

**ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner BOSTANKOLU

**Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Cüneyd DİRİ

ARALIK 2024

T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner BOSTANKOLU

Mimarlık Anabilim Dalı
Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Cüneyd DİRİ

ARALIK 2024

Caner BOSTANKOLU tarafından hazırlanan ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....

Tez Danışmanı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak yazılmıştır.

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

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

beyan ederim.

Caner BOSTANKOLU



Aileme,

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın tamamlanmasında bana rehberlik eden, değerli bilgileri ve destekleriyle bana yol gösteren kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Ahmet Cüneyd DİRİ'ye en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Akustik alanında ilerlediğim her aşamada bana sağladıkları değerli bilgileriyle, kaynak ve teknik destekleriyle yanımda olan Türker TALAYMAN ve İpek TALAYMAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışma hayatımda desteklerini ve bilgilerini benden esirgemeyen değerli meslektaşlarım Hakan DİLMEN ve Elifnur KEDİKLİ'ye de ayrıca teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanma sürecinde ve hayatım boyunca bana destek olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendimi her zaman daha ileriye taşımam için beni yüreklendiren sevgili annem Emine BOSTANKOLU ve her zaman yanımda olduğunu hissettiğim canım babam Hasan BOSTANKOLU'na bana kattıkları her şey için minnettarım. Her zaman desteğini hissettiğim kardeşim Mert BOSTANKOLU ve değerli eşi Nazlıcan SARI BOSTANKOLU'na da bu süreçte yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Son olarak, bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan sevgili İdil ÖYÜK'e destekleri için teşekkür ederim.

Caner BOSTANKOLU

ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

ÖZET

Eğitim yapılarında işitsel konforun eğitimin kalitesi ile doğrudan bağlantısı vardır. Bilgi aktarmanın ve konuşmanın yoğun olduğu bu hacimlerde sesin doğru iletimi için iyi kurgulanması gereken akustik, dersin anlaşılabilirliğini ve verimin artmasını sağlayan disiplinlerin başında gelir. Bu tez çalışmasında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü ve İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü'nden örnek derslikler seçilerek hacim akustiği ölçümleri ve üç boyutlu modellemeler ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu yöntemlerle üniversite dersliklerinde akustik konfor koşulları belirlenmiş ve mevcut duruma iyileştirme önerileri getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak literatür taraması yapılarak benzer çalışmalar incelenmiş, çalışmanın amacı ve yöntemi belirlenmiştir. Sonraki bölümlerde eğitim mekânlarının gereksinimleri tespit edilmiş ve işitsel konfor özelinde parametreler açıklanmıştır. İki üniversitede yapılan hacim akustiği ölçümleri sırasında dersliklerin rölöveleri alınmış, değişkenlerine göre seçilen derslikler bilgisayar ortamında modellenmiştir. Bu modeller üzerinde yerinde gözlemlenen yüzey malzemeleri ve yutuculuk katsayıları işlenmiş ve Ease 4.4 simülasyon programı ile hacim akustiği sonuçları alınmıştır. Simülasyon ve akustik ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve simüle edilen sonuçlar ölçüm sonuçlarına göre kalibre edilmiştir. İşitsel konforun yetersiz görüldüğü dersliklerde iyileştirme önerileri getirilerek optimum hacim akustiği parametrelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuç bölümünde, bu iyileştirme ve analiz çalışmaları sonucu üniversite derslikleri için akustik prensip öneriler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akustik, hacim akustiği, eğitim yapıları, simülasyon

AN INVESTIGATION INTO THE IMPROVEMENT OF ACOUSTIC PROPERTIES IN UNIVERSITY CLASSROOMS

ABSTRACT

Auditory comfort in educational structures directly affects the quality of education. Acoustics, which must be designed well for the correct transmission of sound in educational spaces where intensive information transfer and oral discourse occurs, is a prominent discipline that ensures the intelligibility of the lesson and increases the efficiency of education. In this thesis, sample classrooms from Mimar Sinan Fine Arts University Fındıklı Campus and Istanbul Technical University Taşkışla Campus were selected in order to conduct room acoustics measurements and carry out simulation studies using three-dimensional models. Using these methods, conditions regarding acoustic comfort were determined and suggestions were made to improve the current situation. Within the scope of this study, an initial literature review was conducted, similar studies were examined, the purpose and method of this study were determined. In the following sections of this study, the requirements of educational spaces were identified and the parameters specific to auditory comfort were explained. While conducting room acoustics measurements inside the universities that were previously mentioned, classrooms' plans were recorded and the classrooms which were selected according to their variables were modelled in the computer environment. Surface materials and absorption coefficients observed on-site were processed on 3D models and room acoustics results were obtained using Ease 4.4 simulation software. The results obtained by simulation were compared with the results obtained by acoustic measurements method and the simulated results were calibrated according to the measurements results. It was aimed to obtain the optimal room acoustics parameters by suggesting improvements in classrooms where auditory comfort was deemed inadequate. In the conclusion section, as a result of these improvement and analysis studies, acoustic principles suggestions for university classrooms were discussed.

Keywords: Acoustic, room acoustics, education buildings, acoustic simulation

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xiii
İÇİNDEKİLER	xiii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	xv
DENKLEMLER.....	xvi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxi
1.GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi	2
1.2. Literatür Araştırması.....	2
2. EĞİTİM GEREKSİNİMLERİ	5
2.1. Eğitimde Akademik Gereksinimler	6
2.2. Eğitimde Duygusal Gereksinimler	7
2.3. Eğitimde Sosyal Gereksinimler	7
2.4. Eğitimde Yapısal Gereksinimler	8
3. EĞİTİM MEKÂNLARINDA AKUSTİK KONFOR	11
3.1 Gürültü Kontrolü	12
3.1.1. Gürültü kaynakları	13
3.1.2. Kabul edilebilir gürültü düzeyleri	16
3.2 Hacim Akustiği	19
3.2.1. Hacim akustiği parametreleri	20
3.2.1.1. Yansıma süresi (RT).....	20
3.2.1.2. Erken düşme süresi (EDT)	21
3.2.1.3. Ses iletim indeksi (STI)	21
3.2.1.4. Ses basınç seviyesi (SPL)	22
3.2.1.5. Konuşma netliği (C50)	22
3.2.2. Hacim akustiği kusurları.....	23
3.2.3. İşitsel konfor tasarım ilkeleri	24
3.2.3.1. Mimari bitiş malzemeleri	25
3.2.3.2. Hacim formu.....	27
3.2.3.3. Tefriş düzenlemeleri	27
4. ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNDE HACİM AKUSTİĞİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR	29
4.1. İTÜ Mimarlık Fakültesi 214 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi.....	31
4.1.1. 214 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	31
4.1.2. 214 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları.....	40
4.2. İTÜ Mimarlık Fakültesi 212 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi.....	44
4.2.1. 212 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	45
4.2.2. 212 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları.....	52

4.3. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü 202 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor	
Değerlendirmesi	57
4.3.1. 202 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	57
4.3.2. 202 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları	64
4.4. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü 203 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor	
Değerlendirmesi	69
4.4.1. 203 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	69
4.4.2. 203 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları	76
4.5. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Çatı 4 Dersliği İçin Akustik Konfor	
Değerlendirmesi	81
4.5.1. Çatı 4 dersliğinde mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	81
4.5.2. Çatı 4 dersliğinde akustik iyileştirme çalışmaları	88
4.6. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Ernst Egli Konferans Salonu İçin Akustik	
Konfor Değerlendirmesi	92
4.6.1. Ernst Egli Konferans Salonu'nda mevcut akustik durumun	
değerlendirilmesi	93
4.6.2. Ernst Egli Konferans Salonu'nda akustik iyileştirme çalışmaları ..	100
4.7. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Misak-ı Millî Konferans Salonu İçin Akustik	
Konfor Değerlendirmesi	104
4.7.1. Misak-ı Millî Konferans Salonu'nda mevcut akustik durumun	
değerlendirilmesi	104
4.8. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Orta Hol İçin Akustik Konfor	
Değerlendirmesi	111
4.8.1. Orta Hol mevcut akustik durumun değerlendirilmesi	112
4.8.2. Orta Hol'de akustik iyileştirme çalışmaları	119
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	125
KAYNAKLAR	131
EKLER	134

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

(α)	: Yutuculuk Katsayısı
D50	: Definition (%)
SPL	: Sound Pressure Level (dB)
STI	: Speech Transmission Index
RASTI	: Rapid Sound Transmission Index
RT	: Reverberation Time (s)
EDT	: Early Decay Time (s)
dB	: Decibel
Hz	: Hertz
LAeq	: A-weighted, equivalent continuous sound level
DIN 18041	: Acoustic quality in small and middle-size rooms
ISO	: International Organization for Standardization
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MSGSÜ	: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
OECD	: Organization for Economic Co-operation and Development
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
WHO	: World Health Organization
S	: Ses Kaynağı
R	: Ses Alıcı Nokta
V	: Volume
s	: Saniye
m³	: Metreküp
mm	: Milimetre

DENKLEMLER

(Denklem 3. 1).....	20
(Denklem 3. 2).....	21
(Denklem 3. 3).....	23



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4. 1	214 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	32
Şekil 4. 2	Derslik 214 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R3 ve R6)	33
Şekil 4. 3	Derslik 214 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	34
Şekil 4. 4	Derslik 214 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R6)	35
Şekil 4. 5	Derslik 214 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R5)	35
Şekil 4. 6	Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	36
Şekil 4. 7	Derslik 214 - Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	37
Şekil 4. 8	214 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	38
Şekil 4. 9	214 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	38
Şekil 4. 10	214 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları	39
Şekil 4. 11	214 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	40
Şekil 4. 12	214 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1.....	41
Şekil 4. 13	214 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2.....	41
Şekil 4. 14	214 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	43
Şekil 4. 15	214 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu.....	43
Şekil 4. 16	214 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları	44
Şekil 4. 17	212 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	45
Şekil 4. 18	Derslik 212 - Arka Plan Gürültü Düzeyi Ölçümü (R3).....	46
Şekil 4. 19	Derslik 212 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	47
Şekil 4. 20	Derslik 212 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R3)	47
Şekil 4. 21	Derslik 212 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R5)	48
Şekil 4. 22	Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	48
Şekil 4. 23	Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	49
Şekil 4. 24	212 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	50
Şekil 4. 25	212 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	50
Şekil 4. 26	212 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları	51
Şekil 4. 27	212 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	52
Şekil 4. 28	212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1.....	53
Şekil 4. 29	212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2.....	53
Şekil 4. 30	212 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	55
Şekil 4. 31	212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu.....	56
Şekil 4. 32	212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları	56
Şekil 4. 33	202 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	57

Şekil 4. 34	Derslik 202 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R2)	58
Şekil 4. 35	Derslik 202 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	59
Şekil 4. 36	Derslik 202 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R1 ve S1-R4) ...	60
Şekil 4. 37	Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	61
Şekil 4. 38	Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	61
Şekil 4. 39	202 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	62
Şekil 4. 40	202 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	62
Şekil 4. 41	202 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları.....	63
Şekil 4. 42	202 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	64
Şekil 4. 43	202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1	65
Şekil 4. 44	202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2	65
Şekil 4. 45	202 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	67
Şekil 4. 46	202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu	68
Şekil 4. 47	202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları.....	68
Şekil 4. 48	203 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	70
Şekil 4. 49	Derslik 203 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R2)	70
Şekil 4. 50	Derslik 203 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	71
Şekil 4. 51	Derslik 203 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R2 ve S1-R4) ...	72
Şekil 4. 52	Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	72
Şekil 4. 53	Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	73
Şekil 4. 54	203 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	74
Şekil 4. 55	203 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	74
Şekil 4. 56	203 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları.....	75
Şekil 4. 57	203 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	76
Şekil 4. 58	203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1	77
Şekil 4. 59	203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2	77
Şekil 4. 60	203 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	79
Şekil 4. 61	203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu	80
Şekil 4. 62	203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları.....	80
Şekil 4. 63	Çatı 4 - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	82
Şekil 4. 64	Çatı 4 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R4 ve R5).....	82
Şekil 4. 65	Çatı 4 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	84
Şekil 4. 66	Çatı 4 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R4 ve S1-R4)	84
Şekil 4. 67	Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	85
Şekil 4. 68	Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	86
Şekil 4. 69	Çatı 4 – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1.....	86
Şekil 4. 70	Çatı 4 – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2.....	87
Şekil 4. 71	Çatı 4 – Mevcut Durum EDT Sonuçları	87
Şekil 4. 72	Çatı 4 – Mevcut Durum C50 Sonuçları	88
Şekil 4. 73	Çatı 4 – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görseli.....	89

Şekil 4. 74 Çatı 4 – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları	90
Şekil 4. 75 Çatı 4 – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu	91
Şekil 4. 76 Çatı 4 – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları.....	91
Şekil 4. 77 Ernst Egli Konferans Salonu Görseli.....	92
Şekil 4. 78 Ernst Egli Konferans Salonu - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı.....	93
Şekil 4. 79 Ernst Egli Konferans Salonu - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R4 ve R5).....	94
Şekil 4. 80 Ernst Egli Konferans Salonu - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları....	95
Şekil 4. 81 Ernst Egli Konferans Salonu - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R4 ve S2-R3).....	96
Şekil 4. 82 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	96
Şekil 4. 83 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	97
Şekil 4. 84 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	98
Şekil 4. 85 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	98
Şekil 4. 86 Ernst Egli Konferans Salonu – Mevcut Durum EDT Sonuçları.....	99
Şekil 4. 87 Ernst Egli Konferans Salonu – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	99
Şekil 4. 88 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görseli	101
Şekil 4. 89 Ernst Egli Konferans Salonu – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	102
Şekil 4. 90 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu	103
Şekil 4. 91 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları	103
Şekil 4. 92 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	105
Şekil 4. 93 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R9).....	105
Şekil 4. 94 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları	106
Şekil 4. 95 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R6 ve S1-R9).....	107
Şekil 4. 96 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri	107
Şekil 4. 97 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	108
Şekil 4. 98 Misak-1 Millî Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1.....	109
Şekil 4. 99 Misak-1 Millî Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2.....	109
Şekil 4. 100 Misak-1 Millî Konferans Salonu – Mevcut Durum EDT Sonuçları	110
Şekil 4. 101 Misak-1 Millî Konferans Salonu – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	110
Şekil 4. 102 Orta Hol	112
Şekil 4. 103 – Orta Hol - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı	113
Şekil 4. 104 – Orta Hol - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafı (R3).....	113
Şekil 4. 105 – Orta Hol - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları.....	114
Şekil 4. 106 Orta Hol - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafı (S2-R2)	115

Şekil 4. 107 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	115
Şekil 4. 108 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri.....	116
Şekil 4. 109 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1	117
Şekil 4. 110 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2	117
Şekil 4. 111 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 3	117
Şekil 4. 112 Orta Hol – Mevcut Durum EDT Sonuçları.....	118
Şekil 4. 113 Orta Hol – Mevcut Durum C50 Sonuçları.....	118
Şekil 4. 114 Orta Hol – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görseli	120
Şekil 4. 115 Orta Hol – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları.....	121
Şekil 4. 116 Orta Hol – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu.....	122
Şekil 4. 117 Orta Hol – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları.....	122
Şekil 5. 1 Ernst Egli Konferans Salonu-214 No’lu Derslik-Orta Hol Yansışım Süresi Ölçüm Sonuçları.....	126
Şekil 5. 2 Analiz Edilen Tüm Dersliklerin Yansışım Süresi Ölçüm Sonuçları	127

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3. 1 OECD 1986 Gürültüye Maruz Kalma Sınırları	16
Tablo 3. 2 Türkiye ve Diğer Ülkelerde Sınıf İçin Öngörülen Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyleri	17
Tablo 3. 3 Akustik performans sınıfına bağlı izin verilen derslik içi en yüksek gürültü düzeyleri, ...	18
Tablo 3. 4 Dersliklerde sürekli gürültüye sahip servis ekipmanlarına bağlı izin verilen en yüksek iç gürültü düzeyleri	18
Tablo 3. 5 Eğitim Tesislerinde Çeşitli Mekân İşlevlerine Bağlı Gürültüye Karşı Gürültülülük ve Hassasiyet Dereceleri	18
Tablo 3. 6 STI Değeri Açıklamaları	22
Tablo 4. 1 Ölçümde kullanılan ekipman listesi	29
Tablo 4. 2 Akustik Simülasyonlarda Kullanılan Malzemelerin Ses Yutma Katsayıları	30
Tablo 4. 3 Akustik Simülasyonlarda Kullanılan Malzemelerin Dağıtıcılık Katsayıları	31
Tablo 4. 4 214 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri.....	32
Tablo 4. 5 214 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)	34
Tablo 4. 6 214 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	42
Tablo 4. 7 212 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri.....	45
Tablo 4. 8 212 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)	46
Tablo 4. 9 212 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	54
Tablo 4. 10 202 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri.....	57
Tablo 4. 11 202 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)	59
Tablo 4. 12 202 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	66
Tablo 4. 13 203 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri.....	69
Tablo 4. 14 203 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)	71
Tablo 4. 15 203 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	78
Tablo 4. 16 Çatı 4 İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri	81
Tablo 4. 17 Çatı 4 – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)	83
Tablo 4. 18 Çatı 4 – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	89
Tablo 4. 19 Çatı 4 İçin Hedeflenen STI Değerleri	92
Tablo 4. 20 Ernst Egli Konferans Salonu İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri	93
Tablo 4. 21 Ernst Egli Konferans Salonu – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq) ...	95

Tablo 4. 22 Ernst Egli Konferans Salonu – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları.....	101
Tablo 4. 23 Ernst Egli Konferans Salonu İçin Hedeflenen STI Değerleri	104
Tablo 4. 24 Misak-ı Millî Konferans Salonu İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri	104
Tablo 4. 25 Orta Hol İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri	112
Tablo 4. 26 Orta Hol – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq).....	114
Tablo 4. 27 Orta Hol – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları	120
Tablo 5. 1 İstanbul Teknik Üniversitesi’nde seçilen dersliklerin akustik değerlendirmesi	128
Tablo 5. 2 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi’nde seçilen dersliklerin akustik değerlendirmesi	129



1.GİRİŞ

İşitsel konfor gereksiniminin kritik olduğu eğitim mekânlarında akustik prensipler bağlamında tasarım girdilerinin belirlenmesi ve buna uygun tasarımlar yapılması eğitim kalitesini artıracak gibi kullanıcıların gündelik hayatları için de oldukça önemlidir. Gün içerisinde kalabalık kitleleri barındıran eğitim tesisleri, gürültü oluşumu için elverişli hacimlerdir ve alınacak akustik önlemlerin tasarımı ve uygulanması pek çok kişinin psikolojisini, akademik hayatını ve sağlığını yakından ilgilendirir.

Bilgi aktarımının yoğun olduğu ve geleneksel dersliklere göre büyük hacme sahip olan üniversite derslikleri, işitsel konfor koşullarının sağlanması gereken yapıların başında gelmektedir. Pek çok ses kaynağına sahip olan bu hacimlerde öğrencilerin konsantre olmaları ve dersin gerekliliklerini yerine getirmeleri beklenmektedir. Grup çalışmaları, sözel ve görsel sunumların gerçekleştirildiği bu hacimlerin tasarım sürecinde akustik konfor parametrelerinin irdelenmesi ve uygun çözümler bulunması öğrenci ve diğer kullanıcıların verimliliği açısından önemli bir rol oynayacaktır.

Üniversitelerin bünyesinde barındırdığı farklı işlevdeki hacimler için farklı akustik önlemler gerekir. Konuşma işlevinin yoğun olduğu derslikler için anlaşılabilirlik ve netlik, önemli hacim akustiği parametrelerindendir. Bu bağlamda uygun malzemeler kullanılarak mevcut dersliklerin akustik iyileştirilmesi sağlanmalıdır.

Örnek çalışma alanı olarak seçilen Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde ve İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde nesnel yöntemlerle mevcut hacim akustiği koşulları tespit edilerek, iyileştirilme önerileri geliştirilecektir. Yapılacak bu çalışmanın, benzer koşullara sahip mekânlarda yapılacak hacim akustiği çalışmaları için faydalı olması hedeflenmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu çalışmanın amacı, üniversite dersliklerinin hacim akustiği yönünden incelenmesi ve iyileştirme senaryoları geliştirilerek genel prensip öneri standartlarının oluşturulmasıdır. Üniversite derslikleri, eğitim sürecinde öğrencilerin ve öğretim üyelerinin verimli bir şekilde iletişim kurmalarını ve öğretilerini etkili bir şekilde aktarmalarını sağlamak için uygun akustik özelliklere sahip olmalıdır. Bu tez çalışmasında, üniversite dersliklerinin akustik performansını değerlendirmek ve iyileştirmek için belirli adımlar izlenecektir.

Öncelikle, seçilen dersliklerin akustik ölçümleri yapılarak mevcut durumları değerlendirilecek ve bu analizler, dersliklerin hacim akustiği açısından güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için kullanılacaktır. Ardından, bilgisayar ortamında üç boyutlu modellemeler ile simülasyon programları kullanılarak dersliklerin akustik performansı analiz edilecek ve simülasyon sonuçları, yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak kalibre edilecektir. Mevcut durum analizleri ve simülasyon sonuçlarına dayanarak, dersliklerin akustik performansını iyileştirmek için çeşitli senaryolar geliştirilecek ve bu senaryolar malzeme değişiklikleri gibi yöntemler içerecektir.

Son olarak, geliştirilen iyileştirme senaryoları üzerinden, üniversite dersliklerinin akustik özelliklerinin iyileştirilmesi için genel prensip öneriler oluşturulacaktır. Bu öneriler, farklı derslik türleri ve büyüklükleri için uygulanabilir nitelikte olacak ve üniversite dersliklerinin akustik özelliklerinin iyileştirilmesi için somut veriler sunacaktır. Bu sayede, eğitim mekânlarının işitsel konfor seviyeleri artırılarak, eğitim kalitesine katkı sağlanacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Bu bölümde, literatürdeki akustik konfor değerlendirmeleri incelenmiştir. Aktif hizmet vermekte olan dersliklerin mevcut akustik durumları ve iyileştirme önerilerine odaklanılmıştır. Farklı yöntemlerin kullanıldığı bu çalışmalar ışığında tez kapsamında kullanılacak yöntemler belirlenmiştir.

Atça vd., (2013) tarafından çalışmada, İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü'nde bulunan 220 kişi kapasiteli Matematik Bölümü Amfisi'nin konfor koşullarındaki olumsuzluklar incelenmiştir. Dairesel plandaki amfinin ısı, işitsel ve görsel konforunda oluşan sorunların kaynağının, üst örtü tasarımında kullanılan reflekte cam olduğu

değerlendirilmiştir. Akustik açıdan ele alındığında, yüksek tavan tasarımı bulunan 1875 m³ hacmindeki bu amfinin hacminin en fazla 1100 m³ olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu hacim fazlalığı nedeni ile 0.7s-0.9s aralığında olması beklenen yansıma süresi 3.0s-5.9s aralığında çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak amfide gerçekleşen konuşmaların anlaşılabilirliği zayıf sonuçlanmıştır. Amfinin hacmi ve yüzey malzemeleri nedeniyle ders işlevine uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Karaman ve Üçkaya (2015) tarafından yapılan çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde bulunan bir stüdyo ve bir derslik incelenmiştir. Bu mekânlardaki hacim akustiği şartları farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen mevcut durum sonuçları kullanılarak çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışılacak mekânın belirlenmesi amacı ile öğrenciler arasında anket yapılmıştır. Anket sonucunda en fazla kullanılan derslik ve stüdyo belirlenmiştir. Bu hacimlerde yaşanan en büyük sorunun gürültü kontrolü olduğu tespit edilmiş ve bunların nesnel ölçümler ile incelenmesi uygun görülmüştür. Ölçüm yapılan stüdyo ve derslikte RT (Yansıma Süresi), EDT (Erken Düşme Süresi), STI (Ses İletim İndeksi), D50 (Ayırt Edilebilirlik), arka plan gürültü seviyesi ve RASTI parametreleri ölçülmüştür. Sonuçlar 125 Hz- 4000 Hz aralığında değerlendirilmiştir. Yansıma süresinin, optimum değerlerin çok üzerinde olduğu, erken düşme süresinde alıcı noktalarında farklar olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda ayırt edilebilirlik parametresinin %50 üzerinde olması gerekirken neredeyse her noktada bu değer altında olduğu, konuşma anlaşılabilirliği ve RASTI parametrelerinin optimum seviyenin altında olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ile yansıma süresini düşürecek çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Yerli (2015) tarafından yapılan çalışmada, Ankara'da bulunan iki okuldaki sınıfların akustik durumu incelenmiştir. Okulların biri özel okul, biri devlet okulu olacak şekilde seçilmiştir. Benzer hacimdeki sınıflarda akustik ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan sınıflarda RT (Yansıma Süresi), EDT (Erken Düşme Süresi), STI (Ses İletim İndeksi), D50 (Ayırt Edilebilirlik), C50 (Konuşma Netliği) ve RASTI parametreleri incelenmiştir. Ölçümler sonrası sınıfta bulunan yüzey malzemelerinin ve mobilyaların konfor akustik koşullarına etkisi incelenmiştir. Yenilenecek sınıflar için ses anlaşılabilirliğini iyi seviyeye çıkaracak öneriler sunulmuştur.

Özçevik (2005) tarafından yapılan çalışmada, Anadolu Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde bulunan bir tasarım stüdyosu incelenmiştir. Seçilen stüdyonun akustik durumunu doğru bir şekilde belirlemek için anket ve gözlem çalışmaları yapılmış ve hacim akustiği parametreleri ölçülmüştür. Öznel ve nesnel değerlendirmeler yakın sonuçlar vermiştir. Çıkan sonuçlara göre stüdyolar işitsel olarak yetersiz bulunmuştur. Stüdyolarda yalnızca gürültü düzeyi kabul edilebilir seviyede çıkmıştır.

Kabil (2018)'in yaptığı çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde bulunan 14 adet farklı boyuttaki mekânların akustik konforu incelenmiş ve geliştirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Mekânların rölöveleri alınıp üç boyutlu olarak ODEON V10 programına entegre edilmiştir. Simülasyon sonucunda nesnel parametreler elde edilmiştir. Elde edilen RT, EDT, STI ve D50 parametreleri, optimum değerlerle karşılaştırılmıştır. Hacimlerde optimum değerleri yakalamak amacı ile yapılan çalışma sonucu tekrar simülasyon kullanılmış ve sunulan önerilerin yararlı olduğu görülmüştür.

Beyazıt vd, (2011) tarafından yapılan çalışmada, ilköğretim okullarındaki gürültü kaynaklarının saptanması ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Akustik ölçüm ve anket sonuçları neticesinde öznel ve nesnel değerlendirmeler kıyaslanarak, mevcut durumun yönetmelikteki optimum değerleri karşılamadığı görülmüştür. Çevresel gürültünün çok fazla olması sebebi ile içerideki optimum değerleri sağlamanın ancak akustik iyileştirmeler ile mümkün olacağı vurgulanmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucuna göre, dersliklerdeki akustik konfor kaygısı ulusal ve uluslararası normların oluşmasında etkili olmuş fakat genellikle bu optimum değerler elde edilememiştir. Anket yöntemi ile öznel veriler elde edilse de yönetmeliklerle sınırları çizilen değerlerin karşılanıp karşılanmadığı nesnel ölçüm sonuçları ile değerlendirilebilmiştir. Yapılan çalışmaların genelinde dersliklerin mevcut durumlarının akustik açıdan yeterli olmadığı sonucuna varılmış olsa da iyileştirme senaryoları için geliştirilen öneriler sınırlı sayıda kalmıştır. Kurgulanan öneriler değerlendirilirken, iyileştirme uygulamaları sonrası ölçüm veya simülasyon yöntemi kullanılabilir. Tez kapsamında çalışılan derslikler incelenirken, mevcut akustik durumlarını değerlendirmek için ölçüm, öneri iyileştirme senaryoları oluşturmak üzere de modelleme ve simülasyon yöntemleri tercih edilmiştir. Böylece mevcut durumları akustik konfor açısından yetersiz olan derslikler için de somut veriler ışığında iyileştirme öneri senaryoları geliştirilebilmiştir.

2. EĞİTİM GEREKSİNİMLERİ

Eğitim, toplumun ve bireyin gelişiminde en önemli yapı taşlarından biridir. Eğitim sürecinin aksamadan gerçekleşebilmesi için belirli temel gereksinimlerin karşılanmasına ihtiyaç vardır. Bu gereksinimler, akademik, duygusal, sosyal ve yapısal alanlardan ileri gelmektedir. Bu gereksinimlerden her biri eğitim sisteminin başarısında doğrudan etkilidir.

Akademik gereksinimler; nitelikli öğretmenlerin yetiştirilmesi, öğretmenlerin alanlarına özgü mesleki yeterlilik koşulunu sağlaması ve güncel öğretim yöntemlerinin uygulanması gibi değişkenlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Taşkaya, 2012). Ayrıca, kendini yenileyen ve kapsamlı oluşturulmuş bir müfredat, öğrencilerin bilgi ve beceri yelpazesinin genişlemesini sağlayacaktır.

Duygusal gereksinimler, öğrencilerin ruhsal ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir ortam sağlanmasını konu alır. Güvenli ve destekleyici bir atmosfer yaratarak, öğrencilerin duygusal refahlarının korunması amaçlanmalıdır. Öğrenciler için okul, yalnızca öğrenim faaliyetlerini yürütecekleri bir kurumdan ibaret değildir. Öğrenciler kişiliklerini, ailelerinden gördükleri tavır ve davranışları, kendilerine özgü özelliklerini, özel yaşamlarında karşılaştıkları sorunları da günün büyük çoğunluğunu geçirdikleri okullarında sergilerler. Bu durumda okul yaşamları boyunca birçok ruhsal evreden geçecek öğrencilerin kişiliklerinin olumlu yönde gelişebilmesi ve öğrencilerin eğitimden istenilen verimi alabilmesi için çeşitli uygulamalara gerek duyulacaktır. Okulların öğrencileri için psikolojik olarak destekleyici yaklaşımlar geliştirmesi gerekmektedir. Öğretmenlerin ve rehberlik-psikolojik destek biriminin bu konuda öğrenciye destek olması öğrenci açısından önem taşımaktadır (Whelley ve Byrson 2002).

Sosyal gereksinimler çerçevesinde eğitim, sosyal etkileşim fırsatı sunmalıdır. Öğrencilerin birbirleriyle iletişim içinde olabilecekleri ve çeşitli çevrelerden gelen öğrencilerin bir arada bulunacağı ortamlar oluşturulmalıdır. Bu, öğrencilerin empati

kurmalarını, kolektif bilinç geliştirmelerini ve toplumsal değerlere saygı duymalarını sağlar.

Yapısal gereksinimler kapsamında, eğitim mekânları uygun fiziksel altyapıya sahip olmalıdır. Konforlu bir öğrenme ortamı, öğrencilerin ve öğretmenlerin etkili bir şekilde eğitime odaklanmasını sağlar. Öğrencilerin akademik başarısında, fiziksel konforun önemli olduğu bilinmektedir. Eğitim mekânlarının güncel ihtiyaçlara uygun tasarlanması, kullanıcıların özelinde düzenlemeler yapılması, varsa eksiklerin belirlenerek prosedürlere uygun hale getirilmesi son derece önemlidir (Pürlüsoy ve Elibol, 2022). Yapısal gereksinimlerin en önemli parametrelerinden biri gürültüdür. Ses yalıtımı sağlanmamış, gürültü kirliliğinin yüksek olduğu eğitim mekânlarında işitsel konfor bulunmaz. Öğrencilerin dersi anlatan tarafından söylenenleri duymasını güçleştirecek veya dikkat dağınıklığına neden olacak herhangi bir gürültü, eğitimden istenilen verimin alınamamasına neden olacaktır. İç mekândaki sesin kontrol altına alınması, dışarıdan gelen gürültünün önlenmesi kadar önem taşımaktadır. İşitsel konforu sağlamak adına mimari akustik uygulamaları doğrultusunda titreşim ve yankı oluşumu önlenmeli; öğretmen tarafından konuşulanların, eğitim mekânındaki tüm öğrenciler tarafından anlaşılabilir olması amaçlanmalıdır. Öğretmen ve öğrenci iletişiminin sorunsuz gerçekteşmesi için tasarım esnasında işitsel konfor gözetilmelidir.

Eğitimin genel gereksinimleri, bütüncül şekilde yaklaşarak ele alınmalıdır. Genel gereksinimlerin karşılanması, her bir öğrencinin kendi potansiyelini gerçekteştirmesine ve topluma yarar sağlamasına olanak tanır.

2.1. Eğitimde Akademik Gereksinimler

Akademik gereksinimler, öğrencilerin bilgi ve becerilerini geliştirmeye yönelik unsurlardan oluşmaktadır. Alanında uzman kişiler, bilgilerini ve öğretme tekniklerini sürekli olarak güncelleyerek öğrenme sürecini desteklemelidir. Okulların akademik açıdan öğrenciye faydalı hale gelebilmesi için kaliteli bir eğitim vermesi gerekmektedir. Öğrencinin akademik hayatta başarılı olması için öğretmenin niteliği oldukça önemlidir (Seferoğlu, 2004).

Akademik gereksinimlerin bir diğer ana başlığı ise müfredatın nitelikli olmasıdır. Güncel ve kapsamlı bir müfredat, öğrencilere daha detaylı beceriler kazandırır.

Öğrencilerin özgün yetenekleri doğrultusunda çeşitli eğitim içerikleriyle karşılaşmaları, onların akademik gelişimine katkı sağlar ve potansiyellerini maksimum düzeyde kullanmalarını destekler.

Bu bağlamda, akademik gereksinimlerin karşılanması, öğrencilerin eğitimden en yüksek verimi almalarını sağlayacaktır. Öğrencilerin akademik alandaki başarıları, ileride karşılaşacakları fırsatlar için basamak olacaktır. Böylece topluma katkı sağlayacak bireyler olarak yetiştirmeleri sağlanabilir.

2.2. Eğitimde Duygusal Gereksinimler

Duygusal gereksinimler, öğrencilerin akademik başarılarına olduğu kadar, ruhsal ihtiyaçlarına da duyarlı bir ortamın sağlanmasını içerir. Öğrencinin kendini güvende hissedeceği ve psikolojik açıdan desteklendiğini bileceği bir eğitim ortamı yaratmak gereklidir. Duygusal gereksinimlerin karşılanması, öğrencilerin eğitim sürecine istekli şekilde katılmalarına zemin hazırlamaktadır. Öğrenmeye hevesli ve duygusal ihtiyaçları giderilmiş öğrenciler, eğitimin toplumsal amacına ulaşmasına katkı sağlayacaklardır.

Bu bağlamda, öğretmenlere büyük bir rol düşmektedir. Öğretmenleri ile iletişim konusunda sorun yaşamayan öğrenciler bunu bir motivasyon kaynağı haline getirerek okul hayatında başarılı olurken, öğretmen ilişkileri sorunlu öğrencilerin akademik başarılarında aşağı yönde bir ivme gözlenmektedir (Passini, Molinari ve Speltini, 2015). Öğretmenler, öğrencileri ile düzenli iletişim kurarak, onların duygusal ihtiyaçlarına duyarlı davranmalı ve güvenilir bir destek kaynağı olmalıdır. Böylece, öğrencilerin eğitimden maksimum fayda sağlamaları ve potansiyellerinin en üst seviyesine ulaşmaları desteklenmiş olacaktır.

2.3. Eğitimde Sosyal Gereksinimler

Eğitim, yalnızca okul başarısını değil, aynı zamanda sosyalleşme ve toplumsal uyum yetisini de desteklemelidir. Sosyal gereksinimler, öğrencilerin iletişim becerilerini geliştirmesine yönelik olgulardır. Öğrencilerin akranlarıyla iletişim içinde olması ve kültür çeşitliliğine sahip ortamlarda bulunması sosyalleşme ihtiyacını karşıladığı gibi topluma uyum sağlamasına da katkıda bulunacaktır.

Bu bağlamda, öğretmenlerin rolü büyüktür. Öğretmenler, öğrenciler arasında sosyal ilişki kurulmasını teşvik etmeli ve öğrencilerin iletişim yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olmalıdır.

Ayrıca öğretmen ve öğrenci arasındaki iletişim de akademik başarıyı doğrudan etkilemektedir. Öğretmen öğrenci ilişkilerinin sağlıklı inşa edilmesiyle, öğrencilerin akademik başarılarında yukarı yönde bir ivme gözlemlenmiştir (Khan, A., Khan, S., Zia-Ul-Islam, S., ve Khan, M., 2017).

2.4. Eğitimde Yapısal Gereksinimler

Eğitim mekânlarının tasarımı, öğrencilerin öğrenme faaliyetlerini sorunsuz sürdürebilmesi açısından önemli bir faktördür. Bu sebeple eğitim mekânlarının genel yapısal gereksinimleri, öğrencilerin konforunu sağlamayı amaçlamalıdır. Eğitim mekânlarının tasarımı, öğrencinin eğitimi için en uygun ortamı oluşturmak amacıyla, doğru bir şekilde ele alınması gereken teknik niteliklere sahip önemli bir prosestir. Araştırmalar fiziksel ortamların, öğrencilerin başarısı ve davranışı üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermektedir (Higgins, Hall, Wall, Woolner ve McCaughey, 2005).

Öncelikle, eğitim mekânlarının öğrenciler ve öğretmenler için yeterli alanı sağlaması gerekmektedir. Geniş sınıflar, öğrenciler için hareket özgürlüğü sağlarken birbirleri ile etkileşimde bulunmalarına da katkıda bulunur. Ergonomik düzenlemeler sayesinde, öğrencilerin derslere olan ilgileri artırılabilir ve uzun süreli oturmalarından kaynaklanan rahatsızlıklar önlenir.

Güvenlik, eğitim mekânları için en başta sağlanması gereken yapısal gereksinimlerden biridir. Afet ve diğer acil durumlarda en hızlı müdahale için, acil durum prosedürlerinin önceden oluşturulmuş olması gerekmektedir (Özmen, Gerdan ve Ergünay, 2015). Acil tahliye gereken durumlarda çıkışların erişilebilir konumda olması oldukça önemlidir.

Aydınlatma ve havalandırma, öğrencilerin derslerdeki verimliliğini ve odaklanma süresini artırarak öğrenmeyi destekleyici nitelikte rol oynamaktadır. Gün ışığının, öğrenme faaliyeti üzerinde ve öğrenilen bilgiyi hafızada tutmada etkisi olduğu bilinmektedir (Winterbottom, Wilkins, 2009). Ancak uzayan eğitim saatleri ile doğal ışıktan yararlanmanın yanı sıra yapay aydınlatmaya da gerek duyulmaktadır. Bu hallerde doğal ve yapay aydınlatma dengesini kurmak görsel konfor açısından

önemlidir. Ayrıca iyi yapılandırılmış havalandırma sistemi ile iç mekânlarda temiz hava sirkülasyonunu yaratarak öğrencilerin odaklanması sağlanabilir.

Eğitim mekânlarında, öğrencilerin etkili bir şekilde öğrenme eylemini sürdürmeleri için elverişli bir işitsel ortamın oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Sesli uyaranlar diğer çevre faktörleriyle kıyaslandığında, göz ardı etmesi en zor uyarlardan biridir. Bunun sebebi, gürültü uyarısının zihnin bilgi işleme ve düşünme gibi işlevleriyle çakışması, diğer uyaranlar kadar kolay dışlanamamasıdır (Zental, 1983). Bu durumda öğrenci, öğrenme faaliyetini gerçekleştirirken, işitsel konfora sahip olmalıdır. İşitsel konfor gereksinimleri oluşturulurken dikkate alınması gereken bir dizi ölçüt bulunmaktadır. İlk olarak, dış kaynaklı gürültünün kontrol altına alınması eğitim sürecinin aksamaması adına önem taşır. Ayrıca, iç mekânlarda oluşabilecek gürültü seviyelerinin minimuma indirilmesi, işitsel konforun sağlanması için kritik bir unsurdur.

İşitsel konfor, öğrencilerin dikkatlerini dağıtan veya iletişimi zor hale getiren gürültünün en aza indirilmesiyle başlar. Dışarıdan gelen gürültünün kontrol altına alınması ve iç ortamda oluşabilecek yankılanma sorununun önlenmesi gibi akustik iyileştirmeler, öğrencilerin ders sırasındaki konuşmaları net olarak duymalarına ve işlenen konuyu net bir şekilde idrak etmelerine destek olacaktır.

Ayrıca, işitsel konfora sahip eğitim mekânların tasarlanması, derslik içindeki etkileşimi artırır. Konuların anlaşılabilirliğine mâni olan işitsel engelleri kaldırarak öğrenci ve öğretmen arasındaki iletişimin verimini artırır. “Anlatılan ve/veya tartışılan konunun öğrenilmesi için ilk aşama eğitimcinin ya da katılımcıların konuşmalarının anlaşılabilir olmasıdır. İyi algılanamayan bir konuşma, mekân içerisinde akustik koşulların uygun olmamasından kaynaklanabileceği gibi, etkinlik sırasında oluşan gürültü düzeyi de anlaşılabilirlik üzerinde doğrudan etkisi olan bir faktördür. Bu anlamda eğitim amaçlı mekânlarda, farklı seviyedeki eğitim kurumlarında gerçekleştirilen çalışmalar yürütülmektedir.” (Karaman ve Üçkaya, 2015: 504). Sınıf içerisinde ses seviyesinin dersi anlamaya elverişli düzeyde tutulması, öğrencilerin birbirleriyle rahat bir şekilde iletişim kurmalarını ve grup etkinliklerinde daha aktif rol göstermelerini sağlar. Bu da öğrenme deneyimini zenginleştirerek bilgi aktarımına teşvik eder.

İşitsel konfora sahip bir eğitim ortamı sağlanması, öğrenim için birçok avantaj sağlar. Gürültü seviyesi yüksek ortamlarda algı düzeyinde düşme meydana gelmektedir. Bu durumda öğrenme faaliyetinde aksamaların olması kaçınılmazdır. Bunun yanında, dikkat dağınıklığı, okuduğunu anlamada sorunlar, öğrencilerin agresifleşmesi, ilgi kaybı ve yorgunluk gibi olumsuz durumlar da gürültülü ortamların negatif etkilerindendir (Avşar ve Gönüllü, 2000). Gürültü düzeyi yüksek olan mekânlar, strese bağlı endişe düzeyini artırabilirken, sessiz bir ortam, öğrencilerin öğrenme eylemini gerçekleştirmeye daha açık olmalarına yardımcı olmaktadır.

Eğitim mekânlarında işitsel konforun sağlanması, öğrencilerin öğrenme deneyimini başarılı bir şekilde yürütmelerini destekleyen önemli bir faktördür. Dış gürültünün kontrol altına alınması, hacim akustiğinin düzenlenmesi ve iletişimi kolay hale getirecek ortamların sağlanması, öğrencilerin eğitimden en yüksek verimi almasını sağlayacaktır. Bu nedenle, eğitim mekânlarının tasarımında işitsel konforun ve akustik iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

3. EĞİTİM MEKÂNLARINDA AKUSTİK KONFOR

Eğitim mekânlarında akustik konfor, öğrenme ve öğretme sürecinin kusursuz işlemesine destek olan önemli bir unsurdur. İşitme duyusu ile elde edilen bilginin algılanabilmesi, akustiğin kalitesi ile ilgilidir. Ortamın kalitesi akustik bakımından artırıldığında ve bu sayede akustik konfor sağlandığında algılama düzeyi de artacaktır (Bayazıt ve Aşçıgil, 2007). Akustik konfor yönünden güçlü ortamlar, ses iletimini en iyi şekilde sağlayarak, sesin karşı tarafa net ve anlaşılır bir şekilde iletilmesini sağlar.

Böylece, öğrencilerin ders materyallerini etkili bir şekilde kavramalarına ve öğretmenlerin mesajlarını daha az efor sarf ederek iletmelerine olanak tanır. Eğitim ortamlarındaki akustik düzenlemeler, öğrencilerin derse olan dikkatlerini sürdürebilmeleri, öğretmenlerin seslerini yorulmadan iletebilmeleri ve öğrenme deneyiminde kalitenin artması için gereklidir.

Eğitim mekânlarında akustik konforun sağlanması, yalnızca sesin kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda ortamda bulunan yankıyı ve arka plan gürültüsünü de kontrol altına alır. Derste verilen bilgilerin öğrenci tarafından algılanabilmesi için eğitimcinin konuşma anlaşılabilirliği düzeyi yüksek olmalıdır. Arka plan gürültüsü, ortamda bulunan yansıma süresi gibi unsurlar akustik konforu doğrudan etkilemektedir (Gökçebora, 2003). Yapılan bir çalışmada, akustik konforun bulunmadığı, gürültünün ve yansıma süresinin yüksek olduğu eğitim mekânlarında konuşma anlaşılabilirliği parametresinin %75 olduğu görülürken, bu durum öğrencilerin eğitimde %25’lik bir kayıp yaşadığını göstermektedir (TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 2015).

Akustik konforu etkileyen, mekân boyutu, mekân şekli, kullanılan malzeme seçimi ve mimari düzenlemeler gibi çeşitli faktörler bulunmaktadır. İyi tasarlanmış akustik ortamlar, sesin her köşeye eşit şekilde dağılmasını sağlar ve yankıyı minimuma indirir.

Eğitim mekânlarının akustik bakımından optimize edilmesinde çeşitli yöntemler ve teknolojiler kullanılmaktadır. Ses yutucu malzeme kullanımı, akustik panel ve tavan çözümleri, yansıma süresini azaltarak konuşma anlaşılabilirliğini artırmaktadır. Akustik düzenlemeler, mekânın akustik performansını iyileştirerek sesin ortamda homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Kaynaktan çıkan sesin her bir noktaya homojen şekilde ulaşması adına önlemler alınabilir. Yansıtıcı yüzeylerin doğru kullanımı ile sesin hacim içerisindeki dinleyicilere doğru bir şekilde tesir etmesi mümkündür. Yansıtıcı yüzeyler ses kaynağına yakın konumlandırılmalıdır (Doelle, 1972). Dinleyicilerin arkasında kalan yüzey malzemesi, anlaşılabilirliği olumsuz etkilememek adına yutucu seçilmelidir. Bu yüzeyin yansıtıcı olması halinde, sesin bir kısmı geri yansıyacak ve dinleyicilerin algıladığı bu çift ses, anlaşılabilirlik kaybına sebep olacaktır. Bu sorunun çözümünde modern akustik simülasyon ve modelleme teknikleri devreye girer. Bu sayede, mekânın akustik performans analizi yapılabilir ve iyileştirme önerileri geliştirilebilir. Bununla birlikte, bu teknikler, mekânın mevcut akustik parametrelerinin değerlendirilmesini ve optimize edilmesini sağlar.

Akustik konforun sağlanması, eğitim mekânlarında zaman geçiren öğrenci ve öğretmenler için daha verimli ve konforlu bir eğitim ortamı oluşturur. İyi bir akustik tasarım, eğitim kalitesinde gözle görünür bir artışa sebep olacaktır. Eğitim yapılarının tasarımında ve iyileştirilmesinde akustik prensiplerin dikkate alınması, modern eğitim ortamlarının gelişmesine katkı sağlayacaktır. Akustik konfor bulunan eğitim mekânı sayısının artmasıyla birlikte akademik başarı oranlarında artış da gözlenebilir.

3.1 Gürültü Kontrolü

Ses, titreşim üreten bir kaynaktan gelen, hava yolu ile işitsel duyuları harekete geçiren fiziksel fenomendir. Gürültü, belirli bir düzeyin üzerinde bulunan ses dalgalarının birleşmesiyle oluşmaktadır ve çevrede bulunan diğer sesli uyarıcılar ile birleştiğinde rahatsız edici hal alır. Gürültünün belirli bir düzeni olmayan, rastgele bir şekilde dağılan ses dalgalarından oluşan akustik bir unsur olduğu bilinmektedir (Kurra, 1982). Akustik bağlamda gürültü, istenmeyen veya rahatsız edici ses olarak tanımlanır ve insan sağlığı ile yaşam kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Gürültü aynı zamanda çevre kirliliği kapsamına da girmektedir (Kurra, 2009). Akustik konforu doğrudan etkileyen bir metrik olduğundan, eğitim ortamlarının tasarımında dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

Gürültü, yalnızca yüksek ses dalgalarından oluşmamaktadır. Ardışık ve tek düze sesler veya ani ve düzensiz ses dalgaları da gürültü olarak kabul edilmektedir. Gürültünün kaynağı, trafik, sanayi faaliyetleri, inşaat çalışmaları, müzik ve çeşitli insan faaliyetleri gibi faktörler olabilir. Akustik konforu ve aynı zamanda genel yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen gürültü unsuru, özellikle eğitim, sağlık ve çalışma ortamlarında dikkatle yönetilmelidir. Modern yaşamda gürültünün oluşmasından kaçınmak olası bir beklenti değildir. Teknolojinin gelişmesi ile işitsel konforun sağlanması için mekânlarda gürültüye karşı önlemler alınabilmektedir. Sesin iletiminin, sessiz alanların varlığının oldukça önemli olduğu eğitim mekânlarında bu hususta çalışmalar yapılmalıdır. Gürültü denetimi, eğitim ortamlarının akustik kalitesini artırmak ve işitsel konforu gözetmek için uygulanmalıdır. İşitsel konfor bakımından iyileştirilmiş eğitim mekânlarında, öğrencilerin öğrenme süreci, öğretmenlerin ders anlatımı ve genel eğitim verimliliği olumlu yönde değişmektedir. Gürültülü eğitim ortamları, öğrenci ve öğretmenler açısından birçok olumsuz etki yaratabilmektedir. Gürültü seviyesi yükseldikçe, öğrencilerde dikkat eksikliği, bilgiyi algılamada zorlanma ve genel stres seviyelerinde artış gözlemlenmesi olasıdır. Öğretmenlerde ise aralıksız yüksek ses kullanımı sonucu ses kısıklığı gibi meslek hastalıkları oluşmaktadır (Uzuner, Kaya, Akman, Yalçın, Yavuzer ve Akturan, 2015).

3.1.1. Gürültü kaynakları

Eğitim mekânlarında akustik kusura sebep olan gürültü genellikle iç kaynaklı ve dış kaynaklı olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir.

İç Kaynaklı Gürültü

İç kaynaklı gürültüler, eğitim mekânının içinde oluşan ve eğitim sürecini olumsuz olarak etkileyebilen seslerdir. İç kaynaklı gürültüler, doğrudan öğrenci, öğretmen ve eğitim materyali kaynaklı meydana gelebilmektedir.

Yaşamsal Gürültüler: Konuşma, sınıf içinde hareket ve grup çalışmaları sırasında oluşan sohbet sesleri yapı içi gürültünün başlıca kaynaklarındandır. Öğretmenlerin eğitim esnasında yüksek sesle konuşmaları ve ders ekipmanlarını kullanırken oluşan sesler de yapı içi gürültü kaynaklarına örnek olarak verilebilmektedir.

Sistem Sesi Gürültüleri: Yapı içerisinde tesisat ve havalandırma gibi elektromekanik sistemler gürültü oluşumuna neden olabilmektedir. Bilgisayar ve projektör kullanımı, klima sistemleri ve diğer elektronik cihazların çalışması esnasında oluşan sesler de

yapı içi gürültü kaynaklarındandır. Bu cihazların yarattığı sürekli düşük frekanslı sesler birleşerek gürültüye sebebiyet vermektedir.

Hareket Kaynaklı Gürültüler: Sandalyelerin ve masaların yerinden hareket ettirilmesi, kapı ve pencerelerin açılıp kapanması gibi harekete bağlı sesler ders sırasında dikkat dağıtıcı gürültüler oluşturabilir. Harekete bağlı gürültüler, mekânın genel akustik kalitesini düşürerek işitsel konforu bozmaktadır.

Yansıma Gürültüleri: Eğitim mekânlarının tasarımında akustik önlemler alınmadığı takdirde yankı sorunlarıyla karşılaşılması muhtemeldir. Ses duvarlardan, tavanlardan ve diğer yüzeylerden yansıyarak konuşma anlaşılabilirliğini düşürebilir, böylece işitsel konfor sağlanamaz. Yansıyan sesler mekânın gürültülü hale gelmesine sebebiyet verecektir.

Dış Kaynaklı Gürültü

Dış ortam kaynaklı gürültü, eğitim mekânlarında işitsel konfor açısından kontrol altına alınmalıdır. Eğitim yapılarının tasarımında inşa edileceği alan belirlenirken çevrenin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Çevresel gürültüler, akustik açıdan hassas olan eğitim mekânlarını doğrudan etkileyebileceğinden, gürültü yaratabilecek dış etkenleri olan alanlar için cephede önlemler alınmalıdır. Dış kaynaklı gürültüden izole bir eğitim mekânı için denetimler yapılmalıdır.

Taşıt Gürültüsü: Eğitim mekânlarının yakınında ana yol, otoyol veya işlek cadde bulunduğu hallerde çevreden gelen trafik gürültüsü, dış kaynaklı gürültüye sebep olmaktadır. Trafikten gelen motor sesi, korna sesi ve fren sesi gibi sesler, dersliklere sızarak işitsel konforu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca diğer ulaşım araçlarının kullanıldığı liman, havaalanı ve tren garı gibi istasyonlara yakın konumda olan mekânlar da dış kaynaklı gürültüye maruz kalmaktadır.

Sokak Gürültüsü: Eğitim mekânının yakınında sürdürülen inşaat çalışmaları, sesli makine kullanımı gibi yapı oluşturma gürültüleri dış kaynaklı gürültü yaratmaktadır. Bunun yanında sanayiye yakın konumda bulunulması, ticaret yapılan pazar alanlarına mesafe gibi faktörler de gürültü düzeyini etkilemektedir.

Doğal Gürültü: Hayvan sesleri, hava muhalefeti sesleri gibi doğal ve kaçınılması mümkün olmayan sesler de dış kaynaklı gürültü olarak adlandırılmaktadır.

Gürültü Kontrol Teknikleri:

Gürültü kontrol teknikleri, istenmeyen ve rahatsız edici seslerin etki oranını azaltmak ve işitsel konforu artırmak için kullanılan yöntemlerdir. Bu teknikler arasında ses yalıtımı, ses yutucu malzeme kullanımı, sesin yayılım kontrolü ve kaynak gürültüsünün azaltılması gibi iyileştirmeler bulunmaktadır. Ses yalıtımı, gürültünün bir ortamdan diğerine geçişini engellemek adına duvar, tavan ve zeminlerde kullanılan kalın, ağır ve yoğun malzemelerle sağlanmalıdır. Örneğin, döşemelerde hafif malzeme kullanımı, yürüme sesi gürültüsünün ilk sebebidir (Brunskog, 2002). Ses yutuculuğu, ses dalgalarının yüzeyde emilerek yansımalarının azaltılması amacıyla akustik paneller, halılar ve tavan kaplamaları gibi ses yutucu malzemelerin tercih edilmesiyle gerçekleştirilir. Sesin yayılım kontrolü, ses bariyerleri ve difüzörler kullanılarak sesin belirli yönlerde yayılmasını engellemeye dayanmaktadır. Kaynak gürültüsünün azaltılması ise, gürültülü çalışan makine ve cihazların akustik önlem alınmış teknik odalar içinde tutulması, bakım ve onarımlarının düzenli yapılması ve düşük gürültü düzeyinde çalışan ekipmanların tercih edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Gürültü kontrol teknikleri sayesinde, istenmeyen sesler, mekânın iç ve dış alanlarında denetim altına alınabilir.

Standartlar ve Yönetmelikler:

Gürültü denetimi ve işitsel konfor koşulları, uluslararası ve ulusal standartlar ve yönetmeliklerle belirlenmiştir. Bu standartlar, eğitim mekânlarının tasarımı ve kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken gürültü düzeylerini ve akustik performans ölçütlerini oluşturur. Türkiye 11 Aralık 1986 tarihinde gürültü kontrolüne yönelik olan yönetmeliği çıkarmıştır. Bireylerin sakinliğini ve düzenini, ruhsal ve fiziksel sağlığını koruyacak bir alan oluşturulması amaçlanmıştır. Hazırlanan yönetmelik sayesinde istenmeyen ses kirliliği ilk defa teknik ve tüze bakımından ele alınarak sınırları çizilmiştir. Günümüzde, 2017’de güncellenen Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik ulusal norm olarak kullanılmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Günümüzde, ISO 3382-1 ve ISO 3382-2 standartları, kapalı ortamların yansıma süresi ve diğer akustik parametreler için ölçüm ve analiz yöntemlerini tanımlar. Dünya Sağlık Örgütü WHO) ise, eğitim mekânlarında maruz kalınabilecek maksimum gürültü seviyelerini belirlemiştir. ISO 3382-1 ve ISO 3382-2 standartlarının kapalı

hacimlerde yansıma süresi ölçüm ve analiz yöntemlerini tanımladığı gibi, diğer akustik parametrelerin analizinde kullanılan standartlar da mevcuttur.

3.1.2. Kabul edilebilir gürültü düzeyleri

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Ekonomik İşbirliği ve Gelişme Örgütü (OECD) ortak çalışma sürdürerek gürültünün kontrol edilebilmesi için bilgi edinmiş, gürültüye maruz kalmanın sonuçlarını araştırmıştır. Araştırmalar sonucunda OECD 1986 yılında yayınladığı gürültüye maruz kalma sınırını belirlemiştir (Tablo 3. 1).

Tablo 3. 1 OECD 1986 Gürültüye Maruz Kalma Sınırları

Gündüz LAeq (dB) (06-22)	Maruz kalma sonuçları
55dB-60dB	Gürültüden rahatsız olma
60dB-65dB	Rahatsızlığın artması
65>	Ciddi zarar görme

(Özçevik, 2005)

Gürültüye maruz kalma sonuçları çerçevesinde, bireylerin ortamda istenmeyen seslere tahammül sınırları belirlenmiş böylece kabul edilebilir gürültü seviyesi ortaya konmuştur.

Eğitim, işitsel konforun titizlikle irdelenmesi gereken bir alandır. Dersliklerde gürültü düzeyi arttıkça öğrenci verilen bilgiyi algılayamayabilir. Böylece öğrenme eylemi tam anlamıyla sağlanamaz. Öğretmenler ise bilgi akışı sırasında seslerini duyurmak ve öğrencilerin anlamasını sağlamak adına bilgiyi tekrarlamaktadır. Bu durum aksamalara sebep olarak öğrenim sürecini uzatmaktadır (Başar, 2001). Bu sebeple dersliklerde bulunan gürültü sınırının kabul edilebilir düzeyde kalması sağlanmalıdır. Türkiye’de ve diğer ülkelerde küçük farklılıklar olsa da birbirlerine yaklaşık bir değer izledikleri gözlenmektedir (Avşar ve Gönüllü, 2000).

Tablo 3. 2 incelendiğinde Türkiye’nin en yüksek gürültü düzeyini esas alarak yönetmelik kapsamına aldığı görülmektedir.

Tablo 3. 2 Türkiye ve Diğer Ülkelerde Sınıf İçin Öngörülen Kabul Edilebilir Gürültü Düzeyleri

Ülkeler	En Yüksek Gürültü Düzeyi (LAeq)
Türkiye	45
Fransa	38
Almanya	30
İtalya	36
Portekiz	35
İngiltere	40
İsveç	30
Belçika	30-45
Avrupa Birliği	45
Dünya Sağlık Örgütü	35

(Polat ve Buluş-Kırıkkaya, 2004)

Ülkemizde akustiğe verilen önem giderek artmaktadır. Yerel yönetmelikler oluşturularak en yüksek gürültü düzeyleri ile ilgili sınırlar çizilmiştir. Akustik konforun yüksek öneme sahip olduğu eğitim mekânları ile ilgili de düzenlemeler yapılmıştır. Belirli standartlar oluşturulacak şekilde uyulması gereken gürültü düzeyleri hazırlanmıştır. Dersliklerin ve diğer eğitim mekânlarının iç gürültü düzeyi, akustik performans sınıfına göre ayrılmıştır. Derslikler için oluşturulmuş performans sınıfları, aşağıdaki tablolarda detaylı olarak verilmiştir. Tez kapsamında incelenen dersliklerin bulunduğu binaların yapım yılları göz önünde bulundurulduğunda, yerel yönetmelikte restorasyon görececek yapılar için belirlenen D sınıfı karşılanmalıdır. Bu sebeple iç gürültü düzeyi ölçüm sonuçları 43 dB'den fazla olmayan derslikler, ders işlevi için uygun görülebilir.

Tablo 3. 3 Akustik performans sınıfına bağı izin verilen derslik içi en yüksek gürültü düzeyleri,

BİNA İŞLEVİ	MAHAL	İÇ GÜRÜLTÜ DÜZEYİ, dB					
		AKUSTİK PERFORMANS SINIFI					
		A	B	C	D	E	F
Eğitim Tesisleri	Derslikler	31	35	39	43	47	51
	Özel Derslikler	36	40	44	48	52	56

(Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017)

Tablo 3. 4 Dersliklerde sürekli gürültüye sahip servis ekipmanlarına bağı izin verilen en yüksek iç gürültü düzeyleri

BİNA İŞLEVİ	MAHAL	SERVİS EKİPMANI GÜRÜLTÜ DÜZEYİ, LAeq					
		AKUSTİK PERFORMANS SINIFI					
		A	B	C	D	E	F
Eğitim Tesisleri	Derslikler	27	31	35	39	43	47
	Özel Derslikler	32	36	40	44	48	52

(Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017)

Tablo 3. 5 Eğitim Tesislerinde Çeşitli Mekân İşlevlerine Bağı Gürültüye Karşı Gürültülülük ve Hassasiyet Dereceleri

BİNA İŞLEVİ	MAHAL	KAYNAK OLMASI DURUMU	ALICI OLMASI DURUMU
		Gürültülülük Derecesi	Hassasiyet Derecesi
Eğitim Tesisleri	Derslikler	OG	I
	Özel Derslikler	YG	II
	İdari Odalar	OG	II
	Spor Salonu	YG	III
	Okuma Odaları	DG	I
	Sirkülasyon Alanları	OG	III
	Teknik Merkezler	YG	III

(Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017)

3.2 Hacim Akustiğı

Hacim akustiğı, ortamda oluşan ses faaliyetlerinin, ortamın işlevine göre en uygun şekilde var olmasını amaç edinerek, ortamın gerekliliklerinin belirlenmesi ve bu gereklilikler için öneriler geliştirilmesidir (Sirel, 1974). Hacim akustiğı, eğitim mekânları, konser salonları, tiyatrolar ve diğer kapalı mekânların akustik performansını optimize ederek sesin dinleyici tarafından en düzgün şekilde anlaşılmasını amaçlar. Eğitim mekânları, hacim akustiğının en önemli olduğu alanlardan biridir. Dersliklerde iletişim en önemli faktör olmakla birlikte, işitme duyusu ile öğrenme faaliyeti yaygındır. Bu durumda konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde detaylı çalışmalar yapmak gerekir (zevik, 2005). Dersliklerde işitsel konforun sağlanması, öğrencilerin ders materyallerini algılayabilmesine ve öğretmenlerin işitsel veriyi net bir şekilde karşı tarafa aktarmasına destek olacaktır. İşitsel konforu sağlamak akustik iyileştirmelerle mümkündür (Bulunuz vd., 2017).

Hacim akustiğının iyileştirilmesinde çeşitli faktörler yer almaktadır. Mimari bitiş malzemeleri, mekân formu, tefriş düzenlemeleri gibi unsurlar ile mekânın akustik performansı artırılabilir. Sesin hacimde doğru bir şekilde dağılması ve yankının kontrol edilebilmesi için duvar panelleri, akustik tavanlar ve ses yutuculuğu yüksek yüzeyler gibi malzemeler kullanılabilir. Bu malzemeler, gelen ses dalgalarını yutarak yankıyı azaltır ve sese netlik kazandırır. Mekânın formu, sesin nasıl yayıldığını ve yansıdığını belirleyen önemli faktörlerdendir. Dikdörtgen, kare forma sahip mekânlar, sesin doğru bir şekilde yayılmasını desteklerken, düzensiz şekilli mekânlar akustik problemlere neden olabilmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde, hacim akustiğının optimize edilmesinde kullanılan uygulamalar bulunmaktadır. Akustik simülasyon ve modelleme teknikleri kullanarak, var olan mekânın akustik performansı denetlenebilir ve iyileştirme için öneriler oluşturulabilir. Bu teknikler, yansışım süresi, ses basınç seviyesi ve konuşma anlaşılabilirliği gibi parametreleri değerlendirerek mekânın akustik performansını artırmak için çözüm nerileri sunmaktadır. Hacim akustiğının iyileştirilmesi ile sesin kalitesinde artış gözlenebilir böylece eğitim mekânlarının işlevselliği artırılmış olur.

3.2.1. Hacim akustiği parametreleri

3.2.1.1. Yansıma süresi (RT)

Bir kaynaktan iletilen sesin kapalı bir mekânda arka arkaya yansiyarak yayılmasına yansıma adı verilmektedir. Bu süreçte ses enerjisi her bir yansımada belirli bir miktarda azalmakta ve en sonunda tamamen yok olmaktadır. Bu yayılımdan dolayı, ses kaynağından iletilen kısa süreli sesler bile kişiler tarafından olduğundan daha uzun süreli algılanmaktadır. Akustik çalışmalarının en temel parametrelerinden biri olan yansıma literatüre, Wallace Clement Sabine'in gerçekleştirmiş olduğu, bir org vasıtasıyla çıkardığı seslerin süresini oda duvarlarına minder ekleyip çıkararak yaptığı modifikasyonlara göre değişimini ölçen deneyler ile giriş yapmıştır. Sabine'in çalışmaları sonucu ortaya koyduğu formül aşağıda yer almaktadır (Vergili, 2008):

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{Sa}$$

(Denklemler 3. 1)

Bahsedilen formülde V oda hacmini, S odanın yüzey alanını, a odanın ortalama yutuculuk katsayısını, RT60 ise yansıma süresini ifade etmektedir. Yansıma süresi, ses kaynağı sustuktan sonra, yayılan sesin basınç seviyesi 60 dB sönümlenene kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu sürenin uzun veya kısa olmasının belirli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır; bu nedenle, bir mekân tasarlanırken bu mekânın boyutlarına ve kullanım amacına göre yansıma süresinin sahip olması gereken değer belirlenmektedir. Özellikle konuşmalar ve/veya müziğin yoğun olması planlanan mekânlarda, yansıma süresi belirlenmesi ve hesaplamaları oldukça önem arz etmektedir. Örneğin, yansıma bir mekân içerisinde seslerin düzgün bir şekilde yayılımını etkilerken aynı zamanda bu sürenin gereğinden uzun olması, konuşmaların ve müziğin ses kalitesinde azalmalara sebep olmaktadır. Yansıma süresinin uzun olması durumunda sesler birbirini maskeler ve konuşmalar daha zor anlaşılır, yansıma süresinin kısa olması durumunda ise konuşmalar daha net bir şekilde anlaşılırken seslerin estetik değeri düşmektedir. Özetle, ses estetiğinin ön planda tutulduğu mekânlarda yansıma süresinin daha uzun, konuşma anlaşılabilirliğinin önemli olduğu mekânlarda ise yansıma süresinin daha kısa belirlenmesi hedeflenmektedir (Yaşar, 2021).

3.2.1.2. Erken düşme süresi (EDT)

Bir ses kaynağından iletilen sesin kesilmesinden sonra, ses basınç seviyesinin 10 dB azalması için gereken süreye erken düşme süresi adı verilmektedir. Bu tanıma göre erken düşme süresi, aynı zamanda yansıma süresinin bir parametresi niteliğinde olup, yansıma süresinde ölçülen 60 dB'lik düşüşün ilk 10 dB'ini kapsamaktadır. Erken düşme süresinin hesaplandığı formül aşağıda yer almaktadır:

$$EDT = 6 * t_{10}$$

(Denklem 3. 2)

Yukarıda yer alan formülde t_{10} değeri, sesin 10 dB azalma süresini ifade etmektedir. Erken düşme süresinin hesaplanmasında t_{10} değerinin 6 ile çarpılmasının sebebi, erken düşme süresi ile çınlama süresinin karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktır. Erken düşme süresi 6 ile çarpıldığında, yani 10 dB'lik düşme süresi yerine ortalama bir 60 dB düşüş süresi elde edildiğinde, bu değer aynı basınç seviyesini gösteren çınlama süresi ile s cinsinden karşılaştırılabilmektedir. Erken düşme süresinin yansıma süresinden yüksek olması konuşmaların anlaşılabilirliğini azaltan bir etmen olarak gösterilirken, yansıma süresinden düşük olması konuşmaların netliğini ve anlaşılabilirliğini arttırmaktadır (Gürkan, 2013).

Erken düşme süresi, mekân akustiği değerlerinin hesaplanması ve belirlenmesinde önemli parametreler arasında yer almakta ve son zamanlarda yansıma süresine alternatif olarak gösterilmektedir.

3.2.1.3. Ses iletim indeksi (STI)

Kapalı bir mekânda seslerin ne kadar net olduğunu gösteren ve 0 ile 1 arasında bir değere sahip olan ölçüte konuşma anlaşılabilirliği adı verilmektedir. Konuşma anlaşılabilirliğinin öznel testlerden ziyade matematiksel yöntemlerle belirlenebilmesi adına Tammo Houtgast ve Herman Steeneken bir ölçüm metodu geliştirmiştir. Modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) adında bu metotla insanların konuşma sesleri taklit edilmekte ve buna göre bir modülasyon azaltım faktörü (m) hesaplanmaktadır. Yine Houtgast ve Steeneken'in geliştirdiği farklı bir algoritma ile hesaplanan m değeri kullanılarak konuşma anlaşılabilirliğine ulaşılmaktadır (Gürkan, 2013). Konuşma anlaşılabilirliği değerinin 0'a yakın olması anlaşılabilirliğin düşük, 1'e yakın olması ise anlaşılabilirliğin yüksek olduğuna işaret etmektedir. Genellikle 0,6 veya 0,6'dan yüksek

değerler, iyi anlaşılabilirlik değerleri olarak kabul edilmektedir. Konuşma anlaşılabilirliğinin değerlere göre sınıflandırılması aşağıdaki Tablo 3. 6'da yer almaktadır.

Tablo 3. 6 STI Değeri Açıklamaları

Anlaşılabilirlik Sınıflandırması	STI
Mükemmel	$> 0,75$
İyi	$0,6 - 0,75$
Ortalama	$0,45 - 0,6$
Zayıf	$0,3 - 0,45$
Kötü	$< 0,3$

(Çankaya, 2016)

3.2.1.4. Ses basınç seviyesi (SPL)

Bir ses dalgasının ölçülen şiddeti veya yoğunluğuna ses basınç seviyesi adı verilmektedir ve birimi desibeldir (dB). Konuşma desibeli yüksekliği ile konuşmanın anlaşılabilirliği karşılaştırıldığında, belirli bir noktaya kadar iki değer birbirleriyle doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Daha detaylı bir ifade ile, en uygun konuşma anlaşılabilirliği koşullarının sağlanması için ses basınç seviyesinin 50 – 80 dB arasında olması beklenmektedir. Bu aralık içerisinde iki parametre birbirine paralel değişmektedir. Ancak konuşma anlaşılabilirliğini etkileyen tek faktör konuşma sesinin basınç seviyesi değildir. Aynı zamanda, arka plan gürültüsü de maskelemeye sebep olarak konuşma anlaşılabilirliğini azaltmaktadır. Konuşma anlaşılabilirliğinin önem teşkil ettiği kapalı mekânlarda arka plan seslerine ait basınç seviyesinin 35 dB'i geçmemesi önemli bir kriterdir. Ayrıca, konuşma ve arka plan gürültüsünün ses basınç seviyeleri farkının minimum 5 dB olması, konuşma ve arka plan gürültüsünün ses basınç seviyeleri oranının belli bir değer altına düşmeyerek bu bahsedilen farkı koruması gerekmektedir. Böylelikle hem mekânda bulunan kişilerin işitsel konforu sağlanmakta, hem de işitsel sağlığı korunmaktadır (Tuna, 2020).

3.2.1.5. Konuşma netliği (C50)

Konuşmada kullanılan netlik parametresi C50'dir. Kaynağın oluşturduğu sesin ilk 50 ms süresindeki enerjisinin tüm ses enerjisi ile oranlanması ile hesaplanır. C50 değerinin yüksek olması konuşmanın anlaşılabilir olmasını sağlar. Klasik müzik için uygun mekân sağlanması adına C50 değerinin düşük olması gerekmektedir (Gürkan, 2013).

$$C_{50} = 10 \log \left[\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right] dB$$

C_{50} : Konuşma için sesin netliği parametresi.

D_{50} : Ayırt edilebilirlik parametresi.

(Denklem 3. 3)

Formülde görüldüğü üzere C_{50} ile D_{50} arasında ilişki vardır. Bu nedenle ölçüm yapılırken yalnızca birinin ölçülmesi yeterli olmaktadır. Birinin bilinmesi, diğerinin hesaplanmasını sağlar (Tuna, 2020).

3.2.2. Hacim akustiği kusurları

Hacim akustiği parametrelerinin optimum değere ulaşmasını engelleyen akustik kusurlar bulunmaktadır. Hacim formu, mimari bitiş malzemesi, tefriş düzenlemesi gibi unsurlar akustik performansında düşüşe sebebiyet verebilmektedir. Bu kusurlar konuşmanın anlaşılabilirliği gibi konforların kaybedilmesine yol açabilmektedir.

Yansıma süresinin optimum düzeyde kalması gerekmektedir. Olması gereken düzeyden kısa olduğu takdirde hacimde kaynaktan gelen seslerin seviyesi oldukça düşük kalacaktır. Yansıma süresinin gereğinden uzun olması halinde, kaynaktan gelen ses dalgalarının birbirine karışması sonucunda konuşma anlaşılabilirliği mümkün olmayacaktır.

Hacimde bulunan içbükey veya eğrisel yüzeyler, ses dalgalarının tek bir yönde yoğunlaşmasına sebep olabilmektedir. Bundan kaynaklı olarak yoğunlaşma dışında kalan bölgelere ses ulaşmayabilir, böylece “ölü alan” denilen bölgeler ortaya çıkar. Bu sorunu yaşamamak adına içbükey yüzey uygulamasından kaçınılmalıdır.

Ayrıca doğrudan ve yansıyan ses dalgaları da akustik performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ses dalgalarının bazı bölgelerde en yüksek verimde ses meydana getirirken, diğer bölgelerde düşük verimde ses üretmesi ile eşit olmayan ses dağılımı oluşacaktır. İçbükey ve eğrisel yüzey uygulamalarından tasarım aşamasında kaçınılmalıdır. Yüzey uygulanmışsa, ses yutucu malzeme kullanarak kaplama yapılmalı ve akustik iyileştirme sağlanmalıdır.

Ses kaynağından gelen ses dalgalarının yansıtıcı özelliklere sahip yüzeye ulaşması ile yankı oluşur. Yankı sesin kalitesini bozarak hem anlatıcı hem de dinleyenler için negatif deneyim oluşturmaktadır (Akın ve Şerefhanoglu Sözen, 1999). Kaynaktan gelen ses ile yansıtıcı yüzeyden gelen ses arasında oluşan süre saniyenin 1/15' inden az ise, yansıyan ses, ses şiddetini artırır. Belirtilen süreden daha uzun zaman alan yansıma ise yankı kategorisine girer ve akustik kusur sayılır. Ses kaynağına uzakta olan, karşısında yer alan duvarlara ya da yüksek tavanlara ses yutuculuğu yüksek mimari bitiş malzemeleri iyileştirme yapılabilir.

Hacimlerde birbirine paralel ve yansıtıcı yüzeyleri olan duvarlar uygulandığında, ses kaynağından çıkan ses dalgaları iki paralel duvar arasında yansıma yapmaktadır. Ses kaynağından doğrudan gelen ses ve bu yansıma arasında vakit ayrımı da yankı çeşitlerinden vurgusal yankı (Flutter Echo) kusurunu ortaya çıkartacaktır. Bu kusurun ortaya çıkışını önlemek için yüzeylerin birbirine paralel halde oluşturulmaması gerekmektedir. Paralel yüzey varsa birinin yüzey malzemesi seçimi saçıcı veya yutucu özellikte olmalıdır.

Frekansların birbiri ile çakışması sonucu rezonans adı verilen akustik kusur oluşmaktadır. Yüzey ve panellerde kullanılan materyaller cam ve ahşap gibi maddelerden seçildiğinde titreşme hareketiyle fazladan bir ses dalgası yayabilir. Rezonans kusurunu önlemek için, cam yüzeylerin sabitlenmesi ve titreşime sebep olabilecek objelerin ses yutuculuğu yüksek bir yüzey ile desteklenmesi uygulamaları yapılabilir.

Gürültü düzensiz ses dalgalarının bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Gürültünün önlenmesi için akustik önlemlerin yanı sıra izolasyon önlemleri de alınmalıdır.

3.2.3. İşitsel konfor tasarım ilkeleri

İşitsel konfor, bir mekânın kullanıcılarına sunduğu ses deneyimini tanımlayan ve akustik performans iyileştirmenin temel amaçlarından biri olan önemli bir kavramdır. Eğitim ortamlarında ve dersliklerde kullanıcıların verimliliği, sağlığı ve genel yaşam kalitesi üzerinde etkilidir. İşitsel konfor tasarım ilkeleri, sesin hacimde yayılması, yansıması, yutulması ve kontrol edilmesi için belirlenen stratejiler ve yöntemler bütünüdür. Tasarım ilkeleri, hacmin işlevine, kullanıcı sayısına ve akustik ihtiyaçlarına göre şekillendirilmektedir.

Akustik performans düzenlemeleri malzeme seçimleriyle doğrudan ilgilidir. Yansıma süresini optimum değere getirmek, arka plan gürültüsünü en aza indirmek ve sesin homojen şekilde yayılımı, doğru mimari bitiş malzemesi kullanımı ile sağlanabilmektedir. Mimari akustik tasarımın doğru bir şekilde hayata geçirilmesi için hacmin büyüklüğü, şekli ve yüzey malzemeleri doğru kurgulanmalıdır (Özel ve Yılmaz, 2018).

İşitsel konfor tasarımında dikkate alınması gereken başlıca unsurlar arasında mekânın formu da yer almaktadır. Ortamın geometrisi sesin hareketini belirleyen bir öğedir. Hacmin sahip olduğu form, ses dalgalarının yansıma, kırılma ve difüzyonunda belirleyici rol oynar.

Ayrıca performans değerlendirme ve iyileştirme esnasında tefriş düzenlemeleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Tefriş düzenlemeleri, bir ortamda kullanılan/kullanılacak olan mobilya dekorasyon unsurlarının yerleşimi ve seçimi ile ilgilidir. Tefriş düzenlemeleri, mekândaki sesin dağılımını ve yansımasını etkileyerek işitsel konfor üzerinde doğrudan etkili olabilir.

İşitsel konfor tasarım ilkeleri, mekânın kullanıcılarına yüksek performansa sahip işitsel deneyim sunmak için titizlikle uygulanmalıdır. İlkeler sayesinde, mekânın akustik özellikleri optimize edilerek, kullanım verimliliği artırılabilir.

3.2.3.1. Mimari bitiş malzemeleri

Ses, mimari bitiş malzemelerinin yüzey özelliğine bağlı olarak enerjisinin bir kısmını yutulmaya, bir kısmını yansımaya ve iletme harcar (Özel, 2017). Eğitim mekânlarında ses yutucu malzemelerin kullanımı, yankıyı azaltmak ve ses kalitesini iyileştirmek adına etkili bir yöntemdir. Bu tür malzemeler, ses dalgalarının derslikteki yayılımını kontrol ederek daha iyi bir akustik performans oluşturur. Gürültüyü en aza indirmek için döşeme, kaplama, panel uygulama ve diğer yutucu malzemeler ile uygulama yapılmaktadır (Öz ve Köse, 2020). Duvar panelleri, akustik tavanlar, halılar, akustik kumaşlar gibi düşeyde ve yatayda alınan yutucu önlemler, ses emilimini artırarak yankıyı azaltır ve konuşma anlaşılabilirliğini iyileştirir. Ortamın sahip olduğu yansıma süresi, hacim, iç yüzey malzemeleri ve tefrişin yutuculuk performansına bağlıdır (Abdülrahimov, 2005). Sabine hesabı ve simülasyon yöntemleri ile mimari bitiş malzemelerinin ses yutuculuk katsayıları dikkate alınarak yansıma süresi

hesaplanabilir. Malzemelerin toplam yutuculuğu arttıkça yansıma süresi düşmektedir (Kavraz, 2019).

Duvar panelleri, ses dalgalarının duvar yüzeylerinden yansımalarını engelleyerek ses yutuculuğunu artırmak için kullanılan akustik elemanlardır. Paneller, yüksek ses yutuculuk kapasitesine sahip malzemelerden üretilmektedir. Bu malzemeler arasında ahşap, mineral yün, cam elyafı, akustik köpük ve akustik kumaşlar bulunur. Duvar panelleri ile yankı azaltılır ve sesin mekânda daha eşit şekilde yayılması sağlanır. Panellerin duvar yüzeyine monte edilmesi, sesin doğrudan duvar yüzeyinden yansımalarını engeller ve işitsel konforu artırır. Derslikler, konferans salonları, laboratuvarlar ve kütüphaneler gibi işitsel konforun yüksek öneme sahip olduğu ortamlarda akustik performansı artırmak adına kullanılabilir.

Tavan panelleri, ses dalgalarının tavan yüzeyinden yansımalarını azaltmak ve sesin emilimini artırmak için kullanılır. Tavan panelleri, ses yutuculuğu güçlü, yansımaları azaltacak materyallerden üretilmektedir. Mineral yün, cam elyafı, poliüretan köpük ve akustik kumaşlar gibi malzemeler ile akustik tavan uygulaması yaygındır. Akustik tavanların eğitim mekânlarında kullanılmasıyla akustik iyileştirmeler planlanabilir. Özellikle dersliklerde yankıyı önlemek için tercih edilebilecek bir uygulamadır.

Halılar, zemine döşenerek, ses yutuculuğu sağlar ve böylece yankıdan kaynaklı işitsel konfor kaybı yaşanmasına engel olur. Zeminin sert yüzeyinden kaynaklı ses yansımalarını önleyerek sesin emilmesini sağlar. Özellikle büyük hacimli sınıflar ve konferans salonlarında halı kullanımı, yankıyı ve zeminden kaynaklı gürültüyü azaltacaktır.

Akustik kumaşlar, perde ya da duvar kaplamaları olarak kullanılabilir. Perdeler, pencerelerden gelen dış gürültüyü engellemek ve iç mekândaki sesin emilimini artırmak için kullanılır. Ağır ve kalın perdeler, ses dalgalarını yutarak yankının azalmasına ve işitsel konforun artmasına katkıda bulunur. Akustik kumaşlar, genellikle pamuk, polyester veya yün gibi malzemelerden yapılır ve yüksek ses yutuculuk kapasitesine sahiptir. 80-85 dB ve üzerindeki ses dalgalarının yarattığı gürültüde, sesin yansımadan önce emilmesi için akustik kumaş kullanımı oldukça önemlidir (Öz ve Köse, 2020).

3.2.3.2. Hacim formu

Mekânın geometrisi, sesin kapalı alanlarda nasıl yayıldığını, yansıdığını ve yutulduğunu belirleyen önemli bir faktördür. Eğitim mekânları, konser salonları, tiyatrolar ve diğer kapalı alanların akustik performansını optimize etmek için mekânın şekli ve boyutları dikkatle tasarlanmalıdır. Bu bağlamda, mekânın geometrisinin akustik üzerindeki etkilerini anlamak ve uygun tasarım ilkelerini uygulamak akustik performansı iyileştirmek için gereklidir. Mekânın şekli ve boyutları, sesin yayılımı ve yankının kontrol edilmesi bağlamında değerlendirilmelidir. Yansıma süresine, hacim formu ve uygulanan mimari bitiş malzemelerinin ses yutuculuğu katsayıları ile ulaşılmaktadır (Kurtay, Harputlugil ve Yaman, 2021).

Dikdörtgen veya kare şekilli mekânlar ses dalgalarının paralel duvarlardan yansıyarak eşit şekilde dağılmasına olanak tanır. Dikdörtgen/kare derslikler, sesin çıkış kaynağından arka tarafa doğru homojen bir şekilde ulaşmasına olanak tanımaktadır. Dersliklerde işitsel konfor ve konuşma anlaşılabilirliği parametresi için tasarım esnasında hacim formu da dikkate alınmalıdır.

L şeklindeki veya düzensiz formdaki derslikler, ses dalgalarının farklı yüzeylerden farklı açılarla yansıyarak karışıklığa yol açmasına neden olur. Özellikle hacmi büyük ve L şeklinde tasarlanmış dersliklerde, sesin bazı bölgelerde daha fazla yoğunlaşması ve bazı bölgelerde yetersiz kalması durumu oluşabilir. Bu da konuşma anlaşılabilirliğini düşürerek işitsel konforu olumsuz yönde etkiler.

3.2.3.3. Tefriş düzenlemeleri

Dersliklerde mobilyaların stratejik olarak yerleştirilmesi, işitsel konforu artırmak ve konuşma anlaşılabilirliğini iyileştirmek adına önemlidir. Öğrenci sıralarının yerleşimi, derslik içerisindeki sesin yayılmasını etkileyebilir. Öğrenci sıralarının ses kaynağına doğru bakacak şekilde düzenlenmesi, sesin doğrudan öğrenciye ulaşması için uygun bir düzenlemedir. Bu düzenleme özellikle hacim olarak büyük sınıflarda sesin arka sıralara kadar netliğini kaybetmeden ulaşmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca sıra düzeninin simetrik bir şekilde uygulanması, ses dalgalarının mekânda homojen olarak yayılımını destekleyecektir.

Ses kaynağının konumu, derslik içerisindeki ses dağılımını ve konuşma anlaşılabilirliğini etkileyen bir diğer faktördür. Kürsünün derslik merkezine yakın bir şekilde konumlanması ve hafif bir platform ile yükseltilmesi, sesin öğrencilerin kulak

seviyesine doğru yönlendirilmesine yardımcı olur. Bununla birlikte arkasındaki duvarın ses yansıtıcı özelliklere sahip olması, sesin sınıfın arka kısımlarına yansıtılarak daha etkili bir şekilde ulaşmasını sağlar. Bu yansıtıcı özellikteki duvarlar, sesin doğrudan derslik içine eşit şekilde dağılmasını sağlar.



4. ÜNİVERSİTE DERSLİKLERİNDE HACİM AKUSTİĞİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Bilgi aktarımının genellikle işitsel olarak yapıldığı üniversite derslikleri kurgulanırken, göz önünde bulundurulması gereken disiplinlerin başında akustik gelmektedir. Gürültü denetiminin yanı sıra, hacim akustiği iyileştirmeleri ile elde edilecek işitsel konfor, işlev bakımından anlamaya ve anlatmaya dayalı olan bu hacimleri kullanılır kılacaktır.

Bu çalışma kapsamında, seçilen üniversite dersliklerinin mevcut mimari durumu, işlevleri ve tasarımları göz önüne alınarak; dersliklerin akustik durumu ile ilgili öneriler yapılmış ve elde edilen veriler işitsel konfor gereksinimleri bakımından değerlendirilmiştir.

Prensip akustik iyileştirme önerileri geliştirilebilmek için Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü ve İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü'nden farklı değişkenleri ve benzerlikleri olan 8 derslik seçilmiştir. Bu bağlamda seçilen dersliklerde mevcut durumun ortaya konması bakımından yapılan değerlendirmeler, hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon yöntemi ile desteklenmiştir. Ölçüm esnasında kullanılan ekipmanlar Tablo 4. 1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1 Ölçümde kullanılan ekipman listesi

Marka - Model	Tanım
Norsonic Nor140	Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör
Norsonic Nor276	12-yüzlü yönsüz ses kaynağı
Norsonic Nor280	Hoparlör amplifikatörü
Norsonic Nor1494/5	Amfi kablosu
Norsonic Nor1408/50	Amfi uzatma Kablosu

Ölçüm yapılan mekânlarda röleve alınmış ve bu ölçülere göre SketchUp yazılımı kullanılarak üç boyutlu model oluşturulmuş ve EASE 4.4 programı ile simüle edilmiştir. Ease yazılımının bir salonun akustik özelliklerini hesaplayabilmesi için salondaki yüzeylerin ses yutma ve dağıtma özelliklerinin programda tanımlanması gerekmektedir.

Malzemeler gözlem yöntemi ile belirlenmiş olup literatürde kabul gören yutuculuk ve dağıtma katsayıları kullanılmıştır. Tablo 4. 2’de frekansa bağlı yutuculuk miktarları, Tablo 4. 3’te ses dağıtma katsayıları gösterilmiştir.

Tablo 4. 2 Akustik Simülasyonlarda Kullanılan Malzemelerin Ses Yutma Katsayıları

Yüzey	Malzeme	Frekansa Bağlı Yutuculuk Miktarı (C)					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Döşeme	Taş Zemin	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	Vinil Yükseltilmiş Döşeme	0,18	0,17	0,08	0,03	0,03	0,02
	Vinil	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
	Seramik	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Tavan	Sıva	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
	Püskürtme Akustik Sıva	0,26	0,33	0,98	0,99	0,99	0,95
Duvar	Perfore Ahşap Panel	0,40	0,57	0,59	0,55	0,45	0,49
	Kadife Panel	0,03	0,03	0,11	0,17	0,25	0,34
	Ahşap Kaplama	0,14	0,13	0,07	0,08	0,10	0,10
	Ahşap	0,19	0,17	0,10	0,10	0,08	0,07
	Cam	0,23	0,20	0,07	0,06	0,04	0,02
	Bas Yutucu Ahşap Panel	0,53	0,13	0,05	0,05	0,05	0,04
	Metal	0,05	0,09	0,10	0,10	0,07	0,04
	Kumaş Kaplı Panel	0,08	0,15	0,50	0,71	0,70	0,60
	Dinleyici-Boş Sandalye	0,06	0,07	0,11	0,20	0,28	0,21
	Dinleyici-Dolu Sandalye	0,32	0,51	0,77	0,81	0,88	0,74
	Kumaş Kaplı Akustik Panel	0,21	0,65	0,95	0,99	0,99	0,99
	Açıklık	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

(Absorption coefficient database)

Tablo 4. 3 Akustik Simülasyonlarda Kullanılan Malzemelerin Dağıtıcılık Katsayıları

Yüzey	Malzeme	Frekansa Bağlı Dağıtıcılık Miktarı					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Dinleyici Alan	Dinleyici-Boş Sandalye	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
	Dinleyici-Dolu Sandalye	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Duvar	Perfore Ahşap Panel	0,10	0,11	0,15	0,20	0,30	0,39
Döşeme	Taş Zemin	0,11	0,20	0,30	0,42	0,50	0,50

(Absorption coefficient database)

Akustik model içerisinde sanal ses kaynakları ve akustik alıcılar tanımlanmıştır. Kaynak ve alıcı konumları hacimlerin tamamının akustik özellikleri ile ilgili bilgiler verecek şekilde ve ölçümde seçilen noktalara uygun dağıtılmıştır. Ses kaynağı karakteristiği noktasal kaynak (omnidirectional) olarak seçilmiştir. Kaynak ve alıcı konumları ilerleyen bölümde sunulan gösterimlerde görülebilir.

Dersliklerin mevcut durum ölçümleri ve simülasyon sonuçlarının farklılık gösterdiği durumlarda modeldeki malzemeler hacim akustiği ölçümlerine göre kalibre edilmiş ve yansım sürelerinin yakın çıkması sağlanmıştır.

Hacim akustiği ölçümleri ve üç boyutlu model simülasyonlarının mevcut durum yansım süreleri kalibre edildikten sonra, seçilen dersliklerin optimum RT değerlerine ulaşabilmesi için öneri senaryolar geliştirilmiştir.

4.1. İTÜ Mimarlık Fakültesi 214 No’lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü içerisinde yer alan 214 numaralı derslik için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

4.1.1. 214 No’lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

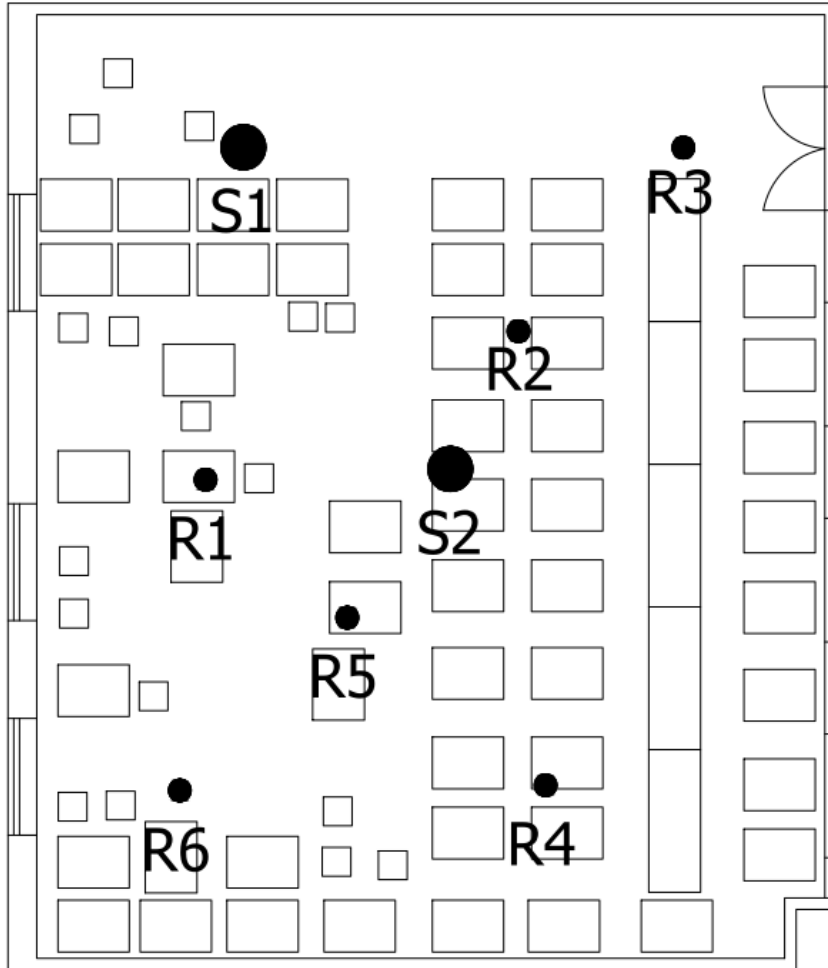
214 numaralı derslik hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri çalışma kapsamında incelenmiştir. Mahalin işlevine bağlı olarak hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri Tablo 4. 4’te yer almaktadır.

Tablo 4. 4 214 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Parametreleri	Akustiği	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)		$V = \sim 1482 \text{ m}^3$ $RT = 0,80 \text{ s}$
Erken Düşme Süresi (EDT)		$EDT/RT = 1.1, RT - (\%10 \times RT) \leq EDT \leq RT + (\%10 \times RT)$
Netlik (C50)		C50 (Konuşma) $C50 > 0 \text{ dB}$
Ses İletim İndeksi (STI)		0- 0,30 kötü/ 0,30-0,45 zayıf/ 0,45-0,60 tatmin edici/ 0,60-0,75 iyi/ 0,75-1,00 mükemmel

(Tuna vd., 2021)

Modellemede hacim akustiği ölçümleri ile paralel olmak üzere, 2 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 6 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır. Alıcı ve kaynak noktaları Şekil 4. 1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 214 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

214 No'lu derslikte ISO 16032 standardı uyarınca arka plan gürültüsü ölçümleri ve hacimde mevcut akustik koşulların irdelenmesi amacıyla ISO 3382-1 standardı uyarınca yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümleri ders saatleri dışında, derslik kullanım halinde değilken, saat 21:00 civarlarında yapılmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 2'de sunulmuştur.



Şekil 4. 2 Derslik 214 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R3 ve R6)

214 No'lu derslik hacminde ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Analizörün ölçüm mikrofonunun yerden yüksekliğinin sabit tutulabilmesi için bir üçayak (tripod) kullanılmış ve mikrofonun yerden yüksekliği 130 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelerden en az düzeyde yansıma alınmasına gayret edilmiştir.

Ölçümler ders saatleri dışında, hacim teslim maketleri ile dolu iken gerçekleştirilmiştir. Hacmin geneli hakkında bilgi alınabilmesi amacıyla derslik alanına dağıtılmış 6 noktada ölçümler alınmıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri akustik enerji ortalaması olarak adlandırılan eşdeğer gürültü düzeyi (LAEq) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Söz konusu değer A-ağırlık olarak adlandırılan insan kulağının karakteristiklerini içeren filtre uygulanmış değer olup, standartlarda genel

olarak referans gösterilen parametredir. Ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Tablo 4. 5’te sunulmuştur.

Tablo 4. 5 214 No’lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

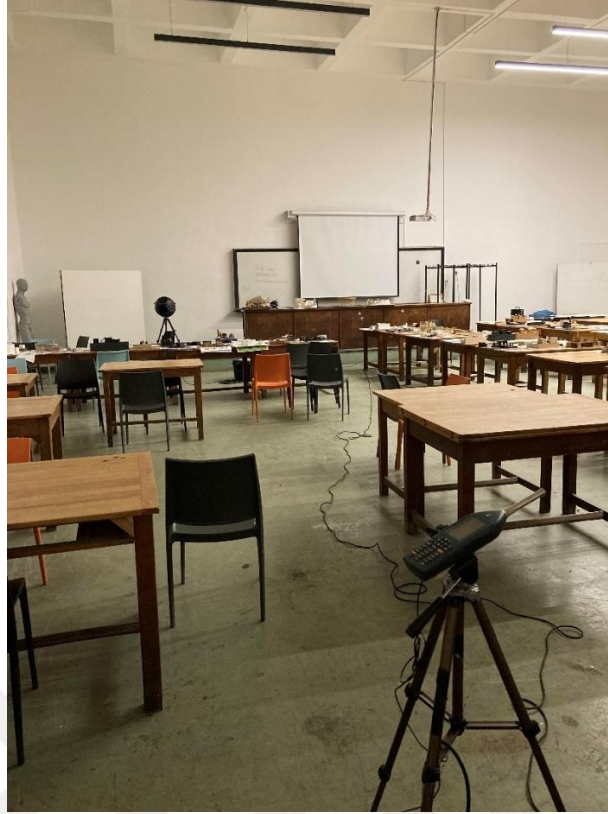
Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)					
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası	R5 Alıcı Noktası	R6 Alıcı Noktası
125	41,5	38,5	39,1	39,7	38,5	40,8
250	34,5	32,8	33,2	32,3	31,1	33,3
500	33,3	28,6	28,1	27,2	27,5	29,2
1000	30,1	27,4	27,1	26,6	27,1	28,2
2000	25,1	24,4	25,0	25,0	23,8	23,9
4000	17,6	20,0	16,1	16,8	17,5	17,5



Şekil 4. 3 Derslik 214 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

İTÜ Taşkışla Kampüsü içerisindeki 214 No’lu dersliğin arka plan gürültüsü, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB değerinin altında bulunduğundan, bu bağlamda ders işlevine uygun görülmüştür.

Yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 4 ve Şekil 4. 5’te sunulmuştur.



Şekil 4. 4 Derslik 214 - Yansışım Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R6)



Şekil 4. 5 Derslik 214 - Yansışım Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R5)

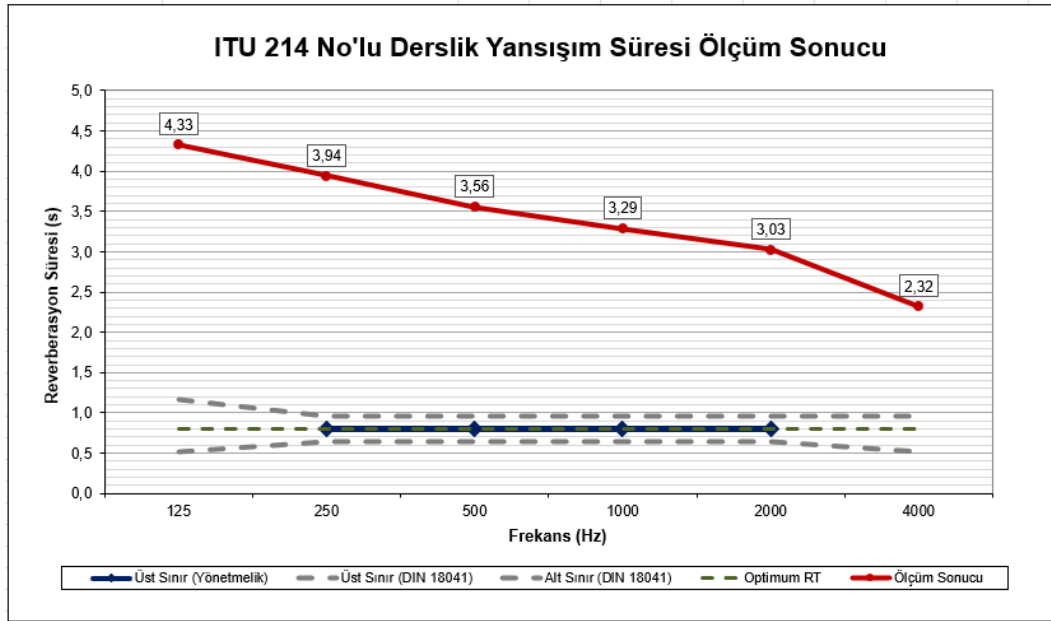
Yansışım süresi ölçümleri için izlenen yöntem temel olarak, belirlenen kaynak noktalarında konumlandırılan bir 12-yüzlü yönsüz (omni-directional) hoparlör aracılığıyla ortama bütün frekansları kapsayan beyaz gürültü (white noise)

yayınlanması ve ses kesildikten sonra mikrofon tarafından algılanan hacmin yanıtının kaydedilmesiyle hacim akustiği parametrelerinin elde edilmesini kapsamaktadır.

Yansıma süresi ölçümleri için alıcı ve kaynak noktaları ölçümlerden önce belirlenmiştir. Daha hassas sonuçlar elde etmek ve ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla çoğu alıcı noktada en az iki tekrar yapılmıştır. Her ölçüm noktası için yapılan incelemeler sonucunda yansıma süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

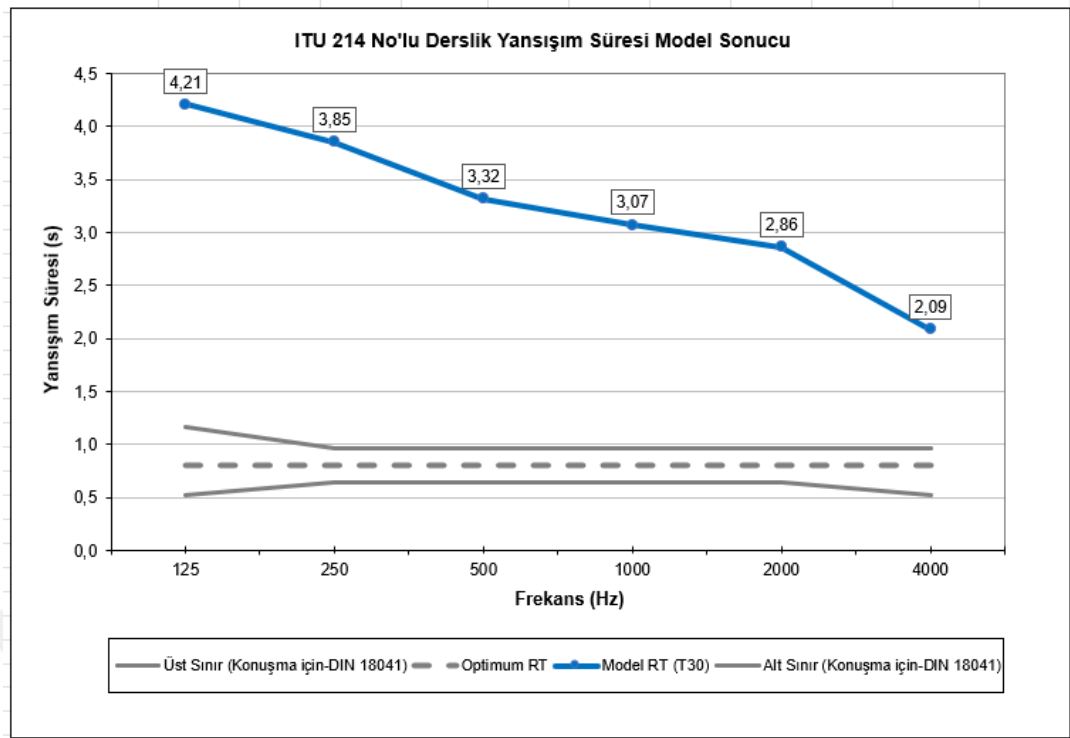
Mevcut Durum Yansıma Süresi (RT) Sonuçları

Mevcut akustik durum için elde edilen yansıma süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. 6 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

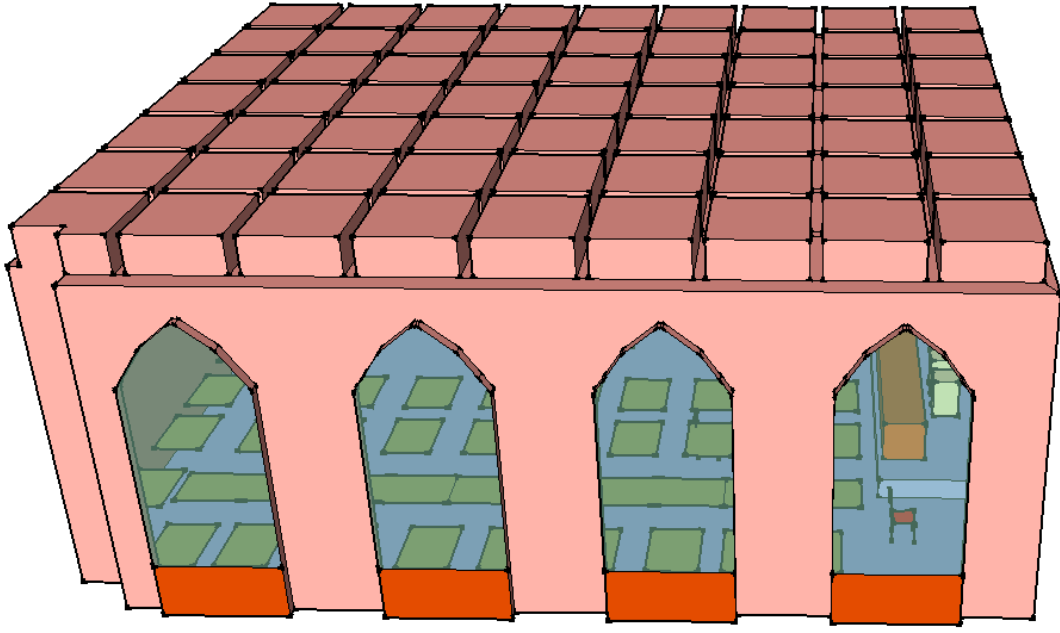
İTÜ Taşkışla'da bulunan 214 No'lu dersliğin mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 3,56 s olarak elde edilmiştir (Şekil 4. 6). 1482 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, orta frekans bölgesindeki optimum RT değeri 0,80 s'dir. Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri optimum düzeyin oldukça üzerinde elde edildiğinden 214 numaralı derslik, yansıma süresi bağlamında ders işlevine uygun değildir (Şekil 4. 7). Yansıma süresini düşürmek üzere çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 4. 7 Derslik 214 - Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

214 No'lu derslik için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile uygun malzemeler eklenerek simüle edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının farklılaştığı noktalarda ve gerekli görülen frekanslarda malzemelerin yutuculuk katsayıları ile 0.01-0.05 arası optimizasyon yapılarak model sonuçları, ölçüm sonuçlarına göre kalibre edilmiştir.

Mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 8'de ve Şekil 4. 9'da sunulmuştur.



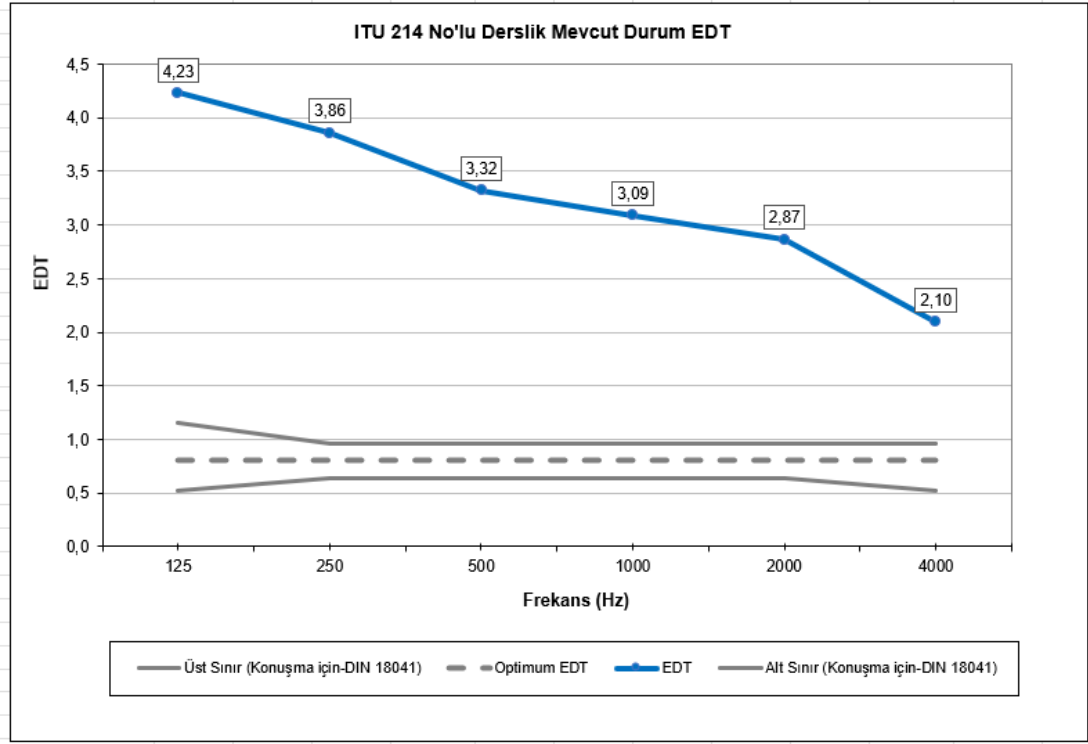
Şekil 4. 8 214 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 9 214 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

İTÜ Taşkışla Kampüsü'ndeki 214 No'lu dersliğin mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 10).

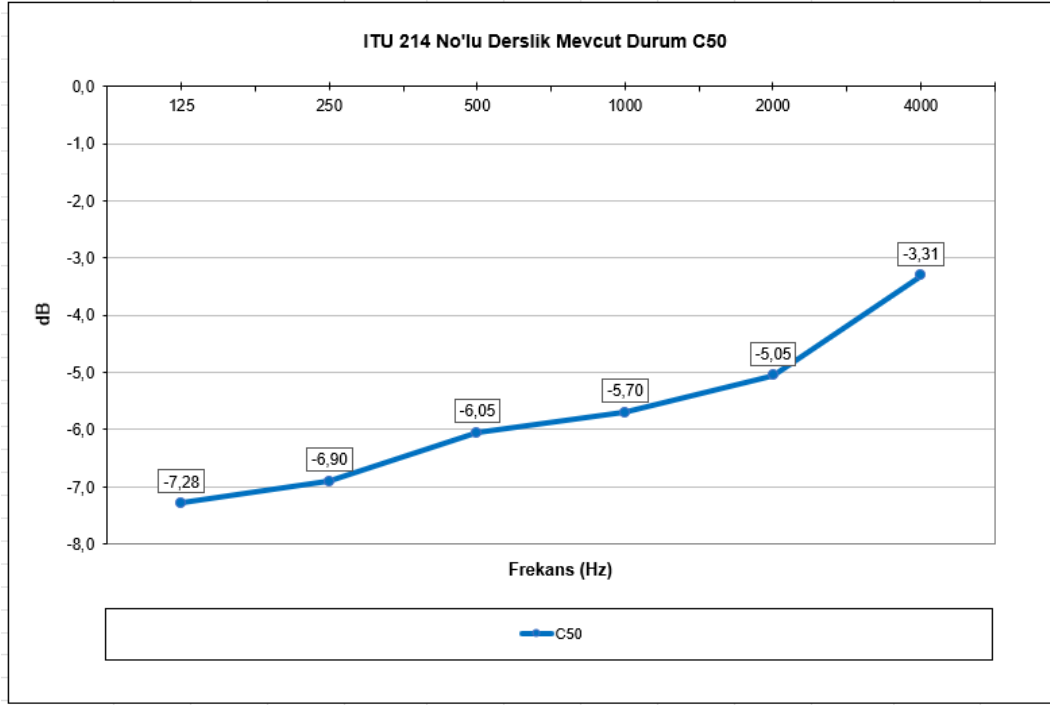


Şekil 4. 10 214 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Optimum EDT değeri, orta frekans bölgesinde 0,72 ile 0,88 s aralığında olduğu için elde edilen EDT değeri derslik işlevi için uygun değildir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma işlevi netlik parametresi olan C50 değeri yükseldikçe konuşma anlaşılabilirliği artmaktadır. Değerin düşük olması ise mekânın canlı hale gelmesine ve anlaşılabilirliğin azalmasına neden olur. Optimum C50 değerinin 0 dB'den büyük olması gerekirken 214 numaralı derslik için mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 olması gerekenden düşük çıkmıştır (Şekil 4. 11). Bu sebeple derslikte konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin zayıf olması beklenmektedir.



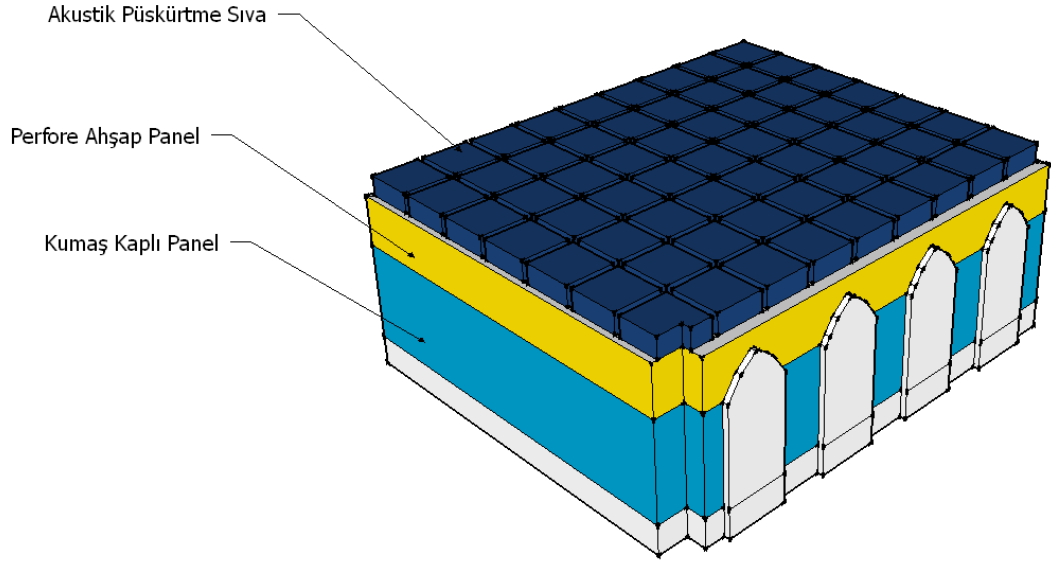
Şekil 4. 11 214 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

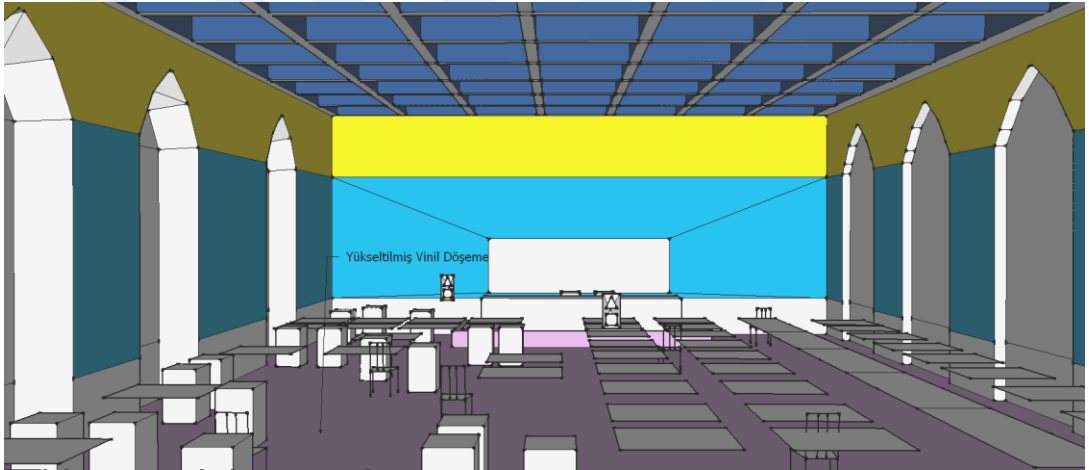
214 No'lu dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda STI değeri 0,39 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin zayıf olduğu değer aralığında olduğundan ses iletimi bu derslikte istenilen düzeyde değildir.

4.1.2. 214 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları

İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü'nde bulunan 214 No'lu dersliğin mevcut durumu akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinden oldukça uzak olan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, dersliğin üç boyutlu modeli SketchUp programı kullanılarak revize edilmiştir (Şekil 4. 12 ve Şekil 4. 13). Mevcut durumda çıkan sonuçlara göre hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden oldukça az olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda pek çok versiyon üretilerek yutucu yüzeyler arttırılmış ve modeller simüle edilmiştir. Adım adım yürütülen bu çalışmada akustik parametrelerin optimum değerlerine en çok yaklaşan iyileştirme senaryosu bu bölümde sunulmuştur.



Şekil 4. 12 214 No’lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 13 214 No’lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda tavanda akustik püskürtme sıva, duvarlarda; kumaş ve ahşap paneller ile perfore ahşap panel kurgulanmıştır. Zemin, düşük frekanstaki yutuculuğu arttırmak ve işlevsel kullanımı sağlamak üzere yükseltilmiş vinil döşeme ile değiştirilmiştir.

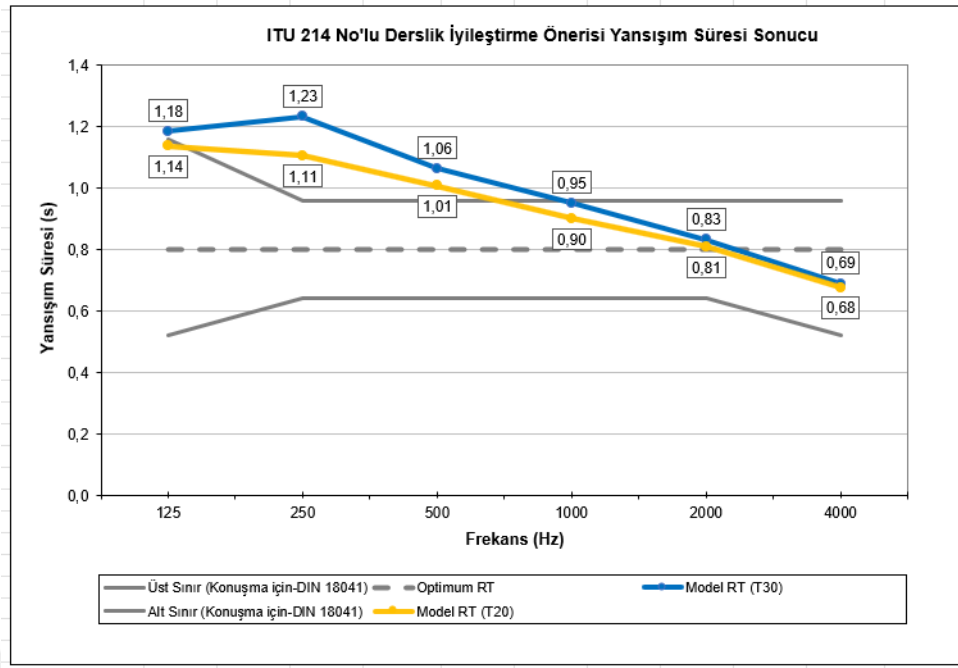
Mevcut durum ve öneri senaryo kurgulanışı aşağıdaki Tablo 4. 6’da aktarılmıştır.

Tablo 4. 6 214 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Püskürtme Akustik Sıva
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Duvar	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Perfore Ahşap Panel
		Düz Ahşap Panel
		Kumaş Panel
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
	Cam	Cam
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)	Yükseltilmiş Vinil Döşeme

Akustik İyileştirme Önerisi Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

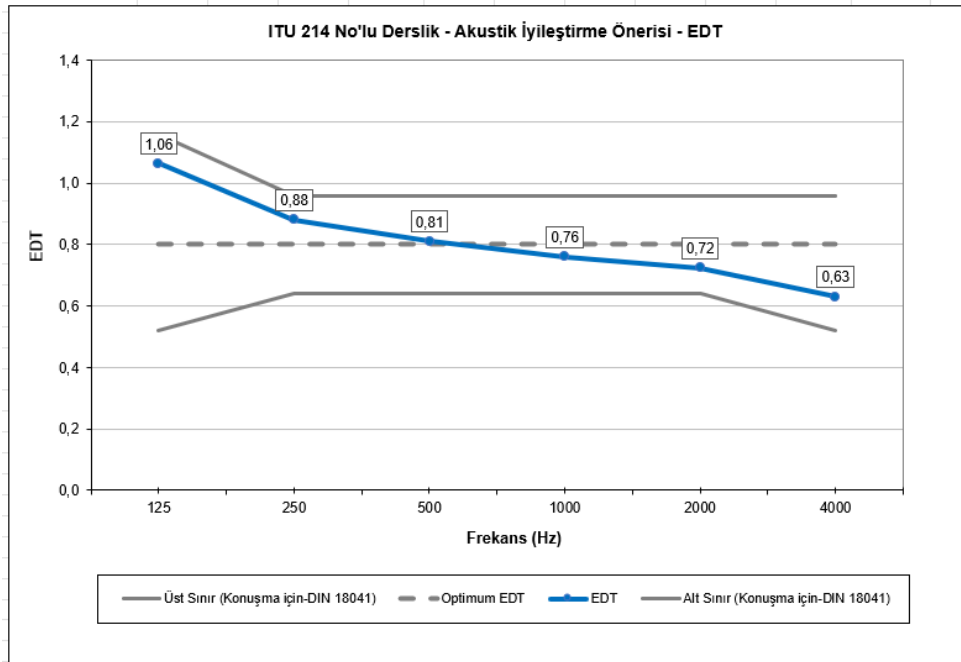
Mevcut durumda orta frekanslarda 3 saniyenin üzerinde olan yansışım süresi, yapılan iyileştirmeler ile optimum aralığa yakın hale getirilmiştir (Şekil 4. 14). Bas yutucu panel kullanılmadan gerçekleştirilen bu senaryoda, düşük frekanslardaki yansışım süresi, optimum değer aralığına girememiştir. Elde edilen RT değeri, derslikler için istenen 0,80 s’den yüksek çıkmıştır.



Şekil 4. 14 214 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

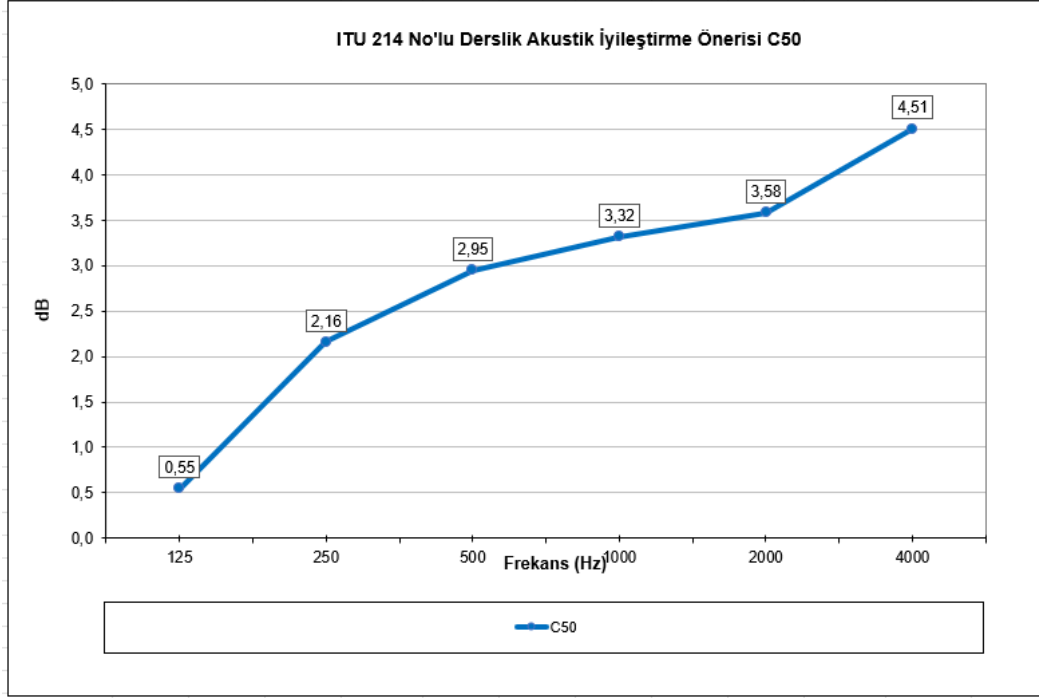
214 No'lu dersliğin iyileştirme önerisi için EDT grafiği Şekil 4. 15'te verilmiştir. Bu derslik için yapılan malzeme değişiklikleri ile geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunda EDT değeri optimum aralıkta bulunmaktadır.



Şekil 4. 15 214 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

İTÜ’de bulunan 214 numaralı dersliğin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 sonuçları olması gereken 0 dB değerinden düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini 0 dB’nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin kabul edilebilir düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 16).



Şekil 4. 16 214 No’lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

214 No’lu Dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,39 olarak elde edilen STI değeri akustik iyileştirme ile birlikte 0,69’a çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin iyi olduğu aralıktadır.

4.2. İTÜ Mimarlık Fakültesi 212 No’lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü içerisinde yer alan 212 numaralı derslik için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

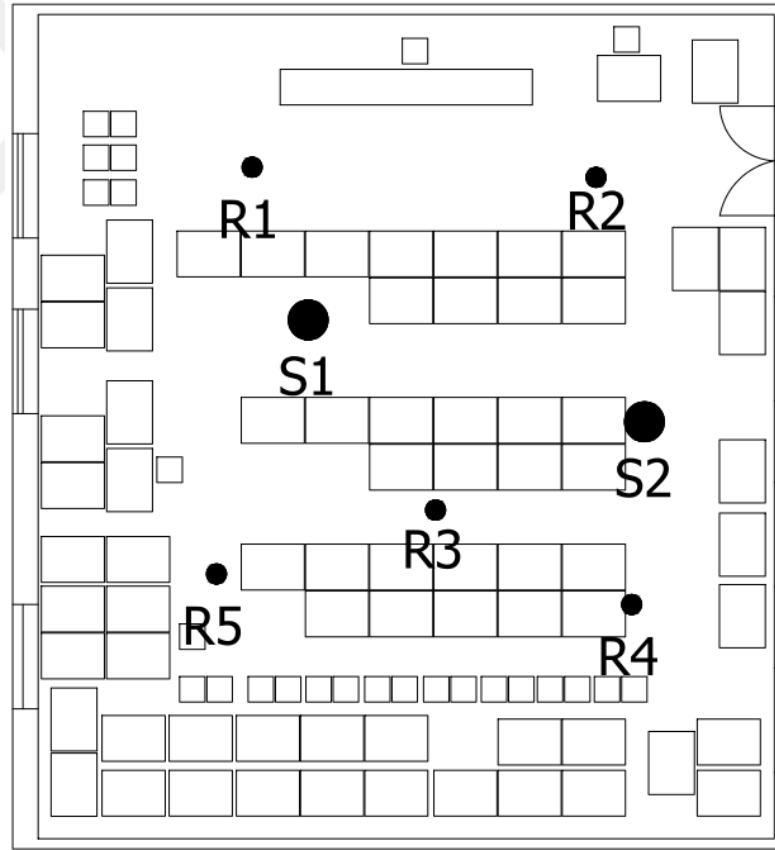
4.2.1. 212 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

212 numaralı derslik hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri çalışma kapsamında incelenmiştir. Mahalin işlevine bağlı olarak hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri Tablo 4. 7'de yer almaktadır.

Tablo 4. 7 212 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)	$V = \sim 1569 \text{ m}^3$ RT= 0,80 s

Modellemede hacim akustiği ölçümleri ile paralel olmak üzere, 2 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 5 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır.



Şekil 4. 17 212 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

212 No'lu derslikte ISO 16032 standardı uyarınca arka plan gürültüsü ölçümleri ve hacimde mevcut akustik koşulların irdelenmesi amacıyla ISO 3382-1 standardı uyarınca yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümleri ders saatleri dışında, saat 22:00 civarında yapılmıştır. Ölçüm fotoğrafı Şekil 4. 18'de sunulmuştur.



Şekil 4. 18 Derslik 212 - Arka Plan Gürültü Düzeyi Ölçümü (R3)

212 No'lu derslik hacminde ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelerden en az düzeyde yansıma alınmasına gayret edilmiştir.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri 5 alıcı noktada akustik enerji ortalaması olarak adlandırılan eşdeğer gürültü düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 4. 19). Aşağıda, Tablo 4. 8'de ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri sunulmuştur.

Tablo 4. 8 212 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)				
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası	R5 Alıcı Noktası
125	37,9	37,3	37,7	35,9	36,0
250	28,3	31,4	28,6	28,7	29,2
500	23,8	24,4	22,2	22,0	25,2
1000	22,2	24,5	23,6	26,8	23,7
2000	17,0	22,2	19,2	18,9	19,7
4000	12,3	16,2	15,6	13,4	14,5



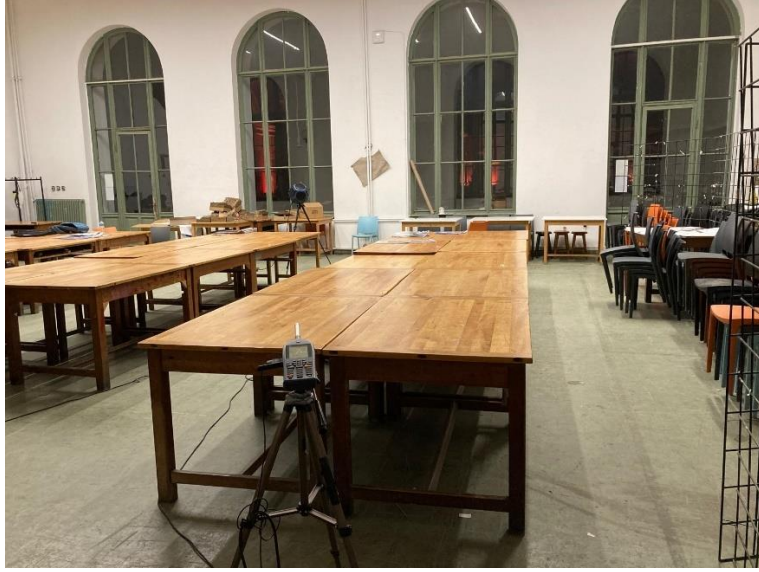
Şekil 4. 19 Derslik 212 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

İTÜ Taşkışla Kampüsü içerisindeki 212 No'lu dersliğin arka plan gürültüsü, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB değerinin altında bulunduğundan, bu bağlamda ders işlevine uygun görülmüştür.

Yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 20 ve Şekil 4. 21'de sunulmuştur.



Şekil 4. 20 Derslik 212 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R3)

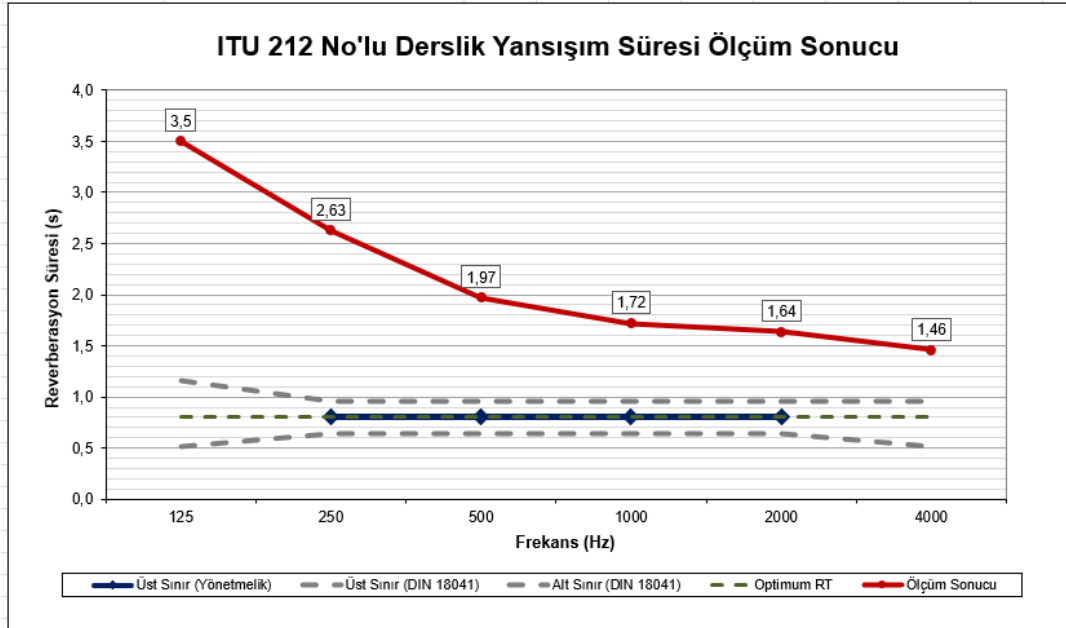


Şekil 4. 21 Derslik 212 - Yansıım Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R5)

Yansıım süresi ölçümleri için alıcı ve kaynak noktaları ölçümlerden önce belirlenmiştir. Daha hassas sonuçlar elde etmek amacıyla alıcı noktalarda en az iki tekrar yapılmıştır. Her ölçüm noktası için yansıım süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

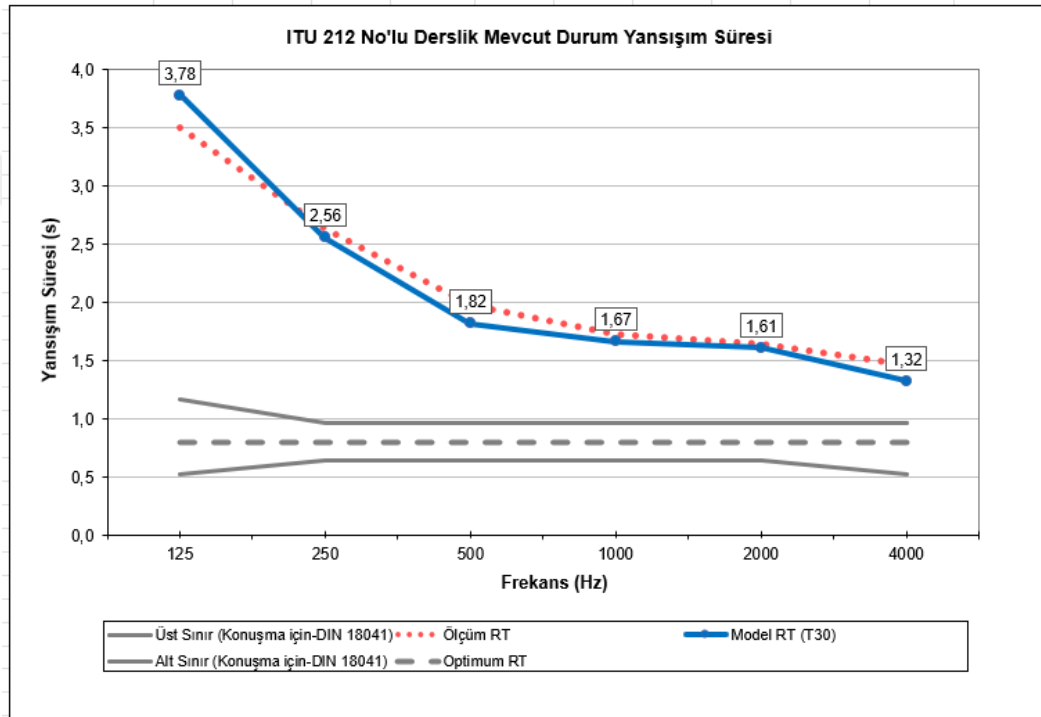
Mevcut Durum Yansıım Süresi (RT) Sonuçları

Mevcut akustik durum için elde edilen yansıım süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 22’de sunulmuştur.



Şekil 4. 22 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

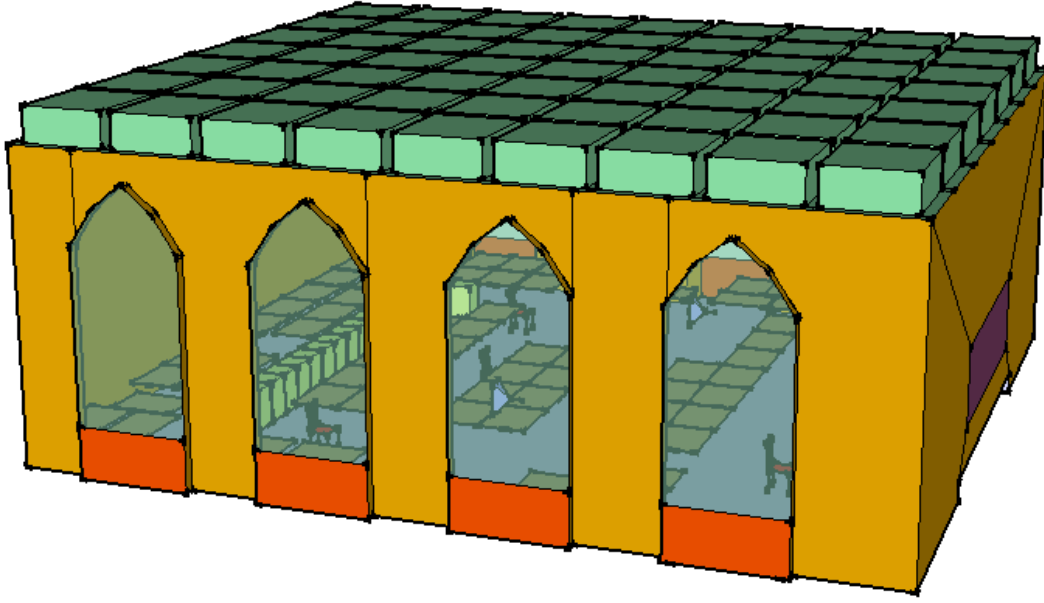
Mevcut durumda tavana asılı kumaş kaplı paneller ile akustik iyileştirme yapılmış olan ve 214 No'lu derslik ile benzer hacimdeki 212 No'lu dersliğin mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 1,97 s olarak elde edilmiştir. 1569 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, orta frekans bölgesindeki optimum RT değeri 0,80 s'dir. Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri 214 numaralı dersliğe göre optimum düzeye daha yakın olsa da 212 numaralı derslik, yansıma süresi bağlamında ders işlevine uygun değildir. Yansıma süresini optimum düzeye düşürmek üzere çalışmalar yapılmalıdır.



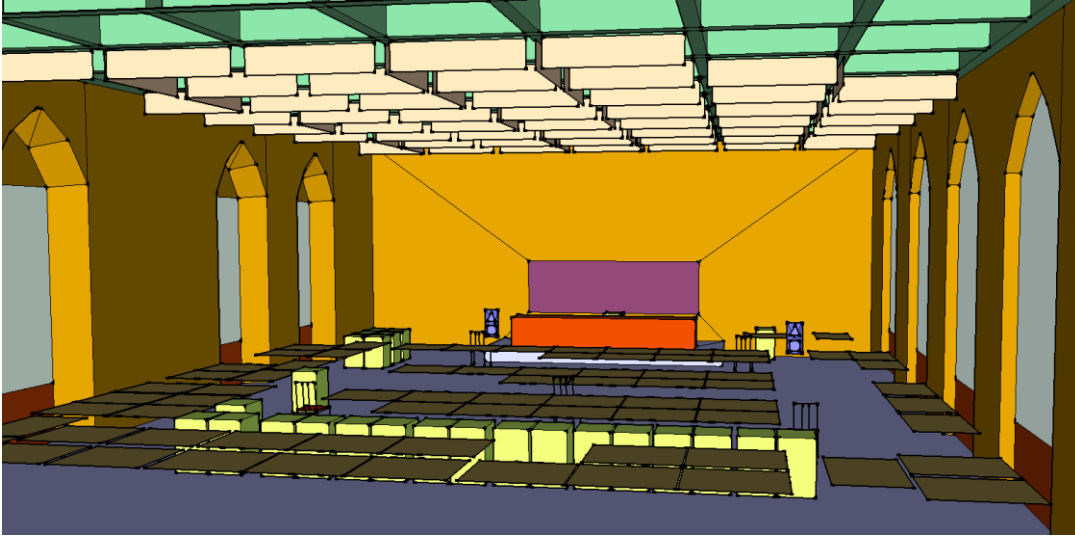
Şekil 4. 23 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

212 No'lu derslik için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile mevcut durumuna uygun yüzey malzemeleri eklenerek simüle edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının farklılaştığı noktalarda ve gerekli görülen frekanslarda 214 No'lu derslik çalışmaları kapsamında da optimizasyonu gerçekleştirilmiş olan malzemeler seçilerek model sonuçları, ölçüm sonuçlarına göre kalibre edilmiştir (Şekil 4. 23).

Mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 24 ve Şekil 4. 25'te sunulmuştur.



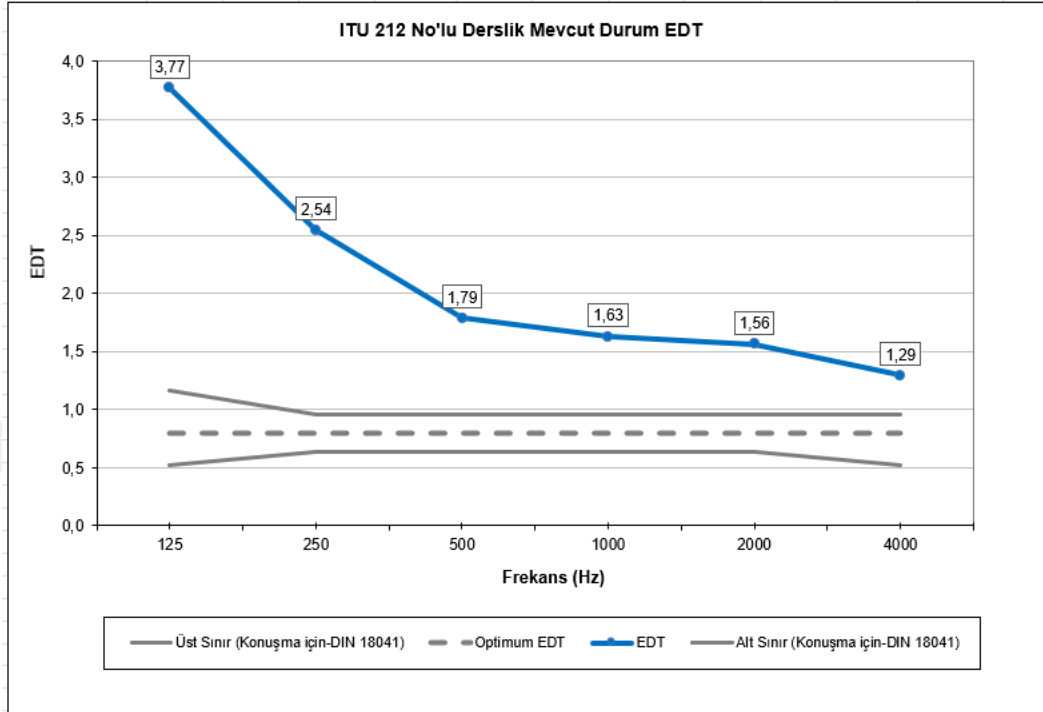
Şekil 4. 24 212 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 25 212 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

İTÜ Taşkışla Kampüsü'ndeki 212 No'lu dersliğin mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 26).

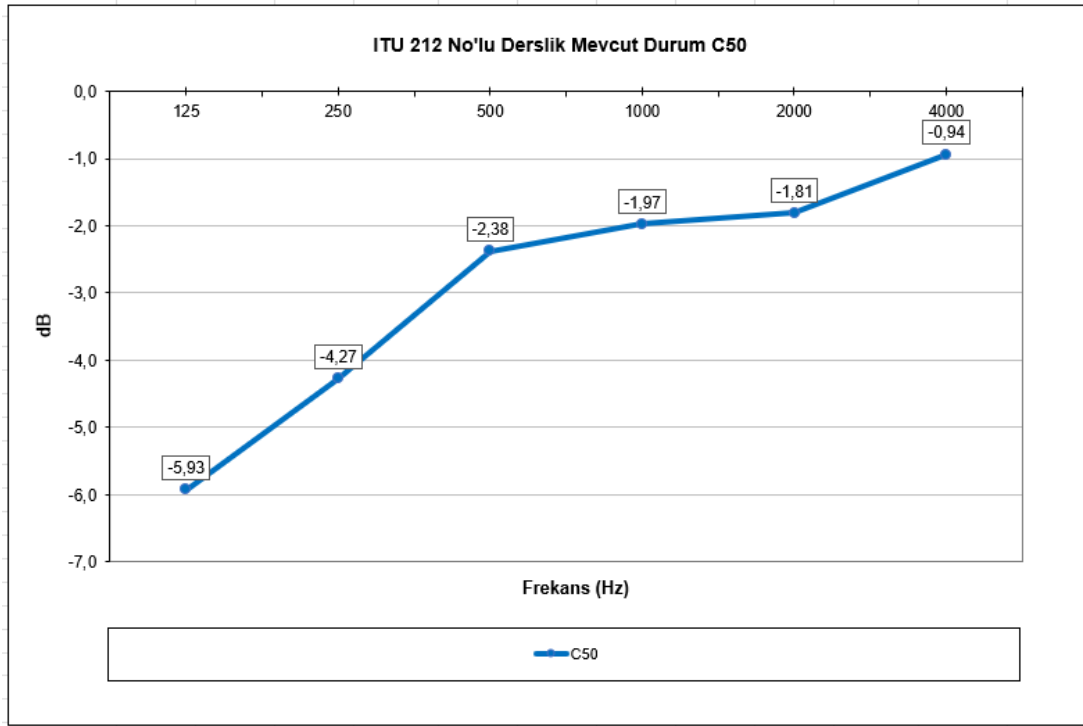


Şekil 4. 26 212 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Optimum EDT değeri, orta frekans bölgesinde 0,72 ile 0,88 s aralığında olduğu için elde edilen EDT değeri derslik işlevi için uygun değildir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma işlevi netlik parametresi olan C50 değeri yükseldikçe konuşma anlaşılabilirliği artmaktadır. Değerin düşük olması ise mekânın canlı hale gelmesine ve anlaşılabilirliğin azalmasına neden olur. Optimum C50 değerinin 0 dB'den büyük olması gerekirken 212 numaralı derslik için mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50, özellikle düşük ve orta frekans bandında olması gerekenden düşük çıkmıştır (Şekil 4. 27). Bu sebeple derslikte konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin akustik konfor bağlamında zayıf olması beklenmektedir.



Şekil 4. 27 212 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

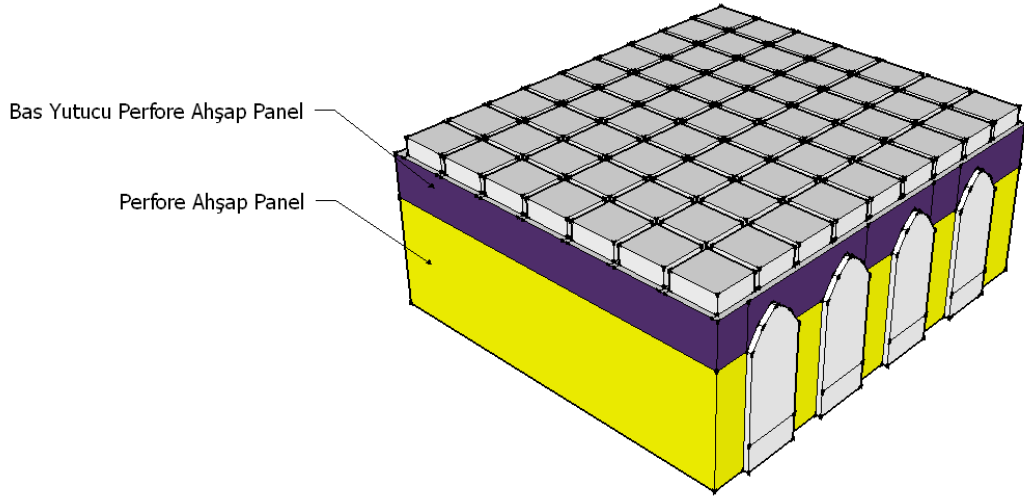
212 No'lu dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda STI değeri 0,50 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin tatmin edici olduğu değer aralığında olduğundan ses iletimi bu derslikte optimum düzeyde olmasa da akustik iyileştirme yapılmamış 214 No'lu dersliğe göre iyi durumdadır.

4.2.2. 212 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları

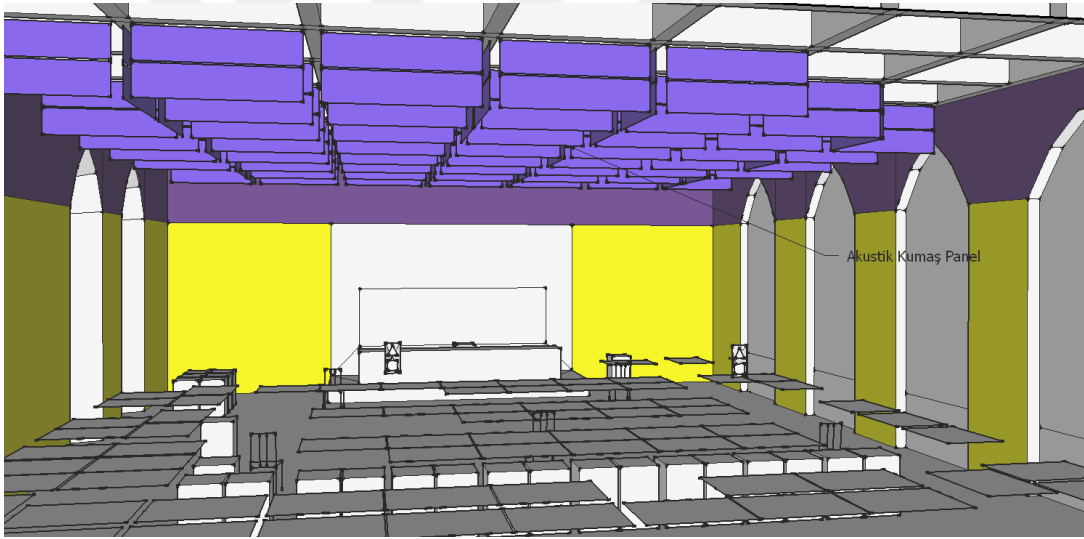
İstanbul Teknik Üniversitesi Taşkışla Kampüsü'nde bulunan 212 No'lu dersliğin mevcut durumu akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinde olmayan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, dersliğin üç boyutlu modeli SketchUp programı kullanılarak revize edilmiştir.

Derslik tavanına asılmış akustik kumaş paneller ile kısmi iyileştirme yapılmış olmasına rağmen, mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden az olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda pek çok versiyon üretilerek yutucu yüzeyler artırılmış ve modeller simüle edilmiştir (Şekil 4. 28 ve Şekil 4. 29). Adım adım yürütülen bu çalışmada

akustik parametrelerin optimum değerleri karşıladığı iyileştirme senaryosu sunulmuştur.



řekil 4. 28 212 No'lu Derslik – Akustik İyileřtirme Siműlasyon Modeli Gűrselleri – 1



řekil 4. 29 212 No'lu Derslik – Akustik İyileřtirme Siműlasyon Modeli Gűrselleri – 2

İyileřtirme çalıřmalarının son senaryosunda 214 numaralı derslikte elde edilen iyileřtirme senaryosunun aksine zemin ve tavan bitiř malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmıř, bunun yerine tavanda asılı olan akustik kumař panel sayısı iki katına çıkartılmıřtır. Duvarlarda; perforasyonları farklı olmak űzere bir tanesi dűřuk frekanslarda yutuculuk saęlayan iki çeřit perfore ahřap panel űnerilmiřtir. Duvarların yűksek bűlűműnde řerit halinde modele eklenen bas yutucu panelin arkasında 30 mm tař yűnű kurgulanmıřtır. 2 mm delik çapı bulunan ve 32 mm'de bir perforasyonu tekrar

eden 18 mm kalınlığındaki bu perfore ahşap panel, mevcut durum sonuçlarına göre düşük frekanslarda optimum değerlerin oldukça üzerinde olan yansıma süresinin ders işlevine uygun değerlere düşmesini sağlamıştır.

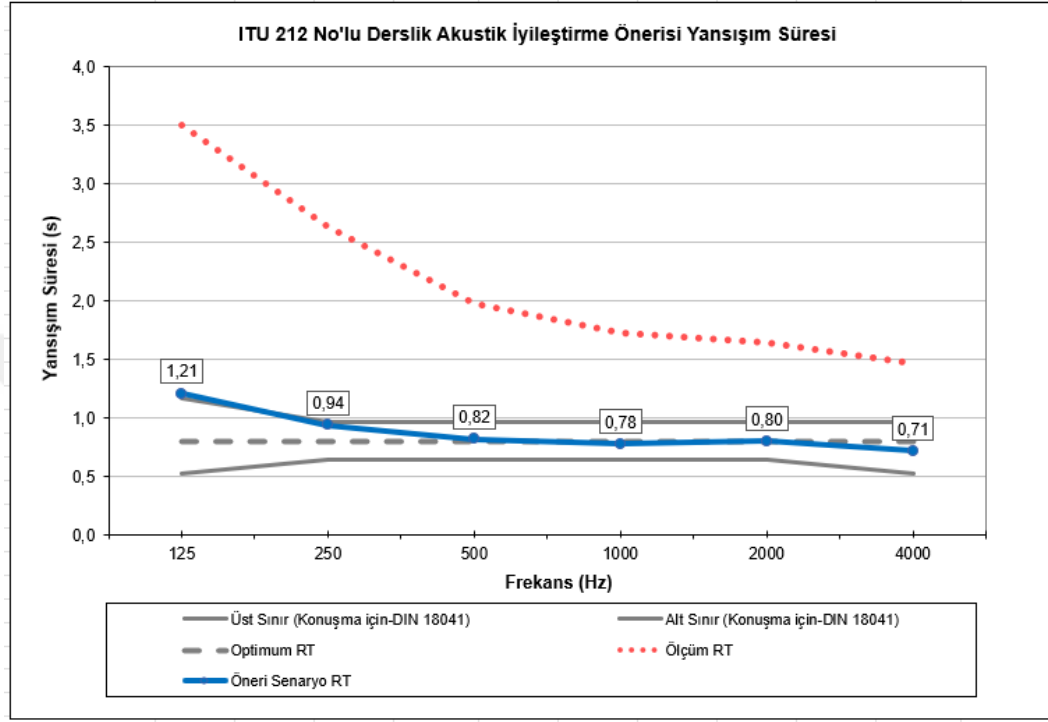
Mevcut durum ve öneri senaryo kurgulanışı Tablo 4. 9’da aktarılmıştır.

Tablo 4. 9 212 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Akustik Kumaş Paneller	Akustik Kumaş Panellerin sayısı iki katına çıkarılmıştır.
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Duvar	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Bas Yutucu Perfore Ahşap Panel
		Düz Ahşap Panel
		Perfore Ahşap Panel
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Ahşap)	Mevcut Mimari Bitiş (Ahşap)
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)

Akustik İyileştirme Önerisi Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

Mevcut durumda orta frekanslarda 2 saniye civarlarında olan ve düşük frekanslarda oldukça yüksek çıkan yansışım süresi, yapılan iyileştirmeler ile optimum aralığa getirilmiştir (Şekil 4. 30).

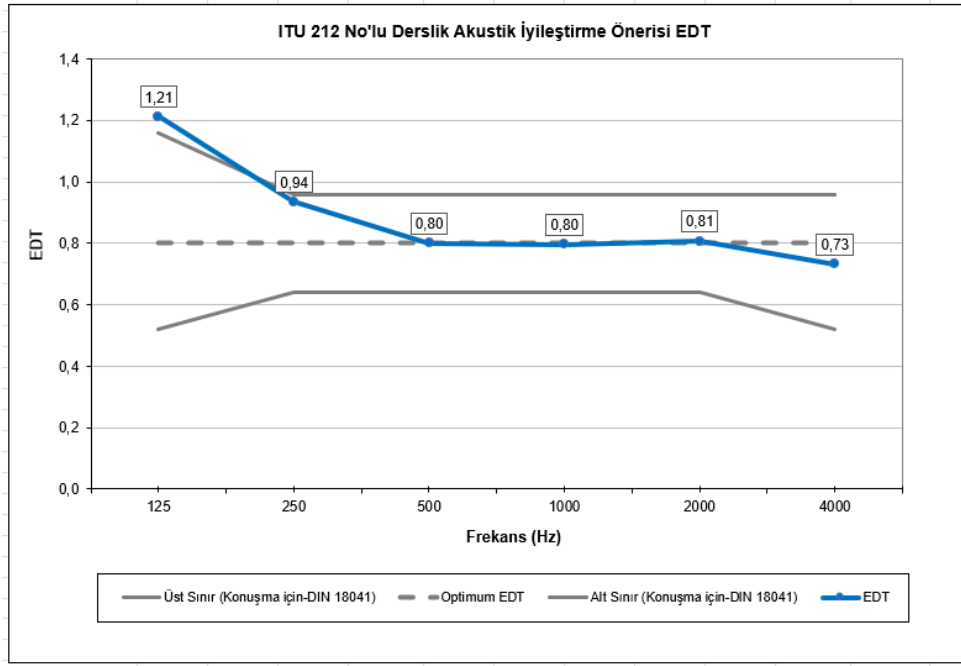


Şekil 4. 30 212 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Yapılan yüzey malzemeleri değişiklikleri ile RT sonuçları dersliğin işlevine uygun hale getirilmiştir.

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

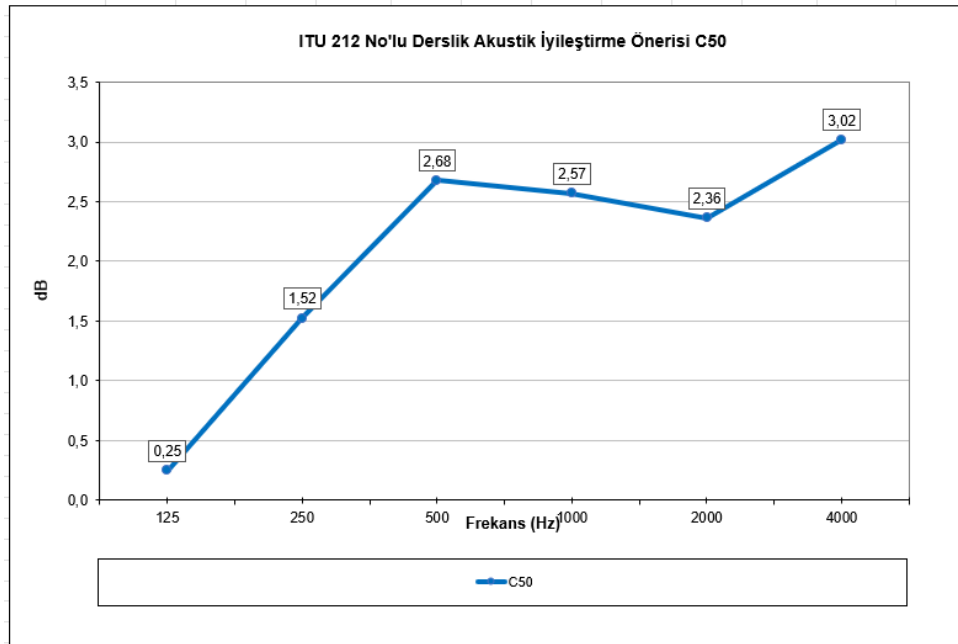
212 No'lu dersliğin iyileştirme önerisi için EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 31). Bu derslik modelinde yapılan yüzey bitiş malzemeleri değişiklikleri ile geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre EDT değeri, yansışım süresi ile paralel olarak optimum aralığa girmiştir.



Şekil 4. 31 212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

İTÜ'de bulunan 212 numaralı dersliğin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 sonuçları olması gereken 0 dB değerinden düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini 0 dB'nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin kabul edilebilir düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 32).



Şekil 4. 32 212 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

212 No'lu dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,50 olarak elde edilen STI değeri akustik iyileştirme ile 0,66'ya çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin iyi olduğu aralıkta olduğu için kurgulanan senaryo ders işlevine uygundur.

4.3. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü 202 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'ndeki 202 numaralı derslik için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

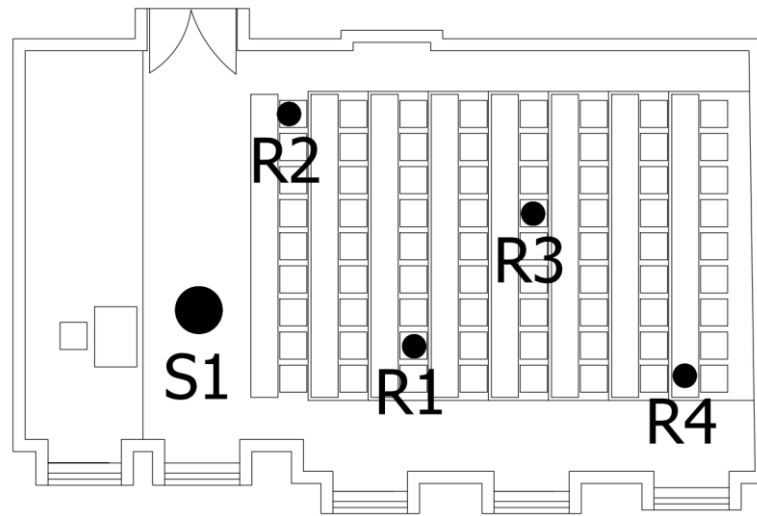
4.3.1. 202 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Bu bölümde 202 numaralı derslik hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri Tablo 4. 10'da yer almaktadır.

Tablo 4. 10 202 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)	$V = \sim 380 \text{ m}^3$ RT= 0,65 s

Modelleme ve hacim akustiği ölçümlerinde, 1 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 4 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır (Şekil 4. 33).



Şekil 4. 33 202 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki 202 No'lu derslikte ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümleri ders saatleri dışında, 23:30'da yapılmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 34'te sunulmuştur.



Şekil 4. 34 Derslik 202 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R2)

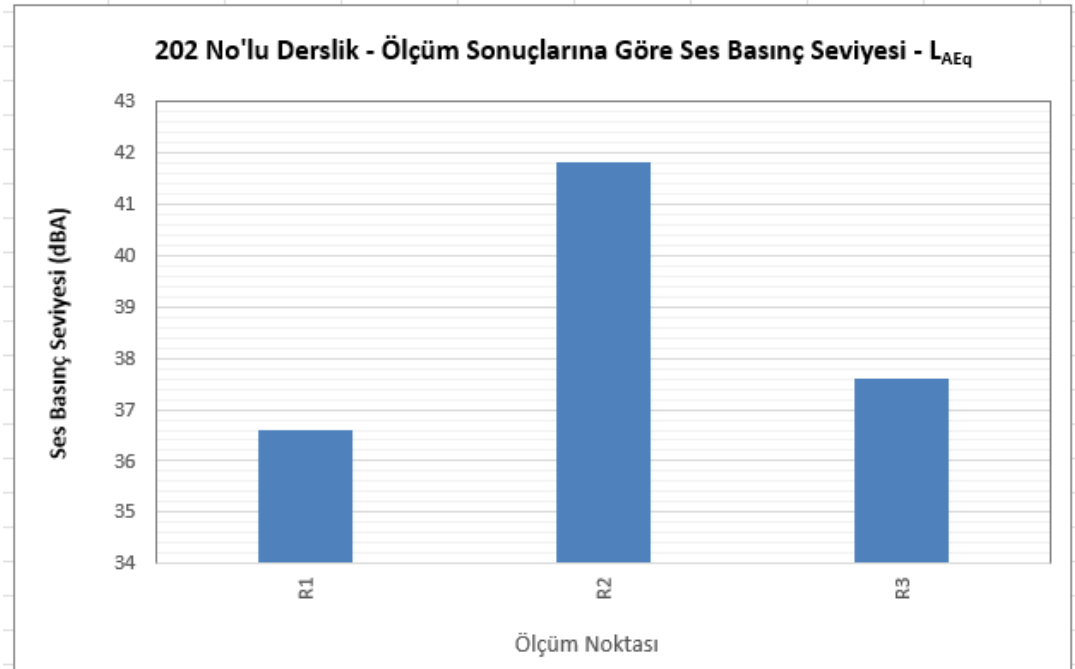
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 202 No'lu derslikte ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Analizörün ölçüm mikrofonunun yerden yüksekliğinin sabit tutulabilmesi için bir üçayak (tripod) kullanılmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelere çok yaklaşmayarak en az düzeyde yansıma alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Hacmin geneli hakkında veri elde edilebilmesi amacıyla derslik alanına dağıtılmış 4 noktada ölçümler alınmıştır. Fakat arka plan gürültü düzeyi ölçüm sonuçları alınırken Nor850 programından R4 alıcısının verileri alınamamıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri eşdeğer gürültü düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 4. 35). 202 No'lu derslik için gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Tablo 4. 11'de sunulmuştur.

Tablo 4. 11 202 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)		
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası
125	47,7	52,2	47,9
250	36,5	42,6	36,4
500	30,9	38,2	31,0
1000	27,2	29,3	26,7
2000	26,1	27,0	24,4
4000	18,2	18,9	17,4



Şekil 4. 35 Derslik 202 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki 202 No'lu dersliğin ölçüm sonuçları, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB değerinin altında bulunduğundan, arka plan gürültüsü bakımından ders işlevine uygundur.

202 dersliğinin yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 36'da sunulmuştur.

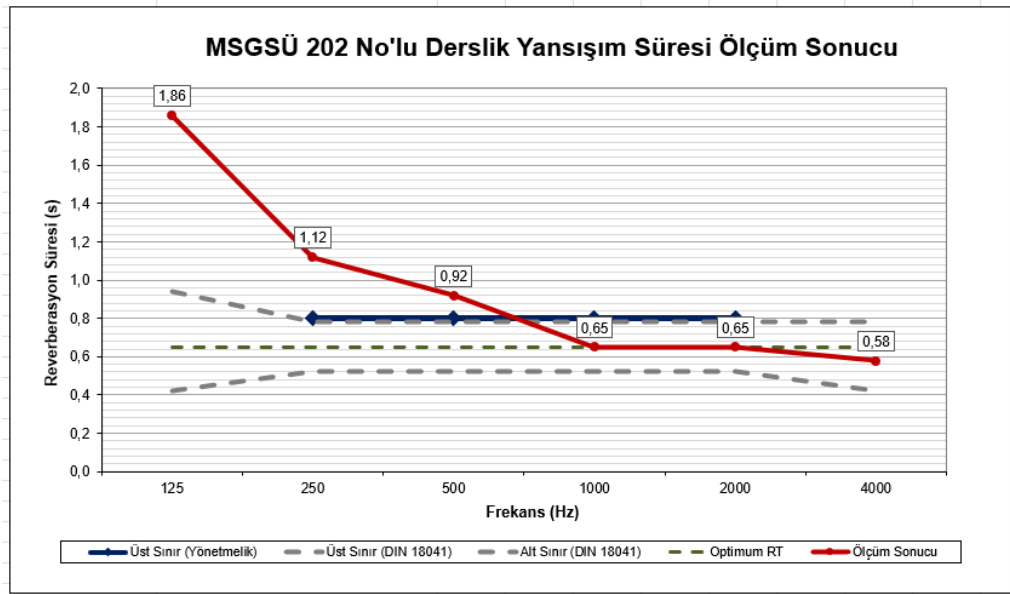


Şekil 4. 36 Derslik 202 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R1 ve S1-R4)

Ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. 202 numaralı derslikte her ölçüm noktası için yansıma süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

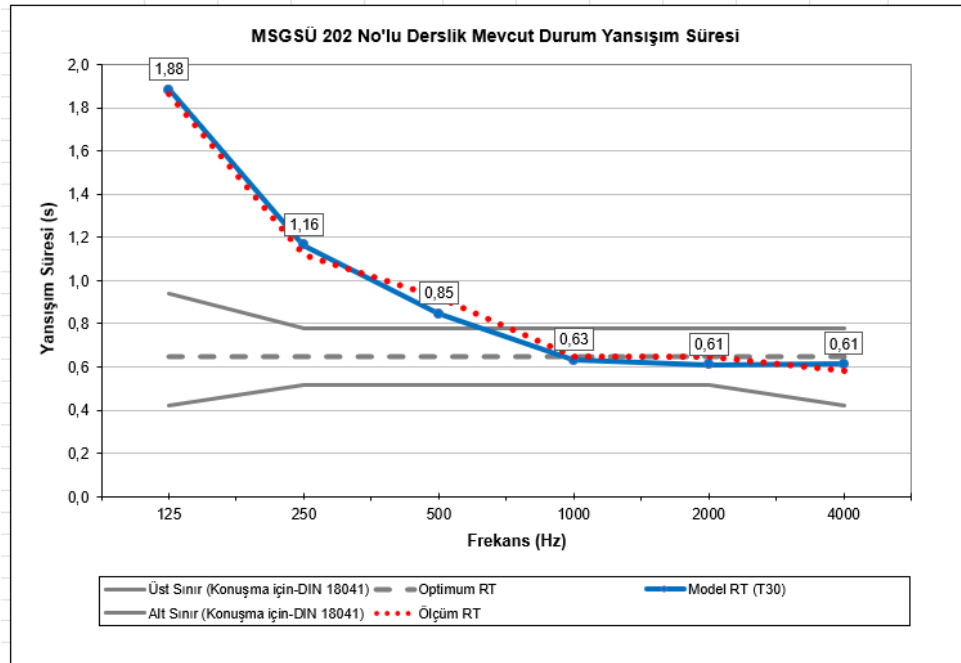
Mevcut Durum Yansıma Süresi (RT) Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 202 numaralı dersliğin mevcut akustik durumu için elde edilen yansıma süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 37'de sunulmuştur.



Şekil 4. 37 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

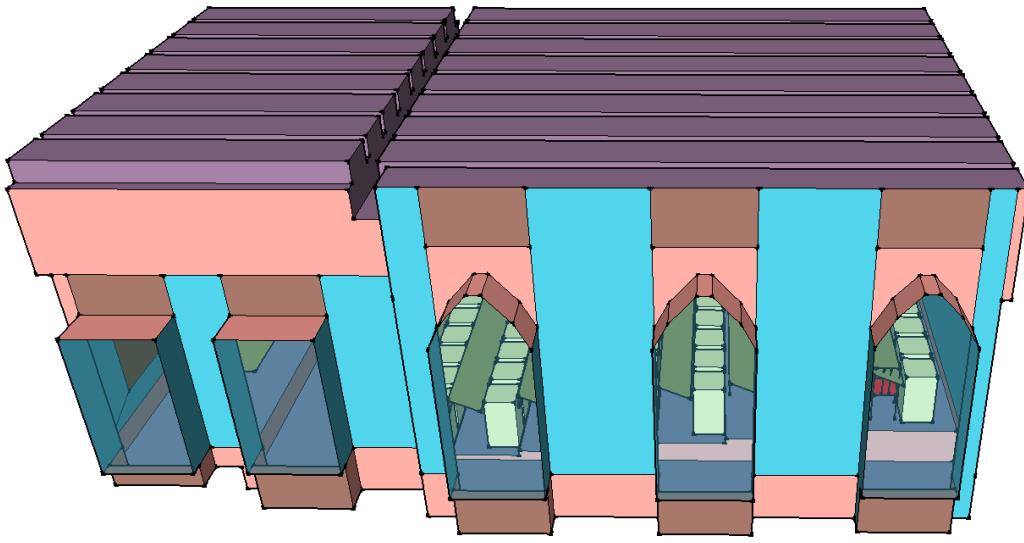
MSGSÜ Fındıklı'da bulunan 202 No'lu dersliğin mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri 1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,65 s olarak elde edilmiştir. 380 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, optimum RT değeri de 0,65 s'dir. Ölçüm sonuçlarında elde edilen RT değeri orta ve yüksek frekanslarda optimum düzeyi sağlarken, düşük frekanslarda ölçülen RT değeri, optimum değer yukarısında olduğu için, bas frekanslarda yutuculuk özelliği gösteren malzeme kullanımıyla önlem alınabilir.



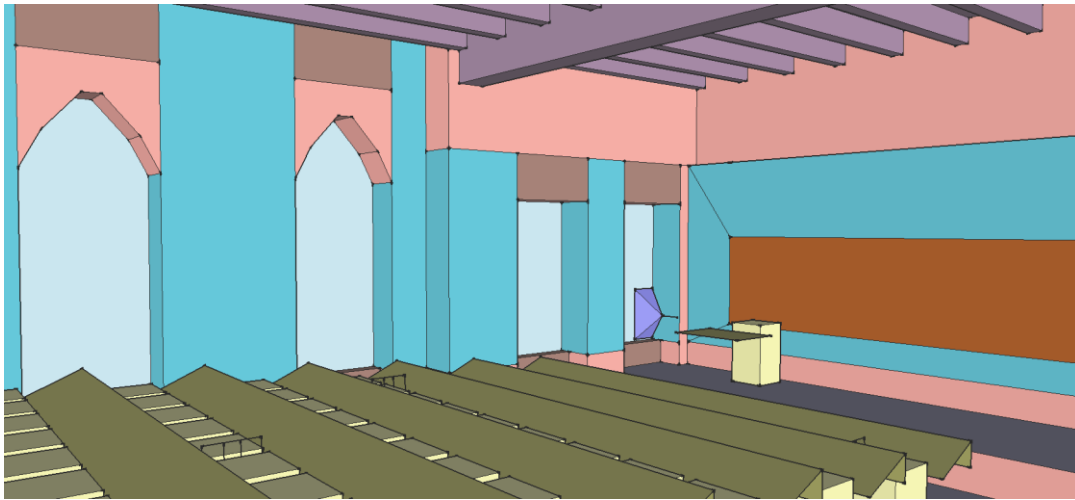
Şekil 4. 38 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

202 No'lu derslik için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları benzer çıktığı için bu derslik için model ve ölçüm kalibrasyonu yapılmamıştır (Şekil 4. 38).

MSGSÜ 202 No'lu dersliğin mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 39 ve Şekil 4. 40'ta sunulmuştur.



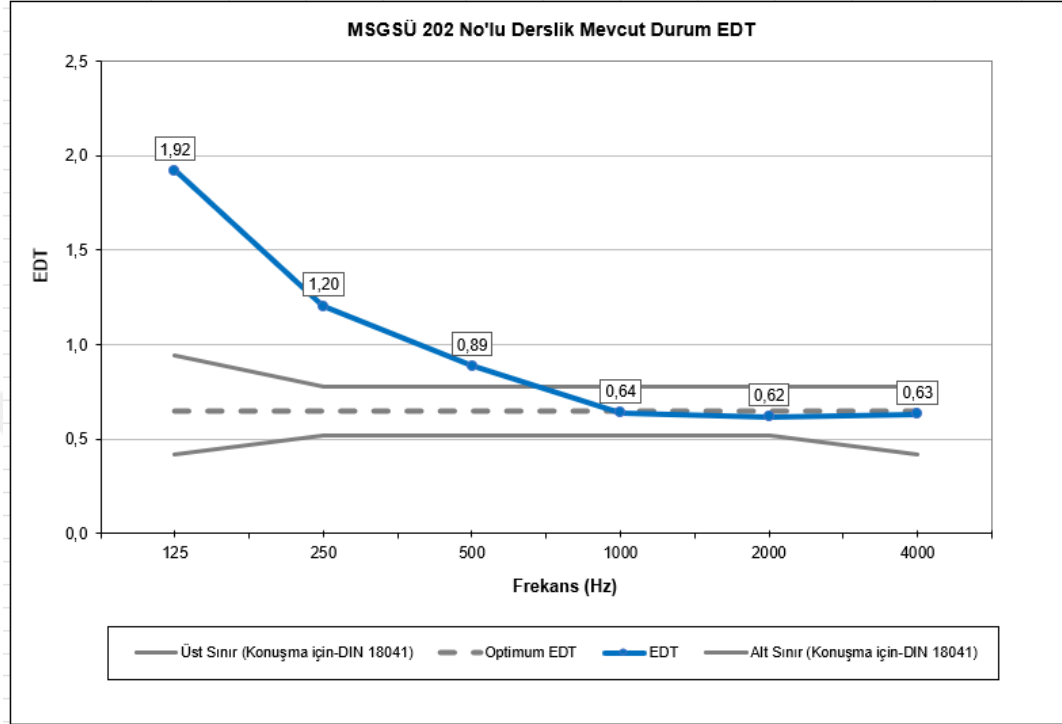
Şekil 4. 39 202 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 40 202 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

MSGÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki 202 No'lu dersliğin mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 41).

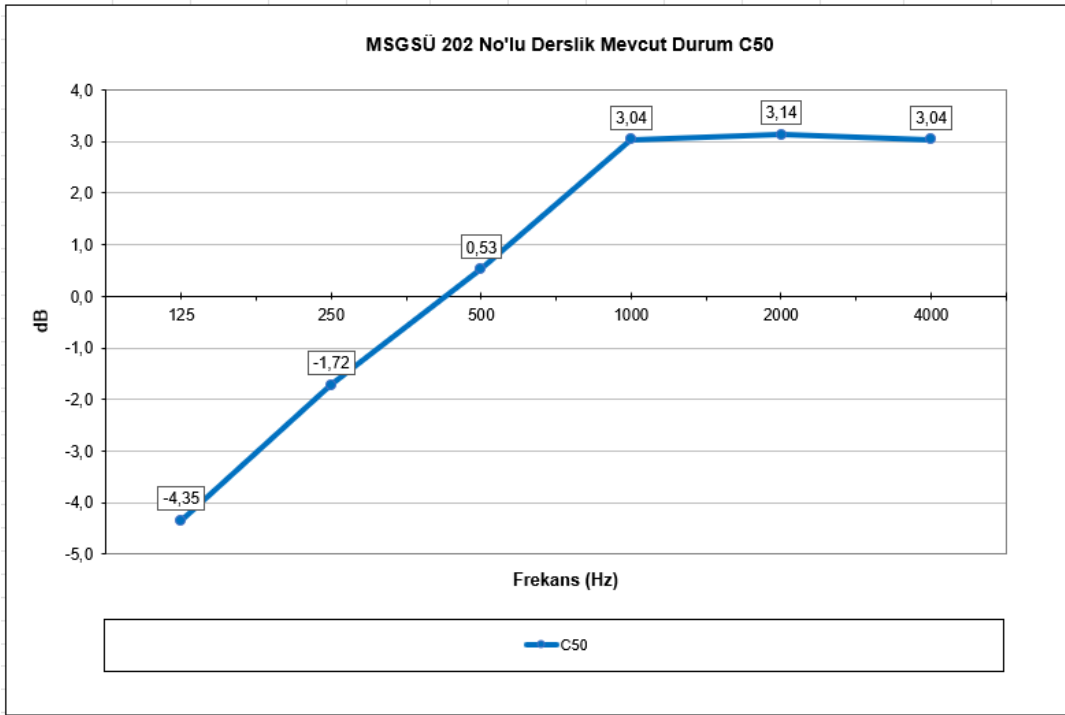


Şekil 4. 41 202 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Yansıma süresi sonuçları ile paralel olarak düşük frekanslar haricinde optimum düzey aralığında olan EDT parametresi sonuçları, düşük frekans yutucu eklenerek iyileştirilebilir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri 202 numaralı derslik için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında orta ve yüksek frekanslarda 0 dB'den büyük sonuçlanırken düşük frekanslarda optimum değeri sağlayamamıştır (Şekil 4. 42). Düşük frekanslarda yutuculuk eklenerek bu parametre dengelenebilecektir.



Şekil 4. 42 202 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

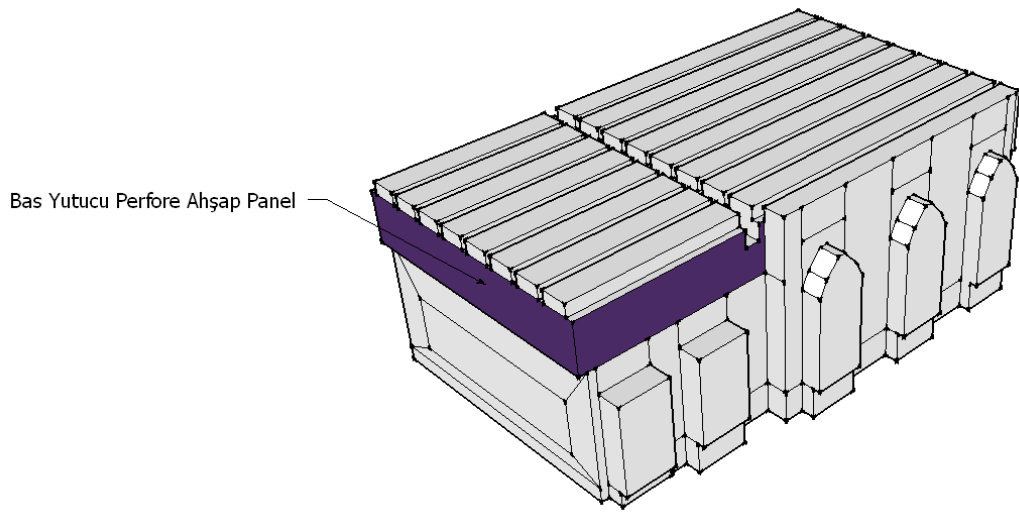
202 No'lu dersliğin gerçekleştirilen simülasyon sonucunda STI değeri 0,66 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin iyi olduğu değer aralığında olduğundan bu hacim ses iletimi bağlamında ders işlevine uygun görülebilir.

Hacim akustiği parametreleri optimum değerlerini orta ve yüksek frekanslarda sağlayan bu derslik boş hali ile çalışılmıştır. Kullanıcıların dahil olması ile birlikte toplam yutuculuk artacak, simülasyon ve akustik ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlara kıyasla daha iyi bir akustik konfor deneyimlenebilecektir.

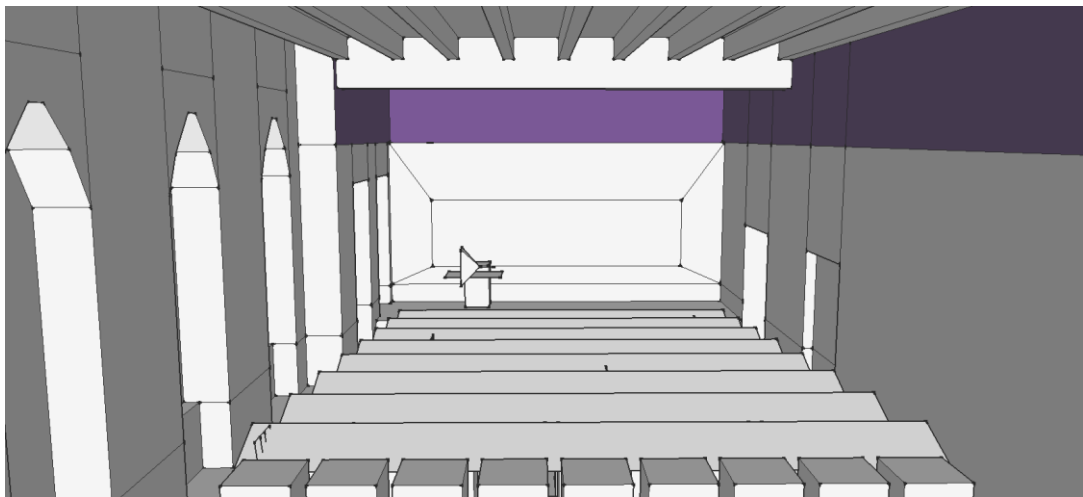
4.3.2. 202 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 202 No'lu dersliğin mevcut durumu akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinde olmayan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, dersliğin üç boyutlu modeli SketchUp programı kullanılarak revize edilmiştir.

Derslik duvarlarında uygulanan kumaş paneller ile kısmi iyileştirme yapılmış olmasına rağmen, mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre düşük frekanslarda hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden az olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda pek çok versiyon üretilerek bu frekanslar için yutucu yüzeyler artırılmış ve modeller simüle edilmiştir. Buna ek olarak ölçüm sonuçları ve mevcut durum simülasyon sonuçları kıyaslanırken modelde boş olarak kurgulanan dinleyici alanları yarı dolu hale getirilmiştir. Adım adım yürütülen bu çalışmada akustik parametrelerin optimum değerleri karşıladığı iyileştirme modelleri sunulmuştur (Şekil 4. 43 ve Şekil 4. 44).



Şekil 4. 43 202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 44 202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda zemin ve tavan bitiş malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmış, duvarlarda; düşük frekanslarda yutuculuk sağlayan perfore ahşap panel önerilmiştir. Duvarların yüksek bölümünde şerit halinde modele eklenen bas yutucu panelin arkasında 30 mm taş yünü kurgulanmıştır. 2 mm delik çapı bulunan ve 32 mm’de bir perforasyonu tekrar eden 18 mm kalınlığındaki bu perfore ahşap panel, mevcut durum sonuçlarına göre düşük frekanslarda optimum değerlerin oldukça üzerinde olan yansıma süresinin ders işlevine uygun değerlere yaklaşmasını sağlamıştır.

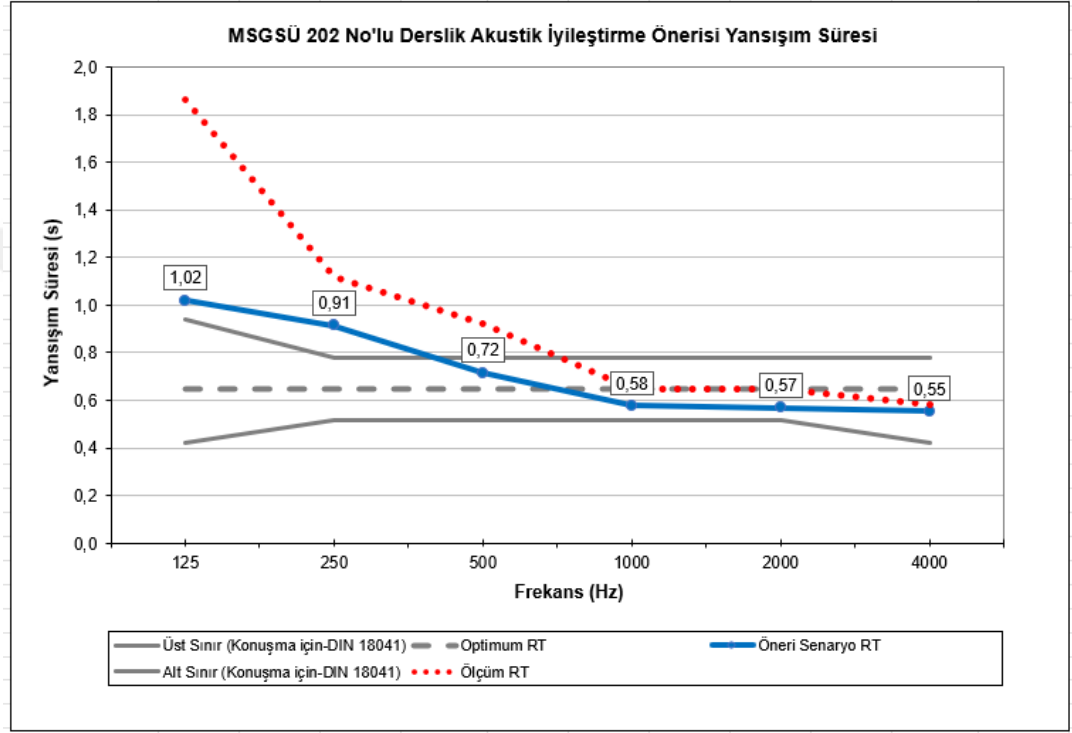
Mevcut durum ve öneri senaryo kurgulanışı aşağıdaki Tablo 4. 12’de aktarılmıştır.

Tablo 4. 12 202 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Duvar	Kumaş Kaplı Akustik Panel	Kumaş Kaplı Akustik Panel
	Ahşap	Ahşap
	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Bas Yutucu Perfore Ahşap Panel
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Vinil)	Mevcut Mimari Bitiş (Vinil)

Akustik İyileştirme Önerisi Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

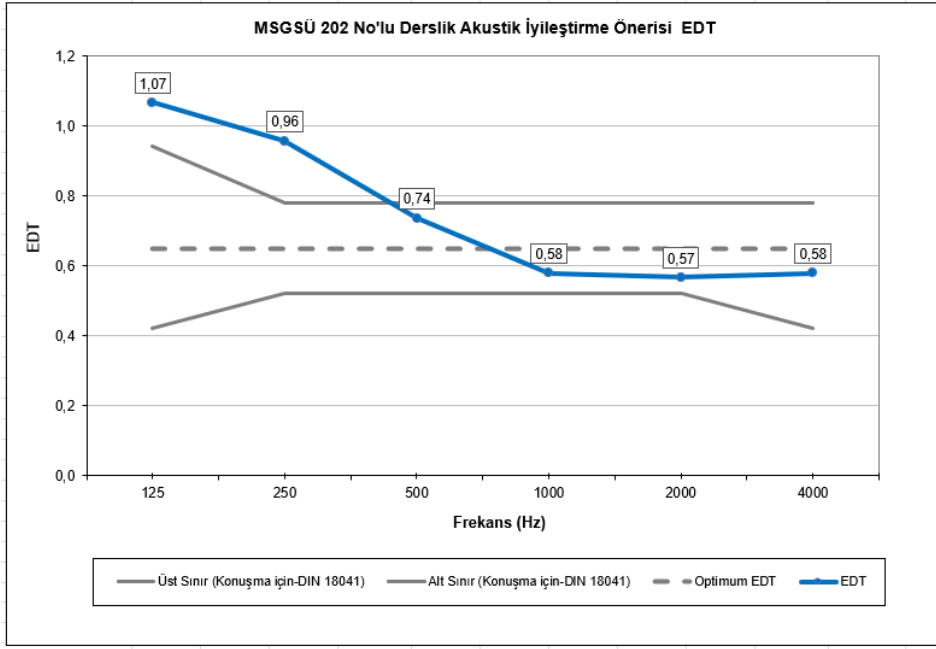
Mevcut durum ölçüm ve simülasyon analizleri sonuçlarına göre orta ve yüksek frekanslarda optimum değer aralığında olan, buna karşın düşük frekanslarda yüksek değerler görülen yansışım süresi, yapılan akustik iyileştirmeler ile optimum aralığa yakın hale getirilmiştir (Şekil 4. 45).



Şekil 4. 45 202 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

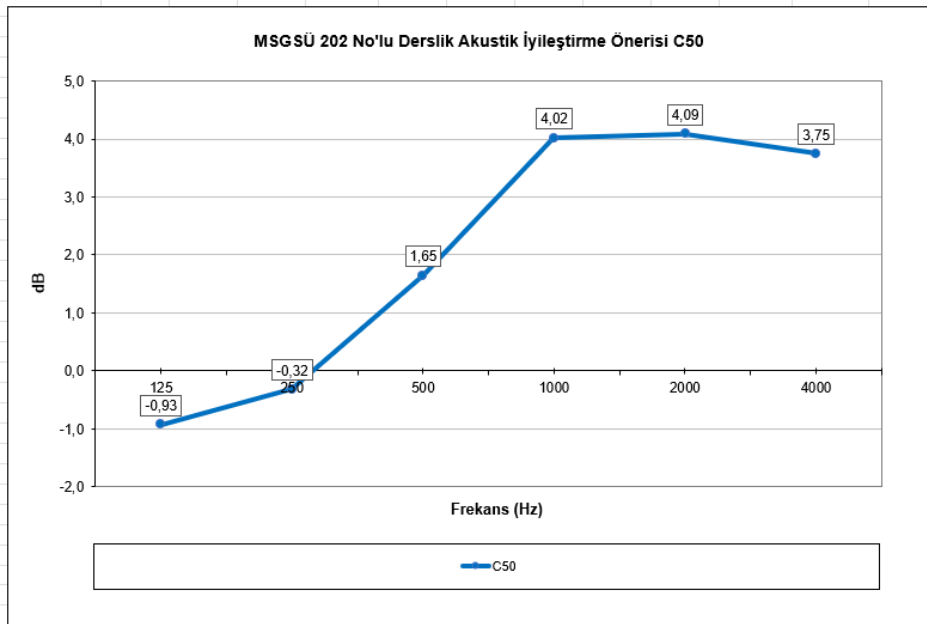
202 No'lu dersliğin iyileştirme önerisi için EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 46). Bu derslik modelinde yapılan yüzey bitiş malzemeleri değişiklikleri ile geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre EDT değeri, yansışım süresi ile paralel olarak düşük frekanslarda optimum aralığa yakın hale getirilmiştir.



Şekil 4. 46 202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

MSGSÜ’de bulunan 202 numaralı dersliğin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 sonuçları düşük frekanslarda olması gereken 0 dB değerinden düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini 250 Hz ve üzerindeki frekanslarda 0 dB’nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin kabul edilebilir düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 47).



Şekil 4. 47 202 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

202 No'lu Dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,66 olarak elde edilen ve hali hazırda kabul edilebilir düzeyde olan STI değeri, akustik iyileştirme ile 0,69'a çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri de anlaşılabilirliğin iyi olduğu aralıkta olduğu için kurgulanan senaryo ders işlevine uygundur.

4.4. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü 203 No'lu Derslik İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'ndeki 203 numaralı derslik için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

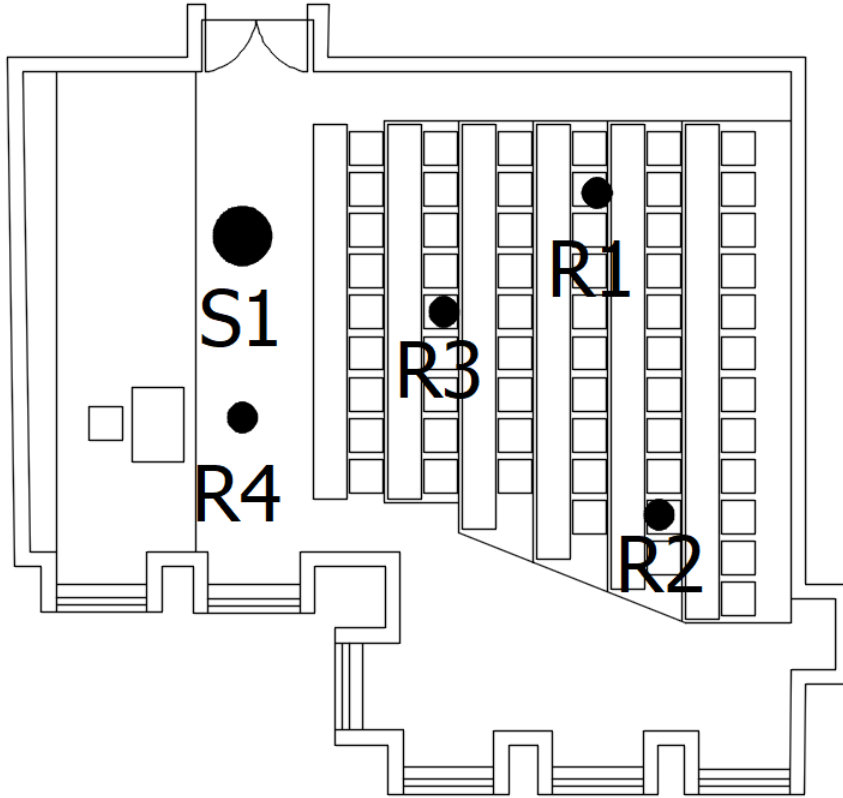
4.4.1. 203 No'lu derslikte mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Bu bölümde 203 numaralı derslik hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri aşağıda Tablo 4. 13'te yer almaktadır. Hacim büyüklüğü ve yüzey malzemeleri kullanımı olarak 202 numaralı derslik ile çok benzer olan bu hacim, form olarak 202'den farklılaşmaktadır. Dikdörtgen formda olan 202 No'lu derslikten ayıran özelliği L şeklinde kurgulanmış olmasıdır.

Tablo 4. 13 203 No'lu Derslik İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)	$V = \sim 348 \text{ m}^3$ RT= 0,65 s

Modellemede hacim akustiği ölçümleri ile paralel olmak üzere, 1 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 4 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır (Şekil 4. 48).



Şekil 4. 48 203 No'lu Derslik - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki 203 No'lu derslikte ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansısim süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümleri ders saatleri dışında, hafta sonu saat 14:00'da yapılmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 49'da sunulmuştur.



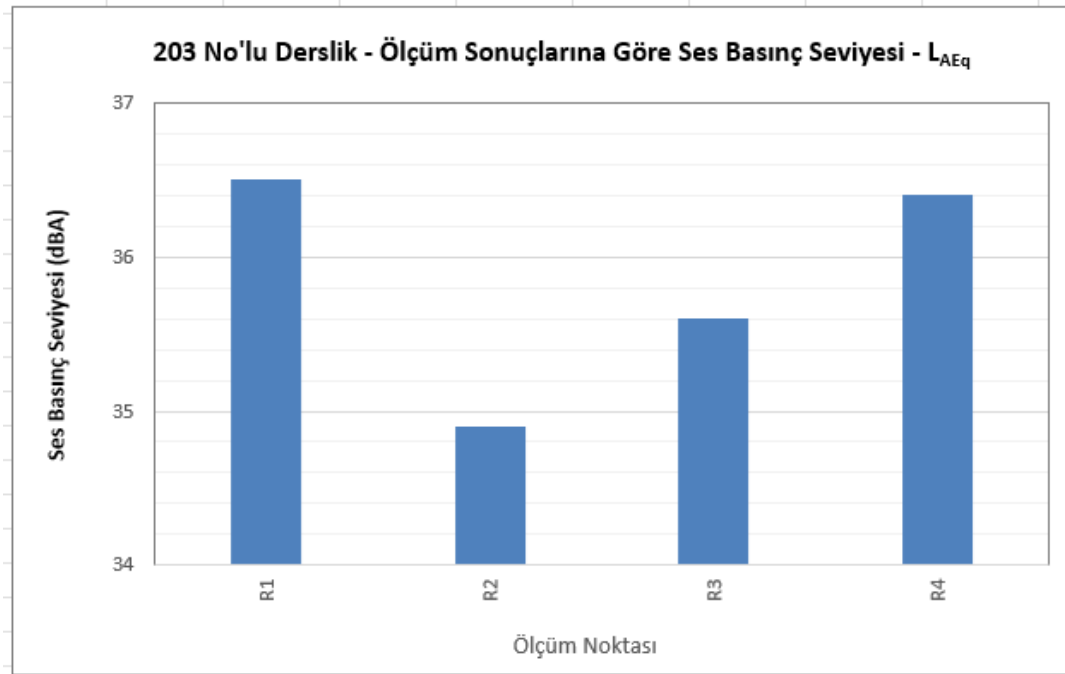
Şekil 4. 49 Derslik 203 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R2)

Hacmin geneli hakkında veri elde edilebilmesi amacıyla derslik alanına dağıtılmış 4 noktada ölçümler alınmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelere çok yaklaşmayarak en az düzeyde yansıma alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri eşdeğer gürültü düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir. 203 No'lu derslik için ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Tablo 4. 14'te sunulmuştur.

Tablo 4. 14 203 No'lu Derslik – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)			
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası
125	36,4	40,1	40,2	40,8
250	28,5	29,3	29,9	33,2
500	25,5	25,8	25,4	25,7
1000	18,4	20,8	21,0	22,0
2000	16,2	18,2	18,2	19,8
4000	9,7	9,8	10,7	13,0



Şekil 4. 50 Derslik 203 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki 203 No'lu dersliğin ölçüm sonuçları, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB değerinin altında bulunduğundan, arka plan gürültüsü bakımından ders işlevine uygundur.

203 numaralı dersliğin yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 51'de sunulmuştur.

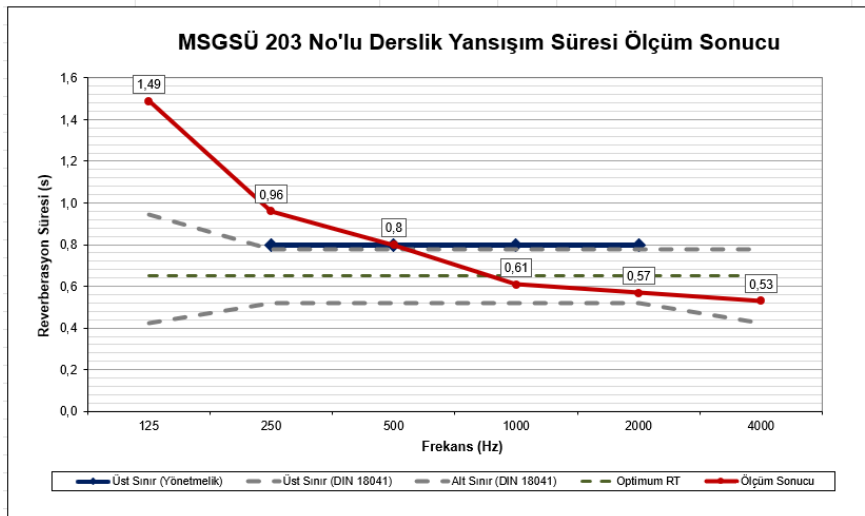


Şekil 4. 51 Derslik 203 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R2 ve S1-R4)

Diğer derslik ölçümlerinde olduğu gibi, ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. 203 numaralı derslikte her ölçüm noktası için yansıma süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

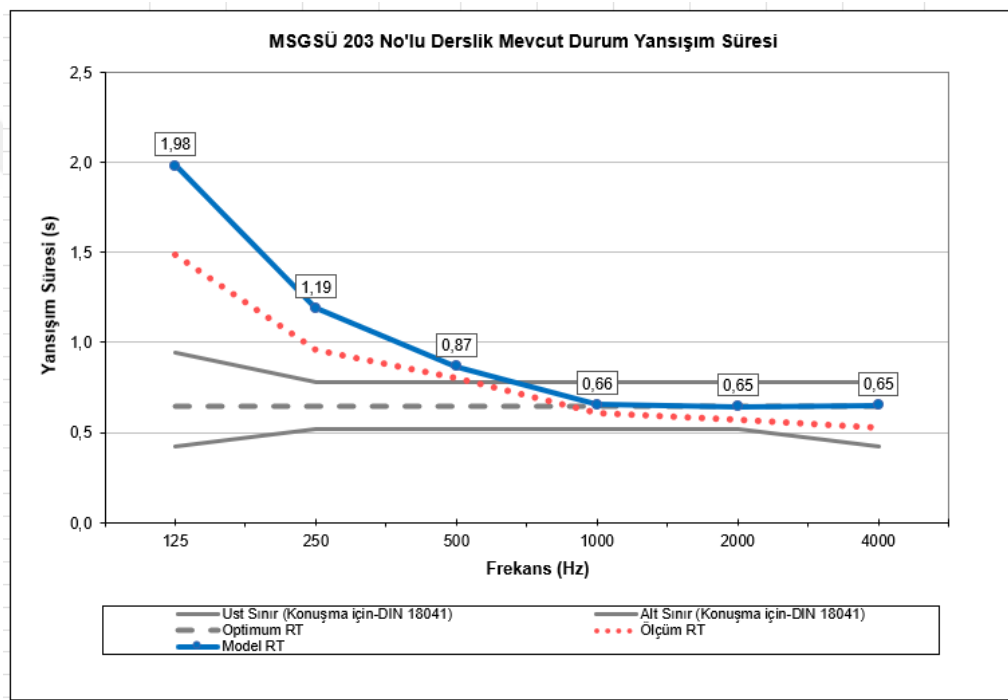
Mevcut Durum Yansıma Süresi (RT) Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 203 numaralı dersliğin mevcut akustik durumu için elde edilen yansıma süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 52'de sunulmuştur.



Şekil 4. 52 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

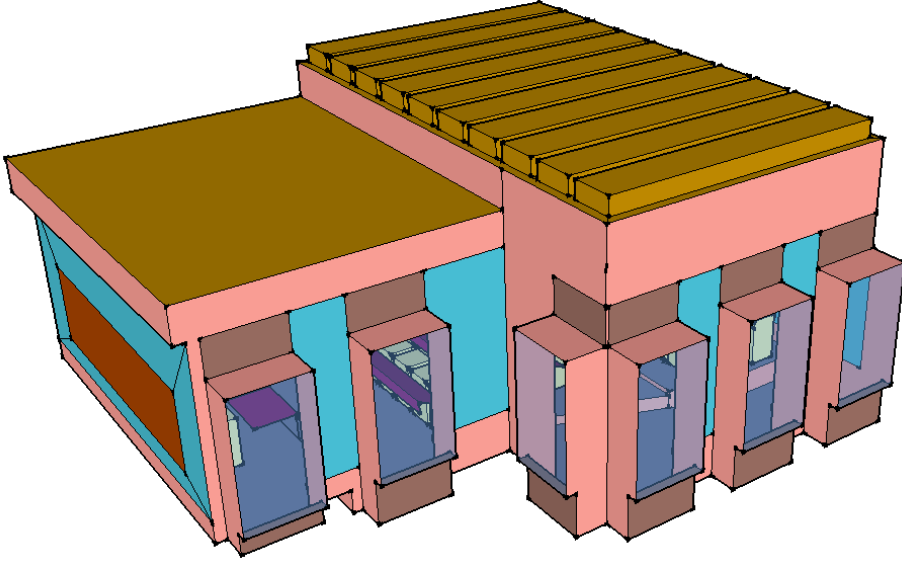
MSGSÜ Fındıklı'da bulunan 203 No'lu dersliğin mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri 1000 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,61 s olarak elde edilmiştir. 348 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, optimum RT değeri 0,65 s olarak belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarında elde edilen RT değeri orta ve yüksek frekanslarda optimum düzeyi sağlamaktadır. Ancak düşük frekanslarda ölçülen RT değeri optimum değerın yukarısında olduğu için, düşük frekanslarda yutuculuk özelliği gösteren malzeme kullanımıyla önlem alınabilir (Şekil 4. 53).



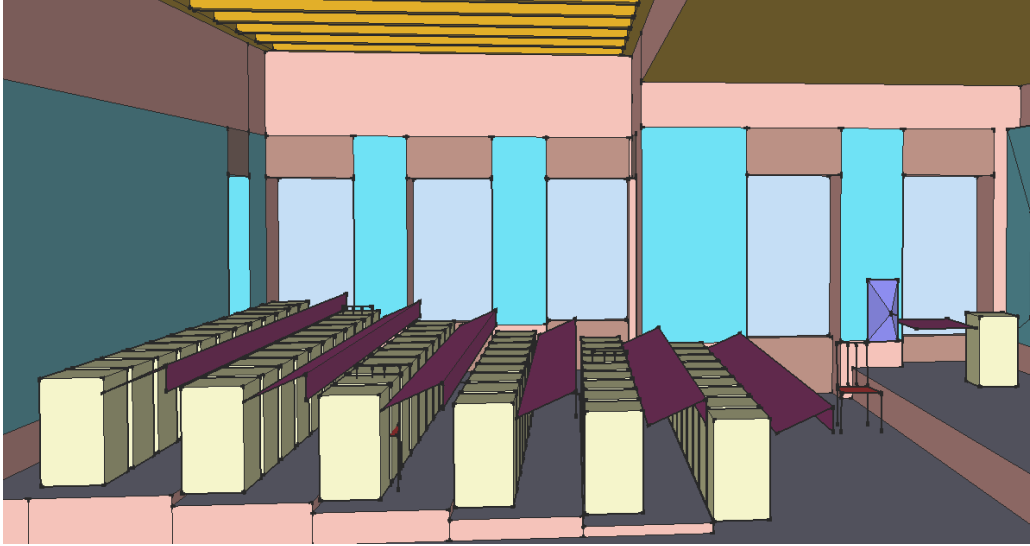
Şekil 4. 53 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

203 No'lu derslik için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları benzer çıktığı için bu derslikte ek olarak model ve ölçüm kalibrasyonu yapılmamıştır.

MSGSÜ 203 No'lu dersliğin mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 54 ve Şekil 4. 55'te sunulmuştur.



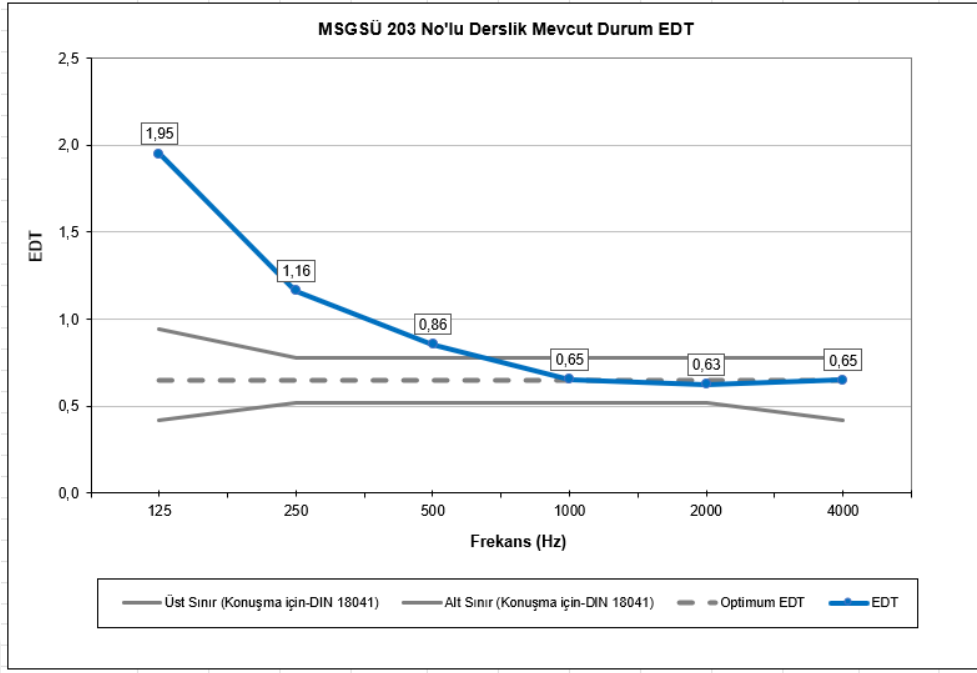
Şekil 4. 54 203 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 55 203 No'lu Derslik – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki 203 No'lu dersliğin mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 56).

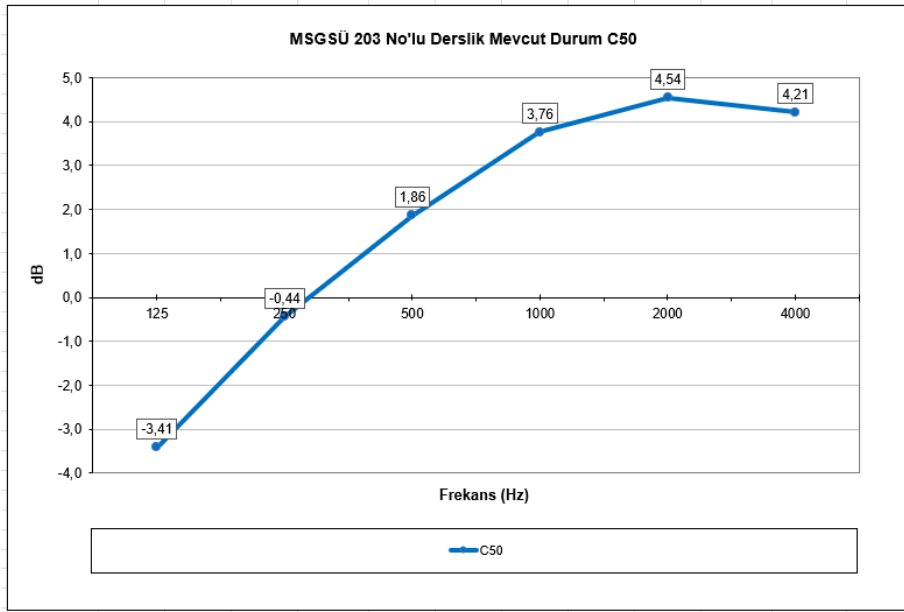


Şekil 4. 56 203 No'lu Derslik – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Yansıma süresi sonuçları ile paralel olarak yüksek frekanslarda optimum düzey aralığında olan EDT parametresi sonuçları, düşük frekanslarda yutuculuğu fazla olan malzemeler eklenerek iyileştirilebilir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri 203 numaralı derslik için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında 250 Hz'den yüksek frekanslarda 0 dB'den büyük sonuçlanırken düşük frekanslarda optimum değeri sağlayamamıştır (Şekil 4. 57). Bu parametre, düşük frekanslarda yutuculuk eklendiğinde optimum değerleri sağlayabilecektir.



Şekil 4. 57 203 No'lu Derslik – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

203 No'lu derslik için gerçekleştirilen mevcut durum simülasyon sonucunda STI değeri 0,68 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin iyi olduğu değer aralığında olduğundan bu hacim ses iletimi bağlamında ders işlevine uygundur.

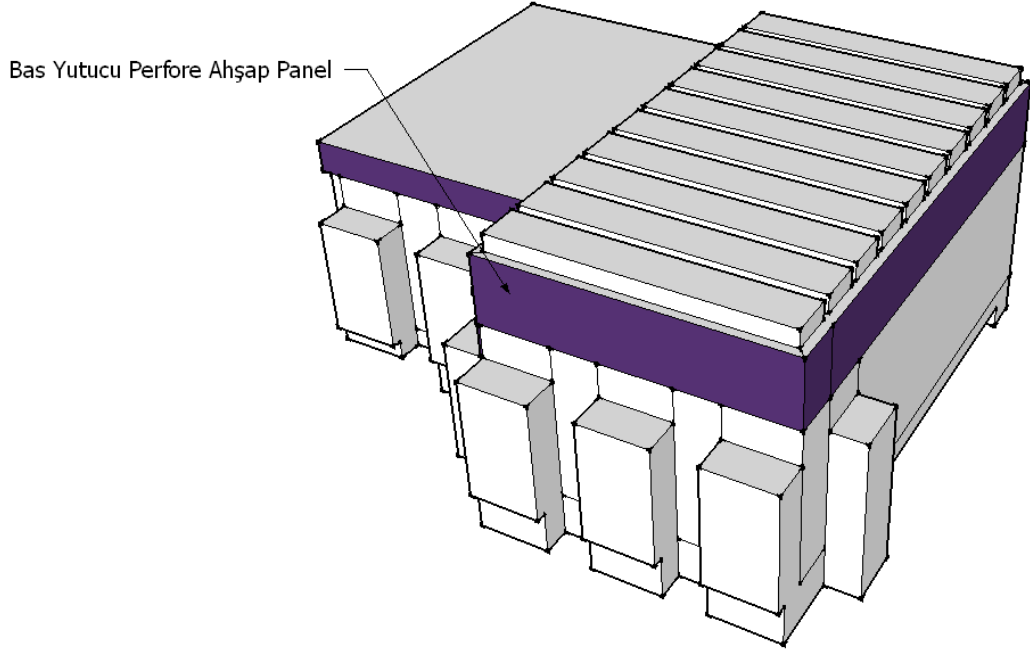
202 No'lu derslik ile benzer olarak, hacim akustiği parametreleri optimum değerlerini orta ve yüksek frekanslarda sağlayan bu derslik boş hali ile çalışılmıştır. Dinleyicilerin dahil olması ile toplam yutuculuk artacak, simülasyon ve akustik ölçüm yöntemi ile elde edilen sonuçlara kıyasla daha iyi bir akustik konfor deneyimlenebilecektir.

4.4.2. 203 No'lu derslikte akustik iyileştirme çalışmaları

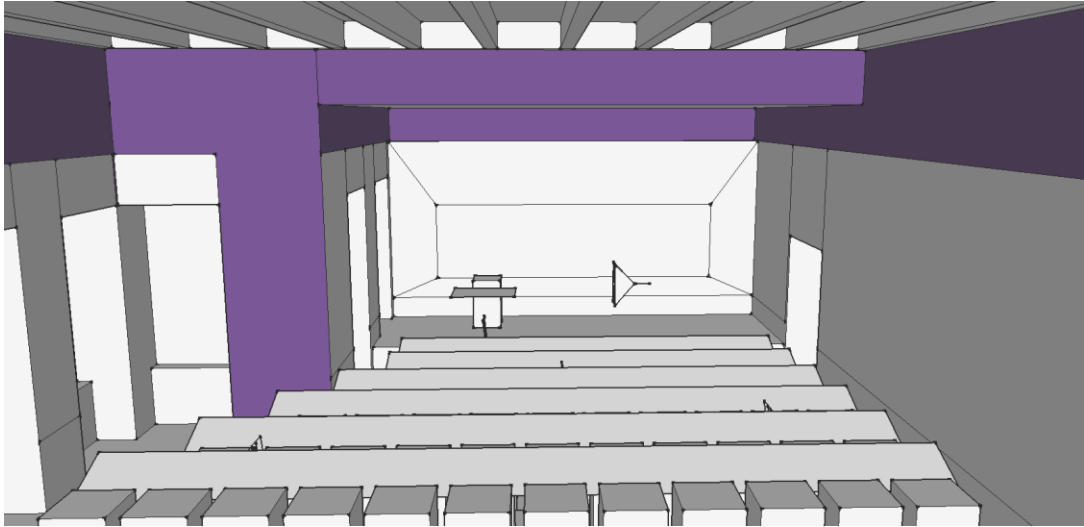
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 203 No'lu dersliğin mevcut durumu akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinde olmayan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, dersliğin üç boyutlu modeli SketchUp programı kullanılarak revize edilmiştir.

Derslik duvarlarında uygulanan kumaş paneller ile kısmi iyileştirme yapılmış olmasına rağmen, mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre, düşük frekanslarda hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden az olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda pek çok versiyon üretilerek bu frekanslar için yutucu yüzeyler artırılmış ve modeller simüle edilmiştir. Buna ek olarak ölçüm sonuçları ve mevcut

durum simülasyon sonuçları kıyaslanırken modelde boş olarak kurgulanan dinleyici alanları yarı dolu hale getirilmiştir. Adım adım yürütülen bu çalışmada akustik parametrelerin optimum değerleri karşıladığı, 202 No'lu derslik ile aynı prensipte olan iyileştirme senaryosu sunulmuştur.



Şekil 4. 58 203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 59 203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görselleri – 2

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda zemin ve tavan bitiş malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmış, duvarlarda; düşük frekanslarda yutuculuk sağlayan perfore

ahşap panel önerilmiştir. 202 ve 203 numaralı dersliklerde duvarların yüksek bölümünde şerit halinde modele eklenen bas yutucu panelin arkasında 30 mm taş yünü kurgulanmıştır. 2 mm delik çapı bulunan ve 32 mm’de bir perforasyonu tekrar eden 18 mm kalınlığındaki bu perfore ahşap panel, mevcut durum sonuçlarına göre düşük frekanslarda optimum değerlerin oldukça üzerinde olan yansıma süresinin ders işlevine uygun değerlere yaklaşmasını sağlamıştır.

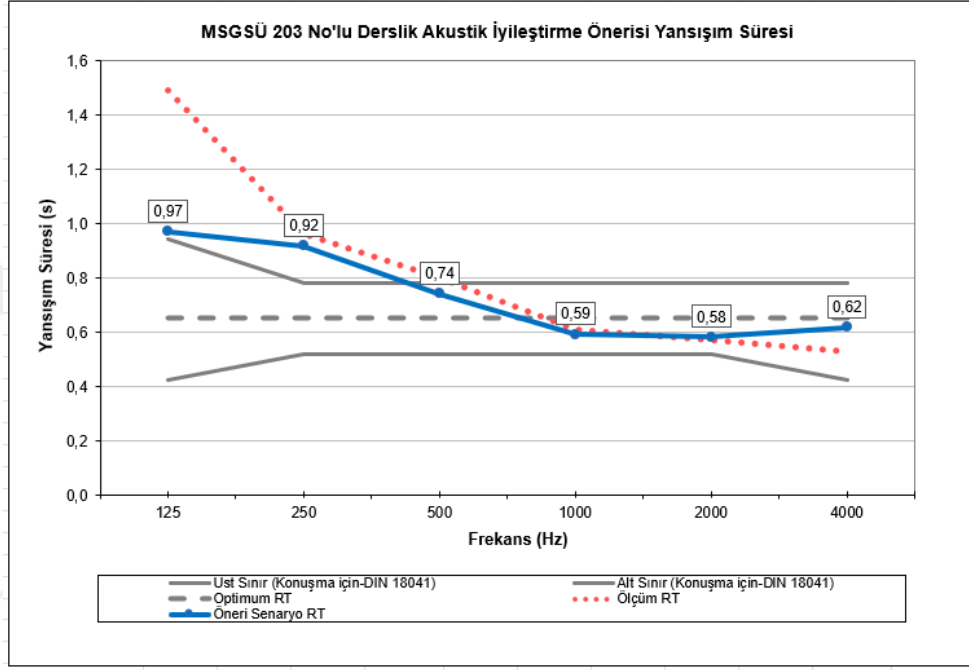
Mevcut durum ve öneri senaryo kurgulanışı aşağıdaki Tablo 4. 15’te aktarılmıştır.

Tablo 4. 15 203 Numaralı Derslik – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Duvar	Kumaş Kaplı Akustik Panel	Kumaş Kaplı Akustik Panel
	Ahşap	Ahşap
	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Bas Yutucu Perfore Ahşap Panel
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Vinil)	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
		Mevcut Mimari Bitiş (Vinil)

Akustik İyileştirme Önerisi Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

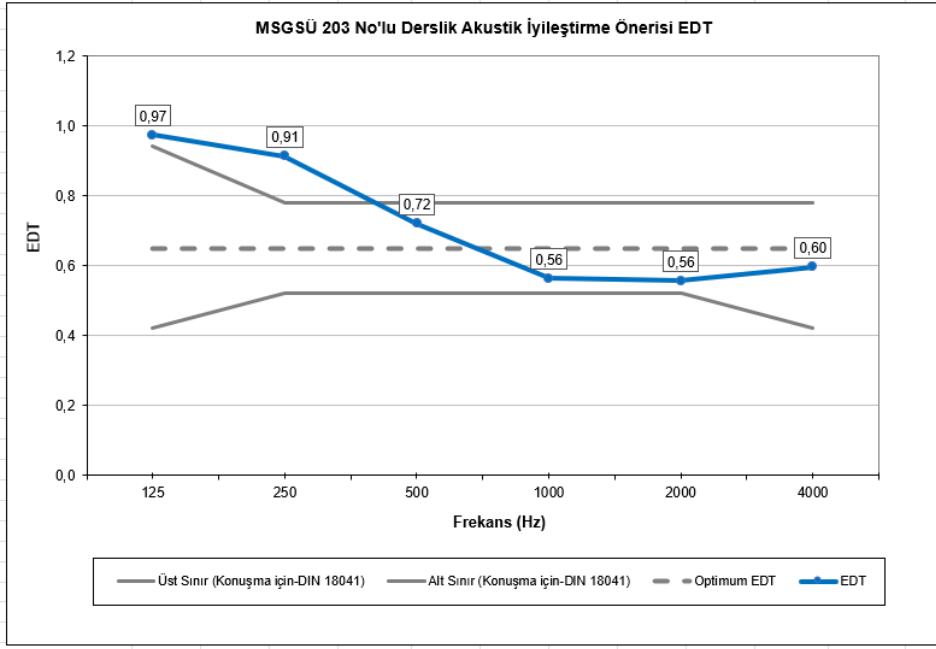
Mevcut durum ölçüm ve simülasyon analizleri sonuçlarına göre yüksek frekanslarda optimum değer aralığında olan, buna karşın düşük frekanslarda yüksek değerler görülen yansışım süresi, yapılan akustik iyileştirmeler ile optimum aralığa yakın hale getirilmiştir (Şekil 4. 60).



Şekil 4. 60 203 No'lu Derslik – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

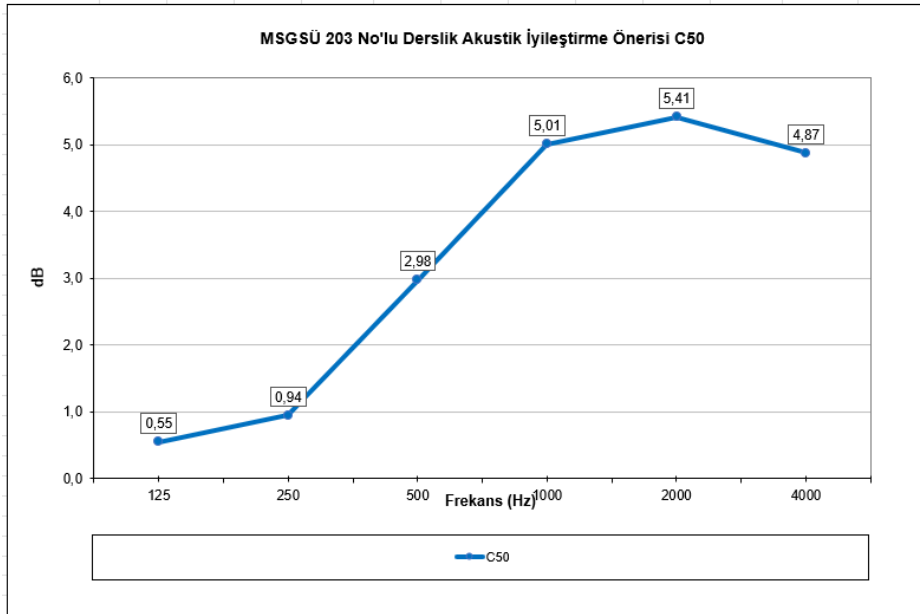
203 No'lu dersliğin iyileştirme önerisi için EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 61). Bu derslik modelinde geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre EDT değeri düşük ve orta frekanslarda da optimum aralığa yakın hale getirilmiştir.



Şekil 4. 61 203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde bulunan 203 numaralı dersliğin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 sonuçları düşük frekanslarda olması gereken 0 dB değerinden düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu değeri tüm frekanslarda 0 dB'nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin optimum düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 62).



Şekil 4. 62 203 No'lu Derslik – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

203 No’lu dersliğin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,68 olarak elde edilen ve hali hazırda iyi düzeyde olan STI değeri, akustik iyileştirme senaryosu ile 0,71’e çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri, anlaşılabilirliğin iyi olduğu aralıkta olmakla birlikte STI parametresi için mükemmel kabul edilen 0,75 değerine yakındır.

4.5. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Çatı 4 Dersliği İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü’nün en üst katında yer alan ve Çatı 4 olarak adlandırılan derslik için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

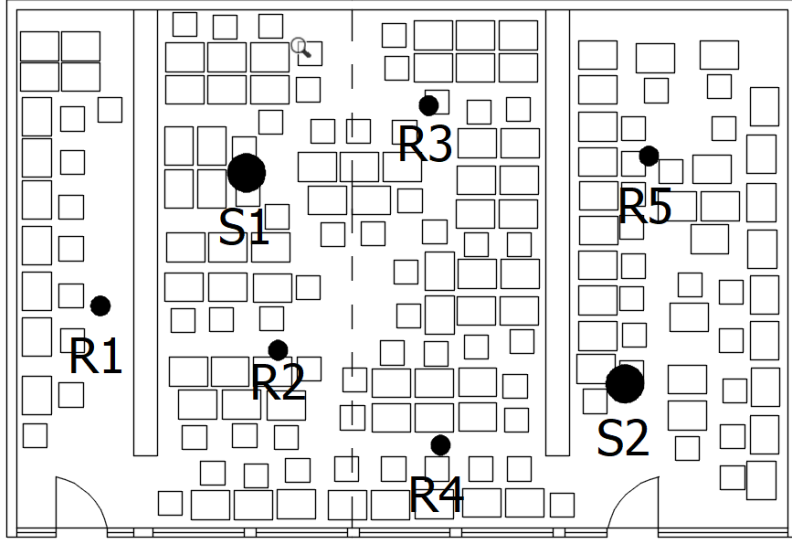
4.5.1. Çatı 4 dersliğinde mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Çatı 4 hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri aşağıda Tablo 4. 16’da yer almaktadır.

Tablo 4. 16 Çatı 4 İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansım Süresi (RT)	$V = \sim 478 \text{ m}^3$ $RT = 0.70 \text{ s}$

Modellemede, 2 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 5 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır (Şekil 4. 63).



Şekil 4. 63 Çatı 4 - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki Çatı 4 dersliğinde, ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansısim süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümlerine hafta içi, saat 16:30 itibarıyla başlanmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 64'te sunulmuştur.



Şekil 4. 64 Çatı 4 - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R4 ve R5)

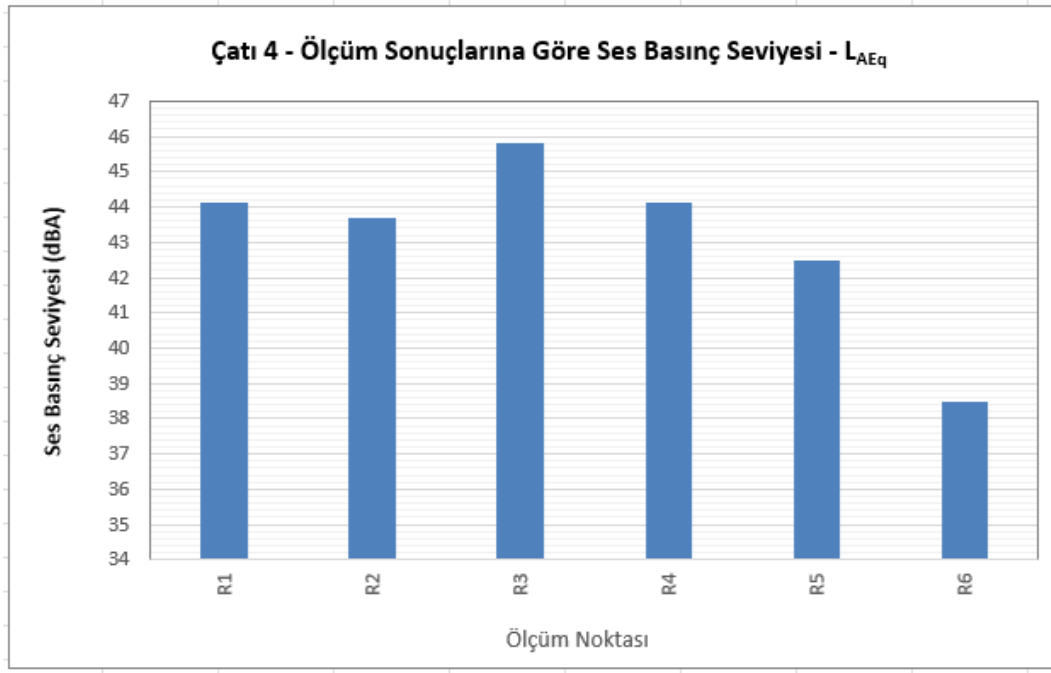
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan Çatı 4 dersliğinde ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Analizörün ölçüm mikrofonunun yerden yüksekliğinin sabit tutulabilmesi için bir üçayak (tripod) kullanılmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelere çok yaklaşmayarak en az düzeyde yansıma alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Hacmin geneli hakkında veri elde edilebilmesi amacıyla derslik alanına dağıtılmış 5 noktada ölçümler alınmıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri eşdeğer gürültü düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Çatı 4 için gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Tablo 4. 17'de sunulmuştur.

Tablo 4. 17 Çatı 4 – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)				
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası	R5 Alıcı Noktası
125	51,1	46,6	48,1	50,1	50,1
250	39,4	39,0	39,8	39,6	39,3
500	32,3	35,6	39,1	35,2	31,0
1000	28,4	31,0	34,5	30,1	28,7
2000	22,2	26,6	30,6	26,3	25,1
4000	16,4	19,4	24,4	20,7	20,4



Şekil 4. 65 Çatı 4 - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki Çatı 4 dersliğinin ölçüm sonuçları, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB sınırına oldukça yakın bulunduğundan, arka plan gürültüsü bakımından dikkat edilmesi gereken bir hacimdir. Koridor ile dersliği ayıran cam elemanlar için önlem alınabilir.

Çatı 4 dersliğinin yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 66'da sunulmuştur.

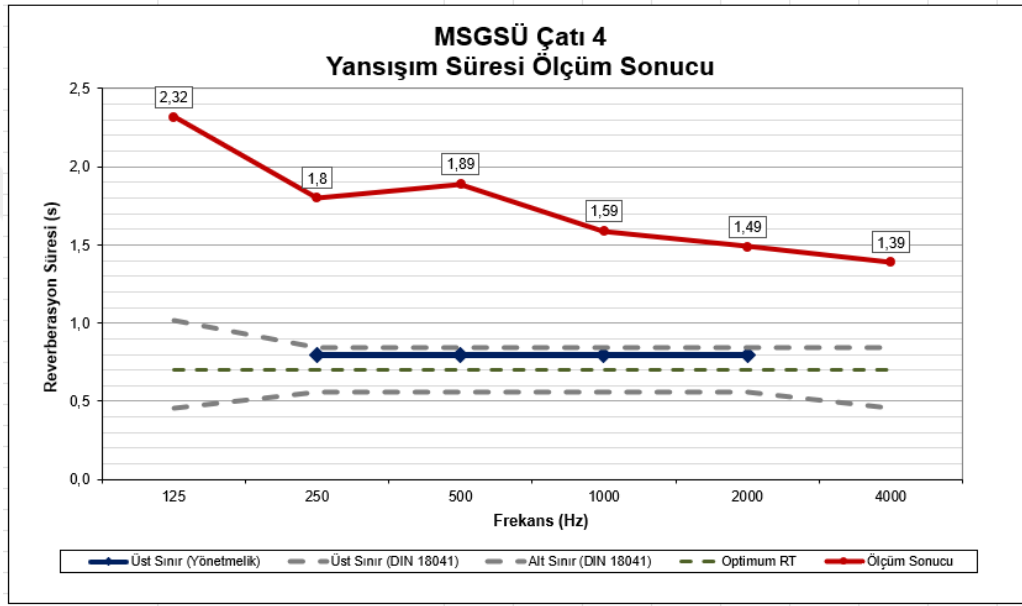


Şekil 4. 66 Çatı 4 - Yansıma Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R4 ve S1-R4)

Ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. Çatı 4 dersliğindeki her ölçüm noktası için yansıma süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

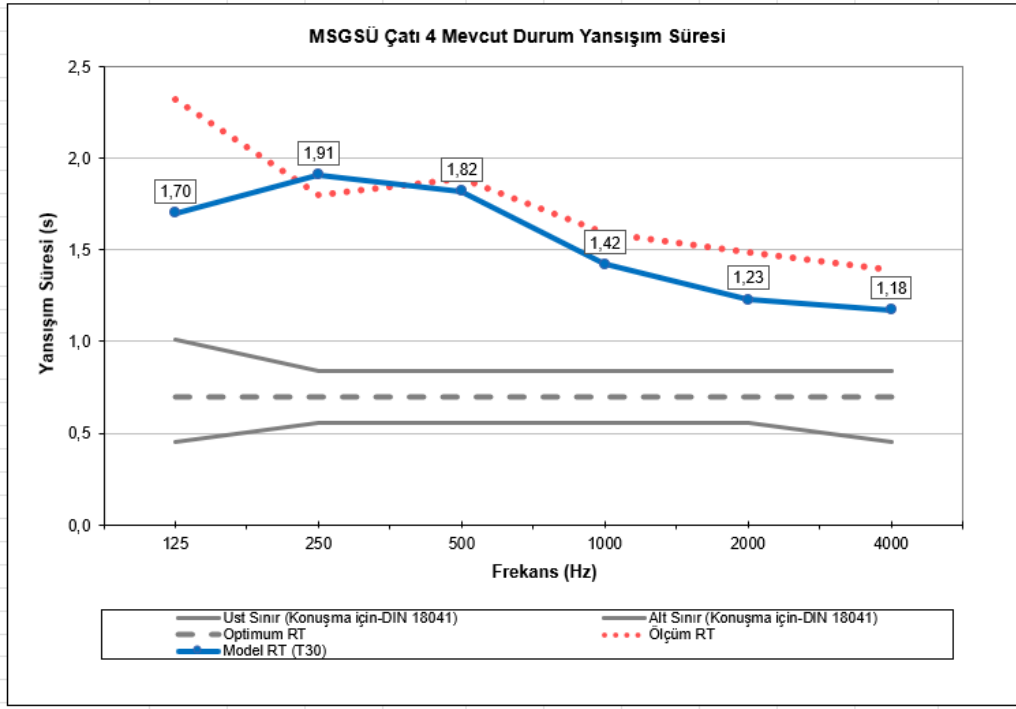
Mevcut Durum Yansıma Süresi (RT) Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde bulunan Çatı 4'ün mevcut akustik durumu için elde edilen yansıma süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları aşağıda Şekil 4. 67'de sunulmuştur.



Şekil 4. 67 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

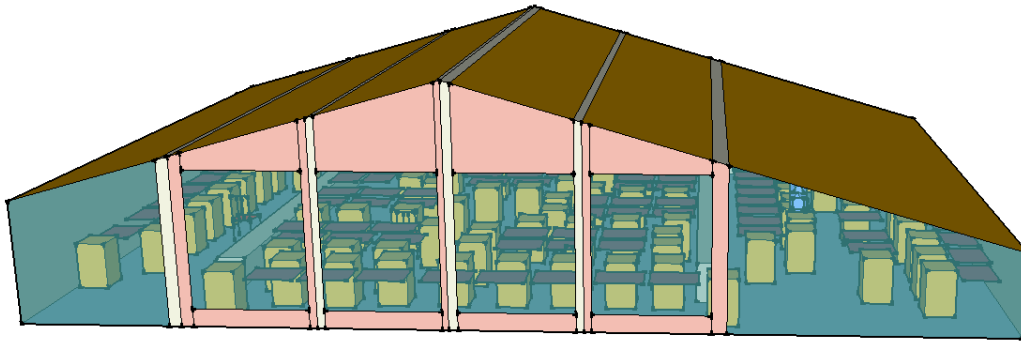
MSGSÜ Fındıklı'da bulunan Çatı 4'ün mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri, optimum değer aralığının ve yerel yönetmelik kriterinin üzerinde elde edilmiştir. 478 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, derslik işlevi için optimum RT değeri 0,70 s'dir.



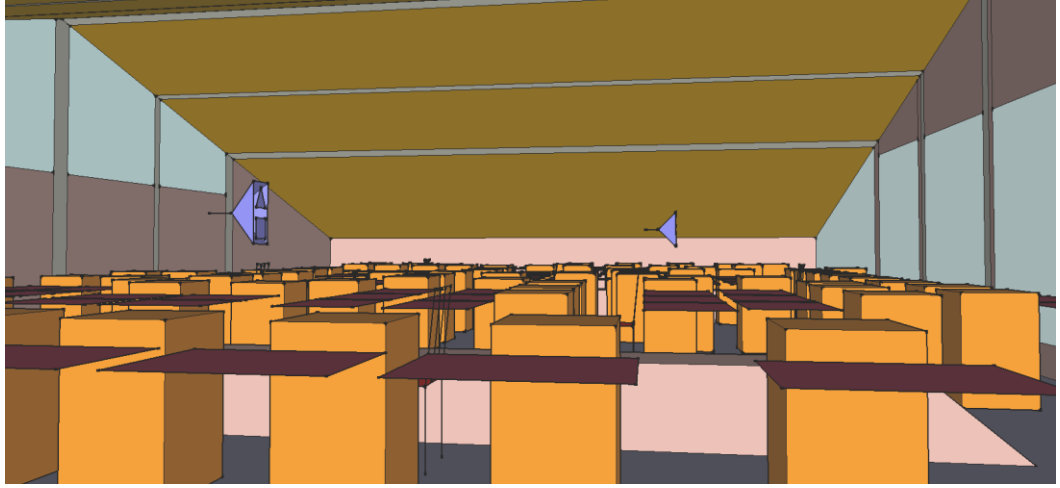
Şekil 4. 68 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

Çatı 4 için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarında uyumsuzluklar, literatürdeki mevcut malzeme yutuculuklarına bağlı kalmaya çalışılarak kalibre edilmiştir (Şekil 4. 68).

MSGSÜ Çatı 4 dersliğinin mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri aşağıda Şekil 4. 69 ve Şekil 4. 70 olarak sunulmuştur.



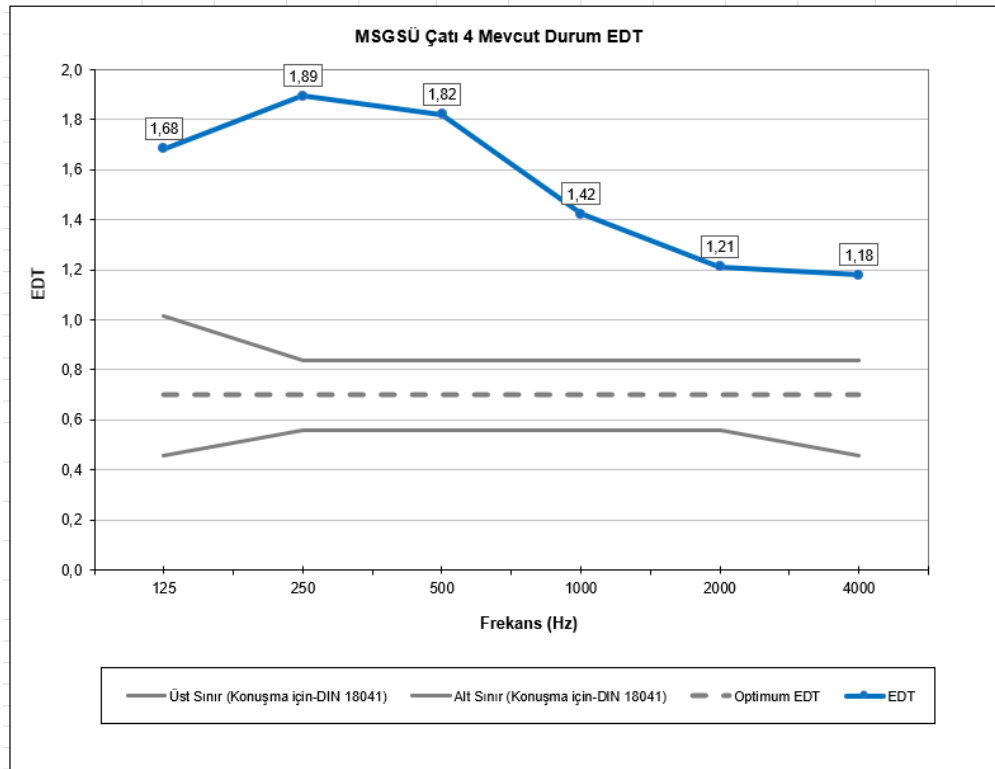
Şekil 4. 69 Çatı 4 – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 70 Çatı 4 – Akustik Simülasyon Modeli Görşelleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü’ndeki Çatı 4’ün mevcut durum EDT grafiğı aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 71).

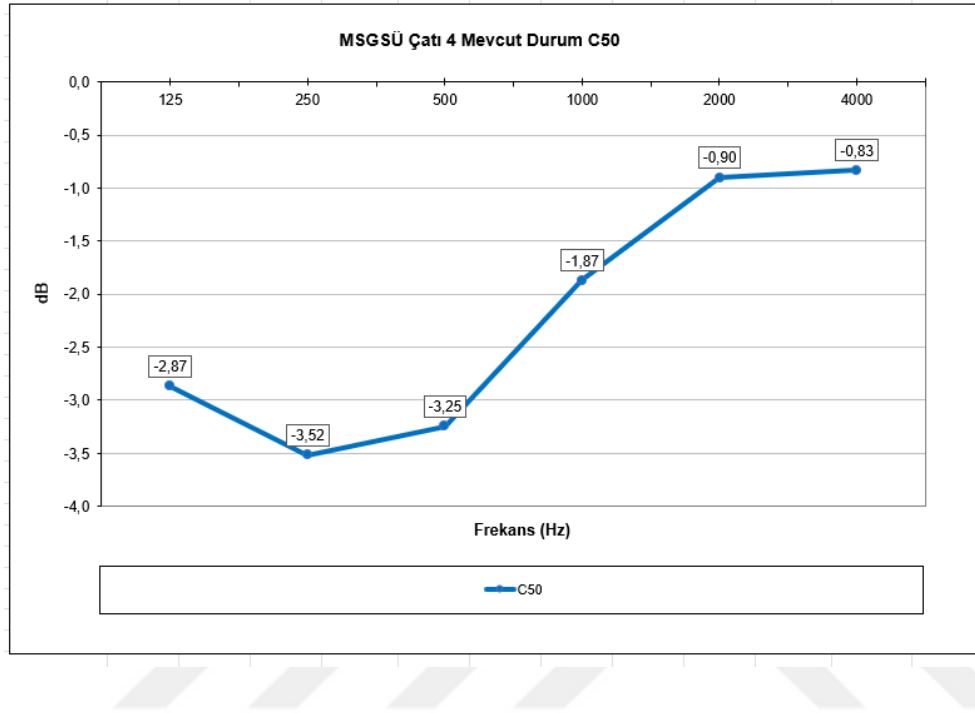


Şekil 4. 71 Çatı 4 – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Mevcut durum simülasyon sonuçlarına göre, EDT parametresi sonuçları optimum düzey aralığının oldukça yukarisındadır. Özellikle düşük ve orta frekanslarda daha yutucu malzemeler kurgulanarak iyileştirme yapılabilir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri, Çatı 4 dersliği için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında, kriter değer olan 0 dB'e yakın elde edilmesine rağmen optimum değeri sağlayamamıştır (Şekil 4. 72).



Şekil 4. 72 Çatı 4 – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

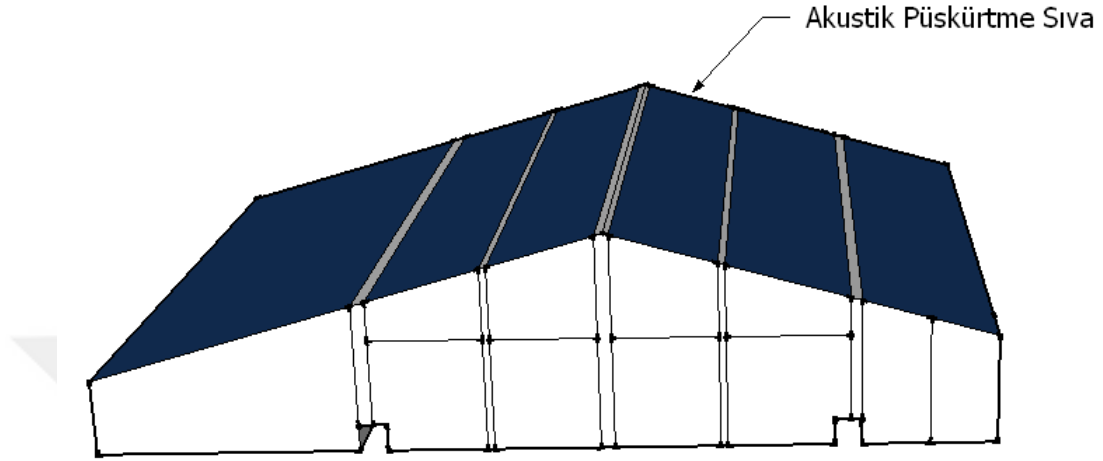
Çatı 4 için gerçekleştirilen kalibre edilmiş mevcut durum simülasyon sonucunda, STI değeri 0,53 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin tatmin edici olduğu değer aralığında olduğundan, iyileştirme önerileri ile akustik konfor arttırabilir.

4.5.2. Çatı 4 dersliğinde akustik iyileştirme çalışmaları

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan Çatı 4 dersliğinin mevcut durumu akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinde olmayan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, üç boyutlu model ile SketchUp programı kullanılarak farklı senaryolar oluşturulmuş ve EASE 4.4 programı yardımı ile öneri versiyonlar üretilmiştir.

Mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden az olduğu belirlenmiştir. Akustik iyileştirme

alışmalarında, ölçüm sonuçları ve mevcut durum simülasyon sonuçları kıyaslanırken modelde boş olarak kurgulanan dinleyici alanları yarı dolu hale getirilmiştir. Adım adım yürütölen bu çalışmada akustik parametrelerin optimum değerklerine yaklaştığı iyileştirme senaryosu sunulmuştur.



Şekil 4. 73 Çatı 4 – Akustik İyileştirme Simölasyon Modeli Görseli

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda zemin ve duvar bitiş malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmış, tavanda; İTÜ 214 No’lu derslikte de öneri senaryoya dahil edilen akustik püskürtme sıva önerilmiştir (Şekil 4. 73).

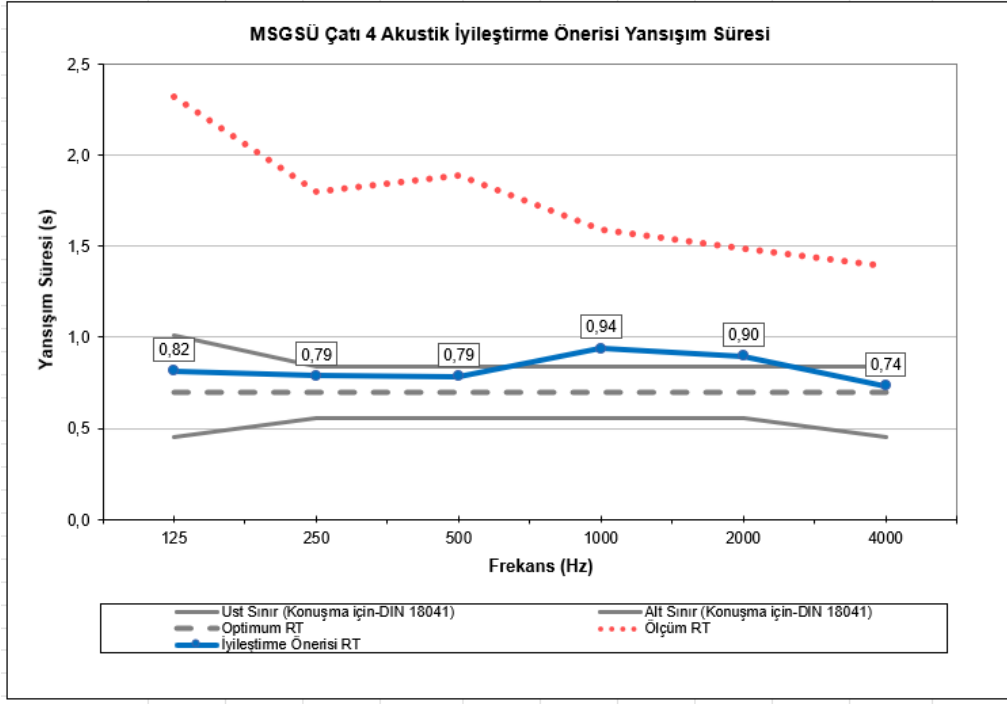
Mevcut durum ve öneri senaryo kurgulanışı aşağıdaki Tablo 4. 18’de aktarılmıştır.

Tablo 4. 18 Çatı 4 – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Akustik Püskürtme Sıva
Duvar	Mevcut Mimari Bitiş (Metal)	Mevcut Mimari Bitiş (Metal)
	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Bas Yutucu Perfore Ahşap Panel
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Seramik)	Mevcut Mimari Bitiş (Seramik)

Akustik İyileştirme Önerisi Yansıyım Süresi (RT) Sonuçları

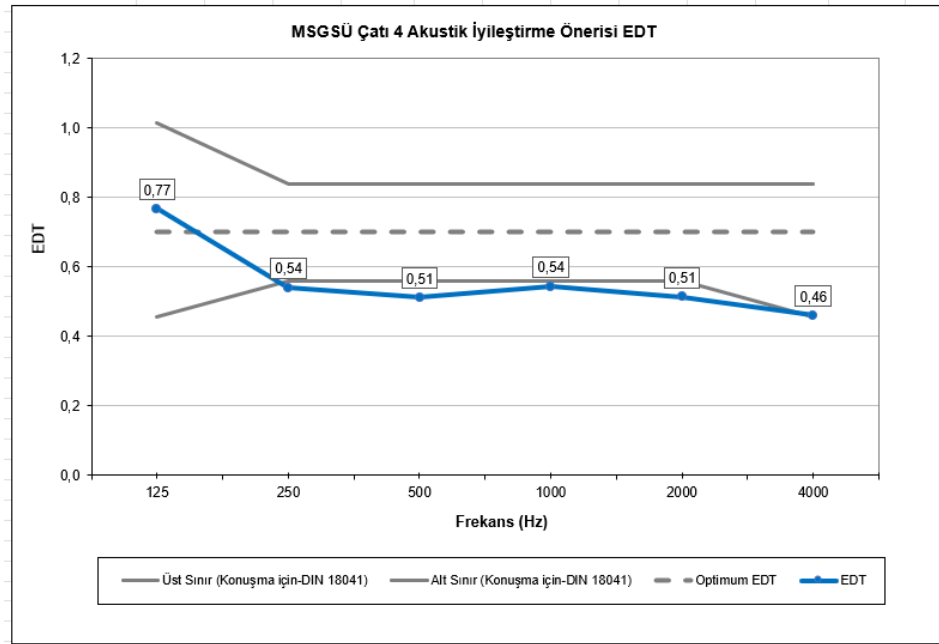
Mevcut durum ölçüm ve simülasyon analizleri sonuçlarına göre tüm frekanslarda optimum değerin yukarısında olan yansıyım süresi, yapılan iyileştirmeler ile akustik konfor için uygun aralığa getirilmiştir (Şekil 4. 74). Öneri senaryo olarak tavanda tek malzeme değişikliği ile oluşturulmuş versiyon seçilmiştir.



Şekil 4. 74 Çatı 4 – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

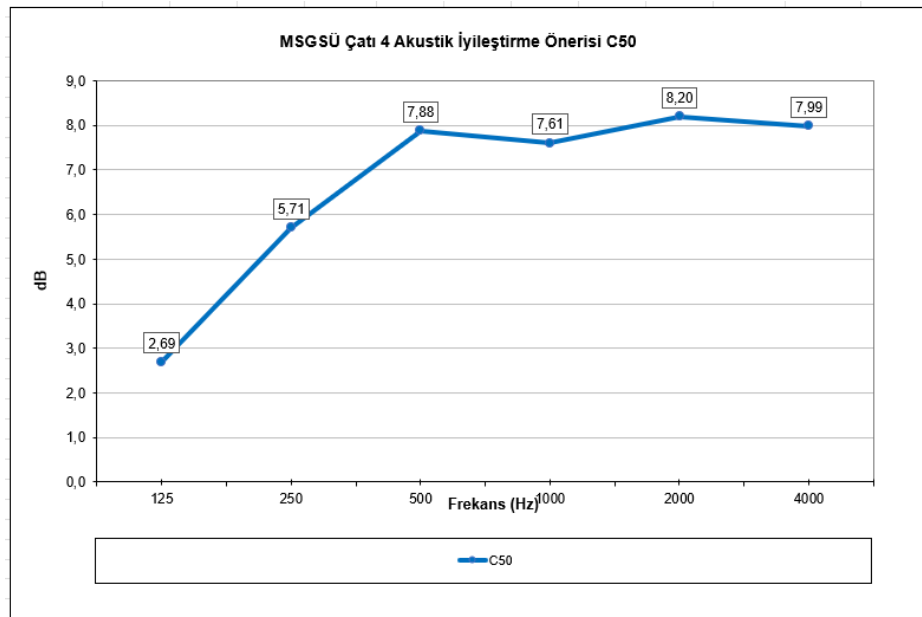
Çatı 4 dersliğinin iyileştirme önerisi için EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 75). Bu derslik modelinde tavanda yapılan yüzey bitiş malzemesi değişikliği ile geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre EDT değeri, yansıyım süresi ile paralel olarak optimum aralığa yakın hale getirilmiştir.



Şekil 4. 75 Çatı 4 – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü’nde bulunan Çatı 4 dersliğinin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 parametresi, olması gereken 0 dB değerinden az da olsa düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini tüm frekanslarda 0 dB’nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin konforlu düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 76).



Şekil 4. 76 Çatı 4 – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Çatı 4 dersliğinin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,53 olarak elde edilen ve hali hazırda tatmin edici düzeyde olan STI değeri, akustik iyileştirme ile 0,78'e çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri, anlaşılabilirliğin mükemmel olduğu aralıktadır (Tablo 4. 19).

Tablo 4. 19 Çatı 4 İçin Hedeflenen STI Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Konuşma İletim İndeksi (STI)	0,45-0,60 tatmin edici/ 0,60-0,75 iyi/ 0,75-1,00 mükemmel

4.6. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Ernst Egli Konferans Salonu İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde yer alan Ernst Egli Konferans Salonu için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

Bu hacim, düşeyde bulunan yüzeylerin birbirine paralel ve önemli bir bölümünün cam olması nedeniyle akustik kusurların görülebileceği bir dersliktir (Şekil 4. 77).



Şekil 4. 77 Ernst Egli Konferans Salonu Görseli

Ernst Egli Konferans Salonu hacminin düşey yüzeylerinde ağırlıklı olarak sıva, cam ve ahşap olmak üzere üç malzeme kullanılmıştır. 215 cm yüksekliğe kadar ahşap, buradan kirişe kadar olan bölümler cam olarak kurgulanmıştır. Tavan yüksekliğinin ve yansıtıcı paralel yüzeylerinin fazla olduğu bu mahalin analiz sonuçlarında, yerel yönetmelikte derslikler için üst sınır RT değeri olan 0,80 s'den yüksek değerler beklenmiştir.

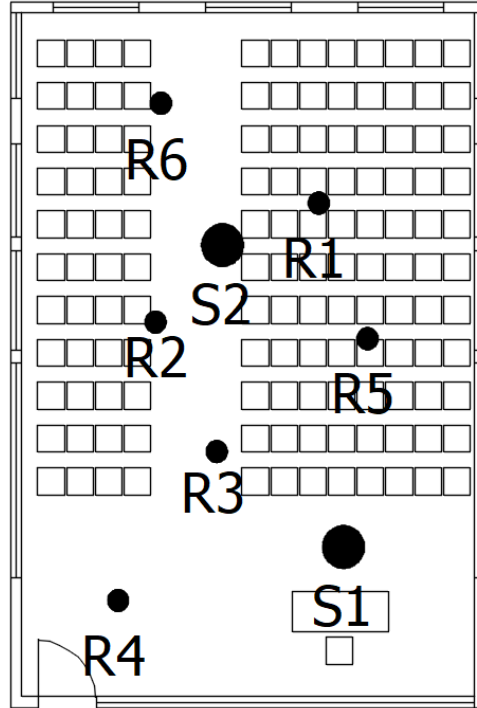
4.6.1. Ernst Egli Konferans Salonu'nda mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Konferans salonu hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri aşağıda Tablo 4. 20'de yer almaktadır.

Tablo 4. 20 Ernst Egli Konferans Salonu İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansımam Süresi (RT)	$V = \sim 534 \text{ m}^3$ RT= 0,70 s

Modelleme ve simülasyon çalışmalarında, hacim akustiği ölçümleri ile paralel olmak üzere, 2 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 6 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır (Şekil 4. 78).



Şekil 4. 78 Ernst Egli Konferans Salonu - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki bu konferans salonunda, belirlenen noktalardan ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır.

Arka plan gürültüsü ölçümlerine hafta sonu, saat 20:00 itibarıyla başlanmıştır. Akustik ölçümler yapılırken dışarıda müzikli bir etkinlik olduğu için birkaç kez tekrarlanmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 79'da sunulmuştur.



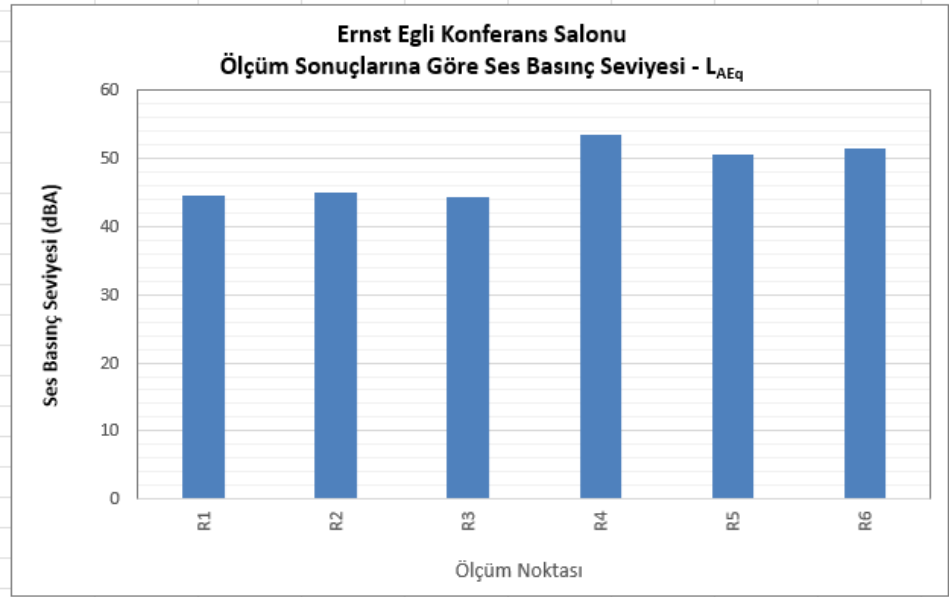
Şekil 4. 79 Ernst Egli Konferans Salonu - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R4 ve R5)

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan bu konferans salonunda ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Analizörün ölçüm mikrofonunun yerden yüksekliğinin sabit tutulabilmesi için bir üçayak (tripod) kullanılmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzey ve nesnelere çok yaklaşmayarak en az düzeyde yansıma alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri eşdeğer gürültü düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Tablo 4. 21'de sunulmuştur.

Tablo 4. 21 Ernst Egli Konferans Salonu – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)					
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası	R5 Alıcı Noktası	R6 Alıcı Noktası
125	51,3	46,8	45,2	55,6	52,0	54,3
250	38,6	43,3	44,0	51,7	48,9	46,2
500	37,6	38,1	36,4	45,5	42,0	42,0
1000	31,1	32,0	32,1	42,1	35,6	41,9
2000	27,3	26,2	28,6	34,0	28,7	33,1
4000	18,0	18,4	19,7	27,7	19,7	21,7



Şekil 4. 80 Ernst Egli Konferans Salonu - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki Ernst Egli Konferans Salonu'nun ölçüm sonuçları, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB sınırının üzerinde bulunduğundan, arka plan gürültüsü bakımından önlem alınması gereken bir hacimdir.

Konferans salonunun yansım süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 81'de sunulmuştur.

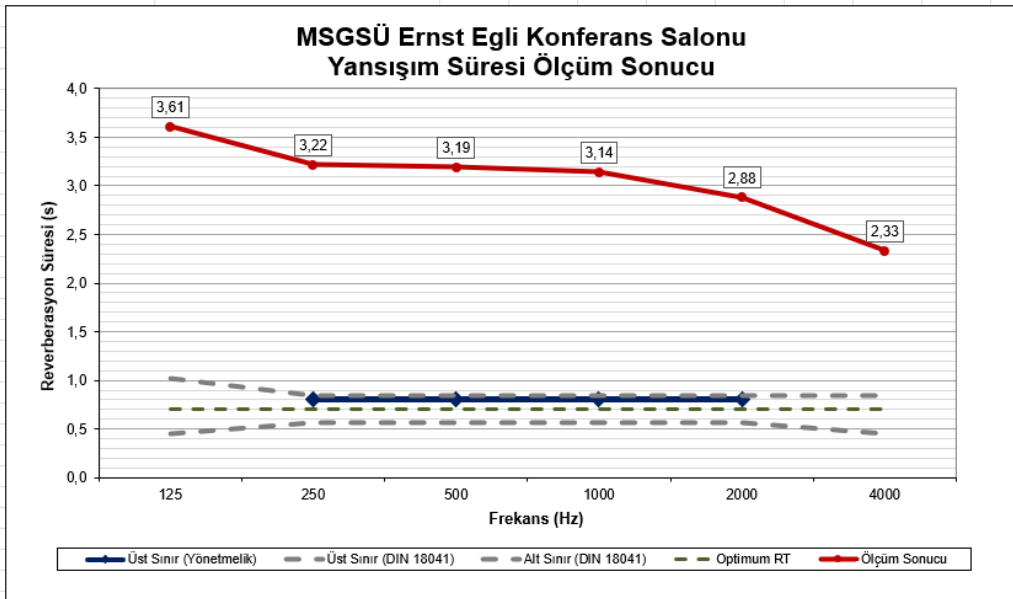


Şekil 4. 81 Ernst Egli Konferans Salonu - Yansışım Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S1-R4 ve S2-R3)

Ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. Her ölçüm noktası için yansışım süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

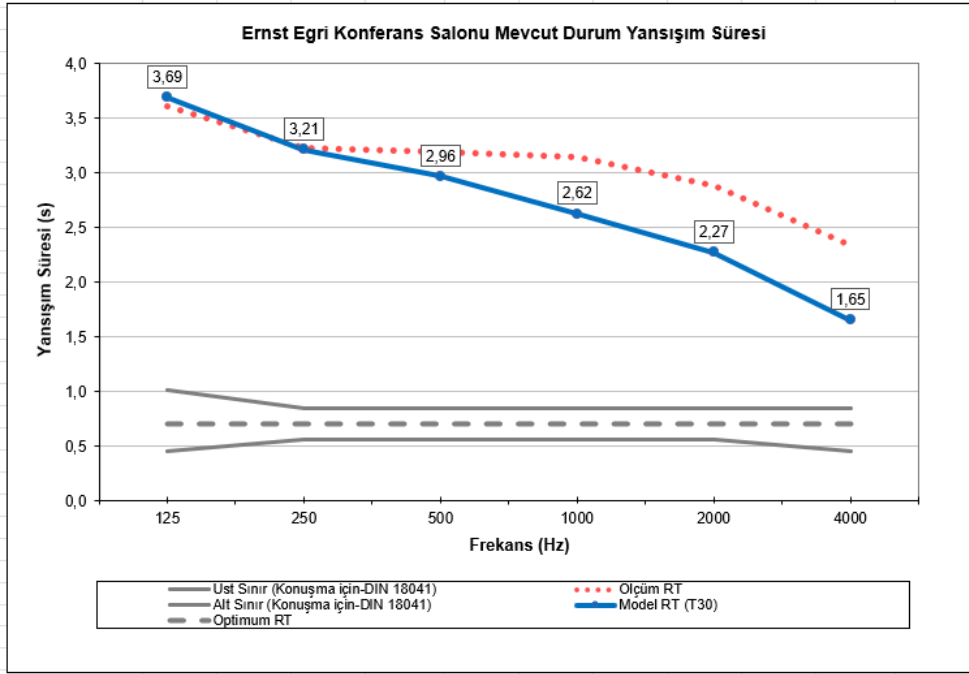
Mevcut Durum Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

Ernst Egli Konferans Salonu'nun mevcut akustik durumu için elde edilen yansışım süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 82'de sunulmuştur.



Şekil 4. 82 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

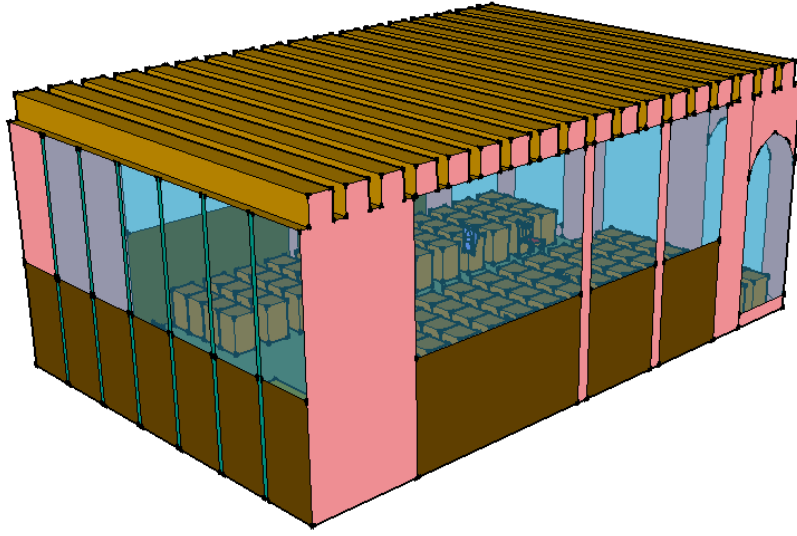
Konferans salonunun mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri, optimum değer aralığının ve yerel yönetmelik kriterinin oldukça üzerinde elde edilmiştir (Şekil 4. 82). 534 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, derslik işlevi için optimum RT değeri 0,70 saniyedir.



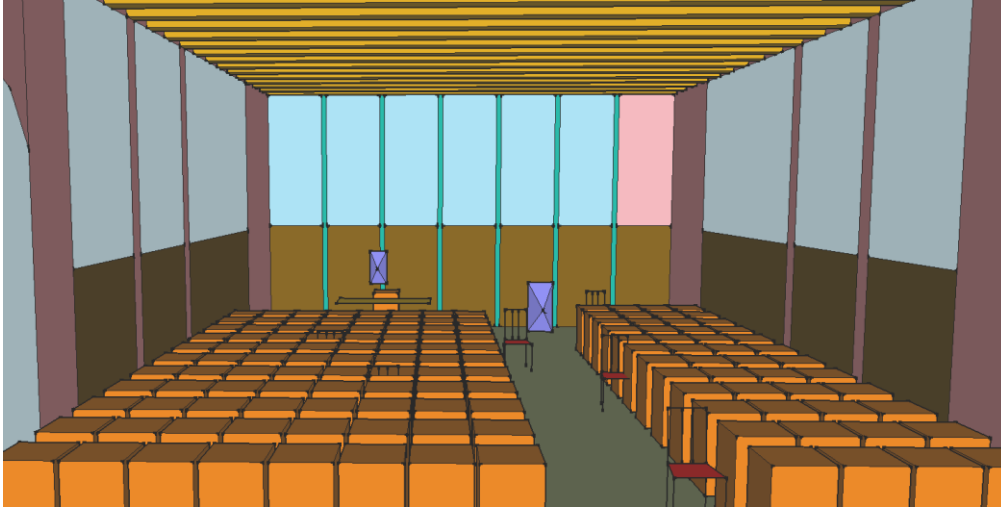
Şekil 4. 83 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

Ernst Egli Konferans Salonu için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir (Şekil 4. 83). Simülasyonda elde edilen mevcut durum RT sonuçları, ölçüm sonuçlarına göre düşük çıktığı için modelde kullanılan malzemeler, adım adım farklı sonuçlar alınarak kalibre edilmiştir.

Konferans salonunun mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 84'te ve Şekil 4. 85'te sunulmuştur.



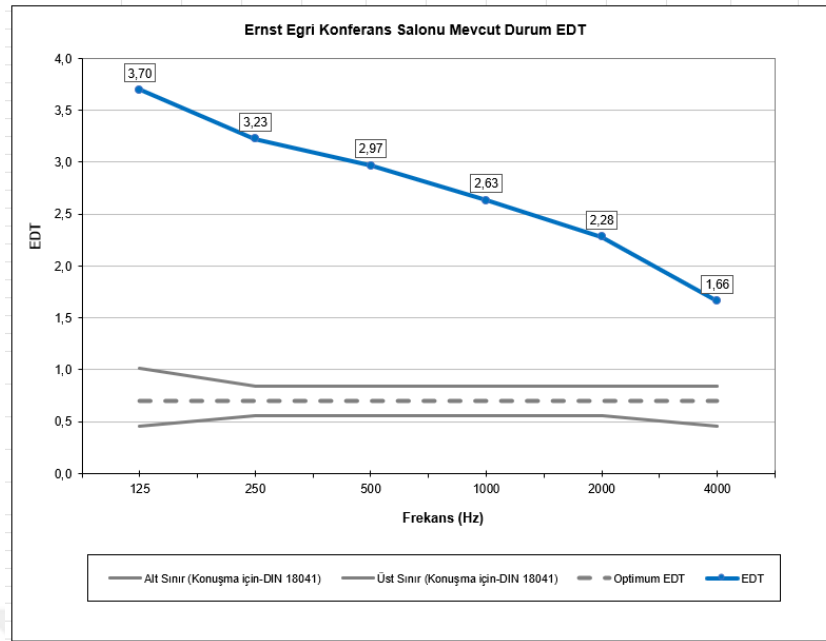
Şekil 4. 84 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



Şekil 4. 85 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

Konferans salonunun mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 86).

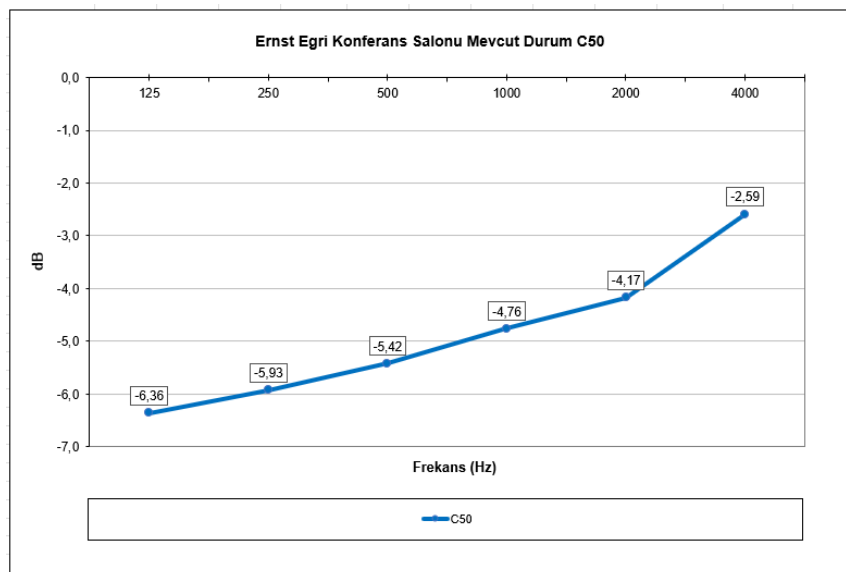


Şekil 4. 86 Ernst Egri Konferans Salonu – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Mevcut durum simülasyon sonuçlarına göre, EDT parametresi sonuçları optimum düzey aralığının oldukça yukarisındadır. Yutucu malzemeler kurgulanarak kısmi iyileştirme yapılabilir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri, incelenen konferans salonu için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında, kriter değer olan 0 dB'e yakın elde edilmesine rağmen optimum değeri sağlayamamıştır (Şekil 4. 87).



Şekil 4. 87 Ernst Egri Konferans Salonu – Mevcut Durum C50 Sonuçları

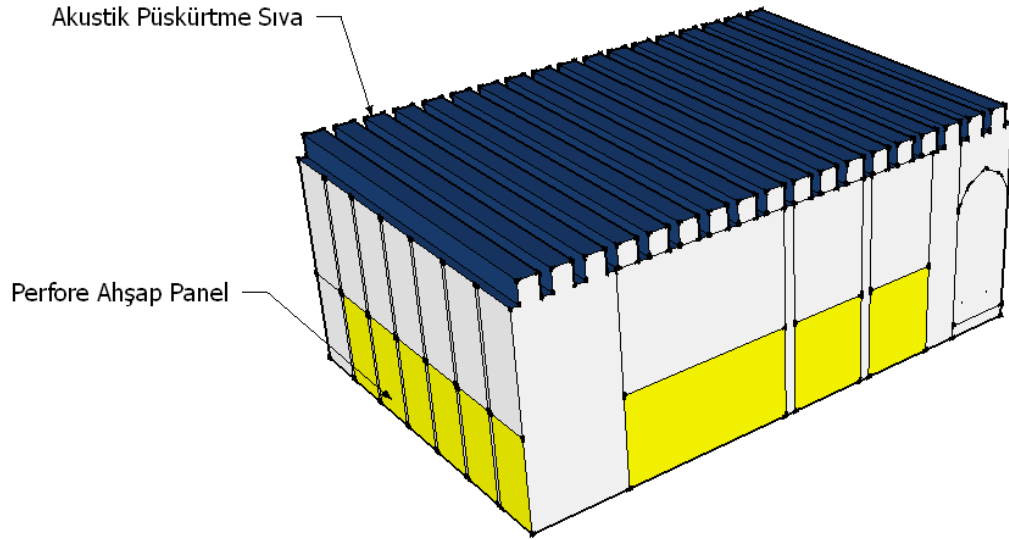
Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Gerçekleştirilen kalibre edilmiş mevcut durum simülasyon sonucunda, STI değeri 0,42 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin zayıf olduğu değer aralığında olduğundan, mevcut durumda ders işlevine uygun değildir.

4.6.2. Ernst Egli Konferans Salonu'nda akustik iyileştirme çalışmaları

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan Ernst Egli Konferans Salonu'nun mevcut durumu, akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinden oldukça uzak olan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, üç boyutlu model ile farklı senaryolar oluşturulmuş ve iyileştirme önerileri üretilmiştir.

Mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden oldukça az olduğu belirlenmiştir. Optimum RT değerlerinden oldukça uzak olan sonuçlar elde edilmesinin sebebi, mevcut durumdaki yansıtıcı yüzeylerdir. Buna ek olarak yansıtıcı yüzeylerin paralelliği hacim akustiği kusuru yaratırken, salondaki açıklıklar ve zayıf olan sınır malzemeleri gürültü denetimini güçleştirmektedir. Tavan yüksekliğinin bu kadar fazla olduğu bu derslikte, düşeyde ve tavanda yutucu malzemeler yardımı ile elde edilecek yansıma süresi, mevcut duruma kıyasla optimum değere daha yakın olacaktır. Akustik iyileştirme çalışmalarında, ölçüm sonuçları ve mevcut durum simülasyon sonuçları kıyaslanırken modelde boş olarak kurgulanan dinleyici alanları yarı dolu hale getirilmiştir.



Şekil 4. 88 Ernst Egli Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görseli

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda zemin döşeme malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmış, tavanda; İTÜ 214 No’lu derslikte ve Çatı 4’te de öneri senaryoya dahil edilen püskürtme akustik sıva önerilmiştir (Şekil 4. 88). Mevcut durumda cam yüzeylerin altında bulunan yutuculuğu düşük ahşap elemanlar yerine perfore ahşap paneller kurgulanmıştır.

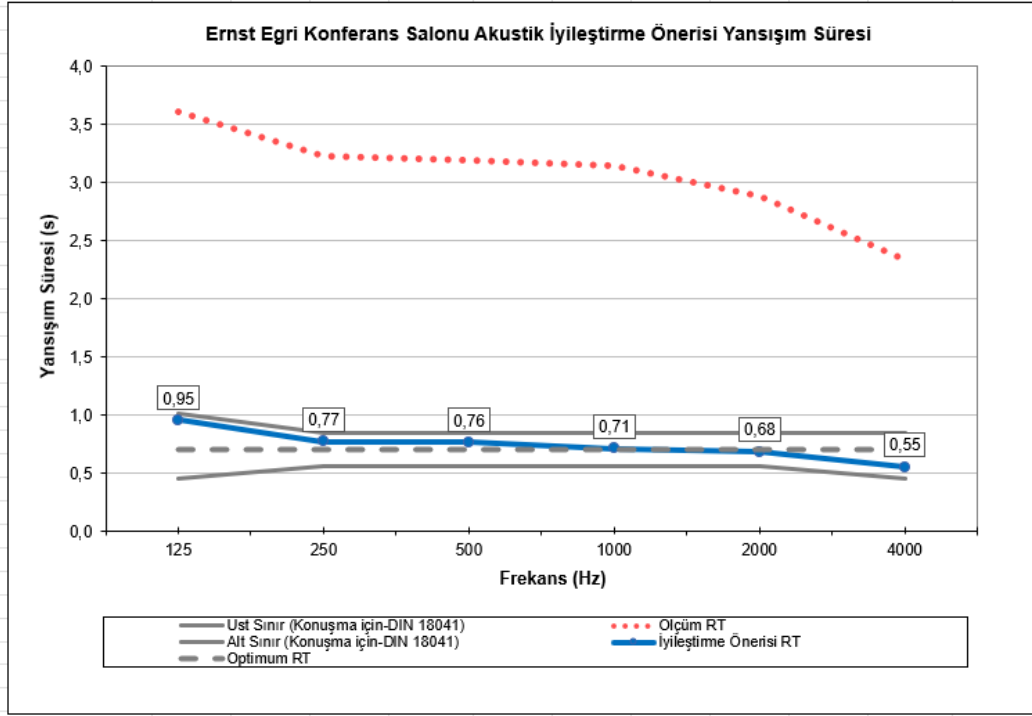
Mevcut durum ve öneri senaryo yüzey malzemeleri aşağıdaki Tablo 4. 22’de aktarılmıştır.

Tablo 4. 22 Ernst Egli Konferans Salonu – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Püskürtme Akustik Sıva
Duvar	Mevcut Mimari Bitiş (Ahşap)	Perfore Ahşap Panel
	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)

Akustik İyileştirme Önerisi Yansıyım Süresi (RT) Sonuçları

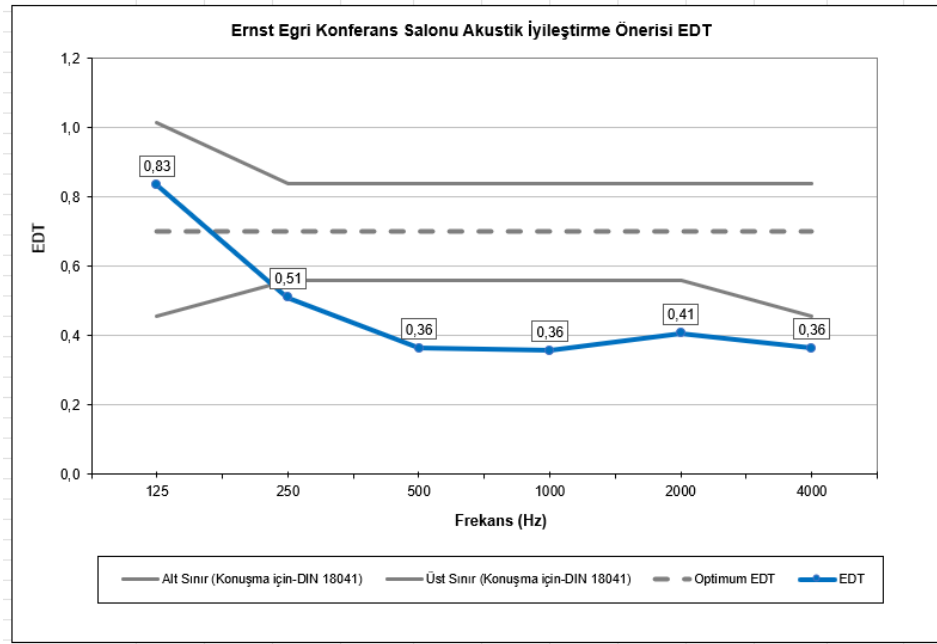
Mevcut durum ölçüm ve simülasyon analizleri sonuçlarına göre tüm frekanslarda optimum değerin oldukça yukarısında olan yansıyım süresi, yapılan iyileştirmeler ile akustik konfor için uygun aralığa getirilmiştir (Şekil 4. 89). Öneri senaryo olarak tavanda akustik püskürtme sıva ve düşeyde perfore ahşap panel kurgusu ile oluşturulmuş versiyon seçilmiştir.



Şekil 4. 89 Ernst Egli Konferans Salonu – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

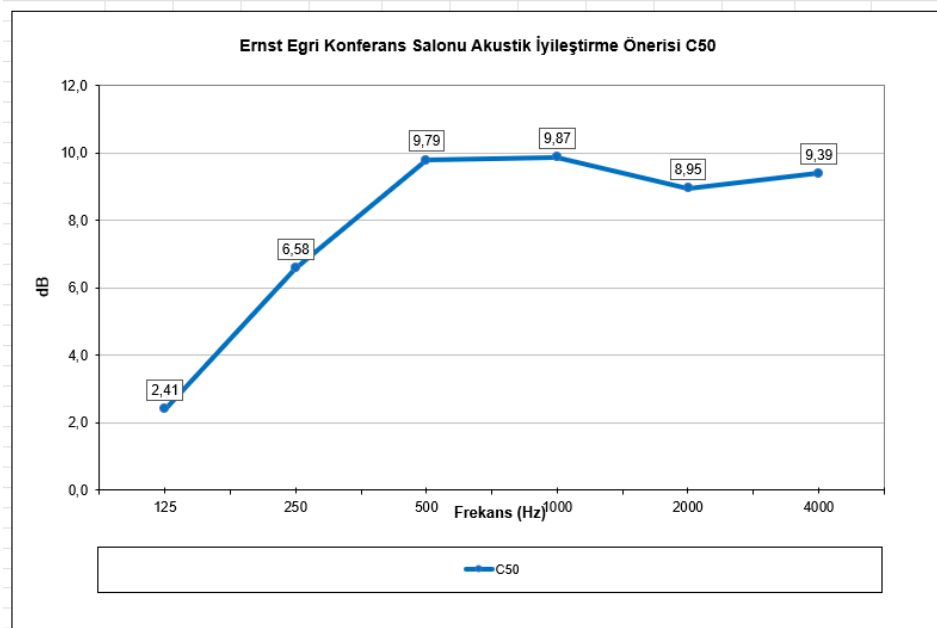
Ernst Egli Konferans Salonu'nun akustik iyileştirme önerisi için EDT grafiği aşağıda Şekil 4. 90'da verilmiştir. Bu derslik modelinde tavanda ve düşeyde yapılan yüzey bitiş malzemesi değişikliği ile geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre erken düşme süresi, orta ve yüksek frekanslarda optimum aralığın altına düşmüştür.



Şekil 4. 90 Ernst Egri Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

Konferans salonunun mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 parametresi, olması gereken 0 dB değerinden düşük çıkmıştır (Şekil 4. 91). Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini tüm frekanslarda 0 dB'nin üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin konforlu düzeylere gelmesini sağlamıştır.



Şekil 4. 91 Ernst Egri Konferans Salonu – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Ernst Egli Konferans Salonu'nun mevcut durum simülasyon sonucunda 0,42 olarak elde edilen ve zayıf düzeyde olan STI değeri, akustik iyileştirme ile 0,81'e çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri, anlaşılabilirliğin mükemmel olduğu aralıkta olduğundan, önerilen senaryo, bu parametre için uygundur (Tablo 4. 23).

Tablo 4. 23 Ernst Egli Konferans Salonu İçin Hedeflenen STI Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Ses İletim İndeksi (STI)	0,30-0,45 zayıf/ 0,45-0,60 tatmin edici/ 0,60-0,75 iyi/ 0,75-1,00 mükemmel

4.7. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Misak-ı Millî Konferans Salonu İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde yer alan Misak-ı Millî Konferans Salonu için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

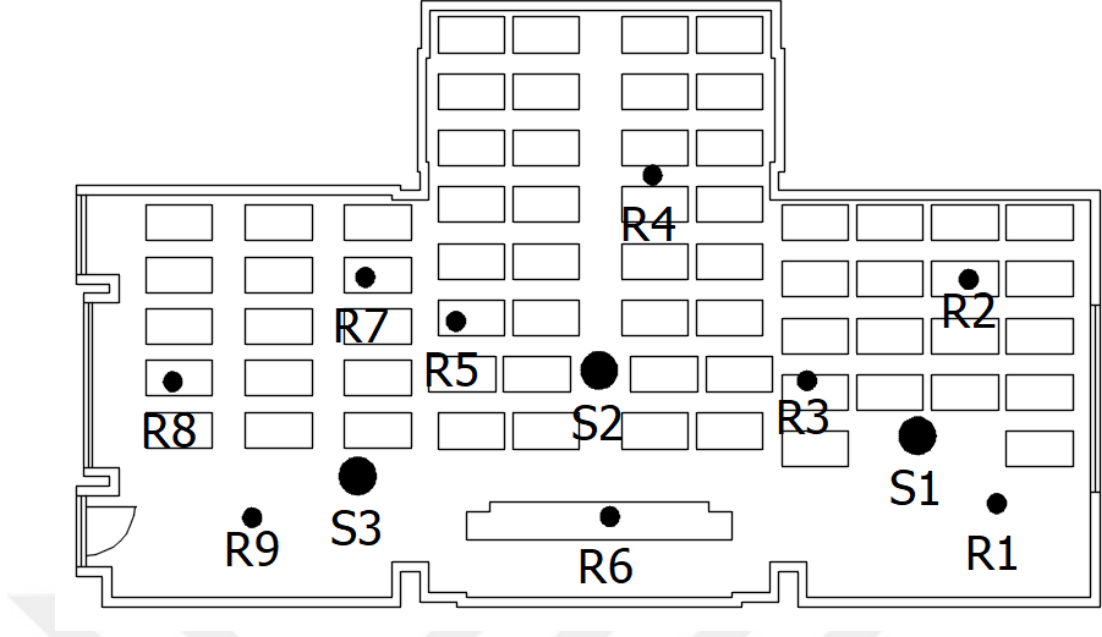
4.7.1. Misak-ı Millî Konferans Salonu'nda mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Konferans salonu hacminin işlevi itibarıyla önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri Tablo 4. 24'te yer almaktadır.

Tablo 4. 24 Misak-ı Millî Konferans Salonu İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)	$V = \sim 1037 \text{ m}^3$ RT= 0,80 s

Modelleme ve simülasyon çalışmalarında, hacim akustiği ölçümleri ile paralel olmak üzere, 3 adet ses kaynağı ve dinleyici alanının akustik özelliklerini sunacak şekilde 9 adet dinleyici noktası tanımlanmıştır (Şekil 4. 92).



Şekil 4. 92 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki bu konferans salonunda, belirlenen noktalardan ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır.

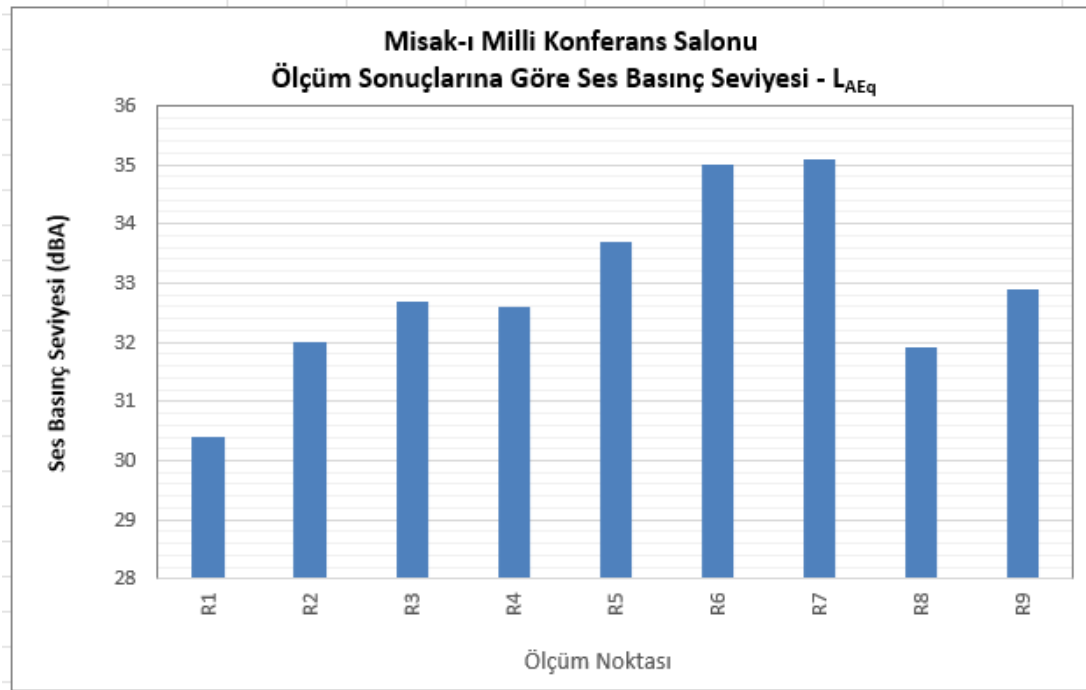
Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 93'te sunulmuştur.



Şekil 4. 93 Misak-1 Millî Konferans Salonu - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafları (R1 ve R9)

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan bu konferans salonunda ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Ölçümler sırasında çevre yüzeylere çok yakınlaşmayarak en az düzeyde yansıma alması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölçüm süresi arka plan ölçümlerinde 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi ölçümleri eşdeğer gürültü düzeyi (L_{Aeq}) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri Şekil 4. 94'te sunulmuştur.



Şekil 4. 94 Misak-1 Milli Konferans Salonu - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki Misak-1 Millî Konferans Salonu'nun ölçüm sonuçları, her bir ölçüm noktası için, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB sınırından düşük değerlerde bulunduğundan, arka plan gürültüsü bakımından işlevine uygun bir hacimdir.

Konferans salonunun yansıma süresi ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Şekil 4. 95'te sunulmuştur.

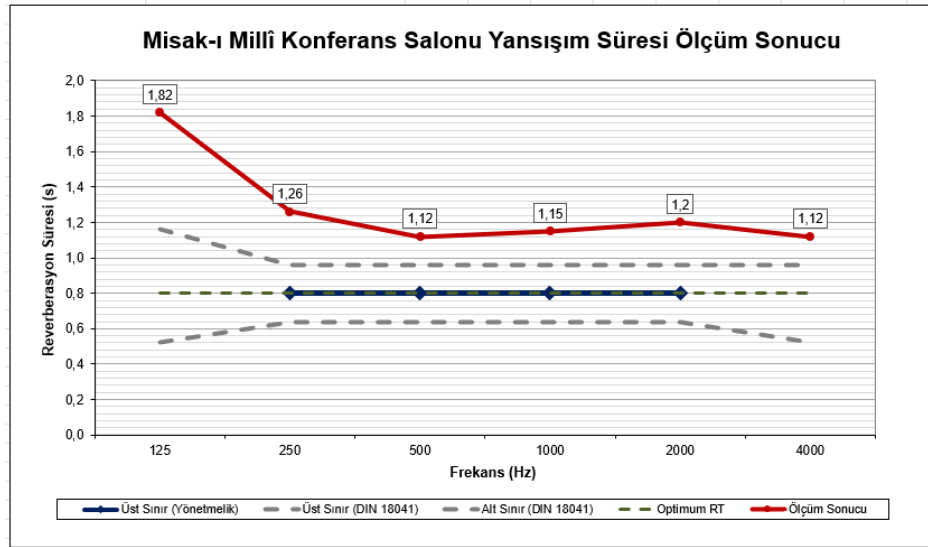


Şekil 4. 95 Misak-ı Millî Konferans Salonu - Yansışım Süresi Ölçüm Fotoğrafları (S2-R6 ve S1-R9)

Ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. Her ölçüm noktası için yansışım süresi parametresinin frekans bantlarındaki genel dağılımı elde edilmiştir.

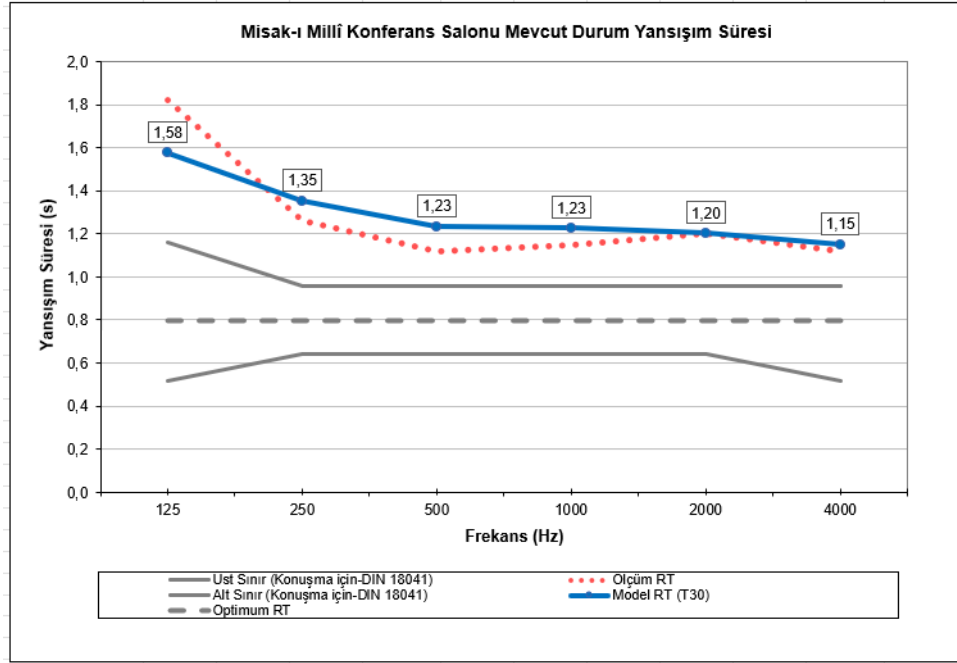
Mevcut Durum Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

Misak-ı Millî Konferans Salonu'nun mevcut akustik durumu için elde edilen yansışım süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 96'da sunulmuştur.



Şekil 4. 96 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

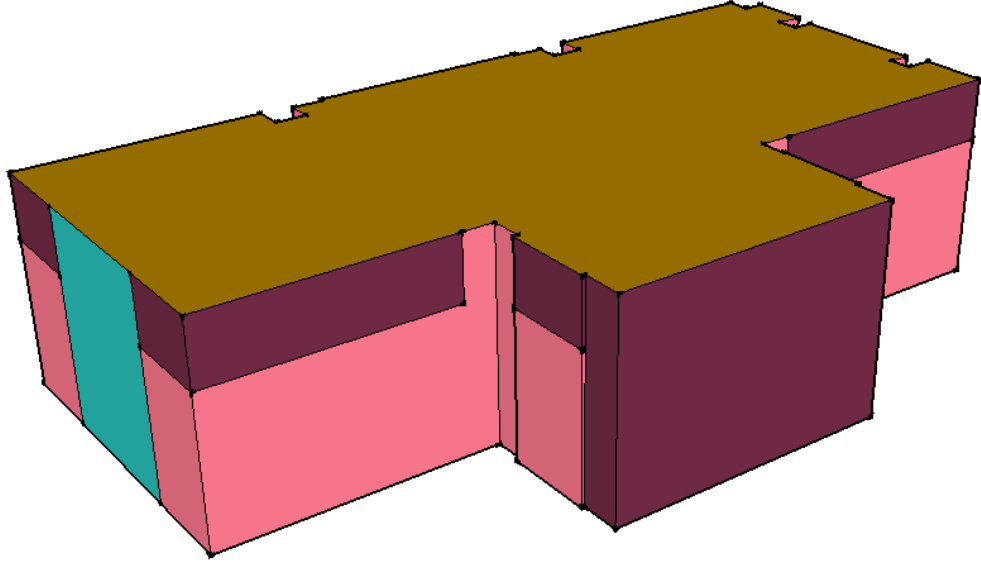
Konferans salonunun mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçümlerinden elde edilen RT değeri sonuçları, optimum değer aralığına çok yakındır (Şekil 4. 96). 1037 m³ hacme sahip olan bu salonun, derslik işlevi için optimum RT değeri 0,80 saniyedir.



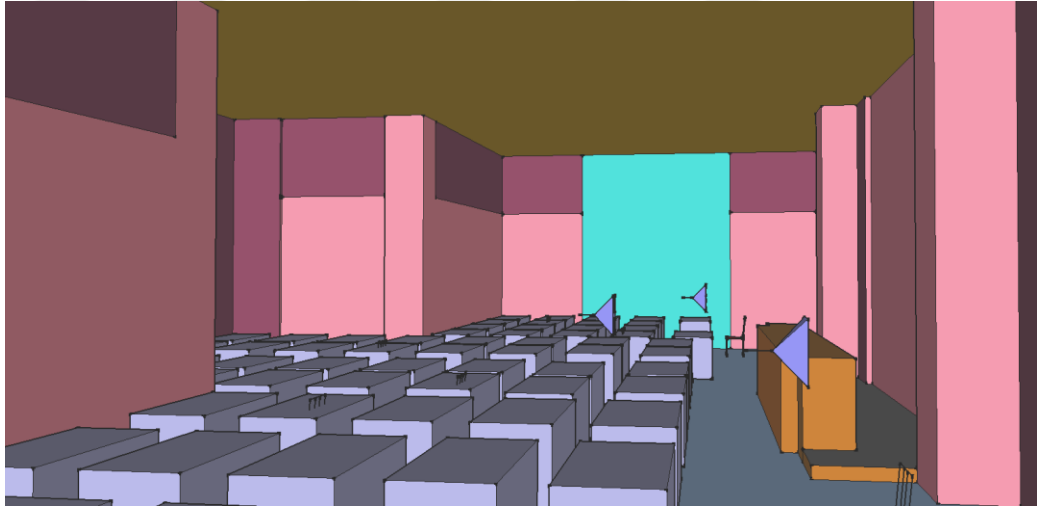
Şekil 4. 97 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

Misak-ı Millî Konferans Salonu için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, EASE 4.4 simülasyon programı yardımı ile yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyonda elde edilen mevcut durum RT sonuçları, ölçüm sonuçlarına göre yüksek çıktığı için modelde kullanılan malzemeler, adım adım farklı versiyonlar oluşturularak kalibre edilmiştir (Şekil 4. 97).

Konferans salonunun mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modelin görselleri aşağıda sunulmuştur.



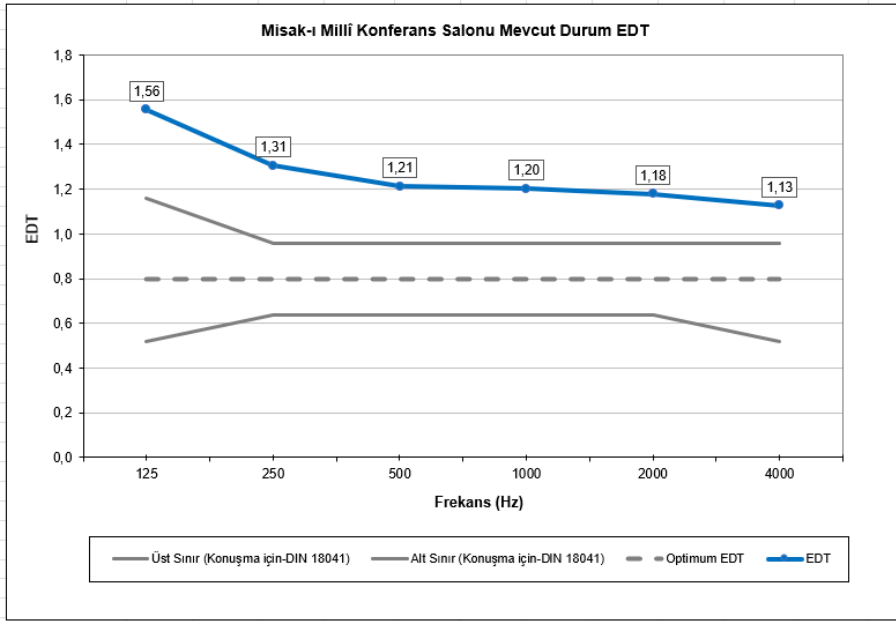
Şekil 4. 98 Misak-ı Millî Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görşelleri – 1



Şekil 4. 99 Misak-ı Millî Konferans Salonu – Akustik Simülasyon Modeli Görşelleri – 2

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

Konferans salonunun mevcut durum EDT grafiğı Şekil 4. 100’de verilmiştir

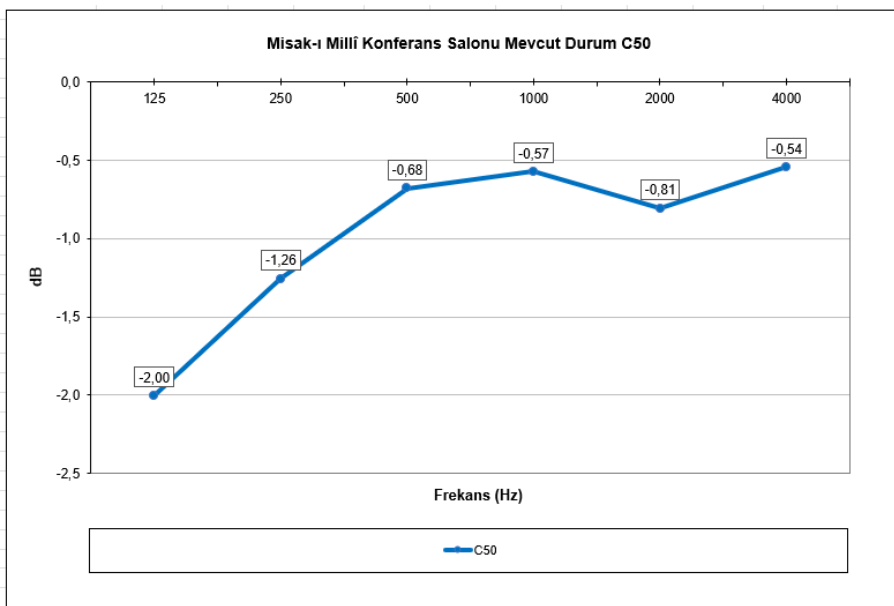


Şekil 4. 100 Misak-ı Milli Konferans Salonu – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Mevcut durum simülasyon sonuçlarına göre, EDT parametresi sonuçları optimum düzey aralığının biraz yukarisındadır. Duvar da yutucu yüzeyler kurgulanarak kolaylıkla iyileştirme yapılabilir.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri, incelenen konferans salonu için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında, kriter değer olan 0 dB sınırında elde edilmiştir (Şekil 4. 101).



Şekil 4. 101 Misak-ı Milli Konferans Salonu – Mevcut Durum C50 Sonuçları

Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Gerçekleştirilen kalibre edilmiş mevcut durum simülasyon sonucunda, STI değeri 0,57 olarak elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin tatmin edici olduğu değer aralığında olduğundan, eklenecek bir miktar yutucu malzeme ile iyi düzeylere gelecektir.

Mevcut Durum Sonuç Değerlendirmesi

Form, hacim büyüklüğü ve malzeme yüzeyleri olarak diğer dersliklerden ayrıran Misak-ı Millî Konferans Salonu hacminin RT sonuçları düşük frekanslarda yüksek, orta ve yüksek frekanslarda yönetmelik sınır değerine yakın çıkmıştır. İncelenen tüm hacim akustiği parametreleri için optimum değerlere yakın olan bu mahal için, prensip öneri olarak duvarların ahşap olmayan bölümlerine akustik ahşap paneller kurgulanabilir. Az miktarda yutucu yüzey eklendiğinde incelenen tüm parametrelerde optimum değer aralığına gireceği öngörülerek iyileştirme senaryoları simüle edilmemiştir.

4.8. MSGSÜ Fındıklı Kampüsü Orta Hol İçin Akustik Konfor Değerlendirmesi

Bu bölüm kapsamında, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde yer alan Orta Hol için hedef kriterler ile hacim akustiği ölçümleri ve simülasyon çalışmalarının sonuçları açıklanmıştır.

Tez çalışması kapsamında akustik konfor kaygısı duyulan hacimlerin başında gelen Orta Hol dersliği (Şekil 4. 102), düşeyde bulunan yüzeylerin birbirine paralel ve cam olması, hacmin 10m üzerinde tavan yüksekliğine ulaşması ve üst kattaki koridorla arasında açıklık olması nedeniyle yansıma süresi ölçüm sonuçlarının yüksek çıkması beklenen bir mahaldir.



Şekil 4. 102 Orta Hol

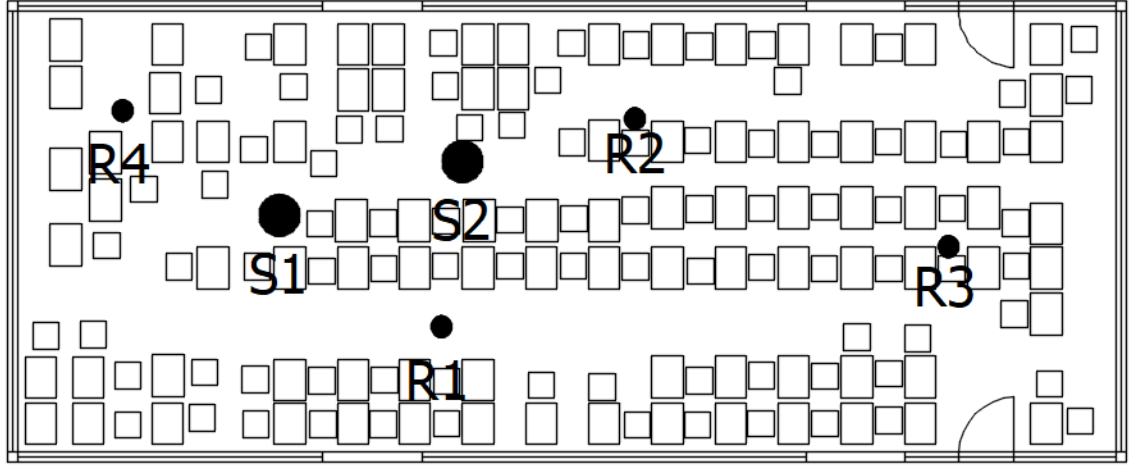
4.8.1. Orta Hol mevcut akustik durumun değerlendirilmesi

Orta Hol hacminin işlevi itibariyle önem arz etmekte olan hacim akustiği parametreleri incelenmiştir. Mahalin hedeflenen optimum hacim akustiği kriterleri Tablo 4. 25’te yer almaktadır.

Tablo 4. 25 Orta Hol İçin Hedeflenen Hacim Akustiği Parametreleri Değerleri

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değer Kabulleri
Yansıma Süresi (RT)	$V = \sim 1410 \text{ m}^3$ $RT = 0,80 \text{ s}$

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü’nde bulunan 110 kişilik Orta Hol atölyesinin ölçüm ve simülasyon çalışmalarında, bir adet 10,5 metre yüksekliğindeki tavan hizasında, bir adet de 5 metre yüksekliğindeki tavan hizasında olmak üzere 2 kaynak ve hacmin farklı alanlarında 4 alıcı nokta belirlenmiştir (Şekil 4. 103).



Şekil 4. 103 – Orta Hol - Alıcı ve Kaynak Noktaları Planı

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki Orta Hol atölyesinde, belirlenen noktalardan ISO 16032 standardına uygun olarak arka plan gürültüsü ölçümleri ve ISO 3382-1 standardı uyarınca yansısim süresi ölçümleri yapılmıştır.

Akustik ölçümler ders saatleri dışında yapılmış olup, koridor açıklığından gürültü geldiği anlarda birkaç kez tekrarlanmıştır.

Arka plan ölçümlerine ilişkin fotoğraf Şekil 4. 104'te sunulmuştur.

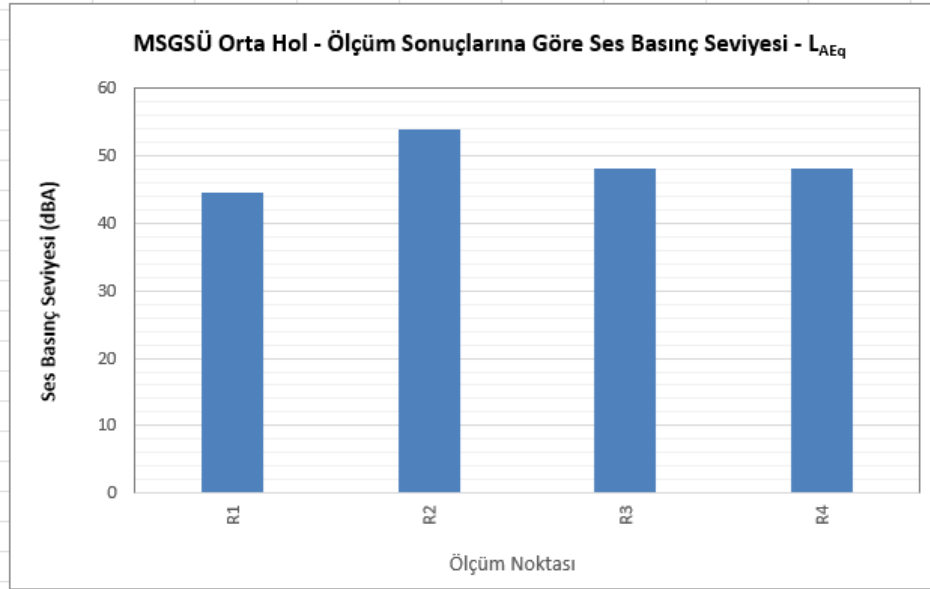


Şekil 4. 104 – Orta Hol - Arka Plan Gürültüsü Ölçüm Fotoğrafı (R3)

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü'nde bulunan bu atölyede ses basınç düzeyi ölçümleri için Nor140 model Tip 1 sınıfı, kalibre akustik analizör kullanılmıştır. Ölçüm süresi arka plan gürültü düzeyi ölçümleri için 2 dakika olarak belirlenmiş ve ses basınç düzeyi (LAeq) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında ulaşılan arka plan gürültü düzeyleri aşağıda Tablo 4. 26'da sunulmuştur.

Tablo 4. 26 Orta Hol – Arka Plan Gürültü Düzeyleri (LAeq)

Frekans (Hz)	Ortalama gürültü düzeyleri – dB (LAeq)			
	R1 Alıcı Noktası	R2 Alıcı Noktası	R3 Alıcı Noktası	R4 Alıcı Noktası
125	41,3	43,5	43,8	41,7
250	38,1	42,3	37,0	39,8
500	36,7	46,5	42,5	40,1
1000	34,3	41,9	36,4	37,3
2000	30,5	35,8	30,7	35,3
4000	23,5	29,3	21,2	34,7



Şekil 4. 105 – Orta Hol - Ses Basınç Seviyesi Ölçüm Sonuçları

MSGÜ Fındıklı Kampüsü içerisindeki Orta Hol atölyesinin ölçüm sonuçları, yerel yönetmelikte derslikler için kabul edilebilir gürültü düzeyi olan 43 dB sınırının üzerinde bulunduğundan, mevcut durumda ders işlevi için uygun değildir.

Orta Hol dersliğinin yansışım süresi ölçümlerine ilişkin görsel Şekil 4. 106'da sunulmuştur.

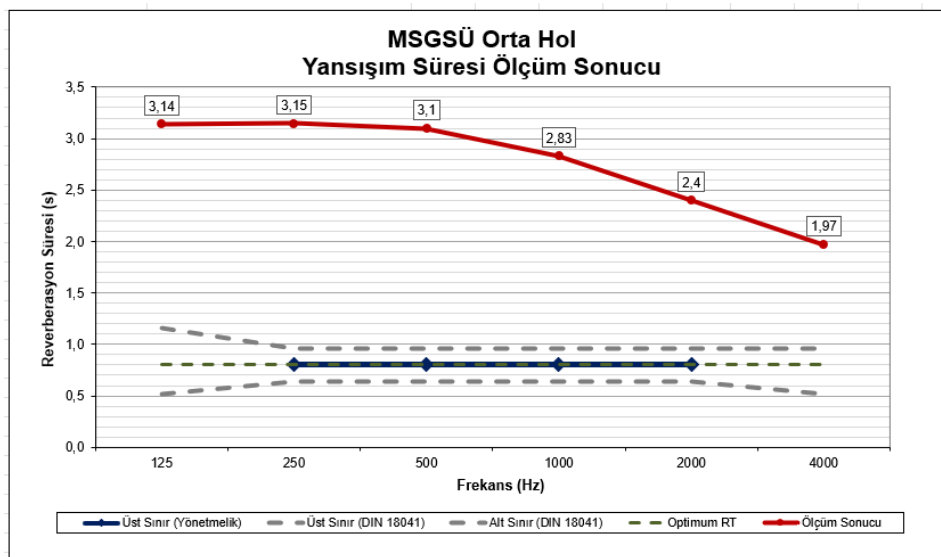


Şekil 4. 106 Orta Hol - Yansışım Süresi Ölçüm Fotoğrafı (S2-R2)

Ölçme belirsizliklerini azaltmak amacıyla tüm alıcı noktalarda en az iki kere RT ölçümü yapılmıştır. Her ölçüm noktası için yansışım süresi parametresinin frekans bantlardaki genel dağılımı elde edilmiştir.

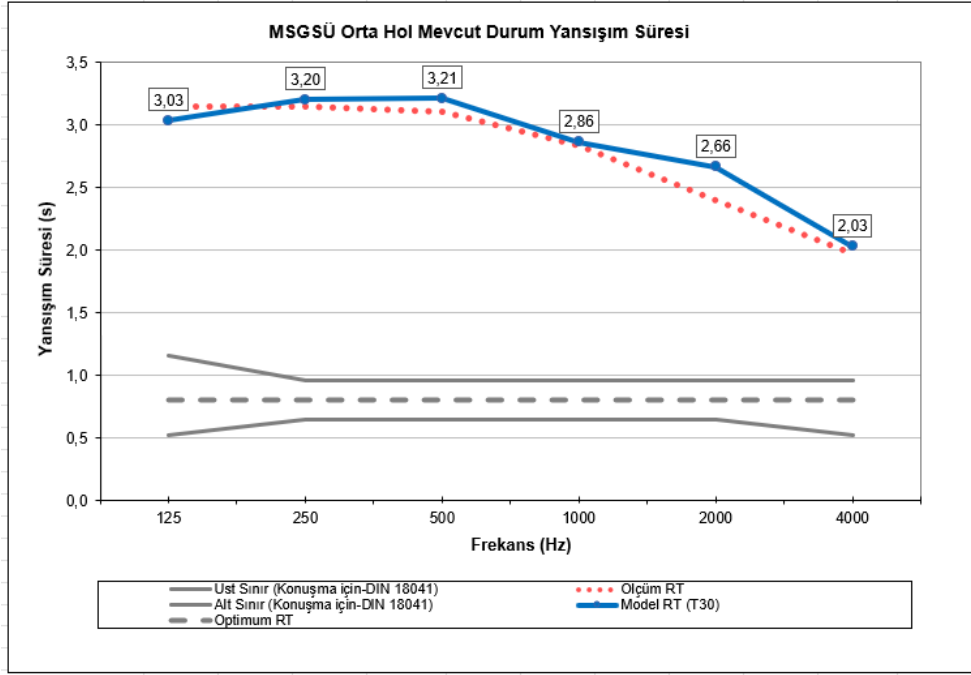
Mevcut Durum Yansışım Süresi (RT) Sonuçları

Orta Hol hacminin mevcut akustik durumu için elde edilen yansışım süresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 4. 107'de sunulmuştur.



Şekil 4. 107 Oktav bant frekanslarda ölçüm sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

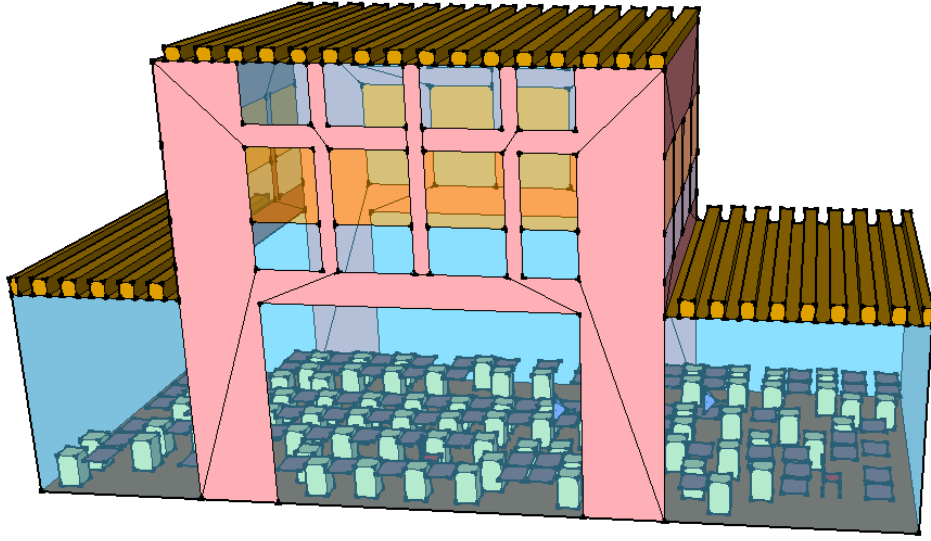
Orta Hol atölyesinin mevcut durumu için yapılan hacim akustiği ölçüm sonuçlarında RT değeri, optimum değer aralığının ve yerel yönetmelik kriterinin oldukça üzerinde elde edilmiştir (Şekil 4. 107). 1410 m³ hacme sahip olan bu dersliğin, derslik işlevi için optimum RT değeri 0,80 saniyedir.



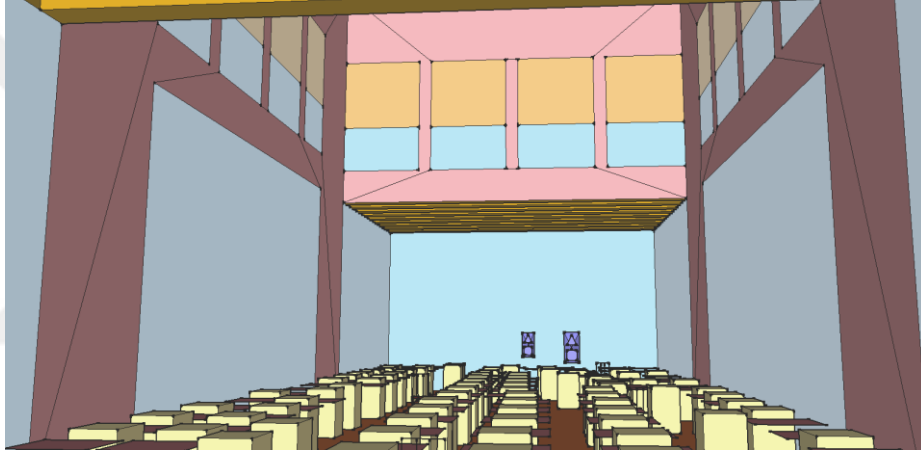
Şekil 4. 108 Oktav bant frekanslarda simülasyon sonuçlarına göre elde edilen RT değerleri

Orta Hol için RT ölçüm sonuçları analiz edildikten sonra hazırlanan üç boyutlu model, yerinde gözlemlenen malzemeler kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon ile elde edilen mevcut durum RT sonuçları, ölçüm sonuçlarına göre bas frekanslarda düşük çıktığı için modelde kullanılan malzemeler, özellikle düşük frekanslar için ölçüm sonucuna göre kalibre edilmiştir (Şekil 4. 108).

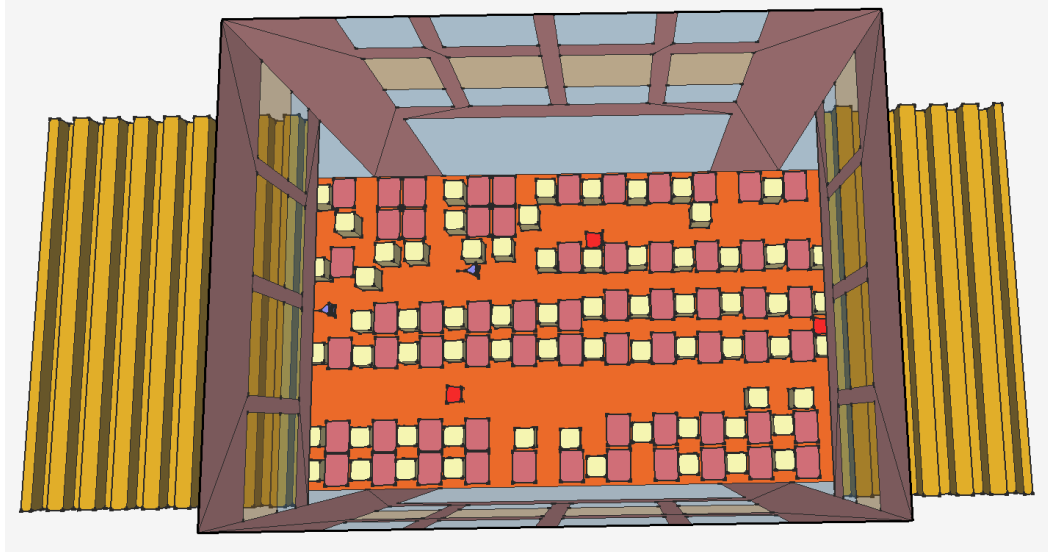
Orta Hol atölyesinin mevcut durum hacim akustiği simülasyonu için hazırlanan üç boyutlu modellerin görselleri Şekil 4. 109, Şekil 4. 110 ve Şekil 4. 111 olarak sunulmuştur.



Şekil 4. 109 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 1



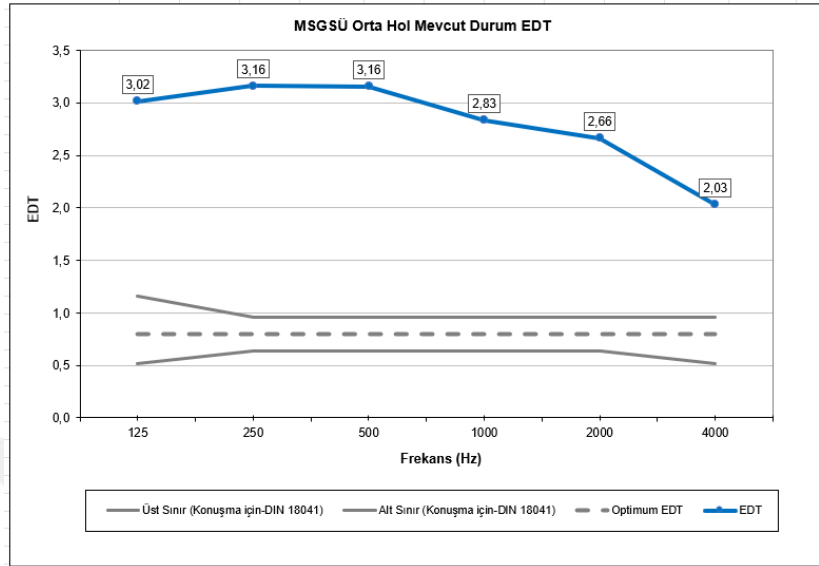
Şekil 4. 110 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 2



Şekil 4. 111 Orta Hol – Akustik Simülasyon Modeli Görselleri – 3

Mevcut Durum Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

Konferans salonunun mevcut durum EDT grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 4. 112).

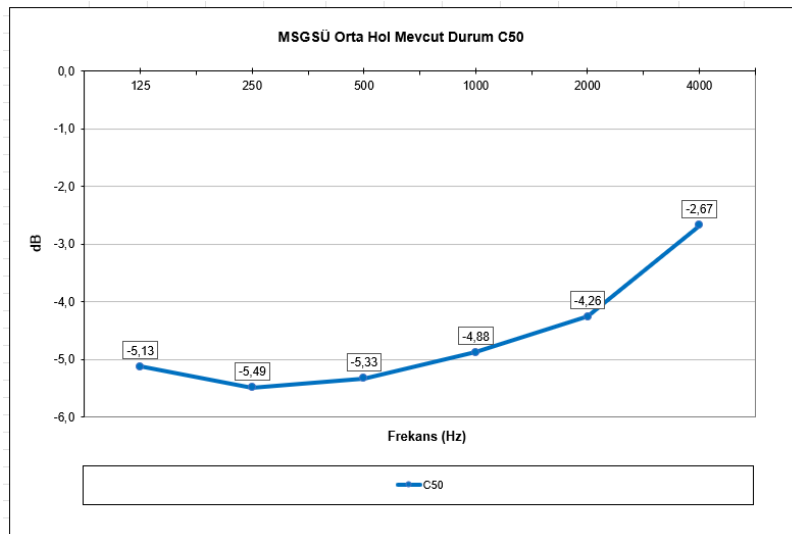


Şekil 4. 112 Orta Hol – Mevcut Durum EDT Sonuçları

Mevcut durum simülasyon sonuçlarına göre, EDT parametresi sonuçları yansıtım süresi ile bağlantılı olarak optimum düzey aralığının oldukça yukarısındadır.

Mevcut Durum Netlik (C50) Sonucu

Konuşma netliği parametresi olan C50 değeri, incelenen atölye için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında, kriter değer olan 0 dB'in altında olması nedeniyle akustik konforu sağlayamamıştır (Şekil 4. 113).



Şekil 4. 113 Orta Hol – Mevcut Durum C50 Sonuçları

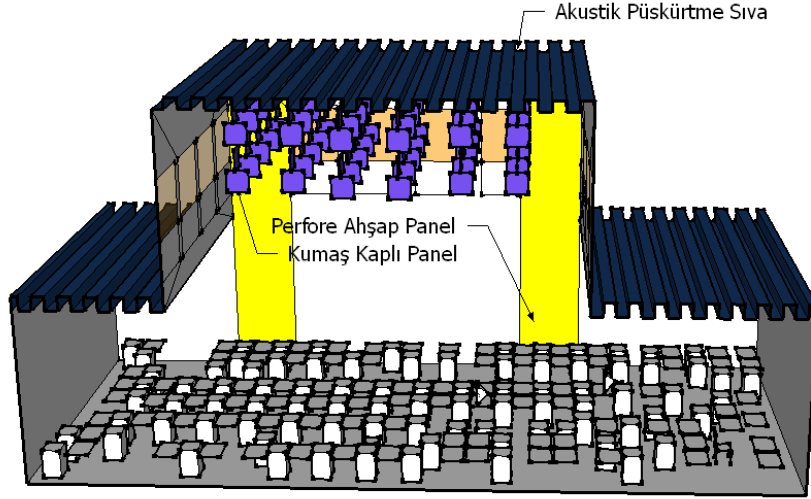
Mevcut Durum Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Orta Hol için gerçekleştirilen kalibre edilmiş mevcut durum simülasyon sonucunda, Ernst Egli Konferans Salonu mevcut durum sonucu ile aynı STI değeri olan 0,42 elde edilmiştir. Ulaşılan STI değeri anlaşılabilirliğin zayıf olduğu değer aralığındadır.

4.8.2. Orta Hol’de akustik iyileştirme çalışmaları

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fındıklı Kampüsü’nde bulunan Orta Hol dersliğinin mevcut durumu, akustik ölçüm ve simülasyon yöntemi ile analiz edildikten sonra, optimum düzeylerinden oldukça uzak olan hacim akustiği parametre değerlerinde iyileştirmeler yapmak için, üç boyutlu model ile farklı senaryolar oluşturulmuş ve iyileştirme önerileri üretilmiştir.

Mevcut durum simülasyonu ve ölçümlerde çıkan sonuçlara göre hacimdeki yutucu yüzeylerin olması gerekenden az olduğu belirlenmiştir. Optimum RT değerlerinden oldukça uzak olan sonuçlar elde edilmesinin sebebi, mevcut durumdaki yansıtıcı yüzeylerdir. Buna ek olarak yansıtıcı yüzeylerin paralellliği hacim akustiği kusuru yaratırken, üst kat kotundaki koridor açıklıkları ve zayıf olan sınır malzemeleri gürültü denetimini güçleştirmektedir. Tavan yüksekliğinin bu kadar fazla olduğu bu derslikte, düşeyde ve tavanda yutucu malzemeler yardımı ile elde edilecek yansıma süresi, mevcut duruma kıyasla optimum değere daha yakın olacaktır. Düşeyde hacmin sınırları cam yüzey olduğundan tavanda alınacak önlemlere ek olarak, tavandan düşey sarkan yutucu elemanlar ile akustik konforun iyileştirilmesi düşünülmüştür. Akustik iyileştirme çalışmalarında, ölçüm sonuçları ve mevcut durum simülasyon sonuçları kıyaslanırken modelde boş olarak kurgulanan dinleyici alanları yarı dolu hale getirilmiştir.



Şekil 4. 114 Orta Hol – Akustik İyileştirme Simülasyon Modeli Görseli

İyileştirme çalışmalarının son senaryosunda zemin döşeme malzemesi mevcut durumdaki gibi bırakılmış, tavanda; İTÜ 214 No’lu derslikte, Çatı 4’te ve Ernst Egli Konferans Salonu’nda da öneri senaryoya dahil edilen püskürtme akustik sıva önerilmiştir (Şekil 4. 114). Düşeyde yutuculuğu artırarak akustik kusurların önüne geçmek için tavandan sarkan akustik kumaş kaplı paneller ile duvara uygulanan perfore ahşap paneller kurgulanmıştır.

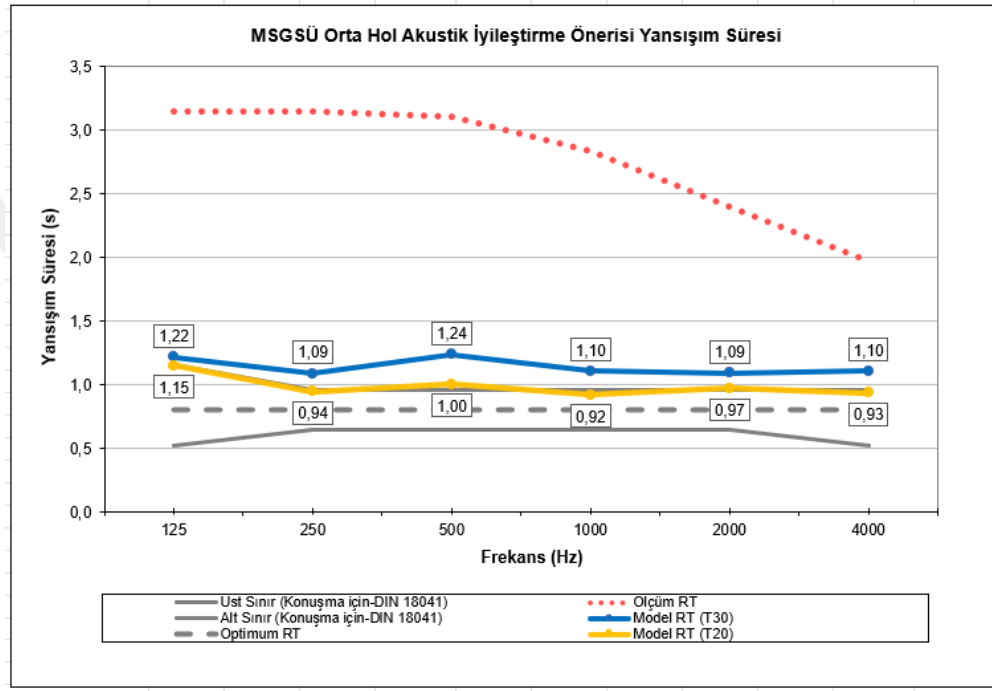
Mevcut durum ve öneri senaryo yüzey malzemeleri aşağıda Tablo 4. 27’de aktarılmıştır.

Tablo 4. 27 Orta Hol – Senaryolara Göre Malzeme Uygulama Alanları

Senaryo	Mevcut Durum	Öneri Senaryo
Tavan	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Püskürtme Akustik Sıva
Duvar	Cam	Cam
	Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)	Perfore Ahşap Panel
		Mevcut Mimari Bitiş (Sıva)
Döşeme	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)	Mevcut Mimari Bitiş (Taş)
Diğer	-	Kumaş Kaplı Akustik Paneller

Akustik İyileştirme Önerisi Yansıyım Süresi (RT) Sonuçları

Mevcut durum ölçüm ve simülasyon analizleri sonuçlarına göre tüm frekanslarda optimum değerin oldukça yukarısında olan yansıyım süresi, yapılan iyileştirmeler ile akustik konfor için uygun aralığa yakın hale getirilmiştir (Şekil 4. 115). Öneri senaryo olarak tavanda akustik püskürtme sıva ve duvarda perfore ahşap panel uygulamasına ek olarak, tavandan sarkıtılan kumaş kaplı akustik paneller ile oluşturulan versiyon seçilmiştir.

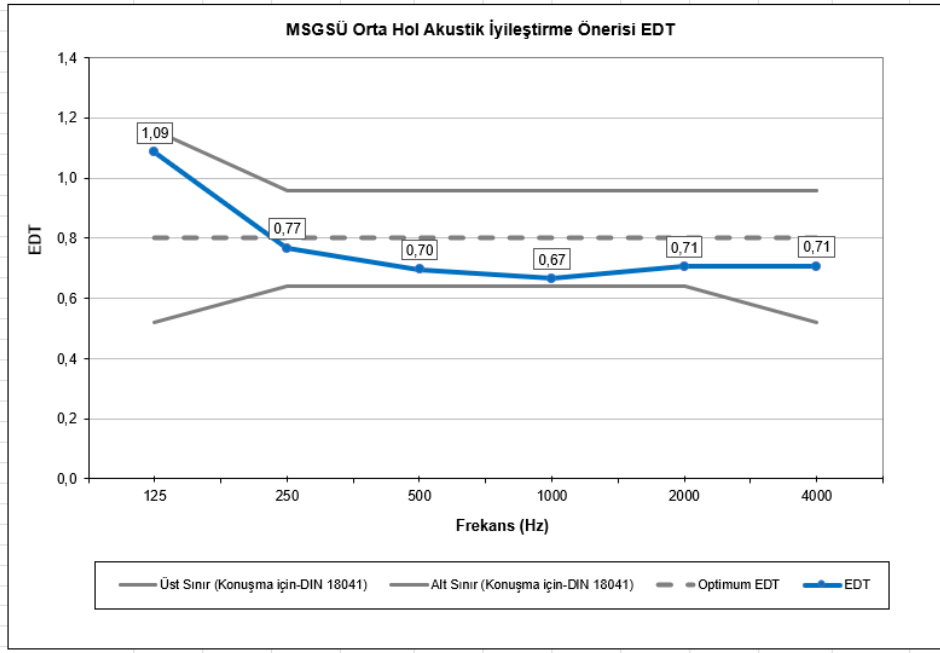


Şekil 4. 115 Orta Hol – İyileştirme Önerisi RT Sonuçları

Orta Hol atölyesi için oluşturulan akustik iyileştirme senaryosu, elde edilen RT değerlerini optimum değer aralığına yaklaştırsa da paralel yansıtıcı yüzeyler ve açıklıktan kaynaklanan zayıf gürültü denetimi performansı, akustik kusurları beraberinde getirecektir.

Akustik İyileştirme Önerisi Erken Düşme Süresi (EDT) Sonucu

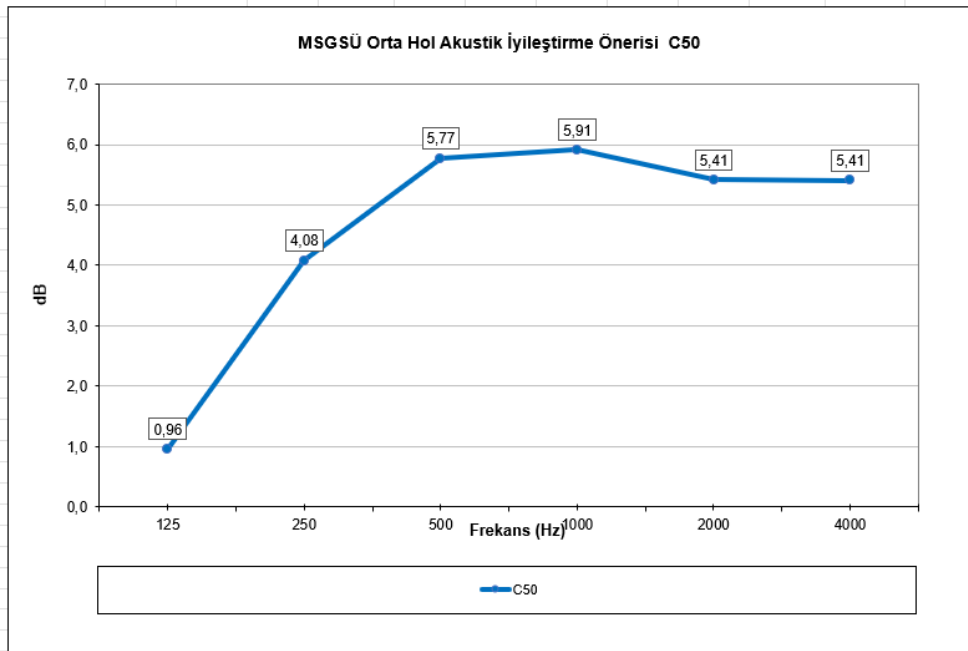
Orta Hol dersliğinin akustik iyileştirme senaryosu sonucu elde edilen EDT grafiği aşağıda sunulmuştur (Şekil 4. 116). Bu derslik modelinde geliştirilen akustik iyileştirme öneri senaryosunun simülasyon sonuçlarına göre erken düşme süresi, tüm frekanslarda optimum aralığa girmiştir.



Şekil 4. 116 Orta Hol – Akustik İyileştirme Önerisi EDT Sonucu

Akustik İyileştirme Önerisi Netlik (C50) Sonucu

Orta Hol atölyesinin mevcut durum akustik simülasyon sonuçlarında C50 parametresi, tüm frekanslarda, optimum değer olan 0 dB'den düşük çıkmıştır. Yapılan akustik iyileştirme çalışması, bu parametre değerini 0 dB'in üzerine çıkararak konuşma netliği ve anlaşılabilirliğinin konforlu düzeylere gelmesini sağlamıştır (Şekil 4. 117).



Şekil 4. 117 Orta Hol – Akustik İyileştirme Önerisi C50 Sonuçları

Akustik İyileştirme Önerisi Ses İletim İndeksi (STI) Sonucu

Orta Hol hacminin mevcut durum simülasyon sonucunda 0,42 olarak elde edilen ve zayıf düzeyde olan STI değeri, akustik iyileştirme ile 0,72'ye çıkmıştır. Ulaşılan STI değeri, anlaşılabilirliğin iyi olduğu aralıktadır.

Yapılan çalışmalar kapsamında, akustik konforun en zayıf olduğu, MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde bulunan bu hacim için, çalışılan diğer dersliklerdeki akustik iyileştirme senaryolarından malzemeler seçilerek prensip öneri getirilmiş ve bu öneri senaryo, simüle edilerek, incelenen hacim akustiği parametrelerinin sonuçları aktarılmıştır.





5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

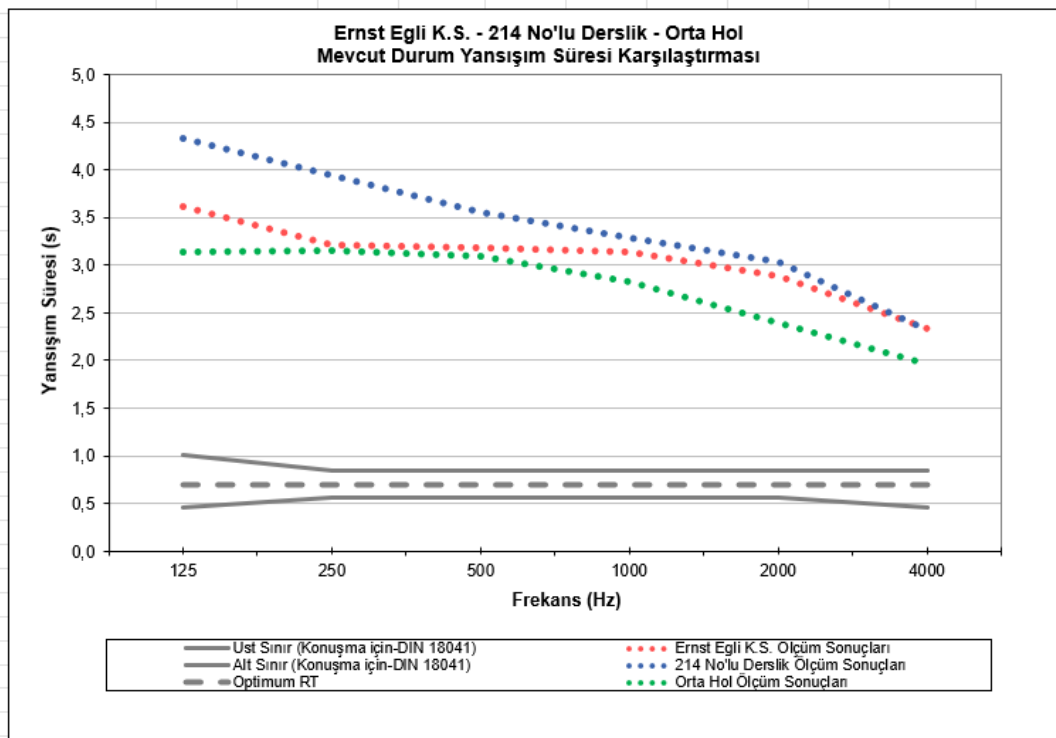
Üniversite derslikleri işleve bağlı olmakla birlikte geleneksel derslik algısından çıkarak, kalabalık kullanıcılara hizmet eden ve hacimlerin büyüklüğünden kaynaklı doğal akustik tasarımın zorlaştığı mekânlardır. Akademik alanlar için bilgi aktarımında vazgeçilmez olan konuşma eyleminin doğru ve anlaşılır bir şekilde dinleyene ulaşması sağlanmalıdır. Sesin anlaşılabilirliği ve iletimi hacim akustiği parametrelerinin optimum değerleri sağlaması ile mümkün olacaktır.

Hacim olarak geleneksel dersliklerden büyük seçilen dersliklerin optimum yansıma süresi değerleri, yerel yönetmelikte belirtilen üst sınır olan 0,80 seviyelerine yakın hesaplanmıştır. İTÜ Taşkışla Kampüsü'nde seçilen 214 numaralı derslikte gerçekleştirilen akustik ölçüm sonuçlarında RT, 3 saniyenin üzerinde çıkmıştır. Hacim olarak bu derslik ile benzer özellikler gösteren MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'ndeki Ernst Egli Konferans Salonu yansıma süresi ölçüm sonuçları da aynı doğrultuda, 3 saniyenin üzerinde elde edilmiştir.

214 numaralı dersliğin mimari bitiş malzemesi sıva yoğunlukta, belirtilen konferans salonunda ahşap ve cam başta olmak üzere sıva yüzeyler de mevcuttur. Yutuculuk olarak zayıf olan bu yüzey malzemeleri benzer form ve hacimde olan iki mahalde yakın RT sonuçları alınmasına sebep olmuştur. Toplam yutuculuk arttığında RT değeri düşüp optimum değere yaklaşacağından iyileştirme önerisi çalışmaları kapsamında yutuculuğu mevcut mimari bitiş malzemelerinden yüksek malzemeler seçilmiştir. Ancak bu önlemlerin yatay ve düşeyde dengelenmesi gerekmektedir. Sadece tavanda yutuculuk artırılan senaryoda, birbirine paralel düşey yüzeylerde yansımalar devam etmiş ve etkili bir sonuç alınamamıştır. Bununla birlikte kulak hizasında yutucu malzeme kullanımı, STI ve netliği olumlu yönde etkileyebilir.

MSGSÜ Fındıklı Kampüsü'nde analiz edilen Orta Hol atölyesinin RT sonuçları da oldukça yüksek çıkmış olup bu iki derslik ile benzer özellikleri vardır. Formun farklılaştığı bu hacimde ses yutuculuğu bakımından zayıf olan cam yüzeyler paralel

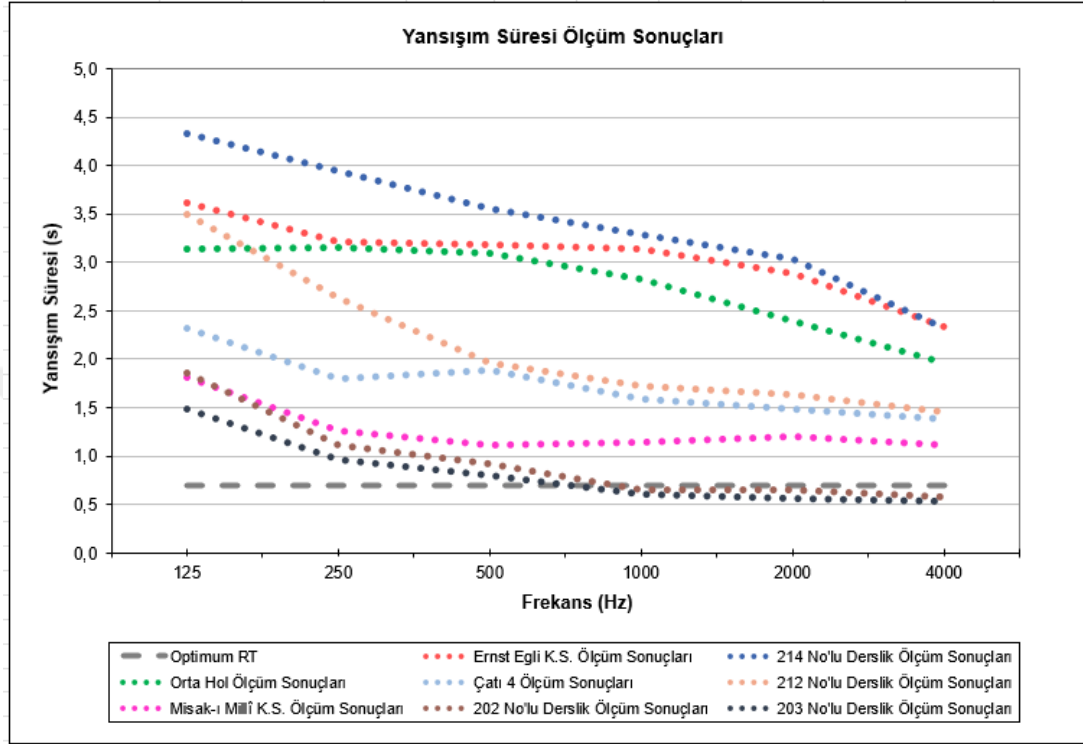
olarak kullanılmıştır. Buna karşın, Orta Hol mahalının ölçüm sonucu grafiğine bakıldığında, 125 Hz frekans bandında diğer dersliklerin aksine yukarı yönde hareket göstermemiştir (Şekil 5. 1). Bas frekanslarda, yüksek frekanslara göre daha iyi bir performans gösteren cam yüzey bitiş malzemesi, bu sonucun alınmasında etkili olmuştur. Bununla birlikte, üst katta bulunan koridor açıklıklarının da etkisiyle hacim akustiği kusurlarından biri olan yankı oluşumu meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından elde edilen verilere göre yansıtıcı yüzey malzemeleri paralel olarak kurgulandığında RT değeri olması gerekenin çok üzerinde çıkmaktadır. Akustik iyileştirme çalışmaları yapılırken bu paralelliğin dersliklerde bozulması zor olduğundan düşeyde, mümkün ise kulak hizasında yutucu malzeme kullanarak önlem almak gerekmektedir. Orta Hol atölyesindeki gibi yüksek tavan ve cam düşey yüzeylerin bulunduğu durumlarda tavandan sarkıtılan yutucular da akustik konforun iyileştirilmesinde etkili olacaktır.



Şekil 5. 1 Ernst Egli Konferans Salonu-214 No'lu Derslik-Orta Hol Yansıma Süresi Ölçüm Sonuçları

Tez kapsamında seçilen, hacim, form ve yüzey malzemelerinde farklılık gösteren tüm dersliklerin, RT ve diğer akustik parametre ölçüm ve simülasyon sonuçları farklı olsa da her birinde düşük frekanslara gidildikçe hacmin optimum akustik parametre değerinden yukarı yönde uzaklaşmıştır (Şekil 5. 2). Bu bağlamda üniversite

dersliklerinde ve benzer yapılarda düşük frekanslar için yutuculuk konusuna dikkat edilebilir. Akustik konforun iyi olmadığı durumlarda toplam yutuculuk artırılmak isteniyorsa, orta ve düşük frekans aralığında ses yutuculuğu iyi malzemeler düşünülerek öneri senaryolar kurgulanabilir.



Şekil 5. 2 Analiz Edilen Tüm Dersliklerin Yansıma Süresi Ölçüm Sonuçları

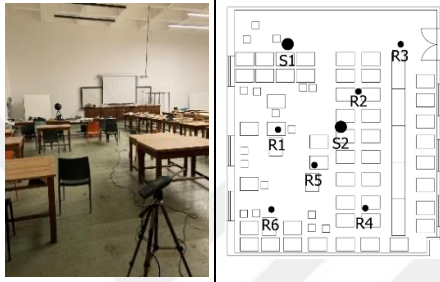
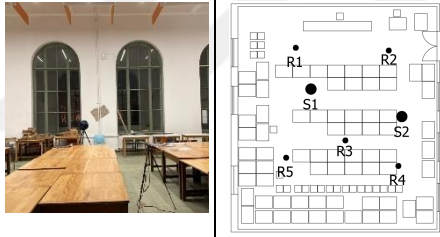
Daha önce akustik iyileştirme yapılmış olan 202 ve 203 numaralı dersliklerin ölçüm sonuçlarında, orta ve yüksek frekanslarda optimum RT aralığı elde edilmiş olsa da düşük frekans bandında RT sonuçları olması gereken değerden yüksek çıkmıştır. Çalışılan akustik iyileştirme senaryosunda, her iki derslik için de arkasında 30 mm taş yünü bulunan, bas yutucu perfore ahşap panel tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen tüm dersliklerde, düşük frekans RT sonuçları, diğer frekans bant sonuçlarına göre düşük çıktığından, birkaç akustik iyileştirme senaryosunda daha bu panel kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen ve İTÜ Taşkışla Kampüsü'nde bulunan 212 ve 214 numaralı derslikler, birbiri ile benzer hacim ve forma sahiptir. Daha önce kısmi akustik iyileştirme yapılmış olan 212 numaralı derslik, 214 dersliğine göre optimum aralığa daha yakın olsa da ders işlevine uygun değerleri sağlayamamıştır. Bu aynı fiziki özelliklere sahip iki hacim için, farklı öneri senaryolar geliştirilmiştir. Prensip olarak optimum yansıma süresi değerinin üzerinde olan mevcut durum sonuçlarında, toplam

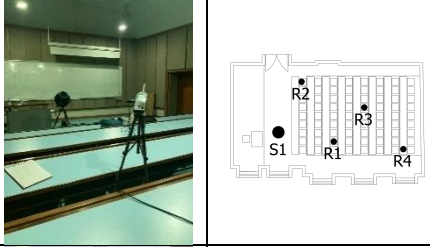
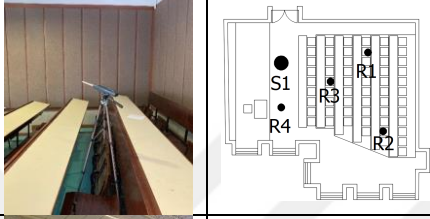
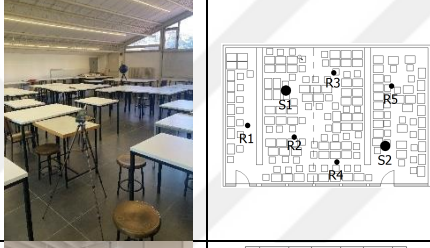
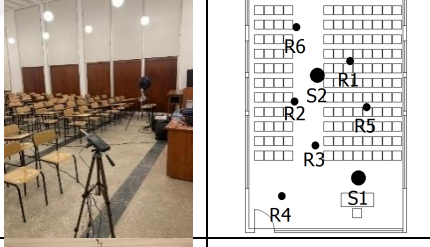
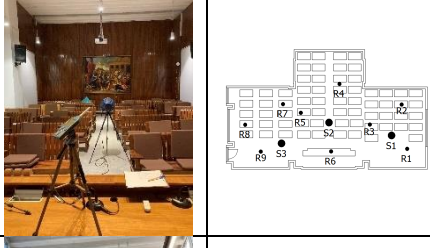
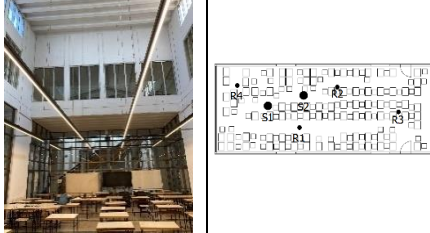
yutuculuk artırılarak RT değerinin düşmesi beklenir. Diğer hacim akustiği parametreleri için de optimum değerleri sağlayacak pek çok senaryo çalışılarak estetik ya da ekonomik kaygılar neticesinde bir tercih yapılabilir.

Mevcut durumda akustik ölçümler yapılan tüm dersliklerin arka plan gürültü düzeyleri ve yansıma süreleri bağlamında değerlendirilmesi aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablo 5. 1 İstanbul Teknik Üniversitesi'nde seçilen dersliklerin akustik değerlendirmesi

Derslik	Görsel	Nokta Planı	Arka Plan Gürültü Düzeyi	Yansıma Süresi
İTÜ	214		Ders işlevi için uygundur.	Tüm frekanslarda yutucu malzeme eklenerek akustik iyileştirme yapılmalıdır.
	212		Ders işlevi için uygundur.	Özellikle düşük frekanslarda yutucu malzeme eklenerek akustik iyileştirme yapılmalıdır.

Tablo 5. 2 Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nde seçilen dersliklerin akustik değerlendirmesi

Derslik	Görsel	Nokta Planı	Arka Plan Gürültü Düzeyi	Yansıma Süresi
MSGSÜ	202		Ders işlevi için uygundur.	Orta ve yüksek frekanslarda optimum değeri sağlasa da düşük frekanslarda yutucu malzeme eklenmelidir.
	203		Ders işlevi için uygundur.	Orta ve yüksek frekanslarda optimum değeri sağlasa da düşük frekanslarda yutucu malzeme eklenmelidir.
	Çatı 4		Yönetmelikte D sınıfı için belirtilen 43 dB değerinin sınırında olduğu için önlem alınabilir.	Tüm frekanslarda yutucu malzeme eklenerek akustik iyileştirme yapılmalıdır.
	Ernst Egli		Gürültü kontrolü konusunda önlem alınmalıdır.	Tüm frekanslarda yutucu malzeme eklenerek akustik iyileştirme yapılmalıdır.
	Misak-ı Millî		Ders işlevi için uygundur.	Optimum değerlere yakın olsa da özellikle düşük frekanslarda olmak üzere yutucu malzeme eklenmelidir.
	Orta Hol		Ders işlevi için uygun değildir.	Ders işlevi için uygun değildir. Tüm frekanslarda yutucu malzeme eklenerek akustik iyileştirme yapılmalıdır.

İncelenen sekiz dersliğin beşi, arka plan gürültü düzeyi bağlamında yerel yönetmelik sınır değerleri içerisinde olduğundan ders işlevine uygun görülmüştür. Ancak hacim akustiği parametreleri değerlendirildiğinde, daha önce akustik iyileştirme görmüş sınıflar da dahil olmak üzere optimum değerlerin yukarısında sonuçlar elde edilmiş ve ders işlevine uygun duruma getirmek için öneriler geliştirilmiştir. Bu akustik düzenlemeler ile ders işleyişinin daha konforlu bir hale gelmesi amaçlanmıştır.

Sonuç olarak, öğrenme kalitesini, psikolojiyi, insan sağlığını doğrudan etkileyen disiplinlerin başında gelen akustik, günümüzde artan farkındalık neticesinde önemli bir tasarım girdisi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, üniversite dersliklerinin gereksinimlerini ve mevcut akustik durumlarını ortaya koyduğu gibi, iyileştirme yöntemlerinin değişkenlerden bağımsız, prensip önerilerin kanıtına bağlı olduğunu, ancak dersliklerin akustik konforu için yapılabilecek akla yatkın öznel iyileştirmelerin de mümkün olabileceğini aktarmıştır.

KAYNAKLAR

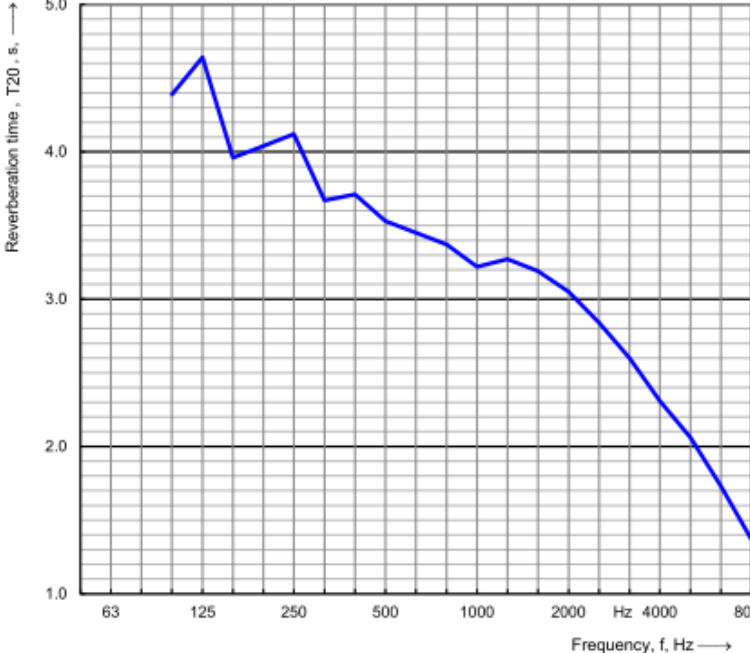
- Abdülrahimov, R.** (2005). Salonların akustiği ve tasarımı. *Trabzon: KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.*
- Akın, Ş., & Şerefhanoglu Sözen, M.** (1999). Hacim Akustiğinde İlk Yansımaların Önemi ve Mimari Tasarıma Etkisi. *Yapı Fiziği-Fiziksel Çevre Denetimi-Kongresi*, 6-7.
- Atça, E., İlal, M.E., Başaran, T., Kazanasmaz, T., Arsan, Z.,D.** (2013). Başarım Odaklı Tasarım: Tasarımın Erken Evrelerinde Benzetim Araçlarının Önemi, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı: 1411-1422.
- Avşar, Y., & Gönüllü, M. T.** (2000). İstanbul İli Örneğinde Bazı Okullarda İç ve Dış Ortam Gürültülerinin Eğitim Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *The Evaluation of Indoor and Outdoor Noise Pollution Interms of the Quality of Education in Istanbul*, GAP, 16-18.
- Başar, H.** (2001). Sınıf Yönetimi, Ankara: Pegem Yayınları.
- Bayazıt, N. T. ve Aşçıgil, M.** (2007, Ekim). Sağlıklı ve yaşanabilir çevreler için akustiğin önemi. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresinde sunulan bildiri*, İzmir, Türkiye.
- Bayazıt, N. T., Küçükçifçi, S., & Şan, B.** (2011). İlköğretim okullarında gürültüden rahatsızlığın alan çalışmalarına bağlı olarak saptanması. *ITU Journal Series A: Architecture, Planning, Design*, 10(2).
- Berti, C., Molinari, L., & Speltini, G.** (2010). Classroom justice and psychological engagement: Students' and teachers' representations. *Social psychology of education*, 13(4), 541-556.
- Brunskog, J.** (2002). *Acoustic excitation and transmission of lightweight structures*. Univ..
- Bulunuz, M., Bulunuz, N., & Tuncal, J. K.** (2017). Akustik iyileştirme yapılmış bir okulda gürültü düzeyinin değerlendirilmesi. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 13(4), 637-658.
- Çankaya, S.** (2016). *A comparative study on soundscape in high school environment* (Yüksek Lisans Tezi). İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, Ekonomi ve Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Doelle, L. L.** (1972). *Environmental Acoustics*, McGraw Hill, Inc., USA.
- Özel, D.** (2017). Mimaride Kullanılan Dokunmamış Malzemelerin Ses Yutuculuğunun Empedans Tüpü İle Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Gökçora, B.** (2003). Okullarda Akustik ve Konuşmanın Anlaşılabilirliği. *İzolasyon Dünyası*, 54.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., & Baskı, B.** (1994). Gürültü. *Çevre sağlığı temel kaynak dizisi*, 19.
- Gürkan, E.** (2013). *At Nalı Plan Tipi Salonların Konser ve Opera İşlevlerinde Akustik Tasarım Açısından İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Higgins, S., Hall, E., Wall, K., Woolner, P., & McCaughey, C.** (2005). The impact of school environments: A literature review. *London: Design Council*.
- Kabil, Ö.** (2018). *Eğitim yapılarındaki iç mekanların bilgisayar simülasyon yöntemi ile akustik açıdan incelenmesi, değerlendirilmesi ve düzenlenmesi: KTÜ örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karabiber, Z.** (1999). Gürültü Etkilenmesi ve Denetlenmesinde Yeni Yaklaşımlar. *Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı*.
- Karaman, Ö. Y., & Üçkaya, N. B.** (2015). Eğitim Mekanlarında Akustik Konfor: Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Örneği. *Megaron*, 10(4).
- Kavraz, M.** (2019). Geçmişten Günümüze Konferans/Toplantı Salonları ve Bayburt Üniversitesi Örneğinde Konferans Salonlarında Akustik Tasarım. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 4(1), 9-22.
- Khan, A., Khan, S., Zia-Ul-Islam, S., & Khan, M.** (2017). Communication Skills of a Teacher and Its Role in the Development of the Students' Academic Success. *Journal of Education and Practice*, 8(1), 18-21.
- Kurra, S.** (1982). Çevre gürültüsü ve İstanbul'da bir uygulama. *Program adı: Çevre*, 82.
- Kurra, S.** (2009). *Çevre gürültüsü ve yönetimi*. Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları.
- Kurtay, C., Harputlugil, G., & Yaman, M.** (2021). Kare planlı yüksek tavanlı hacimlerde ses yutucu malzemelerin konumlarına göre reverberasyon süresine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(4), 2069-2080.
- Öz, H. M., & Köse, E.** (2020). Gürültü önleyici akustik malzemelerin performans düzeylerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 1-10.
- Özçevik, A.** (2005). *Mimari Tasarım Stüdyolarında İşitsel Konfor Gereksinimleri ve Bir Örnek* (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özmen, B., Gerdan, S., & Ergünay, O.** (2015). Okullar için afet ve acil durum yönetimi planları. *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 37-52.
- Pürlüsoy, İ., & Elibol, G. C.** (2022). İlkokul Eğitim Mekânlarında Mekânsal İhtiyaçların Eğitim Yaklaşımları Açısından Araştırılması. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(1), 189-208.
- Seferoğlu, S.** (2004). Öğretmenlerin hizmet içi eğitiminde yeni yaklaşımlar. *Akdeniz Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(1).

- Sirel, Ş.** (1974). *Yapı akustiği I: temel bilgiler*. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mühendislik ve Mimarlık Akademisi.
- Taşkaya, S. M.** (2012). Nitelikli Bir Öğretimde Bulunması Gereken Özelliklerin Öğretmen Adaylarının Görüşlerine Göre İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(33), 283-298.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi**, (2015). *Okullarda Akustik Konfor*.
- Tuna, R.** (2020). *Anadolu Selçuklu dönemi mahalle mescitlerinin akustik konfor analizi: Konya örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi.
- Tuna, R., Semerci, F., Başar, M. E., & Kaygısız, A.** (2021). Mahalle Mescitlerinin Akustik Konfor Analizi: Konya'dan İki Örnek. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 594-609.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete [Çevrimiçi]**, Mayıs 2017. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-7.htm>
- Uzuner, A., Kaya, H. T., Akman, M., Yalçın, N., Yavuzer, Ö., & Akturan, S.** (2015). Öğretmenlerin sağlık durumuna bir bakış: Kesitsel bir çalışma. *The Journal of Turkish Family Physician*, 6(1), 1-10.
- Vergili, S.** (2008). *Yansıma Süresi Farklılıklarının Değerlendirilmesi: fMRI Çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir.
- Whelley, P., Cash, G., & Bryson, D.** (2002). Mental health: More than not being ill. *The education digest*, 68(4), 51-56.
- Winterbottom, M., & Wilkins, A.** (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of environmental psychology*, 29(1), 63-75.
- Yaşar, A.** (2021). *Konservatuvar işlevli okullarda mekânların akustik performanslarının geliştirilmesine yönelik fiziksel müdahale uygulamalarına ilişkin öneriler Ondokuz Mayıs Üniversitesi Devlet Konservatuvarı örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yerli, C.** (2015). *Farklı anlayışlarla tasarlanmış eğitim alanlarındaki sınıfların hacim akustiği yönünden değerlendirilmesi; Doğa Koleji Çukurambar ve İMKB Alparslan Ortaokulu örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Zentall, S. S.** (1983). Learning environments: A review of physical and temporal factors. *Exceptional Education Quarterly*, 4(2), 90-115.
- Absorption Coefficient Database. *Excel 97 file with absorption data*. Erişim adresi: <https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163/absorption-coefficient-database.html>

EKLER

EK-A RT Ölçüm Grafikleri Örnekleri (İTÜ 214 Numaralı Derslik)

Reverberation time according to ISO 3382-2																																																	
Ordinary rooms - Precision method																																																	
MSGSU	Date of test: 4/6/2024																																																
Room identification: İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)																																																	
Remarks regarding the room situation: Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.																																																	
Decay curves:	Least-squares fit																																																
Noise type:	Pink																																																
Averaging:	Arithmetic																																																
Relative humidity:																																																	
Temperature:																																																	
Barometric pressure:																																																	
Room volume:	1482.0 m ³																																																
<table border="1"><thead><tr><th>Frequency f [Hz]</th><th>T20 1/3 octave [s]</th></tr></thead><tbody><tr><td>50</td><td></td></tr><tr><td>63</td><td></td></tr><tr><td>80</td><td></td></tr><tr><td>100</td><td>4.39</td></tr><tr><td>125</td><td>4.64</td></tr><tr><td>160</td><td>3.96</td></tr><tr><td>200</td><td>4.04</td></tr><tr><td>250</td><td>4.12</td></tr><tr><td>315</td><td>3.67</td></tr><tr><td>400</td><td>3.71</td></tr><tr><td>500</td><td>3.53</td></tr><tr><td>630</td><td>3.45</td></tr><tr><td>800</td><td>3.37</td></tr><tr><td>1000</td><td>3.22</td></tr><tr><td>1250</td><td>3.27</td></tr><tr><td>1600</td><td>3.19</td></tr><tr><td>2000</td><td>3.05</td></tr><tr><td>2500</td><td>2.84</td></tr><tr><td>3150</td><td>2.60</td></tr><tr><td>4000</td><td>2.31</td></tr><tr><td>5000</td><td>2.06</td></tr><tr><td>6300</td><td>1.73</td></tr><tr><td>8000</td><td>1.37</td></tr></tbody></table>	Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]	50		63		80		100	4.39	125	4.64	160	3.96	200	4.04	250	4.12	315	3.67	400	3.71	500	3.53	630	3.45	800	3.37	1000	3.22	1250	3.27	1600	3.19	2000	3.05	2500	2.84	3150	2.60	4000	2.31	5000	2.06	6300	1.73	8000	1.37	
Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]																																																
50																																																	
63																																																	
80																																																	
100	4.39																																																
125	4.64																																																
160	3.96																																																
200	4.04																																																
250	4.12																																																
315	3.67																																																
400	3.71																																																
500	3.53																																																
630	3.45																																																
800	3.37																																																
1000	3.22																																																
1250	3.27																																																
1600	3.19																																																
2000	3.05																																																
2500	2.84																																																
3150	2.60																																																
4000	2.31																																																
5000	2.06																																																
6300	1.73																																																
8000	1.37																																																
Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1																																																	
T _{mid} = 3.43 s																																																	
Name :	Caner Bostankolu																																																
No. of test report:	ITU-214-RT																																																
Date: 10/6/2024	Signature:																																																

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSÜ

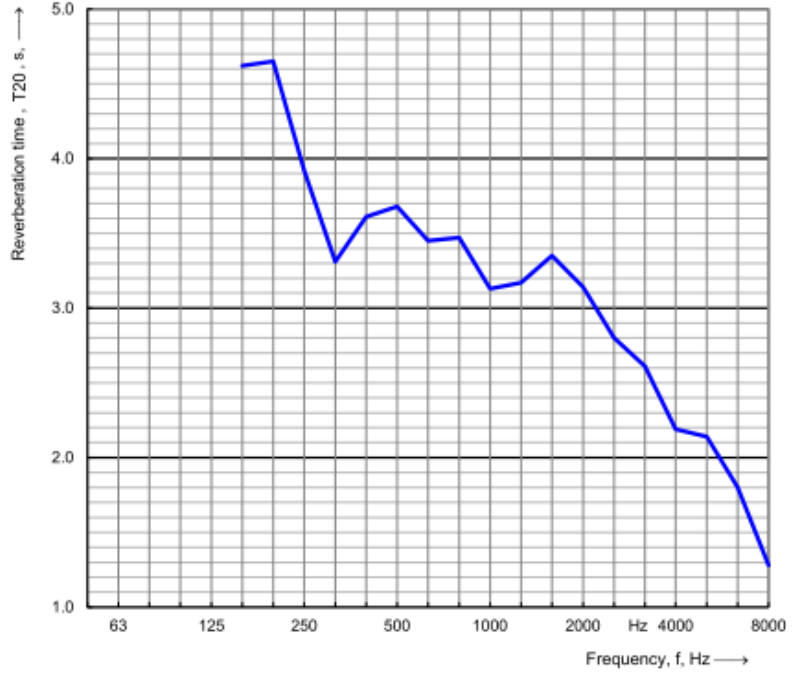
Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	5.50
125	
160	4.62
200	4.65
250	3.92
315	3.31
400	3.61
500	3.68
630	3.45
800	3.47
1000	3.13
1250	3.17
1600	3.35
2000	3.14
2500	2.80
3150	2.61
4000	2.19
5000	2.14
6300	1.80
8000	1.28



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.42$ s

Name: Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S1-R1

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:

İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:

Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

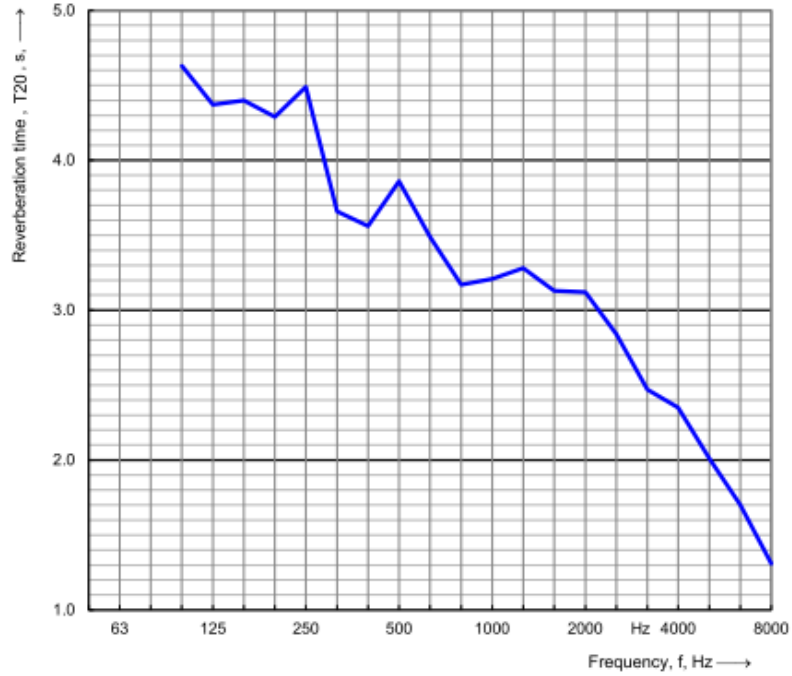
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.63
125	4.37
160	4.40
200	4.29
250	4.49
315	3.66
400	3.56
500	3.86
630	3.49
800	3.17
1000	3.21
1250	3.28
1600	3.13
2000	3.12
2500	2.84
3150	2.47
4000	2.35
5000	2.01
6300	1.70
8000	1.31



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{\text{mid}} = 3.43 \text{ s}$

Name: Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S1-R2

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.88
125	4.58
160	4.38
200	4.69
250	4.23
315	3.31
400	3.26
500	3.59
630	3.55
800	3.75
1000	3.45
1250	3.06
1600	3.28
2000	2.91
2500	2.90
3150	2.41
4000	2.34
5000	2.03
6300	1.79
8000	1.39



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.44$ s

Name: Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S1-R3

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSÜ

Date of test: 4/6/2024

Room identification:

İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:

Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

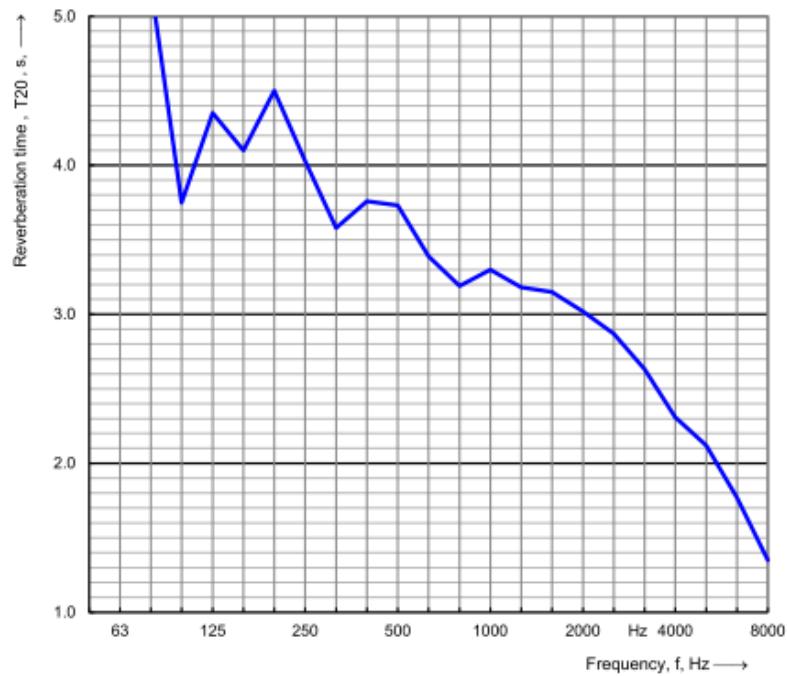
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	5.20
100	3.75
125	4.35
160	4.10
200	4.50
250	4.03
315	3.58
400	3.76
500	3.73
630	3.39
800	3.19
1000	3.30
1250	3.18
1600	3.15
2000	3.02
2500	2.87
3150	2.63
4000	2.31
5000	2.12
6300	1.77
8000	1.35



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.43$ s

Name: Caner Bostankolu

No. of test report: İTÜ-214-S1-R4

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.11
125	4.88
160	4.84
200	3.80
250	3.82
315	3.14
400	3.59
500	3.45
630	3.73
800	3.28
1000	3.17
1250	3.33
1600	4.84
2000	3.06
2500	2.86
3150	2.60
4000	2.37
5000	2.05
6300	1.75
8000	1.45



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.43$ s

Name : Caner Bostankolu
No. of test report: İTÜ-214-S1-R5

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:

İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:

Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

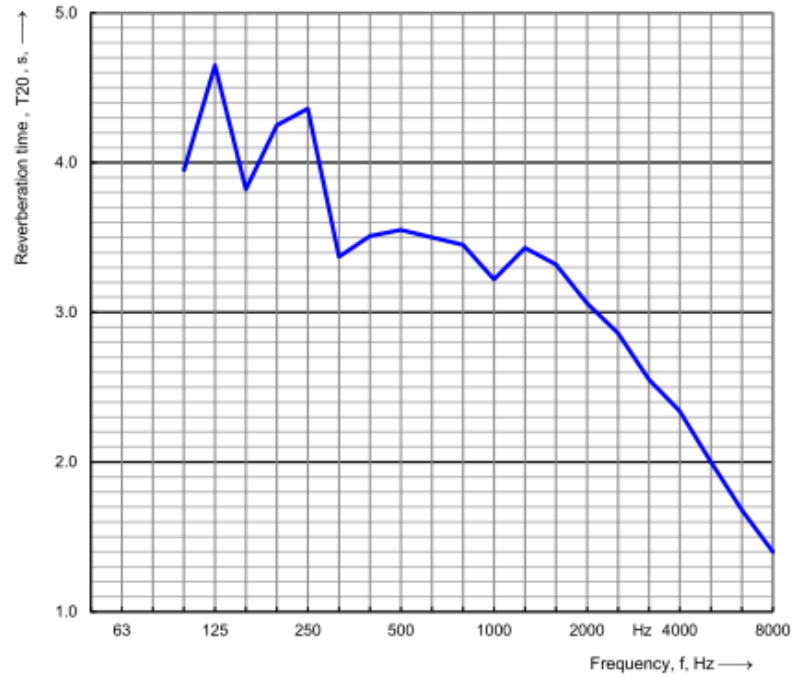
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	3.95
125	4.65
160	3.82
200	4.25
250	4.36
315	3.37
400	3.51
500	3.55
630	3.50
800	3.45
1000	3.22
1250	3.43
1600	3.32
2000	3.06
2500	2.86
3150	2.55
4000	2.34
5000	2.00
6300	1.68
8000	1.40



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.44$ s

Name : Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S1-R6

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSÜ

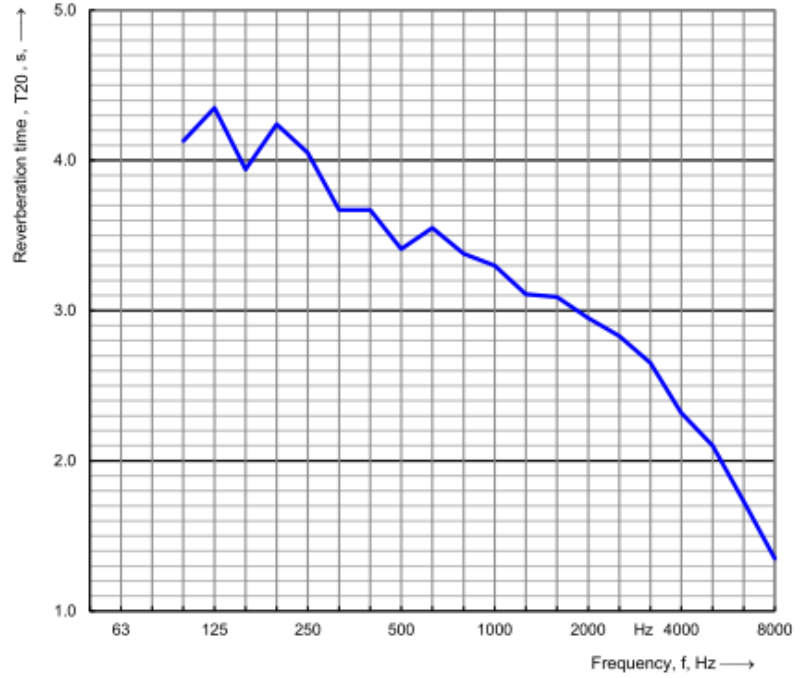
Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.13
125	4.35
160	3.94
200	4.24
250	4.05
315	3.67
400	3.67
500	3.41
630	3.55
800	3.38
1000	3.30
1250	3.11
1600	3.09
2000	2.95
2500	2.83
3150	2.65
4000	2.32
5000	2.10
6300	1.73
8000	1.35



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.40$ s

Name : Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S2-R1

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

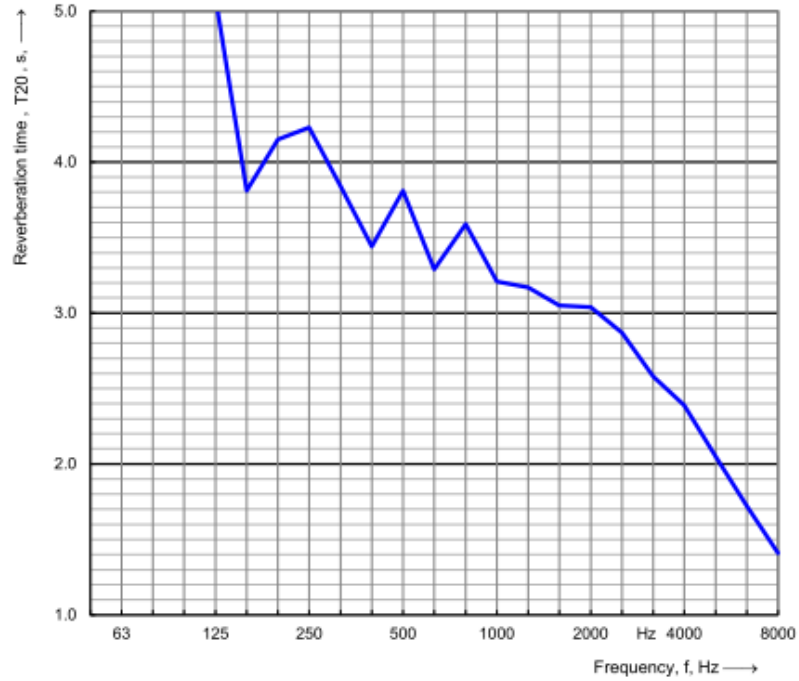
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	5.36
125	5.09
160	3.81
200	4.15
250	4.23
315	3.84
400	3.44
500	3.81
630	3.29
800	3.59
1000	3.21
1250	3.17
1600	3.05
2000	3.04
2500	2.87
3150	2.58
4000	2.39
5000	2.05
6300	1.72
8000	1.41



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.42$ s

Name : Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S2-R2

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSÜ

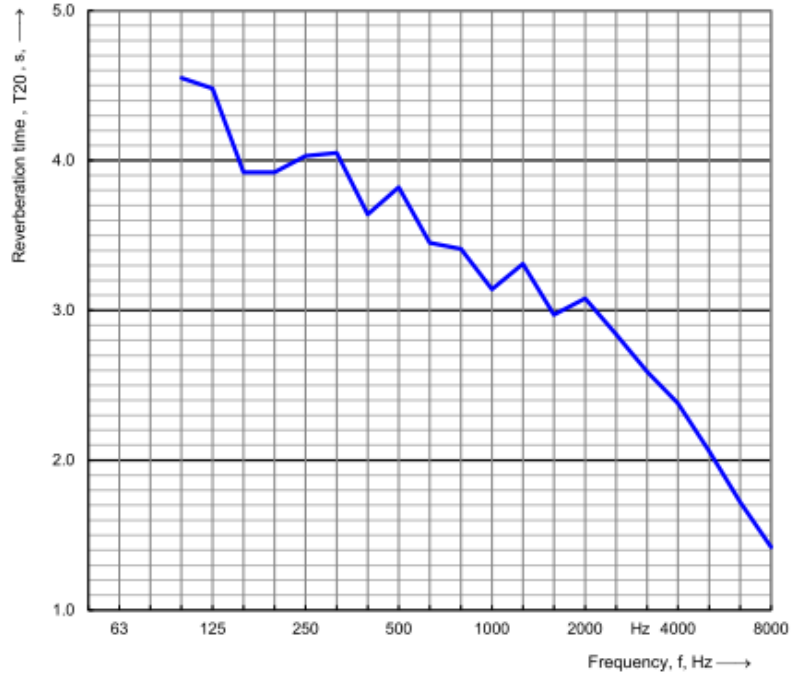
Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.55
125	4.48
160	3.92
200	3.92
250	4.03
315	4.05
400	3.64
500	3.82
630	3.45
800	3.41
1000	3.14
1250	3.31
1600	2.97
2000	3.08
2500	2.84
3150	2.59
4000	2.38
5000	2.06
6300	1.72
8000	1.42



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.46$ s

Name: Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S2-R3

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

Client: MSGSÜ

Date of test: 4/6/2024

Room identification:

İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:

Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

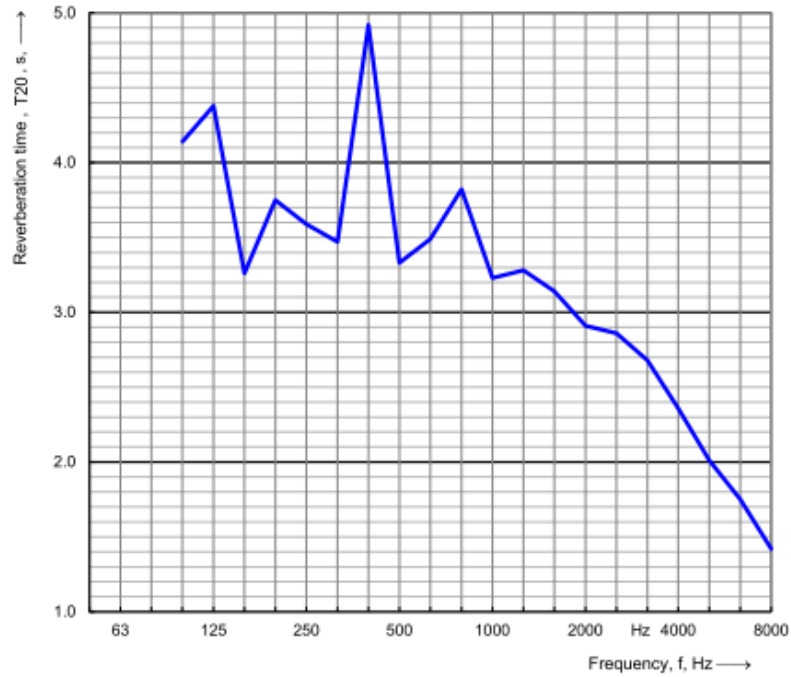
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	4.14
125	4.38
160	3.26
200	3.75
250	3.59
315	3.47
400	4.92
500	3.33
630	3.49
800	3.82
1000	3.23
1250	3.28
1600	3.14
2000	2.91
2500	2.86
3150	2.68
4000	2.36
5000	2.01
6300	1.75
8000	1.42



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.68$ s

Name : Caner Bostankolu

No. of test report: İTÜ-214-S2-R4

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSÜ

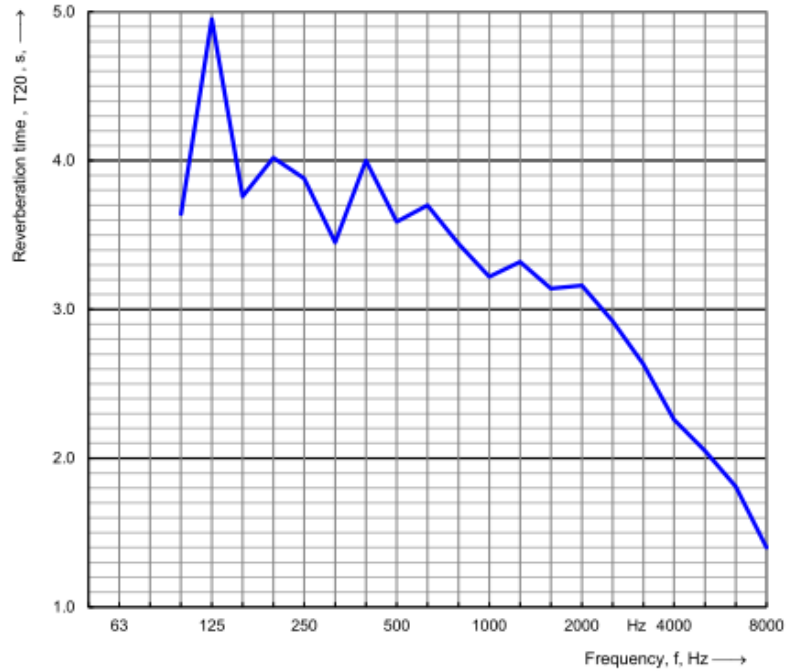
Date of test: 4/6/2024

Room identification:
İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:
Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit
Noise type: Pink
Averaging: Arithmetic
Relative humidity:
Temperature:
Barometric pressure:
Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	3.64
125	4.95
160	3.76
200	4.02
250	3.88
315	3.45
400	4.00
500	3.59
630	3.70
800	3.44
1000	3.22
1250	3.32
1600	3.14
2000	3.16
2500	2.92
3150	2.63
4000	2.26
5000	2.05
6300	1.81
8000	1.40



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.55$ s

Name : Caner Bostankolu

No. of test report: ITU-214-S2-R5

Date: 10/6/2024

Signature:

Reverberation time according to ISO 3382-2

Ordinary rooms - Precision method

MSGSU

Date of test: 4/6/2024

Room identification:

İTÜ Taşkışla 214 No'lu Derslik (Tefrişli)

Remarks regarding the room situation:

Dönem sonu teslimi yapıldığı için masalarda maketler bulunuyordu.

Decay curves: Least-squares fit

Noise type: Pink

Averaging: Arithmetic

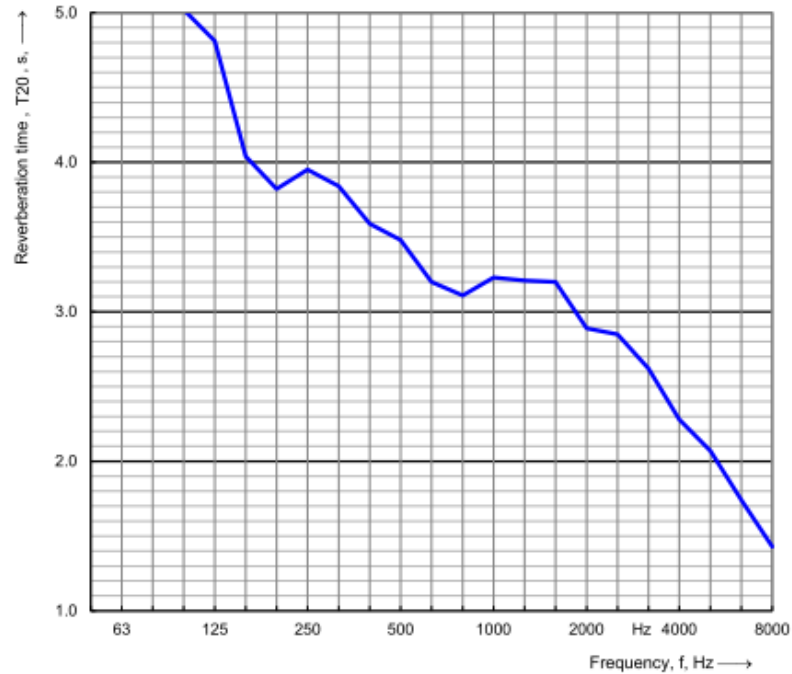
Relative humidity:

Temperature:

Barometric pressure:

Room volume: 1482.0 m³

Frequency f [Hz]	T20 1/3 octave [s]
50	
63	
80	
100	5.02
125	4.81
160	4.04
200	3.82
250	3.95
315	3.84
400	3.59
500	3.48
630	3.20
800	3.11
1000	3.23
1250	3.21
1600	3.20
2000	2.89
2500	2.85
3150	2.62
4000	2.28
5000	2.07
6300	1.74
8000	1.43



Not enough measurement positions.

Single figure calculated by averaging T (400 Hz to 1250 Hz) according to ISO 3382-1

$T_{mid} = 3.30$ s

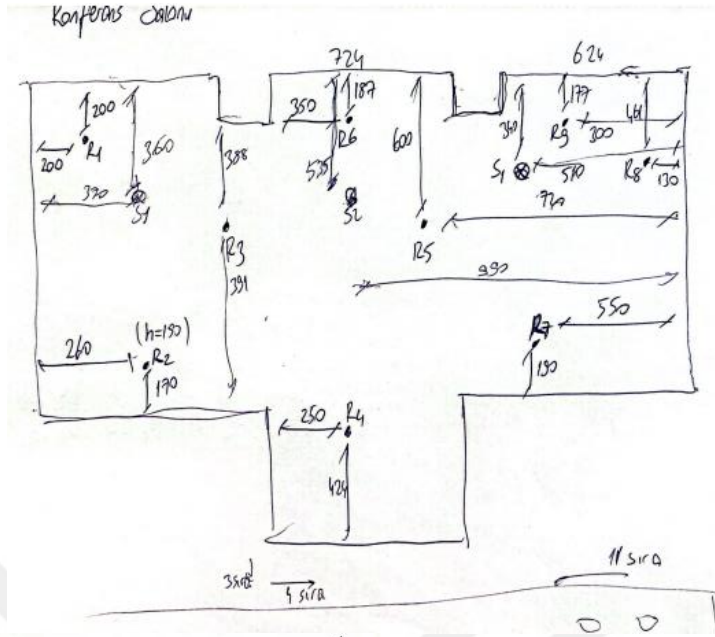
Name : Caner Bostankolu

No. of test report: İTÜ-214-S2-R6

Date: 10/6/2024

Signature:

EK-B Akustik Ölçüm Yapılan Dersliklerde Alınan Notlar

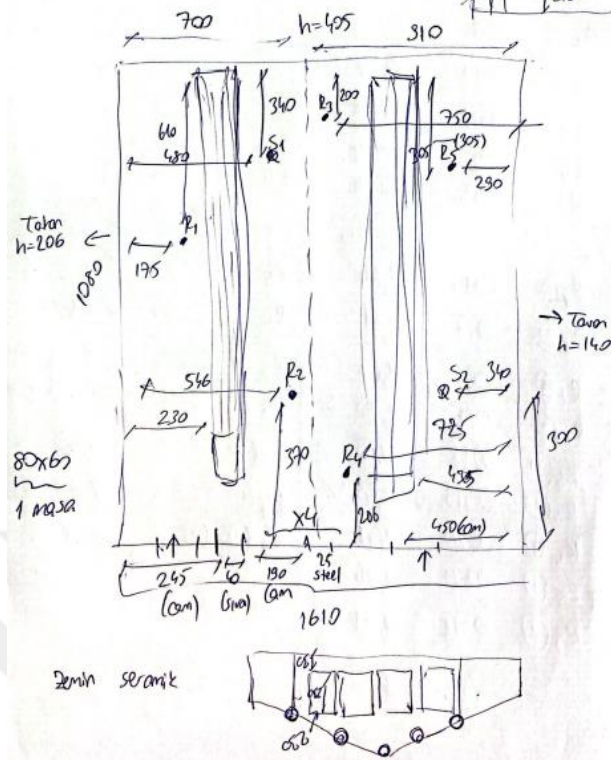


12:20 / 12:10

Yansıyan Konferans Salonu	1000 Hz	1000 Hz	1000 Hz
S3/ R3	0010	0,81	①
R3	0014	1,23	②
R3	0012	1,07	③
R3	0013	1,09	④
R8	0014	0,96	⑤
R8	0015	1,35	⑥
R8	0016	1,17	⑦
R8	0017	1,16	⑧
R7	0018	1,13	⑨
R7	0019		
S2/ R6	0020	1,16	⑩
R6	0021	1,15	⑪
R5	0022	1,01	⑫
R5	0023	1,06	⑬
R4	0024	1,07	⑭
R4	0025	1,24	⑮
R4	0026	1,32	⑯

Konferans Salonu	Nor 140	Başlangıç 11:20	Baş 12:05
R1 / 00101 - 001	2 dk	51,8	
R2 / 002	2 dk	54,0	7,42 } sıra
R3 / 003	2 dk	55,5	0,76 } h=524
R4 / 004	2 dk	57,3	
R5 / 005	2 dk	54,5	
R6 / 006	2 dk	54,4	
R7 / 007	2 dk	55,2	
R8 / 008	2 dk	56,2	
R9 / 009	2 dk	57,5	

GATI 4 (172 m², 36 kişilik)



Gati 4

240604

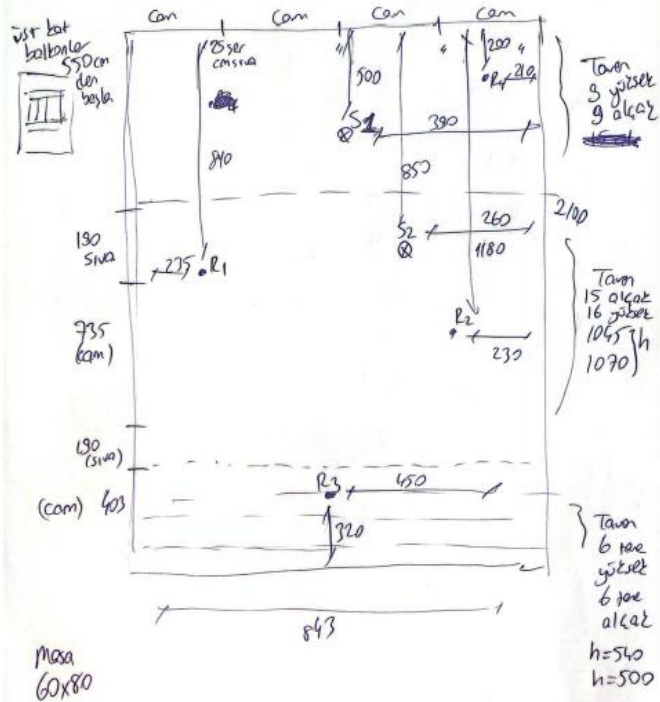
R ₁	009	2 dk	67,0
R ₂	0010	2 dk	?
R ₃	0011	2 dk	66,3
R ₄	0012	2 dk	68,2
R ₅	0013	2 dk	67,4

S ₁		1000 Hz	S ₂		1000 Hz
R ₁ ①	0014	1,64	R ₅	0023	1,63
R ₁ ②	0015	1,31	R ₄	0024	1,47
R ₂ ①	0016	1,67	R ₃ ①	0025	1,22
R ₂ ②	0017	1,70 ✓	R ₃ ②	0026	1,61 ✓
R ₃ ①	0018	1,35	R ₂ ①	0027	1,63
R ₃ ②	0019	1,45 ✓	R ₁ ①	0028	1,73 ✓
R ₄ ①	0020	1,51	R ₁ ②	0029	1,51
R ₅ ①	0021	1,76			
R ₅ ②	0022	1,71			

(Orta HOL)

Alexandre Vallauri Analizi

180 m² 110 Eşitlik



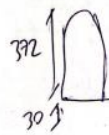
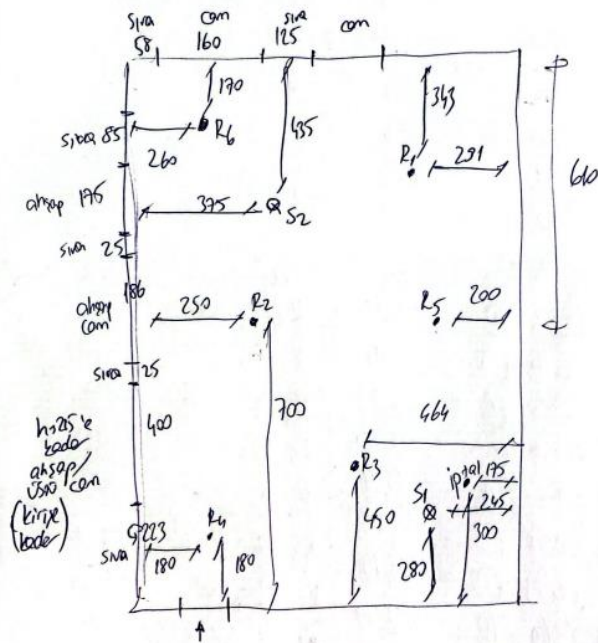
Orta Hol

18:00

R1	0030	2dk	64,8
R2	0031	2dk	65,3
R3	0032	2dk	63,0
R4	0033	2dk	63,6

<u>S1</u>	240604	1000Hz	<u>S2</u>	1000Hz
R ₄	0034	2,80	R ₃	0033 3,00
R ₁	0035	3,14	R ₂	0040 2,80
R ₂ ①	0036	2,82	R ₁	0041 2,73
R ₂ ②	0037	2,80	R ₄	0042 2,73
R ₃	0038	2,75		

Ernst Egl Karbons Salonu



→ dış pencere

→ sol/sağ simetrik

75x180 - girişin
mesafesi

Ernst Egl Karbons Salonu

0001091

R1 0047
R2 0048
R3 0049
R4 0050
R5 0051
R6 0052

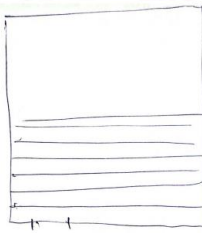
2 dk 64,0
2 dk 63,8
2 dk 64,8
2 dk 65,8
2 dk 65,0
2 dk 69,3

S1			1000 Hz
R6	0053	①	3,26
R6	0054	②	3,14
R2	0055	③	3,33
R2	0056	④	3,24
R1	0057	⑤	3,11
R1	0058	⑥	3,05
R5	0059	⑦	3,19
R5	0060	⑧	2,97
R3	0061	⑨	2,91
R4	0062	⑩	3,11

S2			1000 Hz
R4	0063		3,21
R3	0064		3,21
R5	0065		3,51
R5	0066		3,14
R2	0067		2,36
R2	0068		3,11
R1	0069		3,24
R1	0070		3,14
R6	0071		3,17
R6	0072		3,33

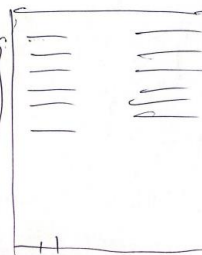
Ernst Egl Karbons Salonu

12 sıra
4'1" derinlikte



7200
h=537
487

19 sıra 537
(yüksek.)
Sıra aralıkları



11 sıra
7'5" derinlikte



1000 Hz

S2 240604

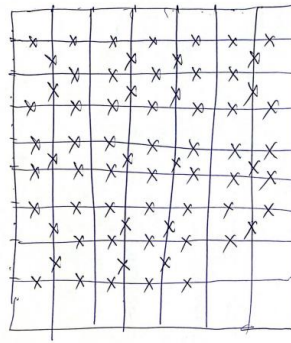
27/06/21

170
212

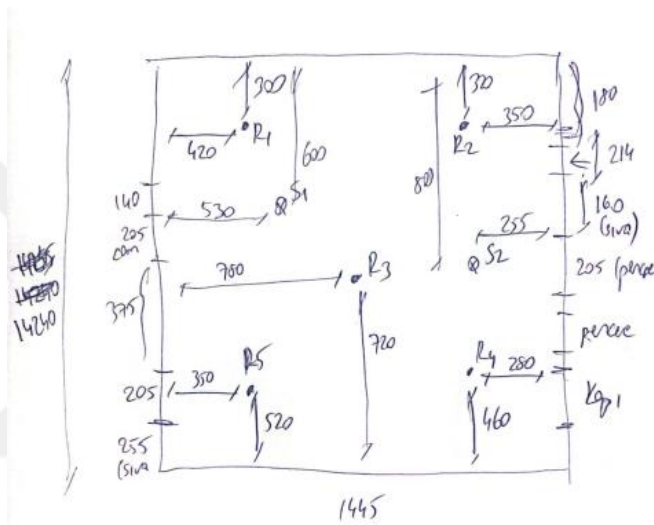
230604		
R ₁	0071	2dt 59,8
R ₂	0072	2dt 55,7
R ₃	0073	2dt 55,2
R ₄	0074	2dt 56,3
R ₅	0075	2dt 55,9

S ₁	100412	S ₂	100412
R ₅ @ 0076	1,67	R ₂ @ 0086	1,47
R ₅ @ 0077	1,72	R ₂ @ 0087	1,52 ✓
R ₃ @ 0078	1,7	R ₄ @ 0088	1,74
R ₃ @ 0079	1,63	R ₄ @ 0089	1,73
R ₄ @ 0080	1,81	R ₃ @ 0090	1,35
R ₄ @ 0081	1,74 ✓	R ₃ @ 0091	1,64
R ₄ @ 0082	1,65 ✓	R ₄ @ 0092	1,82
R ₄ @ 0083	1,75	R ₄ @ 0093	1,55
R ₄ @ 0084	1,72	R ₅ @ 0094	1,73
R ₄ @ 0085	1,58	R ₅ @ 0095	1,63

212 Tam

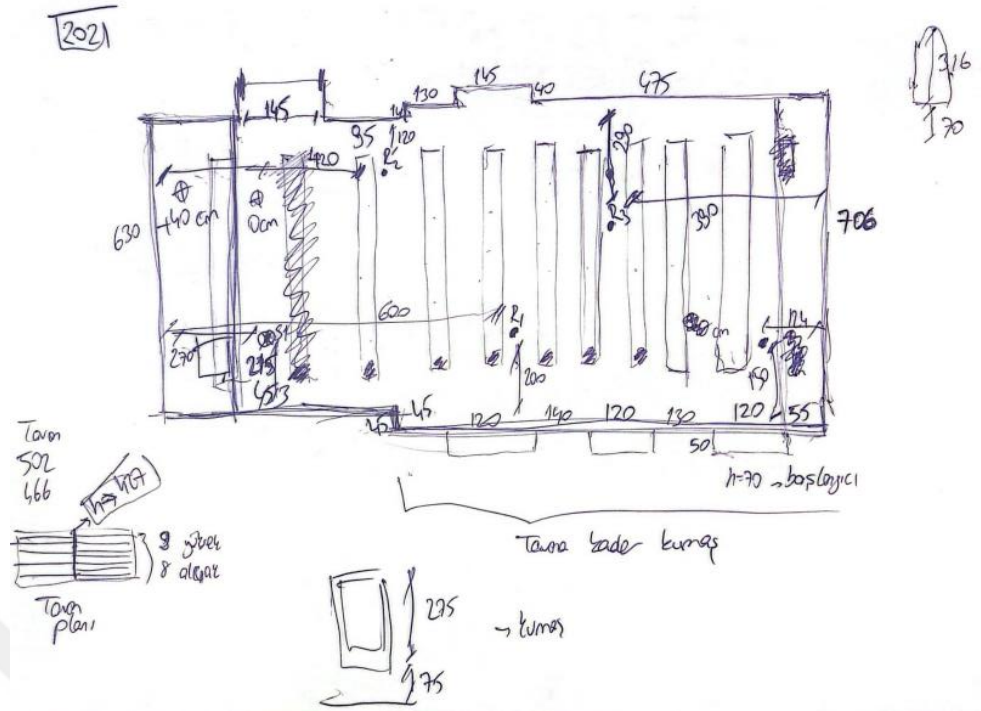


Kemas kopi can lift (Baffle)
Atkan kemas
180 38



Can → h = 100'6"

76 mas w



2021 Geli Plan

240603			
R ₁	001	2 dk	61,6
R ₂	002	2 dk	66,0
R ₃	003	2 dk	64,5
R ₄	004	2 dk	61,2

RT 240604 !

R ₂ ①	001	0,71
R ₂ ②	002	0,64 ✓
R ₃ ①	003	0,58
R ₃ ②	004	0,55
R ₄ ①	005	0,74
R ₄ ②	006	0,65
R ₁ ①	007	0,63
R ₁ ②	008	0,60

1000 Hz

