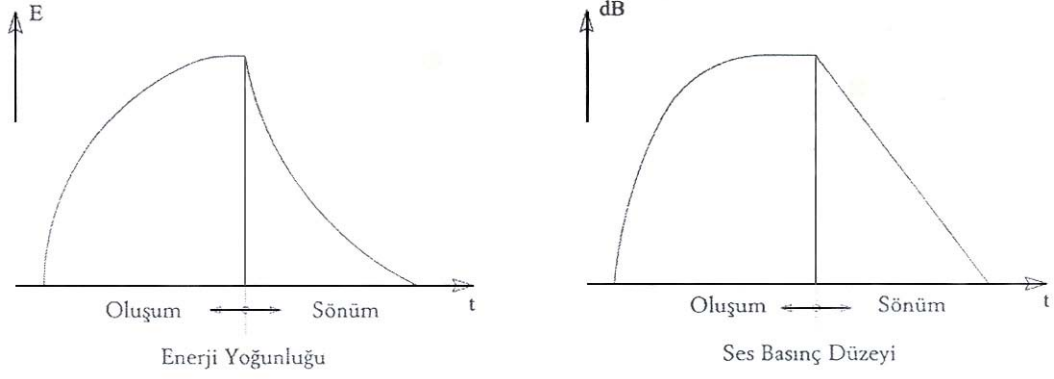
belirlendiği konuşma salonlarından farklı olarak, müzik salonlarının akustik kalitesi tanımlayıcı sayısına bağlıdır. Müzik mekanlarının akustik kalitesini belirleyen tanımlayıcılardan (canlılık, ton dolgunluğu ve sıcaklık) yalnızca birkaçı çınlama süresi ile ilişkilidir fakat bilinen öznel bir ilişkileri yoktur. Varolan konser salonları ve diğer müzik mekanlarında yapılan çalışmalar optimum çınlama süresi için gereken sonucu verir. Mekanın çınlama süresi frekansın bir fonksiyonudur [11, 16].

Optimum çınlama süresi; orkestra, koro ve kilise müziği için 1 ½ - 2 s arasında, büyük orglar için 2 s ya da daha çok, oda müziği için 1 – 1 ½ s arasındadır [18].

Tablo 2.1: Dinlemede çınlamanın etkisi [18].

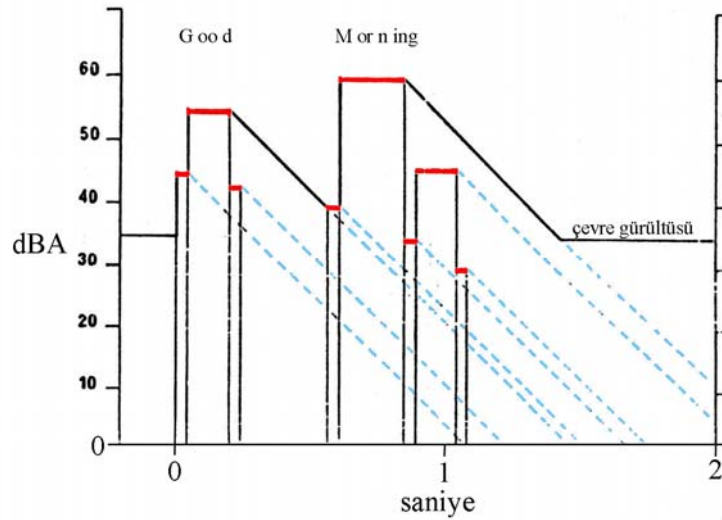
1/2 – 1 s	Konuşma	İYİ
	Müzik	ÇOK ÖLÜ
1 – 1 ½ s	Konuşma	İYİ
	Müzik	ORTA
1 ½ - 2 s	Konuşma	ORTA
	Müzik	İYİ
2 s üstü	Konuşma	ZAYIF
	Müzik	ORTA-ZAYIF

Bir odada kaynak kapatıldıktan sonra sesin devam etmesi odadaki yutuculuk miktarı ile ilgilidir. Bir ses üretildiğinde mekanda çeşitli yönlerde hareket eder ve oda yüzeylerine çarpar, yansır ve tekrar yansır. Her yansımada yutuculukla biraz enerji kaybedilir ve sonunda sesin tamamı tüketilir. Bu Şekil 2.5’de gösterilmiştir [14]. Bir ses ışınını birkaç yansıma takip etmiştir. Oda akustiğinde gecikme oranının önemi yüzyıllardır bilinmektedir. İlk olarak Harvard Üniversitesi fizik profesörü Wallece Clement Sabine tarafından yaklaşık 100 yıl önce nicel bir kavram olarak ortaya koyulmuştur. Sabine gecikme oranını çınlama süresi olarak tanımlamış ve seste 60 dB azalma olması için geçen zaman olarak değerlendirmiştir.



Şekil 2.5: Ses kaynağı sustuktan sonra sesin sönümlenmesi.

Şekil 2.6'ya bakıldığında iki farklı kelimenin zaman ve ses yüksekliği arasındaki ilişki basitleştirilerek grafik üzerinde gösterilmiştir. Zaman ve her sesin gücü anlaşılır bir şekilde yatay kalın çizgilerle, sesin uzaması yani çınlama ise eğimli çizgilerle ifade edilmiştir. Çınlama süresinin uzun olduğu açıkça ortada olup, ilk gelen kelimenin çınlaması ikinci ses veya sesleri büyük ölçüde maskeleymiştir. Öncelikli zayıf olan seste çok güçlü ünlü ses olduğu (o) duruma dikkat edilmelidir. Şekli 2.5'deki grafik tekrar ele alınıp açık havada çınlamanın olmadığı düşünülürse, eğimli çizgilerin tümü ihmal edilir ve herhangi bir maskeleme gerçekleşmez. Çınlamanın çok fazla olduğu durumlarda, örneğin katedrallerde, çınlamanın zayıflamasını ifade eden eğimli çizgilerin açısı daha dik olur ve maskeleme zamanı uzar. Fakat dikkat edilmelidir ki, konuşma anlaşılabilirliğinin olması için çınlanma süresinin oluşturulan iki ses arasında tamamlanıp kısa zamanda bitmesi istenir [12].



Şekil 2.6: İki farklı kelimenin zaman ve ses yüksekliği arasındaki ilişki.

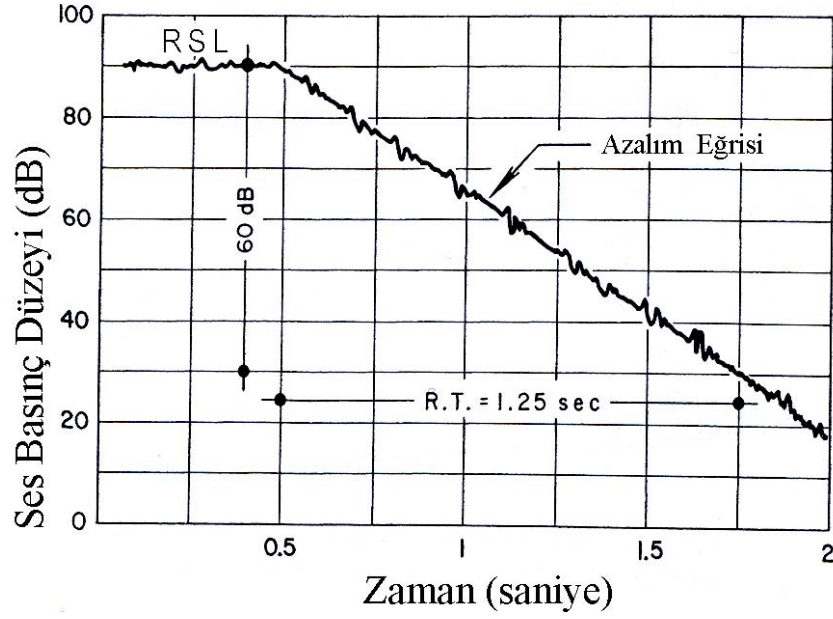
Kapalı bir mekanda çınlamanın genel etkileri aşırı derecedeysen konuşmada netliğin bozulmasına sebep olur ayrıca bir salondaki çınlamayı kontrol altına almak akustik tasarım açısından önemli bir faktördür.

Sesin işitilmeyecek kadar zayıflaması için geçen süreyi etkileyen bazı kriterler vardır. Bunlar:

1. Sesin öncelikli gücü,
2. Yutucu yüzeyler veya yansıma boyunca sesin temas ettiği yüzeyler,
3. Salonun hacmi ve ses yolunun uzunluğu,
4. Ses dalgaları olgusunun varlığı,
5. Kulağın farklı frekanslara karşı hassasiyeti.

Büyük hacim, büyük güç ve yüksek frekanslar çınlamanın uzamasını sağlamaktadır. Fakat odadaki toplam yutuculuk artırıldığı zaman çınlama kısalmaktadır. Çınlamanın uzamasını sadece kesin frekanslar değil devamlı olan dalgalar da etkiler.

Genel olarak çınlama süresi için çeşitli kurumlar tarafından kabul edilen ses basınç düzeyindeki azalma 60 dB'dir. Şekil 2.7'de ses basınç düzeyindeki azalma açıkça gözlenmekte olup 85 dB'den işitme sınırının altına kadar azalmıştır. Grafiğe bakıldığında eğrinin azalmasından itibaren 60 dB'lik düşüşü 1,25 s içinde aldığı gözlenir. Buradan da sesin ilk ses basınç düzeyi ne olursa olsun *çınlama süresi* 1.25 s olarak tanımlanır. Bu kriter bize bir odanın akustik koşullarını bir diğeri ile veya yayımlanmış kriterlerle karşılaştırma imkanı sağlar. Şekil 2.7'de çevresel etmenlerin etkisiyle bir dereceye kadar çınlama gösterilmiştir. Kiliselerde çınlama süresi 5 s veya daha fazla olmaktadır fakat, anlaşılır bir konuşma resepsiyonu için grafikteki azalma eğrisinin basamak basamak olmalı ve çınlama süresi 1 s olmalıdır. Bu olay grafik üzerinde de kırık çizgilerle gösterilir.



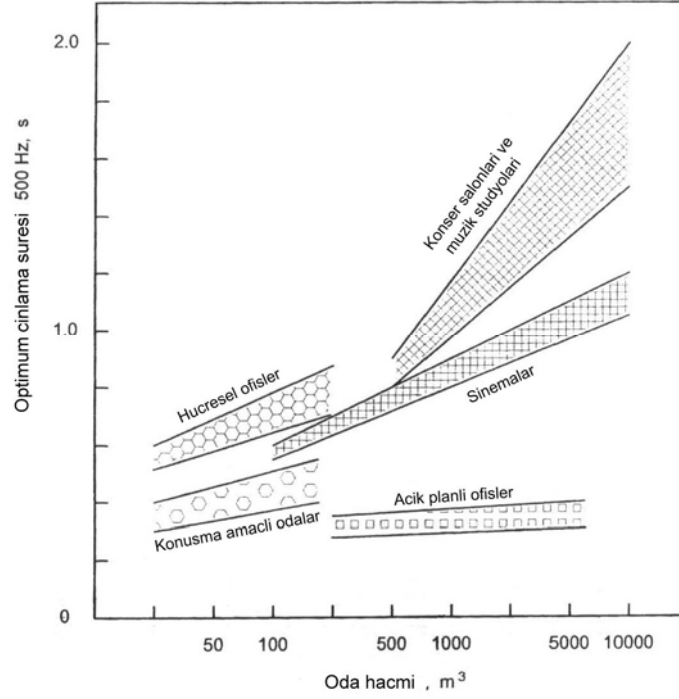
Şekil 2.7: Çınlama süresinin tanımlandığı ve bu süre için ses basınç düzeyindeki azaltımın 60 dB olduğunu gösteren grafik [15].

Grafikte de görüldüğü gibi, güçlendirilmiş ses yani ilk ses artmadan “*çınlanmış ses düzeyi*” (RSL) (çınlayan sound level) önce ses kaynağı kesilmiştir.

Şimdiye kadar çınlama süresi için yapılmış olan tanımlamalardan bahsedilmemiş olup 4. ve 5. maddelere dikkat edilmelidir. Sonuç olarak bu kriterler *optimum çınlama süresinin* sağlanması için:

- Sürekli olan dalgaların seyrini önlemek iyi bir iç kabuk tasarımı,
- Paralel olan karşılıklı yüzeyleri ve yansıtıcı yüzeyleri dağıtılması ile yapılabilir.

Öte yandan kulağın düşük, orta ve yüksek frekanslara göre olan değişik hassasiyeti yayımlanmış olan optimum çınlama süresine göre hesaplanmalıdır. Şekil 2.8’de değişik fonksiyonlu salonlar ve konuşma için tavsiye edilen çınlama süreleri verilmiştir. Grafiğe bakılırsa *optimum çınlama süresi* ve *hacim* arasında ilişki olduğu gözlenir.



Şekil 2.8: Değişik fonksiyonlu salonlar ve konuşma için hacme bağlı tavsiye edilen optimum çınlama süreleri [31].

Genel tecrübelerden insanlar büyük bir salonun çınlama süresinin küçük salona göre daha büyük olduğunu sanmışlardır. Çeşitli kaynaklara dayanan kriterlerde ve insanların “hangisinin ideal bir değer” olduğuna karar verirken oda büyüklüğünün etkili bir sebep olduğu bulunmuştur. Şekil 2.8’de bulunan grafik bunlar sonucunda oluşturulmuştur.

Anlaşılabilir bir konuşma için çınlama süresini kontrol altına almanın yolu:

- Hacmi sınırlı tutmak,
- Yutucu malzeme kullanmak,
- Veya her ikisini de sağlamakla mümkün olur.

Sabine Eşitliği

Çınlama süresi hesaplanırken hacim ve odanın toplam yutuculuğu gibi önemli iki faktör rol oynar. Farklı tip salonlarda kapsamlı ve ustaca ölçülerle Sabine çınlama süresi ve oda oranları arasında bağlı bir ilişki elde etti.

$$T = \frac{0.16V}{\sum A} \quad (2.1)$$

V : Oda hacmi(m^3)

$\sum A$: odadaki toplam yutuculuk (metrik sabin)

T değeri saniyedir.

Eşitlik (2.14), Sabine eşitliği olarak bilinir, çınlama süresinin yalnızca iki oda oranının bir fonksiyonu olduğunu gösterir.

1. Oda yutuculuğu
2. Oda hacmi

Ard arda iki sesin çarpması arasındaki istatistiksel ortalama ölçüsü ($4V/S$) ile verilir. S odanın toplam yüzey alanı ve V odanın hacmidir. Bu ortalama ölçü ortalama serbest çizgi olarak adlandırılır ve Sabine eşitliğinin matematiksel kökeninde çok önemlidir. Ortalama serbest çizgi müzik alanlarının akustiğini etkileyen bazı faktörlerin anlaşılmasında da önemlidir.

Eşitlik (2.14)'deki toplam yutuculuk ($\sum A$),

$$\sum A = [S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots] + mV \quad (2.2)$$

formülü ile verilir. $S_1, S_2, S_3 \dots$ odanın yüzey alanları (m^2) ve $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ yutuculuk katsayılarıdır. mV terimi hava yutuculuğunu tanımlar. Hava yutuculuğu yalnızca 2000 Hz'e eşit ya da üstündeki frekanslarda etkilidir [11].

Fakat Sabin eşitliğinin uygulanmasında sınırlamalar vardır. Sabine eşitliği ses alanının odada yayıldığı varsayımına dayanır. Yansımasız odadaki akustik alan, akustik olarak ölü kabul edilir, kaynaktan dinleyiciye uzanan yalnızca bir yön vardır.

Yayılma derecelerinin birazına sahip olmak için oda akustik olarak canlı ve yüzeyleri oldukça yansıtıcı olmalıdır. Bir oda yüzeylerinin ortalama yutuculuk katsayısı 2.0 ya da daha az olduğunda genel olarak canlı kabul edilir. Sabine eşitliği yalnızca

$\alpha_{ort} < 2$ olduğunda uygulanabilir. Bundan dolayı, eğer bütün oda yüzeyleri oldukça yansıtıcı ise ($\alpha_{ort} = 0$) Sabine eşitliği sona ermenin T'sini tahmin edebilir. Konferans salonları, oditoryumlar, konser salonlarının çoğunda, yaşama ait ve çoğunlukla canlı kategorisinde Sabine eşitliği geçerlidir. Canlı olmayan bir oda için, eğer odada yutuculuğun dağılımı yüksek miktarda tek şekilli değilse, Sabine eşitliği dikkatle kullanılmalıdır. Diğerlerine göre ölü odalar için Eyring eşitliği gibi diğer çınlama süresi eşitlikleri kullanılabilir.

Eyring-Norris Eşitliği

Eşitlik, mekanın ortalama ses yutuculuğu 0.2'yi aştığında kullanılır. 4000 Hz'in altındaki frekanslar için formül;

$$T = \frac{0.161V}{-S \lg(1-a)} = \frac{0.161V}{-2.3S \log(1-a)} \quad (2.3)$$

$$T = K \frac{V}{-S \log_e(1-\bar{\alpha}) + 4mV} \quad (2.4)$$

$$-\log_e(1-\bar{\alpha}) = \bar{\alpha} + \frac{\alpha^{-2}}{3} + \frac{\alpha^{-3}}{3} + \dots \quad (2.5)$$

V : Oda hacmi, m^3

S : Mekanın toplam yüzey alanı, m^2

a : Ortalama ses yutuculuğu

Hopkins-Striker Eşitliği

Bu eşitlik sesin 'enerji yutuculuğu' ile yer değiştiren yankı odasında ölçülen ürünlerin yutuculuğu ile kullanılır. Moleküler hava yutuculuğunu düşünmeden formül:

$$T = \frac{0.161V(1-\bar{a})}{aS} \quad (2.6)$$

$$\bar{a} = \frac{0.161V}{0.161V + RT.S} \quad (2.7)$$

Millington Eşitliği

Eyring eşitliğindeki gibi, mekanın toplam ses yutuculuğu 0.2'yi aştığında kullanılır. Mekandaki bütün yüzeylerin benzer akustik yalıtıma sahip olması durumu hariç Eyring formülünden daha kısa periyotlar sağlama eğilimindedir [10]. Bu yöntemde ortalama yutuculuk katsayısı değeri yerine, ortalama yutuculuk eksponenti (α') değeri kullanılmaktadır. Böylelikle duvar üzerinde değişik yutuculuklara sahip bölgelerin ortalaması hesaba katılmaktadır. Yutuculuk eksponenti değeri aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\alpha' = \frac{1}{S_T} \sum_i S_i \ln(1 - \alpha_i) \quad (2.8)$$

α' : Yutuculuk eksponenti

S_T : Toplam yüzey alanı, m^2

S_i : i. Yüzeyin alanı, m^2

α_i : i. Yüzeyin yutuculuk katsayısı

Yukarıdaki bağıntı kullanılarak hacmin toplam yutuculuğu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$A = - \sum S_i \ln(1 - \alpha_i) \quad (2.9)$$

Ancak bu yöntemde duvarlardan birinin çok küçük bir parçasının bile yutuculuk katsayısının 1 olması durumunda (2.21) bağıntısı ile hesaplanan değerler sınırsız bir şekilde büyümekte ve çınlama süresi sıfır çıkmaktadır. Bu nedenle sık kullanılan bir yöntem değildir [10].

Fitzroy Çınlama Süresi Eşitliği

Bu eşitlik bir mekanda diğer yüzeyler oldukça yansıtıcıyken duvarlardan biri ya da paralel iki duvar, tavan ve zemini içerebilir, yüksek yutuculuk gösterdiğinde kullanılır. Sabine ortalama yutuculuk katsayısı (a) ya da Eyring eşitliği (-lg) ile yazılabilir [32].

$$T = \frac{0.161V}{S^2} \left(\frac{x}{a_x} + \frac{y}{a_y} + \frac{z}{a_z} \right) \quad (2.10)$$

$$T = \frac{0.161V}{S^2} \left(\frac{x}{-\lg(1-a_x)} + \frac{y}{-\lg(1-a_y)} + \frac{z}{-\lg(1-a_z)} \right) \quad (2.11)$$

V : Mekan hacmi, m^3

S : Mekanın toplam iç yüzeyi ($x + y + z$), m^2

x, y, z : Mekandaki zıt ve paralel iki duvarın toplam alanı, m^2

$\lg$: Doğal logaritma ($2.3\log$)

$\overline{a_x}, \overline{a_y}, \overline{a_z}$: Zıt ve paralel duvarların bir parçasının yutuculuğu

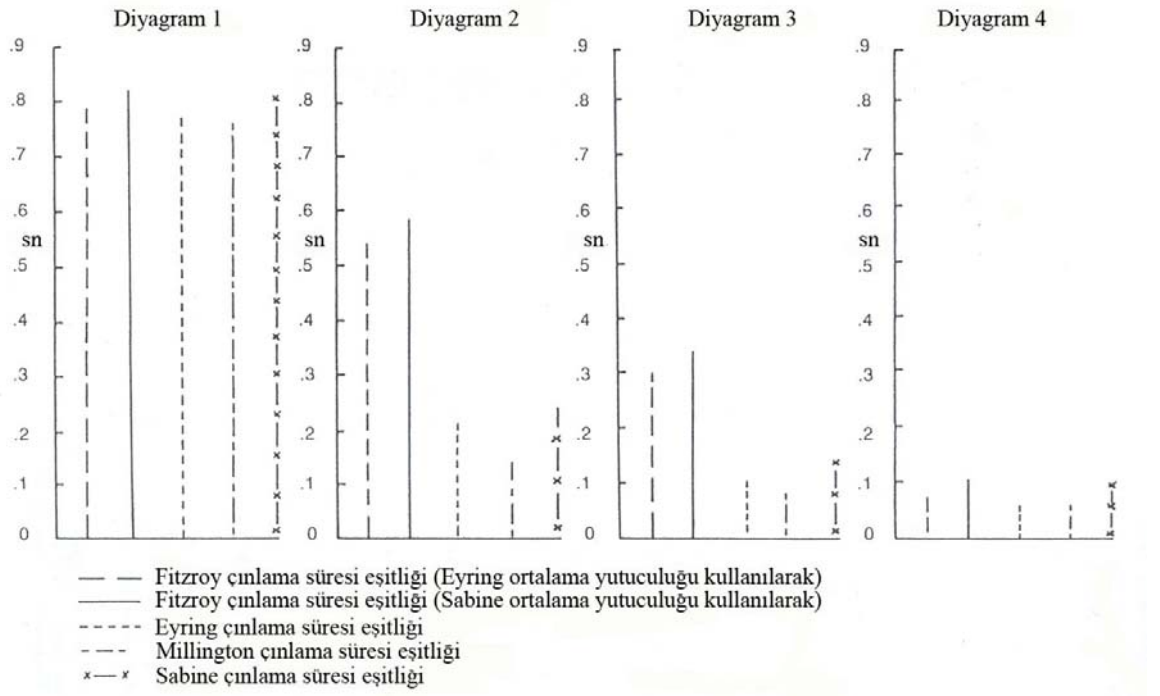
Mekandaki ortalama yutuculuk aşağıdaki formülle bulunur:

$$\overline{a} = \frac{S}{\frac{x}{a_x} + \frac{y}{a_y} + \frac{z}{a_z}} \quad (2.12)$$

Bu beş formül arasında yapılan kıyaslama Tablo 2.2 ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bir kenarı 3.048 m olan kübik bir odanın önce duvarlarından biri, sonra ikincisi, en son da üçüncüsü 0.8 yutuculuk değerine, kalan duvarlar 0.1 yutuculuk değerine sahip bir malzeme ile kaplanmıştır. Diyagram 1'de bütün duvarlar 0.1 yutuculuğa sahiptir. Diyagram 2'de bir çift paralel duvar 0.8 yutuculuğa sahiptir. Diyagram 3'de iki çift paralel duvar 0.8 yutuculuğa sahiptir. Diyagram 4'de bütün duvarlar 0.8 yutuculuğa sahiptir [32].

Tablo 2.2: Çınlama süreleri [32].

Çınlama Formülü	Yalıtımsız Duvarlar		1 Çifti Yalıtılmış		2 Çifti Yalıtılmış		3 Çifti Yalıtılmış	
	Zaman (s)	$\bar{a}$	Zaman (s)	$\bar{a}$	Zaman (s)	$\bar{a}$	Zaman (s)	$\bar{a}$
Fitzroy (Eyring yutuculuğu)	0.77	0.105	0.538	0.152	0.30	0.272	0.062	0.308
Fitzroy (Sabine yutuculuğu)	0.82	0.100	0.58	0.14	0.34	0.24	0.10	0.80
Eyring	0.77	0.10	0.21	0.32	0.10	0.56	0.05	0.81
Millington	0.77	0.104	0.13	0.60	0.07	1.23	0.05	1.60
Sabine	0.82	0.10	0.24	0.33	0.14	0.57	0.10	0.80
Hopkins-Striker	0.735	0.10	0.16	0.33	0.06	0.57	0.02	0.80



Şekil 2.9: 3.048 m kübik bir oda için farklı formüllerle hesaplanmış çınlama süreleri.

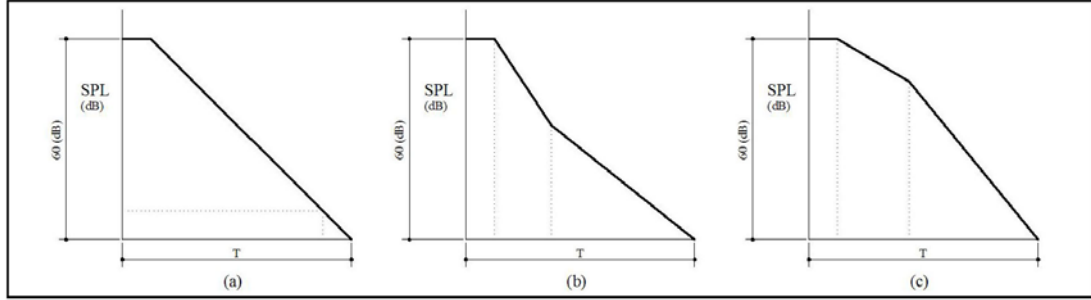
Konuşma amaçlı salonların tasarımında oturma alanı (ve bununla birlikte yer döşemesi) ile birlikte sahne tavanı düşük yapılarak tıpkı yansıtıcı panel gibi ekonomi yapılıyor. Bu sonuç salonun hacmini sınırlamak için yeterli bir yoldur. Salondaki ekoyu önlemek için yutucu malzeme kullanma çözümü düşünüldüğünde, gerekli olan yutuculuk miktarını izleyicilerle sağlamak bir yöntemdir. Bir konsey meclisi salonunda tipik beklenti, salondaki mevcut kişi sayısı ile hacim arasındaki oranın küçük olmasıdır.

Unutulmamalıdır ki çınlama süresi hesaplanırken hacmin ve yüzey kaplama malzemeleri ne kadar önemli ise öncelikli plan tasarımı da önemli bir faktördür.

Çınlama süresi hesaplamalarında önemli olarak eklenecek bir faktör dinleyici olarak gelen kişiler her zaman beklediğimiz derecede yutuculuk değerinde olmayabilir ama yapılan hesaplamalar her durumu göze alarak yapılmalıdır. Tasarıma kendi çınlama süresi için gerekli kriterleri önsezileri ile değerlendirip kararlaştırırsa gelen seyirciler değişik bir durumda olabilir. İyi bir konuşma akustiği için önemli olan, gerekli kriterlerle dinleyicinin değişken olan değeri arasındaki ilişkiyi olabildiğince az tutmaktır çünkü öncelikli olan konuşma anlaşılabilirliğidir [12].

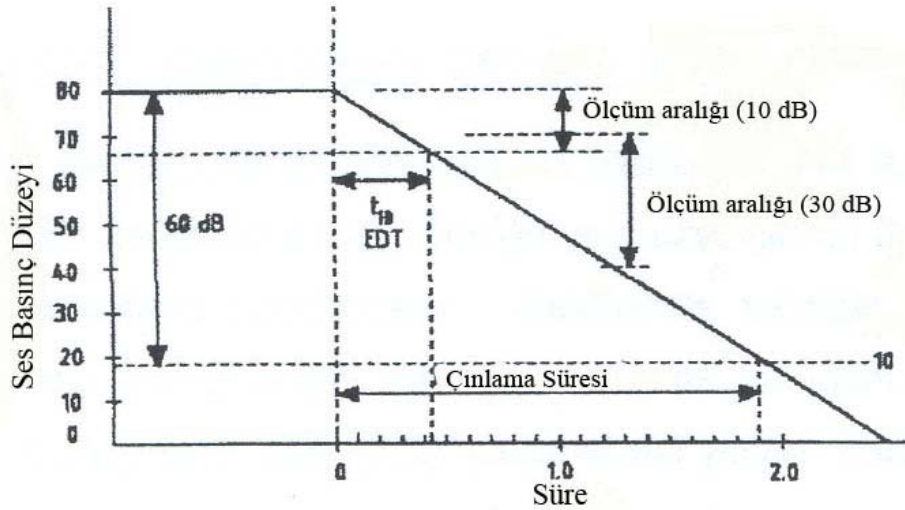
2.2.1.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time-EDT)

Erken düşme süresi, 60 dB sesin ilk 10 dB'lik kısmının sönümlenmesi için geçen süre olarak tanımlanabilir. Bu konudaki ilk araştırmalar W. C. Sabine tarafından yapılmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Basit ses düşüş grafikleri. (a) Tekil düşüş. (b) Hızlı ilk düşüşü takip eden yavaş düşüş. (c) Yavaş ilk düşüşü takip eden hızlı düşüş.

EDT değeri, her bir alıcı noktasında elde edilen ilk yansımaları, dolayısıyla, hacmin geometrisinin etkisini detaylı olarak analiz etmektedir bu yüzden çınlama süresinden daha açıklayıcı bilgiler taşımaktadır (Şekil 2.11) [10].



Şekil 2.11: Düşüş eğrisi üzerinde EDT ve T'nin belirlenmesi.

Deneysel araştırmalara göre düşmenin ilk kısmı önemlidir. Düşmenin ilk kısmı canlılık ile ilişkilidir. T yansımaların çoğunu içerdiğinden, EDT birbirinden farklı birkaç erken yansıma oluşturur. Erken yansımalar tanımlanabilir bir mekan yüzeyinden geldiği için EDT mekanın geometrisinden etkilenir. Kısa EDT sesin

açıklığını, uzun T müziğin canlılığını sağlar. Yapılan ölçümler EDT'nin T'den yaklaşık %10 büyük olduğunu göstermiştir.

$$T_{ort} = \frac{T_{500} + T_{1000}}{2} \quad (2.13)$$

$$EDT_{ort} = 1.1T_{ort} \quad (2.14)$$

Tercih edilen ortalama T değeri 1.8-2 s'dir [11].

V. L. Jordan tarafından ortaya konan EDT değeri, sesin ilk 10 dB'lik düşüşü için geçen sürenin altı katına eşittir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [10, 20].

$$EDT = t_{10} 6 \quad (2.15)$$

t_{10} : Sesin ilk 10 dB'lik azalması için geçen süre, s

2.2.1.3 Sesin Açıklığı-Netliği (Definition-Clarity-C80)

Bir hacimde sesin algılanabilirlik limiti alınan sinyalin karakterine bağlıdır ve müzik için bu değer konuşmanınkinden daha uzundur. Reichardt's müziğin net ve açık bir şekilde algılanabilmesi için gereken sürenin 80 ms olduğunu belirlemiş ve Thiele'nin geliştirdiği konuşmanın belirginliği parametresi yerine, müziğin netliği parametresini ortaya koymuştur. Bu değer ilk yansımaların hem zamana bağlı olarak incelenmesini sağlamakta hem de spektral algılama üzerinde etkili olmaktadır [10]. Sesin açıklığı, ilk 80 ms'de dinleyiciye gelen ses enerjisi ile çınlayan ses arasındaki farktır [11].

$$C_{80} = (\text{Erken enerji} - \text{Çınlayan enerji})$$

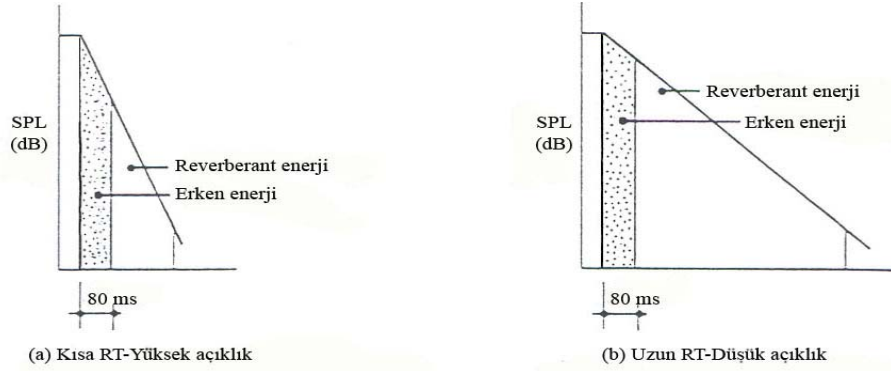
$$C_{80} = (Enerji_{0-80} - Enerji_{80-\infty}) \quad (dB)$$

Açıklık indeksi olarak adlandırılan parametre aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$C80 = 10 \log \left[\frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right] \quad (2.16)$$

C_{80} : Netlik, dB

C_{80} 'nin T ile ilişkili olduğu açıktır. T arttıkça erken enerji azalır ve çınlayan enerji artar. 0'dan 80 ms'ye kadar 60 dB'lik düşme zamanının küçük bir kısmı meydana gelir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: T ve Açıklık-Netlik arasındaki ilişki (a) Koyu gösterilen erken enerji toplam enerjinin büyük bir saçılmasıdır, büyük bir netlik değeri verir. (b) Koyu gösterilen erken enerji toplam enerjinin küçük bir saçılmasıdır, düşük bir netlik değeri verir [11].

Bu nedenle uzun T değeri küçük bir C_{80} değeri verir. Erken ve çınlayan enerjiler eşit ise C_{80} değeri 0 olur. Ses enerjisi frekansın bir fonksiyonu olduğu için bir salonda müziğin açıklığını ölçmek için $C_{80}(3)$ kullanılır. $C_{80}(3)$; 5000, 1000 ve 2000 Hz'deki C_{80} değerlerinin ortalamasıdır. +1'den -4 dB'e kadar olan $C_{80}(3)$ değerleri kabul edilebilir değerlerdir [11, 16, 20].

2.2.1.4 Ses Yüksekliği (Loudness-G)

Standart bir ses kaynağı için toplam ses yüksekliği, öznel olarak hacim içinde yeterince yüksek algılanıp algılanmadığını göstermektedir. Ses yüksekliği; yansısız odada kaynaktan 10 m uzakta ölçülen direk sesin düzeyi ile ilişkili olarak bulunan değerdir [11].

$$G = (SPL_{salon} - SPL_{yansısız.oda}) \quad (2.17)$$

Ses basınç düzeyi frekansa bağlı olduğundan ses yüksekliği frekansın bir fonksiyonudur. Bir salonu diğeriyle karşılaştırmak için 500 ve 1000 Hz'deki

ortalama ses yüksekliği değerlerini ifade eden G_{ort} kullanılır. Ses yüksekliği direkt sesin gücü ile çınlayan sesin gücünden oluşur. Direkt ses salon hacminin bir fonksiyonuyken çınlayan ses çınlama süresine ve EDT'ye dayanır. Bu nedenle G_{ort} salon hacmi ile ters orantılı, EDT ile doğru orantılıdır (EDT/V) [11].

$$G_{ort} = 10 \log \left[\frac{EDT_{ort}}{V} \right] + 44 \quad (2.18)$$

EDT yaklaşık 1.1T olduğundan G_{ort} ile (T_{ort}/V) arasında aşağıdaki eşitlik kullanılabilir [11].

$$G_{ort} = 10 \log \left[\frac{T_{ort}}{V} \right] + 44.4 \quad (2.19)$$

V : Salon hacmi, m^3

Bir konser salonunda ölçülen değer 10 m'deki direkt ses düzeyinden daha yüksek ise; ses düzeyi yeterince yüksek olarak nitelendirilmektedir. Bu şekilde 10 m'deki ses baz alınarak yapılan ölçümlerde konser salonları için çeşitli noktalarda elde edilen G değerleri 0-10 dB arasında değişmektedir. Aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir:

$$G = 10 \log \left[\frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2_A(t) dt} \right] \quad (2.20)$$

G : Ses yüksekliği, dB

$p^2_A(t)$: Hacim içersindeki ses kaynağına eşdeğer bir kaynağın 10 m uzağında ve yansız odada ölçülen ses basıncı, Pa

G_{ort} için tercih edilen değer 4 ve 5.5 dB arasındadır [11, 16, 20].

2.2.1.5 Yanal Enerji Oranı (Lateral Energy Fraction-LEF)

Bu kavram yanal yansımaların önemini vurgulamak amacıyla ortaya çıkmıştır ve genel olarak hacmin yan yüzeylerinden gelen enerjinin toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanabilir.

Jordan LEF ölçümü için kaynağa doğru yönlendirilmiş 8 tane mikrofon ile aynı pozisyondaki çok yönlü bir mikrofona ulaşan seslerin enerjileri arasında bir oran bulunması gerektiğini belirlemiştir. “ $\cos^2\theta$ ”, gelen sesin yolu ile mikrofonların maksimum hassasiyette olduğu dinleyicinin iki kulağı boyunca geçen aks arasındaki açıyı belirten terimdir. LEF değeri aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir: [10]

$$LEF = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt} \quad (2.21)$$

LEF : Yanal enerji oranı

θ : Gelen sesin yönü ile dinleyicilerin kulak aksı arasındaki açı.

2.2.1.6 Zamansal Ağırlık Merkezi (Center Time-TS)

Bazı durumlarda hacim içerisinde oluşan yansımalar, sinyal tepkisi diyagramı üzerinde, kulağın algılaması açısından pek fazla önem taşımayan geçici ve ani kesilmeler meydana getirebilmektedir. Cremer tarafından geliştirilen bu parametre, karesi alınan sinyal tepkisi diyagramının zaman aksına göre ağırlık merkezini vermekte ve enerji ağırlık merkezine ulaşmak için geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Sinyal tepkisi diyagramı üzerinde t_1 ve t_2 zaman aralığında elde edilen enerjilerin toplamı aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir:

$$E(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad (2.22)$$

$E(t_1, t_2)$: t_1 - t_2 zaman aralığı içindeki enerji yoğunluğu, $W.s/m^3$

Pozitif azalan bir enerji fonksiyonu olan sinyal tepkisi diyagramını zaman aksı üzerinde $t=0$ noktasından uzaklığına göre karakterize etmek, yani eğri altında kalan

alana bağılı olan n. dereceden momenti ile tanımlamak mümkündür. sinyal tepkisi diyagramının, n. dereceden momenti aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$M_n = \frac{\int_0^{\infty} t^n p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.23)$$

n=1 olduğunda moment düşüş eğrisi altında kalan enerji alanının ağırlık merkezinin orijinden olan uzaklığını vermekte ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

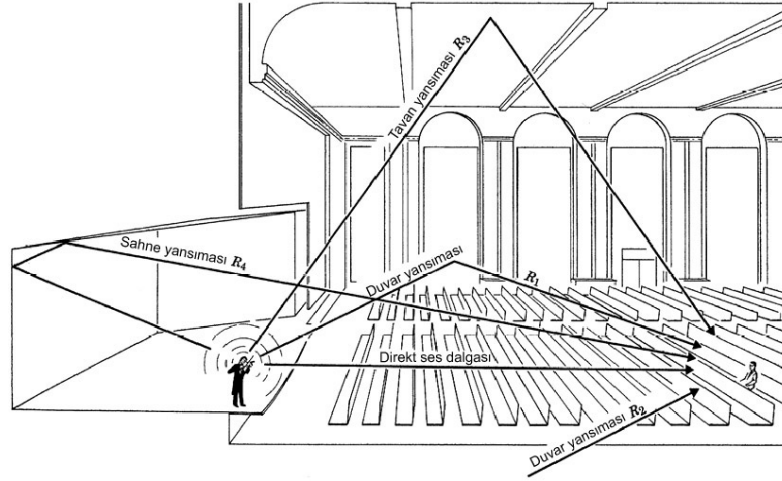
$$TS = \frac{\int_0^{\infty} tp^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.24)$$

TS : Zamansal ağırlık merkezi, s

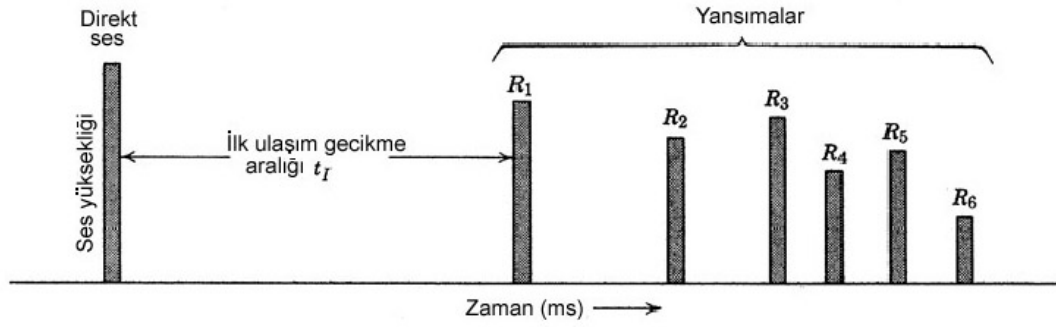
Zamansal ağırlık merkezi parametresi, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirlilik (D50), açıklık (C80) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir [10, 16].

2.2.1.7 İlk Ulaşım Gecikmesi (Initial Time Delay Gap-ITDG)

Beranek tarafından geliştirilen bu parametre bir hacmin öznel samimilik etkisinin ölçülmesi için kullanılan en önemli parametre olarak gösterilmektedir. Dinleyiciye direk sesin varması ile ilk yansıma arasındaki ms'deki ara olarak tanımlanır. İlk ulaşım gecikme aralığı, mekan hacminin bir fonksiyonudur. Bir salonda ITDG için uygun değer müzik çeşidine bağlıdır. Eğer mekan oldukça kısa bir ilk ulaşım gecikmesi'ne sahipse samimi olarak nitelendirilir, uzun ITDG az samimi mekanı gösterir. Küçük salonlarda yüzeyler birbirine yakın olduğu için büyük salonlara göre daha çok yansıma meydana gelir. Bu nedenle küçük salonlar kısa ITDG değerine sahiptir. Çünkü ITDG alıcının pozisyonuna bağlıdır. Müzik mekanları için 12-25 ms arasında değişen kısa ITDG başarılı bir sonuç elde edilmesini sağlar. Şematik olarak hesaplanması Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.13: Bir mekanda direkt ses ve yansıyan ses yolları.



Şekil 2.14: Dinleyicinin kulağına gelen direkt sesler.

Grafik dinleyicinin kulağına gelen sesleri gösterir. Sanatçıdan direkt gelen ses ilk önce varır, sonra bir boşluk olur, sonra hızlı bir sırayla duvarlar, tavan, sahne ve diğer yansıtıcı yüzeylerden yansımalar dinleyiciye gelir. Çubukların uzunluğu ses yüksekliğini gösterir. İlk ulaşım gecikme aralığı bu tarz bir grafikten ölçülebilir.

2.2.1.8 Konuşmanın Belirginliği (Distinctness-D50)

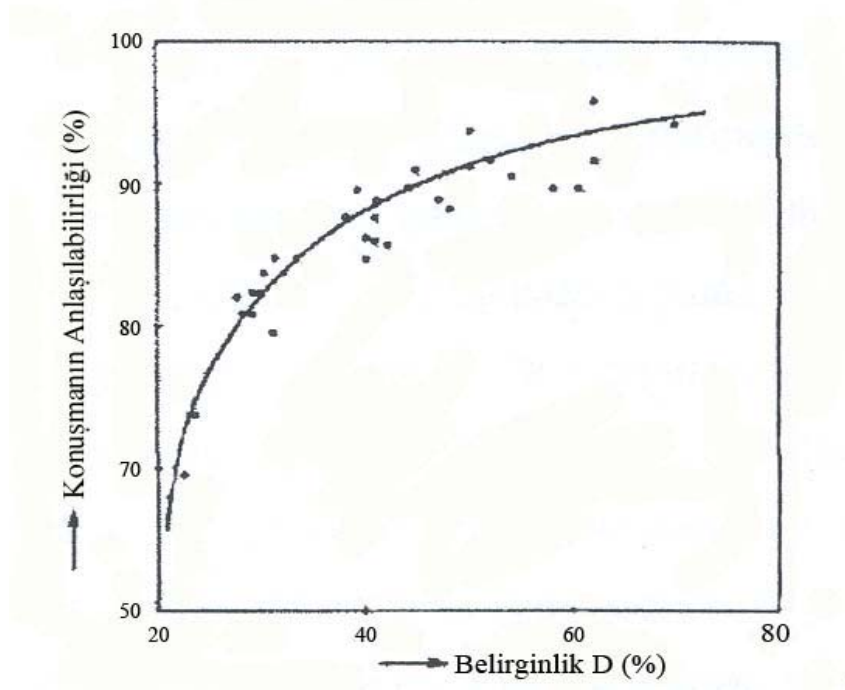
Thiele tarafından geliştirilen belirginlik parametresi ilk 50 ms'lik zaman dilimi içerisinde alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Konuşma için belirginlik limitini belirleyen bu parametre aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$D50 = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.25)$$

$D50$: Belirginlik

$p^2(t)$: Ses basıncı, Pa

D50 değeri ne kadar büyük olursa konuşmanın belirginliği o kadar fazla olmaktadır (Şekil 2.15) [10, 20].



Şekil 2.15: D50 – Belirginlik ilişkisi [10].

2.2.2 Öznel Akustik Parametreler

Öznel akustik parametrelerin değerlendirilmesi için direkt ses kaynağının doğal ve güçlü olması ilk olarak incelenmesi gereken konudur. Konuşmanın anlaşılabilirliği tespit edilebilir bir değerken bir müzik mekanının kalitesini diğer parametreler belirler. Müzik mekanları akustiğinin çok yönlü karakteri, müzik tiplerinin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. Ses kaynağının doğallığından bahsedildiğinde sadece büyüklüğünün değil karakterinin de önemli olduğu, özellikle de gelenekselliği

ile ilişkili olduğu gözlenmektedir. Örneğin bu konuda genel olarak kabul edilen Mozart eserleri klasik olup, Wagner'in müziğine göre çalındığı salonda kısa çınlama süresi tercih edilir. Handel'in kilise için yapılmış korolu müzikleri için ideal olarak uzun çınlama periyodu gereklidir. Öte yandan bir müzik parçasını tamamen değerlendirecek olursak içerdiği frekanslar bir konuşmaya göre daha karmaşıktır. Yüksek ve tekrar eden ses için vurgulanacak olan önemli bir konu da yüksek notalardan oluşan harmonik frekansların orkestra tarafından çalınmakta olduğudur. Bir diğer önemli faktör ise konuşmanın ve orkestra müziğinin ses kaynağı olarak farklı yayılmasıdır. Fakat konuşma ve müziğin bir çok etkilenme özelliği birbirinden farklıdır ve zorluk gereksinimlerini objektif olarak değerlendirilirse dinleyici tarafından müzik yapılan bir salondan daha kompleks bir talep beklenir. Bir hacmin akustik performansının değerlendirilmesi, dinleyicilerin kişisel zevk algılamalarına bağlı olarak saptanan öznel kriterlere dayanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda tasarımcılar çınlama süresinin dışında mekanın öznel özelliklerini belirleyecek yeni kriterler belirlemişlerdir [12].

2.2.2.1 Ses Dolgunluğu ve Canlılık (Fullness of Tone and Liveness)

Canlılık orta ve yüksek frekanslarda çınlama süresi ile ilişkilidir, müzik tarzına bağlıdır ve besteciyle ayrı ilişkide olması tavsiye edilmez. Farklı periyot ve tarzdaki müzikler farklı canlılık derecelerine ihtiyaç duyar. Canlılık çınlamanın öznel etkisidir. Bir salonda daha yüksek müzik sesleri özellikle salonun arkasında uzun bir çınlama süresine sahiptir. Çınlama, tonun dolgunluğunu artırır; bası çoğaltır; enstrümanların harmanlanmasına katkıda bulunur; kreşendo ve dekresşendo (crescendo ve decrescendo) dizisini artırır; ve sesi yayar. Böylece ses tek yönden geliyormuş gibi değil de mekan boyunca yayılmış görülür. Salonun kaynaktan yayılan sesleri direkt olarak dinleyiciye ulaştıracak şekilde tasarlanması durumunda kaynaktan yayılan seslerin büyük çoğunluğu direk sesle aynı anda dinleyiciye ulaşmakta ve müzik dolgunluğu etkisi kaybolmaktadır. Salonun iç yüzeylerinin şekline ve özel ses yansıtıcı panellerin uygulanmasına bağlı olarak ses dolgunluğunun yaratılması sağlanabilmektedir [10].

Müzisyenlerin bakış açısından, çınlama müziğin bir bileşenidir. Tonun dolgunluğu ve harmanlamayı artırarak performansta aktif rol oynar ve çoğunlukla bestecinin tonsal paletinin bir bileşenidir. Çınlama süresinin uzun olması, açıklığın

kaybedilmesine, birbirine zıt akortların harmanlanmasına ve aşırı ses yüksekliğine sebep olur.

Bir salonda canlılık, her saniyede 250 Hz üstünde orta ve yüksek frekanslarda çınlama ile ilişkilidir. Farklı bir terim olan sıcaklık düşük frekanslarda, basda çınlamayı tanımlar. Orta frekanslarda çınlama süresinin salonun canlılığının güvenilir bir göstergesi olduğu kanıtlanmıştır. Yüksek frekanslarda çınlama süresinin canlılıkla çok az ilişkili olduğu bulunmuştur. Her saniyede 2000, 4000 ve 6000 Hz ile orta frekanslar olan 500 ve 1000 Hz arasındaki çınlama süreleri karşılaştırıldığında, çınlayan salonda, ölü salonda, iyi basa sahip salonda ve zayıf basa sahip salonda oranların yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Bu Tablo 2.2’de açıkça görülmektedir.

Tablo 2.3: Yüksek frekanslarda çınlama süresi oranları [13].

Salonların Sınıflandırılması	T2000/Tort	T4000/Tort	T6000/Tort
Orta frekanslarda kısa çınlama süresi	0.93	0.83	0.75
Orta frekanslarda uzun çınlama süresi	0.91	0.80	0.67
Bas'da yetersiz salonlar	0.97	0.83	0.72
Orta bas'a sahip salonlar	0.95	0.83	0.73
Kuvvetli bas'a sahip salonlar	0.93	0.83	0.76
Ortalama	0.93	0.83	0.73

T_{6000} / T_{orta} oranı uzun çınlama süresine sahip salonlarda kısa çınlama süresine sahip olanlardan biraz daha küçüktür [13].

Sonuç olarak çınlama süresinin yüksek olduğu bir hacim “canlı” olarak algılanmakta ve belli bir miktar ses dolgunluğuna sahip olmaktadır. Bir mekanın canlılığı; özellikle 350 Hz ve üzerindeki frekanslardaki çınlama süresinin yüksekliği ile sağlanabilmektedir [10].

2.2.2.2 Belirlilik ya da Açıklık (Definition or Clarity)

Mekandaki belirlilik ve açıklık, bir müzikal performans içindeki farklı tonların dinleyici tarafından öznel olarak algılanıp algılanmaması ile ilişkilidir ve müzisyenlerin performansı ile hacmin akustik koşullarına bağlıdır [10]. Bir salonda ses açık ve ayrı olduğunda tanımlılıktan söz edilebilir. Tanımlılığın yetersiz olduğu bir salonda müzik bulanık ya da çamurlu kalitede gelir. Tanımlılık derecesi ses yansıtıcı yüzeylerin bir fonksiyonudur ve samimilik ile ilişkilidir. Bununla beraber çınlama süresinin bir fonksiyonudur ve sıcaklık ile ilişkilidir. Mekan hacminin bir fonksiyonudur ve çınlayan ses yüksekliği ile ilişkilidir.

Bir salonda iyi tanımlama ile çalınan müzik açık ses çıkarır, kötü tanımlama ile çalınan net olmayan bir ses çıkarır. Bir salonda sesin açıklığını etkileyen müziğin hızı dışında 4 faktör vardır. İlk olarak, ilk ulaşım gecikmesi kısa olmalıdır; eğer gecikme yeterince kısa ise ilk yansıma direk sesi kuvvetlendirir. İkinci olarak, direk ses her koltukta yeterince yüksek olmalıdır; dinleyici ne sanatçıdan çok uzak olacak şekilde ne de kafası arada kalacak şekilde oturmamalıdır. Üçüncü olarak, çınlayan ses direk sesi maskeleyecek kadar yüksek olmamalıdır. Dördüncü olarak, hiç eko olmamalıdır; ekonun yokluğunda açıklık garantidir. İki tip belirlilik bulunmaktadır:

Yatay Belirlilik; birbirini izleyen tonların çalınmasına bağlıdır. Bestekar müziği etkileyen tempo, hecede ton tekrarı ve birbirini izleyen tonların ses yüksekliği gibi kesin müzikal faktörleri açıkça belirtebilir. Yatay belirliliği etkileyen akustik faktörler çınlama süresinin uzunluğu ve direk sesin yüksekliğinin çınlayan sese oranıdır.

Düşey Belirlilik; eş zamanlı oluşan seslerin ayrı duyulma derecesidir. Müzik, sanatçı, mekanın akustiği ve dinleyicinin dikkatine dayanır [13]. Açıklık; salonda çalınan müziğin içindeki detayların dinleyiciler tarafından algılanması ve fark edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır [10].

2.2.2.3 Samimilik (Intimacy)

Akustik samimilik müzik çalınan hacmin büyüklüğünün, dinleyiciler tarafından nasıl algılandığını değerlendiren öznel etkidir. Mekanın özel bir hacme değil uygun bir hacme sahip olması önemlidir. Akustik samimiliğin uygun olduğu bir mekanda her

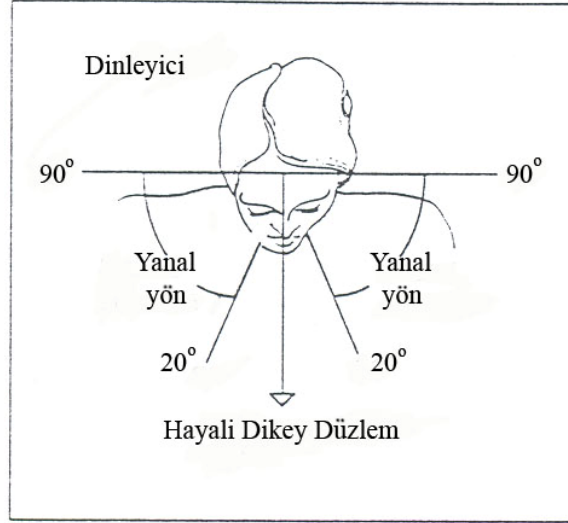
çeşit müzik en iyi sesi verir. Küçük bir salon gözle görülür bir samimiliğe sahiptir. Akustik samimiliğe sahip bir salonda müzik çalınırsa küçük bir salonda çalınıyormuş gibi ses çıkar. Salon hacmine dinleyicinin etkisi ilk ulaşım gecikmesi ile belirlenir. Müzisyenlerin samimi akustiğe sahip olarak nitelendirdikleri salonlarda ses yansıtıcı yüzeylerin; ilk ulaşım gecikmesi küçük, 20 ms'den kısa, saniyenin 1000'de 20'si olarak yerleştirildiği bulunmuştur. Bir salonun samimi olabilmesi için direk ses çınlayan ses ile zayıf ilişkili olmamalıdır.

Samimilik, ilk ulaşım gecikmesi ile ölçülebilir. Bir mekanın asıl salonunda oturan bir dinleyicinin kulağında ilk ulaşım gecikmesi salonun çizimlerinden bulunabilir. Ses yansımalarının tamamı ölçümde görülebilir. (Bkz Şekil 2.13)

Kısa bir ilk ulaşım gecikmesi konser mekanın mükemmelliğini artırmak için gereklidir fakat tek başına yeterli değildir. Test sonuçları yansımaların ilk ulaşımı geciktikçe müzik memnuniyetinin daha az olduğunu gösterir [13].

2.2.2.4 Mekansal Algılama (Spaciousness)

Dinleyici noktasına kuvvetli yanal yansımalar ulaştığında, dinleyiciler öznel olarak kendisini müzikle sarılmış ve çalınan müziğin bir parçası olarak görmekte ve mekanın genişliğini algılamaktadırlar [10]. Uzaysal çevrelemenin yokluğu bir performans dışarıdan izliyormuş izlenimi verir. Mekansal algılama büyük oranda yayılmış ses alanının sonucudur. Yayılma alanında ses dinleyiciye bütün yönlerden eşit kuvvette gelir. Suni olarak oluşturulmuş yayılmış ses dinleyicide mekansal algılama hissini uyandırmaz. Yayılma bu hissi uyandıran tek özellik değildir. Araştırmalar mekansal algılama için kuvvetli erken yanal yansımaların var olması gerektiğini göstermiştir. Yanal yön, Şekil 2.16'da gösterildiği gibi seyirci kafasının dikey düzleminde hayal edilen 20° ile 90° arasında uzanan yön olarak tanımlanır.



Şekil 2.16: Yanal ses yönünün tanımı [11].

Bu öznel parametre ilk ve gecikmiş yanal yansımalar ele alındığında aşağıda belirtilen dört farklı bileşenle öznel etkiyi değerlendirmektedir:

1. *Algılanan kaynak genişliği ve sesin yayılması:* Bir mekan, içinde çalınan müziği dinleyicilere, kaynağın görülen genişliğinden çok daha geniş olduğu hissini veriyorsa öznel olarak mekansal genişliğe sahip kabul edilmektedir [10]. Mekansal algılama hissi iki faktörün birleşimiyle meydana gelir:
 - *Yanal yansımaların varlığı:* Yanal yansımalar orkestranın görünen genişliğini artırma eğilimindedir. Yanal yansımalarla ilgili bir özellik görünen kaynak genişliği (ASW) olarak adlandırılır. Görünen kaynak genişliği büyüdükçe, daha iyi bir müzik elde edilir.
 - *Mekandaki yüzeylerin kaplanması ile sağlanan ses yayılımı:* Sesin yayılması dinleyicide müzikle çevrelenmiş hissi uyandırır.
2. *Salon şekli ve sesin yönlülüğü (laterality):* Müzik salonlarında yanal yansımaların öneminin fark edilmesi ile önemli bir akustik sır çözülmüştür. Genel olarak dar dikdörtgensel salonlar fan şekilli salonlara göre daha iyi bir akustiğe sahiptir. Salondaki yanal yansımalar yan duvarlar ile üretilir. Fan şekilli bir salonda, yan duvar yansımaları dinleyiciye dikdörtgensel salonla karşılaştırıldığında daha önden gelir. Başka bir deyişle fan şekilli salonlarda

sesin yönlülüğü zayıftır. Şekil 2.17 (a) ve (b) Ters fan şekli dikdörtgensel bir salondan daha büyük derecede yönlülük sağlar. Şekil 2.17 (c)

3. *Erken yanıl yansımaların önemi:* Samimilik gereksinimini sesin yönlülüğü (laterality) ile birleştirdiğimizde müzik mekanlarının en önemli ihtiyacı dinleyiciye yanıl yönlerden erken yansımaların gelmesidir.
4. *Dinleyicinin hacimce kuşatılmışlığı:* Hacimce kuşatılmışlık, gecikmiş seslerin yüksekliğine ve geliş yönüne bağılı olarak, dinleyicide uyandırdığı öznel etkidir. Hacimce kuşatılmışlık değeri, gecikmiş yansımaların dinleyici üzerinde tüm yönlerden eşit geliyormuşçasına bir etki bırakması durumunda çok yüksek olarak değerlendirilmektedir [11].



Şekil 2.17: Salon şekli ve sesin yanallığı [11].

2.2.2.5 Tını ve Ses Rengi (Timbre and Tone Color)

Tını bir müzik aletinin veya bir vokalin sesini diğlerinden ayırmamıza yarayan ses bileşenidir. Ses rengi, tını birleşimleri tarafından ortaya konulan etkidir ve alçak, orta ve yüksek frekansların ses yüksekliği arasındaki denge ile orkestranın kendi içindeki dengeye bağılıdır. Salonun sahip olduğu akustik koşullar, ses rengi ve tınıyı etkilemektedir. Yutuculuğun fazla olduğu frekanslarda, tüm orkestra dinleyicide öznel olarak yetersiz bir etki bırakmaktadır [10].

2.2.2.6 Bas Seslerin Sıcaklığı (Quality of Bass Sound)

Müzikte sıcaklık, bas seslerin (alçak frekanslı seslerin) canlılığı ya da bas seslerin ortalama frekanslardaki seslere oranla dolgunluğu olarak tanımlanmakta ve bas ses

dolgunluğu, alçak frekanslarla (75-350 Hz) orta frekanslardaki (350-1400 Hz) çınlama süresi uzun olduğunda oluşmaktadır [10]. Düşük frekans çınlamasındaki küçük bir artış müzik salonları için müzikte sıcaklığı sağlamada önemli bir gereklilik olarak tanımlanır. Sıcaklık, bas oran (BR) olarak adlandırılan düşük ve yüksek frekans çınlamalarının karşılaştırılması ile belirlenir.

$$BR = \frac{[T_{125} + T_{250}]}{[T_{500} + T_{1000}]} \quad (2.26)$$

Bundan dolayı müzikte sıcaklık için BR'nin 1'den büyük olması istenir. Arkasında boşluk bırakılarak hafif panel ile yapılmış oda yüzeyleri düşük frekans yutuculuğunu artırdığından BR azalır. Yalnızca sert ve ağır yüzeyler müzik salonlarının içi için tercih edilebilir. Eğer hafif paneller kullanılacaksa ince olmalı ve arkasında boşluk bırakmadan direk olarak duvara monte edilmelidir. Salonlarda 1.8'den büyük T değeri için tercih edilen BR değeri 1.1 ile 1.25 arasındadır. T'nin 1.8'den az olduğu salonlar için BR 1.1 ile 1.45 arasında olmalıdır. Tercih edilen değerden daha büyük bir BR'den kaçınılmalıdır [11, 16]. Akustik sıcaklık derecesi salondan salona çeşitlilik gösterir, bir çizelgeyle düzenlenebilir. Salonlar 4 gruba bölünür:

1. Mükemmel bas
2. İyi bas
3. Orta bas
4. Zayıf bas

Bu analiz Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Salonlarda akustik sıcaklık [13].

Kategori	T250/Tort	T125/Tort	(T250+T125)/2Tort	Değerlendirme noktaları
Mükemmel Bas	1.14	1.27	1.21	15
İyi Bas	1.06	1.03	1.05	9
Orta Bas	0.97	0.95	0.96	5
Kötü Bas	0.90	0.86	0.88	2

2.2.2.7 Parlaklık (Acoustical Glare)

Parlaklık; parlak, açık, harmonide zengin olarak tanımlanır. İlk ulaşım gecikmesi, yüksek ve orta frekanslarda çınlama, dinleyicinin sanatçıdan uzaklığı ve salonda uygun ses yansıtıcı yüzeylerin bulunması oluşumunu etkileyen parametrelerdir. Yüksek frekansta canlılık, açıklık ve akustik samimiliğe sahip bir salon parlak sese sahiptir [13].

1. Samimilik oranı yüksek, ilk ulaşım gecikmesi kısadır.
2. Canlılık oranı yüksek, çınlama süresi 500 Hz ve üzerindeki frekanslarda ideale yakındır.
3. Direkt sesin yüksekliği yüksek değerlendirilir.

Yüksek frekansta, çok düşük bir erken düşme süresi (EDT) ile müzik çalınan salonlarda parlaklık eksiktir. Müzik mekanlarında parlaklık, EDT_{2000} / EDT_{ort} ve EDT_{4000} / EDT_{ort} ile ölçülür. EDT_{ort} , 500 ve 1000 Hz'deki EDT değerlerinin ortalamasıdır. EDT_{2000} / EDT_{ort} ve EDT_{4000} / EDT_{ort} için tercih edilen minimum değerler 0.9 ve 0.8 s'dir. Bir mekanda müzikte yeterli parlaklığı sağlamak için iyi yüksek frekans yutucuları olan yüzeyler büyük özen ile kullanılmalıdır [11, 16].

2.2.2.8 Ses Yüksekliği (Loudness of Sound)

Sesin yeterince yüksek olarak algılanması salonun akustik kalitesinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Ses yüksekliği, dinleyicilerin hacim içerisindeki sesi, bir orkestranın sesine göre göreceli olarak nasıl aldığının bir göstergesidir [10]. İyi akustik için sanatçıdan dinleyiciye direkt gelen müzik rahat duyulmalıdır. Eğer direkt ses çok zayıfsa, seyirci gürültüsü ya da çınlayan ses ile maskelenebilir açıklığın kaybedilmesine sebep olur. Eğer direkt ses çok alçaksa, çok büyük görülebilir ve kulakta rahatsızlığa sebep olur. Direkt sesin yüksekliği, dinleyici ve sanatçı arasındaki uzaklığın, salondaki ses yansıtıcı yüzeylerin, arada olan kafaların varlığı ya da yokluğunun ve sanatçı grubunun büyüklüğünün bir fonksiyonudur. Direkt ses ve çınlayan sesin her ikisi de salonda müziğin toplam ses yüksekliğine katkıda bulunur. Günümüzde en önemli öznel parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir [13, 16].

Çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konan öznel-nesnel ve tasarım parametrelerinin birbirleri ile ilişkileri Tablo 2.5’de gösterilmiştir [10, 22].

Tablo 2.5: Öznel-nesnel ve tasarım parametrelerinin birbirleri ile ilişkileri [10].

Araştırmacı	Öznel Parametre	Nesnel Parametre	Tasarım Parametresi
Beranek	Samimilik (Intimacy)	ITDG	Direk ses ile yansımış ışının yol farkı (m)
	Ses yüksekliği (Loudness)	G	Kaynak-alıcı uzaklığı (m)
	Yaygınlık (Diffusion)		Yüzey kaplamalarının saçıcılığı
	Dengeleme (Blend)		Yüzey kaplamalarının saçıcılığı
Marshall	Mekansal algılama (Spaciousness)	LEF	(w/h oranı)
Hawkes ve Douglas	Samimilik (Intimacy)	ITDG	Direk ses ile yansımış ışının yol farkı (m)
	Belirginlik (Definition)	D50	Kaynak-alıcı uzaklığı (m)
	Denge ve Harmanlama (Balance and Blend)		Kaynak-alıcı uzaklığı (m)
Barron	Samimilik (Intimacy)	$G_{500-1000}$	Kaynak-alıcı uzaklığı (m)
	Ses yüksekliği (Loudness)	$G_{125-2000}$	Kaynak-alıcı uzaklığı (m) $2.96.(G_{125-2000} + 0.076.r) + 35$
Gade	Netlik (Clarity)	C	w, w/h, parterin eğimi, yan duvarların açısı
	Ses yüksekliği (Loudness)	G	$l/(h.w)$
	Mekansal algılama (Spaciousness)	LEF	w, yan duvarların açısı
Bradley	Ses yüksekliği (Loudness)	G	Kaynak-alıcı uzaklığı (m)
	Canlılık (Liveness)	EDT_{ort}	Kaynak-alıcı uzaklığı (m)

Nesnel akustik parametrelerin optimum değerleri ve kabul edilebilecek tolerans aralıkları Tablo 2.6, Tablo 2.7 ve Tablo 2.8’de gösterilmiştir [10, 35].

Tablo 2.6: Dinleyici görüşüne göre gruplandırılmış akustik parametreler [35].

Özel dinleyici görüşü	Akustik nicelik	Tek sayılı frekans ortalaması (Hz)	İki hareket arasındaki fark (JND)	Tipik dizi
Özel ses düzeyi	Ses Yüksekliği, G, dB	500-1000	1 dB	-2 dB; +10 dB
Algılanan çınlama	Erken Düşme Süresi, EDT, s	500-1000	5%	1.0 s; 3.0 s
Algılanan ses açıklığı	Sesin Açıklığı, C80, dB	500-1000	1 dB	-5 dB; +5 dB
	Sesin Netliği, D50	500-1000	0.05	0.3; 0.7
	Zamansal Ağırlık Merkezi, Ts, ms	500-1000	10 ms	60 ms; 260 ms
Algılanan Kaynak Genişliği, ASW	Erken Yanal Enerji Bölümü, LF ya da LFC	125-1000	0.05	0.05; 0.35
	Geç Yanal Ses Düzeyi, LG, dB	125-1000	-	-14 dB; +1 dB
Dinleyicinin Hacimce Kuşatılmışlığı, LEV				

Tablo 2.7: Nesnel hacim akustiği parametreleri için tavsiye edilen değerler [36].

Nesnel Parametre	Sembol	Tavsiye edilen değer Odeon 7.0
Çınlama Süresi	T30	1.7 - 2.3 s
Sesin Açıklığı	C ₈₀	-1 - 3 dB
10 m Açık Alan Düzeyi	G	> 3 dB
Erken Yanal Enerji Kısmı	LF ₈₀	> 0.25
Erken Destek	ST _{erken}	>-13 dB
Toplam Destek	ST _{toplam}	> -12 dB

Tablo 2.8: Nesnel akustik parametrelerin optimum değerleri ve kabul edilebilecek tolerans aralıkları [10].

Nesnel Akustik Parametre	Sembol (İngilizce)	Ortaya Koyan Araştırmacı	Başlıca Öznel Etki	Optimum Tolerans Sınırları
Erken Düşme Süresi	EDT (s) Early Decay Time	V. L. Jordan	Canlılık Açıklık, netlik	1.8 - 2.6 1.5 - 2.0 1.6 1.8 - 2.2 1.8 - 2.1 $\pm \% 10 \times T$
Çınlama Süresi	T (s) Reverberation Time	W.C. Sabine	Canlılık Açıklık, netlik Parlaklık	1.4 - 2.8 1.6 - 2.2 1.7 - 2.0 2.0 - 2.5 2.0 - 2.4 >1.9 1.7 - 2.4
Konuşmanın Belirginliği	D50 (%) Distinctness	R. Thiele	Anlaşılabilirlik	0.34 0.56 0.4 - 0.6 0.45 - 0.55
Netlik, Açıklık	C80 (dB) Clarity	W. Reichadth	Açıklık, netlik	0 (ideal değer) -4 - 0 -2 - +2 -1 - +1
Zamansal Ağırlık Merkezi	TS (ms) Center Time	L. Cremer	Açıklık, netlik Canlılık	130< 140<
Ses Yüksekliği	G (dB) Loudness Strength	P. Lehmann	Ses yüksekliği Samimilik	>0 3 - 5 0.30 - 0.35 0 - 2.5 -3 - 5
Yanal Enerji Oranı	LEF Lateral Energy Fraction	V. L. Jordan H. Marshall M. Barron	Mekansal algılama Müzikte kuşatılmışlık	0.1 - 0.35 0.15 - 0.25 0.35 - 0.40 0.26 0.2
İlk Ulaşım Gecikmesi	ITDG (s) Initial Time Delay Gap	L. L. Beranek	Samimilik Belirlilik	<25 10 - 20

3. YEREBATAN SARNICI'NIN AKUSTİK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yerebatan Sarnıcı, İstanbul'un tarihi yarımadasında günümüze ulaşabilen sayılı erken dönem mimarlık eserlerinden biridir. 1500 yıllık bir öyküsü olan sarnıç, İstanbul Belediyesi tarafından müze haline getirilmiştir. Ziyarete açılmasının yanı sıra sarnıçta; konserler, şiir dinletileri, tiyatro gösterileri ve çeşitli kültürel etkinlikler düzenlenmektedir.

Hacim akustiği alanında yapılan çalışmalarda farklı problemler karşısında başarı dereceleri değişebilen analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Teorik çalışmalar ve bilgisayar ile simülasyon yöntemleri kullanılabileceği gibi deneysel yöntemler de kullanılabilir. Teorik yöntemlerin en yaygın olanları 3 başlıkta incelenebilir:

1. İstatistiksel analizler
2. Geometrik analizler
3. Dalga teorisi analizleri

İstatistiksel analizlerde, bağıntılar ve tablolar yardımıyla kapalı bir mekanın özellikle çınlama süresi ile ilgili özellikleri belirlenebilir [37].

Geometrik analizler, sesin kapalı bir mekandaki davranışlarını optikteki ışık ışınlarına benzer düz çizgilerle açıklar. Böylece sesin kaynaktan sonra mekan içindeki yayılımını çizimlerle kontrol etme olanağı verir [37].

Dalga teorisi analizleri, radyo ve televizyon stüdyoları gibi küçük hacimli mekanlarda yaygın olarak kullanılır. Hacimlerin boyutları ve sesin dalga boyu ile ilgili sorunları inceler. Bu sorunların çözülmesinde de dalga teorisinin oda modlarını belirleyen bağıntılarından yararlanır [37].

Bu tez kapsamında, Yerebatan Sarnıcı'nın akustik performansı değerlendirilirken istatistiksel ve geometrik analizleri de içeren bilgisayarla simülasyon yöntemi (Odeon 7.0) ve deney sel yöntemler kullanılarak bir değerlendirme yapılmıştır.

3.1 Simülasyon Programı ile Değerlendirme

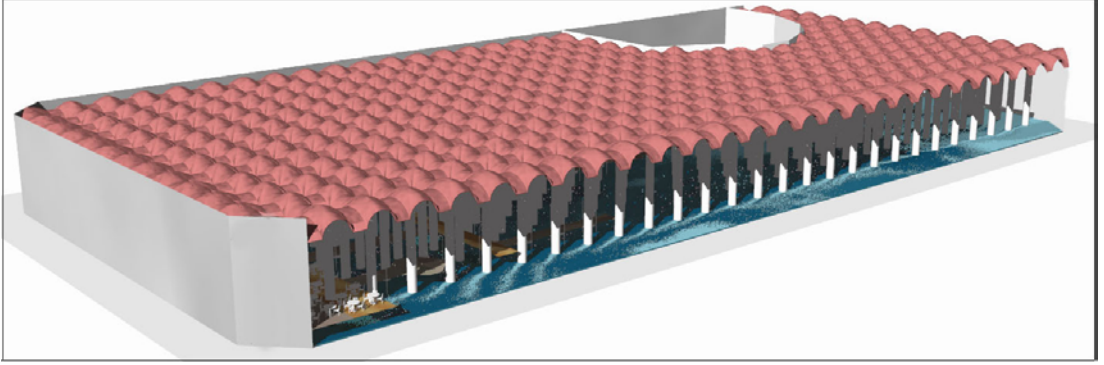
Hacim akustiğinde araştırma, geliştirme ve bilgi edinme amaçlarıyla kullanılan çok sayıda simülasyon programından yararlanılmaktadır. Günümüzde, hacim akustiği kriterlerinin geleneksel yöntemler ile hesaplanması ya da ölçekli modeller üzerinde yapılabilen incelemeler yerini bilgisayar programlarına bırakmaya başlamışlardır. Bu değişimin başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Daha ayrıntılı ve tekrarlanabilir incelemelerin yapılabilmesi.
- Daha kısa sürede sonuca ulaşabilme.
- Tasarım aşamasında iken tüm olasılıkların incelenerek akustik belirlemelerin yapılabilmesi.
- Sonuçların daha rahat görülebilmesi.

Simülasyon programlarının oluşturulmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Programlarda, hacmin üç boyutlu olarak incelenmesi ve görüntülenmesini sağlayan verilerin girilmesinden sonra ses kaynağından çıkan ışınların zaman içindeki değişimlerinin izlenmesi amaçlanmaktadır [34]. Programlarda karar verilmesi gereken en önemli noktaların başında, gecikmiş yansımaların hesaplanması sırasında kullanılacak saçıcılık katsayısının tanımlanması ve sanal kaynakların yansıma derecesinin doğru belirlenmesi gelmektedir.

Bu çalışmada Danimarka Teknik Üniversitesi Akustik Bölümü uzmanları tarafından hazırlanan, doğruluğu, geçerliliği ve hassasiyeti bilimsel olarak kanıtlanmış bir program olan ODEON Versiyon 7.0 Hacim Akustiği Programı kullanılmıştır. Programla ilgili temel kabuller ve geçerliliğinin saptanmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar aşağıda verilmiş olup, programın hesap yöntemleri ve çalıştırılma aşamalarına ilişkin bilgiler Ek A'da detaylı olarak anlatılmıştır [10].

Öncelikle, Yerebatan Sarnıcı için Rhinoceros 3.0 ile üç boyutlu kütleli bir model oluşturulmuştur. Tez çalışması bu model baz alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.1: Yerebatan Sarnıcı'nın üç boyutlu modeli.

3.1.1 Odeon Programının Dayandığı Temel Teorilerin Açıklanması

Odeon programı sanal kaynak ve ışın tarama yöntemlerini birlikte kullanan bir programdır ve diğer bütün simülasyon programlarında olduğu gibi belirli kabullere göre hesaplama yapmaktadır. Programda aşağıda belirtilen kabuller temel alınmıştır:

- Geometrik akustik kuralları geçerlidir, yani;
 - Dalga kavramı geçerli değildir.
 - Ses enerjisi doğrusal ışınlar yoluyla taşınmaktadır.
- Bir hacimde bulunan tüm yüzeyler düzlemseldir.
- Herhangi bir yüzey sesi, sesin geliş açısı göz önüne alınmaksızın tanımlanan yutuculuk katsayılarına göre yutmaktadır.
- Ses bir basınç fonksiyonu olarak değil, enerji fonksiyonu olarak kabul edilir.
 - Enerjilerin toplanması mümkün olmaktadır.
 - Faz etkisi göz önüne alınmaz.

şeklinde tanımlanabilir [10]. Bu temel kabullere dayanarak, ses alanının simülasyonu için kullanılan birleşik yöntem aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Işın taraması yapılarak hacme ait geometrik bilgilerin tanımlanması

Işın taraması yönteminde kaynaktan çıkan ve çok değişik doğrultulara yayılan ses ışınları kullanılmaktadır. Bu yöntemde bir yüzeye çarpan ses ışını, enerjisinin bir bölümünü kaybederek yeni bir doğrultuya yansımaktadır [34]. Bu aşamada ışın tarama yöntemine geçmeden önce dört parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir.

- tarama yapılacak ışınların sayısı
- bir ışının maksimum yansıma sayısı
- bir ışının maksimum tarama yapma süresi
- sanal kaynakların yansıma derecesi

Bu bilgilerin ışığında hacim içinde değişik doğrultularda yayılan ses ışınları, hacimle ilgili tüm bilgileri kaydederek sinyal tepkisi diyagramının hesaplanması için kullanılır [10].

Bir alıcı noktasındaki erken yansımaların bulunması

Işın taraması ile sanal kaynakların alıcı noktasından görünür olup olmadığı kontrol edildikten sonra, o kaynaktan gelen yansımaların enerjisi sinyal tepkisi diyagramına eklenir. Işınların enerjisinde meydana gelen azalma yüzeyin yutuculuk katsayısına (α) bağlıdır ve her yansımada başlangıçtaki enerjilerinin $(1 - \alpha)$ kadarı yutulmadan dolayı azalmaktadır. Yansımanın yönü alıcı noktasından görülen sanal kaynağın yönü ile aynı ve süresi de ses ışınının kaynaktan çıkıp dinleyiciye ulaşması için geçen süreye eşittir [10].

Gecikmiş yansımaların bulunması

Görünür sanal kaynakların yansıma derecesinden sonra yansıyan ışınların sanal kaynakların yerini belirlemenin ötesine geçip enerji taşıdıkları kabul edilmektedir. Ses ışını bir yüzeye çarptığında, çarpışma noktasında bir yarı küre içinde eşit yayılım yapan ikincil bir kaynak olduğu varsayılmakta ve bu kaynakların enerjisi, gerçek kaynağın enerjisinin yansıma sayısına bölümü ve o ana kadarki yansımaların gerçekleştiği yüzeylerin yutuculuk katsayısı (α) ile çarpımına eşit olmaktadır.

İkincil kaynakların oluşumu ile belirlenen ışınlar, yüzeylerin yayılma katsayılarına (δ) bağlı olarak Lambert yayılma kuralına göre değişik yönlerde doğru yayılırlar. Bir ışının enerjisinin alıcı noktasındaki toplam enerjiye katkısının olabilmesi için, alıcı noktası tarafından görünür olması kuralı, ikincil kaynaklar için de geçerlidir. Bir ikincil kaynaktan çıkan ses şiddeti, ikincil kaynağın olduğu yüzeyin normali ile ikincil kaynak-alıcı vektörü arasındaki açının kosinüsü ile orantılıdır. Alıcı noktasında elde edilen ses şiddeti ikincil kaynak noktası orijin olmak üzere ters kare kanununa göre azalmaktadır. Programda bir yansımanın erken veya gecikmiş olarak kabul edilmesi sadece yansıma derecesinin seçimi ile olmaktadır. Bu yüzden en geç gelen ilk yansıma ile en erken gelen gecikmiş yansımalar nedeniyle sinyal tepkisi diyagramı üzerinde kısa bir geçiş bölümü oluşmaktadır [10].

3.1.2 Hacim-Kaynak-Alıcı ile İlgili Kabuller ve Simülasyon Programında Değerlendirilecek Hacim Akustiği Parametreleri

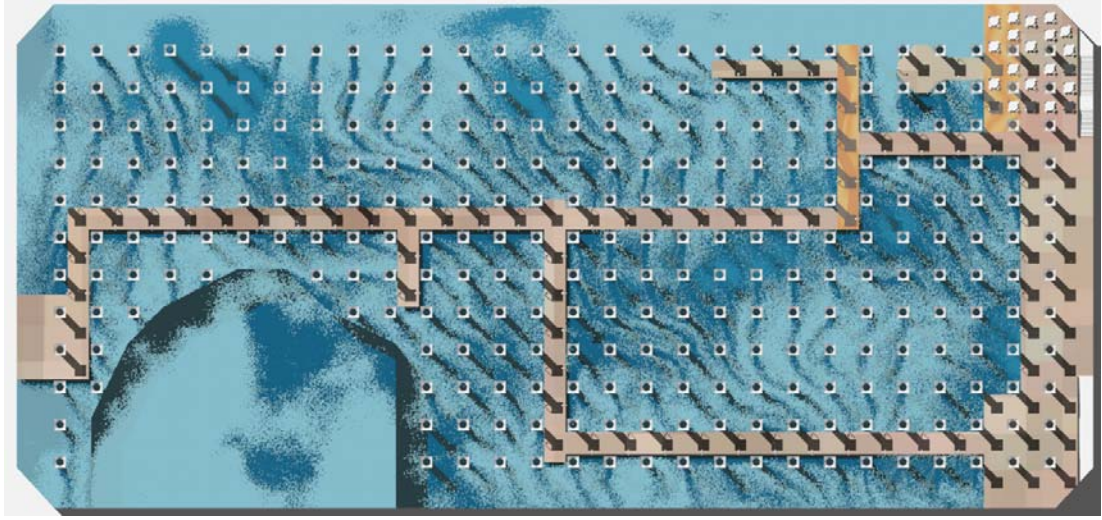
Tez çalışmasında değerlendirilecek hacim-kaynak-alıcı ile ilgili kabuller ve yöntemde değerlendirmeye alınacak hacim akustiği parametreleri bölüm içinde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.1.2.1 Hacim ile ilgili kabullerin yapılması

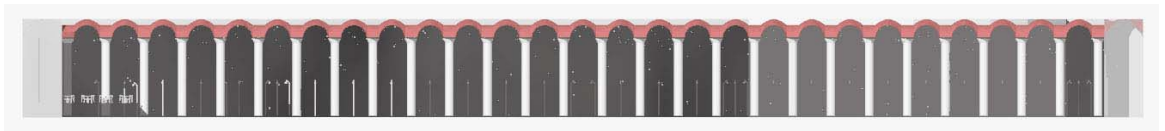
Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan Yerebatan Sarnıcı'nın hacim büyüklüğü Bölüm 1.1'de belirtildiği gibi 138x64.6 m'dir. Kenarları köşeli tuğla duvarlarla çevrelenmiştir. Ayrıca 12 sıra ve her biri 28 desteği (336 sütun) olan çember üzerindeki tuğla kubbelerle örtülüdür. Batıda 37 6/2'li kubbeyi içeren bir alanı adi taştan bir duvar çevreler. Burada sarnıcın kubbesi büyük olasılıkla üzerindeki yapı ile birlikte çökmüştür. Doğuda 9 sütun payelerle çevrilmiştir. Planın görünüşteki düzenine rağmen sütunların arası hep aynı değildir. Güneybatıdan başlayarak sayıldığında ilk 8 nef 4.7 m, doğudaki 4 nef 5.10 m uzunluktadır. Son sıralardaki duvar mesafeleri ise 4.80 m'dir (sütunların ortası ve duvar arası). Sarnıç içinin büyüklüğü ortalama 9-10 m olarak tahmin edilir.

Tez çalışmasında model yapımı için Yerebatan Sarnıcı'nın boyutlarında bazı kabuller yapılmıştır. Modelde sütunlar arası mesafelerdeki farklılıklar yapılmamıştır. 138x64.6 m'lik boyut korunarak sütunların arası 4.7x4.8 m uzunluğundadır. Son

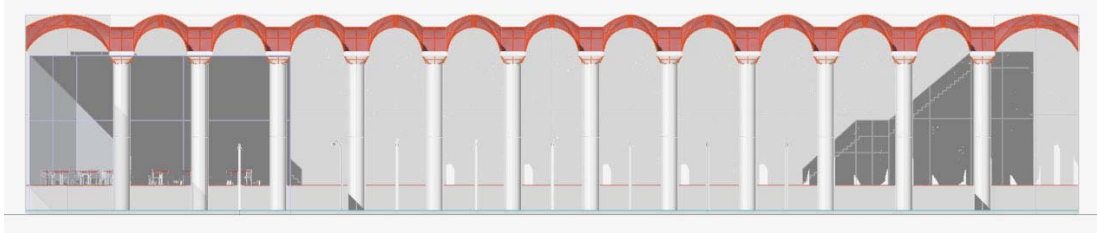
sıralardaki duvar mesafeleri ise kısa kenarda 5.5 m, uzun kenarda 5.9 m'dir. Model yapılırken sütunların altındaki kaideler çizilmemiş, zeminden sonra 0.25 m yüksekliğinde bir su tabakası çizilmiştir. Sütunların tamamı $r=0.5$ m yarıçapa sahip kabul edilmiştir ve yüksekliği $h=9$ m'dir. Dor ve Corinth tipi başlıkların hepsi aynı tarzda çizilmiştir ve yüksekliği 0.5 m'dir. Başlığın üzerinde kemere geçişi sağlayan 0.25 m yüksekliğinde kaideler vardır. Kemerler, orta noktası kaideden 1.5 m yüksekte olacak şekilde çizilmiştir. Fakat Odeon programına dosyanın aktarılması için tonoz çatılarda ve kemerlerde prizmatik bir şekil kullanılmıştır. Kubbeler zeminden 12.25 m yüksektedir. Sarnıcın bir kısmı yıkılmış olduğundan ayakta kalmasını sağlayan duvar da modelde gösterilmiştir. Gezi platformu zeminden 1.2 m yüksektedir ve güzergahı sarnıçtaki durumuna uygun olarak çizilmiştir. Altıgen sahne gezi platformuna bağlanmıştır.



Şekil 3.2: Modellenen Yerebatan Sarnıcı'nın planı.



Şekil 3.3: Kesit A-A.



Şekil 3.4: Kesit B-B.



Şekil 3.5: Perspektif görünüşü.

3.1.2.2 Hacimde kullanılan malzemelerin yüzey yutuculukları ile ilgili kabullerin yapılması

Yerebatan Sarnıcı'nın modellenmesi sırasında sarnıcı oluşturan elemanlar farklı layer ile modellenmiş ve 11 adet layer kullanılmıştır. Mekanda bulunan elemanların yutuculuk katsayıları bu layer'lara göre Odeon'da bulunan malzeme listesinden orijinaline en uygun olanları seçilerek atanmıştır. Üç boyutlu model Odeon programına aktarıldıktan sonra tüm iç yüzeylere malzeme atanmıştır.

Tablo 3.1'de her bir layer için programda kullanılan malzemelerin listesi verilmiştir.

Tablo 3.1: Her bir layer için malzeme listesi.

Layer	Kod No	Odeon Programında Kullanılan Malzemeler
Kolon Başlığı	103	Kaba gözenekli beton bloklar, 400-800 kg/m ³
Tavan	201	Yumuşak tuğla çalışması, 10 mm derz derinliği, ocak kumu harç
Tavan Kare	201	Yumuşak tuğla çalışması, 10 mm derz derinliği, ocak kumu harç
Duvar	2279	Duvarlar, sıvalı tuğla çalışması
İnce Duvar	2279	Duvarlar, sıvalı tuğla çalışması
Su	2377	Su yüzeyi
Kaide Üst	401	Mermer
Kemer	201	Yumuşak tuğla çalışması, 10 mm derz derinliği, ocak kumu harç
Kolon	401	Mermer
Merdiven	2298	Döşemeler, betonarme döşeme
Platform	2388	Döşemeler, boşluklu ahşap döşeme

Tablo 3.2’de her bir malzemenin altı frekans için yutma çarpanları Odeon 7.0 analiz programındaki yutuculuk kod numaralarına göre yer almaktadır.

Tablo 3.2: Malzemelerin yutuculuk katsayıları.

Kod No	YUTUCULUK KATSAYILARI							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
103	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.14	0.20	0.20
201	0.08	0.08	0.09	0.12	0.16	0.22	0.24	0.24
201	0.08	0.08	0.09	0.12	0.16	0.22	0.24	0.24
2279	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
2279	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
2377	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
401	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
201	0.08	0.08	0.09	0.12	0.16	0.22	0.24	0.24
401	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
2298	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2388	0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10

Çınlama süresinin ve yutuculuk katsayılarının frekanslara göre fazla değişim göstermemesi akustik parametrelerin daha doğru incelenmesini sağlayacaktır. Bu koşulu en çok zorlayan, havanın yüksek frekansları diğer frekanslara göre daha çok yutmasıdır. Bu durumu telafi ederek çınlama süresinin frekanslara göre fazla değişmemesini, yani konuşma için optimum çınlama süresinin altına inmeyecek ve klasik müzik için optimum değerin çok üstüne çıkmayacak yutuculuk katsayıları alınmaya çalışılmıştır.

3.1.2.3 Kaynak ve alıcı ile ilgili kabullerin yapılması

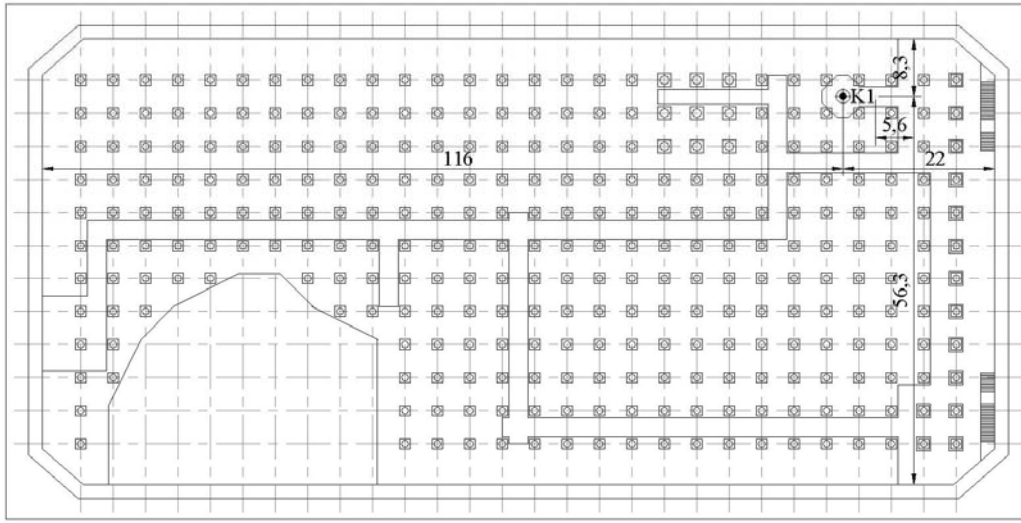
Kaynak ile ilgili kabullerin yapılması

Yerebatan Sarnıcı içindeki akustik parametrelerin incelenmesine yönelik araştırma amaçlı bu çalışmada her doğrultuya eşit ses enerjisi yayımlayan nokta kaynak tipi kullanılmıştır. Bu kaynaktan frekanslara göre değişim göstermeyen (omni) beyaz gürültü yayımlanmıştır.

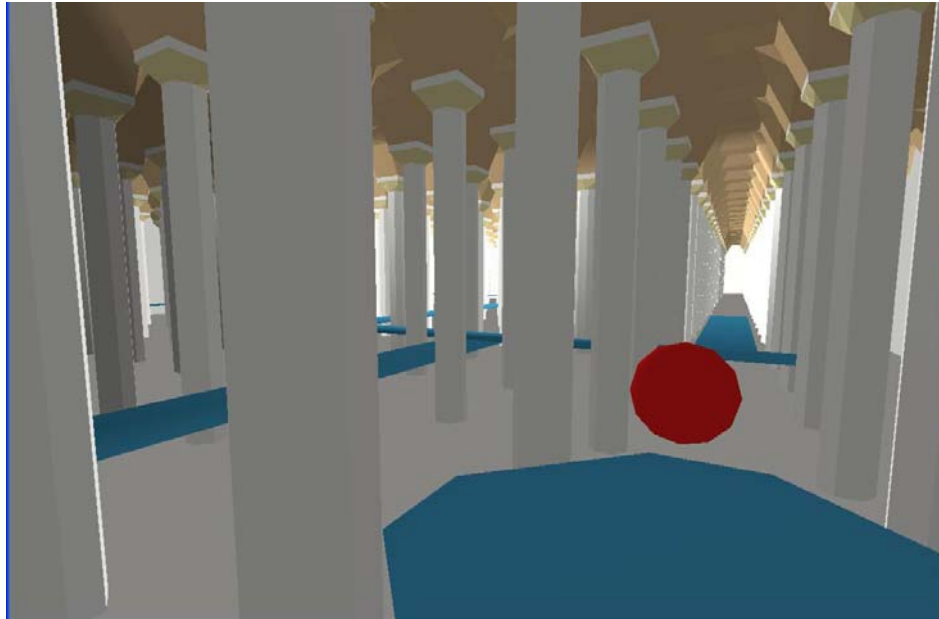
Kaynağın yerden yüksekliği, hem oturabilecek hem de ayakta durabilecek bir kişi açısından düşünülerek 1.5 m alınmıştır. Kaynak ile ilk dinleyici arasındaki uzaklık 9.2 m olarak alınmıştır. Kaynak ile ilgili diğer bilgiler Tablo 3.3’de gösterilmiştir. Kaynağın sarnıç içindeki konumu Şekil 3.6’da, Odeon programında kaynağın sarnıç içindeki durumu Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Seçilen kaynak ile ilgili özellikler.

Kaynak ile İlgili Özellikler	(m)
Kaynak yüksekliği	1.5
Kaynak-sahne önü uzaklığı	5.6
Kaynak-tavan uzaklığı	8.75
Kaynak-yan duvar uzaklığı	8.3
Kaynak-yan duvar uzaklığı	56.3
Kaynak-ilk dinleyici uzaklığı	9.2



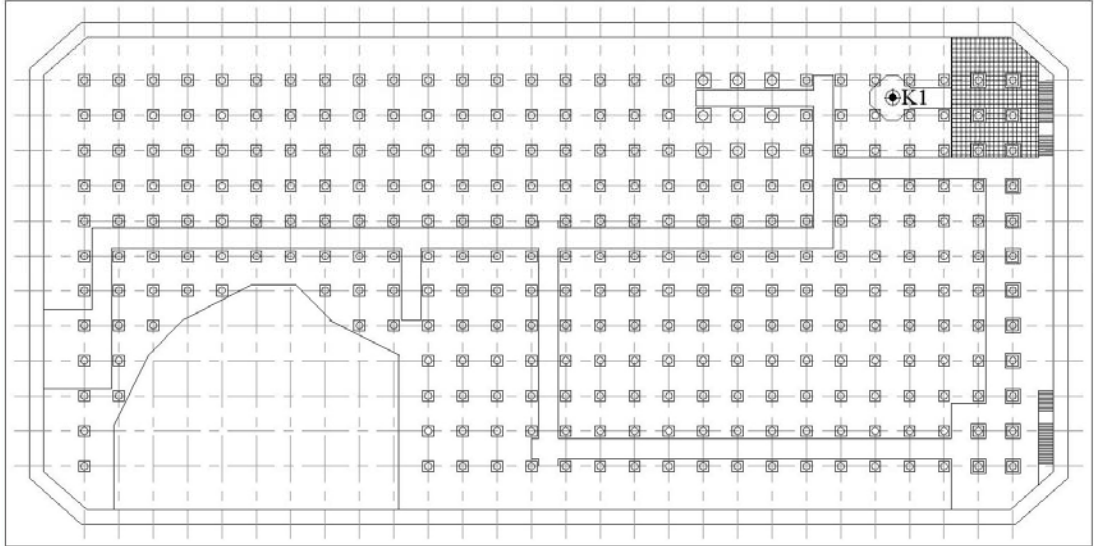
Şekil 3.6: Yerebatan Sarnıcı planında kaynağın konumu.



Şekil 3.7: Odeon programında kaynağın konumu.

Alıcı ile ilgili kabullerin yapılması

Yerebatan Sarnığında dinleyiciler iki kısımda incelenmiştir. Sahne önünde platformun üstündeki bölgede bulunan en fazla 50 kişilik bir dinleyici kitlesi masalarda oturmaktadır. Şekil 3.8’de gösterilen bu bölge kafes (grid) olarak tanımlanmış ve parametreler buna göre hesaplanmıştır.



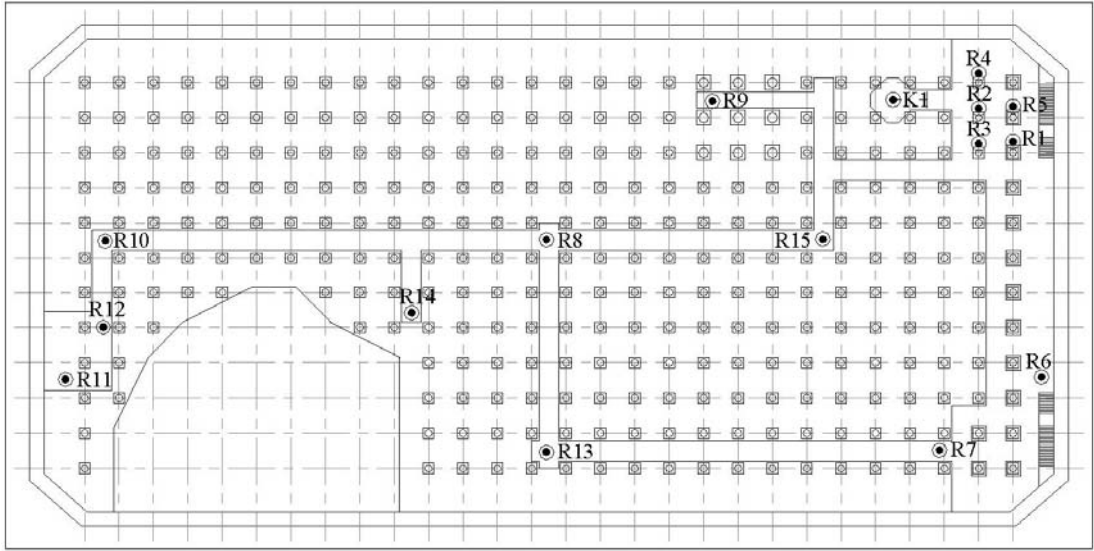
Şekil 3.8: Yerebatan Sarnıcı'nda dinleyici bölge kafesi.

Hesaplama sırasında dikkate alınan kafes (grid) özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Alıcılar arasındaki uzaklık: 1.5 m
- Alıcıların yüzeyden yüksekliği: 1.2 m

Elde edilen akustik parametre değerleri, 1.5x1.5 m'lik kare biçimli dinleyici bölgelerinin ortalama değerleri olmaktadır. Bu durumda her bir karenin merkezinde bir dinleyici varmış gibi düşünülebilir. Elde edilen değerler EK A'da gösterilmiştir.

Diğer dinleyiciler sarnıç boyunca devam eden gezi platformu üstünde 15 değişik noktadadır. Bu 15 noktadaki insanların ilk 5 tanesinin oturduğu varsayılarak yüzeyden yükseklikleri 1.2 m kabul edilmiştir. Diğer 10 alıcının yüzeyden yüksekliği ise 1.5 m alınmıştır. Şekil 3.9’da kaynak ve alıcı noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Kaynak ve gezi platformu üstündeki 15 alıcı.

Ayrıca her bir alıcı noktasının kaynaktan ve sarnıcı çevreleyen duvarlardan uzaklıkları ve yüzeyden yükseklikleri sırasıyla verilmiştir. Seçilen alıcılarla ilgili özellikler toplu olarak Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Alıcılarla ilgili özellikler.

Alıcı	Alıcı Yüksekliği	Alıcı-Kaynak Uzaklığı	Alıcı-Tavan Uzaklığı	Alıcı-Yan Duvar 1 Uzaklığı	Alıcı-Yan Duvar 2 Uzaklığı	Alıcı-Yan Duvar 3 Uzaklığı	Alıcı-Yan Duvar 4 Uzaklığı
R1	1.2	17.4	8.75	14	132.4	50.6	5.6
R2	1.2	11.8	8.75	9.5	127.8	55.2	9.5
R3	1.2	13.1	8.75	14.3	127.8	50.4	10.3
R4	1.2	12.2	8.75	4.7	127.8	60	10.3
R5	1.2	16.4	8.75	9.2	132.5	55.4	5.6
R6	1.5	43.1	8.75	46.2	136.3	18.4	3.7
R7	1.5	48.4	8.75	56.2	122.4	8.4	17.6
R8	1.5	51.1	8.75	27.4	68.7	39.2	69.3
R9	1.5	24.7	8.75	8.4	91.4	56.2	46.6
R10	1.5	109.4	8.75	27.6	8.4	37	129.6
R11	1.5	119.4	8.75	46.6	2.9	18	135.1
R12	1.5	112.4	8.75	39.5	8.1	25.1	129.9
R13	1.5	67.6	8.75	56.5	68.6	8.1	69.4
R14	1.5	72	8.75	37.5	50.2	27.1	87.8
R15	1.5	21.4	8.75	27.3	106.4	37.3	31.6

3.1.2.4 Değerlendirilecek hacim akustiği parametreleri ile ilgili kabullerin yapılması

Bir mekanın akustik kalitesini etkileyen başlıca parametreler ve değer aralıkları Bölüm 2’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu tez çalışmasında, birbirinden farklı özellik gösteren parametreler içinde simülasyon programı ile hesaplanabilenler seçilmiştir. Sesin sönme bölümü ile ilgili olan ve yaygın olarak kullanılan erken

düşme süresi (EDT) ve çınlama süresi (T) parametrelerinin yanı sıra, sesin gelişme bölümündeki erken ve geç enerji oranları ile ilgili tanımlamalarda yararı olabilecek açıklık (C_{80}), konuşmanın belirginliği (D_{50}) ve zamansal ağırlık merkezi (T_s) parametreleri ile yandan gelen enerji oranını ortaya koyan yanal enerji oranının (LEF) sarnıç içindeki dağılımları incelenmiştir. Ayrıca ses basınç düzeyi (SPL) ve ses geçiş indeksi (STI) de hesaplanmıştır. Hacim akustiğinde ses düzeyi çok önemlidir. Fakat ses düzeyi ile arka plan gürültüsü bir arada değerlendirilmesi gereken iki özelliktir. Arka plan gürültüsünün tam olarak bilinmediği durumlarda, ses düzeyi ile ilgili belirlemelerin yapılmasında doğru sonuçlar elde edilememektedir. Simülasyon programında bütün frekanslar için arka plan gürültü değerleri ve hava koşulları belirtilmiştir.

3.1.2.5 Değerlendirilecek frekanslar ile ilgili kabullerin yapılması

Konuşma amaçlı salonlar için akustik incelemenin yapılmasında öncelikli olarak 500-1000 Hz alınması uygundur. Müzik için durum daha karmaşıktır. Konuşmada ağırlıklı ve insan kulağının duyarlılığı ile ilişki kurabilecek belli bir frekans bölgesinden söz edilebilirken, müzikte frekans yelpazesinin çok geniş olması ve bir müzik parçasında farklı frekansların bir arada yer alabilmesi durumu söz konusudur. Simülasyon programında 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ve 8000 Hz frekanslarında hesaplama yapılabilmektedir.

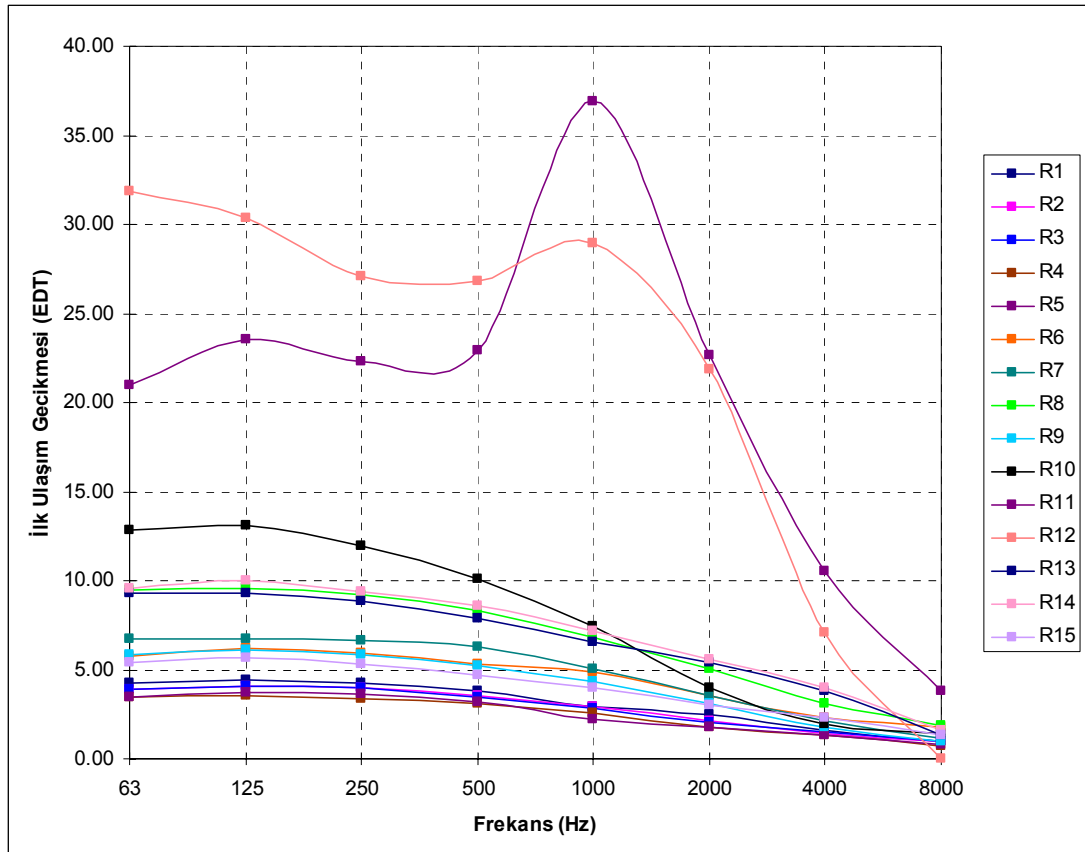
3.1.3 Hacim Akustiği Parametrelerinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Yerebatan Sarnıcı'ndaki akustik koşulların dağılımı ve uygunluğu konusunda yapılacak olan çalışmada Bölüm 3.1.2'de açıklandığı gibi çınlama süresi (T), Erken düşme süresi (EDT), netlik (C_{80}), merkez zamanı (T_s), yanal enerji oranı (LEF), ses basınç düzeyi (SPL), ses geçiş indeksi (STI) ve konuşmanın belirginliği (D_{50}) hesaplanmıştır. Hesaplama sahne önündeki 50 kişilik bir dinleyici kitlesi ve sarnıçta gezi platformunda farklı konumlarda bulunan 15 dinleyicinin her biri için yapılmıştır. Parametrelerin karakteristik dağılımlarını ortaya koymak için Odeon programında sarnıcı oluşturan her bir elemana Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de belirtilen farklı yutuculuk katsayılarına sahip malzemeler atanmıştır. Her bir alıcı için program tarafından hesaplanan parametre değerleri sırasıyla EK B'de gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında dağılım özellikleri parametrelere, hacim büyüklüğü ve geometrisine, malzemelerin yutuculuk değerlerine göre incelenmesinin yanı sıra çınlama süresine göre de incelenecektir. Bu kabulün yapılmasında, günümüzde tek belirleyici parametre olmamasına ve çınlama süresi kadar önemli başka parametreler olmasına rağmen ölçüm, hesap ve standartlarda en yaygın parametre olması büyük rol oynamıştır.

Erken Düşme Süresi (EDT) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Erken Düşme Süresi, 60 dB'lık sesin ilk 10 dB'lık kısmının sönümlenmesi için geçen süre olarak tanımlanır. Düşmenin ilk kısmı canlılık ile ilişkilidir. Hacmin geometrisinden etkilenir. Yüksek bir erken düşme süresi değeri, çınlayan bir ortamın varlığını ve Netlik (C80) parametresinin değerinin düşük olduğunu gösterir. Yani kısa EDT sesin net olmasını sağlar.



Şekil 3.10: 15 Alıcı için Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.

Tablo 3.5: 15 Alıcı için hesaplanan Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.

EDT (s)	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	4.27	3.91	3.87	3.41	3.48	5.77	6.73	9.50	5.84	12.86	20.95	31.90	9.29	9.52	5.43
125	4.42	4.10	4.11	3.57	3.69	6.21	6.76	9.53	6.12	13.10	23.53	30.31	9.29	9.96	5.64
250	4.23	3.96	3.95	3.39	3.59	5.97	6.63	9.24	5.84	11.94	22.29	27.08	8.85	9.38	5.33
500	3.80	3.58	3.43	3.09	3.16	5.35	6.24	8.35	5.26	10.13	22.90	26.79	7.86	8.57	4.70
1000	2.93	2.94	2.85	2.60	2.24	4.86	5.05	6.79	4.34	7.45	36.88	28.98	6.57	7.17	3.94
2000	2.48	2.12	2.02	1.74	1.79	3.54	3.56	5.01	3.07	3.96	22.62	21.84	5.42	5.57	2.97
4000	1.58	1.41	1.51	1.29	1.30	2.30	2.14	3.12	1.81	1.95	10.51	7.12	3.83	3.95	2.28
8000	1.01	0.97	0.96	0.69	0.76	1.77	1.18	1.83	0.93	1.41	3.80	0.00	1.30	1.56	1.33

Aşağıda erken düşme süresi (EDT) değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır.

Erken Düşme Süresi (EDT);

- Çınlama süresi (T)
- Sesin açıklığı-Netliği (C80)
- Mekan geometrisi

parametreleriyle ilişkilidir.

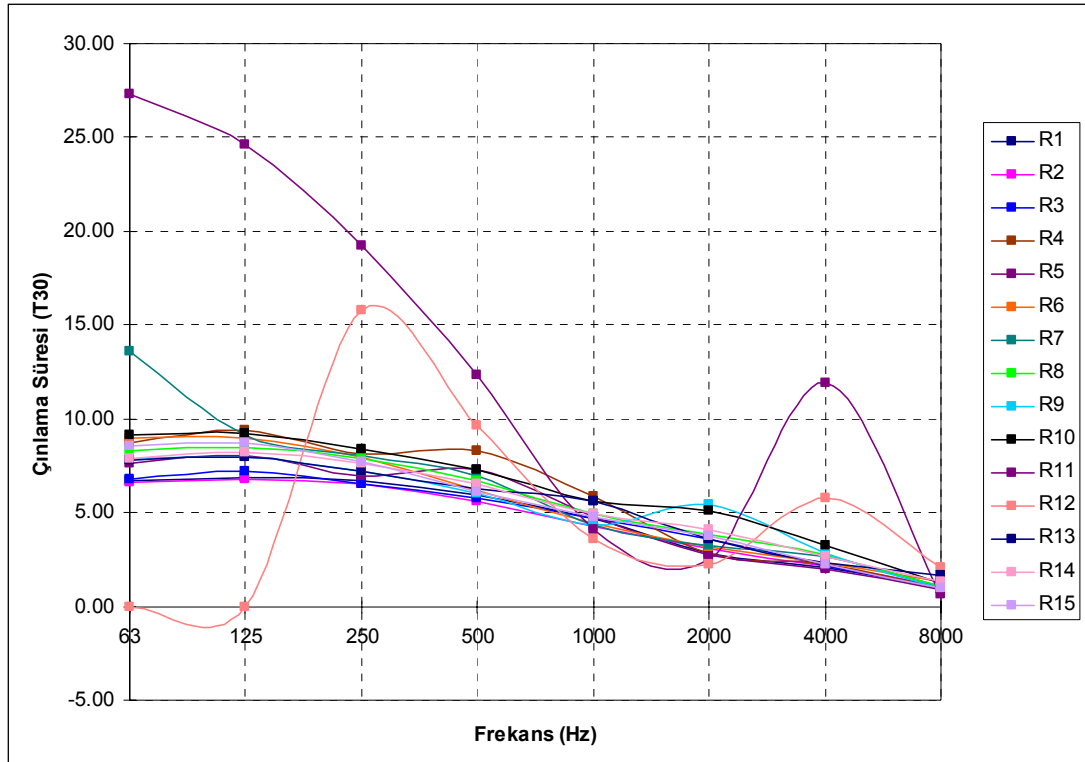
EDT üzerinde en etkili parametre çınlama süresidir ve çınlama arttıkça EDT değeri de artmaktadır. Dolayısıyla yeterince yaygın bir ses alanına sahip bir hacimde EDT parametresi çınlamaya bağlı olarak hesaplanabilir. Dolayısıyla sesin açıklığı-netliği (C80) ile ters orantılıdır. Erken yansımalar tanımlanabilir bir mekan yüzeyinden geldiği için EDT mekanın geometrisinden etkilenir.

Burada erken düşme süresinde en büyük değişim R11 ve R12 alıcı noktalarında görülmektedir. R11 alıcısında, erken düşme süresi değerleri alçak frekanslarda yüksek değerler alırken 1000 Hz’de çok yüksek bir değer almakta yüksek frekanslarda ise hızla düşmektedir. R12 alıcısında çınlama süresi değeri alçak frekanslarda en yüksek değerlerini alırken 1000 Hz’den sonra düşmeye başlamıştır. R8, R13 ve R14 alıcıları birbirine yakın değerlere sahip olmakla beraber yüksek erken düşme süresini değerlerine sahip alıcı noktalarıdır. Diğer alıcı noktalarında benzer bir değişim söz konusudur. Kaynağa uzak noktalarda erken düşme süresinin en yüksek değerlerini aldığı görülmektedir.

Analiz sonuçlarına bakıldığında birçok alıcı noktasında EDT değerlerinin tavsiye edilen 1-3 s aralığından çok daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Sadece kaynağa yakın 5 alıcı noktası için 1000 Hz üstündeki frekanslarda EDT değerleri belirtilen aralıkta kalmaktadır.

Çınlama Süresi (T) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Çınlama Süresi, bir mekanın akustik özelliklerini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Birçok yeni parametrenin tanımlanmasında Çınlama Süresi'nden yararlanılmaktadır. Çınlama süresi ile ilgili olarak birçok akustikçinin değişik fonksiyonlar için belirlediği öneri değerlerden söz edilebilir. Konuşmanın önemli olduğu hacimlerde, konuşmanın kapladığı frekans alanı açısından, orta frekanslardaki (500-1000 Hz) çınlama sürelerinin yeterli olacağı düşünülmektedir. Müzik için ise daha geniş bir frekans aralığı söz konusu olduğundan daha detaylı incelemelere gidilmiştir [34]. Çınlama süresi (T) değerlerinin değişimi, EDT'ye paralel olmaktadır. Normalde EDT değerinin değişimi yaygın bir ses alanına sahip ortamlarda T'ye eşit veya T'den ± 0.2 sn farklı olması beklenir.



Şekil 3.11: 15 Alıcı için Çınlama Süresi (T30) değerleri.

Tablo 3.6: 15 Alıcı için hesaplanan Çınlama Süresi (T30) değerleri.

T30 (s)	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	6.68	6.58	6.77	8.73	7.66	8.96	13.59	8.32	7.91	9.12	27.32	0.00	7.78	7.91	8.58
125	6.83	6.82	7.16	9.40	8.05	8.94	9.14	8.42	7.99	9.26	24.58	0.00	7.92	8.19	8.70
250	6.68	6.49	6.53	8.14	6.98	7.93	8.03	7.84	7.23	8.37	19.23	15.77	7.24	7.63	7.69
500	5.95	5.63	5.79	8.31	7.32	6.18	6.91	6.67	6.06	7.26	12.35	9.60	6.30	6.51	6.14
1000	4.70	4.29	4.64	5.82	4.73	4.40	4.31	4.94	4.35	5.64	4.10	3.59	5.56	4.94	4.76
2000	2.85	3.11	3.61	2.85	2.78	3.20	3.23	3.81	5.41	5.08	2.53	2.23	3.57	4.06	3.79
4000	2.07	2.15	2.14	2.22	1.99	2.28	2.68	2.73	2.85	3.25	11.91	5.78	2.36	2.63	2.24
8000	0.96	1.04	1.02	0.95	0.92	1.32	1.09	1.09	1.00	1.21	0.61	2.07	1.61	1.27	1.00

Aşağıda çınlama süresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır.

Çınlama süresi;

- Erken düşme süresi (EDT)
- Sesin açıklığı-Netliği (C80)
- Canlılık
- Ton dolgunluğu

parametreleriyle ilişkilidir. Yapılan ölçümlere göre EDT'nin T'den yaklaşık %10 daha büyük olduğu görülmüştür. T arttıkça erken enerji azalır ve çınlayan enerji artar. Bu nedenle uzun T değeri küçük bir C80 değeri verir. Yerebatan Sarnıcı'nda hiçbir alıcı noktasında çınlama süresi değeri tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığında değildir. T değeri olması gereken değerden uzun olduğu için ses açıklığı-netliği söz konusu değildir. Canlılık, orta ve yüksek frekanslarda çınlama süresi ile ilişkilidir ve çınlamanın öznel etkisidir. Uzun çınlama süresi mekanın canlılığını artırır. Aynı şekilde uzun çınlama süresi tonun dolgunluğunu artırır, enstrümanların harmanlanmasına katkıda bulunur. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı, akustik açıdan canlı olarak nitelendirilebilir.

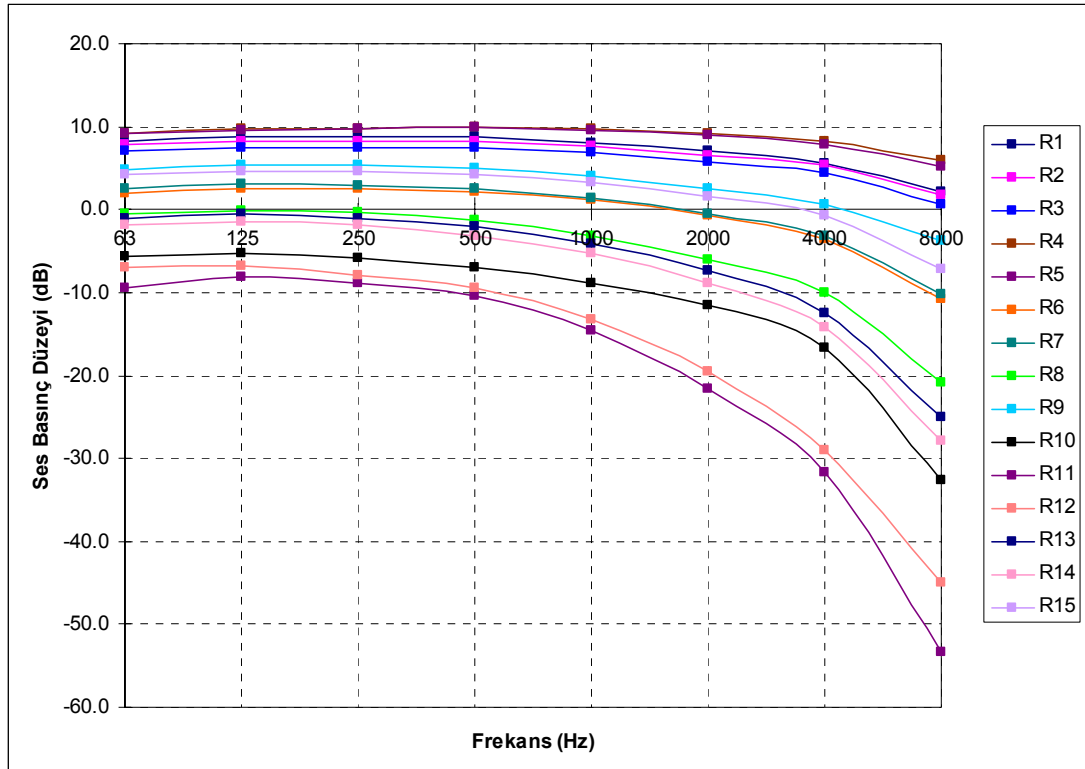
Burada çınlama süresinde en büyük değişim R11 ve R12 alıcı noktalarında görülmektedir. R11 alıcısında, çınlama süresi değerleri alçak frekanslarda çok yüksek değerler alırken 1000-2000 Hz aralığında düşmekte, 4000 Hz de yüksek bir değer aldıktan sonra tekrar düşmektedir. Bunun sebebi bu noktaya fazla yansımış ışın gelmesi olabilir. R12 alıcısında çınlama süresi değeri alçak frekanslarda 0 iken 125-250 Hz aralığında yükselmiş, 2000-4000 Hz'de tekrar yükselmiş bu noktadan sonra

düşmeye başlamıştır. R7 çınlama süresi değerinin alçak frekanslarda yüksek olduğu bir başka alıcı noktasıdır. Diğer alıcı noktalarında benzer bir değişim söz konusudur. Kaynağa uzak noktalarda çınlama süresinin en uzun değerlerini aldığı görülmektedir.

Normalde yan duvar uzaklığının en az olduğu alıcı noktalarında çınlama süresinin büyük değerler alması gerekmektedir. Çünkü bu noktalara fazla yansımış ışın gelmektedir. Yerebatan Sarnıcı'nda ise sahneye olan uzaklık arttıkça özellikle alçak frekanslarda sorun vardır. Yüksek frekanslarda havanın yutuculuğu fazla olduğundan T değerleri azalmaktadır. Orta ve düşük frekanslarda ise havanın yutuculuğu yoktur. Analiz sonuçlarına bakıldığında çınlama süresi değerlerinin tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığından çok daha yüksek değerler aldığı görülmüştür.

Ses Yüksekliği (G) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Ses yüksekliği; yansımaz odada kaynaktan 10 m uzakta ölçülen direk sesin düzeyi ile ilişkili olarak bulunan değerdir. Direk sesin gücü ile çınlayan sesin gücünden oluşur. Salon hacmi ile ters, EDT ve T ile doğru orantılıdır. Ses basınç düzeyi ve ses gücü düzeyine bağlı olan bu parametre, büyük yani ölü salonlarda daha düşük; küçük yani canlı salonlarda daha yüksek değerler alır.



Şekil 3.12: 15 Alıcı için Ses Yüksekliği (G) değerleri.

Tablo 3.7: 15 Alıcı için hesaplanan Ses Basınç Düzeyi (SPL) değerleri.

SPL (dB)	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	8.3	7.8	7.0	9.20	9.1	2.0	2.5	-0.6	4.8	-5.7	-9.4	-6.9	-1.1	-1.9	4.2
125	8.7	8.2	7.4	9.7	9.5	2.5	3.0	-0.1	5.3	-5.2	-8.1	-6.7	-0.6	-1.4	4.7
250	8.8	8.3	7.5	9.8	9.7	2.5	2.9	-0.3	5.3	-5.8	-8.8	-7.9	-1.0	-1.9	4.7
500	8.7	8.3	7.5	9.9	9.9	2.2	2.5	-1.2	4.9	-6.9	-10.4	-9.5	-2.0	-3.1	4.3
1000	8.1	7.7	6.9	9.7	9.6	1.1	1.3	-3.1	4.1	-8.8	-14.5	-13.2	-4.1	-5.3	3.3
2000	7.0	6.6	5.8	9.1	8.9	-0.8	-0.5	-6.0	2.6	-11.6	-21.6	-19.6	-7.3	-8.8	1.6
4000	5.6	5.3	4.4	8.2	7.9	-3.5	-3.2	-10.1	0.7	-16.7	-31.6	-29.1	-12.4	-14.2	-0.8
8000	2.1	1.7	0.7	5.9	5.2	-10.7	-10.2	-20.8	-3.7	-32.6	-53.4	-45.0	-25.1	-27.8	-7.2

Aşağıda ses yüksekliği parametresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır. Ses yüksekliği parametresi;

- Erken düşme süresi (EDT)
- Çınlama süresi (T)
- Frekans
- Mekan hacmi
- Ses basınç düzeyi (SPL)

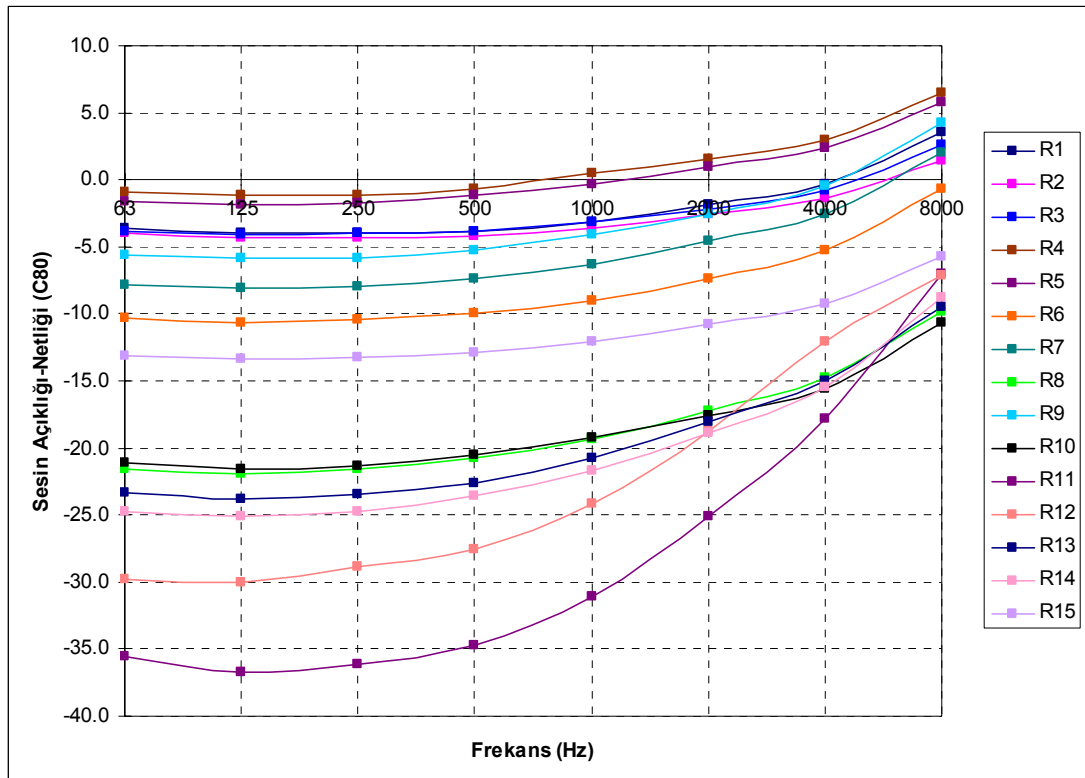
parametreleriyle ilişkilidir.

Sahne uzaklığının artmasıyla ses yüksekliği değeri azalmaktadır. Şekil 3.132’de de görüldüğü gibi sahnenin hemen önündeki 5 alıcı noktasında (R1, R2, R3, R4 ve R5) ses yüksekliği en yüksek değerdedir. Sahneye diğerlerine göre daha yakın olan R9 ve R15 alıcı noktalarında ses yüksekliği değeri yüksektir. Hacim büyük olduğu için G değerleri sahneden uzaklaştıkça azalmaktadır. Yanal yansımalar G değerini artırmaktadır. Bu nedenle yan duvara yakın alıcı noktalarında ses yüksekliği fazladır. Ses yüksekliği frekansın bir fonksiyonudur. Frekans yükseldikçe G değeri düşmektedir. Tablo 2.6’da görüldüğü gibi, Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edilen ses yüksekliği değerlerinin $G > 3$ dB olmasıdır. Analiz sonuçlarına bakıldığında kaynağa en yakın 8 alıcı noktasında ses yüksekliği değerleri istenen seviyede çıkmaktadır. Diğer noktalarda ise değerler sıfır (0) ya da sıfıra yakındır. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı’nda bazı alıcı noktalarında ses yüksekliği değerleri yeterli seviyededir. Tablo 2.5’de ise ISO/CD 3382-1.2’ye göre ses yüksekliği değerlerinin -2 ; +10 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Bu durumda Yerebatan

Sarnıcı'nın hacmi çok büyük olmasına rağmen ses yüksekliği değerleri yeterli düzeydedir.

Sesin Açıklığı-Netliği (C80) parametresinin hacim içindeki dağılımı

İlk 80 ms'de dinleyiciye gelen ses enerjisi ile çınlayan ses enerjisi arasındaki farktır. Çınlama süresi ile ilişkilidir. Uzun T değeri küçük C80 değeri verir. Alıcı noktalarının salon içindeki dağılımının etkisinin en fazla görüldüğü parametrelerden biridir.



Şekil 3.13: 15 Alıcı için Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.

Tablo 3.8: 15 Alıcı için hesaplanan Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.

C80 (dB)	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	-3.6	-4.0	-3.8	-0.90	-1.6	-10.3	-7.8	-21.6	-5.6	-21.1	-35.5	-29.8	-23.3	-24.8	-13.1
125	-4.0	-4.3	-4.1	-1.1	-1.9	-10.6	-8.1	-21.9	-5.9	-21.6	-36.7	-30.0	-23.8	-25.1	-13.3
250	-4.0	-4.3	-4.0	-1.1	-1.7	-10.4	-7.9	-21.6	-5.8	-21.3	-36.1	-28.9	-23.5	-24.7	-13.2
500	-3.8	-4.2	-3.9	-0.7	-1.1	-10.0	-7.4	-20.7	-5.3	-20.5	-34.7	-27.5	-22.6	-23.6	-12.9
1000	-3.1	-3.6	-3.2	0.5	-0.3	-9.0	-6.3	-19.3	-4.1	-19.2	-31.1	-24.2	-20.8	-21.7	-12.1
2000	-1.9	-2.6	-2.2	1.6	1.0	-7.4	-4.6	-17.2	-2.5	-17.6	-25.1	-18.7	-18.1	-18.9	-10.8
4000	-0.3	-1.4	-0.8	3.0	2.4	-5.3	-2.5	-14.8	-0.4	-15.6	-17.8	-12.1	-15.0	-15.5	-9.3
8000	3.5	1.4	2.6	6.5	5.8	-0.7	2.0	-9.8	4.3	-10.6	-7.0	-7.1	-9.5	-8.8	-5.7

Aşağıda sesin açıklığı-netliği parametresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır.

Sesin açıklığı-netliği parametresi;

- Çınlama süresi (T)
- Ses yüksekliği (G)
- Frekans
- Mekan hacmi ve yüksekliği

parametreleriyle ilişkilidir.

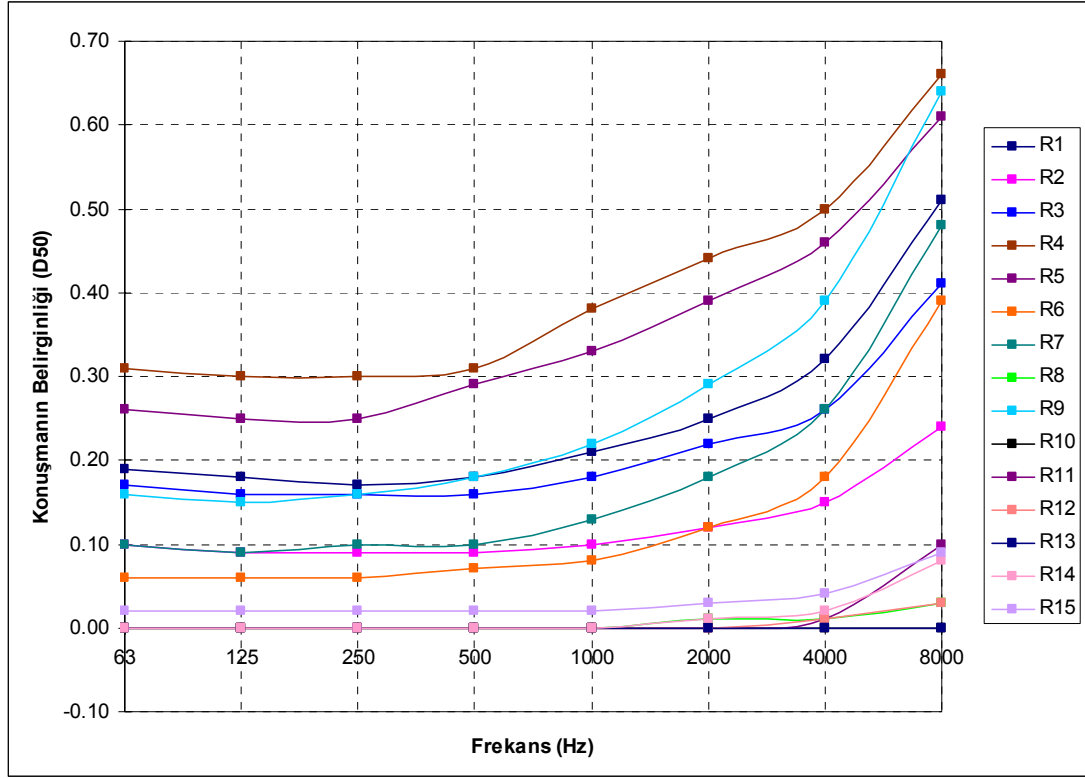
Bu parametre ilk yansımaların enerjisinden diğerlerine göre daha çok etkilenebilir. Netlik değerinin yüksek olması, ilk yansıma ile dinleyiciye ulaşan enerjinin daha ağırlıklı olduğunu, öznel olarak sesin net ve açık olarak algılandığını göstermektedir.

Ölçüm yapılan tüm alıcı noktaları arasında bir genelleme yapıldığında hacim ve yüksekliğin C80 parametresi üzerinde negatif bir etkisinin olduğu görülmüştür. Hacmin artması C80 parametresinin azalmasına sebep olur. Salon yüksekliğinin uygun olarak seçilmesi C80 değerini artırır.

Burada netlik parametresinde en büyük değişim R11 ve R12 alıcı noktalarında görülmektedir. R11 alıcısında netlik parametresi değeri alçak frekanslardan başlayarak mekandaki en düşük değerleri almaktadır. Daha sonra sırayla R12, R14, R13, R8 ve R10 alıcı noktalarında değerler çok düşüktür. Bütün alıcı noktaları için frekans arttıkça C80 değeri artmaktadır. Normalde yan duvarlardan gelen kuvvetli yanal yansımaların C80 üzerindeki olumsuz bir etkisi vardır. Burada ise alıcıların sahneye olan uzaklığı arttıkça netlik parametresinin değeri azalmaktadır. Analiz sonuçlarına bakıldığında sesin açıklığı-netliği parametresi değerlerinin tavsiye edilen -1 – 3 dB aralığından çok daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Bu durum çınlama süresinin uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Salonda ses yüksekliği ile netlik arasında da negatif bir ilişki vardır. Netlik arttıkça ses yüksekliği azalmaktadır. Sonuç olarak mekanda ses açıklığı-netliği söz konusu değildir.

Konuşmanın Belirginliği (D50) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Belirginlik parametresi ilk 50 ms'lik zaman dilimi içerisinde alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranı şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 3.14: 15 Alıcı için Konuşmanın Belirginliği (D50) değerleri.

Tablo 3.9: 15 Alıcı için hesaplanan Konuşmanın Belirginliği (D50) değerleri.

D50	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	0.19	0.10	0.17	0.31	0.26	0.06	0.10	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
125	0.18	0.09	0.16	0.30	0.25	0.06	0.09	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
250	0.17	0.09	0.16	0.30	0.25	0.06	0.10	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
500	0.18	0.09	0.16	0.31	0.29	0.07	0.10	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
1000	0.21	0.10	0.18	0.38	0.33	0.08	0.13	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
2000	0.25	0.12	0.22	0.44	0.39	0.12	0.18	0.01	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
4000	0.32	0.15	0.26	0.50	0.46	0.18	0.26	0.01	0.39	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.04
8000	0.51	0.24	0.41	0.66	0.61	0.39	0.48	0.03	0.64	0.00	0.10	0.03	0.00	0.08	0.09

Aşağıda konuşmanın belirginliği parametresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır. Konuşmanın belirginliği parametresi;

- Erken düşme süresi (EDT)

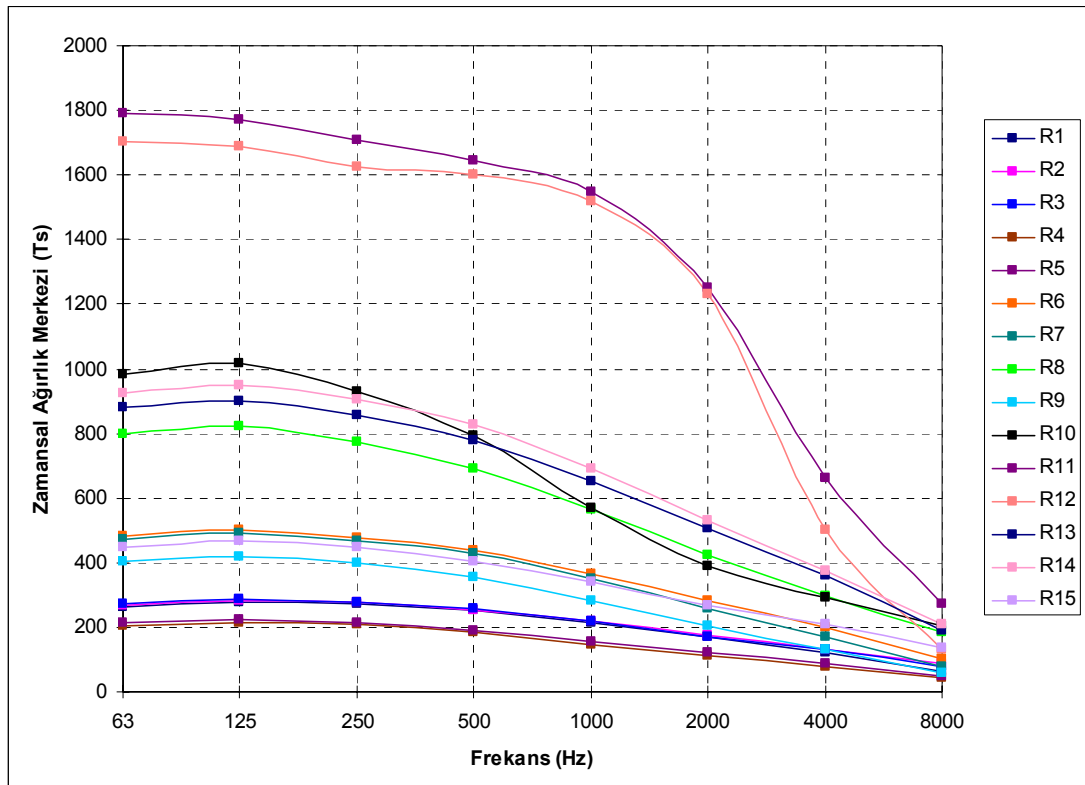
- Kaynak-alıcı uzaklığı

parametreleriyle ilişkilidir.

Sahne uzaklığının artmasıyla konuşmanın belirginliği değeri azalmaktadır. Sahnenin hemen önündeki 5 alıcı noktasında (R1, R2, R3, R4 ve R5) konuşmanın belirginliği en yüksek değerdedir. Sahneye diğerlerine göre daha yakın olan R9 ve R7 alıcı noktalarında da değerler yüksektir. Sahneye en uzak alıcı noktalarında ise (R8, R10, R11, R12, R13 ve R14) değerler sıfır (0) ya da sıfıra yakındır. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerlerinin 0.3;0.7 olması gerektiği belirtilmiştir. Sadece R4 alıcı noktasında sonuçlar önerilen aralıkta görülmektedir. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı'nda konuşmanın belirginliği değerleri yeterli düzeyde değildir.

Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Karesi alınan sinyal tepkisi diyagramının zaman aksına göre ağırlık merkezini verir ve enerji ağırlık merkezine ulaşmak için geçen süre olarak tanımlanır. Merkez zamanındaki ses enerjisi yoğunluğu, denge durumundaki ses enerjisi yoğunluğunun 0.62'si kadardır [34].



Şekil 3.15: 15 Alıcı için Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri.

Tablo 3.10: 15 Alıcı için hesaplanan Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri.

Ts (ms)	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	262	268	273	204	212	483	470	800	402	982	1791	1703	880	923	447
125	277	282	287	215	223	499	490	821	420	1018	1771	1690	901	950	466
250	272	275	278	207	214	476	468	776	400	931	1707	1626	856	904	446
500	253	254	256	187	189	436	426	689	354	791	1646	1601	779	825	402
1000	216	218	217	147	157	366	350	564	284	571	1547	1519	653	690	339
2000	168	173	172	111	120	282	258	422	204	388	1249	1231	508	528	269
4000	122	133	130	80	88	201	172	298	132	291	664	503	360	374	208
8000	63	88	79	43	51	103	78	184	56	203	272	132	192	208	135

Aşağıda zamansal ağırlık merkezi parametresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır. Zamansal ağırlık merkezi parametresi;

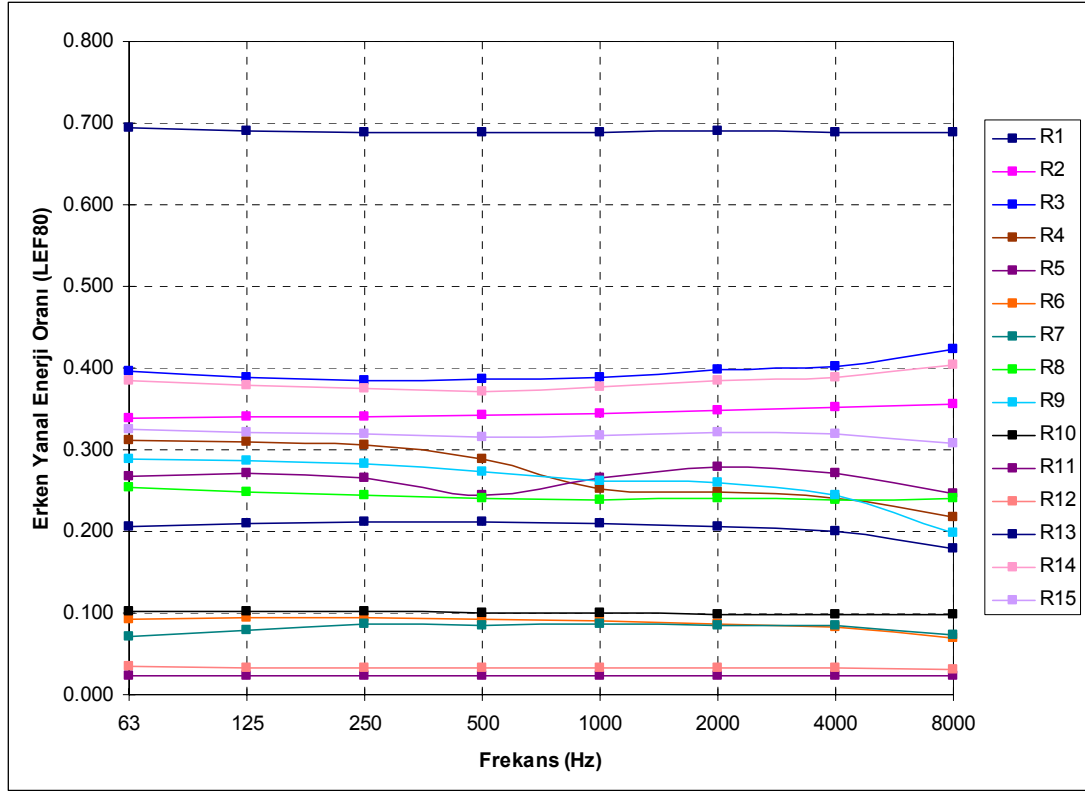
- Erken düşme süresi (EDT)
- Sesin açıklığı-netliği (C80)
- Konuşmanın Belirginliği (D50)

parametreleriyle ilişkilidir.

Bu parametrenin düşük değerler alması, enerjinin büyük bölümünün dinleyiciye erken ulaştığını, böylece sesin Netlik (C80) değerinin arttığını gösterir. Parametrenin yüksek değerleri ise, enerjinin büyük bölümünün direk sestten uzun bir süre sonra ulaştığını, böylece daha çınlayan bir ses ortamının oluştuğunu göstermektedir. Yani çınlama süresi ve erken düşme süresi ile pozitif, netlik parametresi ile negatif bir ilişkiye sahiptir. Burada zamansal ağırlık merkezi parametresinde en büyük değişim R11 ve R12 alıcı noktalarında görülmektedir. En düşük değerlerini ise R4, R5, R1, R2 ve R3 noktalarında almıştır. Normalde yan duvara yakın noktalarda yüksek TS değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Duvardan gelen ilk yansımaların enerjisinin az olması ise sahneye uzaklık gibi başka geometrik parametrelerin etkisinin dikkate alınmasını da gerektirir. Burada sahneye en yakın alıcı noktalarında parametre en düşük değerlerini almıştır. ISO/CD 3382-1.2'ye göre zamansal ağırlık merkezi değerlerinin 60 ms; 260 ms olması gerekmektedir. Sadece sahneye en yakın 5 alıcı noktasında analiz sonuçlarından elde edilen değerler önerilen değer aralığında kalmaktadır. Diğer alıcı noktalarında ise değerler çok yüksektir. Sonuç olarak sahneye yakın 5 alıcı noktasında netlik değeri yüksek diğer alıcı noktalarında ise çınlama süresi ve erken düşme süresi değerleri yüksektir.

Yanal Enerji Oranı (LF80) parametresinin hacim içindeki dağılımı

Hacmin yan yüzeylerinden gelen enerjinin toplam ses enerjisine oranıdır.



Şekil 3.16: 15 Alıcı için Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.

Tablo 3.11: 15 Alıcı için hesaplanan Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.

LEF80	Alıcılar														
Frekans	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	0.206	0.338	0.396	0.311	0.268	0.093	0.071	0.254	0.288	0.101	0.023	0.034	0.694	0.385	0.325
125	0.209	0.340	0.389	0.310	0.271	0.094	0.079	0.248	0.286	0.101	0.023	0.033	0.691	0.378	0.322
250	0.211	0.341	0.385	0.305	0.266	0.094	0.086	0.245	0.282	0.101	0.023	0.032	0.688	0.375	0.320
500	0.211	0.342	0.386	0.289	0.245	0.092	0.085	0.240	0.273	0.100	0.023	0.032	0.688	0.372	0.316
1000	0.210	0.344	0.389	0.252	0.266	0.090	0.086	0.239	0.261	0.100	0.023	0.032	0.688	0.376	0.318
2000	0.205	0.349	0.398	0.248	0.278	0.087	0.084	0.241	0.259	0.099	0.023	0.032	0.690	0.385	0.321
4000	0.200	0.351	0.402	0.240	0.271	0.083	0.084	0.239	0.244	0.099	0.023	0.032	0.689	0.389	0.320
8000	0.179	0.355	0.424	0.218	0.247	0.070	0.074	0.240	0.199	0.099	0.023	0.031	0.688	0.404	0.308

Aşağıda sesin yanal enerji oranı parametresi değerlerinden etkilenen öznel ve nesnel parametreler sıralanarak mekanda sesin durumu konusunda yorumlar yapılmıştır.

Yanal enerji oranı parametresi;

- Mekansal algılama
- Müzikte kuşatılmışlık

parametreleriyle ilişkilidir.

Yanal enerji oranı parametresi, genişlik ile oldukça ilişkilidir, yan duvar uzaklığı arttıkça parametre değerleri azalmakta ve salonun orta noktalarında değeri düşmektedir. Yani Yerebatan Sarnıcı hacminin büyük olması bu parametreyi olumsuz yönde etkilemektedir.

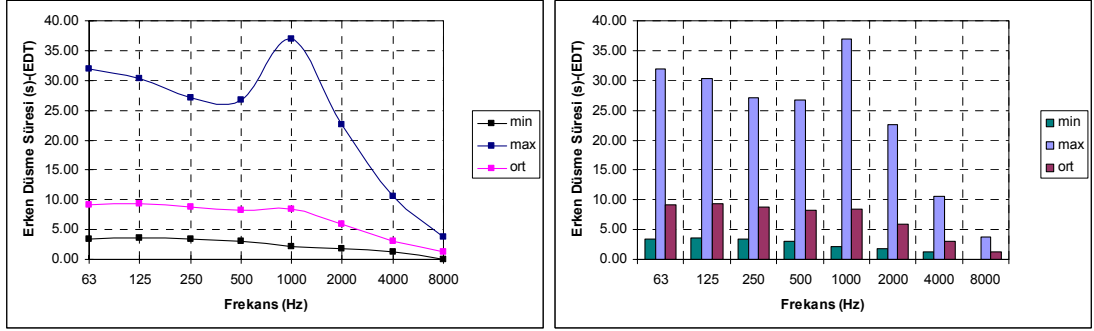
Burada yanal enerji oranı parametresinde en büyük değişim R13 alıcı noktasındadır. Bu alıcı noktasında kuvvetli yanal yansımalar nedeniyle dağılım homojenliği bozulmaktadır. Yan duvara yakın alıcı noktalarında salonun neresinde olursa olsun artış görülmektedir. Sahneye olan uzaklığın artmasının ise LF80 üzerinde negatif bir etkisi vardır. R13 alıcı noktasında da sahneye olan uzaklık fazla olmasına rağmen diğer alıcı noktalarına göre yüksek değerler aldığı görülmektedir. Daha sonra sırasıyla R3, R14, R2 ve R15 alıcı noktalarında değerler yüksektir. R11 ve R12 alıcı noktalarında ise parametre en düşük değerlerini almaktadır. Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edilen ses yüksekliği değerlerinin $LF80 > 0.25$ olmasıdır. Analiz sonuçlarına bakıldığında kaynağa en uzak 3 alıcı noktasında yanal enerji oranı değerleri istenen seviyenin altında çıkmaktadır. Diğer noktalarda ise değerler yüksektir. ISO/CD 3382-1.2'ye göre yanal enerji oranı değerlerinin 0.05 ; 0.35 olması gerekmektedir. Sadece R13 alıcı noktasında sonuçlar önerilen değerin üstüne çıkmıştır. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı'nda bazı alıcı noktalarında yanal enerji oranı değerleri yeterli seviyededir.

3.1.4 Hesaplanan Parametrelerin Önerilen Değerler ile Karşılaştırılması

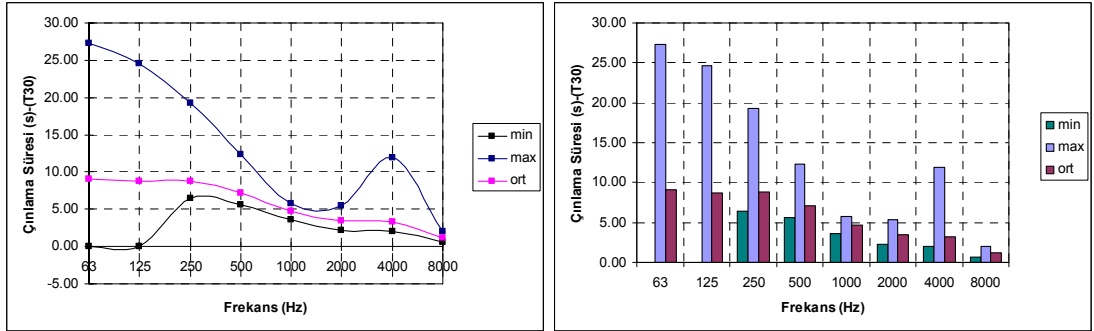
Yerebatan Sarnıcının akustik performansını etkileyen parametreler Odeon 7.0 akustik programı ile hesaplanmıştır. Her parametre için elde edilen analiz sonuçları Bölüm 3.1.3'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Tablo 3.12 ve Şekil 3.17-3.23'de bütün parametreler için hesaplanan minimum-maksimum ve ortalama değerler verilmektedir.

Tablo 3.12: 15 Alıcı için hesaplanan parametre değerlerinin minimum-maksimum ve ortalama değerleri.

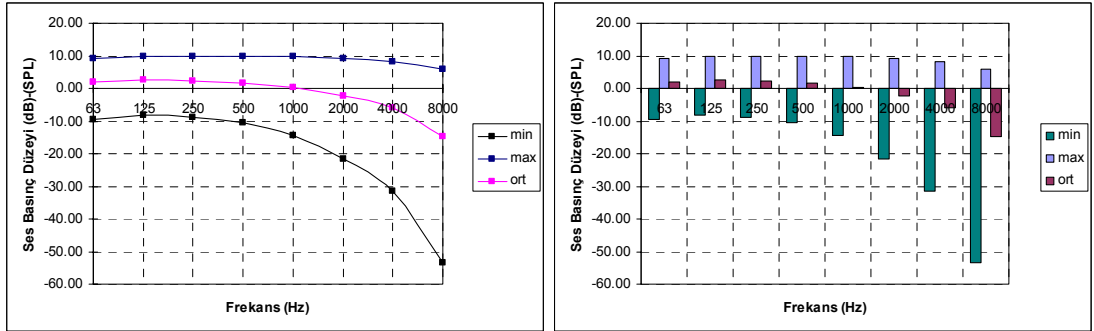
EDT (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	3.41	3.57	3.39	3.09	2.24	1.74	1.29	0.00
Maximum	31.90	30.31	27.08	26.79	36.88	22.62	10.51	3.80
Ortalama	9.11	9.36	8.78	8.21	8.37	5.85	3.07	1.30
T30 (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.00	0.00	6.49	5.63	3.59	2.23	1.99	0.61
Maximum	27.32	24.58	19.23	12.35	5.82	5.41	11.91	2.07
Ortalama	9.06	8.76	8.78	7.13	4.72	3.47	3.28	1.15
SPL (dB)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-9.4	-8.1	-8.8	-10.4	-14.5	-21.6	-31.6	-53.4
Maximum	9.2	9.7	9.8	9.9	9.7	9.1	8.2	5.9
Ortalama	2.0	2.5	2.3	1.7	0.2	-2.3	-6.0	-14.7
C80 (dB)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-35.5	-36.7	-36.1	-34.7	-31.1	-25.1	-17.8	-10.6
Maximum	-0.9	-1.1	-1.1	-0.7	0.5	1.6	3.0	6.5
Ortalama	-13.0	-14.2	-13.9	-13.3	-11.8	-9.7	-7.0	-2.2
D50								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	0.31	0.30	0.30	0.31	0.38	0.44	0.50	0.66
Ortalama	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.14	0.17	0.28
Ts (ms)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	204	215	207	187	147	111	80	43
Maximum	1791	1771	1707	1646	1547	1249	664	272
Ortalama	673	687	656	606	522	405	250	126
LF80 (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
Maximum	0.694	0.691	0.688	0.688	0.688	0.690	0.689	0.688
Ortalama	0.252	0.251	0.250	0.246	0.245	0.247	0.244	0.237



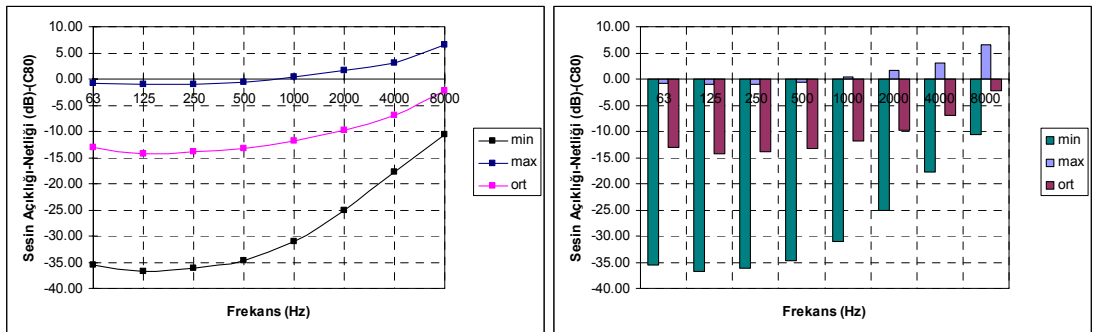
Şekil 3.17: 15 Alıcı için EDT parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



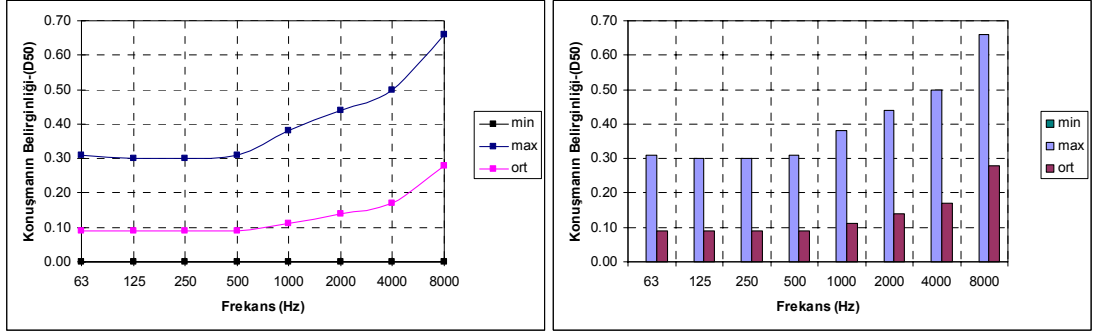
Şekil 3.18: 15 Alıcı için T30 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



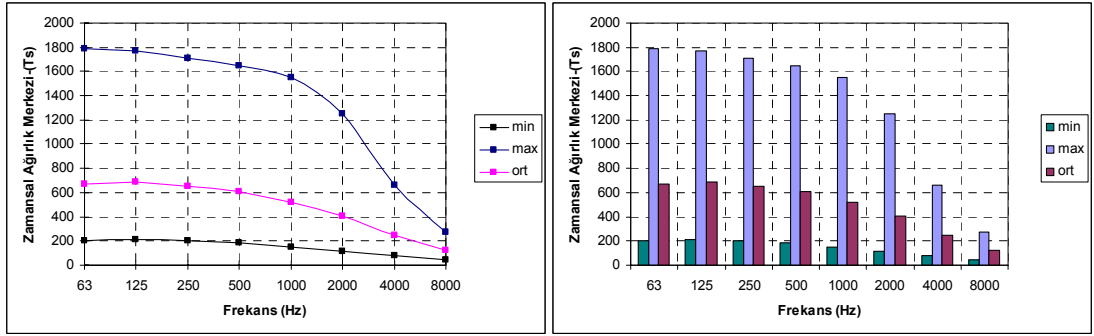
Şekil 3.19: 15 Alıcı için SPL parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



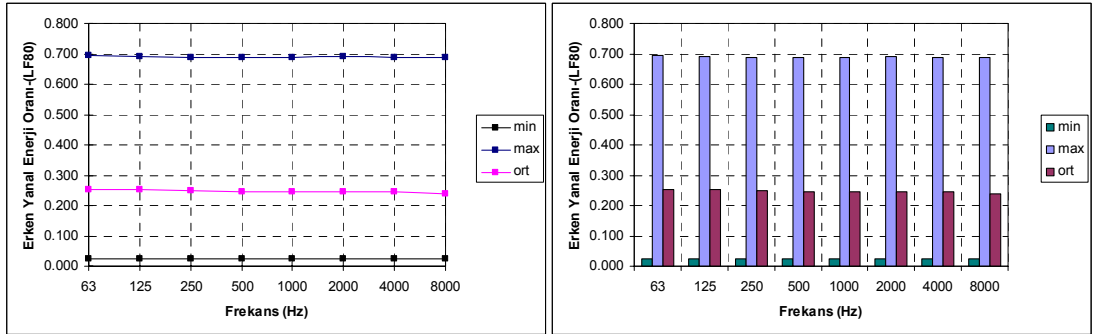
Şekil 3.20: 15 Alıcı için C80 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 3.21: 15 Alıcı için D50 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 3.22: 15 Alıcı için Ts parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 3.23: 15 Alıcı için LF80 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.

Tablo 3.13: 1000 Hz’de hesaplanan parametre değerlerinin çeşitli kaynaklarda önerilen değerler ile karşılaştırılması.

Nesnel Akustik Parametre	Sembol (İngilizce)	Optimum Tolerans Sınırları	Ortaya Koyan Araştırmacı	Odeon Prog. Tolerans Sınırları	ISO/CD 3382 Tolerans Sınırları	Analiz Sonuçları (1000 Hz)
Erken Düşme Süresi	EDT (s) Early Decay Time	1.8 - 2.6 1.5 - 2.0 1.6 1.8 - 2.2 1.8 - 2.1 $\pm \% 10 \times T$	Jordan Cremer Gade Barron Hyde Gimenez		1.0 ; 3.0 s	8.37 s
Çınlama Süresi	T (s) Reverberation Time	1.4 - 2.8 1.6 - 2.2 1.7 - 2.0 2.0 - 2.5 2.0 - 2.4 >1.9 1.7 - 2.4	Jordan Cremer Beranek Barron Hyde Hilbert Gimenez	1.7 ; 2.3 s		4.72 s
Konuşmanın Belirginliği	D50 (%) Distinctness	0.34 0.56 0.4 - 0.6 0.45 - 0.55	Cremer Bradley Gimenez Hilbert		0.3 ; 0.7	0.11
Netlik, Açıklık	C80 (dB) Clarity	0 (ideal değer) -4 - 0 -2 - +2 -1 - +1	Cremer Beranek Barron Hyde	-1 ; 3 dB	-5 ; +5 dB	-11.8 dB
Zamansal Ağırlık Merkezi	TS (ms) Center Time	130< 140<	Cremer Cremer		60 ; 260 ms	522 ms
Ses Yüksekliği	G (dB) Loudness Strength	>0 3 - 5 0.30 - 0.35 0 - 2.5 -3 - 5	Barron Beranek Hilbert Hyde Nagata	> 3 dB	-2 ; +10 dB	0.2 dB
Yanal Enerji Oranı	LEF Lateral Energy Fraction	0.1 - 0.35 0.15 - 0.25 0.35 - 0.40 0.26 0.2	Barron Hyde Hilbert Jordan Gimenez	> 0.25	0.05 ; 0.35	0.245

- Analiz sonuçlarına bakıldığında Yerebatan Sarnıcı’nda erken düşme süresi (EDT) parametresinin 8.7 s olduğu görülmüştür. EDT parametresi mevcut durumda tavsiye edilen 1-3 s aralığından çok daha yüksek bir değer almıştır. Çınlama arttıkça EDT değeri de artmaktadır. Sesin açıklığı-netliği (C80) ile ters orantılıdır. Bu durumda, EDT parametresinin yüksek olması çınlayan bir ortamın varlığını, netlik değerinin düşük olduğunu ve mekan geometrisinin parametreyi kötü yönde etkilendiğini gösterir.
- Analiz sonuçlarına bakıldığında çınlama süresi (T30) parametresinin 4.72 s olduğu görülmüştür. T30 parametresi tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığından

yüksek bir değer almıştır. Çınlama süresi (T) değerlerinin değişimi, EDT'ye paraleldir fakat yapılan ölçümlere göre EDT'nin T'den yaklaşık %10 daha büyük olması gerektiği bulunmuştur. Uzun T değeri küçük bir C80 değeri verir ve canlılık, orta ve yüksek frekanslarda T ile ilişkilidir yani çınlamanın öznel etkisidir. Bu durumda, EDT değeri T değerinden oldukça yüksek olduğu için mekanda yaygın bir ses alanından söz edilemez, T değeri uzun olduğu için sesin açıklığı-netliği söz konusu değildir ve uzun T canlılığı artırdığından mekan canlı olarak nitelendirilebilir.

- Analiz sonuçlarına bakıldığında ses yüksekliği (G) parametresinin 0.2 dB olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerinin -2 ; +10 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında ise tavsiye edilen ses yüksekliği değeri $G > 3$ dB'dir. Ses yüksekliği (G) parametresi salon hacmi ile ters, EDT ve T ile doğru orantılıdır. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı'nın hacmi çok büyük olmasına rağmen ses yüksekliği değeri ISO/CD 3382-1.2'ye göre yeterli düzeydedir. Odeon 7.0 programına göre ise yetersizdir. EDT ve T değerlerinin yüksek olması ve yanal yansımaların G değerini artırmasına rağmen mekan hacminin çok büyük olması ses yüksekliği parametresini kötü yönde etkilemektedir.
- Analiz sonuçlarına bakıldığında sesin açıklığı-netliği (C80) parametresinin -11.8 dB olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre sesin açıklığı-netliği değerinin -5 ; +5 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında ise tavsiye edilen C80 değeri -1 ; +3 dB'dir. Sesin açıklığı-netliği (C80) parametresi, çınlama süresi ve ses yüksekliği ile ters orantılıdır, ilk yansımaların enerjisinden diğerlerine göre daha çok etkilenir, hacim ve yüksekliğin negatif bir etkisi vardır. Bu durumda, çınlama süresi uzun olduğu için C80 değeri standartlarda tavsiye edilen değerlere göre oldukça düşüktür. Ses yüksekliği arttıkça C80 değeri azalmıştır ve mekan hacim yüksekliğinin fazla olması da parametreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Yerebatan Sarnıcı'nda ses açıklığı-netliğinden söz edilemez.
- Analiz sonuçlarında konuşmanın belirginliği (D50) parametresinin 0.11 olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerinin 0.3;0.7 olması gerekmektedir. Konuşmanın belirginliği parametresinde

sahneye uzaklık önemlidir. Sahneye uzaklık arttıkça D50 değeri azalmıştır. Ayrıca D50 değeri standartlarda tavsiye edilen değerlere göre düşüktür. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı'nda konuşmanın belirginliği değerleri yeterli düzeyde değildir.

- Analiz sonuçlarında zamansal ağırlık merkezi (TS) parametresinin 522 ms olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre zamansal ağırlık merkezi değerinin 60 ; 260 ms olması gerektiği belirtilmiştir. Bu parametre çınlama süresi ve erken düşme süresi ile pozitif, netlik parametresi ile negatif bir ilişkiye sahiptir. Bu durumda çınlama ve erken düşme süresi uzun olduğu için parametre yüksek değerler almıştır ve mekanda çınlayan bir ses ortamı oluşmuştur. Parametre değeri yüksek olduğu için (C80) değeri oldukça düşüktür.
- Analiz sonuçlarında yanal enerji oranı (LF80) parametresinin 0.245 olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre yanal enerji oranı değerinin 0.05;0.35 olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında ise tavsiye edilen LF80 değeri $LF80 > 0.25$ 'dir. Bu parametre genişlik ile ilişkilidir, yan duvar uzaklığı ve sahneye olan uzaklığın artması parametreyi olumsuz etkilemektedir. Bu durumda Yerebatan Sarnıcı hacminin büyük olması nedeniyle birçok alıcı noktasında parametre düşük değerler almıştır. Fakat mekanın genelinde yanal enerji oranı değeri yeterli seviyededir.

3.2 Yerinde Ölçüm Yapılması

Bu tez çalışmasında, Yerebatan Sarnıcı'nın çınlama süresinin ölçümü "Akustik - Oditoryumlarda Çınlama Süresinin Ölçülmesi" TS-3052 standardına uygun olarak yapılmıştır. Standart ISO 3382'ye atıfta bulunacak şekilde hazırlanmıştır.

Kullanılan Cihazlar

Çınlama süresinin ölçülmesi sırasında kullanılan cihazlar:

Çok yönlü hoparlör (Omni power) B&K, type 4296

Kalibratör (pistonphone) B&K, type 4220, 4230

1,25 cm 1/2 inch) kondenser mikrofon (condenser microphone) ve aksesuarları B&K, type 4145

Güç yükseltici (power amplifier) B&K, type 2716c

Yapı akustiği analizörü (building acoustics analyzer) ve aksesuarları B&K, type 4418

Ses düzey ölçeri (sound level meter) B&K, type 2260

Çınlama Süresi Ölçümünde Ölçüm Koşulları ve Standartlar

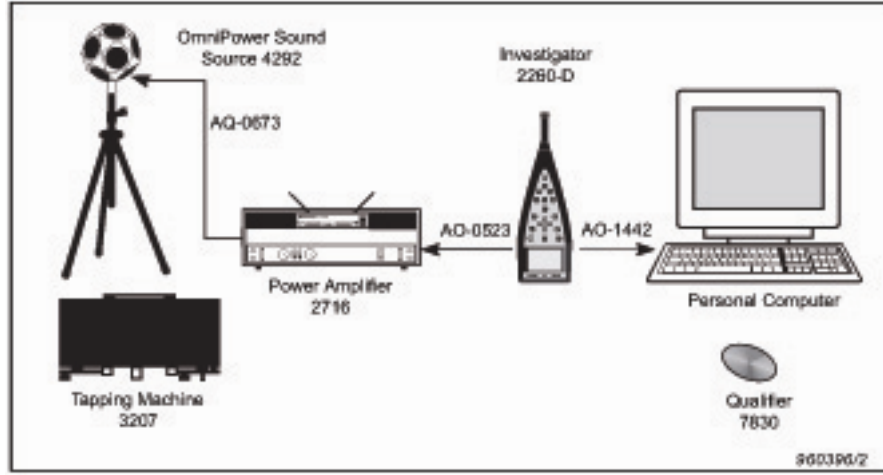
Çınlama süresinin ölçülmesine ilişkin standartlar aşağıda verilmiştir :

"Akustik - Oditoryumlarda (Çınlama Süresinin Ölçülmesi" TS-3052, ISO-3382, BS-5363, DIN-52216. Bu standarda göre;

- Boş durum, mekanın, ses kaynağı ve dinleyiciler için hazır olduğu, ancak mekan içinde hiç kimsenin olmadığı durumdur.
- Ses kaynağı olarak, yönlendirilmemiş 1 hoparlörden bir oktavdan küçük ya da 1/3 oktavdan büyük bant genişliği olan filtrelerle sınırlandırılmış gürültü kullanılmalıdır.
- İlgili frekans bandındaki sürekli çevre gürültüsü düzeyinin, en az 40 dB üstünde bir ses basınç düzeyi oluşturulmalıdır.
- Çınlama süresi, en az 3 değişik mikrofon konumunda ve her defa en az 2 kez ölçülerek yapılmalıdır. Büyük salonlarda daha fazla sayıda ölçüm gerekir. Mikrofon hiçbir zaman, ses kaynağına çok yakın olmamalıdır.
- En az 125Hz - 4000Hz frekans aralığında 1/3 oktav aralıklarla ölçüm yapılmalıdır.
- Değerlendirme aşamasında, aynı frekans için farklı noktalardaki ölçüm sonuçlarının ortalaması, o frekanstaki çınlama süresi olarak kabul edilir [14].

3.2.1 Ölçüm Koşulları ve Ölçüm Düzeneği

Yerebatan Sarnıcı'nda çınlama süresinin ölçümü, 19 Aralık 2006 Salı günü, saat 17.30 - 20.00 arasında yapılmıştır. Ölçümler sarnıcın boş olduğu durumda standarda uygun olacak şekilde yapılmıştır. Ölçüm sırasında yukarıda listelenen 1 adet çok yönlü hoparlör, 1 adet güç yükseltici, 1 adet mikrofon ve 1 adet ses düzey ölçeri kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğini oluşturan ekipmanlar Şekil 3.144'de verilmiştir.



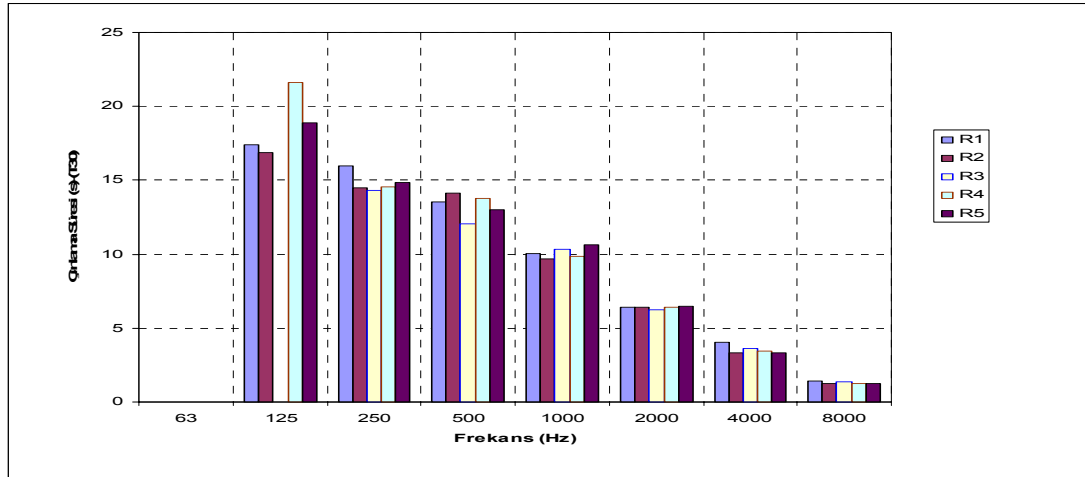
Şekil 3.24: Ölçüm düzeneğinde kullanılan ekipmanlar [40].

Çok yönlü hoparlörün ve mikrofonun yerden yüksekliği 1.5 m alınmış ve hoparlör konumu ölçümler sırasında sabit tutulmuştur. Hoparlör Şekil 3.9’da gösterilen K1 noktasına yerleştirilmiş ve farklı noktalardaki ölçümler için mikrofon konumu değiştirilmiştir. Hoparlör kablosunun uzunluğu 10 m olduğu için sadece R1, R2, R3, R4 ve R5 noktalarında ölçüm yapılabilmiş diğer alıcı noktaları ölçülememiştir. Bu alıcı noktaları ve kaynak noktası simülasyonda yapılan analizlerde de aynı konumda kullanılmıştır.

3.2.2 Ölçülen Çınlama Süreleri

Yerebatan Sarnıcı’nda ölçüm yapmak için Kültür A.ş. Genel Müdürlüğü’nden alınan izin (EK D) doğrultusunda, ölçüm süresi kısıtlı olduğu için sadece bir kere tekrarlanmıştır.

Ölçüm sonuçları Şekil 3.25 ve Tablo 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.25: 5 Alıcı için ölçülen Çınlama Süresi değerleri.

Tablo 3.14: Yerebatan Sarnıcı'nda ölçülen Çınlama süreleri (T20-T30 ortalaması).

Yerebatan Sarnıcı					19 Aralık 2006	
Frekans (Hz)	Ölçüm Noktaları					T20-T30 (s)
	R1	R2	R3	R4	R5	
63	-	-	-	-	-	-
125	17.42	16.88	-	21.61	18.91	18.71
250	15.99	14.48	14.29	14.54	14.85	14.83
500	13.52	14.14	12.07	13.8	13.01	13.31
1000	10.01	9.7	10.32	9.84	10.6	10.09
2000	6.44	6.44	6.25	6.41	6.49	6.41
4000	4.02	3.34	3.61	3.43	3.35	3.55
8000	1.41	1.22	1.34	1.23	1.25	1.29

Şekilde görüldüğü gibi 63 Hz'de cihazlar ölçüm yapamamıştır. Diğer düşük frekanslarda ölçülen çınlama süresi değerleri oldukça uzundur. Yüksek frekanslara doğru değerler oldukça düşmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre çınlama sürelerine bakıldığında 125 Hz'de bütün alıcı noktaları için en uzun değerini almıştır. Bu da bize mekanda yaygın bir ses alanı olmadığını gösterir. Yerebatan Sarnıcı'nda hiçbir alıcı noktasında çınlama süresi değeri tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığında değildir. Burada çınlama süresinde en büyük değişim R4 alıcı noktasında görülmektedir. R4 alıcısında, çınlama süresi değerleri 125 Hz'e kadar yükselmekte yüksek frekanslarda ise düşmektedir. Bunun sebebi bu noktaya fazla yansımış ışın gelmesi olabilir. Çünkü normalde yan duvar uzaklığının en az olduğu alıcı noktalarında çınlama süresinin büyük değerler alması gerekmektedir.

3.2.3 Ölçüm Sonuçları ile Simülasyon Programı Sonuçlarının ve Önerilen Değerlerin Karşılaştırılması

Yerebatan Sarnıcı'nın akustik performansını saptamaya yönelik yapılan çalışmalar sırasında bize mekanın akustik karakteri hakkında en önemli bilgileri veren çınlama süresi parametresi olmuştur. Bu parametre için elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 3.19'da gösterilmiştir. Çeşitli kaynaklarda önerilen değerlerle karşılaştırma yapılırken 15 Alıcı noktasının ortalama değerleri kullanılmamış, sahne önündeki ilk 5 Alıcı noktasının ortalama değerleri kullanılmıştır. Bunun sebebi mevcut durumda belirlenen 15 Alıcı noktasının tamamının ölçülememesi ve geliştirilen önerinin sadece sahneyi ve sahne önündeki dinleyici alanını kapsamasıdır.

Tablo 3.20'de ölçüm sonuçları, simülasyon programı sonuçları ve önerilen değerler verilerek bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 3.15: Çınlama süresi için ölçüm ve simülasyon programı sonuçları ile önerilen değerlerin karşılaştırılması.

Nesnel Akustik Parametre	Optimum Tolerans Sınırları	Ortaya Koyan Araştırmacı	Odeon Prog. Tolerans Sınırı	ISO/CD 3382 Tolerans Sınırı	Analiz Sonucu (1000 Hz)	Ölçüm Sonucu (1000 Hz)
Çınlama Süresi (T-s)	1.4 - 2.8 1.6 - 2.2 1.7 - 2.0 2.0 - 2.5 2.0 - 2.4 >1.9 1.7 - 2.4	Jordan Cremer Beranek Barron Hyde Hilbert Gimenez	1.7 ; 2.3 s	-	4.83 s	10.09 s

Ölçüm sonuçlarına bakıldığında çınlama süresi parametresinin 10.09 s olduğu görülmüştür. Bu değer, tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığından yüksektir. Simülasyon programı sonuçlarına göre çınlama değeri 4.83 s bulunmuştur. Bu değer ölçüm sonuçları ile elde edilen değerlerden oldukça düşüktür. Bunun sebebi analizlerin 15 alıcı için yapılması olabileceği gibi analizler sırasında seçilen malzemelerin yutuculuk katsayılarının büyük olması da olabilir. Ölçüm sonuçlarına göre Yerebatan Sarnıcı'nın akustik durumunu değerlendirdiğimizde sesin açıklığı-netliğinin söz konusu olmadığını ve mekanın oldukça canlı olduğunu söyleyebiliriz.

4. YEREBATAN SARNICI'NDA AKUSTİK PERFORMANSI İYİLEŞTİRMEYE YÖNELİK ÖNERİ GELİŞTİRİLMESİ

Yerebatan Sarnıcı'nın akustik performansının incelenmesi konusundaki veriler ve açıklamalar Bölüm 3'de verilmiştir. Odeon 7.0 programı ve ölçme yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucu bütün parametrelere göre bir değerlendirme yapılmış ve mekanın akustik kalitesinin yeterli olmadığı görülmüştür.

Bu bölümde Yerebatan Sarnıcı'nda yapılan etkinliklerde akustik yeterliliği ve kaliteyi sağlamak için neler yapılabileceği düşünülmüş ve çözüme yönelik bir öneri geliştirilmiştir.

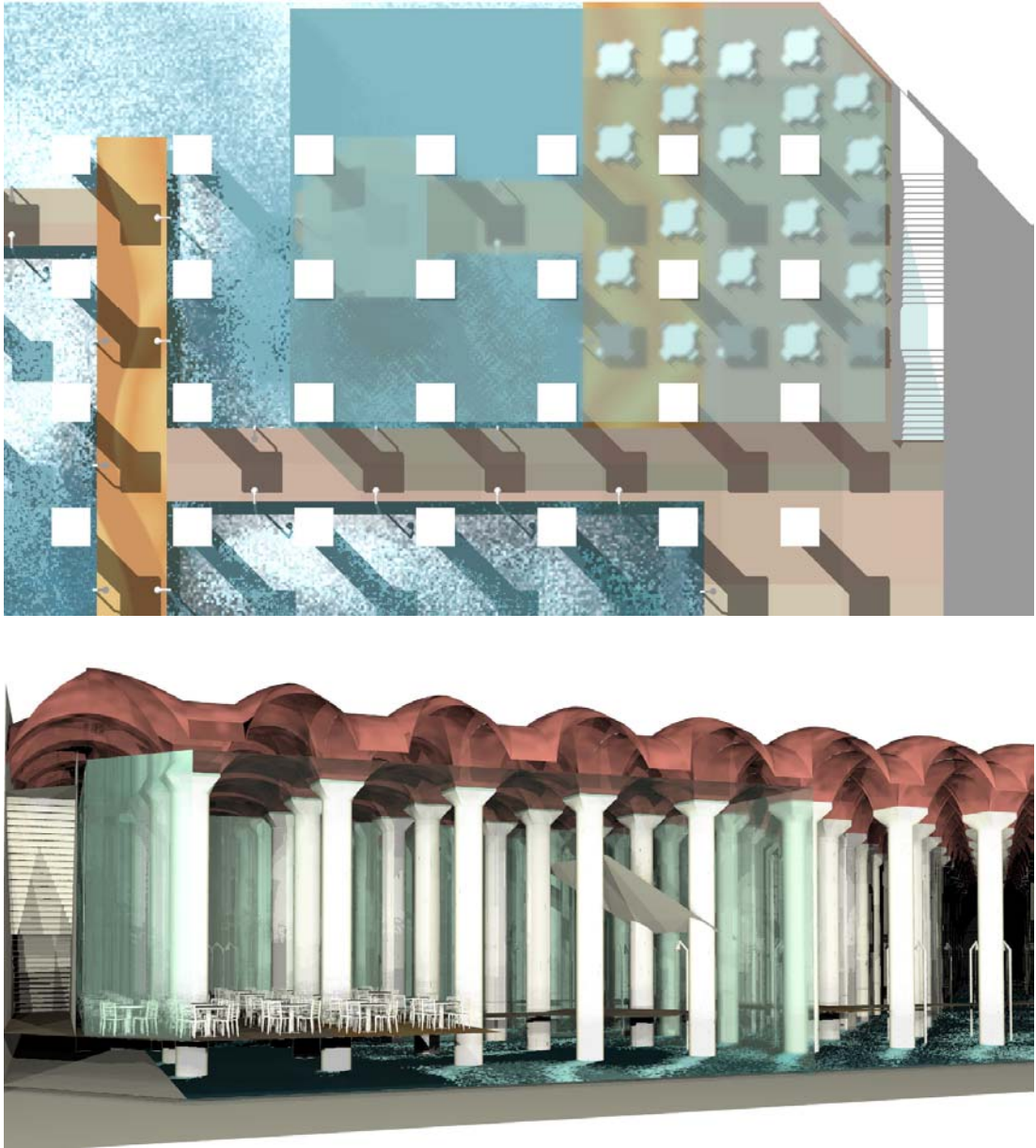
4.1 Sahne Önündeki Dinleyici Bölgesine Yönelik Öneri Geliştirme

Yerebatan Sarnıcı'nda akustik kaliteyi sağlamak için öneri geliştirilmesi sırasında ilk önce sahne önündeki dinleyici alanı ele alınmıştır. Bu bölgede sesin konuşma ve müzik açısından önerilen değerlerde çıkması için seçilen akustik malzemenin yutuculuk katsayısı değerlerinin yüksek olması tercih edilmiştir. Ayrıca Yerebatan Sarnıcı'nın tarihi yapısı ve mimari özelliklerini bozmayacak şeffaf bir malzeme seçilmiştir. Sadece sahneyi ve dinleyici alanını kapsayan bir kabuk tasarlanarak sesin sınırlı bir alanda kontrolünü sağlamanın daha kolay olacağı düşünülmüş böylece mekanda yapılan etkinliklerin akustik kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Analizler yapılırken yine Odeon 7.0 hacim akustiği programı kullanılmıştır.

4.1.1 Sahne ve Dinleyici Bölgesini Kapsayan Bir Kabuk Tasarımı

Yerebatan Sarnıcı'nda sahne ve dinleyici alanını kapsayan şeffaf bir kabuk tasarlanmıştır. Tasarım sırasında Şekil 4.1'de gösterilen planda görüldüğü gibi duvarlardan 0.20 m uzaklıkta ve yerden 6 m yükseklikte dikdörtgen bir mekan

oluşturulmuştur. Sahnenin üstüne 5.5x6.2 m büyüklüğünde 40° eğimle asılmış yansıtıcı şeffaf cam bir panel vardır.



Şekil 4.1: Tasarlanan kabuğun planı ve yandan görünüşü.

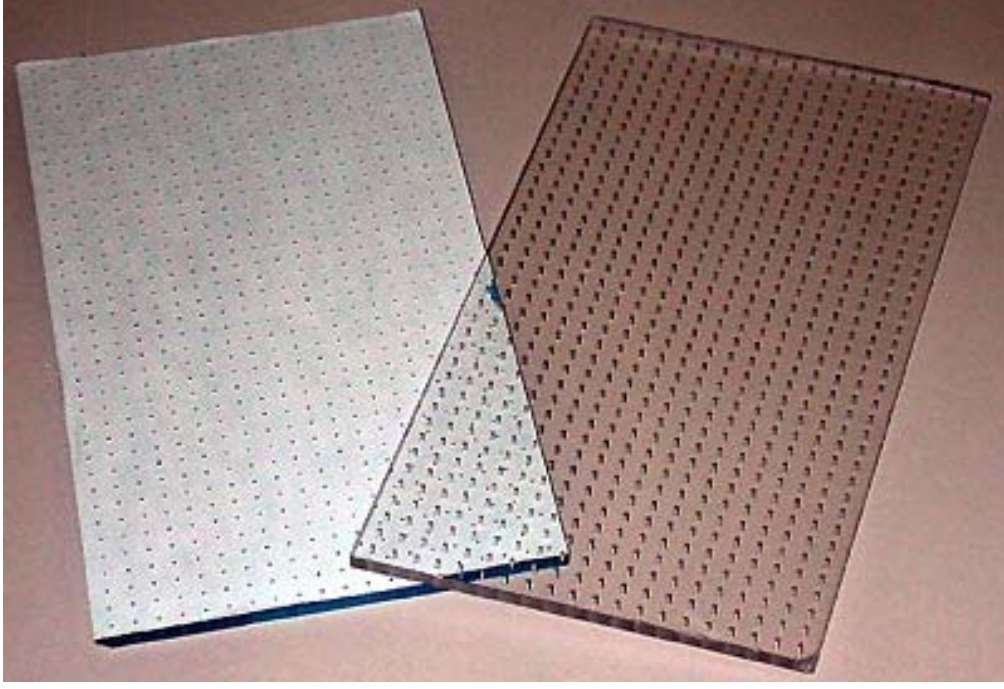
4.1.2 Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Yerebatan Sarnıcı'nda dinleyiciler tarafından algılanan sesin akustik kalitesini yükseltmek amacıyla tasarlanan kabuk için şeffaf bir malzeme olması nedeniyle şeffaf yutucu panel kullanılmıştır. Böylece dinleyiciler mekanın büyüleyici atmosferinden ayrılmadan sarnıçtaki etkinlikleri takip edebilecektir. Aşağıda kabuk tasarımı için seçilen RPG şeffaf yutucu panel özellikleri açıklanmıştır.

Görüntü ile Yutuculuk: Akustikçiler, bir mekanda çınlamanın kontrolünde tamamen transparan ve yutucu bir bitiş için uzun araştırmalar yapmışlardır. RPG, orta-yüksek frekans yutuculuğunu sağlayan mikro delikli şeffaf panel üretimini yapmıştır. Şeffaf Yutucu Panel, görüntü ile yutuculuk sağlayan çözümler verir ve mimari akustikte hızlı uygulama olanağı sağlar.

Şeffaf Yutucu Panel, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi 5 mm aralıkla dizilmiş 5 mm’lik delikler içeren 5 mm kalınlığında bir paneldir. Panelde küçük deliklerden hava geçerken hava boşluğuna sahip bir katmana sahipmiş gibi yüksek miktarda yutuculuk sağlar. Bu doğal azalım, Şeffaf Yutucu Panel ve arkasındaki yansıtıcı yüzey arasındaki hava boşluğunda cam yünü ya da diğer gözenekli malzemelere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırabilir. Şimdi görüntü ile yutuculukta serbest parçacık sağlayarak mümkün olmaktadır. Bunun için Şeffaf Yutucu Panel ve arkasındaki yansıtıcı yüzey arasında hava boşluğu gereklidir. Orta-yüksek frekans yutuculuğunu artırmak için, Şeffaf Yutucu Panel kavisli, eğri ya da yeniden yönlendirme ya da yutuculuk sağlayacak şekilde olabilir [39].

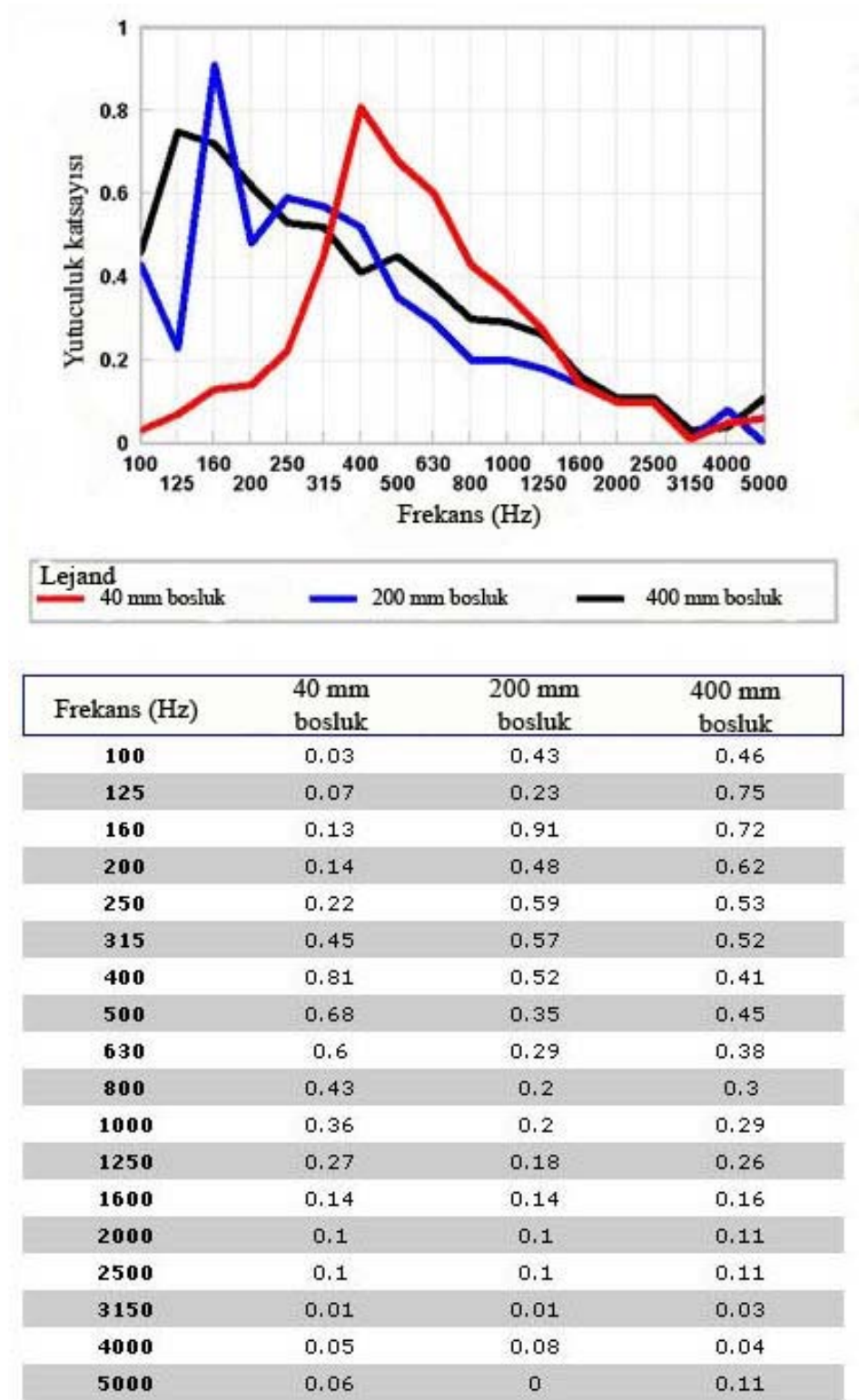
Yerleştirme: Şeffaf Yutucu Panel, yansıtıcı yüzey önüne kolaylıkla asılabilir ya da tutturulabilir. Aynı zamanda açık alana da asılabilir. Deliksiz şeffaf bir panelin her iki tarafına yerleştirilirse panelin her iki yanı da yutucu olur. Birçok şekil ve düzenleme mümkündür. Bu düzenlemelerden biri Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.2: Şeffaf yutucu panel (clearsorber panel) [39].



Şekil 4.3: Şeffaf yutucu panelin yerleştirilme şekli [39].



Şekil 4.4: Şeffaf yutucu panel için yutuculuk katsayıları [39].

Özellikleri:

- Doğal azalım sağlar.
- Gözenekli yutucuya gerek yoktur.
- Lif olmadan yerleştirilir.
- Yanmaz yüzey malzemesine sahiptir.
- Görüntü ile yutuculuk sağlar.
- Birçok uygulama alanına sahiptir.
- Şekil verilebilir.
- Kalıbı çıkarılabilir.

Yararları: Mikro deliklerin yerleştirilmesi ile doğal azalım sağlanır, orta ve yüksek frekanslarda yüksek yutuculuk elde edilir. Şeffaf Yutucu Panel, mikro delikli panel ve arkasındaki yansıtıcı duvar arasında herhangi bir gözenekli yutucuya ihtiyaç duymaz. Gözenekli yutucunun olmaması lif olmaksızın yerleştirilebileceği anlamındadır. Şeffaf Yutucu Panel'in geçirgen ve lifsiz yapısı camın önünde kullanılabileceği anlamına gelir böylece görüntü engellenmeden yutuculuk sağlanır. Şeffaf Yutucu Panel'in geçirgen özelliği geniş bir aktivite alanında kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda görüntüyü engellemeden yutuculuk sağlar, sanatsal çalışma alanları için yutucu şeffaf bir kabuk sağlar, serbest asılarak gün ışığına izin verirken yutuculuk sağlar. Şeffaf Yutucu Panel yansıtıcı yüzeye paralel ya da yatay uygulanabilir. Kalıbının çıkarılması kişisellik ve sanatsal çalışma için iyi bir fırsattır.

4.1.3 Simülasyon Programı ile Değerlendirme

Yerebatan Sarnıcı'nda yapılan etkinliklerde akustik kalitenin artırılmasına yönelik öneri geliştirilmesi sırasında öncelikle sahne ve dinleyici alanını kapsayan bir kabuk tasarlanmıştır. Malzeme seçiminde mekanın büyüklü etkisini ve mimari yapısını bozmayacak, etkinlikler sırasında da dinleyicileri mekandan koparmayacak şeffaf yutucu panel seçilmiştir. Sahne arkası ve yan duvarlardan biri cam yapılarak kabuğun çok yutucu bir mekan oluşturması önlenmiştir. Sahnenin üstüne 40° eğimli

bir cam panel asılarak ses ışınlarının yansıtılarak dinleyici alanına ulaştırılması amaçlanmıştır. Kabuk için Şekil 4.5’de görüldüğü gibi Rhinoceros 3.0 ile üç boyutlu kütleli bir model oluşturulmuştur. Öneri çalışması sırasında bu model baz alınmıştır.



Şekil 4.5: Tasarlanan kabuğun perspektif görünüşü.

Analizler Bölüm 3’de olduğu gibi ODEON Versiyon 7.0 Hacim Akustiği Programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan kabuğun modeli Odeon programına atıldıktan sonra verilerde hiçbir değişiklik yapılmaksızın sadece şeffaf yutucu panel ve cam malzemeleri eklenerek kabuk içinde kalan 5 alıcı noktası için analizler tekrar yapılmış ve değerlendirilmiştir. Hacim-kaynak-alıcı ile ilgili kabuller ve yöntemde değerlendirmeye alınacak hacim akustiği parametreleri Bölüm 3’de belirtilenlerle aynıdır.

Tablo 4.1’de eklenen layer’lar için programda kullanılan malzemelerin listesi verilmiştir. Tablo 4.2’de eklenen malzemelerin altı frekans için yutma çarpanları Odeon programındaki yutuculuk kod numaralarına göre yer almaktadır.

Tablo 4.1: Eklenen layer'lar için malzeme listesi.

Layer	Kod No	Odeon Programında Kullanılan Malzemeler
Yansıtıcı	2022	Cam
Panel	2465	Şeffaf yutucu (clearsorber) panel

Tablo 4.2: Eklenen malzemelerin yutuculuk katsayıları.

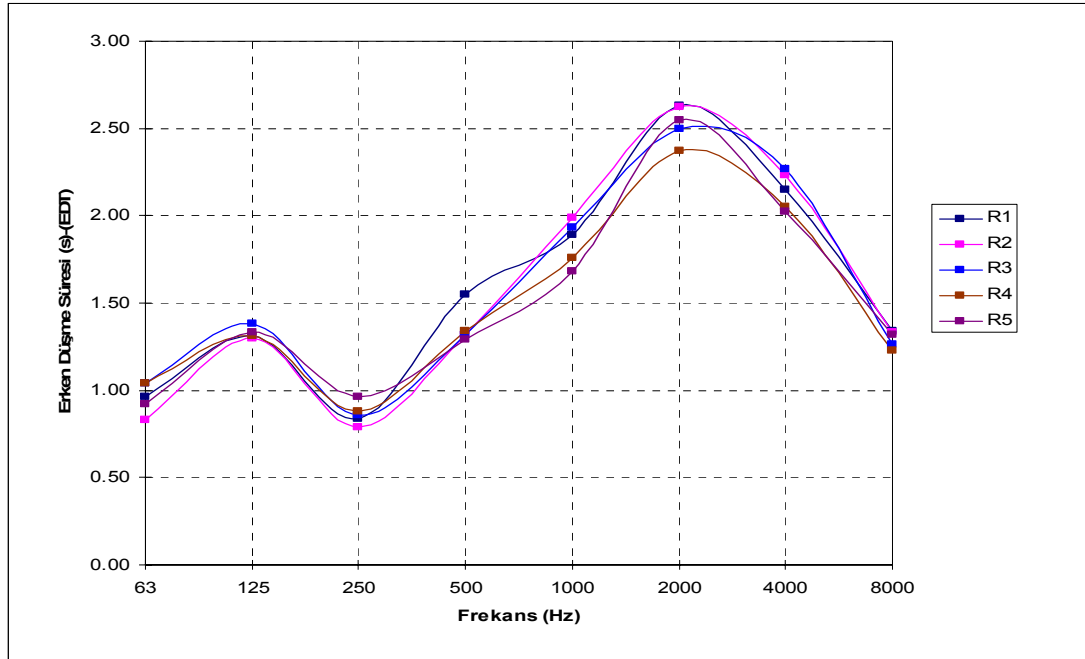
Kod No	YUTUCULUK KATSAYILARI							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
2022	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
2465	0.43	0.23	0.59	0.35	0.20	0.10	0.08	0.01

4.1.3.1 Hacim Akustiği Parametrelerinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Yerebatan Sarnıcı'ndaki etkinliklerde akustik koşulların iyileştirilmesi konusunda yapılacak olan çalışmada Bölüm 3'de olduğu gibi çınlama süresi (T), Erken düşme süresi (EDT), netlik (C_{80}), merkez zamanı (T_s), yanal enerji oranı (LEF), ses basınç düzeyi (SPL), ses geçiş indeksi (STI) ve konuşmanın belirginliği (D50) parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplama aynı şekilde sahne önündeki 50 kişilik bir dinleyici kitlesi ve sarnıçta sahnenin hemen önünde gezi platformunda farklı konumlarda bulunan 5 dinleyicinin her biri için yapılmıştır. Diğer 10 dinleyici tasarlanan kabuğun dışında kaldığı için analizler kapsamına alınmamıştır. EK C'de her bir alıcı için program tarafından hesaplanan parametre değerleri gösterilmiştir.

Aşağıda elde edilen parametre değerlerinin 5 alıcı noktasında aldıkları değerlerin karşılaştırılması ve önerilen değerlere göre değerlendirilmesi verilmiştir.

Erken Düşme Süresi (EDT) parametresinin hacim içindeki dağılımı



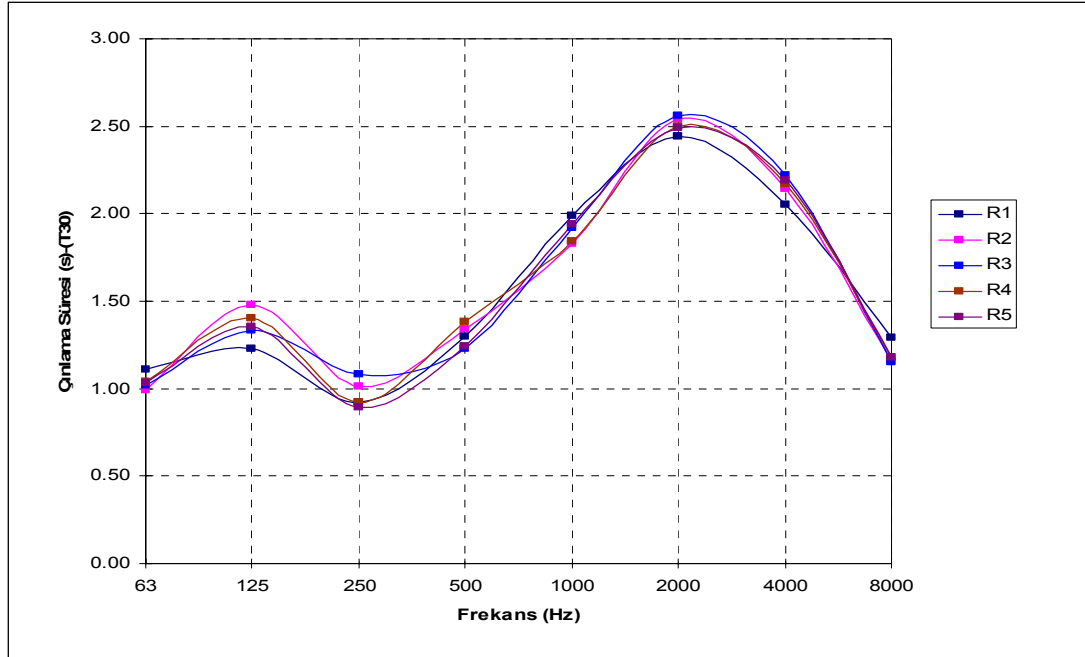
Şekil 4.6: 5 Alıcı için Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.

Tablo 4.3: 5 Alıcı için hesaplanan Erken Düşme Süresi (EDT) değerleri.

EDT (s)	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	0.96	0.83	1.04	1.04	0.92
125	1.31	1.30	1.38	1.31	1.33
250	0.84	0.79	0.86	0.88	0.96
500	1.55	1.32	1.32	1.34	1.29
1000	1.89	1.99	1.93	1.76	1.68
2000	2.63	2.62	2.50	2.37	2.55
4000	2.15	2.23	2.27	2.05	2.02
8000	1.34	1.33	1.26	1.23	1.32

Analiz sonuçlarına bakıldığında, birçok alıcı noktasında EDT değerlerinin ISO/CD 3382’de tavsiye edilen 1-3 s aralığında değerler aldığı görülmüştür. Önerilen hacim yeterince yaygın bir ses alanına sahip olduğundan EDT parametresi çınlamaya bağlı olarak hesaplanabilir. EDT, sesin açıklığı-netliği (C80) ile ters orantılıdır. Sonuçlar standartlarda tavsiye edilen aralıkta kaldığı için C80 parametresini olumuz yönde etkilemeyecektir. Şekil 4.6’daki eğrilere bakıldığında 5 alıcı noktasında da EDT değerlerinin yakın olduğu ve alçak frekanslar hariç tavsiye edilen aralıkta kaldığı görülmektedir. EDT mekanın geometrisinden etkilenir, analiz sonuçlarına göre önerilen mekanın uygun olduğu görülmektedir.

Çınlama Süresi (T30) parametresinin hacim içindeki dağılımı



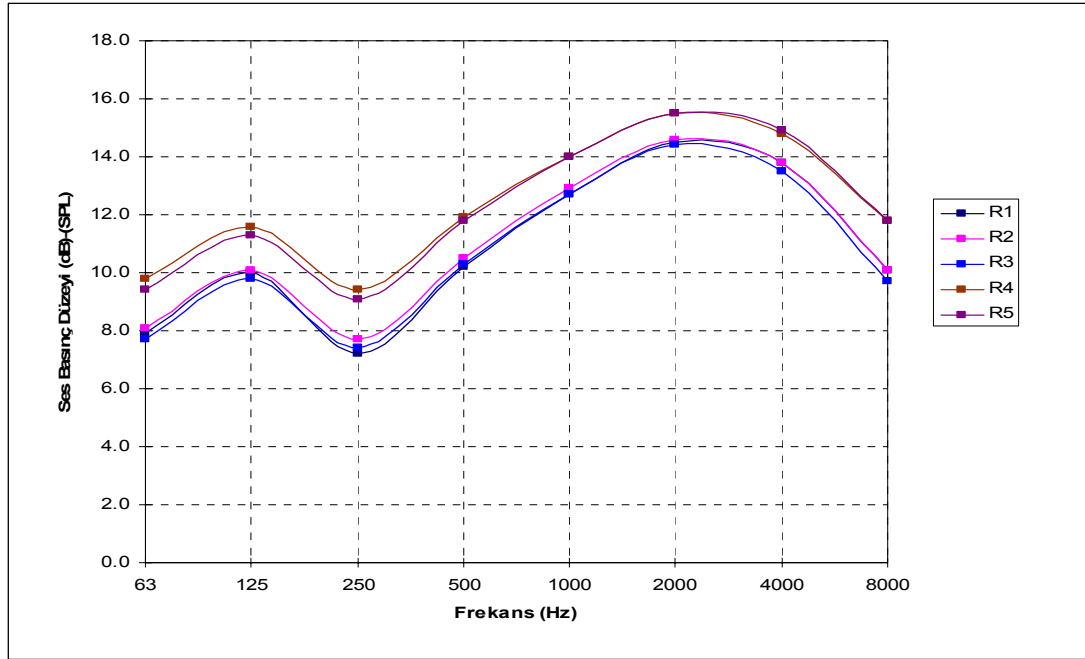
Şekil 4.7: 5 Alıcı için Çınlama Süresi (T30) değerleri.

Tablo 4.4: 5 Alıcı için hesaplanan Çınlama Süresi (T30) değerleri.

T30 (s)	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	1.11	0.99	1.02	1.04	1.03
125	1.23	1.48	1.33	1.40	1.35
250	0.92	1.01	1.08	0.92	0.89
500	1.30	1.34	1.23	1.38	1.24
1000	1.99	1.83	1.92	1.84	1.94
2000	2.44	2.54	2.56	2.50	2.49
4000	2.05	2.14	2.22	2.17	2.19
8000	1.29	1.16	1.15	1.18	1.18

Analiz sonuçlarına bakıldığında, birçok alıcı noktasında çınlama süresinin Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığındaki değerlerden küçük olduğu görülmüştür. Çınlama süresi (T) değerlerinin değişimi, EDT'ye paralel şekildedir. T, olması gereken değerden düşük olduğu için ses açıklığı-netliği söz konusudur. Şekil 4.7'deki eğrilere bakıldığında 5 alıcı noktasında da T değerlerinin yakın olduğu ve 1000 ve 4000 Hz hariç tavsiye edilen aralıktan düşük değerler aldığı görülmektedir. T değeri kısa olduğu için mekan canlı olarak nitelendirilemez.

Ses Yüksekliği (G) parametresinin hacim içindeki dağılımı



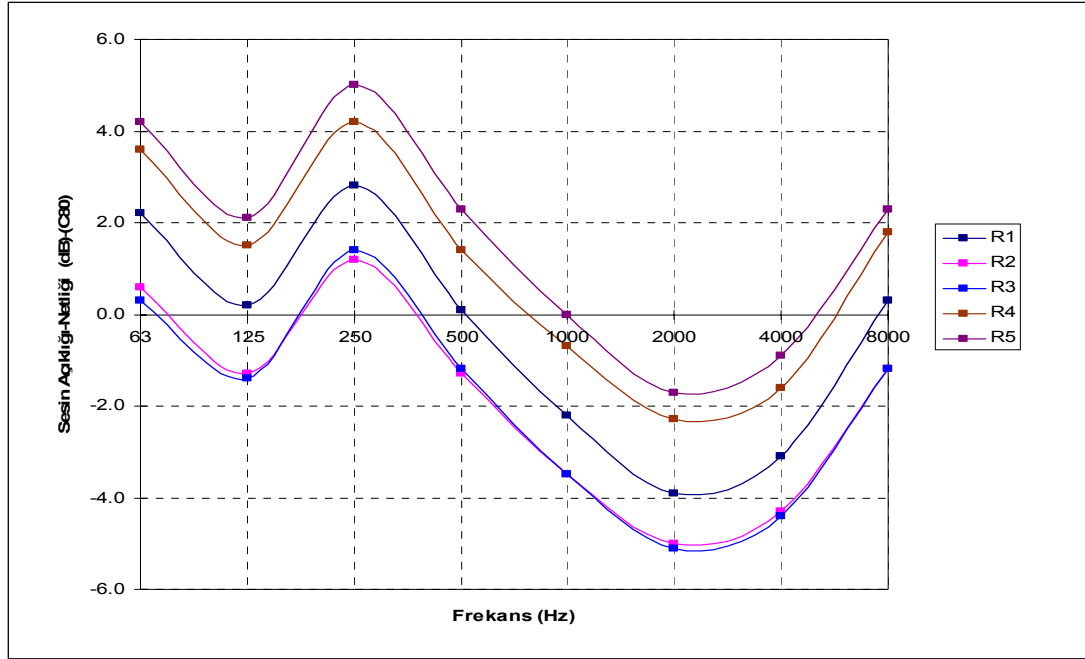
Şekil 4.8: 5 Alıcı için Ses Yüksekliği (G) değerleri.

Tablo 4.5: 5 Alıcı için hesaplanan Ses Yüksekliği (G) değerleri.

SPL (dB)	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	7.9	8.1	7.7	9.8	9.4
125	10.0	10.1	9.8	11.6	11.3
250	7.2	7.7	7.4	9.4	9.1
500	10.2	10.5	10.3	11.9	11.8
1000	12.7	12.9	12.7	14.0	14.0
2000	14.5	14.6	14.4	15.5	15.5
4000	13.8	13.8	13.5	14.8	14.9
8000	10.1	10.1	9.7	11.8	11.8

Analiz sonuçlarına bakıldığında, bütün alıcı noktalarında ses yüksekliği değerlerinin Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edildiği gibi $G > 3$ dB olduğu görülmektedir. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerlerinin -2 ; +10 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Alıcı noktalarında alçak frekanslar hariç değerler bu aralıkta belirtilenden daha yüksektir. Bunun sebebi yanal yansımaların G değerini artırmasıdır. Yan duvara en yakın R4 alıcı noktasında G en yüksek değerlerini almıştır. Hacim çok büyük olmadığı için G değeri düşmemiştir. Mekanda ses yüksekliğinin olması gerekenden fazla olduğu söylenebilir.

Sesin Açıklığı-Netliği (C80) parametresinin hacim içindeki dağılımı



Şekil 4.9: 5 Alıcı için Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.

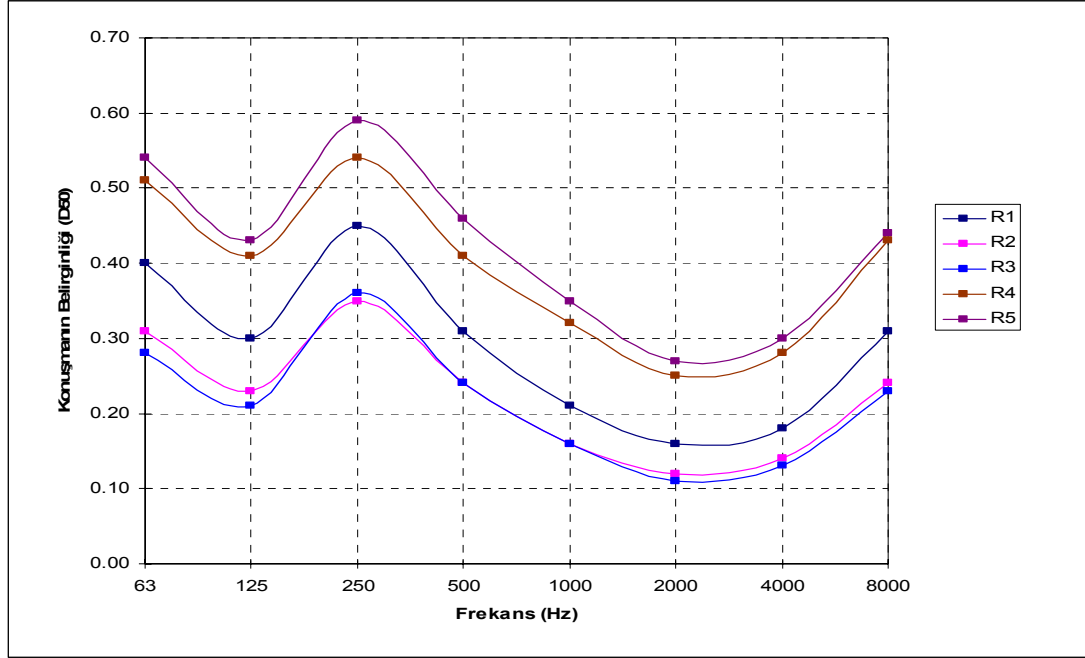
Tablo 4.6: 5 Alıcı için hesaplanan Sesin Açıklığı-Netliği (C80) değerleri.

C80 (dB)	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	2.2	0.6	0.3	3.60	4.2
125	0.2	-1.3	-1.4	1.5	2.1
250	2.8	1.2	1.4	4.2	5.0
500	0.1	-1.3	-1.2	1.4	2.3
1000	-2.2	-3.5	-3.5	-0.7	0.0
2000	-3.9	-5.0	-5.1	-2.3	-1.7
4000	-3.1	-4.3	-4.4	-1.6	-0.9
8000	0.3	-1.2	-1.2	1.8	2.3

Analiz sonuçlarına bakıldığında, sesin açıklığı-netliği değerlerinin birçok alıcı noktasında Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edilen -1 ; +3 dB aralığından daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Alçak frekanslarda bazı alıcı noktalarında C80 değeri belirtilen aralıkta kalmaktadır. ISO/CD 3382-1.2'ye göre sesin açıklığı-netliği değerlerinin -5 ; +5 dB olması gerektiği belirtilmiştir. C80 değeri bütün alıcı noktalarında bu aralıkta kalmaktadır. Ses yüksekliği ile netlik arasında da negatif bir ilişki vardır. Mekanda ses yüksekliği fazla olduğu için C80 değeri azalmıştır. Aynı

negatif ilişki çınlama süresi ile netlik arasında da vardır. T değeri, uzun olmadığı için C80 değerini olumsuz yönde etkilememiştir.

Konuşmanın Belirginliği (D50) parametresinin hacim içindeki dağılımı



Şekil 4.10: 5 Alıcı için Konuşmanın Belirginliği (D50) değerleri.

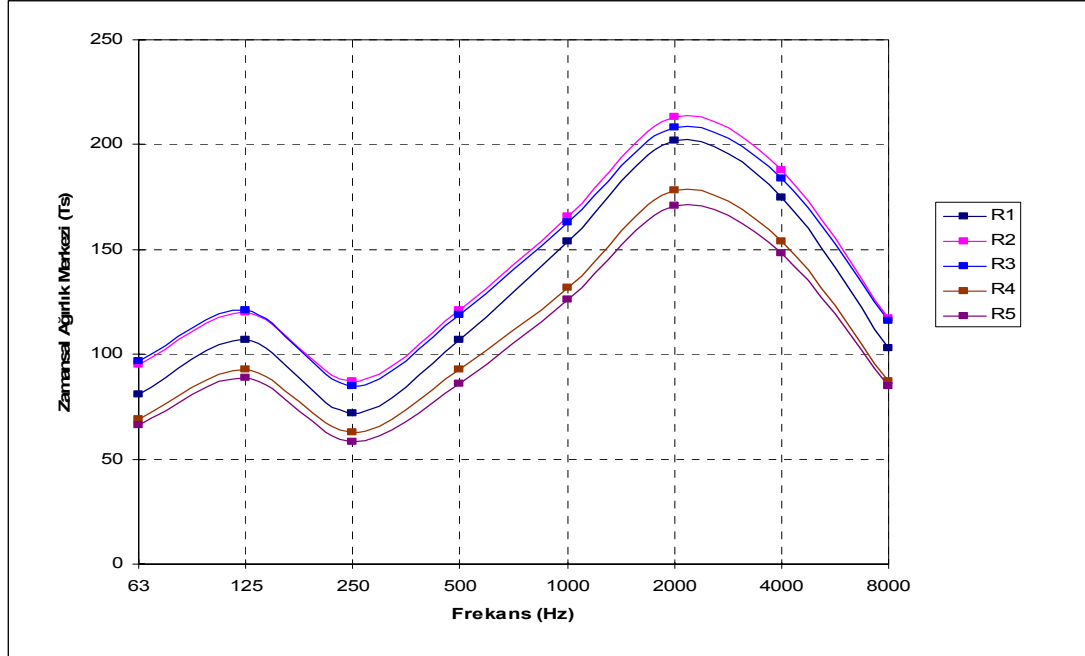
Tablo 4.7: 5 Alıcı için hesaplanan Konuşmanın Belirginliği (D50) değerleri.

D50	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	0.40	0.31	0.28	0.51	0.54
125	0.30	0.23	0.21	0.41	0.43
250	0.45	0.35	0.36	0.54	0.59
500	0.31	0.24	0.24	0.41	0.46
1000	0.21	0.16	0.16	0.32	0.35
2000	0.16	0.12	0.11	0.25	0.27
4000	0.18	0.14	0.13	0.28	0.30
8000	0.31	0.24	0.23	0.43	0.44

Analiz sonuçlarına bakıldığında, konuşmanın belirginliği değerlerinin bütün alıcı noktalarında ISO/CD 3382-1.2’de tavsiye edilen 0.3;0.7 aralığında olduğu görülmektedir. Sahne uzaklığının artmasıyla konuşmanın belirginliği değeri azalmaktadır. Analizler sahnenin hemen önündeki 5 alıcı noktasında yapıldığı için sahneye uzaklık D50 değerlerini olumsuz yönde etkilememiştir. Sadece R3 alıcı

noktasında değerler düşüktür. Bu durumda mekanda konuşmanın belirginliği parametresi değerlerinin yeterli düzeyde olduğu söylenebilir.

Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) parametresinin hacim içindeki dağılımı



Şekil 4.11: 5 Alıcı için Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri.

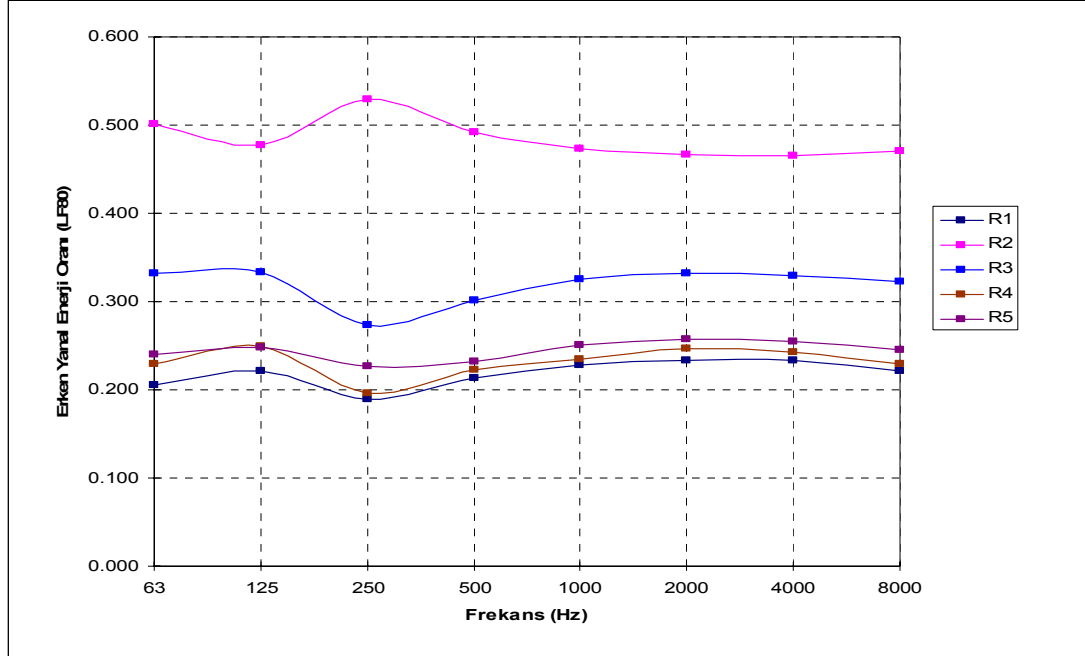
Tablo 4.8: 5 Alıcı için hesaplanan Zamansal Ağırlık Merkezi (TS) değerleri.

Ts (ms)	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	81	95	97	69	66
125	107	120	121	93	89
250	72	87	85	63	58
500	107	121	119	93	86
1000	154	166	163	132	126
2000	202	213	208	178	171
4000	175	188	184	154	148
8000	103	117	116	87	85

Analiz sonuçlarına bakıldığında, zamansal ağırlık merkezi değerlerinin bütün alıcı noktalarında ISO/CD 3382-1.2’de tavsiye edilen 60 ms; 260 ms aralığında olduğu görülmektedir. Bu parametrenin düşük değerler alması, enerjinin büyük bölümünün dinleyiciye erken ulaştığını, böylece sesin Netlik (C80) değerinin arttığını gösterir. Parametrenin yüksek değerleri ise, enerjinin büyük bölümünün direk sestten uzun bir süre sonra ulaştığını, böylece daha çınlayan bir ses ortamının oluştuğunu gösterir.

C80 değeri düşük, T ve EDT değeri belirtilen aralıkta olduğu için mekanda zamansal ağırlık merkezi parametresi değerlerinin yeterli düzeyde olduğu söylenebilir.

Yanal Enerji Oranı (LF80) parametresinin hacim içindeki dağılımı



Şekil 4.12: 5 Alıcı için Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.

Tablo 4.9: 5 Alıcı için hesaplanan Yanal Enerji Oranı (LF80) değerleri.

LF80	Alıcılar				
Frekans	1	2	3	4	5
63	0.205	0.502	0.332	0.229	0.240
125	0.222	0.477	0.334	0.249	0.248
250	0.189	0.529	0.274	0.196	0.227
500	0.213	0.492	0.301	0.223	0.232
1000	0.228	0.474	0.325	0.235	0.251
2000	0.234	0.467	0.332	0.247	0.258
4000	0.233	0.465	0.329	0.243	0.255
8000	0.222	0.471	0.323	0.229	0.246

Analiz sonuçlarına bakıldığında, yanal enerji oranı değerlerinin birçok alıcı noktasında Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edildiği gibi $LF80 > 0.25$ olduğu görülmektedir. R1 ve R5 alıcı noktasında değerler tavsiye edilenden biraz düşüktür. Sahneye olan uzaklığın artmasının ise LF80 üzerinde negatif bir etkisi vardır. Bu noktalar sahneye en uzak konumdadır. ISO/CD 3382-1.2'ye göre yanal enerji oranı değerlerinin 0.05 ; 0.35 olması gerekmektedir. Sadece R2 alıcı noktasında değerler büyük çıkmıştır. Bunun sebebi kaynağı direk görmesi olabilir. Hacmin büyük olması

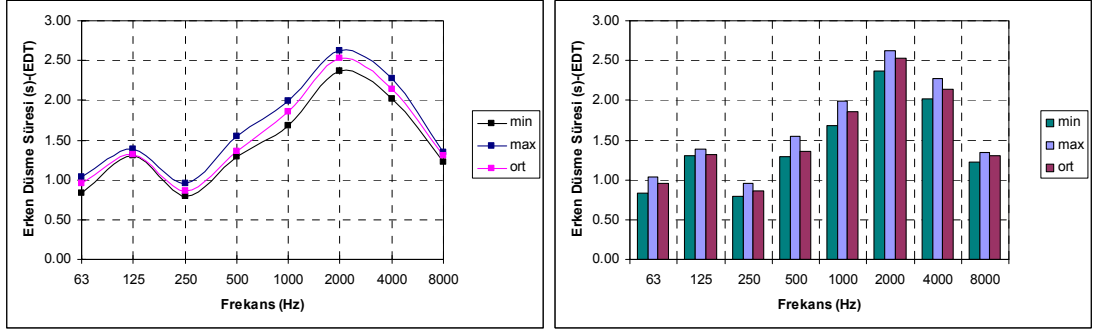
LF80 değerini azaltır. Analiz sonuçlarına göre mekan boyutlarının uygun olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında mekanda yanal yansımaların dağılım homojenliğini bozmadığı söylenebilir.

4.1.3.2 Hesaplanan Parametrelerin Mevcut Durum ve Önerilen Değerlerle Karşılaştırılması

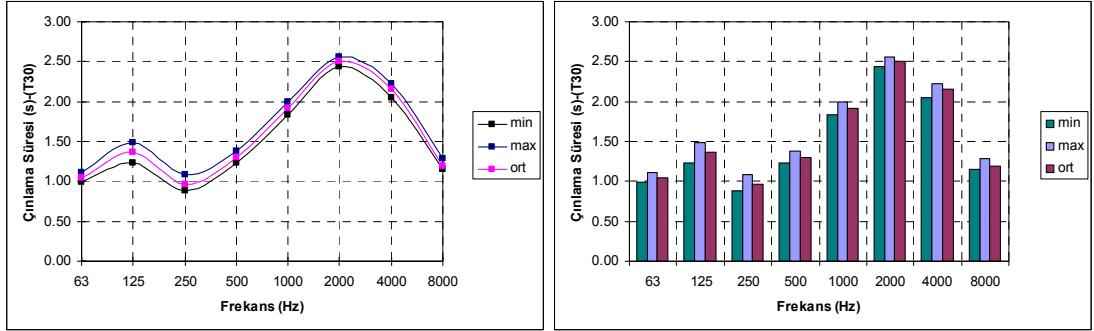
Yerebatan Sarnıcının akustik performansını düzenlemeye yönelik öneri geliştirildikten sonra parametre değerleri yine Odeon 7.0 akustik programı ile hesaplanmıştır. Her parametre için elde edilen analiz sonuçları Bölüm 4.1.3.1’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Tablo 4.10’da bütün parametreler için hesaplanan minimum-maksimum ve ortalama değerler verilmektedir.

Tablo 4.10: 5 Alıcı için hesaplanan parametre değerlerinin minimum-maksimum ve ortalama değerleri.

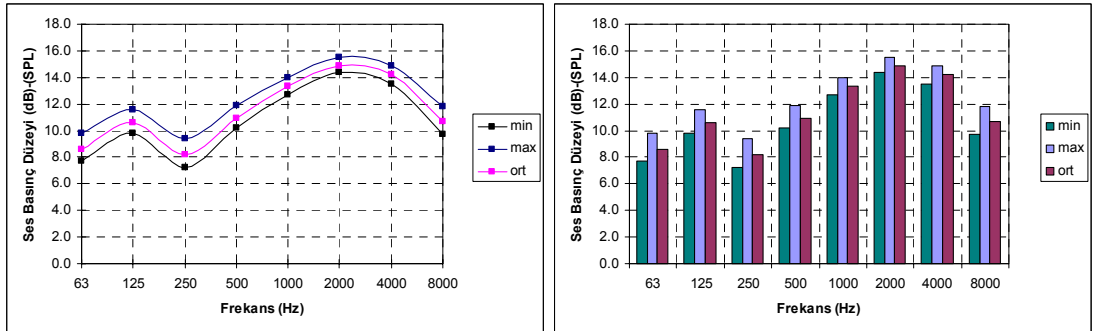
EDT (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.83	1.30	0.79	1.29	1.68	2.37	2.02	1.23
Maximum	1.04	1.38	0.96	1.55	1.99	2.63	2.27	1.34
Ortalama	0.96	1.32	0.86	1.36	1.85	2.53	2.14	1.30
T30 (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.99	1.23	0.89	1.23	1.83	2.44	2.05	1.15
Maximum	1.11	1.48	1.08	1.38	1.99	2.56	2.22	1.29
Ortalama	1.04	1.36	0.97	1.30	1.91	2.51	2.15	1.19
SPL (dB)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	7.7	9.8	7.2	10.2	12.7	14.4	13.5	9.7
Maximum	9.8	11.6	9.4	11.9	14.0	15.5	14.9	11.8
Ortalama	8.6	10.6	8.2	10.9	13.3	14.9	14.2	10.7
C80 (dB)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.3	-1.4	1.2	-1.3	-3.5	-5.1	-4.4	-1.2
Maximum	4.2	2.1	5.0	2.3	0.0	-1.7	-0.9	2.3
Ortalama	2.2	0.2	2.9	0.3	-2.0	-3.6	-2.9	0.4
D50								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.28	0.21	0.35	0.24	0.16	0.11	0.13	0.23
Maximum	0.54	0.43	0.59	0.46	0.35	0.27	0.30	0.44
Ortalama	0.41	0.32	0.46	0.33	0.24	0.18	0.2	0.33
Ts (ms)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	66	89	58	86	126	171	148	85
Maximum	97	121	87	121	166	213	188	117
Ortalama	81	106	73	105	148	194	170	102
LF80 (s)								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0.205	0.222	0.189	0.213	0.228	0.234	0.233	0.222
Maximum	0.502	0.477	0.529	0.492	0.474	0.467	0.465	0.471
Ortalama	0.302	0.306	0.283	0.292	0.303	0.307	0.305	0.298



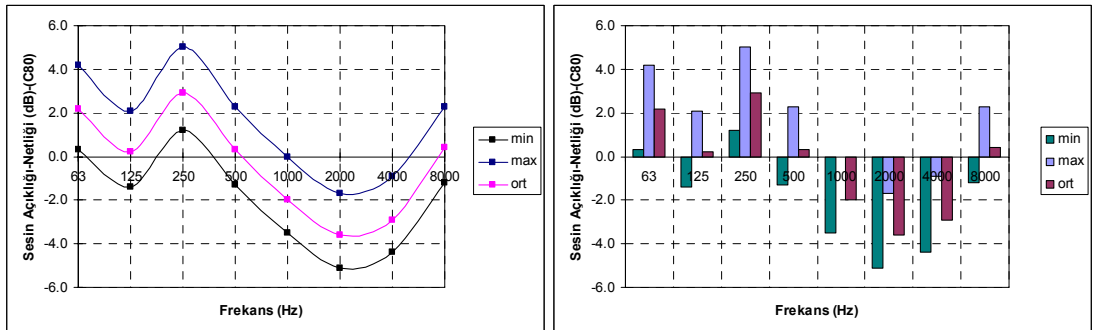
Şekil 4.13: 5 Alıcı için EDT parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



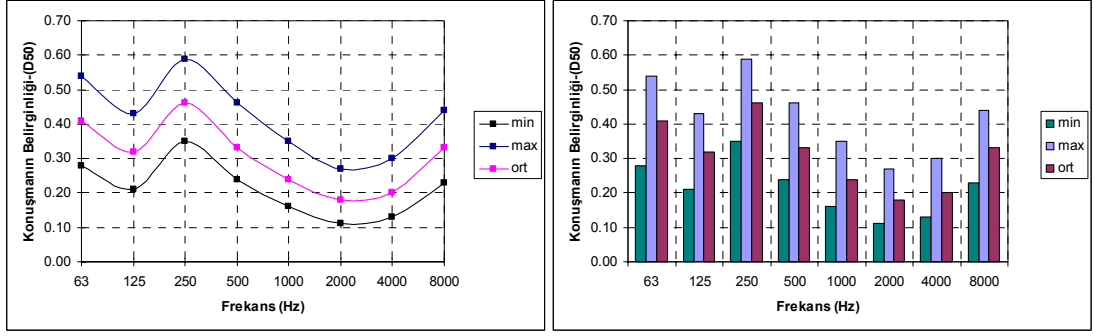
Şekil 4.14: 5 Alıcı için T parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



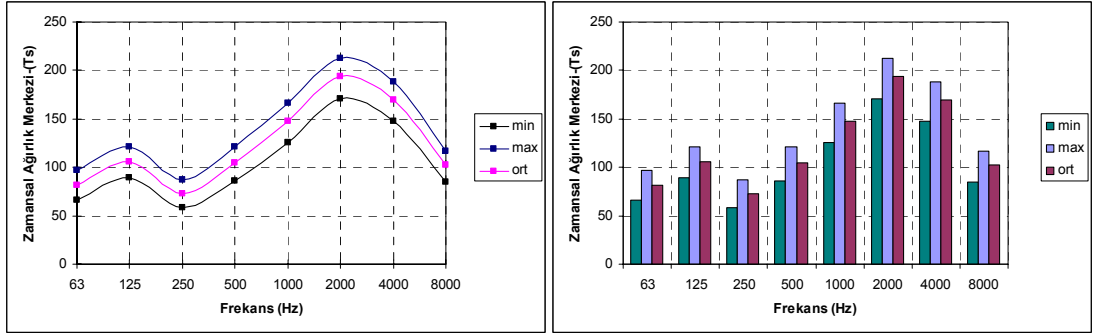
Şekil 4.15: 5 Alıcı için SPL parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



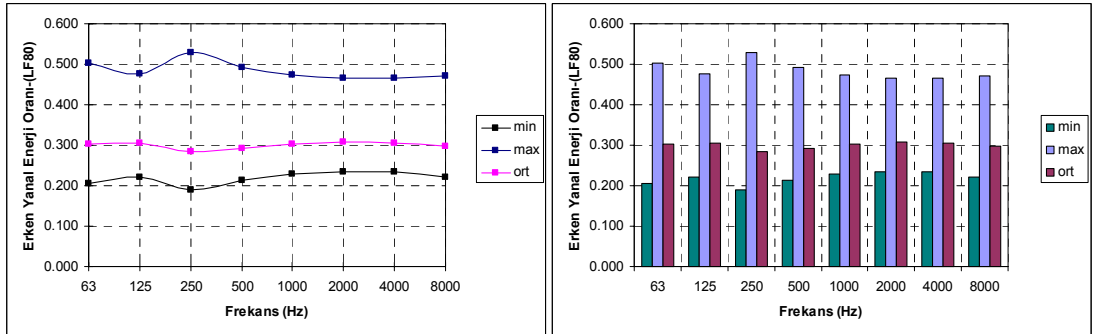
Şekil 4.16: 5 Alıcı için C80 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 4.17: 5 Alıcı için D50 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 4.18: 5 Alıcı için Ts parametresinin min.-max.-ort. değerleri.



Şekil 4.19: 5 Alıcı için LF80 parametresinin min.-max.-ort. değerleri.

Bu değerler mevcut durumda sahne önündeki 5 alıcı noktası için elde edilen değerlerle ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 4.11: 1000 Hz’de hesaplanan parametre değerlerinin önerilen değerler, mevcut durum ve ölçüm sonucu ile karşılaştırılması.

Nesnel Akustik Parametre	Optimum Tolerans Sınırları	Ortaya Koyan Araştırmacı	Odeon Prog. Tolerans Sınırları	ISO/CD 3382 Tolerans Sınırları	Analiz Sonuçları 1000 Hz)	Ölçüm Sonucu (1000 Hz)	Öneri Analiz Sonuçları (1000 Hz)
Erken Düşme Süresi (EDT-s)	1.8 - 2.6 1.5 - 2.0 1.6 1.8 - 2.2 1.8 - 2.1 ± % 10xT	Jordan Cremer Gade Barron Hyde Gimenez	-	1.0 ; 3.0 s	2.71 s	-	1.85 s
Çınlama Süresi (T-s)	1.4 - 2.8 1.6 - 2.2 1.7 - 2.0 2.0 - 2.5 2.0 - 2.4 >1.9 1.7 - 2.4	Jordan Cremer Beranek Barron Hyde Hilbert Gimenez	1.7 ; 2.3 s	-	4.83 s	10.09 s	1.91 s
Konuşmanın Belirginliği (D50-%)	0.34 0.56 0.4 - 0.6 0.45 - 0.55	Cremer Bradley Gimenez Hilbert	-	0.3 ; 0.7	0.24	-	0.24
Netlik, Açıklık (C80-dB)	0 (ideal değer) -4 - 0 -2 - +2 -1 - +1	Cremer Beranek Barron Hyde	-1 ; 3 dB	-5 ; +5 dB	-2.9 dB	-	-2.0 dB
Zamansal Ağırlık Merkezi (Ts-ms)	130< 140<	Cremer Cremer	-	60 ; 260 ms	191 ms	-	148 ms
Ses Yüksekliği (G-dB)	>0 3 - 5 0.30 - 0.35 0 - 2.5 -3 - 5	Barron Beranek Hilbert Hyde Nagata	> 3 dB	-2 ; +10 dB	8.4 dB	-	13.3 dB
Yanal Enerji Oranı (LF80)	0.1 - 0.35 0.15 - 0.25 0.35 - 0.40 0.26 0.2	Barron Hyde Hilbert Jordan Gimenez	> 0.25	0.05 ; 0.35	0.294	-	0.303

- Analiz sonuçlarına bakıldığında, Yerebatan Sarnıcı’nda geliştirilen öneride erken düşme süresi (EDT) parametresinin 1.85 s olduğu görülmüştür. EDT parametresi tavsiye edilen 1-3 s aralığında bir değer almıştır. Çınlama arttıkça EDT değeri de artmaktadır. Sesin açıklığı-netliği (C80) ile ters orantılıdır. Sonuçlar standartlarda belirtilen aralıkta olduğu için C80 parametresini fazla etkilememiştir. Bu durumda, EDT parametresinin uygun olması mekanın yaygın bir ses alanına sahip olduğunu ve mekan geometrisinin uygun seçildiğini gösterir. Mevcut durum analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında mekanın akustik kalitesinin arttığı söylenebilir.

- Analiz sonuçlarına bakıldığında, geliştirilen öneride çınlama süresi (T30) parametresinin 1.91 s olduğu görülmüştür. T30 parametresi tavsiye edilen 1.7-2.3 s aralığından bir değer almıştır. Çınlama süresi (T) değerlerinin değişimi, EDT'ye paraleldir. Uzun T değeri küçük bir C80 değeri verir ve canlılık, orta ve yüksek frekanslarda T ile ilişkilidir. T değeri standartlara uygun olduğu için sesin açıklığı-netliği söz konusudur. T uzun olmadığı için mekan canlı olarak nitelendirilemez. Mevcut durum analiz sonuçları ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında mekanın akustik kalitesinin arttığı söylenebilir.
- Analiz sonuçlarına bakıldığında, geliştirilen öneride ses yüksekliği (G) parametresinin 13.3 dB olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerinin -2 ; +10 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında ise tavsiye edilen ses yüksekliği değeri $G > 3$ dB'dir. Ses yüksekliği (G) parametresi salon hacmi ile ters, EDT ve T ile doğru orantılıdır. Bu durumda ses yüksekliği değeri ISO/CD 3382-1.2'ye göre yüksektir. Odeon 7.0 programına göre ise yeterlidir. EDT ve T değerlerinin uygun olmasına rağmen yanal yansımalar G değerinin artmasına sebep olmuştur. Mekan hacminin çok büyük olmaması ses yüksekliği değerini azaltmamıştır. Mevcut durum analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında mekanda ses yüksekliği değerinin fazla olduğu söylenebilir.
- Analiz sonuçlarına bakıldığında, geliştirilen öneride sesin açıklığı-netliği (C80) parametresinin -2 dB olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre sesin açıklığı-netliği değerinin -5 ; +5 dB olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında ise tavsiye edilen C80 değeri -1 ; +3 dB'dir. Sesin açıklığı-netliği (C80) parametresi, çınlama süresi ve ses yüksekliği ile ters orantılıdır. Hacim ve yüksekliğin negatif bir etkisi vardır. Bu durumda, çınlama süresi uygun olduğu halde C80 değeri standartlarda tavsiye edilen değerlere göre düşüktür. Ses yüksekliğinin fazla olması C80 değerini azaltmıştır. Mekan hacim ve yüksekliğinde yapılacak değişikliklerle parametre uygun değere getirilebilir. Mevcut durum analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, C80 değerinin iyileştirildiği görülmektedir fakat hala mekanda ses açıklığı-netliği yeterli düzeyde değildir.

- Analiz sonuçlarında, geliştirilen öneri için konuşmanın belirginliği (D50) parametresinin 0.24 olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre ses yüksekliği değerinin 0.3;0.7 olması gerekmektedir. Konuşmanın belirginliği parametresinde sahneye uzaklık önemlidir. Analizlerin yapıldığı alıcı noktalarının sahneye uzaklıkları fazla olmamasına rağmen D50 değeri standartlarda tavsiye edilen değerlere göre düşüktür. Mevcut durum analizleriyle karşılaştırıldığında, D50 değerinde düzelme olduğu görülmektedir fakat hala konuşmanın belirginliği değerleri yeterli düzeyde değildir.
- Analiz sonuçlarında, geliştirilen öneri için zamansal ağırlık merkezi (TS) parametresinin 148 ms olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre zamansal ağırlık merkezi değerinin 60 ; 260 ms olması gerektiği belirtilmiştir. Bu parametre çınlama süresi ve erken düşme süresi ile pozitif, netlik parametresi ile negatif bir ilişkiye sahiptir. Çınlama ve erken düşme süresi uygun olduğu için parametre standartlara uygun bir değer almıştır. Parametre değeri yüksek olduğu için C80 değeri düşüktür. Mevcut durum analizleriyle karşılaştırıldığında, TS değerinin oldukça düzeldiği görülmektedir. Mekanda zamansal ağırlık merkezi parametre değerleri yeterli düzeydedir.
- Analiz sonuçlarında, geliştirilen öneri için yanal enerji oranı (LF80) parametresinin 0.303 olduğu görülmüştür. ISO/CD 3382-1.2'ye göre yanal enerji oranı değerinin 0.05;0.35 olması gerektiği belirtilmiştir. Odeon 7.0 analiz programında tavsiye edilen değer $LF80 > 0.25$ 'dir. Yan duvar uzaklığı ve sahneye olan uzaklığın artması parametreyi olumsuz etkilemektedir. Parametre standartlara uygun bir değer aldığı için geliştirilen öneride mekan boyutlarının uygun olduğu söylenebilir. Mevcut durum analizleriyle karşılaştırıldığında, LF80 değerinin düzeldiği görülmektedir. Mekanda yanal enerji oranı parametre değerleri yeterli düzeydedir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tez çalışması boyunca incelenen bölümlerde Yerebatan Sarnıcı'nın akustik kalitesi hacim akustiği parametreleri bakımından değerlendirilmiştir. Bu incelemeler sırasında sarnıcın üç boyutlu bir modeli yapılarak simülasyon programında analizler yapılmıştır. Sonrasında yerinde ölçümler yapılarak elde edilen veriler karşılaştırılmış ve bir öneri geliştirilmiştir. Geliştirilen öneri tekrar modellenerek simülasyon programında değerlendirilmiş ve standartlarla karşılaştırılmıştır. Simülasyon programı ile yapılan analizler ve yerinde ölçüm yapılmasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde hacim akustiği parametreleri için aşağıdaki değerlendirme yapılabilir.

Erken Düşme Süresi (EDT)

- Erken Düşme Süresi, 60 dB'lik sesin ilk 10 dB'lik kısmının sönümlenmesi için geçen süre olarak tanımlanır. Düşmenin ilk kısmı canlılık ile ilişkilidir. Hacim geometrisinden etkilenir. Hacmin büyük olması nedeniyle uzunluğun fazla olduğu noktalarda EDT değeri azalmaktadır. Genişlik ve yüksekliğin artması da EDT değerini azaltmaktadır. Mevcut durum için, bütün mekan boyunca kaynağa olan uzaklığın artması EDT parametresini artırırken geliştirilen öneride kaynağa uzaklığın artması EDT değerini azaltmıştır.
- Mevcut durum için yan duvarlara yakın noktalarda EDT değeri azalırken geliştirilen öneride yan duvarlardan gelen yansımaların etkisi ile EDT değerinde artış görülmektedir. EDT değeri Yerebatan Sarnıcı'nda standartlarda tavsiye edilen değerlerden fazladır. EDT'nin yüksek olması canlılığı artırmakta, netlik ve açıklığı azaltmaktadır.
- EDT üzerinde en etkili parametre çınlama süresidir ve çınlama arttıkça EDT değeri de artmaktadır. Yeterince yaygın ses alanına sahip bir hacimde EDT değeri çınlamaya bağlı olarak hesaplanabilir.

Çınlama Süresi (T20-T30)

- Çınlama Süresi, bir mekanın akustik özelliklerini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Çınlama süresi (T) değerlerinin değişimi, EDT'ye paralel olmaktadır. Normalde EDT değerinin değişimi yaygın bir ses alanına sahip ortamlarda T'ye eşit veya T'den ± 0.2 sn farklı olması beklenir.
- Mevcut durum için yapılan analizlerde T değerinin standartlarda belirtilenden yüksek olduğu görülmüştür. Ölçüm sonucuna göre ise T değeri oldukça yüksektir. EDT ile aralarında büyük bir fark olduğu için yaygın bir ses alanının varlığı söz konusu değildir. Simülasyon değeri, ölçüm sonuçlarından daha düşük çıkmaktadır. Geliştirilen öneride ise T değeri tavsiye edilen aralıktadır.
- Çınlama süresi ile netlik arasındaki ilişki ters orantılıdır. Çınlama süresi ile erken düşme süresi, merkez zamanı ve yanal enerji oranı parametresinin dağılım düzgünlükleri arasındaki ise doğru orantılıdır. Çınlama süresi ile bu üç parametre dağılımları arasındaki ilişki erken düşme süresinden yanal enerji oranına doğru giderek azalmaktadır.

Ses Yüksekliği (G)

- Direkt sesin gücü ile çınlayan sesin gücünden oluşur. Salon hacmi ile ters, EDT ve T ile doğru orantılıdır. Ses basınç düzeyi ve ses gücü düzeyine bağlı olan bu parametre, büyük salonlarda daha düşük; küçük salonlarda daha yüksek değerler alır.
- Genişlik, uzunluk, yükseklik değerlerinin artması yani hacmin büyümesi G değerini düşürmüştür. Hacim büyük olduğu için sahneye uzaklık arttıkça G değeri azalmıştır. Yanal yansımalar G değerini artırmaktadır. Mevcut durumda ve geliştirilen öneride yan duvarlara yakın alıcı noktalarında G değerinin arttığı görülmektedir. Mevcut durumda ve geliştirilen öneride G değeri standartlarda tavsiye edilen aralıktadır. Yerebatan Sarnıcı'nda G değerleri yeterli düzeydedir.

Sesin Açıklığı-Netliği (C80)

- Mekan içindeki alıcı noktalarının etkisinin en fazla görüldüğü parametrelerden biridir. Hacim ve yüksekliğin C80 üzerinde negatif bir etkisi vardır.

- Salonda ses yüksekliği ile netlik arasında ve çınlama süresi ile netlik arasında negatif bir ilişki vardır. Mevcut durumda ses yüksekliği ve çınlama süresinin fazla olması C80 değerini azaltmıştır. Geliştirilen öneride çınlama süresi standartlara uygun olduğu halde ses yüksekliği fazla olduğu için C80 değeri düşmüştür. Normalde yan duvarlardan gelen kuvvetli yanal yansımalar C80 değerini düşürür. Mevcut durumda ve geliştirilen öneride yanal yansımaların etkisi çok görülmemektedir.
- Mevcut durumda alıcıların sahneye olan uzaklığı arttıkça netlik değeri azalmaktadır, geliştirilen öneride ise böyle bir etki görülmemektedir. Mevcut durum ve geliştirilen öneri standartlar ile karşılaştırıldığında, C80 değerinin iyileştirildiği görülmektedir fakat hala mekanda ses açıklığı-netliği yeterli düzeyde değildir.

Konuşmanın Belirginliği (D50)

- Belirginlik parametresi ilk 50 ms'lik zaman dilimi içerisinde alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranı şeklinde tanımlanmaktadır.
- Sahneye uzaklığın artmasıyla belirginlik parametresi azalmaktadır. Mevcut durumda, sahneye yakın 5 alıcı noktasında değerler yüksek çıkarken diğer 10 alıcı noktasında çok düşüktür. Yani genel olarak D50 değeri yeterli düzeyde değildir. Geliştirilen öneride ise analizler sahnenin hemen önündeki 5 alıcı noktasında yapıldığı için sahneye uzaklık parametreyi olumsuz yönde etkilememektedir. Genel olarak D50 değeri yeterli düzeydedir.

Zamansal Ağırlık Merkezi (TS)

- Zamansal ağırlık merkezi parametresi mekan içerisinde belirli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirler. Parametrenin yüksek olması, enerjinin büyük bölümünün direk sesten uzun bir süre sonra ulaştığını, böylece daha çınlayan bir ses ortamının oluştuğunu göstermektedir. Düşük olması ise, enerjinin büyük bölümünün dinleyiciye erken ulaştığını, böylece C80 değerinin arttığını gösterir.

- Çınlama süresi ve erken düşme süresi ile pozitif, netlik parametresi ile negatif bir ilişkiye sahiptir. Mevcut durumda, T ve EDT değerleri yüksek C80 değeri düşük olmasına rağmen TS değeri standartlarda belirlenen aralıktan çok yüksektir. Geliştirilen öneride ise C80 değeri düşük, T ve EDT değeri belirtilen aralıkta olduğu için mekanda zamansal ağırlık merkezi parametresi değerlerinin yeterli düzeyde olduğu söylenebilir.
- Normalde yan duvara yakın noktalarda TS değerlerinin yüksek olması gerekir. Mevcut durumda, duvardan gelen ilk yansımaların enerjisinin az olması sahneye uzaklık gibi başka geometrik parametrelerin etkisinin dikkate alınmasını da gerektirir. Burada sahneye en yakın alıcı noktalarında parametre düşük değerler almıştır. Geliştirilen öneride ise böyle bir etki görülmemiştir.

Yanal Enerji Oranı (LF80)

- Hacmin yan yüzeylerinden gelen enerjinin toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanır. Genişlik ile oldukça ilişkilidir, yan duvar uzaklığı arttıkça parametre değerleri azalır. Yerebatan Sarnıcı hacminin büyük olması parametreyi olumsuz etkilemektedir.
- Kuvvetli yanal yansımalar LF80 değerini artırır. Mevcut durumda salonun neresinde olursa olsun yan duvara yakın alıcı noktalarda parametre değeri artmıştır. Sahneye olan uzaklığın artmasının ise LF80 üzerinde negatif bir etkisi vardır. Geliştirilen öneride sahneye uzak alıcı noktalarında değerler düşük çıkmıştır, fakat mekanda yanal yansımaların dağılım homojenliğini bozmadığı söylenebilir.

Sonuç olarak Yerebatan Sarnıcı'nda mevcut durumda, analizler sonucu elde edilen hacim akustiği parametreleri tavsiye edilen değerlere uygun değildir. EDT ve T değeri oldukça yüksekken C80 değeri çok düşüktür. D50 değeri düşük olduğundan anlaşılabilirlik de düşüktür. TS değerinin yüksek olması C80 değerini düşürmektedir. Mekanın hacmi çok büyük olmasına rağmen G değeri yeterli düzeydedir. LF80 değeri ise sadece bazı alıcı noktalarında yeterlidir. Geliştirilen öneride parametre değerleri C80 ve D50 değeri dışında yeterli düzeydedir. EDT, T, TS ve LF80 değerleri standartlarda tavsiye edilen aralıktadır.

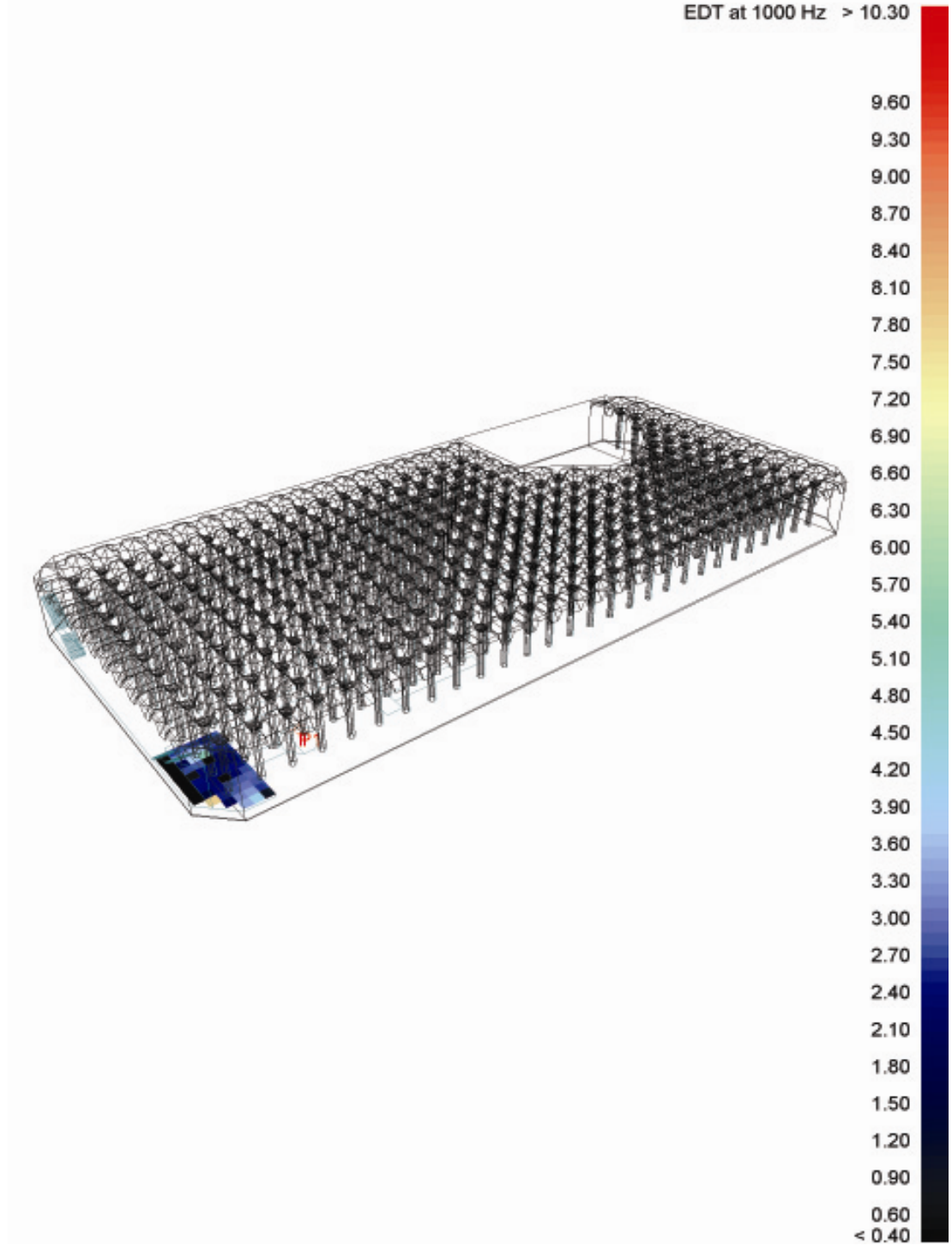
KAYNAKLAR

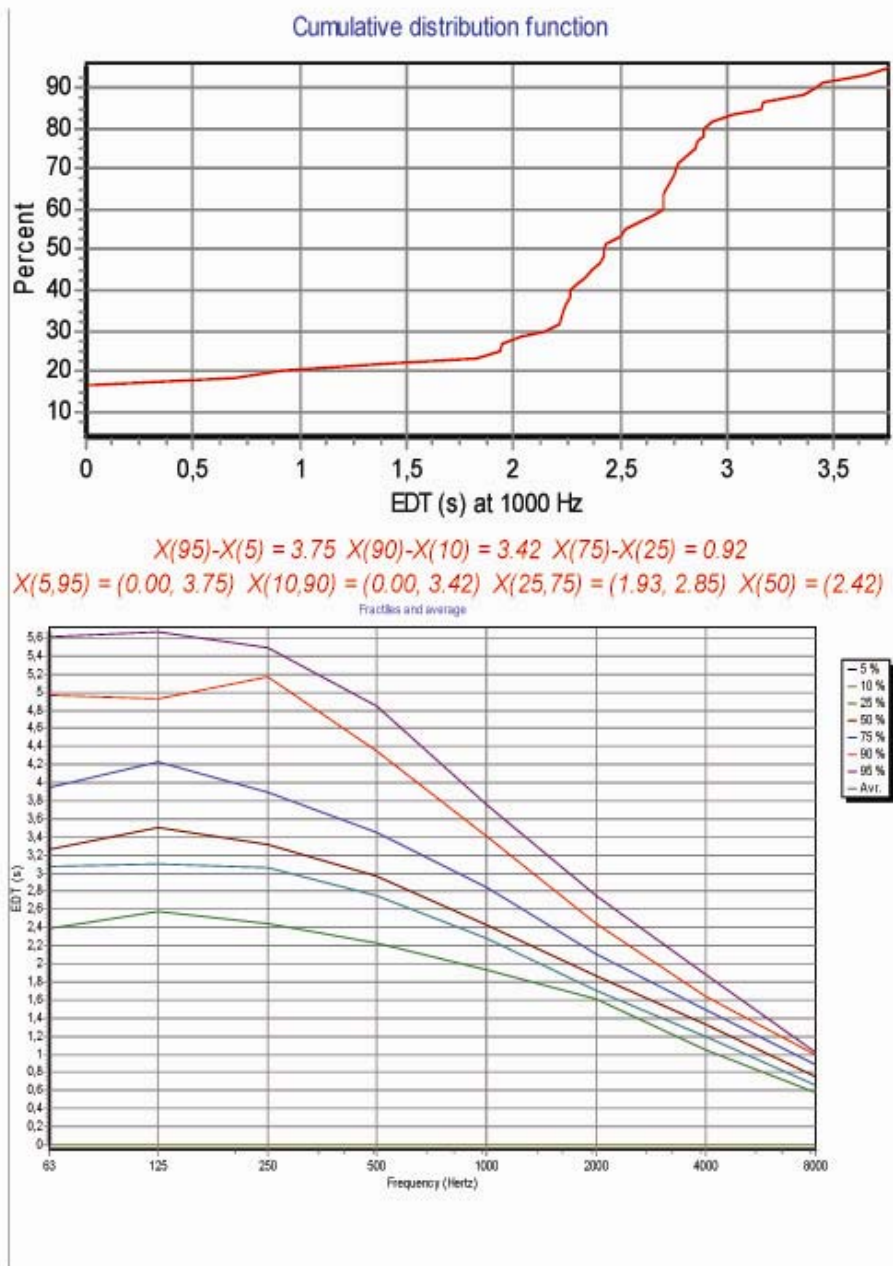
- [1] **Müller-Wiener, W.**, 2002, İstanbul'un Tarihsel Topografyası: 17. Yüzyıl başlarına kadar Byzantion-Konstantinopolis-İstanbul, YKY, İstanbul.
- [2] **Damran, E.**, 2005, Tarihin Havuzunda Serinlemek, Sea Life, İDO, İstanbul.
- [3] <http://www.yerebatan.com/itarihce.html>
- [4] <http://www.ibb.gov.tr/index.htm>
- [5] http://www.lonelyplanet.com/destinations/middle_east/istanbul/obt.htm#basilica
- [6] <http://www.frommers.com/destinations/istanbul/A24348.html>
- [7] www.denizakyuz.com
- [8] **Demirkale Yılmaz, S.**, 1999, Isı-Ses-Yangın-İzolasyon, İzocam, İstanbul, İstanbul.
- [9] **Lawrence, A.**, 1989, Acoustics and The Built Environment, Elsevier Science Publishers Ltd., New York.
- [10] **Bayazıt Tamer, N.**, 1999, Dikdörtgen Kesitli Konser Salonlarının Akustik Değerlendirmesi için Bir Tasarım Yöntemi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J.**, xxx, Architectural Acoustics: Principles and Design, Prentice Hall.
- [12] **Moore, J. C.**, 1978, Design for Good Acoustics and Noise Control, MacMillan Education Ltd., Hong Kong.
- [13] **Beranek, L. L.**, 1962, Music, Acoustics and Architecture, John Wiley&Sons Inc., New York: Wiley.
- [14] **Yıldırım, E.**, 2003, Yeni Cami'nin Akustik Açısından Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Deolle, L. J.**, 1972, Environmental Acoustics, McGraw Hill, New York.
- [16] <http://www.concerthalls.unomaha.edu/discussion.htm>

- [17] **Johnson, R., Kahle, E. and Esert, R.,** 1995, Variable Coupled Cubage for Music Performance, Music and Concert Hall Conference, Japan.
- [18] <http://www.noisecontrol.net/architectural.htm>
- [19] <http://www.bkla.com/reverb.htm>
- [20] **Pelorsen, X., Vian, J. P. and Polack, J. D.,** 1992, On the Variability of Room Acoustical Parameters: Reproducibility and Statistical Validity, Applied Acoustics, Vol 37, pt. 3, s. 175-198.
- [21] **Fujimoto, H. F. K., Higa, C. Y. J. N.,** 2001, Arrival Direction of Late Sound and Listener Envelopment, Applied Acoustics, Vol. 62, pt. 2, s. 125-136.
- [22] **Baron, M.,** 1993, Auditorium Acoustics and Architectural Design, E&FN Spon, London.
- [23] **Egan, M. D.,** 1988, Architectural Acoustics, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [24] <http://www.yaziyaz.com/forum/showthread.php?t=720>
- [25] <http://www.meyersound.com/support/papers/speech/>
- [26] <http://www.acoustics.hut.fi/~slemmet/dippa/chap10.html>
- [27] **Everest, A.,** 2001, The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, New York.
- [28] <http://www.bruel-ac.com/RASTI.HTM>
- [29] **Tisseyre, A., Moulinier, A., Rouard, Y.,** 1998, Intelligibility in Various Rooms: Comparing Its Assessment by (RA)STI Measurement with a Direct Measurement Procedure, Applied Acoustics, Vol. 53, No. 1-3, s. 179-191.
- [30] **Diaz, C., Velazquez, C.,** 1995, A Live Evaluation of the RASTI-Method, Applied Acoustics, Vol. 46, s. 363-372.
- [31] **Simons, M. W., Waters, J. R.,** 2004, Sound Control in Buildings, A Guide to Part E of the Building Regulations, Blackwell Publishing, Oxford.

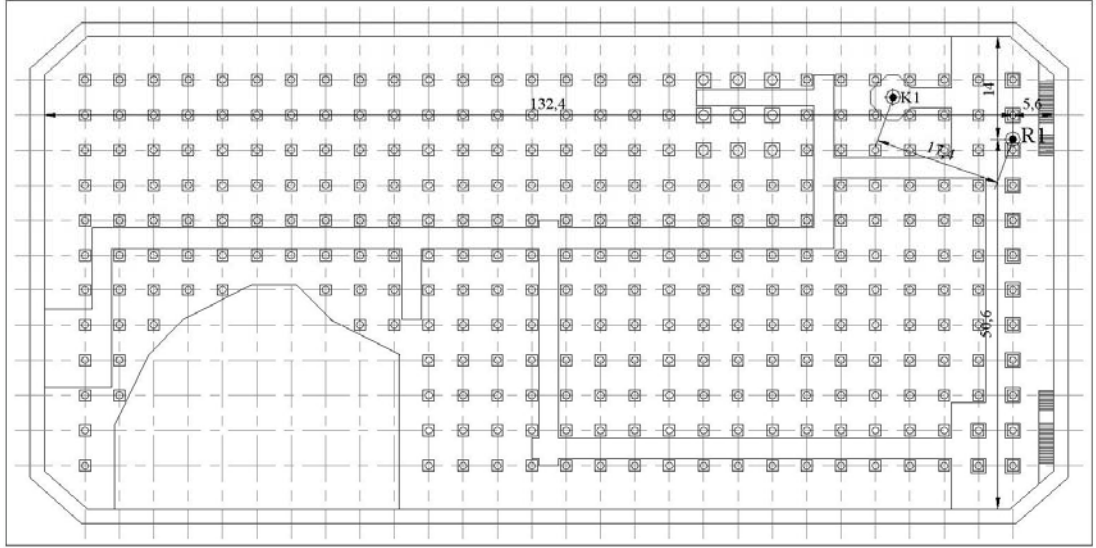
- [32] **Rettinger, M.**, 1988, Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, A Manual for Architects and Engineers, TAB Boks Inc, USA.
- [33] **Steeneken, H. J. M.**, The Measurement of Speech Intelligibility, TNO Human Factors, Soesterberg, Netherlands.
- [34] **Aknesil Erdem, A.**, 1998, Salonların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesinde Akustik Koşul Dağılımlarının Öneminin Ortaya Konulması ve İrdelenmesine Yönelik Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] **ISO/CD 3382-1.2**, 2005. Measurement of room acoustic parameters-Part 1: Performance spaces, *International Standard*, Switzerland.
- [36] **Christensen, C. L.**, 2005, Odeon Room Acoustics Program Version 7.0, User Manual, Denmark.
- [37] **Budak, A.**, 1994, Atatürk Kültür Merkezi Büyük Salonu'nun Akustik Açidan Performansının Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] <http://www.kemt.fei.tuke.sk>
- [39] <http://www.rpgdiffusor.com>
- [40] **Yaşaroğlu, K.**, 2006, Açık Hava Tiyatrolarının Akustik Açidan Değerlendirilmesi: İstanbul Cemil Topuzlu Açık Hava Tiyatrosu Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**EK A. BELİRLLENEN DİNLEYİCİ BÖLGE KAFESİ İÇİN ODEON 7.0
SİMÜLASYON PROGRAMI TARAFINDAN HESAPLANAN PARAMETRE
DEĞERLERİ**





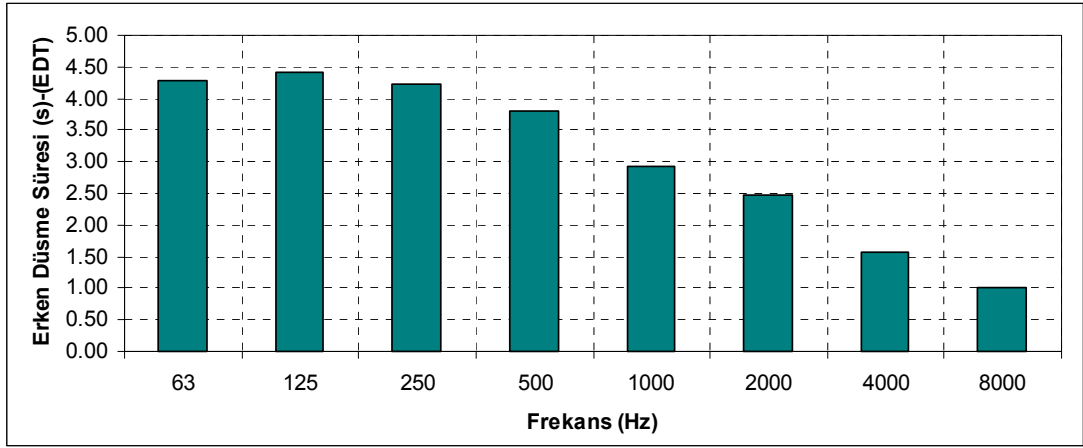
**EK B. 15 ALICI NOKTASI İÇİN ODEON 7.0 SİMÜLASYON PROGRAMI
TARAFINDAN HESAPLANAN PARAMETRE DEĞERLERİ**



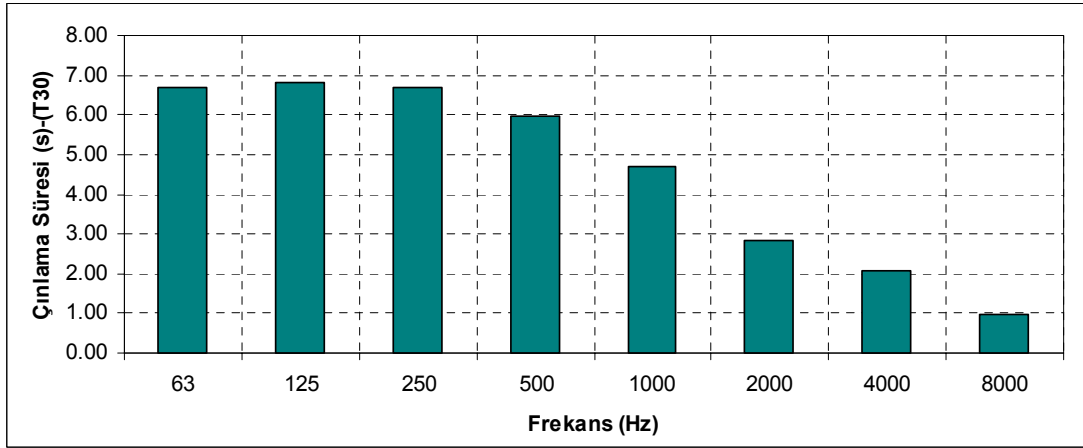
Şekil B.1: 1. Alıcının (R1) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.

Tablo B.1: 1. Alıcı (R1) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

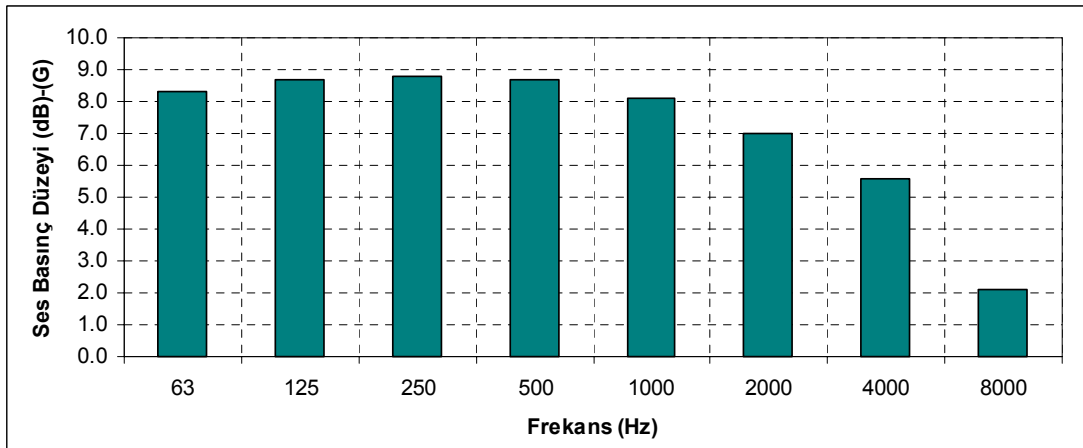
Alıcı Numarası: R1								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4.27	4.42	4.23	3.80	2.93	2.48	1.58	1.01
T30 (s)	6.68	6.83	6.68	5.95	4.70	2.85	2.07	0.96
SPL (dB)	8.3	8.7	8.8	8.7	8.1	7.0	5.6	2.1
C80 (dB)	-3.6	-4.0	-4.0	-3.8	-3.1	-1.9	-0.3	3.5
D50	0.19	0.18	0.17	0.18	0.21	0.25	0.32	0.51
Ts (ms)	262	277	272	253	216	168	122	63
LF80	0.206	0.209	0.211	0.211	0.210	0.205	0.200	0.179
SPL(A) = 13.7 (dB)								
LG80* = 8.9 (dB)								
STI = 0.41 T30'a dayanan teorik, STI = 0.34								



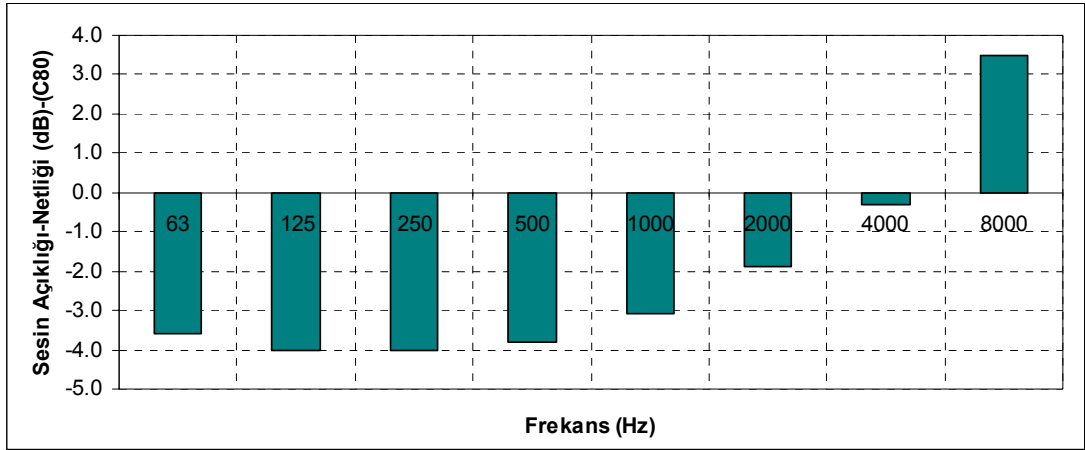
Şekil B.2: R1 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



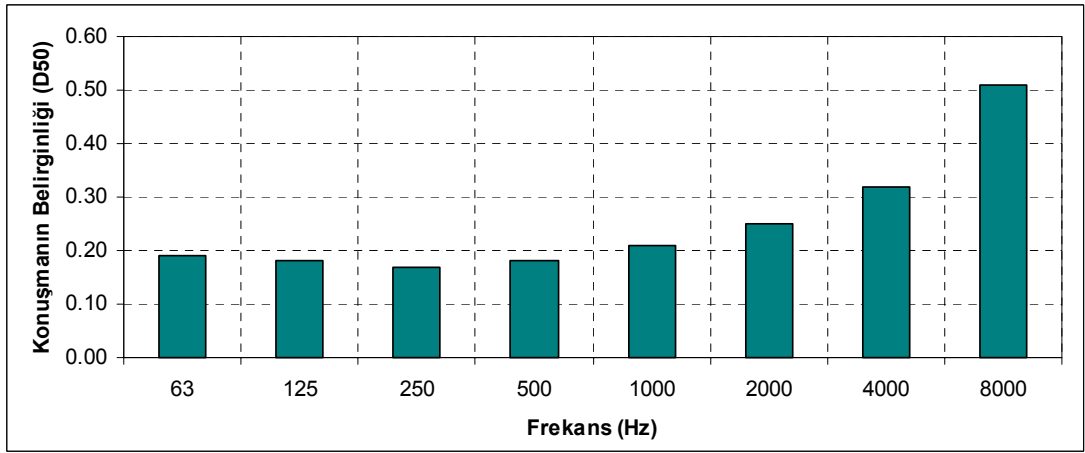
Şekil B.3: R1 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



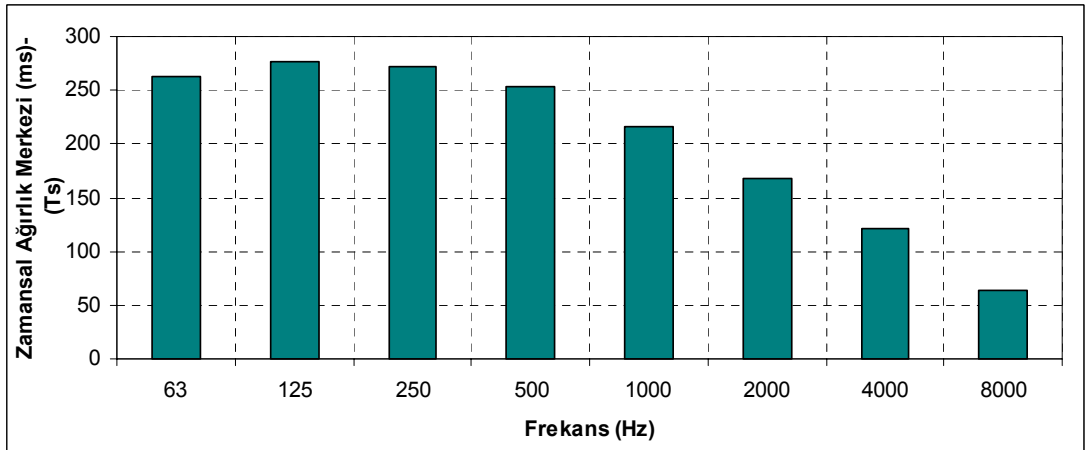
Şekil B.4: R1 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



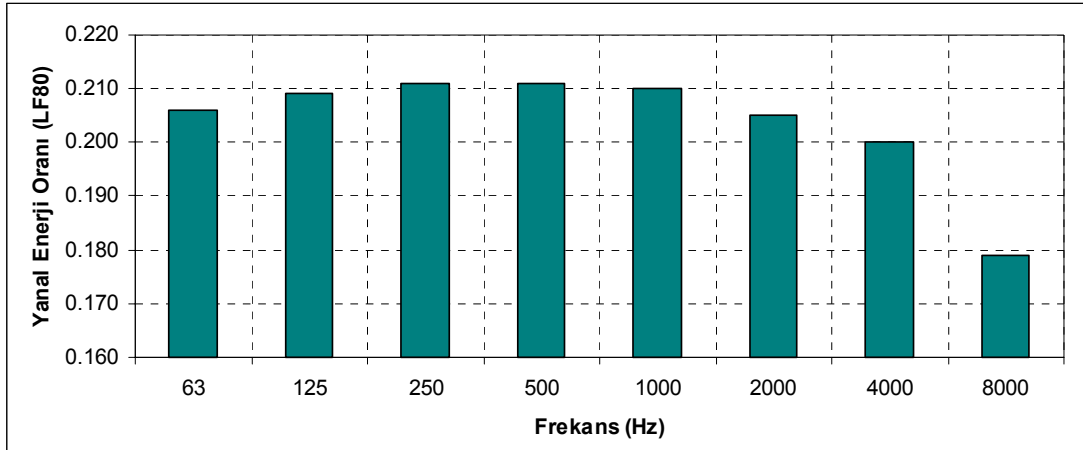
Şekil B.5: R1 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



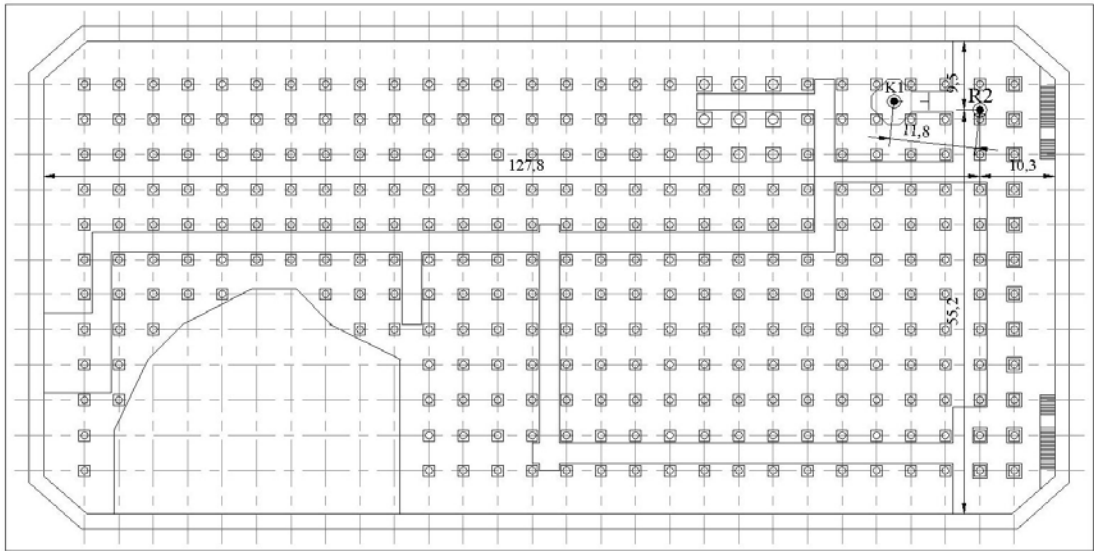
Şekil B.6: R1 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.7: R1 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



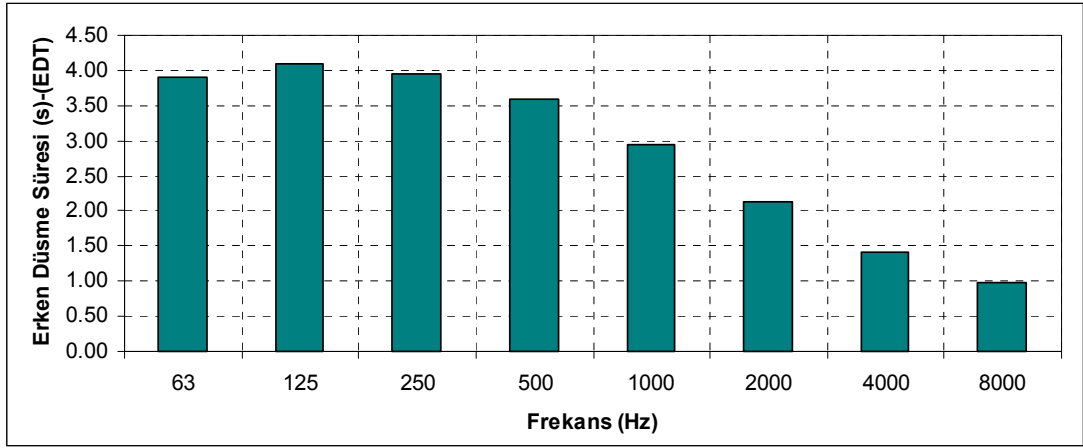
Şekil B.8: R1 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



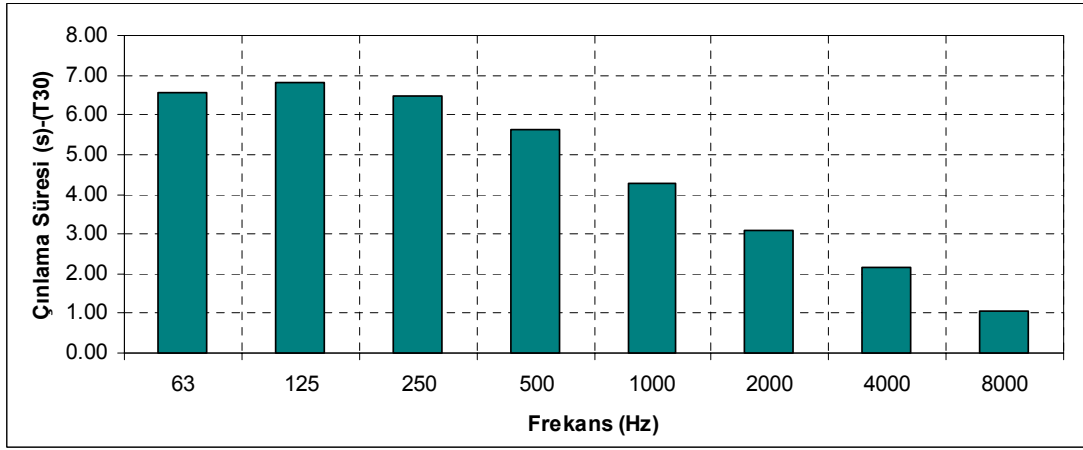
Şekil B.9: 2. Alıcının (R2) Yerebatan Sarıncı planında konumu.

Tablo B.2: 2. Alıcı (R2) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

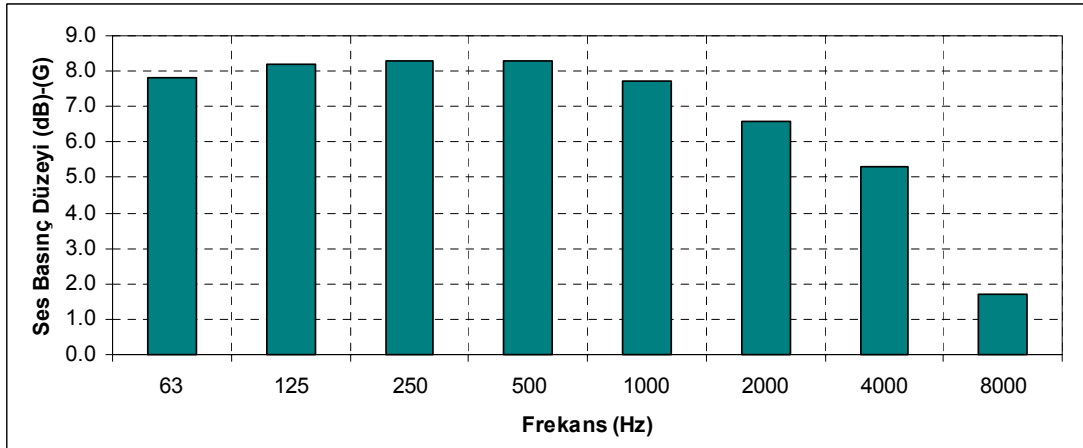
Alıcı Numarası: R2								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3.91	4.10	3.96	3.58	2.94	2.12	1.41	0.97
T30 (s)	6.58	6.82	6.49	5.63	4.29	3.11	2.15	1.04
SPL (dB)	7.8	8.2	8.3	8.3	7.7	6.6	5.3	1.7
C80 (dB)	-4.0	-4.3	-4.3	-4.2	-3.6	-2.6	-1.4	1.4
D50	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.12	0.15	0.24
Ts (ms)	268	282	275	254	218	173	133	88
LF80	0.338	0.340	0.341	0.342	0.344	0.349	0.351	0.355
SPL(A) = 13.4 (dB)								
LG80* = 8.3 (dB)								
STI = 0.49 T30'a dayanan teorik, STI = 0.34								



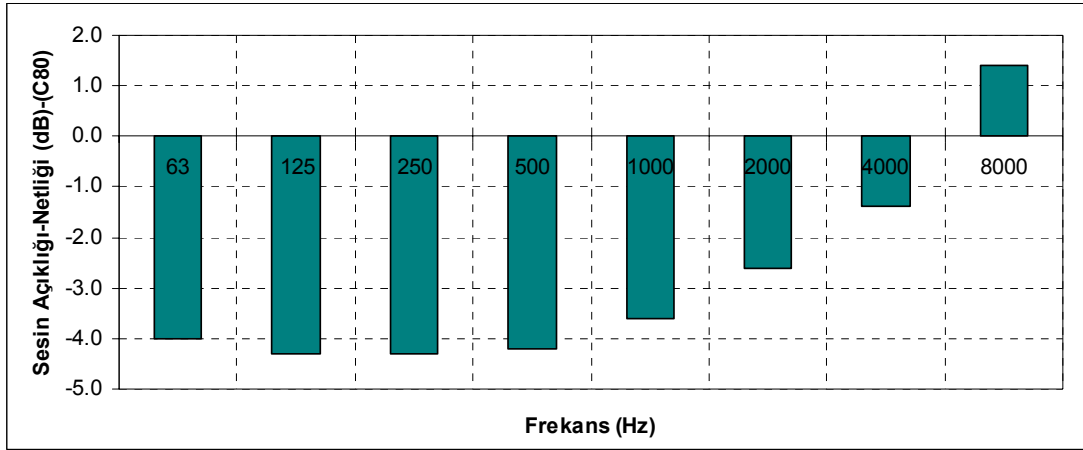
Şekil B.10: R2 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



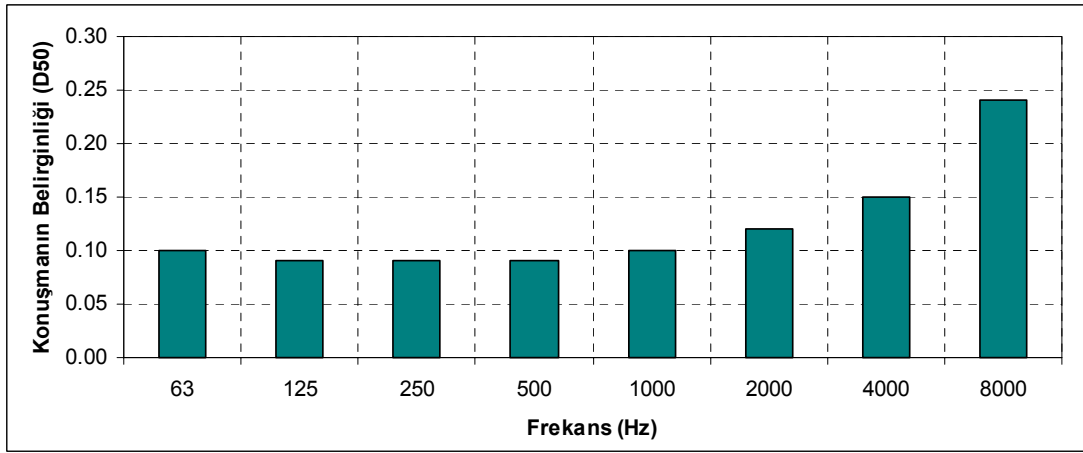
Şekil B.11: R2 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



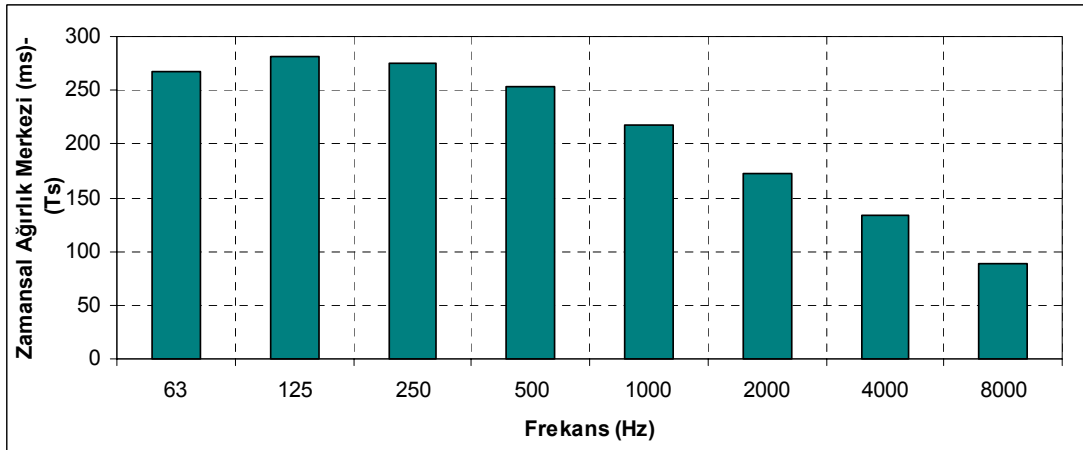
Şekil B.12: R2 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



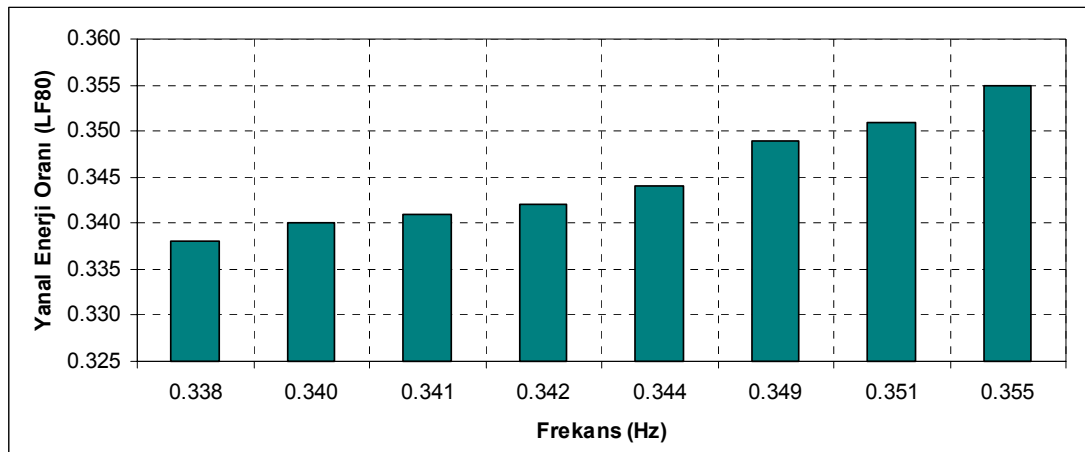
Şekil B.13: R2 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



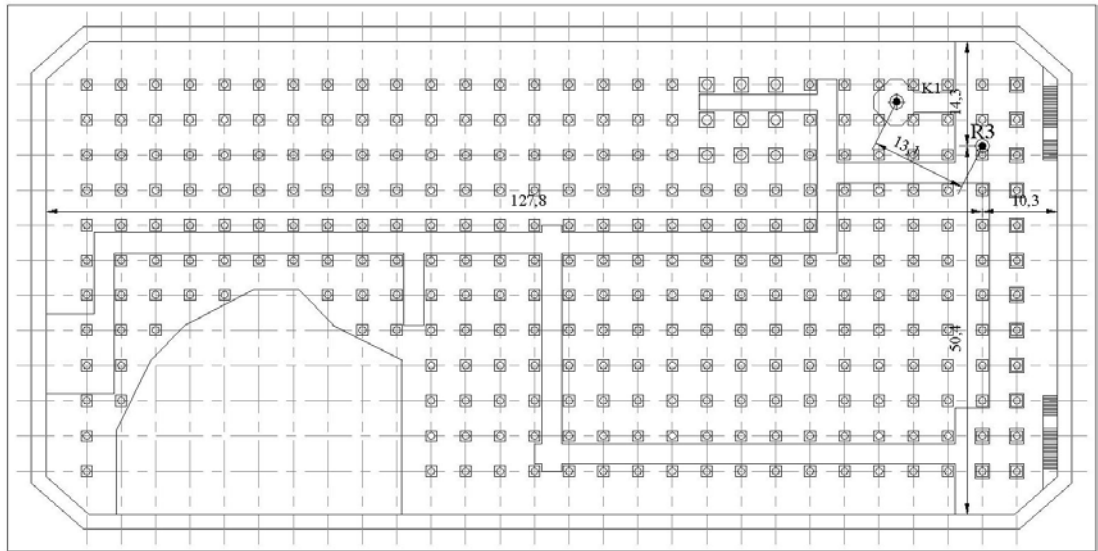
Şekil B.14: R2 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.15: R2 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



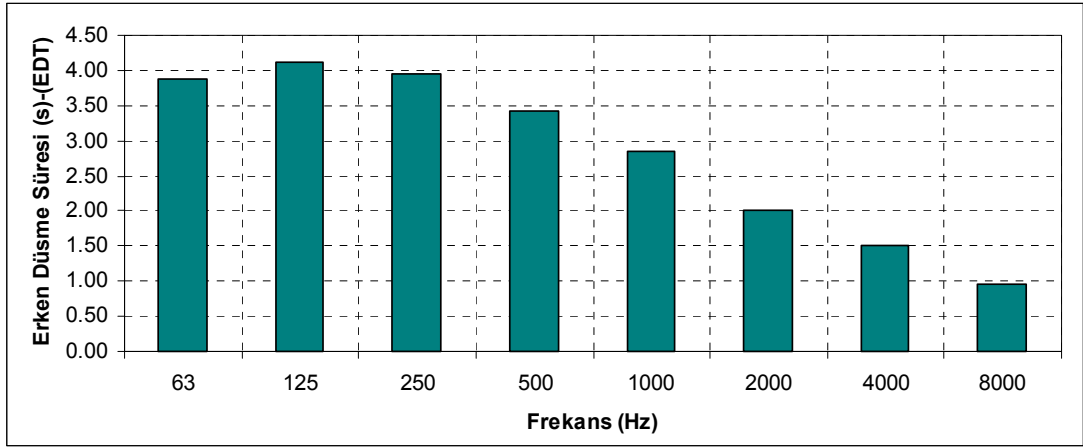
Şekil B.16: R2 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



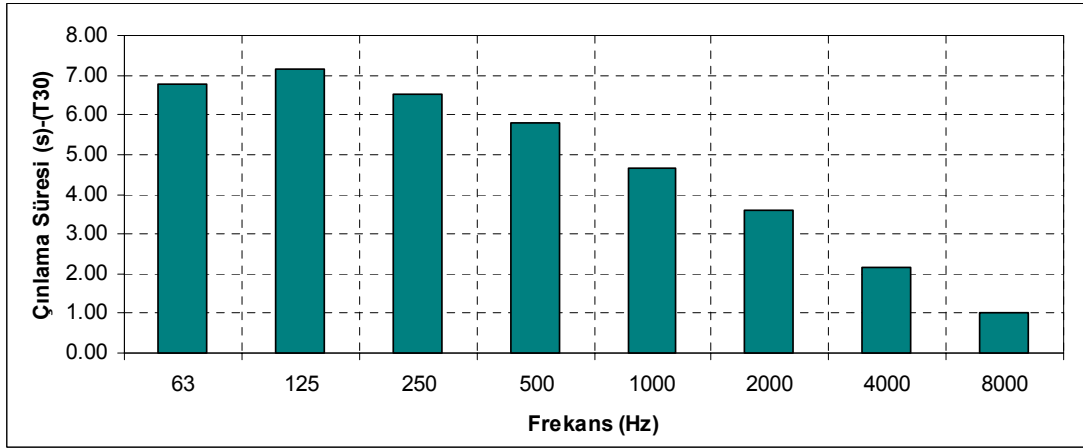
Şekil B.17: 3. Alıcının (R3) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.

Tablo B.3: 3. Alıç1 (R3) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

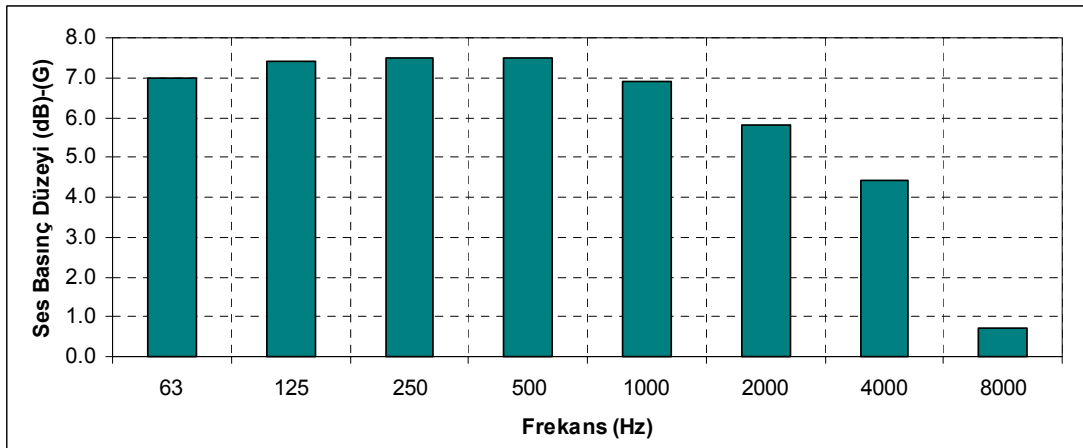
Alici Numarası: R3								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3.87	4.11	3.95	3.43	2.85	2.02	1.51	0.96
T30 (s)	6.77	7.16	6.53	5.79	4.64	3.61	2.14	1.02
SPL (dB)	7.0	7.4	7.5	7.5	6.9	5.8	4.4	0.7
C80 (dB)	-3.8	-4.1	-4.0	-3.9	-3.2	-2.2	-0.8	2.6
D50 -	0.17	0.16	0.16	0.16	0.18	0.22	0.26	0.41
Ts (ms)	273	287	278	256	217	172	130	79
LF80 -	0.396	0.389	0.385	0.386	0.389	0.398	0.402	0.424
SPL(A) = 12.5 (dB)								
LG80* = 7.4 (dB)								
STI = 0.42 T30'a dayanan teorik, STI = 0.33								



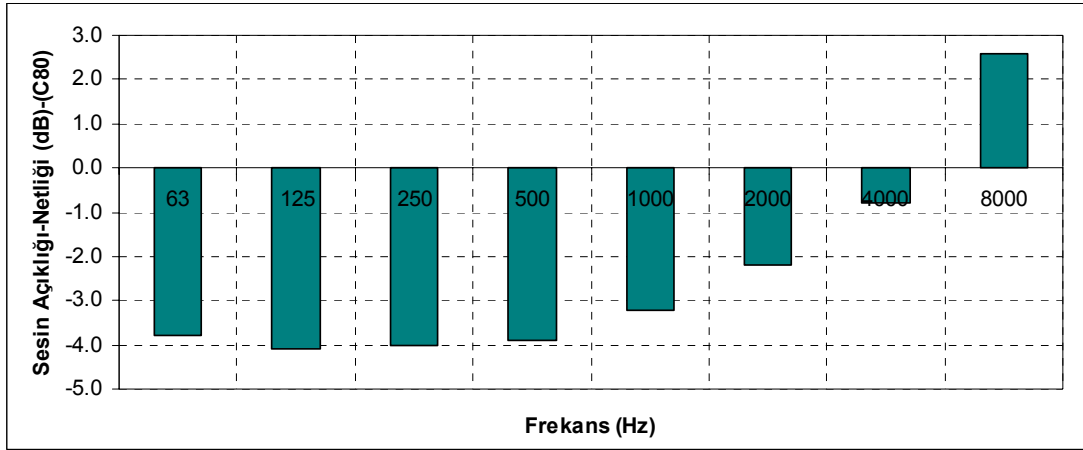
Şekil B.18: R3 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



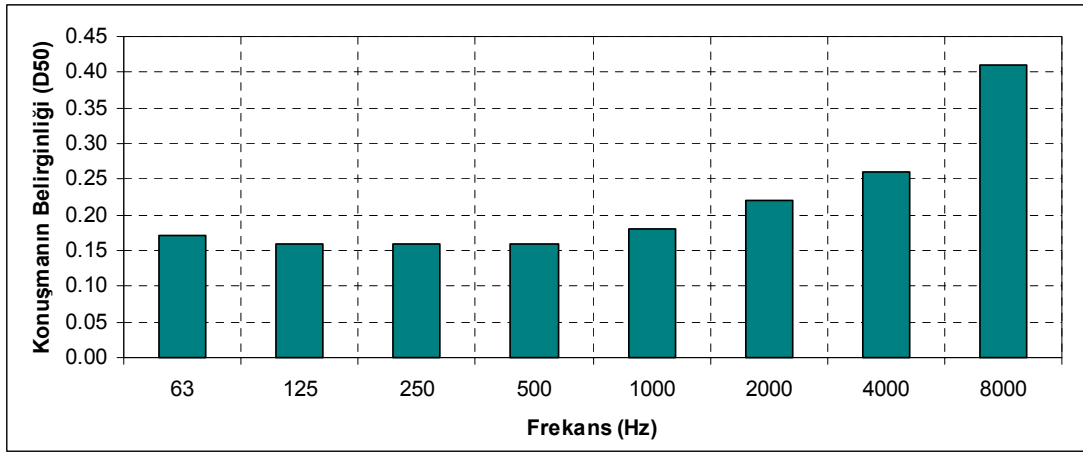
Şekil B.19: R3 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



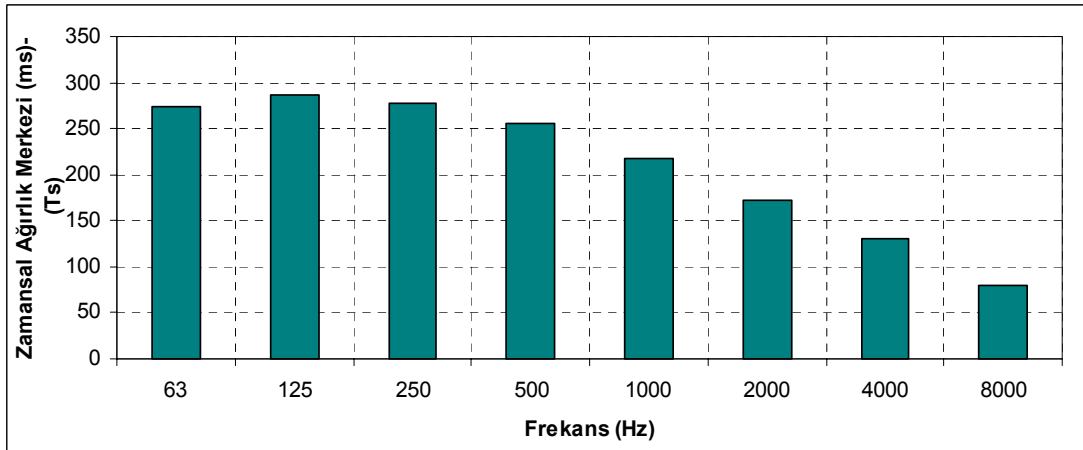
Şekil B.20: R3 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



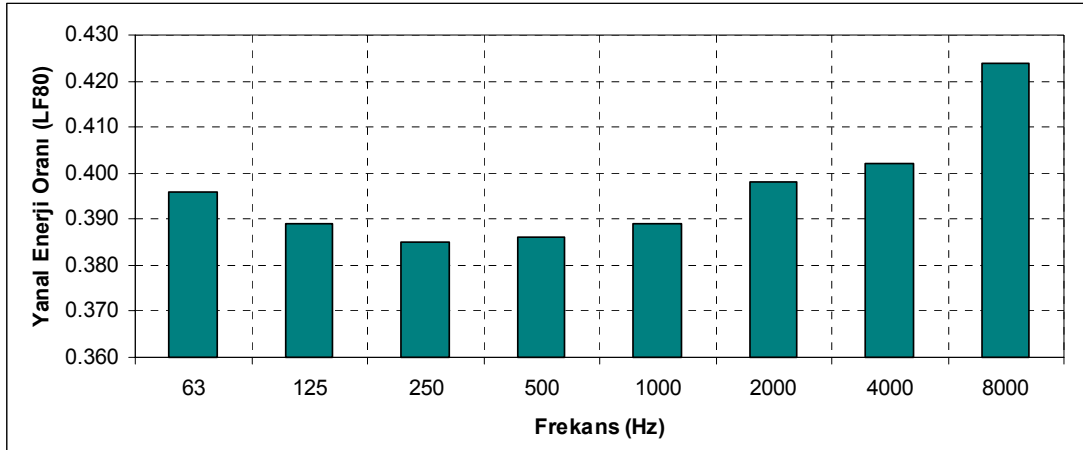
Şekil B.21: R3 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



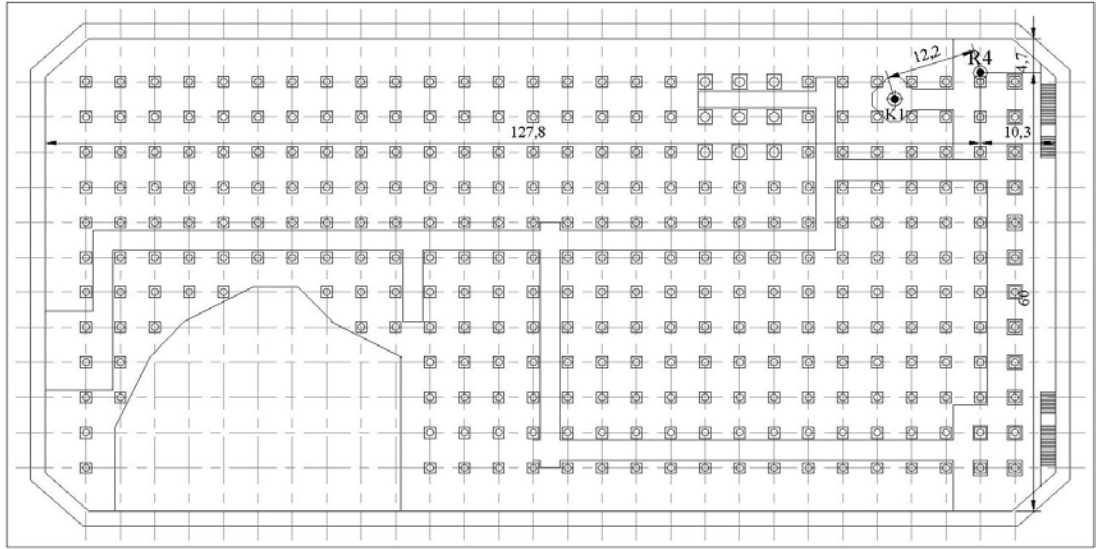
Şekil B.22: R3 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.23: R3 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



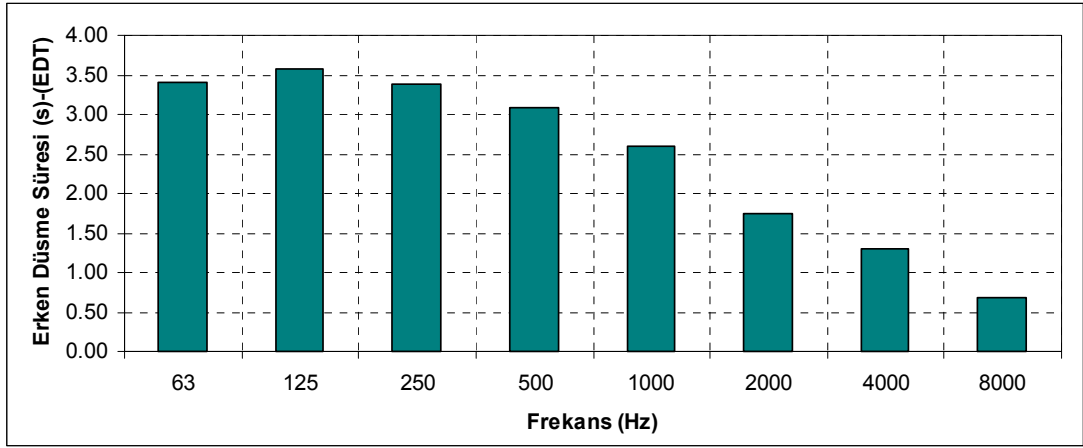
Şekil B.24: R3 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



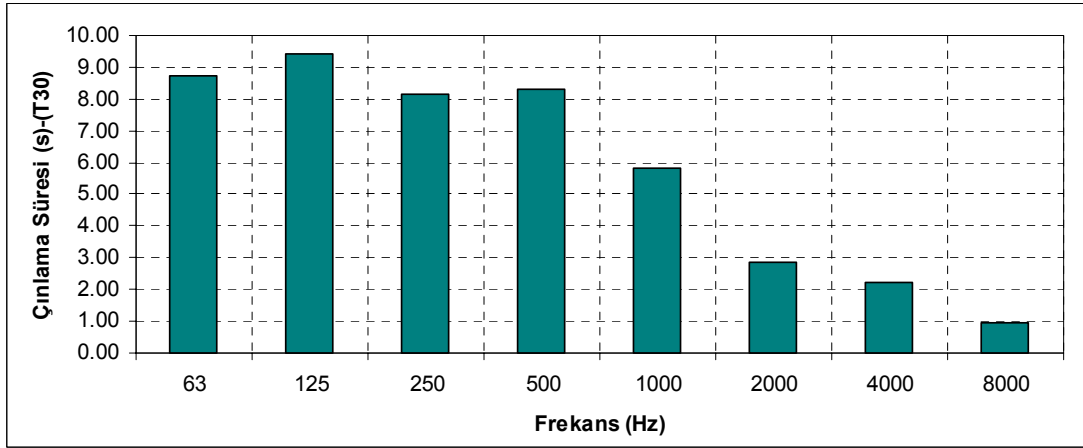
Şekil B.25: 4. Alıcının (R4) Yerebatan Sarayı planında konumu.

Tablo B.4: 4. Alıcı (R4) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

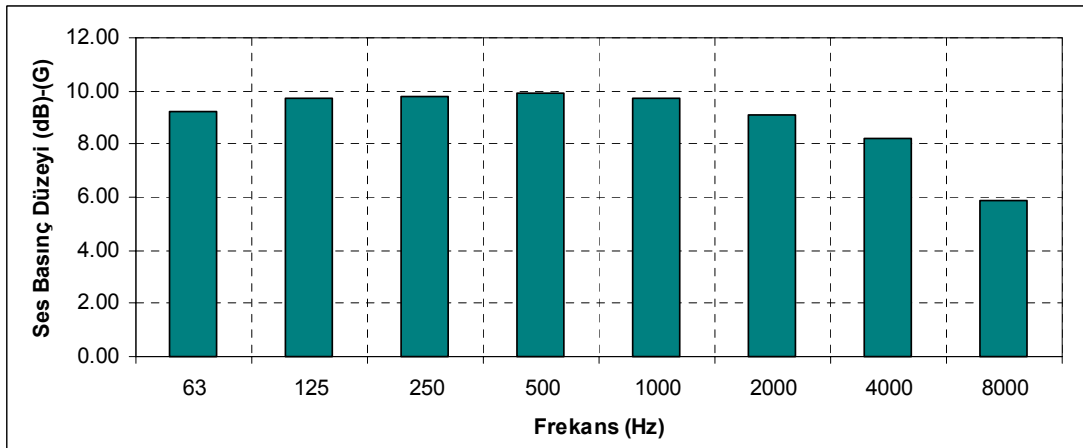
Alıcı Numarası: R4								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3.41	3.57	3.39	3.09	2.60	1.74	1.29	0.69
T30 (s)	8.73	9.40	8.14	8.31	5.82	2.85	2.22	0.95
SPL (dB)	9.20	9.7	9.8	9.9	9.7	9.1	8.2	5.9
C80 (dB)	-0.9	-1.1	-1.1	-0.7	0.5	1.6	3.0	6.5
D50	0.31	0.30	0.30	0.31	0.38	0.44	0.50	0.66
Ts (ms)	204	215	207	187	147	111	80	43
LF80	0.311	0.310	0.305	0.289	0.252	0.248	0.240	0.218
SPL(A) = 15.8 (dB)								
LG80* = 8.3 (dB)								
STI = 0.49 T30'a dayanan teorik, STI = 0.32								



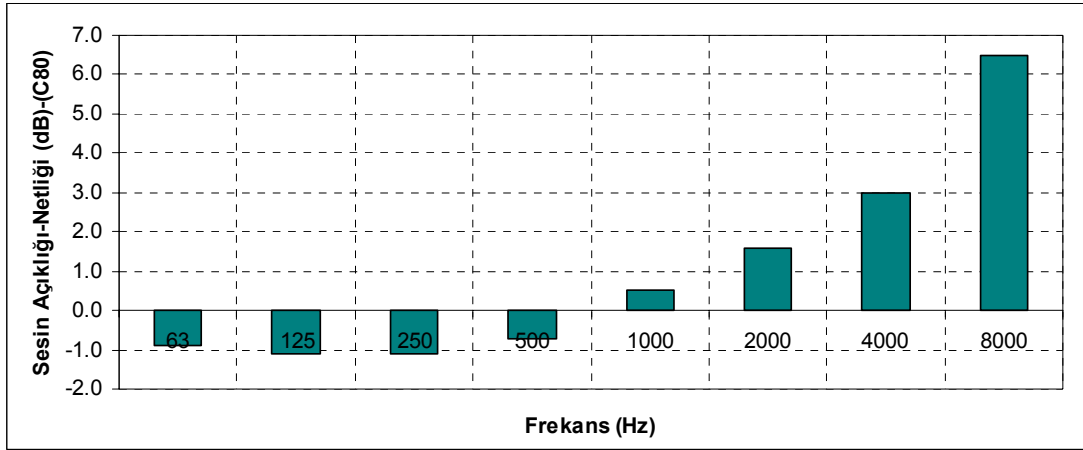
Şekil B.26: R4 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



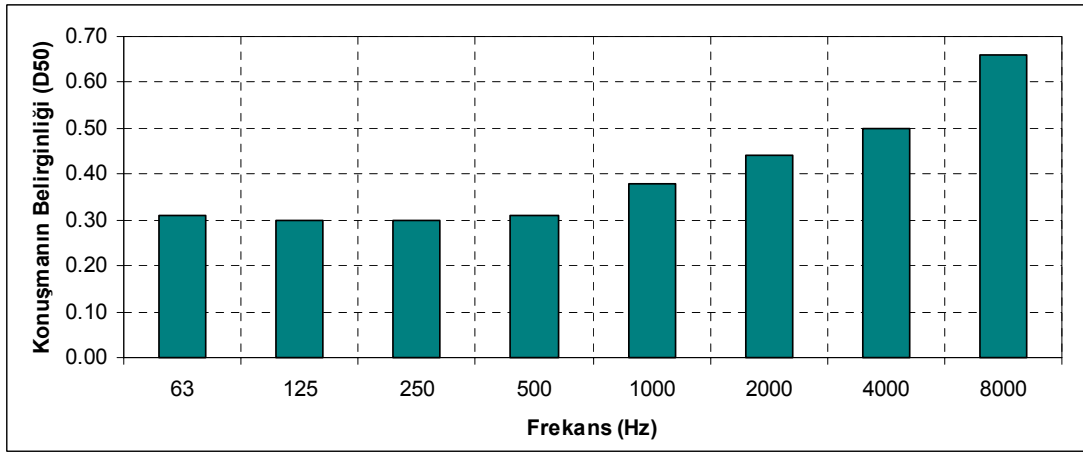
Şekil B.27: R4 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



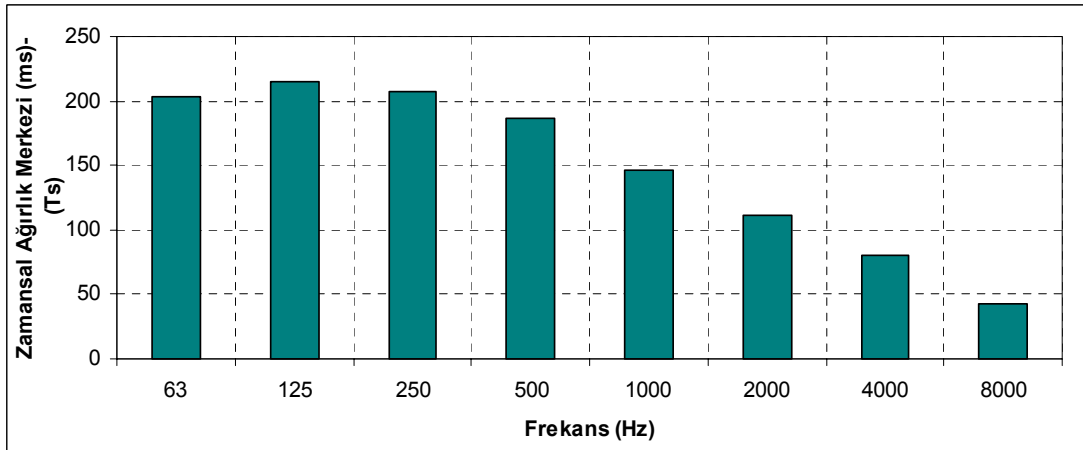
Şekil B.28: R4 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



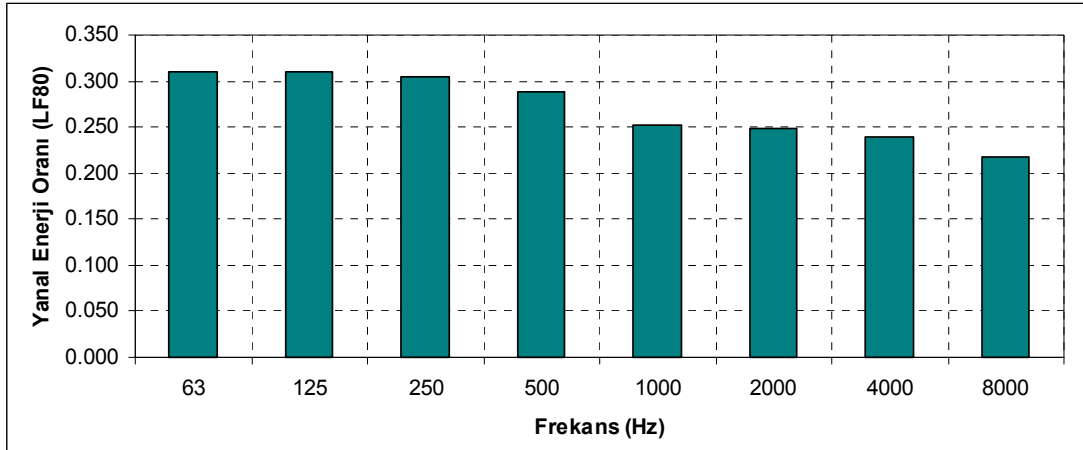
Şekil B.29: R4 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



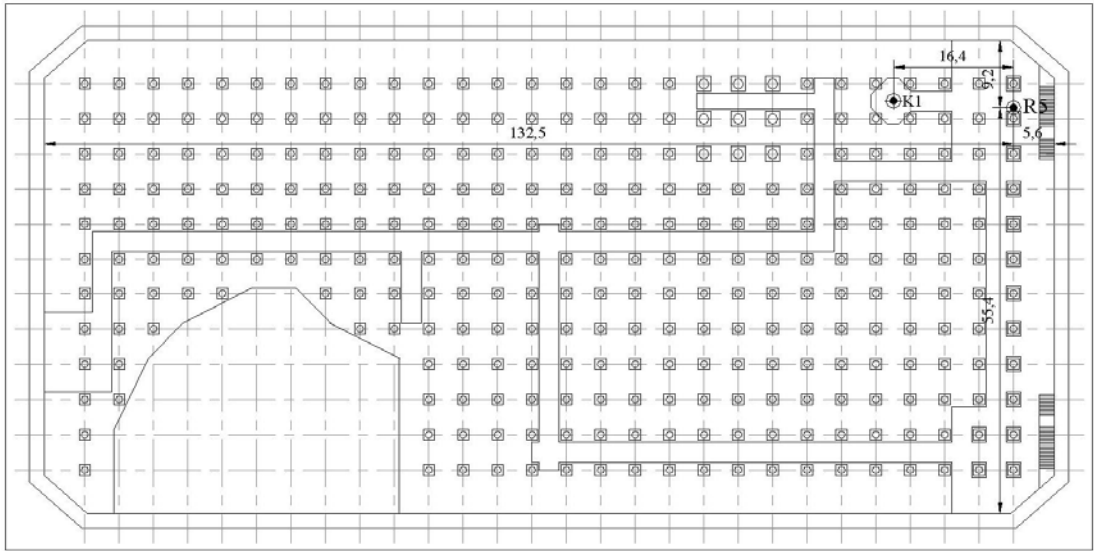
Şekil B.30: R4 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.31: R4 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



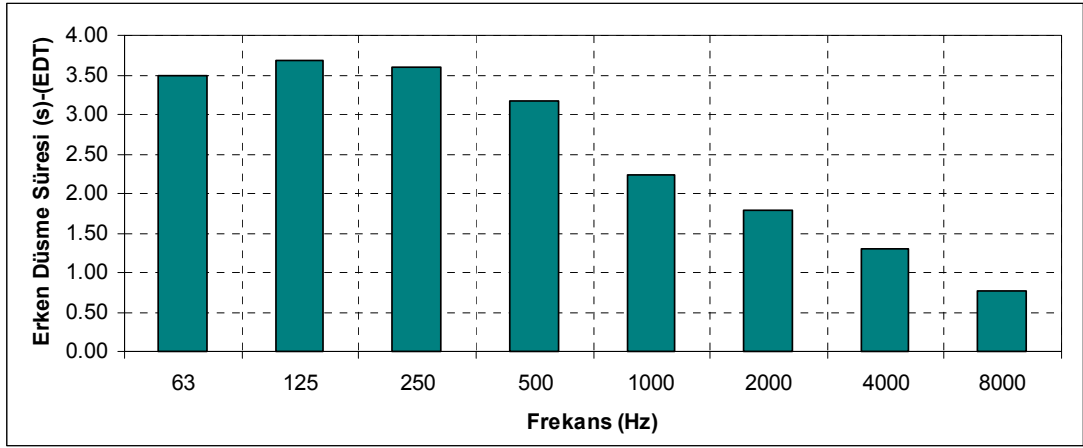
Şekil B.32: R4 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



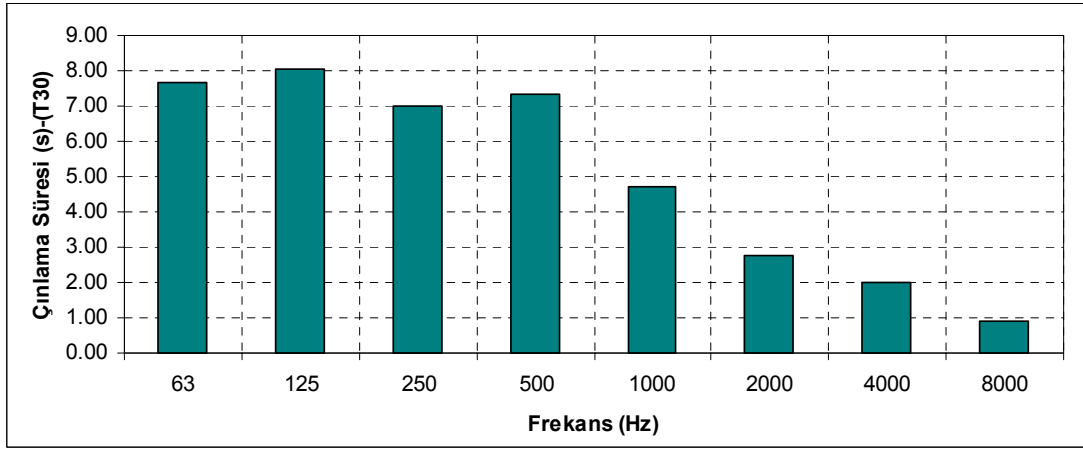
Şekil B.33: 5. Alıcının (R5) Yerebatan Sarayı planında konumu.

Tablo B.5: 5. Alıcı (R5) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

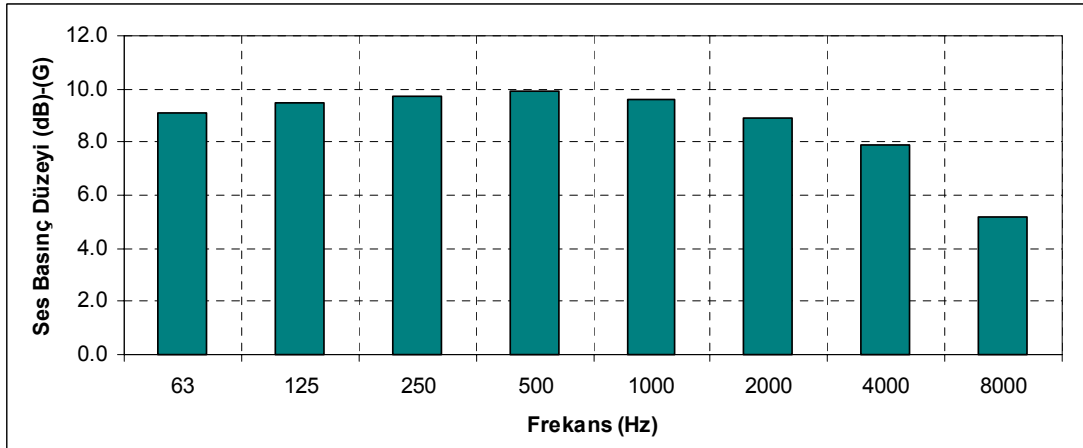
Alıcı Numarası: R5								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3.48	3.69	3.59	3.16	2.24	1.79	1.30	0.76
T30 (s)	7.66	8.05	6.98	7.32	4.73	2.78	1.99	0.92
SPL (dB)	9.1	9.5	9.7	9.9	9.6	8.9	7.9	5.2
C80 (dB)	-1.6	-1.9	-1.7	-1.1	-0.3	1.0	2.4	5.8
D50	0.26	0.25	0.25	0.29	0.33	0.39	0.46	0.61
Ts (ms)	212	223	214	189	157	120	88	51
LF80	0.268	0.271	0.266	0.245	0.266	0.278	0.271	0.247
SPL(A) = 15.5 (dB)								
LG80* = 8.5 (dB)								
STI = 0.46 T30'a dayanan teorik, STI = 0.34								



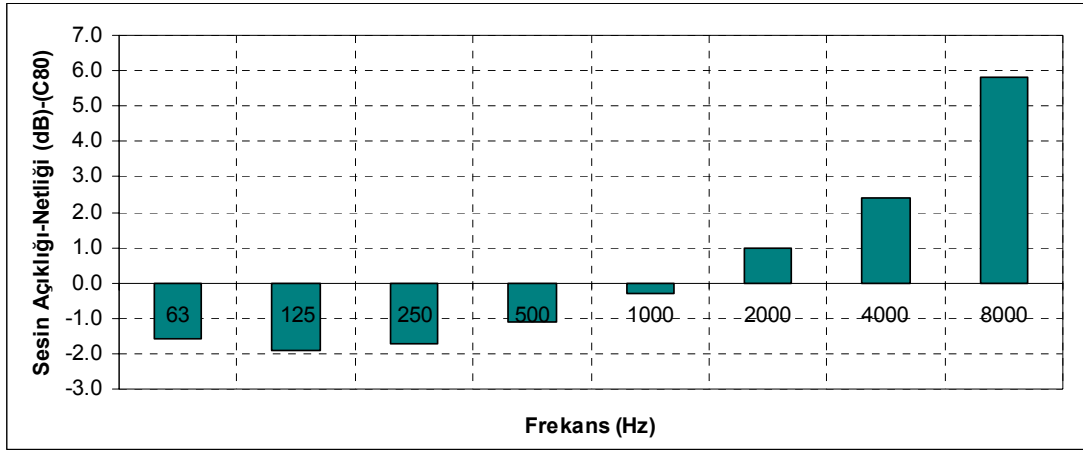
Şekil B.34: R5 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



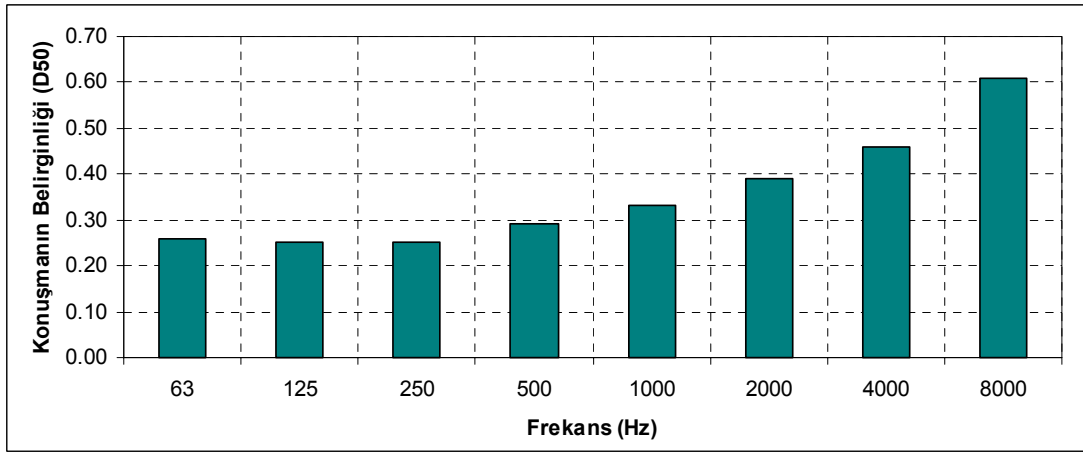
Şekil B.35: R5 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



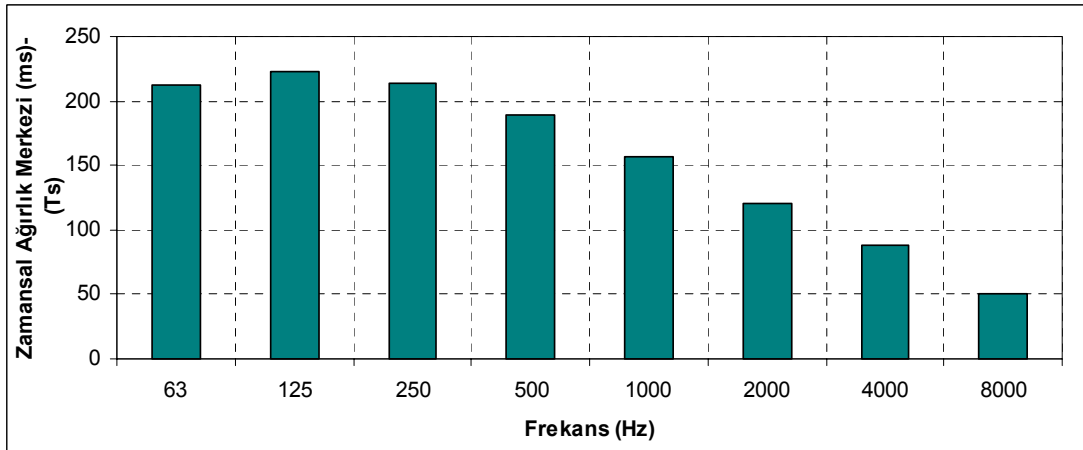
Şekil B.36: R5 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



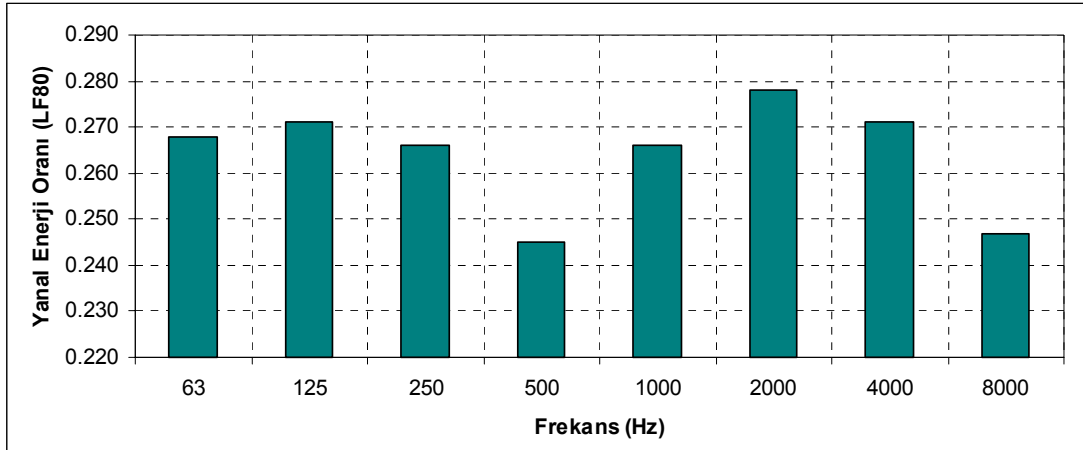
Şekil B.37: R5 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



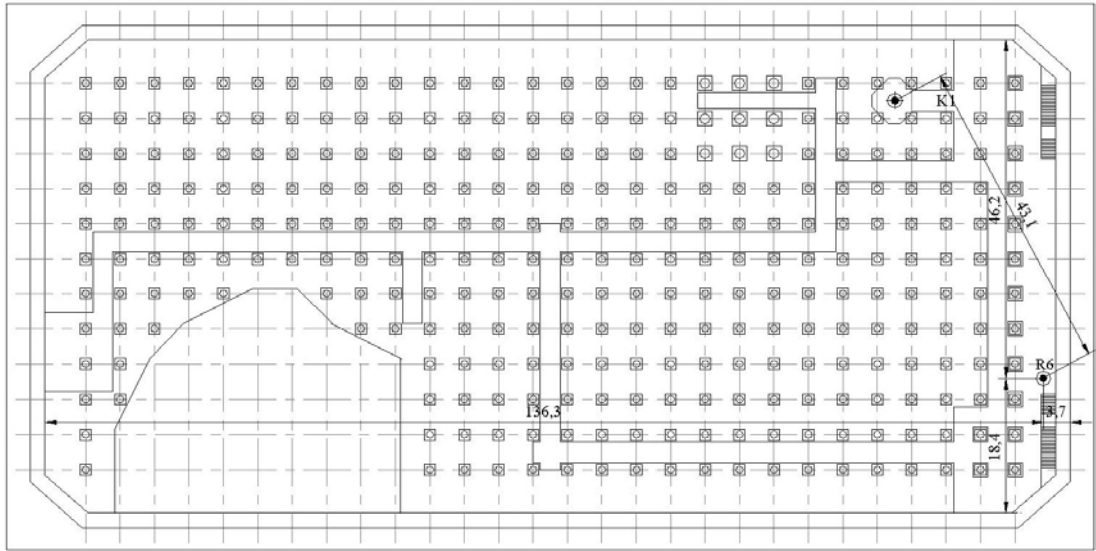
Şekil B.38: R5 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.39: R5 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



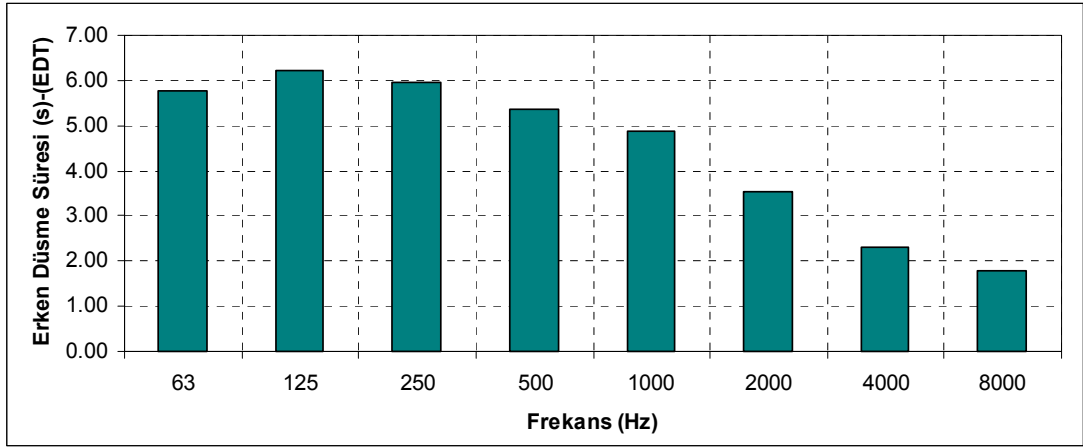
Şekil B.40: R5 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



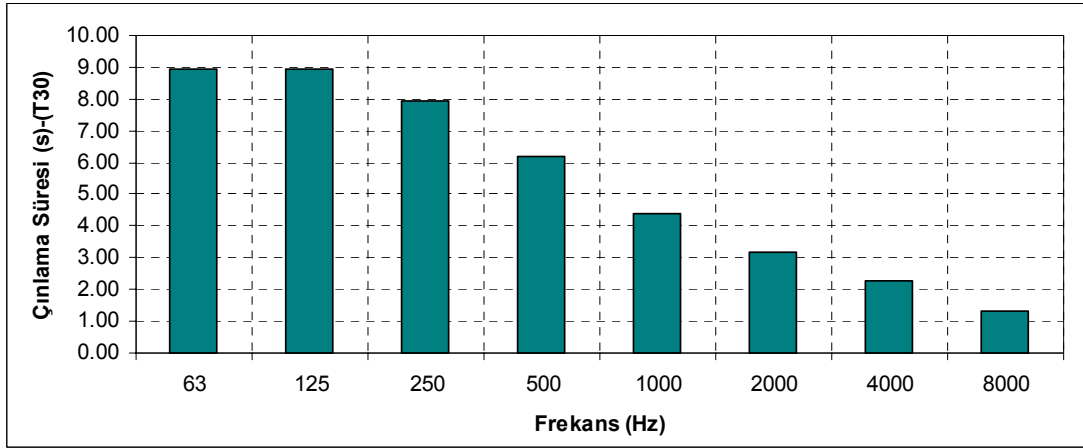
Şekil B.41: 6. Alıcının (R6) Yerebatan Sarayı planında konumu.

Tablo B.6: 6. Alıcı (R6) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

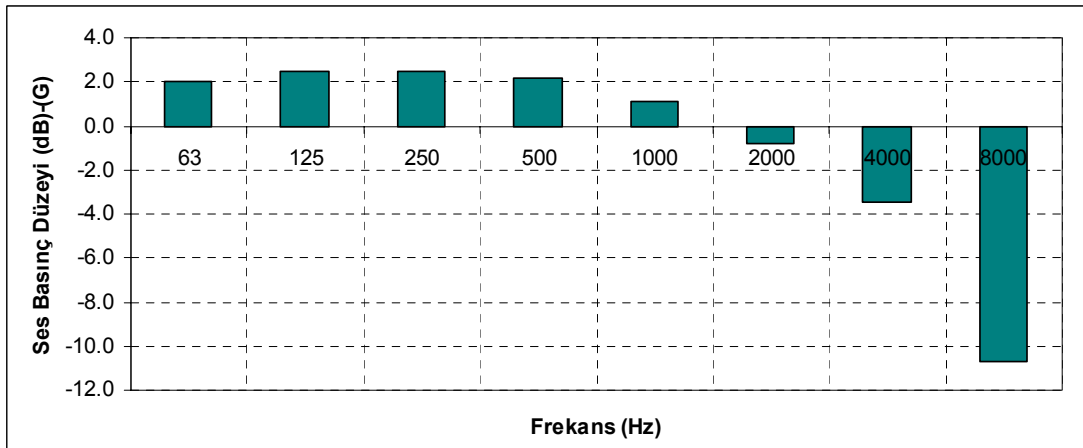
Alıcı Numarası: R6								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	5.77	6.21	5.97	5.35	4.86	3.54	2.30	1.77
T30 (s)	8.96	8.94	7.93	6.18	4.40	3.20	2.28	1.32
SPL (dB)	2.0	2.5	2.5	2.2	1.1	-0.8	-3.5	-10.7
C80 (dB)	-10.3	-10.6	-10.4	-10.0	-9.0	-7.4	-5.3	-0.7
D50	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.12	0.18	0.39
Ts (ms)	483	499	476	436	366	282	201	103
LF80	0.093	0.094	0.094	0.092	0.090	0.087	0.083	0.070
SPL(A) = 6.1 (dB)								
LG80* = 3.0 (dB)								
STI = 0.31 T30'a dayanan teorik, STI = 0.32								



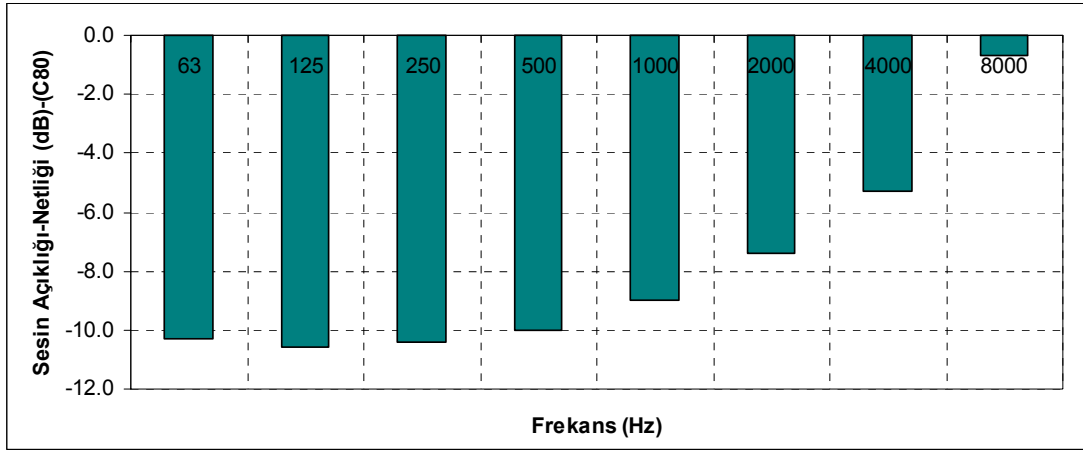
Şekil B.42: R6 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



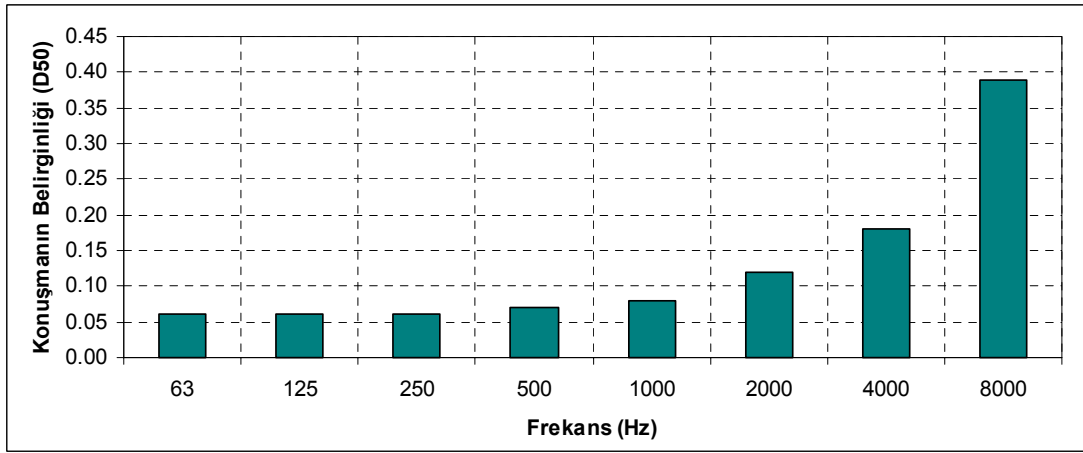
Şekil B.43: R6 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



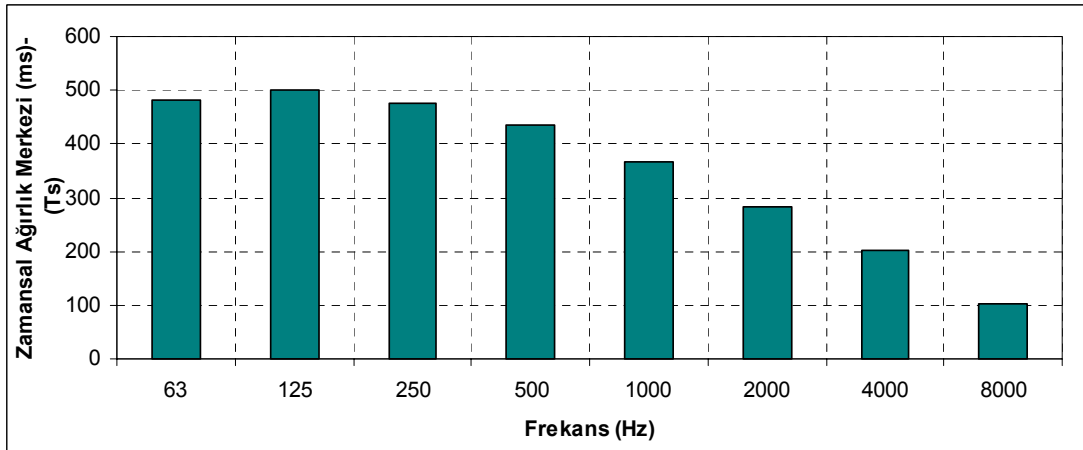
Şekil B.44: R6 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



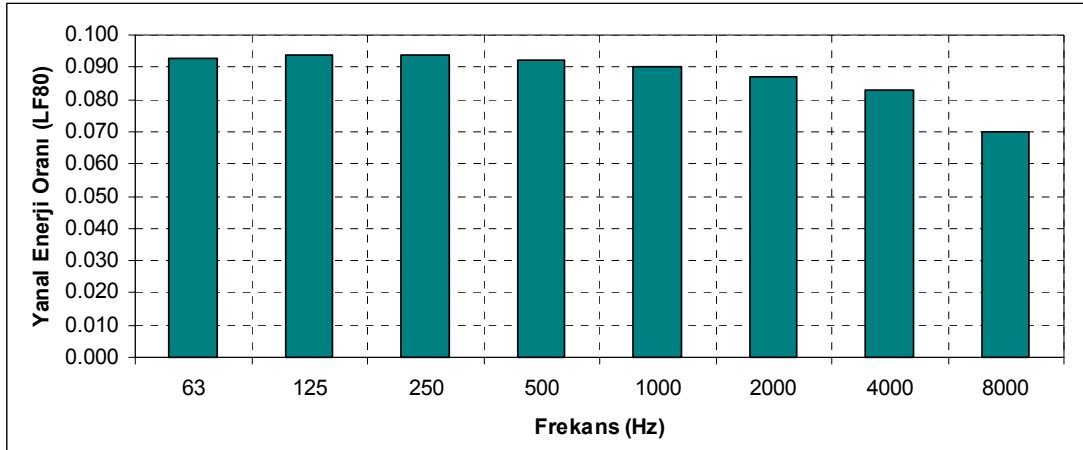
Şekil B.45: R6 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



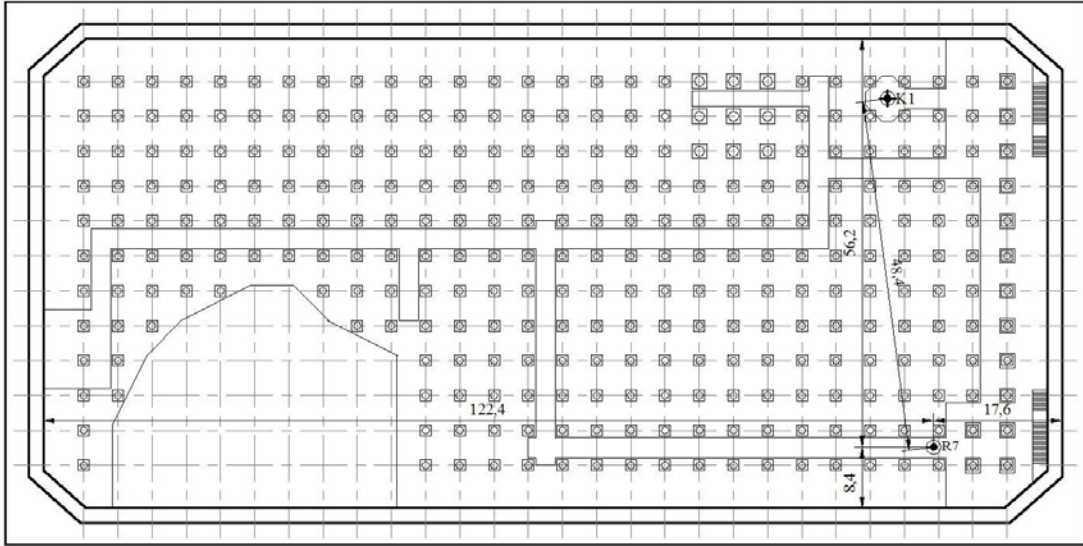
Şekil B.46: R6 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.47: R6 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



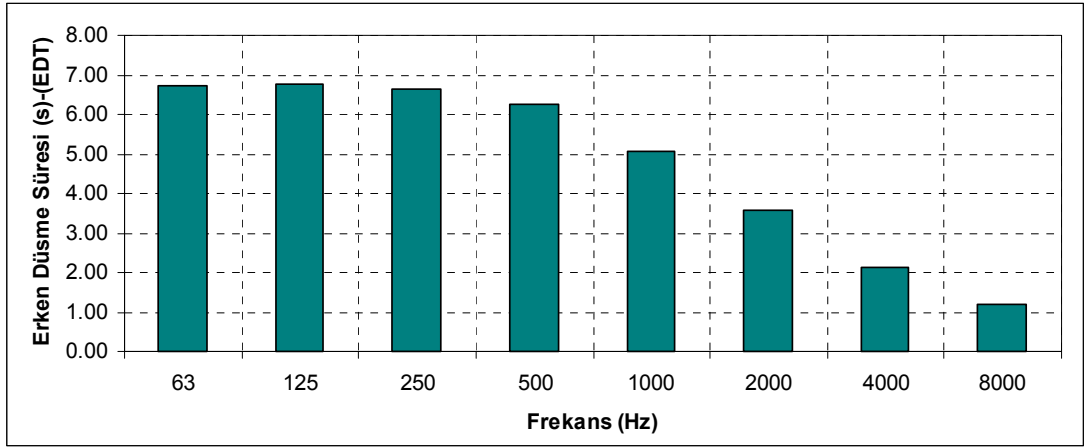
Şekil B.48: R6 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



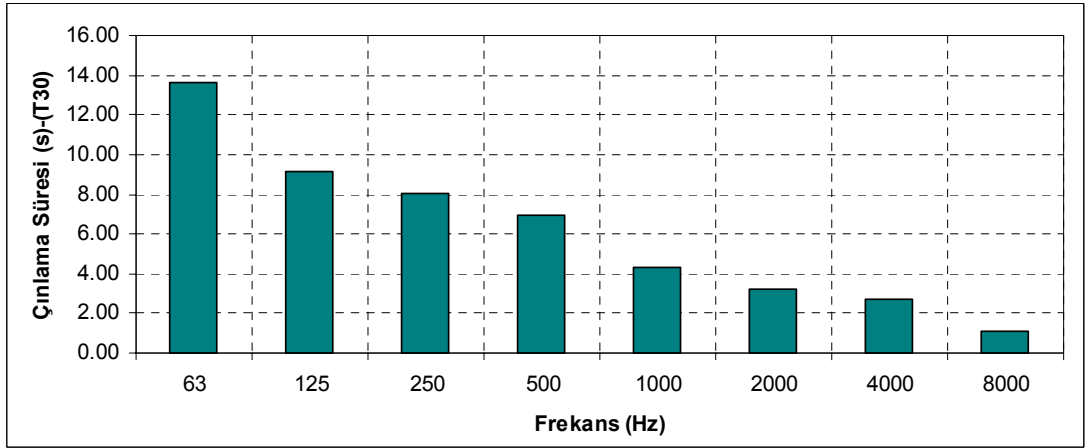
Şekil B.49: 7. Alıcının (R7) Yerebatan Sarayı planında konumu.

Tablo B.7: 7. Alıcı (R7) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

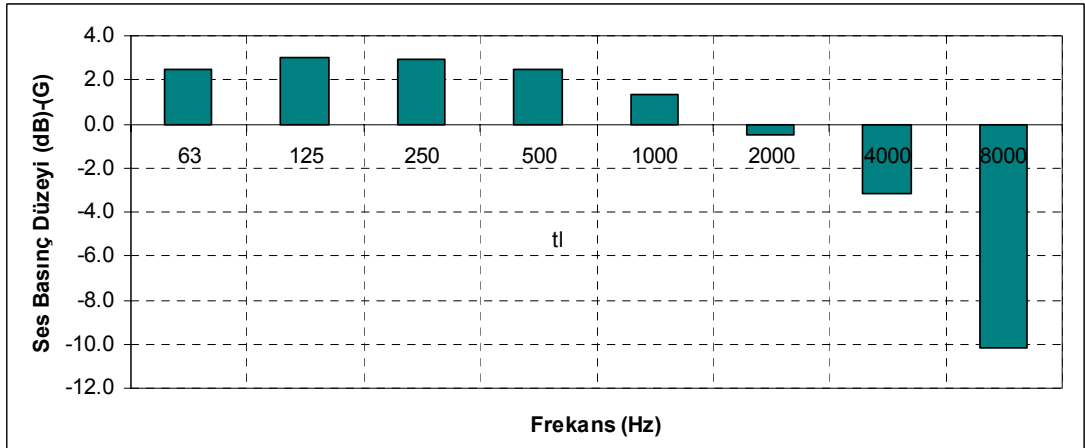
Alıcı Numarası: R7								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	6.73	6.76	6.63	6.24	5.05	3.56	2.14	1.18
T30 (s)	13.59	9.14	8.03	6.91	4.31	3.23	2.68	1.09
SPL (dB)	2.5	3.0	2.9	2.5	1.3	-0.5	-3.2	-10.2
C80 (dB)	-7.8	-8.1	-7.9	-7.4	-6.3	-4.6	-2.5	2.0
D50	0.10	0.09	0.10	0.10	0.13	0.18	0.26	0.48
Ts (ms)	470	490	468	426	350	258	172	78
LF80	0.071	0.079	0.086	0.085	0.086	0.084	0.084	0.074
SPL(A) = 6.4 (dB)								
LG80* = 2.7 (dB)								
STI = 0.33 T30'a dayanan teorik, STI = 0.32								



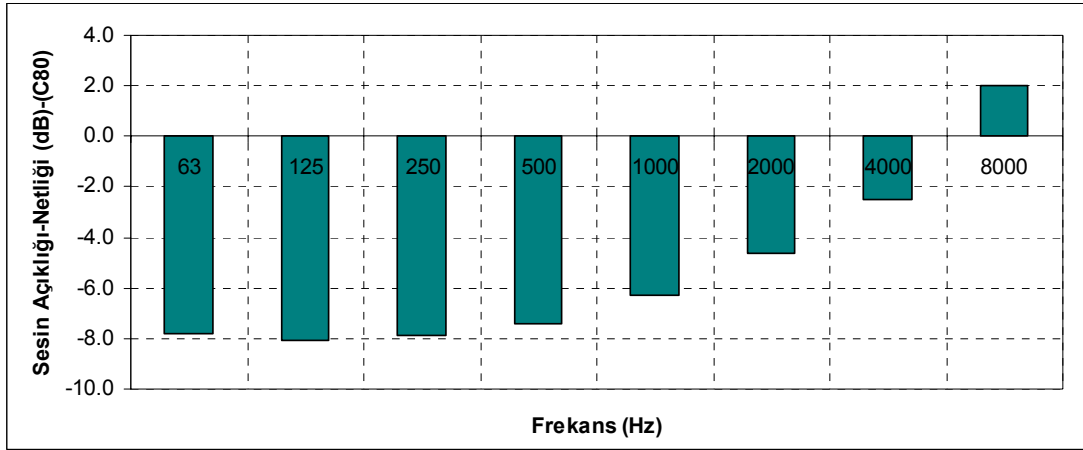
Şekil B.50: R7 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



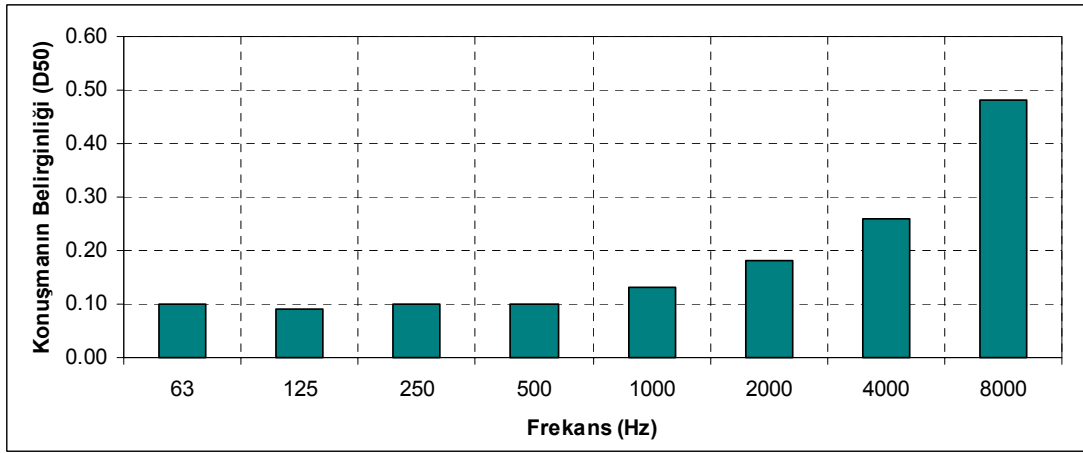
Şekil B.51: R7 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



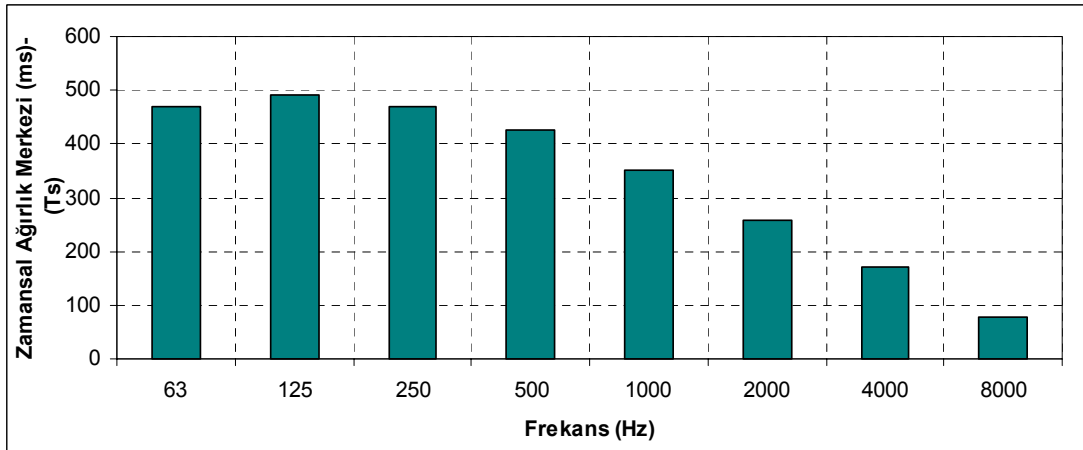
Şekil B.52: R7 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



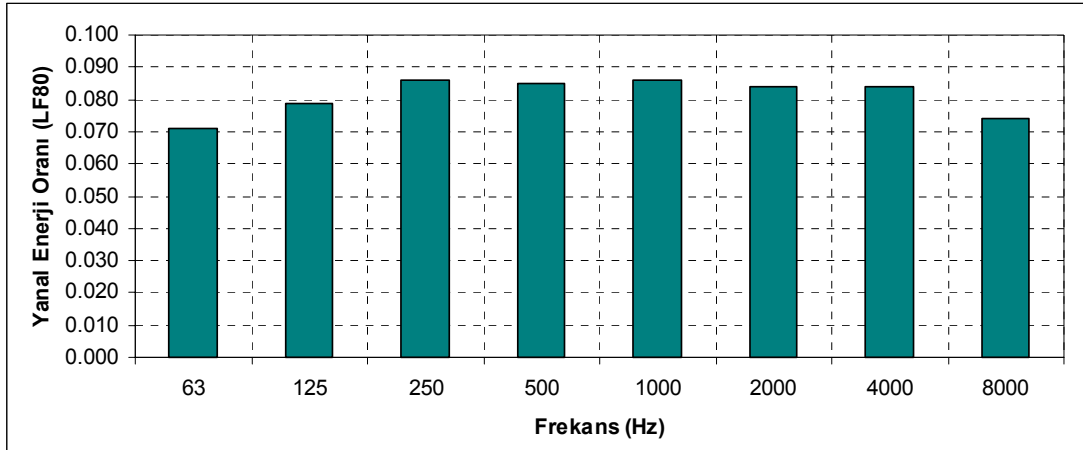
Şekil B.53: R7 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



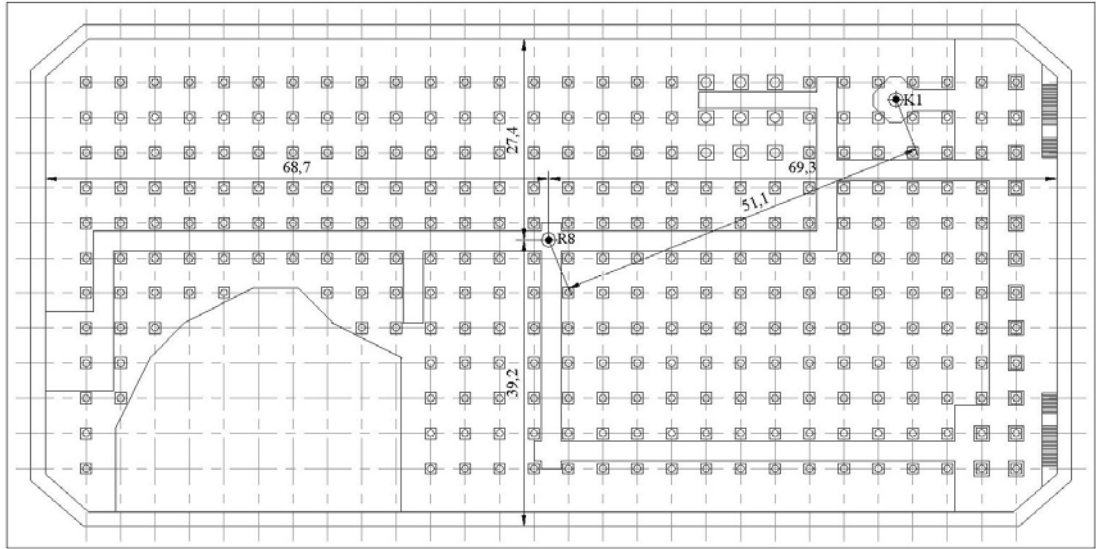
Şekil B.54: R7 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.55: R7 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



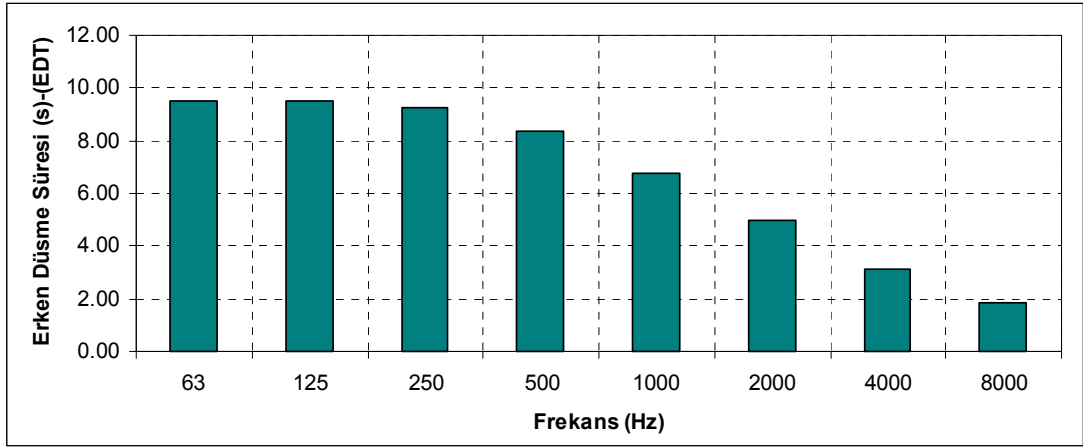
Şekil B.56: R7 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



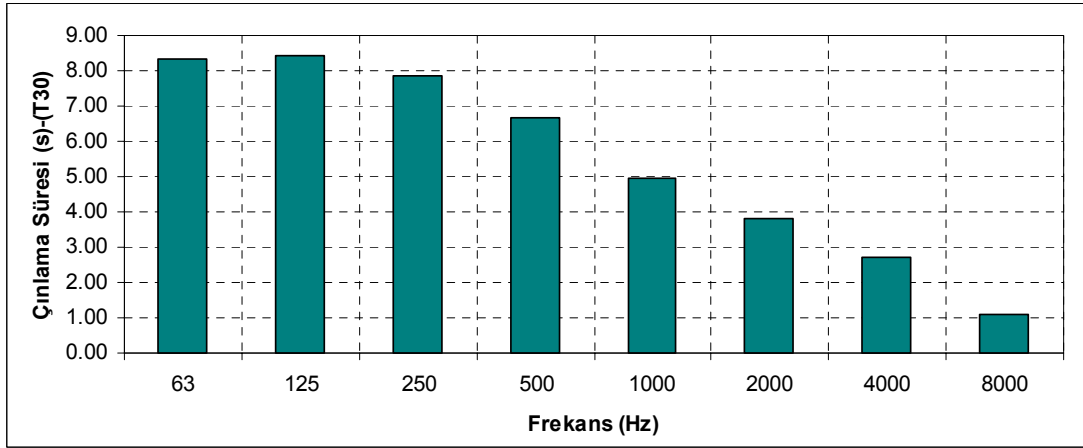
Şekil B.57: 8. Alıcının (R8) Yerebatan Sarmıcı planında konumu.

Tablo B.8: 8. Alıcı (R8) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

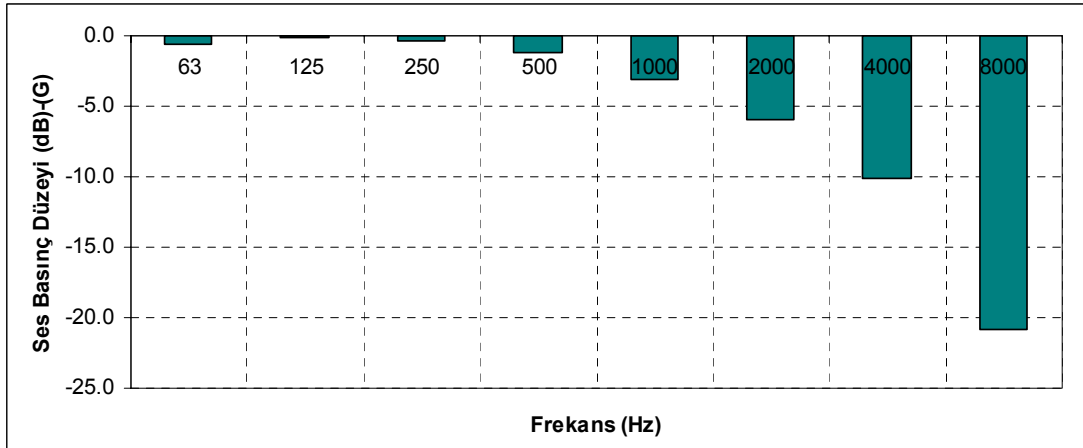
Alıcı Numarası: R8								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	9.50	9.53	9.24	8.35	6.79	5.01	3.12	1.83
T30 (s)	8.32	8.42	7.84	6.67	4.94	3.81	2.73	1.09
SPL (dB)	-0.6	-0.1	-0.3	-1.2	-3.1	-6.0	-10.1	-20.8
C80 (dB)	-21.6	-21.9	-21.6	-20.7	-19.3	-17.2	-14.8	-9.8
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
Ts (ms)	800	821	776	689	564	422	298	184
LF80	0.254	0.248	0.245	0.240	0.239	0.241	0.239	0.240
SPL(A) = 1.7(dB)								
LG80* = 0.3 (dB)								
STI = 0.27 T30'a dayanan teorik, STI = 0.31								



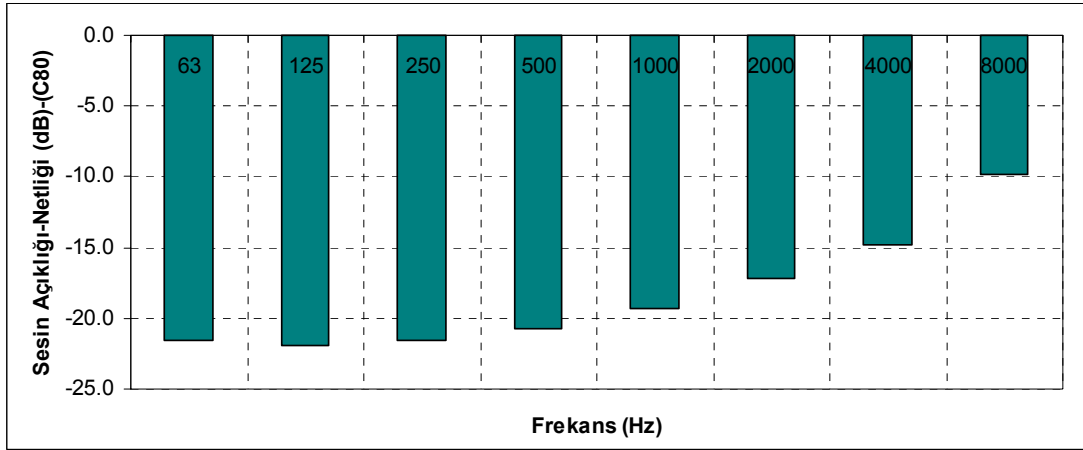
Şekil B.58: R8 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



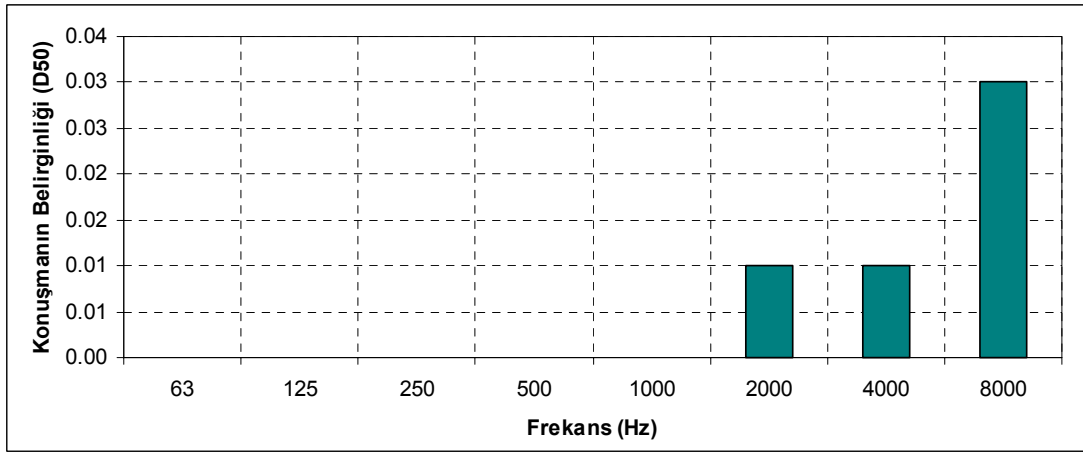
Şekil B.59: R8 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



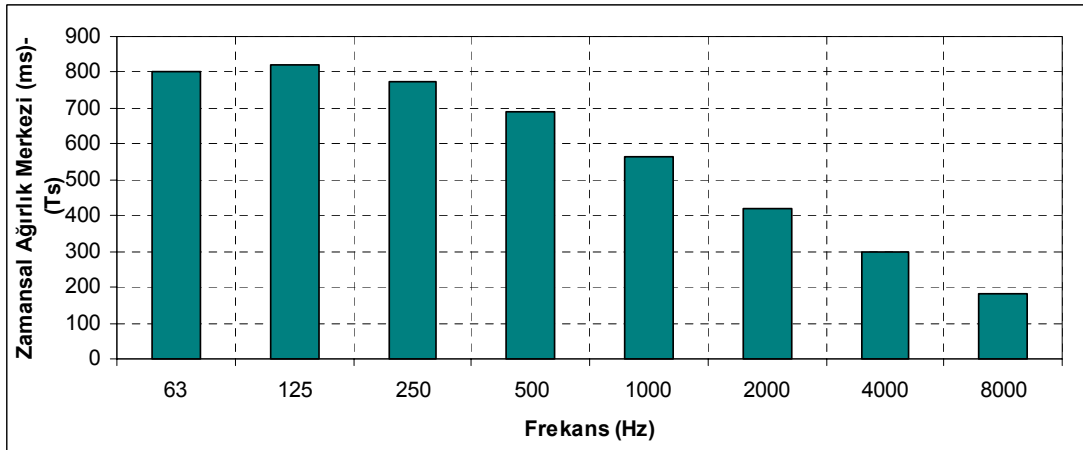
Şekil B.60: R8 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



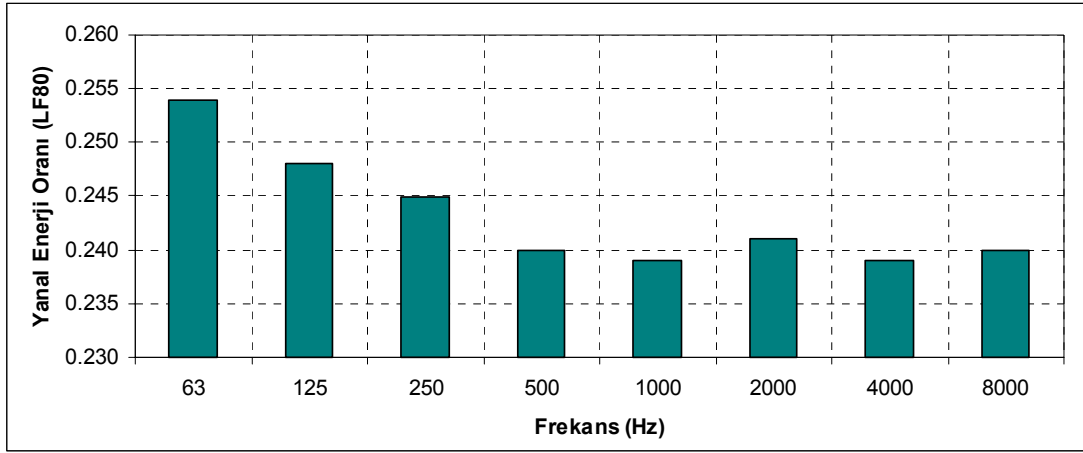
Şekil B.61: R8 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



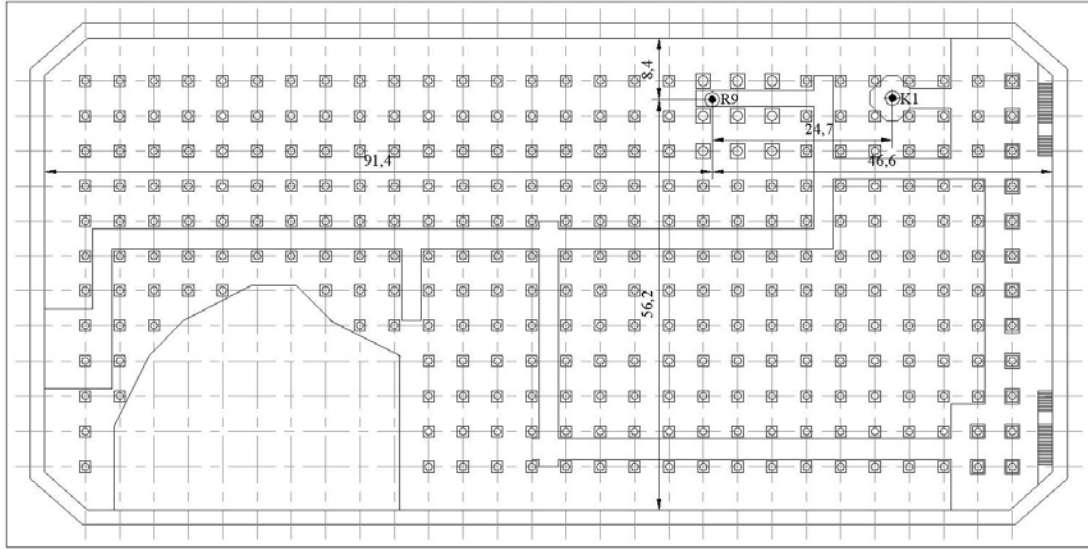
Şekil B.62: R8 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.63: R8 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



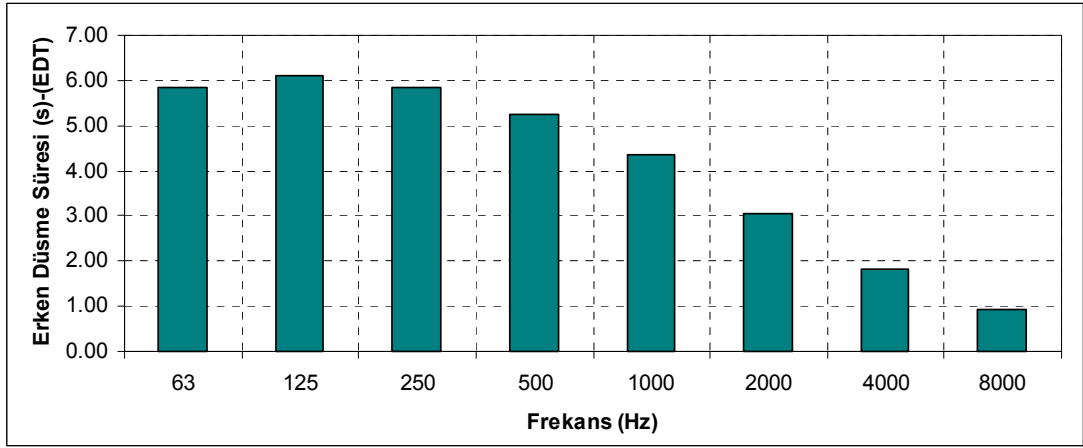
Şekil B.64: R8 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



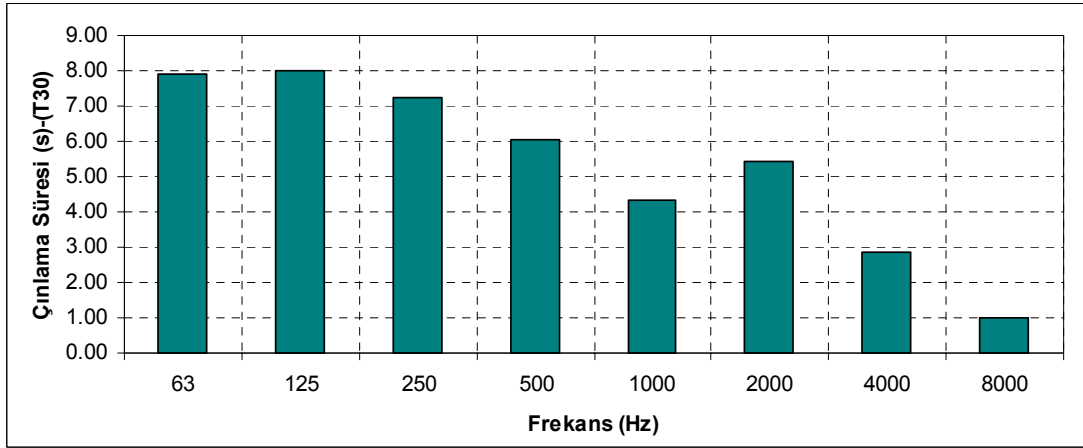
Şekil B.65: 9. Alıcının (R9) Yerebatan Sarnıcı planında konumu.

Tablo B.9: 9. Alıcı (R9) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

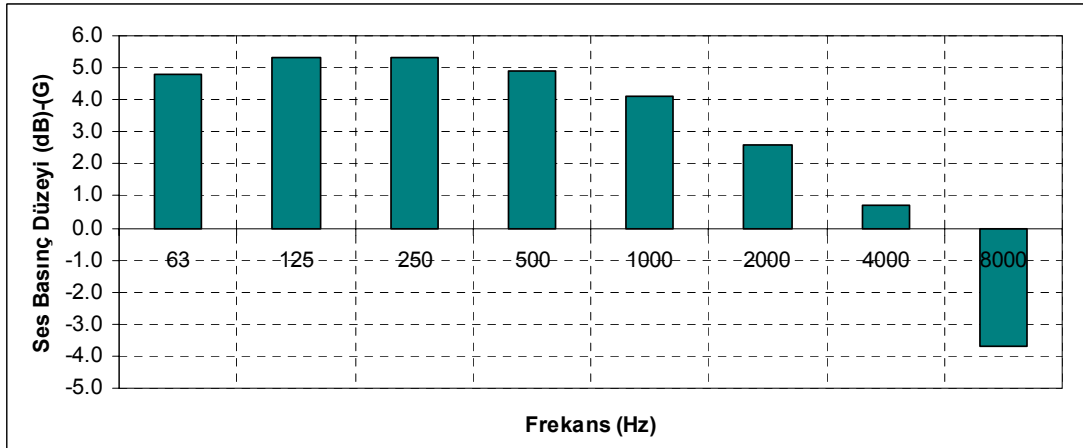
Alıcı Numarası: R9								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	5.84	6.12	5.84	5.26	4.34	3.07	1.81	0.93
T30 (s)	7.91	7.99	7.23	6.06	4.35	5.41	2.85	1.00
SPL (dB)	4.8	5.3	5.3	4.9	4.1	2.6	0.7	-3.7
C80 (dB)	-5.6	-5.9	-5.8	-5.3	-4.1	-2.5	-0.4	4.3
D50	0.16	0.15	0.16	0.18	0.22	0.29	0.39	0.64
Ts (ms)	402	420	400	354	284	204	132	56
LF80	0.288	0.286	0.282	0.273	0.261	0.259	0.244	0.199
SPL(A) = 9.5(dB)								
LG80* = 5.0 (dB)								
STI = 0.39 T30'a dayanan teorik, STI = 0.31								



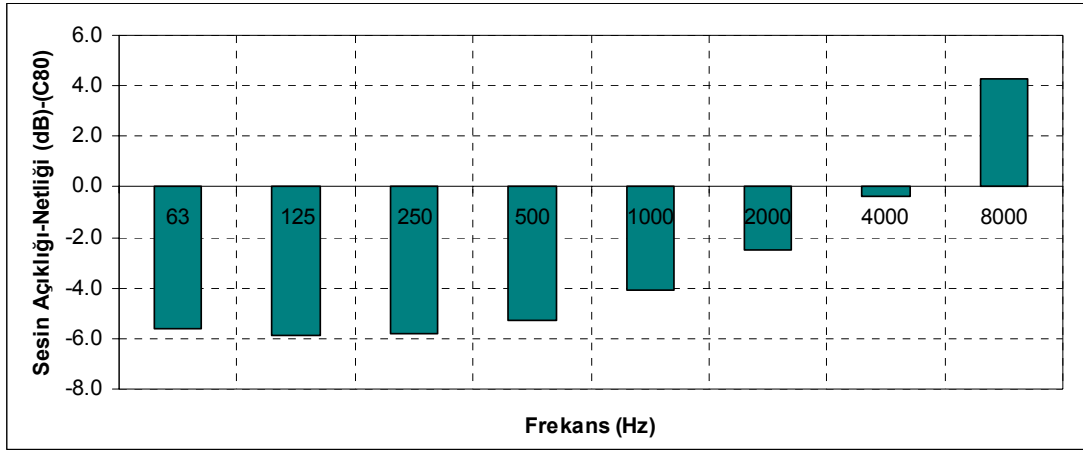
Şekil B.66: R9 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



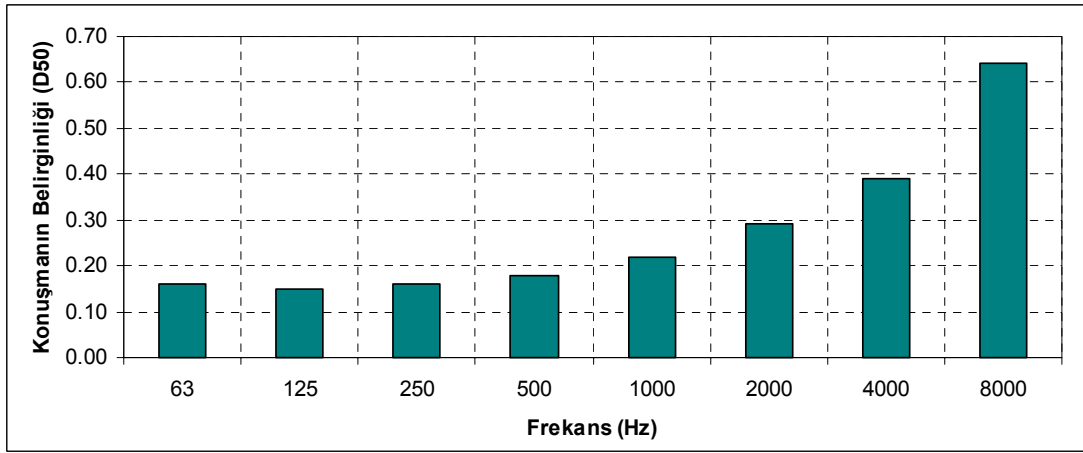
Şekil B.67: R9 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



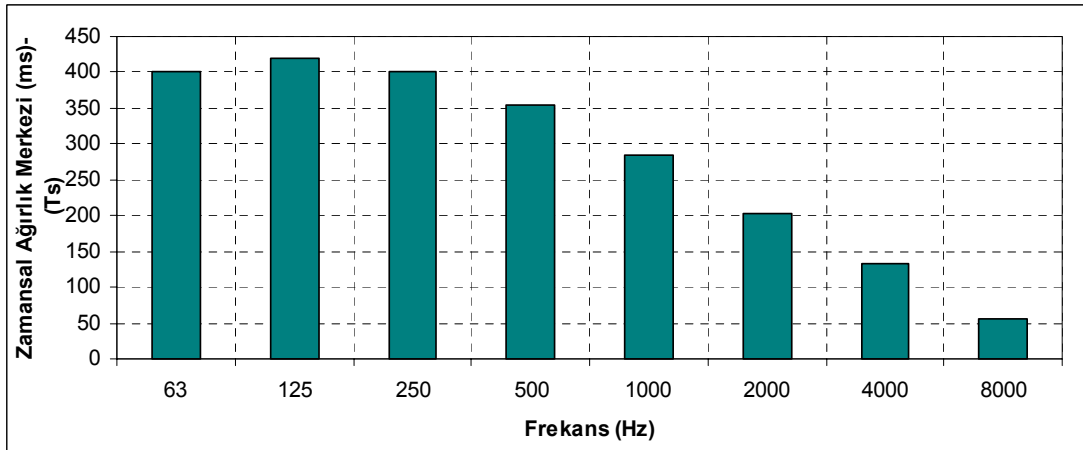
Şekil B.68: R9 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



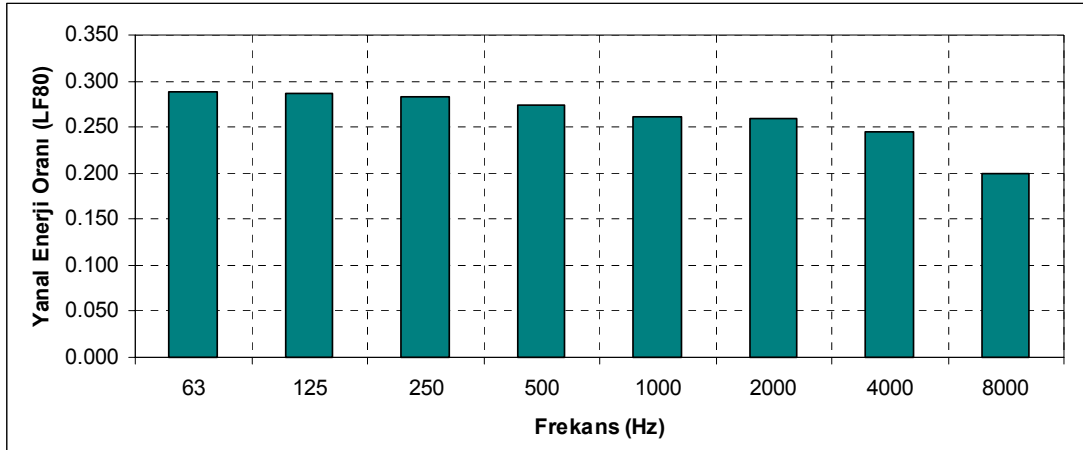
Şekil B.69: R9 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



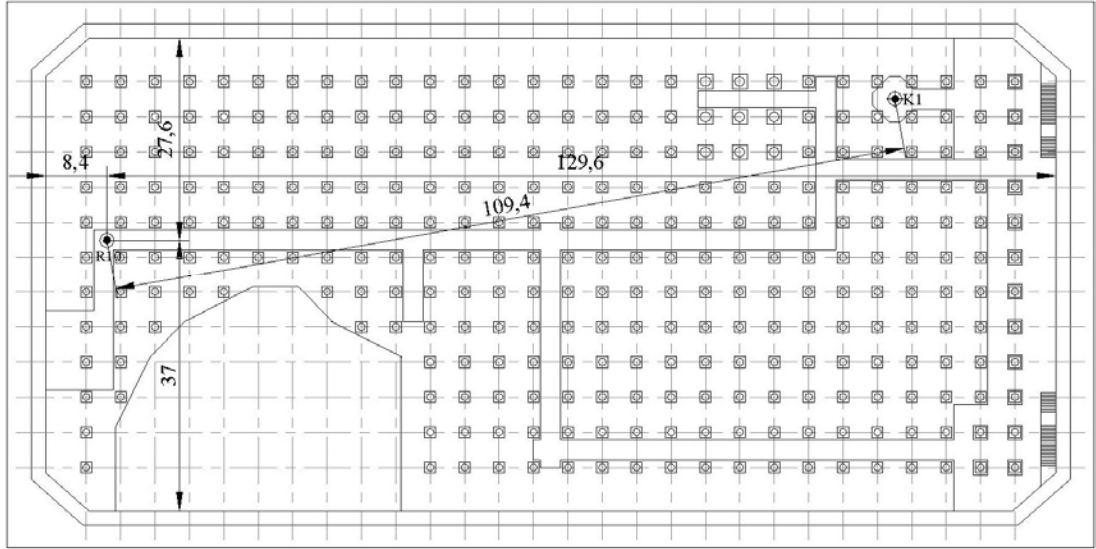
Şekil B.70: R9 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.71: R9 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



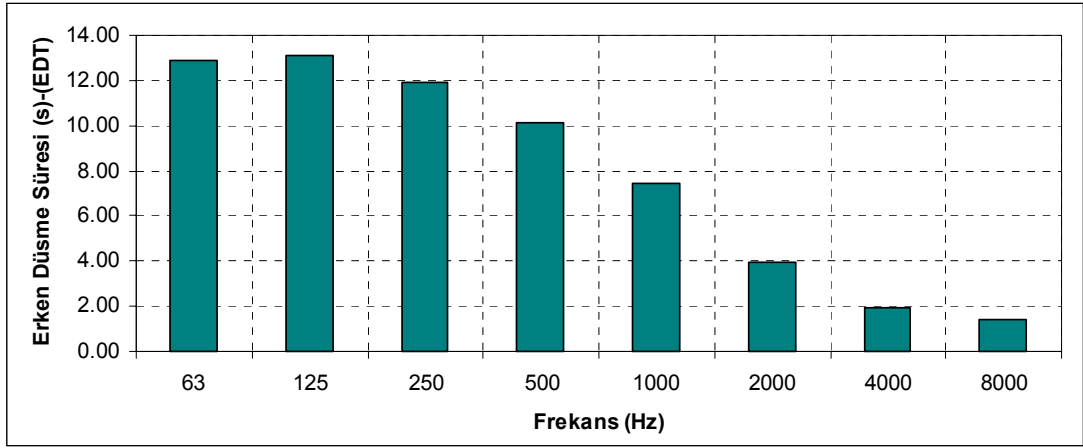
Şekil B.72: R9 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



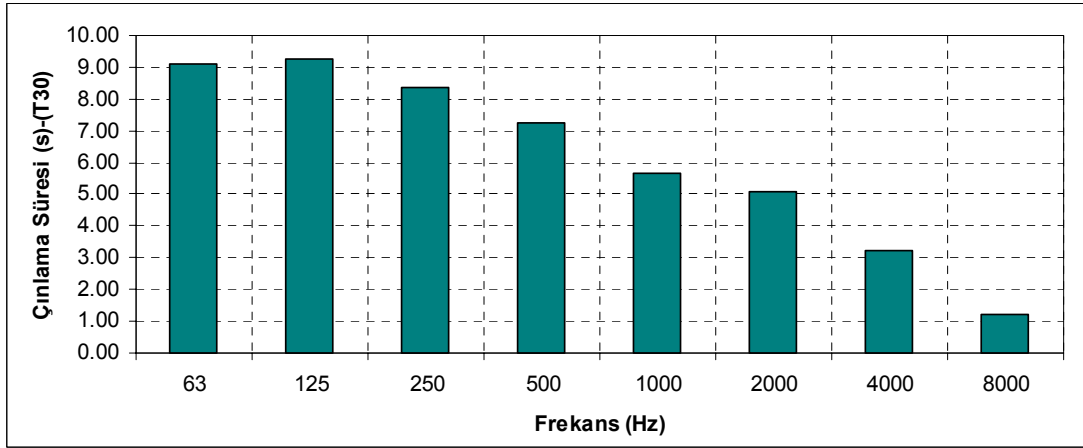
Şekil B.73: 10. Alıcının (R10) Yerebatan Sarayı planında konumu.

Tablo B.10: 10. Alıcı (R10) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

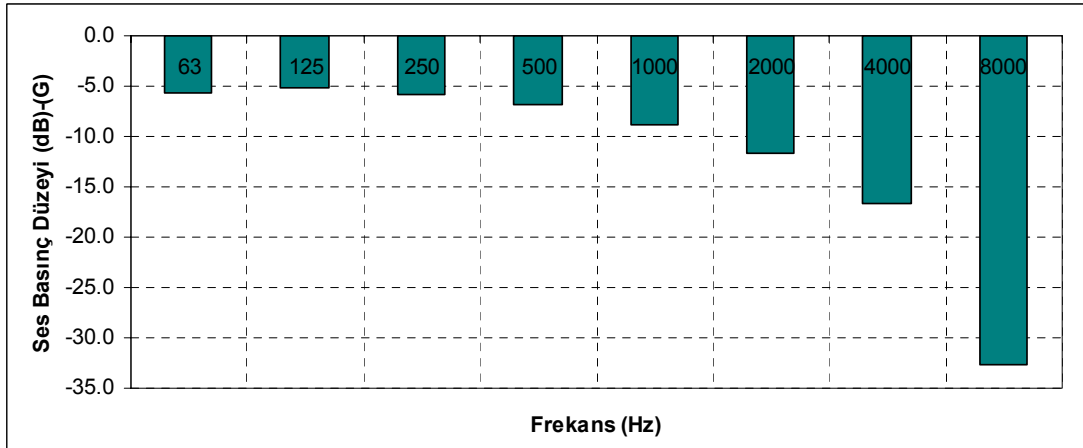
Alıcı Numarası: R10								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	12.86	13.10	11.94	10.13	7.45	3.96	1.95	1.41
T30 (s)	9.12	9.26	8.37	7.26	5.64	5.08	3.25	1.21
SPL (dB)	-5.7	-5.2	-5.8	-6.9	-8.8	-11.6	-16.7	-32.6
C80 (dB)	-21.1	-21.6	-21.3	-20.5	-19.2	-17.6	-15.6	-10.6
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ts (ms)	982	1018	931	791	571	388	291	203
LF80	0.101	0.101	0.101	0.100	0.100	0.099	0.099	0.099
SPL(A) = -4.1(dB)								
LG80* = -6.7 (dB)								
STI = 0.48 T30'a dayanan teorik, STI = 0.28								



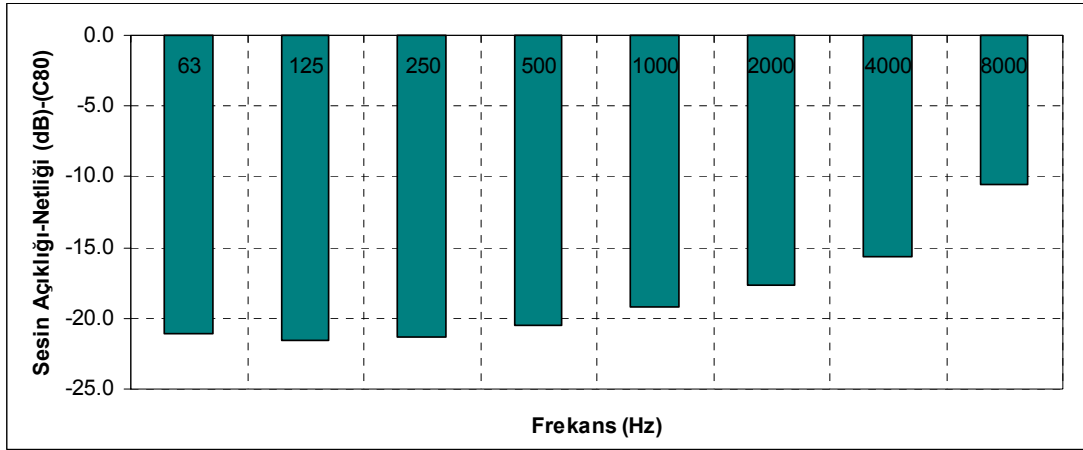
Şekil B.74: R10 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



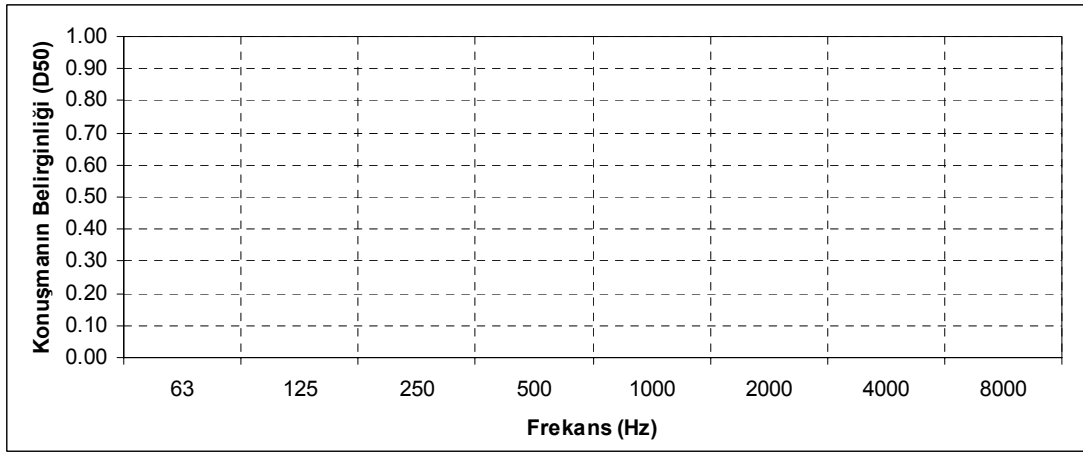
Şekil B.75: R10 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



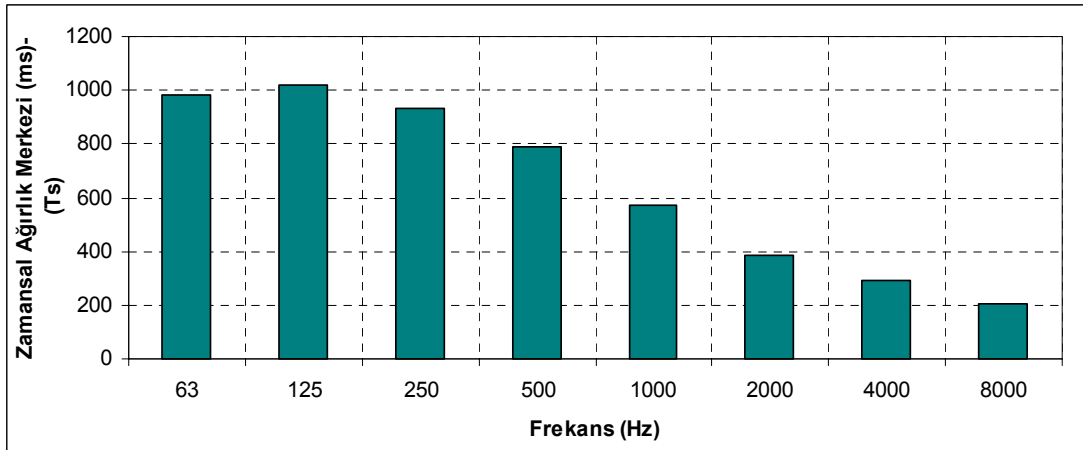
Şekil B.76: R10 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



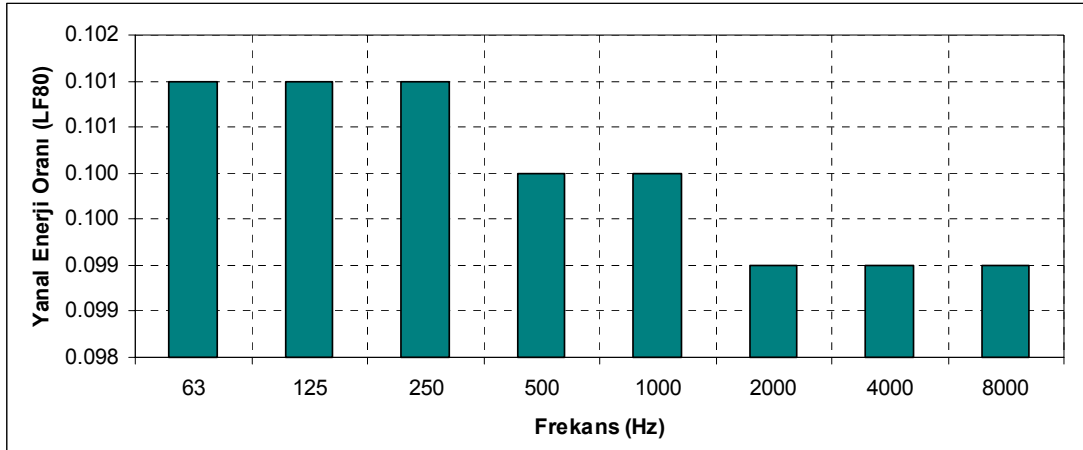
Şekil B.77: R10 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



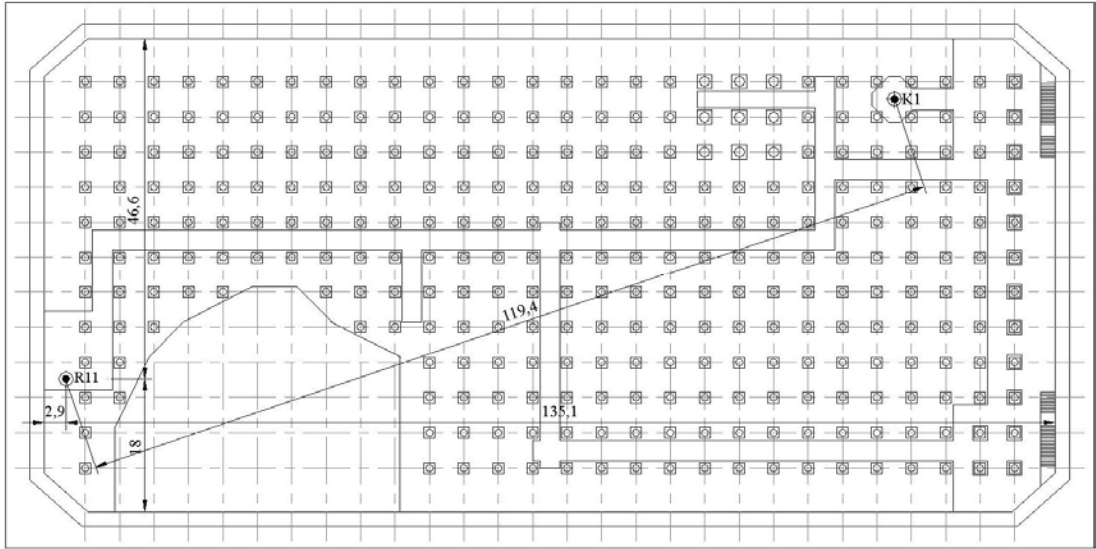
Şekil B.78: R10 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.79: R10 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



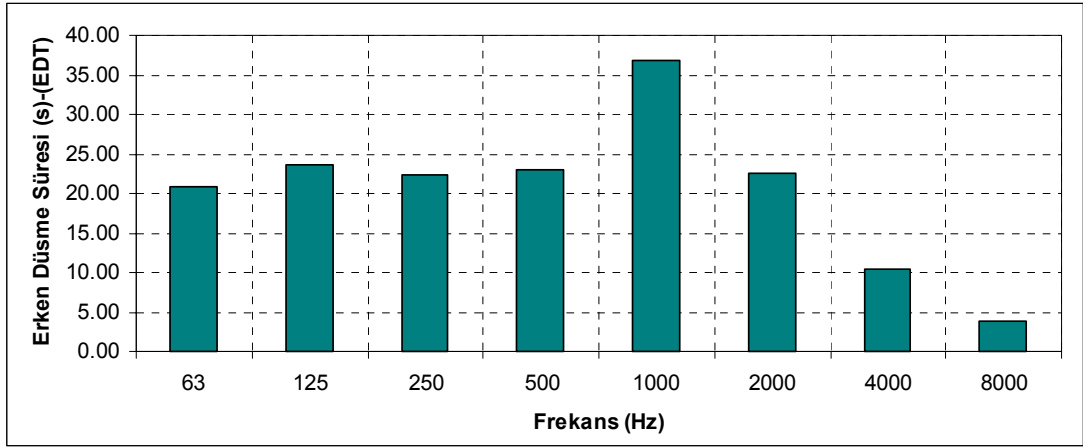
Şekil B.80: R10 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



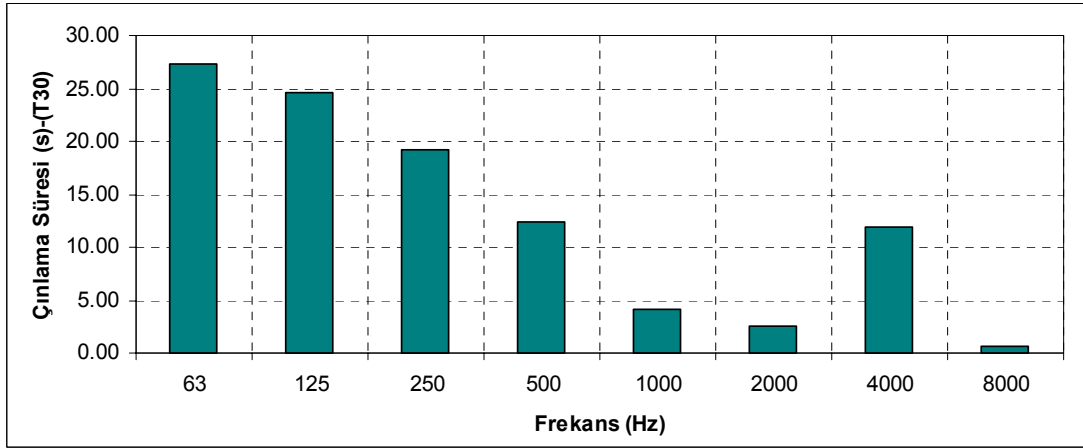
Şekil B.81: 11. Alıcının (R11) Yerebatan Sarıncı planında konumu.

Tablo B.11: 11. Alıcı (R11) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

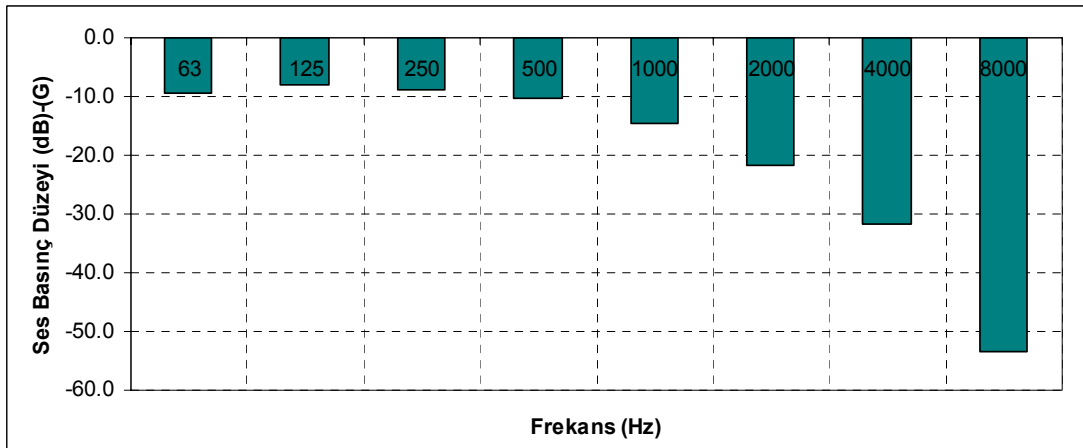
Alıcı Numarası: R11								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	20.95	23.53	22.29	22.90	36.88	22.62	10.51	3.80
T30 (s)	27.32	24.58	19.23	12.35	4.10	2.53	11.91	0.61
SPL (dB)	-9.4	-8.1	-8.8	-10.4	-14.5	-21.6	-31.6	-53.4
C80 (dB)	-35.5	-36.7	-36.1	-34.7	-31.1	-25.1	-17.8	-7.0
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10
Ts (ms)	1791	1771	1707	1646	1547	1249	664	272
LF80	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023
SPL(A) = -9.5(dB)								
LG80* = -10.1 (dB)								
STI = 0.43 T30'a dayanan teorik, STI = 0.26								



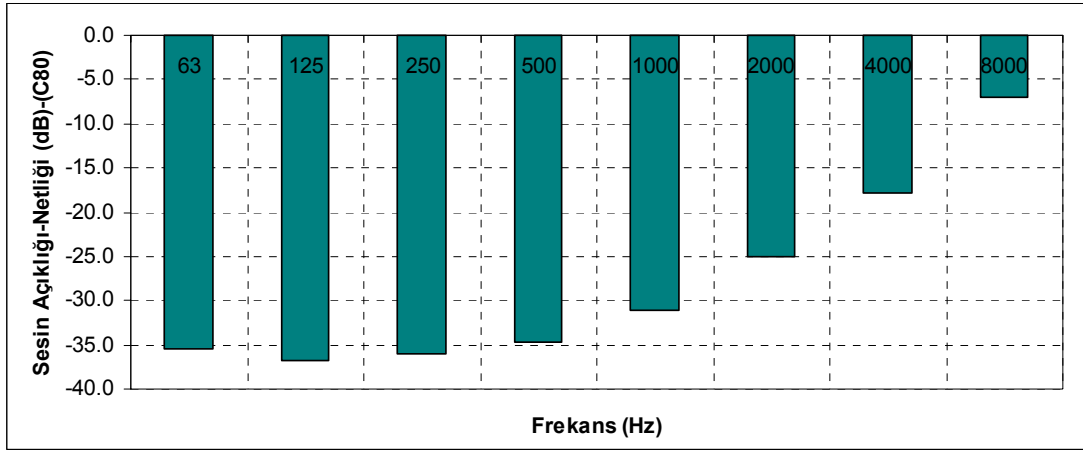
Şekil B.82: R11 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



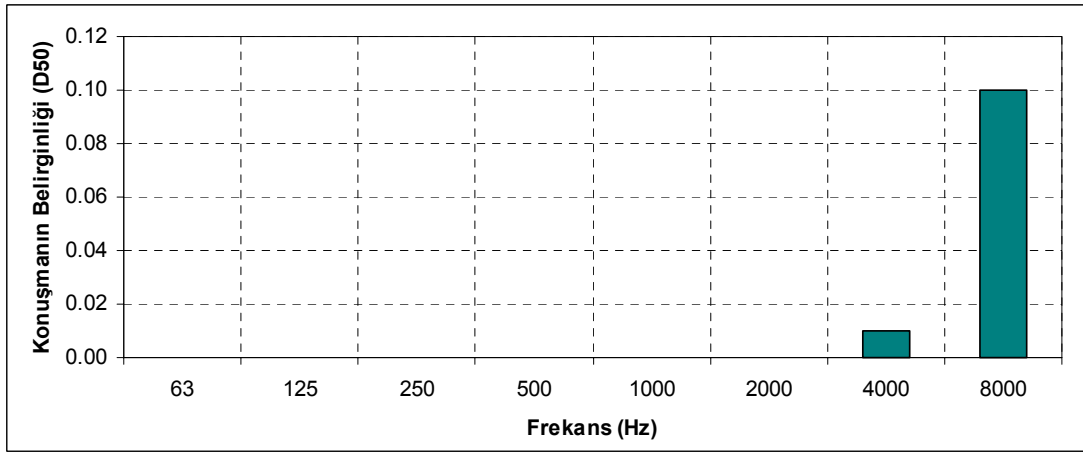
Şekil B.83: R11 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



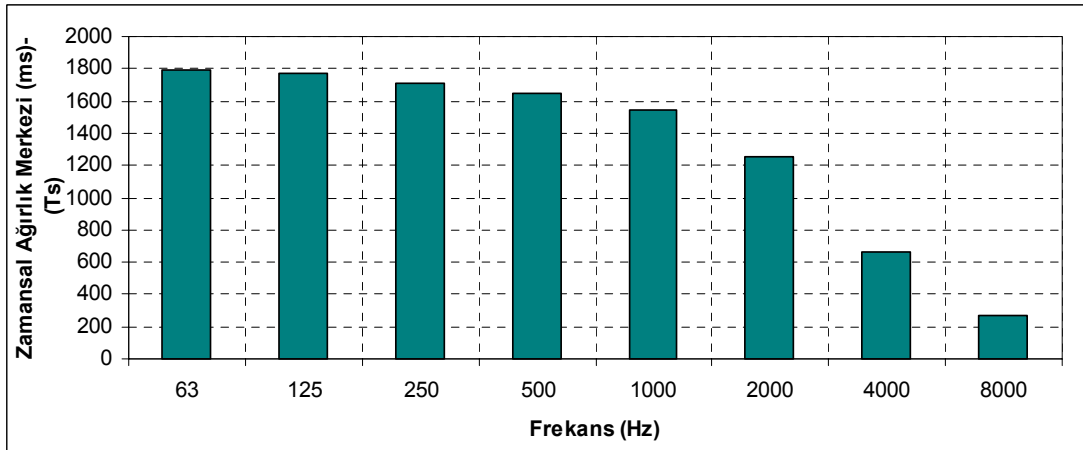
Şekil B.84: R11 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



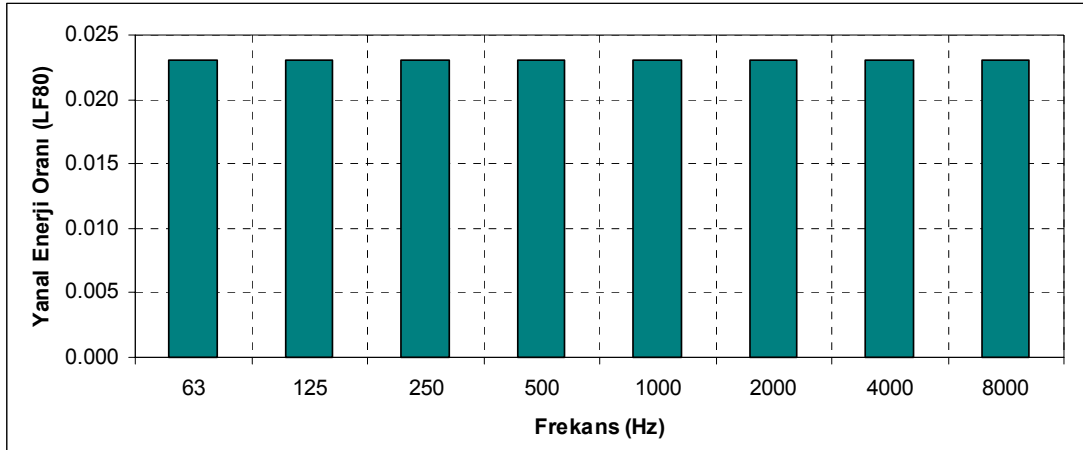
Şekil B.85: R11 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



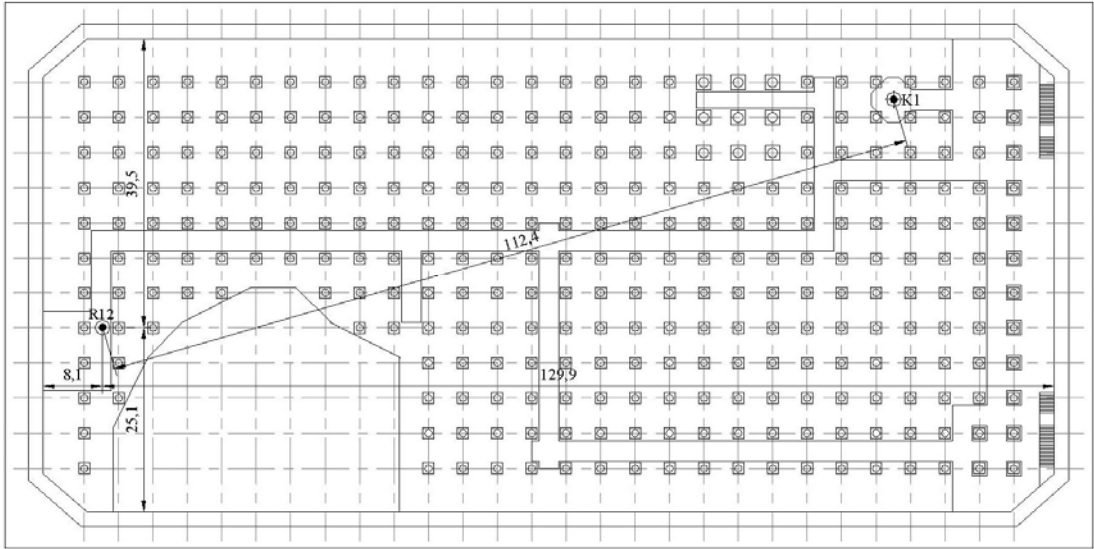
Şekil B.86: R11 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.87: R11 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



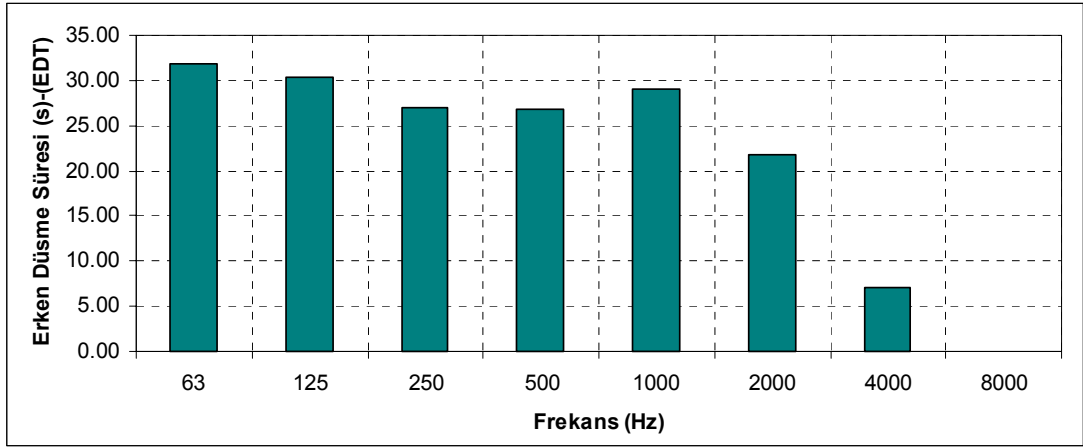
Şekil B.88: R11 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



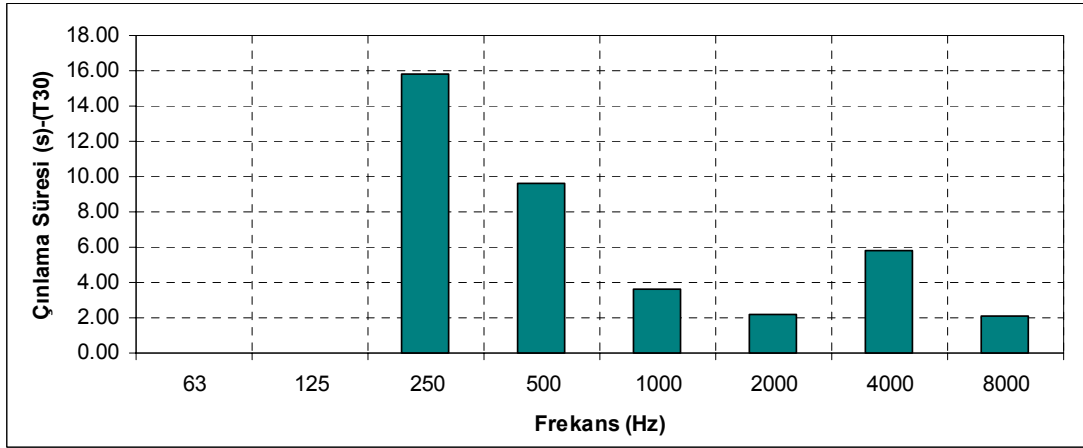
Şekil B.89: 12. Alıcının (R12) Yerebatan Sarıncı planında konumu.

Tablo B.12: 12. Alıcı (R12) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

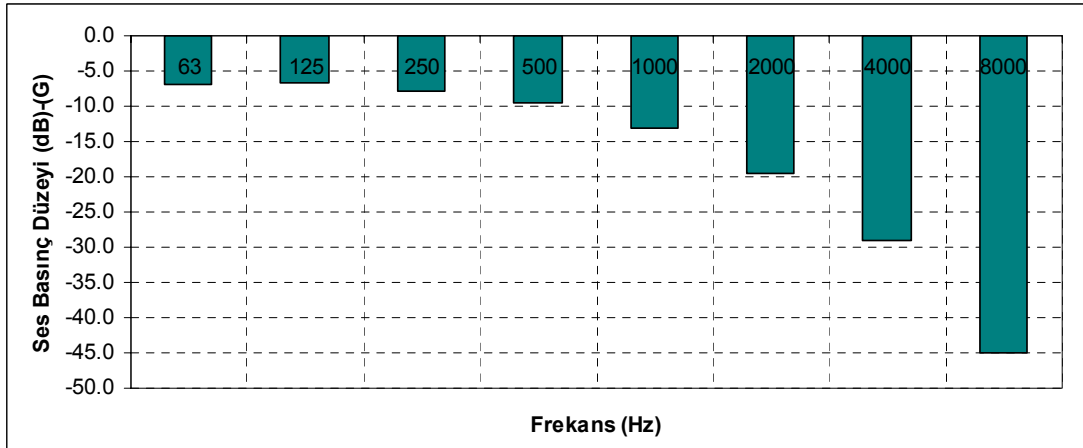
Alıcı Numarası: R12								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	31.90	30.31	27.08	26.79	28.98	21.84	7.12	0.00
T30 (s)	0.00	0.00	15.77	9.60	3.59	2.23	5.78	2.07
SPL (dB)	-6.9	-6.7	-7.9	-9.5	-13.2	-19.6	-29.1	-45.0
C80 (dB)	-29.8	-30.0	-28.9	-27.5	-24.2	-18.7	-12.1	-7.1
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
Ts (ms)	1703	1690	1626	1601	1519	1231	503	132
LF80	0.034	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.031
SPL(A) = -8.3(dB)								
LG80* = -7.3 (dB)								
STI = 0.45 T30'a dayanan teorik, STI = 0.32								



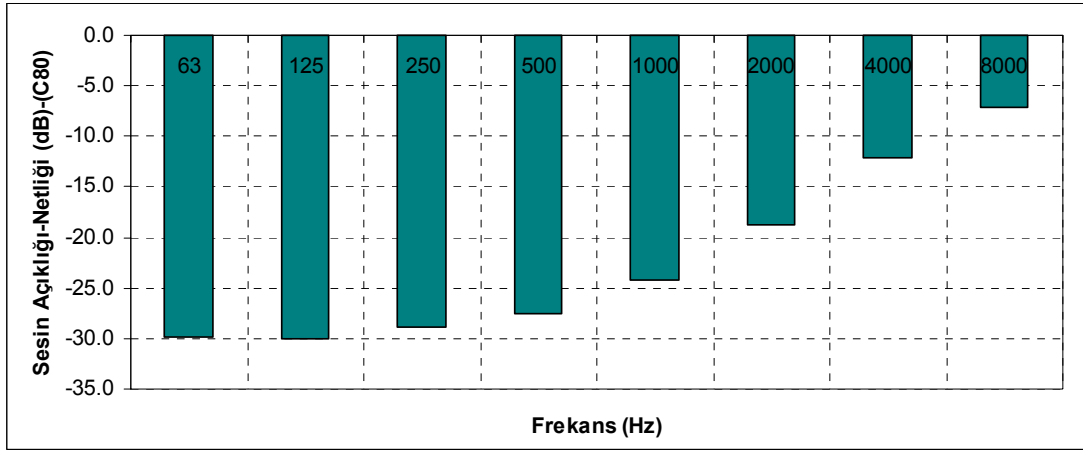
Şekil B.90: R12 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



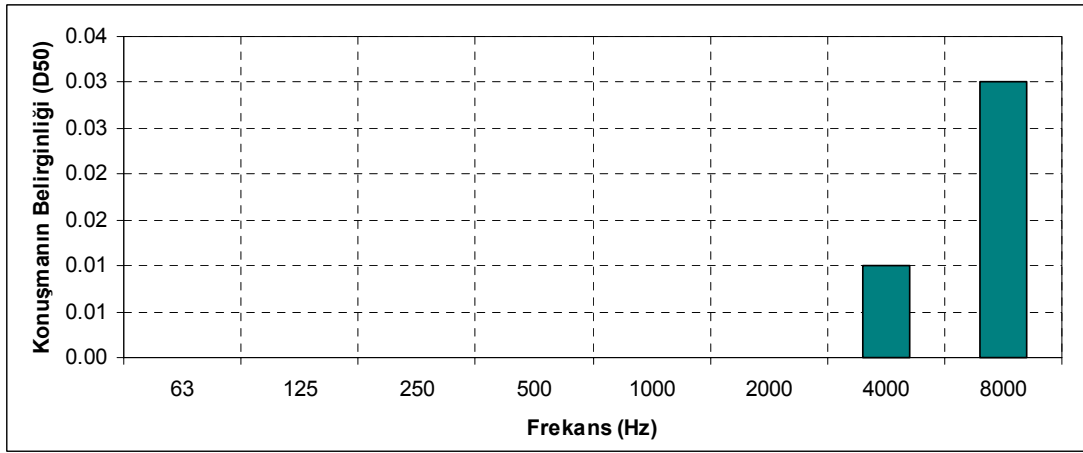
Şekil B.91: R12 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



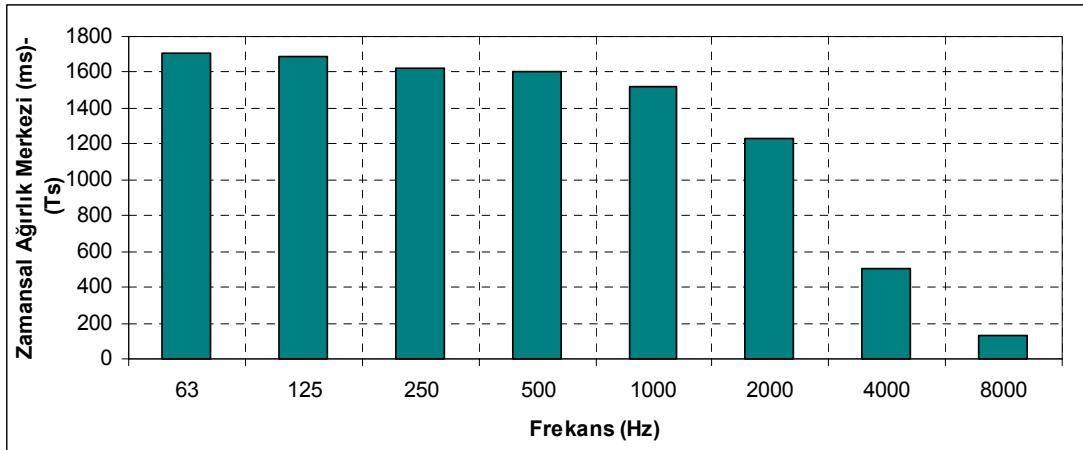
Şekil B.92: R12 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



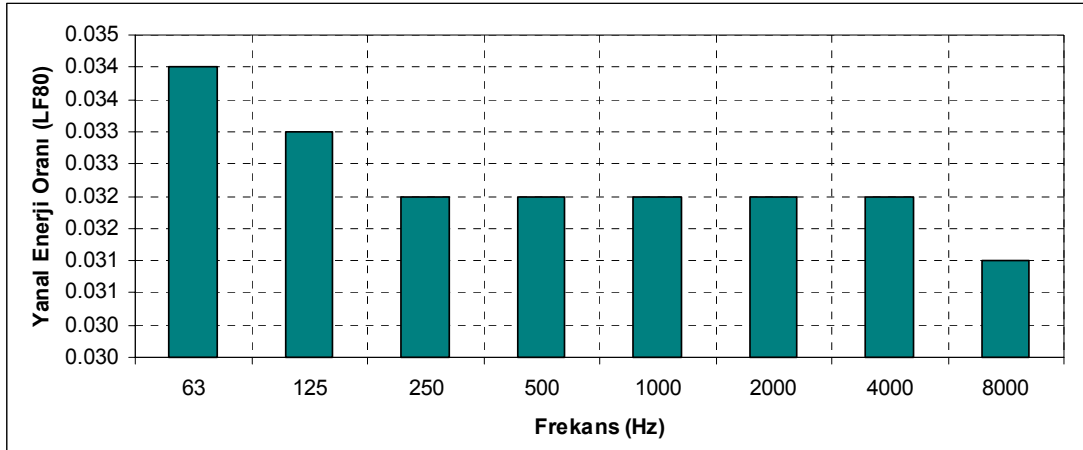
Şekil B.93: R12 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



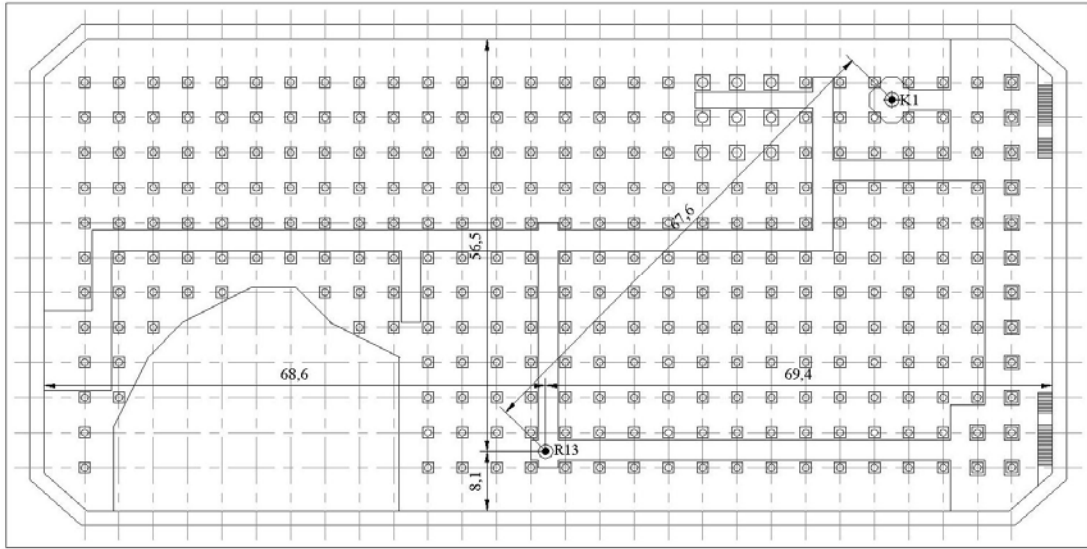
Şekil B.94: R12 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.95: R12 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



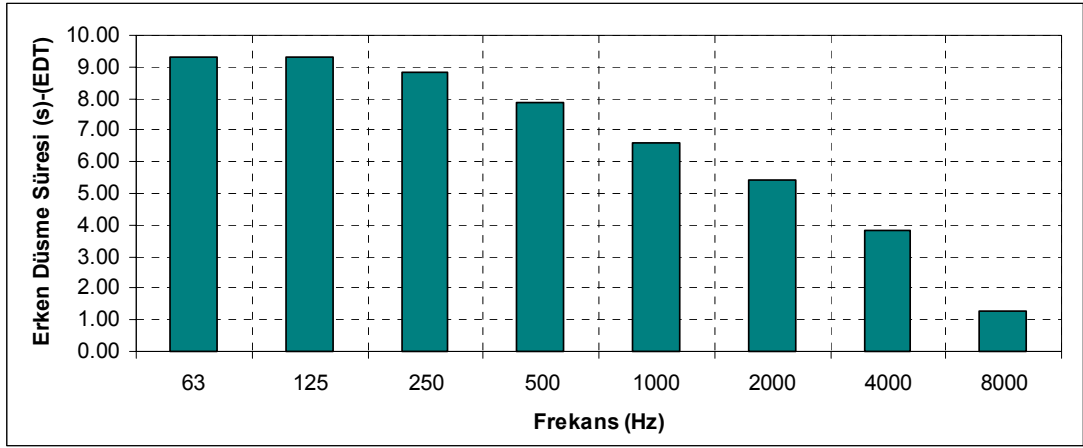
Şekil B.96: R12 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



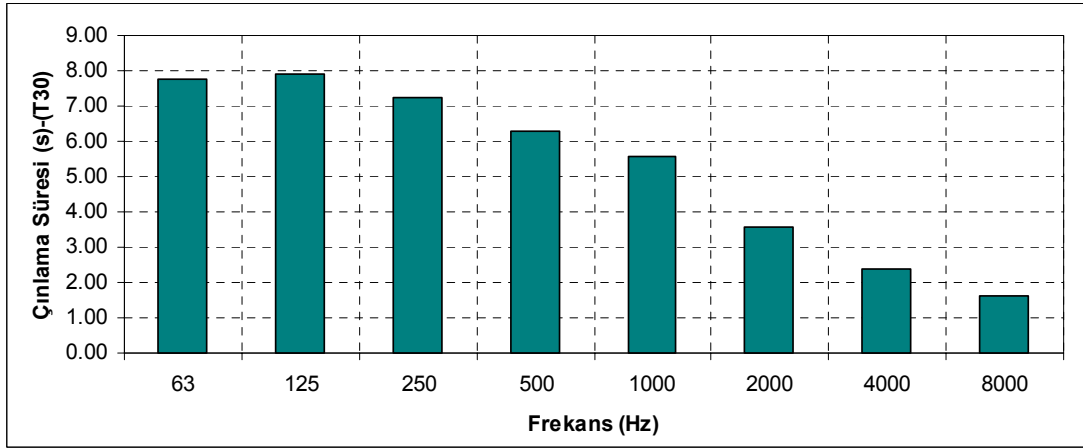
Şekil B.97: 13. Alıcının (R13) Yerebatan Sarmıcı planında konumu.

Tablo B.13: 13. Alıcı (R13) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

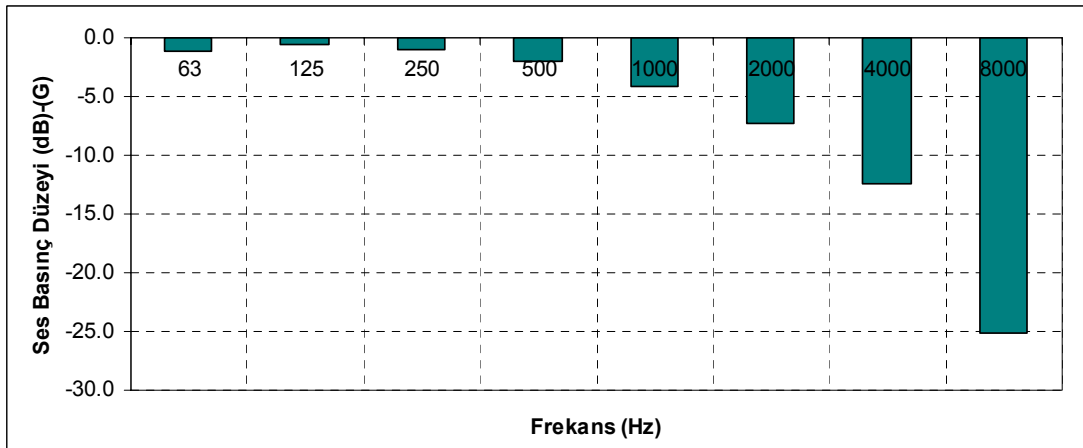
Alıcı Numarası: R13								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	9.29	9.29	8.85	7.86	6.57	5.42	3.83	1.30
T30 (s)	7.78	7.92	7.24	6.30	5.56	3.57	2.36	1.61
SPL (dB)	-1.1	-0.6	-1.0	-2.0	-4.1	-7.3	-12.4	-25.1
C80 (dB)	-23.3	-23.8	-23.5	-22.6	-20.8	-18.1	-15.0	-9.5
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ts (ms)	880	901	856	779	653	508	360	192
LF80	0.694	0.691	0.688	0.688	0.688	0.690	0.688	0.689
SPL(A) = 0.6(dB)								
LG80* = -0.2 (dB)								
STI = 0.25 T30'a dayanan teorik, STI = 0.31								



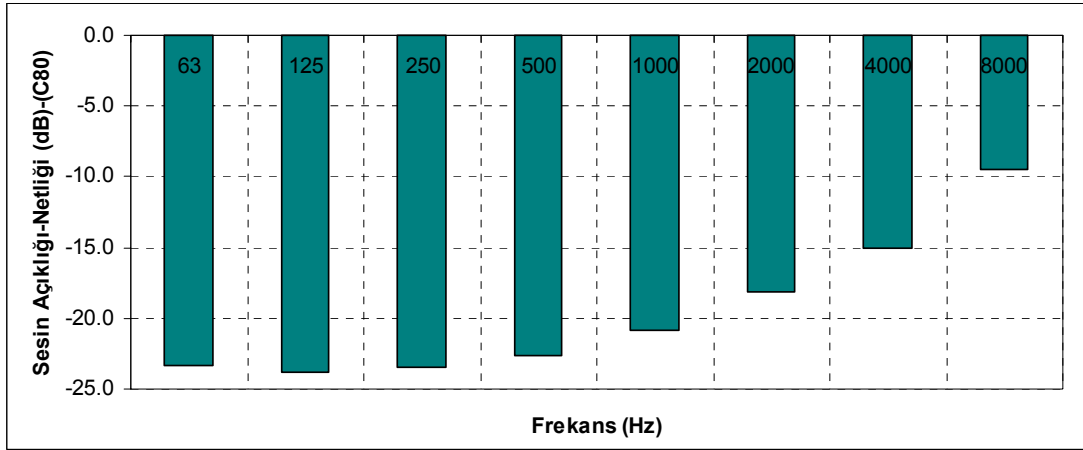
Şekil B.98: R13 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



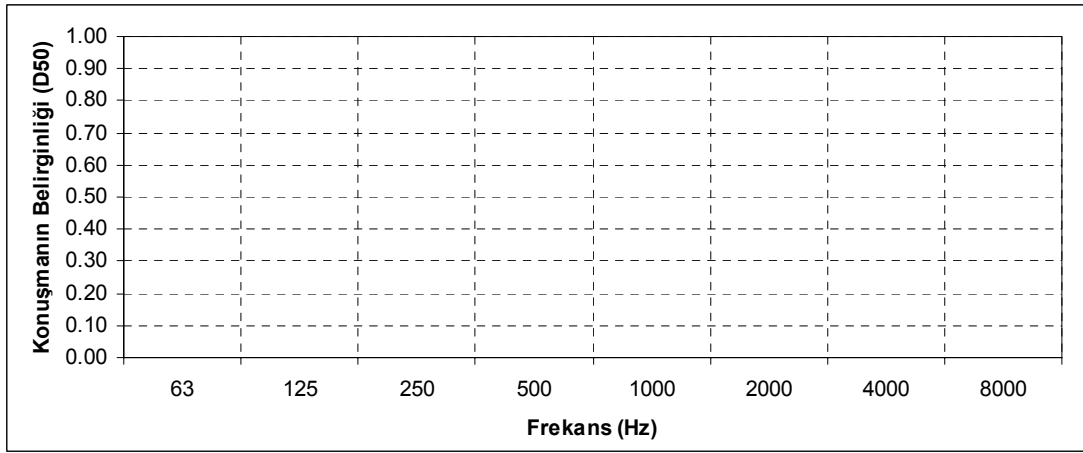
Şekil B.99: R13 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



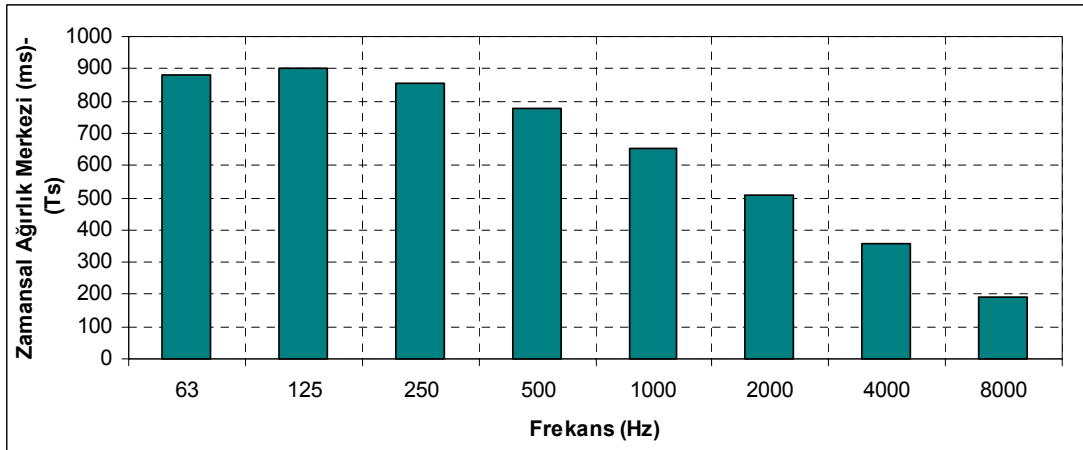
Şekil B.100: R13 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



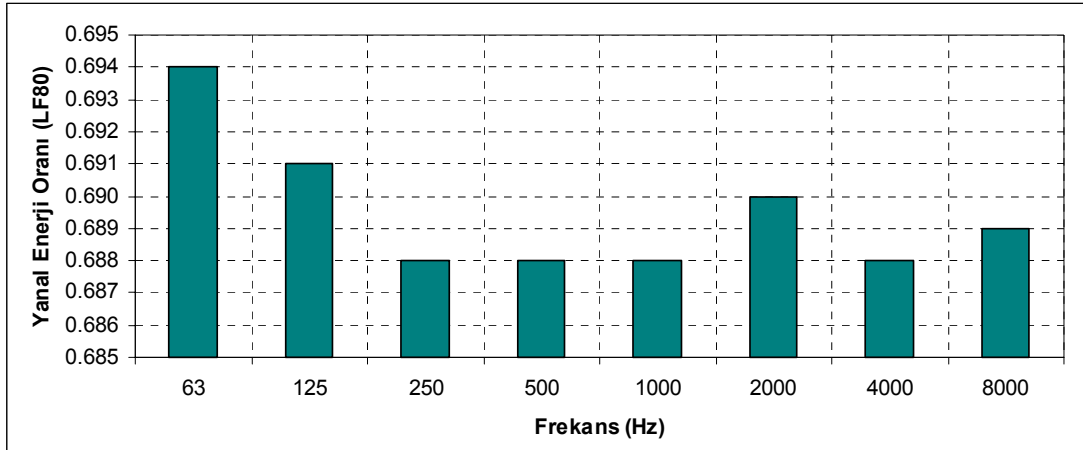
Şekil B.101: R13 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



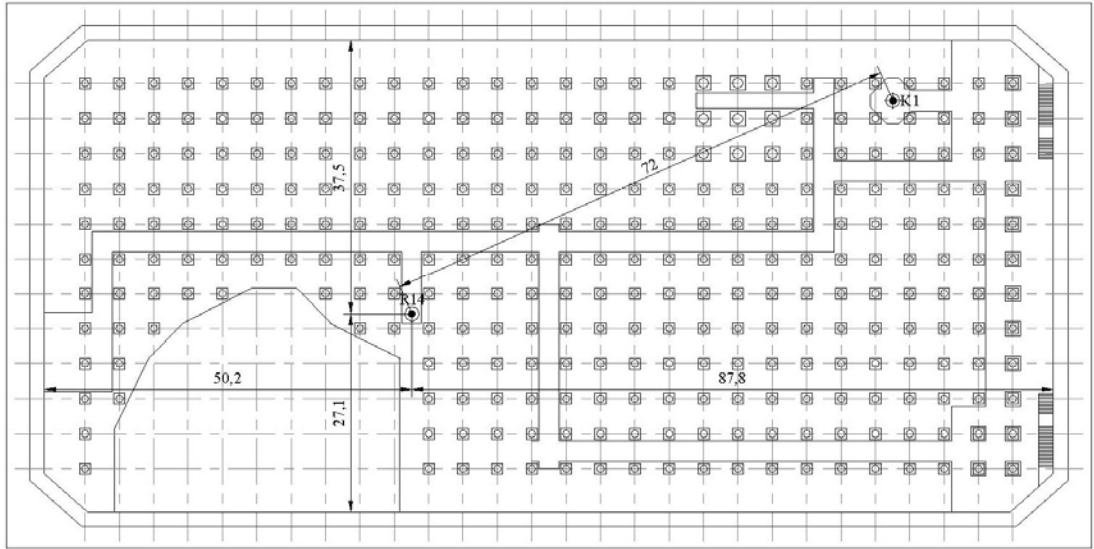
Şekil B.102: R13 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.103: R13 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



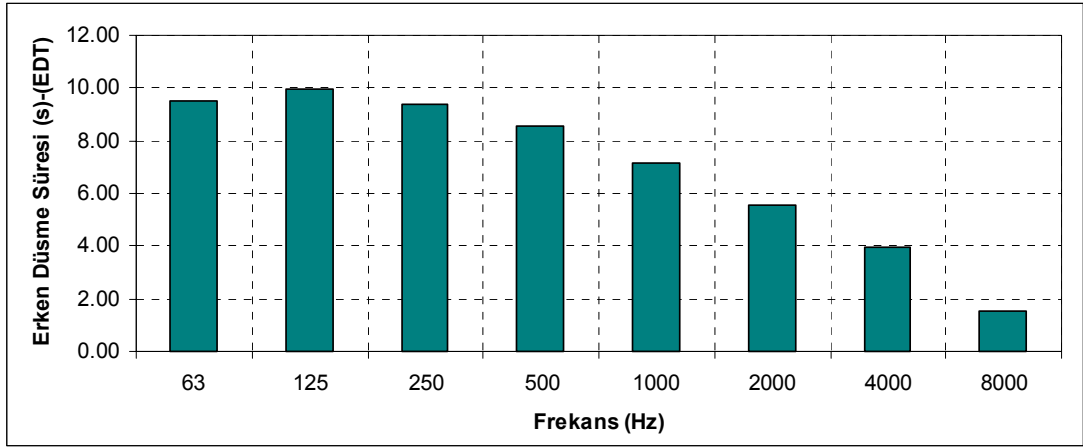
Şekil B.104: R13 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



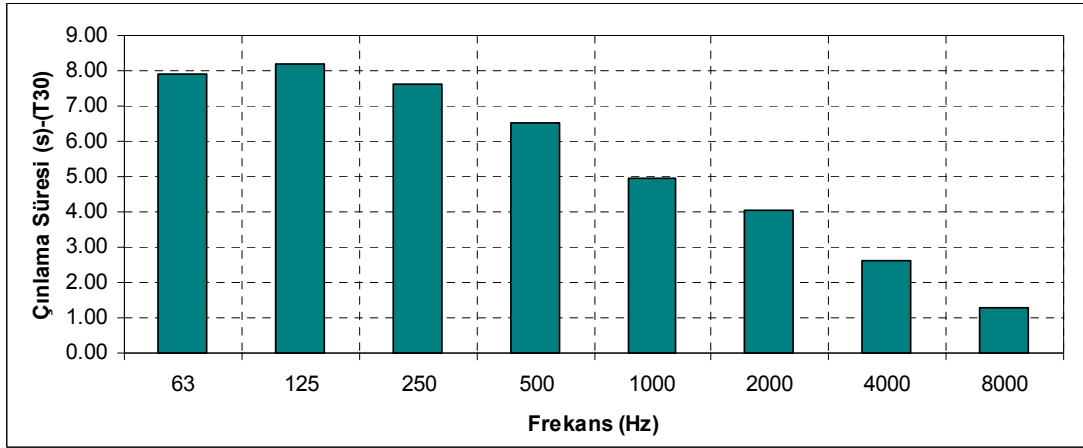
Şekil B.105: 14. Alıcının (R14) Yerebatan Sarıncı planında konumu.

Tablo B.14: 14. Alıcı (R14) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

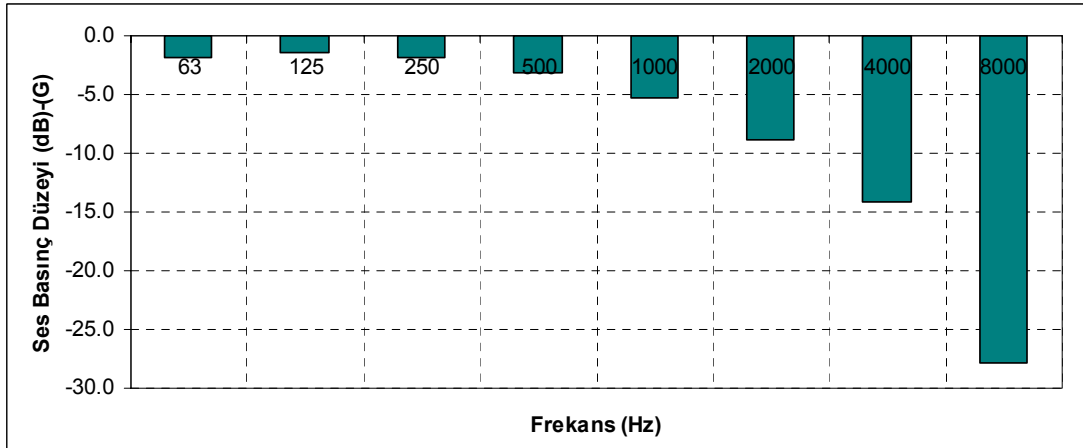
Alıcı Numarası: R14								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	9.52	9.96	9.38	8.57	7.17	5.57	3.95	1.56
T30 (s)	7.91	8.19	7.63	6.51	4.94	4.06	2.63	1.27
SPL (dB)	-1.9	-1.4	-1.9	-3.1	-5.3	-8.8	-14.2	-27.8
C80 (dB)	-24.8	-25.1	-24.7	-23.6	-21.7	-18.9	-15.5	-8.8
D50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08
Ts (ms)	923	950	904	825	690	528	374	208
LF80	0.385	0.378	0.375	0.372	0.376	0.385	0.389	0.404
SPL(A) = -0.6(dB)								
LG80* = -1.1 (dB)								
STI = 0.23 T30'a dayanan teorik, STI = 0.30								



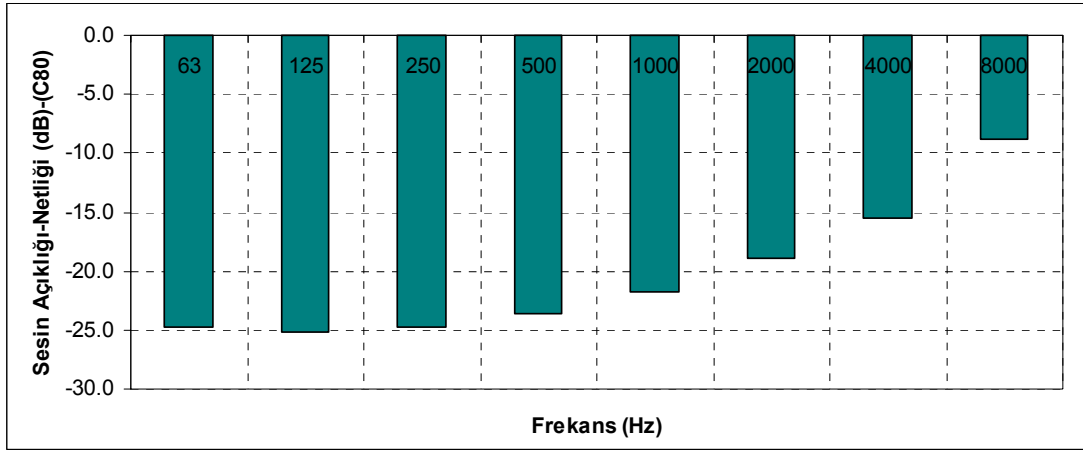
Şekil B.106: R14 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



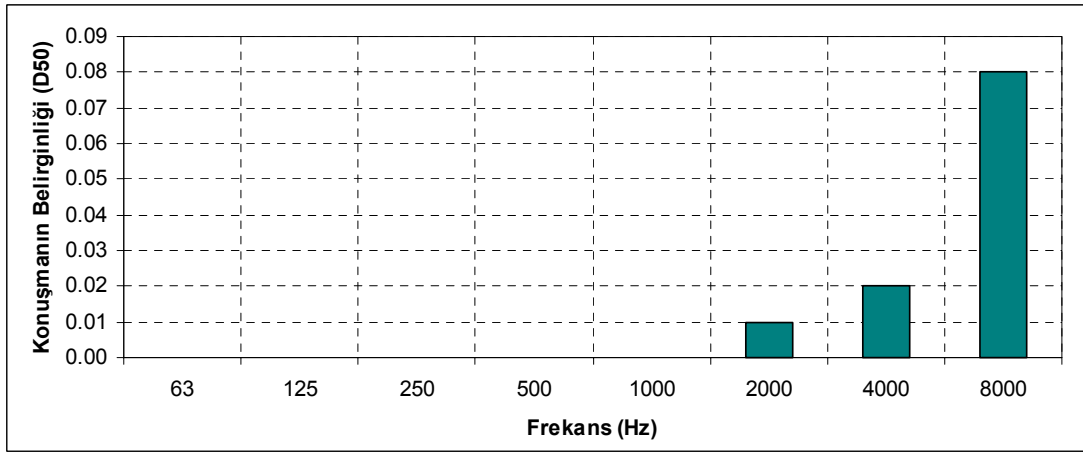
Şekil B.107: R14 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



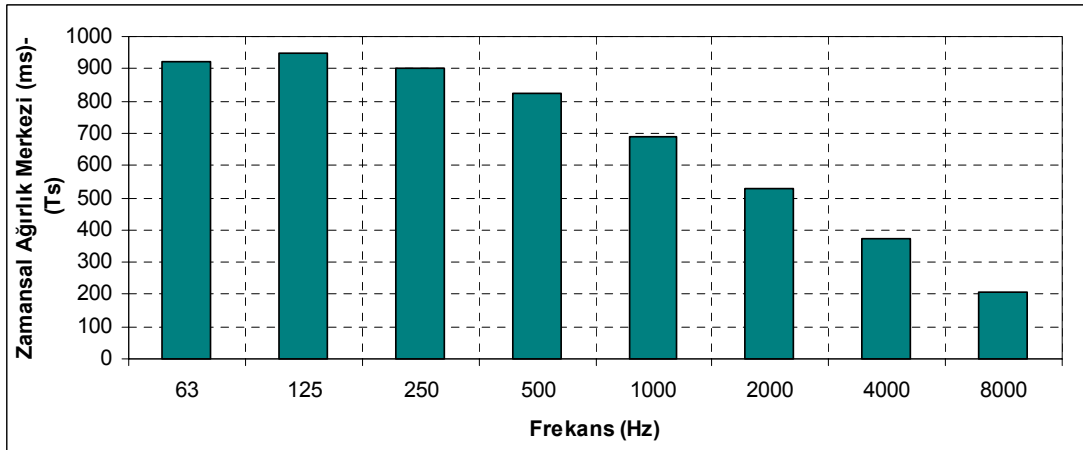
Şekil B.108: R14 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



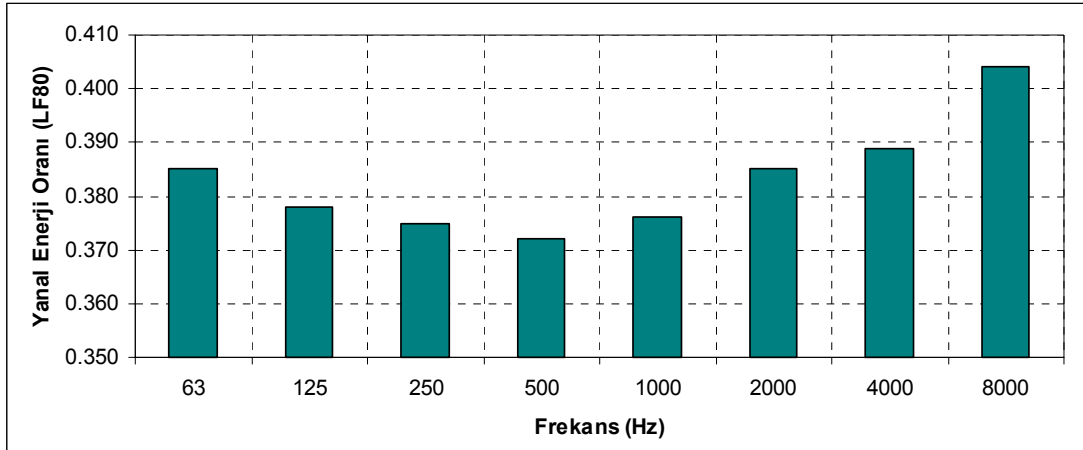
Şekil B.109: R14 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



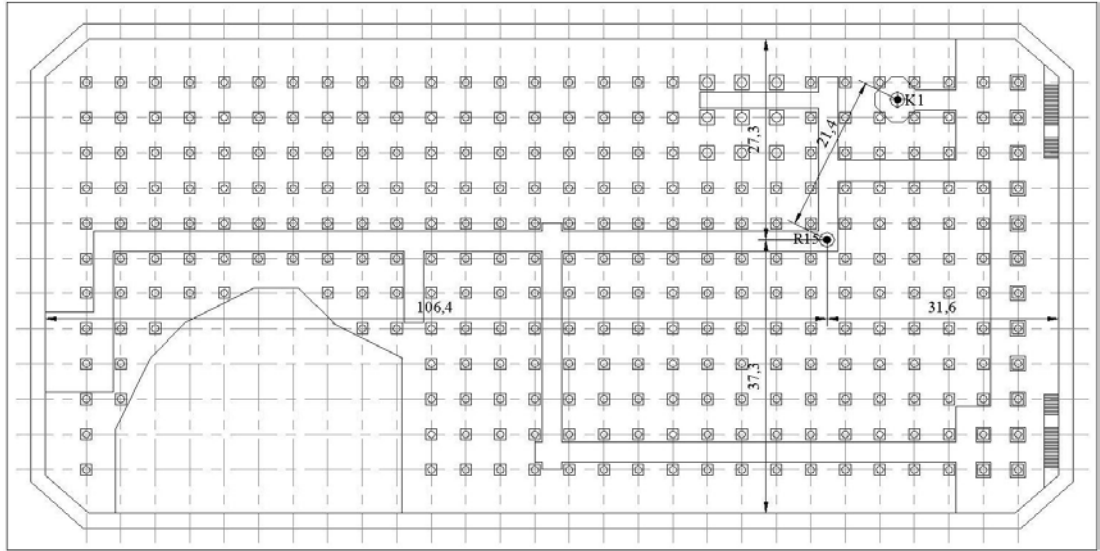
Şekil B.110: R14 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.111: R14 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



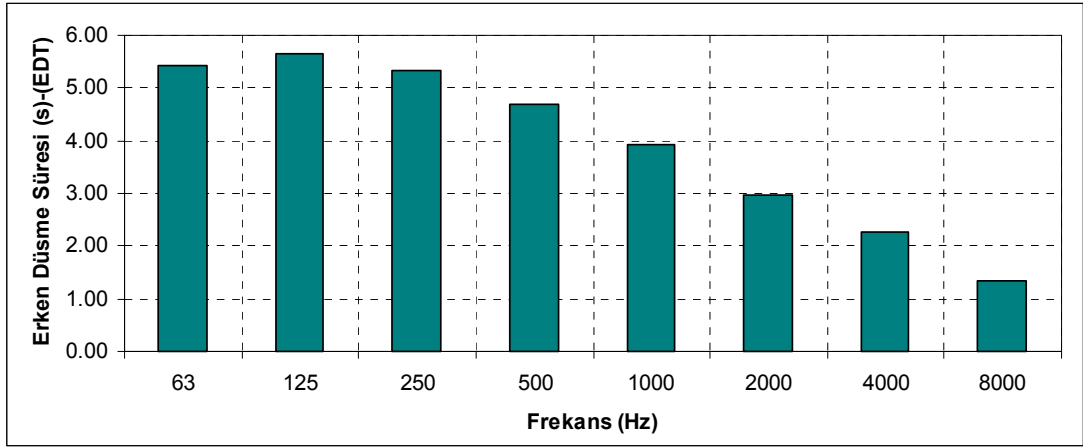
Şekil B.112: R14 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.



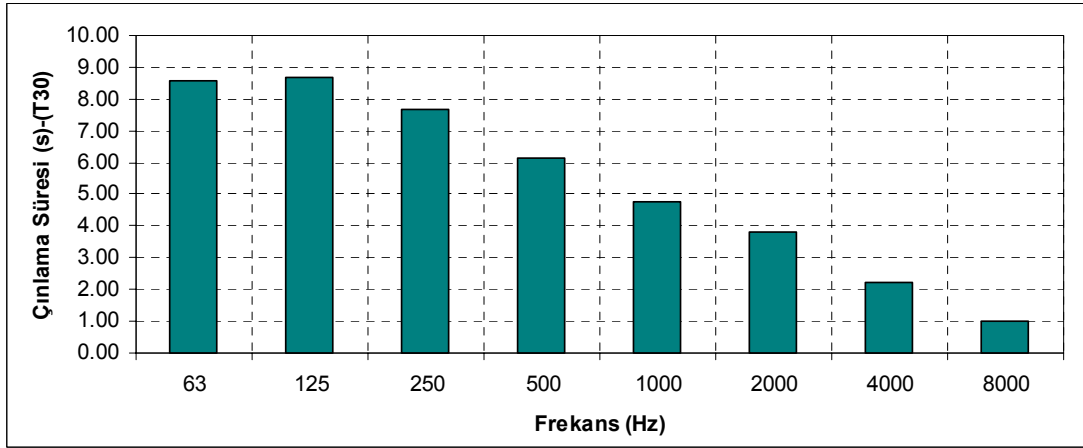
Şekil B.113: 15. Alıcının (R15) Yerebatan Sarıcı planında konumu.

Tablo B.15: 15. Alıcı (R15) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

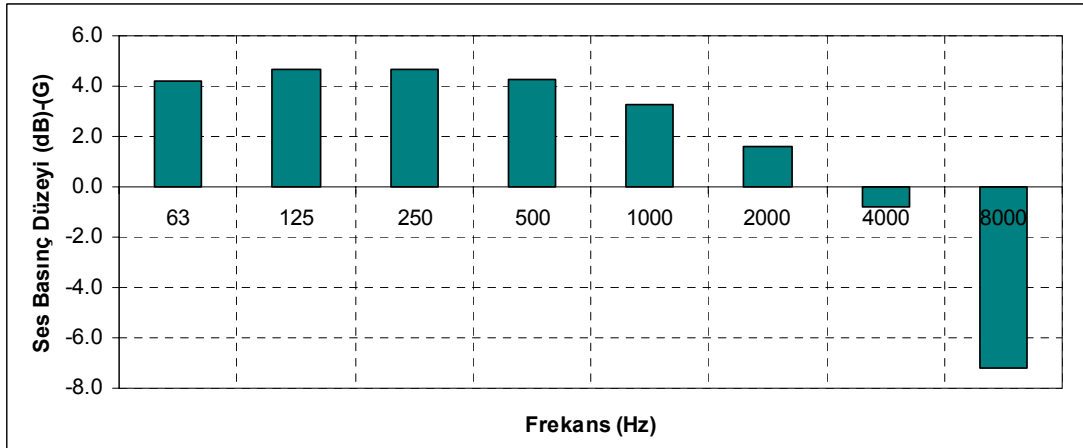
Alıcı Numarası: R15								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	5.43	5.64	5.33	4.70	3.94	2.97	2.28	1.33
T30 (s)	8.58	8.70	7.69	6.14	4.76	3.79	2.24	1.00
SPL (dB)	4.2	4.7	4.7	4.3	3.3	1.6	-0.8	-7.2
C80 (dB)	-13.1	-13.3	-13.2	-12.9	-12.1	-10.8	-9.3	-5.7
D50	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.09
Ts (ms)	447	466	446	402	339	269	208	135
LF80	0.325	0.322	0.320	0.316	0.318	0.321	0.320	0.308
SPL(A) = 8.5(dB)								
LG80* = 5.6 (dB)								
STI = 0.36 T30'a dayanan teorik, STI = 0.32								



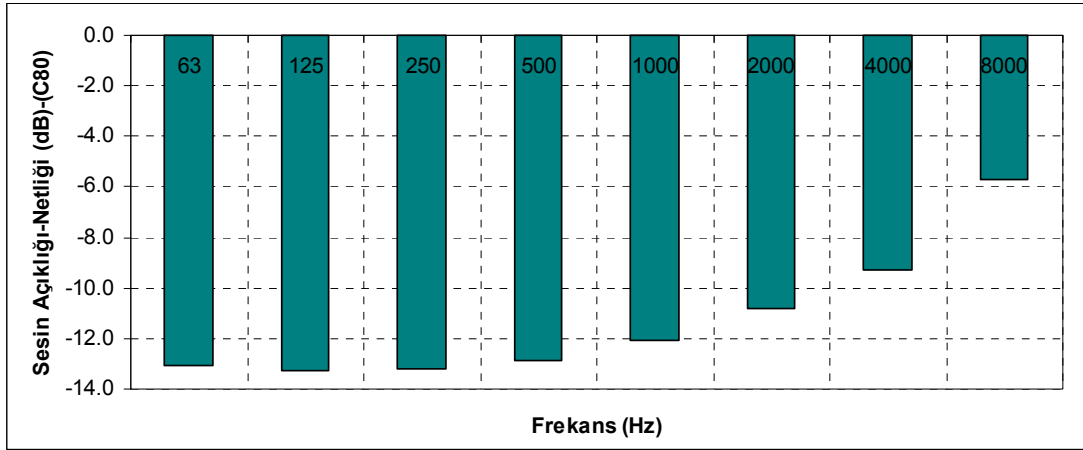
Şekil B.114: R15 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



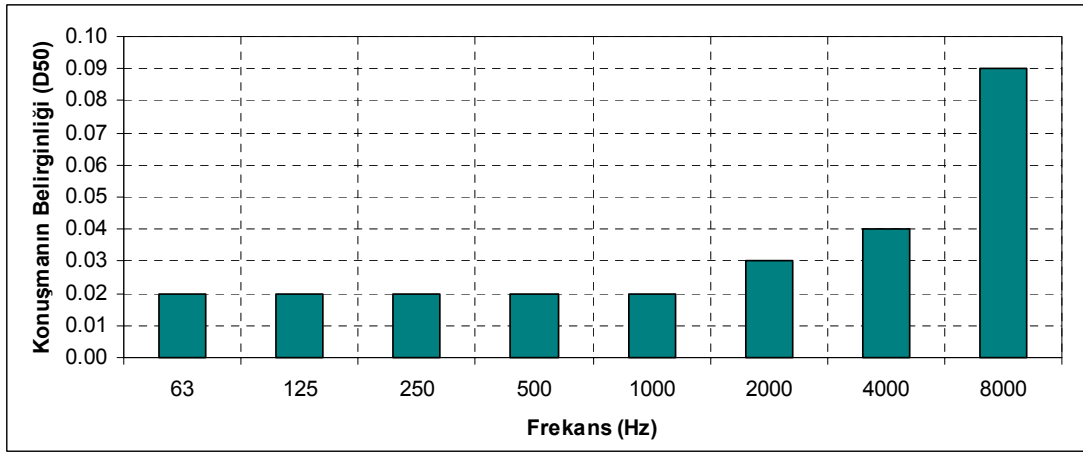
Şekil B.115: R15 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



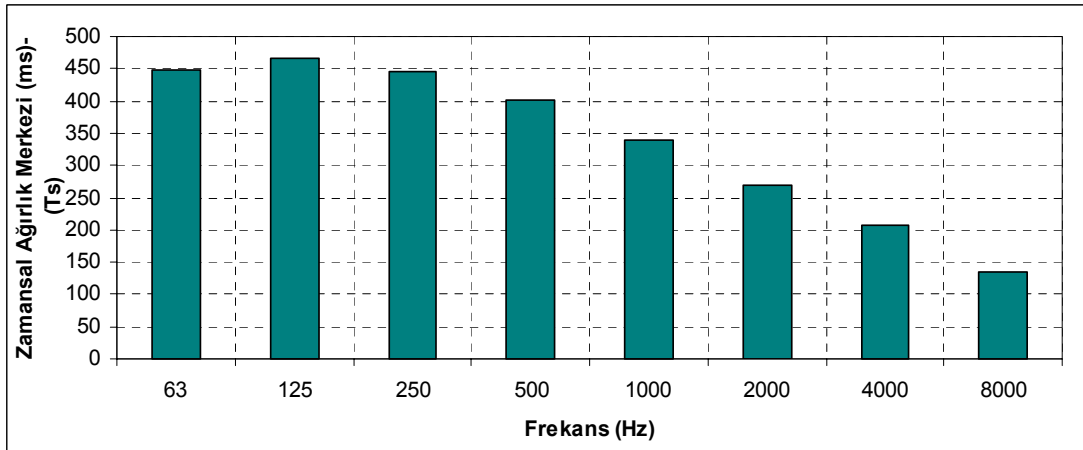
Şekil B.116: R15 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



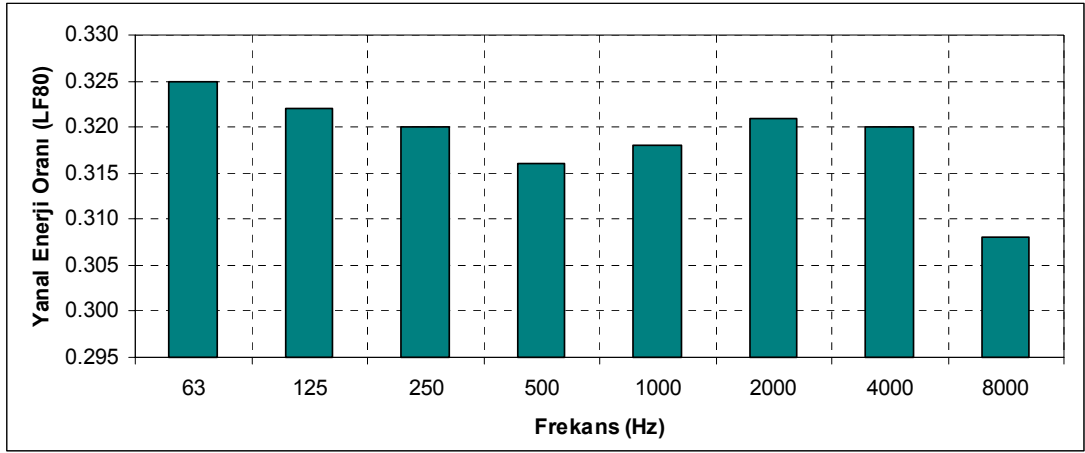
Şekil B.117: R15 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil B.118: R15 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil B.119: R15 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.

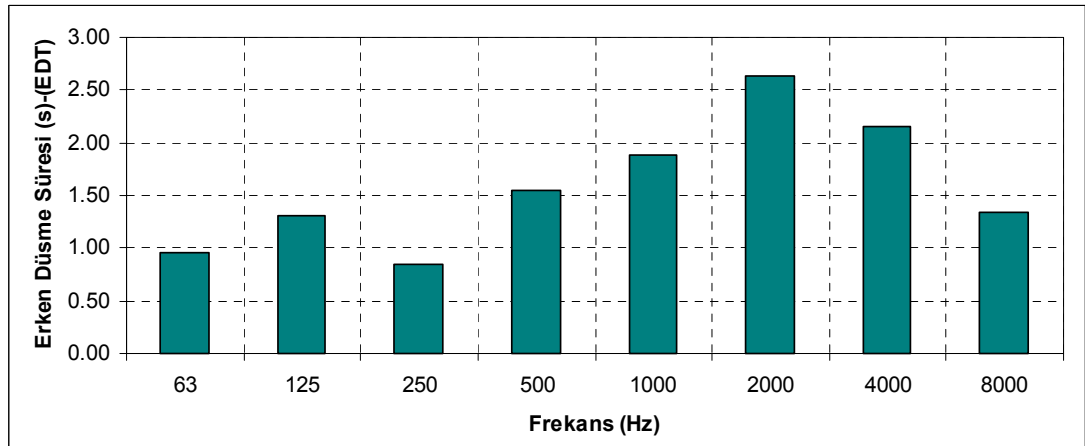


Şekil B.120: R15 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

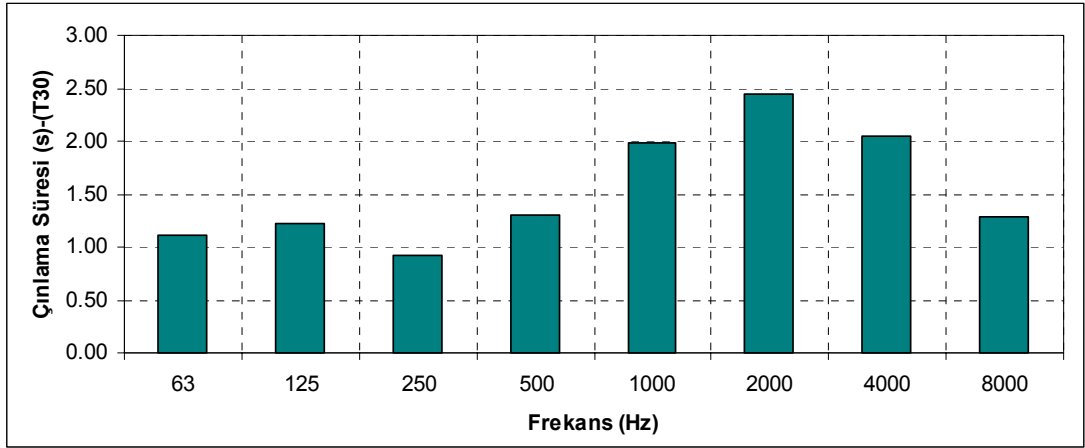
**EK C. 5 ALICI NOKTASI İÇİN ODEON 7.0 SİMÜLASYON PROGRAMI
TARAFINDAN HESAPLANAN PARAMETRE DEĞERLERİ**

Tablo C.1: 1. Alıcı (R1) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

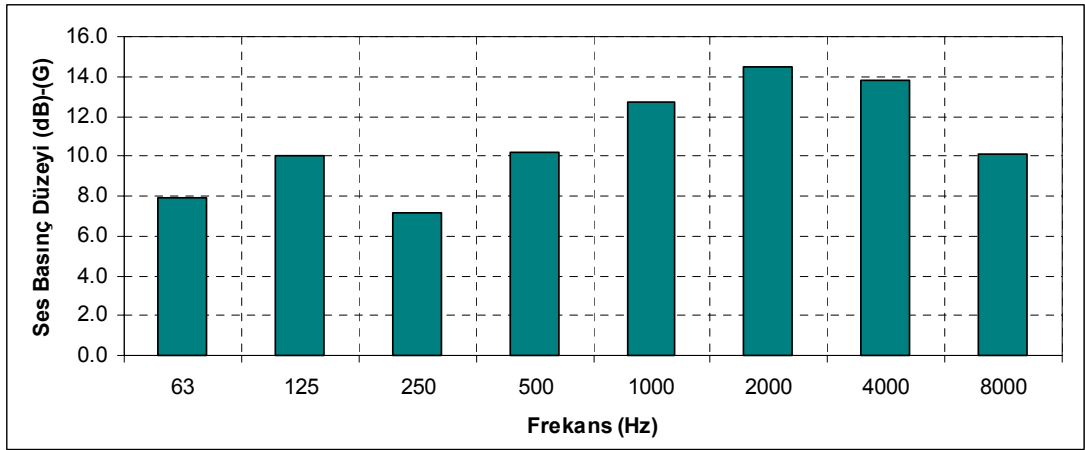
Alıcı Numarası: R1								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0.96	1.31	0.84	1.55	1.89	2.63	2.15	1.34
T30 (s)	1.11	1.23	0.92	1.30	1.99	2.44	2.05	1.29
SPL (dB)	7.9	10.0	7.2	10.2	12.7	14.5	13.8	10.1
C80 (dB)	2.2	0.2	2.8	0.1	-2.2	-3.9	-3.1	0.3
D50 -	0.40	0.30	0.45	0.31	0.21	0.16	0.18	0.31
Ts (ms)	81	107	72	107	154	202	175	103
LF80 -	0.205	0.222	0.189	0.213	0.228	0.234	0.233	0.222
SPL(A) = 20 (dB) LG80* = 9 (dB) STI = 0.44 T30'a dayanan teorik, STI = 0.49								



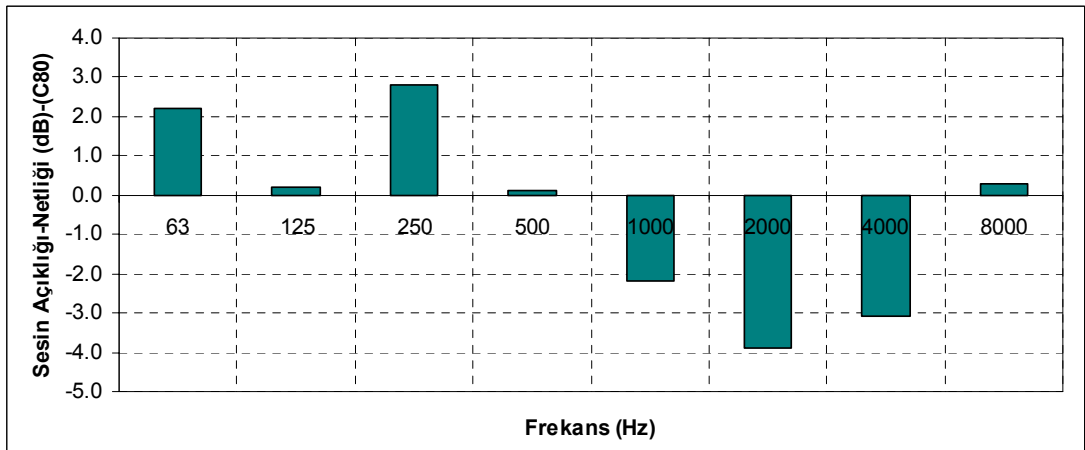
Şekil C.1: R1 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



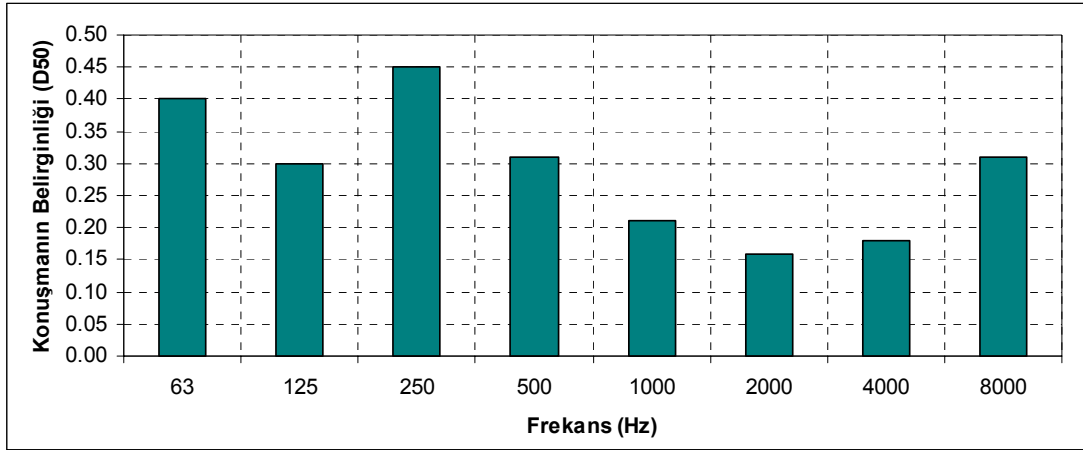
Şekil C.2: R1 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



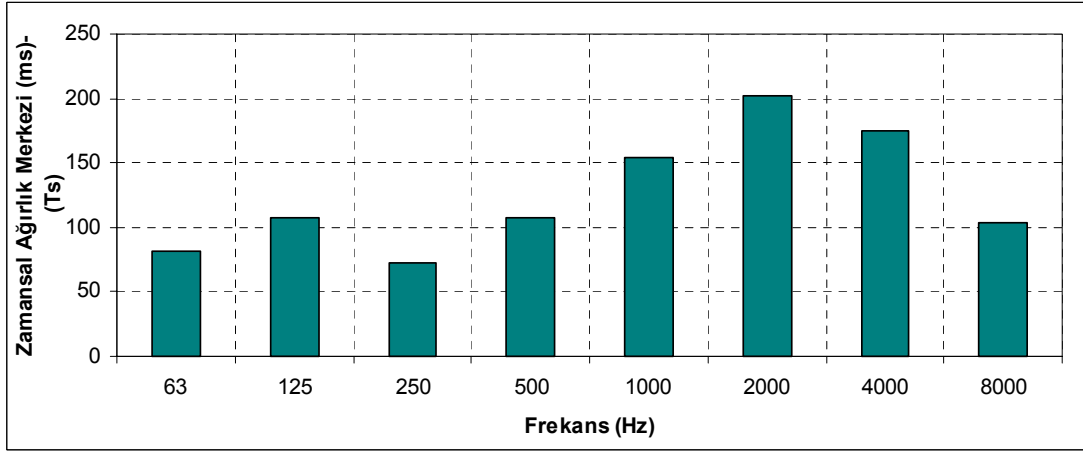
Şekil C.3: R1 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



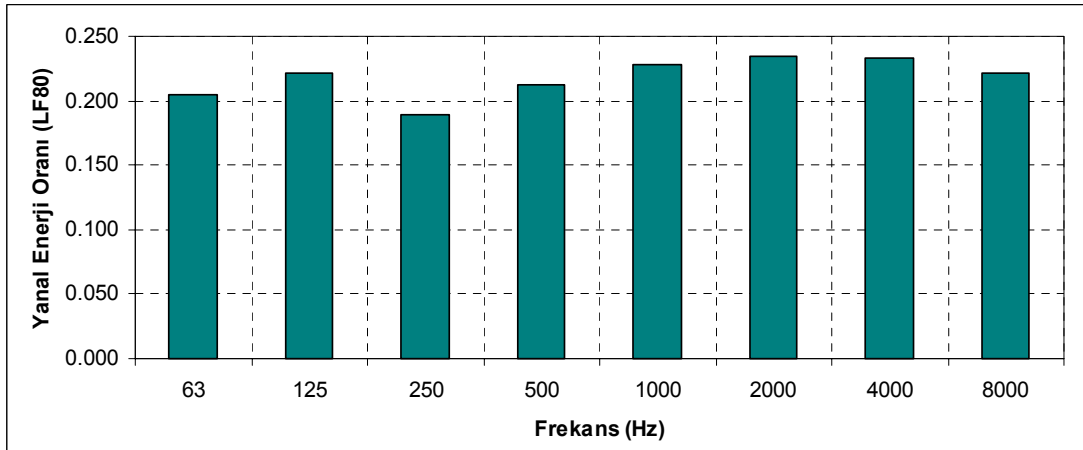
Şekil C.4: R1 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil C.5: R1 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



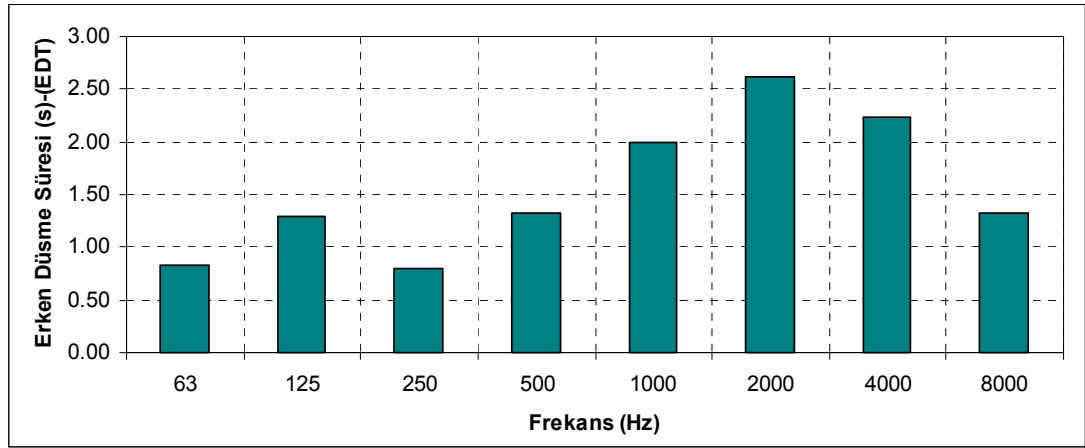
Şekil C.6: R1 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.



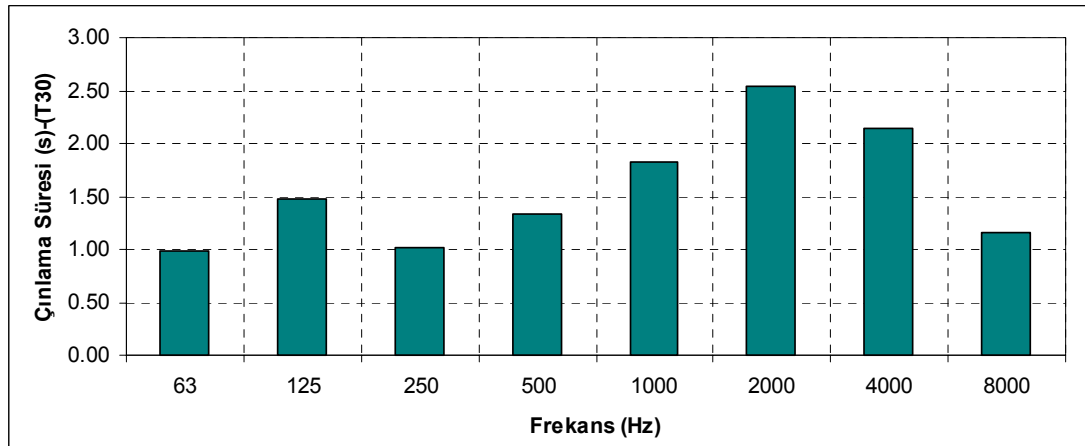
Şekil C.7: R1 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

Tablo C.2: 2. Alıcı (R2) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

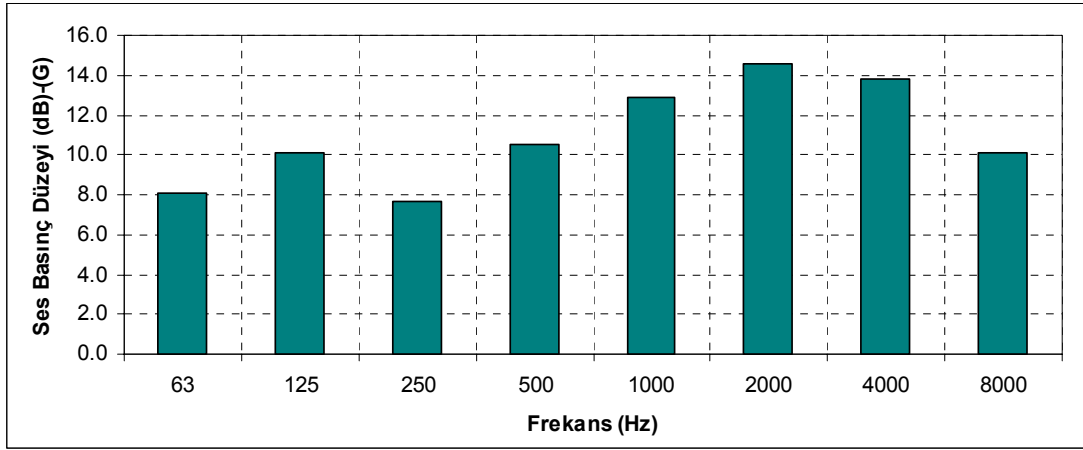
Alıcı Numarası: R2								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0.83	1.30	0.79	1.32	1.99	2.62	2.23	1.33
T30 (s)	0.99	1.48	1.01	1.34	1.83	2.54	2.14	1.16
SPL (dB)	8.1	10.1	7.7	10.5	12.9	14.6	13.8	10.1
C80 (dB)	0.6	-1.3	1.2	-1.3	-3.5	-5.0	-4.3	-1.2
D50 -	0.31	0.23	0.35	0.24	0.16	0.12	0.14	0.24
Ts (ms)	95	120	87	121	166	213	188	117
LF80 -	0.502	0.477	0.529	0.492	0.474	0.467	0.465	0.471
SPL(A) = 20.1 (dB)								
LG80* = 9.9 (dB)								
STI = 0.46 T30'a dayanan teorik, STI = 0.48								



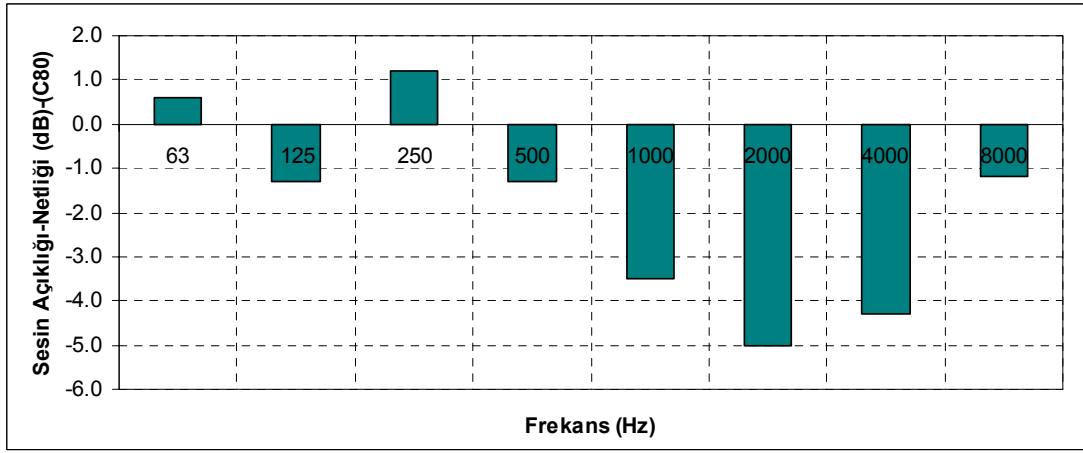
Şekil C.8: R2 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



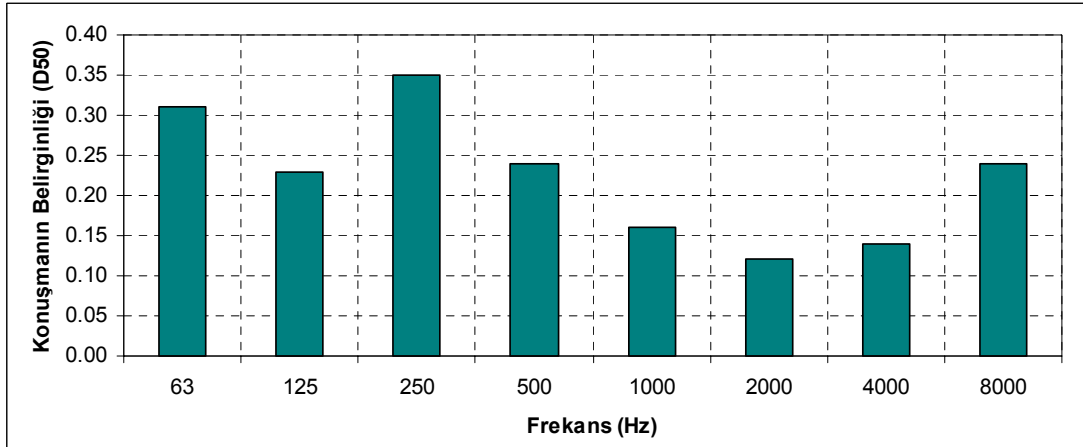
Şekil C.9: R2 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



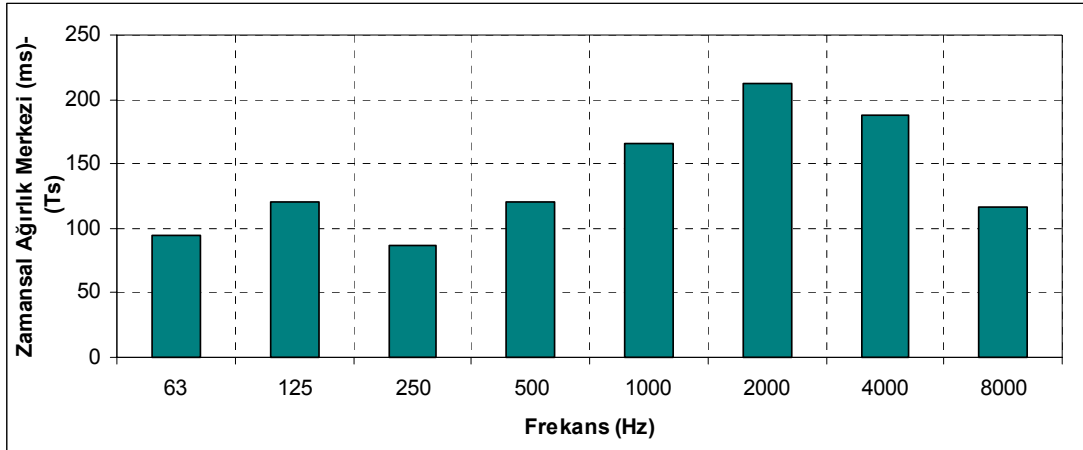
Şekil C.10: R2 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



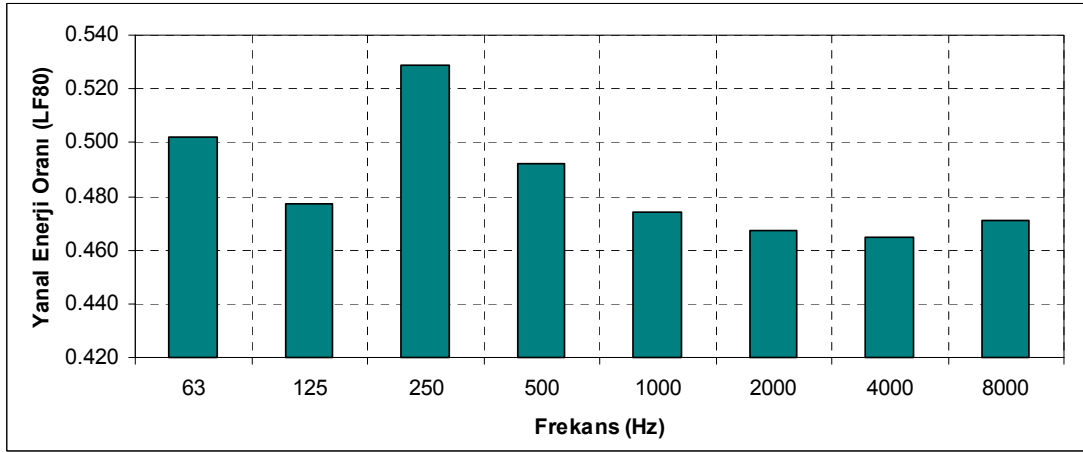
Şekil C.11: R2 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil C.12: R2 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



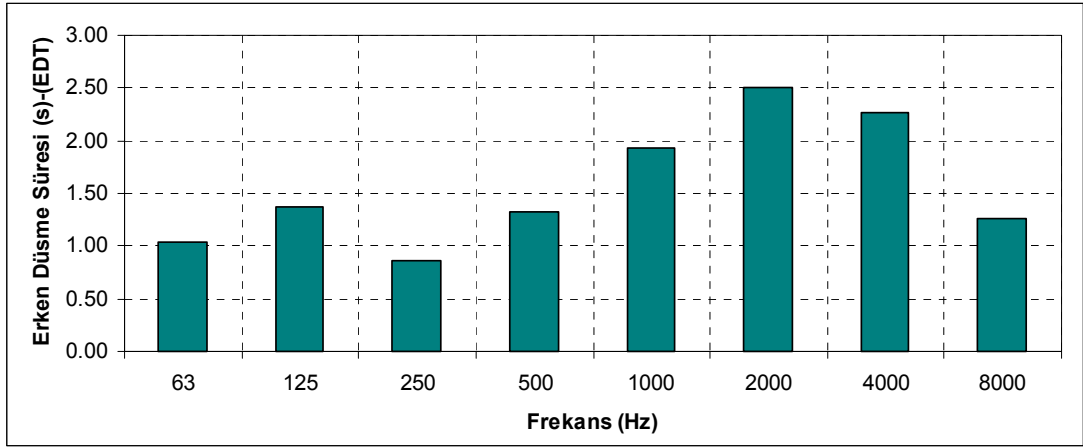
Şekil C.13: R2 için Zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametre değerleri.



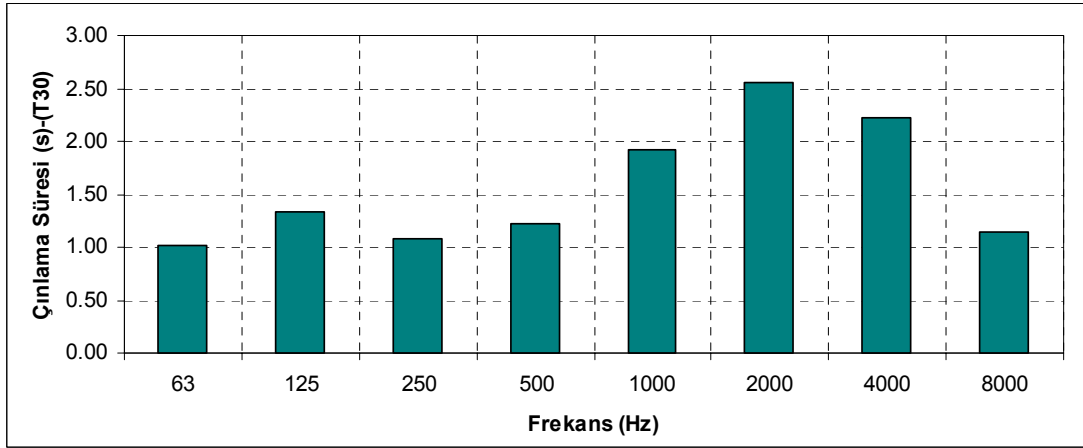
Şekil C.14: R2 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

Tablo C.3: 3. Alıcı (R3) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

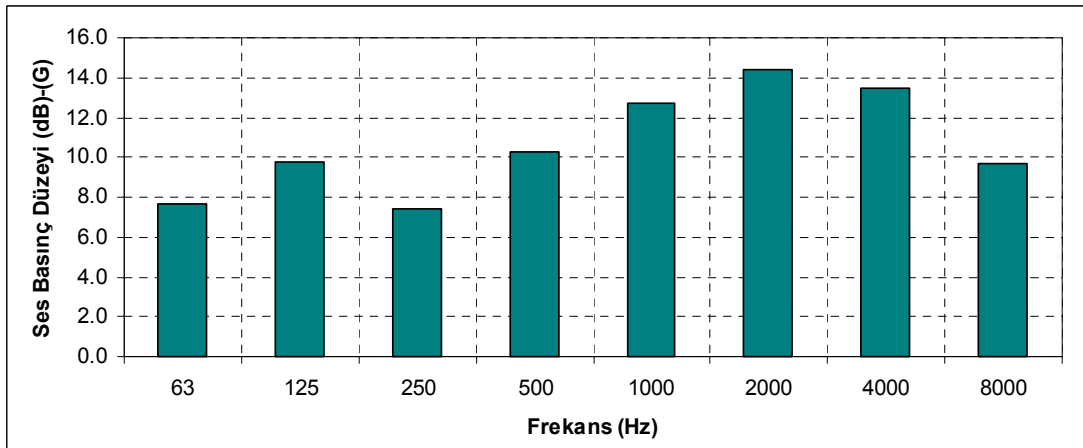
Alıcı Numarası: R3								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1.04	1.38	0.86	1.32	1.93	2.50	2.27	1.26
T30 (s)	1.02	1.33	1.08	1.23	1.92	2.56	2.22	1.15
SPL (dB)	7.7	9.8	7.4	10.3	12.7	14.4	13.5	9.7
C80 (dB)	0.3	-1.4	1.4	-1.2	-3.5	-5.1	-4.4	-1.2
D50	0.28	0.21	0.36	0.24	0.16	0.11	0.13	0.23
Ts (ms)	97	121	85	119	163	208	184	116
LF80	0.332	0.334	0.274	0.301	0.325	0.332	0.329	0.323
SPL(A) = 19.9 (dB)								
LG80* = 9.7 (dB)								
STI = 0.44 T30'a dayanan teorik, STI = 0.48								



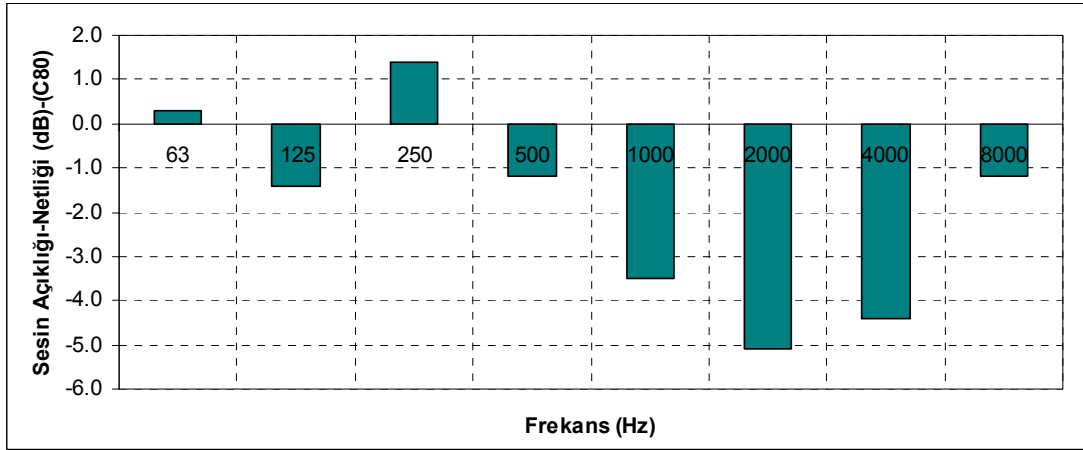
Şekil C.15: R3 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



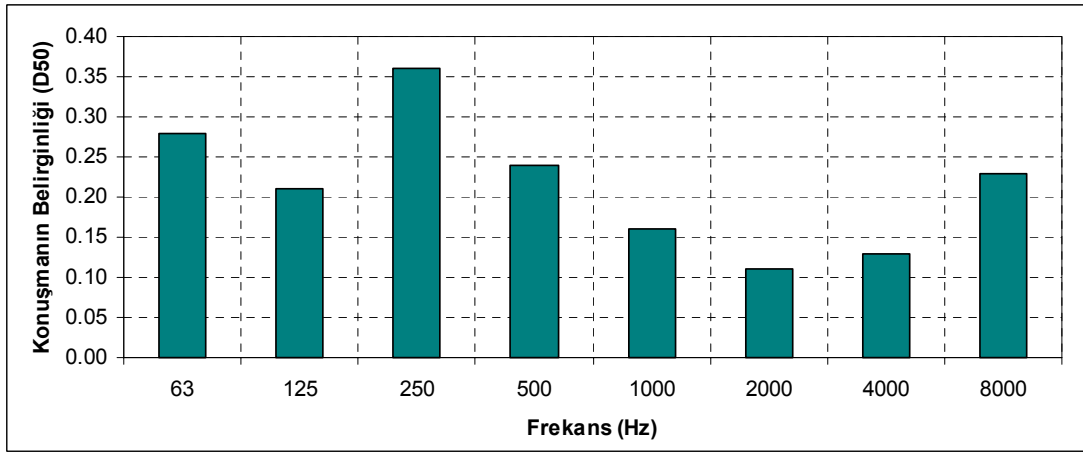
Şekil C.16: R3 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



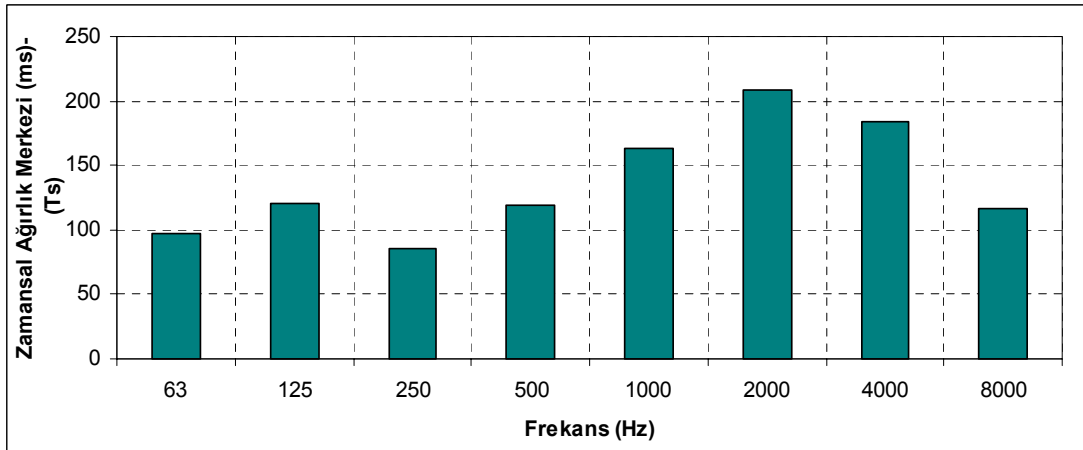
Şekil C.17: R3 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



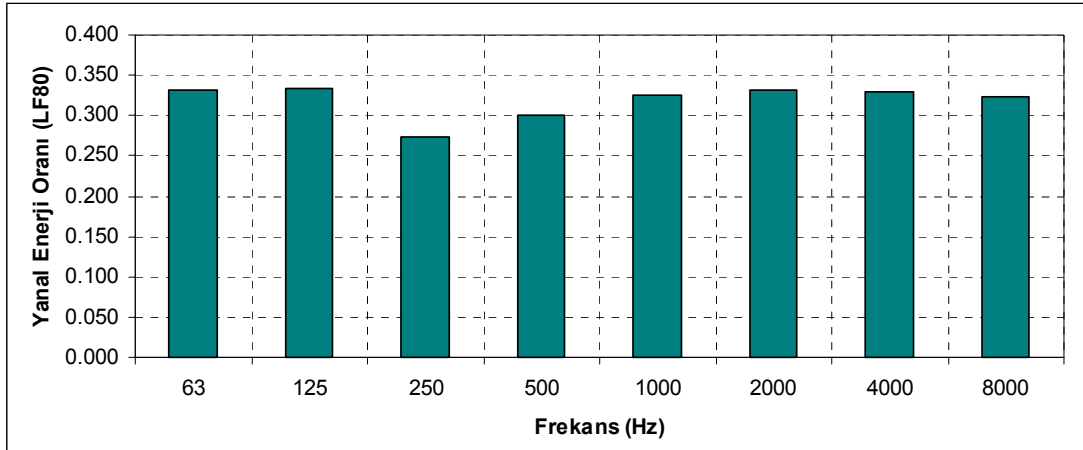
Şekil C.18: R3 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil C.19: R3 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



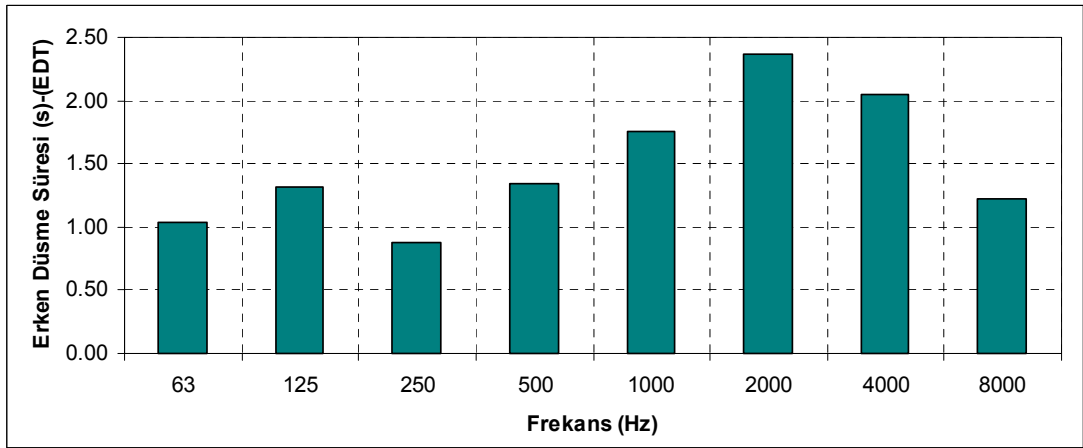
Şekil C.20: R3 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.



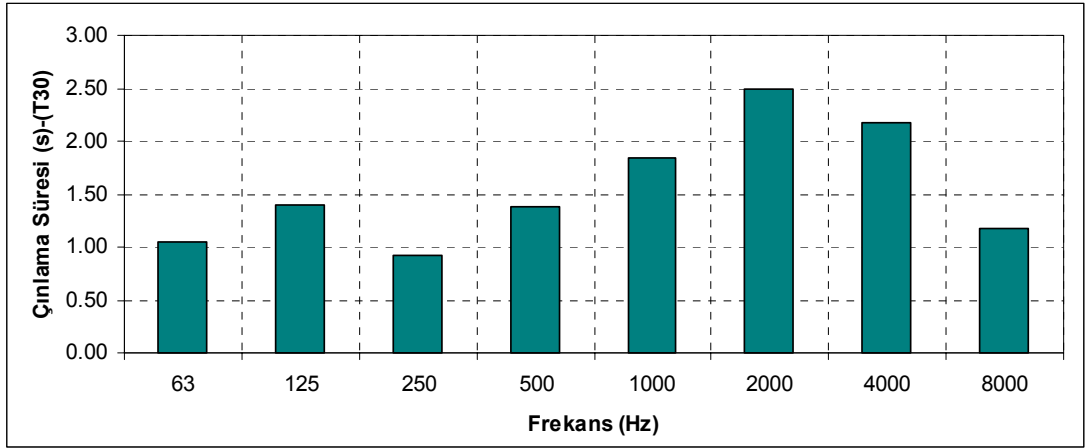
Şekil C.21: R3 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

Tablo C.4: 4. Alıcı (R4) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

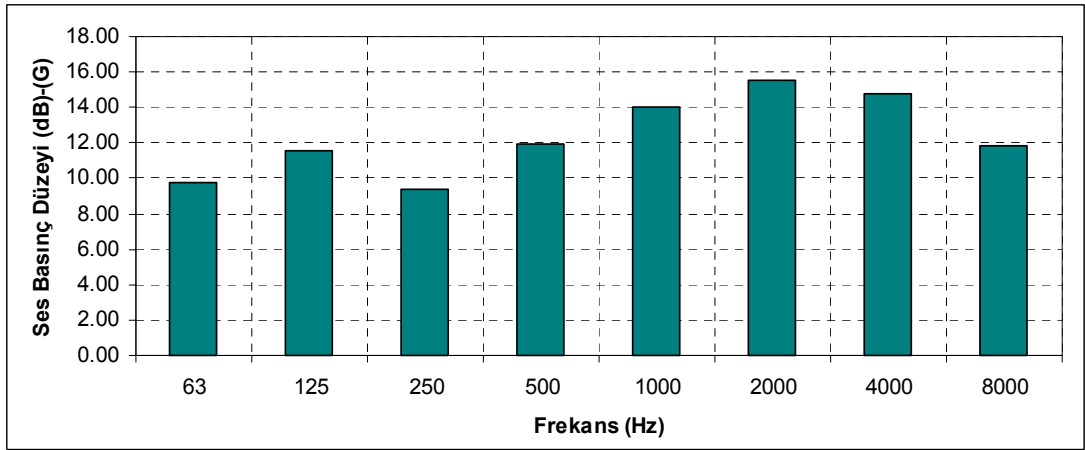
Alıcı Numarası: R4								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1.04	1.31	0.88	1.34	1.76	2.37	2.05	1.23
T30 (s)	1.04	1.40	0.92	1.38	1.84	2.50	2.17	1.18
SPL (dB)	9.80	11.6	9.4	11.9	14.0	15.5	14.8	11.8
C80 (dB)	3.6	1.5	4.2	1.4	-0.7	-2.3	-1.6	1.8
D50	0.51	0.41	0.54	0.41	0.32	0.25	0.28	0.43
Ts (ms)	69	93	63	93	132	178	154	87
LF80	0.229	0.249	0.196	0.223	0.235	0.247	0.243	0.229
SPL(A) = 21.2 (dB)								
LG80* = 9.7 (dB)								
STI = 0.49 T30'a dayanan teorik, STI = 0.49								



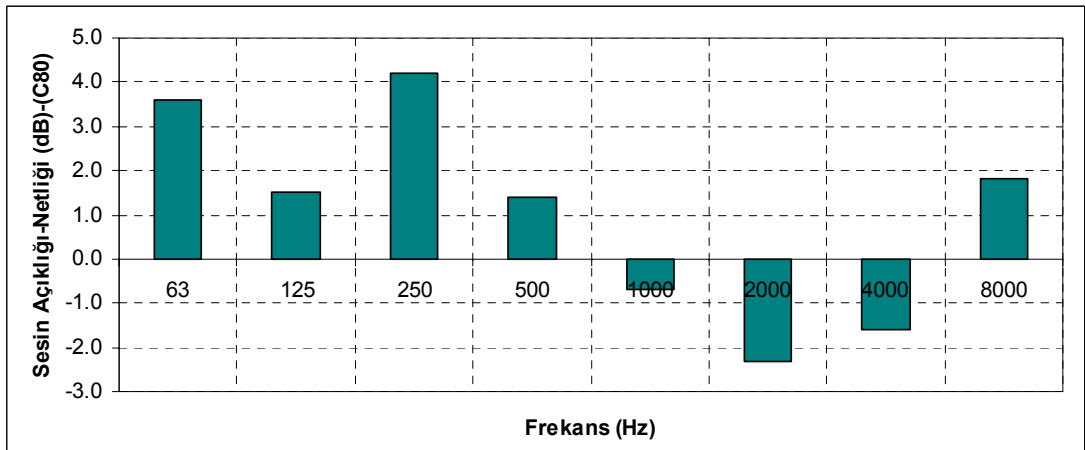
Şekil C.22: R4 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



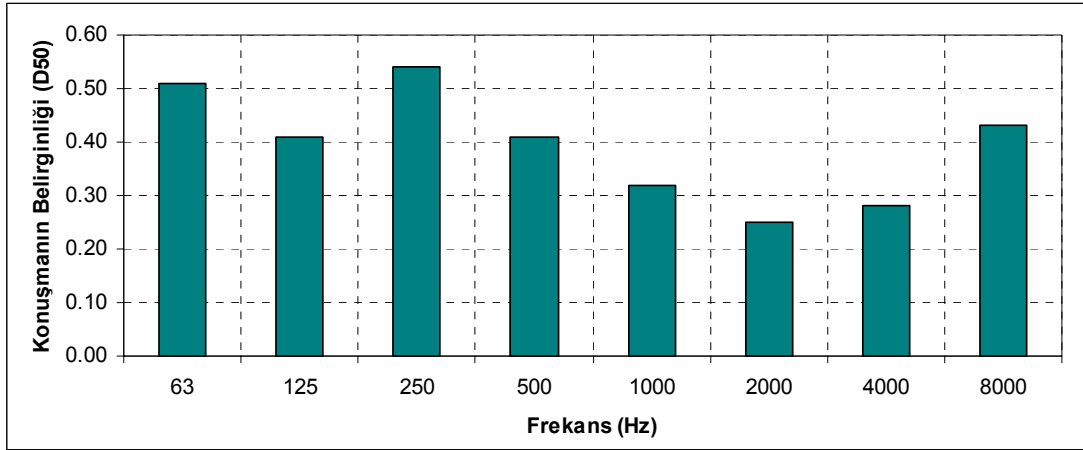
Şekil C.23: R4 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



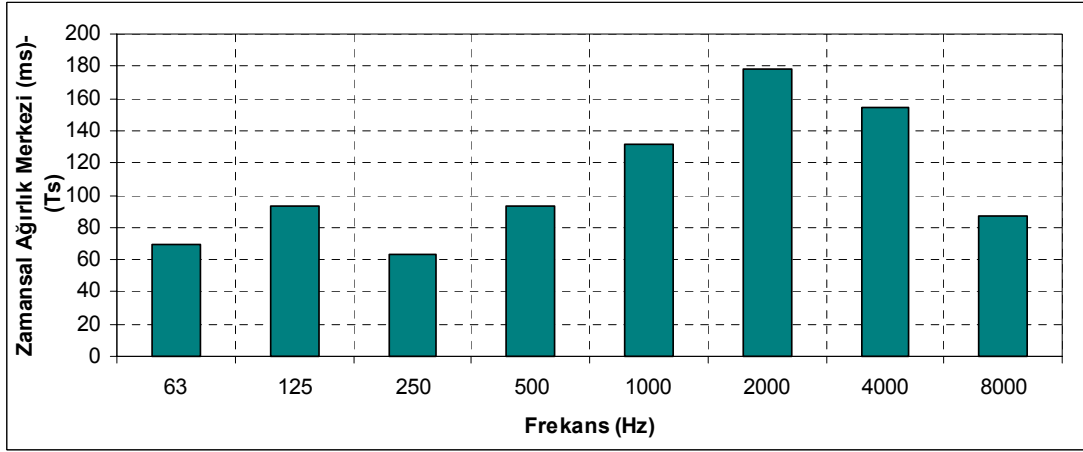
Şekil C.24: R4 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



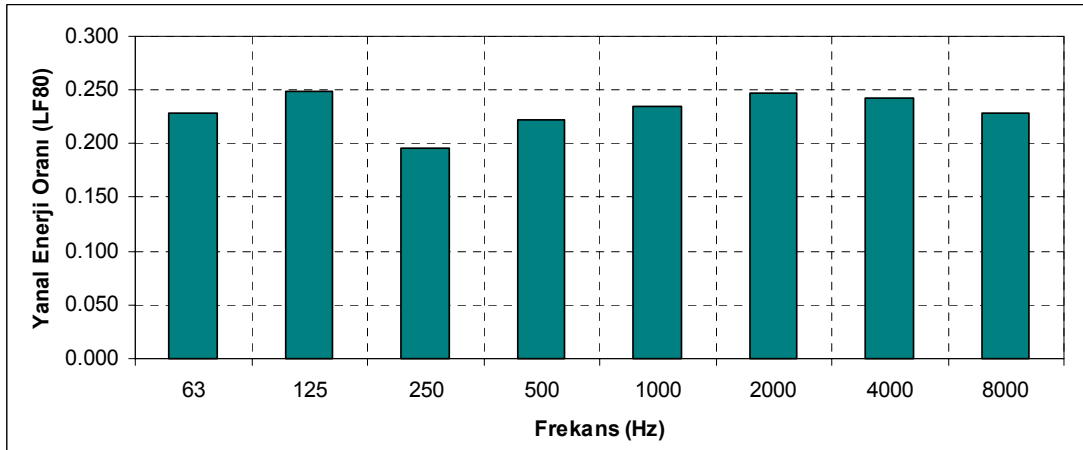
Şekil C.25: R4 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil C.26: R4 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



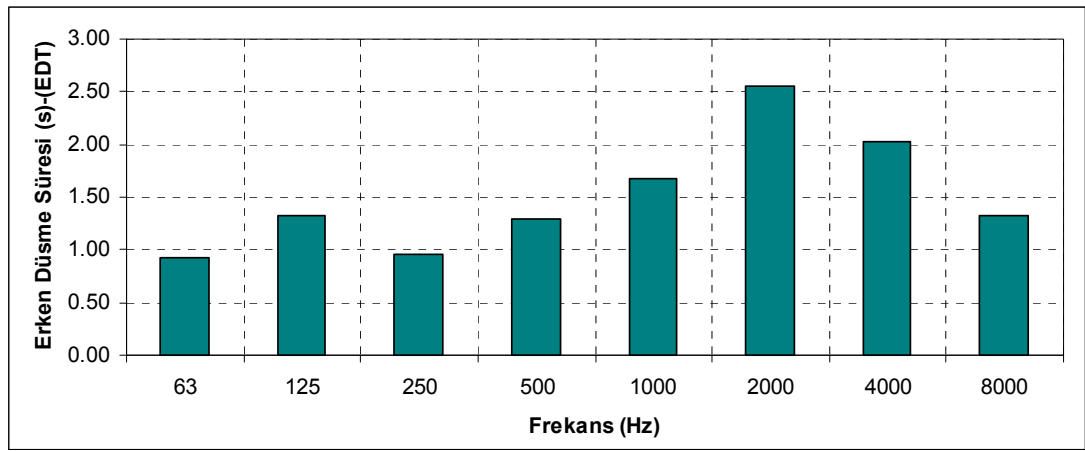
Şekil C.27: R4 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.



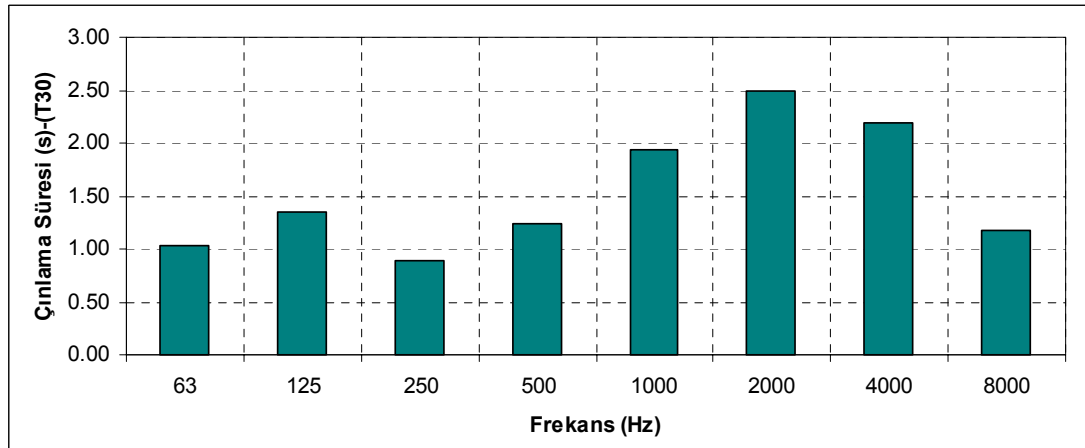
Şekil C.28: R4 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

Tablo C.5: 5. Alıcı (R5) için hesaplanan hacim akustiği parametre değerleri.

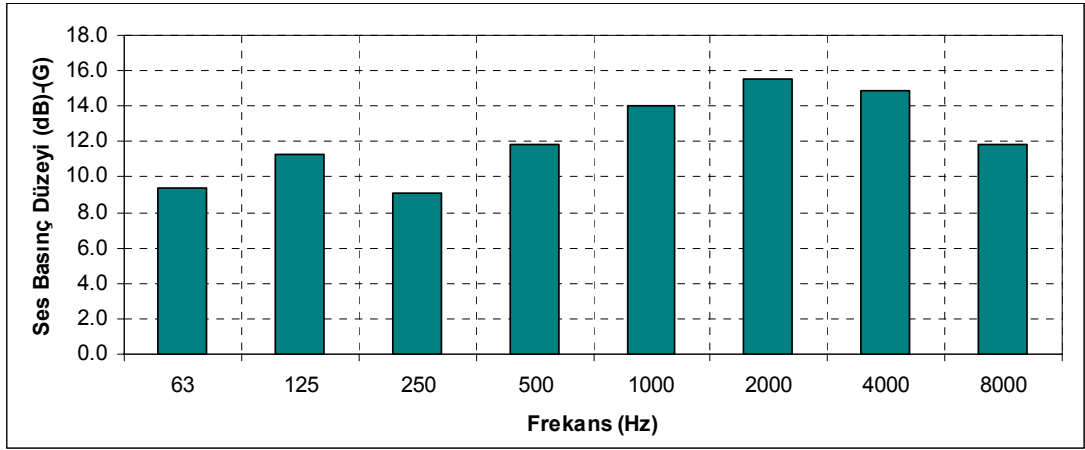
Alıcı Numarası: R5								
Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0.92	1.33	0.96	1.29	1.68	2.55	2.02	1.32
T30 (s)	1.03	1.35	0.89	1.24	1.94	2.49	2.19	1.18
SPL (dB)	9.4	11.3	9.1	11.8	14.0	15.5	14.9	11.8
C80 (dB)	4.2	2.1	5.0	2.3	0.0	-1.7	-0.9	2.3
D50 -	0.54	0.43	0.59	0.46	0.35	0.27	0.30	0.44
Ts (ms)	66	89	58	86	126	171	148	85
LF80 -	0.240	0.248	0.227	0.232	0.251	0.258	0.255	0.246
SPL(A) = 21.2 (dB)								
LG80* = 9.3 (dB)								
STI = 0.51 T30'a dayanan teorik, STI = 0.49								



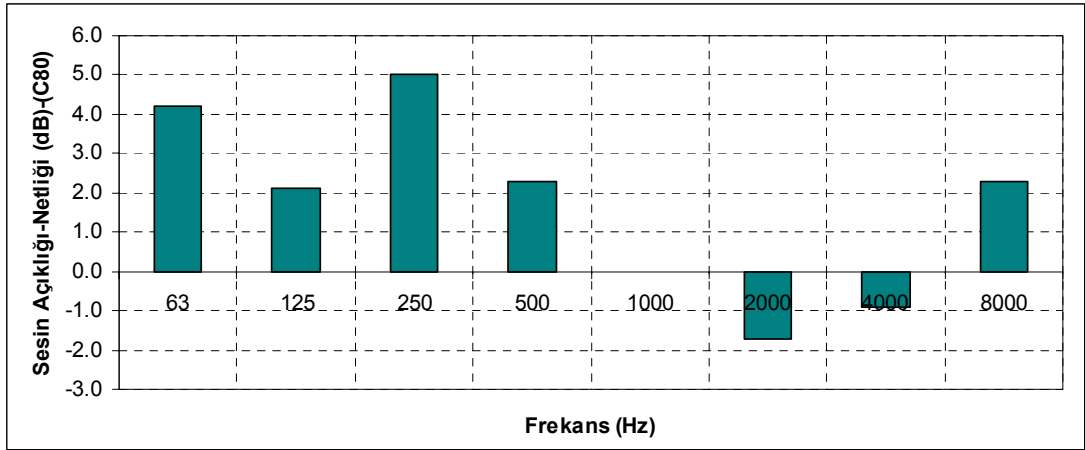
Şekil C.29: R5 için Erken düşme süresi (EDT) parametre değerleri.



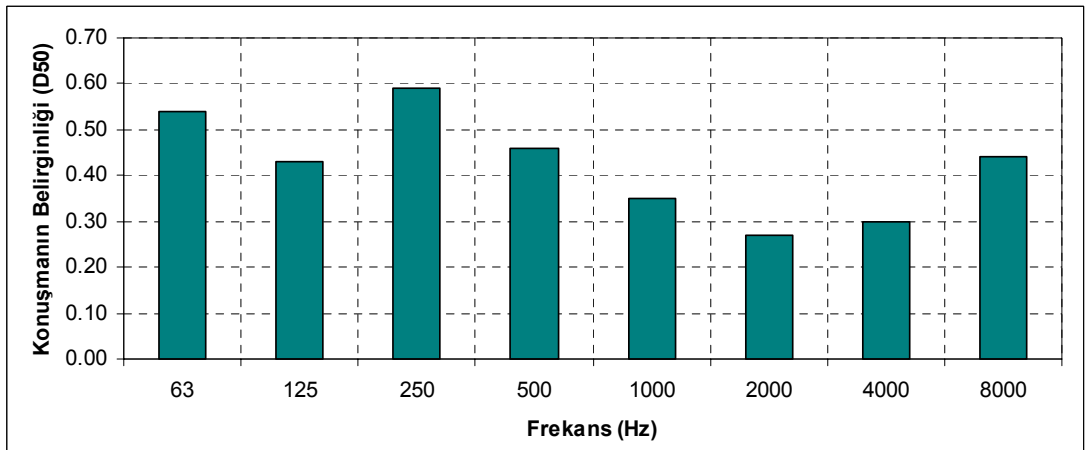
Şekil C.30: R5 için Çınlama süresi (T30) parametre değerleri.



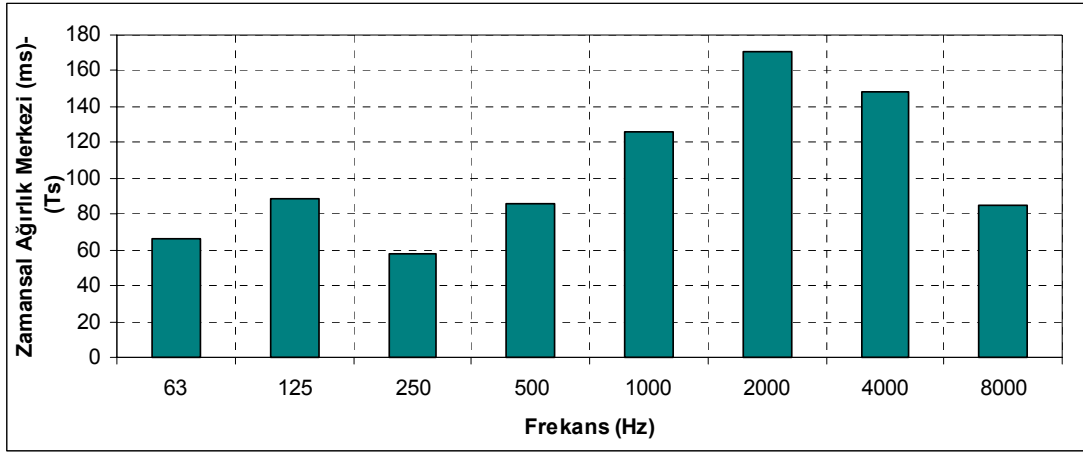
Şekil C.31: R5 için Ses yüksekliği (G) parametre değerleri.



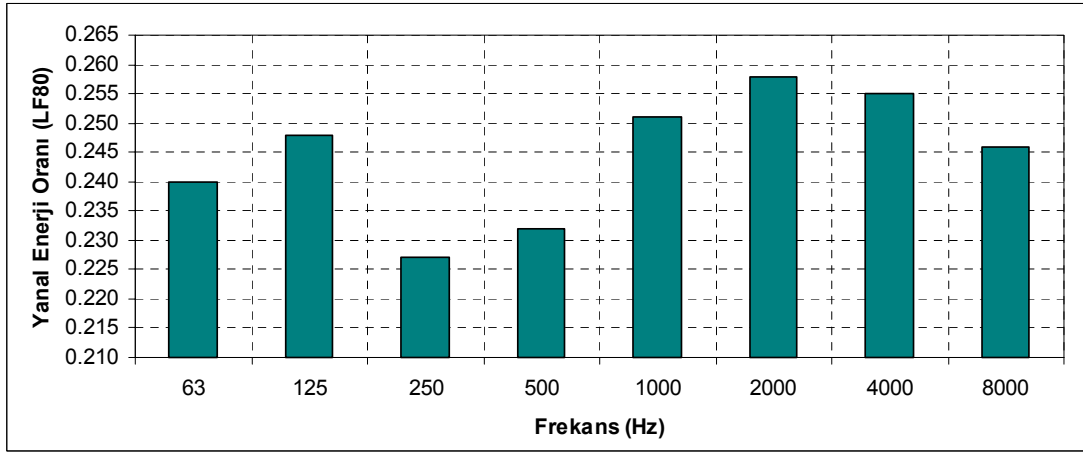
Şekil C.32: R5 için Sesin açıklığı-netliği (C80) parametre değerleri.



Şekil C.33: R5 için Konuşmanın belirginliği (D50) parametre değerleri.



Şekil C.34: R5 için Zamansal ağırlık merkezi (TS) parametre değerleri.



Şekil C.35: R5 için Yanal enerji oranı (LF80) parametre değerleri.

EK D. TEZ ÇALIŞMASINDA YARARLANILAN ODEON 7.0 ANALİZ PROGRAMINA İLİŞKİN BİLGİLER

25 yılı aşkın bir süre önce, Krakstad, Stam ve Sorsda adlı akustikçilerin hacim akustiği bilgisayar programları üzerine başlattıkları çalışmalar, günümüze değin büyük bir aşama kaydetmiştir. Hacim akustiğinde, araştırma, ticari ve bilgi edinme amaçlarıyla kullanılan (*) çok sayıda simülasyon programından yararlanılmaktadır.

Günümüzde, hacim akustiği kriterlerinin geleneksel yöntemler ile hesaplanmasının ya da ölçekli modeller üzerinde yapılabilen incelemeler yerini bilgisayar programlarına bırakmaya başlamışlardır. Bu değişimin başlıca nedenleri;

- daha ayrıntılı ve tekrarlanabilir incelemelerin yapılabilmesi,
- daha kısa sürede sonuca ulaşabilme,
- tasarım aşamasında iken tüm olasılıkların incelenerek akustik belirlemelerin yapılabilmesi,

olarak sıralanabilmektedir.

Simülasyon programlarının oluşturulmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. En genel anlatımla programlarda, hacmin üç boyutlu olarak incelenmesi ve görüntülenmesini sağlayan verilerin girilmesinden sonra ses kaynağından çıkan ışınların zaman içindeki değişimlerinin izlenmesi amaçlanmaktadır. Gerçek duruma en yakın olması hedeflenen bir hacmin içinde ilerleyen ses ışınları, Bölüm 2.5'de de ayrıntılı olarak yer aldığı gibi başlıca üç değişik yöntemle elde edilmektedir;

- • Işın diyagramları yöntemi (Ray-tracing method)'nde kaynaktan çıkan ve çok değişik doğrultulara yayılan ses ışınları kullanılmaktadır. Bu yöntemde, bir yüzeye çarpan ses ışını, enerjisinin bir bölümünü kaybederek, yeni bir doğrultuya yansımaktadır.

- Görüntü kaynak yöntemi (The image source method), doğrultulu bir yansımanın yansıtıcı bir yüzey düzlemi içinde, kaynağın geometrik olarak görüntüsünün oluşturulması ilkesine dayanmaktadır.
- Bileşik yöntem (Hybrid method)'de ışın diyagramı ve görüntü kaynak yönteminin olumlu ve olumsuz yönlerinin incelenmesi ve gerekli değişikliklerin yapılmasından sonra oluşturulmuş daha ileri düzeyde bir değerlendirme biçimi söz konusudur.

Genel olarak, akustik koşulların hacimler içindeki dağılımlarının irdelenmesinin amaçlandığı tez çalışmasında, değerlendirme kapsamına alınan yelpaze, kare ve dikdörtgen geometrisi olan 3000 ve 9000 m Tük hacimlerin seçilen örnek konum noktalarındaki akustik parametreler, Bileşik yöntem'den yararlanılarak çalışan Odeon 2.5 Hacim Akustiği Simülasyon Program'ından yararlanılarak saptanmıştır. Bu program, Danimarka Teknik Üniversitesi, Akustik Laboratuvarında geliştirilmiş olup yenileştirme çalışmaları halen devam etmektedir.

Odeon 7.0 Hacim Akustiği Simülasyon Programı'nın Geçerliliği:

Günümüzde çok değişik amaçlarla ortaya konan simülasyon programlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak bu artışın yanı sıra, kullanıma giren simülasyon programlarının güvenilirliği konusunda pek fazla araştırma ve çalışmaya yer verilmediği görülerek, Alman Akustikçiler Derneği (German Acoustics Society-DEGA)'nın önerileri doğrultusunda, Avrupalı akustikçilerden oluşan bir grubun yürüttüğü bir çalışma yapılmıştır. Simülasyon programlarının geçerliliğinin denetlenmesi amacı ile yapılan çalışmaya değişik simülasyon programları katılmıştır. Programların bir bölümü, Catt, dBRay, Epidaure, Ramsete, Ray, Raynoise, Raypid, Odeon gibi ticari programlar, diğer bir bölümü de ticari bir adı olmayan araştırma ve geliştirmeye yönelik programlardır.

Çalışma, geometrik özellikleri ve yutuculukları belirlenen belli bir hacmin tüm verilerinin katılımcılara ulaştırılması ile başlamıştır. Çok sayıdaki simülasyon programı, çok sayıda kişi tarafından aynı hacim üzerinde kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, gerçek durum ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bilimsel bir çalışma olması nedeni ile incelenen simülasyon programlarının adları açık olarak raporlarda belirtilmemektedir.

Odeon 7.0 Simülasyon Programı ile Elde Edilen Sonuçlar:

Programdan yararlanılarak, bir hacmin akustik koşullarının saptanması ile ilgili olarak ortaya konabilecek sonuçlar,

- Çınlama süresinin belirlenmesi,
- Işınsal analizler,
- Noktasal analizler,
- Bölgesel analizler

olmak üzere başlıca dört başlık altında toplanabilmektedir.

I. Çınlama süresinin belirlenmesi:

Program çınlama süresi parametresini formül ve simülasyon yöntemlerini kullanarak değişik biçimlerde hesaplama özelliğine sahiptir. Odeon 2.5'de çınlama süresi parametresi,

- Sabine formülü ile,
- Eyring formülü ile,
- Modified Sabine ve Modified Eyring adını verdiği formüllerle (bu iki hesaplama yönteminde, Sabine ve Eyring formülü içine konan ortalama yutma çarpanı değeri, klasik yöntem ile yani her bir yüzeyin alanı ve yutma çarpanının çarpımı ile değil, yüzeylerin gelen ışınları karşılama ağırlıklarına bağlı olarak alınmaktadır)
- Gerçekte olabilecek, ışınların alabilecekleri yollara bağlı olarak bilgisayarca yapılan simülasyon ile belirlenebilmektedir.

II. Işınsal analizler

- **Ray Tracing (Işın diyagramı)** : Hacmin plan ve kesitleri üzerinde, belirlenmiş kaynaktan çıkan ışınlar ve bu ışınların yansımalarını teker teker ya da tümünü bir arada görmek olanaklıdır.
- **Reflector Coverage (Yansıtıcının etkilediği alan):** Seçilen bir yüzeyde oluşan ilk yansımaların hacmin hangi bölgelerinde etkin rol oynadıkları kesit üzerinde sürülebilmektedir.

- **Reflection Paths (Yansımalar yolları):** İncelenen bir hacim yüzeyine gelen ilk yansımaları, ışınların kaynaktan çıkmasından başlayarak adım adım gösterir. Her bir ilk yansımanın kaç yansımadan sonra o yüzeye ulaştığı, kat ettiği yol ve benzeri bilgiler elde edilebilmektedir.

III. Noktasal Analizler

- **Energy Parameters (Enerji parametreleri):** istenilen alıcı noktalarında, EDT, T, SPL, C80, D50, TS ve LEF enerji parametreleri, frekanslara (125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz) bağlı olarak hesaplanabilmektedir.
- **Reflectogram (Yansımaların grafik gösterimi):** Erken yansımaların zaman-yeğinlik grafiği üzerinde ayrıntılı olarak gösterimi, bunların her birinin dinleyiciye ulaşma süreleri, tayfsal özellikleri ve geliş. doğrultuları hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir.
- **Energy Curves (Enerji eğrileri):** Bir alıcı noktasına gelen enerjiyi, zaman-enerji grafiği üzerinde gösterir. Enerji-zaman histogramı, ters entegre edilmiş zaman-enerji histogramı ve Schroeder eğrisi aynı grafik üzerinde bir arada yer almaktadır.

IV. Bölgesel Analizler

Hacim planı üzerinde, dinleyicilerin yer aldığı istenilen bölgeler, istenilen büyüklüklerde kafeslere bölünerek, her bir kafes birimi için istenilen hacim akustiği parametreleri (T dışındakiler), frekanslara göre renk haritaları üzerinde gösterilebilmektedir.

İstenilen sonuçlara ulaşılabilmesi için, Odeon 7.0'a girilmesi gereken veriler:

Programın duyarlı sonuçlar verebilmesi için, program yapımcıları tarafından, önerilen değer sınırları içinde belli teknik verilerin girilmesi gerekmektedir. Bu veriler;

- Hacim,
- Kaynak,
- Alıcı ve

Hacim akustiği ile ilgili temel veriler olmak üzere dört bölümde sıralanabilir.

I. Hacim ile ilgili veriler

Hacim boyut ve biçimi x , y , z koordinatları yardımı ile belirlenir. İleri versiyonlar için Autocad ve benzeri çizim programları ile ilişki kurulabilmesi konusunda çalışmalar sürmektedir.

- Hacim yüzeylerinde kullanılacak malzemeleri program içinde yer alan bir malzeme listesinden seçilerek ya da dışardan girilebilmektedir. Bu belirleme yapılırken, malzemelerin frekanslara göre yutma çarpanları ve dağılım katsayıları önem taşımaktadır.

II. Kaynakla ilgili veriler

- Hacimde yer alacak kaynak sayısı tek ya da istenilen sayıda kaynak olarak belirlenebilmektedir.
- Kullanılacak kaynak tipinin doğrultululuk özelliği programın kendi kaynak listesinden, kaynak listesinde yer almayan doğrultululuk özellikleri ise dışarıdan girilebilmektedir. Programın kendi listesinden en çok kullanıldığı düşünülen, Omni, Semi, Cardioid gibi dağılım biçimlerindeki kaynakların yanı sıra, özel bir doğrultululuğu olan hoparlör, normal ve yüksek düzeyde konuşan insan ya da doğrultulu bir müzik aleti olan trompet seçilebilmektedir.
- Kaynağın hacimdeki konumu x , y , z koordinatları ile belirlenebilmektedir.
- Kaynağın gücü belirlenebilmektedir.

- Birden fazla sayıda kaynak alınması durumunda kaynakların farklı zamanlarda çalıştırıldığında aralarındaki gecikme süreleri belirlenebilmektedir.

III. Alıcı ile ilgili veriler

Alıcı ile ilgili olarak hacimdeki yeri x , y , z koordinatları ile belirlenebilmektedir.

IV. Hacim akustiğı ile ilgili temel veriler

Simölasyon programının hacim, kaynak ve alıcı özelliklerine bağılı olarak aslının benzeri olarak oluşturağı akustik ortam ile ilgili ısınsal veriler, hacim akustiğı ile ilgili temel veriler olmak üzere bu bölümde kısaca açıklanmaktadır. Açıklamaların yanı sıra gerekli görölenlerin önerilen değerlerine de yer verilmektedir [34].

EK E. YEREBATAN SARNICI'NDA ÖLÇÜM YAPMAK İÇİN ALINAN İZİN



İTÜ

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Dış İlişkiler ve Enformasyon Müdürlüğü

Sayı : 191

İstanbul 30/11./2006

Kültür A.Ş.

Yerebatan Sarnıcı Müdürlüğüne,

Üniversitemiz Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Prof.Dr.Sevtap Yılmaz Demirkale'nin danışmanlığında, *"Kültürel Mirasımız Olan Yerebatan Sarnıcının Akustik Sorunlarının İncelenmesi"* konulu tez çalışması yapan 502021363 no'lu yüksek lisans öğrencisi **Emine Gül Ateş'in** tez çalışmasıyla ilgili olarak Müdürlüğünüze bağlı Yerebatan Sarnıcı'nda ölçüm yapılabilmesi için gereken iznin verilmesini rica ederim.

Prof.Dr.Erkin NASUF
Rektör Yardımcısı

ÖZGEÇMİŞ

23 Ocak 1980’de İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Sivas ve Gümüşhane’de tamamlayarak 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’ne girdi. 2002 yılında lisans derecesini kazandı ve 2003 yılında İTÜ Mimarlık Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programına girmeye hak kazandı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.