

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERSLİKLERİN AKUSTİK PERFORMANSINDA, İÇ YÜZEY
GEREÇLERİNİN ETKİNLİĞİNİN SAPTANMASI**

MEHMET ENGİN TUNÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI FİZİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. NEŞE YÜĞRÜK AKDAĞ**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERSLİKLERİN AKUSTİK PERFORMANSINDA, İÇ YÜZEY
GEREÇLERİNİN ETKİNLİĞİNİN SAPTANMASI**

MEHMET ENGİN TUNÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI FİZİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. NEŞE YÜĞRÜK AKDAĞ**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERSLİKLERİN AKUSTİK PERFORMANSINDA, İÇ YÜZEY GEREÇLERİNİN
ETKİNLİĞİNİN SAPTANMASI

Mehmet Engin TUNÇER tarafından hazırlanan tez çalışması 06.04.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Müjgan ŞEREFHANOĞLU SÖZEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Doç. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde, tüm hacimler akustik açıdan iç tasarımı, yapım aşaması tamamlanmış ve kullanıma açılmış çoğu mekânda bilinçsiz tasarım, ekonomik yetersizlik ve benzeri nedenlerden ötürü göz ardı edilebilmekte ya da yeterli ilgiyi görememektedir.

Bu çalışma kapsamında Akustik performansın önemli olduğu Dersliklerin simülasyon programı yardımıyla nesnel akustik parametreler göz önüne alınarak iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanarak tasarlanması amaçlanmıştır. Dersliklerin akustik performansı ile ilgili diğer ülkelerde yapılan örnek çalışmalar incelenmiş ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nden seçilen 3 adet derslik ile örnek çalışmalar yapılmıştır.

Mimar ve Mühendislerin daha planlama ve tasarım aşamasında akustik parametreler göz önüne alınarak iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptamasını sağlayarak, asıl amaç olarak ülke ve birey bazında her türlü emeğin, zamanın ve ekonomik kaybın yaşanmaması amaçlanmıştır.

Tüm çalışmam süresince teknik yardımlarından ve önerilerinden faydalandığım, eğitimci kimliği ile beni en kötü günlerimde bile yalnız bırakmayan ve destekleyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ'a saygı ve sevgilerimi sunarım. Ayrıca Tez çalışmalarımı destekleyen ve tez konusu seçiminde öncü olan Sayın Doç. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL'e, çalışma süresince Odeon 8.0 simülasyon programı ile yapılan tüm çalışmalara destek veren PROPLAN A.Ş'ye, simülasyon programı kullanımı ve modelleme ile ilgili birlikte çalıştığım Y.Mimar Özge ŞAHİN'e ve Y.Mimar Barış ACAR'a, çalışmalarım sırasında her türlü yardımı sağlayan Elektrik – Elektronik Mühendisi Ergin ŞIRLANCI'ya ve Makine Mühendisi Mahir DOĞAN'a, özellikle tez teslimi aşamasında desteğini esirgemeyen hep yanımda olan sevgili Esra TETİK'e teşekkür ederim.

Bu zamana kadarki tüm çalışmam süresince her türlü anlayış ve fedakârlıkları için öncelikle değerli anneme ve babama, bana destek olan tüm arkadaşlarıma yaptıklarından dolayı teşekkürler.

Nisan, 2011

Mehmet Engin TUNÇER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ - ÇALIŞMANIN AMACI ve KAPSAMI	1
BÖLÜM 2	
KONUŞMANIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNDE ÖNEM TAŞIYAN HACİM AKUSTİĞİ	
PARAMETRELERİ.....	3
2.1 Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60}).....	3
2.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)	8
2.3 Netlik (Clarity - C_{80}).....	10
2.4 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})	12
2.5 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI).....	13
2.6 Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL).....	14
BÖLÜM 3	
DERSLİKLERDE AKUSTİK KOŞULLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK GÜNÜMÜZE	
DEĞİN YAPILAN ÇALIŞMALARA ÖRNEKLER	16
3.1 Murray Hodgson'ın Çalışması	16
3.2 Paulo Henrique Trombetta Zannin, Daniele Petri Zanardo Zwirter'in Çalışması.....	22

3.3	S. K. Tang'ın Çalışması	24
3.4	S. K. Tang, M. H. Yeung'un Çalışması	26

BÖLÜM 4

İÇ YÜZEY GEREÇLERİNİN HACİM AKUSTİĞİNDEKİ ETKİSİNİN ÖRNEKLEME YOLUYLA

SAPTANMASINDA KULLANILAN YAKLAŞIM ve İLGİLİ KABULLER..... 29

4.1	Hacim Akustiği Parametrelerinde, İç Yüzey Gereçlerinin Etkinliğinin Saptanmasında İzlenen Yaklaşım	29
4.2	Yaklaşımda Değerlendirmeye Alınacak Hacimlerin Saptanması, Hacimlerin ve İç Yüzey Gereçlerinin Genel Özellikleri	30
4.2.1	A 405 Makine Mühendisliği Dersliği (Derslik 1)	31
4.2.2	B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliği (Derslik 2)	32
4.2.3	D 203 Mimarlık Dersliği (Derslik 3)	34
4.2.4	Hacimlerin İç Yüzey Gereçleri ile İlgili Kabuller	36
4.2.4.1	A 405 Makine Mühendisliği Dersliğinde Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 1)	37
4.2.4.2	B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğinde Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 2)	39
4.2.4.3	D 203 Mimarlık Dersliğinin Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 3)	41
4.3	Hesaplarda Kullanılan Bilgisayar Programının Tanıtımı ve İlgili Kabullerin Yapılması	44
4.3.1	Simülasyon Programı ile İlgili Kabuller	44
4.3.2	Kaynak ile İlgili Kabuller	48
4.3.3	Dinleyici ile İlgili Kabuller	48
4.3.4	Hacim Akustiği Parametreleri ile İlgili Kabuller	50

BÖLÜM 5

HESAP SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER 53

5.1	A 405 Makine Mühendisliği Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi	54
5.1.1	Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60})	54
5.1.2	Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)	55
5.1.3	Ayırtebilirlik (Distinctness - D_{50})	56
5.1.4	Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)	57
5.1.5	Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)	58
5.1.6	A 405 Makine Mühendisliği Dersliğinin Değerlendirilmesi	59
5.2	B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi	60
5.2.1	Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60})	60
5.2.2	Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)	61
5.2.3	Ayırtebilirlik (Distinctness - D_{50})	62

5.2.4	Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)	63
5.2.5	Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)	64
5.2.6	B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğinin Değerlendirilmesi	65
5.3	D 203 Mimarlık Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi	66
5.3.1	Yansıma Süresi (Reverberation Time – T_{60})	66
5.3.2	Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)	67
5.3.3	Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})	68
5.3.4	Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)	69
5.3.5	Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)	70
5.3.6	D 203 Mimarlık Dersliğinin Değerlendirilmesi	71
 BÖLÜM 6		
SONUÇ		73
KAYNAKLAR		76
 EK-A		
DERSLİKLERİN MEVCUT DURUM FON GÜEÜLTÜSÜ İÇİN ÖLÇÜLEN SPL ve L_{eq}		
DEĞERLERİ		78
ÖZGEÇMİŞ		82

SİMGE LİSTESİ

A	Hacmin toplam yutuculuğu (m^2)
A_b	Hacimdeki birimsel nesnelerin toplam yutuculuğu
A_h	Hacmin havasının yutuculuğu
A_y	Hacimdeki yüzeylerin toplam yutuculuğu
C_{80}	Netlik (Clarity)
d	Kaynak – alıcı uzaklığı (m)
D_{50}	Ayırdedilebilirlik (Distinctness)
EDT	Erken Düşme Süresi (Early Decay Time)
Hz	Hertz
L_{eq}	Eşdeğer gürültü düzeyi
NR	Gürültü Derecesi (Noise Rating)
Q	Doğrultululuk Çarpanı
RASTI	Hızlandırılmış Konuşma İletim Göstergesi
RT	Yansıma Süresi (Reverberation Time)
RT_{speech}	Türetilmiş Yansıma Süresi
SPL	Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level)
SPL_d	Dolaysız ses düzeyi (dB)
SPL_r	Yayınık ses düzeyi (dB)
SPL_t	Toplam Ses Basınç Düzeyi (SPL)
STI	Ses İletim Göstergesi
SWL	Ses gücü düzeyi (dB)
t	Sesin ilk 10 dB'lik düşüşü için geçen süre (s)
t_s	Merkez zamanı
T_{30}	Ses düzeyinin 30 dB'lik düşüşü için geçen süre (s)
T_{60}	Yansıma Süresi, Ses düzeyinin 60 dB'lik düşüşü için geçen süre (s)
V	Yansıma süresi hesaplanacak hacmin büyüklüğü (m^3)
W	Ses kaynağının gücü (W)
W_0	Referans ses gücü (10^{-12} W)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Ses düzeyinin zamana bağlı düşüşünü gösteren grafik.....	4
Şekil 2.2	Farklı amaca hizmet eden mekânlarda olması istenen yansıma süresinin hacimlere bağlı olarak değişim grafiği.....	5
Şekil 2.3	Hacimlerin büyüklük ve işlevlerine göre değişen minimum-optimum-maksimum yansıma süresi değerleri	6
Şekil 2.4	Erken düşme süresi ve zaman grafiği.....	9
Şekil 2.5	Uzun ve kısa EDT süresinin zamana bağlı grafiği.....	10
Şekil 2.6	Uzun ve kısa EDT süresinin zamana bağlı grafiği.....	10
Şekil 2.7	Netlik (C_{80}) parametresi yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile ters orantısının zamana bağlı grafiği	11
Şekil 2.8	STI ve RASTI skalaları.....	13
Şekil 2.9	Konuşmanın anlaşılabilirliği ve ses iletim göstergesi arasındaki bağlantının grafiği.....	14
Şekil 3.1	BUCH A202 dersliği'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu.....	17
Şekil 3.2	BUCH B223 dersliği'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu	18
Şekil 3.3	HEBB tiyatrosu'nun tadilatın önceki ve sonraki durumu.....	18
Şekil 3.4	LASR 102 ve 104 derslikleri'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu.....	19
Şekil 3.5	LSK 200 dersliği'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu	19
Şekil 3.6	MATH 100 dersliği'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu	20
Şekil 3.7	MCDL 202 Dersliği'nin tadilatın önceki ve sonraki durumu	21
Şekil 3.8	Tasarım 010'un yerleşim şeması	22
Şekil 3.9	Tasarım 022'nin yerleşim şeması	23
Şekil 3.10	Tasarım 023'ün yerleşim şeması	23
Şekil 3.11	Dersliklerin netlik (C_{80}), yansıma süresi (RT), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve merkez zamanı (t_s) parametreleri arasındaki frekansa bağlı olan bağlantıları.....	25
Şekil 3.12	1000 Hz oktav bandında yansıma süresi (RT) ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantı	26
Şekil 3.13	C1-C2-C3 hacimlerinin ortalama ses iletim göstergesi (STI) ve yansıma süreleri (RT_{speech}) değerleri arasındaki ilişkileri	27
Şekil 4.1	A405 makine mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri	31
Şekil 4.2	A405 dersliğinin genel görüntüsü	32
Şekil 4.3	A405 dersliğinin genel görüntüsü	32
Şekil 4.4	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri.....	33

Şekil 4.5	B503 dersliğinin genel görüntüsü	34
Şekil 4.6	B503 dersliğinin genel görüntüsü	34
Şekil 4.7	D203 mimarlık dersliğinin plan ve görünüşleri	35
Şekil 4.8	D203 dersliğinin genel görüntüsü	35
Şekil 4.9	D203 dersliğinin genel görüntüsü	36
Şekil 4.10	Seçilen kaynağın özellikleri.....	48
Şekil 4.11	A405 makine mühendisliği dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni	49
Şekil 4.12	B503 inşaat mühendisliği dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni	49
Şekil 4.13	D203 mimarlık dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni.....	49
Şekil 4.14	NR eğrileri.....	52
Şekil 5.1	A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun yansıma süresi (T_{60}) sonuçları.....	54
Şekil 5.2	A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları	55
Şekil 5.3	A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları.....	56
Şekil 5.4	A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları	57
Şekil 5.5	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun yansıma süresi (T_{60}) sonuçları.....	60
Şekil 5.6	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları	61
Şekil 5.7	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları.....	62
Şekil 5.8	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları	63
Şekil 5.9	D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun yansıma süresi (T_{60}) sonuçları	66
Şekil 5.10	D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları.....	67
Şekil 5.11	D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları ..	68
Şekil 5.12	D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Dersliklerin tadilat öncesi ve sonrası T_{60} ve STI parametrelerine göre sonuçları	21
Çizelge 3.2	Dersliklerin yansıma sürelerine (T_{60}) göre mevcut durumlarının sonuçları	24
Çizelge 4.1	A405 makine mühendisliği dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri ..	37
Çizelge 4.2	A405 makine mühendisliği dersliği mevcut durum malzemeleri	38
Çizelge 4.3	A405 makine mühendisliği dersliği giydirilmiş durum malzemeleri	39
Çizelge 4.4	B503 inşaat mühendisliği dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri	39
Çizelge 4.5	B503 inşaat mühendisliği dersliği mevcut durum malzemeleri	40
Çizelge 4.6	B503 inşaat mühendisliği dersliği giydirilmiş durum malzemeleri	41
Çizelge 4.7	D203 mimarlık dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri	42
Çizelge 4.8	D203 mimarlık dersliği mevcut durum malzemeleri	42
Çizelge 4.9	D203 mimarlık dersliği giydirilmiş durum malzemeleri	43
Çizelge 4.10	Derslikler için belirlenen hacim akustiği parametreleri için optimum koşullar	51
Çizelge 4.11	Frekansa göre NR 30 eğrisinin optimum değerleri	52
Çizelge 5.1	A405 makine mühendisliği dersliğinin yansıma süresi (T_{60}) sonuçları ..	54
Çizelge 5.2	A405 makine mühendisliği dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları	55
Çizelge 5.3	A405 makine mühendisliği dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları ..	56
Çizelge 5.4	A405 makine mühendisliği dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçları	57
Çizelge 5.5	A405 makine mühendisliği dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları	58
Çizelge 5.6	A405 makine mühendisliği dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları	59
Çizelge 5.7	A405 makine mühendisliği dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri	59
Çizelge 5.8	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin yansıma süresi (T_{60}) sonuçları	60
Çizelge 5.9	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları	61
Çizelge 5.10	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları ..	62
Çizelge 5.11	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçları	63

Çizelge 5.12	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları	64
Çizelge 5.13	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları	65
Çizelge 5.14	B503 inşaat mühendisliği dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri	65
Çizelge 5.15	D203 mimarlık dersliğinin yansıma süresi (T_{60}) sonuçları.....	66
Çizelge 5.16	D203 mimarlık dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları.....	67
Çizelge 5.17	D203 mimarlık dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları.....	68
Çizelge 5.18	D203 mimarlık dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçlar	69
Çizelge 5.19	D203 mimarlık dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları	70
Çizelge 5.20	D203 mimarlık dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları.....	71
Çizelge 5.21	D203 mimarlık dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri.....	71
Çizelge 6.1	A 405 makine mühendisliği, B503 inşaat mühendisliği ve D203 mimarlık dersliklerinin giydirilmiş durumlarının sonuçları	74
Çizelge Ek 1.1	A 405 makine mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri.....	79
Çizelge Ek 1.2	A 405 makine mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen L_{eq} değerleri.....	79
Çizelge Ek 1.3	B 503 inşaat mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri.....	80
Çizelge Ek 1.4	B 503 inşaat mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen L_{eq} değerleri.....	80
Çizelge Ek 1.5	D 203 mimarlık dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri.....	81
Çizelge Ek 1.6	D 203 mimarlık dersliği fon gürültüsü için ölçülen L_{eq} değerleri	81

**DERSLİKLERİN AKUSTİK PERFORMANSINDA, İÇ YÜZEY GEREÇLERİNİN
ETKİNLİĞİNİN SAPTANMASI**

Mehmet Engin TUNÇER

Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Bir hacmin, akustik açıdan en önemli belirleyicilerinden biri, büyüklük ve biçiminin yanı sıra, o hacimde yer alan her türlü nesne, yüzey ve birimler ile doğrudan ilişkili olan toplam ses yutuculuğudur. Uygulamaya dönük olarak ele alındığında ise, işitsel açıdan önemli hacimlerin iç yüzeylerini oluşturan malzemeler, akustik koşulların oluşturulmasında öncelikli etkenlerdendir.

Günümüzde, hacmin akustik açıdan iç tasarımı ve giydirilmesi, yapım aşaması tamamlanmış ve kullanıma açılmış çoğu mekânda bilinçsizlik, ekonomik yetersizlik ve benzeri nedenlerden ötürü göz ardı edilebilmekte ya da yeterli ilgiyi görememektedir. Bu tez ile akustik tasarımda büyük önem taşıyan iç yüzeylerin, akustik açıdan uygun olarak giydirilmiş, giydirilmemiş ve mevcut durumlarının, o hacmin işitsel konfor koşulları üzerinde ne denli büyük etki yarattığının somut olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında YTÜ Yıldız Kampüsü'nde yer alan üç derslik örnek olarak değerlendirmeye alınarak, farklı özellikteki iç yüzey gereçleri ile kaplanmış olan hacimlerin akustik yeterlilik durumları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda getirilen önlemlerin dersliklerin tasarım aşamasında uygulanmasının, sonradan ortaya çıkabilecek iyileştirme gereksinimleri nedeniyle teknik, ekonomik ve iş gücü yükünün azalmasını sağlaması açısından yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hacimlerin akustik performansı, giydirilmiş-giydirilmemiş yüzeyler, akustik malzemeler, hacim akustiğı parametreleri

ABSTRACT

DETERMINING THE EFFECTS OF THE INNER SURFACE MATERIALS ON THE ACOUSTICAL PERFORMANCE OF CLASSROOMS

Mehmet Engin TUNÇER

Department of Architecture
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

One of the most important indicators of the room's acoustical performance is the total sound absorption which is directly related with the surfaces, objects and individuals in the room besides the size and shape. In practice, the materials composing inner surface of the room have primary importance among all other factors.

Nowadays, acoustical design and inner surface material are not taken into consideration in many places because of lack of awareness, economic problems etc. In this thesis, it was aimed to state the effects of furnished, unfurnished and present situations of inner surfaces on acoustical condition of the place.

Within the scope of this thesis, three classrooms at the Yıldız Campus of YTU were used as application places, and acoustic efficiency of rooms furnished with different inner surface materials was investigated and evaluated. It is thought that the use of measures obtained from this study at the design phase of the classrooms will be beneficial for the reduction of the technical, economical and workforce burden that will be incurred due to the required renovations.

Key words: Room's acoustical performance, furnished and unfurnished halls, acoustic materials, room acoustic parameters

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hacim iç yüzey gereçlerinin, bir hacmin akustik performansını etkilemesi konusu kuramsal ve kılgsal alanda, akustik platformda yer alan bir gerçektir. Bir hacmin akustik özellikleri, hacmin iç yüzey gereçlerinden büyük oranda etkilenir. Bu nedenle, hacim iç yüzeylerinde kullanılan gereçlerin ses yutma çarpanlarının ve kapladıkları alanların belirlenmesi, önemli tasarım kriterlerinden biridir.

Derslikler, temel işlevleri nedeniyle konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanmasının son derece önemli olduğu hacim tiplerindendir. Bu nedenle dersliklerin tasarımı aşamasında, uygun akustik konfor ortam koşullarını sağlayacak iç yüzey gereçlerinin saptanması ve yapım aşamasında gereken detaylarla uygulanması, üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Bu çalışmada, değişik biçim, boyut ve büyüklükte olan dersliklerde, iç yüzey gereçlerinin dersliğin akustik performansındaki öneminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Kampüsü'nde yer alan üç derslik, bilgisayar ortamında modellenmiş ve akustik analizlere olanak sağlayan simülasyon programı yardımı ile mevcut işitsel konfor durumları saptanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda optimum koşulların sağlanamadığı saptanan derslikler için, uygun iç yüzey gereçleri, yine simülasyon programı yardımıyla belirlenmiş ve iç yüzey gereçlerinin gereken akustik ortamın yaratılmasındaki önemi somut değerlerle örneklenmiştir.

Dersliklerinin Akustik Tasarımlarının Değerlendirilmesi ilkelerini ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunurken, genellikle değerlendirmeler için sınırlı birkaç parametre analiz sonuçları mevcuttur. Tez kapsamında kaynak ve alıcı konumu sabitken,

dersliklerin giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının konuşmanın anlaşılabilirliğinde önem taşıyan 6 parametre (Yansıma Süresi, Erken Düşme Süresi, Netlik, Ayırdedilebilirlik, Ses İletim Göstergesi ve Ses Basınç Düzeyi) ile birarada değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında, iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanması aşağıda görülen yaklaşım kapsamında gerçekleştirilmiştir. Konuşmanın Anlaşılabilirliğinde önem taşıyan hacim akustiği parametreleri olan Yansıma Süresi, Erken Düşme Süresi, Netlik, Ayırdedilebilirlik, Ses İletim Göstergesi ve Ses Basınç Düzeyi'ne ilişkin genel bilgilere yer verilmiştir.

- Dersliklerde akustik koşulların değerlendirilmesine yönelik yapılmış olan örneklerden dört tanesi seçilerek, her bir çalışmayla ilgili amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiş, kullanılan yöntemler ve analizler incelenmiş ve çalışmaların sonuçları değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmeye alınan hacimlerin hangi kriterlerle saptandığı, hacimlerin ve iç yüzey gereçlerinin genel özellikleri, her bir derslik için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarında iç yüzey gereçlerinin değerlendirilmesi, hacimlerin iç yüzey gereçleri ile ilgili kabuller, hesaplarda kullanılan simülasyon programının tanıtımı yapılmıştır. Ayrıca, simülasyon programının kendi tasarımında olan kabullere, kaynak ve alıcılarla ilgili kabullere yer verilmiştir.
- Değerlendirmeye alınan üç dersliğin, giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının konuşmanın anlaşılabilirliğinde önem taşıyan hacim akustiği parametreleri olan Yansıma Süresi, Erken Düşme Süresi, Netlik, Ayırdedilebilirlik, Ses İletim Göstergesi ve Ses Basınç Düzeyi'ne göre değerlendirilmeleri yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise dersliklerin giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının sonuçları toplu olarak irdelenmiştir.

BÖLÜM 2

KONUŞMANIN ANLAŞILABİLİRLİĞİNDE ÖNEM TAŞIYAN HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİ

Hacim akustiğine açıklık getirmek amacı ile W.C. Sabine'nin çalışmaları ve ortaya koyduğu frekansa göre yansıma süresi parametresi, uzun yıllar boyunca bir hacmin akustik durumunu tanımlayabilecek tek gerekli parametre olarak kabul görmüştür. Ancak yıllar geçtikçe bu alanda yapılan diğer çalışmalarda, aynı yansıma süresine sahip hacimlerde, öznel değerlendirmelerin çok büyük farklılıklar gösterdiği saptanmıştır [1].

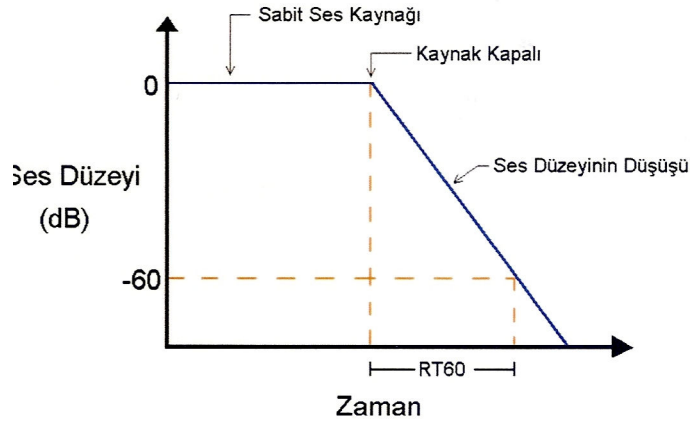
Günümüzde ise çoğu akustikçinin en belirleyici hacim akustiği parametresi olarak yansıma süresini onaylamasına rağmen bu parametreye ek olarak öznel önemi olan diğer parametrelerde önem kazanmaya başlamıştır. Aşağıdaki bölümde bu algılama biçimini nesnel olarak tanımlanmasını sağlayan matematiksel ölçüm, test ve sonuçlar ile ilgili bu alanda kabullerin neler olduğu anlatılmaktadır.

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

Kapalı bir mekânda kaynak sustuktan sonra ses enerjisinin 60 dB düşmesi için gerekli süredir. Birimi saniye'dir. Bu parametre sesin düşme hızı konusunda önemli bir göstergedir. Ses ışınlarının güçleri, yüzeylerin ses yutma katsayısı sebebiyle zamanla zayıflar. Böylece yansılardan oluşan sesler zaman içinde kaybolur.

Hacimde bulunan ses, iç yüzeylerden her yansıdığı anda yüzeylerin yutuculuk çarpanı oranında enerjisinin bir kısmını kaybeder. Böylece, dolaysız sesten sonra oluşan yansıma ve yansıyan yüzeylerden gelen ses zamanla zayıflar ve yutulur. Yüksek

düzeyde bir sesin, kaynak kapandıktan sonra 60 dB düşmesi için geçen sürenin saniyelerle ifadesi Yansıma Süresi (T_{60})'dir. Yansıma Süresi, genellikle 64, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ve 8000 Hz frekanslarıyla olmak üzere 8 oktav bandı için ayrı ayrı belirlenir. Aşağıdaki şekilde ses düzeyinin zamana bağlı düşüşü grafiksel olarak gösterilmiştir [2].



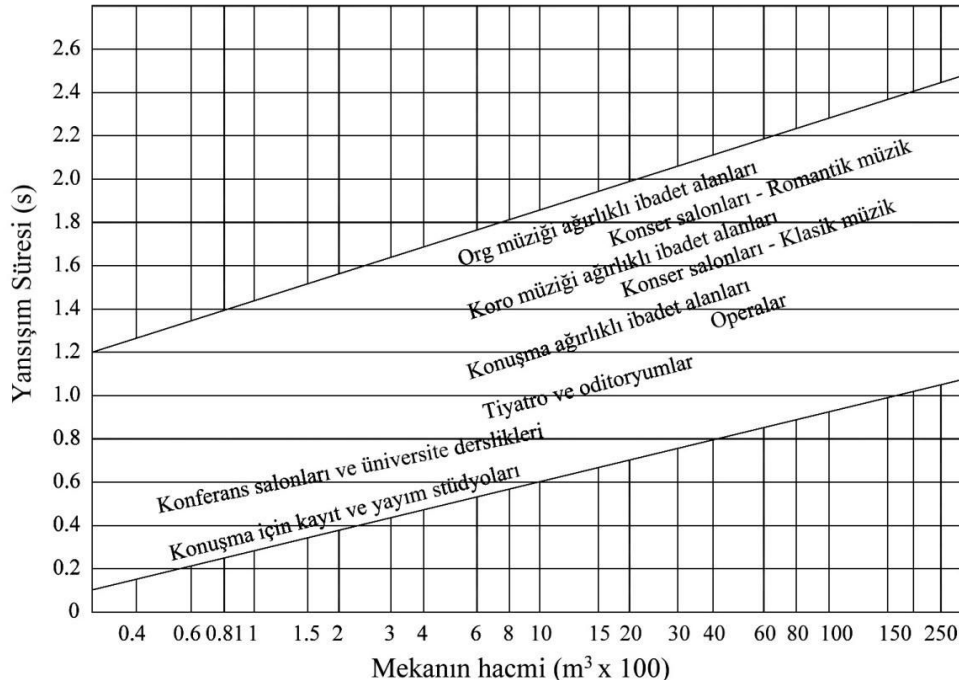
Şekil 2.1 Ses düzeyinin zamana bağlı düşüşünü gösteren grafik

Yansıma süresi diğer bir tanımında ise ses kaynağının kapatıldıktan sonra sesin duyulamamasına kadar geçen süre şeklindedir. Kaynaktan çıkan ses dalgalarının hacmin yüzeylerinden çok kereler yansıması sonucu oluşur [3], [4].

Hacmin yüzeylerini kaplayan iç yüzey gereçleri, hacmin büyüklüğüne göre ve yüksek fon gürültüsünün olduğu ortamlarda, bazı durumlarda ses düzeyinin fon gürültüsünün 60 dB üzerine çıkması her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumlarda T_{60} genellikle ilk 30 dB'lik düşüş belirlenerek elde edilir ve bu değere T_{30} denir. Hesaplanan T_{30} değerinden T_{60} değerine ulaşmak için ise -5 ile -35 dB arasındaki düşüş süresi belirlenerek bulunan T_{30} değeri 2 ile çarpılır [5].

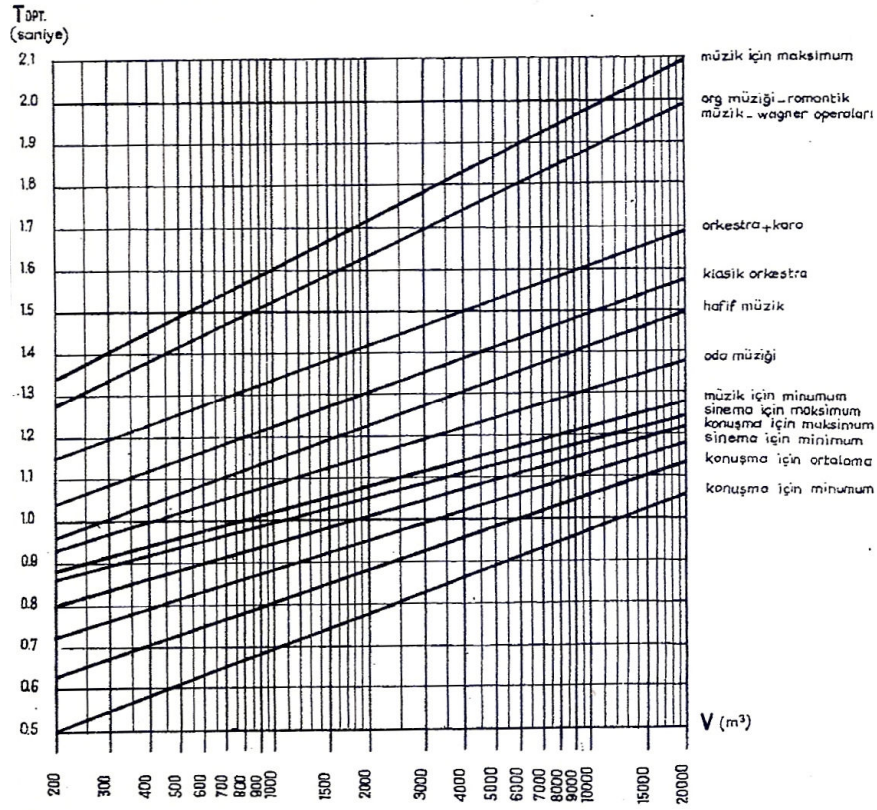
Her hacmin kullanım amacına, fonksiyonuna göre Optimum yansıma süreleri farklıdır. Bir hacimde konuşma işlevi ne kadar önemli ise Optimum yansıma süresi o kadar kısalmaktadır. Müzik işlevinin önemli olduğu mekânlarda ise uzun yansıma süresi, aranan bir özelliktir. Sözlerinin anlaşılmasının önemli olduğu operalar için uygun yansıma süresi 1,0 ile 1,2 saniye arasında iken diğer bazı opera binaları için uygun yansıma süresi 1,2 ile 1,5 saniye arasındadır. Burada önemli olan hacmin büyüklüğü ve işlevidir

[6]. Aşağıdaki şekilde farklı amaca hizmet eden mekânlarda olması istenen yansısim süresinin grafiği gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Farklı amaca hizmet eden mekânlarda olması istenen yansısim süresinin hacimlere bağlı olarak değişim grafiği [6]

Her hacmin büyüklüğüne ve işlevine göre olması gerekli optimum yansısim süreleri farklıdır. Çünkü büyüklükleri aynı olan iki salon arasında bile işlevi bakımından farklı yansısim süreleri istenebilir. Akustik performans açısından değerlendirilecek salonların bu kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tasarım aşamasında hacmin hangi işlev için yapılacağı planlanarak, sonradan ortaya çıkan iyileştirme çalışmalarından doğabilecek teknik, ekonomik ve iş gücü yükünün de azalması açısından yarar sağlayacaktır. Şekil 2.3'te Hacimlerin büyüklük ve işlevlerine göre değişen minimum-optimum-maksimum yansısim süresi değerleri gösteren diğer bir grafik mevcuttur.



Şekil 2.3 Hacimlerin büyüklük ve işlevlerine göre değişen minimum-optimum-maksimum yansıma süresi değerleri [7]

Knudsen ve Harris 1950'li yıllarda yaptıkları çalışmalarında, Doelle ise 1972 yılında yaptığı çalışmasında müzik amaçlı hacimler için uygun olacak yansıma sürelerinin 500 Hz'in altındaki frekanslarda hesaplanan yansıma süreleri'nin, orta frekanslarda hesaplanan yansıma süreleri'den biraz üzerinde olması önerisini getirmişlerdir [6].

Beranek ise konser salonlarında yaptığı çalışmalar sonucunda, müzik amaçlı bir hacimde, 125 Hz'deki Yansıma Süresi'nin 500 ve 100 Hz'deki yansıma süreleri'nin ortalamasının, yaklaşık 1,2 katına çıkmasının akustik kalite açısından olumlu olacağı önerisinde bulunmuştur [6].

Yansıma Süresi denklemi hesaplanırken 500 Hz'deki T_{60} süresi ile 1000 Hz'deki T_{60} süresinin ortalaması alınır. Bu ortalama akustik koşullarının değerlendirilmesinde önem teşkil eder. Matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$RT = T_{60} \quad (2.1)$$

$$RT = (RT_{500} + RT_{1000}) / 2$$

Yansışım süresi öznel olarak zamana bağlı olan algılama ve mekâna bağlı olan algılama şeklinde iki farklı şekilde algılanır. Yansışım zamansal yönü Canlılık (liveness) ile ilişkilidir. Büyük hacimlerde müzik dinlerken yansışımı her yönden duymak çok önemlidir. Yansışımın en yüksek olduğu hacimler, yüksek yansışımlı ve dolaysız sesin hissedilmeyecek kadar zayıf olduğu mekânlardır ki bu gibi durumlarda dinleyici ses kaynağının yönünü tam olarak algılayamaz ve yankı ortaya çıkar [8].

Bir hacmin yansışım süresi hesaplanmak istenildiği durumlarda Sabine, Eyring ve Millington gibi 3 farklı formülden yararlanılır. Bu 3 formülde hacmin ortalama yutuculuklarının değişik açıklardan ele alınmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin hemen hepsinde yansışım süresi hesaplanarak hacim ve hacim yüzeylerinin ses yutma çarpanları, önemli etkenler olarak hesaba katılmasına rağmen en basit olanı “Sabine” formülüne göre yansışım süresi hesabıdır.

Sesin bir hacmin içinde sönmesi için, belirli bir süre gerektiği fikri, ilk olarak Sabine’in 1895’te başlayan öncü çalışması ile ortaya çıkmıştır. Sabine Harvard Koleji’ndeki Fogg Art Müzesi’nin yeni konferans salonunda yaptığı çeşitli çalışmalar sonucu aşağıdaki denkleme ulaşmıştır.

$$T_{60} = 0.16 V / A_y + A_b + A_h \quad (2.2)$$

V: Yansışım süresi hesaplanacak hacmin büyüklüğü

A_y: Hacimdeki yüzeylerin toplam yutuculuğu

A_b: Hacimdeki birimsel nesnelerin toplam yutuculuğu

A_h: Hacmin havasının yutuculuğu

Hacmin yansışım süresi hesaplanırken hacmin büyüklüğü ve hacmin yüzeylerinin yutma katsayıları önemlidir. Yansışım süresi hacmin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Hacmin büyüklüğünün artmasıyla yansışım süresi de artar. Ayrıca yansışım süresi, hacmi kaplayan malzemelerin yutma çarpanları ile arasında bir bağlantı bulunmaktadır. Hacmin yüzeyi yutma çarpanı düşük gereçlerle kaplanmış ise yansışım süresi uzundur.

Yansımsız bir odada Sabine bağıntısı ile 0 sonucu elde edilemezken, Eyring bağıntısı doğru olan 0 sonucunu verir [6]. Sabine ve Eyring bağıntılarından hangisinin kullanılacağı bu bağıntılarla ilgili bir takım kabullere bağlıdır. Eyring bağıntısında tüm yüzeylerin yutma çarpanlarının eşit olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle bu bağıntının doğru sonuç vermesi için hesaplamalarda bu duruma mümkün olduğunca yaklaşmak gerekir. Bunu yapmak için yutma çarpanları birbirinden çok uzak gereçlerden tek parçalı, büyük yüzeyler oluşturmaktan kaçınılmalı, bu gereçler küçük parçalar halinde kullanılmalıdır. Bu durum yapılarak, yutuculukların iç yüzeylere düzgün bir şekilde dağılmasını sağlayacaktır. Dışbükey yüzeyler kullanarak sesin yayılmasını sağlamak da oluşacak peş peşe yansımalarla ortalama yutuculuğa ulaşmak için izlenebilir. Sabine bağıntısı ise tam yayınık olduğu varsayımı, iç yüzey gerecine her zaman biriminde eşit ses erkesinin geldiği yani ses alanının üzerine kurulmuştur. Bu koşulu gerçekleştirmek uygulamada zor olsa da yüzeylerin yutma çarpanlarının küçük olduğu kimi hacimlerde bu bağıntının kullanılması daha doğru sonuçlar verir. Yutma çarpanlarının küçük olması, yansıma süresi'nin uzun olmasına neden olacak bu da hacimde oluşacak peş peşe yansımalarla yeterince yayınık bir ses alanına ulaşılmasını sağlayacaktır [7].

2.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)

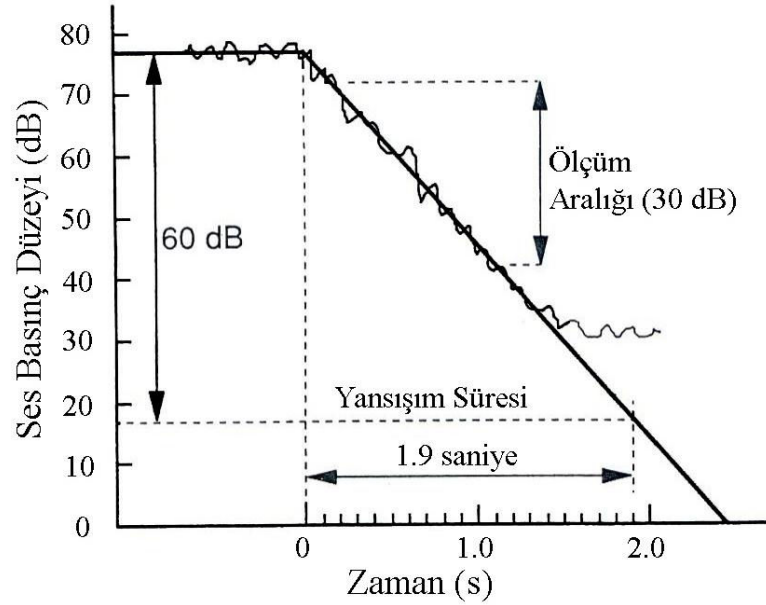
Ses kaynağı kapatıldıktan sonraki ses enerjisinin ilk 10 dB'lik düşmesi için gerekli süredir. Birimi saniye'dir. Tanımı gereği Yansıma süresi ses kaynağı kapatıldıktan sonraki 60 dB'lik düşüş için gerekli süreyi kapsarken erken düşme süresi 60 dB'lik düşüş eğrisinin ilk 10 dB'lik bölümüdür. Yansıma süresine oranla işitsel algılama açısından daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, matematiksel bir ifade ile aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$EDT = t \times 6 \quad (2.3)$$

t = Sesin ilk 10 dB'lik düşüşü için geçen süre (s)

Erken düşme süresi parametresi, algılanan öznel etkileri nedeniyle konuşmanın anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi açısından yansıma süresinin yerini almaya başlamıştır [9].

Erken düşme süresi, enerji düşüşünün ilk 10 dB'lik bölümüne bakılarak, yansışım işleminin öznel olarak en önemli olduğu, erken bölümünün hesaba katılması ile elde edilen yeni bir yansışım süresi ölçüm biçimi olarak ifade edilmektedir. Teorik olarak tam yayınlık kabul edilen ortamlarda yansışım süresine eşit olması beklenen bu parametre, çoğunlukla yansışım süresinden daha kısadır [10].



Şekil 2.4 Erken düşme süresi ve zaman grafiği

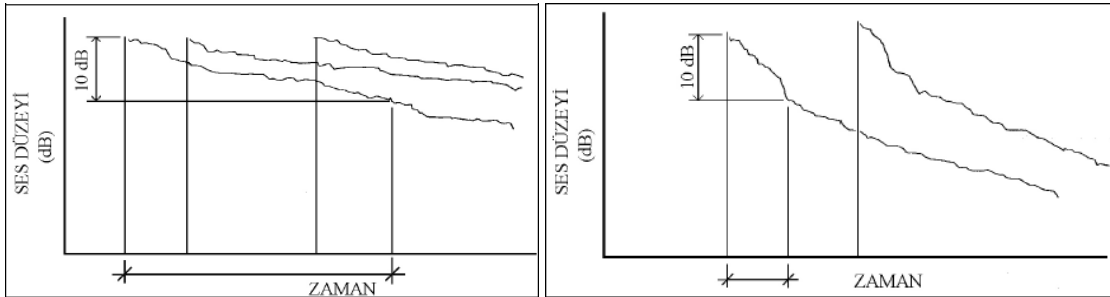
Yansışım süresi parametresinin değerlendirilmesinde olduğu gibi erken düşme süresi parametresinde de hacmin işlevi ve büyüklüğü önemlidir. Farklı işlev ve büyüklüğe sahip salonlar için önerilen değer aralıkları bulunur. Erken düşme süresi parametresi için önerilen değerler, yansışım süresine bağlı olmadan, salonlarda yapılan öznel ve nesnel, incelemeler ve tecrübeler dayalı olarak verilebilmektedir [3], [4]. Salonların akustik kalitesini karşılaştırılmasında erken düşme süresi (EDT) daha önemli bir parametre haline gelmeye başlamıştır [2]. Atal, Schroeder ve Sessler'in 1965'te yaptığı çalışmalar göstermiştir ki ses düşüşünün başlangıç kısmı ile ilgili olan erken düşme süresi (EDT), öznel algılama açısından yansışım süresinden (T_{60}) daha önemlidir [11].

Örneğin İngiltere'de çeşitli konser ve opera salonlarında yapılan bir incelemenin sonucu olarak önerilen belli aralıklar vardır. Bu çalışmaya göre 1,8 s ile 2,2 s arasındaki erken düşme süresi uygun olarak değerlendirilmektedir [9], [12], [13].

Erken Düşme Süresi (EDT), birkaç erken yansımayla belirlendiği halde yansıma süresi (T_{60}) birçok yansımayla belirlenir. Erken düşme süresi (EDT), hacmin belirli yüzeylerinden gelen erken yansımalarla ilişkili olduğundan, hacmin formu, biçimi ve büyüklüğü etkilidir. Fakat yansıma süresi (T_{60}), matematiksel denklemlerinden gelen özellik sonucu tüm yüzeylerden gelen yansımalarla belirlendiğinden, hacmin geometrisinden bağımsızdır [5].

Ayrıca Erken düşme süresi (EDT) parametresi; netlik (D_{50}) parametresi ile bağlantılıdır. Erken düşme süresinin uzun olduğu durumlarda netlik parametresi ters orantılı olarak düşük değerdedir. 1990 yılında Cervone tarafından yapılan bir çalışmada; Erken düşme süresi ile dinleyiciler tarafından değerlendirilen canlı konser salonu performansının akustiksel etkisi arasında bir bağlantı olduğunu göstermektedir [3], [4].

Erken düşme süresi parametresi yansıma süresi ve netlik parametresiyle ilgisinin yanı sıra anlaşılabilirliği de etkilemektedir. Uzun ve kısa EDT süresinin anlaşılabilirliği nasıl etkilediği Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Uzun EDT süresi anlaşılabilirliği olumsuz etkilediği kısa EDT süresinin ise seslerin net şekilde duyulmasına olanak sağlayarak olumlu etkilemektedir [3], [4].



Şekil 2.5 ve 2.6 Uzun ve kısa EDT süresinin zamana bağlı grafiği [3], [4]

2.3 Netlik (Clarity - C_{80})

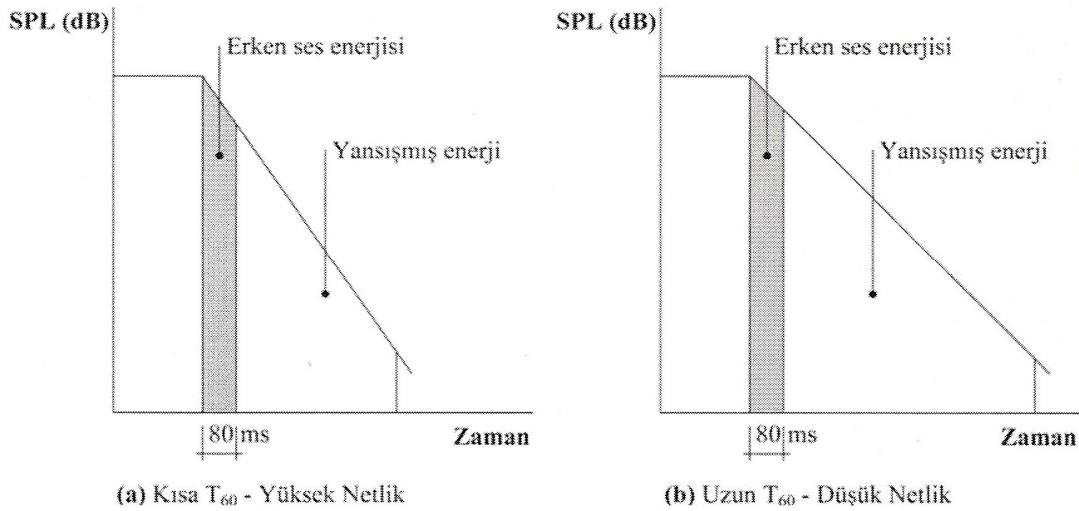
Müziğin netliği ve anlaşılabilir olmasını anlatmak için kullanılır. Ses kaynağı açıldıktan sonraki 0 – 80 ms ile 80 - ∞ ms zaman aralıklarında dinleyiciye ulaşan ses enerjileri arasındaki oranın logaritmasal değerinin dB cinsinden ifade edilmesidir.

İlk olarak 1953 yılında Thiele tarafından ortaya konmuştur. Dolaysız sesteki sonraki ilk 50 ms ile belirlenen ayırdedilebilirlik (Distinctness- D_{50}) parametresine dayanılarak üretilmiştir. Konuşmanın niteliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Daha sonra 1975'te Reichardt, müzik için erken ses sınırının 80 ms'lik zaman aralığı olmasının daha uygun olacağı önerisinde bulunmuş ve netlik (C_{80}) parametresi elde edilmiştir. Netlik aşağıdaki denklem ile ifade edilir [11].

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.4)$$

Netlik (C_{80}) parametresi yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile ters orantılıdır. Yansıma süresi arttıkça yansımış ses artacak ve 0 – 80 ms arasındaki enerji, 60 dB'lik düşüş içinde daha küçük bir bölüme denk geleceğinden, erken ses enerjisi azalacaktır [5].



Şekil 2.7 Netlik (C_{80}) parametresi yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile ters orantısının zamana bağlı grafiği [5]

Netlik (C_{80}) parametresi kaynaktan çıkan ilk ses enerjisi ile yansımış ses enerjisini birbirinden ayırmak için kullanılan hacim akustiği parametresidir. Netlik (C_{80}) parametresi müziğin netliği ve anlaşılabilir olmasını anlatmak için kullanılırken, konuşma ile ilgili parametre ise ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresidir. Hacimler müziğin anlaşılması için yeterli olurken; konuşma için yeterli olmayabilir. Netlik değerinin yüksek olduğu hacimlerde ilk yansıma ile dinleyiciye ulaşan enerjinin daha ağırlıklı olduğu, dinleyiciye gelen sesin daha net olarak anlaşılabilirdiği belirlenmiştir. B.Jordan tarafından yansıma süresinden bağımsız olarak netlik için tolerans sınırları ± 2 dB'dir.

Kabul edilebilir değer olarak ise 0 dB önerilmektedir. Eğer netlik parametresi değeri düşük ise bu durum o hacimde yansımanın çok olduğunu gösterir. Yansıım süresinin düşük olduğu hacimler kuru olarak nitelendirilebileceği gibi müziğin net olarak anlaşılabileceği yerler için netlik pozitif değerdir denebilir.

Geniş hacimli (katedral v.b) yerlerde yansıım süresi uzun ise müzik net olarak anlaşılmayacaktır ve netlik eksi değerde olacaktır. Örneğin Bristol – Colston Hall konser salonunda C_{80} değeri 0,5 iken Boston – Symphony Hall konser salonunda bu değer -2,7 olarak tespit edilmiştir [2].

2.4 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})

Konuşmanın öznel olarak anlaşılabirliği konusunda bir gösterge durumunda olan ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresinin, dolaysız sesten sonraki ilk 50 ms içindeki alıcıya ulaşan yansımaların, ayırdedilebilirlik düzeyini belirleyerek konuşmanın anlaşılabirliği açısından yararlı sesleri oluşturduğu ortaya konmuştur.

$$D_{50} = \epsilon_{0-50\text{ ms}} / \epsilon_{0-\infty\text{ ms}} (\%) \quad (2.5)$$

$\epsilon_{0-50\text{ ms}}$: 0 ms ile 50 ms arasındaki toplam ses enerji yoğunluğu (w.s/m³)

$\epsilon_{0-\infty\text{ ms}}$: 0 ms ile sonsuz arasındaki toplam ses yoğunluğu (w.s/m³)

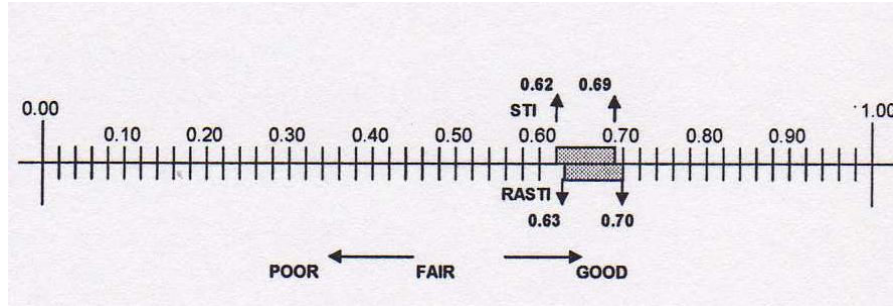
Hem netlik (C_{80}) hem de ayırdedilebilirlik (D_{50}) gibi parametreler, erken gelen enerji miktarına bağlı olarak, konuşma ya da müzik açısından uygunluk durumunu ortaya koyabilmek amacı ile geliştirilmiştir. Her iki parametrede dinleyiciye değişik doğrultulardan ulaşan ilk yansımaların etkisini belirlemek amacı ile oluşturulmuştur.

Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi, netlik (C_{80}) parametresi gibi yansıım süresi (T_{60}) parametresi ile ters orantılıdır. Her hacim için kullanılan C_{80} ve D_{50} parametre değerleri farklıdır. Burada dikkat edilmesi gereken özellik kullanılan hacim konuşma için uygun iken müzik için uygun olmayabilir. Yansıım süresi ve erken düşme süresi parametrelerinde olduğu gibi, hacmin işlevinin ne olacağı önem kazanmaktadır.

2.5 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)

Konuşmanın anlaşılabilirliğinin belirlenmesi ve tanımlanabilmesi için uluslararası çapta kullanılan kriterlerden birisidir. Anlaşılabilirlik oranı diye nitelendirebilir. Her dilde ayrı ayrı belirlenmiş olan o dildeki kişiler için anlamı olmayan sözcükler (legatonlar) kişilere dinletilir ve sözcükleri anlama oranı belirlenir. Daha sonra bulunan sonuçlardan yararlanılarak STI ve RASTI skalaları oluşturulmuştur. Hacmin anlaşılabilirlik oranı Şekil 2.8’de ki skaladan yararlanılarak değerlendirilir. Kabul edilebilir en düşük değer olarak 0,65 önerilmektedir.

STI parametresi, ses iletiminin mükemmel olması durumunda 1 değerini, iletilen ses sinyalinin tanınamaması durumunda ise 0 değerini alır [14].

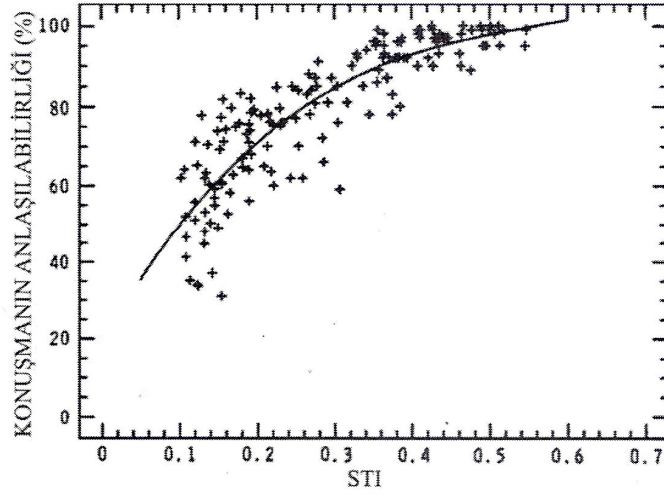


Şekil 2.8 STI ve RASTI skalaları [14]

Ses kaynağından çıkan ses, dinleyiciye ulaşana kadar hacim tarafından değişikliğe uğrar. Bu değişiklikler sonucu ses bir miktar bozulur. Hacimdeki ses iletim göstergesi, fon gürültüsü ve yansımış sestten de etkilenir [6].

Ses iletim göstergesi (STI), ses iletiminin konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkilerini belirler. Bu etkiler, kaynaktan çıkan ses sinyalinin dinleyiciye ulaşana kadar aldığı iletim yolu boyunca, enerjisindeki düşüşün analizi yöntemiyle belirlenir [14].

Konuşmanın anlaşılabilirliği ve ses iletim göstergesi arasında doğru orantı vardır ve bu bağlantı Şekil 2.9’da gösterilmektedir [6].



Şekil 2.9 Konuşmanın anlaşılabilirliği ve ses iletim göstergesi arasındaki bağlantının grafiği [15]

2.6 Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)

Kapalı bir hacimdeki ses alanı, doğrultulu ve yayınık ses alanlarından oluştuğundan, hacmin herhangi bir noktasındaki ses düzeyi, yansımış ses düzeyi ile o noktadaki dolaysız ses düzeyi toplamı olarak tanımlanabilir [16], [17].

Toplam ses düzeyinin yeterliliği, hacimdeki fon gürültüsüne, insan kulağından ötürü frekansa, sesin türüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Genel bir ifade olarak 50 – 80 dB arasındaki toplam ses düzeyinin kabul edilebilir sınırlar olduğu söylenebilmektedir.

Hacmin herhangi bir noktasındaki toplam ses düzeyi o noktadaki yayınık ses düzeyi ile dolaysız ses düzeyinin toplamından oluşur [13].

Aşağıdaki denklemlerde yayınık ses düzeyi, dolaysız ses düzeyi ve bunların toplamından oluşan ses basınç düzeyi (SPL) parametresinin matematiksel formülleri verilmiştir.

Yayınık Ses Düzeyi:

$$SPL_r = SWL + 10\log (4/A) \quad (2.6)$$

$$SPL_r = \text{Yayınık ses düzeyi (dB)}$$

$$SWL = \text{Ses gücü düzeyi (dB)}$$

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

Dolaysız Ses Düzeyi:

$$SPL_d = SWL + 10\log (Q/4\pi d^2) \quad (2.7)$$

SPL_d = Dolaysız ses düzeyi (dB)

SWL = Ses gücü düzeyi (dB)

Q = Doğrultululuk Çarpanı

d = Kaynak – alıcı uzaklığı (m)

Ses gücünün düzeyini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$SWL = 10\log (W/W_0) \quad (2.8)$$

SWL = Ses gücü düzeyi (dB)

W = Ses kaynağının gücü (W)

W_0 = Referans ses gücü (10^{-12} W)

Yukarıdaki 2.6 ve 2.7 formülünün birleştirilmesi sonucu Ses Basınç Düzeyi (SPL)'nin formülü aşağıdaki formül olarak oluşmuş olur.

$$SPL_t = SWL + 10\log (Q/4\pi d^2) + (4/A) \quad (2.9)$$

SPL_t = Toplam Ses Basınç Düzeyi (SPL)

Ses basınç düzeyi (SPL) parametresi sesin uzaklığı ve kaynağın doğrultululuğu ile yakın ilişkilidir. Ses düzeyi; kaynakla, alıcının arasındaki mesafenin her iki katına çıkması ile 6 dB düşerken, kaynaktan çıkan dolaysız seste, ses enerjisi, kaynaktan uzaklaştıkça uzaklığın karesi ile azalır [18].

DERSLİKLERDE AKUSTİK KOŞULLARIN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK GÜNÜMÜZE DEĞİN YAPILAN ÇALIŞMALARA ÖRNEKLER

Dersliklerin tasarımı aşamasında, uygun akustik konfor ortam koşullarını sağlayacak iç yüzey gereçlerinin saptanması ve uygulanması, yıllardır üzerinde önemle durulması gereken bir konudur ve günümüze kadar bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalara örnek olarak dört adet çalışma incelenmiştir. Aşağıda yer alan bölümlerde, çalışmalar özet olarak yer almaktadır.

3.1 Murray Hodgson'ın Çalışması

Üniversite dersliklerinin akustik tasarımlarının değerlendirilmesi ilkelerini ortaya koyan bu çalışmanın amacı ölçüm verilerini ve teorik değerlendirmeleri kullanarak British Columbia Üniversitesi (UBC) dersliklerinin akustik kalitesini belirlemektir [19].

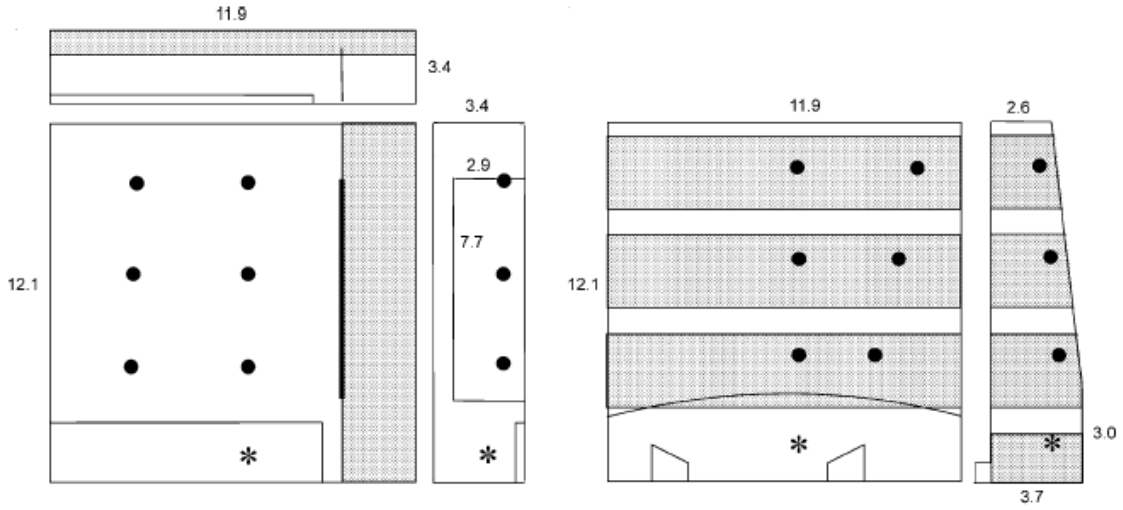
British Columbia Üniversitesi'ndeki 14 dersliğin yenileme öncesi ve sonrası akustik karakteristikleri çalışma kapsamında ölçülmüş ve çalışmada bunlardan yedisi detaylı olarak incelenmiş, değerlendirilmiştir.

Her bir derslikte kaynak ve alıcılar mekânın içine dağıtılmış çeşitli konumlara yerleştirilerek ölçümler yapılmış ve tadilat öncesi ve sonrası olmak üzere dersliklerin yansıma süresi (Reverberation Time – T_{60}), ses iletim göstergesi (Speech Transmission Index - STI) değerleri karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki bölümde 7 adet dersliğin genel özelliklerine ve tadilatlarda neler yapıldığına değinilmiştir.

BUCH A202 Dersliği:

Orta büyüklükte bir derslik olup hacmi 490 m³'tür. 105 kişilik olan derslikte tadilat sırasında dikey bir bölümlendirme kaldırılmış, oturma yerlerinin sayısı arttırılmış, öğretim platformu kaldırılmış, görüş alanının iyileştirilmesi için öğrenci oturma yerlerinin bulunduğu kısım eğimli hale getirilmiştir. Öğretim alanının yanlarına açılı dikey yansıtıcılar yerleştirilmiştir. Kısmî, yapıştırılmış akustik duvar ve tavan karoları sökülerek, öğretim alanı haricindeki bölüme akustik asma tavan yapılmıştır. Yan duvarlara rezonatörler yerleştirilmiş, Merkezi Isıtma-Soğutma ve Havalandırma Sistemi iyileştirilmiştir.

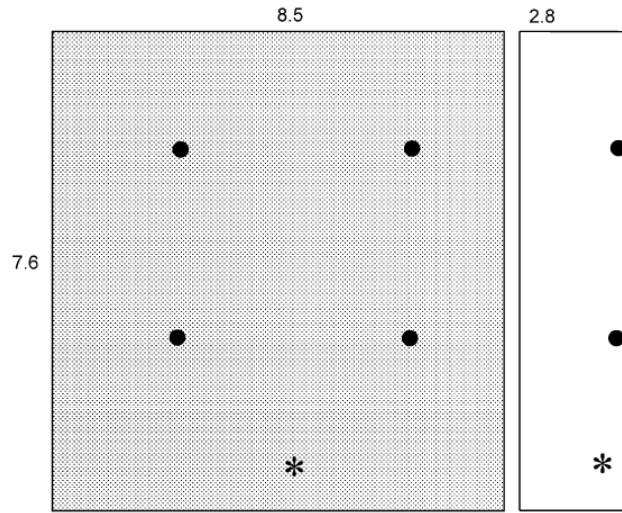


Şekil 3.1 BUCH A202 dersliği'nin tadilattan önceki ve sonraki durumu [19]

(*) : Kaynak (•) : Alıcı [yutucu tavan ve duvar malzemeleri]

BUCH B223 Dersliği:

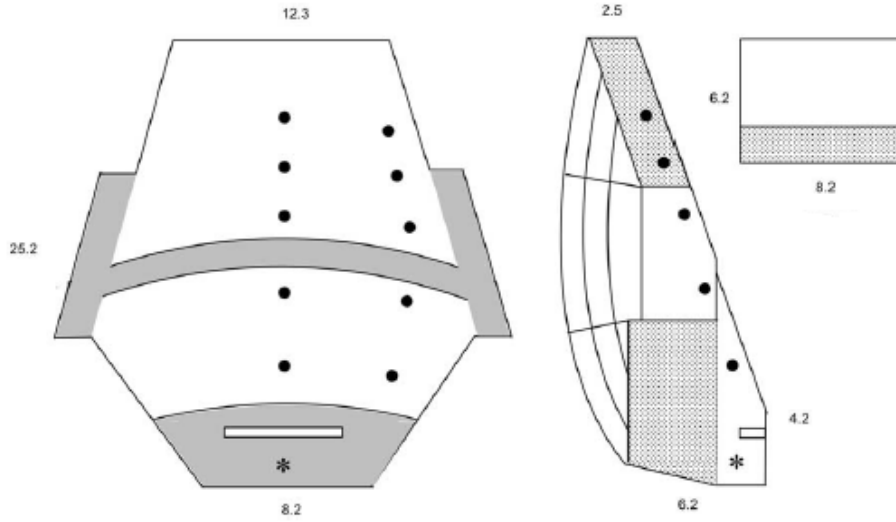
BUCH B223 küçük ayakkabı kutusu biçiminde bir derslik olup eni boyundan fazladır ve hacmi 190 m³'tür. 45 kişilik olan derslikte tadilat sırasında bütün tavanı kaplayan yapıştırılmış mineral-fiber tavan karoları sökülerek yerine, mineral-fiber akustik asma tavan yapılmıştır.



Şekil 3.2 BUCH B223 dersliği'nin tadilattan önceki ve sonraki durumu [19]

HEBB Tiyatrosu:

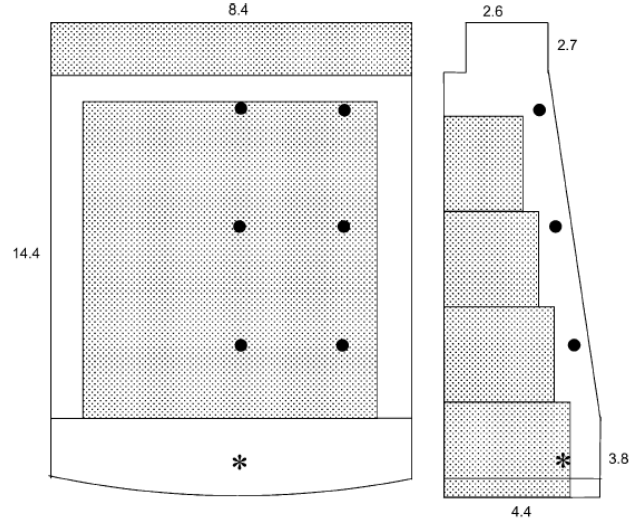
HEBB Tiyatrosu kompleks biçimli hacmi 3565 m³ olan bir oditoryumdur. Tadilat sırasında, kapasitesi 451 kişiden 375 kişiye indirilmiş, yan, ön ve arka duvarlara ek yutucu yüzeyler yerleştirilmiştir. Girişe, koridorlara ve öğretim alanına halı serilmiştir.



Şekil 3.3 HEBB tiyatrosu'nun tadilattan önceki ve sonraki durumu [19]

LASR 102 ve 104 Derslikleri:

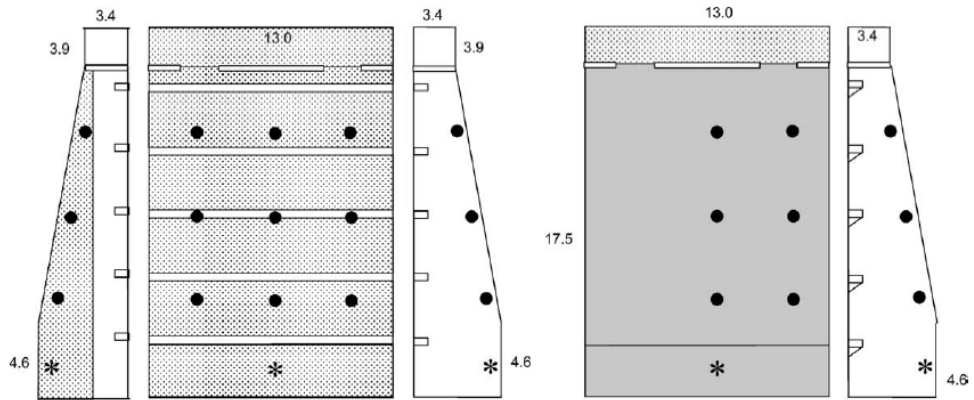
LASR 102 ve 104 iki adet uzun, dar, hacmi 490 m³ ve 95 kişilik oturma kapasitesine sahip olan iki dersliktir. Tavanın büyük bir bölümü ve duvarların üst bölümleri delikli ses yutucu gereçlerle kaplanmıştır.



Şekil 3.4 LASR 102 ve 104 derslikleri'nin tadilatı [19]

LSK 200 Dersliği:

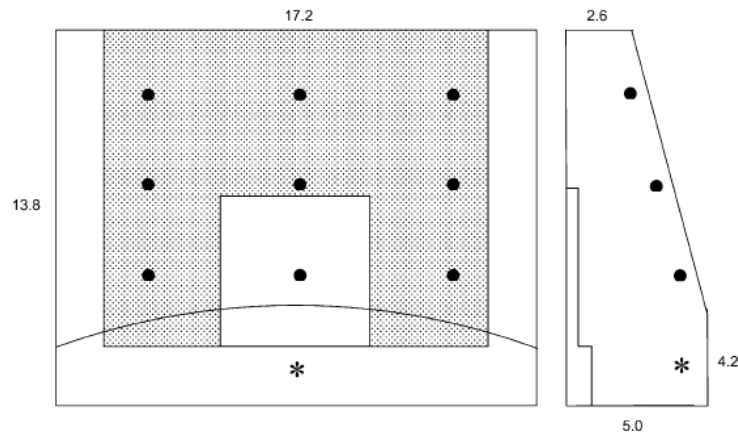
LSK 200, 1090 m³, 210 kişilik ve oturma alanı eğimli geniş bir dersliktir. Tadilat sırasında, duvarlar ve tavandaki akustik karolar sökülüş, zeminin tamamına halı döşenmiş, tavanın arka bölümüne akustik asma tavan yapılmıştır. Derslik içinden geçen çatı iç kirişleri yararlı yansıma sağlamak için açılı hale getirilmiştir.



Şekil 3.5 LSK 200 dersliği'nin tadilatı [19]

MATH 100 Dersliği:

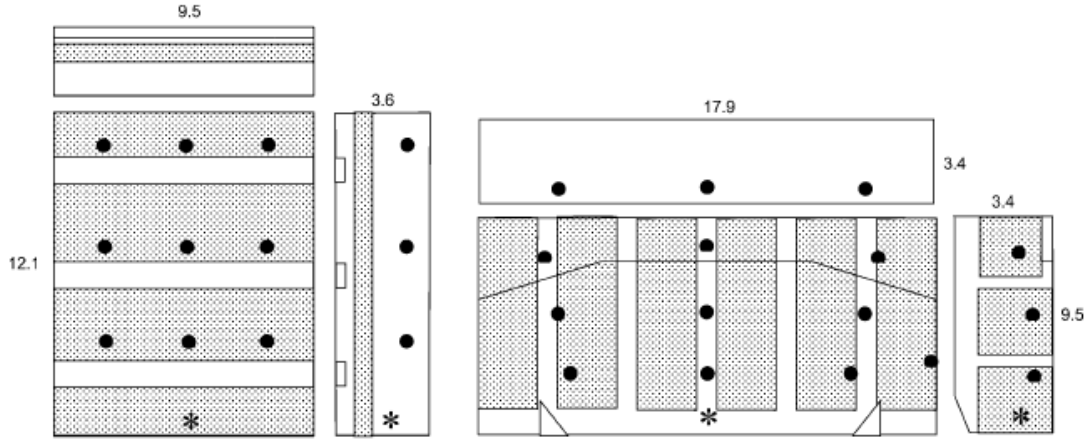
MATH 100 hacmi 870 m³ ve 224 kişiliktir. Oturma yerleri eğimli olarak yerleştirilmiş geniş bir oditoryumdur. Tadilat sırasında daha önce bulunmayan havalandırma sistemi kurulmuştur. Ayrıca akustik asma tavan yapılmış, ğretim alanının alçaltılan tavanı ve oturma alanının üzerindeki tavanın ortası ile yan duvarlardan 1,5 m kadar içeriye uzanan birer şerit yansıtıcı halde bırakılmıştır.



şekil 3.6 MATH 100 dersliği'nin tadilattan önceki ve sonraki durumu [19]

MCDL 202 Dersliği:

MCDL 202 hacmi 570 m³ 123 kişiliktir. Eski MCDL 202 ve yanındaki başka bir odanın birleştirilmesi ile oluşturulmuştur, dolayısıyla oda hacmi ve oturma yeri kapasitesi arttırılmıştır. Aynı zamanda odanın yönü de değiştirilmiştir. Dolayısı ile eski dersliğin boyu eninden fazla iken, tadilat sonrasında eni boyundan fazla olmuştur. Öğretim alanının yanlarına dikey yansıtıcılar yerleştirilmiştir. Yan ve arka duvarların st kısmına döşenmiş olan akustik karolar sökülmüştür. Tadilat öncesinde aralarına akustik karolar dşeli olan tavan çıkıntıları arasına akustik asma tavan yapılarak oda yüksekliği azaltılmış ve çıkıntılar ortadan kaldırılmıştır. Ancak ğretim alanının üstündeki tavan alçaltılmış ve yansıtıcı tutulmuştur. Yan duvarların büyük bir bölümüne rezonatörler yerleştirilerek düşük frekans yansımını kontrol altına alınmıştır. Havalandırma sistemi iyileştirilmiştir.



Şekil 3.7 MCDL 202 dersliği'nin tadilatı [19]

Tüm bu yapılan çalışmalar sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada British Columbia Üniversitesi'nin 7 dersliğinde tadilat öncesi ve sonrası sözlü iletişim kalitesi detaylı olarak incelenmiş, dolayısıyla tadilatların verimli olup olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan tadilatların yansıma süresi (T_{60}) ve ses iletim göstergesi (STI) parametre sonuçlarını arttırabileceği veya azaltabileceği gösterilmiştir.

British Columbia Üniversitesi (UBC) dersliklerinin akustik tasarımı ve tadilatlarında yansıma süresinin kılmasının olumlu etkisinden yararlanmak için kimi dersliklerde, gereğinden fazla yutuculuğun sağladığı, bunun da konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

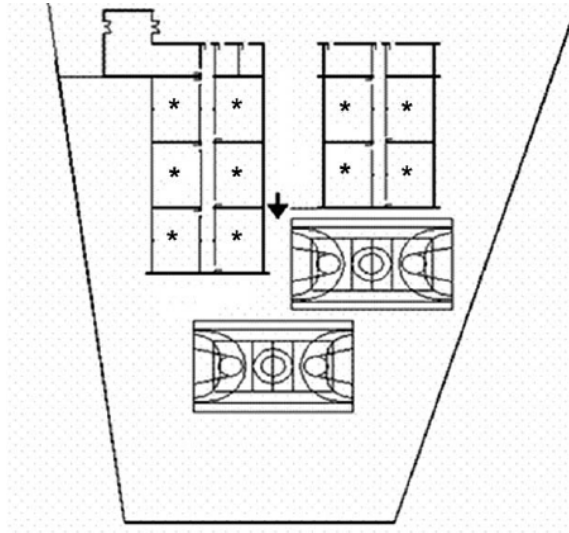
Çizelge 3.1 Dersliklerin tadilat öncesi ve sonrası T_{60} ve STI parametrelerine göre sonuçları

Derslikler/ Parametreler	Tadilat Öncesi T_{60} (sn)	Tadilat Sonrası T_{60} (sn)	Tadilat Öncesi STI	Tadilat Sonrası STI
BUCH A202	0.60	0.51	0.40	0.62
BUCH B223	0.39	0.42	0.76	0.71
HEBB Tiyatrosu	1.17	0.80	0.54	0.61
LASR 102-104	0.85	0.36	0.58	0.39
LSK 200	0.50	0.76	0.61	0.59
MATH 100	0.55	0.44	0.71	0.63
MCDL 202	0.40	0.41	0.40	0.62

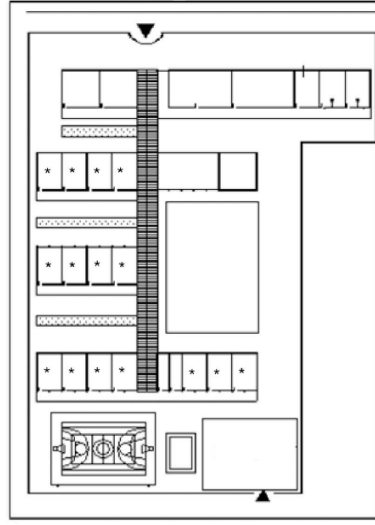
Bu durum hacim akustiği ile ilgili parametrelerin optimal değerlerinin sağlanmasında, her hacmin özelliğine göre değerlendirme yapılmasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

3.2 Paulo Henrique Trombetta Zannin, Daniele Petri Zanardo Zwirter'in Çalışması

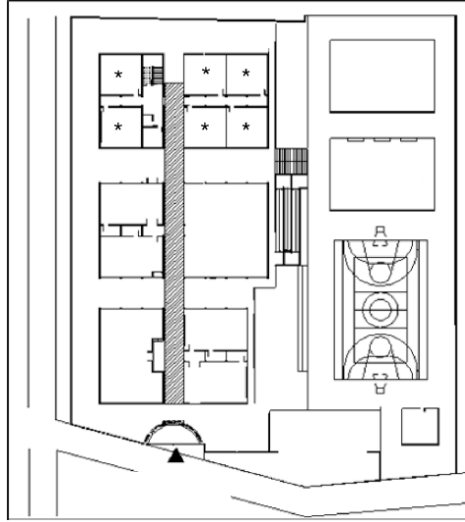
Devlet okullarındaki dersliklerin akustik performansının belirlenmesini amaçlayan bu çalışma kapsamında, Brezilya'da yer alan altı okul değerlendirmeye alınmıştır. Üç değerlik plan tipinde dersliğin yer aldığı okullar, Güney Brezilya'da yer alan Paraná kentindedir. Üç değerlik plan tipine sahip okulun yerleşim şemaları Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da yer almaktadır. İsimleri yerine 010, 022 ve 023 kodları ile verilen her plan tipine sahip iki okul, toplam altı okulda çalışma yapılmıştır (010 plan tipi: S1 ve S2 okulları, 022 plan tipi: S3 ve S4 okulları, 023 plan tipi: S5 ve S6 okulları) [20].



Şekil 3.8 Tasarım 010'un yerleşim şeması [20]



Şekil 3.9 Tasarım 022'nin yerleşim şeması [20]



Şekil 3.10 Tasarım 023'ün yerleşim şeması [20]

Tasarım 023'te aynı arazi içinde bağımsız bloklar ve her bir blok içinde bir koridorun iki tarafına sıralanmış derslikler bulunmaktadır. Tasarım 022'de bloklardaki sınıflar tek sıra halinde dizilmiştir. Tasarım 010'da, Tasarım 023 gibi bir koridorun iki tarafına sıralanmış dersliklere sahiptir. Tasarım 010 ve 023 blok yapısı açısından benzer olmalarına rağmen Koridor yüksekliği, inşaat malzemeleri ve kaplama malzemeleri açısından önemli farklılıklar göstermektedirler.

Dersliklerde öğrenci yokken yansıma süresi ölçüm sonuçları Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Dersliklerin yansıma sürelerine (T_{60}) göre mevcut durumlarının sonuçları

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
S1	1.34	1.10	1.02	1.04	0.93	0.78
S2	1.45	0.89	0.72	0.89	0.70	0.64
S3	2.84	1.99	2.04	2.20	2.09	1.62
S4	2.71	1.70	1.77	1.59	1.76	1.44
S5	3.31	2.12	1.44	1.34	1.27	1.10
S6	3.29	2.64	2.10	1.99	1.91	1.55

Yansıma süresi (T_{60}) tefrişli ve içinde insan bulunmayan, 139 m³ (tasarımlar 010 ve 022) ve 156 m³ (tasarım 023) hacimli ve 40 öğrenci kapasiteli dersliklerde ölçülmüştür. Değerlendirmeye alınan her bir okul için yansıma süresi (T_{60}) değerleri ANSI S12.60 standartlarda belirtilen 0,6 s'den yüksektir. Farklı yapı tasarımlarının yansıma sürelerindeki (T_{60}) fark kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak Tasarım 010'a göre inşa edilmiş dersliklerde zemin parke tavanlar ise ahşap panellerle kaplanmıştır. Tasarım 022'de zemin yine parke kaplı iken Tasarım 023'te Zemine seramik karolar döşenmiştir. Tasarım 022 ve 023'te tavanlar sadece sıvanıp boyanmıştır.

Bütün okullarda ölçülen yansıma süresi (T_{60}) değerleri, dersliklerde akustik konforun yetersizliği olduğunu göstermektedir. Bu mekânlardaki akustik yetersizlikler, yüksek yansıma sürelerinin konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltarak öğretmen ve öğrenciler arasındaki iletişimi olumsuz etkilemektedir. Bu durum, dersliklerde yeterli anlaşılabilirlik için, yenileme çalışmalarının yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3.3 S. K. Tang'ın Çalışması

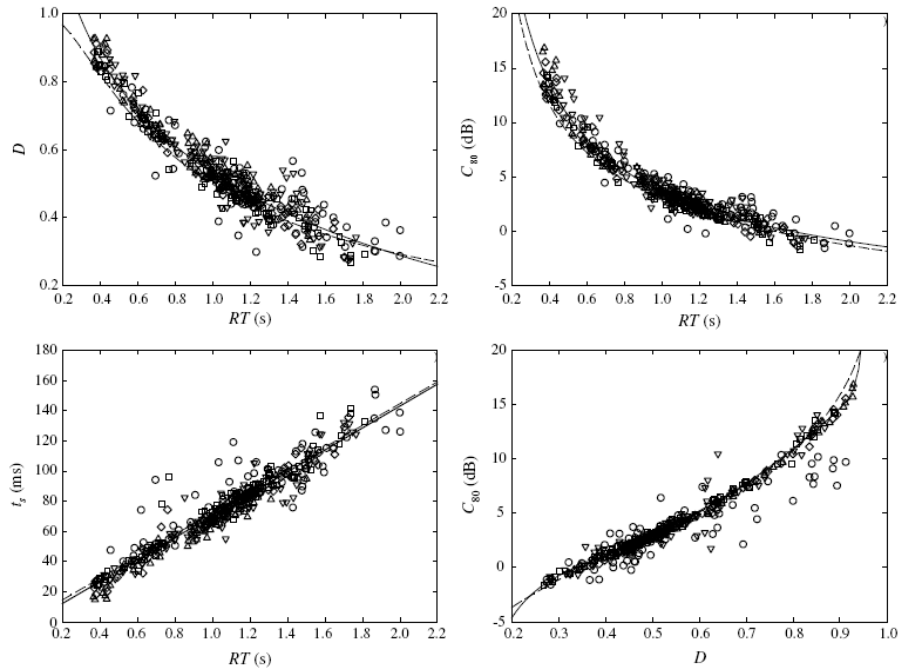
Bu çalışmada, Hong Kong'daki ilk ve ortaöğretim okulu dersliklerinde akustik koşulların uygunluk durumunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ölçme sonuçlarına yer verilmiştir. Bu amaçla 1995 ve 2000 yılları arasında yapımı gerçekleşmiş, yirmi dört derslik ve yedi laboratuvar değerlendirmeye alınmıştır [21].

Hong Kong Özel Yönetim Bölgesi Hükümeti tarafından, derslikler için özel bir akustik uygulama ön görülmektedir. Bu nedenle, tavan, döşeme ve duvarlar genelde yansıtıcı yüzeylerden oluşmaktadır. Duyuru panoları çok az da olsa, ses yutuculuğu

sağlamaktadır. Bazı okullarda ise hükümet dışında alınan desteklerle, yüzeylerde değişik gereçlerin kullanıldığı görülmektedir. Akustik ölçümler, üç değişik koşulda, öğrenciler sınıfta yokken gerçekleştirilmiştir.

Birinci koşul S1'de pencereler kapalı olup klimalar çalışmamaktadır. Bu koşul, dersliklerin temel akustik özelliklerinin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. İkincisi S2 ise klimalar çalışırken pencerelerin kapalı tutulduğu durumdur. Bu koşullarda, oda içindeki fon gürültüsü artarken, yansıma sürelerinin değişmemesi beklenmektedir. Sonuncusu S3'te ise klimalar kapalı ve pencereler açıktır. Bu son durumda, dersliklerin akustik koşulları değişmekte ve fon gürültüsü S1 ve S2'dekine göre daha az durağan olmaktadır.

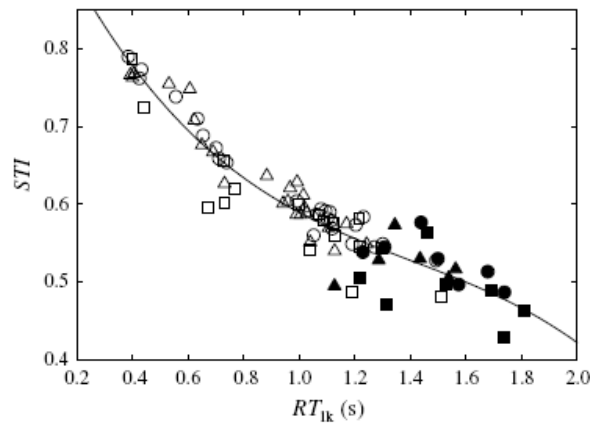
Bu çalışmaya dâhil edilen akustik parametreler, netlik (C_{80}), yansıma süresi (RT), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve merkez zamanı (t_s) değerleridir. 250 Hz ile 4 KHz arasındaki farklı oktav bantlarındaki akustik parametrelerin, en azından istatistikî olarak bağımsız olmadıklarına işaret etmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.11'de netlik (C_{80}), yansıma süresi (RT), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve merkez zamanı (t_s) parametreleri arasındaki frekansa bağlı olarak bağlantı görülmektedir.



Şekil 3.11 Dersliklerin netlik (C_{80}), yansıma süresi (RT), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve merkez zamanı (t_s) parametreleri arasındaki frekansa bağlı olan bağlantıları (O: 250 Hz, ∇ : 500 Hz, $\square$: 1000 Hz, $\blacklozenge$: 2000 Hz, Δ : 4000 Hz) [21]

Genelde, bütün bantlardan gelen veriler iyi bir şekilde üst üste gelmekte olup, bu durum netlik (C_{80}), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve merkez zamanı (t_s) ile yansıma süresi (RT) arasında belirgin ilişkilerin varlığını göstermektedir.

Çalışmada akustik parametreler ve ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantılara da değinilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.12’de 1000 Hz oktav bandında yansıma süresi (RT) ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 3.12 1000 Hz oktav bandında yansıma süresi (RT) ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantı [21]

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, oktav bandı akustik parametreleri arasında, aynı türden olmasalar bile kuvvetli bağlantılar bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı akustik parametreler arasındaki ilişkilerin oktav frekans bantlarından bağımsız olduğu da bulunmuştur.

3.4 S. K. Tang, M. H. Yeung’un Çalışması

Dersliklerde hacim akustiği parametrelerinin incelenmesi ilkelerini ortaya koyan bu çalışmanın amacı, yansıma süresi (RT) ile ses iletim göstergesi (STI) arasında, fon gürültüsünden bağımsız olarak, bir bağlantı olduğunu belirlemektir [22].

Günümüze kadar konuşmanın anlaşılabilirliği ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantıya ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Çalışma kapsamında mimari yapıları standartlaşmış Hong Kong’ta bulunan 58 derslik incelenmiştir. Derslikler akustik olarak yutucu yüzeyleri bulunmayan, tefrişlerinde

standart mobilyalar kullanılan ilk ve orta dereceli okullardan seçilmiştir. Ölçümler ders saatlerinden sonra yapılmıştır.

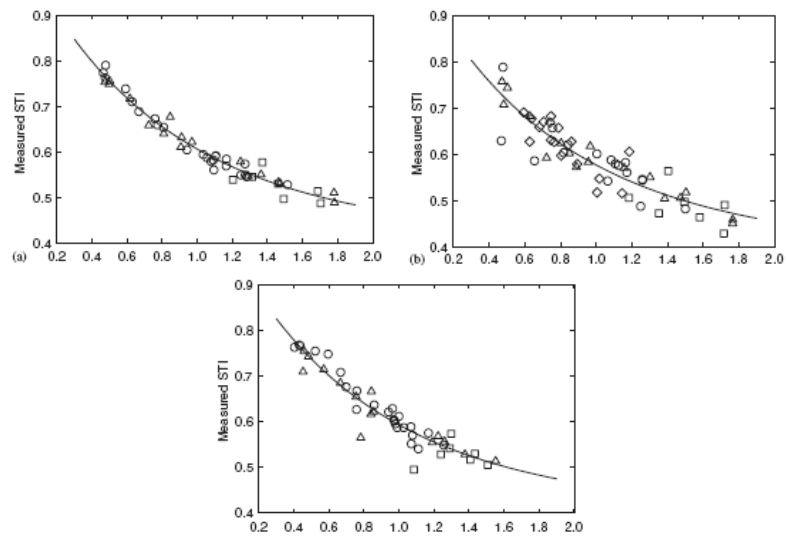
Dersliklerin ve laboratuvarların mevcut halinde her hangi bir akustik düzenlemeye rastlanmamıştır. Bilgisayar odasında halılar bulunmakta, müzik odalarında ise yutucu yüzeyler bulunmaktadır.

Dersliklerin değerlendirilmesinde ses iletim göstergesinin (STI) önceden tahmin edilmesi zordur. Genelde tasarım anında elde edilen veriler ses yutma düzeyleri, yani yansıma süreleri (RT) ve fon gürültüsü düzeyleridir.

Bina akustik tasarımında, çoğunlukla çeşitli oktav bantları için yansıma süreleri (RT) kullanılır, çünkü malzemelerin oktav bandı özellikleri bilgisi, literatür kaynaklarda mevcuttur. Bina geometrisi basit ve sabit iken oktav bandı yansıma süreleri (RT) hakkında basit kestirimlerde bulunabilmek mümkündür.

Her bir derslikte farklı oda akustik durumları için üç deney yapılmıştır. C1 dersliğinde ölçümler camlar kapalı, havalandırma sisteminin kapalı olduğu durumdur. C2 dersliğinde ölçümler camlar kapalı, havalandırma sisteminin açık olduğu durumdur. C3 dersliğinde ölçümler ise camların açık, havalandırma sisteminin açık olduğu durumdur.

Aşağıda Şekil 3.13'te hacimlerin ortalama yansıma süresi (RT) ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki ilişkiyi gösteren şekil yer almaktadır.



Şekil 3.13 C1-C2-C3 hacimlerinin ortalama ses iletim göstergesi (STI) ve yansıma süreleri (RT_{speech}) değerleri arasındaki ilişkileri [22]

Bu çalışmada kullanılan türetilmiş yansıma sürelerinin (RT_{speech}) gerçekte fiziksel bir anlamı olmamasına rağmen, ölçülen ses iletim göstergesi (STI) ile önemli oranda bağlantıya sahiptir.

$$RT_{speech} = (RT_{250} + RT_{500} + RT_{1000} + RT_{2000} + RT_{4000}) / 5$$

RT_{speech} = 5 frekansın aritmetik ortalaması ile bulunan Türetilmiş Yansıma Süresi

Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Hong Kong'daki 18 hükümet destekli ilk ve orta dereceli okulun dersliklerinde konuşma aktarım kalitesi incelenmiştir. Çeşitli türetilmiş yansıma süreleri (RT_{speech}) ile ses iletim göstergesi (STI) arasındaki bağlantıda dersliklerin işlev ve kullanım durumları ile NC değerlerine bağlı olmadıkları ortaya konmuştur.

Ayrıca dersliklerin konuşma aktarım kalitesinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesinde 1000 Hz oktav bandından yararlanılabileceği gösterilmiştir.

BÖLÜM 4

İÇ YÜZEY GEREÇLERİNİN HACİM AKUSTİĞİNDEKİ ETKİSİNİN ÖRNEKLEME YOLUYLA SAPTANMASINDA KULLANILAN YAKLAŞIM ve İLGİLİ KABULLER

Bu bölümünde, çalışmanın kapsamı doğrultusunda hacim akustiği parametrelerinde, iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanması sırasında izlenen yaklaşım ve yaklaşımda yapılan kabuller açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan dersliklerin genel hacim özellikleri, dersliklerin giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarında kullanılan iç yüzey gereçleri ve kaynak – alıcı özellikleri ilgili kabullere yer verilmiştir.

4.1 Hacim Akustiği Parametrelerinde, İç Yüzey Gereçlerinin Etkinliğinin Saptanmasında İzlenen Yaklaşım

Dersliklerin hacim akustiği parametrelerinde, iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanması konusunun amacına uygun olarak izlenen yaklaşımların neler olduğunu ve çalışma kapsamında nasıl bir sıra takip edildiği anlatılmıştır.

Derslikler, temel işlevleri nedeniyle konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanmasının önemli olduğu hacim tiplerindendir. Bu sebepten ötürü çalışmada öznel ve nesnel hacim akustiği parametreleri arasından dersliklere uygun olanların seçilerek kullanılacak parametrelerin optimum koşul değerlerinin belirlenmesi,

Seçilecek olan dersliklerin sayısı, hacimlerinin büyüklüğü, dersliklerin fiziksel özellikleri, kullanım amaçları, iç yüzeylerinde kullanılan malzemelerin değerlendirilmesi, kaynak ve alıcı sayılarının belirlenmesi,

Seçilen dersliklerin hacimsel özelliklerinin aslına bire bir uygun olacak şekilde 3 boyutlu olarak bilgisayar programı yardımıyla modellenerek simülasyon programına entegre edilmesi, her bir derslik için kaynak, alıcı yerlerinin hesaplanması ve simülasyon programının kendi tasarımından gelen verilerin belirlenmesi,

Tüm hacimlerin giydirilmemiş ve mevcut durumlarında ki i yüzey gereçlerinin tespit edilmesi, giydirilmiş durumlarındaki i yüzey gereçlerinin neler olabileceğine karar verilmesi, Hacimlerin giydirilmemiş ve mevcut durumlarında, simülasyon programının verdiği hacim içinde her bir alıcı noktasının ve hacmin genel ortalamasının sonuçlarının elde edilerek değerlendirilmesi,

Giydirilmiş durumda kullanılan i yüzey malzemelerinin hacmin genel ortalaması sonuçlarının 125 Hz ile 4000 Hz arası değer aralığında tüm akustik parametrelerde belirlenen optimum koşul değer aralığına uygun hale getirilmesi,

Hacimlerin giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarındaki hacim akustiği parametre sonuçlarının noktasal ve hacmin genel ortalamasının verilerinin izelge ve tablolar yardımıyla ortaya konulması,

Dersliklerin Hacim Akustiği Parametrelerinde, i yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanması konusunun amacına uygun olarak, dersliklerde giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarında kullanılan i yüzey gereçlerinin etkinliğinin hacim akustiği parametrelerine göre yorumlanarak sonuca varılması, şeklinde sıralanabilir.

4.2 Yaklaşımında Değerlendirmeye Alınacak Hacimlerin Saptanması, Hacimlerin ve İ Yüzey Gereçlerinin Genel zellikleri

Dersliklerde i yüzey gereçlerinin, hacmin akustik performansındaki önemini belirlemek amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Kampüsü’nde bulunan ve aşağıda görülen 3 derslik seçilmiştir.

A405 Makine mühendisliği dersliği,

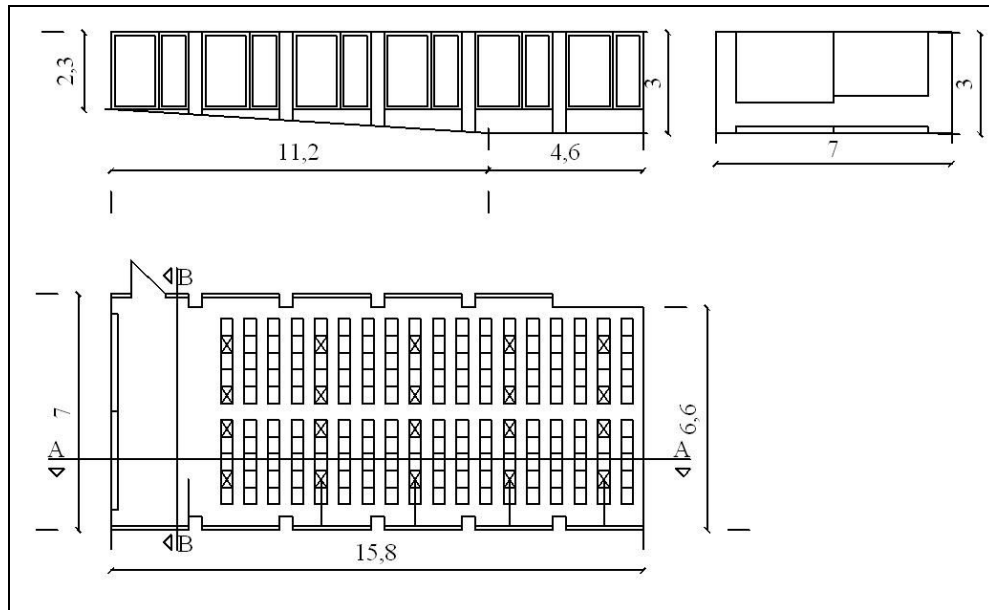
B503 İnşaat mühendisliği dersliği ve

D203 Mimarlık derslikleri.

Dersliklerin seçiminde, değişik biçim, boyut ve büyüklükte olmaları, ayrıca iç yüzey gereçlerinin de birbirinden ayırım göstermeleri göz önüne alınmıştır.

4.2.1 A 405 Makine Mühendisliği Dersliği (Derslik 1)

Seçilen ilk derslik olan A405 Makine mühendisliği dersliği boyut olarak diğer iki örnekten küçük olması sebebiyle küçük sınıf kapsamında değerlendirilmiştir. Dersliğin boyutları eni 6,60 m, boyu 15,80 m, yüksekliği ise en yüksek yerinde 3,00 m, en düşük yerinde ise 2,30 m ölçülerindedir. Hacmi 331,80 m³'tür. 180 kişilik olan derslikte, kişi başına yaklaşık 1,8 m³ düşmektedir. Dersliğin yapısı itibari ile yazı tahtasına yakın 1 adet kaynak ve 20 adet alıcı simülasyon programı kapsamında konumlandırılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.1'de A405 Makine mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri bulunmaktadır.



Şekil 4.1 A405 makine mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri

Derslik amfi biçimindedir ve zemini ahşap kaplıdır. Tavan ve duvarlar sıva üzerine boyalı yüzeylerdir. Dersliğin koridor tarafındaki iç duvarlarının bir bölümü cam yüzeydir. Yapı kabuğunda ise, dolu kısımların yanı sıra pencereler bulunmaktadır.



Şekil 4.2 A405 dersliğinin genel görüntüsü



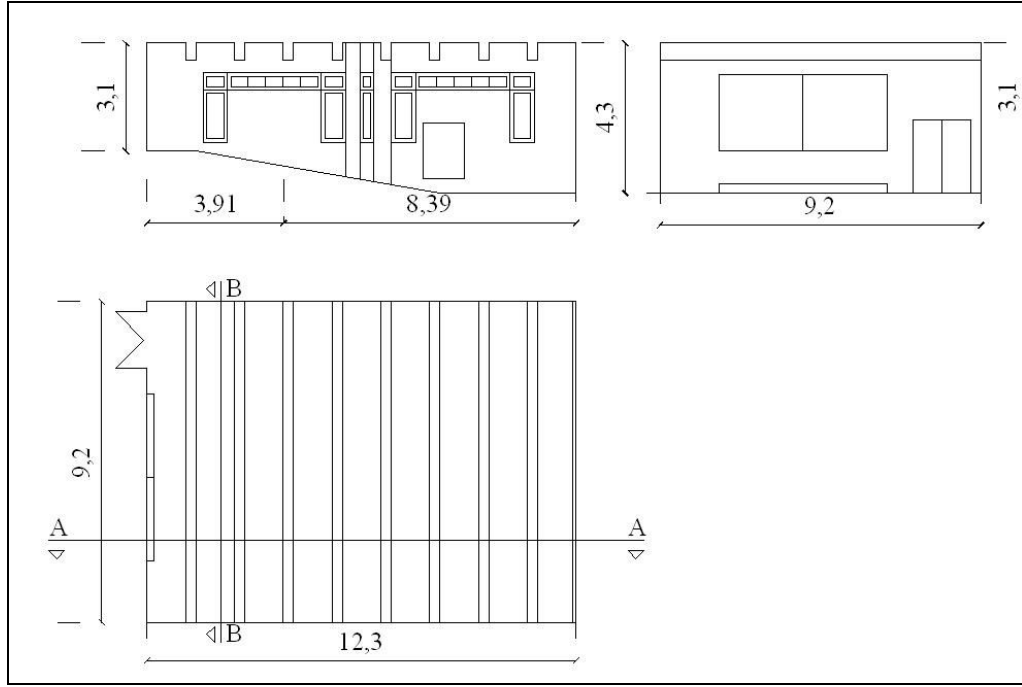
Şekil 4.3 A405 dersliğinin genel görüntüsü

4.2.2 B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliği (Derslik 2)

Seçilen ikinci derslik olan B503 İnşaat Mühendisliği Dersliği boyut olarak diğer iki örnekten büyük olması sebebiyle büyük sınıf kapsamında değerlendirilmiştir. Formu itibari ile kareye yakın dikdörtgenler prizması formu yapılan ölçüm neticesinde boyu 12,30 m, eni 9,20 m yüksekliği ise en yüksek yerinde 4,30 m, en düşük yerinde ise 3,10

m ölçülerindedir. Hacmi 498,46 m³'tür. 110 kişilik olan derslikte, kişi başına yaklaşık 4,5 m³ düşmektedir.

Dersliğin yapısı itibari ile yazı tahtasına yakın 1 adet kaynak ve 20 adet alıcı simülasyon programı kapsamında konumlandırılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.4'te B503 İnşaat Mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri bulunmaktadır.



Şekil 4.4 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin plan ve görünüşleri

Derslik amfi biçimindedir ve zemini arka kısmına doğru yükselen eğimli karo mozaik döşemeden oluşturulmuştur. Tavan ve duvarlar sıva üzerine boyalı yüzeylerdir. Dersliğin arka cephesi cam yüzeydir. Yapı kabuğunda ise, dolu kısımların yanı sıra pencereler bulunmaktadır.



Şekil 4.5 B503 dersliğinin genel görüntüsü

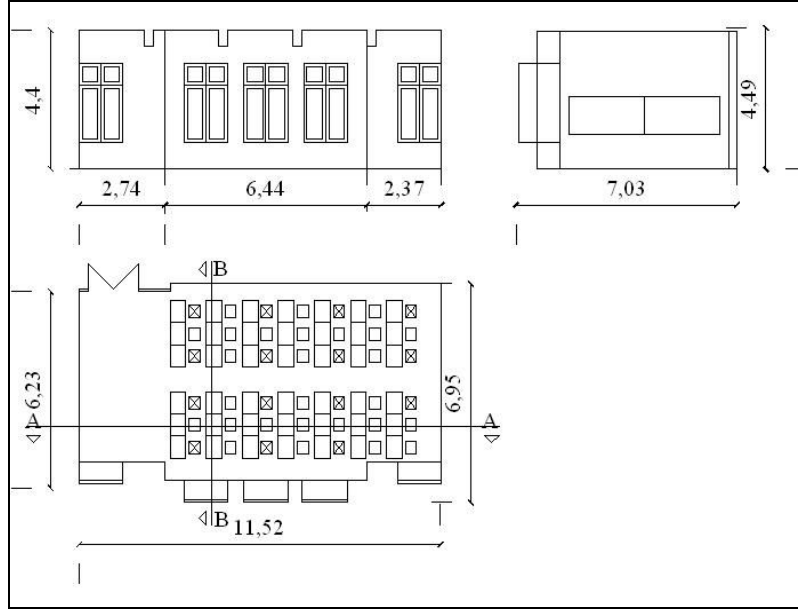


Şekil 4.6 B503 dersliğinin genel görüntüsü

4.2.3 D 203 Mimarlık Dersliği (Derslik 3)

Seçilen üçüncü derslik olan D203 Mimarlık Dersliği boyut olarak diğer iki örnekten farklı olması sebebiyle orta büyüklükte sınıf kapsamında değerlendirilmiştir. Formu itibari ile kareye yakın dikdörtgenler prizması formu yapılan ölçüm neticesinde boyu 11,50 m, eni 6,95 m yüksekliği ise 4,49 m ölçülerindedir. Hacmi 353,20 m³'tür. 42 kişilik olan derslikte, kişi başına yaklaşık 8,4 m³ düşmektedir.

Dersliğin yapısı itibari ile yazı tahtasına yakın 1 adet kaynak ve 15 adet alıcı simülasyon programı kapsamında konumlandırılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.7’de D203 Mimarlık Dersliğinin plan ve görünüşleri bulunmaktadır.



Şekil 4.7 D203 mimarlık dersliğinin plan ve görünüşleri

Dersliğin zemini ahşap kadronlu parke yüzeyden oluşturulmuştur. Yapının tavan bölümünü kirişli döşeme ve duvarları plastik boya ile boyanmıştır. Dersliğin sağ cephesi cam yüzeydir. Yapı kabuğunda ise, dolu kısımların yanı sıra pencereler bulunmaktadır.



Şekil 4.8 D203 dersliğinin genel görüntüsü



Şekil 4.9 D203 dersliğinin genel görüntüsü

4.2.4 Hacimlerin İç Yüzey Gereçleri ile İlgili Kabuller

Dersliklerin iç yüzey gereçlerinin değişik durumlarında oluşan akustik ortamı değerlendirmek üzere aşağıda yer alan üç değişik koşul belirlenmiştir.

- Hacimlerin giydirilmemiş (iç yüzey gereçleri yokken) durumu,
- Hacimlerin mevcut durumu
- Hacimlerin uygun akustik ortamı sağlamak üzere yeniden giydirilmiş durumu.

Akustik tasarımda büyük önem taşıyan iç yüzeylerin, akustik açıdan uygun olarak giydirilmiş durumları tasarlanırken çok sayıda denemeler yapılarak her bir derslik için form, biçim ve büyüklük gibi nesnel değerlere uygun hacim akustiği parametre değerleri belirlenmiş, mümkün olduğunca en ideal koşul yakalanmaya çalışılmıştır.

Aşağıdaki çizelgelerde tüm bu durumların saptanması için kullanılan malzemelerin 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir. 125 Hz ile 4000 Hz arası değer aralığının seçilme nedeni ise yapılan incelemeler sonucu insan konuşmasının genellikle 250 Hz ile 4000 Hz arasındaki frekanslardaki oktav bantlarını içermesidir.

4.2.4.1 A 405 Makine Mühendisliği Dersliğinde Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 1)

A405 Makine mühendisliği dersliğinin giydirilmemiş durum malzemeleri aslına uygun olarak yapının inşaattan ilk çıkmış hali göz önüne alınarak tavanları, döşemeleri ve taşıyıcı sistemi kaba yüzlü beton yüzey, tüm duvarlar boyasız tuğla duvar, kapı 8 mm kontplak prese kapı ve pencereler 4mm pencere olarak alınmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.1’de A405 Makine mühendisliği dersliğinin giydirilmemiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m^2 ’leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 A405 makine mühendisliği dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri

A 405 GİYDİRİLMEMİŞ			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m^2	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	boyasız tuğla duvar	64,59	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
tavan	kaba yüzlü beton yüzey	108,08	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
kolonlar	kaba yüzlü beton yüzey	22,56	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
kapı	8 mm kontplak prese kapı	8,14	0,25	0,22	0,17	0,09	0,09	0,08
pencere	4 mm pencere camı	43,24	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
denizlik	kaba yüzlü beton yüzey	3,68	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
dinleyici	tahta sırada oturmuş	18,76	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	31,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme	kaba yüzlü beton yüzey	56,22	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07

A405 Makine mühendisliği dersliğinin mevcut durum malzemeleri ise tavan düz boyalı beton yüzey, döşemelerin bir kısmı kadron üzerine parke döşeme, diğer bir kısmı ise karo mozaik döşeme, kürsü kadron üzerine parke döşemedir. Taşıyıcı sistem ise düz boyalıdır, tüm duvarlar tuğla duvar üzeri boya ile kaplanmıştır, kapı ise 8 mm kontrplak prese kapıdan imal edilmiştir, pencerelerde 4 mm pencere camı kullanılmıştır. Tezin kapsamında iç yüzeylerin, akustik açıdan o hacmin işitsel konfor koşulları üzerinde ne denli büyük etki yarattığının somut olarak ortaya konulması etkilerinin incelenmesi için yüzeylerin toplam alan içerisinde az yer kaplamasına rağmen aslına uygun olarak denizlik ve tahta gibi yüzeylere de mevcut durumdaki malzemeler kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.2’de A405 Makine mühendisliği dersliğinin mevcut durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m^2 ’leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 A405 makine mühendisliği dersliği mevcut durum malzemeleri

A 405 MEVCUT			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m ²	125	250	500	1000	2000	4000
ön duvar	tuğla duvar üzeri boya	52,99	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
tavan	düz boyalı beton	108,08	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
kürsü	kadron üzeri parke döş.	11,03	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
kolonlar	düz boyalı beton	22,56	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
kapı	8 mm kont. prese kapı	8,14	0,25	0,22	0,17	0,09	0,09	0,08
pencere	4 mm pencere camı	43,24	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
tahta	yansıtıcı yüzey	11,60	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
denizlik	mermer yüzey	3,68	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
dinleyici	tahta sırada oturmuş	18,76	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	31,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme 1	kadron üzeri parke döş.	28,83	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
döşeme 2	karo mozaik	16,36	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04

A405 Makine mühendisliği dersliğinin giydirilmiş durum malzemeleri olarak yapının hacim akustiği parametre değerlerine uygun hale getirilmesi amacıyla tavanın bir kısmı eğimli cam yünü asma tavan 2 ile kaplanırken, diğer kısmı cam yünü asma tavan 1 ile kaplanmıştır. Döşemelerde kullanılan malzemelerde fazla bir değişikliğe gidilmemiş olup sadece ön kısımdaki karo mozaik kaplama yerine kadron üzerine parke döşeme kaplanmıştır. Taşıyıcı sistemin, kapının ve pencerelerin mevcut malzemeleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Yapının hacim akustiği parametre değerlerine uygun hale getirilmesi amacıyla yapılan en büyük değişikliklerden biri tüm duvarlar mevcut halinde tuğla duvar üzeri boyadan imal edilmişken giydirilmiş durumda alçı levhalarla kaplanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.3'te A405 Makine mühendisliği dersliğinin giydirilmiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 A405 makine mühendisliği dersliği giydirilmiş durum malzemeleri

A 405 GİYDİRİLMİŞ			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	alçı levha	52,99	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
tavan 1	asma tavan 1	54,82	0,55	0,50	0,75	0,75	0,60	0,25
tavan 2	asma tavan 2	53,26	0,18	0,30	0,43	0,61	0,76	0,85
kürsü	kadron üz. parke döş.	11,03	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
kolonlar	düz boyalı beton	22,56	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
kapı	8 mm kp. prese kapı	8,14	0,25	0,22	0,17	0,09	0,09	0,08
pencereler	4 mm pencere camı	43,24	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
tahta	yansıtıcı yüzey	11,60	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
denizlik	mermer yüzey	3,68	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
dinleyici	tahta sırada oturmuş	18,76	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	31,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme	kadron üz. parke döş.	45,19	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07

4.2.4.2 B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğinde Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 2)

B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin giydirilmemiş durum malzemeleri aslına uygun olarak yapının inşaattan ilk çıkmış hali göz önüne alınarak tavanları, döşemeleri ve taşıyıcı sistemi kaba yüzlü beton yüzey, tüm duvarlar boyasız tuğla duvar, kapı masif ağaç kapı ve pencereler 4mm pencere olarak alınmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.4'te B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin giydirilmemiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m² leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 B503 inşaat mühendisliği dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri

B 503 GİYDİRİLMEMİŞ			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	boyasız tuğla duvar	129,78	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
tavan	kaba yüzlü beton yüzey	186,76	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
dinleyici	tahta sırada oturmuş	11,48	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	27,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
kapı	masif ağaç kapı	3,46	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pencere	4 mm pencere camı	26,76	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
kürsü	yansıtıcı özellikli ahşap	12,60	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme	kaba yüzlü beton yüzey	65,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07

B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin mevcut durum malzemeleri ise yapının tavan düz boyalı beton yüzey, döşeme karo mozaik döşeme kaplaması, kürsünün de karo mozaiktir. Tüm duvarların tuğla duvar üzeri boya ile kaplanmıştır, kapı masif ahşap kapıdan imal edilmiştir, pencerelerde 4 mm pencere camı kullanılmıştır. Tezin kapsamında iç yüzeylerin, akustik açıdan o hacmin işitsel konfor koşulları üzerinde ne denli büyük etki yarattığının somut olarak ortaya konulması etkilerinin incelenmesi için yüzeylerin toplam alan içerisinde az yer kaplamasına rağmen aslına uygun olarak yazı tahtası, ahşap esaslı titreşen levhadan yapılmış ve öğrencilerin kıyafetlerini asmaları için tasarlanan askılık masif ahşap malzemeden yapılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.5'te B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin mevcut durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 B503 inşaat mühendisliği dersliği mevcut durum malzemeleri

B 503 MEVCUT			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	tuğla duvar üzeri boya	111,86	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
tavan	düz boyalı beton	186,76	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
dinleyici	tahta sırada oturmuş	11,48	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	27,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
kürsü	yansıtıcı özellikli ahşap	12,60	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
kapı	masif ağaç kapı	3,46	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pencere	4 mm pencere camı	26,76	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
tahta	titreşen levha öz. ahşap	10,56	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
askılık	masif ağaç	7,36	0,18	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09
döşeme	karo mozaik	65,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04

B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin giydirilmiş durum malzemeleri olarak yapının hacim akustiği parametre değerlerine uygun hale getirilmesi amacıyla tavanın kirişli olan kısmı düz boyalı beton olarak bırakılmış, plak kısmının kürsü üstü kısımları eğimli olarak camyünü asma tavan 2, dinleyicilerin olduğu kısım ise camyünü asma tavan 1 ile kaplanmıştır. Döşemelerde dinleyicinin olduğu kısımların karo mozaik kaplama yerine kadron üzerine parke döşeme ile kaplanmıştır, kaynağın olduğu sahne kısmı karo mozaik kaplama yerine döşemeye yapışan ince halı malzeme ile kaplanmıştır. Kapının mevcut malzemesi değiştirilmeden kullanılmıştır. Pencerelerin olduğu sağ duvar kısımda herhangi bir değişikliğe gidilmezken, arka duvarda bulunan pencerelerde ince

kumaş perde kullanılmıştır. Ayrıca dersliğin toplam yüzey alanında yüksek bir orana sahip olan duvarlar mevcut halinde tuğla duvar üzeri boyadan imal edilmişken giydirilmiş durumda 2,25 cm kalınlığında kontrplak panellerle kaplanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.6'da B503 İnşaat mühendisliği dersliğinin giydirilmiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 B503 inşaat mühendisliği dersliği giydirilmiş durum malzemeleri

B 503 GİYDİRİLMİŞ			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m ²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	kontrplak panel (2,25 cm)	99,24	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
tavan (kiriş)	düz boyalı beton	22,08	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
tavan (plak) 1	asma tavan 1	60,72	0,55	0,50	0,75	0,75	0,60	0,25
tavan ön (plak) 2	asma tavan 2	30,36	0,16	0,11	0,10	0,07	0,17	0,37
kapı	masif ağaç kapı	3,46	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pencere arka duvar	ince kumaş perdeler	17,66	0,04	0,06	0,10	0,20	0,30	0,40
pencere sağ duvar	4 mm pencere camı	9,10	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
tahta	ağşap esaslı titreşen levha	10,56	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
askılık	masif ağaç	7,36	0,18	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09
dinleyici	tahta sırada oturmuş	11,48	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ağşap	27,50	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme 1	kadron üz. parke döşeme	39,22	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
döşeme 2	döşeme üzeri ince halı	25,83	0,03	0,03	0,04	0,10	0,19	0,35
kürsü	yansıtıcı özellikli ağşap	12,60	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

4.2.4.3 D 203 Mimarlık Dersliğinde Giydirilmemiş, Mevcut ve Giydirilmiş Durumlarda Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi (Derslik 3)

D203 Mimarlık dersliğinin giydirilmemiş durum malzemeleri aslına uygun olarak yapının inşaattan ilk çıkmış hali göz önüne alınarak tavanları, döşemeleri ve taşıyıcı sistemi kaba yüzöl beton yüzey, tüm duvarlar boyasız taş duvar, kapı masif ağaç kapı ve pencereler 4 mm pencere camı olarak alınmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.7'de D203 Mimarlık dersliğinin giydirilmemiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 D203 mimarlık dersliği giydirilmemiş durum malzemeleri

D 203 GİYDİRİLMEMİŞ			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m ²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	boyasız taş duvar	155,49	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
tavan	kaba yüzlü beton yüzey	91,86	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
kapı	masif ağaç kapı	4,56	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pençere	4 mm pençere camı	17,57	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
denizlik	kaba yüzlü beton yüzey	4,91	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
dinleyici	tahta sırada oturmuş	4,34	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	14,70	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme	kaba yüzlü beton yüzey	49,35	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07

D203 Mimarlık dersliğinin mevcut durum malzemeleri ise tavan düz boyalı beton yüzey, döşeme kadron üzeri parke kaplama malzemesinden yapılmıştır. Kapı masif ahşap kapıdan imal edilmiştir ve pencerelerde kapalı çift camlı pençere camı kullanılmıştır. Duvarların üst kısmı taş duvar sıva üzeri boya iken alt kısmı ahşap kaplama malzemesinden, yapılmıştır. Tezin kapsamında iç yüzeylerin, akustik açıdan o hacmin işitsel konfor koşulları üzerinde ne denli büyük etki yarattığının somut olarak ortaya konulması etkilerinin incelenmesi için yüzeylerin toplam alan içerisinde az yer kaplamasına rağmen aslına uygun olarak denizlik ve tahta gibi yüzeylere de mevcut durumdaki malzemeler kullanılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.8’de D203 Mimarlık dersliğinin mevcut durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²’leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 D203 mimarlık dersliği mevcut durum malzemeleri

D 203 MEVCUT			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m ²	125	250	500	1000	2000	4000
duvar üst	taş duvar üzeri boya	79,86	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
duvar alt	ahşap kaplama	69,87	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
tavan	düz boyalı beton	91,86	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
kapı	masif ağaç kapı	4,56	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pençere	kapalı çift cam	17,57	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
tahta	masif ağaç	5,76	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
denizlik	mermer yüzey	4,91	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
dinleyici	tahta sırada oturmuş	4,34	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	14,70	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme	kadron üz. parke döşeme	49,35	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07

D203 Mimarlık dersliğinin giydirilmiş durum malzemeleri olarak yapının hacim akustiği parametre değerlerine uygun hale getirilmesi amacıyla tavanın kirişli olan kısımları döz boyalı beton olarak bırakılırken, plak kısımlarının kürsü üstü kısımları eğimli olarak cam yünü asma tavan 2, dinleyicilerin olduğu kısım ise cam yünü asma tavan 1 malzemeleri ile kaplanarak tavanın seviyesi düşürölmüştür. Döşemelerde dinleyicinin olduğu kısımların mevcut kadron üzerine parke döşeme kaplama malzemesinin değerştirilmemiştir. Kaynağın olduğu sahne kısmı betonarme üzeri ince halı malzeme ile kaplanmıştır. Kapının, pencerelerin ve yazı tahtasının mevcut malzemeleri değerştirilmeden kullanılmıştır. Dersliğin toplam yüzey alanında yüksek bir orana sahip olan duvarlar mevcut halinde sağ yan cephe, sol yan cephe ve arka cephede üst kısımlarında bulunan taş duvar sıva üzeri boya malzemesi yerine giydirilmiş durumda tüm duvarlar titreşen levha nitelikli ahşap panellerle kaplanmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.9'da D203 Mimarlık dersliğinin giydirilmiş durum malzemelerin frekanslarına göre ses yutma çarpanları ve kullanılan malzemelerin m²'leri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 D203 mimarlık dersliği giydirilmiş durum malzemeleri

D 203 GIYDIRILMIş			FREKANSLAR					
Malzeme Yeri	Malzeme Adı	Malz. m ²	125	250	500	1000	2000	4000
duvarlar	titreşen levha nit. ahşap	134,07	0,20	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
tavan (kiriş)	döz boyalı beton	7,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
tavan (plak) 1	asma tavan 1	16,11	0,55	0,50	0,75	0,75	0,60	0,25
tavan (plak) 2	asma tavan 2	21,75	0,36	0,28	0,47	0,65	0,76	0,82
kapı	masif ağaç kapı	4,56	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
pencere	kapalı çift cam	17,57	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
tahta	masif ağaç	5,76	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
denizlik	mermer yüzey	4,91	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
dinleyici	tahta sırada oturmuş	4,34	0,18	0,25	0,31	0,35	0,33	0,33
sıra	yansıtıcı özellikli ahşap	14,70	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
döşeme 1	kadron üz. parke döşeme	33,60	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
döşeme 2	beton üzerine ince halı	15,75	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37

4.3 Hesaplarda Kullanılan Bilgisayar Programının Tanıtımı ve İlgili Kabullerin Yapılması

Bu bölümde hesaplarda kullanılan simülasyon programının tanıtımı yapılmış ve kaynak – dinleyici ile ilgili kabullere yer verilmiştir.

4.3.1 Simülasyon Programı ile İlgili Kabuller

Scattering Method: Dağıtma metodu

Belli oranda yansıyan ses ışını, yansıdığı yüzeyden üç boyut içinde çok değişik doğrultulara, çok değişik enerji oranlarında geri döner. Dağılım izotrop yayınık yansıma biçiminde yani yansıyan ses ışınları yüzeye teğet bir küre biçiminde ise bu yüzeyin sesi dağıtma çarpanı 1 (%100)'dir. Yüzey düzgün yansıma yapıyorsa, yani yüzeye gelen tek bir ses ışını, yüzeyin normali ile eşit açı yaparak yine tek bir doğrultuda ve aynı düzlem üzerinde geri yansıyorsa bu yüzeyin sesi dağıtma çarpanı 0 (% 0)'dir. ON seçilmesi gereklidir [23], [24], [25], [26], [27].

Decimate Late Rays: Geç Yansımaların Azaltılması

Geç yansımaların, sonuçları etkilemeyecek biçimde azaltılarak, daha kısa sürede sonuca ulaşılabilmesi için kullanılmaktadır. Programın normal kullanımlarında bu seçenek ON seçilmelidir [23], [24], [25], [26], [27].

Number o Rays: Işın sayısı

Kaynak merkezli bir küre olarak düşünülebilecek bir bölgeye, 4π katı açı içinde eşit aralıklarla, kaç adet ses ışını gönderilebileceğini belirler. Gönderilen ışın sayısı 500 – 999999 arası seçilebilir. Ancak Seçilen ışın sayısının düşük olması durumunda hata payı yüksek olur. A405 Makine mühendisliği dersliği için 2573 ışın, B503 İnşaat mühendisliği dersliği için 1966 ışın, D203 Mimarlık dersliği için ise 2244 ışın girilmiştir [23], [24], [25], [26], [27].

Max Reflection Order: Bir ışın için maksimum yansıma sayısı

Kaynaktan herhangi bir doğrultuda çıkan, tek bir ses ışınının yapabileceği maksimum yansıma sayısını belirlemektedir. Normal şartlar altında mümkün olduğunca büyük seçilmelidir [23], [24], [25], [26], [27].

Impulse Response Length: Etkiye Tepkinin Uzunluğu

Düşüş Eğrisinin kaç milisaniye için hesaplanması gerektiğini tanımlar. Eğer bu değer; hesaplama yapılacak hacmin yansıma süresinin % 60'ından kısaysa T_{30} hesaplanamaz (çünkü düşüş eğrisinin dinamik sınırları 35 dB'den azdır) [23], [24], [25], [26], [27].

Impulse Response Resolution:

Impulse response histogramı oluşturulurken nokta alıcıya gelen farklı doğrultulardaki yansımaların değerlendirmesindeki zamansal adım genişlikleridir. EDT ve T_{30} 'un hesaplanmasında kullanılır. Tavsiye edilen değer 10 ms 'dir [23], [24], [25], [26], [27].

Angular Absorption: Açısal Yutuculuk

Bu seçenek ON seçildiğinde açıya bağlı yansıma faktörleri hesaba katılır. Hesaplama metodu ise, ışının yüzeye geliş açısına ve yüzeyin büyüklüğüne bağlı olarak yayınık alan yutma çarpanı metodu kullanılır [23], [24], [25], [26], [27].

Despike Decays: Önemsiz düşüş eğrisi ışınları

Işınların dağılımındaki yanlış ışın uçlarının etkisini azaltmak için kullanılır. Hesaplanması yapılacak olan salonların köşelerindeki birleşim yerlerinde olabilecek ışın kaçmalarını önlemek için program tarafından otomatik olarak düzenlenir [23], [24], [25], [26], [27].

Transition Order: Geçiş Düzeni

Yalnız nokta kaynaklarda uygulanır. Güvenilir geçiş düzeni hesaplamaları için 1 değerinin kullanılması önerilir. Geçiş Düzeni Değeri 0 olarak alındığı durumda, hacimlerin cami – katedral gibi kıvrımlı yüzeyler olması tavsiye edilir. Geçiş Düzeni Değeri 1 olarak alındığı durumda, hacimlerin Opera ve konser salonu gibi yelpaze şeklindeki yüzeyler olması; Geçiş Düzeni Değeri 2 olması durumunda yine yelpaze şekilli konser salonları için kullanılabilir [23], [24], [25], [26], [27].

Number of Early Scatter Rays: Erken dağılan / saçılan ışın sayısı

Yapılan incelemelere göre dağılan ışın sayısı 0'dan büyükse nokta kaynaktan çıkan ses ışınları yüzeylere çarpar erken yansımalar farklı doğrultulara dağılır. Bu dağılma, verilen dağıtım katsayısı ile orantılıdır. Önerilen değer 100'dür [23], [24], [25], [26], [27].

Smooth Late/Early Ratios: Erken ve geç yansımalar arasındaki düşüşün yumuşatılması Sonsuza kadar süren yansıma olayının baştan çok kısa bir bölümünün alınması nedeni ile oluşabilecek yanlışlıklardan, sonucun etkilenmemesi için, erken ve geç yansımalar arasındaki geçişin yumuşatılması için bu seçeneğin açık durumda olması önerilmektedir [23], [24], [25], [26], [27].

Desired Late Reflection Density: Uygun görülen geç yansıma yoğunluğu

Zaman içinde, kaynaktan çıkan ışın sayısı arttıkça ve peş peşe yansımalar devam ettikçe, yansıma sayısı katlana katlana artmakta ve hesapların bilgisayar tarafından yapılması giderek güçleşmektedir. Bu nedenle, late reflections bölümünde incelenecek yansıma sayısı konusunda bir sınırlama getirilmiştir. Hesaplar bu işlem doğrultusunda yapılarak, sonuçlar elde edilmektedir. Önerilen değer milisaniye başına 100 yansımadır [23], [24], [25], [26], [27].

Room Dimensions: Hacmin boyutları

Odeon Programının hesaplamaları yapacağı hacmin boyutlarını belirlemek için kullanılan verilerdir. x, y, z koordinatlarına göre hacmin boyutları belirlenir. Ayrıca x-x, y-y, z-z koordinatlarına göre hacmin maksimum ve minimum mesafeleri arası belirlenebilir [23], [24], [25], [26], [27].

Programın eski versiyonlarında autocad ve benzeri çizim programları ile ilişki kurulması konusunda çalışmalar tam anlamıyla tamamlamazken, tezin hesaplamalarının yapıldığı versiyonda (ODEON 8.0 Combined) bu sorun aşılmıştır. Tüm bu veriler girildikten sonra hesaplamanın yapılacağı hacmin kaç köşesinin bulunduğu, kaç adet yüzeyin bulunduğu ve koordinatları verilen hacmin toplam m^2 'si ve m^3 'ü gibi sayısal verileri belirlememize yardımcı olur.

Background Noise: Fon gürültüsü

Ortamda varolan fon gürültüsünü dB cinsinden belirlemekte kullanılır. Özellikle STI (Ses İletim Göstergesi – Speech Transmission Index) için gereklidir [23], [24], [25], [26], [27].

Max Surface Warp: Maksimum yüzey sürekliliğinin sağlanması

Hacmin geometrisi oluşturulurken, yüzey birleşme yerlerinde oluşabilecek hataları görebilmek için kullanılır. Normal çalışmalarda 0.05 alınması tavsiye edilir [23], [24], [25], [26], [27].

Temperature: Hacmin sıcaklığı

Hesaplamaları yapılmak istenen hacmin iç sıcaklığını belirlemek için kullanılır. Sesin yayılma hızı ortamın özellikleri ile ilgilidir. Sesin yayılma hızının yapı akustiğinde önemsiz olması ve giydirilmemiş, mevcut, giydirilmiş durum gibi hesaplamaların yapılabilmesi için ortam sıcaklığının 20°C alınmasına karar verilmiştir [23], [24], [25], [26], [27].

Relative Humidity: Hacmin bağıl nemi

Hesaplamaları yapılmak istenen hacmin bağıl neminin hesaplanması için kullanılır. Yapılan değerlendirmeler sonucu hacmin içinde olması gereken nemin % 40 olmasına karar verilmiştir [23], [24], [25], [26], [27].

Position and Orientation: Ses kaynağının yeri ve doğrultusu

x, y, z ile belirtilen koordinatların girilmesi ile kaynağın yeri belirlenir. Bu şekilde kaynağın x, y, z uzay düzlemindeki yeri belirlenir. Tez çalışmasının amacına yönelik olarak kaynağın yerini, doğrultusunun ve gücünün sabit alınmasına karar verilmiştir [23], [24], [25], [26], [27].

Directivity File: Ses kaynağının tipi

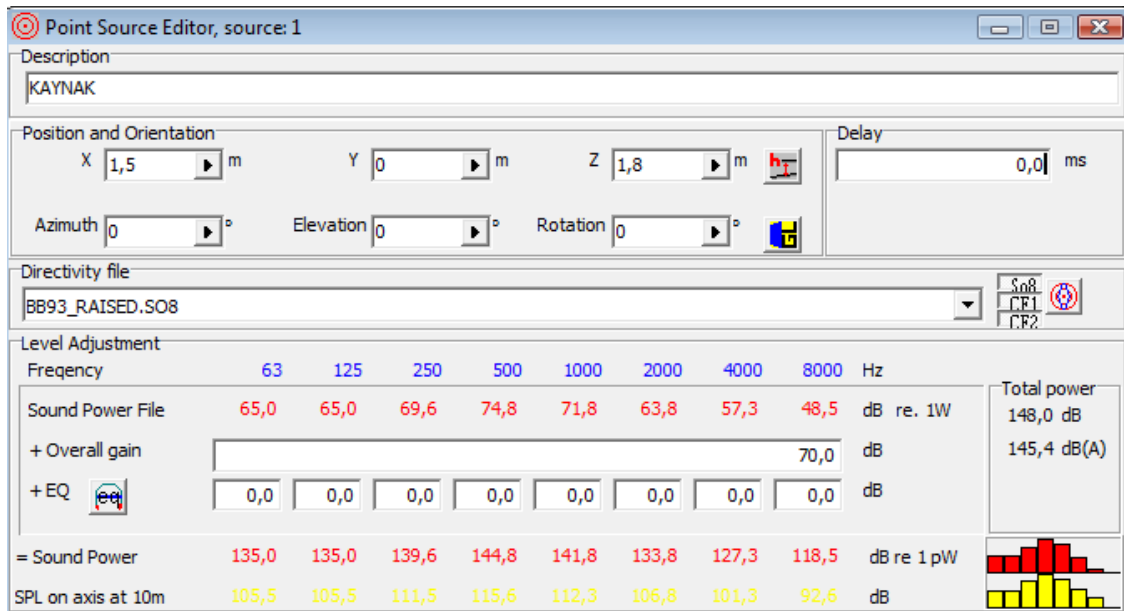
Hacim akustiği ölçütlerinin karşılaştırılmalarında doğrultuluk özelliği olmayan yani tüm doğrultulara eşit ses enerjisi yayımlayan omni kaynak kullanılmıştır. Programda mevcut kaynak tipleri olarak, Cardioid, COLUMNS, Hornbira (özel bir doğrultuluğu olan kaynak), Omni (doğrultusuz kaynak), Semi (yarı küre omni özellikli kaynak), Rasti, Soprano ref 42, Tlknorm (normal düzeyde konuşan kaynak), Tlkraise (yüksek düzeyde konuşan kaynak), Trumpet (doğrultulu müzikal bir enstrüman) kaynak tipleri bulunmaktadır [23], [24], [25], [26], [27].

Sound Power File: Ses kaynağının gücü

Kaynak gücü olarak anlatılan overall gain, electrical input power bölümünde kaynaktan çıkan ses enerjisinin dB veya W cinsinden gücünün nasıl anlatılacağı belirtilir. Ayrıca doğal kaynaklar kullanıldığında EQ değeri 0 olmalıdır [23], [24], [25], [26], [27].

4.3.2 Kaynak ile İlgili Kabuller

Sınıfta ders anlatan bir öğretmenin derslikte en fazla bulunduğu konum kaynak yeri olarak seçilmiş ve simülasyon programında ilgili tanımlamaları yapılmıştır. Konuşmacının konuşmanın yeterli düzeyde, uygun hızda ve açık – seçik olmasına özen gösterdiği kabul edilmiştir. Bu doğrultuda, Odeon programında kaynak tipi olarak frekanslara göre ses basınç düzeyi insan sesine en yakın özellikte olan “BB93 RAISED. S08” tip kaynak belirlenmiştir. Kaynağın yerden yüksekliği 1.50 m alınmıştır.

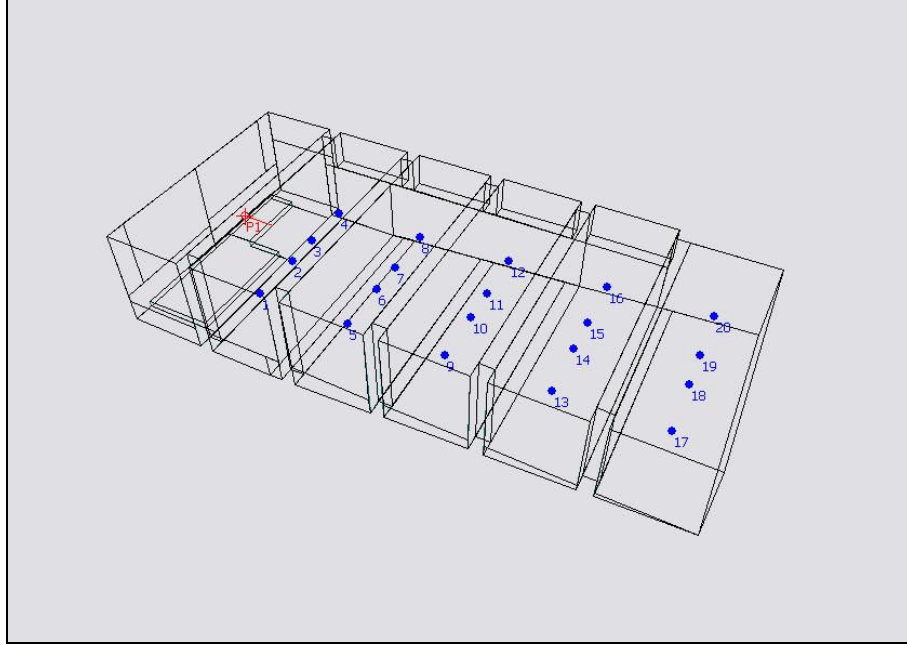


Şekil 4.10 Seçilen kaynağın özellikleri

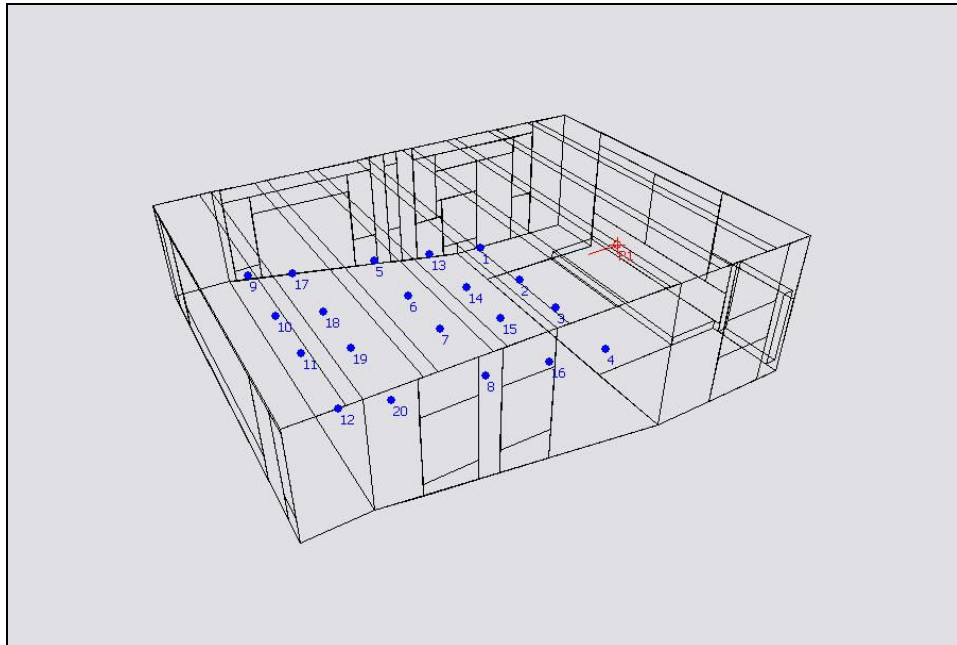
4.3.3 Dinleyici ile İlgili Kabuller

Dersliklerin büyüklükleriyle orantılı olarak A405 ve B503 dersliklerinde 20, daha küçük olan D203 dersliğinde ise 15 dinleyici noktası saptanmıştır. Dinleyicilerin yerleştirilmesinde, olabildiğince homojen ve simetrik olarak dağılmalarına çalışılmıştır. Dinleyicilerin kulak hizaları 1,10 m yükseklikte alınmıştır.

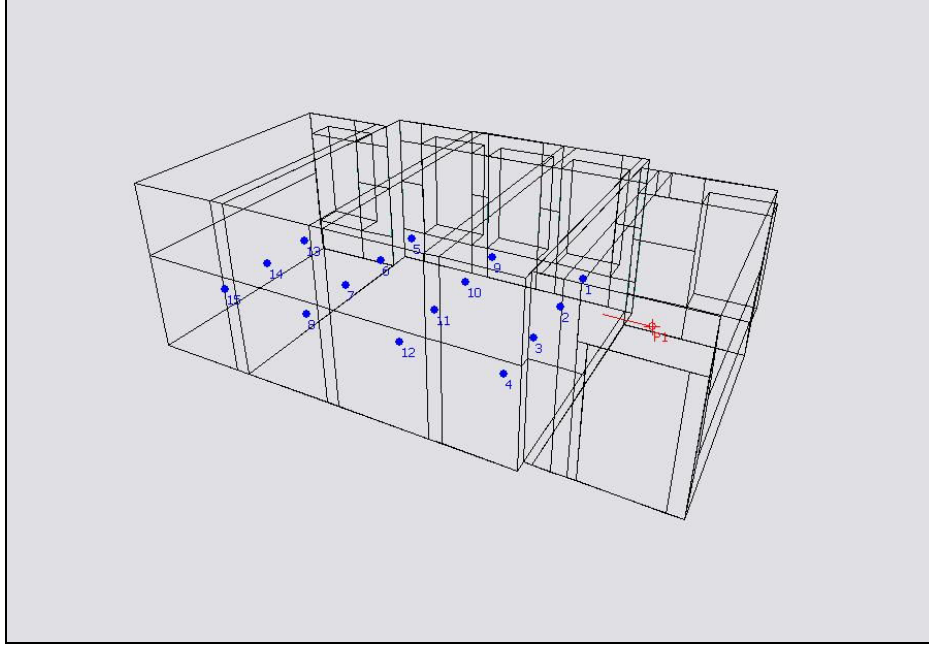
Aşağıdaki Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te A405 Makine mühendisliği dersliği, B503 İnşaat mühendisliği dersliği ve D203 Mimarlık dersliğine yerleştirilen kaynak ve dinleyici noktaları yer almaktadır.



Şekil 4.11 A405 makine mühendisliği dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni



Şekil 4.12 B503 inşaat mühendisliği dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni



Şekil 4.13 D203 mimarlık dersliğinde kaynak ve alıcıların 3 boyutlu görünümü ve sınıflardaki yerleşim düzeni

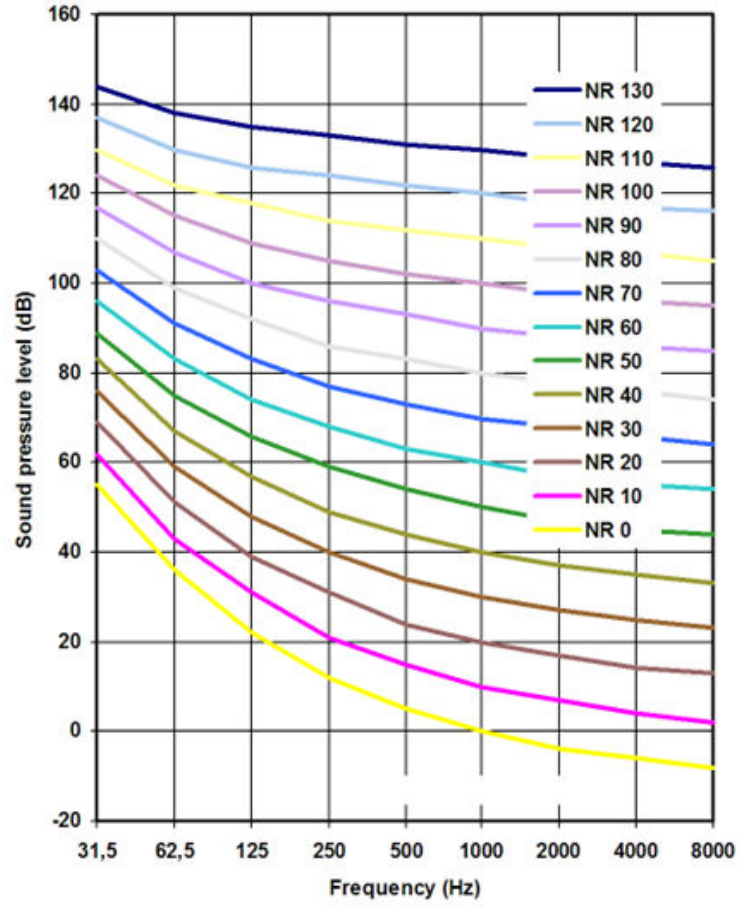
4.3.4 Hacim Akustiği Parametreleri ile İlgili Kabuller

Tez kapsamında değerlendirmeye alınan üç derslik için incelenen hacim akustiği parametreleri olan yansıma süresi (T_{60}), erken düşme süresi (EDT), ayırdedilebilirlik (D_{50}) ve ses iletim göstergesi (STI) için optimum değerler aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

Çizelge 4.10 Derslikler için belirlenen hacim akustiği parametreleri için optimum koşullar [3], [4], [6], [10], [28], [29]

Hacim Akustiği Parametresi	Derslik	Optimum (minimum)	Optimum (maksimum)
T_{60} (s)	A405	0,55	0,83
	B503	0,62	0,90
	D203	0,57	0,85
EDT (s)	A405	0,40	0,71
	B503	0,48	0,78
	D203	0,42	0,73
D_{50}	A405, B503 ve D203 derslikleri	$0,50 \leq$	
STI	A405, B503 ve D203 derslikleri	$0,65 \leq$	
SPL (dBA)	A405, B503 ve D203 derslikleri	47	77

İşleme göre kabul edilebilir gürültünün frekansa göre belirlendiği ölçütlerde olan NR eğrilerinin derslikler için belirlenen değeri NR 30'dur. Şekil 4.14'te NR eğrilerinin grafik gösterimi, Çizelge 4.11'de ise NR 30 eğrisinin frekansa göre değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.14 NR eğrileri [30]

Çizelge 4.11 Frekansa göre NR 30 eğrisinin optimum değerleri [30]

Kriter	125	250	500	1000	2000	4000
NR 30	48	40	34	30	27	25

BÖLÜM 5

HESAP SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER

Değerlendirmeye alınan dersliklerin, Odeon simülasyon programı yardımıyla hesaplanan hacim akustiği parametrelerine ilişkin sonuçları bu bölümde yer almaktadır. Yansıma süresi (Reverberation Time – T_{60}), erken düşme süresi (Early Decay Time – EDT), ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50}), ses iletim göstergesi (Speech Transmission Index - STI) parametreleri için verilen sonuçlar, alıcı noktalarında elde edilen sonuçların ortalamaları iken, ses basınç düzeyi (Sound Pressure Level - SPL) parametresi için alıcı noktalarına göre değerlendirme yapılmıştır.

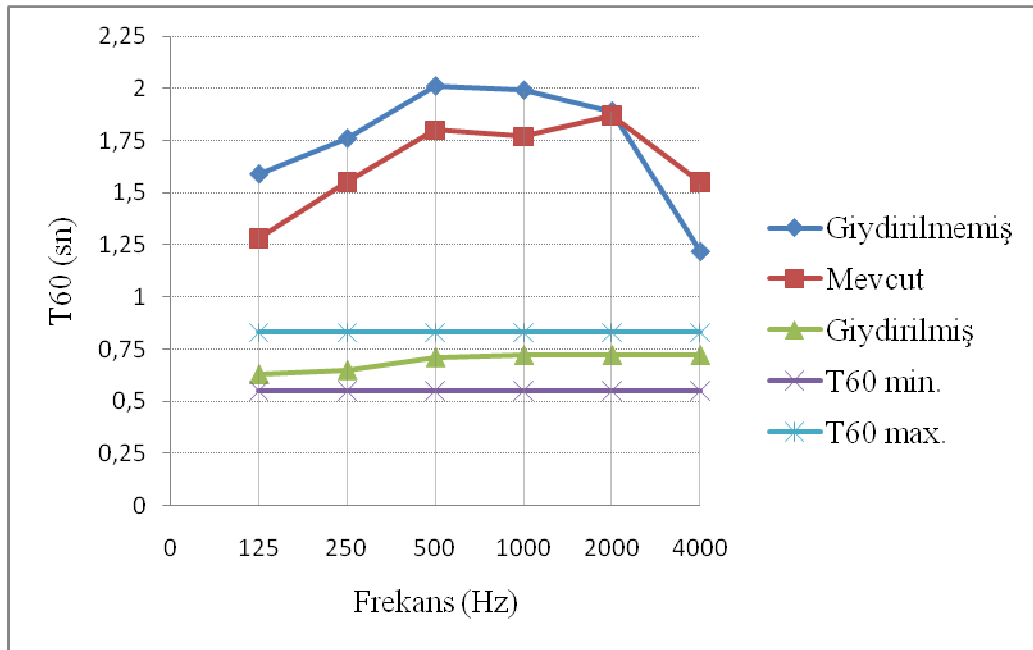
5.1 A 405 Makine Mühendisliği Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi

5.1.1 Yansıım Süresi (Reverberation Time – T_{60})

Çizelge 5.1’de A405 Makine Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.1’de ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.1 A405 makine mühendisliği dersliğinin yansıım süresi (T_{60}) sonuçları

A 405 MAKİNE	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	1,59	1,76	2,01	1,99	1,89	1,22
MEVCUT	1,28	1,55	1,80	1,77	1,87	1,55
GİYDİRİLMİŞ	0,63	0,65	0,71	0,72	0,72	0,72



Şekil 5.1 A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun yansıım süresi (T_{60}) sonuçları

Şekil 5.1 değerlendirildiğinde, iç yüzeylerde uygun gereçlerin kullanımı ile yansıım sürelerinin optimum aralık içinde kaldığı görülmektedir. Mevcut durumda büyük oranda yansıtıcı yüzeylere sahip olan derslik, tavanında kullanılan yutucu asma tavan,

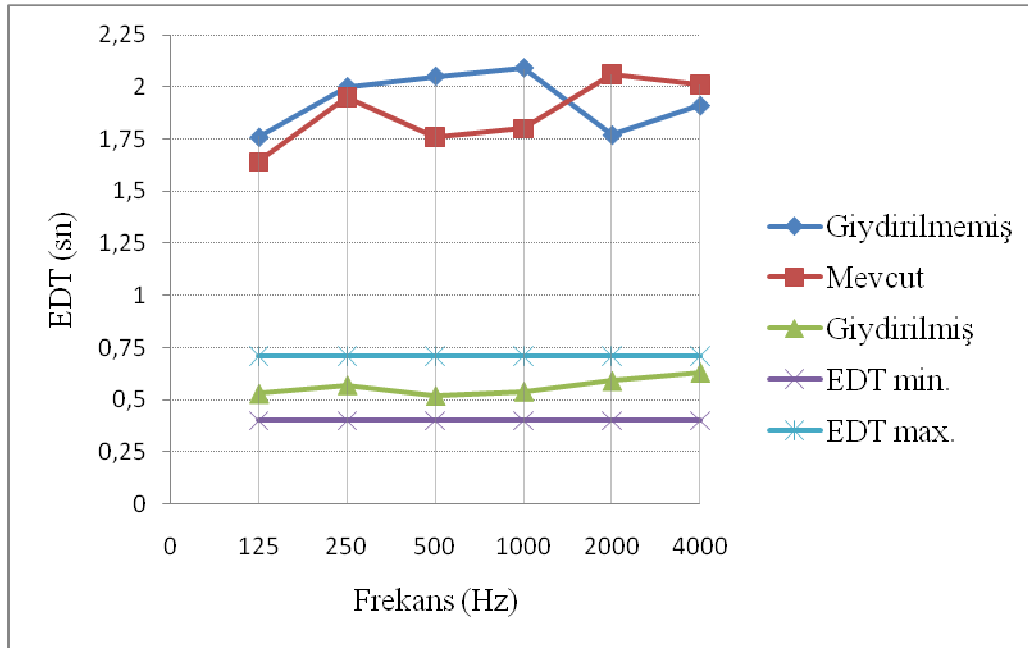
ayrıca duvarlarda kullanılan titreşen levha niteliğindeki alçı levhalar yansıma süresinin frekansa göre uygun değerlere düşmesini sağlamıştır.

5.1.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)

Çizelge 5.2’de A405 Makine Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.2’de ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.2 A405 makine mühendisliği dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları

A 405 MAKİNE	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	1,76	2,00	2,05	2,09	1,77	1,91
MEVCUT	1,64	1,95	1,76	1,80	2,06	2,01
GİYDİRİLMİŞ	0,53	0,57	0,52	0,54	0,59	0,63



Şekil 5.2 A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları

Ortaya çıkan sonuçlar ayrıntılı incelendiğinde erken düşme süresi (EDT) değerlerinin düşüş gösterdiği ve optimum değer aralığına ulaşıldığı görülmektedir. Erken düşme

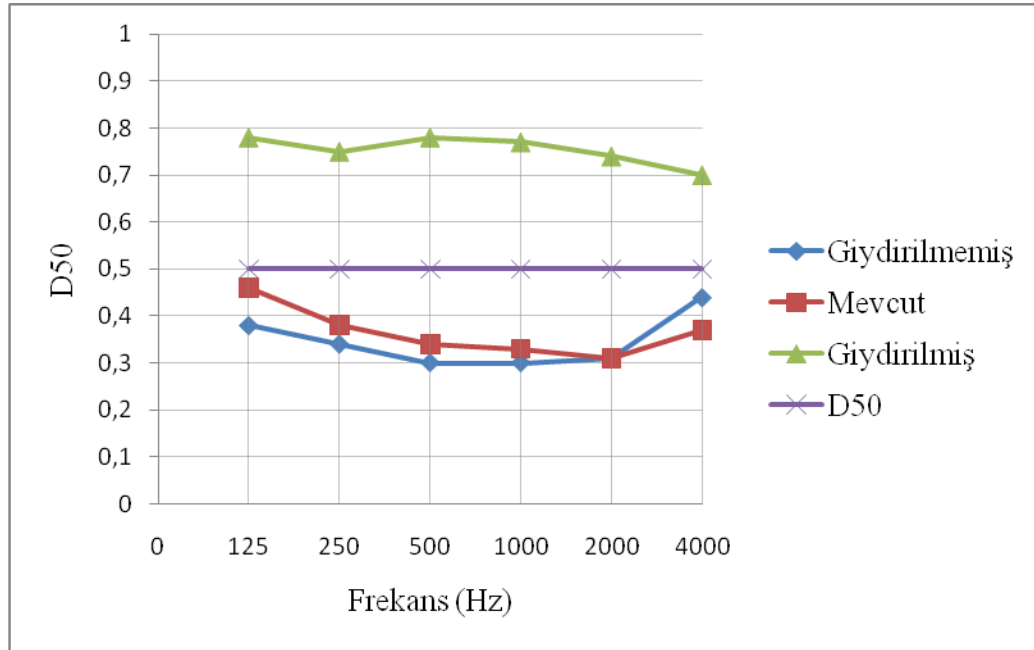
süresi (EDT) parametresinin, yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile doğru orantılı olması nedeniyle her iki parametre değerleri de optimum değer aralığında kalmıştır.

5.1.3 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})

Çizelge 5.3'te A405 Makine Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.3'te ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.3 A405 makine mühendisliği dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

A 405 MAKİNE	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,38	0,34	0,30	0,30	0,31	0,44
MEVCUT	0,46	0,38	0,34	0,33	0,31	0,37
GİYDİRİLMİŞ	0,78	0,75	0,78	0,77	0,74	0,70



Şekil 5.3 A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde, ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi erken düşme süresi (EDT)

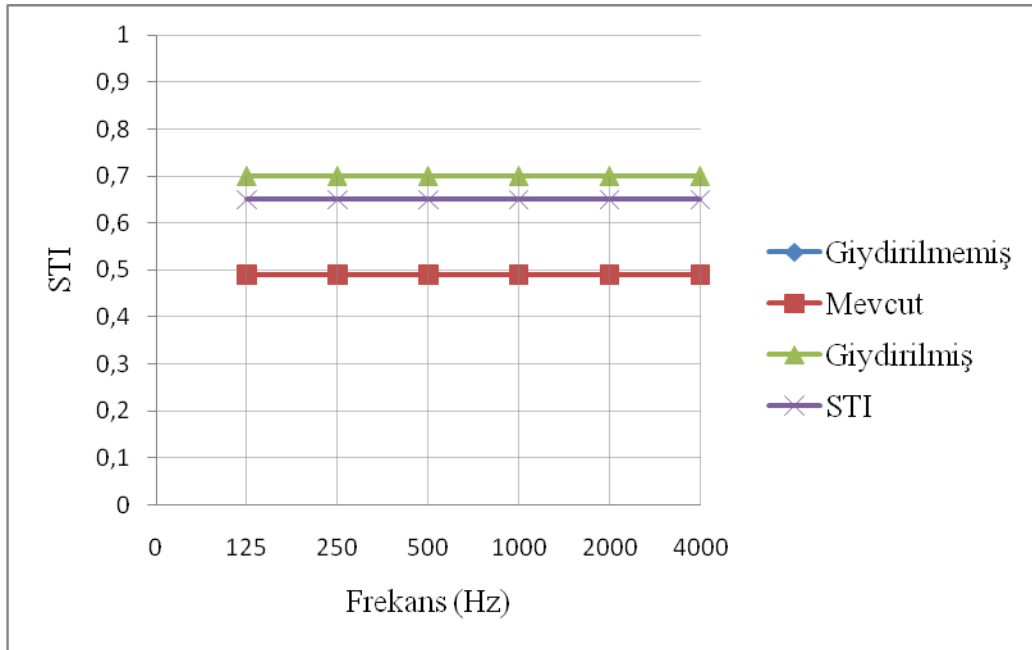
parametresi ile ters orantılıdır ve erken düşme süresi (EDT) süreleri azaldıkça ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerleri yükselir.

5.1.4 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)

Çizelge 5.4'te A405 Makine Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.4'te ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.4 A405 makine mühendisliği dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçları

A 405 MAKİNE	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,49					
MEVCUT	0,49					
GİYDİRİLMİŞ	0,70					



Şekil 5.4 A405 makine mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi, ses iletim göstergesi (STI) değerleri giydirilmemiş ve mevcut durumda aynı iken, giydirilmiş durumda yükselmiştir.

5.1.5 Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)

Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL) parametresi incelenirken A405 Makine Mühendisliği dersliğinin simülasyon programı hesaplarında 20 adet alıcı noktası belirlenmiş ve her bir noktanın giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının SPL(A) değerleri belirlenmiş ve optimum değer aralığına göre durumları Çizelge 5.5'te açıklanmıştır.

Çizelge 5.5 A405 makine mühendisliği dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları

Alıcı noktaları	Ses Düzeyi (dBA)			Optimum aralık
	Giydirilmemiş	Mevcut	Giydirilmiş	
R1	68,9	68,9	64,4	47-77
R2	69,5	69,5	65,7	
R3	69,5	69,5	65,6	
R4	69,1	69,1	64,8	
R5	68,1	68,1	63,0	
R6	68,3	68,3	63,3	
R7	68,4	68,4	63,3	
R8	68,3	68,3	63,4	
R9	67,6	67,6	62,3	
R10	67,6	67,6	62,0	
R11	67,6	67,6	62,0	
R12	67,6	67,6	62,4	
R13	67,0	67,0	61,3	
R14	67,2	67,1	61,4	
R15	67,2	67,2	61,4	
R16	66,9	66,8	60,9	
R17	66,6	66,6	61,2	
R18	66,6	66,6	60,9	
R19	66,6	66,6	60,9	
R20	66,4	66,4	60,8	

5.1.6 A 405 Makine Mühendisliği Dersliğinin Değerlendirilmesi

A405 dersliğinin değişik koşulları için belirlenen hacim akustiği parametrelerine yönelik sonuçları, optimum değer aralıkları ile birlikte Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6 A405 makine mühendisliği dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları

A 405 MAKİNE		FREKANS (Hz)						Optimum değer aralığı	Uygunluk
		125	250	500	1000	2000	4000		
T ₆₀	GIYDİRİLMEMİŞ	1,59	1,76	2,01	1,99	1,89	1,22	0,55-0,83	-
	MEVCUT	1,28	1,55	1,80	1,77	1,87	1,55		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,63	0,65	0,71	0,72	0,72	0,72		+
EDT	GIYDİRİLMEMİŞ	1,76	2,00	2,05	2,09	1,77	1,91	0,40-0,71	-
	MEVCUT	1,64	1,95	1,76	1,80	2,06	2,01		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,53	0,57	0,52	0,54	0,59	0,63		+
D ₅₀	GIYDİRİLMEMİŞ	0,38	0,34	0,30	0,30	0,31	0,44	0,50 ≤	-
	MEVCUT	0,46	0,38	0,34	0,33	0,31	0,37		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,78	0,75	0,78	0,77	0,74	0,70		+
STI	GIYDİRİLMEMİŞ	0,49						0,65 ≤	-
	MEVCUT	0,49							-
	GIYDİRİLMİŞ	0,70							+

Dersliğin mevcut ve giydirilmemiş durumlarındaki hacim akustiği parametrelerinin gerekli değerlerinin sağlandığı görülürken, uygun gereçlerin seçimi ile optimum değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.7 A405 makine mühendisliği dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri

A 405 Makine Dersliği	FREKANSLAR (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Genel Ortalama(dB)	46,89	40,49	36,10	31,51	28,34	20,02
Kabul edilebilir düzey (NR 30)	48	40	34	30	27	25

Çizelge 5.7'de ise, dersliğin mevcut durumda ölçülen fon gürültüsü değerlerinin, dersliklerde kabul edilebilir değer olan NR 30 ile karşılaştırılması yer almaktadır.

Görüldüğü gibi, 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz’de fon gürültüsü düzeyleri, kabul edilebilir değerlerin yaklaşık 2 dB üzerindedir. Bununla birlikte, önerilen iç yüzey gereçlerinin ses yutuculuğu nedeniyle, fon gürültüsü açısından da bir sorun kalmayacaktır.

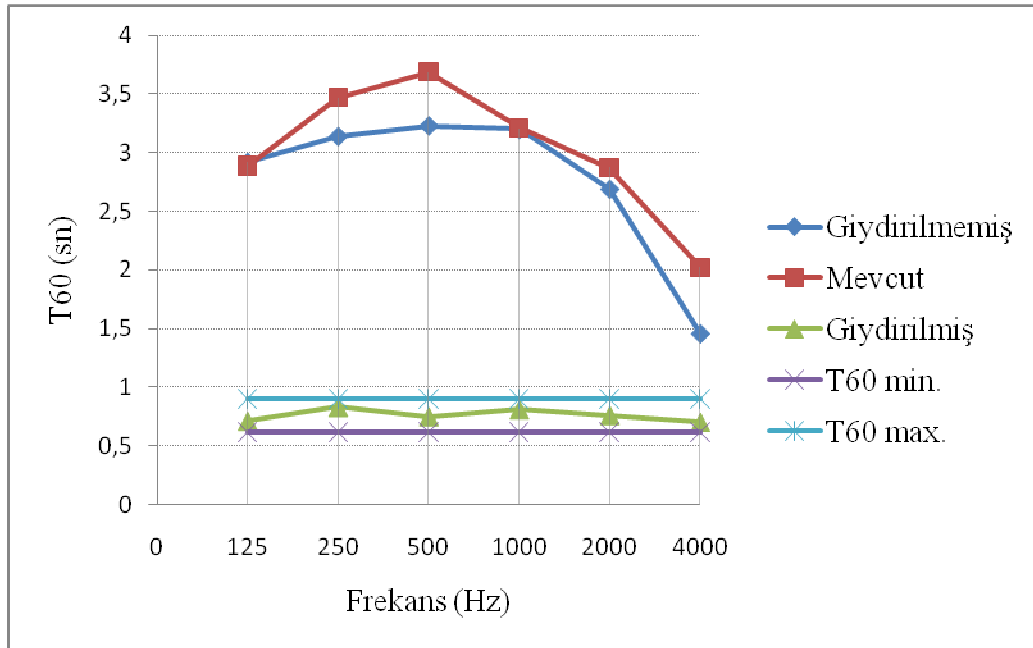
5.2 B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi

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

Çizelge 5.8’de B503 İnşaat Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.5’te ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.8 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin yansıma süresi (T_{60}) sonuçları

B 503 İNŞAAT	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	2,92	3,14	3,23	3,20	2,69	1,46
MEVCUT	2,89	3,47	3,69	3,21	2,87	2,02
GİYDİRİLMİŞ	0,71	0,83	0,75	0,81	0,76	0,70



Şekil 5.5 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun yansıma süresi (T_{60}) sonuçları

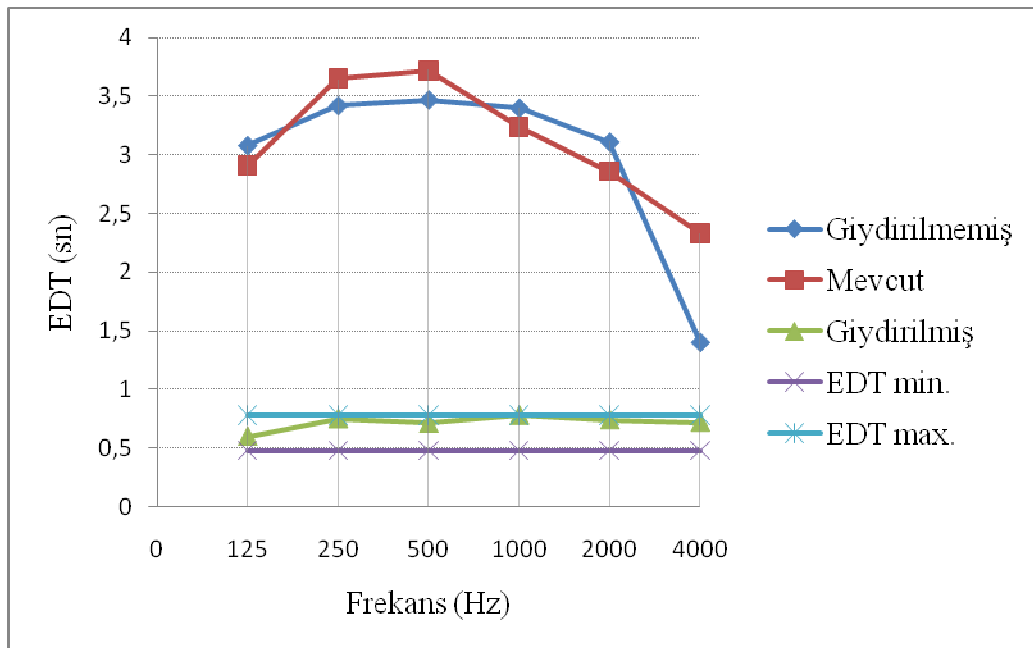
Şekil 5.5 değerlendirildiğinde, iç yüzeylerde uygun gereçlerin kullanımı ile yansıma sürelerinin optimum aralık içinde kaldığı görülmektedir. Mevcut durumda büyük oranda yansıtıcı yüzeylere sahip olan derslik, tavanında kullanılan yutucu asma tavan, döşemelerde dinleyicinin olduğu kısımların karo mozaik kaplama yerine kadron üzerine parke döşeme ile kaplanması ayrıca duvarlarda kullanılan titreşen levha niteliğindeki kontrplak paneller, camlara asılan perdeler yüksek frekanslarda yutuculuk sağlayarak yansıma süresinin frekansa göre uygun değerlere düşmesini sağlamıştır.

5.2.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)

Çizelge 5.9’da B503 İnşaat Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.6’da ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.9 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları

B 503 İNŞAAT	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GIYDIRILMEMİŞ	3,08	3,42	3,47	3,40	3,11	1,40
MEVCUT	2,91	3,65	3,72	3,24	2,86	2,33
GIYDIRILMIŞ	0,60	0,75	0,71	0,78	0,74	0,72



Şekil 5.6 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları

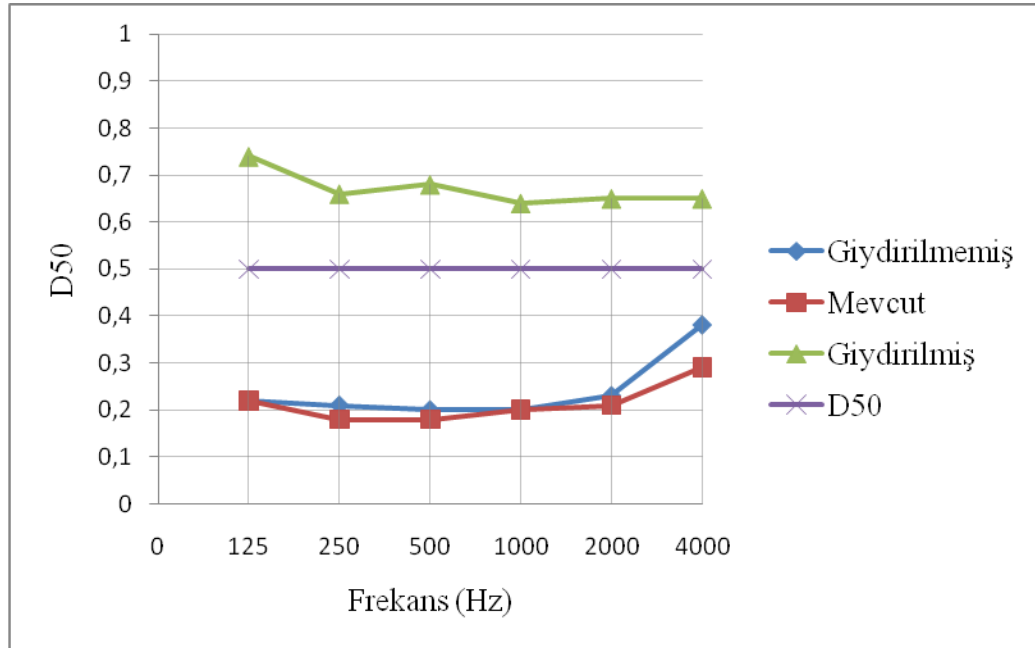
Ortaya çıkan sonuçlar ayrıntılı incelendiğinde erken düşme süresi (EDT) değerlerinin düşüş gösterdiği ve optimum değer aralığına ulaşıldığı görülmektedir. Erken düşme süresi (EDT) parametresinin, yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile doğru orantılı olması nedeniyle her iki parametre değerleri de optimum değer aralığında kalmıştır.

5.2.3 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})

Çizelge 5.10’da B503 İnşaat Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.7’de ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.10 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

B 503 İNŞAAT	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,22	0,21	0,20	0,20	0,23	0,38
MEVCUT	0,22	0,18	0,18	0,20	0,21	0,29
GİYDİRİLMİŞ	0,74	0,66	0,68	0,64	0,65	0,65



Şekil 5.7 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

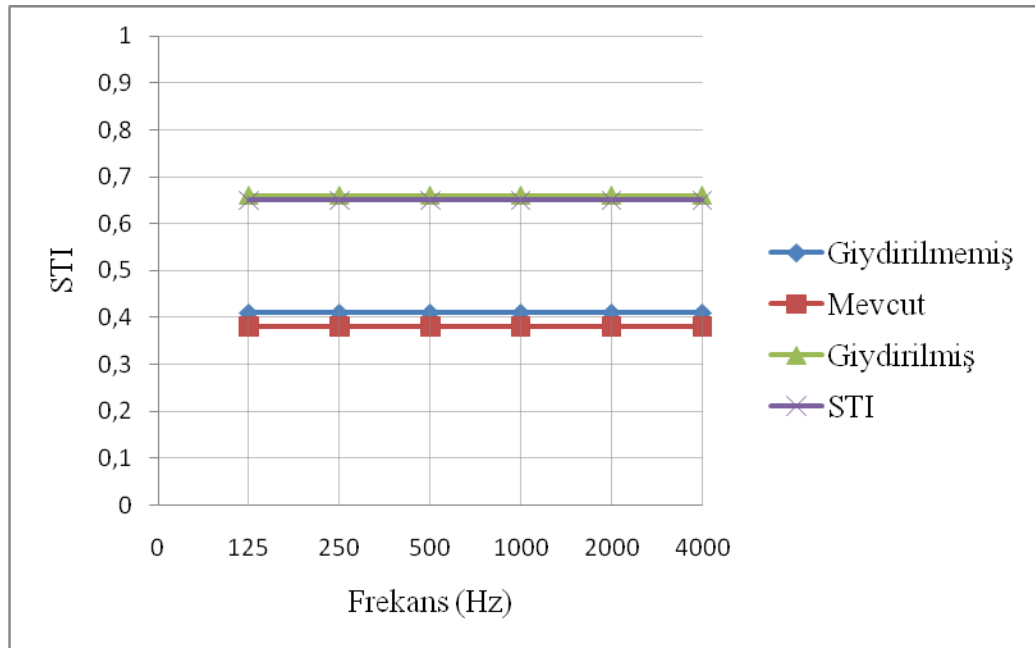
Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde, ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi erken düşme süresi (EDT) parametresi ile ters orantılıdır ve erken düşme süresi (EDT) süreleri azaldıkça ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerleri yükselir.

5.2.4 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)

Çizelge 5.11’de B503 İnşaat Mühendisliği dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.8’de ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.11 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçları

B 503 İNŞAAT	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,41					
MEVCUT	0,38					
GİYDİRİLMİŞ	0,66					



Şekil 5.8 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi, ses iletim göstergesi (STI) değerleri giydirilmemiş ve mevcut durumda aynı iken, giydirilmiş durumda yükselmiştir.

5.2.5 Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)

Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL) parametresi incelenirken B503 İnşaat Mühendisliği dersliğinin simülasyon programı hesaplarında 20 adet alıcı noktası belirlenmiş ve her bir noktanın giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının SPL(A) değerleri belirlenmiş ve optimum değer aralığına göre durumları Çizelge 5.12’de açıklanmıştır.

Çizelge 5.12 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları

Alıcı noktaları	Ses Düzeyi (dBA)			Optimum aralık
	Giydirilmemiş	Mevcut	Giydirilmiş	
R1	68,1	68,4	64,8	47-77
R2	68,4	68,8	65,4	
R3	68,4	68,7	65,2	
R4	68,0	68,4	64,7	
R5	67,7	68,1	63,1	
R6	67,9	68,3	63,3	
R7	67,9	68,3	63,3	
R8	67,7	68,1	63,1	
R9	67,3	67,5	61,8	
R10	67,0	67,7	62,0	
R11	67,2	67,6	62,0	
R12	66,9	67,4	61,6	
R13	66,8	67,2	64,2	
R14	67,0	67,4	64,5	
R15	67,0	67,4	64,5	
R16	66,7	67,1	64,2	
R17	66,4	66,9	62,2	
R18	66,6	67,1	62,3	
R19	66,6	67,1	62,3	
R20	66,3	66,7	62,2	

5.2.6 B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliğinin Değerlendirilmesi

B503 İnşaat Mühendisliği dersliğinin değişik koşulları için belirlenen hacim akustiği parametrelerine yönelik sonuçları, optimum değer aralıkları ile birlikte Çizelge 5.13'te yer almaktadır.

Çizelge 5.13 B 503 inşaat mühendisliği dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları

B 503 İNŞAAT		FREKANS (Hz)						Optimum değer aralığı	Uygunluk
		125	250	500	1000	2000	4000		
T ₆₀	GİYDİRİLMEMİŞ	2,92	3,14	3,23	3,20	2,69	1,46	0,62-0,90	-
	MEVCUT	2,89	3,47	3,69	3,21	2,87	2,02		-
	GİYDİRİLMİŞ	0,71	0,83	0,75	0,81	0,76	0,70		+
EDT	GİYDİRİLMEMİŞ	3,08	3,42	3,47	3,40	3,11	1,40	0,48-0,78	-
	MEVCUT	2,91	3,65	3,72	3,24	2,86	2,33		-
	GİYDİRİLMİŞ	0,60	0,75	0,71	0,78	0,74	0,72		+
D ₅₀	GİYDİRİLMEMİŞ	0,22	0,21	0,20	0,20	0,23	0,38	0,50 ≤	-
	MEVCUT	0,22	0,18	0,18	0,20	0,21	0,29		-
	GİYDİRİLMİŞ	0,74	0,66	0,68	0,64	0,65	0,65		+
STI	GİYDİRİLMEMİŞ	0,41						0,65 ≤	-
	MEVCUT	0,38							-
	GİYDİRİLMİŞ	0,66							+

Dersliğin mevcut ve giydirilmemiş durumlarındaki hacim akustiği parametrelerinin gerekli değerlerinin sağlandığı görülürken, uygun gereçlerin seçimi ile optimum değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.14 B503 inşaat mühendisliği dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri

B 503 İnşaat Dersliği	FREKANSLAR (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Genel Ortalama(dB)	48,80	42,63	36,42	32,49	27,41	20,92
Kabul edilebilir düzey (NR 30)	48	40	34	30	27	25

Çizelge 5.14'te ise, dersliğin mevcut durumda ölçülen fon gürültüsü değerlerinin, dersliklerde kabul edilebilir değer olan NR 30 ile karşılaştırılması yer almaktadır.

Görüldüğü gibi, 250 Hz, 500 Hz ve 1000 Hz'de fon gürültüsü düzeyleri, kabul edilebilir değerlerin yaklaşık 2 dB üzerindedir. Bununla birlikte, önerilen iç yüzey gereçlerinin ses yutuculuğu nedeniyle, fon gürültüsü açısından da bir sorun kalmayacaktır.

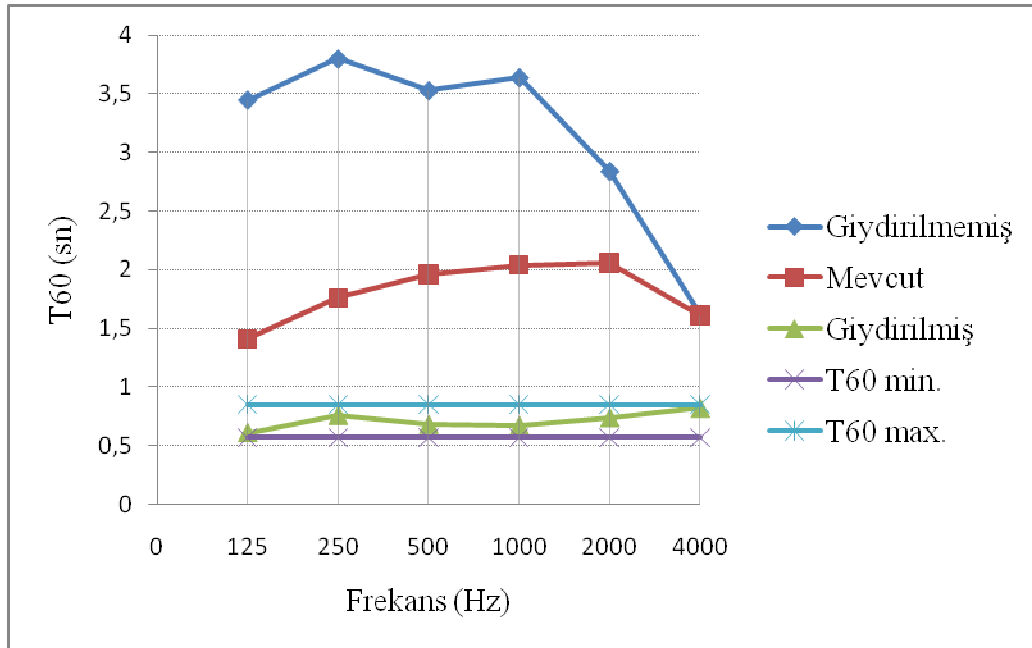
5.3 D 203 Mimarlık Dersliğine İlişkin Sonuçların Değerlendirilmesi

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

Çizelge 5.15'te D 203 Mimarlık dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.9'da ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.15 D203 mimarlık dersliğinin yansıma süresi (T_{60}) sonuçları

D 203 MİMARLIK	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	3,45	3,80	3,53	3,64	2,84	1,62
MEVCUT	1,41	1,76	1,96	2,04	2,06	1,61
GİYDİRİLMİŞ	0,61	0,76	0,68	0,67	0,74	0,82



Şekil 5.9 D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun yansıma süresi (T_{60}) sonuçları

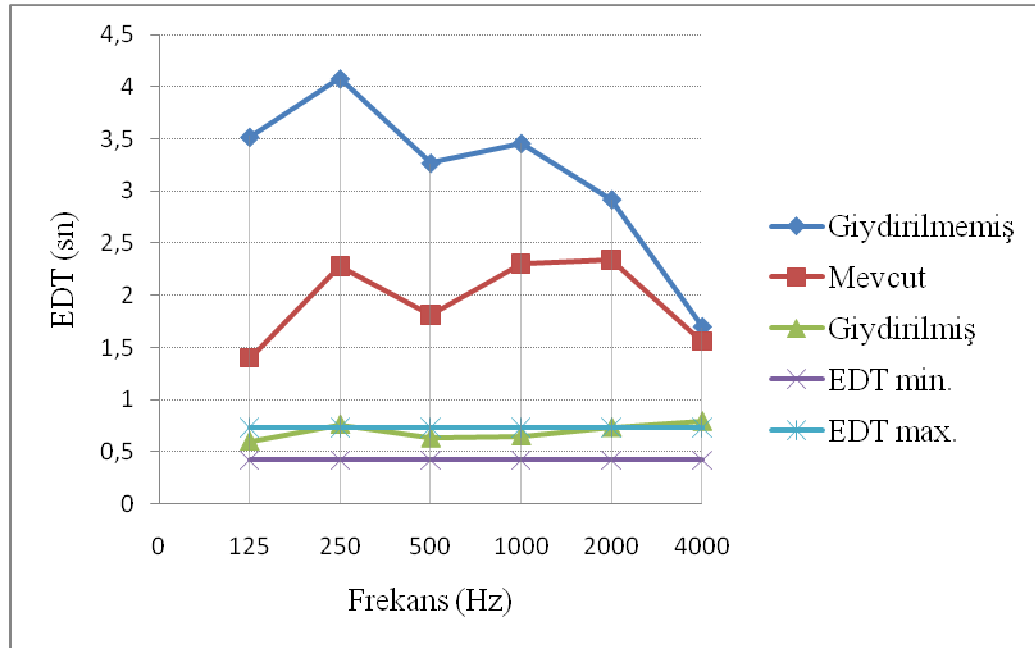
Şekil 5.9 değerlendirildiğinde, iç yüzeylerde uygun gereçlerin kullanımı ile yansıma sürelerinin optimum aralık içinde kaldığı görülmektedir. Mevcut durumda büyük oranda yansıtıcı yüzeylere sahip olan derslik, tavanında kullanılan yutucu asma tavan, ayrıca duvarlarda kullanılan titreşen levha niteliğindeki ahşap kaplama yansıma süresinin frekansa göre uygun değerlere düşmesini sağlamıştır.

5.3.2 Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)

Çizelge 5.16’da D 203 Mimarlık dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.10’da ise sonuçların optimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.16 D203 mimarlık dersliğinin erken düşme süresi (EDT) sonuçları

D 203 MİMARLIK	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	3,52	4,08	3,27	3,46	2,92	1,70
MEVCUT	1,40	2,28	1,81	2,30	2,34	1,56
GİYDİRİLMİŞ	0,60	0,76	0,63	0,65	0,73	0,79



Şekil 5.10 D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun erken düşme süresi (EDT) sonuçları

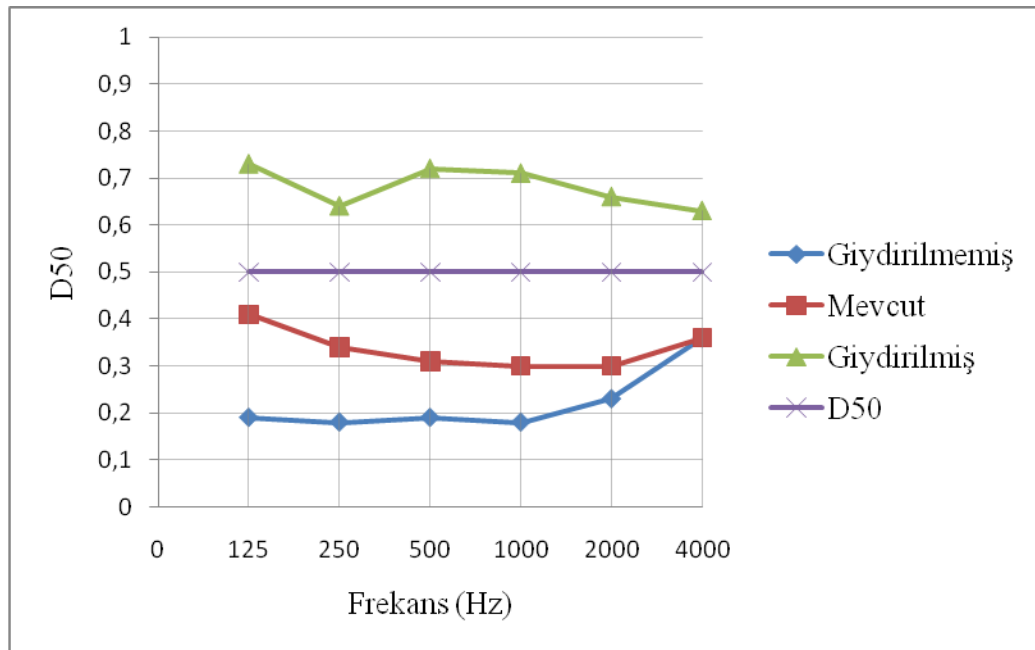
Ortaya çıkan sonuçlar ayrıntılı incelendiğinde erken düşme süresi (EDT) değerlerinin düşüş gösterdiği ve 250 Hz ve 4000 Hz frekanslarında optimum değer aralığının üzerine çıkmasına rağmen diğer frekanslarda optimum değer aralığına ulaşıldığı görülmektedir. Erken düşme süresi (EDT) parametresinin, yansıma süresi (T_{60}) parametresi ile doğru orantılı olması nedeniyle her iki parametre değerleri de optimum değer aralığında kalmıştır.

5.3.3 Ayırdedilebilirlik (Distinctness - D_{50})

Çizelge 5.17’de D 203 Mimarlık dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.11’de ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.17 D203 mimarlık dersliğinin ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

D 203 MİMARLIK	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,19	0,18	0,19	0,18	0,23	0,36
MEVCUT	0,41	0,34	0,31	0,30	0,30	0,36
GİYDİRİLMİŞ	0,73	0,64	0,72	0,71	0,66	0,63



Şekil 5.11 D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun ayırdedilebilirlik (D_{50}) sonuçları

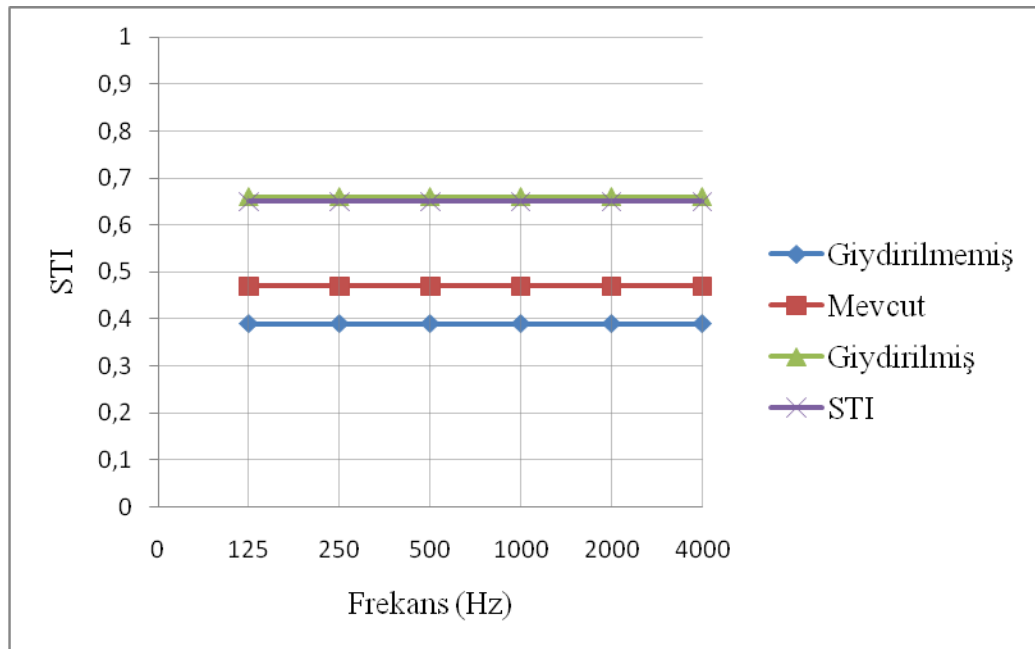
Ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde, ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Ayırdedilebilirlik (D_{50}) parametresi erken düşme süresi (EDT) parametresi ile ters orantılıdır ve erken düşme süresi (EDT) süreleri azaldıkça ayırdedilebilirlik (D_{50}) değerleri yükselir.

5.3.4 Ses İletim Göstergesi (Speech Transmission Index - STI)

Çizelge 5.18’de D 203 Mimarlık dersliği için giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş olmak üzere 3 farklı durumun sonuçları, Şekil 5.12’de ise sonuçların minimum değerlerle karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

Çizelge 5.18 D203 mimarlık dersliğinin ses iletim göstergesi (STI) sonuçları

D 203 MİMARLIK	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
GİYDİRİLMEMİŞ	0,39					
MEVCUT	0,47					
GİYDİRİLMİŞ	0,66					



Şekil 5.12 D203 mimarlık dersliğinin 3 durumunun ses iletim göstergesi (STI) sonuçları Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, ses iletim göstergesi (STI) değerleri giydirilmemiş ve mevcut durumda aynı iken, giydirilmiş durumda yükselmiştir.

5.3.5 Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL)

Ses Basınç Düzeyi (Sound Pressure Level - SPL) parametresi incelenirken D203 Mimarlık dersliğinin simülasyon programı hesaplarında 15 adet alıcı noktası belirlenmiş ve her bir noktanın giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının SPL(A) değerleri belirlenmiş ve optimum değer aralığına göre durumları Çizelge 5.19'da açıklanmıştır.

Çizelge 5.19 D203 mimarlık dersliğinin alıcı noktalarına göre ses basınç düzeyi (SPL) sonuçları

Alıcı noktaları	Ses Düzeyi (dBA)			
	Giydirilmemiş	Mevcut	Giydirilmiş	Optimum aralık
R1	69,5	68,0	64,8	47-77
R2	69,7	68,3	65,1	
R3	69,7	68,3	65,3	
R4	69,7	68,2	64,9	
R5	69,1	67,5	63,1	
R6	69,1	67,5	63,0	
R7	69,1	67,5	63,0	
R8	69,1	67,5	63,3	
R9	68,8	66,9	63,9	
R10	68,7	66,8	63,8	
R11	68,6	66,8	63,9	
R12	68,7	66,9	63,8	
R13	68,5	66,6	62,8	
R14	68,4	66,5	62,8	
R15	68,2	66,3	62,7	

5.3.6 D 203 Mimarlık Dersliğinin Değerlendirilmesi

D203 dersliğinin değişik koşulları için belirlenen hacim akustiği parametrelerine yönelik sonuçları, optimum değer aralıkları ile birlikte Çizelge 5.20’de yer almaktadır.

Çizelge 5.20 D203 mimarlık dersliğinin hacim akustiği parametreleri sonuçları

D 203 MİMARLIK		FREKANS (Hz)						Optimum değer aralığı	Uygunluk
		125	250	500	1000	2000	4000		
T ₆₀	GIYDİRİLMEMİŞ	3,45	3,80	3,53	3,64	2,84	1,62	0,57-0,85	-
	MEVCUT	1,41	1,76	1,96	2,04	2,06	1,61		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,61	0,76	0,68	0,67	0,74	0,82		+
EDT	GIYDİRİLMEMİŞ	3,52	4,08	3,27	3,46	2,92	1,70	0,42-0,73	-
	MEVCUT	1,40	2,28	1,81	2,30	2,34	1,56		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,60	0,76	0,63	0,65	0,73	0,79		+
D ₅₀	GIYDİRİLMEMİŞ	0,19	0,18	0,19	0,18	0,23	0,36	0,50 ≤	-
	MEVCUT	0,41	0,34	0,31	0,30	0,30	0,36		-
	GIYDİRİLMİŞ	0,73	0,64	0,72	0,71	0,66	0,63		+
STI	GIYDİRİLMEMİŞ	0,39						0,65 ≤	-
	MEVCUT	0,47							-
	GIYDİRİLMİŞ	0,66							+

Dersliğin mevcut ve giydirilmemiş durumlarındaki hacim akustiği parametrelerinin gerekli değerlerinin sağlandığı görülürken, uygun gereçlerin seçimi ile optimum değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.21 D203 mimarlık dersliğinin mevcut durumunda ölçülen fon gürültüsü değerleri

A 405 Makine Dersliği	FREKANSLAR (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Genel Ortalama(dB)	39,37	35,73	33,71	29,96	24,96	19,23
Kabul edilebilir düzey (NR 30)	48	40	34	30	27	25

Çizelge 5.21’de ise, dersliğin mevcut durumda ölçülen fon gürültüsü değerlerinin, dersliklerde kabul edilebilir değer olan NR 30 ile karşılaştırılması yer almaktadır. Görüldüğü gibi, tüm frekanslardaki fon gürültüsü düzeyleri, kabul edilebilir değerlerin altındadır.

BÖLÜM 6

SONUÇ

Derslikler, konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanmasının son derece önemli olduğu hacim tiplerindendir. Bir hacimde akustik açıdan uygun koşulların sağlanmasında büyüklük ve biçiminin yanı sıra, hacimlerin iç yüzeylerini oluşturan malzemeler, akustik koşulların oluşturulmasında öncelikli etkenlerdendir. Bu nedenle dersliklerin tasarımı aşamasında, uygun akustik konfor ortam koşullarını sağlayacak iç yüzey gereçlerinin saptanması ve yapım aşamasında gereken detaylarla uygulanması, üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

Bu tez çalışmasında, temel işlevi konuşma olan dersliklerin akustik performansında, iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Kampüsü'nde yer alan farklı büyüklük ve iç yüzey gereçlerinden oluşan üç farklı derslikte, kaynak ve dinleyici konumu sabit tutularak iç yüzey gereçlerinin etkinliğinin giydirilmemiş, mevcut ve giydirilmiş durumlarının simülasyon programı kullanılarak hacim akustiği parametrelerindeki değişimine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda;

- Üç durum arasında, akustik konfor koşulları açısından belirlenen ayrımlar, mimaride iç yüzey gereçlerinin seçiminin ne denli önemli olduğunu,
- Bir hacmin toplam yutuculuğunun, özellikle de iç yüzeylerinin ses yutma çarpanlarının, o hacmin akustik yetkinliği açısından önemli olduğu,

- Dersliklerin giydirilmemiş ve mevcut durumlarında akustik açıdan uygun koşulların sağlanamadığı, iç yüzeyleri oluşturan malzemelerin değiştirilerek dersliklerin akustik konfor koşullarını sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerektiği,
- Dersliklerde işitsel konforun sağlanmasında öncelikle tavan, döşeme ve duvar gibi hacmin toplam yutuculuğunda önemli etkiye sahip iç yüzeyleri oluşturan malzemelerin değiştirilerek akustik açıdan uygun koşulların elde edildiği

saptanmıştır.

Dersliklerin giydirilmiş durumları sonuçları incelendiği zaman, A405 makine mühendisliği dersliğinin, B503 inşaat mühendisliği dersliği ve D203 mimarlık dersliğinin her üçünün de uygun iç yüzey gereçleri kullanıldığı takdirde hacim akustiği parametrelerine göre uygunluk durumları Çizelge 6.1’de yer almaktadır.

Çizelge 6.1 A 405 makine mühendisliği, B503 inşaat mühendisliği ve D203 mimarlık dersliklerinin giydirilmiş durumlarının sonuçları

		FREKANS (Hz)						Optimum değer aralığı
		125	250	500	1000	2000	4000	
T ₆₀	A405 MAKİNE	0,63	0,65	0,71	0,72	0,72	0,72	0,55-0,83
	B503 İNŞAAT	0,71	0,83	0,75	0,81	0,76	0,70	0,62-0,90
	D203 MİMARLIK	0,61	0,76	0,68	0,67	0,74	0,82	0,57-0,85
EDT	A405 MAKİNE	0,53	0,57	0,52	0,54	0,59	0,63	0,40-0,71
	B503 İNŞAAT	0,60	0,75	0,71	0,78	0,74	0,72	0,48-0,78
	D203 MİMARLIK	0,60	0,76	0,63	0,65	0,73	0,79	0,42-0,73
D ₅₀	A405 MAKİNE	0,78	0,75	0,78	0,77	0,74	0,70	0,50 ≤
	B503 İNŞAAT	0,74	0,66	0,68	0,64	0,65	0,65	
	D203 MİMARLIK	0,73	0,64	0,72	0,71	0,66	0,63	
STI	A405 MAKİNE	0,70						0,65 ≤
	B503 İNŞAAT	0,66						
	D203 MİMARLIK	0,66						

Dersliklerin tasarımı aşamasında öncelikle dersliğin mimari özelliklerine ilişkin kriterlerin (biçim, büyüklük, boyut oranları, dinleyici ve konuşmacı platformu tasarımı gibi) uygunluğunun sağlanması gerekir. Tez kapsamında değerlendirmeye alınan her üç derslikte de, yapılan çalışmalarla akustik parametreler açısından uygun değerlerin sağlanmış olmasına karşın, A 405 Makine Mühendisliği ve D203 Mimarlık dersliklerinin mimari özelliklerinin derslik olmaya elverişsiz olduğu (kişi başına düşen hacim, biçim ve boyut oranları açısından) görülmektedir. Söz konusu derslikler, mimari planlama açısından da yeniden değerlendirilmelidir.

Mimarlar, tasarladıkları (özellikle de işitsel algılamanın önem taşıdığı) dersliklerde boyut, biçim, tefriş ve iç yüzey gereçlerini belirleme aşamalarında, akustik gereksinimleri de değerlendirmeye almalı ve uygun koşulların yaratılmasını sağlamak amacıyla gereken önlemleri almalıdırlar. Özellikle işitsel algılamanın önem taşıdığı hacimlerde, mimari tasarımın akustik tasarımla birlikte yürütülmesi gerekliliği konusu üzerinde önemle durulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Cremer, L., Müller, and H. A., Schultz., (1982). Principles and Applications of Room Acoustics, Applied Science Publishers LTD., England, 413–414.
- [2] Beranek, L., (1996). Concert and Opera Halls: How They Sound, Acoustical Society of America, New York.
- [3] Cavanaugh, W. J. and Wilkes, J. A., (1999). Architectural Acoustics, John Wiley and Sons, INC., Canada, 261-262.
- [4] Cavanaugh, W. J. and Wilkes, J. A., (1999). "Architectural Acoustics Principles and Practice".
- [5] Mehta, M., Johnson, J. and Rocafort, J., (1999). Architectural Acoustics: Principles and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [6] Long, M., (2006). Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, Burlington.
- [7] Sirel, Ş., (1981). Hacim Akustiğinde Yansıma Süresi, Yapı Fiziği Bilim Dalı Yayınları, İGDMMA Basımevi, İstanbul.
- [8] Barron, M., (1999). "Late Lateral Energy Fractions and the Envelopment Question in Concert Halls", Applied Acoustics, 62: 185-202.
- [9] Erdem Aknesil, A., (2004). Hacim Akustiği Kuramı, Yüksek Lisans Ders Notları.
- [10] Gade, A.C., (1989). Acoustical Survey of Eleven European Concert Halls, Report no.44, The Acoustical Laboratory, Technical University of Denmark, Lyngby.
- [11] Barron, M., (1993). Auditorium Acoustics and Architectural Design, Clays Ltd., London.
- [12] Erdem Aknesil, A., (1996). "Geçmişten Günümüze Hacim Akustiği Ölçütleri", 2.Ulusal Akustik ve Gürültü Kongresi, Antalya, 224-233.
- [13] Erdem Aknesil, A., (1997). "Salonların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesinde Akustik Koşul Dağılımlarının Öneminin Ortaya Konulması ve İrdelenmesine Yönelik Bir Yaklaşım", Doktora Tezi, YTÜ, FBE, İstanbul.
- [14] Templeton, D., (1997). Acoustics In The Built Environment: Advice For The Design Team, Architectural Press, Oxford.

- [15] Bradley, J. S., (1986). "Predictors of Speech Intelligibility in Rooms", Journal of the Acoustical Society of America, 80(3): 837-845.
- [16] Karabiber, Z., (1991). Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül ve Büyüklükler, YTÜ, İstanbul.
- [17] Karabiber, Z., (1996). "Hacim Akustiği Kavramlar ve İlkeler", Mimarlık Fakültesi, YTÜ.
- [18] Sirel, S., (2000). "Yapı Akustiğinde 30 Terim 30 Tanım", YFU Yayın No:9, İstanbul.
- [19] Hodgson, M., (2003). "Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms", Applied Acoustics 65 (2004): 69–89.
- [20] Zannin, P. H. T., Zwirtes, D. P. Z., (2008). "Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools", Applied Acoustics 70 (2009): 626–635.
- [21] Tang, S.K., (2007). "Speech related acoustical parameters in classrooms and their relationships", Applied Acoustics 69 (2008): 1318–1331.
- [22] Tang, S.K., Yeung, M.H., (2005). "Reverberation times and speech transmission indices in classrooms", Journal of Sound and Vibration 294 (2006): 596–607.
- [23] Naylor, G., Rindel, J.H., (1994). ODEON Room Acoustics Program, Ver. 2.5, User Manuel, The Acoustics Laboratory, Tech. Univ. of Denmark, Denmark.
- [24] Naylor, G., Rindel, J.H., (2004). ODEON Room Acoustics Program, Ver. 7.0, User Manuel, The Acoustics Laboratory, Tech. Univ. of Denmark, Denmark.
- [25] Naylor, G., Rindel, J.H., (2004). ODEON Room Acoustics Program, Ver. 8.0, User Manuel, The Acoustics Laboratory, Tech. Univ. of Denmark, Denmark.
- [26] Erdem Aknesil, A., (1996). "Hacim Akustiği Tasarımında Bilgisayar Programlarının Kullanımı (Odeon-2.6-Hacim Akustiği Programı)", Mimarlık Pratiğinde Bilgisayar Seminer+Workshop, İstanbul.
- [27] Erdem Aknesil, A., (1996). "Mimari Tasarım Aşamasında Hacim Akustiği Açısından Bilgisayar Programlarının Önemi", Yapılarda Akustik Sorunlar ve Çözüm Önerileri Semineri, İstanbul.
- [28] Akdağ, N. Y, Aknesil, A. E, Sözen, M. Ş, İlgürel, N., (2008). The Importance of Interior Surface Materials on Acoustic Performance: A Case Study of the Yıldız Technical University Auditorium, Turkey", Architectural Science Review, ISSN 0003-8628, 51(4): 372-380.
- [29] Kuttruff, H., (1991). Room Acoustics: Third Edition, Elsevier Applied Science, London.
- [30] ISO 3382., (1997). Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters, International Standards Organization, Geneva.

**DERSLİKLERİN MEVCUT DURUM FON GÜRÜLTÜSÜ İÇİN ÖLÇÜLEN SPL ve
L_{eq} DEĞERLERİ**

A 405 Makine Mühendisliği Dersliği, B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliği ve D 203 Mimarlık Dersliği mevcut durumları için her bir derslikte 3 noktada, 3'er ölçüm yapılmıştır. Yapılan ölçümler anlık olup kesin sonuç sayılmamalıdır. Tüm ölçümlerin ortalamaları tespit edilmiş ve genel hacim ortalamaları alınarak, A 405 Makine Mühendisliği Dersliği, B 503 İnşaat Mühendisliği Dersliği ve D 203 Mimarlık Dersliği mevcut durumları fon gürültüleri tespit edilmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde ölçülen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge Ek 1.1 A 405 makine mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri

A 405 Makine SPL		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	46,3	42,3	38,4	31,9	30,3	19,8
	Ölçüm 2	44,9	41	35,8	33,1	28,6	19
	Ölçüm 3	45,3	39,7	36,3	33,3	29,1	20,5
Ortalama		45,50	41,00	36,83	32,77	29,33	19,77
Nokta 2	Ölçüm 1	46,8	39,2	36	32,6	27,1	18,3
	Ölçüm 2	48,1	40,1	37,4	34	28	19,1
	Ölçüm 3	47,4	41,3	36,9	33,7	29,5	20
Ortalama		47,43	40,20	36,77	33,43	28,20	19,13
Nokta 3	Ölçüm 1	45,4	38,6	33,2	32,5	28,4	19,8
	Ölçüm 2	46	40,1	34,4	31,7	31,3	21,1
	Ölçüm 3	45,9	39,2	34,8	33,1	29,8	20,4
Ortalama		45,77	39,30	34,13	32,43	29,83	20,43
Genel Ortalama		46,23	40,17	35,91	32,88	29,12	19,78

Çizelge Ek 1.2 A 405 makine mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen L_{eq} değerleri

B 503 İnşaat SPL		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	50,4	44,9	37,7	33,7	26	21,3
	Ölçüm 2	51	43,7	35,9	34,6	26,5	20,6
	Ölçüm 3	51,3	43,2	36,3	32,7	25,3	22,1
Ortalama		50,90	43,93	36,63	33,67	25,93	21,33
Nokta 2	Ölçüm 1	51,8	44,4	37,4	33,9	27,4	18,3
	Ölçüm 2	52	43,3	37,8	33,2	26,9	19,6
	Ölçüm 3	50,7	45,1	38,7	32,9	28,2	20,3
Ortalama		51,50	44,27	37,97	33,33	27,50	19,40
Nokta 3	Ölçüm 1	48,6	41,6	38	31,8	26,2	20,1
	Ölçüm 2	47,1	43,3	36,8	32,7	28,1	17,8
	Ölçüm 3	47,5	42,4	35,6	33,1	27,9	18,8
Ortalama		47,73	42,43	36,80	32,53	27,40	18,90
Genel Ortalama		50,04	43,54	37,13	33,18	26,94	19,88

Çizelge Ek 1.3 B 503 inşaat mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri

A 405 Makine Leq		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	46,5	40,3	35,6	31,3	25,6	20,1
	Ölçüm 2	47	39,7	36,2	30,7	26,1	19,5
	Ölçüm 3	46	41,6	36,1	31,5	27	21,8
Ortalama		46,50	40,53	35,97	31,17	26,23	20,47
Nokta 2	Ölçüm 1	47,7	41,6	37,4	31,4	29,7	18,7
	Ölçüm 2	46,9	42	38,1	32	29,3	19,1
	Ölçüm 3	47,1	41,4	38,4	33,2	30,1	20,3
Ortalama		47,23	41,67	37,97	32,20	29,70	19,37
Nokta 3	Ölçüm 1	46,6	39,3	33,6	32	28,7	20
	Ölçüm 2	46,9	40,1	34,4	30,1	29,6	21,1
	Ölçüm 3	47,3	38,4	35,1	31,4	29	19,6
Ortalama		46,93	39,27	34,37	31,17	29,10	20,23
Genel Ortalama		46,89	40,49	36,10	31,51	28,34	20,02

Çizelge Ek 1.4 B 503 inşaat mühendisliği dersliği fon gürültüsü için ölçülen Leq değerleri

B 503 İnşaat Leq		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	49,2	41,9	37,9	33,2	27,9	22,8
	Ölçüm 2	48,2	42,1	37,3	32,8	28,8	21,6
	Ölçüm 3	48,4	41,9	37,6	32,6	28,7	22,1
Ortalama		48,60	41,97	37,60	32,87	28,47	22,17
Nokta 2	Ölçüm 1	49,7	44	35,4	31	25,9	18,7
	Ölçüm 2	50,3	43,8	35,7	30,6	27,1	20,3
	Ölçüm 3	50	44,2	36,2	31,8	26,6	21
Ortalama		50,00	44,00	35,77	31,13	26,53	20,00
Nokta 3	Ölçüm 1	47,8	42	35,7	34,1	27,8	20,8
	Ölçüm 2	48	41,6	36,1	33,8	27,3	21,3
	Ölçüm 3	47,6	42,2	35,9	32,5	26,6	19,7
Ortalama		47,80	41,93	35,90	33,47	27,23	20,60
Genel Ortalama		48,80	42,63	36,42	32,49	27,41	20,92

Çizelge Ek 1.5 D 203 mimarlık dersliği fon gürültüsü için ölçülen SPL değerleri

D 203 Mimarlık SPL		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	39,1	41,1	35,7	30,5	21,8	18,2
	Ölçüm 2	39,4	40,9	36,1	29,4	22,7	19,1
	Ölçüm 3	39,8	40,1	35,3	28,7	21,4	20,4
Ortalama		39,43	40,70	35,70	29,53	21,97	19,23
Nokta 2	Ölçüm 1	40,6	35,8	34,6	30,4	24,6	16,4
	Ölçüm 2	40,3	37,7	35,8	28,8	23,8	17,5
	Ölçüm 3	39,2	36,2	33,8	29,4	23,3	17,2
Ortalama		40,03	36,57	34,73	29,53	23,90	17,03
Nokta 3	Ölçüm 1	41	37,1	32,9	29,6	23,4	18,8
	Ölçüm 2	40,2	36,6	34,1	29,9	24	19,1
	Ölçüm 3	40,9	38,2	35	29,2	22,6	18,2
Ortalama		40,70	37,30	34,00	29,57	23,33	18,70
Genel Ortalama		40,06	38,19	34,81	29,54	23,07	18,32

Çizelge Ek 1.6 D 203 mimarlık dersliği fon gürültüsü için ölçülen L_{eq} değerleri

D 203 Mimarlık L_{eq}		FREKANSLAR (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Nokta 1	Ölçüm 1	35,4	33	31,2	28,4	26,1	17,1
	Ölçüm 2	35,6	32,8	30,4	29	23,5	19,4
	Ölçüm 3	37,6	33,9	31	29,8	24,6	16,4
Ortalama		36,20	33,23	30,87	29,07	24,73	17,63
Nokta 2	Ölçüm 1	41,1	35,6	34,3	29,8	24,1	21,9
	Ölçüm 2	43	34,8	35,6	30,1	25	17,9
	Ölçüm 3	40,5	36,1	35,3	30,7	25,3	20,5
Ortalama		41,53	35,50	35,07	30,20	24,80	20,10
Nokta 3	Ölçüm 1	38,9	37,6	35,8	30,7	26,2	19,3
	Ölçüm 2	40,5	38,5	35,1	31,2	25,7	21
	Ölçüm 3	41,7	39,3	34,7	29,9	24,1	19,6
Ortalama		40,37	38,47	35,20	30,60	25,33	19,97
Genel Ortalama		39,37	35,73	33,71	29,96	24,96	19,23

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Engin TUNÇER
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.10.1979 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mengint@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Mimarlık	Trakya Üniversitesi	2004
Lise	Fen Bilimleri	Özel Kültür Lisesi	1997