

## EĞİTİM MEKANLARINDA AKUSTİK KONFOR: DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ DERSLİKLERİ ÖZELİNDE BİR SINIF AKUSTİĞİ UYGULAMASI

*Feridun Öziş, Fırat Kutluk, Suat Vergili,  
Alp Varol, Cihan Işıkhan  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
feridun.ozis@deu.edu.tr*

Türkiye’de ve dünyada sınıf akustiği alanındaki çalışmaları artan bir hızla devam etmektedir. Uluslararası standartlar tarafından belirlenen temel parametreler çerçevesinde her ülke kendi standartlarını oluşturma çabası içerisinde. Bunun temel sebebi öğrenmede sınıf akustiğinin öneminin gün geçtikçe daha iyi anlaşılmasıdır.

Bir sınıfın akustik durumu, yansıma süresi konuşma anlaşılabilirliği ve arka plan gürültüsü perspektifinde incelenir. Sınıfların akustik karakterindeki en önemli belirleyici olan yansıma süresi ise, oda hacmi ve toplam ses emiciliğine bağlıdır (Haris 1994:1). Yansıma süresi ölçümleme prosedürü ise standardizasyon firmaları tarafından belirlenmiştir.[ISO 3382] Küçük mekanlar olarak değerlendirilen sınıflarda iyi bir konuşma anlaşılabilirliği elde edebilmek için iyi bir yansıma süresi elde edilmesi zorunludur (Picard ve Bradly 2001:1) Sınıfların yansıma süresi ihtiyaçları birçok ülke ve standart tarafından belirlenmiştir. (ANSI S12.60 2002; Karabiber and Vallet 2003:1).

ÜLKE	Yansıma Süresi Değerleri	
Brezilya	$150 < V < 300$	$0,5 < RT < 0,7$ (500, 1K ve 2K)
Fransa	$V \leq 250$	$0,4 < RT < 0,8$ (500, 1K ve 2K)
	$V > 250$	$0,6 < RT < 1,2$ (500, 1K ve 2K)
Almanya	$0,8 < RT < 1$	(500, 1K ve 2K)
Amerika ANSI S12-60	$V < 283$ $RT=0,6$	$283 < V \leq 566$ $RT=0,7$ (500, 1K ve 2K)

**Tablo 1. Ortalama EDT değerleri**

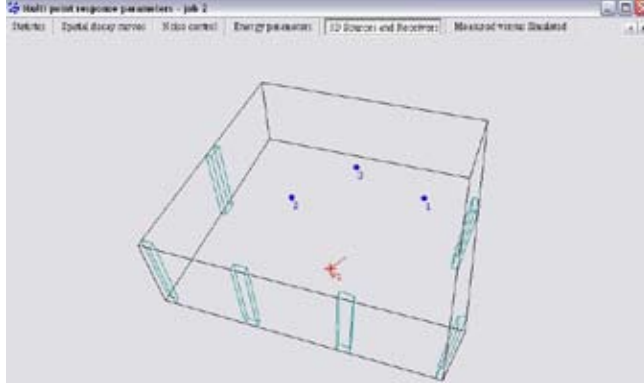
Konuşma anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi açısından literatürde konuşma aktarım kaybı (*speech transmission index-STI*), ifade göstergesi (*articulation index*), ses uyuşumu kaybı (*articulation loss of consonant-ALcons*) gibi birçok kavram bulunmakla birlikte, bu çalışmada değerlendirmeler STI parametresi üzerinden gerçekleştirilecektir.

### Yöntem

Proje kapsamında DEÜ Mühendislik fakültesinde bulunan 9.75x9.62x3.13 boyutlarındaki sınıf, örnek sınıf olarak alınmıştır. Bunun temel sebebi fakültede aynı boyutlarda çok miktarda sınıf olması ve gerçekleştirilecek tasarımın bu sınıflara da uygulanabilirliğidir.

Öncelikle belirlenen örnek sınıf, yazılımın modelleme bölümüyle modellenerek programa dahil edilmiştir (Şekil 1). Mekanda yan yüzeylerde ve tavanda olmak üzere iki farklı müdahale gerçekleştirildi. Burada önemli olan nokta müdahalelerin farklı malzemelerle gerçekleştirilerek doğru parametrelerin yakalanabileceği en uygun iki malzemenin seçilmesidir. Bu seçimin ardından yan duvar ve tavan uygulamalarından elde edilen parametreler karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir.

Analizler sınıf akustiği literatüründe en önemli veriler olan yansıma süresi ve STI parametreleri çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 1. Modellenen sınıfın 3D görünümü**

### **Ölçümleme Prosedürü**

Kapalı alanlarda gerçekleştirilen ölçümlerde kaynak ve alıcı yükseklikleri ISO tarafından standartlaştırılmıştır [ISO 3382]. Bu standartlar çerçevesinde ölçümlemede kullanılan kaynak yüksekliği 1.5 alıcı yüksekliği ise 1.2 olarak belirlenmiştir. Tek kaynak üç alıcı noktası belirlenmiştir. Ölçümlenen hacmin 293 m<sup>3</sup> olması nedeniyle çok miktarda alıcı noktası belirlenmesi gereksiz görülmüştür. Kaynak koordinatı 5.5:2:1.5, alıcı 1 koordinatı 8:6.60:1.20, alıcı 2 koordinatı 3:5:1.20, 5:7.50:1.20 olarak belirlenmiştir. Bu noktalar Şekil 3 üzerinde gösterilmiştir. Kaynak seviyesi olarak ortalama insan konuşma yüksekliği içerisinde olan 75 dB'lik bir seviye seçilmiştir.

Mekanın müdahale edilmemiş durumu için Odeon malzemeleri içerisinde zemin için 2298 no'lu beton zemin, duvarlar için ise 2299 no'lu boyanmış duvar seçilmiştir. Mekanın öğrencilerin bulunduğu bölgesi dinleyici alanı olarak belirlenmiştir.

Odeon yazılımının sonuçlarına direk etki eden ray adedi 5000, impulse response uzunluğu ise 1500 ms olarak seçilmiştir. Yapılan ilk uygulamalarda 1500 ms'nin altında seçilen impulse response uzunluklarında belirli sonuçların elde edilemediği görülmüştür.

### **Tasarımlar ve Simülasyon Sonuçları**

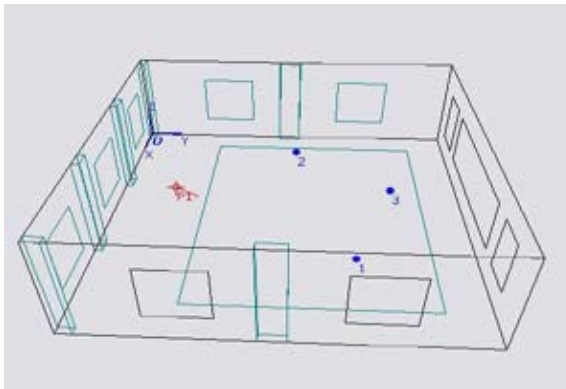
Belirlenen sınıf için öncelikle mekanın boş durumundaki akustik parametreleri elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 3' de belirtilmiştir.

EDT	(s)	1.42	1.49	1.78	2.07	2.29	2.46	2.87	1.95
T30	(s)	1.39	1.36	1.02	2.07	2.75	2.40	1.91	1.01
SPL	(dBR)	64.7	64.7	66.2	64.9	67.5	67.4	64.1	62.8
C80	(dB)	1.3	1.3	-0.7	-1.4	-2.1	-2.4	-3.1	3.0
D50		0.42	0.43	0.33	0.30	0.27	0.25	0.21	0.51
Ts	(ms)	94	94	111	148	167	187	199	73
LFR9		0.218	0.216	0.219	0.218	0.220	0.221	0.221	0.218
SPL(A) = 72.8(dB)									
IGdB = 54.6(dB)									
STI = 0.46 (Theoretical based on T30, STI = 0.46)									
Receiver Number: 2 Alicia 2 (x,y,z) = (3.08, 5.80, 1.29)									
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1.28	1.29	1.04	2.09	2.27	2.41	2.88	1.92
T30	(s)	1.30	1.33	1.05	2.04	2.34	2.42	1.84	0.97
SPL	(dBR)	65.0	65.8	66.5	67.0	67.4	67.7	64.4	62.3
C80	(dB)	1.5	1.5	-0.5	-1.7	-1.5	-2.4	-2.9	3.2
D50		0.44	0.44	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.52
Ts	(ms)	82	83	119	146	165	186	197	71
LFR9		0.279	0.275	0.289	0.282	0.283	0.284	0.284	0.272
SPL(A) = 73.7(dB)									
IGdB = 54.2(dB)									
STI = 0.46 (Theoretical based on T30, STI = 0.46)									
Receiver Number: 2 Alicia 2 (x,y,z) = (5.09, 7.50, 1.29)									
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1.42	1.44	1.01	2.07	2.24	2.42	2.90	1.95
T30	(s)	1.39	1.37	1.04	2.10	2.25	2.42	1.95	0.97
SPL	(dBR)	64.8	64.8	66.2	64.8	67.2	67.5	64.1	62.8
C80	(dB)	1.3	1.3	-0.7	-1.4	-2.1	-2.4	-3.1	2.9
D50		0.44	0.43	0.34	0.30	0.27	0.25	0.21	0.50
Ts	(ms)	94	94	111	147	167	187	199	73
LFR9		0.297	0.293	0.284	0.284	0.284	0.282	0.284	0.290
SPL(A) = 73.5(dB)									
IGdB = 54.1(dB)									
STI = 0.47 (Theoretical based on T30, STI = 0.46)									

Tablo 2 Uygulama öncesi veriler

Üç alıcı noktası için gerçekleştirilen ölçümlerinde kadın ve erkek sesinin temel frekansları olan 250-1000 Hz seviyelerinde yansıma süresi olan EDT değerinin 1.28-2.09 aralığında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca konuşma anlaşılabilirliği parametresi olan STI değerinin 0.47 seviyesinde yani 'zayıf' olarak çıktığı saptanmıştır. Değerlendirme kriteri olarak alınan her iki veride uluslararası değerlerin çok altındadır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda mekandaki RT ve buna bağlı STI değerlerinin daha doğru bir aralığa çekilmesi için mekan yüzeylerine emici malzeme kaplanması kararı alındı. Bu kapsamda mekan yan yüzey büyüklükleri düşünülerek tüm yan yüzeylere farklı büyüklüklerde emici paneller yerleştirildi. Yerleşim odeon modelleme aracıyla programa dahil edildi (Şekil 2).

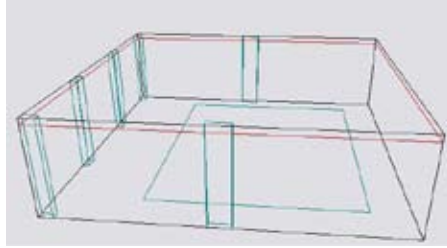


Şekil 2. Yan yüzey uygulaması

Paneller Odeon yazılımında 2015 no'lu cam yünü panel olarak seçilmiştir. Bu seçimde benzeri malzemelerin ülkemizde de bulunması dikkate alınmıştır. Bu sayede benzer tasarımlar için uygulama kolaylığı sağlanmıştır. Paneller yerden 80 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir.

Yan yüzeylerde gerçekleştirilen müdahaleler sonucunda 250-1000 Hz aralığında yansıma süresi değerinin 0.62-0.84 seviyesine gerilediği görülmüştür. STI değeri ise 0.46 seviyesinden 0.69 seviyesine ilerlemiştir. Bu STI değeri literatürde 'iyi' seviyesi olarak değerlendirilir.

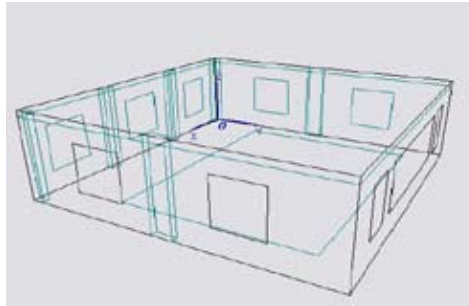
Yan yüzey müdahalesinden sonra tavana yapılacak uygulamalar gerçekleştirildi. Bu uygulamada tavan seviyesinden 21 cm aşağıya 16mm'lik taş yünü yerleştirildi. Bu uygulamada yan yüzeylerdeki paneller kaldırılarak yüzeyler boyanmış duvar olarak değerlendirildi. Bunun yapılmasındaki amaç sadece tavan müdahalesinin ortaya koyacağı değerlerin elde edilmesidir. Mekanın tavan yerleşiminden sonraki durumu Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3. Ana tavanda 21 cm aşağıya yerleştirilmiş taş yünü asma tavan**

Asma tavan uygulaması sonrasında 20-1000 Hz bölgesinde yansıma süresi 0.84-0.94 aralığında gerçekleşmiştir. STI değeri ise 0.67 seviyesindedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta yansıma süresinin ikinci bölümü olarak değerlendirilen T30 değerinin EDT değerinin üzerine çıkmasıdır ki bu çok istenen bir durum değildir. Elde edilen STI değeri yine 'iyi' kategorisinde ancak bu kategorinin alt seviyelerindedir.

Gerçekleştirilecek son uygulama daha önce yapılan tavan ve yan yüzey uygulamalarını bir arada gözlemlemektir. Mekan yine üç boyutlu olarak odeon yazılımına aktarılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Uygulama şekli, şekil 4'de gösterilmiştir.



**Şekil 4. Asma tavan ve yan yüzey uygulaması**

Uygulama sonrasında görüleceği gibi yansıma süresi değerleri 0.43-0.57 aralığına gerilerken STI değeri şu ana kadarki en yüksek değeri olan 0.75 seviyesine ilerlemiştir. Bu konuşma anlaşılabilirliğinin 'mükemmel' seviyesine çıktığını gösterir.

### Sonuç ve Değerlendirme

DEÜ Mühendislik Fakültesi dersliklerinde gerçekleştirilen sınıf akustiği projesi kapsamında yapılan ölçüm ve modelleme verileri bir önceki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Proje süresince mekan öncelikle boş haliyle modellenerek sınıfın şu anki durumu ortaya konmuştur.

Giriş bölümünde Tablo 1’de belirtilen değerler çerçevesinde, 300m<sup>2</sup>’nin altındaki mekanlar için yansım süresi değerlerinin 0.4-0.8 sn aralığında olması gerekmektedir. ANSI standartlarında bu değer 283 m<sup>2</sup>’nin altındaki hacimler için 0.6 sn olarak belirlenmiştir.

İncelenen örnek sınıfın 1.28-2.09 EDT değeri ve 0.47 konuşma anlaşılabilirliği değeriyle uluslararası standartların çok dışında verilere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çerçevede mekanın bir sınıf olması düşünülerek iki tip uygulama yapılmasına karar verildi. Bu uygulamalar yan yüzey ve tavan uygulamalarıdır.

Bu çerçevede yapılan uygulamalar değerlendirildiğinde, yan yüzey uygulamaları sonucunda yansım süresi değerinin 0.61-0.84 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu değerlerin uluslararası standartların üst seviyesinde olduğu saptanmıştır. Yan yüzey uygulaması sonucunda elde edilen bu değer belirli modifikasyonlardan sonra sınıf akustiği uygulamalarında kullanılabilir görülmektedir. Bu uygulamadaki temel sorun ise çok miktarda pencereye sahip sınıflarda emici olarak sadece perde kullanılması zorunluluğudur. Bu ülkemizde üretilen perdelerin emicilik katsayılarının bulunmaması dolayısıyla tasarımda belirsizliklere yol açmaktadır.

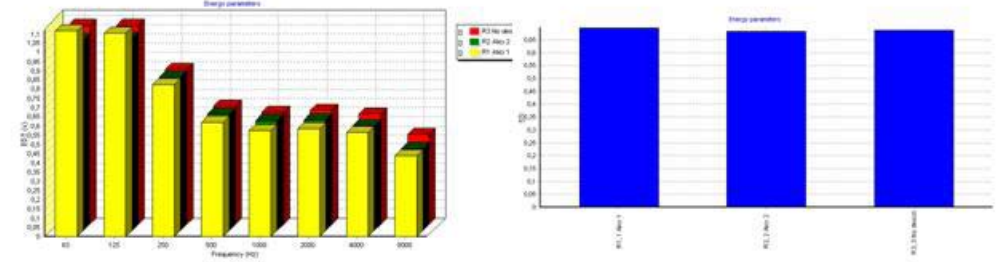
Konuşma anlaşılabilirliği açısından incelendiğinde literatürdeki değerler Tablo 3’de belirtilmiştir.

Değer	0-03	0.3-0.45	0.45-0.60	0.60-0.75	0.75-1
STI	<b>Anlaşılmaz</b>	<b>Zayıf</b>	<b>Orta</b>	<b>İyi</b>	<b>Çok İyi</b>

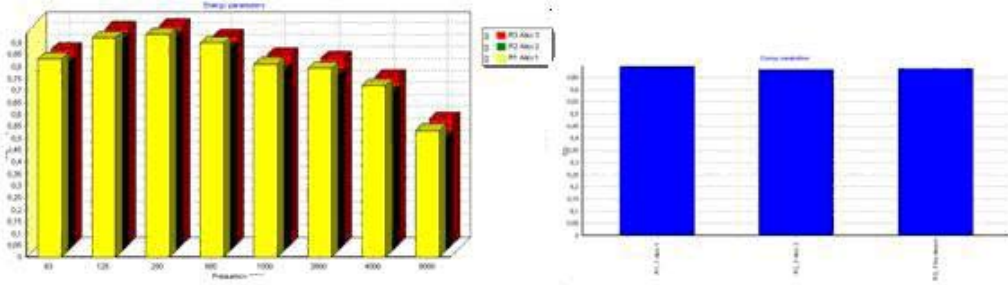
**Tablo 3. STI değerleri**

Yan yüzey uygulaması sonucunda elde edilen STI değeri 0.69 seviyesinde ölçülmüştür. Bu değer yukarıdaki tabloda ‘iyi’ kategorisindedir. Buradan çıkan sonuç yapılan yan yüzey uygulamasının yansım süresi açısından uluslararası standartlara yakın STI açısından ise iyi olduğudur.

Yapılan ikinci uygulama olan tavan uygulaması sonucunda yansım süresinin 0.84-0.94 STI değerinin ise 0.67 seviyesinde çıktığı belirlenmiştir. Bu değerler uluslararası standartların dışında değerler olarak kabul edilebilir. Ancak STI değeri yine iyi kategorisindedir. Bu tip mekanlarda standart dışı yansım süresi ani güce sahip ses kaynaklarının bulunması durumunda anlaşılabilirlikte sorunlara neden olabilir.



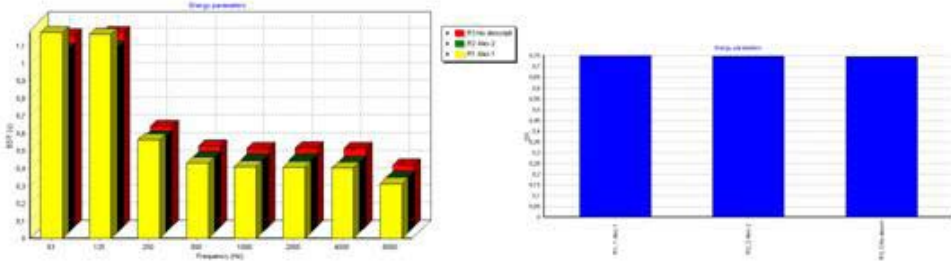
**Şekil 5. Yan yüzey uygulaması EDT ve STI değerleri**



**Şekil 6. Tavan uygulaması EDT ve STI değerleri**

Yapılan üçüncü uygulama tavan ve yan yüzey uygulamalarının birleştirildiği uygulama biçimidir. Bu ölçümlene sonucunda elde edilen değerler 0.43-0.57 yansım süresi ve 0.76 STI değeridir. Tablo 1 ve Tablo 3'le karşılaştırıldığında yansım süresi ve STI değerinin standartlara uygunluğu tespit edilmiştir. 0.76 STI değeri literatürde anlaşılabilirliğin 'çok iyi' kategorisine girdiğini göstermektedir.

Yapılan üç uygulama sonucunda en iyi verilerin tavan ve yan yüzey uygulamalarının birlikte yapıldığı tasarım olduğu açıktır. Bunun temel sebeplerinden biride emici dağılımının tüm mekan yüzeylerine uygulanmasının getirdiği emicilik katsayısındaki artıştır. Tüm yüzeylere emici yerleşiminin oda içi ses yayılımını da direkt olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Her ne kadar insan sesinin temel frekansları içerisinde olmasada 63 ve 125 Hz aralığındaki yansım sürelerinin 1 sn civarında olması mekanda bas müdahalesinin mümkün olmamasından kaynaklanmaktadır. Tüm yüzeylere yapılan uygulamada 1-8K aralığının değişim oranların da azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, oda frekans karakteristiğinin de tüm yüzeylere yapılan uygulama sayesinde daha da düzleştiğini gösterir.



**Şekil 7. Tavan ve yan yüzey uygulaması EDT ve STI değerleri**

Dörtgen kesitli küçük mekanların akustiğindeki temel unsur bu mekanların sorunlarının kolaylıkla tespit edilmesine rağmen akustikte 'sorunlu' mekanlar olarak değerlendirilmesidir. Örnek sınıfın kareye yakın formunun ise küçük mekan tasarımlarında tercih edilmemesi gerekmektedir. Bunun sebebi eşit miktardaki yüzey uzaklıklarının mekanın modal rezonans dağılımını kötüleştirmesidir. Özellikle bass frekanslardaki sorunların temel kaynağı oda boyutlarıdır. Sınıf tasarımlarında buna özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca karşılıklı yüzeylerin birbirine paralel olarak tasarlanmaması gerektiği de sınıf akustiğinin önemli tasarım prensiplerindedir. Yüzeylerde gerçekleştirilecek %5 eğim modal rezonans dağılımını ve dolayısıyla bass frekans karakteristiğini düzgunleştiren bir diğer unsurdur.

### Referanslar

ANSI S12.60, 2002

Picard M, Bradley JS. 2001. "Revisiting speech interference in classrooms" *Audiology*, 40:221–44.

Haris, C.M. 1994. *Noise Control in Buildings*. McGraw-Hill, New York, USA

ISO 3382, Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.

Karabiber, K., M.Vallet. 2003. "Classroom acoustics policies an overview" *Euronoise Naples, Italy*.