

29322

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MURADIYE CAMİİ'NİN AKUSTİK
KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA

Aytekın ERDEM
Doktora Tezi

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Nedim ÜRET MEN


EDİRNE - 1992


TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MURADIYE CAMİ'NİN AKUSTİK KARAKTERİSTİKLERİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Aytekin ERDEM
DOKTORA TEZİ
GENEL FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 4/12/1992 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul
Edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr.Nedim ÜRETMEN


Prof.Dr.Mutbul KAYILI


Prof.Dr.Servet EKMEKÇİ


Danışman

Üye

Üye

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Edirne - 1992


Prof.Dr.Cengiz KURTANUR
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
ÖZET	II
SUMMARY	III
BÖLÜM I- Giriş	1
BÖLÜM II- Muradiye Camii'nin Tanıtımı	2
II.1. Muradiye Camii'nin Osmanlı Mimarisindeki Konumu	2
II.2. Muradiye Camii'nin Tarihçesi ve Özellikleri	3
BÖLÜM III- Ölçme Yöntemi ve Sistemi	4
BÖLÜM IV- Ölçüler	8
IV.1. Boş Mekanda Ses Basınç Seviyeleri ve Doğrultuya Göre Değişimleri ..	8
IV.2. Anlaşılabilirlik Testleri	48
IV.3. Reverberasyon (Çınlama) Zamanı Ölçüleri	57
BÖLÜM V- Sonuç	62
KAYNAKLAR	66

I

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında; tez danışmanlığımı üstlenip, yoğunlaşmış bilimsel enerjisini kullanarak her çeşit yardımda bulunan ve daima destekleyen değerli hocam Fen-Edebiyat Fakültesi kurucu dekanı Prof. Dr. M. Cemil KARADENİZ'e sonsuz saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmamın başlangıcından bu yana beni her zaman teşvik eden ve destekleyen Fizik Bölümü Başkanı Prof. Dr. S. Askeri BARAN'a, tez çerçevemin belirlenmesinde ve kaynak temininde yardımcı olan Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Mutbul KAYILI'ya, elektroniksel ölçmelerde yardımlarını esirgemeyen İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ertuğrul YAZGAN'a, kaynak temininde, ölçü sistemi ve ölçmeler konusunda daima yardımcı olan ve daha sonra tez danışmanlığımı üstlenen, Fizik eğitimi ve öğretimi deneyiminden yararlandığım sayın hocam Yard. Doç. Dr. Nedim ÜRETMEN'e, çalışmalarımın her aşamasında daima yardımlarını gördüğüm, akustik konusunda yüksek lisanslı arkadaşım Cemal ARDIL'a, tercümelerde engin bilgilerini esirgemeyen mesai arkadaşım Okutman İbrahim UZUN'a, elektronik bilgisinden yararlandığım mesai arkadaşım Öğr. Gör. Gürcan UZAL'a, camideki çalışma ortamını sağlayan Edirne Müftüsü Sayın İbrahim KOÇAŞLI'ya, mimari dokümanlarından yararlandığım Edirne Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğretim üye ve yardımcılara, çalışmalarımda daima destek olan Fizik Bölümü'nün tüm öğretim üye ve yardımcılara, yazım aşamasındaki titiz çalışmaları nedeniyle Sayın Saadet SAYGIN'a teşekkürlerimi sunarım.

II

ÖZET

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

Bu çalışmada; mimarimizin gelişmesinde önemli bir yeri bulunan yan mekânlı (zaviyeli) camilerden olan Muradiye (Edirne) camiinin akustik açıdan da ilginç özellikleri olacağı düşünülmüş ve bu özelliklerin incelenmesine çalışılmıştır.

Bu amaçla, camideki ses basınç seviyelerinin dağılımı, ses enerji dağılımı, kelime anlaşılabilirliği oranları ve reverberasyon zamanı -çınlama zamanı- (RT) incelenmiştir.

III

SUMMARY

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

In this thesis, 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.

We aimed at studying the sound pressure level distribution and directional changes of sound pressure level, speech intelligibility scores and reverberation time in the mosque.

I. BÖLÜM

GİRİŞ

Osmanlı mimarisinin dönemlerine ait Edirne camileri, kronolojik sıraya göre; Eski cami, Muradiye camii, Üç Şerefeli cami, 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 bulunduğu için, 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 mekânların akustik bakımdan tasarımları hakkında bilgi verecektir.

II. BÖLÜM

MURADIYE CAMİİ'NİN TANITIMI

2.1- Muradiye Camii'nin Osmanlı Mimarisindeki Konumu :

Osmanlı mimarlık sanatında, islâm ülkelerinin hiçbirinde görülmeyen toplu mekânı bir büyük kubbe altında gerçekleştirme başarısı görülür. Beyliklerdeki kare prizma ve üstünde kubbe motifi, avlu, son cemaat yeri, avlunun revak (üstü örtülü, önü açık yer)'larla çevrilmesi gibi birbirinden ayrı yerlerde çözüm bulan mimarlık öğeleri Osmanlılarda mükemmel bir bütün durumuna getirilmiştir.

Bursa ve Edirne dönemlerindeki mimarlığın genel özellikleri : Çok kubbeliden tek kubbeli toplu mekâna doğru gelişme; kesin bir geometrik stereometrik (uzay geometri) biçim; mekâna oranla çok kalın beden duvarları; yapı dış yüzeylerinde yer alan pencerelerin az, fakat düzenli bir sisteme göre yerleştirilmesi; yığma duvarlar yerine kesme, dikdörtgen prizma biçimli kesilmiş taşlardan yapılmış duvar örümü; yapıda süs öğelerinin azlığı ve olanların da daha çok yapı içinde yer alışı ile belirgindir. Osmanlılar daha Bursa dönemlerinden bu yana hep mekân sorununa önem vermişlerdir (1).

Erken Osmanlı döneminde camilerde tek kubbeli şema çok kullanılır. Hatta Mudurnu'daki Yıldırım Beyazıt camii'nde (14. yüzyıl) olduğu gibi bu öge teknik olanakları çok zorlayarak -kubbe çapı 22,5 m. - büyük hacimlerin oluşturulmasında kullanılır. 14. yüzyıldan sonra tek örtü ögesi durumuna gelen kubbe artık çok ayaklı şemasına uygun camilerde görülmektedir.

15. yüzyılın başlarında (1414) inşa edilmiş olan Edirne Eski cami -4 ayakla dokuz kubbe taşıyor - hemen hemen Bursa Ulu Cami kadar alan örtülüyor-(Bursa'daki Ulu Cami yirmi kubbeli).

Osmanlı camilerinin asıl kendine özgü plan şeması zaviyeli (yan mekânlı) camilerde görülür. Mihrap doğrultusu üzerinde yer alan arka arkaya iki büyük kubbe namaz yerinin üzerini örter, bunlara dik doğrultu üzerinde sağ ve sol yanda üzerleri daha küçük kubbelerle örtülü zaviye mekânları yer alır. Bu tür camilerin en

erken örneği 14. yüzyılın ikinci yarısında yapılan Bursa'daki Orhanbey camiidir. Onu, yine Bursa'daki Yıldırım, Muradiye, Yeşil ve Edirne'deki Muradiye camileri takip eder.

Erken Osmanlı dönemi camileri içinde Üç Şerefeli camii (15. yüzyılın ilk yarısı) özel bir yer alır. Rumeli'de artık sağlam bir biçimde yerleşmiş Osmanlı devletinin büyüklüğünü adeta simgeleyen yapı 24 m. çaplı büyük kubbesiyle ilerdeki anıtsal tek kubbeli camilerin de bir habercisidir. Enine dikdörtgen biçimli mekânın orta bölümünü altıgene oturan tek bir kubbe örter ve mekân içinde iki ayağa (dört ayak duvarlarda) istinat eder. Büyük kubbenin iki yanında ikişer kubbe dikdörtgenin uçlarını örter. Orta kubbe ile yan kubbeler arasında kalan üçgen parçalar pek başarılı olmayan biçimde küçük kubbelerle örtülmüştür (2).

2.2- Muradiye Camii'nin Tarihçesi ve Özellikleri :

Yazıtında tarih yoktur. Muradiye Mahallesi'nde, Sarayıçi'ne egemen bir tepeye II. Murad yaptırmıştır. Vakfiyesine ve kaynaklara dayanarak 1436'da yapıldığı sanılmaktadır. Mimarı bilinmemektedir. Yan mekânlı (zaviyeli) camilerin güzel bir örneğidir. Ana mekân arka arkaya iki kubbeli mekân ve son cemaat yeri, avlusunda da şadırvanı vardır. Cami dış görünüşünün yalınlığına karşın, iç süslemesi yönünden XV. yüzyıl Osmanlı sanatının en önemli yapıtlarındandır. Mihrap ve duvarları kaplayan çiniler, Türk çini sanatının en güzel örnekleridir. Mimberi ahşaptır (3).

Caminin benzer örneklerinden ayrılan bir özelliği, yan kısımların ortaya daha fazla açılmasıdır. Zamanla üzerleri sıva ile örtülen kalem yazı işleri de benzersiz güzelliğindedir.

Geçirdiği büyük deprem sırasında çok zarar görmüş ve ilk onarımı 1753 yılında yapılmıştır. Daha sonra 1911 yılında V. Mehmet tarafından ikinci ve 1954 yılında da son onarımı görmüştür.

III. BÖLÜM

ÖLÇME YÖNTEMİ VE SİSTEMİ

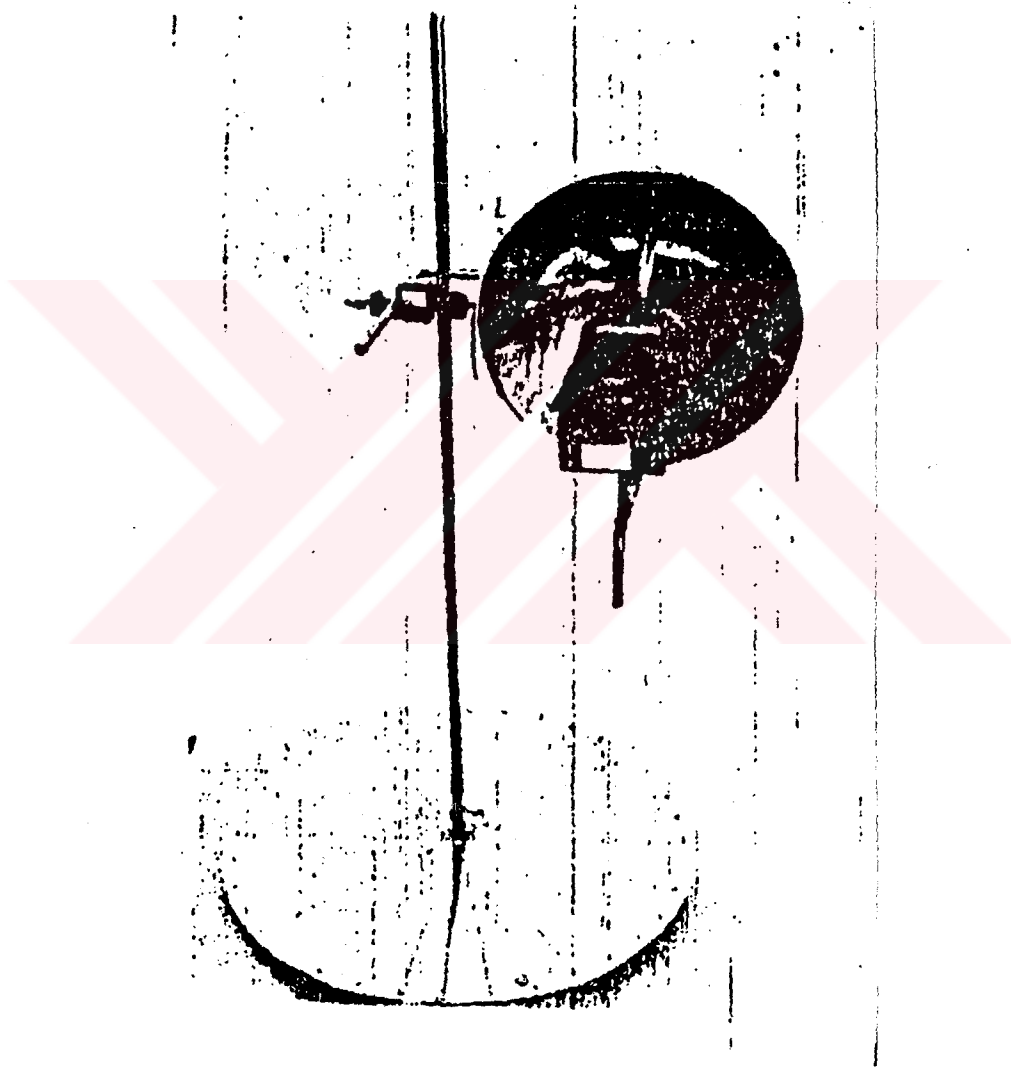
3.1- Ses basınç seviyeleri (S.P.L)'nin doğrultuya göre değişiminin ölçüleri :

Muradiye camiinin boş mekânında ses basıncı seviyeleri (S.P.L)'nin doğrultuya göre değişimlerini incelemeye, Nedim Üretmen'in "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelenmesi"nde kullandığı ölçü sistemi kullanıldı. Bu sistem içbükey paraboloid yüzeylerde, asal eksene paralel gelen ses dalgalarının yansıtıklarında asal eksen üzerinde odaklanması özelliğinden yararlanıyor. S.P.L değişimlerini doğrultuya göre araştırmamızı sağlayan taşınabilir bu sistem Şekil 3.1'de görülmektedir. Sistem; arka yüzeyi ses soğurucu madde ile kaplı, yarıçapı 14 cm, odak uzaklığı 6,2 cm 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 (θ) (Radyal) ve düşey doğrultudaki (ϕ) (Azimutal) açılarını ölçmeye yarayan göstergelerin de eksenlere monte edilmesinden oluşur (5).

Ses dalgaları, yansıtıcı paraboloid yüzeyde yansdıktan 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 üst üste binecek şekilde 20 dB'lik artışlarla) beş kademede ölçmektedir. Hızlı ve yavaş olmak üzere iki zaman sabiti ile çalışan ses basıncı ölçerinin, A tipi ve lineer olmak üzere iki ağırlıklı frekans ortalama filtresi vardır. Ses algılayıcısı olarak Electrode Condenser mikrofonu kullanılmıştır.

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

* Üretmen Nedim : "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi"
Doktora Tezi, 1991 Edirne



Şekil-3.1

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.

3.2- Anlaşılabilirlik Testleri :

Bu ölçüler, Beranek tarafından geliştirilen STI (speech transmission index) adı verilen sübjektif anlaşılabilirlik ölçü yöntemine benzeyen bir test yöntemiyle yapıldı. Türk Dili Bölümü'nün yardımı ile bir ve iki heceli sözcüklerden oluşmuş 100 adet sözcük, dinleyicinin not edebileceği zaman aralıkları 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 anlaşılma oranları belirlendi. Bu testte kullanılan sözcüklerin listesi Tablo-3.1'de verilmiştir. Bu yöntem daha önce Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi'nde kullanılmıştır (5).

Tablo-3.1

Yaz	Bul	Gel	Zar	Dal	Ana	Kare	Koş	Rize	Bez
Kuş	Mal	Gaf	Ütü	Baba	Küp	Arı	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

3.3- Reverberasyon Zamanı Ölçüleri :

Caminin reverberasyon zamanını deneysel olarak belirlemek için gerekli olan cihazlar temin edilemediğinden ölçüler alınamamıştır. Ancak camiye ait absorplayıcı yüzey alanlar ve toplam hacim hesapları yapılarak, oktav band frekanslarına bağlı olarak teorik yoldan reverberasyon zamanları belirlenmiştir. Daha sonra ölçüler alınarak teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılabileceklerdir.



IV. BÖLÜM

ÖLÇÜLER

4.1- Boş mekânda ses basınç seviyeleri ve doğrultuya göre değişimleri :

Cami içinde ses dağılımını araştırırken kullanılan ses kaynağının frekansının frekans bandlarında dağılımı Tablo-4.1'de verilmektedir.

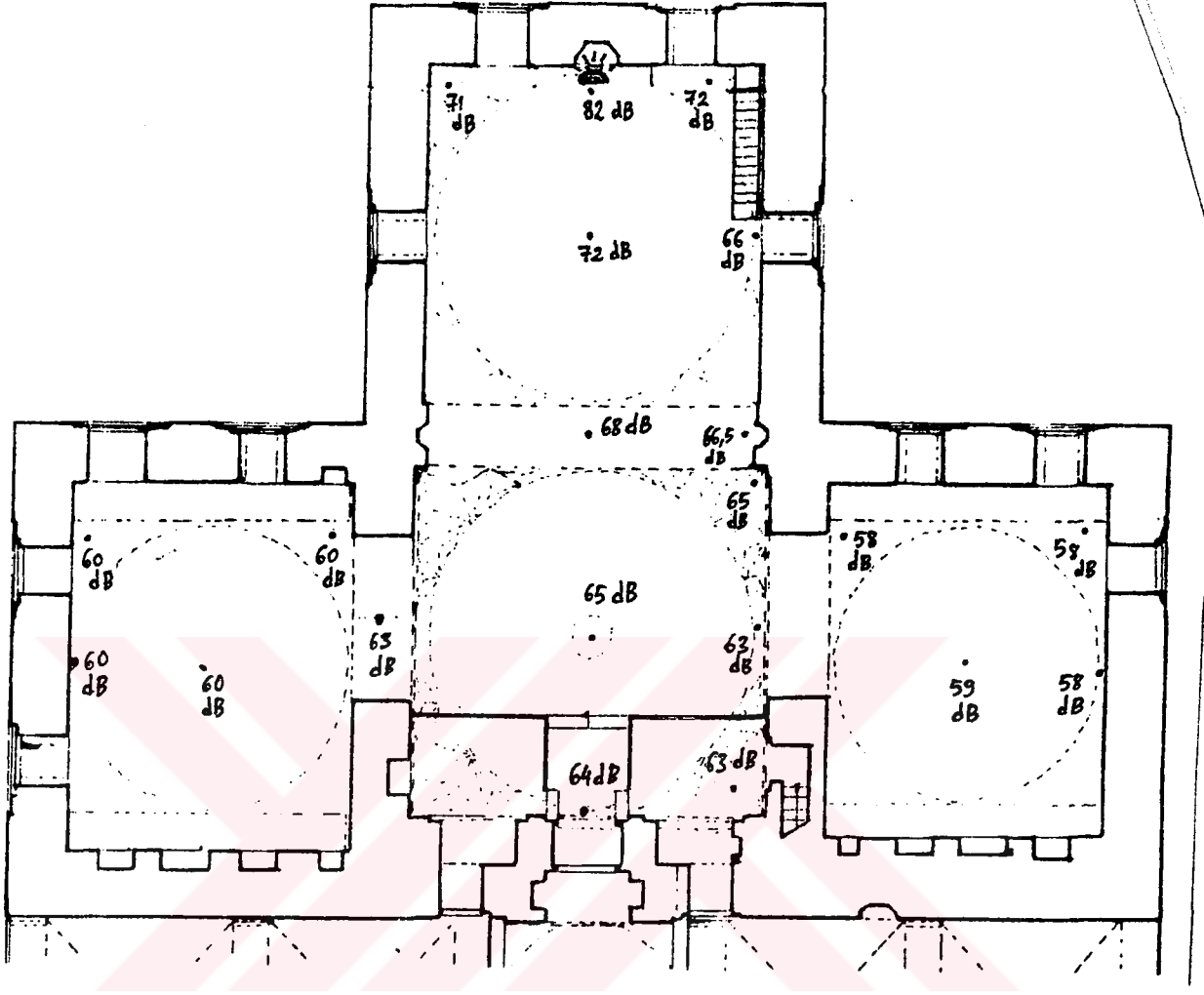
Tablo-4.1

f (Hz)	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
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. Ölçüler, RETEN ELECTRONIC marka RS 103 model (DIN IEC 651, BS 5969 ve ANSI 51.4 tip 2) desibelmetre A konumunda ve yavaş zaman sabiti durumunda iken alındı. Bu ölçüler sırasında cami içindeki zemin gürültüsü (Back ground)'nün 33 - 36 dB arasında değiştiği gözlemlendi. Bu nedenle ölçüler 50 -70 ve 70 - 90 kademelerinde alındı.

I-) Kaynak mihrabda ve mihraba dönük bir şekilde tutularak cami içindeki değişik noktalarda ses basınç seviyeleri ölçüldü. Ses kaynağı olarak beyaz ses içeren kaset kullanıldı. (*) Cami içinde ses dağılımı bakımından karakteristik olarak, Şekil-4.1'de işaretlenmiş noktalarda ölçüler alınmıştır. Kaynak önünde ölçülen en yüksek ses basınç seviyesi 82 dB iken cami içindeki en düşük ses seviyesinin ise 58 dB civarında olduğu görüldü. Ön kubbeden fenerli kubbeye geçildiğinde ses basınç

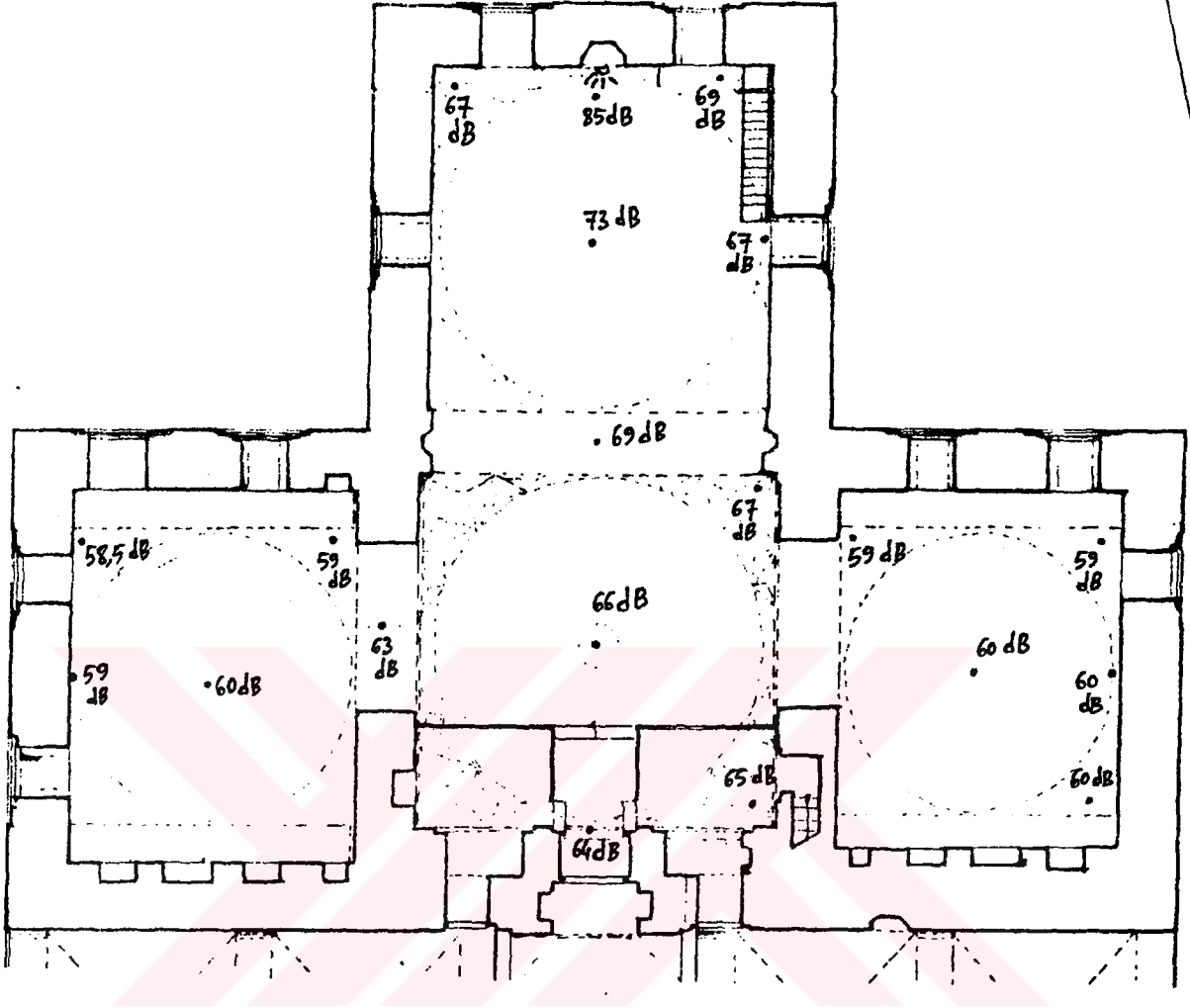
* Beyaz ses kaseti Stanford Üniversitesi'nden
Prof. Dr. Vincent Salman'dan temin edildi



Şekil-4.1

seviyesinde 7 dB'lik azalma, fenerli kubbeden sağ kanattaki kubbe altına geçildiğinde ortalama 6 dB'lik azalma, fenerli kubbeden sol kanattaki kubbe altına geçildiğinde ortalama 5 dB azalma gözlemlendi. Ayrıca önkubbenin batı tarafındaki penceresinde de kubbe altındaki ses basınç seviyesinin yaklaşık 6 dB altında bir değer ile karşılaşılmıştır.

II-) Kaynak-mihrapda ve cami içine dönük iken aynı noktalarda ses basınç seviyeleri ölçüldü. Alınan ölçüler Şekil-4.2'de görülmektedir. Kaynak ister direkt camiye ve isterse mihraba yöneltilsin camideki ses basınç seviyesi dağılımında fazlaca değişiklik olmamaktadır. Cami içine yönelik ses dalgalarının bir noktada



Şekil-4.2

oluşturduğu ses basınç seviyesi, konkav ayna gibi işlev gören mihraptan yansıtılarak cami içine caminin eksenini doğrultusunda yönlendirilmektedir. Kaynağın cami içerisine yaydığı ses dalgalarının bir kısmı yansıma ve kırınımlarından sonra absorplanır, geriye kalanı da saçılarak ortama yayılır. Yansımalarından sonra ses dalgasının genliği azalır. Genliğin azalma miktarı, ses basınç seviyesini ses basıncı (genliği) cinsinden veren

$$S.P.L = 20 \text{ Log } (P/P^0) \quad (4.1)$$

eşitliği ile bulunabilir. Mihrapta ses basınç seviyesi 85 dB iken fenerli kubbenin merkezinde 66 dB'dir.

$$85 \text{ dB} = 20 \text{ Log } (P/P^0)$$

$$66 \text{ dB} = 20 \text{ Log } (P'/P^0)$$

Bu eşitlikler taraf tarafa çıkarılırsa,

$$19 \text{ dB} = 20 \text{ Log} (P/P')$$

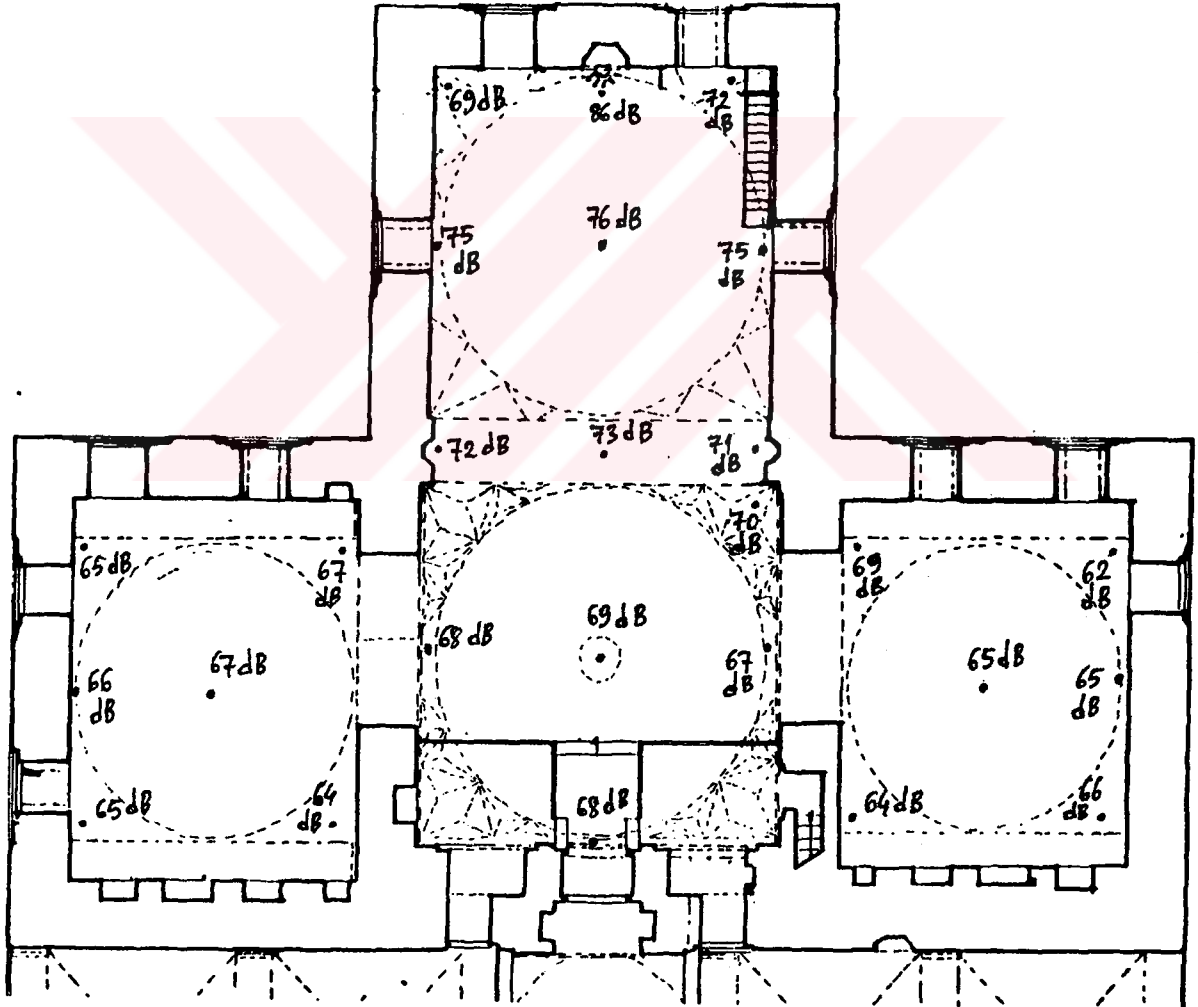
sonucu bulunur. Son eşitlikten

$$19/20 = \text{Log} (P/P')$$

$$0,95 = \text{Log} (P/P')$$

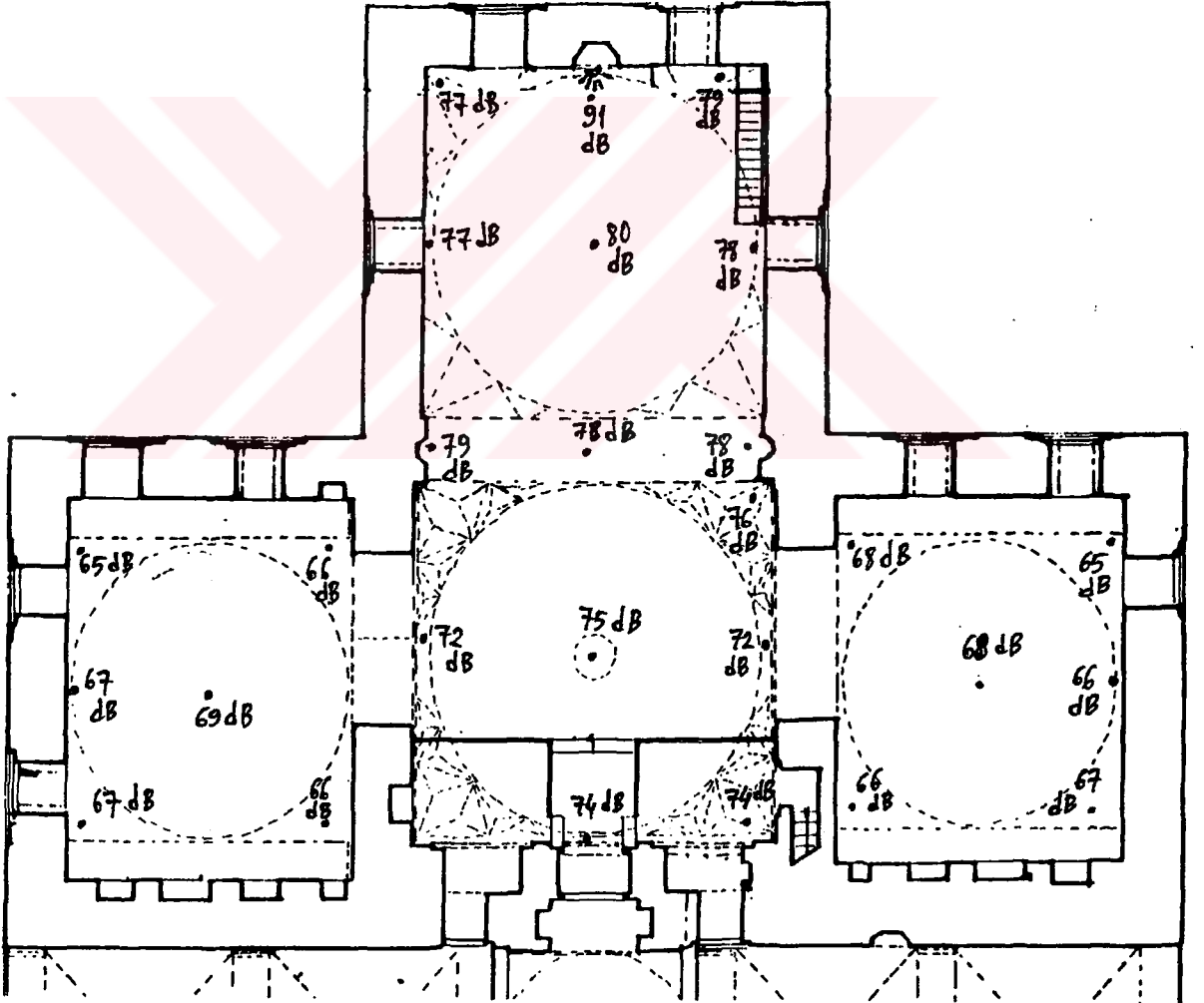
$$P/P' = 8,91 \sim 9 \quad \text{bulunur.}$$

Buradan genliğin 9 kat azaldığı görülür.



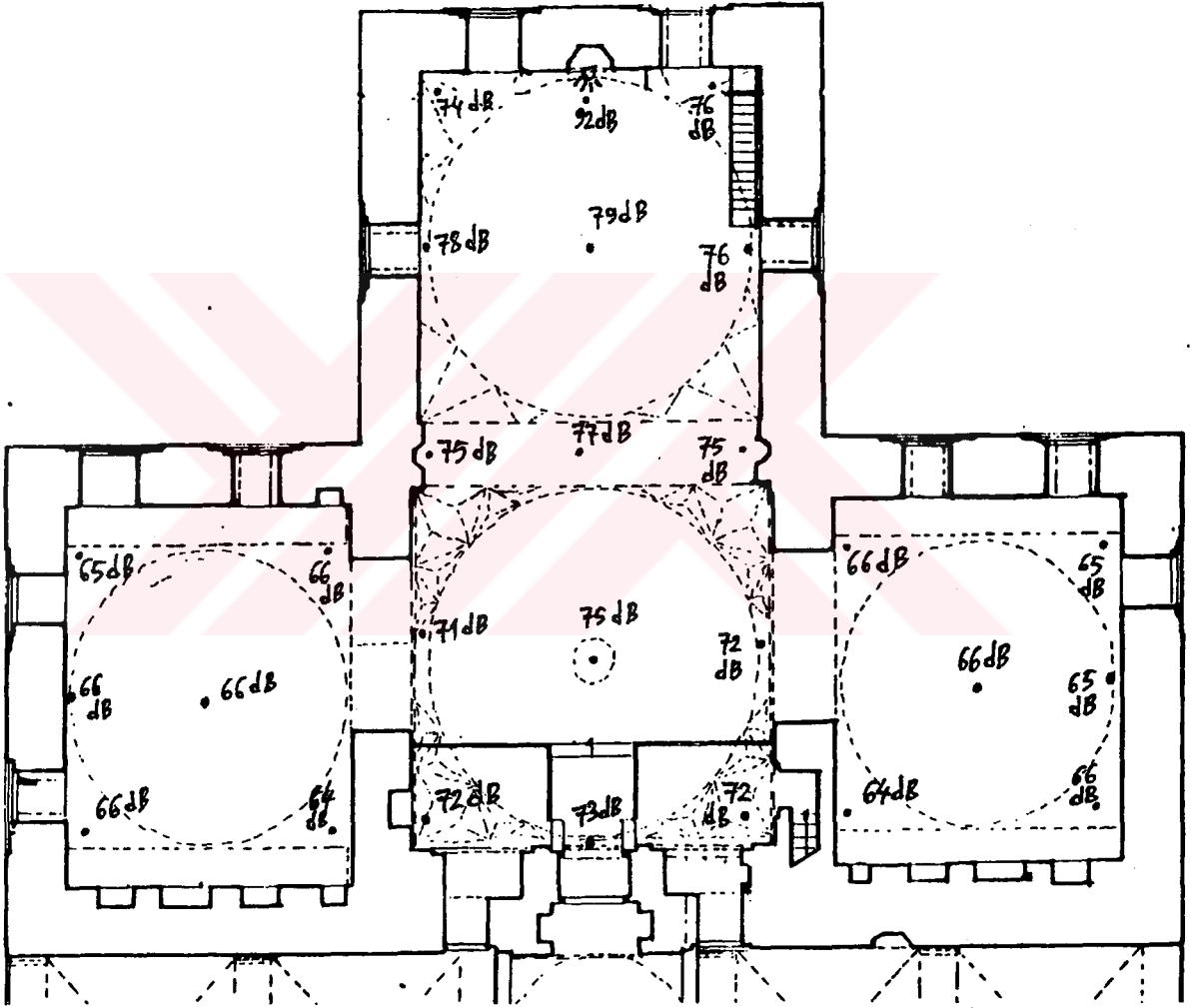
Şekil-4.3 (a) 1000 Hz frekanslı sinüsoidal ses dalgaları kullanılarak ölçülen SPL (dB) değerleri.

III-) Kaynak olarak 1000 Hz frekanslı sinüsoidal ses dalgaları üreten sinyal jeneratörü ile yapılan ölçülerde kaynak mihrapda ve camiye dönük olarak caminin içinde değişik noktalarda ses basınç seviyeleri ölçüldü. Çeşitli ses basınç seviyelerine ait ölçüler Şekil-4.3 (a)'da gösterilmektedir. Ön kubbeden fenerli kubbeye geçildiğinde 7 dB azalma, sol kanattaki kubbenin merkezinde fenerli kubbedekine göre azalma 2 dB, sağ kanattaki kubbenin merkezinde ise 4 dB'lik azalma görülür. Böylece, sol kanatta ses basınç seviyesinin 67 dB'e düştüğü yani kaynak önündeki ölçüye göre 19 dB'lik azalma gözlenmektedir. En kuytu olan bu nokta direkt ses almamakta, sesin genliği çeşitli yansımalar nedeniyle kaynak önündeki genliğe göre yaklaşık 9 kat azalmaktadır.



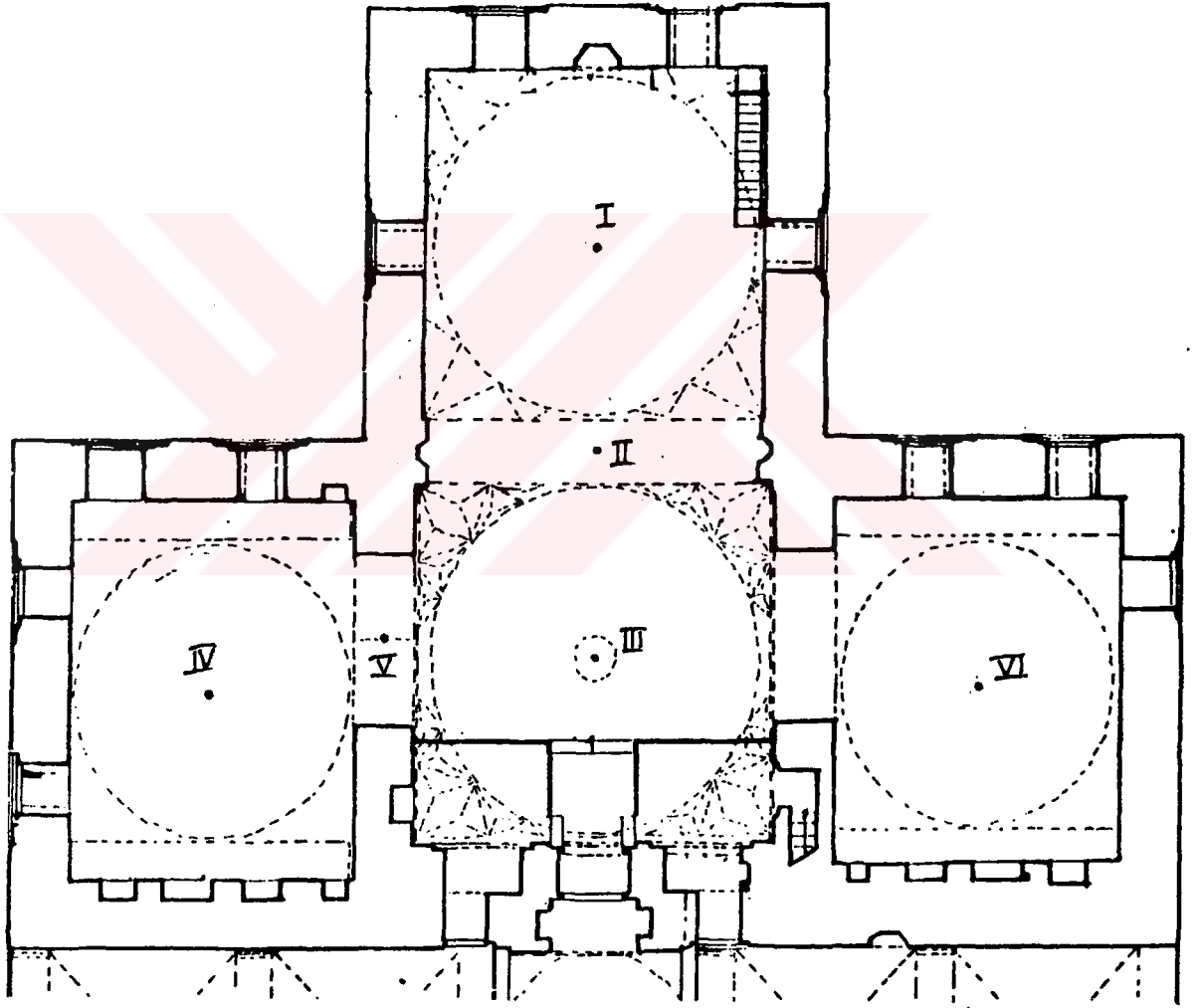
Şekil-4.3 (b) 2000 Hz frekanslı sinüsoidal ses dalgaları kullanılarak ölçülen SPL (dB) değerleri

2 kHz ve 4 kHz frekanslı sinüsoidal ses dalgaları kullanılarak aynı noktalarda ölçülen SPL değerleri Şekil-4.3 (b) ve Şekil-4.3 (c)'de gösterilmiştir. SPL değerlerinin karşılaştırılmasından caminin akustik bakımından simetrik bir yapı özelliği taşıdığı yorumu yapılabilir.

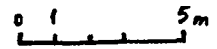


Şekil-4.3 (c) 4000 Hz frekanslı sinüsoidal ses dalgaları kullanılarak ölçülen SPL (dB) değerleri.

Kaynak mihrapta ve camiye yönelik iken seçilen 6 karakteristik noktaya konan ölçü aleti ile çeşitli doğrultulardan desibelmetreye gelen seslerin şiddet seviyeleri ölçüldü. Caminin kuzey-güney eksenini ile yan mekânlardaki kubbe merkezlerini birleştiren doğrultunun kesim noktası orijin kabul edilerek, seçilen 6 noktanın koordinatları ve kaynaktan direkt gelen ses dalgalarının bu noktalara geliş doğrultuları Şekil-4.4 ve Tablo-4.2 ile gösterilmiştir.



Şekil-4.4



Tablo-4.2

Ölçü noktasının numarası	Koordinatlar		
	X-ekseni	Y-ekseni	
I. nokta	0 m.	11,65 m.	0°
II. nokta	0 m.	6,20 m.	0°
III. nokta	0 m.	0,80 m.	0°
IV. nokta	-10,75 m.	0 m.	35°
V. nokta	-5,9 m.	1,3 m.	24°
VI. nokta	10,35 m.	0 m.	32°

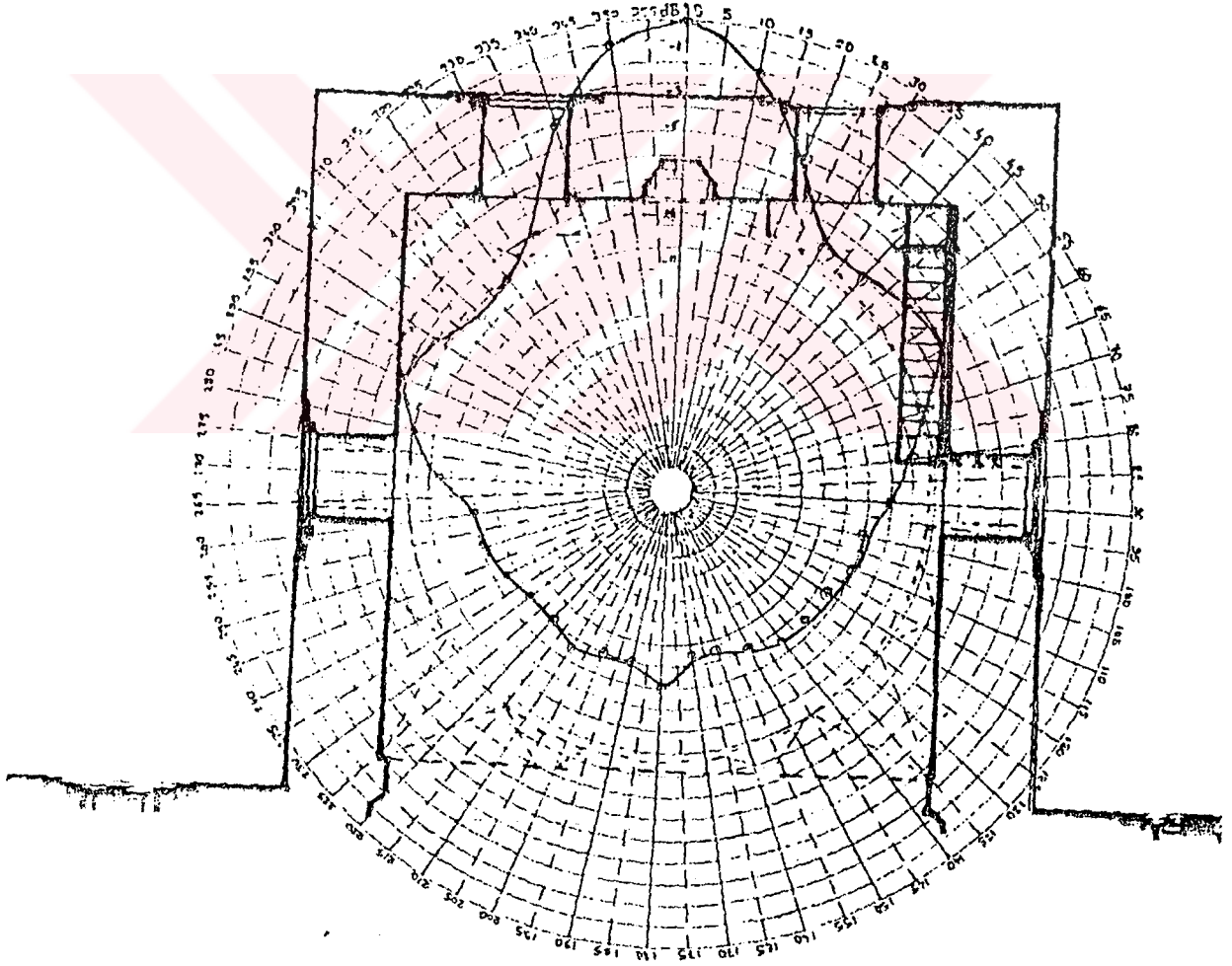
Tablo-4.3

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	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			

Tablo-4.2'de belirtilen noktalarda ölçme sistemi dolaştırılarak ses basınç seviyelerindeki değişimler ölçüldü.

I. ÖLÇÜ NOKTASI : Beyaz ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük olarak, Tablo-4.1'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-4.3'de, değişimlerin polar diyagramı ise Şekil-4.5'de gösterilmiştir.



Şekil-4.5

Tablo-4.4

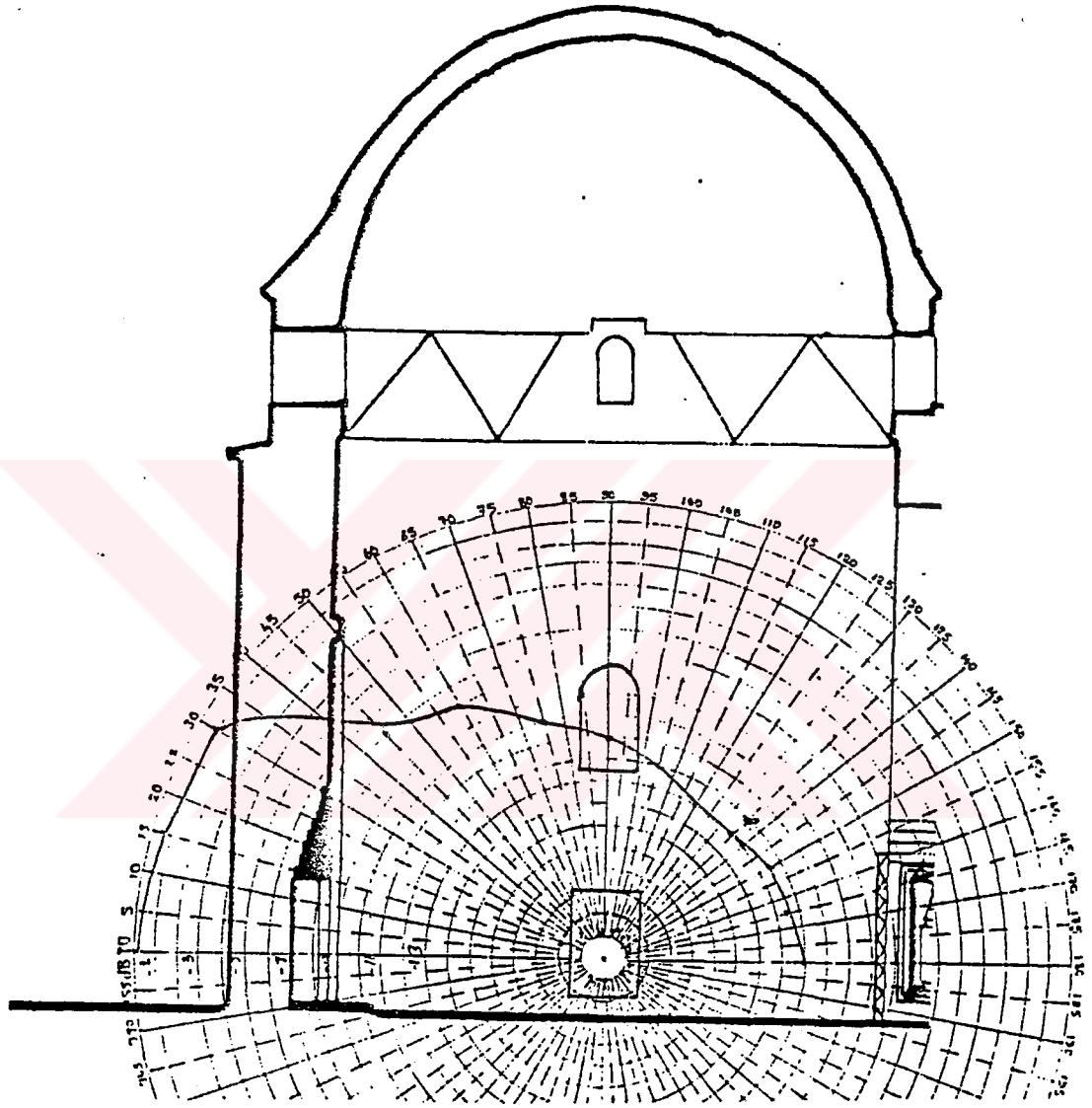
Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	82	0	105°	70	-12
15°	81,5	-0,5	120°	69	-13
30°	81	-1	135°	69	-13
45°	75	-7	150°	69,5	-12,5
60°	73	-9	165°	59,5	-12,5
75°	72	-10	180°	70	-12
90°	71	-11			

Bu ölçülerden, 170° doğrultusundaki 13,5 dB'lik azalma, yansımalar ve saçılmalar nedeniyle ses basınç seviyesindeki azalmayı gösterir. Ön kubbe altında yatay düzlemdeki ses basınç seviyesi dağılımı yaklaşık bir simetri özelliği göstermektedir. Yansıyan veya saçılmaya uğrayan ses dalgalarının homogen bir şekilde mekana yayılması, duvar yüzeylerindeki girinti ve çıkıntılardan hemen her doğrultuda eşit miktarda saçıldıklarını gösterir.

Beyaz ses kaynağı yine mihrabda ve camiye dönük, ölçü yeri ön kubbenin altında iken ölçü aleti, radyal açı ($\theta = 0^\circ$) 'da sabit tutularak, azimutal açı 15'er derecelik aralıklarla döndürüldü. Bu durumdaki ses basınç seviyesinin doğrultuya göre değişimi incelendi. Ölçülen değerler Tablo-4.4'de verilmiş, değişimler ise Şekil 4-6'da gösterilmiştir.

Şekil 4-6'dan 90°'lik doğrultuda ses basınç seviyesinin direkt gelen sese göre 11 dB azaldığı görülmektedir. Bu durumda, değişimin en fazla olduğu 120°- 135°'lik bu doğrultulardan gelen ses dalgaları en çok yansıma ve saçılmalara uğradığından absorplanma en büyüktür. Bu noktada, saçılmış seslerin oluşturduğu ve anlaşılabilirliği bozucu gürültü seviyesi oluşturan bu saçılmış seslerin her yöndeki şiddetleri aynı ve kaynaktan direkt sese göre 13 dB daha düşüktür (ayrı mekânları birleştiren açıklıklar absorplayıcı etki yapıyor).

90° ile 180° arasındaki doğrultularda da ses basınç seviyesi direkt sese göre 11 - 12 dB azalıyor. Çünkü bu doğrultularda gelen sesler ancak birkaç defa yansımış veya saçılmış olduklarından fazlaca absorplanmışlardır.



Şekil-4.6

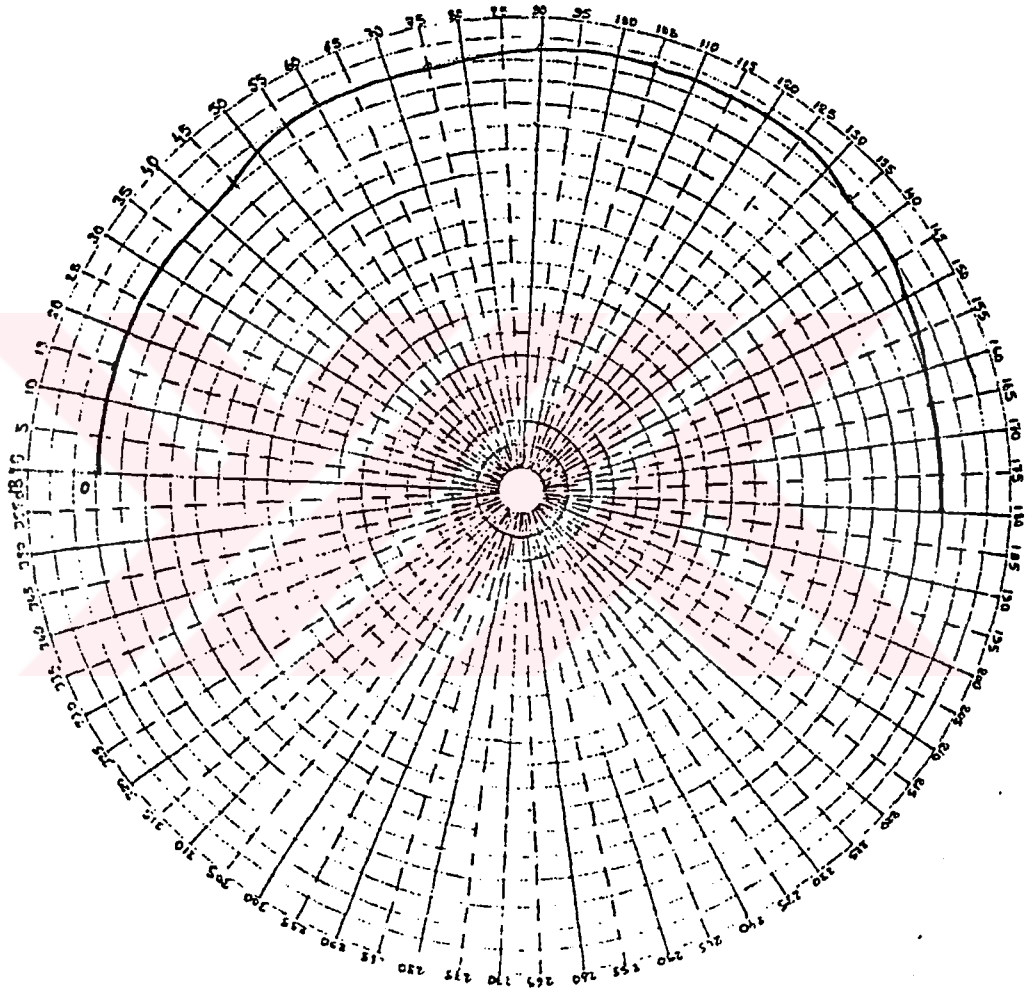
Tablo-4.5

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	71	0	105°	72,5	+1,5
15°	71	0	120°	72,5	+1,5
30°	71	0	135°	72	+1
45°	71	0	150°	71,5	+0,5
60°	72	+1	165°	71	0
75°	72	+1	180°	71	0
90°	72,5	+1,5			

Şekil-4.6'dan görüldüğü gibi mihrabı taşıyan duvar, kaynaktan geriye doğru giden sesleri yansıtarak cami içine yönlendirdiği ve mihrabın odaklayıcı etkileri nedeniyle $0^\circ \leq \varphi \leq 30^\circ$ aralığındaki doğrultularda ses basınç seviyesinde pek azalma olmamaktadır. φ azimutal açı arttıkça doğru giden seslerin cami zeminine gittikçe artan sayıda yansıma ve saçılmadan sonra inmesi nedeniyle giderek çok daha fazla absorplandığı görülmektedir. $120^\circ < \varphi < 130^\circ$ arasında ise tamamen saçılmış sesler alınmakta olduğundan ses basınç seviyesi direkt sese göre 13 dB daha azdır. $150^\circ < \varphi < 180^\circ$ arasındaki 1 dB'e yakın basınç seviyesi farkı direkt sesin mihrap karşısındaki duvarda (giriş kapısı tarafı) ilk yansımasının etkisi olarak yorumlanabilir.

Aynı noktada, ölçü sistemini radyal olarak $\theta = 90^\circ$ 'ye çevirerek yalnızca saçılmış seslerin basınç seviyelerinin azimutal açı $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ arasında değiştiğindeki ölçümleri azimutal açının 15° 'lik artırımlarıyla alındı, değişim Tablo-4.5'de ve Şekil-4.7'de görülüyor.

Bu ölçülerde direkt ses değil yalnızca yansımış ve saçılmış seslerin basınç seviyeleri ölçülmüştür ve kaynak doğrultusundaki direkt ses basınç seviyesine (82 dB) göre 10,5 dB kadar azalma görülmektedir. Bu da kubbe yüzeyinde absorpsiyon olduğunu belirtmektedir. Şekil-4.7'deki ses basınç seviyesi değişim grafiğindeki hafif asimetri restorasyonlardaki farklı özellikli sıvalardan ileri gelebilir.



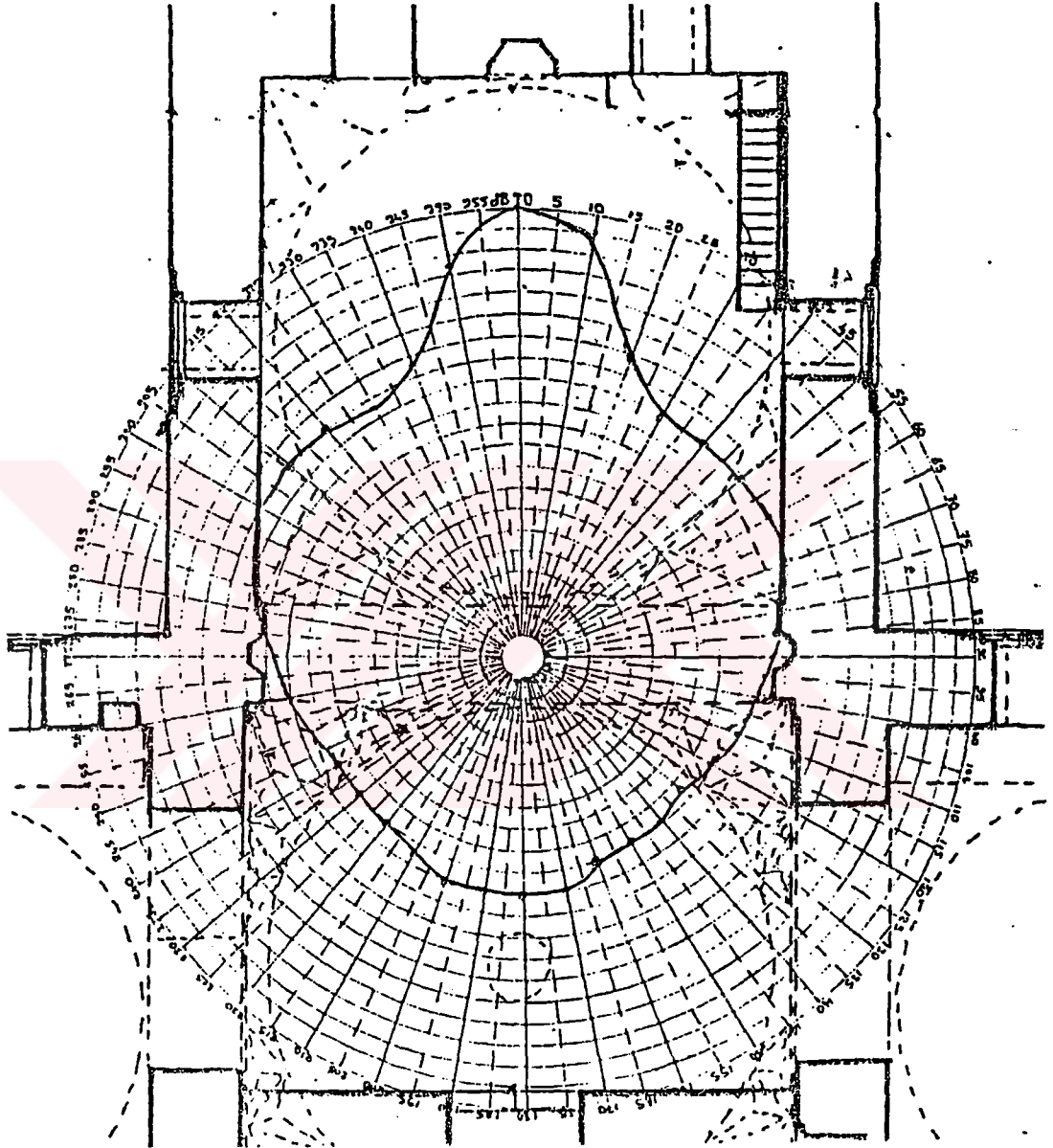
Şekil-4.7

II. ÖLÇÜ NOKTASI : Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük iken (Şekil-4.4) ölçü aleti kaynak yönünden itibaren radyal olarak 360° döndürüldü ($\varphi=0^\circ$). Ölçülen değerler Tablo-4.6'da ve ses basınç seviyesindeki değişimler ise Şekil-4.8'deki polar diyagramda gösterilmiştir. Şekil-4.8 incelendiğinde 30° doğrultusunda ses basınç seviyesinde mimberdeki absorpsiyon nedeniyle hafif bir azalma olduğu görülmektedir.

Direkt ses ile 90° doğrultudaki yansımış ve saçılmış ses basınç seviyeleri arasında 9 dB'lik bir azalma vardır. 120° - 145° arası ve 215° - 245° arası doğrultularında zaviye bölümlerine açıklıklar bulunmakta ve bu doğrultularda ses basınç seviyesinde direkt sese göre 11 dB kadar azalma görülmektedir. 0° yani kaynak doğrultusunda ses

Tablo-4.6

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	79	0	190°	69	-10
10°	78	-1	200°	69	-10
20°	73	-6	210°	68,5	-10,5
30°	71	-8	220°	68	-11
40°	71	-8	230°	68	-11
50°	71	-8	240°	68	-11
60°	71	-8	250°	68,5	-10,5
70°	71	-8	260°	69	-10
80°	70	-9	270°	69,5	-9,5
90°	69,5	-9,5	280°	70,5	-8,5
100°	69	-10	290°	71	-8
110°	68,5	-10,5	300°	72	-7
120°	68	-11	310°	72	-7
130°	67,5	-11,5	320°	72	-7
140°	68	-11	330°	71,5	-7,5
150°	68	-11	340°	72,5	-6,5
160°	68	-11	350°	76,5	-2,5
170°	69	-10	360°	79	0
180°	69	-10			



Şekil-4.8

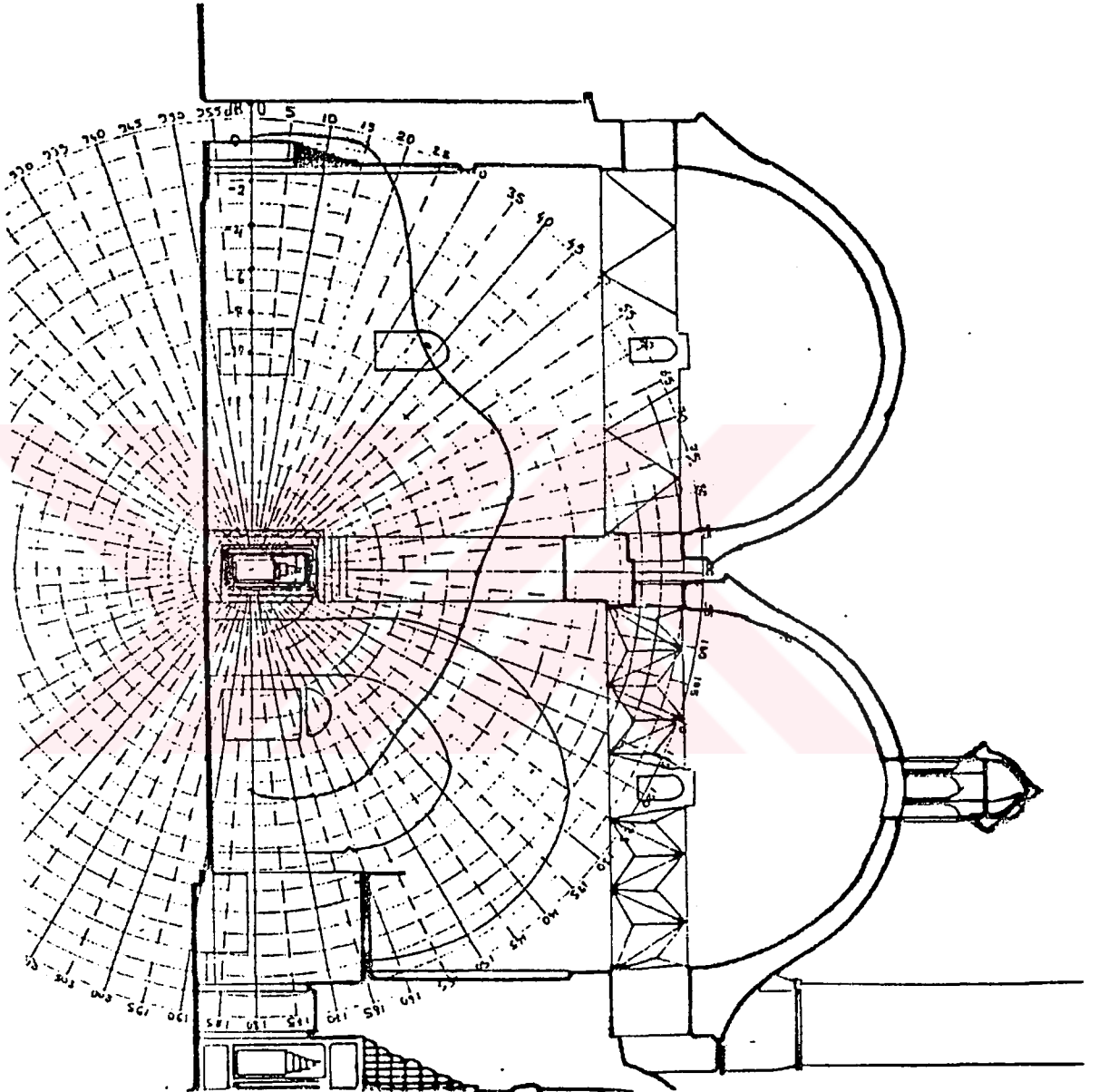
basınç seviyesi 79 dB'dir. Oysa I no.lu noktada aynı doğrultudaki ses basınç seviyesi 82 dB'dir. Ses kaynağına uzaklık 5,55 m. kadar artmış, buna karşılık ses basınç seviyesi 3 dB azalmıştır. Bu ölçü noktasında tamamen saçılmış seslerin basınç seviyeleri direkt sestten 11 dB daha düşüktür.

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı, ölçü aleti ($\theta=0^\circ$) kalmak üzere düşey doğrultuda azimutal açı $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ arasında değiştirildi. 15° 'er derecelik açılarla ses basınç seviyelerinin alınan ölçüleri Tablo-4.7'de, ses basınç seviye değişimleri ise Şekil-4.9'daki polar diyagramda görülmektedir. 0° ile 15° doğrultuları arasında çini yüzeylerden ses enerjisinin yansıdığı anlaşılır. Çünkü mihrabda konkavlık vardır.

Tablo-4.7

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	71	0	105°	72,5	+1,5
15°	71	0	120°	72,5	+1,5
30°	71	0	135°	72	+1
45°	71	0	150°	71,5	+0,5
60°	72	+1	165°	71	0
75°	72	+1	180°	71	0z
90°	72,5	+1,5			

Ses dalgaları konkav yüzeyden yansıdıklarından bir miktar odaklanıp ileri doğru yönlendirilirler. 45° 'lik doğrultuda ses basınç seviyesindeki azalma 7,5 dB'e varmaktadır. Çünkü bu doğrultuda mukarnaslar bulunmaktadır. Ses dalgaları mukarnaslardan saçılmakta ve enerji kaybına uğramaktadır. 60° ile 70° doğrultuları arasında ön kubbe odaklama ile ses enerjisini biraz şiddetlendirmektedir. 90° doğrultusunda ses basınç seviyesindeki azalma 9,5 dB'dir. Yani kemer mekânı bölmekte ve ses saçıcı özelliği göstermektedir. Bu durumda ses dalgaları daha çok yansıma ve saçılmaya uğramışlardır. 135° doğrultusunda da ikinci kubbenin mukarnaslarından saçılma nedeniyle ses basınç seviyesinde 10 dB kadar azalma görülmektedir. 150° ve 165° doğrultuları arasında ses basınç seviyesi 1 dB kadar artmıştır. Bu doğrultularda taş yüzeyler bulunduğundan ses enerjisi daha az



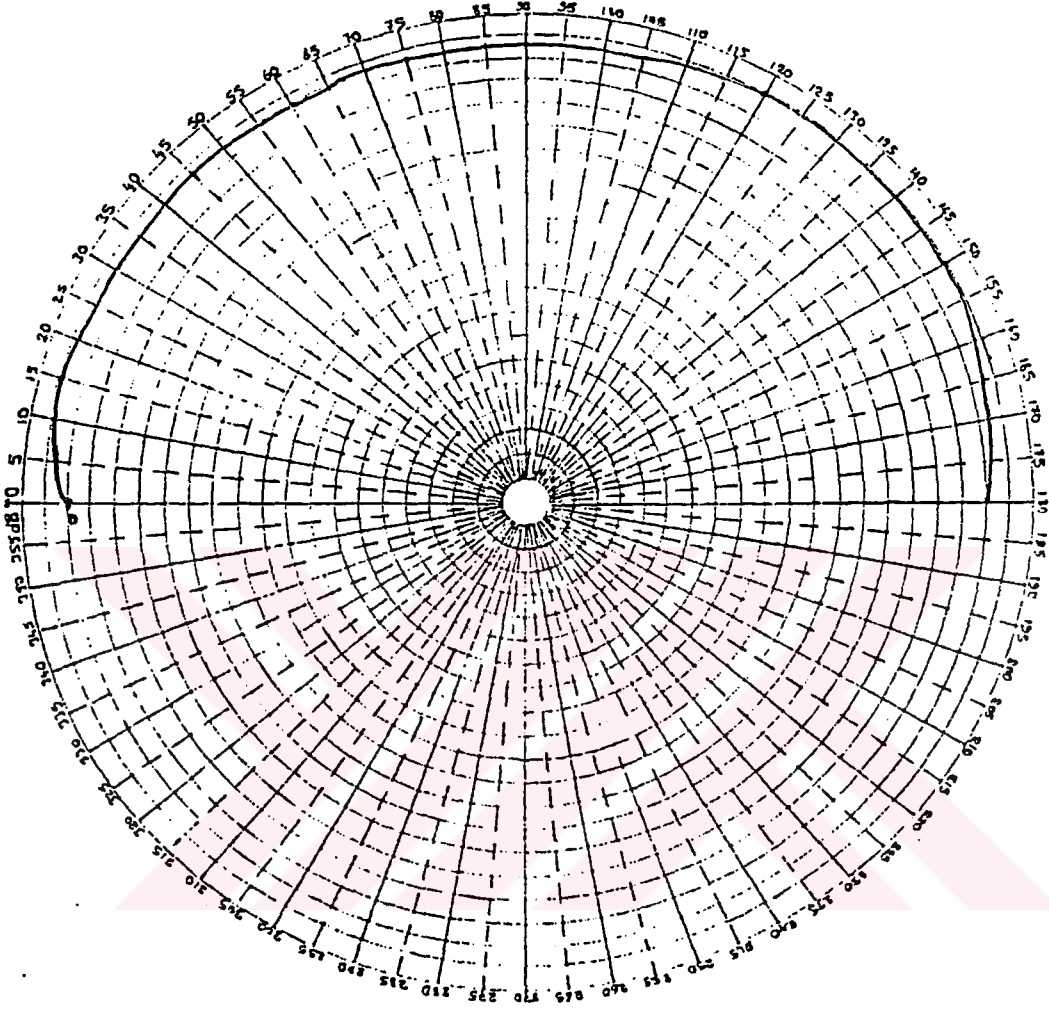
Şekil-4.9

absorplanmaktadır. 180° doğrultusunda ise ahşap yüzey (giriş kapısı) bulunduğundan ses basınç seviyesindeki değişim absorplanmanın artması nedeniyle biraz daha fazla olmaktadır.

Kaynak mihrapta ve camiye dönük ölçü yeri aynı noktada iken ölçü aleti kaynağa göre radyal olarak ($\theta=90^\circ$) döndürüldü ve azimutal olarak $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ döndürüldü. Ölçü sırasında ses basınç seviyesi kaynak doğrultusunda ($\theta=0^\circ$) maksimum 79 dB olarak ölçüldü. Ses basınç seviyelerinin doğrultuya göre değişim ölçüleri Tablo-4.8'de, ses basınç seviye değişimleri ise Şekil-4.10'daki polar diyagramda görülmektedir. Şekil-4.10'dan 15'lik doğrultuda taş yüzeyin konkavlığı nedeniyle ses basınç seviyesinin 1 dB kadar arttığı görülür. Kemerin konkav yapısı ses basınç seviyesinin az miktarda artmasına neden olur.

Tablo-4.8

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	70	0	105°	70,5	+0,5
15°	71	+1	120°	71	+1
30°	70,5	+0,5	135°	71	+1
45°	70,5	+0,5	150°	71	+1
60°	70,5	+0,5	165°	70,5	+0,5
75°	70,5	+0,5	180°	70	0
90°	70,5	+0,5			



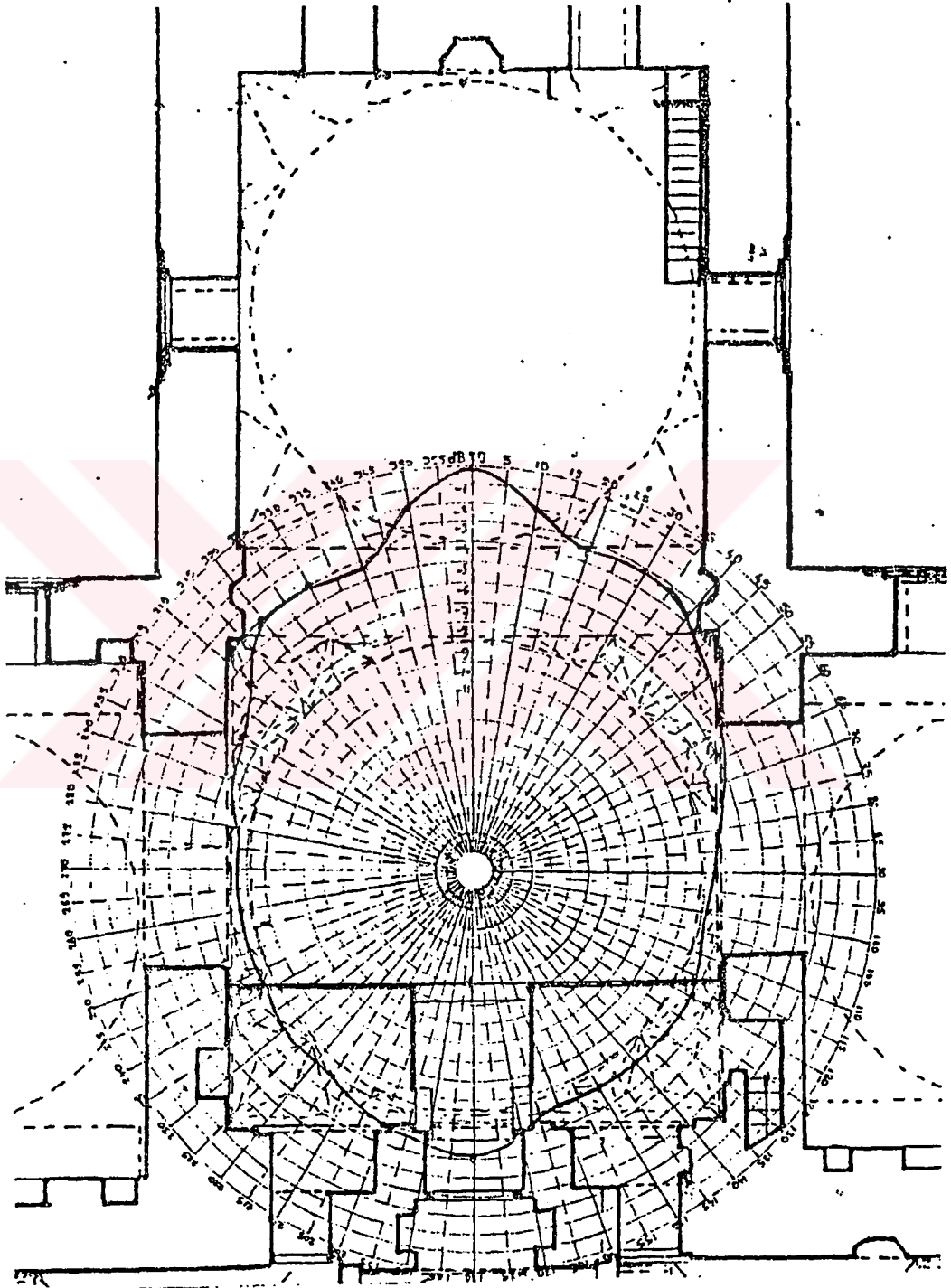
Şekil-4.10

III. ÖLÇÜ NOKTASI : Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri fenerli-kubbenin merkezinde (fenerin tam altında) (Şekil-4.4) iken ölçü aleti radyal olarak $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ arasında döndürüldü ($\varphi = 0^\circ$). Ses basınç seviyelerine ait değerler radyal 10'ar derecelik açılarda alındı. Ölçülen değerler Tablo-4.9'da ve ses basınç seviye değişimleri ise Şekil-4.11'deki polar diyagramda gösterilmiştir.

Tablo-4.9

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	73	0	190°	66,5	-6,5
10°	71	-2	200°	66	-7
20°	69,5	-3,5	210°	65,5	-7,5
30°	70	-3	220°	65	-8
40°	69,5	-3,5	230°	65	-8
50°	68	-5	240°	64,5	-8,5
60°	67	-6	250°	64,5	-8,5
70°	66	-7	260°	64,5	-8,5
80°	65	-8	270°	64,5	-8,5
90°	64,5	-8,5	280°	64,5	-8,5
100°	64,5	-8,5	290°	65,5	-7,5
110°	64,5	-8,5	300°	66	-7
120°	65	-8	310°	67	-6
130°	65	-8	320°	69	-4
140°	65	-8	330°	69	-4
150°	65	-8	340°	68,5	-4,5
160°	65	-8	350°	71	-2
170°	66	-7	360°	73	0
180°	67	-6			

Şekil-4.11'den ses basınç seviyesindeki en büyük azalmanın yan mekân doğrultularında 8,5 dB civarında olduğu görülmektedir. 180° doğrultusunda da dış kapının ahşap yüzey olması ve ses şiddetinin uzaklıkla azalması nedeniyle ses basınç seviyesinde 6 dB'lik azalma görülmektedir. 25° ile 45° ve 335° ile 315° doğrultularında kaynaktan gelen sesin çini yüzeylerden yansması nedeniyle ses basınç seviyesindeki azalma az olmaktadır. Çini yüzeyler simetrik olduğundan yukarıdaki doğrultular arasında ses basınç seviyeleri hemen hemen aynı kalmaktadır. Bu yansımaların ilk yansıma olması ve direkt sestten fazla bir yol farkı olmaması sebebiyle konuşma anlaşılabilirliğini pek etkilemez.



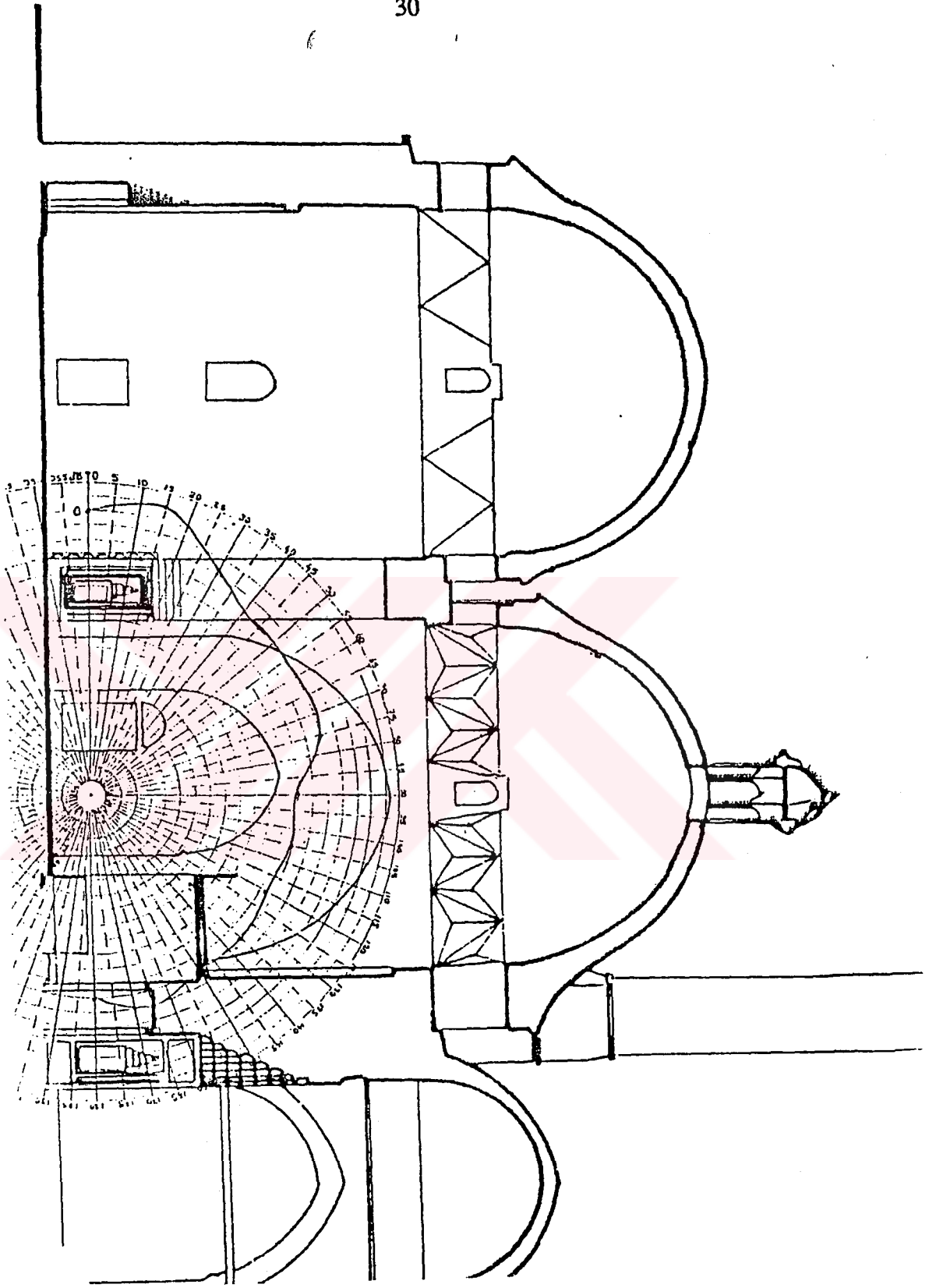
Şekil-4.11

Kaynak mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri aydınlatma kubbesinin altında ve merkezinde iken ölçü aleti azimutal olarak döndürüldü ($\theta=0^\circ$). 15'er derecelik açılarla çeşitli doğrultularda ses basınç seviyelerinin değişimleri ölçüldü. Alınan değerler Tablo-4.10'da, değişimler ise Şekil-4.12'de gösterilmektedir. Bu noktada da direkt sesin ve birinci yansımalarının toplam basınç seviyesi saçılmış seslerin basınç seviyesinden 5 dB daha yüksektir, dalyısı ile anlaşılabilirlik olumsuz etkilenmez.

$\varphi=90^\circ$ doğrultusundaki ses basınç seviyesinde 5 dB'lik azalma, kubbe tarafından absorplanmayı, 0° ile 15° arasındaki 1 dB'lik artış mihrabın konkav yüzeyinden yansımaları gösterir. $\varphi=15^\circ$ ile $\varphi=45^\circ$ doğrultuları arasında ses basınç seviyelerinde azalma görülmektedir. Bu doğrultularda ön kubbenin mukarnaslarında ve ön kubbedeki yansıma ve saçılmalar nedeniyle ses enerjisinin bir kısmı absorplanmaktadır. $160^\circ-170^\circ$ doğrultuları arasında ses dalgaları taş yüzeylerden yansımalara uğrarlar. Bu doğrultularda kaynaktan gelen sesin ilk yansımından gelen sesler daha az absorplandıklarından ses basınç seviyesini biraz arttırmaktadırlar. 180° doğrultusundaki 5 dB'lik azalma da, yansıyan dalganın daha uzun yol alması nedeniyle hava absorpsiyonu ve kapının yüzeyindeki absorplanmadan oluşan azalmayı göstermektedir.

Tablo-4.10

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	74	0	105°	69	-5
15°	75	+1	120°	68,5	-5,5
30°	72,5	+1,5	135°	69	-5
45°	71	-3	150°	69	-5
60°	71	-3	165°	70	-4
75°	71	-3	180°	69	-5
90°	69	-5			



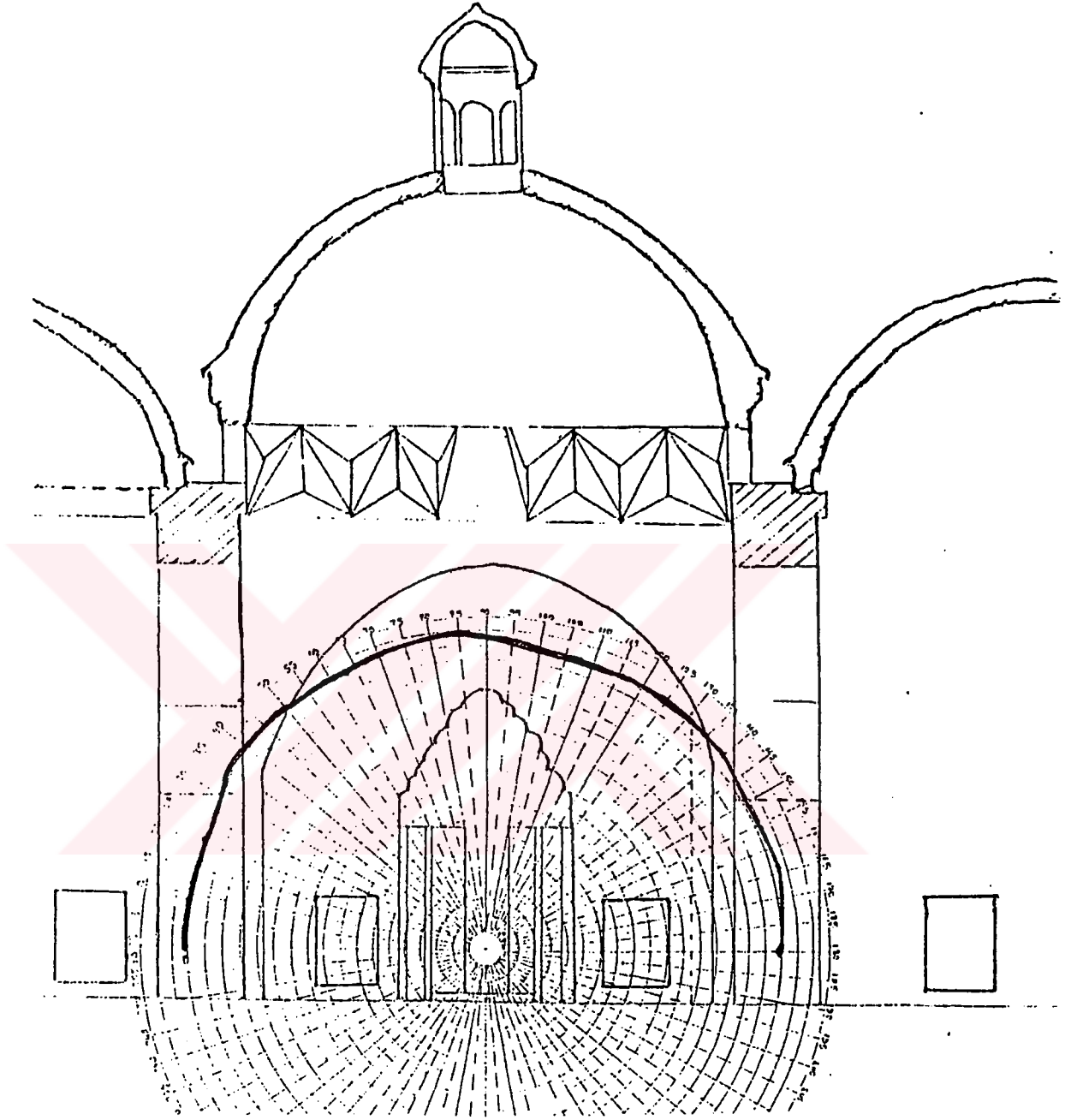
Şekil-4.12

Kaynak mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine fenerli kubbenin altında iken ölçü aleti radyal olarak $\theta=90^\circ$ döndürülüp, sabit tutularak azimutal olarak döndürülerek, 15° 'lik aralıklarla 0° ile 180° arasındaki doğrultularda ölçülen ses basınç seviyesinin değerleri Tablo-4.11'de, değişimler ise Şekil-4.13'de gösterilmiştir.

III nolu noktada kaynak doğrultusunda ($\theta=0^\circ$) ses basınç seviyesi 73 dB ilekn, $\theta=90^\circ$ 'de ($\varphi=0^\circ$) ses basınç seviyesi 67,5 dB olmaktadır. 5,5 dB'lik azalma, blu doğrultuda sadece saçılmış seslerin ölçülmesi nedeniyle oluşmaktadır. Sağ ve sol yan mekânları arasında ses enerjisinin absorblanması bakımından farklılıklar olmadığından polar diyagramda bu doğrultularda ($\varphi=0^\circ$ ve $\varphi=180^\circ$) ortalama ses basınç seviyesi hemen hemen sabit kalmıştır. $\varphi=45^\circ$ ile $\varphi=135^\circ$ arasında hafif ve $\varphi=90^\circ$ doğrultusunda ses basınç seviyesinde 1,5 dB kadar artış gözlenmektedir. Bu artış, kubbenin iç yüzeyinden yansıyan ses dalgalarının odaklanması ile yorumlanabilir.

Tablo-4.11

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	67,5	0	105°	68,5	+1
15°	67,5	0	120°	68,5	+1
30°	68	+0,5	135°	68,5	+1
45°	68,5	+1	150°	68	+0,5
60°	68,5	+1	165°	68	+0,5
75°	69	+1,5	180°	67,5	0
90°	69	+1,5			



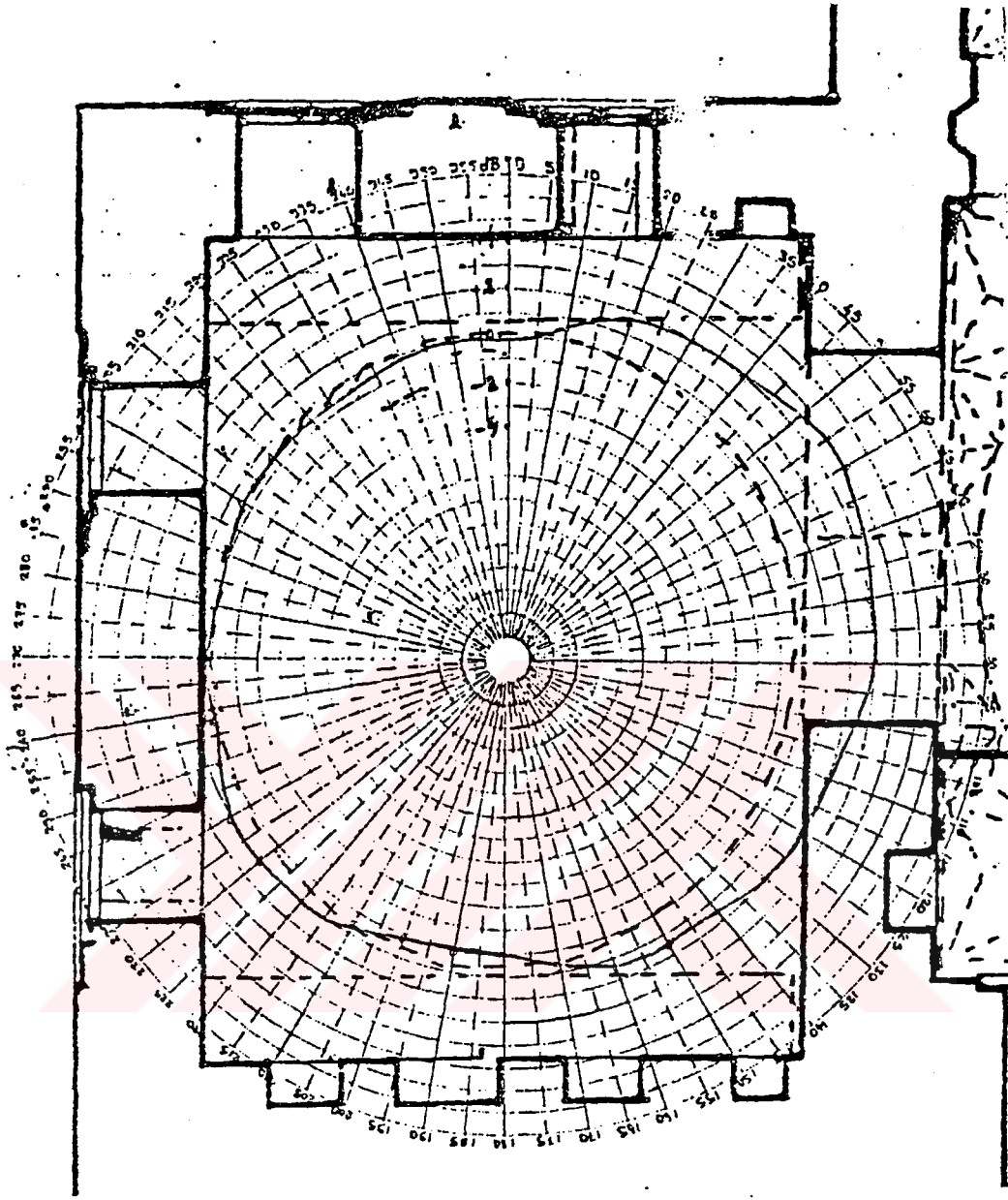
Şekil-4.13

IV. ÖLÇÜ NOKTASI : Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine sol yan mekânın merkezinde (Şekil-4.4) iken ölçü aleti radyal olarak 360° döndürüldü ($\theta=0^\circ$). Ses basınç seviyelerine ait değerler $10'$ ar derecelik açılarda alındı. Ölçülen değerler Tablo-4.12'de, ve ses basınç değişimleri ise Şekil-4.14'deki polar diyagramda gösterilmiştir.

Şekil-4.14 incelendiğinde 40° ile 80° 'lik doğrultulardan gelen ses basınç seviyesinde, mekânı ana bölüme birleştiren açıklıktan gelen ses enerjisi nedeniyle 3 dB kadar artış görülmekte ve diğer doğrultularda SPL hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu mekândaki ses büyük ölçüde saçılmış seslerdir. Bu denkleme ses basınç seviyesi $40^\circ < \theta < 80^\circ$ dışında hemen hemen sabittir. Bu bölüme cami mekanından bir miktar ilk yansıma ile giren ses vardır.

Tablo-4.12

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	63	0	190°	62	-1
10°	63,5	+0,5	200°	62	-1
20°	64,5	+1,5	210°	62,5	-0,5
30°	65	+2	220°	63	0
40°	65	+2	230°	63	0
50°	65,5	+2,5	240°	63	0
60°	66	+3	250°	62,5	-0,5
70°	65,5	+2,5	260°	62	-1
80°	65	+2	270°	62,5	-0,5
90°	65	+2	280°	62	-1
100°	64,5	+1,5	290°	62	-1
110°	64	+1	300°	62,5	-0,5
120°	64	+1	310°	62,5	-0,5
130°	64	+1	320°	62,5	-0,5
140°	63,5	+0,5	330°	63	0
150°	63,5	+0,5	340°	63	0
160°	63,5	+0,5	350°	63	0
170°	63	0	360°		
180°	62	-1			

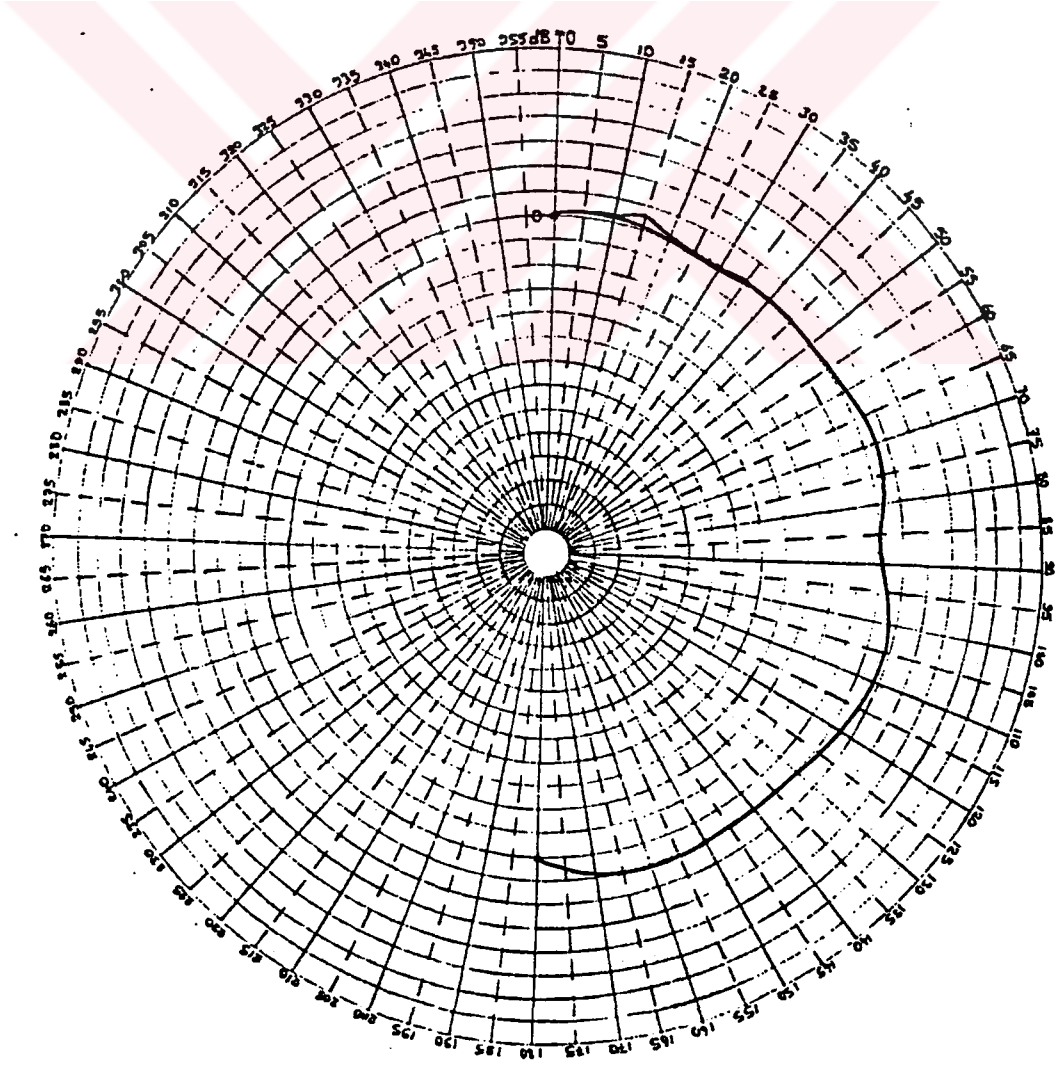


Şekil-4.14

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken ölçü aleti $\theta=0^\circ$ 'de sabit tutularak azimutal olarak 15'er derecelik aralıklarla döndürüldü. Ölçülen değerler Tablo-4.13'de, ses basınç seviyelerindeki değişimler ise Şekil-4.15'de gösterilmektedir.

Tablo-4.13

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	61	0	105°	62	+1
15°	61,5	+0,5	120°	61,5	+0,5
30°	61	0	135°	61	0
45°	61	0	150°	61	0
60°	61	0	165°	61	0
75°	61,5	+0,5	180°	60	-1
90°	61	0			



Şekil-4.15

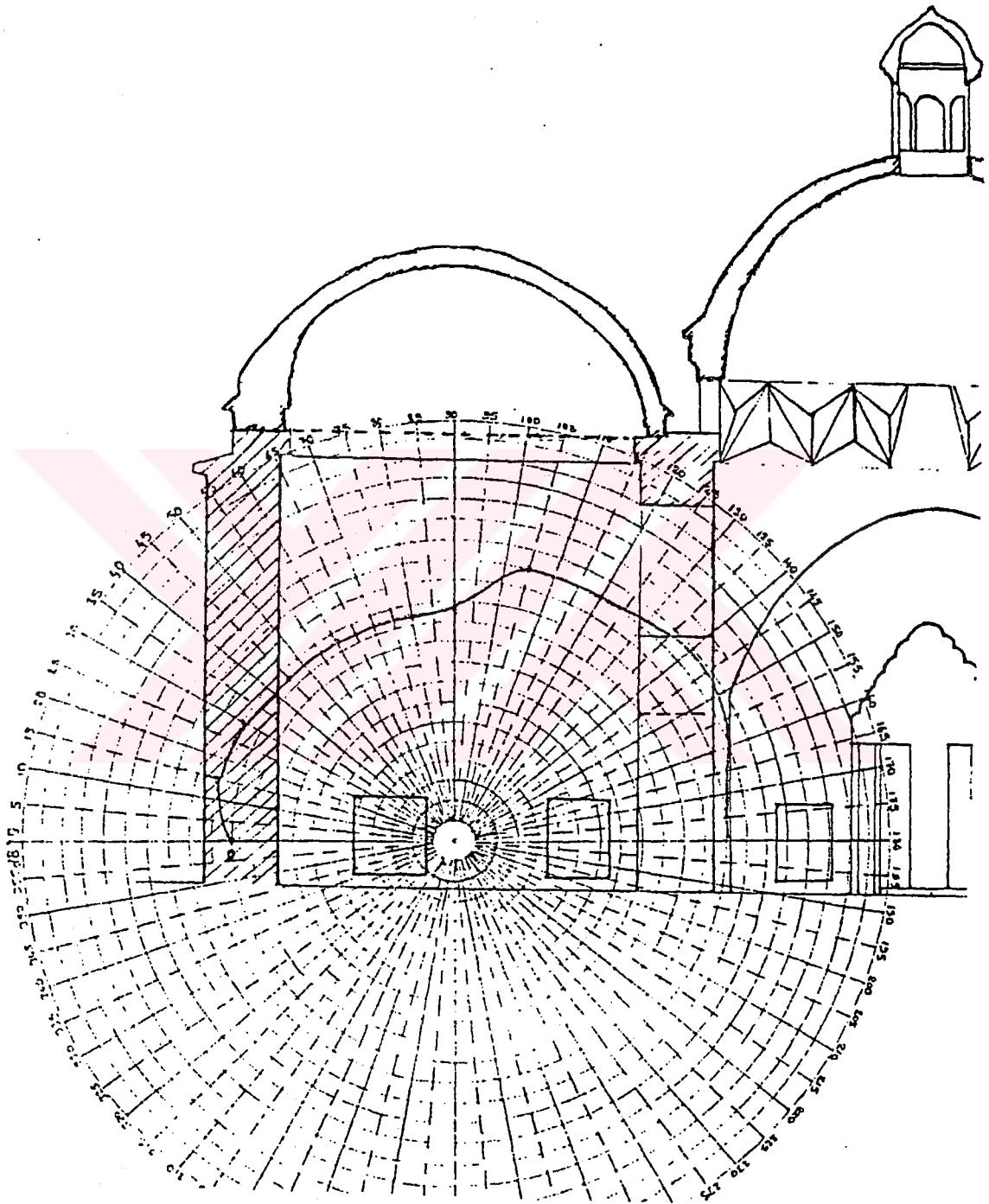
Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken ölçü aleti radyal olarak $\theta=90^\circ$ 'ye döndürülüp radyal açı sabit tutularak azimutal açısı 15° 'lik basamakla $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ arasında döndürüldü. Alınan değerler Tablo-4.14'de, ses basınç seviyesindeki değişimler ise Şekil-4.16'da verilmektedir.

Şekil-4.16'da verilen $\varphi=0^\circ$ doğrultusu ile $\varphi=180^\circ$ doğrultusundaki ses basınç seviyelerinde farklılıklar vardır. $\varphi=180^\circ$ doğrultusundaki ses basınç seviyesinde, bu kısmı ana bölmeye birleştiren açıklıktan gelen ses enerjisi nedeniyle 2 dB kadar artış görülmektedir. 125° ve 160° doğrultularında ses basınç seviyesinde artışlar gözlenir. Bu doğrultudaki ses dalgaları yansımaları, bu mekâna giren seslerin birinci yansımaları olabilirler.

Tablo-4.14

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	61	0	105°	64	+3
15°	62	+1	120°	64	+3
30°	62	+1	135°	64,5	+3,5
45°	61,5	+0,5	150°	64,5	+3,5
60°	61,5	+0,5	165°	63,5	+2,5
75°	61,5	+0,5	180°	63	+2
90°	61,5	+0,5			

Şekil-4.15'den 0° doğrultusundaki ses basınç seviyesinin 180° doğrultusundaki ses basınç seviyesine göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. $\varphi=180^\circ$ doğrultusundaki duvardaki ocak v.s gibi girinti ve çıkıntılar ses saçılmasını az da olsa etkileyebilir. $\varphi=80^\circ$ ile $\varphi=95^\circ$ doğrultuları arasında ses basınç seviyesindeki azalma, sol yan mekân kubbenin ses odaklayıcı özelliği ile açıklanabilir.



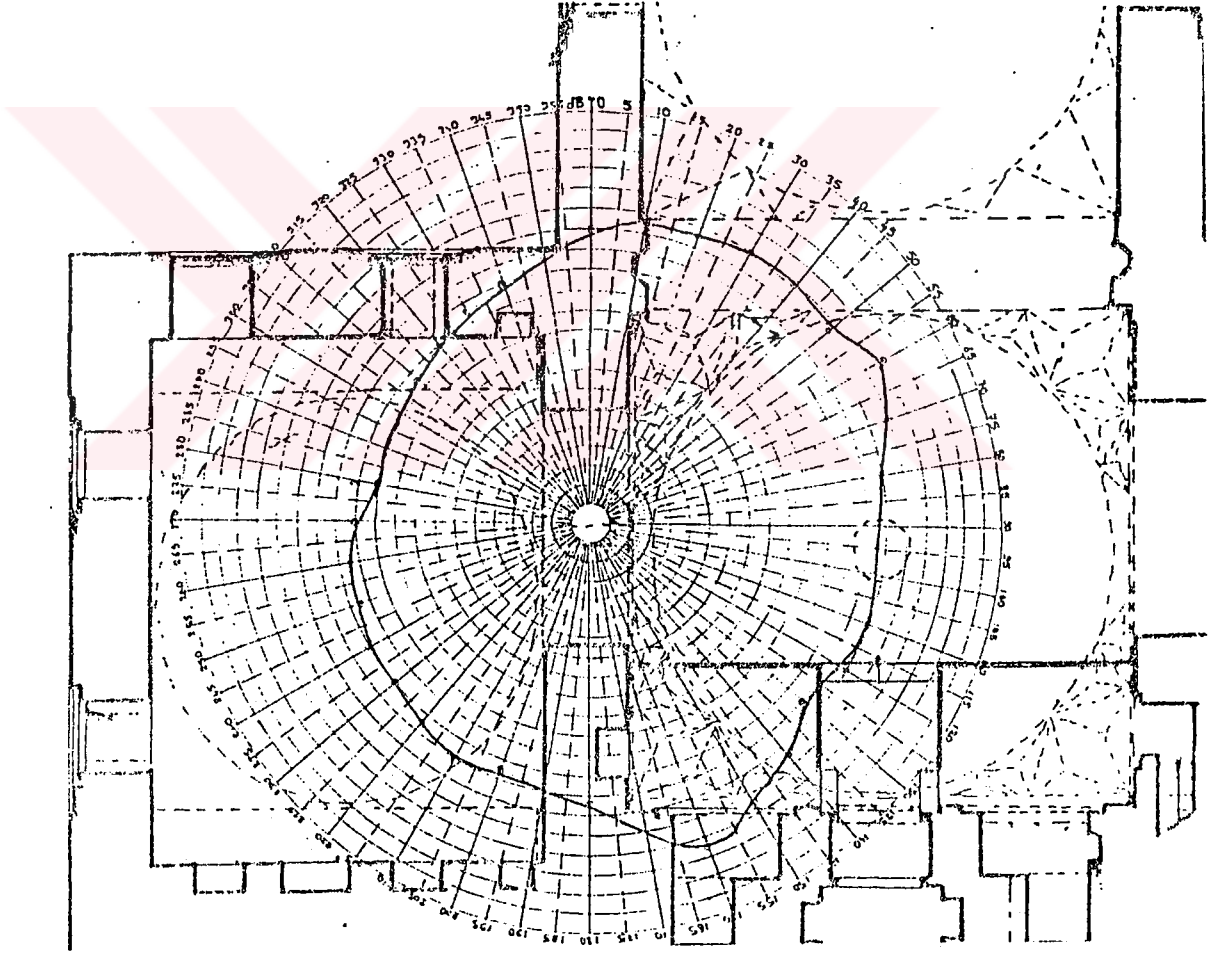
Şekil-4.16

V. ÖLÇÜ NOKTASI : Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri sol yan mekân ile aydınlatma kubbesini birleştiren kemerin ortasında (Şekil-4.4) iken ölçü aleti radyal olarak 360° döndürüldü ($\varphi=0^\circ$). Ses basınç seviyelerine ait değerler 10'ar derecelik açılarda alındı. Ölçülen değerler Tablo-4.15'de ve ses basınç seviye değişimleri ise Şekil-4.17'deki polar diyagramda gösterilmiştir.

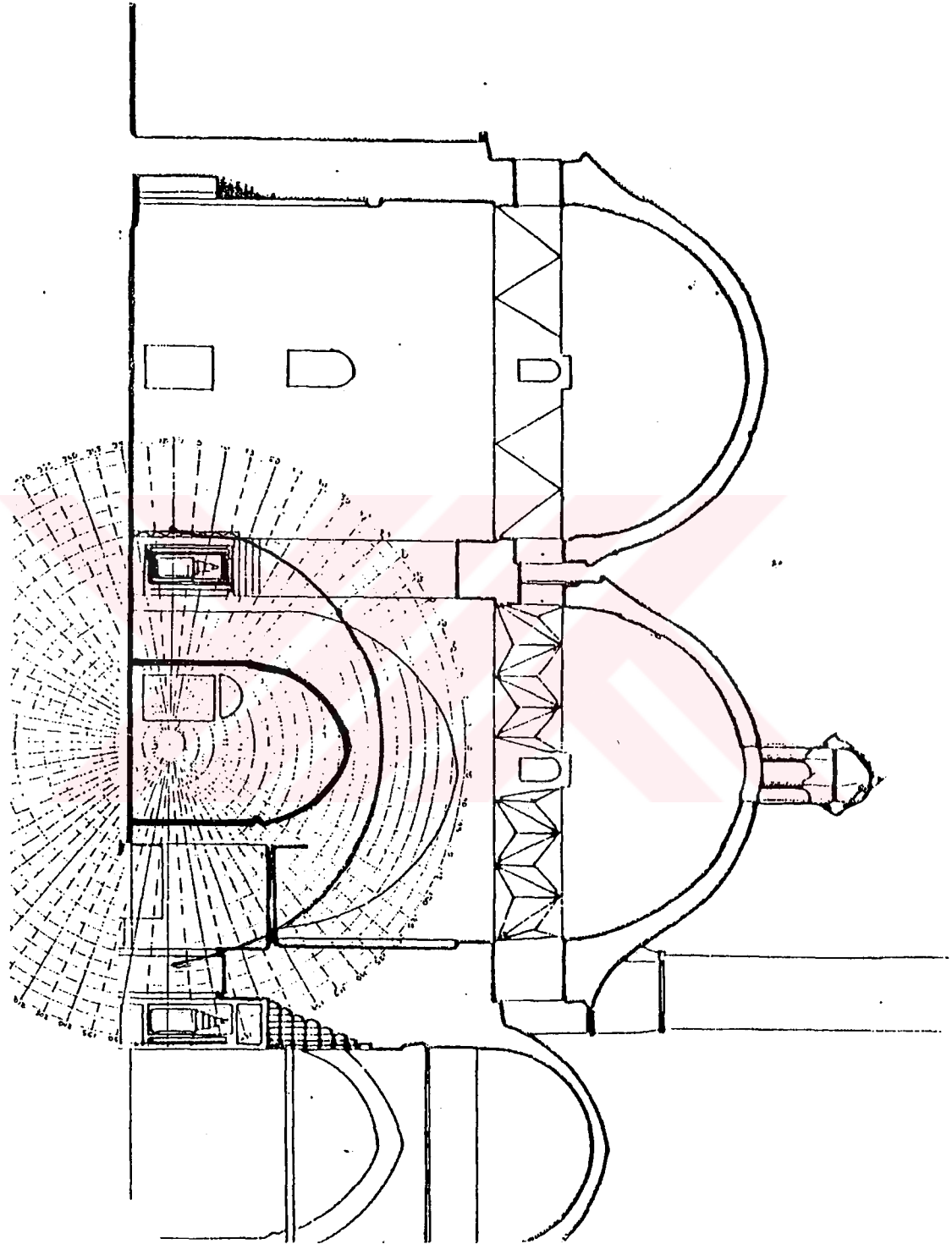
Tablo-4.15

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	66	0	190°	65	-1
10°	66,5	+0,5	200°	64,5	-1,5
20°	66,5	+0,5	210°	65	-1
30°	67	+1	220°	64,5	-1,5
40°	67	+1	230°	64	-2
50°	67,5	+0,5	240°	64	-2
60°	68	+2	250°	63,5	-2,5
70°	67	+1	260°	63,5	-2,5
80°	66	0	270°	63	-3
90°	65,5	-0,5	280°	62	-4
100°	65,5	-0,5	290°	62,5	-3,5
110°	66	0	300°	62,5	-3,5
120°	66	0	310°	62,5	-3,5
130°	65	-1	320°	63	-3
140°	66,5	+0,5	330°	63,5	-2,5
150°	67,5	+1,5	340°	64	-2
160°	68,5	+2,5	350°	65	-1
170°	67,5	+1,5	360°	66	0
180°	65,5	-0,5			

Şekil-4.17'den görüldüğü gibi $\theta=50^\circ$ ile $\theta=70^\circ$ doğrultusunda ses basınç seviyesinde 1-2 dB kadar artış vardır. Bu artış, sol yan mekâna ana bölmeden gelen birincil ses yansımaları nedeniyle oluşur. 90° ile 100° doğrultuları arasında kaynak doğrultusundaki ses basınç seviyesine göre 0,5 dB gibi hafif bir azalma vardır. Bu diyagramdan, bu bölgeye ancak direkt sesin birincil yansımaları ile cami mekanında saçılan seslerin girmekte olduğu anlaşılır.



Şekil-4.17



Şekil-4.18

Tablo-4.16

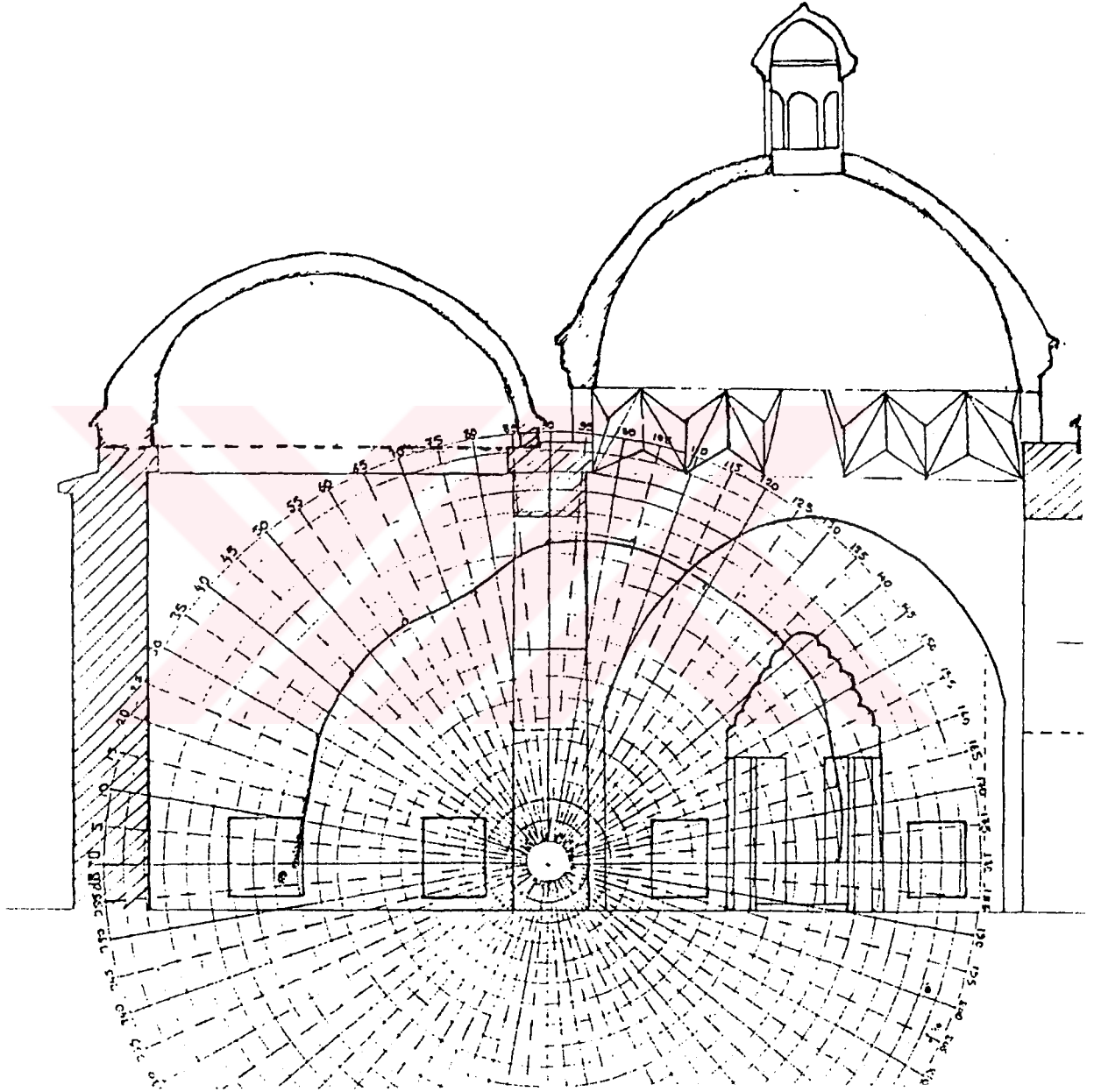
Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	63	0	105°	63	0
15°	63	0	120°	63	0
30°	63	0	135°	63	0
45°	63	0	150°	63	0
60°	63	0	165°	63	0
75°	63	0	180°	63,5	+0,5
90°	63	0			

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken, radyal açı $\theta=0^\circ$ 'de sabit tutularak, ölçü aleti azimutal olarak 15'er derecelik aralıklarla döndürüldü. Ölçülen değerler Tablo-4.16'da, ses basınç seviyelerindeki değişimler ise Şekil-4.18'de gösterilmiştir.

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken, radyal olarak 90° döndürülüp, $\theta=90^\circ$ sabit tutularak ölçü aleti azimutal olarak döndürüldü. Alınan değerler Tablo-4.17'de, ses basınç seviyesindeki değişimler ise Şekil-4.19'da verilmektedir.

Tablo-4.17

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	60,5	0	105°	64,5	+4
15°	60,5	0	120°	64	+3,5
30°	61	+0,5	135°	64	+3,5
45°	61,5	+1	150°	64	+3,5
60°	62	+1,5	165°	63	+2,5
75°	62	+1,5	180°	62,5	+2
90°	64	+3,5			



Şekil-4.19

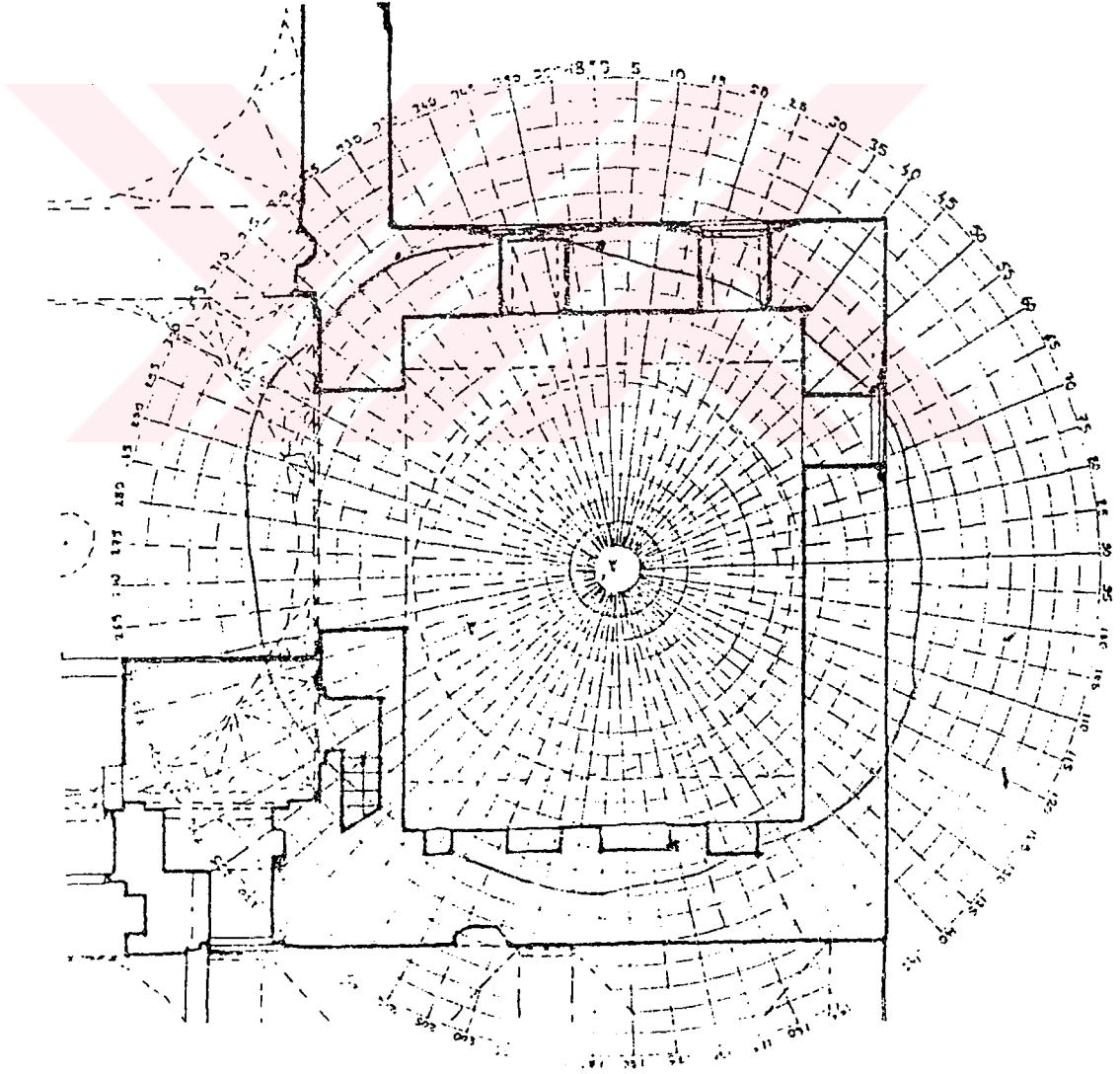
45° doğrultusunda sol yan mekânın köşesindeki saçılma nedeniyle ses basınç seviyesinde 1 dB'lik artış olmaktadır. 60° ve 75° doğrultularında sol kubbenin konkav yüzeyindeki, 90° doğrultusunda da kemerin konkav yüzeyindeki odaklanma nedeniyle ses basınç seviyesinde artışlar vardır. 105° doğrultusundan itibaren de aydınlatma kubbesinin konkav yüzeyindeki odaklanma nedeniyle ses basınç seviyesinde 3,5 dB kadar artış görülmektedir. 180° doğrultusunda da ses dalgalarının sağ bölme duvarından yansıması nedeniyle ses basınç seviyesinde 0° doğrultusuna göre 2 dB'lik artış olmaktadır.

Tablo-4.18

Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Radyal Açı (θ)	Ölçülen SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	59,5	0	190°	59,5	0
10°	58,5	-1	200°	59,5	0
20°	58,5	-1	210°	59,5	0
30°	58,5	-1	220°	60	+0,5
40°	58,5	-1	230°	60	+0,5
50°	58,5	-1	240°	60,5	+1
60°	59	-0,5	250°	61	+1,5
70°	59	-0,5	260°	61	+1,5
80°	58,5	-1	270°	61	+1,5
90°	59	-0,5	280°	61,5	+2
100°	59	-0,5	290°	62	+2,5
110°	59	-0,5	300°	62,5	+3
120°	59,5	0	310°	61,5	+2
130°	59,5	0	320°	61,5	+2
140°	59,5	0	330°	61,5	+2
150°	59	-0,5	340°	60,5	+1
160°	58,5	-1	350°	60	+0,5
170°	59	-0,5	360°	59,5	0
180°	59	-0,5			

VI. ÖLÇÜ NOKTASI : Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri sağ yan mekânın merkezinde (Şekil-4.4) iken ölçü aleti radyal olarak 360° döndürüldü ($\varphi=0^\circ$). Ses basınç seviyelerine ait değerler $10'$ ar derecelik açılarla alındı. Ölçülen değerler Tablo-4.18'de ve ses basınç seviye değişimleri ise Şekil-4.20'deki polar diyagramda gösterilmiştir.

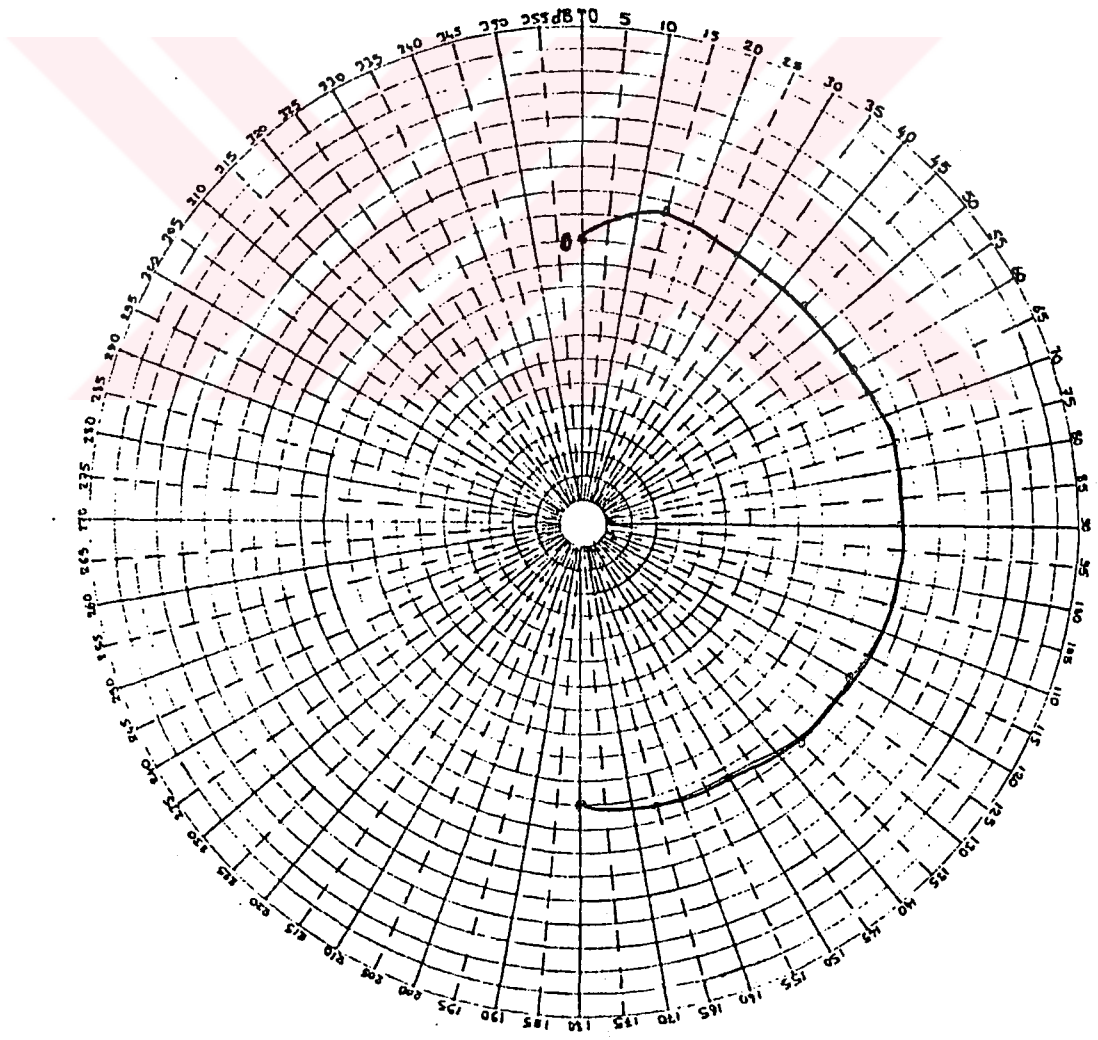
Şekil-4.20 incelendiğinde 280° ile 310° lik doğrultular arasında gelen ses basınç seviyesinde sağ mekânı ana bölüme birleştiren açıklıktan gelen ses enerjisi nedeniyle 3 dB kadar artış görülmekte ve diğer doğrultularda SPL hemen hemen sabit kalmaktadır.



Şekil-4.20

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken radyal açı $\theta=0^\circ$ 'de sabit tutularak, ölçü aleti azimutal olarak 15° 'er derecelik aralıklarla döndürüldü. Ölçülen değerler Tablo-4.19'da, ses basınç seviyelerindeki değişimler ise Şekil-4.21'de görülmektedir.

Şekil-4.21'den 0° doğrultusundaki ses basınç seviyesi 180° doğrultusundaki ile aynı şiddette olmaktadır. 0° ile 15° doğrultuları arasında ses basınç seviyesinde $1,5$ dB'lik artış gözlenmekte ve 15° ile 30° doğrultuları arasında ise bu fark $0,5$ dB kadar olmaktadır. 30° ile 65° doğrultuları arasında ses basınç seviyesi sabit kalmakta, 75° ile 120° doğrultuları arasında ise $0,5$ dB'lik artış gözlenmektedir. Bu artış kubbenin ses odaklayıcı özelliği ile yorumlanabilir.



Şekil-4.21

Tablo-4.19

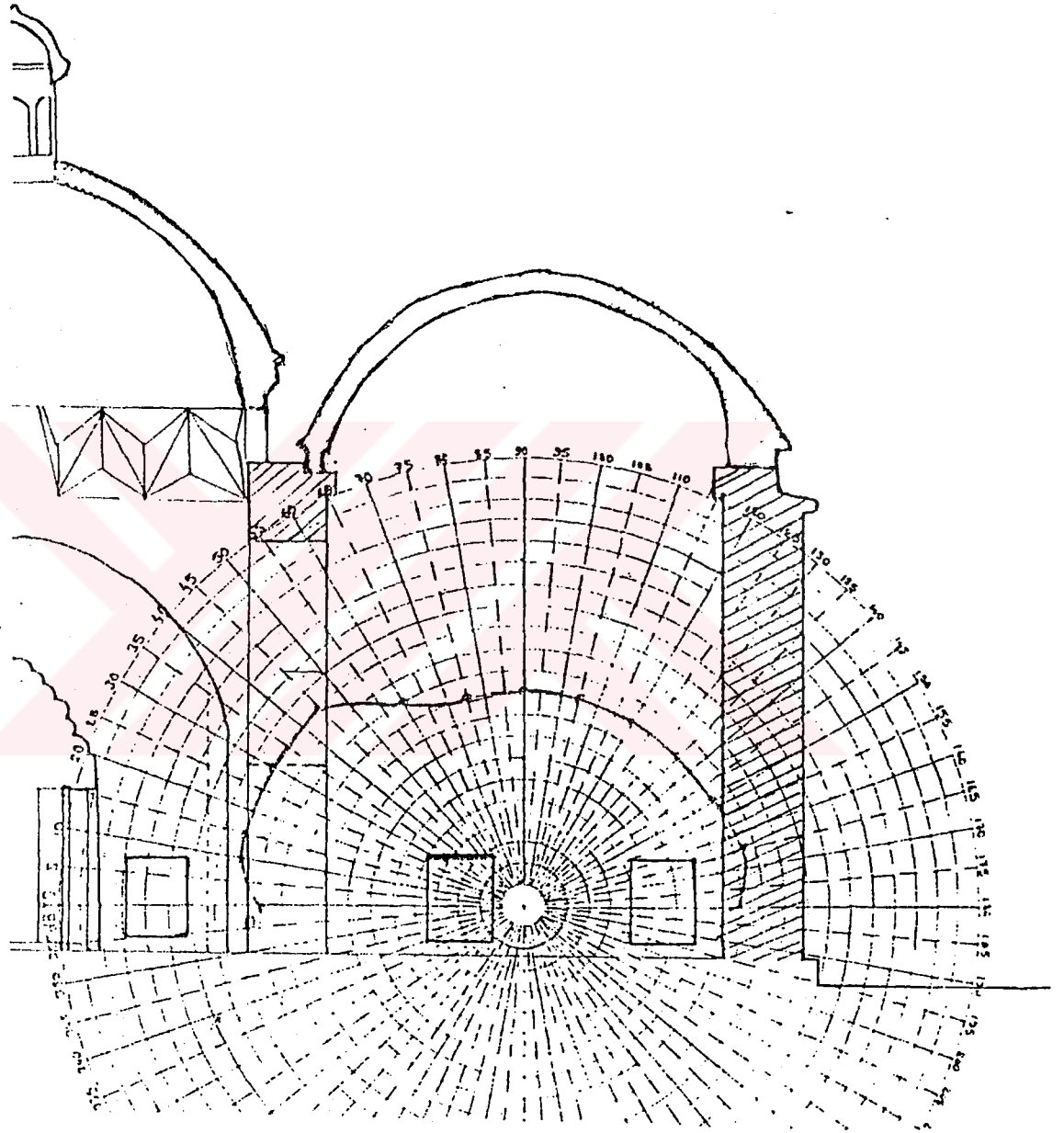
Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	60	0	105°	61,5	+1,5
15°	61,5	+1,5	120°	61	+1
30°	61	+1	135°	61	+1
45°	61	+1	150°	60,5	+0,5
60°	61	+1	165°	60,5	+0,5
75°	61,5	+1,5	180°	60	0
90°	61,5	+1,5			

Ses kaynağı mihrapta ve camiye dönük, ölçü yeri yine aynı noktada iken radyal olarak 90° döndürülüp, radyal açı $\theta=90^\circ$ de sabit tutularak ölçü aleti azimutal olarak döndürüldü. Alınan değerler Tablo-4.20'de, ses basınç seviyesindeki değişimler ise Şekil-4.22'de verilmektedir.

Şekil-4.22'de $\varphi=0^\circ$ doğrultusu ile $\varphi=180^\circ$ doğrultularındaki ses basınç seviyelerinde farklılıklar vardır. $\varphi=180^\circ$ doğrultusundaki ses basınç seviyesinde, $\varphi=0^\circ$ doğrultusuna göre 2 dB kadar azalma görülmektedir. 15° doğrultusu ile 45° doğrultusu arasında ses basınç seviyesinde 1 dB kadar artış görülmektedir ve bu mekâna cami mekânından giren sesin basınç seviyesi mekândaki saçılmış seslerin basınç seviyesinden 3 dB kadar fazladır ve giren sesler de direkt ses olmayıp yansımış seslerdir.

Tablo-4.20

Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)	Azimutal Açı (φ)	SPL (dB)	Δ (SPL) (dB)
0°	63	0	105°	61	-2
15°	64	+1	120°	61	-2
30°	64	+1	135°	61	-2
45°	64	+1	150°	61	-2
60°	62	-1	165°	61,5	-1,5
75°	61	-2	180°	61	-2
90°	61	-2			



Şekil-4.22

4.2- Anlaşılabilirlik Testleri

Taban alanı 382 m² ve hacmi yaklaşık 4000 m³'lük Muradiye camii içinde konuşma anlaşılabilirliğinin dinleyicinin bulunduğu konuma göre değişimi, Beranek'in subjektif ses anlaşılabilirlik ölçü yöntemine benzer şekilde incelendi (40).

Bu yöntem ile anlaşılabilirlik testi; fonetik dengeli kelimeler değişik konuşmacılara okutulur, kelimelerin dinleyiciler tarafından anlaşılabilmesi şeklinde yapılır. Önceden belirlenen fonetik dengeli kelimeler, taşıyıcı cümle içine yerleştirilir. Ancak bu kelimeler sözün gelişinden anlaşılacak şekilde seçilirler. Hazırlanan cümleler, farklı kişiler tarafından okunur. Kapalı mekân içinde çeşitli noktalarda bulunan dinleyiciler, seçilen bu kelimeleri duydukları ya da anladıkları gibi yazarlar. Sonuçta; mekân içindeki farklı noktalarda bulunan dinleyicilerin, anladıkları ve anlamadıkları kelimelerin yüzde oranları belirlenerek, konuşmanın iletilmesine ait yorumda bulunulur. Bu nedenle yukarıdaki yöntem STI (Speech transmission index) denir.

Türkçe kelimelerin ses uyumlu olmaları nedeniyle seçilen kelimeler taşıyıcı cümle ile okunmak yerine tek tek okunarak dinleyicilere iletildi. Bu nedenle yaklaşık yüzde ellisi tek, geri kalanı çift heceli olan 100 kelime seçildi. Seçilen bu kelimeler bir kişi tarafından okunarak teyp bandına kaydedildi. Kelimeler banda kaydedilirken, dinleyicilerin duydukları veya anladıkları kelimeyi yazabilmeleri için gerekli zaman aralığı (yaklaşık 5 saniye) bırakıldı.

Cami, boyuna kesitine göre simetrik bir yapıya sahiptir. Her kubbenin merkezinde kelimelerin anlaşılma yüzdelerini belirlemek için toplam dört nokta seçildi (Şekil-4.23). Ses kaynağımız 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 edebilir. Seçilen toplam dört noktaya, bilgi ve öğrenim düzeyleri iyi on dinleyici yerleştirildi. Kelimeler teypten okundukça, dinleyiciler anladıkları şekilde ve birbirinden etkilenmeksizin kelimeleri kağıtlara kaydettiler.

Seçilen noktalarda dinleyicilere aktarılan kelime sayıları Tablo-4.21’de verilmiştir. Daha sonra yapılan istatistik değerlendirmelerle, seçilen noktalardaki konuşma iletim oranı belirlendi (Şekil-4.23).

Tablo-4.21

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

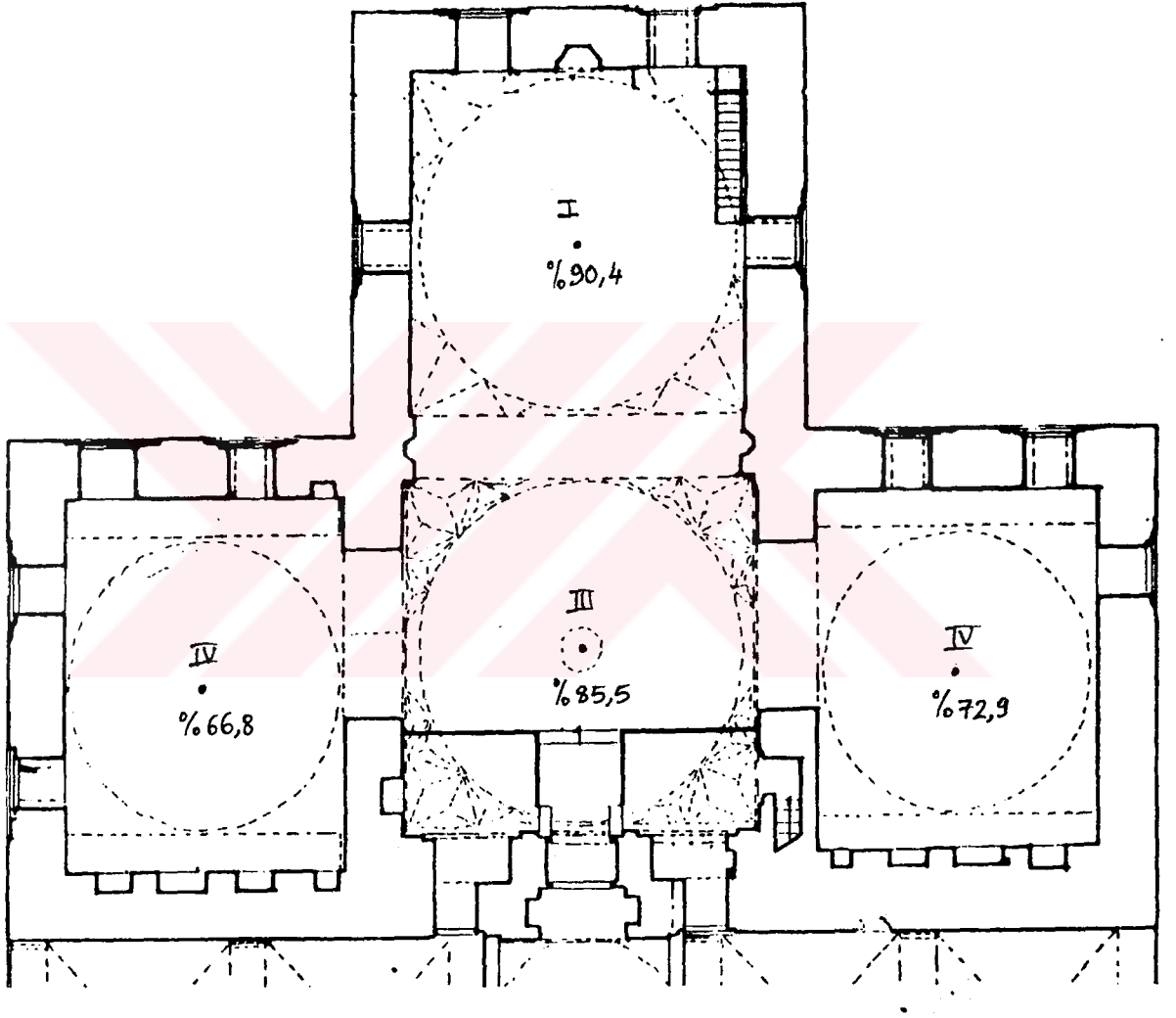
Kelime kaynağı çalışmadığında camideki background ses basınç seviyesi 35-36 dB olarak ölçüldü. Kaynak çalışırken yakınında SPL, 86 dB olarak ölçüldü. Dinleyicilerin ölçü aldıkları noktalardaki ses basınç seviyeleri ise Tablo-4.22’de verilmiştir. Cami içinde ve dışındaki gürültü ortamdaki ses basınç seviyesini çok az değiştirdiğinden cami içinde anlaşılabilirlik çevre gürültüsünden bağımsız olarak kabul edilebilir.

Tablo-4.22

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

Mihraba konan kaynaktan 100 ayrı kelime kısa aralıklarla camiye dönük olarak okundu. Her dinleyici toplam olarak 100 kelime dinlemiş oldu. Bu kelimelerin dinleyicilere göre anlaşılma sayıları ve yüzdeleri Tablo-4.23’de verilmiştir.

Anlaşılan kelimelerin sayısı; toplam kelime sayısının birden küçük bir kesridir ve yüzde olarak ifade edildiğinde, anlaşılma fonetik dengeli (PB) kelime sayısı ile hemen hemen aynıdır. PB anlaşılma kelime yüzdesi, anlaşılabilirlik göstergesi ile ilgilidir. Tablo-4.23’deki son sütunda, kelimelerin anlaşılabilirlik yüzdesi Şekil-4.24’de verilen anlaşılabilirlik grafiği ile belirlenmiştir (12).



Şekil-4.23

Tablo-4.23

NOKTALAR	Dinleyicilerin anladıkları kelime sayısı										TOPLAM	Anlaşılabilirlik yüzdesi ve standart hata	ANLAŞILMA BÖLGESİ
	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 sınırdadır
III	94	86	82	88	82	78	89	89	84	83	855	% $(86 \pm 1,5)$	İyi sınırdadır
IV	67	73	74	71	54	64	71	62	60	72	668	% (67 ± 2)	Yeterli sınırdadır
VI	82	75	74	75	67	67	83	70	67	69	729	% (73 ± 2)	İyi sınırdadır

Tablo-4.24

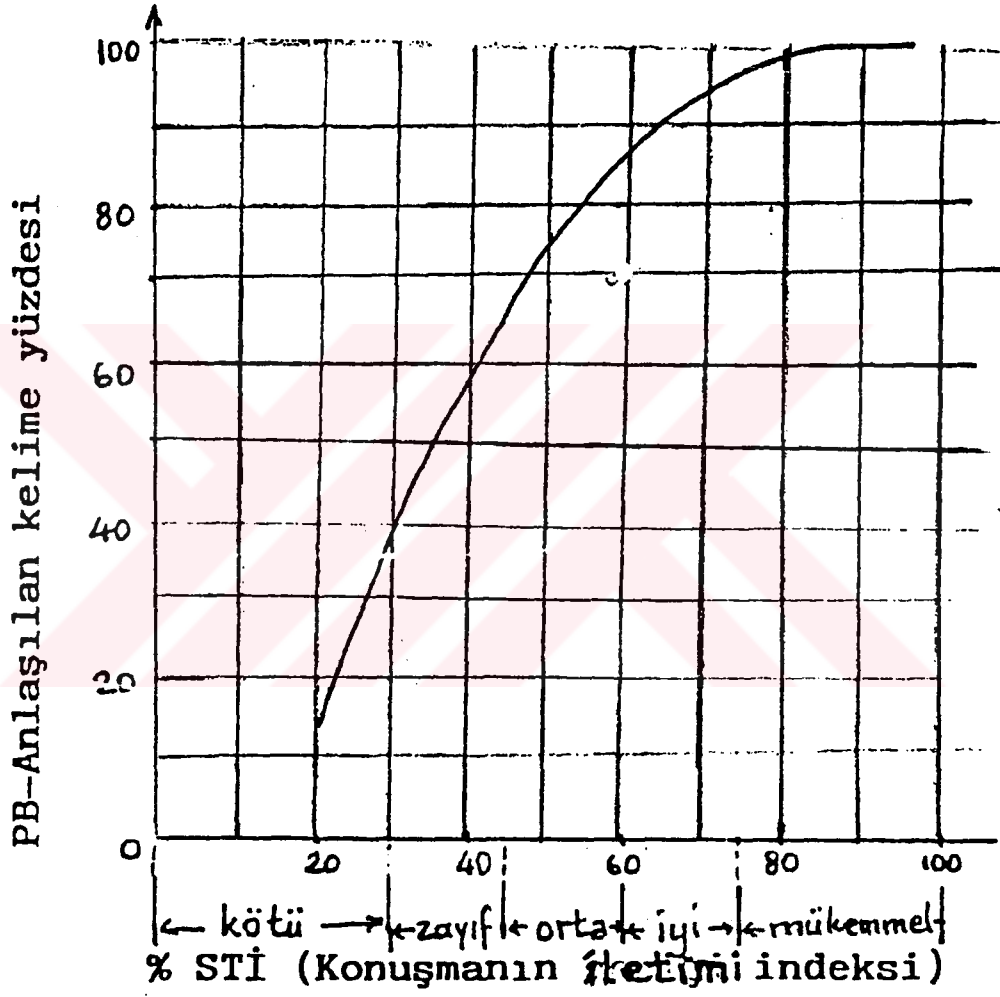
NOKTALAR	Dinleyicilerin anlamadıkları kelime sayısı										TOPLAM	Anlaşılmayan kelime yüzdesi ve standart hata
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.		
I	9	5	6	9	11	14	11	11	12	8	96	% (10 ± 1)
III	6	14	18	12	18	22	11	11	16	17	145	% $(14 \pm 1,5)$
IV	33	27	26	29	46	36	29	38	40	28	332	% (33 ± 2)
VI	18	25	26	25	33	33	17	30	33	31	271	% (27 ± 2)

Cami içinde seçilen noktalarda dinleyicilerin anlayamadıkları veya yanlış anladıkları kelime sayıları ve dinleyicilerin hata sınırları hesaplanarak Tablo-4.24'de verilmiştir. Anlayılamayan kelime sayısı toplam 844 tanedir. Toplam kelime sayısı 4000 olduğuna göre anlaşılamayan kelime sayısı yüzdesi %21,1 olur. Camiye dışarıdan gelen gürültünün çok olmaması nedeniyle ölçüler üzerinde etkinin fazla olmayacağı açıktır. Kaldı ki bu etki, hata sınırları içindedir.

Dinleyicilere okunan kelimeler, anlaşılma sayıları ve anlaşılma yüzdeleri Tablo-4.25'de verilmiştir. Anlaşılabilir kelime sayısı 3156 olduğundan toplam kelime sayısına göre yüzdesi %78,9 olur. Bu da iyi bir anlaşılabilirliktir.

Cami içinde kelimeler cümle içinde kullanılacaklarından anlaşılabilirlikleri daha da artabilecektir. Caminin mihrabına yakın bölgelerinde anlaşılabilirlik yüksektir. Diğer bölgelerdeki anlaşılabilirliğin azalması, saçılan seslerin direkt sesi maskelemeleri ve heceleri karıştırmalarından ileri gelmektedir. Yan mekânlardaki anlaşılabilirlikler hata sınırları içinde hemen hemen aynıdır. Böylece caminin anlaşılabilirlik açısından simetrik olduğu görülür.

Kullanılan 100 kelimenin anlaşılabilirlik yüzdelerine karşı gelen kelime grupları Tablo-4.26'da gösterilmiştir.



Şekil-4.24

Tablo-4.25

Kelime	Anlaşılma Sayısı	Anlaşılabilirlik Yüzdesi	Anlaşılabilirlik Yüzdesi *	Kelime	Anlaşılma Sayısı	Anlaşılabilirlik Yüzdesi	Anlaşılabilirlik Yüzdesi *
Yaz	33	%82,5	%90	Emir	16	%40	%38
Bul	19	%47,5	%54	Şut	34	%85	%94
Gel	26	%65	%79	Kör	23	%57,5	%44
Zar	26	%65	%58	Muz	26	%65	%88
Dal	30	%75	%84	Kapı	40	%100	%91
Ana	40	%100	%65	Efe	33	%82,5	%61
Kare	27	%67,5	%85	Nane	29	%72,5	%69
Koş	30	%75	%68	Göz	30	%75	%78
Rize	39	%97,5	%89	Sınav	32	%80	%51
Bez	28	%70	%21	Keçi	31	%77,5	%84
Kuş	37	%92,5	%88	Gol	22	%55	%32
Mal	22	%55	%89	İşçi	39	%97,5	%95
Gaf	2	%5	%30	Yalı	36	%90	%40
Ütü	34	%85	%81	Spor	39	%97,5	%94
Baba	30	%75	%80	Dört	34	%85	%75
Küp	32	%80	%62	Dizi	39	%97,5	%55
Arı	37	%92,5	%61	Kese	25	%62,5	%55
Van	25	%62,5	%48	Müzik	39	%97,5	%94
Saz	16	%40	%49	Tüp	32	%80	%80
Ev	36	%90	%81	Kuru	34	%85	%79
Tuz	36	%90	%91	Nem	38	%95	%96
Ay	17	%42,5	%49	Çakı	39	%97,5	%70
Dede	34	%85	%74	Kan	8	%20	%51
Yer	31	%77,5	%52	Cami	38	%95	%91

Tablo-4.25

Kelime	Anlaşılma Sayısı	Anlaşılabilirlik Yüzdesi	Anlaşılabilirlik Yüzdesi *	Kelime	Anlaşılma Sayısı	Anlaşılabilirlik Yüzdesi	Anlaşılabilirlik Yüzdesi *
Düz	28	%70	%78	Zil	36	%90	%60
Kurt	35	%87,5	%66	Türk	3	%7,5	%74
Muş	38	%95	%71	Mum	20	%50	%84
Gaz	32	%80	%44	Hava	32	%80	%88
Masa	28	%70	%82	Pil	30	%75	%32
Bal	28	%70	%61	Taş	32	%80	%92
Ses	33	%82,5	%56	Su	39	%97,5	%98
Kuzu	38	%95	%99	Müze	36	%90	%96
Nur	36	%90	%48	Kirpi	38	%95	%89
Füze	32	%80	%89	Kadı	25	%62,5	%85
Kir	37	%92,5	%68	Kova	40	%100	%55
Süt	38	%95	%86	Fizik	19	%47,5	%84
Nar	30	%75	%56	Adem	40	%100	%91
Üzüm	37	%92,5	%78	Paşa	27	%67,5	%81
Saf	4	%10	%25	Dağ	22	%55	%6
Halı	34	%85	%81	Terzi	37	%92,5	%74
Elma	35	%87,5	%94	Topuz	39	%97,5	%71
Karga	23	%57,5	%60	Musa	38	%95	%31
Boş	28	%70	%61	Şal	19	%47,5	%85
Ela	39	%97,5	%70	Dur	25	%62,5	%59
Cem	35	%87,5	%92	Mavi	38	%95	%86
Şap	34	%85	%72	Krom	35	%87,5	%30
Para	38	%95	%50	Dev	35	%87,5	%62
Sopa	34	%85	%73	Cam	37	%92,5	%98
Hap	28	%70	%55	Sır	27	%67,5	%56
Kale	21	%52,5	%39	Köy	37	%92,5	%96

* Nedim ÜRET MEN : "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi"
Doktora Tezi 1991 Edirne

Tablo-4.26

Anlaşılabilirlik Yüzdesi	Grup	Bu yüzdede kelime sayısı	Bu yüzdede kelime sayısı (*)
% 0-5 arası	1	1	-
% 6-10 arası	2	2	1
% 11-15 arası	3	-	-
% 16-20 arası	4	1	1
% 21-25 arası	5	-	2
% 26-30 arası	6	-	1
% 31-35 arası	7	-	3
% 36-40 arası	8	2	3
% 41-45 arası	9	1	2
% 46-50 arası	10	4	6
% 51-55 arası	11	4	8
% 56-60 arası	12	2	7
% 61-65 arası	13	7	6
% 66-70 arası	14	9	6
% 71-75 arası	15	7	8
% 76-80 arası	16	9	7
% 81-85 arası	17	11	12
% 86-90 arası	18	11	10
% 91-95 arası	19	16	11
% 96-100 arası	20	13	6

(*) Nedim ÜRETİMEN : "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi"
Doktora Tezi 1991 Edirne

4.3- Reverberasyon (Çınlama) Zamanı Ölçüleri

Muradiye camii'nin reverberasyon zamanı (RT)'nin değişik frekanslarda değerleri,

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \text{Ln}(1-\bar{\alpha})} = \frac{0,161 \cdot V}{-2,3 \cdot S \cdot \text{Log}(1-\bar{\alpha})} \quad (4.2)$$

şeklindeki Eyring formülü kullanılarak hesaplandı. Bu formüle;

V : Kapalı mekânın toplam hacmi (m^3),

S : Kapalı mekânın toplam yüzeyi (m^2),

α : Ortalama absorpsiyon katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Yukarıdaki formülden reverberasyon zamanı hesaplamaları aşağıdaki gibi yapıldı: Caminin yan mekânlı olması nedeniyle iki çeşit hesap yapılabilir. Bunlardan birincisi yan mekânların da hesaba katıldığı durum. İkincisi ise yalnızca ön ve aydınlatma kubbesinin (yani I ve III no.lu bölgeler -Şekil-4.4) bulunduğu dikdörtgen prizması hacimli durumdur.

4.3.1. Tüm Hacim İçin Yapılan Hesaplama :

Caminin toplam iç hacmi $V = 3990 m^3$

Caminin iç yüzeyleri toplamı $S = 1997 m^2$

1- Taban halı yüzeyi = $382 m^2$,

2- Taş yüzey = $35 m^2$,

3- Alçı sıva yüzeyi = $1480 m^2$,

4- Cam yüzeyi = $20 m^2$,

5- Ahşap yüzeyi = $30 m^2$,

6- Çini yüzeyi = $50 m^2$

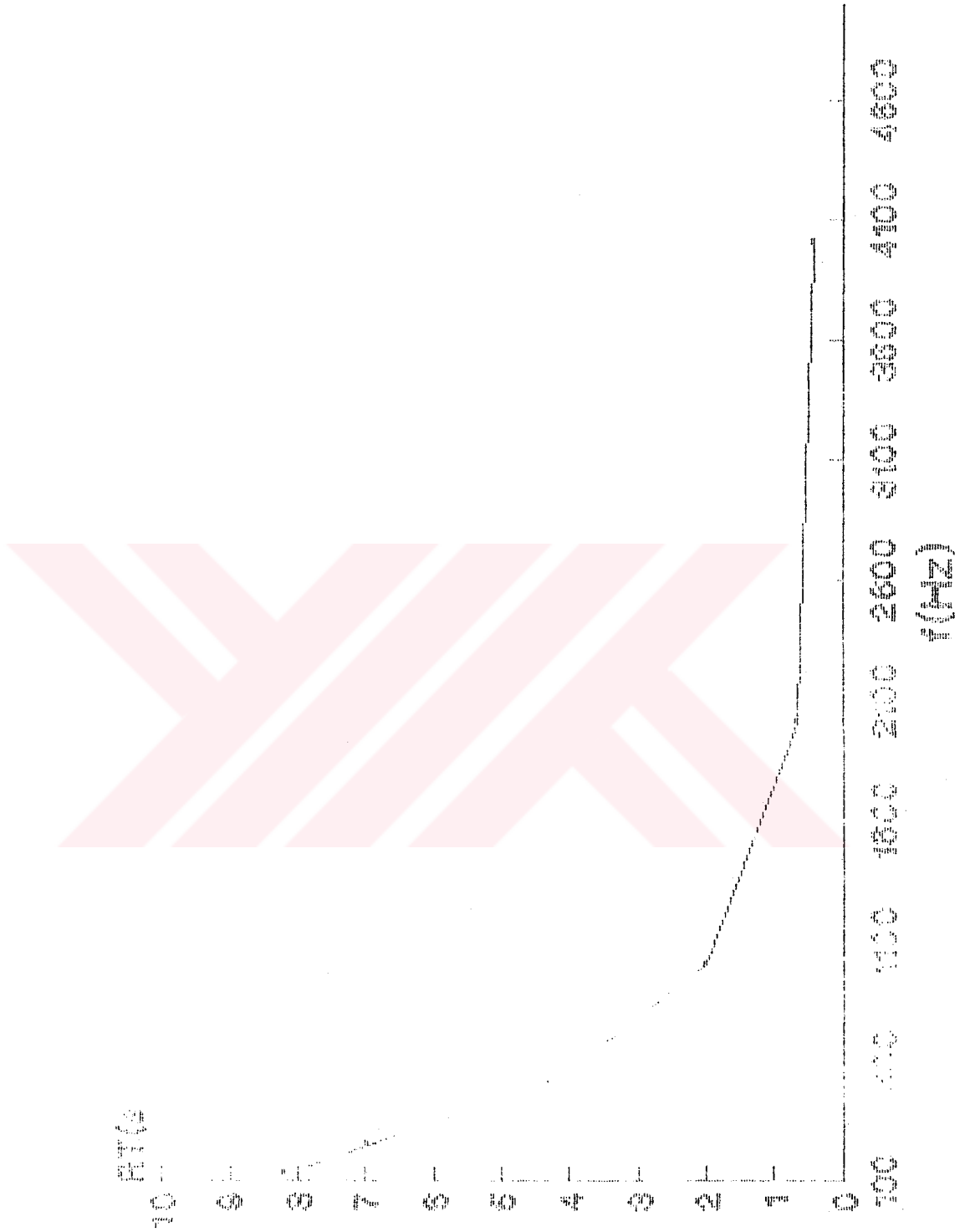
Camide bulunan yüzeylerin malzemelerinin frekansa göre (α) absorpsiyon katsayıları (m^2 başına) Tablo-4.27'de verilmiştir. Bu hacime ait hesaplanan reverberasyon zamanları frekansa bağlı olarak Tablo-4.28'de belirtilmiştir. Çizilen grafik ise Şekil-4.25'dedir.

Tablo-4.27

Yüzeyin Cinsi	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hava m^3 başına	0	0	0	0,03	0,07	0,21
Halı yüzeyi	0,1	0,15	0,25	0,30	0,30	0,030
Beton veya taş yüzey (kaba yüzü)	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Alçı sıva yüzeyi	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Kalın cam yüzeyi	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Fayans veya mermer yüzeyi	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ahşap yüzey	0,15	0,02	0,1	0,1	0,1	0,1
Oturan bir kimsenin toplam absorpsiyonu	0,18	0,46	0,46	0,46	0,51	0,46

Tablo-4.28

Hesaplanan değer	FREKANS (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,039	0,045	0,073	0,15	0,63	0,53
RT (Sn)	8,18	6,99	4,27	1,99	0,64	0,42



Şekil-4.25

4.3.2. Dikdörtgen Prizması Hacim İçin Yapılan Hesaplama :

Toplam iç hacim $V = 2380 \text{ m}^3$

İç yüzeyler toplamı $S = 1176 \text{ m}^2$

1- Taban halı yüzeyi = 212 m^2 ,

2- Taş yüzey = 35 m^2 ,

3- Alçı sıva yüzeyi = 850 m^2 ,

4- Cam yüzeyi = 11 m^2 ,

5- Ahşap yüzey = 18 m^2 ,

6- Çini yüzey = 50 m^2 ,

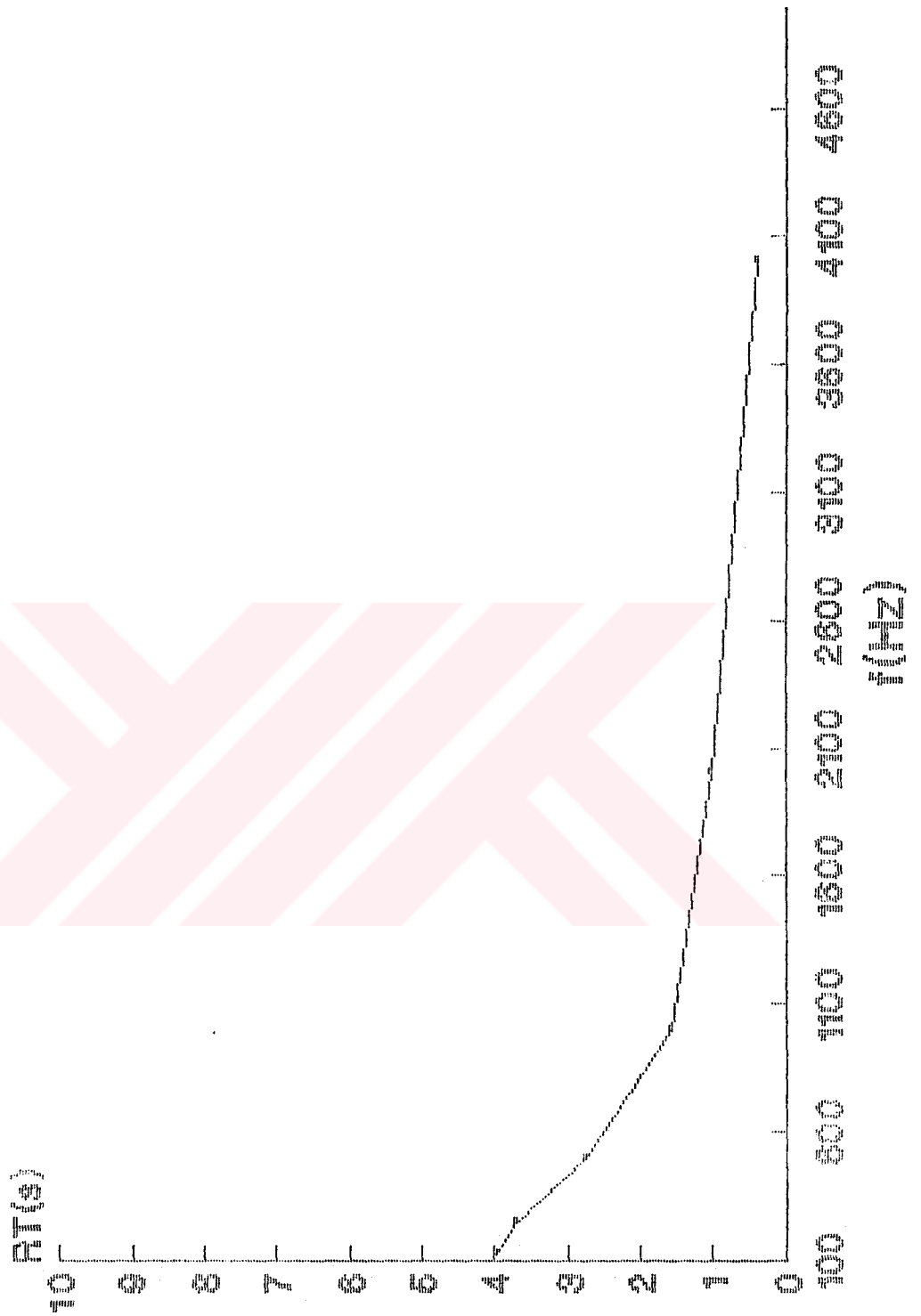
7- Yan mekân

giriş boşlukları toplam yüzeyi = $48,64 \text{ m}^2$

Yan mekân girişleri açık pencere kabul edilerek ($\alpha=1$), cami boş iken frekanslara göre hesaplanan (α) absorpsiyon katsayıları ve bunlara karşılık (RT)'ler Tablo-4.29'da verilmiştir. 4.3.1 ve 4.3.2 paragraflarında hesaplanan reverberasyon zamanlarının frekanslara göre değişimleri Şekil-4.26'da gösterilmiştir.

Tablo-4.29

Frekans (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
$\bar{\alpha}$	$7,88 \times 10^{-2}$	$8,47 \times 10^{-2}$	$11,13 \times 10^{-2}$	$18,84 \times 10^{-2}$	$27,73 \times 10^{-2}$	$57,56 \times 10^{-2}$
RT (Sn)	3,97	3,68	2,76	1,56	1,004	0,38



Şekil-4.26

V. BÖLÜM

SONUÇ

Birinci noktada radyal olarak alınan ölçülerde, 300° 'lik doğrultudan ilk saçılan sesler, direkt sese göre 8 dB kadar daha az ses basınç seviyesine sahip oluyorlar. Aynı şekilde 60° 'lik doğrultuda da direkt sese göre 7 dB'lik azalma görülmektedir. İleri doğrultudaki sesler (birinci ve ikinci mertebeden yansıyan sesler), tamamiyle saçılmış seslerden 5 dB yüksek görülüyor. Bu noktada direkt gelen seste, birinci mertebeden yansıyan sese göre bile 8 dB'lik fazlalık vardır. 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 (Şekil-4.5)

Birinci noktada azimutal doğrultuda alınan ölçülerde, ileri doğrultudan gelen sesler 13 dB daha yüksek oluyor. Mimber sesi mekânın ortasına doğru yönlendirmektedir. Dolayısı ile mihrabın sesi orta mekâna yönlendirdiği görülür (Şekil-4.6).

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 zemin gürültüsünün pek etkisinin olmayacağı düşünülebilir.

İkinci noktada radyal olarak alınan ölçülere baktığımızda, ilk yansıyan ses ile direkt gelen ses arasında 8 dB kadar fark görülür. Bu noktada da yansıyan, saçılan seslerin işitmeye hiçbir etkisinin olmayacağı açıkça anlaşılmaktadır. Mihrabın, sesi cami içine doğru yönlendirdiği görülmektedir. Burada ilk kubbenin hafif bir ses odaklanması görülmekle birlikte, direkt gelen sese göre bu ses basınç seviyesi 7 dB daha az olmaktadır. Bu nedenle odaklanmanın anlaşılabilirliği etkilemeyeceği söylenebilir (Şekil-4.9).

$\theta=90^{\circ}$ 'lik doğrultuda, tamamen saçılmış seslerin, direkt gelen sese göre 9 dB daha düşük oldukları görülmektedir (Şekil-4.10).

Üçüncü noktaya radyal olarak gelen hakim sesler, doğrudan gelen ve birincil yansıyan seslerdir. Ve direkt gelen ses ile birinci yansıyan ses arasında 3-4 dB arası bir azalma olmakla birlikte, hakim sesi direkt ve birinci yansıma ile gelen sesler olarak alabiliriz. Bu fark da anlaşılabilirliği olumsuz etkilemez. Yani anlaşılabilirlik saçılan seslerden etkilenmez. 180° civarı giriş duvarından geri doğrultuda yansıyan ses dikkate alınır; yansıyan sesin basınç seviyesini 2 dB kadar yükselttiği görülebilmekle birlikte, direkt sestən 6 dB daha aşağıda olmaktadır ki, bu da anlaşılabilirliği etkilemez (Şekil-4.11).

Mihrabın, sesi namaz kılınan mekâna doğru yönlendirdiğini görüyoruz. Kubbelerin odaklayıcı etkilerinin işitilebilirlik üzerine pek etkileyici olmayacağı (Şekil-4.12) ve (Şekil-4.13)'den görülebilmektedir.

Dördüncü ölçü noktasının bulunduğu mekâna radyal doğrultuda direkt ses gelemiyor. 60° doğrultusunda ses şiddeti maksimum görülüyor. Kanatlara giren sesler, yan duvarlarda en az iki defa yansdıktan sonra girebilmektedirler. Ve IV nolu noktada en yüksek ses şiddeti caminin mihrap-kapı doğrultusu ile 60° 'lik açı yapan doğrultudan gelmektedir (Şekil-4.14). Mihraptan bu doğrultuya gelen ses, ancak iki yansıma ile gelebilir. Kaynaktaki sese (82 dB) göre de 16 dB daha az şiddettedir. Bu doğrultudaki ses, mekânın içindeki toplam saçılmış seslere göre 3 dB kadar daha şiddetlidir.

Altıncı ölçü noktasında da aynı özellikler vardır. Bu bölmeye giren ses en az iki defa yansıyor. Fakat mihraptan çıkan sesin ilk yansımasının mimber tarafında olacağı ve mimberin saçıcı etkisi nedeniyle yansıyan ses şiddetinde, mimberin karşısındaki duvarda yansıyan sese göre şiddet daha azalacak diye düşünülebilir. Altıncı ölçü noktasına gelen seste 3 dB kadar azalma görülüyor. Bu azalmayı mimberin etkisi olarak yorumlamayı düşündük.

Şekil-4.14 ile Şekil-4.20, Şekil-4.15 ile Şekil-4.21'in ve Şekil-4.16 ile Şekil-4.22'nin karşılaştırılmasından, her iki kanat bölümlerinde akustik özelliklerin benzer oldukları görülmektedir.

Beşinci ölçü noktasında radyal doğrultulardaki ses şiddet seviyeleri incelendiğinde; cami eksenine göre (mihrap-kapı doğrultusu) sol kanadın (V. ölçü noktası) giriş kemerinin merkezindeki ses basınç seviyelerinin değişiminde (Şekil-4.17) görüldüğü gibi, radyal olarak cami eksenine ile 30° - 60° açılar arasında şiddet en fazla olmakta (2 dB kadar yükseliyor), 160° civarında caminin kapıya bakan duvarlarından

yansıyan ses nedeniyle ses basınç seviyesinin 68,5 dB'e kadar çıktığı görülmektedir. Kanattan gelen ses, ön bölgeden gelen sese göre daha düşük seviyededir. Böylece içeriden dışarıya ses enerjisi daha az çıkmaktadır.

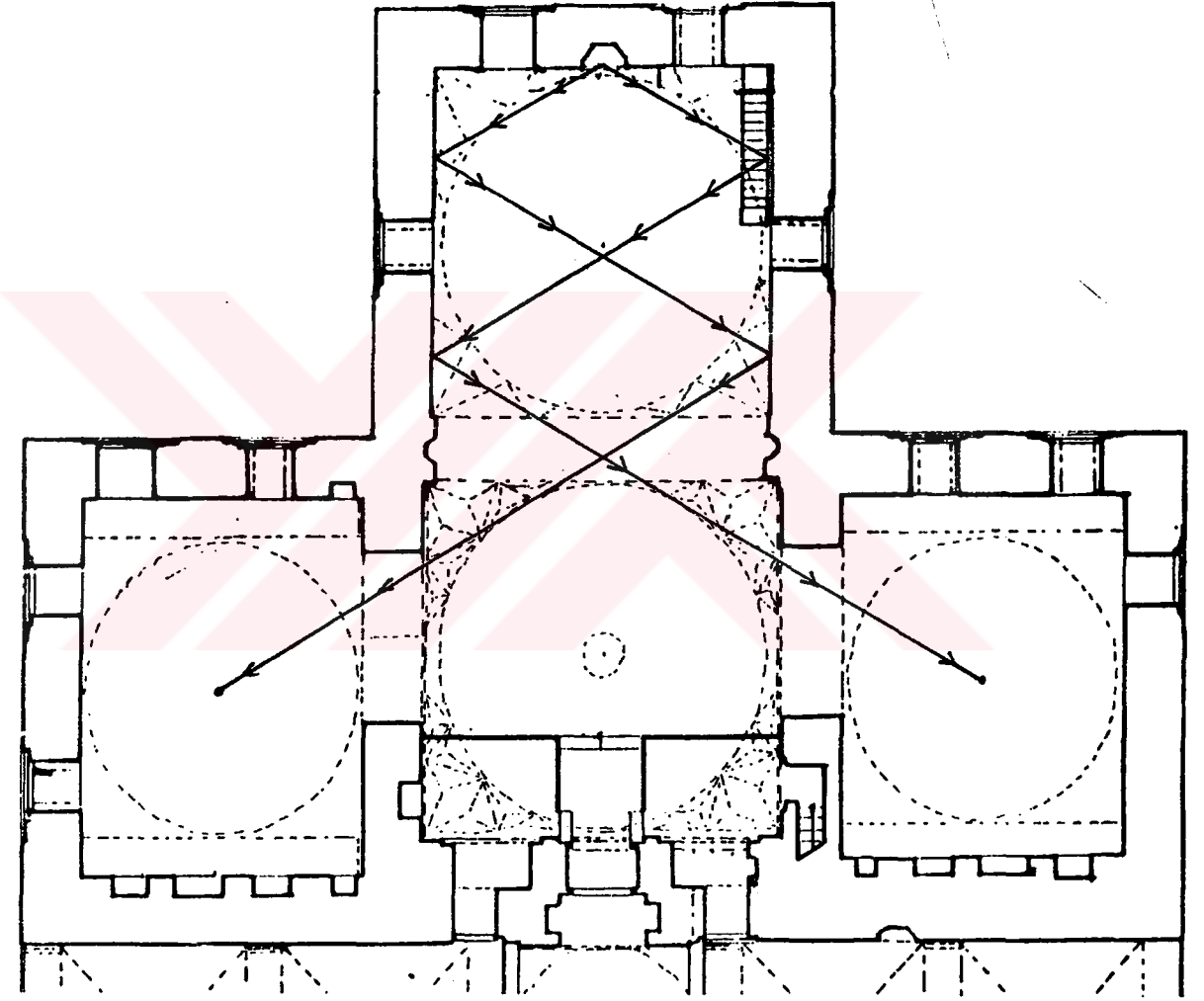
Bu noktada giriş kemeri düzleminde yapılan azimutal (cami eksenine doğrultusundaki) değişimi veren ölçülerde ses basınç seviyesinin sabit kaldığı, buna karşılık cami eksenine dik doğrultuda yapılan azimutal ölçülerde şiddet seviyesinin 10° - 15° 'den sonra 70° 'ye kadar 1-1,5 dB kadar arttığı gözlenmektedir (Şekil-4.18 ve Şekil-4.19).

Şekil-4.19'dan görüldüğü üzere, fenerli kubbeden bu mekâna gelen ses basınç seviyesinde, yatayla 90° ve 150° arasındaki doğrultularda 4 dB'e kadar varan artış gözlenmiş olup, bu artışı fenerli kubbenin ve bu bölümdeki iç bükey yüzeylerin ses odaklama etkisi olarak yorumlayabiliriz.

Cami eksenine göre sağ taraftaki kanat içinde (VI. ölçü noktası) alınan radyal ölçülerde yine 300° doğrultusunda şiddetin en yüksek olduğu görülüyor. Bu doğrultudaki ses basınç seviyesi, sol kanattaki maksimum ses basınç seviyesine göre 3,5 dB kadar daha düşük bir ses şiddeti görülmekte ve bu mekâna giren sesin, kaynaktan çıkan sesin yan duvarlardan en az iki defa yansıdıktan sonra geldiği tesbit edilebilmektedir (Sese yansıma kanunlarının uygulanmasından görülebileceği gibi-geometrik akustik-). Sol kanada göre 3,5 dB'lik azalma, sesin ilk yansımasında mimberin saçıcı etkisi ile yorumlanabilir (Şekil-5.1).

Sesin cami eksenine doğrultusunda ve eksene dik doğrultudaki azimutal açılardaki ses basınç seviye değişimleri Şekli-4.21 ve Şekil-4.22'de görülmektedir. Bu şekillerin sol kubbeye ait Şekil-4.15 ve Şekil-4.16'daki azimutal değişikliklerle karşılaştırılmasında, iki kanat arasında sesin düşey doğrultulara göre dağılımlarında farklılık olmakta ve sol kanattaki ses dağılımlarında, bu bölüm içinde bazı ses odaklama etkileri görülebilmektedir. Ve bu fark, hemen hemen birbirine denk olan her iki kanattaki anlaşılabilirlik ölçülerinde görülen farklılığın nedeni olabilir. Çünkü sol kanatta anlaşılabilirlik ($\%67 \pm 2$) iken, sağ kanatta ($\%73 \pm 2$) olmaktadır. Aradaki anlamlı farkın, sol kanattaki ses dağılımında gözlenen farktan ileri geldiği düşünülmüştür.

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



Şekil-5.1

Sanıyoruz ki; geometrik akustik, bir binanın planlamasında akustik özellikleri gözönüne almaya büyük ölçüde yardımcı olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1- Bateş Sanat Tarihi Ansiklopedisi Cilt 2, Bateş Yayınları, İstanbul 1980, S.63-71.
- 2- Sanat Tarihi Ansiklopedisi Cilt 4, Görsel Yayınlar Ansiklopedik Neşriyat Ticaret ve Sanayi A.Ş., İstanbul 1981, S.727-752 (Anadolu Türk Sanatı).
- 3- Yurt Ansiklopedisi, Anadolu Yayıncılık A.Ş., İstanbul 1982, S.2446-2448.
- 4- MURGUP NURENGİN, İSMAİL GÜL : "Edirne Anıtları Muradiye Camii"
Edirne 1982
- 5- NEDİM ÜRETMEN : "Selimiye Camisi'nin Akustik İncelemesi", Doktora Tezi,
Trakya Üniversitesi, Edirne 1991.
- 6- Prof. Dr. SITKI VELİCANGİL : "Tıbbi Biyometri (Hekimlikte İstatistik
Metodları) ve Tatbikatı", 3. Baskı, İstanbul Üniversitesi Tıp Fak. yayınlarından,
Rektörlük No : 1723, Fakülte No : 69, Sermet Matbaası, İstanbul 1972.
- 7- Dr. ZİYA GÜNER, Dr. FERİT PEHLİVAN : "Tıp ve Biyoloji Öğrencileri İçin
FİZİK DENEY KILAVUZU", Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayınlarından,
Sayı : 380, Ankara 1979.
- 8- Prof. Dr. SEDAT AKALIN : "İşletme İstatistiği", III. Baskı, Ege Üniversitesi
Matbaası, İzmir 1979.
- 9- İ. EREN BAŞARAN : "Ses Frekans Tekniği", Milli Eğitim Basımevi, İstanbul 1981.
- 10- ARTHUR BEISER : "Modern Technical Physics", Addison-Wesley Publishing
Company, California 1987.
- 11- Prof. ŞAZİ SİREL : "Yapı Akustiği I", İstanbul 1980.
- 12- T. HOUTGAST, H.J.M. STEENEKEN and R. PLOMP : "Predicting Speech

- Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function, I. General Room Acoustics" *Acoustica* Vol : 46, 1980, PP : 60-70.
- 13- PHILIP M. MORSE : "Vibration and Sound", New York, Mc Graw-Hill 1948.
- 14- Doç. CELAL ERKMAN : "Tatbiki Akustik", İstanbul 1954.
- 15- B.J. SMITH : "Environmental Physics : Acoustics", American Elsevier Publishing Company, Inc., New York 1970.
- 16- T. HOUTGAST, H.J.M STEENEKEN : "The Modulation Transfer Function in Room Acoustics", To Advance Techniques in Acoustical, Electrical and Mechanical Measurement, Brüel&Kjaer 1985.
- 17- H.J.M STEENEKEN, T. HOUTGAST : "RASTI : A tool for evaluating auditoria", To Advance Techniques in Acoustical, Electrical and Mechanical Measurement, Brüel&Kjaer 1985.
- 18- PETER B. DENES and ELLIOT N. PINSON : "Konuşma Zinciri", Çev. Neşe CÖMERTOĞLU, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir 1972.
- 19- Doç. Dr. MUTBUL KAYILI : "Sinan'ın Eserlerinde Akustik", Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul 1989.
- 20- Prof. ŞAZİ SİREL : "İşitsel Algılama ve Varlık Kriteri", İ.D.M.M.A Yayını, İstanbul 1981.
- 21- MUZAFFER ÖZER : "Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı", İstanbul " 1979.
- 22- L. E.KINSLER, A. R. FREY, A. B. COPPENS, J. V. SANDERS : "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, 1982.
- 23- E. E. MIKESKA and R. N. LANE : "Acoustical Problems in Two Round Churches", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol : 31, No : 7, PP:857-865 (1959).

- 24- ASBJÖRN KROKSTAD : "Electroacoustic Means of Controlling Auditorium Acoustics", Applied Acoustics, Vol : 24, No : 4, pp : 275-288 (1988).
- 25- M. BARRON : "The Royal Festival Hall Acoustics Revisited", Applied Acoustics, Vol : 24, No : 4, pp : 255-273 (1988).
- 26- M. BARRON : "Subjective Study of British Symphony Concert Halls", Acoustica, Vol : 66, No : 1, pp : 1-14 (1988).
- 27- A. H. MARSHALL, C.W. DAY, AND L. J. ELLIOTT : "The Acoustical Design of a 4000-Seat Church", The Journal of Audio Engineering Society, Vol : 35, No : 11, pp : 897-906 (1987).
- 28- WOLFGANG AHNERT : "Complex Simulation of Acoustic Sound Fields by the Delta Stereophony System (DSS)", The Journal of Audio Engineering Society, Vol : 35, No : 9, pp : 634-652 (1987).
- 29- K. B. GINN : "Application of B&K Equipment to Architectural Acoustics", Brüel-K Jaer, 1978.
- 30- CYRIL M. HARRIS : "Application of the Wave Theory of Room Acoustics to the Design of Auditoriums", Annals of Physics, Vol : 192, No : 1, pp : 59-65 (1989).
- 31- LOTHAR CREMER : "Early Lateral Reflections in Some Modern Concert Halls", The Journal of Acoustical Society of America, Vol : 85, No : 3, pp : 1213-1225 (1989).
- 32- Prof. Dr. MURAT ERİÇ, MERGUP NURENGİN : "Yapı Fiziği Açısından Akustik Sorunlar", İstanbul 1989.
- 33- H. KUTTRUFF : "Acoustical Design of the Chiang Kai Shek Cultural Centre in Taipei", Applied Acoustics, Vol : 27, No :1, pp : 27-46 (1989).

- 34- Akustik - Ses Şiddeti Seviyesini Hesaplama Yöntemi, Türk Standartları, TS 2494 /Ocak 1977.
- 35- Türk Birimler Sistemi (SI), Akustik Büyüklük ve Birimleri, Türk Standartları, TS 1309 / Temmuz 1989.
- 36- Akustik - Konuşmanın Anlaşılabilirliği Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi, Türk Standartları, TS 2726 / Nisan 1977.
- 37- Akustik Oditoryumlarda Çınlama Süresinin Ölçülmesi, Türk Standartları, TS 3052 / Mart 1978.
- 38- T. D. NORTHWOOD and E. J. STEVENS : "Acoustical Design of the Alberta Jubilee Auditoria", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol : 30, No :6, June 1958, pp : 507 - 516.
- 39- LEO 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, pp : 882-892.
- 40- LEO L. BERANEK : "Acoustic Measurements", John Wiley, 1949.
- 41- M. R. SCHROEDER, B. S. ATAL, G. M. SESSLER and J. E. WEST : "Acoustical Measurements in Philharmonic Hall", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol : 40, No : 2, 1966, pp : 434-440.
- 42- BENJAMIN B. BAUER, EMIL L. TORICK and RICHARD G. ALLEN : "The Measurement of Loudness Level", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol : 50, No : 2, May 1971, pp : 405-414.