

SES BASINÇ SEVİYELERİ VE KELİME ANLAŞILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Aytekın ERDEM*

ÖZET

Yurtdışında uzun yıllardır kilise, oditoryum gibi insan topluluklarının dinleyici olarak bulunduğu birçok eser, akustik özellikler açısından incelenmiş ve bu mekanların oluşturulmasında kullanılacak kriterler ortaya konmuştur. Ülkemizde ise akustik ile ilgili yeterli araştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmada; mimarimizin gelişmesinde önemli bir yeri bulunan, yan mekanlı (zaviyeli) camilerden olan Muradiye Camii'nin, akustik açıdan da ilginç özellikleri olacağı düşünülmüş ve bu özelliklerin incelenmesine çalışılmıştır.

Bu amaçla; camideki ses basınç seviyeleri, ses basınç dağılımı ve kelime anlaşılabilirliği oranları incelenmiştir.

SUMMARY

Studying of Sound Pressure Levels and Speech Intelligibility Scores

For long years, many historical churches and auditoriums had been studied from the point of view of acoustical properties in the USA and in Europe. Criteria had been obtained to be used on the construction of these places. Yet, studies on acoustics hadn't been done sufficiently in our country.

In this study, Muradiye mosque (Edirne) , having the properties of a mosque with inverse T form in architectural style, was supposed to have interesting properties in acoustics and its properties were studied.

To this aim, the sound pressure level, sound pressure distribution and speech intelligibility scores were studied in the mosque.

*Dr., T.Ü. Tekirdağ Meslek Yüksekokulu

2. ÖLÇME YÖNTEMİ ve SİSTEMİ

2.1. Ses basınç seviyeleri (S.P.L.)'nin doğrultuya göre değişiminin ölçüleri

1. GİRİŞ

Osmanlı mimarisinin dönemlerine ait Edirne camileri, kronolojik sıraya göre; Eski Camii, Muradiye Camii, Üç Şerefeli Camii, II. Beyazıt Camii ve Selimiye Camii şeklinde sıralanır. Çünkü bu sıralamadaki her bir eser, bir öncekine göre mimari yönden gelişmeyi gösterir. Mimari gelişmenin akustik özellikler (anlaşılabilirlik gibi) bakımından etkilerini araştırmak istedik. Ancak çalışmalarımız sırasında Eski Cami'de onarım nedeniyle iskeleler bulunduğundan, adı geçen eserin akustik incelemesi yapılamadı. Bu nedenle Muradiye Camii'nin akustik özellikleri incelenmeye çalışıldı. Üç Şerefeli ve Selimiye camileri de akustik yönden incelenmişlerdir. Böylece, bu eserlerin akustik özelliklerinin karşılaştırılması, camiler gibi büyük mekanların akustik bakımından tasarımları hakkında bilgi verecektir.

Muradiye Camii'nin boş mekanında ses basınç seviyeleri (S.P.L.)'nin doğrultuya göre değişimlerini incelemede, Nedim Üretmen'in "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi"nde kullandığı ölçü sistemi kullanıldı. Bu sistem, içbükey paraboloid yüzeylerde, asal eksene paralel gelen ses dalgalarının, yansındıklarında asal eksen üzerinde odaklanması özelliğinden yararlanıyor. S.P.L. değişimlerini doğrultuya göre araştırmamızı sağlayan taşınabilir bu sistem; arka yüzeyi ses soğurucu madde ile kaplı, yarıçapı 14cm, odak uzaklığı 6,2cm olan madeni içbükey paraboloid yansıtıcı ayna, mikrofonu bu aynanın odak noktasına yerleştirilmiş bir desibelmetre, yansıtıcıya yatay ve düşey doğrultularda tam devir yaptıracak mekanik kısım, yatay doğrultudaki ($\theta = \text{Radyal}$) ve düşey doğrultudaki ($\varphi = \text{Azimutal}$) açılarını ölçmeye yarayan göstergelerin de eksenlere monte edilmesinden oluşur (Üretmen 1991).

Ses dalgaları, yansıtıcı paraboloid yüzeyde yansıldıktan sonra, odak noktasında oluşan ses basınç seviyeleri, RETEN ELECTRONIC marka (RS 103 model DIN IEC 651, BS 5969 ve ANSI 51.4 tip 2) desibelmetre ile ölçüldü. Bu aletin ayırma gücü 0.2 dB'dir ve ortalama ses basıncını 30 dB'lik aralıklarla (10 dB'lik üst kısmı üstüste binecek şekilde 20 dB'lik artışlarla) beş kademede ölçmektedir. Hızlı ve yavaş olmak üzere iki zaman sabiti ile çalışan ses basıncı ölçülerinin, A tipi ve lineer olmak üzere iki ağırlıklı frekans ortalama filtresi vardır. Ses algılayıcısı olarak Electrod Condenser mikrofonu kullanılmıştır

Kullanılan ölçü sistemi ile, açık havada yapılan ölçmelerle, ölçü sisteminin $\theta = \pm 10^\circ$ 'lık bir doğrultu seçiciliği olduğu saptanmıştır. Diğer doğrultularda alınan ses basınç seviyesi saçılmış dalgalardan kaynaklanır.

Muradiye Camii'nde; sabit bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının mekanın çeşitli noktalarında oluşturdukları ses basınç seviyesinin, ses dalgalarının geliş doğrultusuna göre değişimleri bu ölçü aleti ile incelendi (Erdem 1992).

2.2. Anlaşılabilirlik Testleri

Bu ölçüler, Beranek tarafından geliştirilen STI (Speech Transmission Index) adı verilen subjektif anlaşılabilirlik ölçü yöntemine benzeyen bir test yöntemi ile yapıldı (Beranek 1959). Türk Dili Bölümü'nün yardımı ile bir ve iki heceli sözcüklerden oluşmuş 100 adet sözcük, dinleyicinin not edebileceği zaman aralıkları (yaklaşık 5 saniye) ile teybe kaydedildi. Teyp kaydı mihrapta okunurken; seçilmiş her ölçü noktasına öğrenim seviyeleri aynı olan 10 kişi konularak, duydukları kelimelerden anlayabildikleri yazdırılarak, ortalama olarak doğru anlaşılan sözcük oranları belirlendi. Bu testte kullanılan sözcüklerin listesi Tablo I' de verilmiştir. Bu yöntem daha önce Selimiye Camii'nin akustik incelemesinde kullanılmıştır.

Tablo I. Anlaşılabilirlik Testinde Kullanılan Sözcük Listesi

Yaz	Bul	Gel	Zar	Dal	Ana	Kare	Koş	Rize	Bez
Kuş	Mal	Gaf	Ütü	Baba	Küp	Anı	Van	Saz	Ev
Tuz	Ay	Dede	Yer	Düz	Kurt	Muş	Gaz	Masa	Bal
Ses	Kuzu	Nur	Füze	Kir	Süt	Nar	Üzüm	Saf	Halı
Elma	Karga	Boş	Ela	Cem	Şap	Para	Sopa	Hap	Kale
Emir	Şut	Kör	Muz	Kapı	Efe	Nane	Göz	Sınav	Keçi
Gol	İşçi	Yalı	Spor	Dört	Dizi	Kese	Müzik	Tüp	Kuru
Nem	Musa	Şal	Dur	Mavi	Krom	Dev	Cam	Sır	Köy
Çakı	Kan	Cami	Zil	Türk	Mum	Hava	Pil	Taş	Su
Müze	Kapı	Kirpi	Kadı	Kova	Fizik	Adem	Paşa	Terzi	Topuz

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

3.1. Boş mekanda ses basınç seviyeleri ve doğrultuya göre değişimleri

Cami içinde ses dağılımını araştırırken kullanılan ses kaynağının frekansının frekans bandlarında dağılımı Tablo II' de verilmiştir.

Tablo II. Beyaz Sesin Frekansa Göre Ses Basınç Seviyeleri

f (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Spl (dB)	--	84	86.5	84	83	78.5	79	69	43

Ses kaynağı mihraba konularak cami içindeki ses basınç seviyesinin yer ve doğrultuya göre değişimi araştırıldı. Bu ölçüler sırasında cami içindeki çevre gürültüsü 33-36 dB arasında değiştiği için ölçüler 50-70 ve 70-90 kademelerinde alındı (Ginn 1978).

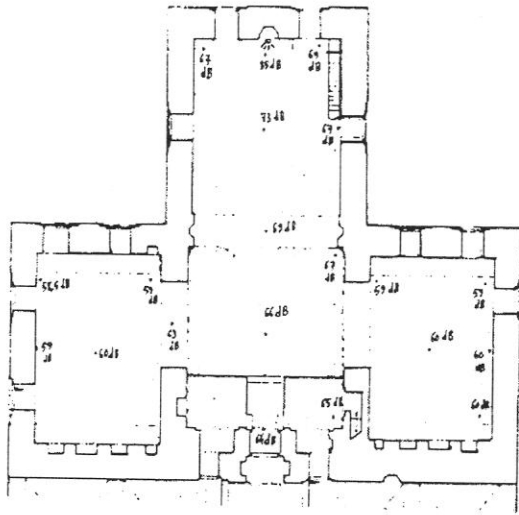
Kaynak mihrapta ve cami içinde düşük iken Şekil 1'de gösterilen noktalarda, desibelmetre ölçü sistemi dışında iken ses basınç seviyeleri ölçüldü. Ses kaynağı olarak beyaz ses içeren kaset kullanıldı. (*)

(*) Beyaz ses kasedi Stanford Üniversitesinden Prof. Dr. Vincent Selman'dan temin edildi.

Kaynak gerek direkt camiye gerekse mihraba yöneltildiğinde, camideki ses basınç seviyesi dağılımında fazlaca değişiklik olmamaktadır. Cami içine yönelik ses dalgalarının bir noktada oluşturduğu ses basınç seviyesi, konkav ayna gibi işlev gören mihraptan yansıtılarak, cami içine caminin ekseni doğrultusunda yönlendirilmektedir. Kaynağın cami içerisine yaydığı ses dalgalarının bir kısmı yansıma ve kırınımlardan sonra absorblanır, geriye kalanı da saçılarak ortama yayılır. Yansımalarından sonra ses dalgasının genliği azalır. Genliğin azalma miktarı, ses basınç seviyesini ses basıncı (genliği) cinsinden veren

$$S.P.L = 20 \log (P/P_0) \quad (1)$$

Eşitliği ile bulunabilir. Mihrabda ses basınç seviyesi 85 dB iken fenerli kubbenin merkezinde 66 dB dir.



Şekil 1. Kaynak Mihrapta ve Desibelmetre Ölçü Sistemi Dışında İken Ölçülen Ses Basınç Seviyeleri

(1) Eşitliğinden genliğin 9 kat azaldığı görülür, SPL değerlerinin karşılaştırılmasından caminin akustik bakımından simetrik bir yapı özelliği taşıdığı yorumu yapılabilir.

Kaynak mihrapta ve camiye yönelik iken seçilen altı karakteristik noktaya konan

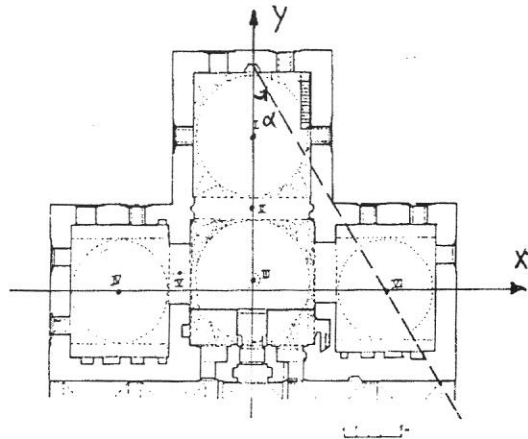
ölçü aleti ile çeşitli doğrultulardan desibelmetreye gelen seslerin şiddet seviyeleri ölçüldü. Caminin kuzey-güney ekseni ile yan mekanlardaki kubbe merkezlerini birleştiren doğrultunun kesim noktası orijin kabul edilerek, seçilen altı noktanın koordinatları Tablo III ve Şekil 2 ile gösterilmiştir.

Tablo III. Camideki Ölçü Noktalarının Koordinatları

Ölçü Noktasının Numarası	Koordinatlar		α (YY ekseni ile ses ışınları arasındaki açı)
	X- Ekseni	Y- Ekseni	
I. nokta	0 m		0°
II. nokta	0 m		0°
III. nokta	0 m		0°
IV. nokta	-10,75 m	0 m	35°
V. nokta	-5,9 m		24°
VI. nokta	10,35 m	0 m	32°

I. ÖLÇÜ NOKTASI: Beyaz ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük olarak Tablo II' deki frekans bandı ile çalışırken I. noktada (ön kubbenin merkezi) ölçüler alındı. Ölçü aleti yatay düzlemde 10'ar derecelik radyal açılarla döndürülerek (azimutal açı sıfır iken), ses basınç seviyelerindeki doğrultuya bağlı değişimler gözlemlendi.

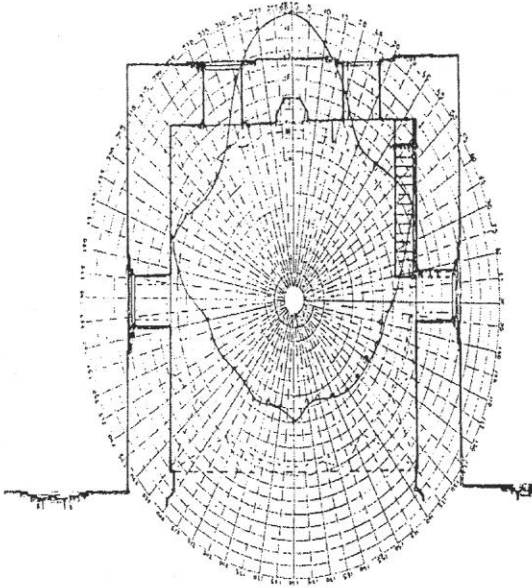
Bu durumda desibelmetre kaynak yanında 88 dB' i gösterdi. Ölçüler Tablo IV'de, değişimlerin polar diyagramı ise Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Camideki Ölçü Noktaları

Tablo IV: Birinci Ölçü Noktasında Radyal Doğrultudaki Ses Basınç Seviyeleri Değişimi

Radyal Açı (°)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (°)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	82	0	190°	69	-13
10°	80	-2	200°	69	-13
20°	77	-5	210°	69,5	-12,5
30°	74	-8	220°	69	-13
40°	74	-8	230°	69	-13
50°	74,5	-7,5	240°	69,5	-12,5
60°	75	-7	250°	70	-12
70°	73	-9	260°	70	-12
80°	72	-10	270°	71,5	-10,5
90°	71	-11	280°	73	-9
100°	70	-12	290°	74	-8
110°	70	-12	300°	73,5	-8,5
120°	69,5	-12,5	310°	72,5	-9,5
130°	69,5	-12,5	320°	73	-9
140°	69,5	-12,5	330°	74	-8
150°	69	-13	340°	78	-4
160°	68,5	-13,5	350°	81	-1
170°	69,5	-13,5	360°	82	0
180°	70	-12			



Şekil 3. Birinci Ölçü Noktasında Radyal Doğrultudaki Ses Basınç Seviyeleri

Beyaz ses kaynağı yine mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri ön kubbenin altında iken ölçü aleti (radyal açı $q = 0^\circ$ de sabit tutularak) azimutal açı 15'er derecelik aralıklarla döndürüldü. Bu durumdaki ses basınç seviyesinin doğrultuya göre değişimi incelendi. Ölçülen değerler Tablo V'de verilmiş, değişimler ise Şekil 4'de gösterilmiştir.

Tablo V. Birinci Ölçü Noktasında Azimutal Doğrultudaki Ses Basınç Seviyeleri Değişimi

Azimutal Açı (°)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (°)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	82	0	105°	70	-12
15°	81,5	-0,5	120°	69	-13
30°	81	-1	135°	69	-13
45°	75	-7	150°	69,5	-12,5
60°	73	-9	165°	59,5	-12,5
75°	72	-10	180°	70	-12
90°	71	-11			

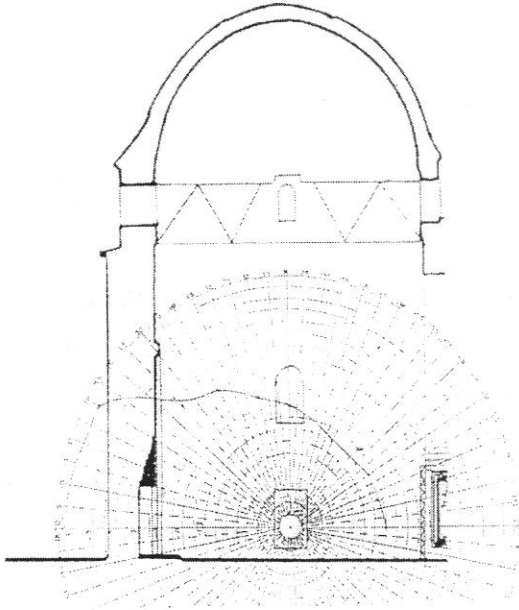
Aynı yöntemle Tablo III' de belirtilen altı noktada radyal ve azimutal açılarda ses basınç seviye değişimleri ölçüleri alınıp polar diyagramda gösterildiler.

3.2. Anlaşılabilirlik Testleri

Cami, boyuna kesitine göre simetrik bir yapıya sahiptir. Her kubbenin merkezinde kelimelerin anlaşılma yüzdelerini belirlemek için dört nokta seçildi (Tablo VI). Ses kaynağımızın mihrapta olduğu zaman I, III ve IV no.lu noktalarda anlaşılma yüzdelerinin birbirinden farklı, IV ve VI no.lu noktalarda ise yaklaşık aynı olacağı tahmin edilebilir. A. Spoor ve R. Hintchcliffe tarafından birbirinden bağımsız gerçekleştirilen iki araştırmaya göre; ortalama normal yaşa bağlı işitme kaybı yirmi ile otuz yaşları arasında hemen hemen yok varsayılacak (0-1 dB) düzeydedir (Hassall, Zaveri 1979). Bu nedenle araştırmamızda; yaşa bağlı işitme kaybından kaynaklanan işitme

duyarlılığını ihmal edebilmek için, 20 yaş ortalamasına sahip 10 kişilik bir öğrenci grubu oluşturularak, seçilmiş her ölçü noktasına grup olarak yerleştirildi. Kelimeler teypten okundukça, denekler duydukları kelimelerden anlayabildiklerini, birbirinden etkilenmeksizin not aldılar.

Şekil 4. Birinci Ölçü Noktasında Azimutal Doğrultuda Ses Basınç Seviyeleri



Seçilen noktalarda dinleyicilere aktarılan kelime sayıları Tablo VI' da verilmiştir. Daha sonra yapılan istatistik değerlendirmelerle, seçilen noktalardaki konuşma iletim oranı belirlendi (Şekil 5).

Tablo VI. Ölçü Noktalarında Dinlenen Kelime Sayıları

Ölçü alınan nokta	I	III	IV	VI
Dinlenen kelime sayısı	1000	1000	1000	1000

Dinleyicilerin ölçü aldıkları noktalardaki ses basınç seviyeleri Tablo VII' de verilmiştir. Cami içinde ve dışındaki gürültü; ortamdaki ses basınç seviyesini çok az değiştirdiğinden, cami içindeki anlaşılabilirlik çevre gürültüsünden bağımsız olarak kabul edilebilir. Her noktada toplam 1000 kelime dinlendi.

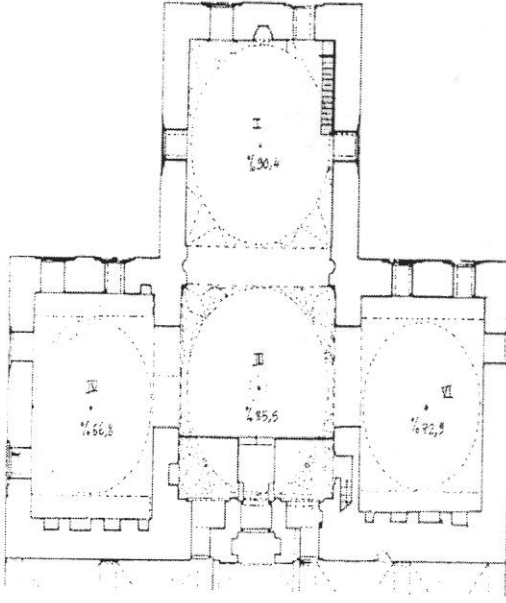
Tablo VII. Ölçü Noktalarındaki Ses Basınç Seviyeleri

Ölçü alınan nokta	I	III	IV	VI
SPL (Db)	69	63	58	58

Her dinleyici toplam olarak 100 kelime dinlemiş oldu. Bu kelimelerin dinleyicilere göre anlaşılma sayıları ve yüzdeleri Tablo VIII' de verilmiştir.

Tablo VIII. Anlaşılabilirlik Yüzdeleri Ve Bölgeleri

NOKTA LAR	Dinleyicilerin Alınan Kelime Sayıları										TOP LAM	Anlaşılabilirlik Yüzdesi ve Sıralı Hta	Anlaşılabilirlik Sınırları
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
I	91	95	94	91	89	86	89	89	88	92	904	%(90±1)	Çok iyi sınırdır
III	94	86	82	88	82	78	89	89	84	83	855	%(86±1,5)	İyi sınırdır
IV	67	73	74	71	54	64	71	62	60	72	668	%(67±2)	Yeterli sınırdır
VI	82	75	74	75	67	67	83	70	67	69	729	%(73±2)	İyi sınırdır



Şekil 5. Konuşma İletim Oranları

Anlaşılabilir kelime sayısı 3156 olduğundan, toplam kelime sayısına göre yüzdesi % 78,9 olur. Bu da iyi bir anlaşılabilirliktir.

4. TARTIŞMA

Birinci noktada radyal olarak alınan ölçülerde, 300° lik doğrultudan ilk saçılan sesler, direkt sese göre 8,5 dB kadar daha az ses basınç seviyesine sahip oluyorlar. Aynı şekilde 60° lik doğrultuda da, direkt sese göre 7 dB' lik azalma görülmektedir (Tablo IV). Bu noktada direkt gelen sese, birinci mertebeden yansıyan sese göre bile 8 dB' lik fazlalık vardır (Şekil 3). Böylece bu fark anlaşılabilirlik testi ile uyumlu görünüyor. Çünkü direkt ses basınç seviyesi ile yansıyan ses basınç seviyesi arasındaki fark 5 dB' den daha fazla olursa, bu noktadaki anlaşılabilirlik bozulmaz (Kinsler, Frey 1950).

Desibelmetre ölçü sistemi dışında iken birinci noktada, mihraptaki ses basınç seviyesine göre 12 dB'lik bir zayıflama olmasına karşın (Şekil 1); desibelmetre ölçü

sistemi içine alınarak aynı noktada yapılan ölçümde, zayıflama 6 dB olmaktadır (Şekil 3). Çünkü ölçü sisteminde bulunan paraboloid (konkav) yüzey sesi odaklamaktadır.

Birinci noktada azimutal doğrultuda alınan ölçülerde, ileri doğrultudan gelen sesler 13 dB daha yüksek oluyor. Mihrap, sesi mekanın ortasına doğru yönlendirmektedir (Şekil 4).

Yine birinci noktada, $\theta = 90^\circ$ doğrultuda ise her doğrultudan tamamen saçılmış sesler, hemen hemen homojen bir zemin oluşturmakta ve direkt sese göre total saçılmış seslerin 11 dB kadar azaldığı görülmektedir ki; mihraptan yapılan konuşmanın anlaşılabilirliği üzerine, çevre gürültüsünün pek etkisinin olmayacağı düşünülebilir.

İki kanat arasında sesin düşey doğrultulara göre dağılımlarında farklılık olmakta ve sol kanattaki ses dağılımlarında, bu bölüm içinde bazı ses odaklama etkileri görülmektedir ve bu fark hemen hemen birbirine denk olan her iki kanattaki anlaşılabilirlik ölçülerinde görülen farklılığın nedeni olabilir. Çünkü sol kanatta anlaşılabilirlik (% 67 ± 2) iken, sağ kanatta (% 73 ± 2) olmaktadır. Aradaki anlamlı farkın, sol kanattaki ses dağılımında gözlenen farktan ileri geldiği düşünülmüştür.

Enerji azalmasının nedeni yalnızca yutma değil, büyük bir ihtimalle enerji saçılmasıdır. Biz yönelmiş (dik gelen) sesi ölçebiliyoruz, farklı açı ile gelen sesleri ölçemiyoruz. Bu da farklı açı ile gelen sesin değerlendirme dışı kalmasına neden olur.

Sanıyorum ki; geometrik akustik, bir binanın planlanmasında akustik özellikleri göz önüne almaya büyük ölçüde yardımcı olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- N. ÜRET MEN**, Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi, Doktora Tezi (Yayınlanmadı), Trakya Üniversitesi, Edirne 1991.
- A. ERDEM**, Mimari Akustik: Muradiye (Edirne) Camii'nin Akustik Karakteristikleri Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi (Yayınlanmadı), Trakya Üniversitesi, Edirne 1992.
- L. L. BERANEK**, Acoustics of the Fredric R. Mann Concert Hall, Tel Aviv, Israel ,The Journal of the Acoustical Society of America, Vol: 31, No: 7, July 1959, page: 882-892.
- K. B. GINN**, Application Of B & K Equipment to Architectural Acoustics, Brüel & Kjær, 1978.
- J. R. HASSALL**, Acoustic Noise Measurements, Brüel.&Kjær., January 1979, and K. ZAVERI page 48-49.
- L. E. KINSLER** Fundamentals of Acoustics, Jhon Wiley & Sons Inc., 1950, USA,
- and **A. R. FREY** page: 398