

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU YÖNTEMİ İLE CAMİLERİN AKUSTİK
AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE DÜZENLENMESİ:
TRABZON VE RİZE ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Barış İLBAN

OCAK 2016
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU YÖNTEMİ İLE CAMİLERİN AKUSTİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE DÜZENLENMESİ: TRABZON VE RİZE ÖRNEĞİ**

Mimar Barış İLBAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK MİMAR"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 12 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 05 / 01 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mimalık Anabilim Dalında
Barış İLBAN Tarafından Hazırlanan**

**BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU YÖNTEMİ İLE CAMİLERİN AKUSTİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE DÜZENLENMESİ: TRABZON VE RİZE ÖRNEĞİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 12 / 2015 gün ve 1630 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Nihan ENGİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Esra LAKOT ALEMDAĞ

Nihan Engin
Mustafa Kavraz
Esra Lakot Alemdağ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. "Bilgisayar Simülasyonu Yöntemi ile Camilerin Akustik Açısından Değerlendirilmesi ve Düzenlenmesi: Trabzon ve Rize Örneği" isimli tez çalışmasını bana öneren çalışmanın her aşamasında bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen değerli hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve manevi desteğini sürekli hissettiğim Anneme teşekkür ederim.

Barış İLBAN

Trabzon, 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bilgisayar Simülasyonu Yöntemi ile Camilerin Akustik Açıdan Değerlendirilmesi ve Düzenlenmesi: Trabzon ve Rize Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 05/01/2016

Barış İLBAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|---|-------|
| ÖNSÖZ | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ | IV |
| İÇİNDEKİLER | V |
| ÖZET..... | IX |
| SUMMARY | X |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | XI |
| TABLolar DİZİNİ | XXIII |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XXV |
| 1. GENEL BİLGİLER | 1 |
| 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 1 |
| 1.2. Literatür Çalışması | 2 |
| 1.3. Akustik Bilimi | 6 |
| 1.4. Akustik Kavramlar ve Sesin Fiziksel Özellikleri..... | 7 |
| 1.5. Sesin Nesnel Parametreleri..... | 14 |
| 1.5.1. Çınlama Süresi (Reverberation Time –RT) | 14 |
| 1.5.2. Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT) | 16 |
| 1.5.3. Belirginlik (Definition -D50) | 18 |
| 1.5.4. Netlik (Clarity -C80) | 18 |
| 1.5.5. Erken Yanal Enerji Oranı (Lateral Fraction -LF80)..... | 19 |
| 1.5.6. Konuşma İletim Endeksi (Speech Transmission Index –STI) | 19 |
| 1.5.7. Toplam Ses Düzeyi / Sesslilik (Total Sound Level/ Strenght, G) | 20 |
| 1.5.8. İlk Yansıma Aralığı (Initial Time Delay Gap, ITDG) | 21 |
| 1.6. Bilgisayar Simülasyonu ve ODEON Version 10.1 Programı | 22 |
| 1.7. Tarihsel Süreçte Cami Mimarisi | 24 |
| 1.7.1. Camilerin Yapısı | 27 |
| 1.7.2. Camilerin Fonksiyonları..... | 28 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR | 29 |
| 2.1. Giriş..... | 29 |
| 2.2. Çalışma Kapsamında İncelenen Camiler | 30 |
| 2.2.1. Ayasofya Camii..... | 31 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 2.2.2. | Gülbahar Hatun Camii | 33 |
| 2.2.4. | Rize Büyük Gülbahar Camii | 37 |
| 2.2.5. | Mehmet Akif Ersoy Camii | 39 |
| 2.2.6. | Yavuz Sultan Selim Camii | 41 |
| 2.3. | Camilerin 3D Modellerinin hazırlanması..... | 43 |
| 2.4. | Simülasyon Programı İçin Yapılan Kabuller | 44 |
| 2.4.1. | Hacim ve Geometri Kabulleri | 44 |
| 2.4.2. | Doluluk Oranlarına Göre Oluşturulan Senaryolar | 45 |
| 2.4.3. | Malzemeler ile İlgili Yapılan Kabuller | 47 |
| 2.4.4. | Alıcı ve Ses kaynağı Noktalar ile İlgili Yapılan Kabuller | 52 |
| 2.5. | Programın Çalıştırılması Süreci | 56 |
| 2.6. | Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Sesin Nesnel Parametreleri ve Optimum Değer Aralıkları | 57 |
| 3. | BULGULAR VE TARTIŞMA | 60 |
| 3.1. | Giriş..... | 60 |
| 3.2. | Ayasofya Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri | 63 |
| 3.2.1. | Ayasofya Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri | 63 |
| 3.2.2. | Ayasofya Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri..... | 67 |
| 3.2.3. | Ayasofya Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri..... | 72 |
| 3.2.4. | Ayasofya Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri..... | 77 |
| 3.2.5. | Ayasofya Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri..... | 82 |
| 3.2.6. | Ayasofya Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi | 83 |
| 3.3. | Ayasofya Camii için Akustik Düzenleme Sonuçları..... | 85 |
| 3.3.1. | Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii T30 Sonuçları | 85 |
| 3.3.2. | Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii EDT Sonuçları..... | 86 |
| 3.3.3. | Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii D50 Sonuçları..... | 87 |
| 3.3.4. | Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii C80 Sonuçları..... | 87 |
| 3.3.5. | Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii STI Sonuçları..... | 88 |
| 3.4. | Gülbahar Hatun Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri..... | 89 |
| 3.4.1. | Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen T30 Sonuçlarının Analizleri..... | 89 |
| 3.4.2. | Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen EDT Sonuçlarının Analizleri | 93 |
| 3.4.3. | Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen D50 Sonuçlarının Analizleri | 98 |
| 3.4.4. | Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen C80 Sonuçlarının Analizleri | 101 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.4.5. | Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen STI Sonuçlarının Analizleri..... | 104 |
| 3.4.6. | Gülbahar Hatun Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi..... | 105 |
| 3.5. | Gülbahar Hatun Camii İçin Akustik Düzenleme Sonuçları..... | 109 |
| 3.5.1. | Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii T30 Sonuçları..... | 109 |
| 3.5.2. | Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii EDT Sonuçları | 109 |
| 3.5.3. | Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii D50 Sonuçları | 110 |
| 3.5.4. | Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii C80 Sonuçları..... | 111 |
| 3.5.5. | Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii STI Sonuçları | 112 |
| 3.6. | İskenderpaşa Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri..... | 112 |
| 3.6.1. | İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri..... | 112 |
| 3.6.2. | İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri | 117 |
| 3.6.3. | İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri | 122 |
| 3.6.4. | İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri | 127 |
| 3.6.5. | İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri | 131 |
| 3.6.6. | İskenderpaşa Camii İçin Düzenleme Önerisi | 132 |
| 3.7. | İskenderpaşa Camii Akustik Düzenleme Sonuçları..... | 135 |
| 3.7.1. | Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii T30 Sonuçları..... | 135 |
| 3.7.2. | Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii EDT Sonuçları | 136 |
| 3.7.3. | Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii D50 Sonuçları | 137 |
| 3.7.4. | Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii C80 Sonuçları | 137 |
| 3.7.5. | Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii STI Sonuçları | 138 |
| 3.8. | Rize Büyük Gülbahar Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri..... | 139 |
| 3.8.1. | Rize Büyük Gülbahar İçin Elde Edilen Camii T30 Değerlerinin Analizleri..... | 139 |
| 3.8.2. | Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri..... | 143 |
| 3.8.3. | Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri..... | 147 |
| 3.8.4. | Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri..... | 152 |
| 3.8.5. | Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri..... | 157 |
| 3.8.6. | Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi | 158 |
| 3.9. | Rize Büyük Gülbahar Camii Akustik Düzenleme Camii Sonuçları | 162 |
| 3.9.1. | Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii T30 Sonuçları..... | 162 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.9.2. | Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii EDT Sonuçları | 162 |
| 3.9.3. | Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii C80 Sonuçları | 164 |
| 3.9.4. | Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii STI Sonuçları | 164 |
| 3.10. | Mehmet Akif Ersoy Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri | 165 |
| 3.10.1. | Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri | 165 |
| 3.10.2. | Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri | 171 |
| 3.10.3. | Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri | 177 |
| 3.10.4. | Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri | 181 |
| 3.10.5. | Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri | 185 |
| 3.10.6. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Önerisi | 186 |
| 3.11. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonuçları | 190 |
| 3.11.1. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası T30 Sonuçları | 190 |
| 3.11.2. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası EDT Sonuçları | 190 |
| 3.11.3. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası D50 Sonuçları | 191 |
| 3.11.4. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası C80 Sonuçları | 192 |
| 3.11.5. | Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası STI Sonuçları | 192 |
| 3.12. | Yavuz Sultan Selim Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri | 193 |
| 3.12.1. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri | 193 |
| 3.12.2. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri | 199 |
| 3.12.3. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri | 205 |
| 3.12.4. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri | 211 |
| 3.12.5. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri | 217 |
| 3.12.6. | Yavuz Sultan Selim Camii İçin Düzenleme Önerisi | 218 |
| 3.13. | Yavuz Sultan Selim Camii Akustik Düzenleme Sonuçları | 222 |
| 3.13.1. | Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii T30 Sonuçları | 222 |
| 3.13.2. | Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii EDT Sonuçları | 222 |
| 3.13.3. | Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii D50 Sonuçları | 223 |
| 3.13.4. | Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii C80 Sonuçları | 224 |
| 3.13.5. | Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii STI Sonuçları | 224 |
| 4. | SONUÇLAR | 226 |
| 5. | ÖNERİLER | 230 |
| 6. | KAYNAKLAR | 232 |

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi
ÖZET

BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU YÖNTEMİ İLE CAMİLERİN AKUSTİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE DÜZENLENMESİ: TRABZON VE RİZE ÖRNEĞİ

Barış İLBAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ
2016, 235 Sayfa

Farklı amaçlar için tasarlanan ve çok sayıda insanın belirli amaçlar için bir arada toplanmasına imkân sağlayan yapılarda sesin ortam içerisinde dağılımı, dinleyiciler tarafından algılanması ve üzerlerinde hedeflenen etkiyi oluşturması mimari akustiğin temel konuları arasındadır. İslam Dininin ibadet mekânı olan ve çok sayıda insanın ibadet ettiği camiler de ses ile ilgili diğer mekânlar gibi mimari akustik açısından önem taşımaktadır.

Çalışmada, Trabzon'da bulunan Ayasofya, Gülbahar Hatun, İskenderpaşa, Yavuz Sultan Selim Camileri ile Rize'de bulunan Büyük Gülbahar Sultan Camii'ne ait akustik özellikler Bilgisayar Simülasyonu Yöntemi ile Sesin Nesnel Parametreleri açısından değerlendirilmiştir. İlk bölümde çalışmanın konusu ve kapsamı belirtilmiş, çalışmanın temelini oluşturacak literatür araştırması yapılmış, camilerin tarihsel gelişimi ve seçilen camiler hakkında bilgi verilmiş, akustik biliminin temel konuları ve sesin nesnel parametreleri kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde; seçilen camiler için 3D modellerin oluşturulması ve simülasyonun gerçekleştirilmesi, bu işlemlerde dikkat edilmesi gereken hususlar anlatılmış, simülasyonları yapılan faaliyet senaryoları açıklanmış, değerlendirmede esas alınan Sesin Nesnel Parametreleri ve bu parametrelerin optimum değer aralıkları belirtilmiştir. Üçüncü bölümde; simülasyon sonucu elde edilen veriler faaliyet senaryolarına göre karşılaştırılmış, Sesin Nesnel Parametre değerlerinin optimum olarak elde edildiği ve elde edilemediği durumlar değerlendirilmiş, her cami için yüzey malzemeleri üzerinde yapılan değişikliklerle optimum koşulların oluşturulmasını amaçlayan düzenleme önerileri hazırlanmıştır. Hazırlanan düzenleme önerilerine göre modeller yeniden oluşturulup simülasyon işlemi tekrarlanarak düzenleme sonrası oluşan akustik koşullar yeniden değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde; camilerin mevcut durumları ve düzenleme önerileri değerlendirilmiş, optimum değerlerin elde edilemediği durumların sebepleri ortaya konulmuştur. Son bölümde ise yeni cami tasarımları ve mevcut camilerin düzenlenmesi ile ilgili öneriler ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akustik, Cami, Sesin Nesnel Parametreleri, Simülasyon.

Master Thesis

SUMMARY

THE EVALUATION OF ACOUSTICS OF MOSQUES WITH COMPUTER SIMULATION
METHOD: THE CASE OF TRABZON AND RİZE

Bariş İLBAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa KAVRAZ
2016, 235 Pages

Distribution of sound, perception of it by audiences and aimed effects on audiences in buildings, that are designed for different purposes and serve as a gathering place for numerous people, are the principle study of architectural acoustics. Architectural acoustics plays a crucial role in mosques which are the worship places of Islam. Acoustics properties of Ayasofya, Gülbahar Hatun, İskenderpaşa, Yavuz Sultan Selim mosques in Trabzon and Büyük Gülbahar Sultan mosque in Rize are evaluated by computer simulation method, according to objective parametrics of sound.

First chapter describes the scope of the thesis, provides a literature review which is the foundation of this work, examines historic evolution of mosques, gives information about chosen mosques, and explains briefly principle subjects of acoustics and objective parametrics of sound. Second chapter explains the process of 3D reconstruction of the chosen buildings and their simulation, important points during the process, the activity scenarios used in simulations, objective parameters used in the evaluation and their optimum value boundaries. Third chapter compares the simulation results according to activity scenarios, evaluates the situations where optimum values of objective parameters are obtained and couldn't obtained, and proposes new surface material arrangements for each selected mosque to reach optimum values. 3D reconstructions of the chosen mosques are recreated according to new material arrangements to reevaluate acoustic performance.

fourth chapter evaluates current state of the mosques and proposed arrangements, and exposes the causes of the situations which couldn't obtain optimum values. The last chapter suggests design ideas for new mosques and arrangement ideas for current mosques.

Key Words: Acoustics, Mosque, Objective parameters of sound, Simulation.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 1. | Ses dalgası..... | 7 |
| Şekil 2. | Sesin yüzeyler üzerinden yansıması | 8 |
| Şekil 3. | Ses dalgasının bir yüzey üzerindeki boşluktan geçişi esnasında kırılması | 9 |
| Şekil 4. | İskenderpaşa Camii'nde oluşan ses gölgeleri | 10 |
| Şekil 5. | Farklı ses kaynaklarına ait güç düzeyleri..... | 11 |
| Şekil 6. | Genlik..... | 11 |
| Şekil 7. | Cami ibadet mekanlarının hacimlerine göre optimum RT değerlerini gösteren grafik..... | 16 |
| Şekil 8. | Yansıyan seslerin sönümlenme süreci | 17 |
| Şekil 9. | Anlaşılabilirlik oranı ve STI arasındaki ilişki | 20 |
| Şekil 10. | Alıcıya doğrudan ve yansıyarak ulaşan sesler. | 21 |
| Şekil 11. | İlk yansıma aralığı..... | 22 |
| Şekil 12. | Kâbe | 24 |
| Şekil 13. | Mescid-i Nebevi'nin ilk halinin restitüsyonu | 25 |
| Şekil 14. | Ayasofya, İstanbul | 26 |
| Şekil 15. | Rize Büyük Gülbahar Camii..... | 28 |
| Şekil 16. | Ayasofya Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları | 53 |
| Şekil 17. | Gülbahar Hatun Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları | 53 |
| Şekil 18. | İskenderpaşa Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları | 54 |
| Şekil 19. | Rize Büyük Gülbahar Camii'nde konumlandırılan zemin ve balkon katları ses kaynağı ve alıcı noktaları..... | 54 |
| Şekil 20. | Mehmet Akif Ersoy Camii'nde konumlandırılan zemin ve mahfil katları ses kaynağı ve alıcı noktaları..... | 55 |
| Şekil 21. | Yavuz Sultan Selim Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları | 55 |
| Şekil 22. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii ortalama T30 değerleri..... | 64 |
| Şekil 23. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-T30 değerleri..... | 64 |
| Şekil 24. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-T30 değerleri..... | 65 |
| Şekil 25. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-T30 değerleri..... | 65 |
| Şekil 26. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama T30 değerleri..... | 66 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Şekil 27. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-T30 değerleri..... | 66 |
| Şekil 28. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-T30 değerleri..... | 67 |
| Şekil 29. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-T30 değerleri..... | 67 |
| Şekil 30. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii ortalama EDT değerleri | 68 |
| Şekil 31. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-EDT değerleri..... | 69 |
| Şekil 32. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-EDT değerleri..... | 69 |
| Şekil 33. | Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-EDT değerleri..... | 70 |
| Şekil 34. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama EDT değerleri | 70 |
| Şekil 35. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-EDT değerleri..... | 71 |
| Şekil 36. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-EDT değerleri..... | 72 |
| Şekil 37. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-EDT değerleri..... | 72 |
| Şekil 38. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii ortalama D50 değerleri | 73 |
| Şekil 39. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-D50 değerleri | 74 |
| Şekil 40. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-D50 değerleri | 74 |
| Şekil 41. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-D50 değerleri | 75 |
| Şekil 42. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama D50 değerleri | 76 |
| Şekil 43. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-D50 değerleri | 76 |
| Şekil 44. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-D50 değerleri | 77 |
| Şekil 45. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-D50 değerleri | 77 |
| Şekil 46. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii ortalama C80 değerleri | 78 |
| Şekil 47. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-C80 değerleri..... | 79 |
| Şekil 48. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-C80 değerleri..... | 79 |
| Şekil 49. | Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-C80 değerleri..... | 80 |
| Şekil 50. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama C80 değerleri | 81 |
| Şekil 51. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-C80 değerleri..... | 81 |
| Şekil 52. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-C80 değerleri..... | 82 |
| Şekil 53. | Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-C80 değerleri..... | 82 |
| Şekil 54. | Ayasofya Camii STI değerleri | 83 |
| Şekil 55. | Ayasofya Camii düzenleme önerisine ait model | 84 |
| Şekil 56. | Ayasofya Camii Düzenleme Simülasyonu | 85 |
| Şekil 57. | Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii T30 değerlerinin değişimi..... | 86 |
| Şekil 58. | Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii EDT değerlerinin değişimi | 86 |
| Şekil 59. | Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii D50 değerlerinin değişimi | 87 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Şekil 60. | Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii C80 değerlerinin değişimi | 88 |
| Şekil 61. | Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii STI değerlerinin değişimi | 88 |
| Şekil 62. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama T30 değerleri | 90 |
| Şekil 63. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-T30 değerleri..... | 90 |
| Şekil 64. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-T30 değerleri..... | 91 |
| Şekil 65. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-T30 değerleri..... | 91 |
| Şekil 66. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama T30 değerleri | 92 |
| Şekil 67. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-T30 değerleri | 92 |
| Şekil 68. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-T30 değerleri | 93 |
| Şekil 69. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-T30 değerleri | 93 |
| Şekil 70. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama EDT değerleri | 94 |
| Şekil 71. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 95 |
| Şekil 72. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 95 |
| Şekil 73. | Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 96 |
| Şekil 74. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama EDT değerleri | 97 |
| Şekil 75. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 97 |
| Şekil 76. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 98 |
| Şekil 77. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 98 |
| Şekil 78. | Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama D50 değerleri..... | 99 |
| Şekil 79. | Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-D50 değerleri..... | 100 |
| Şekil 80. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama D50 değerleri | 101 |
| Şekil 81. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-D50 değerleri | 101 |
| Şekil 82. | Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama C80 değerleri... | 102 |
| Şekil 83. | Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 103 |
| Şekil 84. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama C80 değerleri | 104 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 85. | Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-C80 değerleri..... | 104 |
| Şekil 86. | Gülbahar Hatun Camii STI değerleri..... | 105 |
| Şekil 87. | Kontrplak levha kaplama detayı | 106 |
| Şekil 88. | Plan düzleminde Gülbahar Hatun Camii düzenleme önerisi | 107 |
| Şekil 89. | Kesit düzleminde Gülbahar Hatun Camii düzenleme önerisi..... | 107 |
| Şekil 90. | Gülbahar Hatun Camii simülasyonu | 108 |
| Şekil 91. | Akustik düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii’nde T30 değerlerinin değişimi | 109 |
| Şekil 92. | Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii’nde EDT değerlerinin değişimi | 110 |
| Şekil 93. | Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii’nde D50 değerlerinin değişimi | 111 |
| Şekil 94. | Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii’nde C80 değerlerinin değişimi | 111 |
| Şekil 95. | Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii’nde STI değerinin değişimi...112 | |
| Şekil 96. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama T30 değerleri..... | 113 |
| Şekil 97. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-T30 değerleri | 114 |
| Şekil 98. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-T30 değerleri | 114 |
| Şekil 99. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-T30 değerleri | 115 |
| Şekil 100. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama T30 değerleri..... | 116 |
| Şekil 101. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-T30 değerleri..... | 116 |
| Şekil 102. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-T30 değerleri ..117 | |
| Şekil 103. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-T30 değerleri ..117 | |
| Şekil 104. | Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii ortalama EDT değerleri..... | 118 |
| Şekil 105. | Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 119 |
| Şekil 106. | Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 119 |
| Şekil 107. | Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 120 |
| Şekil 108. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama EDT değerleri | 121 |
| Şekil 109. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-EDT değerleri..... | 121 |
| Şekil 110. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 122 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 111. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-EDT değerleri..... | 122 |
| Şekil 112. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama D50 değerleri | 123 |
| Şekil 113. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-D50 değerleri..... | 124 |
| Şekil 114. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-D50 değerleri..... | 124 |
| Şekil 115. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-D50 değerleri..... | 125 |
| Şekil 116. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama D50 değerleri | 125 |
| Şekil 117. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-D50 değerleri..... | 126 |
| Şekil 118. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-D50 değerleri..... | 126 |
| Şekil 119. | Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-D50 değerleri..... | 127 |
| Şekil 120. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama C80 değerleri..... | 128 |
| Şekil 121. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-C80 değerleri..... | 128 |
| Şekil 122. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-C80 değerleri..... | 129 |
| Şekil 123. | Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-C80 değerleri..... | 129 |
| Şekil 124. | Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii ortalama C80 değerleri..... | 130 |
| Şekil 125. | Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 130 |
| Şekil 126. | Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-C80 değerleri | 131 |
| Şekil 127. | Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-C80 değerleri | 131 |
| Şekil 128. | İskenderpaşa Camii STI değerleri..... | 132 |
| Şekil 129. | Duvar yüzeyine lamine ahşap levha kaplama detayı | 133 |
| Şekil 130. | İskenderpaşa Camii düzenleme önerisi..... | 133 |
| Şekil 131. | İskenderpaşa Camii düzenleme simülasyonu | 134 |
| Şekil 132. | İskenderpaşa Camii'nin bütün yüzeylerinin ses yansıtıcı olarak tasarlandığı hayali modeli..... | 135 |
| Şekil 133. | Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii T30 değerlerinin değişimi..... | 136 |
| Şekil 134. | Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii EDT değerlerinin değişimi | 136 |
| Şekil 135. | Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii D50 değerlerinin değişimi | 137 |
| Şekil 136. | Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii C80 değerlerinin değişimi..... | 138 |
| Şekil 137. | Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii STI değerlerinin değişimi | 138 |
| Şekil 138. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama T30 değerleri . | 139 |
| Şekil 139. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-T30 değerleri ... | 140 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 140. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-T30 değerleri ... | 140 |
| Şekil 141. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-T30 değerleri ... | 141 |
| Şekil 142. | Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama T30 değerleri | 141 |
| Şekil 143. | Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-T30 değerleri | 142 |
| Şekil 144. | Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-T30 değerleri | 142 |
| Şekil 145. | Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-T30 değerleri | 143 |
| Şekil 146. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama EDT değerleri..... | 144 |
| Şekil 147. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-EDT değerleri .. | 144 |
| Şekil 148. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-EDT değerleri .. | 145 |
| Şekil 149. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-EDT değerleri .. | 145 |
| Şekil 150. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama EDT değerleri | 146 |
| Şekil 151. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 146 |
| Şekil 152. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 147 |
| Şekil 153. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 147 |
| Şekil 154. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama D50 değerleri. | 148 |
| Şekil 155. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-D50 değerleri ... | 149 |
| Şekil 156. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-D50 değerleri ... | 149 |
| Şekil 157. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-D50 değerleri ... | 150 |
| Şekil 158. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama D50 değerleri | 151 |
| Şekil 159. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-D50 değerleri | 151 |
| Şekil 160. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-D50 değerleri | 152 |
| Şekil 161. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-D50 değerleri | 152 |
| Şekil 162. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama C80 değerleri . | 153 |
| Şekil 163. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-C80 değerleri ... | 154 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 164. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-C80 değerleri ... | 154 |
| Şekil 165. | Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-C80 değerleri ... | 155 |
| Şekil 166. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama C80 değerleri | 156 |
| Şekil 167. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 156 |
| Şekil 168. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-C80 değerleri | 157 |
| Şekil 169. | Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-C80 değerleri | 157 |
| Şekil 170. | Büyük Gülbahar Camii STI değerleri | 158 |
| Şekil 171. | Lamine ahşap levha kaplama detayı | 159 |
| Şekil 172. | Büyük Gülbahar Camii düzenleme önerisi, kible duvarı görünümü | 159 |
| Şekil 173. | Büyük Gülbahar Camii düzenleme önerisi, arka duvar görünümü..... | 160 |
| Şekil 174. | Büyük Gülbahar Camii simülasyonu modeli | 161 |
| Şekil 175. | Büyük Gülbahar Camii'nde bütün yüzeylerin yansıtıcı olduğu hayali model | 161 |
| Şekil 176. | Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde T30 değerlerinin değişimi | 162 |
| Şekil 177. | Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde EDT değerlerinin değişimi | 163 |
| Şekil 178. | Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde D50 değerlerinin değişimi | 163 |
| Şekil 179. | Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde C80 değerlerinin değişimi | 164 |
| Şekil 180. | Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde STI değerlerinin değişimi | 165 |
| Şekil 181. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama T30 değerleri | 166 |
| Şekil 182. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-T30 değerleri | 166 |
| Şekil 183. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 2-T30 değerleri | 167 |
| Şekil 184. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 3-T30 değerleri | 167 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Şekil 185. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 4-T30 değerleri..... | 168 |
| Şekil 186. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama T30 değerleri | 169 |
| Şekil 187. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 1-T30 değerleri | 169 |
| Şekil 188. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 2-T30 değerleri..... | 170 |
| Şekil 189. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 3-T30 değerleri..... | 170 |
| Şekil 190. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 4-T30 değerleri..... | 171 |
| Şekil 191. | Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama EDT değerleri..... | 172 |
| Şekil 192. | Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 1-EDT değerleri..... | 172 |
| Şekil 193. | Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 2-EDT değerleri..... | 173 |
| Şekil 194. | Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 3-EDT değerleri..... | 173 |
| Şekil 195. | Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 4-EDT değerleri..... | 174 |
| Şekil 196. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama EDT değerleri | 175 |
| Şekil 197. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 1-EDT değerleri..... | 175 |
| Şekil 198. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 2-EDT değerleri..... | 176 |
| Şekil 199. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 3-EDT değerleri..... | 176 |
| Şekil 200. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 4-EDT değerleri..... | 177 |
| Şekil 201. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama D50 değerleri..... | 178 |
| Şekil 202. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 1-D50 değerleri..... | 178 |
| Şekil 203. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alicı 4-D50 değerleri..... | 179 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Şekil 204. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii Ortalama D50 değerleri | 179 |
| Şekil 205. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1- D50 değerleri | 180 |
| Şekil 206. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-D50 değerleri | 181 |
| Şekil 207. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama C80 değerleri | 182 |
| Şekil 208. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 182 |
| Şekil 209. | Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-C80 değerleri | 183 |
| Şekil 210. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama C80 değerleri | 184 |
| Şekil 211. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 184 |
| Şekil 212. | Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-C80 değerleri | 185 |
| Şekil 213. | Mehmet Akif Ersoy Camii STI değerleri..... | 185 |
| Şekil 214. | Lamine ahşap levha kaplama detayı | 186 |
| Şekil 215. | Kontrplak kaplama detayı | 187 |
| Şekil 216. | Alçıpan kaplama detayı..... | 187 |
| Şekil 217. | Mehmet Akif Ersoy Camii akustik düzenleme önerisi | 187 |
| Şekil 218. | Mehmet Akif Ersoy Camii akustik düzenleme önerisi | 188 |
| Şekil 219. | Mehmet Akif Ersoy Camii simülasyonu..... | 189 |
| Şekil 220. | Akustik düzenleme sonrası T30 değerlerinin değişimi..... | 190 |
| Şekil 221. | Akustik düzenleme sonrası EDT değerlerinin değişimi | 191 |
| Şekil 222. | Akustik düzenleme sonrası D50 değerlerinin değişimi | 191 |
| Şekil 223. | Akustik düzenleme sonrası D50 değerlerinin değişimi | 192 |
| Şekil 224. | Akustik düzenleme sonrası STI değerinin değişimi | 193 |
| Şekil 225. | Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre ortalama T30 değerleri..... | 194 |
| Şekil 226. | Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 1 T30 değerleri.... | 194 |
| Şekil 227. | Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 2 T30 değerleri.... | 195 |
| Şekil 228. | Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 3 T30 değerleri.... | 195 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Şekil 229. | Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 4 T30 değerleri.... | 196 |
| Şekil 230. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama T30 değerleri | 197 |
| Şekil 231. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1- T30 değerleri | 197 |
| Şekil 232. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-T30 değerleri | 198 |
| Şekil 233. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-T30 değerleri | 198 |
| Şekil 234. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-T30 değerleri | 199 |
| Şekil 235. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama EDT değerleri | 200 |
| Şekil 236. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 200 |
| Şekil 237. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 201 |
| Şekil 238. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 201 |
| Şekil 239. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-EDT değerleri | 202 |
| Şekil 240. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama EDT değerleri | 203 |
| Şekil 241. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-EDT değerleri | 203 |
| Şekil 242. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-EDT değerleri | 204 |
| Şekil 243. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-EDT değerleri | 204 |
| Şekil 244. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-EDT değerleri | 205 |
| Şekil 245. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama D50 değerleri | 206 |
| Şekil 246. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-D50 değerleri | 206 |
| Şekil 247. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-D50 değerleri | 207 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 248. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-D50 değerleri..... | 207 |
| Şekil 249. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-D50 değerleri..... | 208 |
| Şekil 250. | Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama D50 değerleri | 209 |
| Şekil 251. | Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-D50 değerleri..... | 209 |
| Şekil 252. | Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-D50 değerleri..... | 210 |
| Şekil 253. | Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-D50 değerleri..... | 210 |
| Şekil 254. | Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-D50 değerleri..... | 211 |
| Şekil 255. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama C80 değerleri..... | 212 |
| Şekil 256. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-C80 değerleri..... | 212 |
| Şekil 257. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-C80 değerleri..... | 213 |
| Şekil 258. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-C80 değerleri..... | 213 |
| Şekil 259. | Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-C80 değerleri..... | 214 |
| Şekil 260. | Yavuz Sultan Selim Camii ses kaynağı noktalarına göre ortalama C80 değerleri | 215 |
| Şekil 261. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-C80 değerleri | 215 |
| Şekil 262. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-C80 değerleri | 216 |
| Şekil 263. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-C80 değerleri | 216 |
| Şekil 264. | Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-C80 değerleri | 217 |
| Şekil 265. | Yavuz Sultan Selim Camii STI değerleri..... | 218 |
| Şekil 266. | Yavuz Sultan Selim Camii akustik düzenleme önerisi, sol duvar görünümü..... | 219 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 267. | Yavuz Sultan Selim Camii akustik düzenleme önerisi, üstten görünümü..... | 219 |
| Şekil 268. | Yavuz Sultan Selim Camii simülasyonu..... | 221 |
| Şekil 269. | Yavuz Sultan Selim Camii hayali modeli | 221 |
| Şekil 270. | Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii T30 değerlerinin değişimi | 222 |
| Şekil 271. | Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii EDT değerlerinin değişimi | 223 |
| Şekil 272. | Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii D50 değerlerinin değişimi | 223 |
| Şekil 273. | Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii C80 değerlerinin değişimi | 224 |
| Şekil 274. | Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii STI değerlerinin değişimi | 225 |

TABLULAR DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|-----------|---|
| Tablo 1. | Bazı yüzey malzemelerinin ses yutma katsayıları8 |
| Tablo 2. | Oktav bantlar ve merkez frekanslara ait değerler14 |
| Tablo 3. | ODEON Version 10.1 Programı simülasyon süreci23 |
| Tablo 4. | Farklı kültürlere ait camiler27 |
| Tablo 5. | Çalışma kapsamında incelenen camilere ait sayısal veriler30 |
| Tablo 6. | Ayasofya Camii32 |
| Tablo 7. | Gülbahar Hatun Camii34 |
| Tablo 8. | İskenderpaşa Camii36 |
| Tablo 9. | Rize Büyük Gülbahar Camii38 |
| Tablo 10. | Mehmet Akif Ersoy Camii40 |
| Tablo 11. | Yavuz Sultan Selim Camii42 |
| Tablo 12. | Akustik açıdan değerlendirilen camilere ait üç boyutlu modeller43 |
| Tablo 13. | Camilerdeki farklı doluluk oranlarına ait modellerin örnekleri46 |
| Tablo 14. | Ayasofya Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları48 |
| Tablo 15. | Gülbahar Hatun Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları49 |
| Tablo 16. | İskenderpaşa Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları50 |
| Tablo 17. | Rize Büyük Gülbahar Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları50 |
| Tablo 18. | Mehmet Akif Ersoy Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları51 |
| Tablo 19. | Yavuz Sultan Selim Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları51 |
| Tablo 20. | İncelenen Camilere ait simülasyon modelleri56 |
| Tablo 21. | STI Değer aralıklarının sınıflandırılması58 |
| Tablo 22. | Camilerin akustik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları59 |
| Tablo 23. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ile önerilen malzemelere ait ses yutma katsayı değerleri84 |
| Tablo 24. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemelerin ses yutma katsayı değerleri108 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tablo 25. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve malzemelere ait ses yutma katsayıları | 134 |
| Tablo 26. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve malzemelere ait ses yutma katsayıları | 160 |
| Tablo 27. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve önerilen malzemelere ait ses yutma katsayıları | 188 |
| Tablo 28. | Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve önerilen malzemelere ait ses yutma katsayıları | 220 |

SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|-----------------------------|--|
| RT | : Çınlama süresi (Genel) |
| T30 | : Çınlama süresi (ODEON) |
| C80 | : Netlik (Clarity) |
| D50 | : Belirginlik (Definition) |
| EDT | : Erken Gecikme Süresi (Early Decay Time) |
| LF80 | : Erken Yanal Enerji Oranı (Lateral Fraction) |
| STI | : Konuşma İletim Endeksi (Speech Transmission Index) |
| RASTI | : Hızlı STI (Rapid STI) |
| G | : Toplam Ses Düzeyi/ Sesslilik (Total Sound Level/ strenght) |
| SPL | : Ses basınç düzeyi |
| V | : Hacim (m^3) |
| A | : Alan (m^2) |
| α | : Ses Yutma Katsayısı |
| s | : Yüzey Alanı (m^2) |
| f | : Frekans (Hz) |
| c | : Ses hızı (m/s) |
| λ | : Dalga boyu |
| I | : Yeğlilik (W/m^2) |
| SGS | : Ses güçlendirme sistemi |
| p | : Ses Basıncı (N/m^2) |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Mimari Akustiğin bir alt dalı olan Hacim Akustiğinin geçmişi antik çağlara kadar uzanmaktadır. Özellikle sesin etkili olduğu tiyatro ve tapınak gibi yapılarda akustik düzenlemelerin Antik Yunan ve Roma dönemlerinden beri yapıldığı bilinmektedir. Son yüzyılda bu alandaki gelişmelerle birlikte akustik konfor mimaride önemli bir tasarım kriteri haline gelmiştir.

Tiyatro salonu, sinema salonu, konser salonu, konferans salonu, opera ve bale salonu, kilise, cami gibi kullanımında ses ile ilgili olayların önemli yer tuttuğu iç mekânlar akustik konfor koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu mekânların her birinin ideal tasarımları için bilimsel literatürde çeşitli kriterler oluşturulmuştur.

Günümüzde ses düzenlemesinin önemli olduğu yeni mimari tasarımlar akustik konfor koşulları dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte mevcut yapıların da akustik konfor koşulları açısından değerlendirilmesi ve akustik nitelikleri yeterli olmayanların yapılacak düzenlemelerle akustik konfor koşullarını sağlayacak duruma getirilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, ibadet yapıları özellikle akustik açıdan değerlendirilmesi gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Camilerde gerçekleştirilen en temel faaliyetler ibadetler, vaazlar ve Kur'an-ı Kerim dinletileridir (İsmail, 2012). Bu faaliyetlerin tümü sesin algılanması ve anlaşılması ile ilgilidir (Abdou, 2003). Camiler içerisindeki sesin ibadet edenler tarafından algılanması, hedeflenen etkinin ibadet edenler üzerinde oluşması ve yapılan konuşmaların tam olarak anlaşılabilmesi, camilerin akustik performansını belirleyen etkenlerdir. Ayrıca sesin ana ibadet salonu içerisinde dengeli bir şekilde dağılması da akustik performans üzerinde önemli bir etkidir (Kavraz, 2014a) (Kayılı, 2005). Yeni cami tasarımlarında ve mevcut camilerin akustik düzenlemelerinde bu gereksinimleri karşılayacak bir akustik performans hedeflenmelidir.

Bu nedenle çalışma kapsamında, cami yapılarının ibadet bölümlerinin akustik özellikleri incelenmiştir. Bunun için Trabzon ve Rize kentlerinde bulunan 6 cami seçilmiştir. Trabzon'da bulunan, İskenderpaşa ve Gülbahar Hatun Camileri Klasik Osmanlı Cami Mimarisini değerlendirmek amacıyla, Ayasofya Camii ise kilise olarak inşa edilmiş

bir yapının cami olarak kullanımının akustik niteliklere etkisini incelemek amacıyla çalışmanın kapsamına alınmıştır. Rize'deki Büyük Gülbahar Camii tarihi değeri, küçük hacmi ve ahşap ağırlıklı iç yüzey özellikleri nedeniyle çalışma kapsamına alınmıştır. Yine Trabzon'da bulunan son dönem yapılarından Mehmet Akif Ersoy Camii büyük iç hacmi nedeniyle, Yavuz Sultan Selim Camii ise hacmine göre yüksek olan kişi kapasitesi nedeniyle çalışma kapsamına alınmıştır

Çalışmanın amacı; seçilen 6 örnek cami yapısı üzerinden camilerin akustik özelliklerini sesin nesnel parametrelerine göre, ODEON Version 10.1 programının yardımı ile değerlendirmek ve akustik özellikleri yetersiz olan durumların yüzey malzemelerinde yapılacak değişikliklerle optimum düzeylerde nasıl elde edilebileceğini araştırmaktır. Ayrıca daha önce akustik özellikleri incelenmemiş olan bu camilere ait, elde edilen nesnel parametre sonuçlarının bilimsel literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

Değerlendirme sürecinde öncelikle Sketchup 8 programında, doluluk oranları ve ses kaynağı noktalarının konumlarına göre kurgulanan senaryolar doğrultusunda camilerin 3D modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan 3D modeller ODEON Version 10.1 programına aktararak camilerin akustik simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda elde edilen sesin nesnel parametrelerine ait sonuçlar bilimsel literatürde önerilen optimum düzeylerle karşılaştırılmıştır. RT (Çınlama Süresi), EDT (Erken Düşme Süresi), D50 (Belirginlik), C80 (Netlik) ve STI (Konuşmanın İletim Endeksi) parametreleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda, önerilen optimum değerleri sağlamayan durumlar tespit edilmiştir. Tespit edilen eksiklikler doğrultusunda her bir cami için yüzey malzemesi değişimi yoluyla akustik düzenleme önerisi hazırlanmıştır. Düzenleme önerilerinde yer alan malzeme değişikliklerine göre 3D modeller yeniden hazırlanarak simülasyonlar tekrarlanmış ve düzenleme önerilerinin nesnel parametre değerlerini optimum aralıklara getirmekte ne derecede başarılı olduğu incelenmiştir. Hangi durumlarda yüzey malzemesi değişimi yoluyla yapılan düzenlemelerin yetersiz kaldığı tespit edilerek yeni cami tasarımlarında önem verilmesi gereken hususlara dikkat çekilmiştir.

1.2. Literatür Çalışması

Hacim akustiği konusunda ilk modern çalışmalar Sabine tarafından yapıldıktan sonra birçok bilim adamı tarafından yapılan farklı araştırmalarda ağırlıklı olarak konser salonları, konferans salonları, tiyatro salonları gibi sahne yapıları incelenmiştir.

Bu salonlarda ulaşılan akustik kalitenin ibadet mekânlarında da elde edilmesi için özellikle kiliseler ve camiler üzerinde de birçok araştırmalar yapılmış, yapı niteliğine özgü konfor koşulları belirlenmiştir. Bu süreç boyunca birçok ibadethane farklı bilim adamlarınca akustik açıdan değerlendirilmiştir.

Abdou (2003) “Suudi Arabistan’daki Camilerin Akustik Karakterlerinin llmesi” (*Measurements of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia*) isimli çalışmasında Suudi Arabistan’daki farklı boyut ve mimari özellikteki 21 adet camiye akustik nitelikleri bakımından incelemiştir. Hacimlerine göre camileri 5 farklı gruba ayırmıştır. Camilerin boş durumlar için ölçümler fan ve klima sistemlerinin çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Camilerin vakit namazlarında 1/3 doluluk oranı ve cuma namazlarında tam dolu durumları akustik açıdan incelenmiştir. Değerlendirme boş durumda yapılan ölçüm sonuçları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme yapılırken düşük frekanslardaki RT değerlerinin orta frekanslara göre dengede olması gerektiği ve % 10- %20 oranında bir artışın kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. RT, C50 ve STI parametre değerlerine göre yapılan değerlendirmede şu sonuçlara ulaşmıştır:

21 camiden 20’sinde RT değerleri caminin boş olduğu durumda 1.0 sn’nin üzerinde elde edilmiştir. Camilerin yarısı 1/3 doluluk oranında iken RT optimum değerlerin üzerinde çıkmıştır. Tam doluluk durumunda bir tanesi hariç bütün camilerde sonuçlar optimum değer aralığında elde edilmiştir. Gürültü düzeyleri NC-35 ile NC-45 arasında elde edilmiştir. Cami tasarımlarında nerilen NC-25 ve NC-30 aralığının sağlanması için klima ve fan sistemlerinin bakımlarının yapılması, dış duvarlarda gürültüyü azaltacak önlemlerin alınması ve balast gürültüsünü en aza indirecek kaliteli aydınlatma elemanlarının kullanımının gerektiği vurgulanmıştır. SGS (Ses güçlendirme sistemi) kullanımı birçok durumda anlaşılabilirliği artırmış, ama bu durum her camide gerçekleşmemiştir. Çalışmada, bilgisayar simülasyonları yardımıyla daha tasarım aşamasındayken camilerin akustik niteliklerinin belirlenerek tasarlanması önerilmiştir.

Carvalho ve Freitas (2011) “Acoustical Characterization of the Central Mosque of Lisbon” adlı çalışmalarında Lizbon Merkez Camii’nin akustik özelliklerini cami boş durumdayken ses güçlendirme sistemlerinin çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda yerinde ölçümler yaparak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında; çınlama süresi ve RASTI (Hızlı STI) değerleri ölçülmüştür. Çınlama süresi için Orfali (2007) ve Kayılı (2005)’nin önerdikleri optimum değer aralıkları kullanılmıştır. İlk olarak, caminin ana ibadet salonu

ve bayanlar bölümü RASTI sonuçları üzerinden karşılaştırılmıştır. İkinci olarak, ana ibadet salonunun Çınlama süresi farklı İslam ülkelerindeki benzer hacimlerdeki camilerin ve Portekiz'deki yine benzer hacimdeki Katolik kiliselerinin RT değerleri ile karşılaştırılmıştır (Carvalho ve Freitas, 2011). Çalışmanın sonunda şu sonuçlara ulaşılmıştır: Cami'de ölçülen çınlama süresi önerilen değerlerin bir miktar üzerinde elde edilmiştir. Ana ibadet salonu "Anlaşılabilirlik" açısından (RASTI nesnel parametresine göre) kabul edilebilir düzeydeyken bayanlar bölümü zayıf düzeyde kalmıştır. Ses güçlendirme sistemleri devredeyken ana ibadet salonundaki RASTI değerlerinde düşme, bayanlar bölümünde ise yükselme olmuştur. Cami'nin çınlama süresi çalışma kapsamında karşılaştırıldığı diğer camilerden bir miktar daha yüksek, yine çalışma kapsamında karşılaştırıldığı Katolik kiliselerinden ise daha düşük düzeyde elde edilmiştir.

Sü ve Yılmaz (2008) "The Acoustical Characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey" isimli çalışmalarında ODEON programı kullanarak Kocatepe Camii'nin akustik özelliklerini bilgisayar simülasyonu yöntemiyle incelemişlerdir. Cami bir kişinin 0,96 m² alan kapladığı kabul edilerek; boş, 1/3 dolu ve tam dolu olduğu üç durum için akustik açıdan incelenmiştir. İncelemede RT (Çınlama Süresi), EDT (Erken Düşme Süresi), C80 (Netlik), D50 (Belirginlik), LF (Erken Yanal Enerji Oranı) ve G (Toplam Ses Düzeyi) parametreleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. RT'nin değerlendirilmesinde Kuttruff'un, EDT'nin değerlendirilmesinde ise Templeton'un dini müzik mekanları için önerdikleri değerler esas alınmıştır. C80'nin değerlendirilmesinde; Kuttruff'un koro müziği için önerdiği -1 dB +3 dB aralığı, D50'nin değerlendirilmesinde; Templeton'un önerdiği $\geq 20\%$, LF'nin değerlendirilmesinde; Barron'un (1993) $LF \geq 0,35$ değeri, G'nin değerlendirilmesinde; Lyng'e'nin $G > 3dB$ değeri önerileri esas alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, boş durumda çınlama süresi çok yüksek değerlerde elde edilmiştir. Klasik Osmanlı Camileri tarzında inşa edilen modern betonarme bir cami olan Kocatepe Camii'nde, özellikle kubbenin betondan yapılmış olması ve oyuklu rezonatörlerin olmaması gibi sebeplerden dolayı alçak frekanslarda yüksek çınlama süreleri gibi sorunlar olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, Camide oyuklu rezonatörler yerine aynı işlevi görebilecek mikro delikli panellerin kullanılması önerilmiştir.

Kavraz (2014b) "The Acoustic Characteristics of the Çarşı Mosque in Trabzon, Turkey" adlı çalışmada Trabzon'daki Çarşı Camii'nin akustik özelliklerini Bilgisayar Simülasyonu Yöntemi ile incelemiştir. Camide mevcut durum ve duvarlarının ahşap kaplı olduğu iki farklı durumda inceleme yapılmıştır. Her iki durum için de caminin boş, yarı

dolu ve tam dolu olduğu senaryolara göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Caminin RT, EDT, C80, D50 ve LF parametrelerine göre değerlendirildiği çalışmada, ahşap kaplamanın özellikle alçak frekanslardaki RT ve EDT sürelerini düşürerek bu parametrelere ait değerlerin akustik bant frekanslarda dağılımı dengelediği sonucuna varılmıştır (Kavraz, 2014b).

Suarez vd.(2005) yaptıkları çalışmada bugün katedral olarak kullanılan Cordoba Camii'nin akustik özelliklerini incelemişlerdir. Yapının cami olarak kullanıldığı dönemdeki duruma, 15. yy'daki katedral olarak kullanılmaya başladığı duruma ve 16. yy'da yapılan eklemelerden sonraki duruma ait çınlama süreleri bilgisayar simülasyonu ile, günümüzdeki durumu ise yerinde yapılan ölçümlerle tespit edilip karşılaştırılmıştır. En yüksek çınlama süresinin yüksek hacim sebebiyle camii fonksiyonu için tespit edildiği, sonrasında yapılan eklemelerle çınlama süresinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

Habiri vd. (2013)'nin "Cami Akustik Tasarımında Bilgisayar Modellemesi için Araştırma Metodu" isimli çalışmalarında; akustik simülasyonlarda kullanılan ışın izleme, resim kaynağı ve hibrit teknikleri değerlendirilmiş, camilerin modellenmesinde bazı standartlar önerilmiştir. Çalışmada; yanlış akustik tasarım çözümlerinin çok pahalıya mal olacak sorunlara yol açabileceği, tasarım aşamasında bilgisayar simülasyonu kullanımının olası tasarım hatalarının öngörülmesinde faydalı olacağı, sonradan yapılacak müdahalelere göre çok daha hızlı ve ucuz çözümler getirebileceği sonucuna varılmıştır (Khabiri vd., 2013).

Gavrea vd. (2012) tarafından Romanya'nın Napoca şehrindeki St. Joseph Katolik Kilisesi'nde akustik çalışmalar yapılmıştır. Kilisenin mevcut durumu ve delikli alçıpan levhalar kullanılarak yapılan düzenleme sonrasındaki durumu yerinde yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir. Düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası elde edilen RT sonuçları karşılaştırılmıştır. Rumen Mimari Akustik Standartları olan STAS 9783/0 normları esas alınarak yapılan değerlendirmede, mevcut durumda yüksek olan çınlama sürelerinin yapılan akustik düzenleme sonrasında normda önerilen optimum değerlere düşürülebildiği ifade edilmiştir. Kilisenin mevcut durumundaki RT sonuçlarının, kilise içerisindeki iletişimi olumsuz etkileyecek düzeyde yüksek olduğu belirtilmiştir. Delikli alçıpanlarla yapılan düzenleme sonrasında ise sorunun tamamen giderilip RT değerleri optimum düzeylerde elde edilmiştir. Çalışmada, her salonda her dinleyici için akustik değerlerin iletişim ve dinleme şartlarını sağlayacak şekilde düzenlenmesinin önemi vurgulanmıştır (Gavrea vd., 2012).

Gül ve Çalışkan (2013), Doğramacızade Ali Paşa Camii üzerine yaptıkları çalışmada caminin akustik özelliklerini yerinde ölçüm ve bilgisayar simülasyonu yöntemleriyle incelenmişlerdir. Dolu ve boş durumlara göre yapılan incelemede, düz ve delikli ahşap paneller cami içerisine yerleştirilerek bu panellerin etkisi değerlendirilmiştir. RT, C80, STI ve SPL-A (Ses basınç düzeyi) parametrelerine ait sonuçların değerlendirildiği incelemede Cami'nin akustik niteliklerinin ideal olduğu sonucuna varılmıştır (Gül ve Çalışkan, 2013).

1.3. Akustik Bilimi

Sesin fiziksel ortam içerisindeki davranışlarını ve etkilerini inceleyen bilim dalı olan “akustik”, işitme anlamına gelen Yunancadaki “*akoustos*” sözcüğünden gelmektedir (URL-1, 2015). Sesin ortaya çıkışı, farklı ortamlar içerisinde davranış biçimi, ortam içinde yayılması, iletimi, çarptığı yüzeyler tarafından yutulması ya da yansıtılması ile bu eylemlerin insan kulağı ya da diğer objelerdeki etkileri, akustik biliminin araştırma konularını oluşturmaktadır.

Bilinen kaynaklara göre geçmişi Antik Yunan'a kadar uzanan akustik biliminde yapılan ilk çalışmaların Pisagor'un üflemeli çalgılarda ses tonuyla boru uzunluğu arasındaki ilişkiyi keşfetmesi olduğu bilinmektedir (URL-1, 2015).Yüzyıllar boyunca müzik ve mimari üzerinde yoğunlaşan akustik bilimi, modern çağda gelişip farklı kullanım alanlarına yayılmış, alt dallara ayrılarak çeşitlenmiştir. Askeri sistemlerde, bilimsel araştırmalarda, balıkçılık gibi faaliyetlerde kullanılan sonarlar, tıp alanında hastalıkların teşhisinde kullanılan stetoskop, ultrason cihazları vb. birçok teknoloji, akustik araştırmalarının bilime ve topluma olan katkıları arasında yer almaktadır.

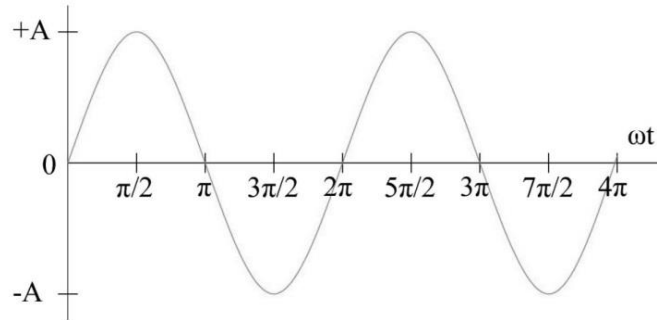
Mimari akustik alanında yapılan modern çalışmalar 1800'lerin ortalarından günümüze kadar devam etmiştir. Bu alanda önde gelen araştırmacılar; daha sonra kendi adıyla “Hotlz Rezonatörleri” adıyla da anılacak olan oyuklu (Long, 2008) rezonatörleri keşfeden ve 1860 yılında “Sesin Algılanması” (Sensation Of Sound) adlı eserini yazan Hermann von Helmholtz (1821-1894) ile sesin mekân içerisindeki davranışını araştırıp matematiksel formülünü bulan Wallace Clement Sabine'dir (1868-1919). Sesin mekân içerisindeki davranışını inceleyen Sabine'nin en önemli bulguları mekânın toplam ses yutuculuğu ve çınlama süresidir (Long, 2008).

Mimari Akustik; Hacim Akustiği ve Yapı Akustiği olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Hacim Akustiği; bir mekânın içerisindeki ses hareketlerini ve davranışını istenilen özelliklere göre şekillendirmeyi amaçlarken, Yapı Akustiği ise; mekânda genellikle istenmeyen iç ve dış kaynaklı seslerin kontrol altına alınmasını amaçlamaktadır (Karabiber, 1991).

1.4. Akustik Kavramlar ve Sesin Fiziksel Özellikleri

Akustiğin en temel unsuru sestir ve “insan kulağında işitsel duyulanma uyandırabilen maddesel ortam titreşimlerine (maddesel ortam basınç değişimlerine) ses denir” (Karabiber, 1991). Akustik tasarımda sesin ortam içinde ve ortamı sınırlandıran yüzeylerde olan davranışları büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda akustik tasarımları etkileyen kavramlar;

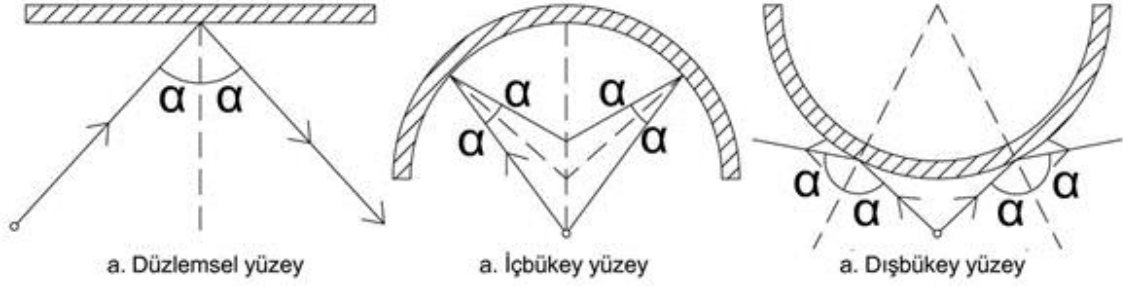
- **Ses Dalgası:** Elastiki bir ortamda taneciklerin hareketi üzerinden sesin yayılması olayı olarak ifade edilmektedir (Karabiber, 1991). Bu yayılım hareketi, durgun bir su üzerine atılan bir taşın suyun yüzeyinde oluşturduğu dalgalar şeklindedir. Kaynağından çıkan ses enerjisi frekansına bağlı olarak içinde yayıldığı elastiki ortamı oluşturan tanecikler üzerinde dalgalanmalar oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Ses dalgası (Long, 2008)

- **Sesin Yansıması:** Fiziksel olarak bir ortamda yayılan sesin ani bir yoğunluk artışıyla karşılaşınca enerjisinin bir kısmını az yoğun ortama geri yansıtmasıdır (Cowan, 2000). Yüzeyler üzerine gelen ses, yüzeyin geometrik formuna bağlı olarak farklı şekillerde yansıtılmaktadır. Düzlemsel yüzey üzerine gelen ses ışını yüzeyin normali ile

eşit açı yaparak yansımaya uğramaktadır. İç bükey ve dış bükey formlarda ise yüzey üzerine gelen ses ışını, yüzeye çarptığı noktanın teğetinin normaline eşit açı yaparak yansımaya uğramaktadır. İç bükey formda ses bir noktada odaklanırken dış bükey formda ses etrafa yayılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Sesin yüzeyler üzerinden yansımaları (Abdülrahimov, 2005).

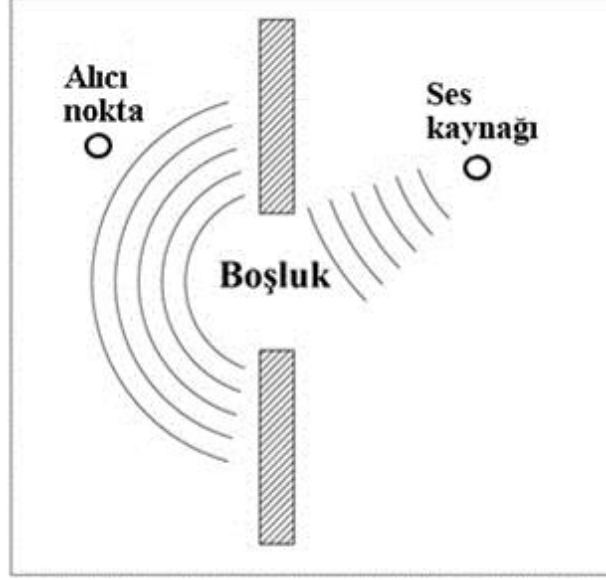
- Sesin Yutulması; Maddesel bir ortamda ilerlerken bir yüzeye çarpan ses dalgasının enerjisinin bir kısmının yüzey tarafından ısı enerjisine dönüştürülmesidir. Yüzeylerin gelen sesin ne kadarını yutup ne kadarını yansıttığı, o yüzeyin ses yutma katsayısı değerini vermektedir, “ α ” ile gösterilir. Yüzeylerin ses yutma katsayıları gelen sesin frekansına göre de değişmektedir. Eğer bir yüzey 500 Hz frekansta üzerine gelen sesin % 65’ini yutuyor, % 35’ini yansıtıyorsa o yüzeyin 500 Hz frekanstaki ses yutma katsayısı 0.65’tir. Ses yutma katsayıları her zaman 0 ile 1 arasında bir değere sahip olmaktadır (Demirkale, 2007). Tablo 1’de bazı yüzey malzemelerine ait oktav bant frekanslardaki ses yutma katsayıları yer almaktadır.

Tablo 1. Bazı yüzey malzemelerinin ses yutma katsayıları (URL-2, 2015).

| Yüzey Malzemesi | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|--|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Halı | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,15 | 0,25 | 0,45 |
| Mermer veya sırlı seramik | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Tiyatro koltuğu (ahşap, boş) | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| Tuğla | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| Sıva (alçı veya kireçi duvar üzerinde) | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Beton yüzey | 0,36 | 0,44 | 0,31 | 0,29 | 0,39 | 0,25 |

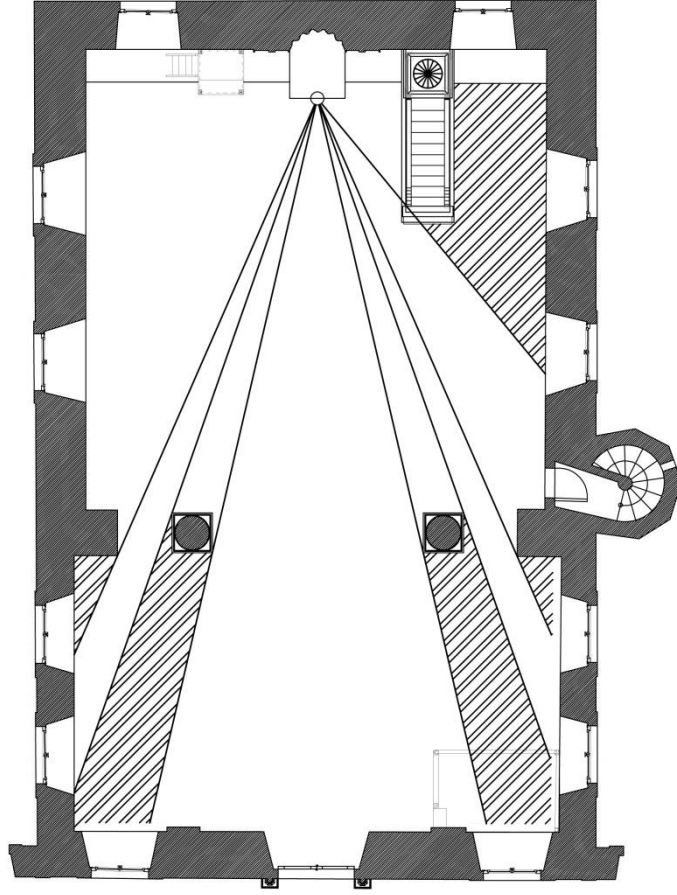
- Sesin Kırılması; Ses dalgalarının bir cisim etrafında ya da bir boşluktan geçerken yön değiştirmesi olayıdır (Şekil 3). Bu olay sesin dalga boyunun cismin ya da boşluğun

boyutundan daha büyük olması durumunda gerçekleşmektedir. Bu sebepten dolayı daha çok dalga boyu yüksek olan düşük frekanslı seslerde meydana gelmektedir (Demirkale, 2007).



Şekil 3. Ses dalgasının bir yüzey üzerindeki boşluktan geçişi esnasında kırılması (URL 2, 2015)

- Ses Gölgesi: Ses kaynağıyla alıcı nokta arasında fiziksel bir engel teşkil edecek bir cisim olduğu durumda doğrudan gelen sesin alıcıya ulaşması engellenmektedir. Ses kaynağına göre cismin arkasında kalan alıcı nokta sadece yansıyan ve kırılan sesleri algılamakta, doğrudan gelen sesi algılayamamaktadır. Aynı ışık kaynağı ile bir yüzey arasına konulan opak bir engelin gelen ışığı engelleyerek noktayı gölgede bırakması gibi, ses kaynağı ile alıcı nokta arasındaki cisim de, alıcı noktayı işitsel olarak gölgede bırakmaktadır. İskenderpaşa Camii'nde mihrap konumundaki ses kaynağına göre oluşan ses gölgeleri Şekil 4'te yer almaktadır. Kolonlar ve minberden dolayı ses gölgesinde kalan alanlar taralı olarak gösterilmektedir (Şekil 4).



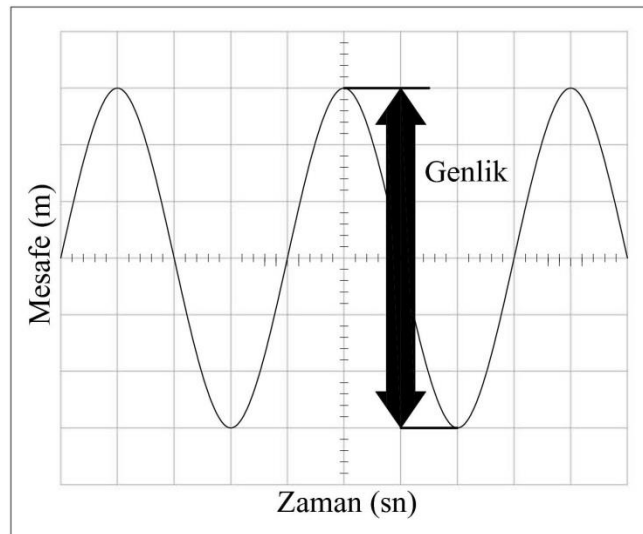
Şekil 4. İskenderpaşa Camii'nde oluşan ses gölgeleri

- **Sesin Gücü:** *Ses kaynağından birim zamanda ortama yayılan toplam ses enerjisi* olarak ifade edilmektedir (Abdulrahimov, 2003). Alıcı üzerinde ses basıncını oluşturan unsur olan ses gücünün birimi watt'tır (W) . Farklı ses kaynaklarının ürettikleri ses gücü değerleri Şekil 5'te yer almaktadır.

| Güç (Watt) | Güç düzeyi (dB ve 10^{-12} W) | | |
|-------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| 100 000 000 | 200 | Uzay roketi | (50 000 000 W) |
| 1 000 000 | 180 | | |
| 10 000 | 160 | Jet uçağı | (50 000 W) |
| 100 | 140 | Büyük orkestra | (10 W) |
| 1 | 120 | | (1 W) |
| 0,01 | 100 | Bağırarak konuşma | (0,001 W) |
| 0,000 1 | 80 | Normal konuşma | (20×10^{-6} W) |
| 0,000 001 | 60 | | |
| 0,000 000 01 | 40 | Fısıltı | (10^{-9} W) |
| 0,000 000 000 1 | 20 | | |
| 0,000 000 000 001 | 0 | | |

Şekil 5. Farklı ses kaynaklarına ait güç düzeyleri (Karabiber, 1991)

- Sesin Yeğlinliği: Belirli bir yönde, birim zamanda birim alandan geçen ses enerjisi “Sesin yeğlinliği” olarak tanımlanmakta ve. “I” harfiyle gösterilmektedir. Birimi W/m^2 ’dir (Özer, 1979).
- Sesin Genliği. *Titreşen bir taneciğın, maksimum ayırımına, titreşimin genliği denir* (Karabiber, 1991). Diğer ifadeyle, ses dalgaları hava tanecikleri üzerinden taşınırken aynı hava molekülünün bir periyod içerisinde hareket ettiği mesafe olarak tanımlanmaktadır. Ses genliği “A” ile gösterilmekte olup birimi metredir (m) (Şekil 6).



Şekil 6. Genlik (Ginn , 1978)

- Ses Basıncı: Bir ses kaynağından çıkan ses dalgalarının, ortam içerisindeki hava basıncında yaptıkları değişiklikler olarak ifade edilmektedir. Ses basıncı “p” ile gösterilmekte olup birimi N/m^2 ’dir (Karabiber, 1991).

İnsan kulağı, $2 \times 10^{-5} N/m^2$ (işitme alt eşiği) ile $20 N/m^2$ (işitme üst eşiği) arasındaki sesleri algılayabilmektedir (Özer, 1979).

- Sesin Frekansı: İnsan kulağında işitsel duyulanma uyandıran maddesel ortamdaki titreşimler olan ses, bu titreşimlerin dalgalar yoluyla maddesel ortamda taşınmasıyla iletilmektedir. Bu titreşimlerin sıklığı, sesin niteliğinin belirlenmesinde önemli bir etkindir ve 1 saniyedeki titreşim sayısı o sesin frekansını ifade etmektedir. Frekans, “f” ile gösterilmekte olup birimi Hz (hertz)’dir (Karabiber, 1991).

İnsan kulağının algıladığı ses aralığı 16 -20000 Hz arasındaki titreşimlerdir. Bu aralık insanın kulak hassasiyetine bağlı olarak değişmektedir (Özer, 1979).

- Ses Hızı (Sesin Yayılma Hızı): Ses dalgalarının ortam içerisindeki iletilme hızı olarak ifade edilmektedir. Bu hız ortamın yoğunluğuna ve esnekliğine bağlı olarak değişmekte olup “c” ile gösterilmektedir. Mimari akustikte sesin mekân içerisindeki, yani havadaki yayılma hızı ön plana çıkmaktadır. Bu hız ortamdaki sıcaklık, nem oranı, atmosfer basıncı gibi etkenlere göre değişmekte olup, ortalama olarak oda sıcaklığında ($+20 C^0$) $344 m/sn$ ’dir (Karabiber, 1991).

- Sesin Dalga Boyu: Frekans ve ses hızına bağlı bir değişken olan dalga boyu, ses dalgasının iki basınç ve iki gevşeme bölgesi arasındaki dik uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel ifadeyle, ses hızının sesin frekansına olan oranı olan dalga boyu “ λ ” ile gösterilmektedir (Abdülrahimov, 2005) Sesin dalga boyu;

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

bağlantısı ile ifade edilmektedir. Burada; λ : .Dalga boyu (m), c: Ses hızı (m/sn), f: Frekans (Hz) ’tır.

- Desibel: Sesin algısal büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. İnsan kulağı 0,0002 mikrobar- 200 mikrobar aralığındaki sesleri algılayabilmektedir. Bu aralığın altındaki değerler insan kulağı tarafından algılanamamakta, üstündeki değerler ise kulakta acı hissi oluşturmaktadır. Belirtilen aralığın alt ve üst sınırlarının sayısal değerleri arasında 10^6 kat

fark bulunmaktadır. Ses gücü akustik basıncın karesi ile orantılı olduğu için en alt değeri ve en üst değeri arasındaki fark 10^{12} kata çıkmaktadır. Bu aralığın logaritmik olarak 12 parçaya bölünmesiyle ses şiddetini ölçen yeni bir birim oluşturulmuş ve Alexander Graham Bell'in soyadına ithafen "bell" olarak adlandırılmıştır. Fakat 12 birimden oluşan bu skalanın hesaplarda yeterli olmaması nedeniyle 1 bell'in 10^5 'a bölünmesiyle elde edilen "desibel" birimi ortaya çıkmış ve uluslararası standart olarak benimsenmiştir (Özer, 1979). Desibel'in ses gücü ve ses basıncı ile arasındaki ilişki 4 v 5 numaralı formüllerde yer almaktadır.

$$1 \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}, \text{ dB} \quad (\text{sesin gücü esas alınarak}) \quad (2)$$

w: ölçüm anındaki ses gücü (watt), w_0 : Denge durumundaki ses gücü (watt)

ya da

$$1 \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}, \text{ dB} \quad (\text{sesin basıncı esas alınarak}) \quad (3)$$

P: Ölçüm anındaki ses basıncı (N/m^2), P_0 : Denge durumundaki ses basıncı (N/m^2).

- Oktav Bant Frekans Aralıkları: İnsan kulağının algılayabileceği frekanslar olan 16-20000 Hz aralığı 19984 adet tam sayı değerinde ve sonsuz sayıda ara değerde frekans içermektedir. Her frekansta ayrı ayrı işlem yapmak zor olacağı için bu frekanslar bazı aralıklara bölünerek gruplandırılmıştır. Oktav bant adı verilen bu aralıklarda her bandın üst sınırı alt sınırının iki katına eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Her oktav bant aralığı o aralığa ait merkez frekans ile adlandırılmaktadır. Merkez frekans, oktav bandın alt ve üst sınır frekanslarının geometrik ortalaması olarak ifade edilmektedir (Demirkale, 2007). Oktav bantların alt sınır, üst sınır ve merkez frekansları Tablo 2'de yer almaktadır.

Merkez frekansı;

$$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (4)$$

formülü ile elde edilmektedir. Burada; f: Merkez frekans (Hz), f_1 : Alt sınır frekans (Hz), f_2 : Üst sınır frekans (Hz).

Tablo 2. Oktav bantlar ve merkez frekanslara ait değerler (Demirkale, 2007).

| Alt Sınır Frekansı (f1) | Orta Sınır Frekansı (f2) | Merkez Frekansı (f) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| 22 | 44 | 31,5 |
| 44 | 88 | 63 |
| 88 | 177 | 125 |
| 177 | 354 | 250 |
| 354 | 707 | 500 |
| 707 | 1414 | 1000 |
| 1414 | 2828 | 2000 |
| 2828 | 5656 | 4000 |
| 5656 | 11312 | 8000 |
| 11312 | 22624 | 16000 |

1.5. Sesin Nesnel Parametreleri

Hacim akustiği araştırmalarının hedefi olan ideal akustik konfor koşullarının sağlanması için, öncelikle o koşulların neler olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Farklı fonksiyonel amaçlar için tasarlanan mekanlarda akustik açıdan optimum konfor koşulları da farklılıklar göstermektedir. Bu hedeflenen koşullar doğrultusunda, yapının akustik niteliklerini değerlendirebilmek amacıyla bazı kriterler geliştirilmiştir. Bu kriterler sesin nesnel parametreleri ve öznel parametreleri olarak iki grup altında incelenmektedir. İnsanın sesi algılama tarzı üzerinde şekillenen öznel parametreler, kişiye ve algı kapasitesine göre değişmektedir. Çağdaş ölçüm teknikleri ve cihazların da gelişimiyle beraber mekânların akustik niteliklerinin pratik ve objektif olarak değerlendirilebilmesi amacıyla nesnel parametreler geliştirilmiştir. Bu parametreler;

1.5.1. Çınlama Süresi (Reverberation Time –RT)

Kaynağından çıkan ses mekân içeresine yayılırken, hem doğrudan hem de mekânın iç yüzeylerinden yansıyarak alıcıya ulaşmaktadır. Yansıyan sesler alıcıya, doğrudan ulaşan seslere göre daha fazla yol kat ederek ulaştığı için, doğrudan ulaşan sesle arasında zaman farkı (gecikme süresi) oluşmaktadır. Mekânın farklı yüzeylerinden yansıyan sesler farklı gecikme süreleri ile alıcıya ulaşmaktadır. Böylece aynı ses alıcı tarafından farklı zaman aralıklarında birkaç defa algılanmakta ve ses kaynağı sustuktan sonra da ses alıcı

tarafından bir süre daha algılanmaya devam etmektedir. Bu durum ortamda çınlayan bir etki oluşturmaktadır. Çınlama süresi, ses kaynağı sustuktan sonra alıcı noktadaki ses düzeyinin 60 dB azalması için geçen süre olarak tanımlanmaktadır ve “RT” ile gösterilmektedir. İlk olarak W.C. Sabine tarafından tanımlanan çınlama süresi, modern akustik araştırmalarda kullanılan en eski nesnel parametredir (Mehta vd. 1999).

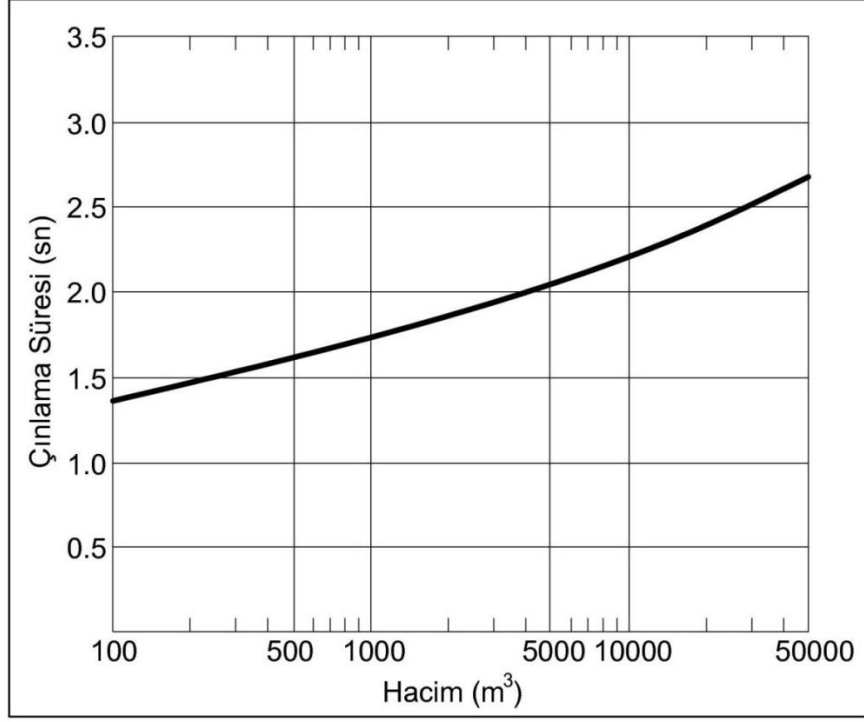
Çınlama süresinin uzunluğunu belirleyen faktörler; mekânın hacmi ve iç yüzey kaplama malzemelerinin ses yutma katsayı değerleridir. Sabine Formülü’ne göre çınlama süresi hacim ile doğru, yüzeylerin ortalama ses yutma katsayı değeri ile ters orantılıdır. Malzemelerin ses yutma katsayıları sesin frekansına göre değiştiği için, mekânlardaki çınlama süreleri de ortamdaki sesin frekansına bağlı olarak değişmektedir.

$$RT = \frac{0,161 \times V}{A}, \text{sn} \quad (5)$$

Bu formülde, RT: Çınlama süresi (sn), V mekânın hacmi (m^3) ve A yüzeyin toplam ses yutuculuğu (m^2), dir. Toplam ses yutuculuğu, farklı malzemelerden oluşan yüzeylerin her birinin yüzey alanı ile o yüzeye ait ses yutma katsayılarının çarpılıp, her farklı yüzey için elde edilen sonuçların toplanmasıyla elde edilmektedir.

$$A = \sum_i \alpha_i s_i = \alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2 + \alpha_n s_n, m^2 \quad (6)$$

α : Malzemenin ses yutma katsayısı, s: malzemenin yüzey alanı (m^2), dir. Şekil 7’deki grafikte camilere ait orta frekanslardaki optimum RT değerleri yer almaktadır.

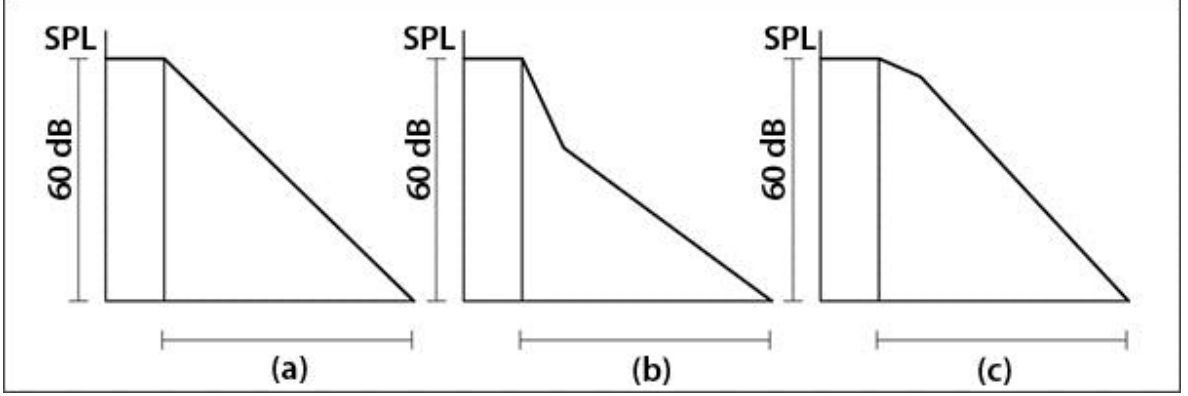


Şekil 7. Cami ibadet mekanlarının hacimlerine göre optimum RT değerlerini gösteren grafik (Kayılı, 2005)

1.5.2. Erken Düşme Süresi (Early Decay Time – EDT)

Sesin oluşturduğu çınlamayı tanımlayan diğer bir parametre ise Erken Düşme Süresi (EDT)'dir. EDT ses kaynağının kapatılmasından sonraki süreçte sesin 10 dB'lik düşüşü için geçen sürenin 6 katı olarak ifade edilmektedir (Beranek, 1996). Yansıyan sesler mekânın geometrisine göre farklı uzaklıktaki yüzeylerden alıcıya farklı zamanlarda ulaştıkları için ses basıncındaki sönümlenme her zaman doğrusal oluşmamaktadır. Yansıyan seslerin sönümlenme sürecinin ifade edildiği Şekil 8'de; (a) düzgün ve orantılı olarak sönümlenen ses basıncını, (b) başlangıçta hızlı düşüp sonraki süreçte düşüş hızı azalarak sönümlenen ses basıncını, (c) ise başlangıçta yavaşça sönümlenip daha sonra düşme hızı artarak sönümlenen ses basıncını göstermektedir. (a) Durumu; erken ve geç yansıyan seslerin alıcıya dengeli bir şekilde ulaştığını göstermektedir. Bu, ideal olan durumdur fakat gerçekte bu şekilde bir ses düşüşü gerçekleşmemektedir. Hatta RT ve EDT değerlerinin eşit olduğu salonlarda bile sönümlenme grafiğinde kırılmalar oluşmaktadır (Kurtulan, 2009). (b) durumu başlangıçta hızlı bir sönümlenme olduğunu ve geç yansımaların ağırlıkta olduğunu, yani toplam yansıyan ses enerjisinin çoğunluğunun

çınlama süresinin geç safhalarında yoğunlaştığını göstermektedir. (c) durumu ise erken yansıyan ses enerjisinin ağırlıkta olduğunu göstermektedir (Ateş, 2007).



Şekil 8. Yansıyan seslerin sönümlenme süreci (Ateş, 2007).

Erken yansıyan seslerin etkili olması yani çınlama süresinden daha yüksek çıkan EDT değerleri konuşmaların daha net olarak anlaşılmasını sağlarken tam tersi durum ise müziğe canlılık kazandırmaktadır. Çınlama süresi yansıyan seslerin hepsini kapsarken EDT'nin sadece ilk yansımaları esas alması nedeniyle, EDT değeri çınlama süresinden farklı olarak hacmin geometrisinin mekânın akustiğine etkisini inceleme imkânı vermektedir (Balcı, 2007). Konser salonları için yapılan araştırmalara göre akustik olarak en başarılı kabul edilen konser salonlarında EDT'nin çınlama süresinden % 10 fazla olduğu gözlenmiştir (Kurtulan, 2009).

Gade (1989) ise RT ve EDT arasındaki ilişkiye daha farklı yaklaşmış, EDT'nin çınlama süresinin 1.1 katından 0,02 sn eksik olması gerektiğini ortaya koymuştur (Gade, 1989);

$$EDT_{mid} = 1.1 RT_{mid} - 0,02 \text{ ,sn} \quad (7)$$

Burada; EDT_{mid} : Orta frekanslardaki EDT değeri (sn), RT_{mid} : Orta frekanslardaki RT değeri (sn).

1.5.3. Belirginlik (Definition -D50)

Thiele tarafından 1953 yılında ortaya konulan Belirginlik parametresi konuşmanın anlaşılması ile ilgili en eski parametrelerden biridir (Balcı, 2007). Belirginlik, ses kaynağının kapatılmasından sonra sesin mekân içerisinde sönümlenmesi sırasında, doğrudan sestten sonraki ilk 50 ms'de alıcıya ulaşan ses enerjilerinin toplam ses enerjisine oranı olarak ifade edilmektedir. Konuşma sırasında ilk 50 ms sürede alıcıya ulaşan yansıyan sesler faydalı ses, sonrasında ulaşan yansıyan sesler ise maskeleyici ses olarak kabul edilmektedir (Barron, 1993). Belirginlik değeri;

D50 = (Erken enerji/ Toplam yansıyan enerji)

$$D50 = (\text{Enerji}_{0-50} / \text{Enerji}_{0-\infty}), \% \quad (8)$$

veya

$$D50 = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}, \% \quad (9)$$

formülleri ile elde edilmektedir. Burada D50: Belirginlik (%), p: ses basınç düzeyi (dB)'dir.

1.5.4. Netlik (Clarity -C80)

Kapalı bir mekanda ses kaynağı kapatıldıktan sonra, sesin mekan içerisinde sönümlenmesi sırasında doğrudan sestten sonraki ilk 80 ms'lik sürede alıcıya ulaşan yansıyan ses enerjilerinin 80 ms'den sonra alıcıya ulaşan yansıyan ses enerjilerine oranı olarak ifade edilmektedir. Reicharts müziğin algılanması için en uygun sürenin 80 ms olduğunu belirlemiş ve müziğin netliği parametresini ortaya koymuştur (Barron, 1993). Müzik seslerinin yansımalarının konuşma sinyallerine göre daha az algılanabilir olmasından dolayı 80 ms'lik sınır müziğin algılanması için 50 ms'lik sınıra göre daha gerçekçidir (Ateş, 2007). Netlik değeri;

$$C_{80} = (\text{Enerji}_{0-80} / \text{Enerji}_{80-\infty}), \text{ dB} \quad (10)$$

ya da

$$C_{80} = \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt}, \text{ dB} \quad (11)$$

Formülleri ile ifade edilmektedir. Burada C80 (dB): Netlik, p: Ses basınç düzeyi (dB)'dir.

1.5.5. Erken Yanal Enerji Oranı (Lateral Fraction -LF80)

Dinleyicinin akustik kuşatılmışlığını belirleyen parametre olan LF80, mekânsal etkiyi sayısal olarak tanımlamaktadır. Bu parametre Barron ve Marshall tarafından 1981 yılında mekânsal algılama üzerine yapılan çalışmalar sonucu ortaya konulmuştur (Balcı, 2007). LF80 parametresi, bir mekânda, ses kaynağı kapatıldıktan sonra, sesin mekan içerisinde sönümlenmesi esnasında, doğrudan ulaşan sesteki sonraki ilk 80 ms içerisinde alıcıya hacmin yan yüzeylerinden yansiyarak ulaşan toplam ses enerjisinin ilk 80 ms içerisinde alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranıdır olarak ifade edilmektedir (Long, 2008). Erken yanal ses oranı;

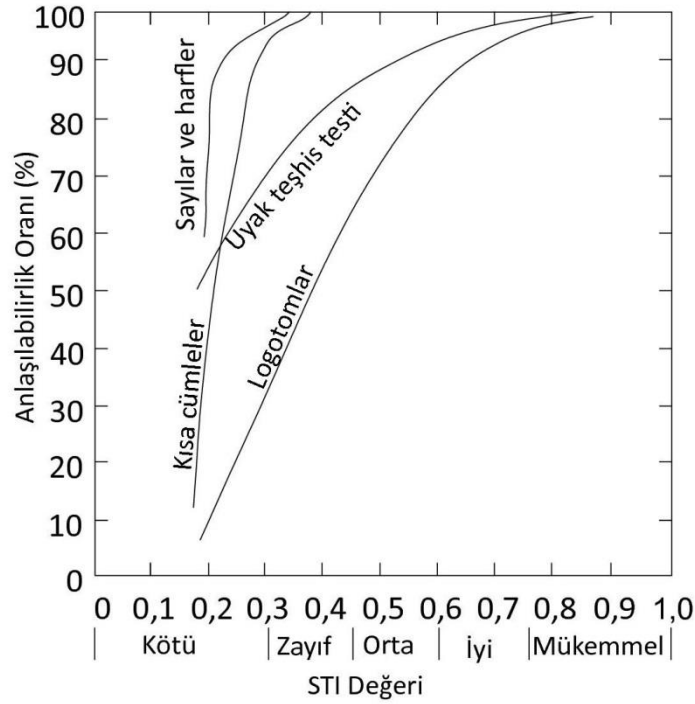
$$LF_{80} = \frac{\int_5^{80} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_0^{80} p^2(t) dt}, \text{ dB} \quad (12)$$

LF80: Erken yanal enerji oranı, dB Cos θ : gelen sesin yönü ile dinleyicinin kulak aksı arasındaki açı, p: ses basınç düzeyi

1.5.6. Konuşma İletim Endeksi (Speech Transmission Index –STI)

Bir mekândaki konuşmanın dinleyici tarafından anlaşılabilirliğini ölçmek için farklı parametreler geliştirilmiştir. Bu parametrelerden logotom adı verilen, dinleyici tarafından anlaşılabilen hecelerin yüzdesini ölçen “articulation index” (AI) ve dinleyici tarafından yanlış anlaşılan sessiz harflerin oranını ölçen AL_{cons} gibi parametreler ilk kullanılan kriterler olmuştur. Fakat öznel algıya dayanan; tasarım aşamasında öngörülemeyen ve

tesbiti için çok sayıda kişiyle deneyler yapılmasını gerektiren bu parametreler yerine aletlerle ölçülebilir pratik bir kriter gerekli olmuştur (Kurtulan, 2009). Bunun için ilk olarak iki Hollandalı bilim adamı Houstgast ve Steeneken insan sesinin bazı özelliklerini taklit edebilen “ Modulation Transfer Function” (MTF) isimli bir ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Konuşmanın AI ve AL_{cons} parametreleriyle olan ilişkisine benzer şekilde Konuşma İletim Endeksi (Speech Transmission Index – STI) parametresi geliştirilmiştir. (Kurtulan, 2009) Şekil 9’da STI değerlerinin farklı konuşma biçimlerinin anlaşılabilirlik oranları ile olan ilişkileri yer almaktadır (Şekil 9).



Şekil 9: Anlaşılabilirlik oranı ve STI arasındaki ilişki (Long, 2008).

1.5.7. Toplam Ses Düzeyi / Seslilik (Total Sound Level/ Strenght, G)

Kaynağından çıkan sesin bir ortamda oluşturduğu ses basıncının, aynı kaynaktan çıkan sesin kaynağa 10 m mesafede yansısız olarak oluşturduğu ses basınç düzeyine oranı olarak ifade edilen “Seslilik” parametresinin birimi Desibell (dB)’dir (Barron, 1993).

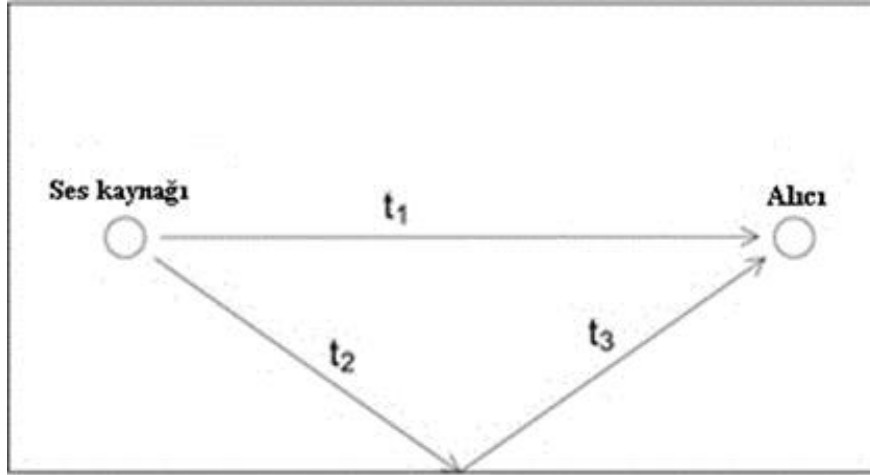
Seslilik;

$$G = 10 \log \left(\frac{\int_0^{\infty} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

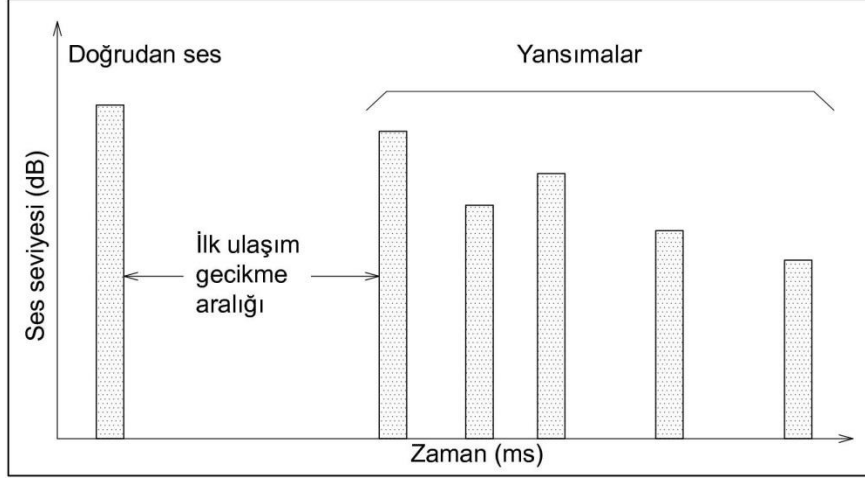
formülü ile elde edilmektedir. Burada; G: seslilik (dB), p: ses basınç düzeyi(dB)'dir.

1.5.8. İlk Yansıma Aralığı (Initial Time Delay Gap, ITDG)

Kaynağından çıkan ses alıcıya doğrudan ve mekân içerisindeki yüzeylerden yansıtılarak ulaşmaktadır. Alıcıya yüzeylerden yansıtılarak ulaşan sesler doğrudan ulaşan sese göre daha uzun mesafe kat etmektedirler (Şekil 10). Bu nedenle alıcıya doğrudan ulaşan sesler ile yansıtılarak ulaşan sesler arasında zaman farkı oluşmaktadır. Bir ses kaynağından çıkan sesin doğrudan alıcıya ulaşmasından sonra aynı sese ait ilk yansımanın alıcıya ulaşmasına kadar geçen süre ilk yansıma aralığı olarak ifade edilmektedir (Şekil 11) (Ateş, 2007).



Şekil 10. Alıcıya doğrudan ve yansıtılarak ulaşan sesler. t_1 : alıcıya doğrudan ulaşan ses, t_2 : mekânın iç yüzeyine gelen ses, t_3 : alıcıya yansıtılarak ulaşan ses.



Şekil 11. İlk yansıma aralığı (Ateş, 2007).

İlk yansıma aralığı ile sesin samimiliği belirlenmekte olup belirginlik ve netlik parametrelerini de etkilemektedir. ITDG değerinin yükselmesi bu parametrelerin hepsinin değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sesin nesnel parametre değerlerinin optimum aralıklarda elde edilebilmesi için camilerde kişi başına düşen iç mekan hacminin yaklaşık 10 m^3 olması önerilmektedir (Sayigh, 1990).

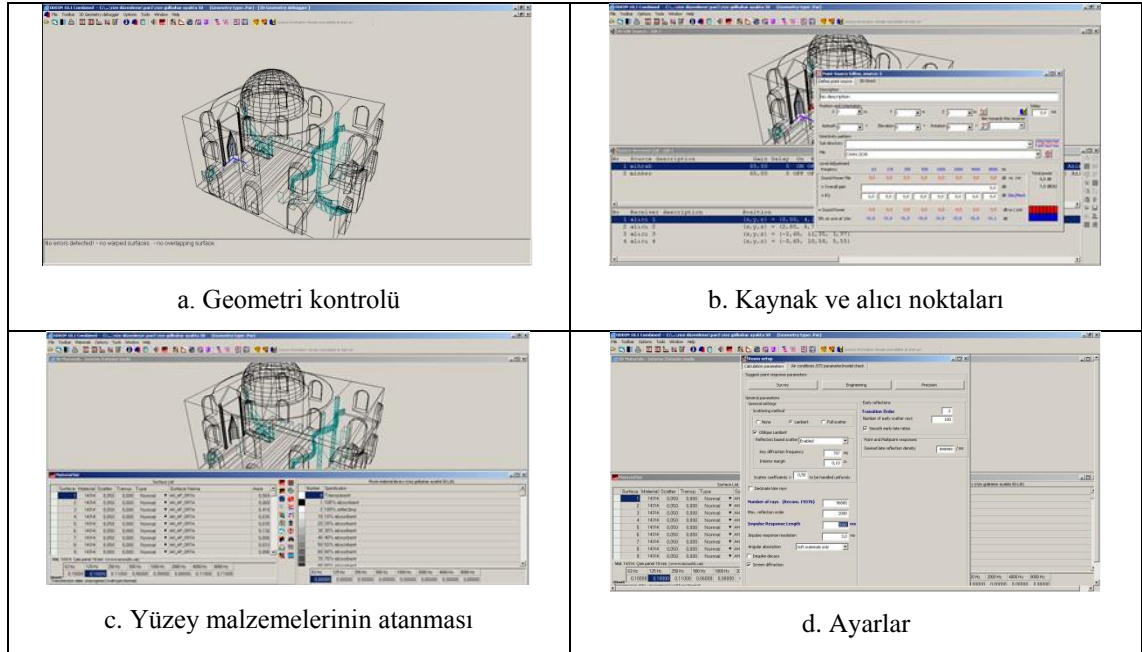
1.6. Bilgisayar Simülasyonu ve ODEON Version 10.1 Programı

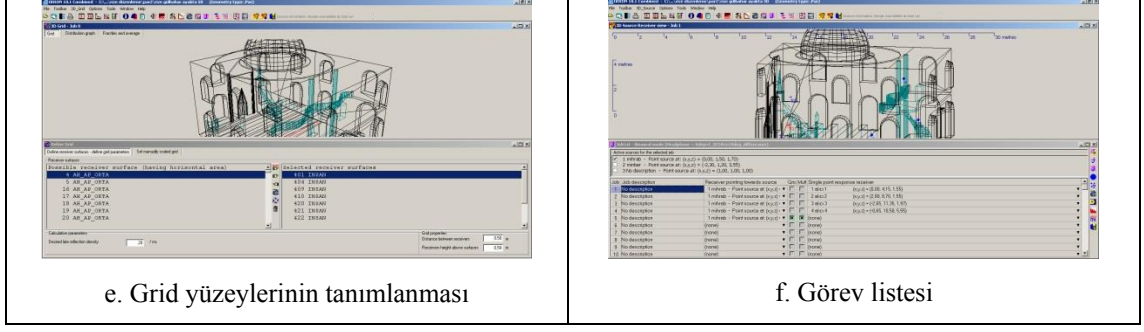
Hacim akustiğinde, sesin nesnel parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemlerinden birisi olan bilgisayar simülasyonu yöntemi, akustik değerlendirilmesi yapılacak olan mekanların bilgisayar ortamında oluşturulan 3D modellerinin simülasyon programlarına aktarılarak sesin mekan içerisindeki davranışlarının simüle edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Simülasyon için resim kaynağı metodu (Image Source Method), sınır eleman yöntemi (Boundary Element Method) ve ışın transferi yöntemi (Radiance Transfer Methods) gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır (Siltanen vd., 2010). Hacim akustiği çalışmalarında kullanılan başlıca programlar ODEON, CATT, DIVA, CARA ve ACOUSTIC X'tir (Özgür vd., 2004).

ODEON Version 10.1 programı, ışın transferi ve resim kaynağı yöntemlerini kullanan hibrit tipte bir programdır. İçerisinde bulunan dâhili 3D modelleme aracılığı ile ya da farklı 3D modelleme programları ile oluşturulup bu programa aktarılan modellerin akustik açıdan simülasyonu ile sesin nesnel parametrelerine ait sonuçların elde edilmesini

sağlamaktadır. Programın kullanımı sürecinde, programa aktarılan model ilk olarak geometrik hatalara karşı “3D Geometry debugger” komutu ile kontrol edilir (Tablo 3a). Daha sonra modelin herhangi bir yerine geçici bir ses kaynağı yerleştirilip tüm yüzeylere geçici bir malzeme atanır. “3D Investigate ray tracing” komutu ile modelin içerisindeki kontrol ışınlarının dışarıya kaçıp simülasyon sonucunun etkilenmesine neden olabilecek olan yüzey boşluklarının oranları kontrol edilir (kontrol sırasında ışın kaybının %20’den az olması gerekmektedir). Kontrol işlemi bittikten sonra simülasyon için kaynak ve alıcı noktaları belirlenir (Tablo 3b) ve hacmin iç yüzeylerine gerekli malzemeler atanır (Tablo 3c). “ Global Estimate” komutu ile hacmin yaklaşık T30 süresi elde edilir. “Room Setup” ayarlarından “Survey” (yüzeysel), “Engineering” (orta düzey hassasiyet) ve “Precision” (yüksek hassasiyet) adlı hassasiyet seçeneklerinden birisi seçilir ve “Impulse Response Lenght” değerine elde edilen ortalama T30 değeri ya da bu değerin 2/3’ü yazılır (Tablo 3d). “Define grid” komutu ile açılan pencereden ortalama sonuçların elde edilmesinde kullanılacak grid yüzeyleri tanımlanır (Tablo 3e). Son olarak “Job list” komutu ile açılan pencerede görevler tanımlanarak simülasyon işlemi başlatılır (Tablo 3f). (Christensen, 2009)

Tablo 3. ODEON Version 10.1 Programı simülasyon süreci

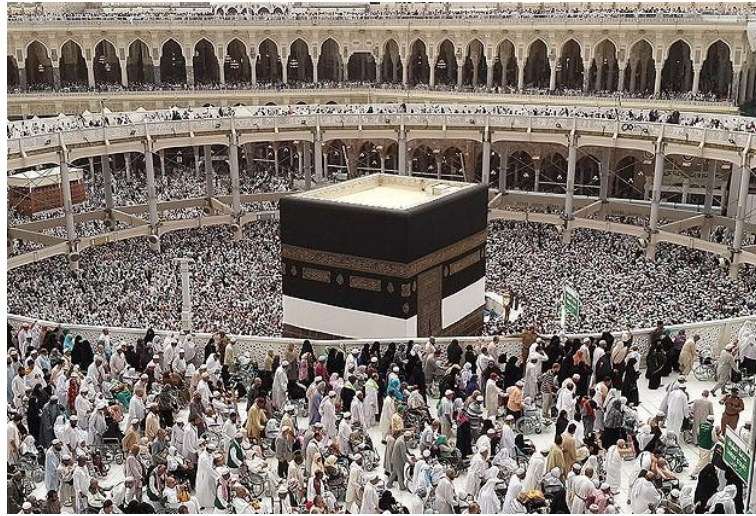




1.7. Tarihsel Süreçte Cami Mimarisi

İnsanlık tarihinde var olan çeşitli dini inanışlar farklı ibadet mekânlarının ortaya çıkmasına neden olmuşlardır. Farklı uygarlıklar farklı biçim ve işlevlerde birçok ibadet yapısı inşa etmişler ve etmektedirler. Müslüman toplumlar da İslam Dininin ilk yıllarından itibaren yaşadıkları yerlerde ibadet yapıları inşa etmektedirler. İslam Dini ibadethaneleri dilimizde, Arapça'da “secde edilen yer” anlamına gelen “mescit” ve “toplayan” anlamına gelen “cami” kelimeleriyle adlandırılmaktadır (URL-3, 2015).

İslam Dini ibadethanelerinin geçmişi İslam Dininin ilk yıllarına, kökenleri ise daha eskilere uzanmaktadır. İslam inanışına göre Kâbe'nin (Şekil 12) temellerinin Hz. Âdem tarafından atılmış olması İslam Dini açısından ibadethane anlayışının tarihsel sürekliliğini göstermektedir. (URL-3, 2015).



Şekil 12. Kâbe (URL-4, 2015)

İslam inancının doğuşu öncesinde inşa edilmiş olan Kâbe dışında, İslam'ın gelişinden sonraki dönemde ortaya çıkmış olan ilk İslam ibadethaneleri Hicret sırasında Medine yakınlarında inşa edilen Mescid-i Kuba ve Medine'ye ulaşıldığında inşa edilen Mescid-i Nebevi'dir (URL-3, 2015). Mescid-i Nebevi, "Mescit" konseptinin tarihsel gelişim sürecindeki ilk örneğidir (Şekil 13).



Şekil 13. Mescid-i Nebevi'nin ilk halinin restitüsyonu (URL-5, 2015).

Hız. Muhammed zamanındaki namaz kılınan yönü belirten bir taş, bu taşın yanında üzerine çıkılıp vaazlar verilen bir kütük, cemaatin toplandığı geniş bir avlu ve avlu ortasındaki su kuyusu (Salimi, 2013), günümüzdeki mihrap, minber, ana ibadet salonu ve şadırvanların ilk modellerini oluşturmuştur.

Daha sonraki dönemlerde İslam toplumunun gelişip devletleşme sürecine girmesi ile birlikte Şam şehri fethedilmiş ve şehirde bulunan Vaftizci Yahya Kilisesi'nin yarısı Müslümanlar tarafından mescit olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde şehirdeki Müslüman nüfusun artmasıyla birlikte artan kapasite ihtiyacını karşılamak için yapının tamamı Müslümanlar tarafından mescit olarak kullanılmıştır (Salimi, 2013). Eski bir Roma tapınağından kiliseye dönüştürülmüş olan bu yapı Emevi Halifeliği döneminde gerçekleştirilen çalışmalarla Mescid-i Nebevi konseptinde yeniden yapılandırılarak İslam Dininin ilk büyük, anıtsal mescidi olmuştur. İsmi Emevi Camii olarak değiştirilen ibadethane, o güne kadar alışılmış mescit kavramından farklı olarak ihtişamlı bir yapı olması sebebiyle sonradan cami kavramının İslam toplumunda ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yeni ibadethane konseptinin Emevi Halifeliğinin farklı şehirlerine yayılması ile inşa edilen yeni ibadethaneler Emevi Camii örneğine göre şekillenmiştir. Cuma namazlarının kılındığı, kalabalıkların toplandığı büyük mescitleri tanımlamak için kullanılan ve "toplayan mescit" anlamına gelen "el-mescidü'l cami" tanımı ile yeni bir

mescit kavramı ortaya çıkmıştır. Bu tanım miladi 10. yüzyıldan itibaren kısaca “cami” olarak kullanılmaya başlamıştır (URL-3, 2015). Dilimizde cami kelimesi büyük İslam ibadethanelerini, mescit ise küçük İslam ibadethanelerini ifade etmektedir.

Mescid-i Nebevi ve Emevi Camii’nden sonra, özellikle Türk Toplumunu açısından ibadethane mimarisinin tarihi gelişim sürecindeki önemli bir dönüm noktası da Ayasofya olmuştur (Şekil 14). İstanbul’un 1453 yılında Osmanlı Ordusu tarafından fethedilmesinden sonra şehrin en önemli ibadet yapısı olan Ayasofya Kilisesi camiye çevrilmiştir. Döneminin en büyük kilisesi olan bu devasa yapının cami olarak yeniden yapılandırılmasıyla yeni bir konsept oluşmuştur. İleriki dönemlerde yapılan Selimiye Camii, Süleymaniye Camii, Sultan Ahmet Camii gibi birçok anıtsal Osmanlı camileri Ayasofya model alınarak inşa edilmiştir.

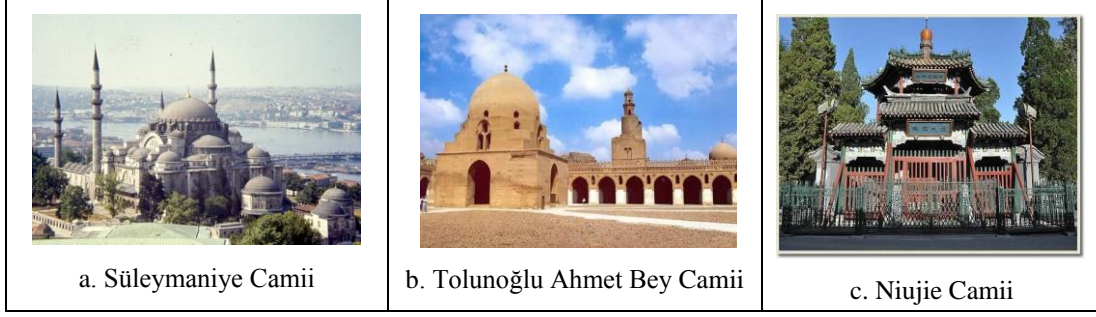


Şekil 14. Ayasofya, İstanbul (URL-6, 2015).

İslam Dini inancının zamanla yayılmasıyla birlikte İslam Dini ibadethanelerinin sayısı da artmış, farklı kültürlerin İslam kültürü ile bütünleşmesi değişik tarzlarda camilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yeni uygulamalarla, ya da eski dönemlerden kalan ibadethanelerin yeniden düzenlenmesiyle ortaya çıkan camilerde, buldukları toplumlara, yapıldıkları dönemin ve toplumların kültürlerine ait izler de görülmektedir. Farklı toplumlarda ve değişik dönemlerde ortaya çıkan ihtiyaçlar, var olan imkânlar, şartlar, kültür, toplumsal bilgi birikimi ve teknoloji gibi farklı etkenler farklı cami tiplerini şekillendirmektedir. Osmanlı Mimari özelliklerini taşıyan Süleymaniye Camii, Kuzey

Afrika Mimarisinin özelliklerini taşıyan Tolunoğlu Ahmet Bey Camii ve Çin Mimarisinin özelliklerini taşıyan Niujiie Camii örneklerinde bu durum görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Farklı kültürlere ait camiler. a: Süleymaniye Camii, İstanbul (URL-7, 2015), b: Tolunoğlu Ahmet Bey Camii, Kahire (URL-8, 2015), c: Niujiie Camii, Pekin (URL-9, 2015).



1.7.1. Camilerin Yapısı

Mescid-i Nebevi 'den itibaren tarihsel süreç içerisinde gelişen İslam Dini ibadethanelerinin yapıları farklılıklar göstermektedir. Genel olarak ana ibadet salonu, son cemaat yeri, avlu ve minareden oluşmaktadır. Bazı camilerde birden fazla minare bulunurken bazı camilerde tek minare bulunmaktadır. Özellikle küçük mescitlerde minare sembolik bir görsel bileşen, bir dekorasyon elemanı halini almaktadır. İhtiyaç durumuna ve kullanım amacına göre; en temel bileşenler olan mihrap ve ana ibadet salonundan ibaret olan küçük mescitlerden, içerisinde hutbe minberi, kürsü, ayrı bir kadınlar bölümü olan büyük camilere kadar değişik İslam ibadethaneler bulunmaktadır. Bazı camilerde ibadet edilen bölümlere ek olarak; gashane, ticarethaneler, kütüphane, ders salonları vb. bölümler de yer almaktadır.

Genel olarak camilerin iç mekânları cemaatin toplu halde namaz kıldığı ana salon, imamın namaz kıldığı bölüm olan mihrap, cuma hutbelerinin okunduğu ve salonun sol ön köşesinde bulunan minber, Müezzinin namaz kıldığı ve salonun arka tarafında bulunan müezzin mahfili ve sağ ön köşede konumlanan vaaz kürsüsünden oluşmaktadır. Kadınların namaz kılmaları için ayrılan bölümler genellikle ayrı bir katta ya da ana ibadet salonundan ayrı bir mekânda bulunmaktadır. Kapasite artırmak için ana salonun arkasına ya da binanın ana kütesine eklenen son cemaat yeri, ezan sesinin geniş alanlarda duyulmasını sağlayan yüksek bir kule olan minare, namaz öncesi abdest almak için kullanılan şadırvan, cenaze

namazlarının kılındığı musalla taşı gibi çeşitli bileşenler de birçok camide bulunmaktadır.



Şekil 15. Rize Büyük Gülbahar Camii

1.7.2. Camilerin Fonksiyonları

En temel fonksiyonları ibadet olan camiler, İslam Dininin ilk dönemlerinden beri sosyal hayatın merkezi konumunda olmuşlardır. Geçmişte çocuklara ve yetişkinlere temel eğitimin verildiği eğitim kurumları olarak kullanılmış ve kütüphaneleri bünyesinde bulundurmışlardır. Ayrıca adli davalar camilerde görülmüş, üst düzey devlet toplantıları camilerde yapılmış, resmi bildiriler Cuma Hutbelerinde halka camilerde tebliğ edilmiş, yabancı devlet elçileri camilerde karşılanmışlardır. Buradan anlaşıldığı üzere camiler sadece ibadet mekânları değil, birçok sosyal, kültürel, siyasi, diplomatik ve idari faaliyetlerin gerçekleştiği sosyal yapı konumunda da olmuşlardır (URL-3, 2015). Günümüzde bu farklı fonksiyonların çoğunu başka yapılar yerine getirmektedir ve camilerde büyük ölçüde ibadet ve temel dini eğitim fonksiyonları yer almaktadır. Çalışma kapsamında camiler sadece ibadet fonksiyonları açısından değerlendirilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Trabzon ve Rize İlleri kent merkezlerinde yer alan altı farklı caminin akustik özelliklerinin belirlenmesi ve akustik konfor koşullarının elde edilmesi için yapılan bu araştırma kapsamındaki çalışmalar dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada; literatür taraması yapıp çalışmanın yöntemi belirlenmiş, ikinci aşamada camiler incelenip gerekli bilgiler toplanmış ve bilgisayar simülasyonunda kullanılacak modellerinin oluşturulması için camilere ait proje ve rölöveler elde edilmiştir. Dört adet tarihi camiye (Ayasofya Camii, Gülbahar Hatun Camii, İskenderpaşa Camii, Rize Büyük Gülbahar Camii) ait rölöve çizimleri, T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü Trabzon Bölge Müdürlüğü'nden, Mehmet Akif Ersoy Camii'ne ait mimari proje Trabzon Belediyesi İmar Müdürlüğü Arşivi'nden, Yavuz Sultan Selim Camii'ne ait mimari proje ise Yavuz Sultan Selim Cami Derneği'nden temin edilmiştir. Daha sonra, yerinde gözlem ve ölçümler yapılarak camilerdeki proje dışı uygulamalar, sonradan yapılan değişiklikler ve iç mekanlarında yüzeyleri oluşturan malzemeler tespit edilmiştir. İkinci aşamada; elde edilen göre camilerin 3D modelleri hazırlanmış ve oluşturulan senaryolara göre düzenleme yapılmıştır. Üçüncü aşamada camilerin modelleri ODEON 10.1 programına aktarılarak programın kullanım kılavuzunda belirtilen şekilde gerekli ayarlar yapılarak simülasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve Sesin Nesnel Parametre değerleri elde edilmiştir. Dördüncü aşamada; simülasyon sonucu elde edilen Sesin Nesnel Parametre değerleri literatürde önerilen optimum değerler ile karşılaştırılmış, akustik konfor koşulları açısından yetersizlikler görülen durumlar tespit edilmiş ve bu yetersizlikleri ortadan kaldırmak için yüzey malzemelerinde değişiklik yapma yoluyla her cami için birer akustik düzenleme önerisi hazırlanmıştır. Düzenleme önerilerine göre yeniden oluşturulan 3D modeller tekrar ODEON 10.1 programına aktarılarak akustik simülasyon işlemi tekrarlanmış ve sonuçlar düzenleme önerilerinin başarı düzeyleri tespit edilmiştir. Düzenleme önerilerinin simülasyonları senaryo durumları içerisinde uygulama sıklığı en yüksek olduğu düşünülen namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu %50 doluluk durumdaki grid ortalaması üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen düzenleme simülasyonlarının sonuçları aynı senaryo modunda, mevcut durumdaki grid ortalamaları ile karşılaştırılmıştır.

2.2. Çalışma Kapsamında İncelenen Camiler

Çalışmada, Trabzon ve çevresindeki altı farklı cami, akustik konfor koşulları ve sesin nesnel parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda hacimsel olarak belli bir büyüklüğü (2000 m³ ve üzeri) ya da tarihi değeri olan camiler seçilmiştir. Ayrıca bu camilerin seçilmesinde yapısının farklı konstrüksiyon tiplerinden ve malzemelerinden oluşması da dikkate alınmıştır.

Çalışmada akustik özellikleri incelenmek üzere Trabzon'da bulunan Ayasofya, Gülbahar Hatun, İskenderpaşa, Mehmet Akif Ersoy ve Yavuz Sultan Selim Camileri ile Rize'de bulunan Büyük Gülbahar Camii seçilmiştir. Dört tanesi tarihi yapı olan camiler dışındaki Sultan Selim ve Mehmet Akif Ersoy Camileri ise yakın tarihlerde inşa edilmiş eserlerdir. Hacim, alan, yüzey malzemeleri, geometri gibi farklı değişkenlerin sonuç üzerinde etkilerini gözlemleyebilmek için seçilen örneklerin farklı yüzey malzemeleri, hacim, alan ve geometriye sahip olması istenmiştir. Farklı dönemlere ait camilerin seçilmesi tarihi değere sahip olan ve modern dönemde yapılan camilerin akustik konfor koşullarının kıyaslanmasına da imkân vermektedir. Çalışma kapsamında incelenen camilere ait; alan, hacim, kapasite, kişi başına hacim miktarı ve yükseklik değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Çalışma kapsamında incelenen camilere ait sayısal veriler

| | Alan (m ²) | Hacim (m ³) | Kapasite (Kişi) | Kişi başı hacim (m ³) | Yükseklik (m) |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------|
| Ayasofya Camii | 205 | 2330 | 166 | 14 | 17,2 |
| Gülbahar Hatun Camii | 187 | 2855 | 195 | 14,6 | 15,45 |
| İskenderpaşa Camii | 138 | 1215 | 143 | 8,5 | 11 |
| Rize Büyük Gülbahar Camii | 162 | 1205 | 169 | 7,13 | 10,6 |
| Mehmet Akif Ersoy Camii | 1248 | 18000 | 1300 | 13,8 | 27,7 |
| Yavuz Sultan Selim Camii | 390 | 2460 | 406 | 6 | 17,8 |


2.2.1. Ayasofya Camii

Trabzon'da, Fatih Mahallesi'nde yer almaktadır (Tablo 6). Komnenos Kralı I. Manuel (1238-1263) tarafından, dönemin şehir duvarları dışında inşa edilmiştir. Bizans Eyalet stili, Gürcü tarzı konik kubbesi, Selçuklu tarzı oyma ve işlemleriyle farklı kültürlerle ait izleri taşıyan özgün bir yapıdır (Köse, 2012). 1250-1260 yılları arasında yapımı süren eser, 1584 yılında camiye çevrilmiştir. 1916-1918 yılları arasında Trabzon'u işgal eden Rus ordusu tarafından depo ve hastane olarak kullanılan Ayasofya, işgalin bitiminden 1957 yılına kadar tekrar cami olarak kullanılmıştır. 1957 yılından sonra Edinburgh Üniversitesi'nden Russell Trust tarafından ikonları temizlenip Vakıflar Genel Müdürlüğü'nce restore edilerek, 1968 yılında müzeye çevrilmiştir (URL-10, 2015). 2012 yılında yapılan restorasyonla son halini alan Ayasofya, 2013 yılında hem cami hem de müze işlevlerini yerine getirebilecek şekilde düzenlenip hizmete açılmıştır.

Konstrüksiyonu taş yığma olan yapı toplamda 205 m² alana sahiptir. 2013 yılında yenilenip camiye dönüştürülmesi ile ana salonunda 152 m²'lik bir alan caminin ana ibadet salonu, yan nefinin ön kısmından bir kapı ile geçilen 8 m²'lik mekân ise kadınlar bölümü olarak düzenlenmiştir. Yan nefindeki ikon müzesi ve sirkülasyon alanlarıyla birlikte toplam zemin alanı 205 m²'dir. Cami toplamda 2330 m³ hacme sahiptir. 17,30 m olan kubbe yüksekliği, (kubbenin en yüksek iç noktasının zeminden yüksekliği) zeminin ahşap platform ile 10 cm yükseltilmesi sonucu 17,20 cm'ye düşmüştür. İç mekân yüzeyleri orijinalinde taş, mermer ve sıva olarak tasarlanmıştır. Zemini ve duvarlarında bazı bölümleri mermer, duvar alanları çoğunlukla taş yüzeylerdir. Özellikle ikonların olduğu yüzeyler, kubbe ve kemer gibi elemanları tuğla ile inşa edilen yapı elemanlarının üzeri sıva kaplanmıştır. Sıvaların büyük kısmı zaman içerisinde dökülmüştür ve altındaki taşıyıcı elemanlar birçok yerde ortaya çıkmaktadır. Bunların dışında kapılarında ahşap ve pencerelerinde cam yüzeyler uygulanmıştır.

Cami olarak açılması sonrasında İslam inancı gereği ikonların bulunduğu yerler, özellikle namaz kılınan bölümde perdelerle kapatılmış, ayrıca bir minber ve güney kapısının yerine bir mihrap eklenmiştir. Zemini, halı serili olan ve altta ısıtma sistemi bulunan 10 cm yüksekliğinde ahşap platformla kaplanmıştır. 8 kişi kapasiteli kadınlar kısmıyla birlikte ibadet için belirlenen alanlar 166 kişi kapasitelidir. Caminin tam kapasite dolu olduğu durumda kişi başına 14 m³ hacim düşmektedir (Tablo 5).

Tablo 6. Ayasofya Camii

| | |
|---|--|
|  <p>Caminin vaziyet ölçeğindeki yeri (Trabzon Bld, 2015a)</p> | |
|  <p>Plan (TCVBM, 2014a)</p> |  <p>Kesit (TCVBM, 2014a)</p> |
|  <p>Dış görünüm</p> |  <p>İç görünüm</p> |

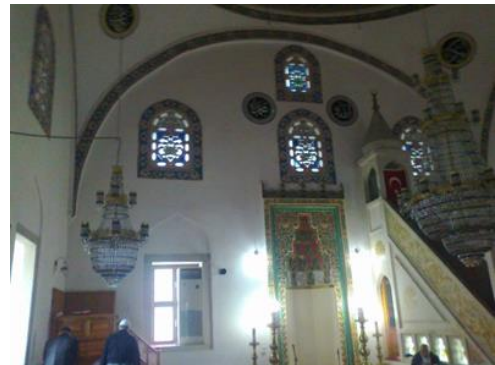
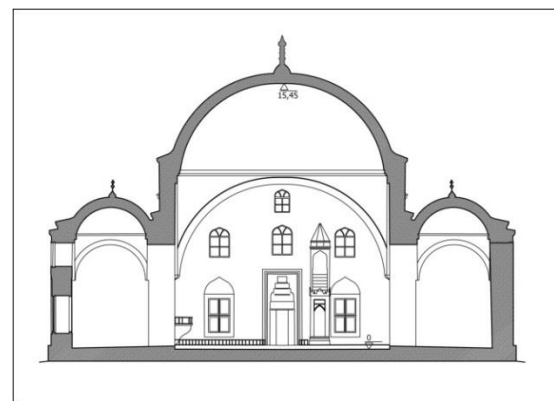
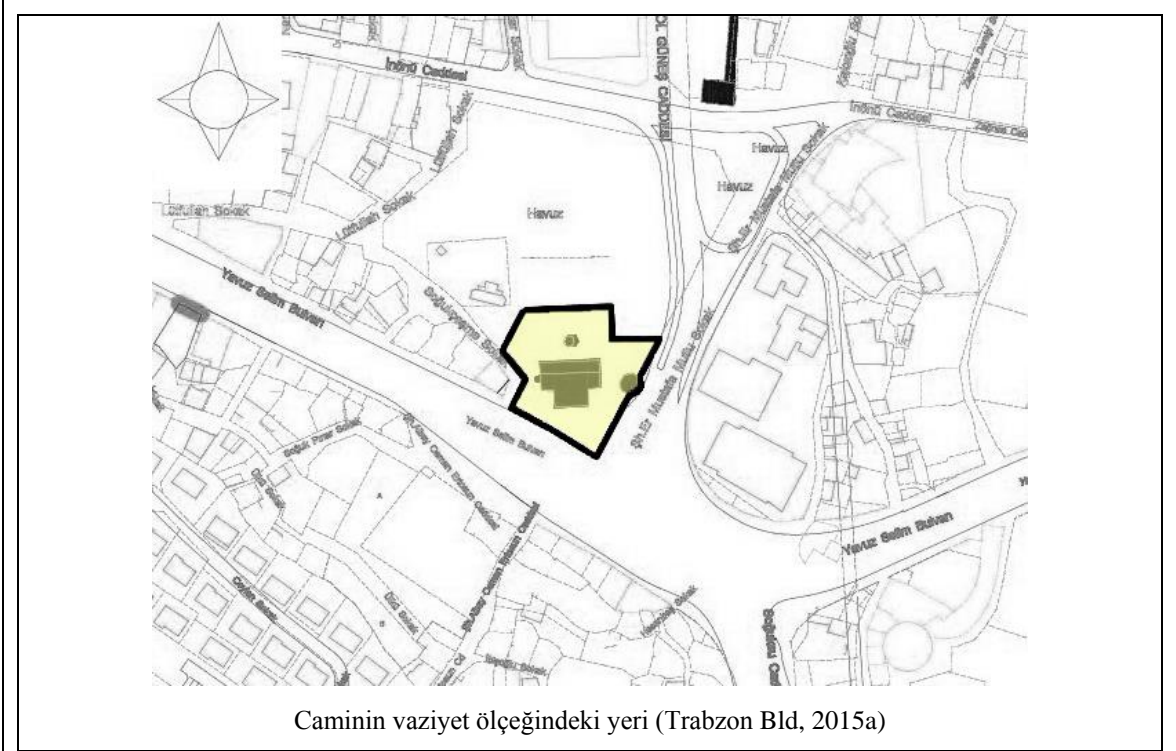
2.2.2. Gülbahar Hatun Camii

Hatuniye Camii adıyla da bilinen Gülbahar Hatun Camii, Trabzon'da Gülbahar Hatun Mahallesi'nde, Atapark'ın güney tarafında yer almaktadır (Tablo 7). Osmanlı Padişahı Yavuz Sultan Selim tarafından 1514 yılında annesi Gülbahar Hatun adına, içerisinde cami, türbe, hamam, mektep, imaret ve medrese içeren bir külliyenin camisi olarak yaptırılmıştır (URL-11, 2015). Günümüzde sadece cami ve türbe ayakta olup külliye içerisindeki diğer yapılar tarihi süreçte yıkılmıştır.

Yığma konstrüksiyon ile yapılan Caminin ana hacmi kubbeye örtülü ana ibadet salonu ve iki yanında üzeri küçük kubbelerle örtülü birer zaviye odasından oluşmaktadır. Caminin bayanlar bölümü bulunmamaktadır.

187 m² alana, 2855 m³ hacme sahip olan caminin ana kubbe yüksekliği 15,45 m'dir. 195 kişilik kapasitesi olan cami tam kapasite dolu iken kişi başına 14,6 m³ hacim düşmektedir (Tablo 5). Duvarları sıva ile kaplı olan caminin duvar dipleri 80 cm yüksekliğe kadar ahşap ile kaplanmıştır ve minberi mermer olarak inşa edilmiştir. Pencere boşlukları ve ana giriş kapısının çevresi taş çerçeveye çevrilmiş, pencerelerdeki mermer denizliklerin üzerleri halı ile kaplanmıştır.

Tablo 7. Gülbahar Hatun Camii

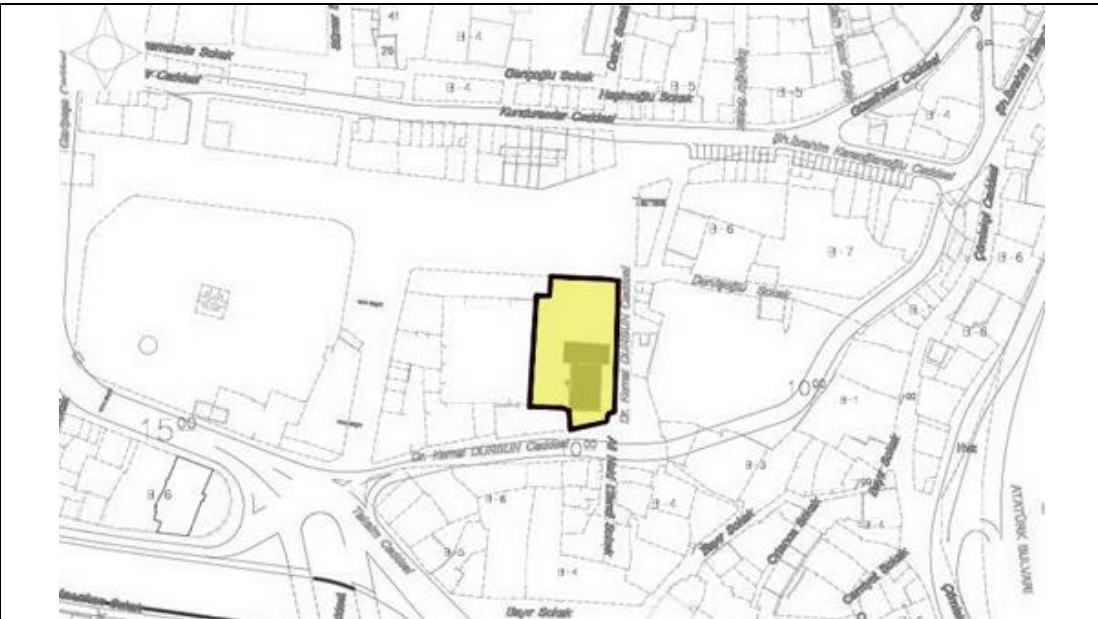
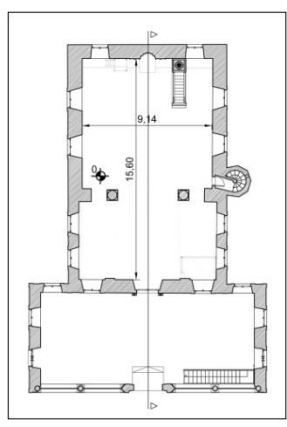
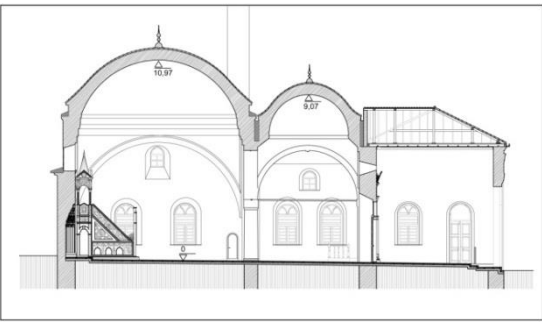




2.2.3. İskenderpaşa Camii

1529 yılında Trabzon Valisi İskender Paşa tarafından yaptırılmıştır (URL-11, 2015). Trabzon'da İskenderpaşa Mahallesinde, Meydan Parkı'nın doğusunda, Trabzon Belediye Binası'nın güneyinde yer almaktadır (Tablo 8). Kare planlı olan Cami'de, sonradan eklendiği düşünülen, ana kütlede biçimsel farklılıklar taşıyan bir son cemaat yeri bulunmaktadır. Bu son cemaat yerinden geçilerek caminin ana ibadet salonuna ulaşılmaktadır. Ana İbadet salonundan ayrı bir mekân olan son cemaat yeri inceleme kapsamının dışında bırakılmıştır.

Yığma konstrüksiyon ile yapılan caminin alanı 138 m^2 , hacmi 1215 m^3 , ana kubbe yüksekliği ise 11 m 'dir. Sonradan yapılan bir ekleme olduğu düşünülen ve ayrı bir akustik hacim teşkil eden son cemaat yeri haricinde, ana ibadet salonu toplam 143 kişi kapasitesine sahiptir. Cami tam kapasite dolu olduğunda kişi başına düşen hacim $8,5 \text{ m}^3$ 'tür (Tablo 5). Duvarların tamamı sıvalı olan caminin duvarlarının dipleri 85 cm yüksekliğe kadar ahşap ile kaplanmıştır. Ayrıca, giriş kapıları ahşap, minberi ve pencere denizlikleri mermer, mihrabı işlemeli taş olarak inşa edilmiştir. Caminin zemininin ön tarafında, kible duvarı boyunca 60 cm genişliğinde, zeminden 13 cm yüksekliğinde mermer bir yüzey, halıyla kaplanmayarak çıplak bırakılmıştır (Tablo 8)

Tablo 8. İskenderpaşa Camii

| | |
|---|--|
|  <p>Caminin vaziyet ölçeğindeki yeri (Trabzon Bld, 2015a)</p> | |
|  <p>Plan (TCVBM, 2014c)</p> |  <p>Kesit (TCVBM, 2014c)</p> |
|  <p>Dış görünüm</p> |  <p>İç görünüm</p> |

2.2.4. Rize Büyük Gülbahar Camii

Rize İli, Gülbahar Mahallesi'nde bulunan Cami'nin yapım tarihi kesinlik olarak bilinmemektedir. Çeşitli dönemlerde yapılan onarımlar sırasında giriş kapısı üzerine H.1324 (M. 1906) tarihli bir kitabe yerleştirilmiştir. Bunun yanı sıra Cami'nin bir kenarına bırakılmış bir başka kitabede ise "Süleyman Camii Şerifi" ismi ve Hicri 1070 (M. 1659) tarihi yazılmaktadır (URL-12, 2015).

131 m² zemin alanına sahip Cami'nin 31 m²'lik ikinci katıyla birlikte toplam kullanım alanı 162 m²'dir. Toplam hacmi 1205 m³ olan caminin en büyük iç yüksekliği 10,6 m'dir. İkinci katıyla birlikte toplam kapasitesi 169 kişi olan camide tam dolu olduğu durumda kişi başına yaklaşık olarak 7,13 m³ hacim düşmektedir (Tablo 5).

Dikdörtgen plana sahip olan Cami'nin duvarları taş üzeri sıva ile kaplanmıştır. Duvarları yığma, ara katı ve tavanı ahşap olarak yapılmıştır. Ana ibadet salonunun arka tarafında ahşaptan bir mahfil katı yer almaktadır. Tavanı ve harem kısmının olduğu bölüm ahşap, tavanın ortasındaki dekoratif kubbe ise bağdadi sıva olarak, caminin minberi ahşap, mihrabı işlemeli taş, pencere denizlikleri ise kesme taştan yapılmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Rize Büyük Gülbahar Camii

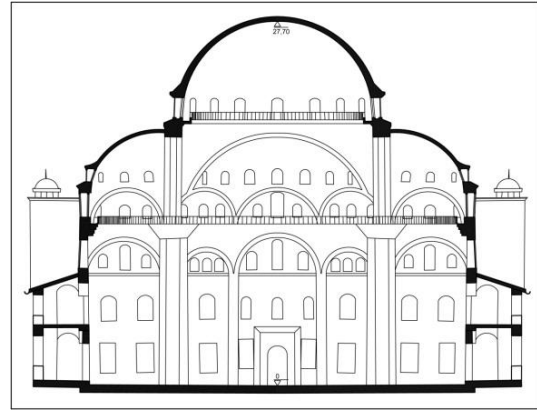
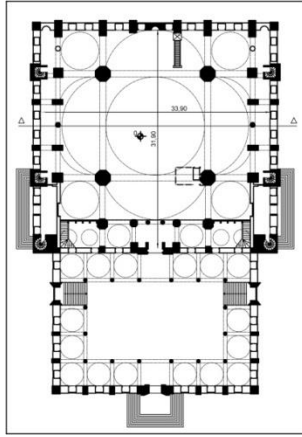
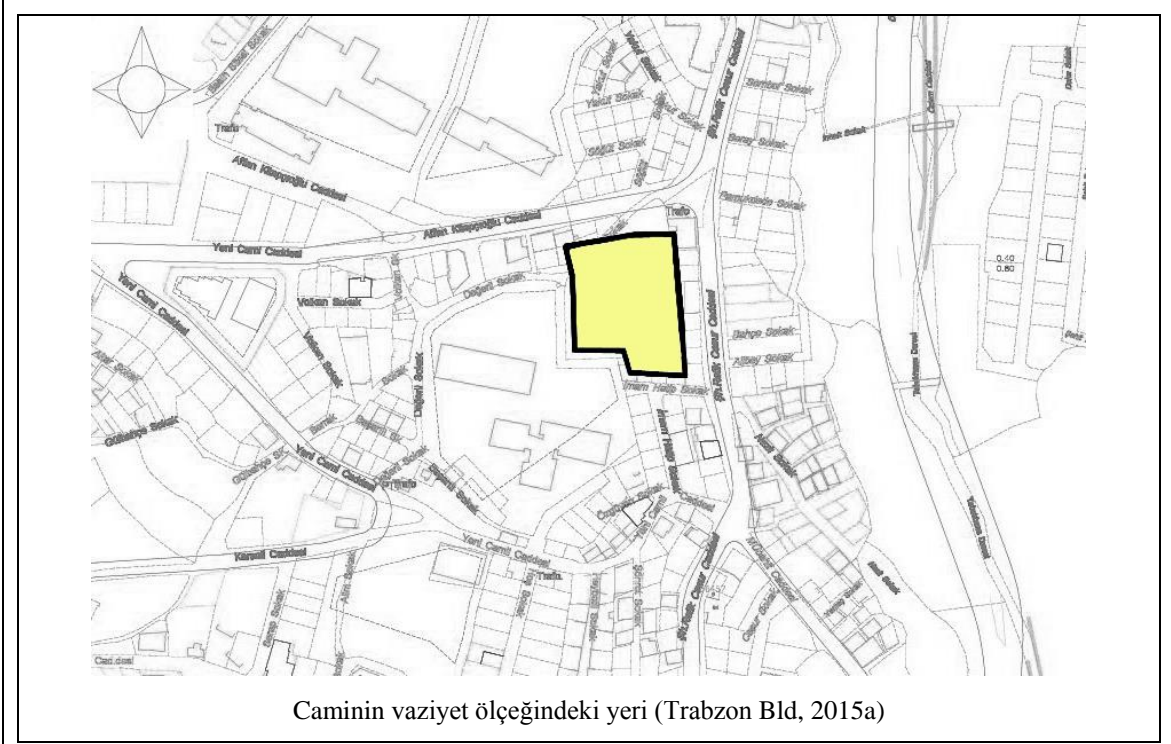
| | |
|---|---|
|  <p data-bbox="539 943 1098 976">Caminin vaziyet ölçeğindeki yeri (Rize Bld, 2015a)</p> | |
|  <p data-bbox="347 1503 603 1536">Plan (TCVBM, 2014d)</p> |  <p data-bbox="911 1509 1177 1543">Kesit (TCVBM, 2014d)</p> |
|  <p data-bbox="400 1917 549 1951">Dış görünüm</p> |  <p data-bbox="995 1935 1129 1968">İç görünüm</p> |

2.2.5. Mehmet Akif Ersoy Camii

Trabzon'un Bahçecik Mahallesi'nde bulunan Cami ülkemizdeki en büyük camilerden biridir. 1984 yılında inşaatına başlanmış, 2005 yılında bitirilmiştir (URL-13, 2015). Betonarme konstrüksiyona sahip olan caminin üzeri 4 ana kolonun üzerine oturan ana kubbe dahil, farklı ebatlardaki toplam 65 kubbeyle örtülmüştür. Cami simetrik bir plana sahiptir. Ana ibadet salonunun iki yanında, zemini ana ibadet salonunun zemininden 10 cm yükseltilmiş olan balkon altı bölümler bulunmaktadır. Caminin projesinde dış mekânda oldukları görülen bu bölümler, inşaat sırasında proje dışı olarak ana ibadet salonuna dâhil edilmiştir. Son cemaat yerinin ve yan bölümlerin üzerinde balkon şeklinde düzenlenmiş olan ikinci kata, her iki yandaki merdivenlerle çıkılmaktadır. 990 m² ana zemin kat alanına 258 m² balkon alanları dahil edildiğinde, caminin ana salonu toplam 1248 m²'lik kullanım alanına sahip olmaktadır. Ana kubbe yüksekliği 27,70 m, hacmi 18000 m³'tür. Toplam 1300 kişi kapasiteye sahip olan camide ana ibadet salonu ve balkon katı tam kapasite dolu olduğu durumda kişi başına 13,8 m³ hacim düşmektedir (Tablo 5).

Mihrabı, minberi ve sağ arka kolonun altındaki müezzin mahfili mermer kaplama olan camide kible duvarının mihrap çevresindeki bölümleri seramik ile kaplanmıştır. Geri kalan tüm duvar, tavan ve kubbe yüzeyleri sıva ile kaplanmıştır. Ahşap yüzeyler yalnızca kapılarda uygulanmıştır. Doğal aydınlatma için tasarlanan çok sayıda pencere nedeniyle iç yüzeylerde cam oldukça yüksek oranda uygulanmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Mehmet Akif Ersoy Camii



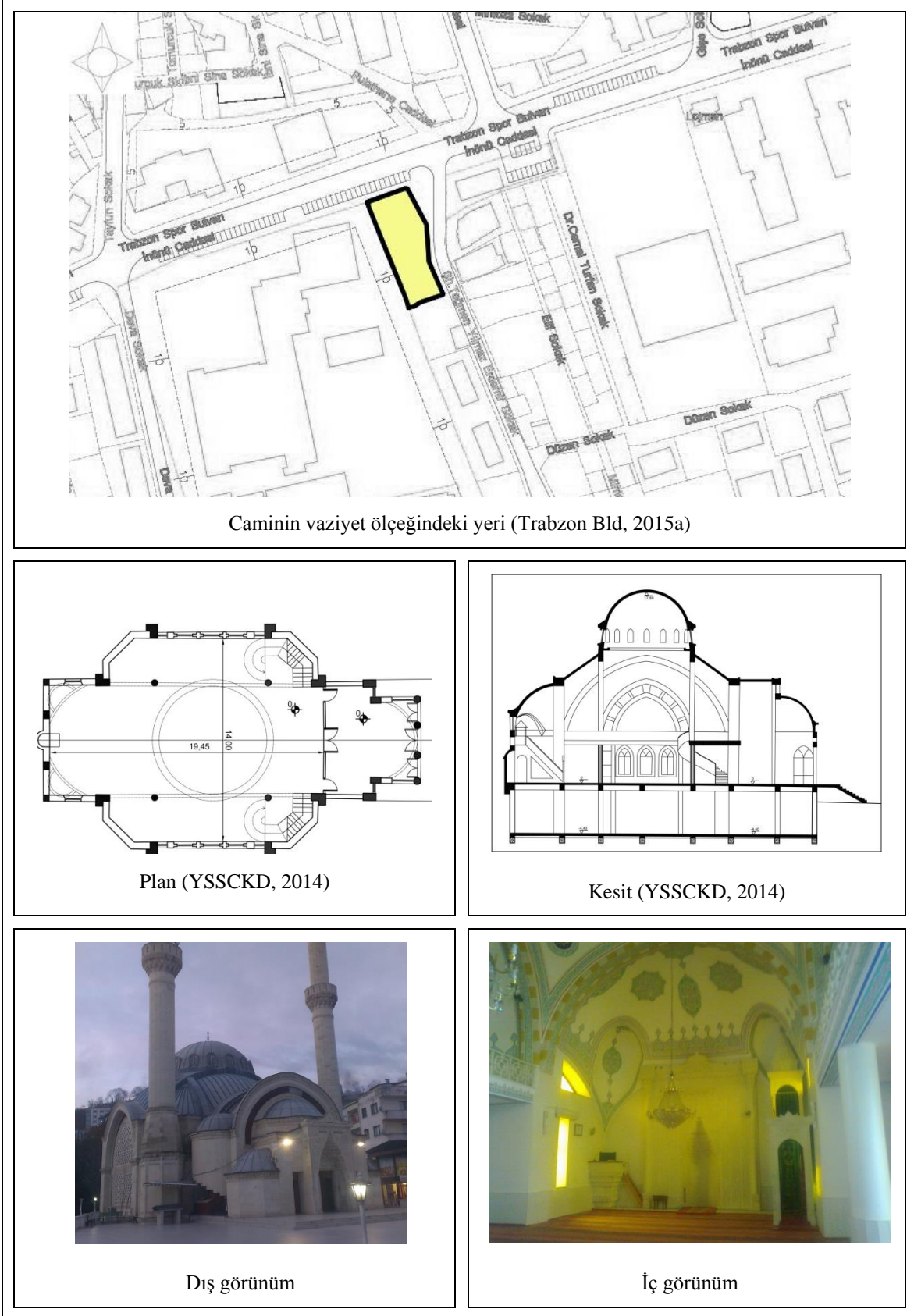
2.2.6. Yavuz Sultan Selim Camii

Ortahisar Sempti İnönü Mahallesi'nde yer almaktadır. İnşasına 1988 yılında başlanmıştır. Klasik Osmanlı mimarisinden farklı, modern çizgiler taşıyan oval yapıda bir biçime sahiptir. İç kısmı ana ibadet salonu ve üzerinde mahfil katından oluşmaktadır. Avlusu kot farkından dolayı Trabzonspor Bulvarı tarafında yüksek tutulmuş, alt kısımları ticarethane olarak düzenlenmiştir.

Betonarme konstrüksiyon ile inşa edilen cami, ana ibadet salonu ve balkon katıyla beraber toplam 390 m² kullanım alanına sahiptir. Toplam iç hacmi 2460 m³ olan cami 406 kişilik kapasiteye sahiptir. Tam kapasite dolu olduğu durumda kişi başına yaklaşık 6 m³ hacim düşmektedir. Ana kubbenin zeminden yüksekliği 17,80 m'dir (Tablo 5).

Caminin iç yüzeylerinin çoğunluğu sıvalı ile kaplanmıştır. Zemini ahşap üzeri keçe ve halı kaplı olan Cami'nin minberi beton olarak inşa edilmiştir. Balkon katının arka ve yan taraflarında geniş pencereler yer almaktadır (Tablo 11).

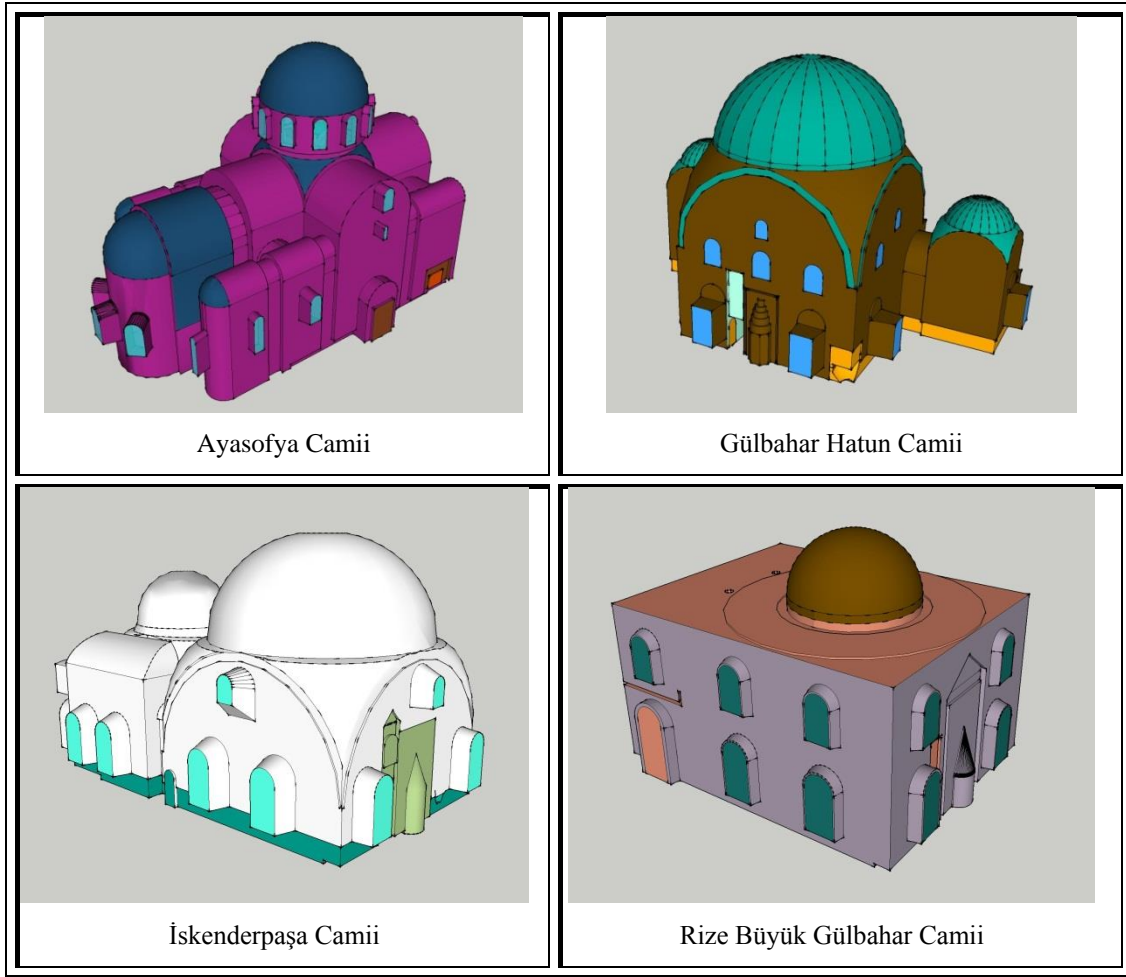
Tablo 11. Yavuz Sultan Selim Camii



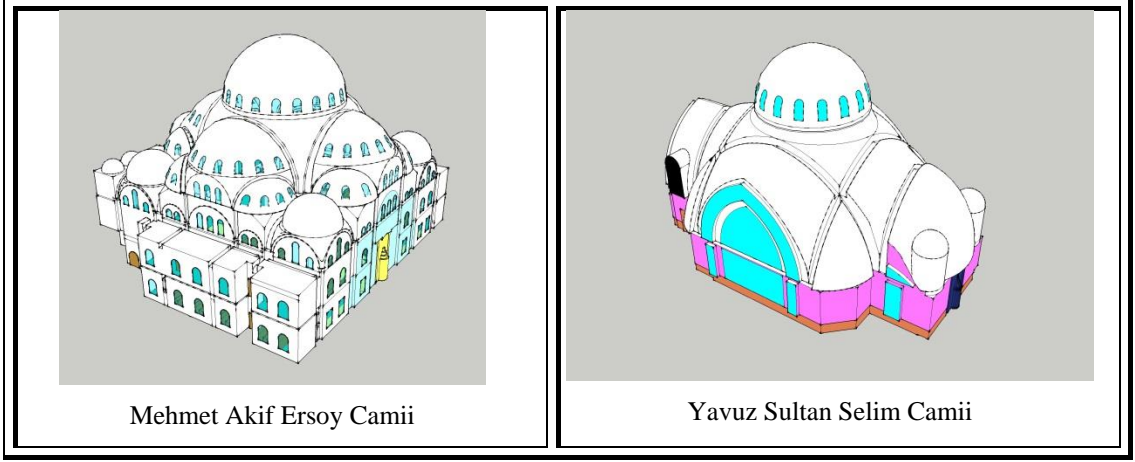
2.3. Camilerin 3D Modellerinin hazırlanması

Temin edilen rölöveler ve mimari projeler ile yerinde gözlem ve ölçüm sonucu elde edilen verilere göre her caminin Sketchup 8 programında üç boyutlu modeli hazırlanmıştır. Simülasyon işleminin gerçekleştirileceği ODEON Version 10.1 programının simülasyon işlemi sırasında gereksiz olarak fazladan yüklenmemesi için modeller sadece iç yüzeyleri kapsayacak şekilde tek yüzey halinde hazırlanmıştır. Camilere ait üç boyutlu modellemelerin görselleri Tablo 12’de yer almaktadır. ODEON Version 10.1 programında malzeme atamalarının hatasız yapılabilmesi için modellemede her camide farklı malzemelerden oluşan yüzeyler farklı katmanlarla tanımlanmıştır.

Tablo 12. Akustik açıdan değerlendirilen camilere ait üç boyutlu modeller



Tablo 12'nin devamı



2.4. Simülasyon Programı İçin Yapılan Kabuller

Bir bilgisayar simülasyonunda gerçeğe en yakın sonuçları elde edebilmek için oluşturulan sanal ortamdaki şartların da gerçeğe en yakın biçimde sağlanması gerekmektedir. Yapıların bilgisayar simülasyonuna aktarılması ve programda sürece dahil edilmesi belli kurallar içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu konuda özellikle kullanılan programlara ait yol gösterici ses kaynağı kitaplar büyük önem taşımaktadır.

Yapılan bu çalışmada ODEON Version 10.1 programı kullanım kılavuzunda üç boyutlu tasarımlara ait veriler dikkate alınmıştır. Bu öneriler; program öncesi aşamalara ait, üç boyutta modellemeye ait ve program sürecine ait olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Christensen, 2009)

2.4.1. Hacim ve Geometri Kabulleri

Sesin nesnel parametre değerlerine ait verilerin gerçeğe en yakın şekilde elde edilebilmesi için simülasyon programında özellikle yüzeylerin hazırlanması ve yüzeylere uygun ses yutma ve dağıtma katsayı değerlerinin atanması önem taşımaktadır. Bu katsayıların etkisi yüzeylerin özellikleriyle doğrudan orantılıdır. Camilerin hacimleri ilgili kuruluşlardan elde edilen mimari proje ve rölövelerdeki ölçülere göre Sketchup 8 programında oluşturulmuştur. İnşası sırasında projesinden farklı uygulama yapıldığı görülen Mehmet Akif Ersoy Camii ve rölövesinde nihai hali bulunmayan, özellikle içerisindeki tefrişata dair bilgi bulunmayan Ayasofya Camii'nde, yerinde ölçümler

yapılarak veriler toplanmış ve yapıların gerçek hallerine en yakın bilgisayar modelleri hazırlanmıştır. Modeller hazırlanırken ODEON Version 10.1 programının kullanım kılavuzunda belirtildiği şekilde 15 cm'den daha küçük yüzeyler dikkate alınmamıştır (Christensen, 2009). Kolon başlıklarında bulunan işlemler, mukarnaslar, kabartma yazılar gibi detaylar düz yüzey olarak kabul edilmiş, balkon korkulukları kaldırılmıştır.

2.4.2. Doluluk Oranlarına Göre Oluşturulan Senaryolar

Tüm yapılarda olduğu gibi camilerde de ses kaynağı ve alıcıların bulunduğu yerler akustik açıdan büyük önem taşımaktadır. Cami iç mekanında bulunan her insan kapladığı hacim dolayısıyla mekanın toplam hacmini azaltmakta, toplam ses yutuculuğunu artırmakta, ve dolayısıyla çınlama süresini azaltıcı etki yapmaktadır.

Camilerde ses kaynağı konumunda olan imamın yer aldığı iki konum bulunmaktadır. Bunlar namaz esnasında ibadet edenlerin en önünde durarak namazı yönettiği mihrap ve vaaz esnasında üzerine çıkıp cemaate konuşma yaptığı minberdir. “Namaz modu” ve “vaaz modu” olarak adlandırılacak bu iki durumu temsil etmek için iki konuma, üzerinde buldukları zeminlerden 150 cm yüksekliğe (ISO, 2009) birer adet ses kaynağı tanımlanmıştır.

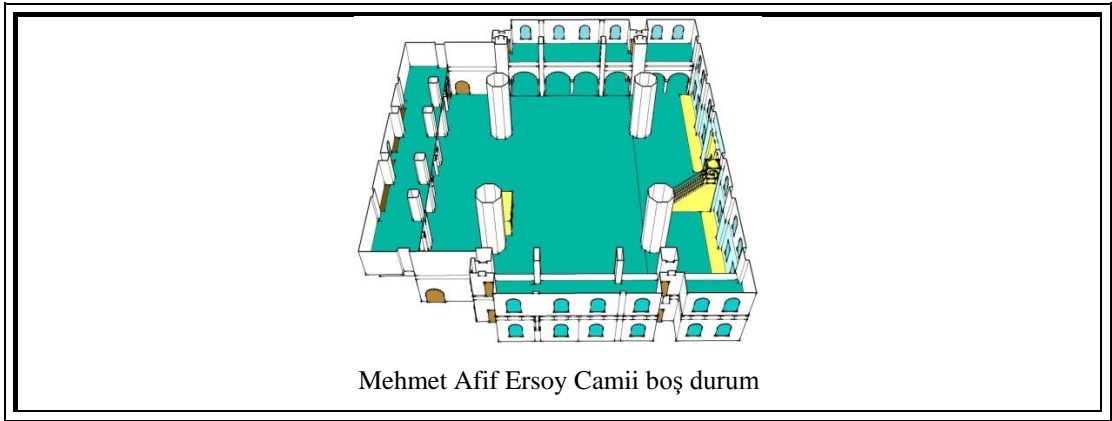
Her cami için doluluk oranlarına ve ibadet esnasındaki duruş biçimlerine bağlı olarak beş farklı durum kurgulanmıştır. Cuma namazı, teravih namazı, bayram namazı gibi camilerde yoğunluğun fazla olduğu ibadetler için cami %100 dolulukta, vakit namazları gibi yoğunluğun düşük olduğu ibadetler için camiler %50 dolulukta kabul edilmiştir (Kavraz, 2014b). Bu doluluk oranlarının, namazın kıyam ve son oturuş (Ka'de-i ahire) olarak adlandırılan, ayakta durma ve oturma pozisyonlarına göre de düzenlenmesi ile dört farklı durum elde edilmiştir. Son olarak da camilerin tamamen boş oldukları beşinci bir durum oluşturulmuştur. Camilerin doluluk oranlarına ve ibadet edenlerin pozisyonlarına göre oluşturulan durumlar; ibadet edenlerin tam dolulukta ayakta olduğu, tam dolulukta oturduğu, yarı dolulukta ayakta olduğu, yarı dolulukta oturduğu ve camilerin boş olduğu durumlardır. Kurgulanan her durumun namaz modunda (mihraptaki ses kaynağı noktasının aktif olması) ve vaaz modunda (minberdeki ses kaynağının aktif olması) olarak adlandırılmış olan iki farklı faaliyet modu ile kombinasyonları sonucu oluşan on farklı durumdan sekizi araştırmada esas alınacak senaryolar olarak kabul edilmiştir (vaaz modunda, ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda oldukları %50 ve %100

doluluktaki iki durum, camilerdeki ibadet faaliyetleri süreçlerinde karşılıkları bulunmadığı için araştırma kapsamına alınmamıştır). Kabul edilen bu sekiz senaryo;

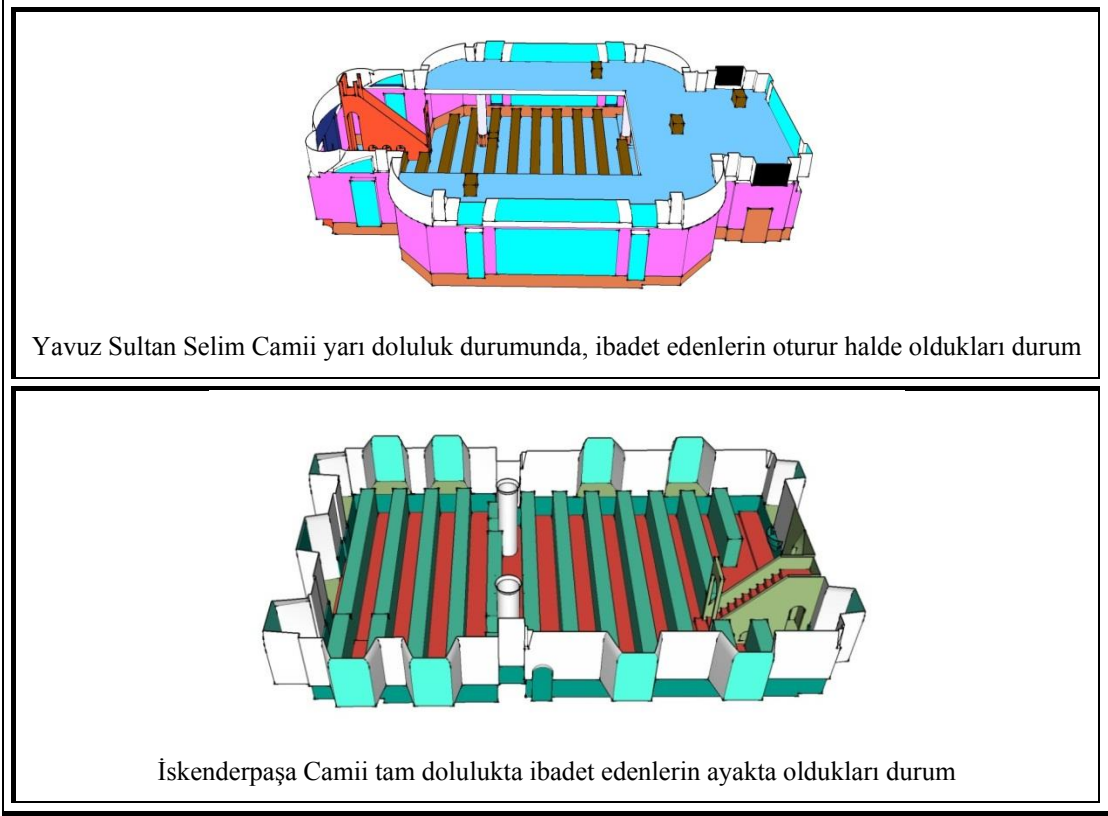
- Caminin boş olduğu namaz modu,
- Caminin boş olduğu vaaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modu,
- Caminin %100 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modu,
- Caminin %100 dolu, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modu şeklindedir.

Oluşturulan 3D modeller sekiz farklı senaryoya göre düzenlenmiştir. Tablo 13'te modellerin boş, % 50 ve %100 doluluk durumlardaki örnekler yer almaktadır. Düzenlenen modeller ODEON 10.1 programına aktarılmak üzere .dxf dosya formatında kaydedilmiştir.

Tablo 13. Camilerdeki farklı doluluk oranlarına ait modellerin örnekleri



Tablo 13'ün devamı



2.4.3. Malzemeler ile İlgili Yapılan Kabuller

Sesin nesnel parametrelerini etkileyen diğer değişken mekândaki toplam ses yutuculuk miktarıdır. Toplam ses yutuculuk miktarı mekândaki yüzeylerin alanları ve yüzey malzemelerinin ses yutma katsayılarıyla ilişkilidir. Gerçek duruma en yakın sonuçları elde etmek için simülasyonda en önemli unsurlardan bir tanesi de uygun malzemelerin seçilmesidir.

Altı farklı caminin iç yüzeylerindeki kaplama malzemeleri, modellerin hazırlanması sürecinde her bir cami için farklı katmanlarla ifade edilmiştir. Yapılan üç boyutlu modeller ODEON Version 10.1 programına aktarıldıktan sonra yüzeyler için ODEON Version 10.1 malzeme kütüphanesindeki malzemelerden en uygunları seçilmiştir (Christensen, 2009).

Ayasofya Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 14'te,

Gülbahar Hatun Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 15'te,

İskenderpaşa Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 16'da,

Rize Büyük Gülbahar Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 17'de,

Mehmet Akif Ersoy Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 18'de,

Yavuz Sultan Selim Camii modelini oluşturan yüzeyler, yüzeyleri oluşturan malzemeler ve bu malzemelere ait oktav bantlardaki ses yutma katsayıları Tablo 19'da yer almaktadır.

ODEON 10.1 kütüphanesinde bulunmayan 2 adet malzemeye ait ses yutma katsayıları bilimsel literatürden elde edilerek kütüphaneye eklenmiştir (Kavraz, 2014b) (Abdulrahimov, 2003).

Malzemelerin ses dağıtma katsayıları ise, ODEON 10.1 programının kullanım kılavuzunda verilen tablodaki önerilere uygun olarak tanımlanmıştır (Christensen, 2009).

Tablo 14. Ayasofya Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları

| | No | Yüzey | Malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|-----------------------|-----------|--------------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Zemin yüzeyleri | 1 | Zemin döşemesi | Halı | 7005 | 0,08 | 0,24 | 0,57 | 0,69 | 0,71 | 0,73 |
| | 2 | İbadet edenler | İnsan | 11050 | 0,15 | 0,23 | 0,56 | 0,78 | 0,88 | 0,89 |
| Duvar yüzeyleri | 3 | Tahrip olmuş bölümler | Taş duvar | Kavraz, 2014b | 0,06 | 0,13 | 0,17 | 0,2 | 0,2 | 0,24 |
| | 4 | Korunan bölümler | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | Camlar | Cam | 10001 | 0,18 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| | 6 | Kapılar, dolap | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| | 7 | Tuğla bölümler | Tuğla | 1002 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0 | 0,07 |
| | 8 | Elektrik panosu | Metal | 5000 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,15 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 9 | Tahrip olmuş bölümler | Taş duvar | Kavraz, 2014b | 0,06 | 0,13 | 0,17 | 0,2 | 0,2 | 0,24 |
| | 10 | Korunan bölümler | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Diğer yüzeyler | 11 | Mihrap, minber, dolap | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |

Tablo 16. İskenderpaşa Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları

| | No | Yüzey | Malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------|----|------------------------------|---------|--------------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Zemin yüzeyleri | 1 | Zemin döşemesi | Halı | 7005 | 0,08 | 0,24 | 0,57 | 0,69 | 0,71 | 0,73 |
| | 2 | İbadet edenler | İnsan | 11050 | 0,15 | 0,23 | 0,56 | 0,78 | 0,88 | 0,89 |
| Duvar yüzeyleri | 3 | Mihrap, pencere denizlikleri | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 4 | Duvarlar | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | Pencereler | Cam | 10003 | 0,16 | 0,24 | 0,56 | 0,69 | 0,81 | 0,78 |
| | 6 | Kapılar, duvar dibi kaplama | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| Tavan yüzeyleri | 7 | Kubbeler ve kemerler | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Diğer yüzeyler | 8 | Kürsü | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| | 9 | Minber | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |

Tablo 17. Rize Büyük Gülbahar Camii yüzey malzemeleri ve malzemelere ait ses yutma katsayıları

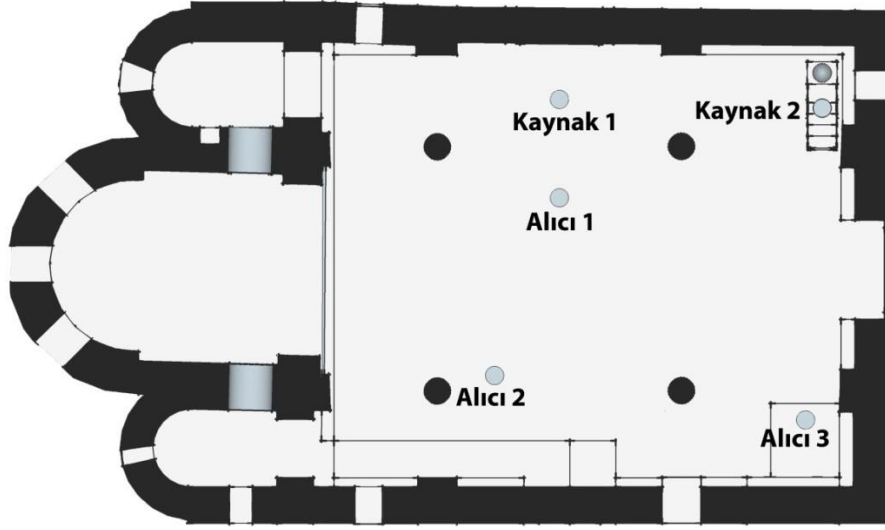
| | No | Yüzey | Malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------|----|-------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Zemin yüzeyleri | 1 | Zemin döşemesi | Halı | 7005 | 0,08 | 0,24 | 0,57 | 0,69 | 0,71 | 0,73 |
| | 2 | İbadet edenler | İnsan | 11050 | 0,15 | 0,23 | 0,56 | 0,78 | 0,88 | 0,89 |
| Duvar yüzeyleri | 3 | Duvar yüzeyleri, mihrap | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 4 | Pencereler | Cam | 10003 | 0,16 | 0,24 | 0,56 | 0,69 | 0,81 | 0,78 |
| | 5 | Pencere denizlikleri | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 6 | Kapılar | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| Tavan yüzeyleri | 7 | Tavan, balkon altı | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| | 8 | Kubbe içi | Bağdadi sıva | 4036 | 0,14 | 0,1 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| Diğer yüzeyler | 9 | Minber, kürsü, kolonlar | Ahşap | Abdulrahimov, 2005 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |

2.4.4. Alıcı ve Ses kaynağı Noktalar ile İlgili Yapılan Kabuller

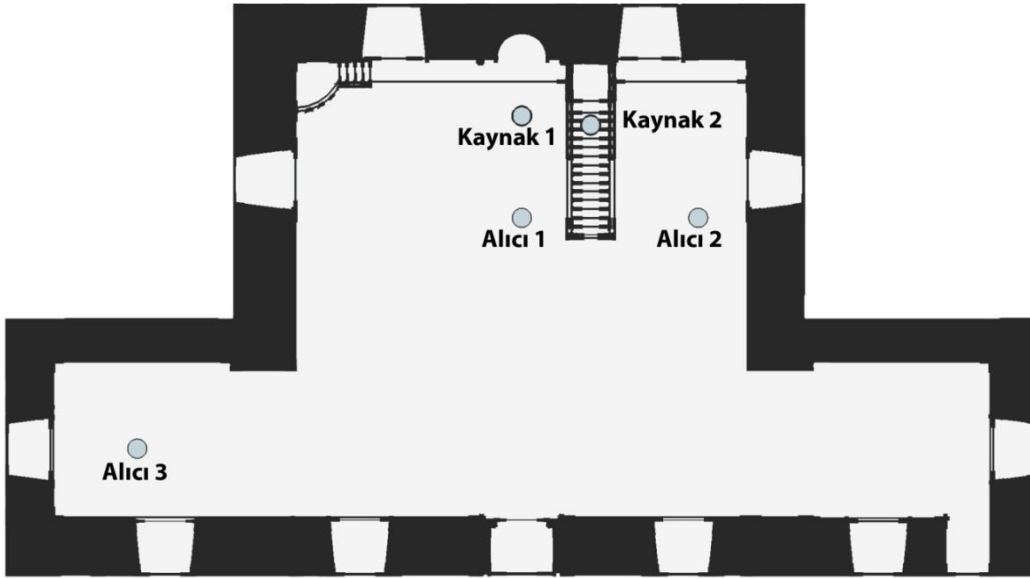
ODEON Simülasyon programı ile sesin nesnel parametre değerlerine ilişkin sonuçlar her alıcı konumu için özel ve tüm alıcı konumları için genel olarak elde edilebilmektedir. Aynı alıcı konumlarına ilişkin sonuçların elde edilebilmesi için her bir alıcı konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için camide ibadet edenler için belirlenen alan “Grid Definition” bölümünde tanımlanmıştır. Doluluk ve yarı doluluk durumlarında ibadet edenleri temsilen oluşturulan dikdörtgen prizmaların üst yüzeyleri 50 cm X 50 cm boyutunda grid yüzeyleri halinde tanımlanmış ve alıcı konumları belirlenmiştir. Boş durumda alıcı konumlarının yüksekliklerinin belirlenmesi için ise tam doluluk durumunda ibadet edenlerin buldukları zemin grid yüzeyi olarak tanımlanıp 160 cm yükseltilmiştir. Grid yüzeylerinde elde edilen ortalama sonuçlar dışında mekân içerisindeki bölgesel farklılıkların gözlemlenebilmesi için farklı alanlarda farklı alıcı noktaları ayrıca tanımlanmıştır. Alıcı noktalarının konumları belirlenirken; noktaların ana ibadet salonlarının ses kaynaklarına yakın bölgelerinde, yan taraflarında ve arka taraflarında bulunmaları istenmiştir. Gülbahar Hatun Camii'nin plan düzleminde geleneksel cami ana ibadet salonu yapısından farklı bir plana sahip olmasından dolayı bir tanesi yan zaviyelerden birine, Büyük Gülbahar Camii'nde ise mahfil katına yerleştirilmiştir. Kapasiteleri yüksek olan Mehmet Akif Ersoy ve Yavuz Sultan Selim Camilerinde ise fazladan birer alıcı nokta yerleştirilmiştir.

Ses kaynağı noktaları; imamın namaz esnasında bulunduğu mihrap ve vaaz sırasında çıktığı minber olmak üzere iki noktada tanımlanmıştır. Her iki konumda da, ses kaynağı buldukları zemin düzleminin 150 cm üzerine (ISO, 2009) yerleştirilmiştir.

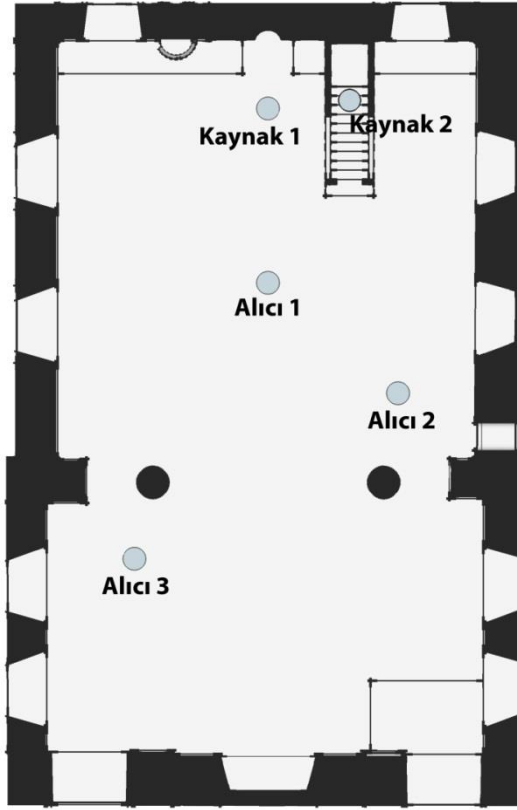
Ayasofya Camii'nde değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarının konumlarına ait yerleşimler Şekil 16'da, Gülbahar Hatun Camii'nde değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarına ait yerleşimler Şekil 17'de, İskenderpaşa Camii'nde değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarına ait yerleşimler Şekil 18'de, Büyük Gülbahar Camii'nde değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarına ait yerleşimler Şekil 19'da, Mehmet Akif Ersoy Camii'de değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarına ait yerleşimler Şekil 20'de, Yavuz Sultan Selim Camii'de değerlendirilen alıcı ve ses kaynağı noktalarına ait yerleşimler Şekil 21'de gösterilmektedir.



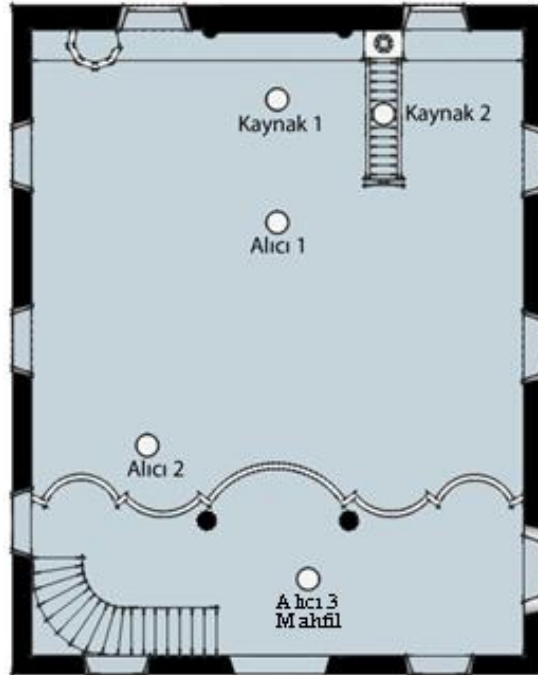
Şekil 16. Ayasofya Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları



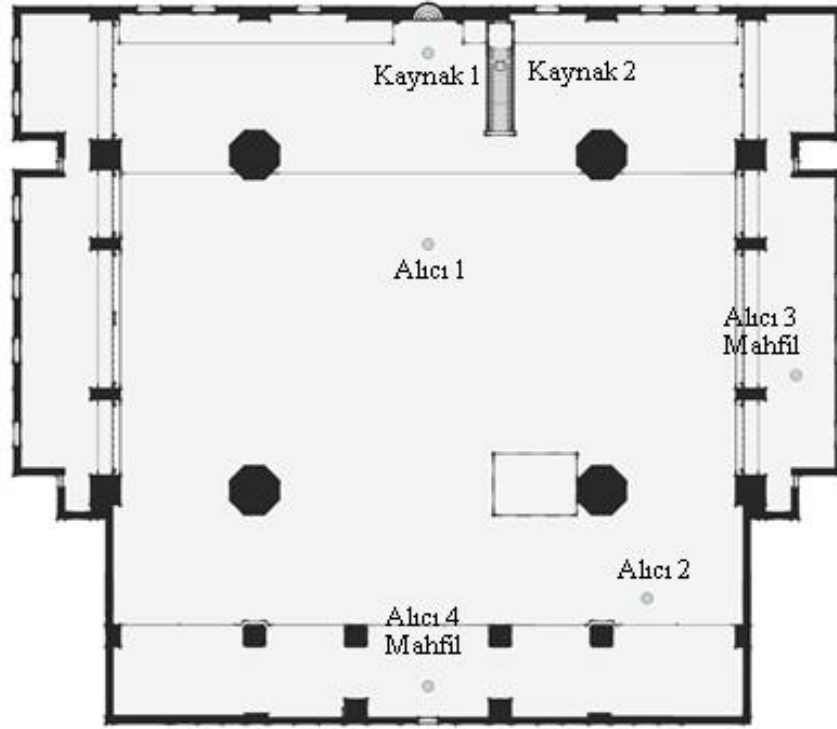
Şekil 17. Gülbahar Hatun Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları



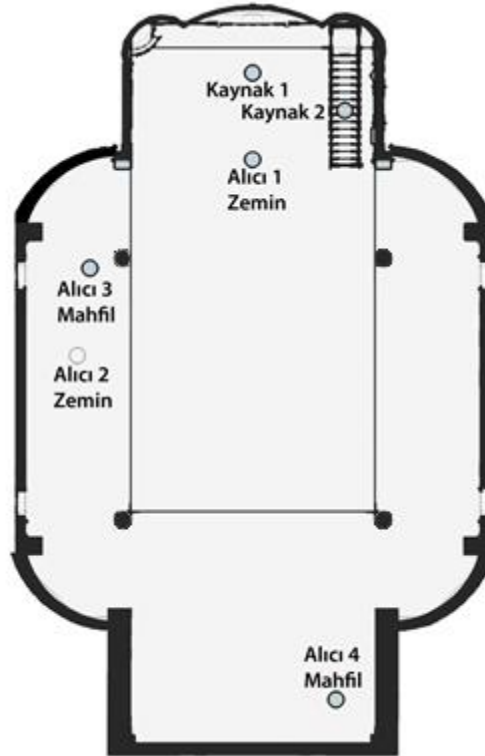
Şekil 18. İskenderpaşa Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları



Şekil 19. Rize Büyük Gülbahar Camii'nde konumlandırılan zemin ve balkon katları ses kaynağı ve alıcı noktaları



Şekil 20. Mehmet Akif Ersoy Camii'nde konumlandırılan zemin ve mahfil katları ses kaynağı ve alıcı noktaları



Şekil 21. Yavuz Sultan Selim Camii'nde konumlandırılan ses kaynağı ve alıcı noktaları

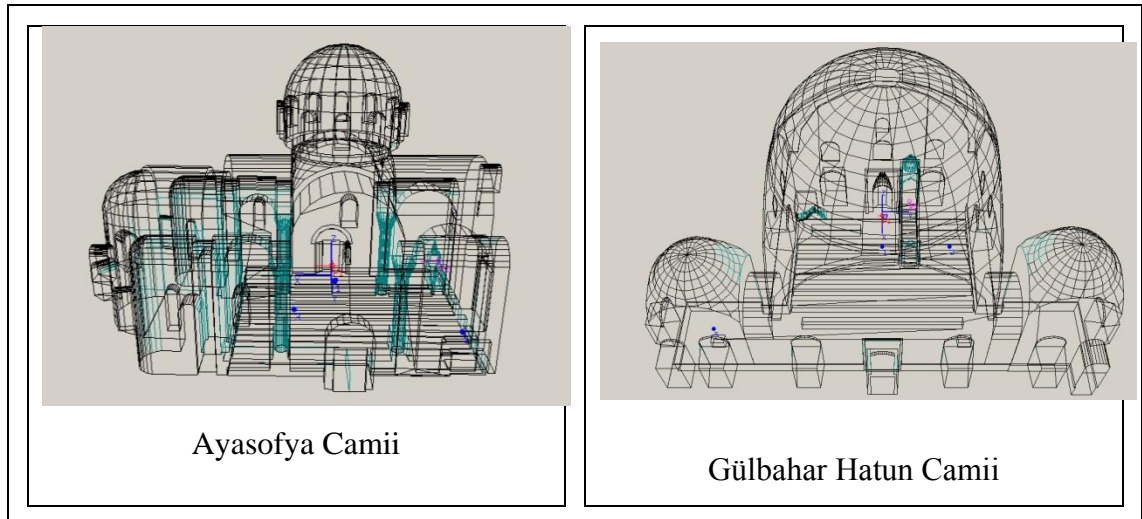
2.5. Programın Çalıştırılması Süreci

Çalışma kapsamında yer alan altı farklı caminin doluluk oranları ve cami içerisinde gerçekleşen faaliyetlere göre oluşturulan senaryolar doğrultusunda Sketchup 8 programında hazırlanan modeller .dxf dosya formatında kaydedilerek ODEON version 10.1 programına aktarılmıştır. İlk olarak, modellerin oluşturulması ve farklı dosya formatlarına dönüştürülmeleri sırasında oluşabilecek geometrik hatalara karşı “3D Geometry Debugger” komutu ile modeller kontrol edilmiş ve modellerin hatasız oldukları belirlenmiştir. Daha sonra yüzeylerde modelleme sırasında yapılan veya format dönüşümü sırasında oluşabilen, simülasyon işlemi sırasında ışınların mekan içerisinden kaçmasına sebep olabilecek boşlukların simülasyon sonuçlarını etkileyebilecek miktarda olup olmadığı “3D Investigate Rays” komutu ile kontrol edilmiştir.

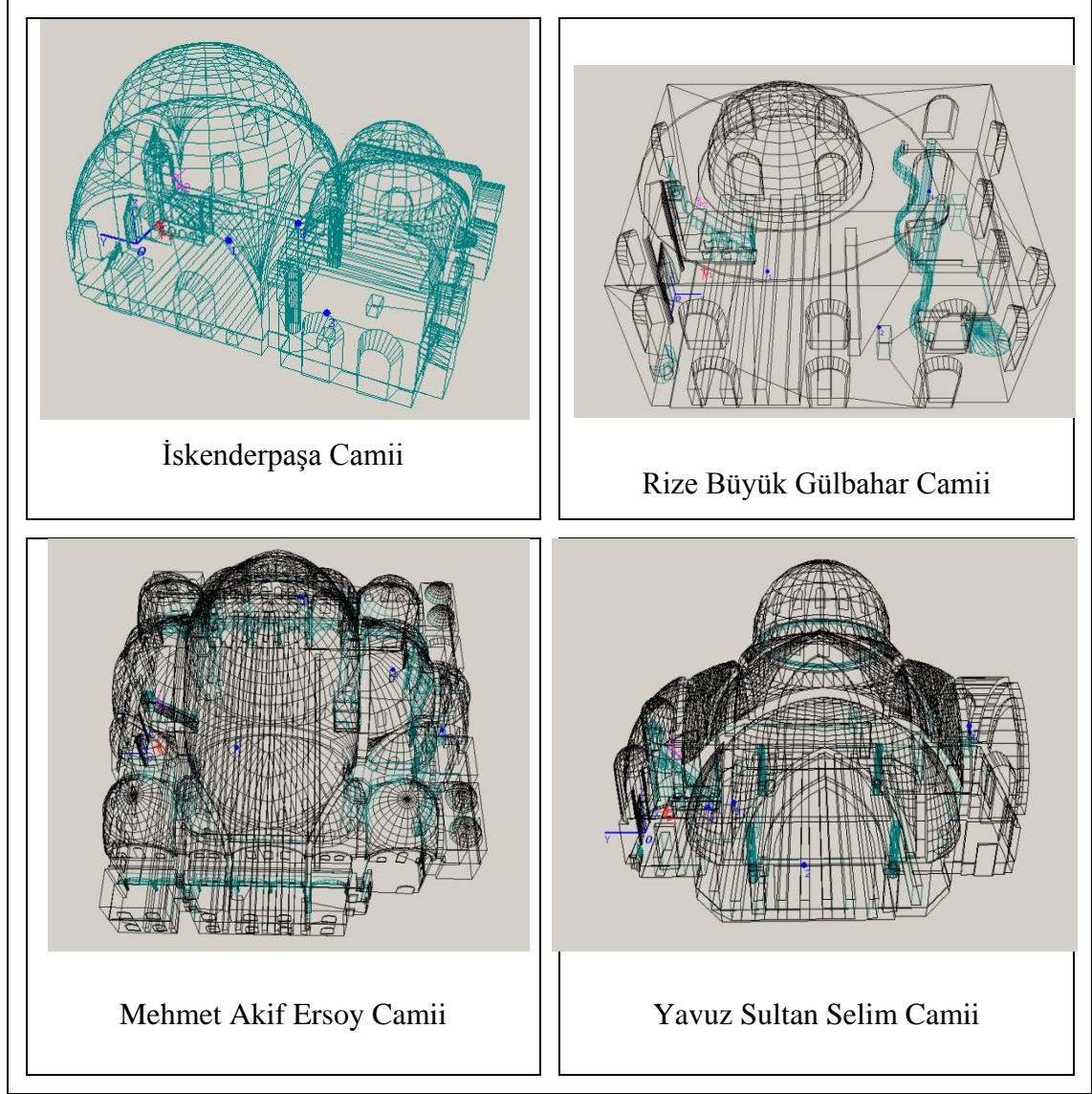
Kontroller tamamlanıp modellerin simülasyona uygun oldukları belirlendikten sonra kurgulanan senaryolar doğrultusunda Bölüm 2.4.4 başlığı altında açıklanan ses kaynağı ve alıcı noktaları tanımlanmış, grid konumları belirlenip yüzeylere ilgili malzemeler atanmıştır.

“Global Estimation” komutu ile yaklaşık çınlama süresi tespit edilen camiler için gerekli “Number of Rays ve “Impulse Response Length” değerleri atandıktan sonra her faaliyet modunda, tanımlanan alıcı noktalar ve grid için ayrı ayrı olmak üzere görev listesinden birer görev tanımlanarak program çalıştırılmış, simülasyon işlemi başlatılmıştır. Tablo 20’de, camilere ait simülasyon modelleri yer almaktadır.

Tablo 20. İncelenen Camilere ait simülasyon modelleri



Tablo 20'nin devamı



2.6. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Sesin Nesnel Parametreleri ve Optimum Değer Aralıkları

Camilere ait modellerin ODEON version 10.1 programında akustik simülasyonlarının gerçekleştirilmesi sonucu sesin nesnel parametre değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında sesin nesnel parametrelerinden; Çınlama Süresi (RT), Erken Düşme Süresi (EDT), Belirginlik (D50), Netlik (C80) ve Konuşma İletim Endeksi'ne (STI) ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çınlama Süresine (RT) ait optimum değer aralığı için Kayılı (2005)'te camiler için önerdiği optimum çınlama süreleri esas alınmıştır. Tespit edilen optimum değerler Abdulrahimov'un (2003) önerdiği \pm %10 tolerans aralığına göre hesaplanıp optimum değer

aralıklarının alt ve üst sınırları belirlenmiştir (Kayılı, 2005), (Abdulrahimov, 2003), (Tablo 22).

Yüzeylede meydana gelen erken yansımalar hakkında bilgi veren Erken Düşme Süresi (EDT) parametresi, camiler içerisindeki çınlamanın ibadet eden kişiler üzerindeki etkisini incelemek ve sesin camiler içerisindeki sönümlenme sürecini inceleyebilmek için çalışma kapsamına alınmıştır. EDT değerleri için optimum değer aralığı, Gade'nin (1989) önerdiği RT-EDT ilişkisine göre hesaplanarak belirlenmiştir (Gade, 1989), (Tablo 22).

Konuşmaların dinleyiciler tarafından algılanması ile ilgili olan Belirginlik (D50) parametresi, camilerdeki vaaz faaliyetlerinin ibadet edenlerce anlaşılabilirliğini değerlendirmek için değerlendirme kapsamına alınmıştır. Belirginlik parametresi için optimum değer olarak ISO 3382'de önerilen %30-%70 aralığı esas alınmıştır (Cunha, vd., 2013) (ISO, 2009) (Tablo 22).

Müzikal algının kalitesini belirleyen Netlik (C80) parametresi, ibadet faaliyetleri sırasında yapılan makamlı Kuran'ı Kerim ve ilahi okumalarının ibadet edenler tarafından algılanışını incelemek için değerlendirme kapsamına alınmıştır. Netlik parametresi için optimum değer olarak Beranek'in (1996) önerdiği -4dB +4 dB aralığı esas alınmıştır (Beranek, 1996), (Tablo 22).

Konuşmanın anlaşılması ile ilgili diğer parametre olan Konuşma İletim Endeksi (STI), D50 parametresine göre insan algısına daha yakın bir parametre olması nedeniyle değerlendirme kapsamına alınmıştır. Optimum değer olarak STI değer aralıklarının sınıflandırıldığı tabloya göre yeterli görülen 0.45 ve üzeri değerler kabul edilmiştir (Tablo 21)

Tablo 21. STI Değer aralıklarının sınıflandırılması (URL-14, 2015).

| Nitelik | STI değeri |
|----------|-------------|
| Kötü | 0 - 0,32 |
| Zayıf | 0,32 - 0,45 |
| Yeterli | 0,45 - 0,60 |
| İyi | 0,60 - 0,75 |
| Mükemmel | 0,75 - 1 |

Tablo 22. Camilerin akustik açıdan değerlendirilmesinde kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları

| | RT (sn) | EDT (sn) | D50 (%) | C80 (dB) | STI |
|---------------------------|------------|-----------|---------|----------|----------|
| Ayasofya Camii | 1,74-2,12 | 1,89-2,31 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |
| Gülbahar Hatun Camii | 1,75-2,13 | 1,9-2,32 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |
| İskenderpaşa Camii | 1,61-1,97 | 1,75-2,15 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |
| Rize Büyük Gülbahar Camii | 1,61-1,97 | 1,75-2,15 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |
| Mehmer Akif Ersoy Camii | 2,16-2,164 | 2,35-2,88 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |
| Yavuz Sultan Selim Camii | 1,74-2,12 | 1,89-2,31 | 30-70 | -4 +4 | Tablo 21 |

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

Bu Bölümde, Yapılan Çalışmalar Bölümü'nde belirtilen ODEON Version 10.1 Bilgisayar Simülasyon Programı vasıtasıyla elde edilen sesin nesnel parametre değerlerine ait sonuçlar EXCEL programında grafikler haline getirilerek değerlendirilmiştir. Camilerin ibadet mekanları için elde edilen sesin nesnel parametrelerine ait ortalama değerler ve mekanlardaki her bir alıcı nokta için elde edilen noktasal değerler incelenip birbirleriyle ve önerilen optimum değerler ile karşılaştırılmıştır. Nesnel parametrelere ait sonuçların optimum değerlerle karşılaştırılması, orta frekanslardaki değerlerin ortalaması esas alınarak yapılmıştır. Camilerin akustik konfor koşulları açısından olumlu ya da olumsuz durumları tespit edilmiş, daha sonra tespit edilen olumsuz durumlar düzeltilip Camiler akustik açıdan konfor koşulları sağlayacak duruma getirilmiş, bazı durumlarda konfor koşullara yaklaştırılmıştır. Bu durum yüzey malzemelerindeki değişiklikler ile sağlanmıştır. Bunun için her caminin durumuna göre uygun görülen yüzey malzemeleri değişiklikleri doğrultusunda çözüm önerileri hazırlanmıştır. Özellikle tarihi camilerde sesin nesnel parametreleri için optimum değerlerin elde edilmesi sürecinde tarihi değere sahip dokulara zarar verilmemesine dikkat edilmiş, yüzey malzemeleri değiştirilirken tarihi dokunun korunması öngörülmüştür. Uygun malzeme seçiminden sonra yeni tasarlanan çözüm önerilerine göre camilere ait 3D modeller yeniden düzenlenerek ODEON Version 10.1 Programına aktarılıp simülasyon işlemi tekrarlanmış ve çözüm önerileri değerlendirilmiştir.

Camilerde iki farklı kaynak noktası konumu (namaz modu ve vaaz modu), üç farklı doluluk oranı (boş, %50 ve %100) ve ibadet edenlerin iki farklı pozisyonuna (oturma pozisyonu ve ayakta durma pozisyonu) göre oluşturulmuş olan faaliyet senaryoları:

- Caminin boş olduğu namaz modu,
- Caminin boş olduğu vaaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modu,
- Caminin %50 dolu, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modu,
- Caminin %50 dolu, İbadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modu,

- Caminin %100 dolu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modu,
- Caminin %100 dolu, İbadet edenlerin ayakta olduğu namaz modu

olarak düzenlenmiştir. Faaliyet senaryoları için yapılan bilgisayar simülasyonları ile camilere ait ortalama ve noktasal olarak nesnel parametre sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sesin nesnel parametrelerine ait değerlerin incelenmesi doluluk oranlarının ve ses kaynağı noktalarının konumlarının değişimine göre karşılaştırılarak yapılmıştır. Doluluk oranına göre yapılan düzenlemelerde, şekillerdeki ilk grafikte namaz modunda; caminin boş, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu %50 doluluk ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları %100 doluluk durumlarındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci grafikte ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda oldukları %50 ve % 100 doluluk durumlarına ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üçüncü grafikte ise vaaz modunda caminin boş, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları % 50 doluluk ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları %100 doluluk durumları karşılaştırılmıştır. Sesin nesnel parametre sonuçlarının doluluk oranlarına göre karşılaştırılmalarına ilişkin durumlar ve grafikte kullanılan kısaltılmış ifadeler;

- 1 numaralı ses kaynağı aktif, ibadet edenler oturur pozisyonda, farklı doluluk oranları;
 - Namaz modunda, caminin boş olduğu durum - 1(baş),
 - Namaz modunda, %50 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 1(O)(%50),
 - Namaz modunda %100 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 1(O)(%100),
- 1 numaralı ses kaynağı aktif, ibadet edenler ayakta durma pozisyonunda, farklı doluluk oranları;
 - Namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta olduğu %50 dolulukta durum - 1(A)(%50),
 - Namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta olduğu %100 dolulukta durum - 1(A)(%100),
- 2 numaralı ses kaynağı aktif, ibadet edenler oturur pozisyonda, farklı doluluk oranları
 - Vaaz modunda, caminin boş olduğu durum - 2(baş),
 - Vaaz modunda, %50 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 2(O)(%50),

- Vaaz modunda, %100 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 2(O)(%100),

olmak üzere üç farklı grafik halinde düzenlenmiştir.

Bilgisayar simülasyonları sonucu elde edilen sesin nesnel parametre değerlerinin, ses kaynağı konumunun değişimine göre karşılaştırılmaları ise caminin boş olduğu, ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları % 50 doluluk, ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları %100 doluluk durumlarında, namaz modunda ve vaaz modunda elde edilen nesnel parametre sonuçlarının grafikler halinde düzenlenerek gerçekleştirilmiştir. Düzenlenmiş olan bu grafiklerdeki ve grafiklerde kullanılan kısaltmalar:

- a.** Cami boş durumda iken iki farklı faaliyet modundaki senaryoların karşılaştırılması;
 - Namaz modunda, caminin boş olduğu durum - 1(baş),
 - Vaaz modunda, caminin boş olduğu durum - 2(baş),
- b.** Cami %50 doluluk oranında ve ibadet edenler oturur pozisyonda iken iki farklı faaliyet modundaki senaryoların karşılaştırılması;
 - Namaz modunda, %50 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 1(O)(%50),
 - Vaaz modunda, %50 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 2(O)(%50),
- c.** Cami tam doluluk oranında ve ibadet edenler oturur pozisyonda iken iki farklı faaliyet modundaki senaryoların karşılaştırılması;
 - Namaz modunda, %100 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum - 1(O)(%100),
 - Vaaz modunda, %100 dolulukta ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları durum -2(O)(%100),

için yine üç ayrı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Grafiklerin tümünde; O: ibadet edenlerin oturma pozisyonunda oldukları durum, A: ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda oldukları durum, 1: 1 no'lu ses kaynağının aktif olduğu "namaz modu", 2: 2 no'lu ses kaynağının aktif olduğu "vaaz modu" anlamına gelmektedir.

Bu şekilde genel ortalama ve her alıcı nokta için elde edilen sonuçlara göre grafikler düzenlenmiş ve bu grafikler incelenerek camilerin mevcut durumdaki akustik performansları tespit edilmiştir. Bu inceleme sonrası camilerin akustik performanslarında

yetersiz görülen durumları iyileştirmek amacıyla akustik düzenleme önerileri hazırlanmıştır. Akustik düzenleme önerilerine göre yeniden hazırlanan 3D modeller ODEON Version 10.1 Programına aktarılıp simüle edilmiştir ve elde edilen sonuçlar mevcut durumdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Akustik düzenleme sonrası oluşturulan modeller, camilerdeki faaliyetler içerisinde uygulanma oranı en fazla olan %50 dolulukta, ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda olduğu faaliyet senaryosunda düzenlenerek simüle edilmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar aynı faaliyet senaryosundaki mevcut durum için elde edilen ortalama sonuçlarla ve optimum değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamındaki sesin nesnel parametrelerinden, sonuçları frekanslara göre değişiklik gösteren RT, EDT, D50 ve C80 parametrelerine ait sonuçların mevcut ve optimum değerlerle karşılaştırılmaları 500 Hz ve 1000 Hz'deki değerlerinin ortalamaları üzerinden yapılmıştır.

ODEON Version 10.1 Programı, ses kaynağı kapandıktan sonra sesin 30 dB azalması için geçen süreyi esas alarak, bu değerın 2 ile çarpılmasıyla çınlama süresi değerini hesaplamaktadır. Bu nedenle bu bölümde çınlama süresi, ODEON Version 10.1 Programında olduğu şekli ile, T30 olarak adlandırılmıştır.

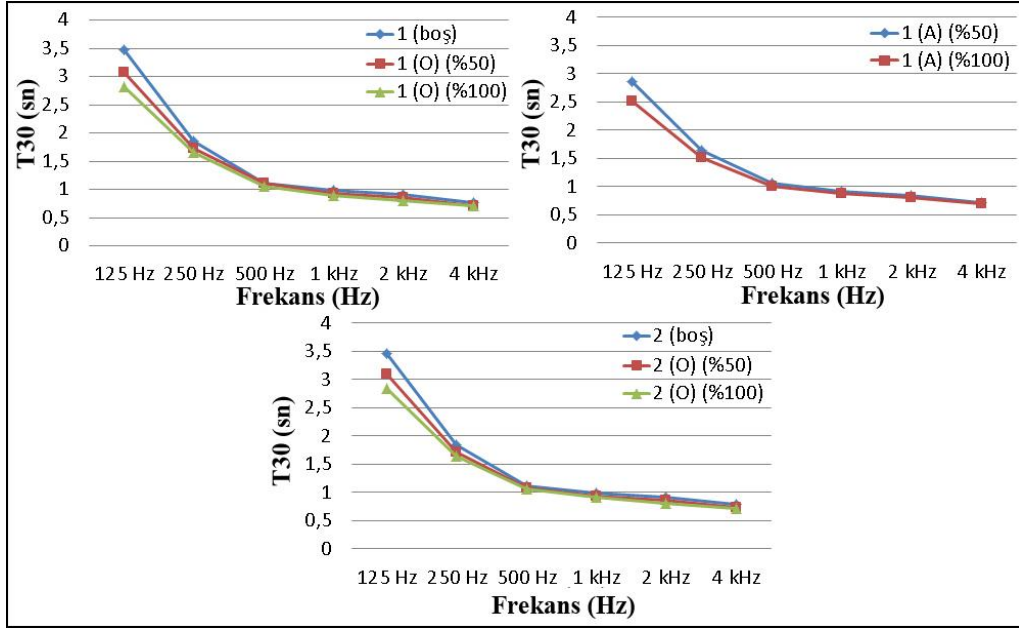
3.2. Ayasofya Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri

3.2.1. Ayasofya Camii için Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri

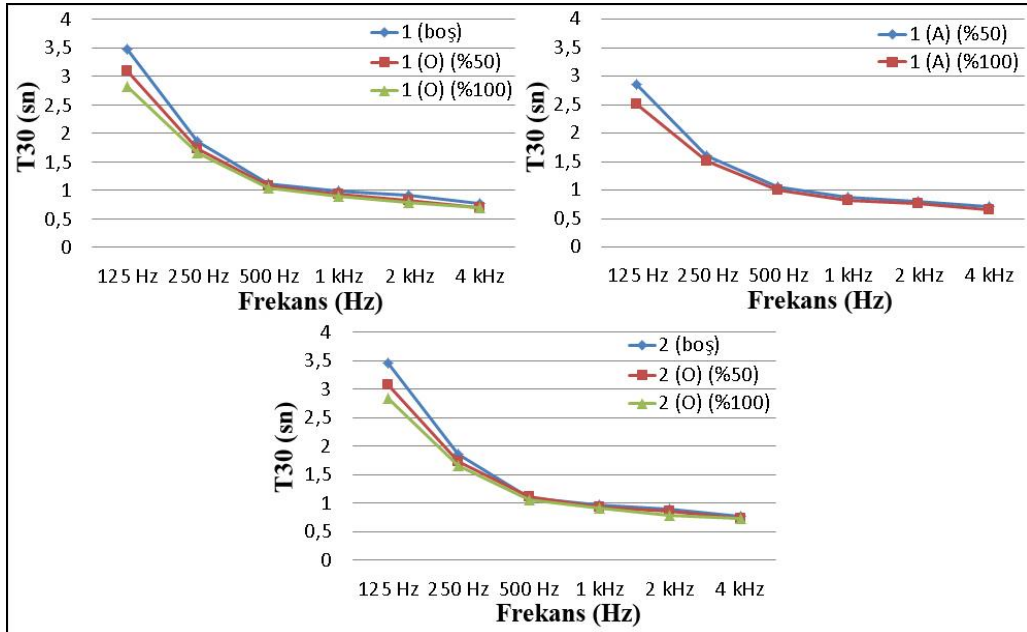
Ayasofya Camii için elde edilen ortalama T30 değerleri Şekil 22'de yer almaktadır. Ayasofya Camii için önerilen optimum T30, 1,74 sn – 2,12 sn değer aralığındadır (Tablo 22). Orta frekanslarda her durumda camideki T30 değerleri optimum değerlerin altında kalmıştır. Alçak frekanslarda ise çok yüksek T30 değerleri elde edilmiş, T30 sonuçlarının frekans aralıklarında düzensiz dağıldığı bir grafik meydana gelmiştir (Şekil 22).

Doluluk oranı azaldıkça T30 değerindeki artış özellikle alçak frekanslarda gözlenmekteyken orta ve yüksek frekanslarda daha sınırlı olmuştur. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,05 sn ile vaaz modundaki boş durumda, en düşük T30 değeri ise 0,94 sn ile namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta olduğu tam doluluk durumunda tespit edilmiştir (Şekil 22).

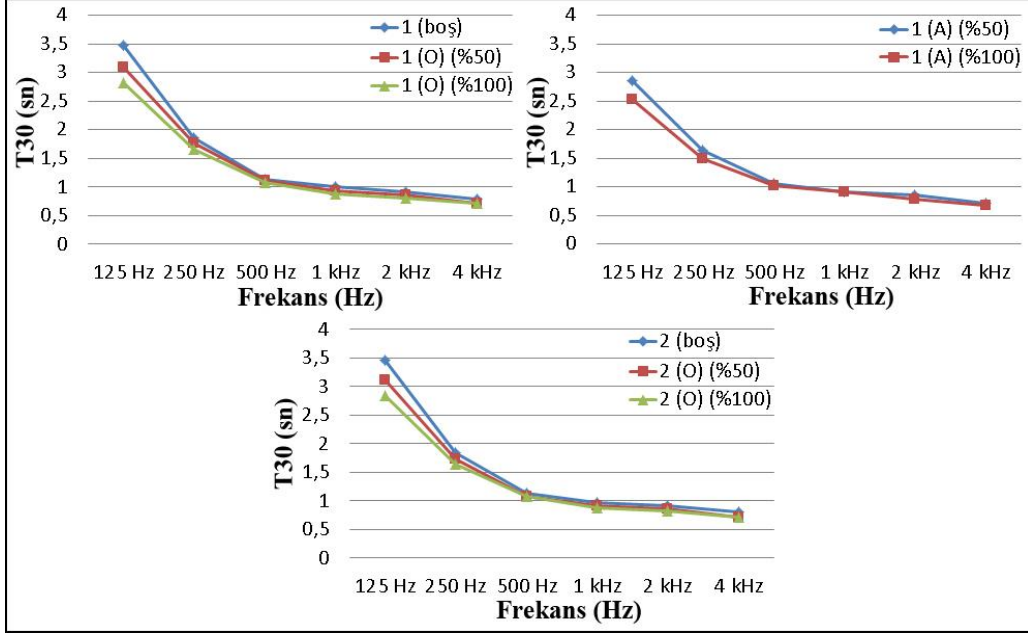
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen T30 değerlerinin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde genel ortalamaya benzer sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Orta frekanslarda en düşük T30 değeri 0.92 sn ile Alıcı 1’de, en yüksek T30 değeri ise 1,07 sn ile Alıcı 2’de elde edilmiştir (Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25).



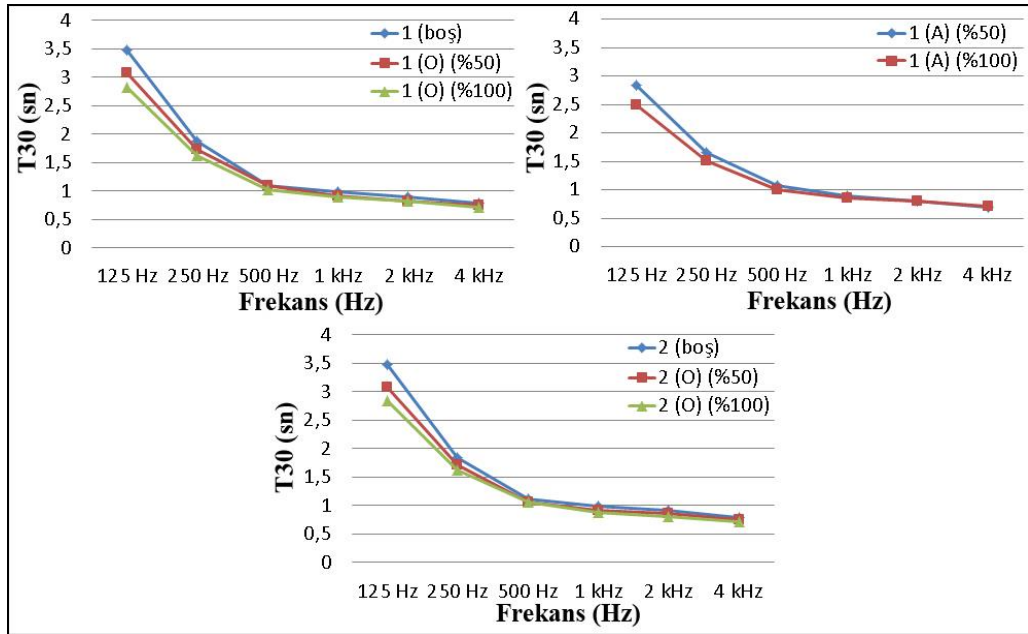
Şekil 22. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii ortalama T30 değerleri



Şekil 23. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-T30 değerleri

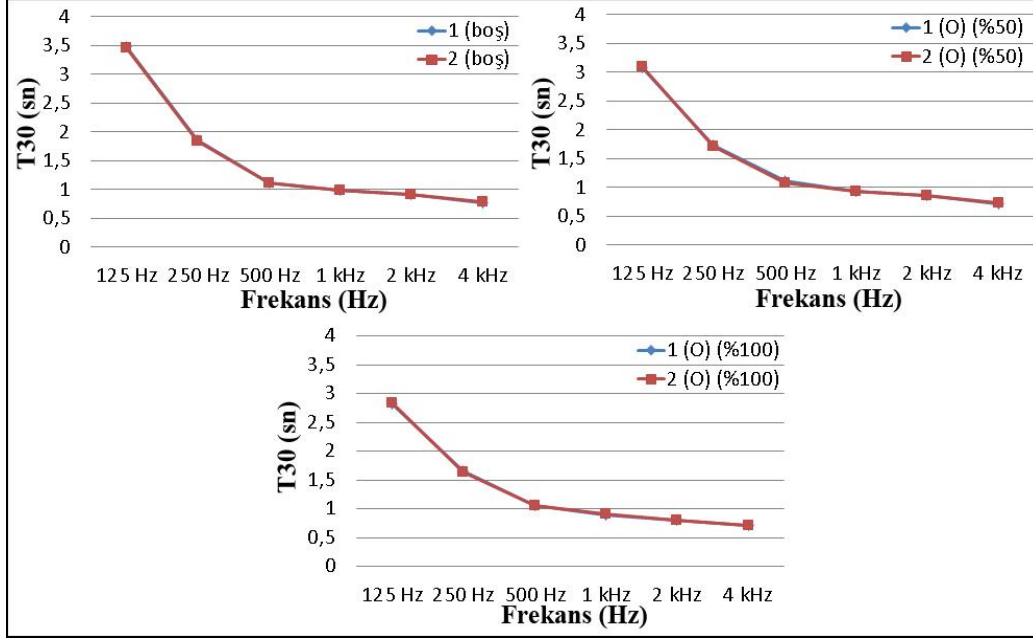


Şekil 24. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



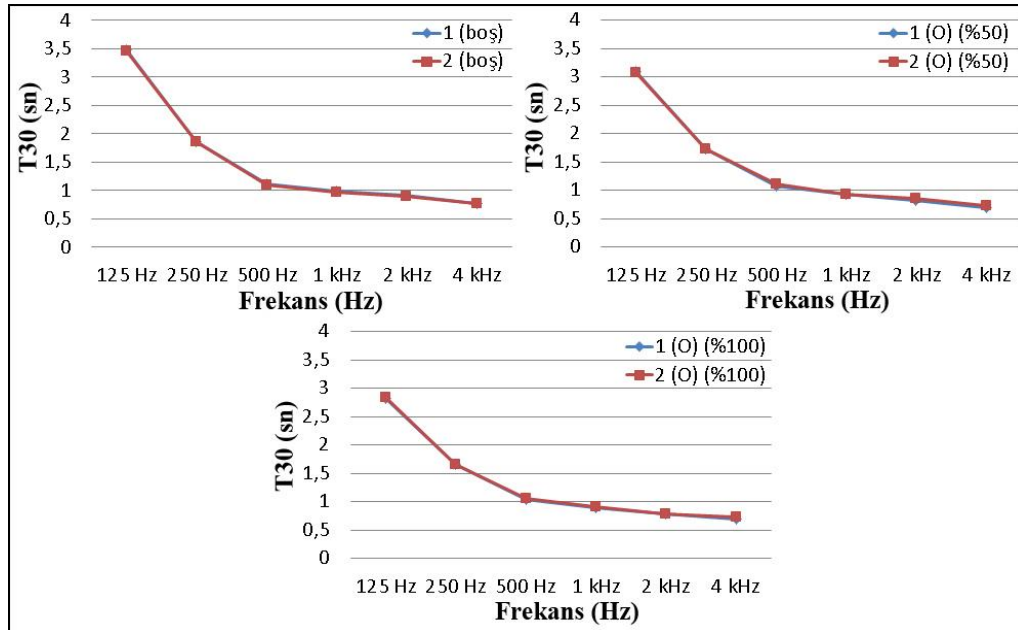
Şekil 25. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

Ortalama T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde değerler arasında belirgin bir fark elde edilmemiştir. T30 değerlerinin ses kaynağının konumunun değişiminden etkilenmediği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 26).

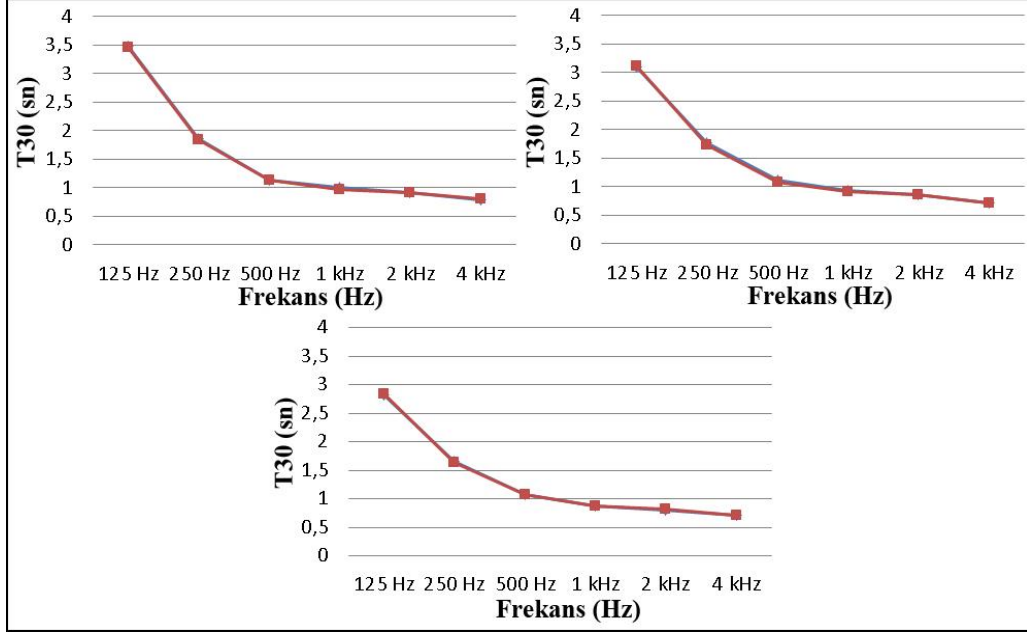


Şekil 26. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama T30 değerleri

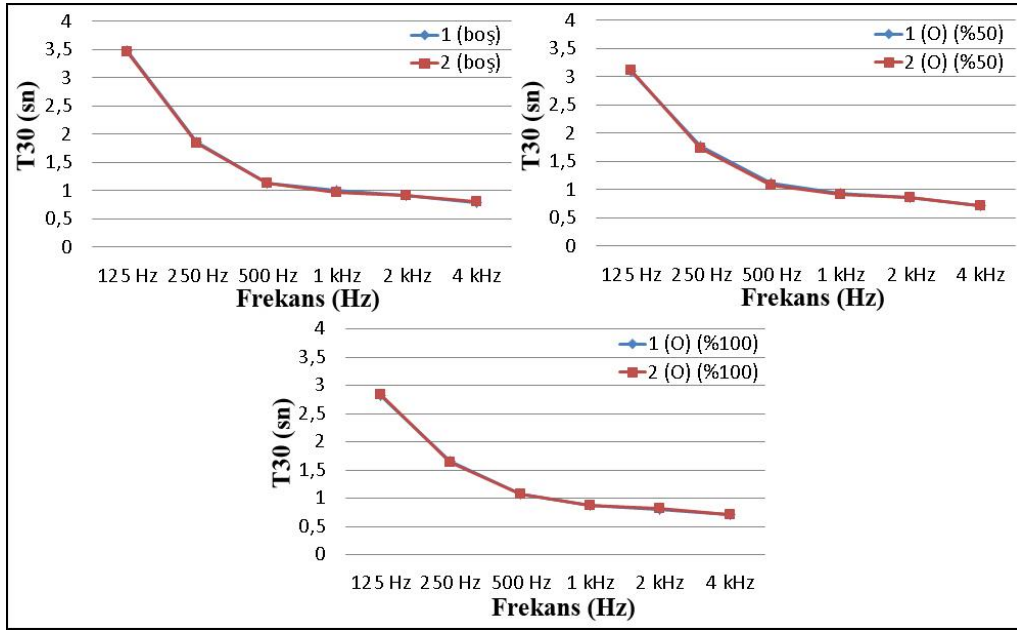
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde alıcıların tümünde birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ses kaynağı noktası değişiminin genel ortalamada olduğu gibi alıcı noktalar üzerinde elde edilen değerleri etkilemediği görülmektedir (Şekil 27, Şekil 28, Şekil 29).



Şekil 27. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 28. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



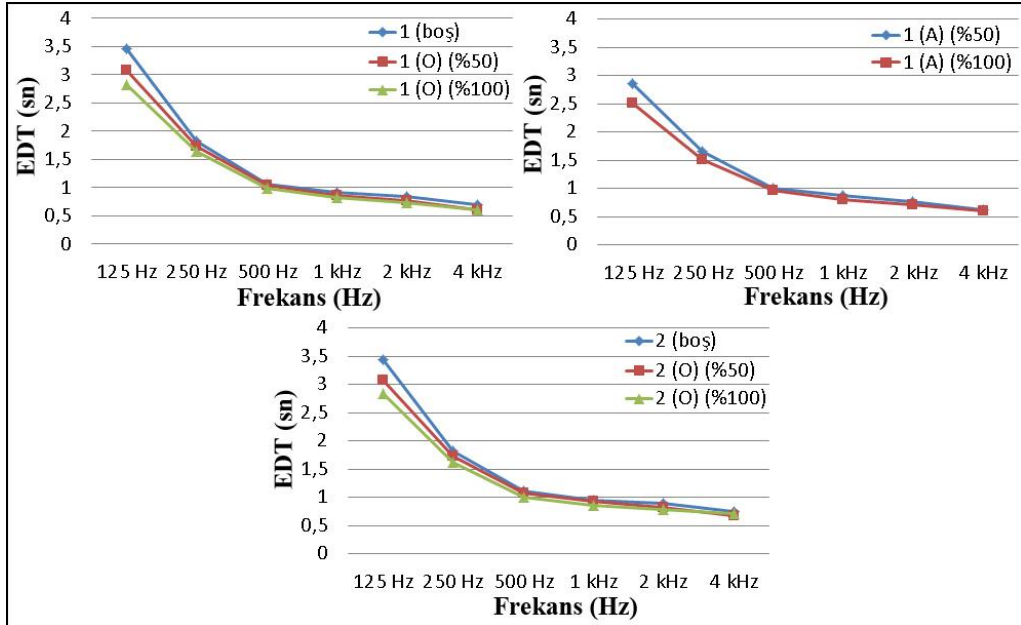
Şekil 29. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

3.2.2. Ayasofya Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri

Ayasofya Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 30'da yer almaktadır. Ayasofya Camii'nin hacmi için önerilen optimum EDT 1,89 – 2,31 sn değer aralığıdır (Tablo 22). Mekânın ortalama EDT değerleri dikkate alındığında, hemen hemen hiçbir durumda ve

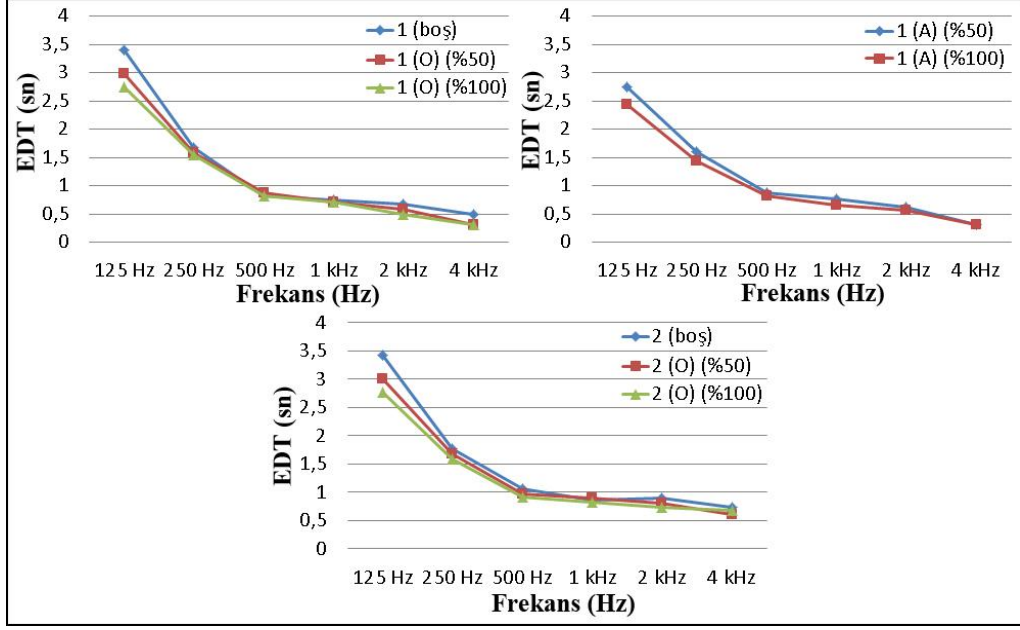
frekans aralığında, T30 değerlerinden daha yüksek EDT değerleri elde edilememiştir. Bu durum yansımaların çınlamanın geç aşamalarında yoğunlaştığını göstermektedir. Doluluk oranının artmasıyla EDT değerlerinde de, T30 değerinde olduğu gibi alçak frekanslarda daha belirgin olmak üzere azalma görülmektedir.

T30 değerinde olduğu gibi EDT değerlerinde de orta frekanslarda hiçbir durumda optimum değerler elde edilememiş, her durumda mevcut değerler optimum değerlerden düşük düzeyde kalmıştır. T30 değerlerinde olduğu gibi EDT’de de alçak frekanslarda değerler çok yüksek düzeyde elde edilmiştir. En yüksek EDT değeri 1,03 sn ile vaaz modunda Caminin boş olduğu durumda, en düşük değer ise 0,89 sn ile namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta olduğu %100 dolulukta elde edilmiştir (Şekil 30).

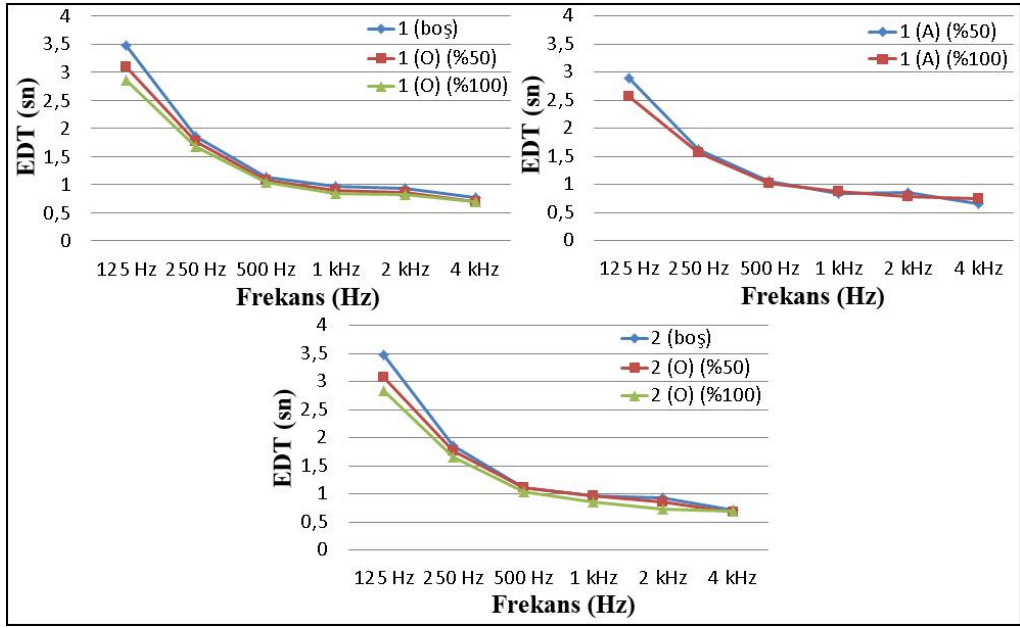


Şekil 30. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii ortalama EDT değerleri

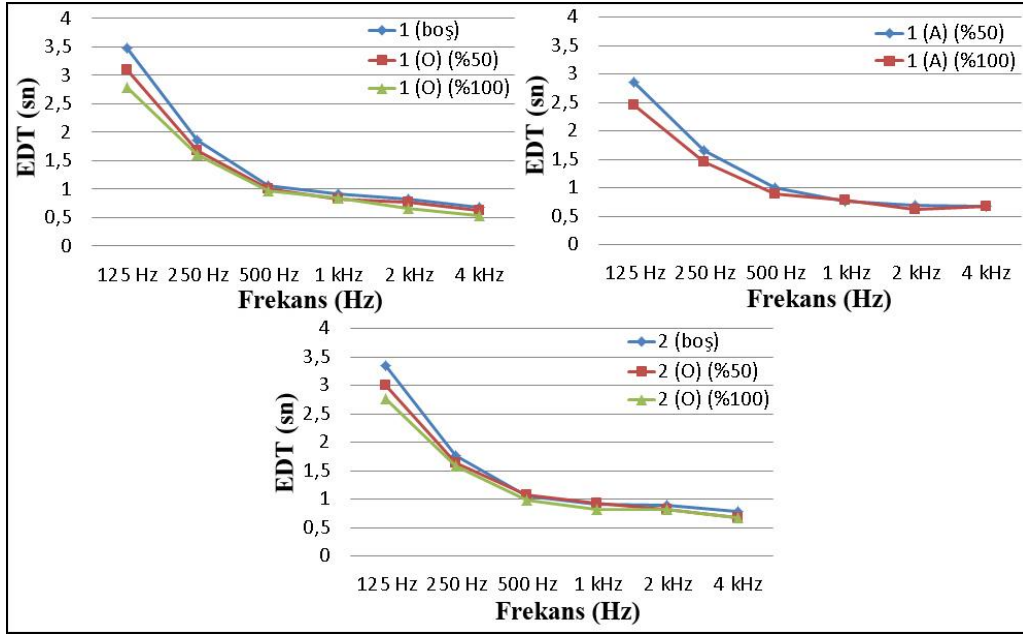
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için EDT değerlerinin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, orta frekanslarda en yüksek değer 1,04 sn ile Alıcı 2, en düşük değer ise 0,74 sn ile Alıcı 1’de elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Değerler arasında, doluluk oranının değişimi sonucu oluşan farklar genel ortalamadaki farklar ile aynı düzeyde elde edilmiştir (Şekil 31, Şekil 32, Şekil 33).



Şekil 31. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-EDT değerleri

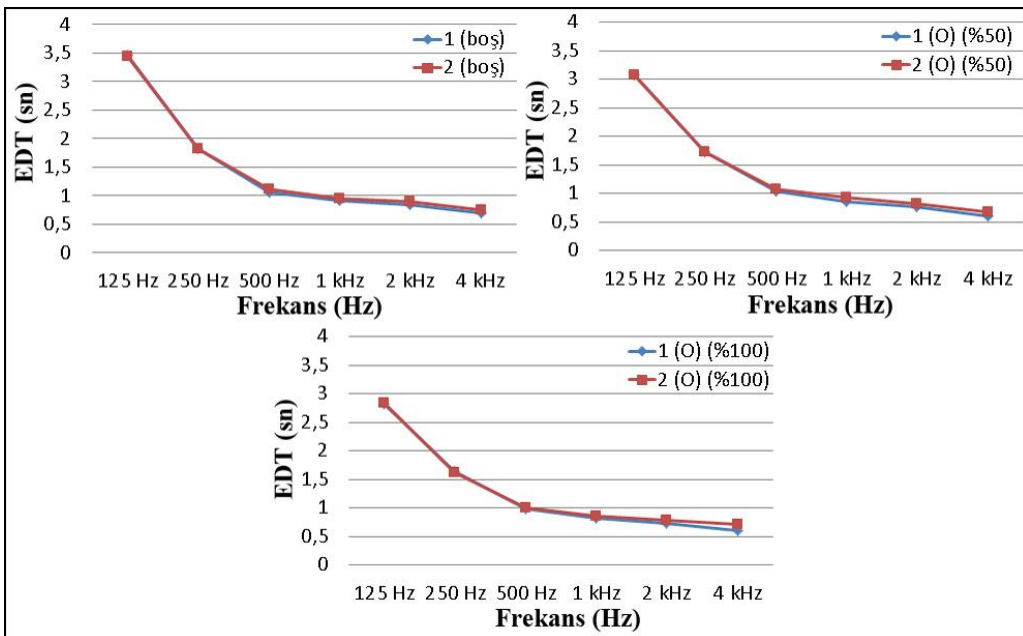


Şekil 32. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



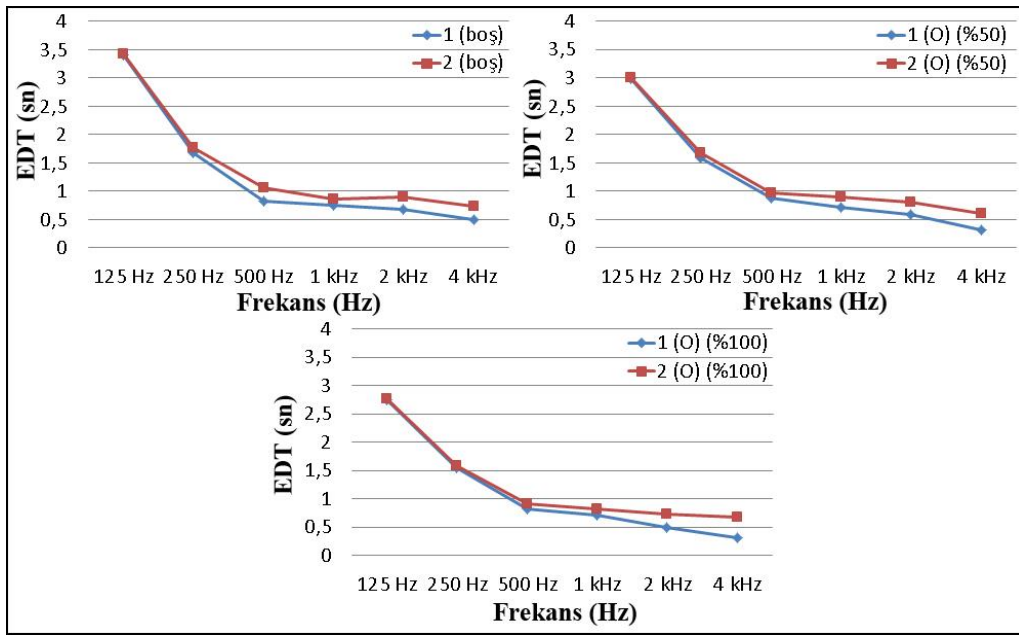
Şekil 33. Doluluk oranına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

Elde edilen ortalama EDT değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, alçak frekanslarda birbirine çok yakın olan değerlerin orta ve üst frekanslarda bir miktar farklılaştıkları tespit edilmiştir. Sonuçların birbirinden farklı oldukları durumlarda vaaz modu değerleri namaz modu değerlerinden daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 34).

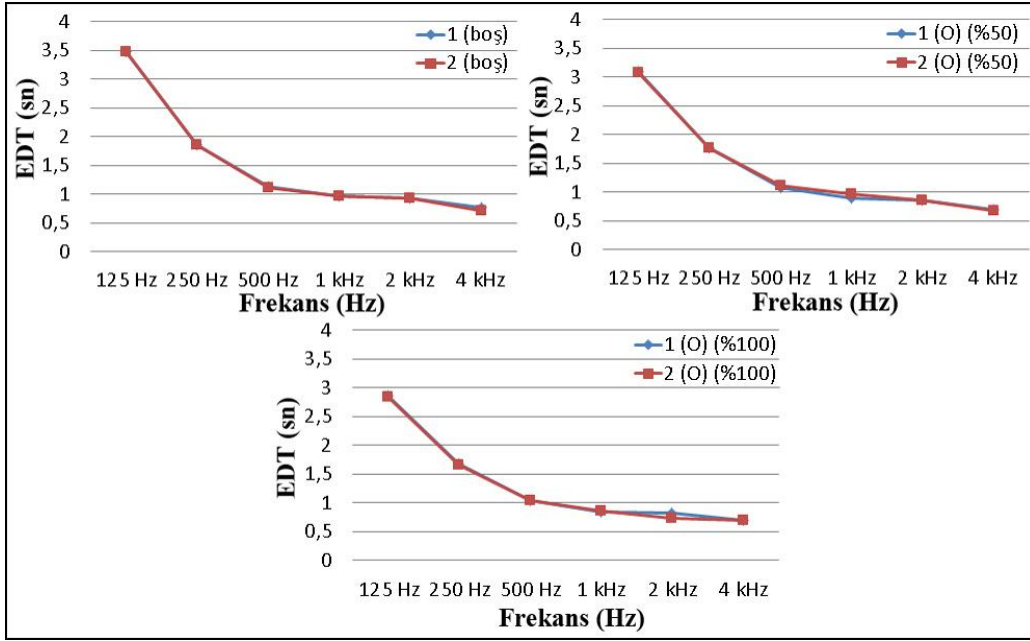


Şekil 34. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama EDT değerleri

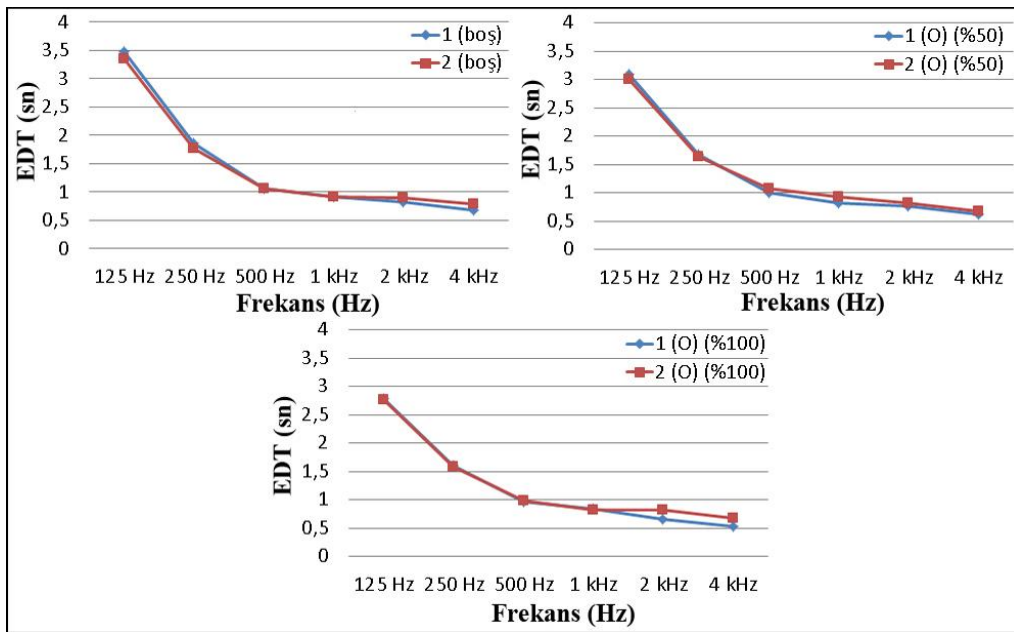
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen EDT değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında en yüksek farkın Alıcı 1, en düşük farkın ise Alıcı 2 sonuçlarında olduğu tespit edilmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında namaz modu değerleri daha yüksek iken Alıcı 3 sonuçlarında orta ve yüksek frekanslarda namaz modu, alçak frekanslarda ise vaaz modu değerleri daha yüksek olarak elde edilmiştir. Alıcı 2 sonuçlarında değerler arasında belirgin bir fark elde edilmemiştir (Şekil 35, Şekil 36, Şekil 37).



Şekil 35. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 36. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



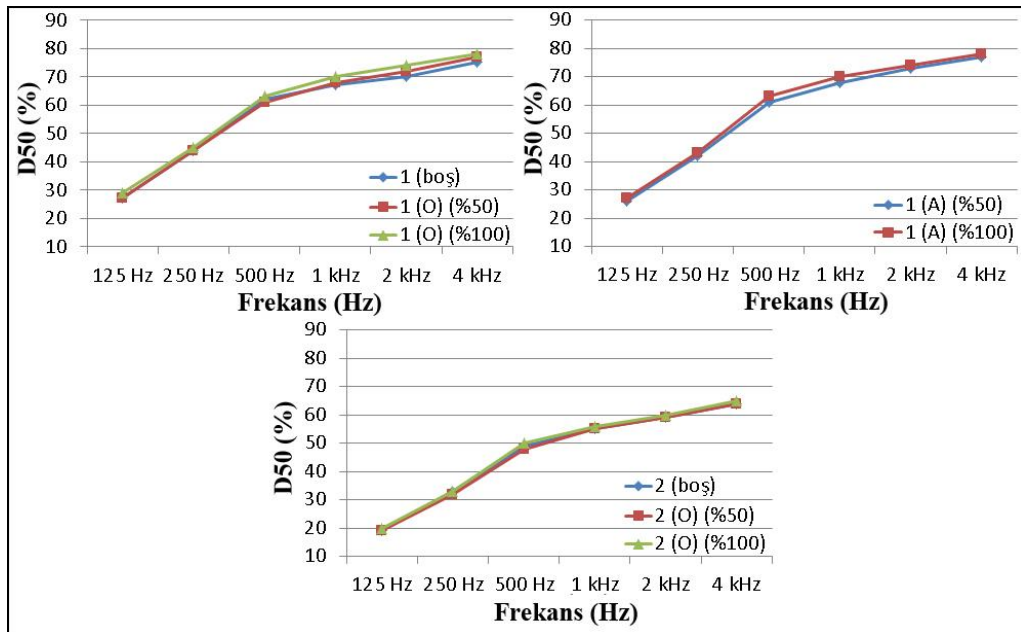
Şekil 37. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

3.2.3. Ayasofya Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

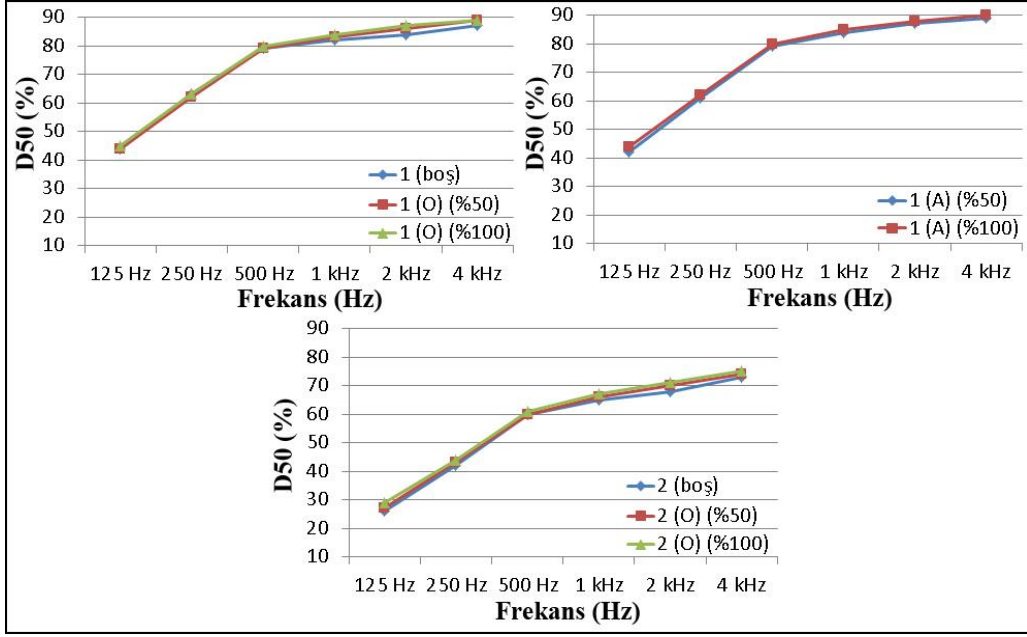
Ayasofya Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 38'de yer almaktadır. D50 parametresi için optimum değer aralığı %30 - %70'tir (Tablo 22). Mekan için ortalama D50 değerleri dikkate alındığında orta frekanslarda optimum düzeylerde, optimum değer

aralığının üst sınırına yakın değerler elde edilmiştir. Doluluk oranının artmasıyla birlikte T30 değerindeki düşüş nedeniyle D50 değerleri daha da yükselmiştir. Orta frekanslarda en düşük D50 değerleri %51,5 ile vaaz modunda ibadet edenlerin oturur durumda oldukları %50 doluluk oranında elde edilirken, en yüksek D50 değerleri ise %66,5 ile namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta olduğu durumda %100 dolulukta elde edilmiştir (Şekil 38).

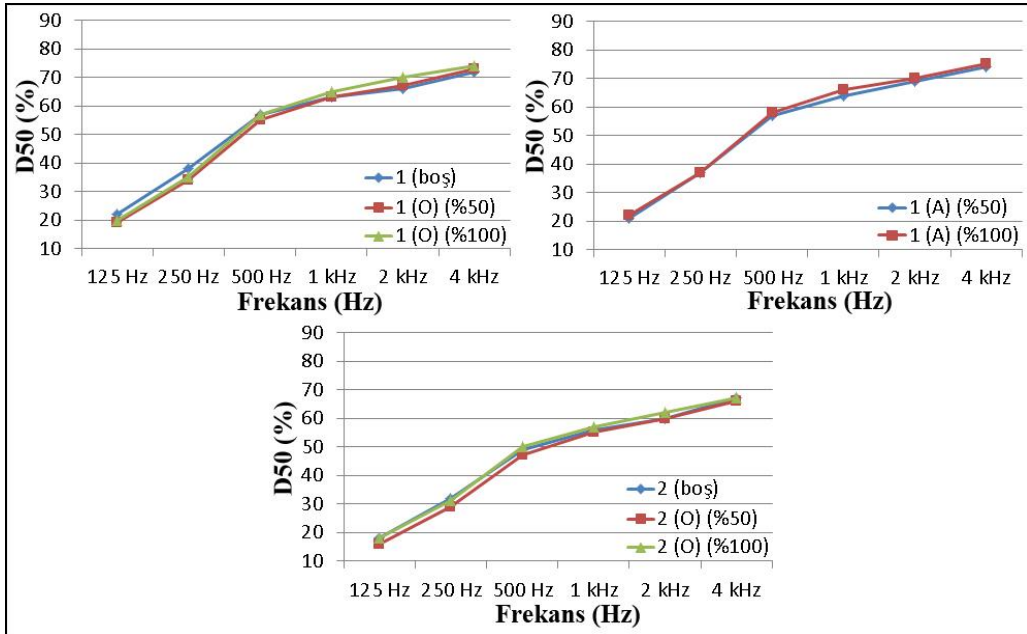
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde en yüksek değer %82,5 ile Alıcı 1’de, en düşük değer ise %45 ile Alıcı 2’de elde edildikleri tespit edilmiştir. Ses kaynaklarına daha yakın olmasına rağmen, Alıcı 2 değerlerinin Alıcı 3 değerlerinden daha düşük olmasına sol neften gelen geç yansımaların sebep olduğu düşünülmektedir (Şekil 39, Şekil 40, Şekil 41).



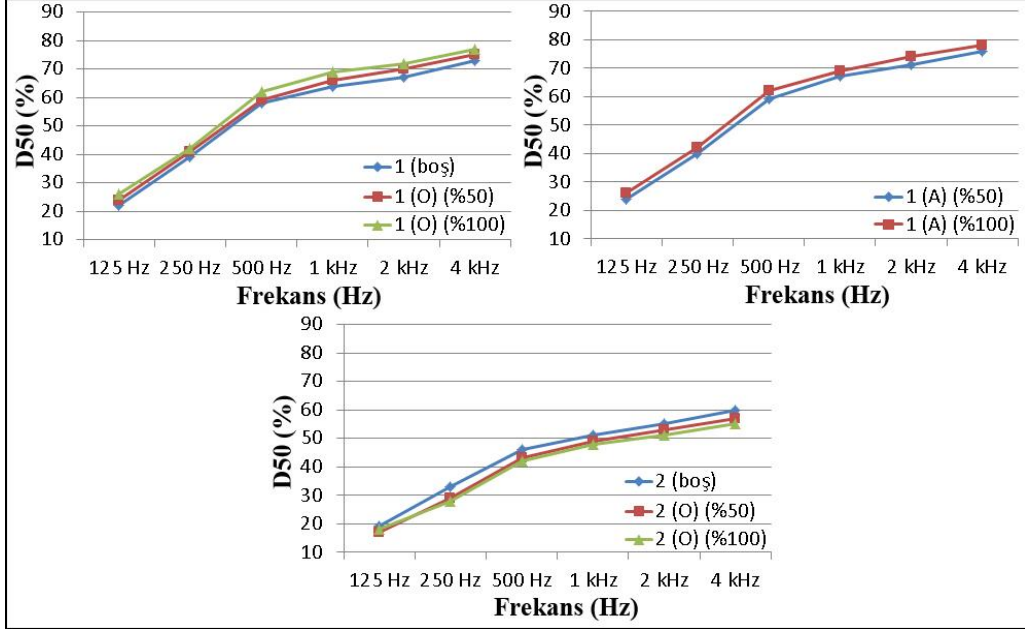
Şekil 38. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii ortalama D50 değerleri



Şekil 39. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



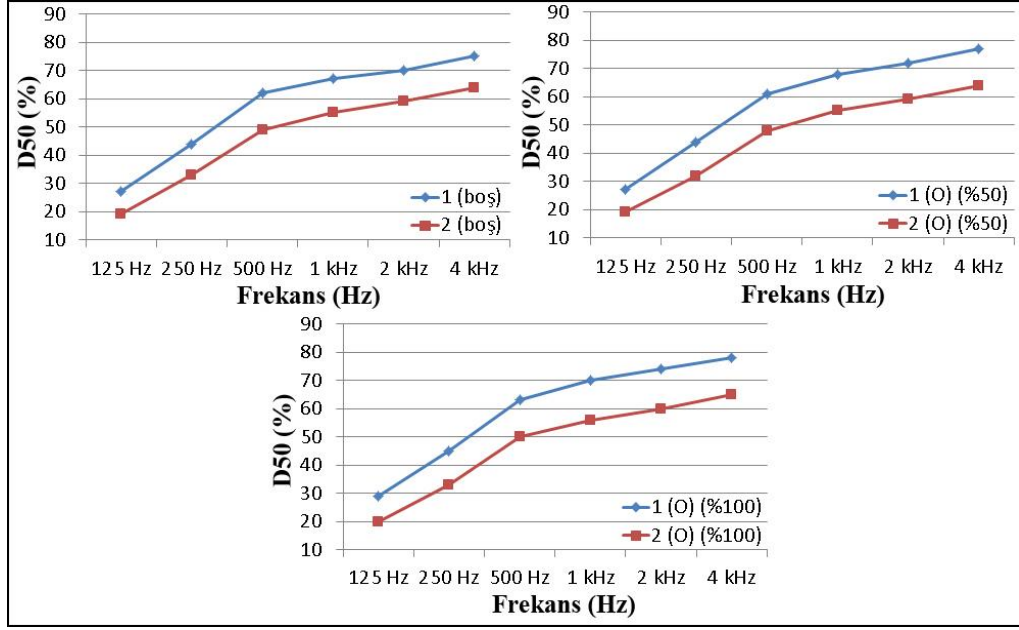
Şekil 40. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



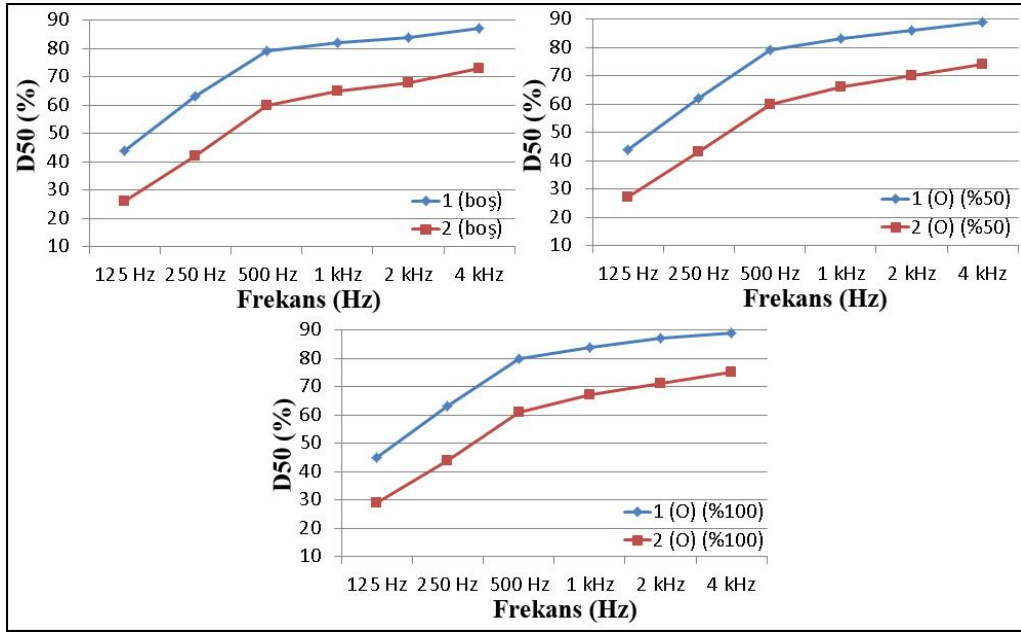
Şekil 41. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

Ortalama D50 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, namaz modunda elde edilen değerlerin vaaz modunda elde edilenlerden daha yüksek oldukları tespit edilmiştir. Grafikte görülen bu belirgin farklılıklardan, D50 parametresinde ses kaynağının konumunun doluluk oranından daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. İbadet edenlerin çoğunluğu mihrap konumuna daha yakın olduğu için, namaz modunda elde edilen değerler vaaz modunda elde edilen değerlerden daha yüksek düzeylerde elde edilmiştir (Şekil 42).

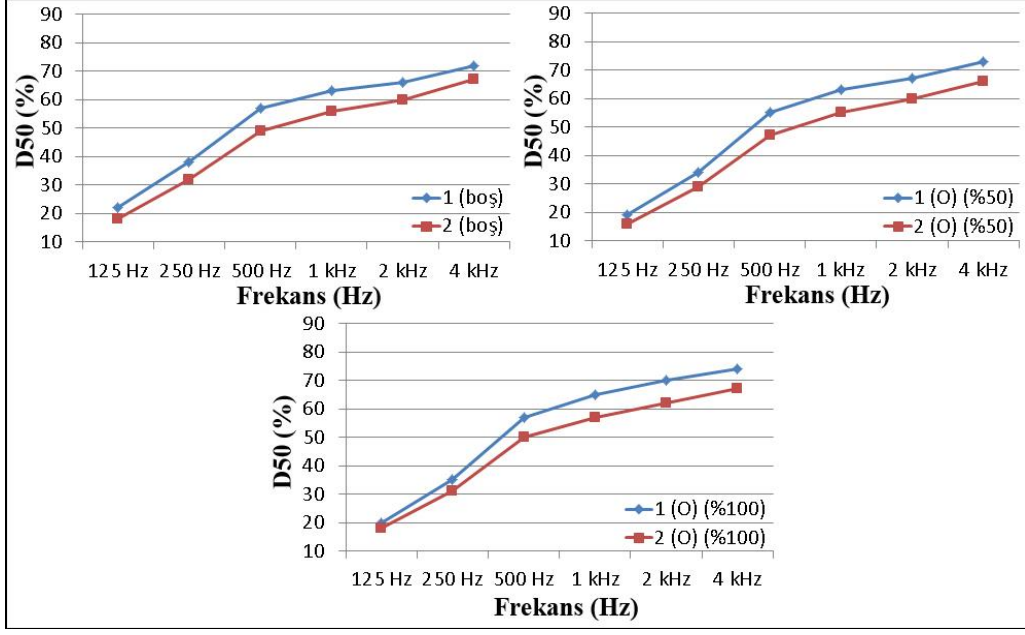
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, sonuçlar arasında en yüksek farkın Alıcı 1, en düşük farkın ise Alıcı 2 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Alıcı noktaların tümünde namaz modu için elde edilen değerler vaaz modu için elde edilen değerlerden daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. (Şekil 43, Şekil 44, Şekil 45).



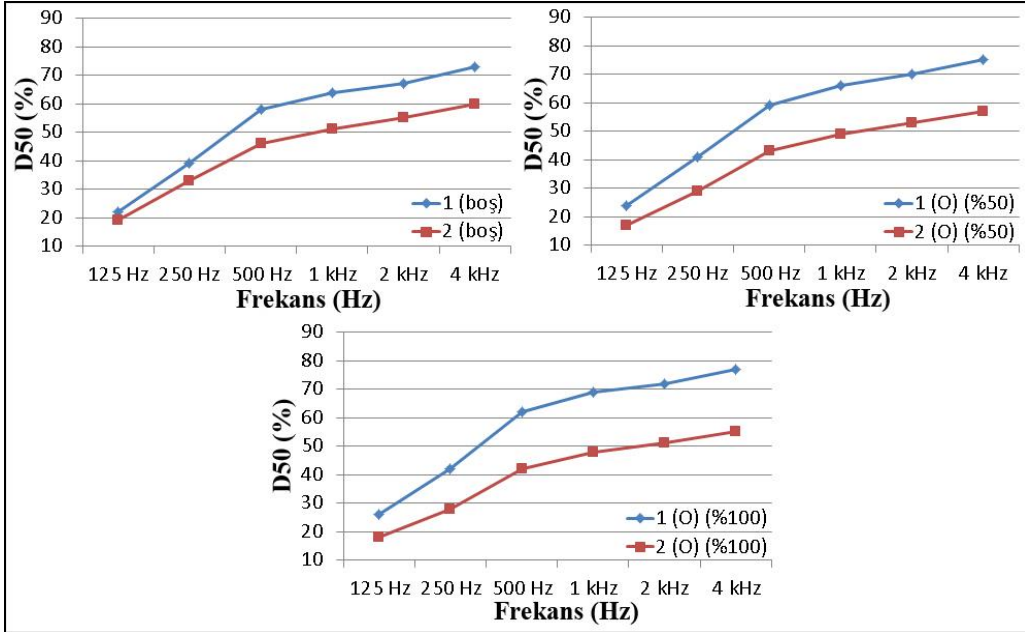
Şekil 42. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama D50 değerleri



Şekil 43. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 44. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



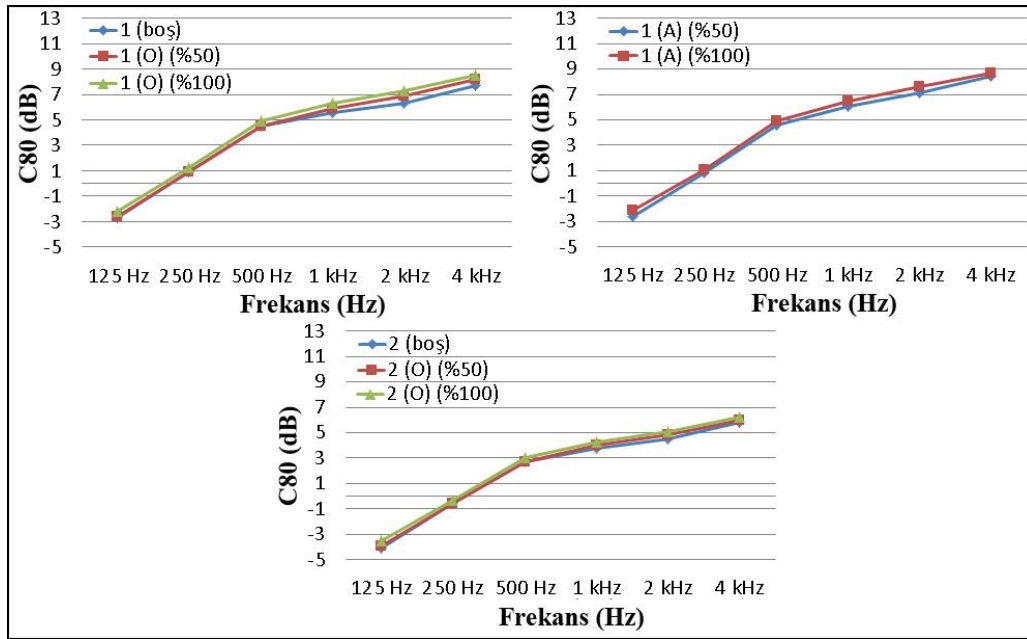
Şekil 45. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

3.2.4. Ayasofya Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri

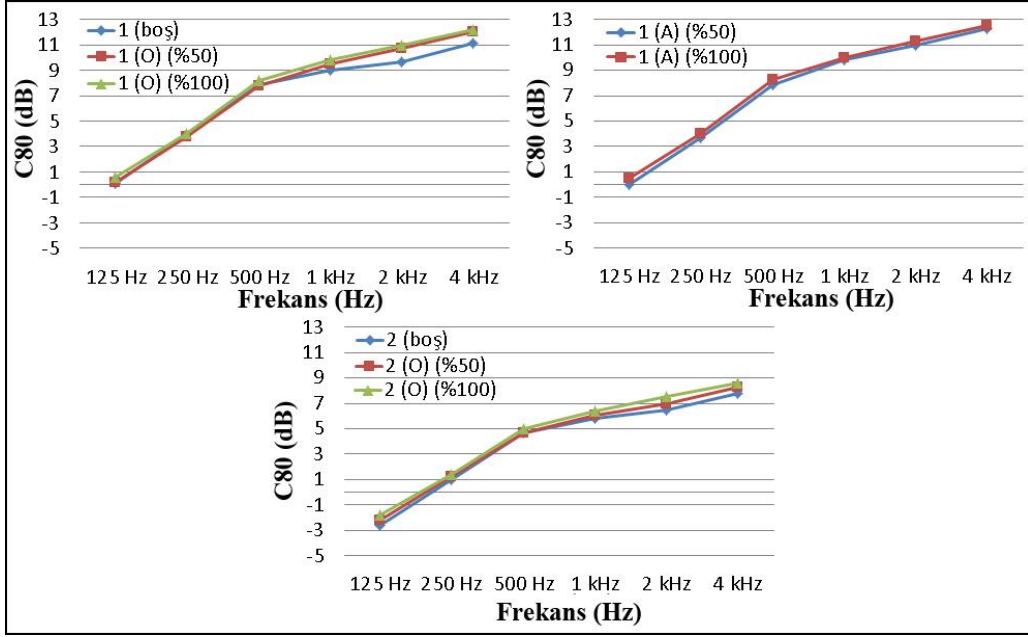
Ayasofya Camii için elde edilen ortalama C80 parametresi sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafiği Şekil 46'da yer almaktadır. C80 parametresi için optimum değer aralığı -4dB +4dB'dir (Tablo 22). Orta frekanslarda C80 değerleri optimum üst sınırı olan

+4 dB değerinin üzerinde, yüksek frekanslarda ise daha da yüksek değerlerde elde edilmiştir. Orta frekanslarda optimum düzeylerde değerler sadece vaaz modunda elde edilebilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek C80 değerleri ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda ve caminin %100 dolulukta olduğu namaz modunda, en düşük değerlerin ise caminin boş olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 46).

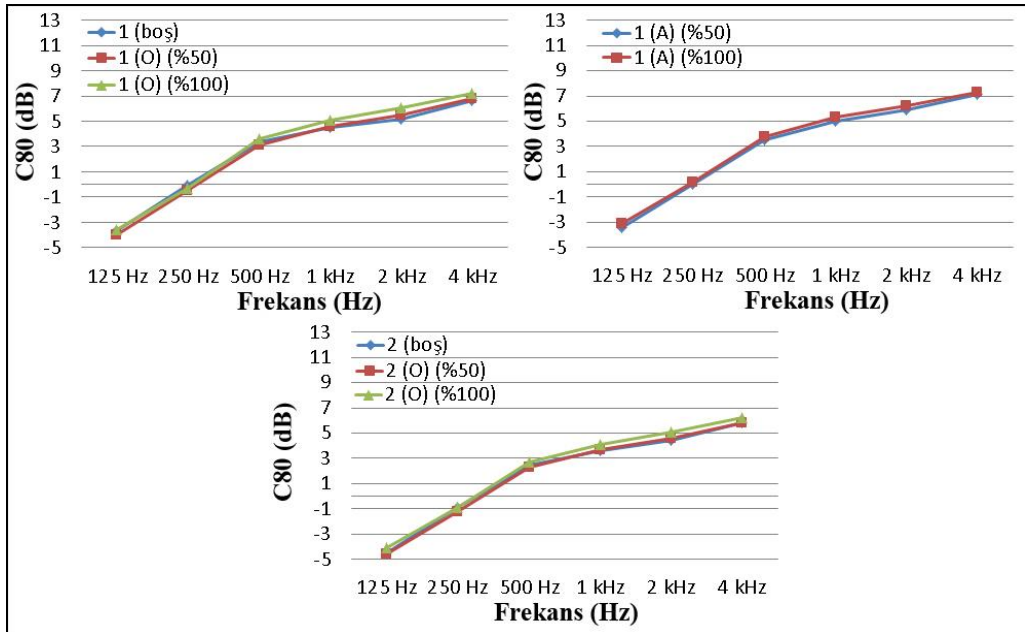
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen C80 parametresi değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, en yüksek değerlerin 9,15 dB ile Alıcı 1’de, en düşük değerlerin ise 2,6 dB ile Alıcı 3’te olduğu tespit edilmiştir. Alıcı 1 için elde edilen C80 parametresi değerleri ortalama sonuçlara yakın düzeyde çıkmıştır. Orta frekanslarda Alıcı 1 değerlerinin hepsi optimum üst sınırının üzerinde olduğu, Alıcı 2 ve Alıcı 3’te ise sadece vaaz modunda optimum sınırlar içerisinde değerler elde edilmiştir (Şekil 47, Şekil 48, Şekil 49).



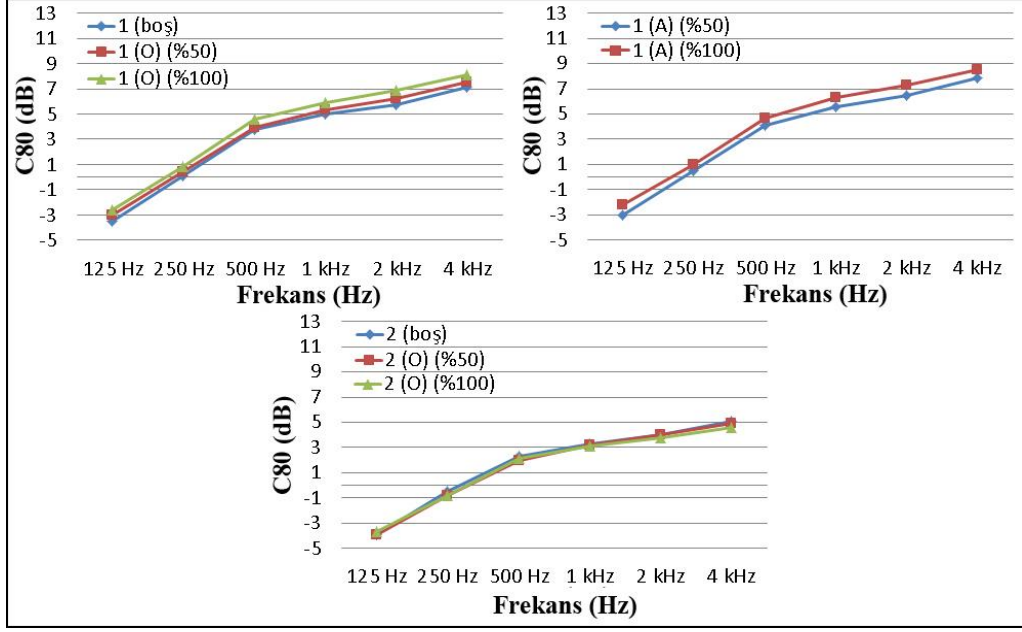
Şekil 46. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii ortalama C80 değerleri



Şekil 47. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



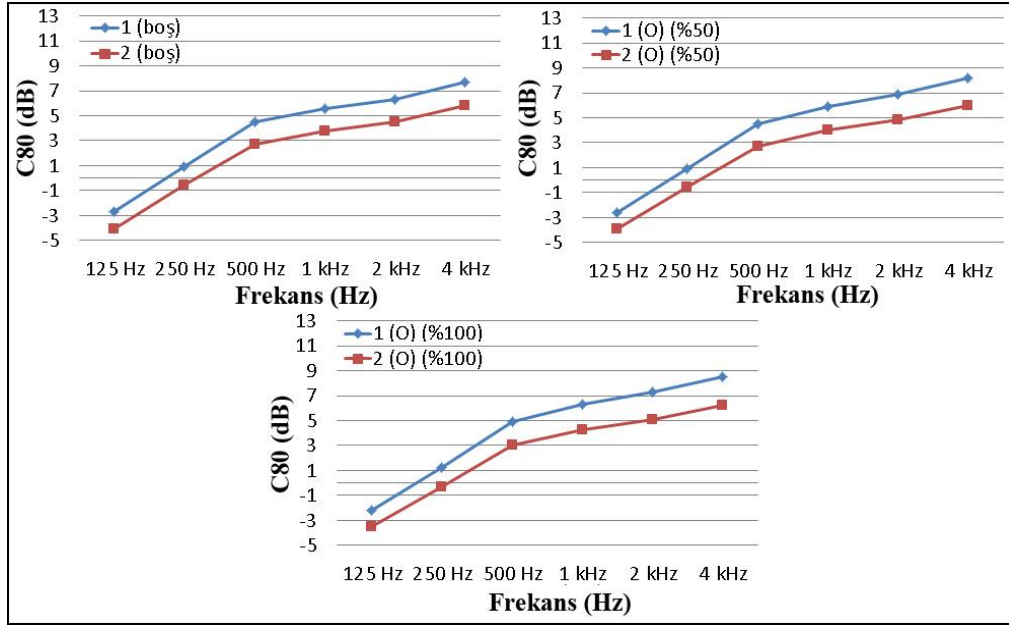
Şekil 48. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-C80 değerleri



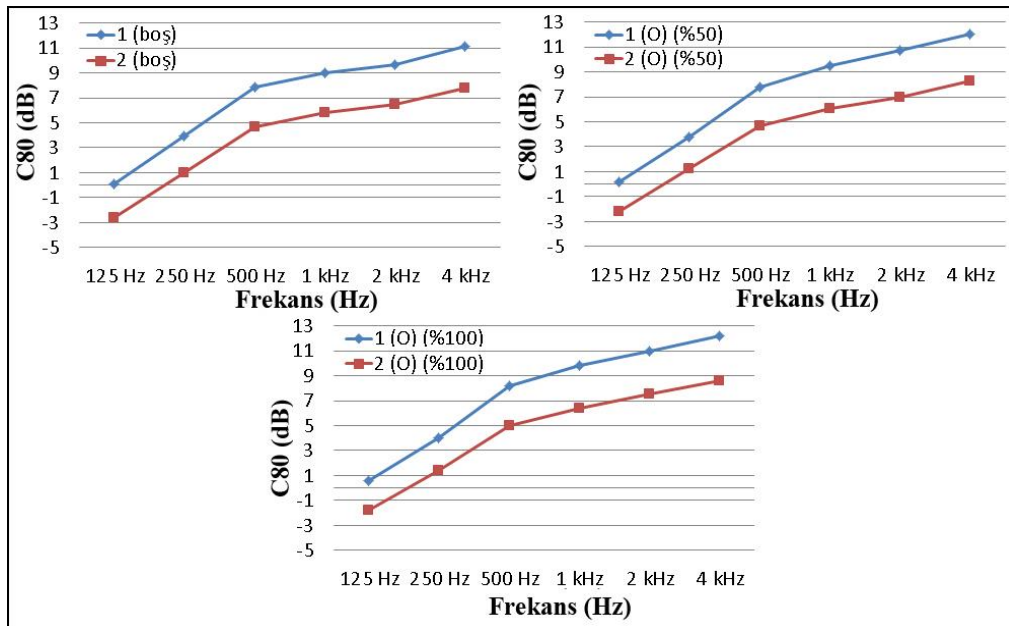
Şekil 49. Doluluk oranlarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

Ortalama C80 parametresi değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde, namaz modunda elde edilen değerlerin daha yüksek düzeyde olup orta frekanslarda optimum aralığın üzerine çıktığı, vaaz modunda ise optimum aralıkta ve optimum üst sınırına yakın düzeylerde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 50). Mihraptaki ses kaynağının ibadet edenlerle aynı seviyede ve ibadet edenlerin çoğuna daha yakın olması C80 parametresinin değerlerinin namaz modunda daha yüksek düzeyde olmasına neden olmuştur.

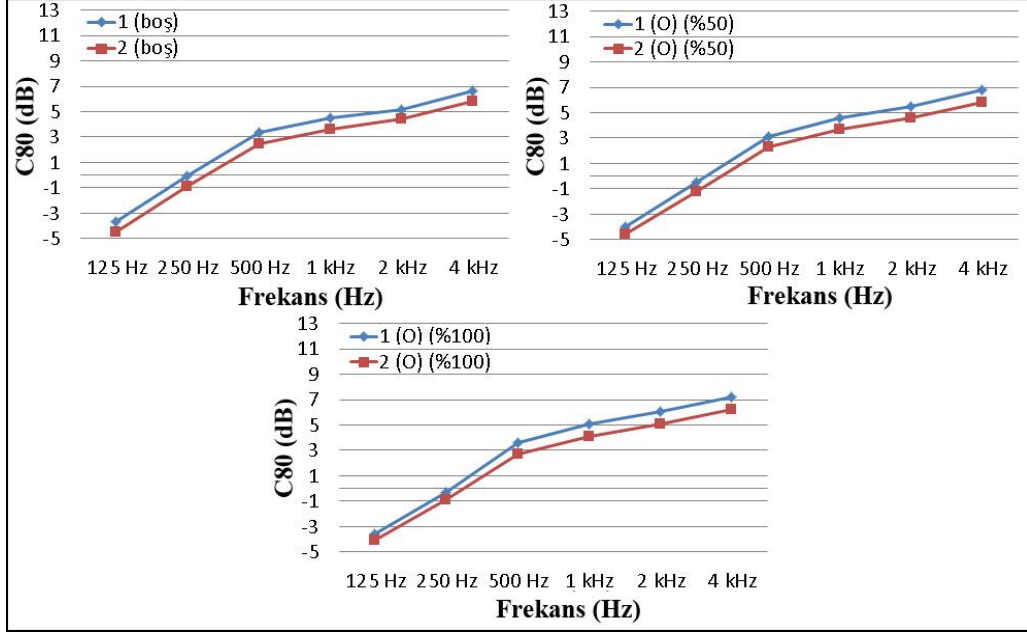
Alıcı noktalarında elde edilen C80 parametresi değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde, değerler arasındaki en yüksek farkların Alıcı 1, en düşük farkların ise Alıcı 2'de olduğu tespit edilmiştir. D50 parametresi değerlerinde olduğu gibi Alıcı 3 için elde edilen değerlerin aralarındaki fark orta ve yüksek frekanslarda genel ortalamaya benzer düzeylerde elde edilirken, alçak frekanslarda değerler arasındaki farklarda düşme meydana gelmiştir (Şekil 51, Şekil 52, Şekil 53).



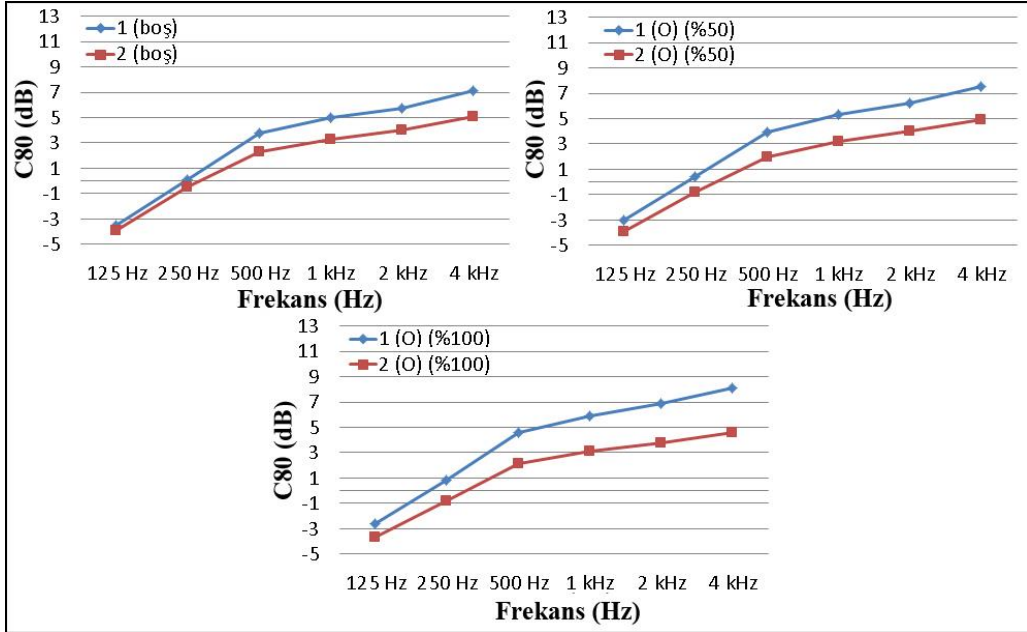
Şekil 50. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii ortalama C80 değerleri



Şekil 51. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 52. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 2-C80 değerleri



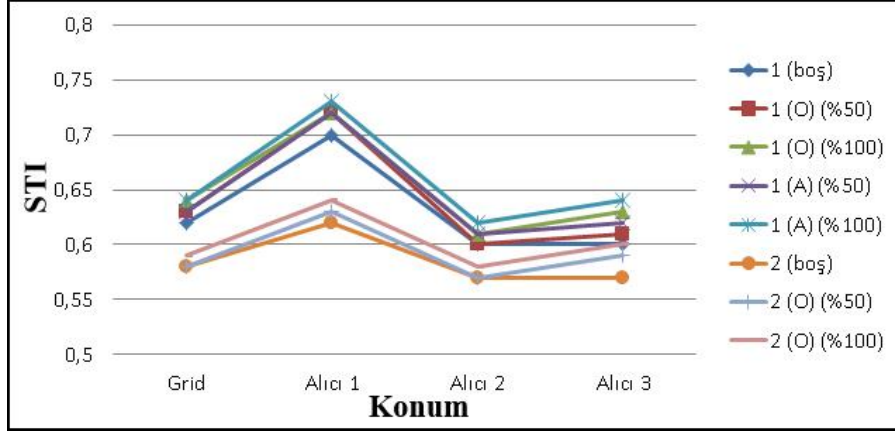
Şekil 53. Ses kaynağı noktalarına göre Ayasofya Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

3.2.5. Ayasofya Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri

Ayasofya Camii için elde edilen STI parametresine ait değerler Şekil 54'te yer almaktadır. Değerlendirmede 0,45 ve üzeri değerler yeterli kabul edilmiştir (Tablo 22). Camide T30 değerleri düşük düzeyde elde edildiğinden konuşmanın anlaşılabilirliği

açısından bir sorun oluşmamıştır. Bütün doluluk ve ses kaynağı noktası aktifliği durumlarında optimum düzeylerde elde edilen STI parametresi sonuçları için en yüksek değer 0,73 ile Alıcı 1’de, en düşük değer 0,57 ile Alıcı 2 ve Alıcı 3’te elde edilmiştir (

Şekil 54).



Şekil 54. Ayasofya Camii STI değerleri

3.2.6. Ayasofya Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi

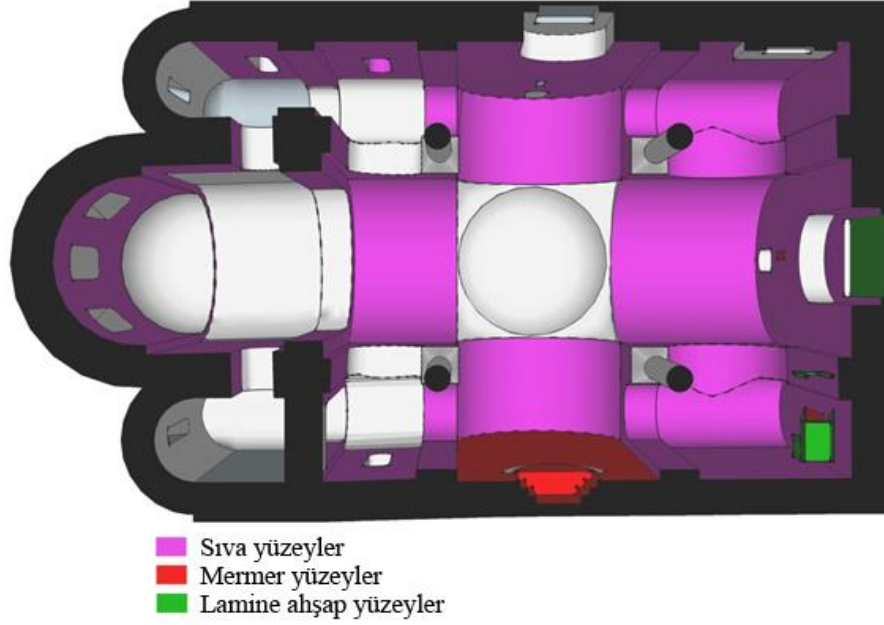
Camide tespit edilen başlıca sorunlar T30 değerlerinin orta frekanslarda optimum değerlere göre düşük düzeylerde elde edilmesi, frekans aralıklarındaki değerlerinin düzensiz olarak elde edilmesi ve T30 değerinden daha düşük EDT değerlerinin elde edilmesidir. Orta frekanslarda D50 değerlerinin aşırı yüksek ve C80 değerlerinin düşük olması T30 değerinin düşük olmasından kaynaklanmıştır. Yapılan düzenlemede mümkün olduğunca bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır.

Orta frekanslarda düşük olan T30 değerlerini yükseltmek için taş duvar olan yüzeylerde taş malzemeye göre ses yutma katsayıları daha düşük ve katsayı değer dağılımları frekanslar arasında daha dengeli olan sıva önerilmiştir. Mihrap, kible duvarı batı yönündeki duvarın üzerindeki pencere boşlukları mermer ile kapatılmıştır. Yan nefes açılan kapının üzerini kaplamak için ahşaba göre ses yutma katsayıları orta frekanslarda daha düşük ve alçak frekanslarda daha yüksek olan lamine ahşap levha kullanılmıştır. Ayrıca minber de lamine ahşap olarak düzenlenmiştir.

Belirtilen malzeme değişiklikleri Şekil 55 ve Tablo 23’te yer almaktadır.

Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan cami modeli ODEON 10.1 programına aktarılıp yeni malzemeler atandıktan ve diğer veriler işleme

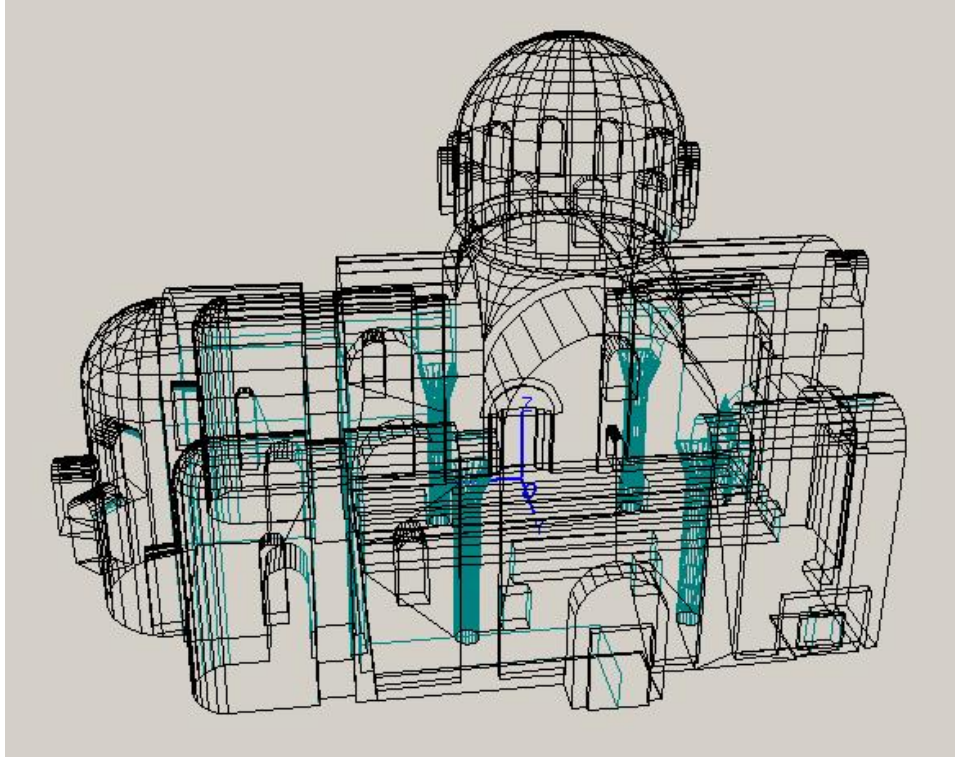
dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyon modeli Şekil 56'da yer almaktadır.



Şekil 55. Ayasofya Camii düzenleme önerisine ait model

Tablo 23. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ile önerilen malzemelere ait ses yutma katsayı değerleri

| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme | Önerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|----------------------|----------------|------------------|------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Sıvasız düz yüzeyler | Taş duvar | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 2 | Açıklıklar | Yutucu | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 3 | Kıble duvarı | Taş duvar | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 4 | Sıvasız düz yüzeyler | Taş duvar | Sıva | 4002 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Diğer yüzeyler | 5 | Minber ve mihrap | Ahşap | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |

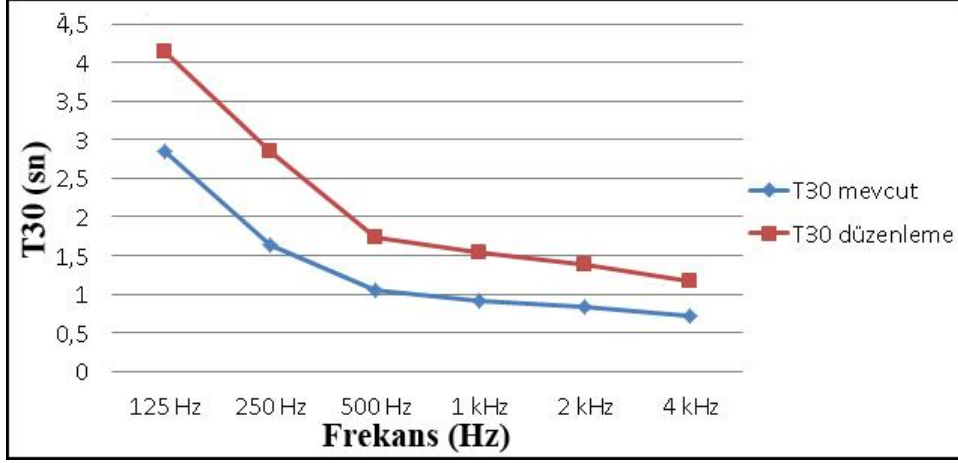


Şekil 56. Ayasofya Camii Düzenleme Simülasyonu

3.3. Ayasofya Camii için Akustik Düzenleme Sonuçları

3.3.1. Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii T30 Sonuçları

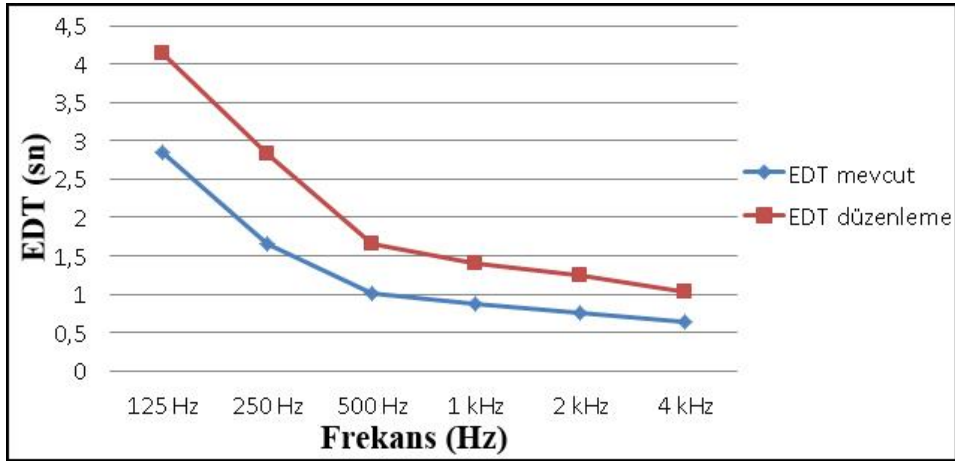
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Ayasofya Camii için elde edilen T30 değerleri Şekil 57'de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 0,98 sn'den 1,68 sn'ye yükselmiştir. Mevcut duruma göre yükseltip orta frekanslarda optimum alt sınırı değerlerine yaklaştırılan T30 değeri yine de orta frekanslarda optimum aralıkta (1,74sn – 2,12sn) elde edilememiştir. Yapının tarihi dokusuna zarar vermemek için düzenleme kısıtlı tutulduğundan dolayı T30 değerlerinde artış da sınırlı düzeyde elde edilebilmiştir. Düzenlemede T30 değerleri optimum değerler elde edilmekten ziyade optimum değerlere yaklaştırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 57. Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii T30 değerlerinin değişimi

3.3.2. Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii EDT Sonuçları

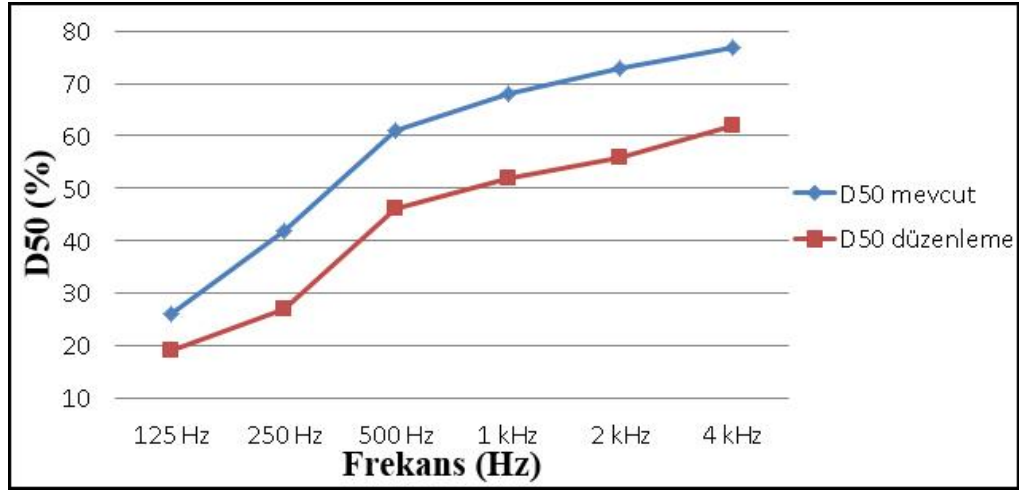
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Ayasofya Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 58’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki EDT değerleri ortalamasının 0.94 sn’den 1,52 sn’ye yükselmiştir. T30 değerlerine benzer şekilde EDT değerleri de orta frekanslarda 1,89 sn-2.31 sn olan optimum aralıkta elde edilememiştir. Düzenleme sonrası EDT değerleri optimum düzeylere mümkün olduğunca yaklaştırılmıştır.



Şekil 58. Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii EDT değerlerinin değişimi

3.3.3. Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii D50 Sonuçları

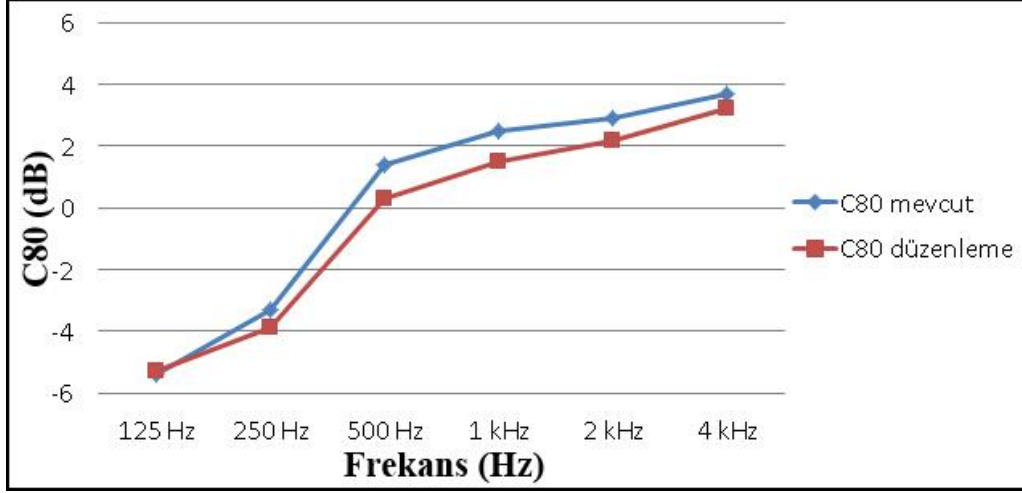
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Ayasofya Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 59’da yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki D50 değerleri ortalaması % 64’ten % 49’a düşmüştür. Yapılan düzenleme sonrasında, T30 değerlerindeki artış sebebiyle D50 değerleri azalmıştır. Mevcut durum için optimum aralığın üst seviyelerinde elde edilen D50 değerleri azalarak optimum aralığın (%30-%70) orta seviyelerine gerilemiştir.



Şekil 59. Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii D50 değerlerinin değişimi

3.3.4. Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii C80 Sonuçları

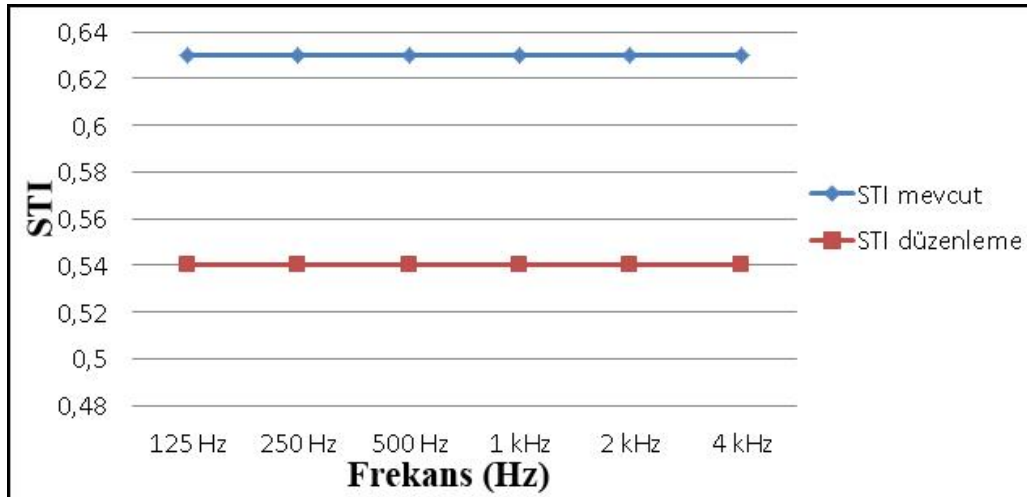
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Ayasofya Camii için elde edilen C80 değerleri Şekil 60’ta yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında, orta frekanslardaki C80 değerleri ortalaması 5,35 dB’den 2 dB’e düşmüştür. C80 değerlerindeki bu azalma T30 değerlerindeki yükselmeden kaynaklanmıştır. Akustik düzenleme sonucu C80 değerleri orta frekanslarda optimum aralıkta (-4 dB +4dB) elde edilmiştir.



Şekil 60. Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii C80 değerlerinin değişimi

3.3.5. Akustik Düzenleme Sonrası Ayasofya Camii STI Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Ayasofya Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 61’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında, T30 değerinin yükselip D50 değerlerinin düşmesiyle birlikte STI değerinde de azalma meydana gelmiştir. STI değeri 0,63’ten 0,54’e düşmüştür. Hem mevcut durumda hem de akustik düzenleme sonrasında STI değerleri optimum ($\geq 0,45$) sınır eşliğinin üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 61. Akustik düzenleme sonrası Ayasofya Camii STI değerlerinin değişimi

3.4. Gülbahar Hatun Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri

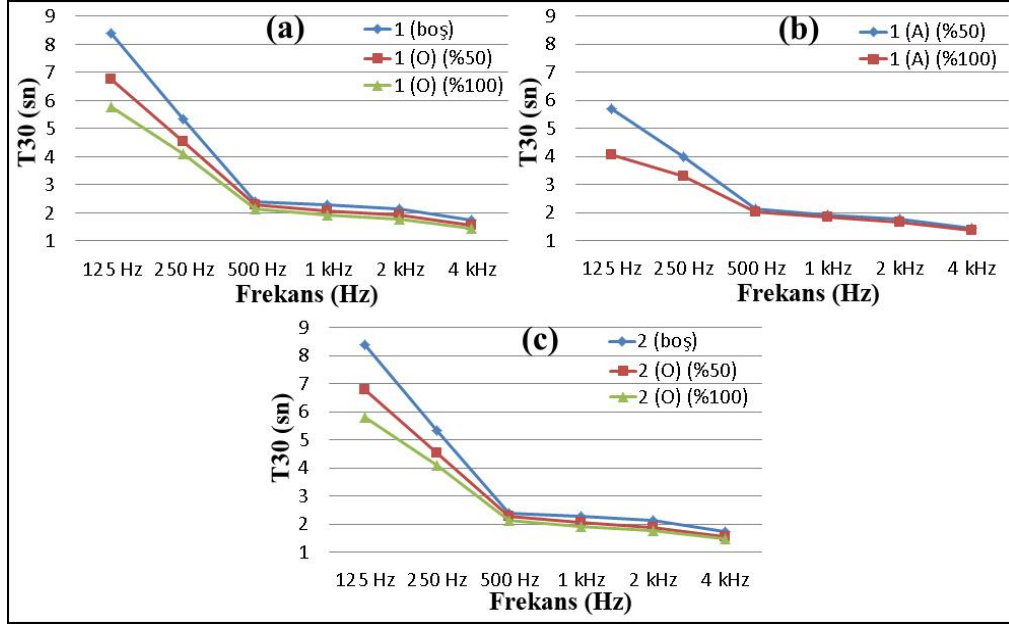
3.4.1. Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen T30 Sonuçlarının Analizleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 62’de yer almaktadır. Gülbahar Hatun Camii’nin hacmi için önerilen optimum T30 değeri 1,75 – 2,13sn aralığındadır (Tablo 22). Orta frekanslarda T30 değerleri, %100 doluluk durumlarında üst sınıra yakın optimum düzey aralığında elde edilmiştir. Caminin boş ve % 50 doluluk durumlarında ise T30 değerleri, optimum düzey üst sınırından yüksek değerlerde elde edilmiştir. Orta ve yüksek frekanslarda birbirine yakın değerler elde edilirken alçak frekanslarda değerler arasındaki farklar artmıştır.

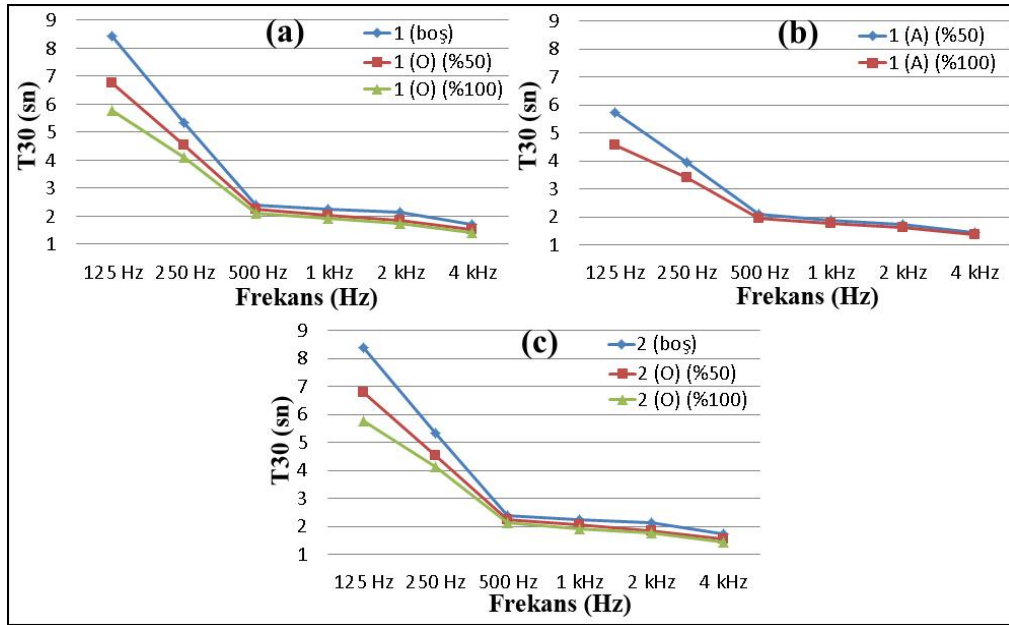
Halı ve kumaş yüzeylerde oktav bant frekans aralıklarındaki ses yutma katsayı değerlerinin değişim farklarının yüksek olmasından dolayı, alçak frekanslarda çok yüksek olan T30 değerleri orta ve yüksek frekanslarda daha düşük düzeyde elde edilmiştir.

Doluluk arttıkça T30 değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Alçak frekanslarda daha belirgin olan doluluk oranının etkisi, orta ve yüksek frekanslarda azalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değerleri 2,34 sn ile caminin boş olduğu vaaz modunda, en düşük T30 değeri ise 1.92 sn ile ibadet edenlerin ayakta olduğu %100 doluluktaki vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 62).

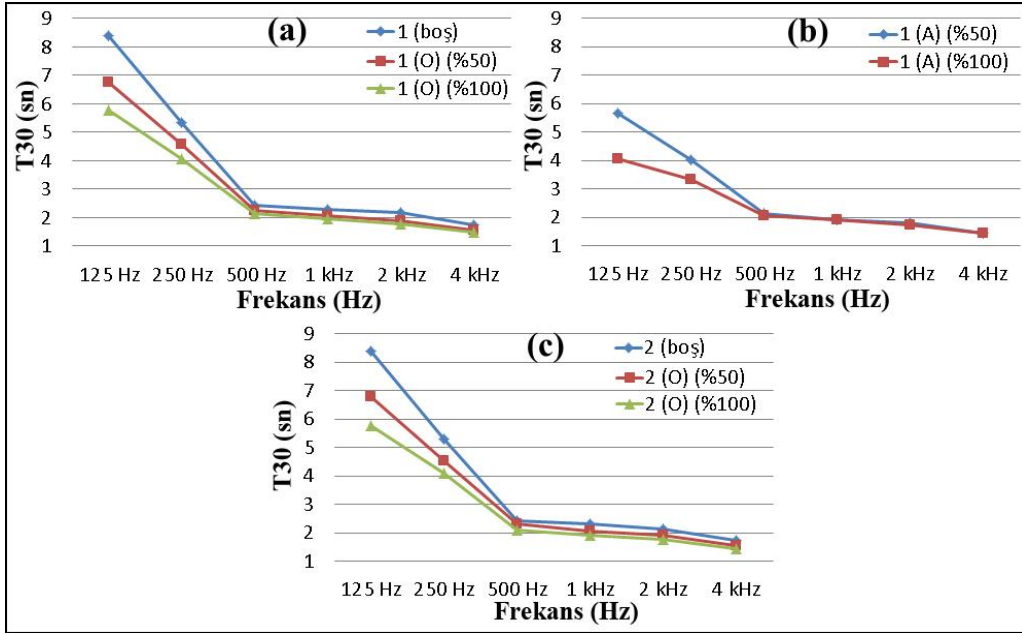
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, genel ortalamaya yakın sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 2,38 sn ile Alıcı 3’te, en düşük T30 değeri ise 1,87 sn ile Alıcı 1’de elde edilmiştir (Şekil 63, Şekil 64, Şekil 65).



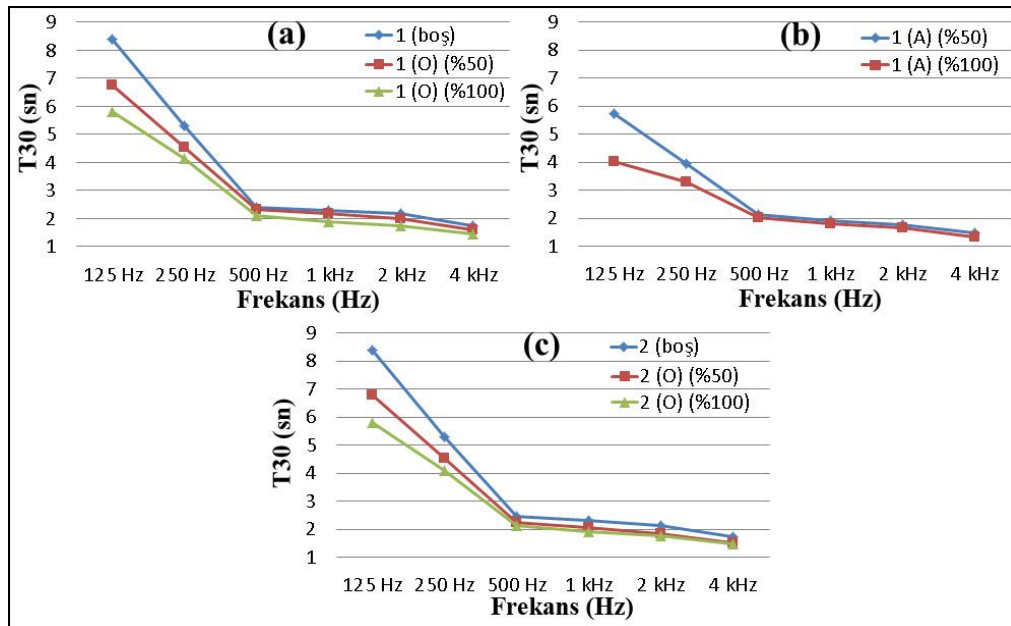
Şekil 62. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama T30 değerleri



Şekil 63. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-T30 değerleri

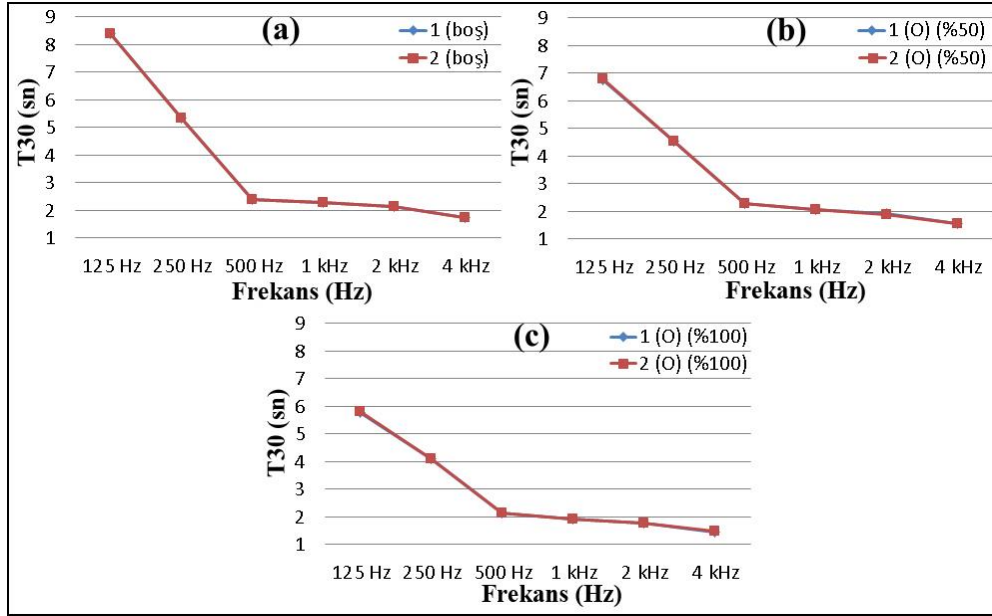


Şekil 64. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



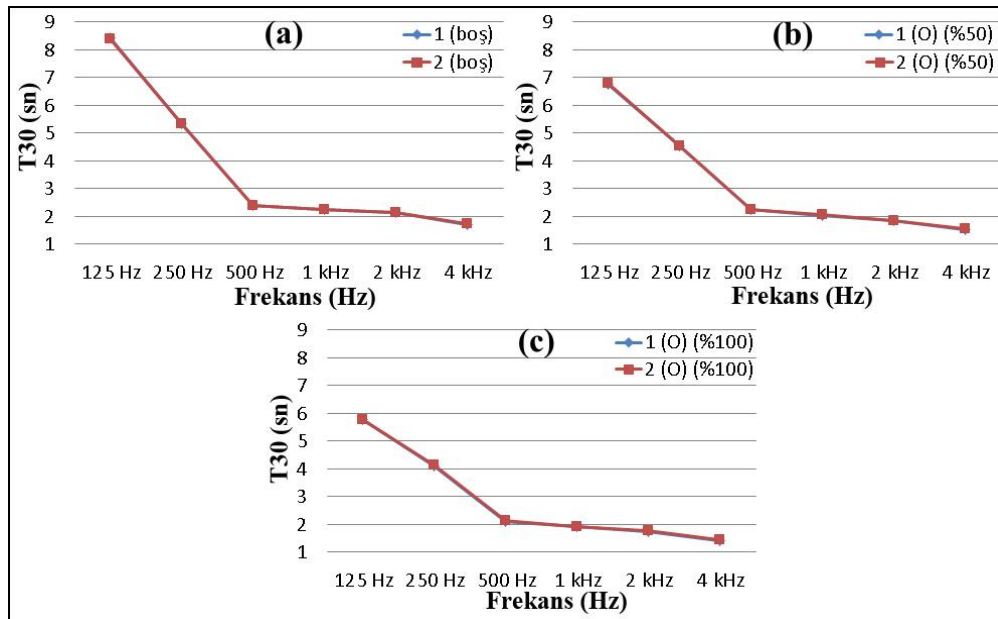
Şekil 65. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen T30 değerlerinin ses kaynağı noktası konumlarına göre grafikleri Şekil 66'da yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak belirgin bir değişim elde edilmemiştir. Ses kaynağının konumu T30 değeri üzerinde etkili olmamıştır (Şekil 66).

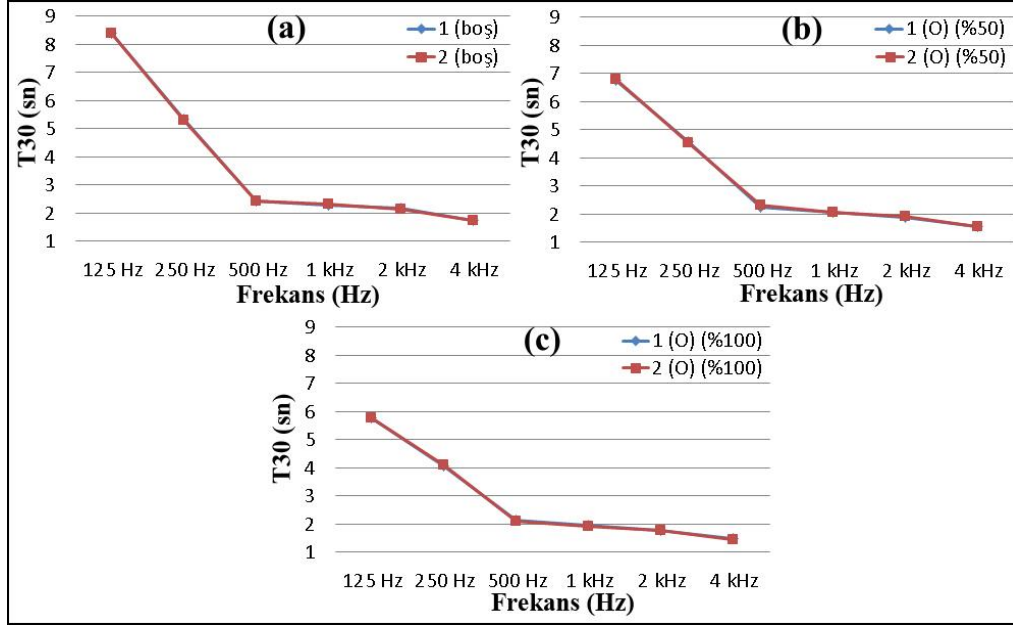


Şekil 66. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama T30 değerleri

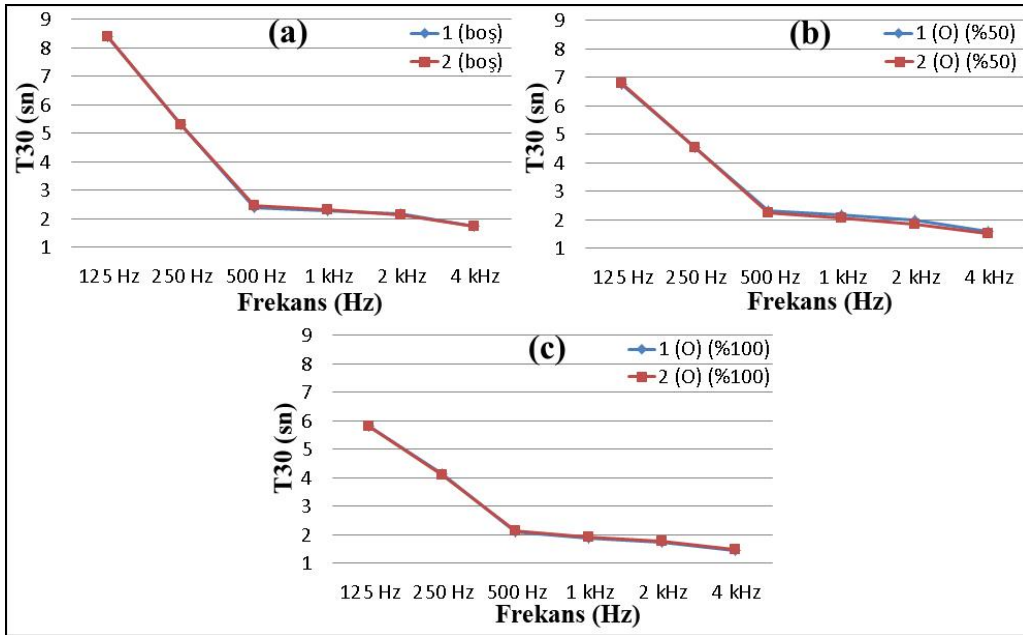
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 noktaları için elde edilen değerlerin ses kaynağı noktası konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında belirgin bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Ses kaynağı konumunun değişimi T30 değerleri üzerinde etkili olmamıştır (Şekil 67, Şekil 68, Şekil 69).



Şekil 67. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 68. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-T30 değerleri

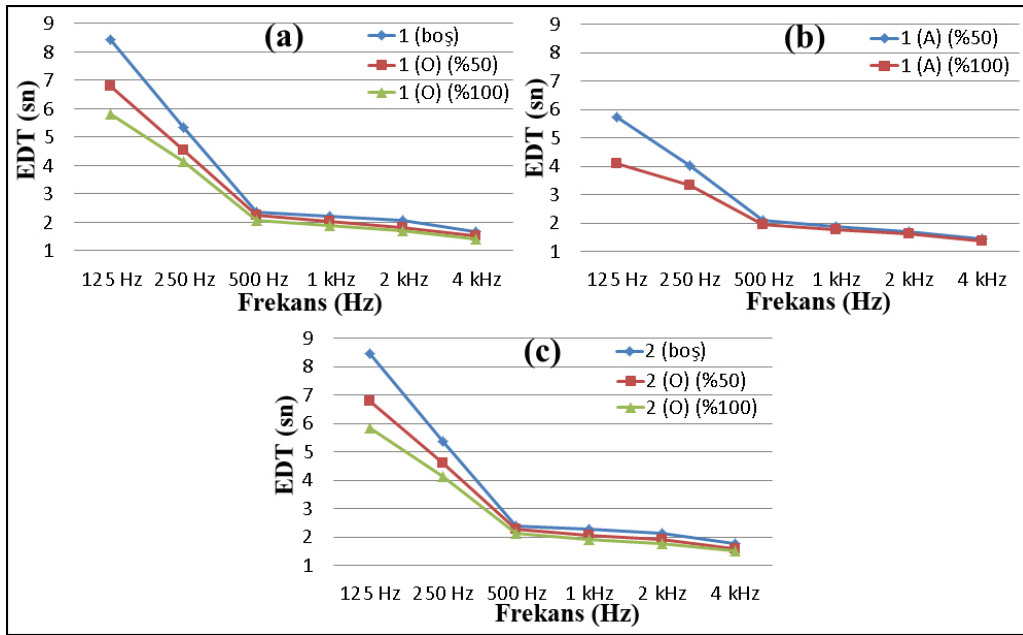


Şekil 69. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

3.4.2. Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen EDT Sonuçlarının Analizleri

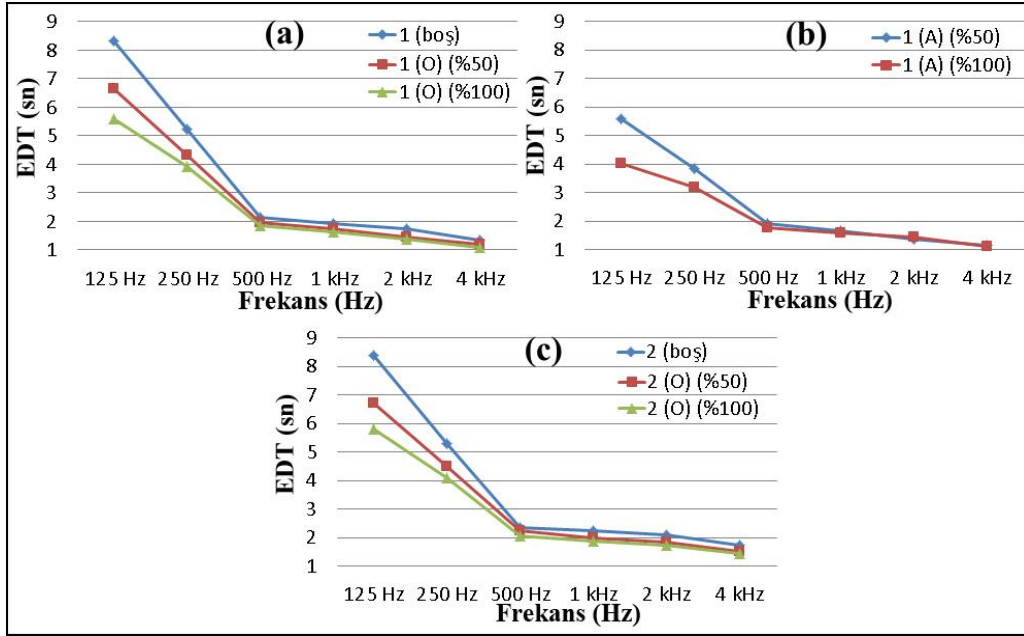
Gülbahar Hatun Camii için elde edilen EDT değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 70'te yer almaktadır. Gülbahar Hatun Camii'nin hacmi için önerilen optimum EDT, 1,92sn – 2,32sn değer aralığındadır (Tablo 22).

EDT sonuçları incelendiğinde, değerler alçak frekanslarda aşırı yüksek, orta ve yüksek frekanslarda ise optimum üst sınırının biraz üzerinde elde edilmiştir. Genel olarak EDT değerleri, T30 değerlerine eşit ya da çok küçük farklarla üzerinde elde edilmiştir. Bu durum çınlamanın cami içerisinde orantılı olarak sönümlendiğini göstermektedir. Doluluk oranının artmasıyla EDT değerleri azalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 2,34 sn ile vaaz modunda caminin boş olduğu durumda, en düşük EDT değeri ise 1,85 sn ile namaz modunda, ibadet edenlerin ayakta oldukları %100 dolulukta tespit edilmiştir (Şekil 70).

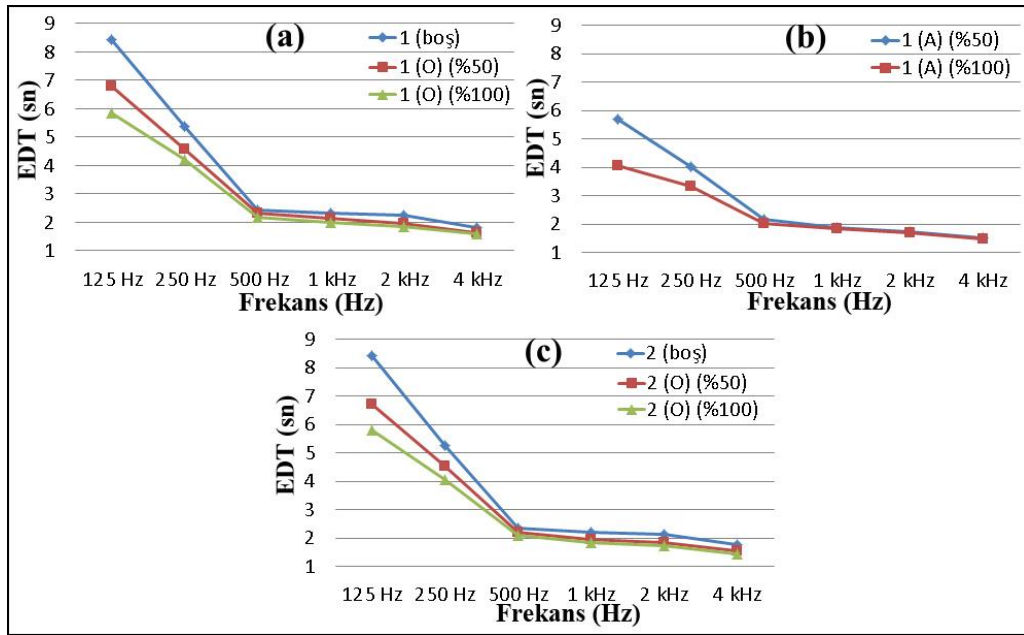


Şekil 70. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama EDT değerleri

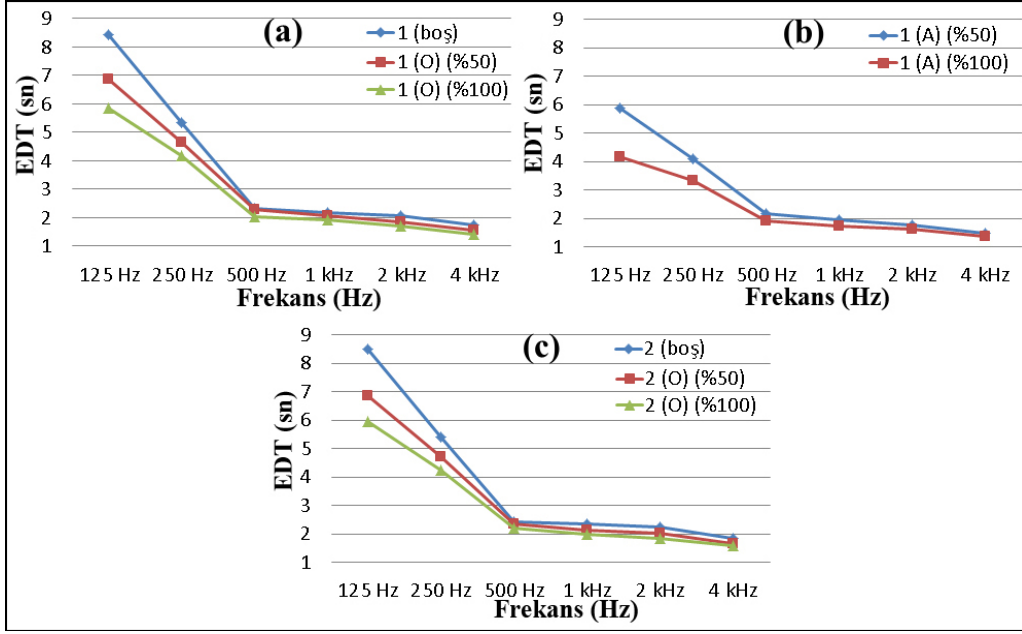
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen EDT sonuçlarının doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde ortalama için elde edilen değerlere yakın sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 2,39 sn ile Alıcı 3'te, en düşük EDT değeri ise 1.68 sn ile Alıcı 1'de elde edilmiştir (Şekil 71, Şekil 72, Şekil 73).



Şekil 71. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



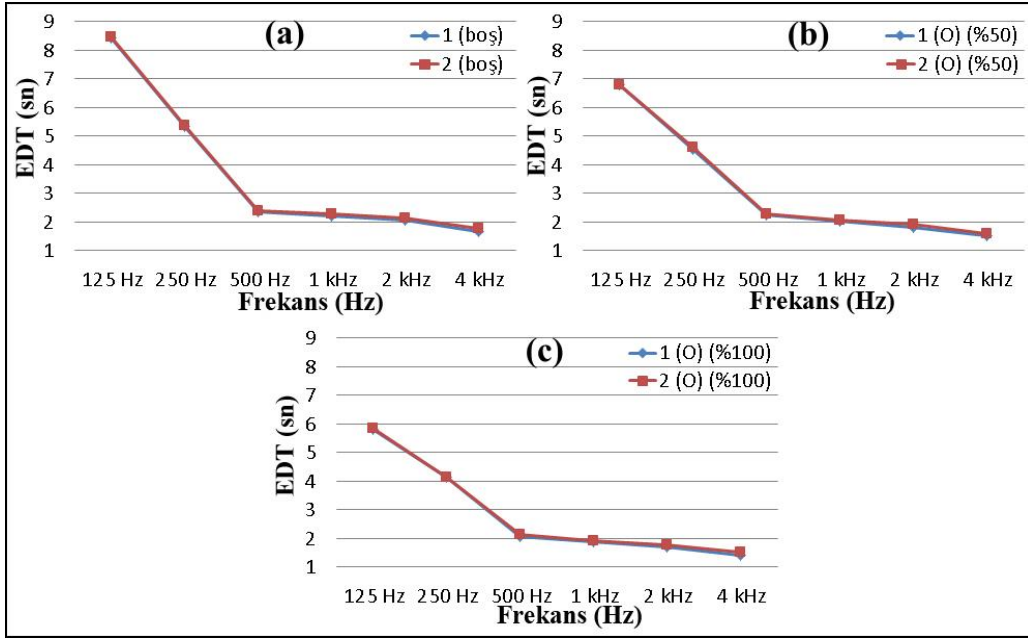
Şekil 72. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



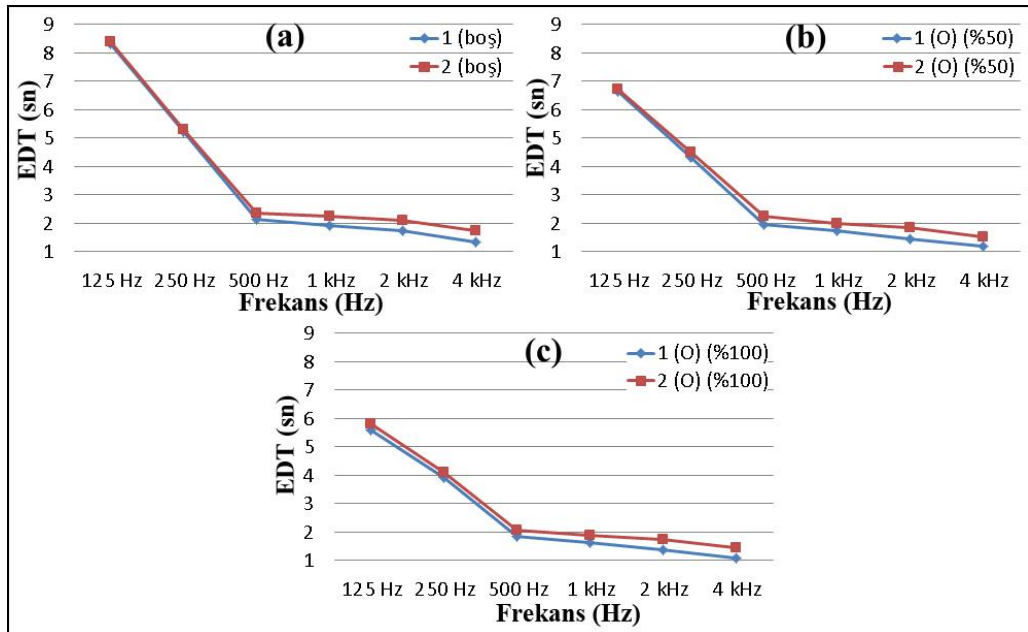
Şekil 73. Doluluk oranına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen EDT sonuçlarının ses kaynağı noktası konumlarına göre grafikleri Şekil 74’te yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak, özellikle orta ve yüksek frekanslarda çok küçük farklar ortaya çıkmıştır. EDT değerleri ses kaynağının konumundan T30 değerine göre daha fazla etkilemiştir (Şekil 74).

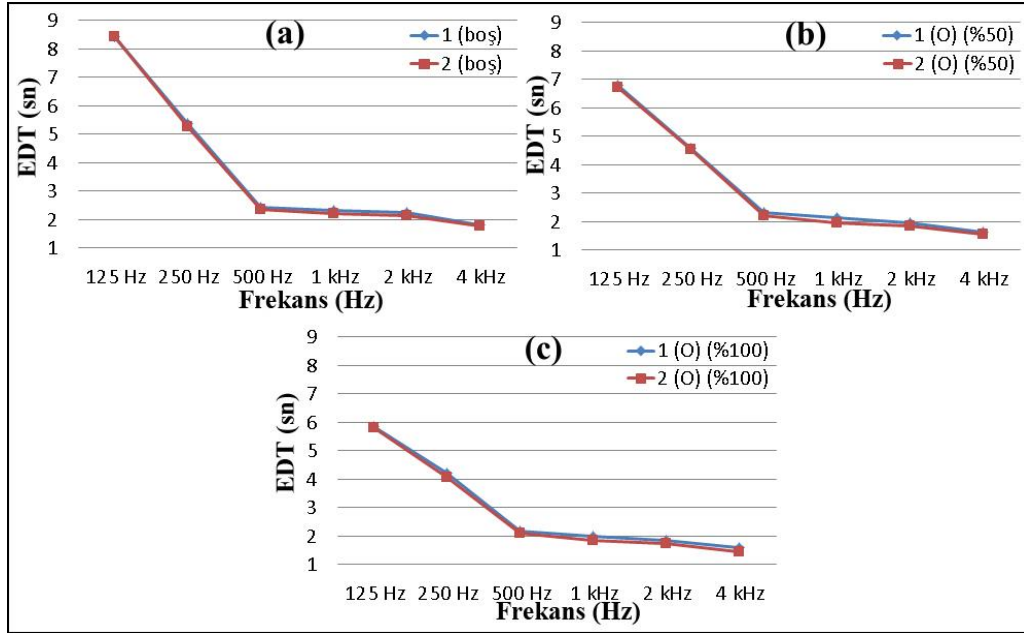
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen EDT sonuçları doluluk oranlarına göre incelendiğinde, değerler arası en yüksek farkların Alıcı 1 sonuçlarında, en düşük farkların ise Alıcı 2 sonuçlarında oldukları tespit edilmiştir. Alıcı 1 ve Alıcı 3 sonuçlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde iken Alıcı 2 sonuçlarında namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 75, Şekil 76, Şekil 77).



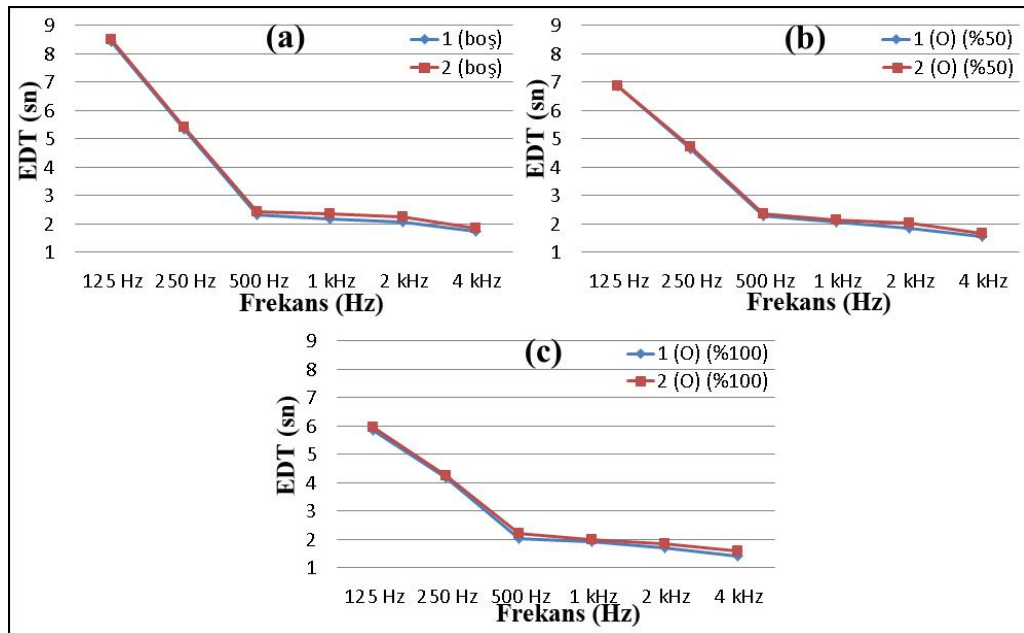
Şekil 74. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama EDT değerleri



Şekil 75. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 76. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 2-EDT değerleri

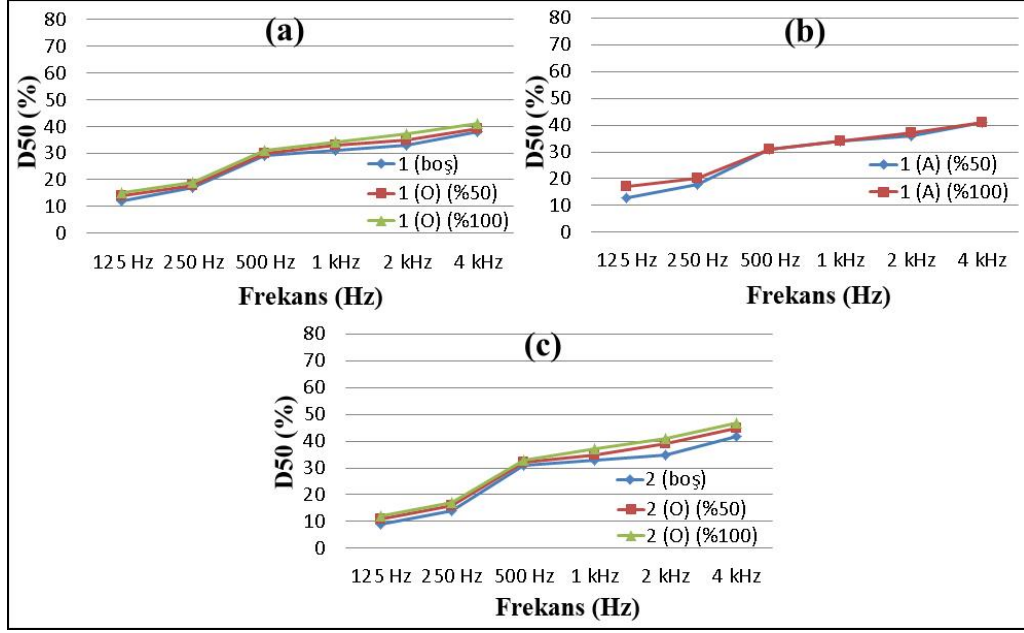


Şekil 77. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

3.4.3. Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen D50 Sonuçlarının Analizleri

Gülbahar Hatun Camii'ne ait ortalama D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 78'de yer almaktadır. D50 parametresi için optimum düzey %30 - %70 değer aralığıdır (Tablo 22). D50 değerleri incelendiğinde, genel olarak orta frekanslarda optimum alt sınırının biraz üzerinde oldukları tespit edilmiştir. Doluluk oranının artmasıyla

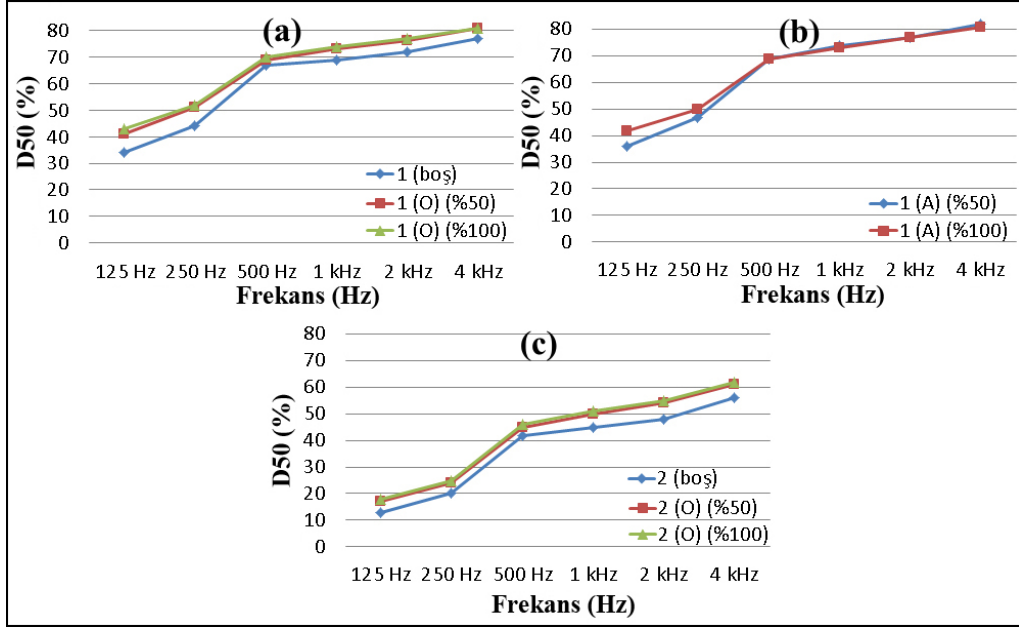
D50 parametresi değerleri de yükselmiştir. Orta frekanslarda en düşük D50 değeri %30 ile caminin boş olduğu namaz modunda, en yüksek D50 değeri ise %35 ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin oturur pozisyonda oldukları vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 78).



Şekil 78. Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama D50 değerleri

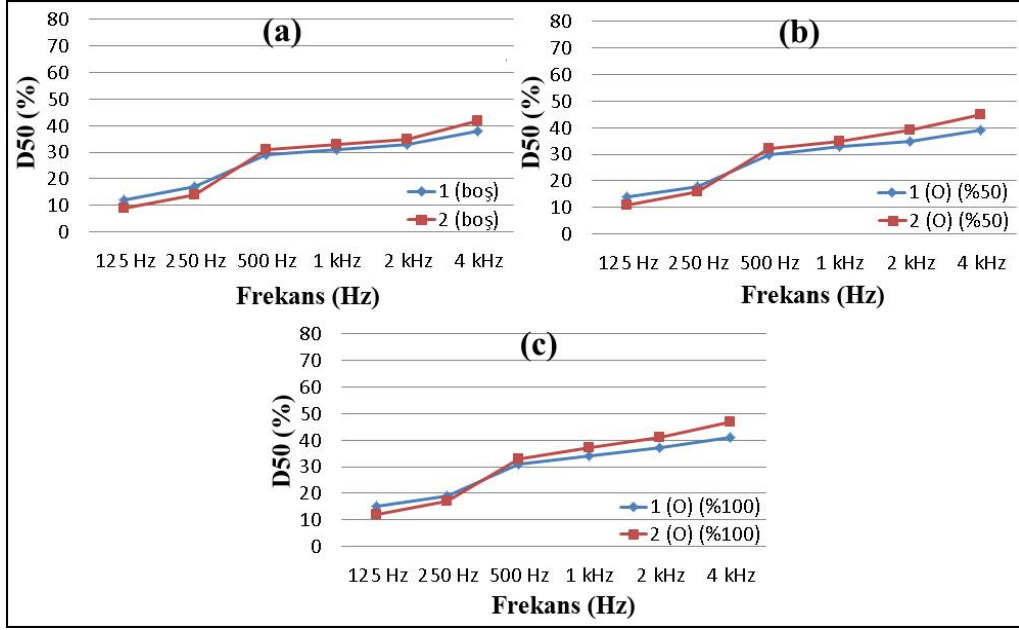
Alıcı 1 için elde edilen D50 sonuçlarının doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, ortalama için elde edilen sonuçların çok üzerinde değerler elde edildiği tespit edilmiştir. Özellikle namaz modlarında sonuçlar orta frekanslarda optimum değerlerin üzerine çıkmıştır. Orta frekanslarda en yüksek D50 değeri %72, en düşük D50 değeri ise % 43,5 olarak elde edilmiştir (Şekil 79).

Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır. Alıcı noktalar ile ses kaynağı noktaları arasında maddesel engel bulunmasından ve alıcı noktaların ses gölgesinde kalmasından dolayı ODEON Version 10.1 programı D50 parametresine ait sonuçları doğru olarak hesaplayamamıştır (Christensen, 2009).

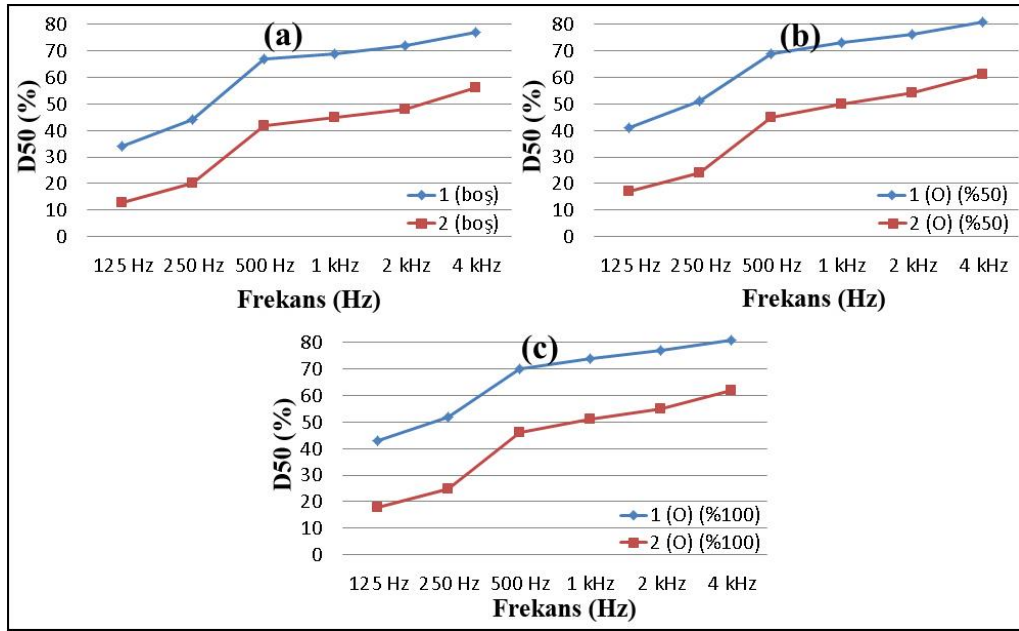


Şekil 78. Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-D50 değerleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen D50 sonuçlarının ses kaynağı noktası konumlarına göre grafikleri Şekil 79’de yer almaktadır. Sonuçlar arasında ses kaynağının konumuna bağlı olarak küçük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Alçak frekanslarda namaz modundaki değerler daha yüksek iken orta ve yüksek frekanslarda vaaz modundaki değerler daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 79).Alıcı 1 için ölçülen D50 değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde namaz modundaki değerlerin vaaz moduna göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 80). Bu farklılığa ses kaynağı noktalarının alıcı noktalara olan mesafelerinin farkının sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 80. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama D50 değerleri

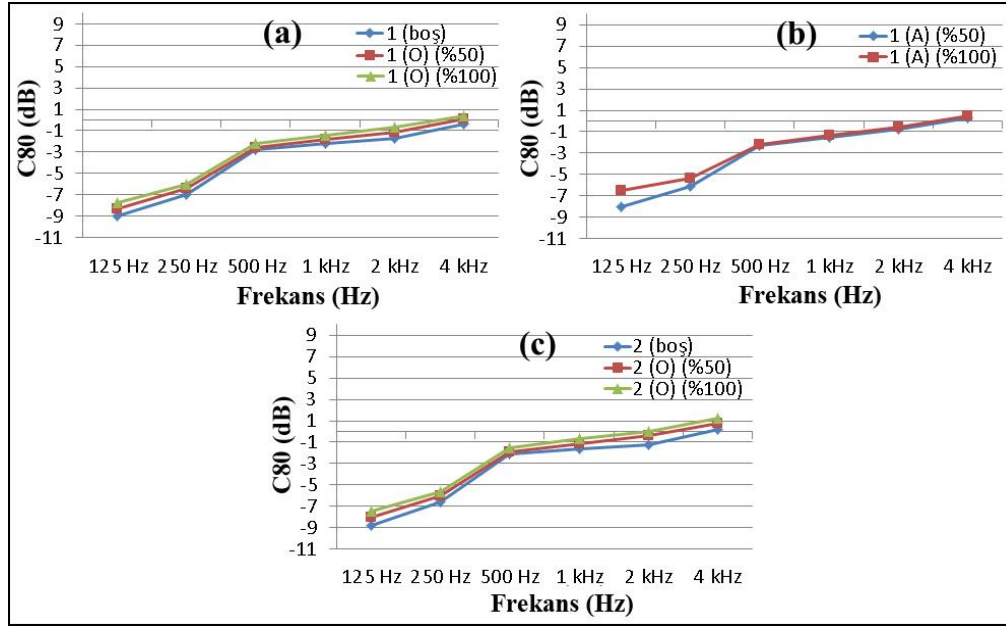


Şekil 81. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-D50 değerleri

3.4.4. Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen C80 Sonuçlarının Analizleri

Gülbahar Hatun Camii'ne ait ortalama C80 sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 82'de yer almaktadır. C80 parametresi için optimum değerler -4 dB +4 dB aralığıdır (Tablo 22). Doluluk oranına göre ortalama C80 değerleri incelendiğinde C80

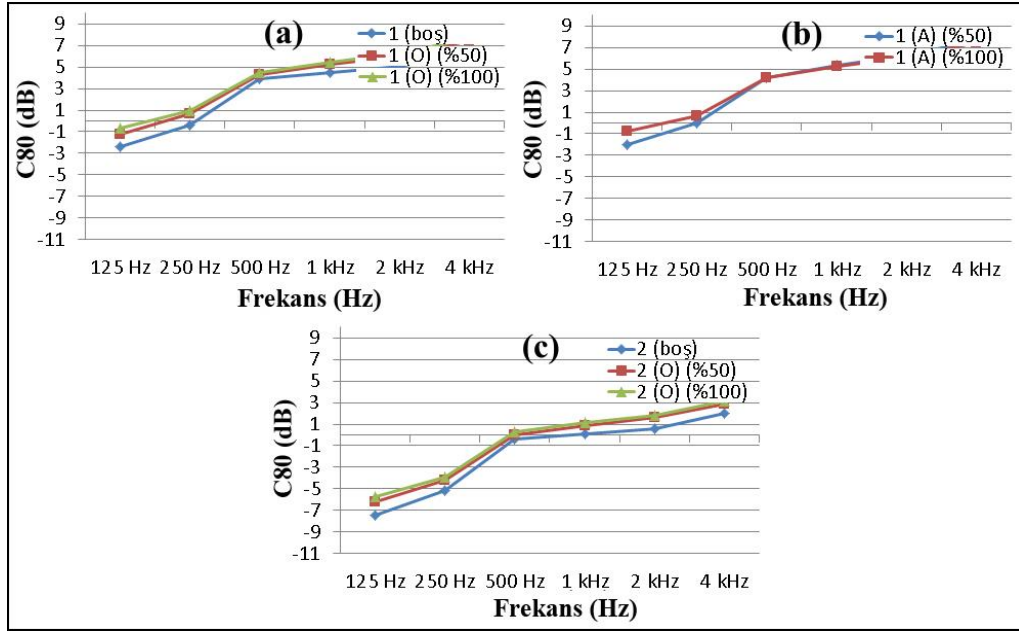
değerlerine benzer durumlar görülmektedir. Değerler orta frekanslarda bütün durumlarda optimum düzeydedir. Doluluk oranının artmasıyla C80 değerleri de artmaktadır. En yüksek C80 değerleri -1,1 dB ile caminin tam dolu ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda, en düşük C80 değerleri ise -2,5 dB ile caminin boş olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 82).



Şekil 82. Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama C80 değerleri

Alıcı 1 için ölçülen C80 değerleri doluluk oranına göre incelendiğinde sonuçların ortalama için elde edilen sonuçlara göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 83). D50 parametresinde olduğu gibi alıcı noktanın kaynaklara yakın konumundan dolayı C80 parametresi için elde edilen sonuçlar da yüksek çıkmaktadır. Orta frekanslarda en yüksek C80 değeri 4,95 dB, en düşük C80 değeri ise -0,15 dB olarak elde edilmiştir.

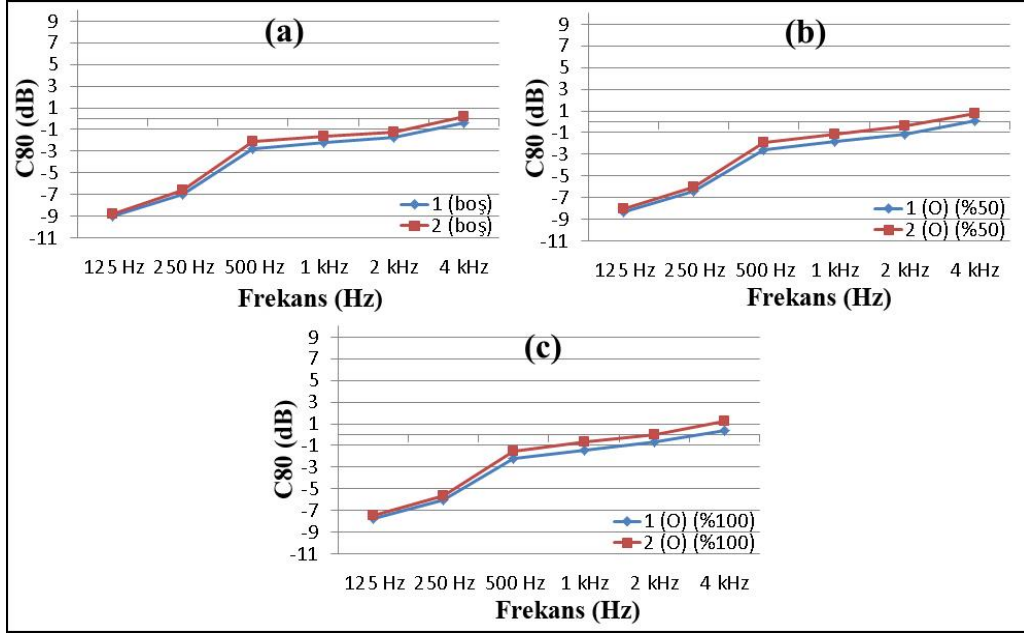
Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır. Alıcı noktalar ile ses kaynağı noktaları arasında maddesel engel bulunmasından ve alıcı noktaların ses gölgesinde kalmasından dolayı ODEON Version 10.1 programı C80 parametresine ait sonuçları doğru olarak hesaplayamamıştır (Christensen, 2009).



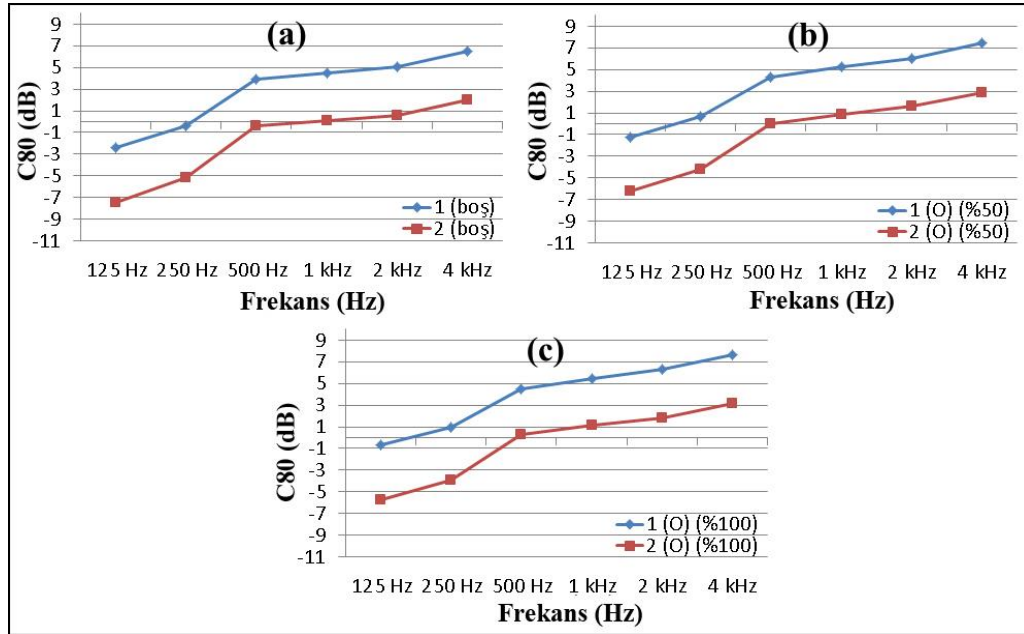
Şekil 83. Doluluk oranlarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-C80 değerleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 84'te yer almaktadır. Değerler arasında ses kaynağının konumuna bağlı olarak küçük farklar elde edilmiştir. Her durumda ve frekansta vaaz modundaki değerler namaz modundaki değerlerden daha yüksek düzeyde çıkmıştır. Değerler arasındaki farklar alçak frekanslarda, orta ve yüksek frekanslara göre daha düşük düzeyde elde edilmiştir (Şekil 84).

Alıcı 1 için elde edilen C80 değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde değerler arasında yüksek fark olduğu tespit edilmiştir. Namaz modundaki değerlerin vaaz modundaki değerlere göre daha yüksektir (Şekil 85). Ses kaynağı noktalarının alıcı noktaya olan mesafelerinin farkının C80 parametresi değerlerindeki bu farklılığa sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 84. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii ortalama C80 değerleri

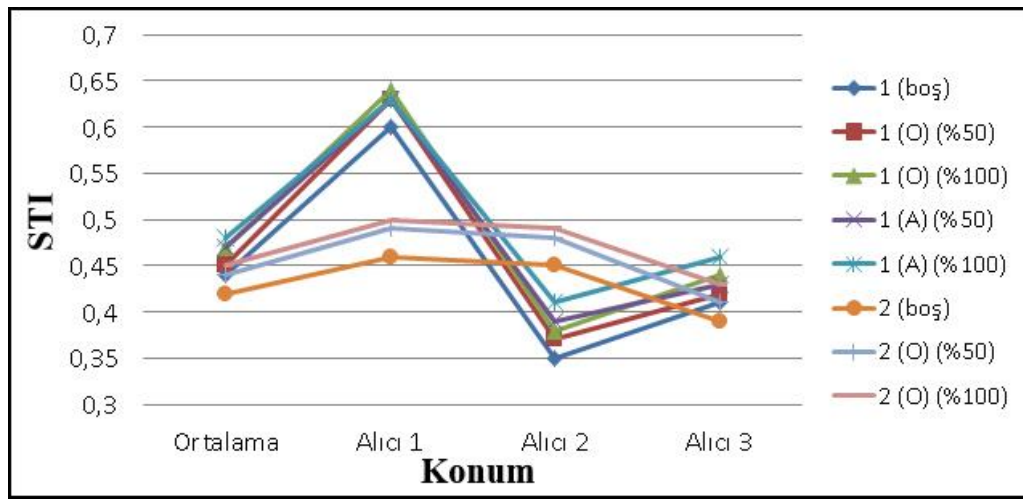


Şekil 85. Ses kaynağı noktalarına göre Gülbahar Hatun Camii-Alıcı 1-C80 değerleri

3.4.5. Gülbahar Hatun Camii İçin Elde Edilen STI Sonuçlarının Analizleri

Gülbahar Hatun Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 86'da yer almaktadır. 0.45 ve üzeri STI değerleri optimum olarak kabul edilmiştir (Tablo 22).

Sonuçlar incelendiğinde, ses kaynaklarına yakınlığı nedeniyle sadece Alıcı 1 için elde edilen değerlerin tümünün optimum düzeylerde oldukları tespit edilmiştir. Alıcı 2 için sadece vaaz modundaki STI değerleri optimum düzeyde elde edilmiştir. Namaz modundaki sonuçlar alıcı noktalarına göre daha değişken iken vaaz modundaki sonuçların alıcı noktalardaki değerleri birbirine daha yakın düzeyde elde edilmiştir. Bu durum yüksek konumundan dolayı minberdeki kaynaktan çıkan seslerin cami içerisinde daha homojen olarak dağıldığını göstermektedir. En yüksek STI sonuçları 0,64 ile Alıcı 1, en düşük STI sonuçları ise 0,35 ile Alıcı 2’de elde edilmiştir (Şekil 86).



Şekil 86. Gülbahar Hatun Camii STI değerleri

3.4.6. Gülbahar Hatun Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi

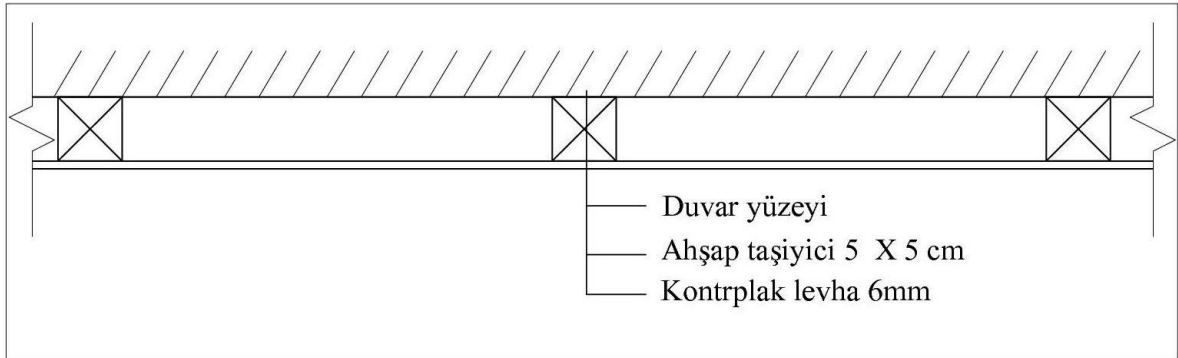
Gülbahar Hatun Camii’ne ait sesin nesnel parametre değerleri genel olarak optimum düzeylerde elde edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen camiler içerisinde akustik konfor koşullarını en iyi derecede sağlayan cami Gülbahar Hatun Camii’dir. T30 değerleri optimum değer aralığının üst sınırına yakın ya da üst sınırın bir miktar üzerinde elde edilmiştir. Buna karşılık D50 değerleri de optimum değerlerin alt sınırına yakın ya da alt sınırın bir miktar altında elde edilmiştir. Her iki parametrenin optimum değer aralıklarında daha merkez değerlere çekilmesiyle caminin her doluluk oranında akustik konfor koşullarını sağlaması amaçlanmıştır.

Orta frekanslardaki T30 değerinin düşürülmesi ve geç yansımaların azaltılması için yan zaviyelerin kubbeleri akustik sıva ile kaplanmıştır. Zaviyelerin ön duvarları tamamen, yan duvarlarda ise dekoratif levhalar halinde kontrplak ile kaplanmış, duvar diplerindeki

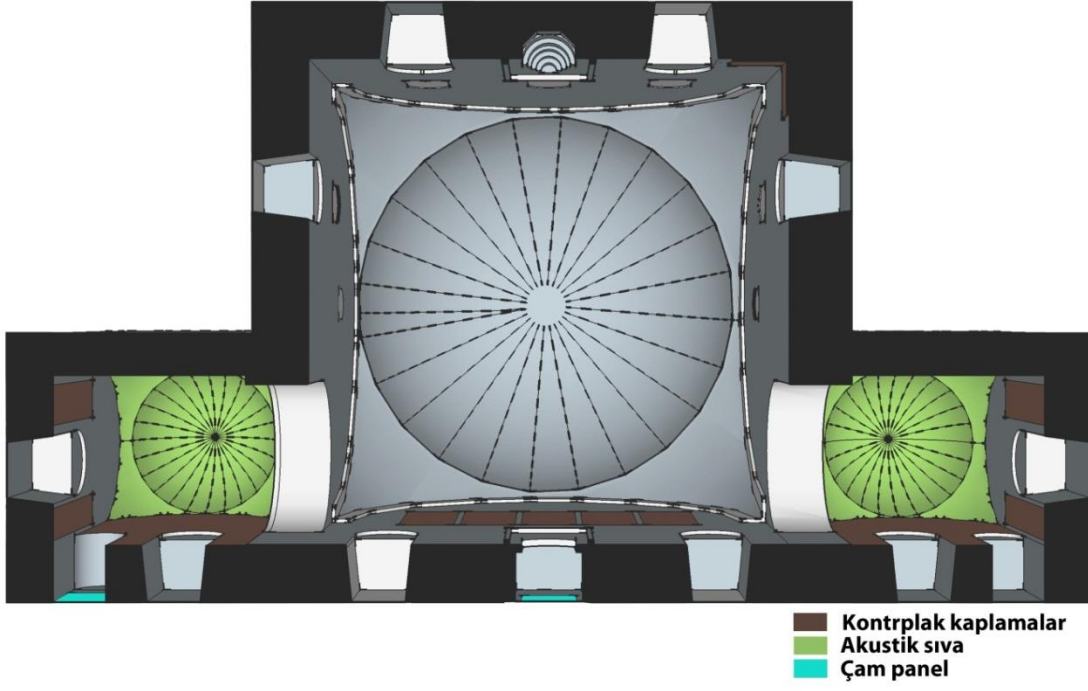
ahşap koruma kontrplak ile değiştirilmiştir. Kontrplak kaplamalar, 6 mm'lik kontrplak levhaların 5cm x 5cm ahşap taşıyıcılar üzerine monte edilmesi şeklinde, duvar yüzey ile levhalar arasında 5 cm boşluk bırakılarak uygulanmıştır (Şekil 87). T30 değerlerinin frekans aralıklarında dengesiz olarak elde edilmesine sebep olan en önemli etken kumaş ve halı yüzeyleri olduğu için bu yüzeylerin azaltılması amacıyla merdiven basamakları üzerindeki halı kaplama kaldırılmıştır.

Belirtilen malzeme değişiklikleri Şekil 88 ve Şekil 89'da, plan ve kesit düzleminde gösterilmiştir. Düzenlemede kullanılan malzemeler ve bu malzemelere ait ses yutma katsayıları Tablo 24'te yer almaktadır. Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan cami modeli ODEON 10.1 programına aktarılıp yeni malzemeler atandıktan ve diğer veriler işleme dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyon modeli

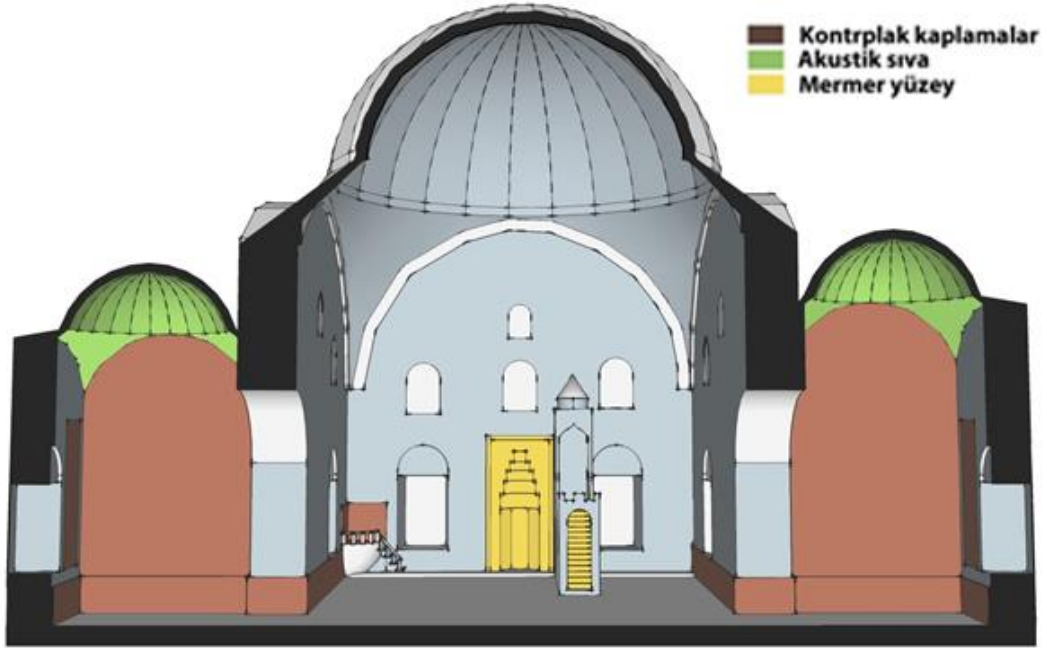
Şekil 90'da yer almaktadır.



Şekil 87. Kontrplak levha kaplama detayı



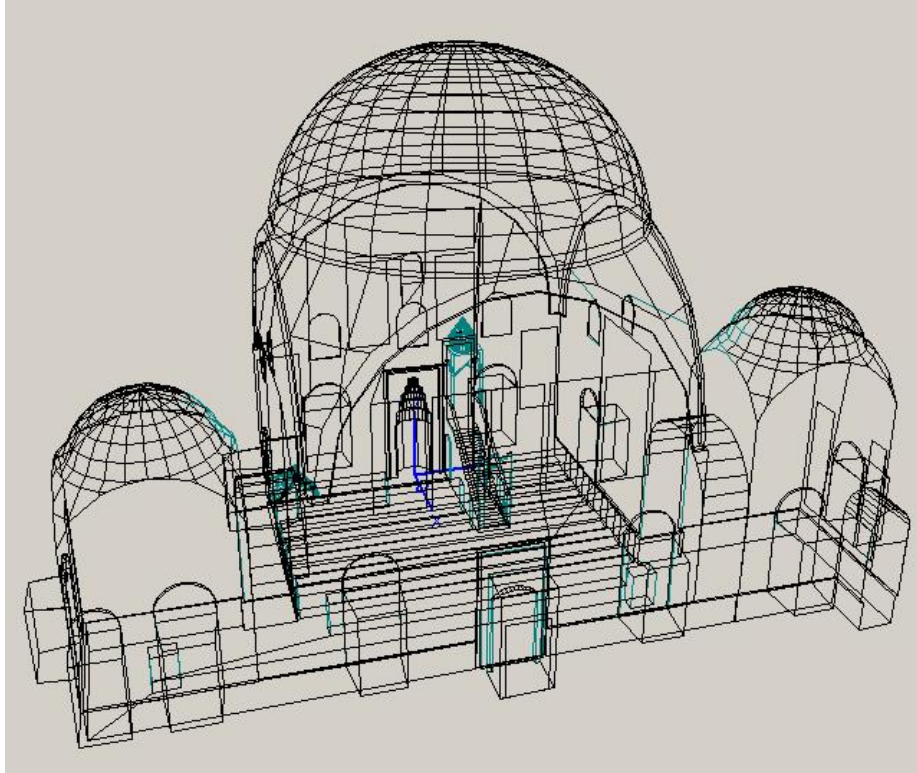
Şekil 88. Plan düzleminde Gülbahar Hatun Camii düzenleme önerisi



Şekil 89. Kesit düzleminde Gülbahar Hatun Camii düzenleme önerisi

Tablo 24. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ile önerilen malzemelerin ses yutma katsayısı değerleri

| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme |  nerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|--------------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Ahşap duvar dibi kaplama | Ahşap | Kontrplak | (URL-15, 2015) | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,8 | 1 |
| | 2 | Paneller | Sıva | Kontrplak | (URL-15, 2015) | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,8 | 1 |
| | 3 | Mihrap | Sıva | Mermer | 2001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | Kapılar | Ahşap | Çam panel | (URL-15, 2015) | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 5 | Yan kubbeler | Sıva | Akustik sıva | (URL-15, 2015) | 0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0 |
| Diğer yüzeyler | 6 | Minber Basamakları | Halı | Mermer | 2001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

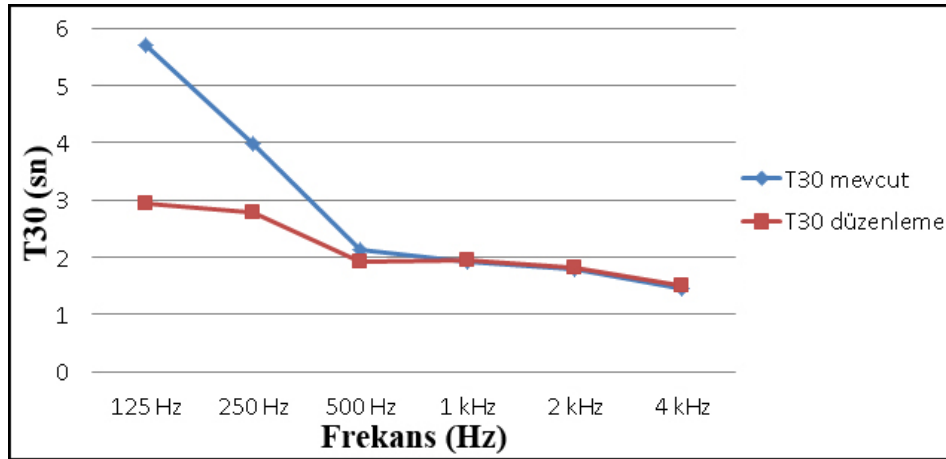


Şekil 90. Gülbahar Hatun Camii simülasyonu

3.5. Gülbahar Hatun Camii İçin Akustik Düzenleme Sonuçları

3.5.1. Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii T30 Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Gülbahar Hatun Camii için elde edilen T30 değerleri Şekil 90'de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 2,02 sn'den 1,93 sn'ye düşmüştür. Mevcut durumda optimum değer aralığının üst sınırına (1,75 – 2,13 sn) yakın olan T30 değeri optimum aralığın merkezi değerlerine yaklaştırılmıştır. Kontrplak yüzeye ait ses yutma katsayılarının alçak frekanslarda daha yüksek değerlere sahip olması nedeniyle, alçak frekanslardaki T30 değerleri orta frekanslardakilere göre daha fazla düzeyde düşme eğilimi göstermiştir. Bu düzenleme sonrasında T30 sonuçlarının frekans aralıklarında dağılımı daha dengeli hale gelmiştir.

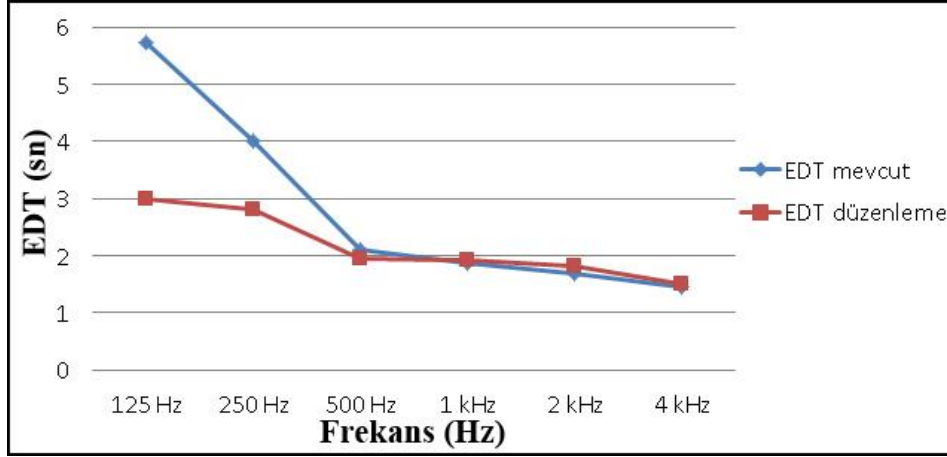


Şekil 90. Akustik düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii'nde T30 değerlerinin değişimi

3.5.2. Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii EDT Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Gülbahar Hatun Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 91'de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki ortalama EDT değerleri 1.98 sn'den 1,93 sn'ye düşmüştür. Mevcut durumda

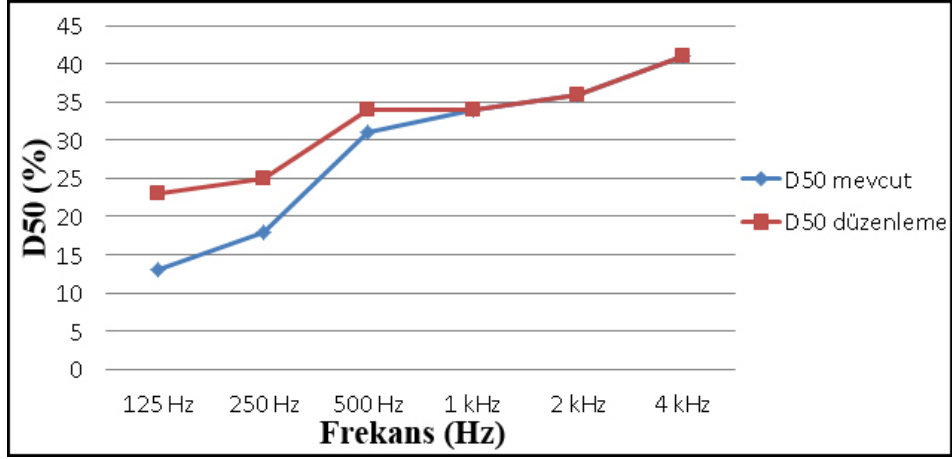
ve akustik düzenleme sonrasında EDT değerleri orta frekanslarda optimum düzeylerde elde edilmiştir (1,9 sn-2,32 sn). Ayrıca mevcut durumda T30 değerinden daha düşük olan EDT değerinin akustik düzenleme sonrasında T30 değeri ile eşit hale gelmesi sağlanmıştır. T30 değerlerinde olduğu gibi EDT değerlerinin de kontrplak yüzeyler sayesinde frekans aralıklarındaki dağılımları daha dengeli hale gelmiştir.



Şekil 92. Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii'nde EDT değerlerinin değişimi

3.5.3. Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii D50 Sonuçları

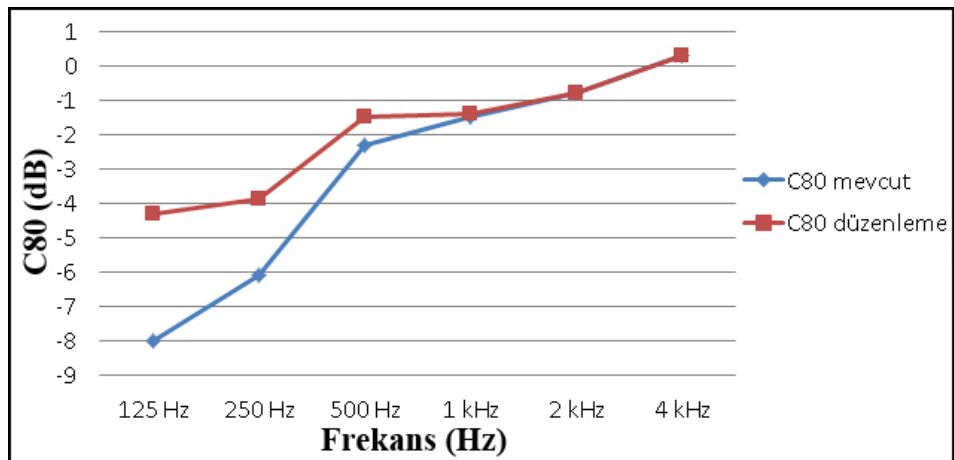
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Gülbahar Hatun Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 93'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki D50 değerleri ortalaması % 32'den % 34'e yükselmiştir. Hem mevcut durumda hem de akustik düzenleme sonrasında D50 değerleri orta frekanslarda optimum düzeylerde (%30-%70) elde edilmiştir. Akustik düzenleme D50 parametresi için orta frekanslarda T30 değerinde olduğu kadar etkili olmamıştır. Fakat T30 değerlerinde olduğu gibi D50'de de frekans aralıklarında elde edilen değerlerin daha dengeli olması sağlanmıştır.



Şekil 92. Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii'nde D50 değerlerinin değişimi

3.5.4. Akustik Düzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii C80 Sonuçları

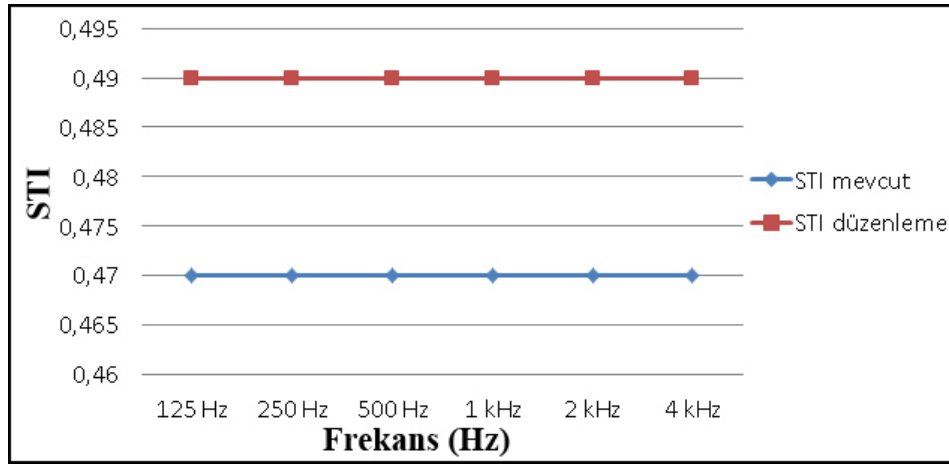
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Gülbahar Hatun Camii için elde edilen C80 değerleri Şekil 93'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki ortalama C80 değerleri -1,9 dB'den 0,49 dB'e yükselmiştir. Her iki durumda orta frekanslarda optimum düzeylerde elde edilen C80 değerleri, düzenleme sonrasında optimum değer aralığının (-4 dB +4dB) merkezine yaklaştırılmıştır. Akustik düzenleme C80 parametresinde D50 parametresine göre daha etkili olmuştur. T30 değerlerindeki değişimlere paralel olarak C80 değerlerinin de frekanslara göre değişimleri daha dengeli hale gelmiştir.



Şekil 93. Düzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii'nde C80 değerlerinin değişimi

3.5.5. Akustik Dzenleme Sonrası Gülbahar Hatun Camii STI Sonuçları

Akustik dzenleme öncesi ve sonrasında Gülbahar Hatun Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 94'te yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında STI değeri 0,47'den 0,49'a yükselmiştir. mevcut durumda da optimum düzeyde ($\geq 0,45$) olan STI değerinde küçük bir artış elde edilmiştir. Akustik dzenleme, D50 parametresinde olduğu gibi STI parametresini de yüksek düzeyde etkilememiştir (Şekil 94).



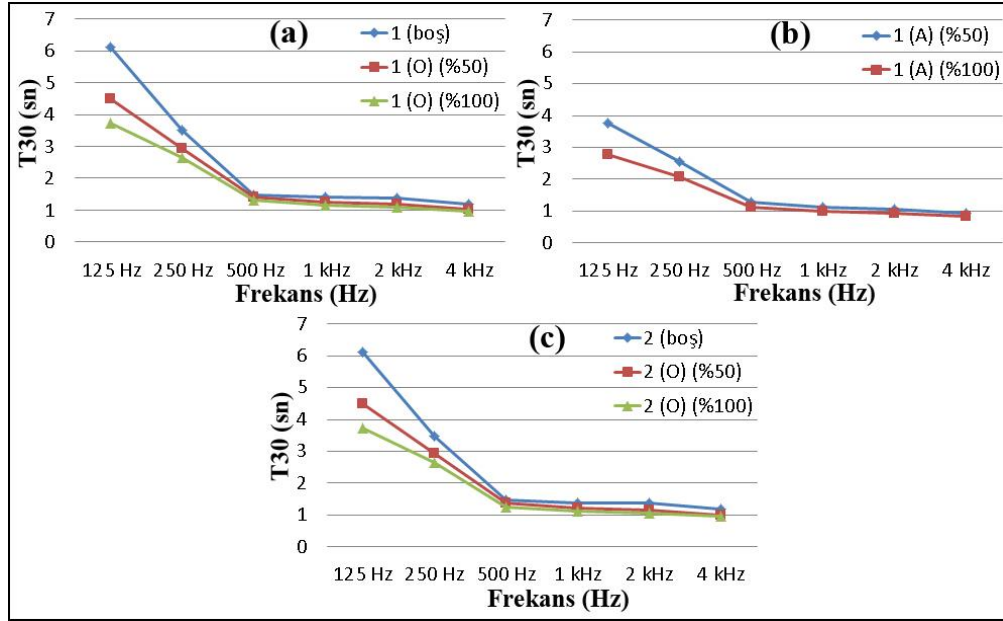
Şekil 94. Dzenleme sonrası Gülbahar Hatun Camii'nde STI değerinin değişimi

3.6. İskenderpaşa Camii için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametre Değerlerinin Analizleri

3.6.1. İskenderpaşa Camii için Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri

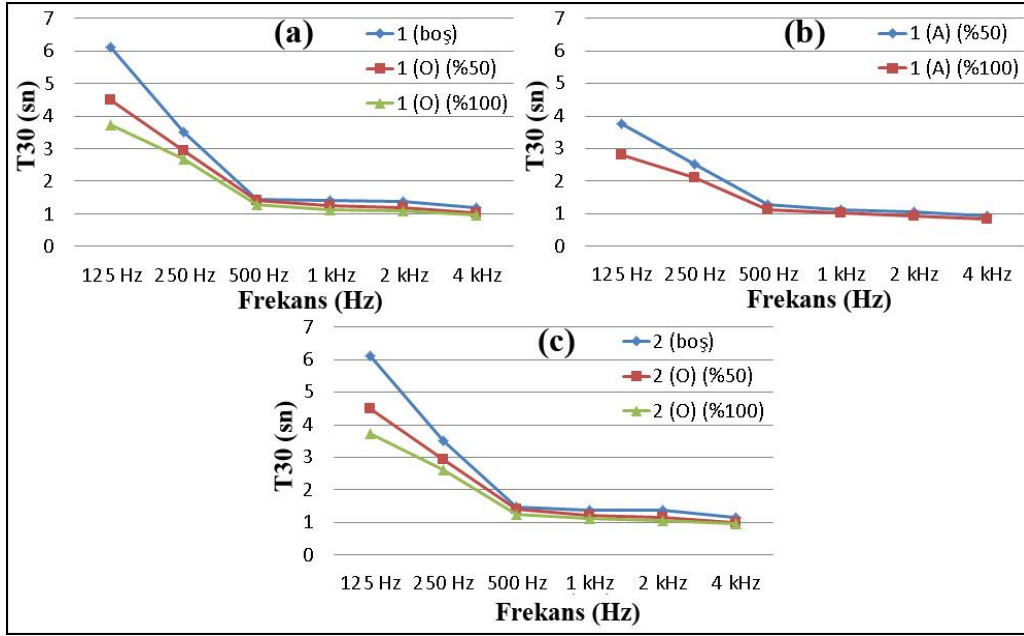
İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerine ait değerler Şekil 95'da yer almaktadır. İskenderpaşa Camii'nin hacmi için önerilen optimum T30, 1,61 – 1,97 sn değer aralığındadır (Tablo 22). Sonuçlar incelendiğinde, T30 değerlerinin orta frekanslarda optimum aralığın oldukça altında olduğu ortaya çıkmaktadır. Halı ve kumaş yüzeylerde oktav bant frekans aralığlarındaki ses yutma katsayı değerlerinin değişim farklarının yüksek olmasından dolayı alçak frekanslarda yüksek olan T30 değerleri, orta ve yüksek frekanslarda çok düşük düzeyde elde edilmiştir.

Caminin doluluk oranı arttıkça T30 değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Alçak frekanslarda daha belirgin olan doluluk oranının etkisi, orta ve yüksek frekanslarda azalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,44 sn ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük T30 değeri ise 1,05 sn ile caminin %100 doluluk oranında, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 96).

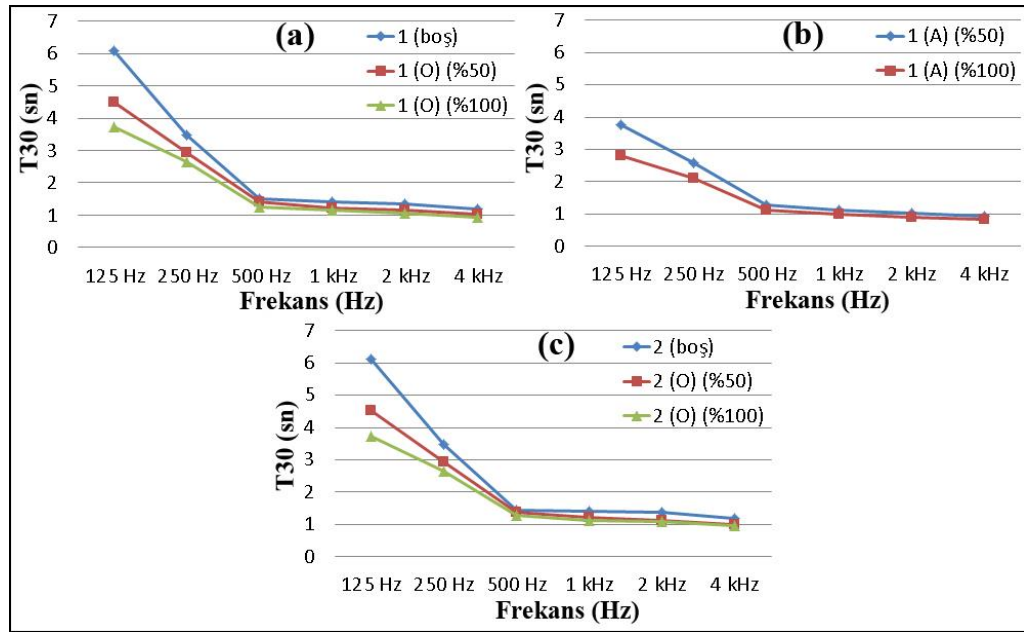


Şekil 96. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama T30 değerleri

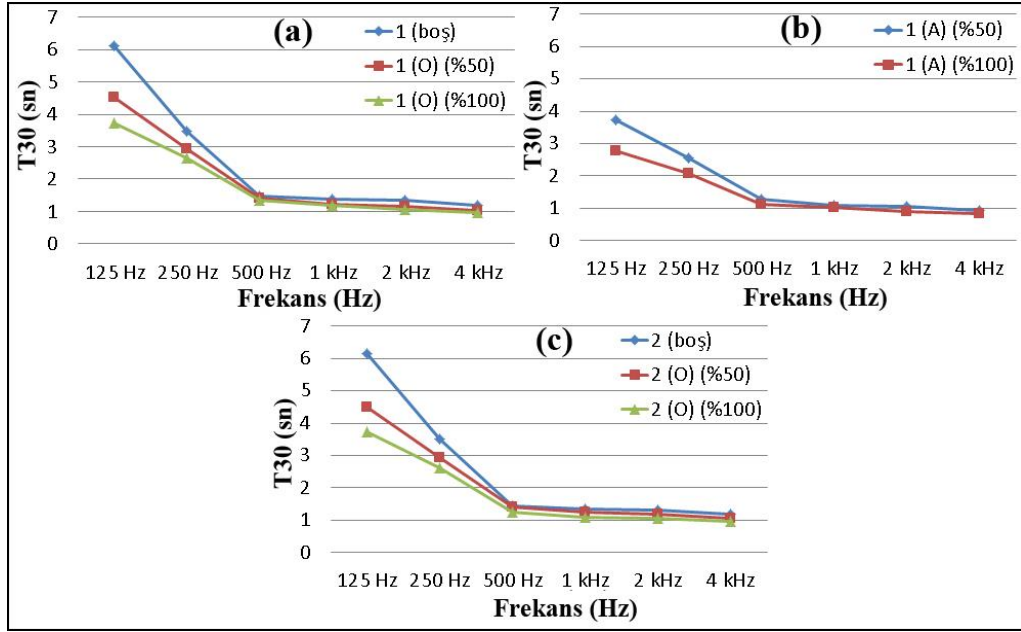
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen değerler doluluk oranına göre karşılaştırıldığında ortalama için elde edilen değerlere benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değerleri 1,45 sn ile, en düşük T30 değerleri ise 1,04 sn ile Alıcı 2'de elde edilmiştir (Şekil 97, Şekil 98, Şekil 99).



Şekil 97. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



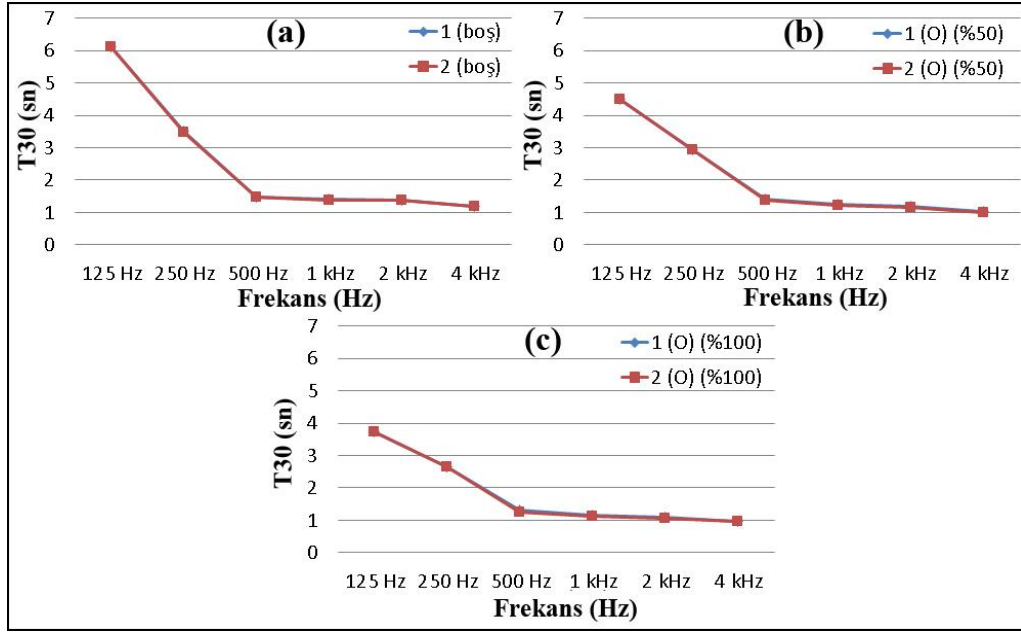
Şekil 98. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



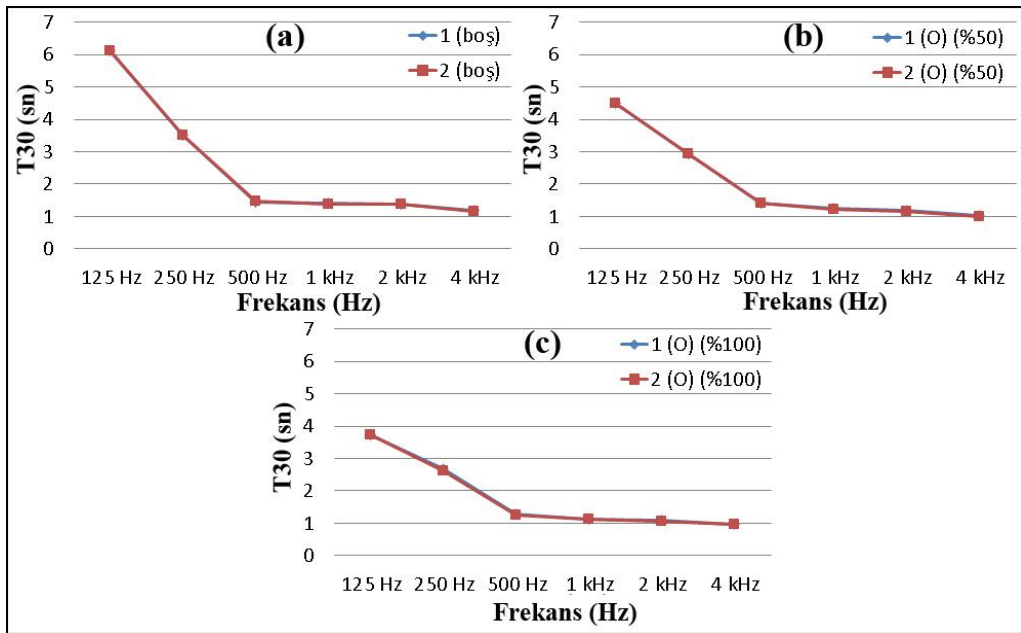
Şekil 99. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 100'de yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak belirgin bir değişim elde edilememiştir. Ses kaynağı noktası konumunun değişiminin T30 değeri üzerinde fazla etkisi olmamıştır (Şekil 100).

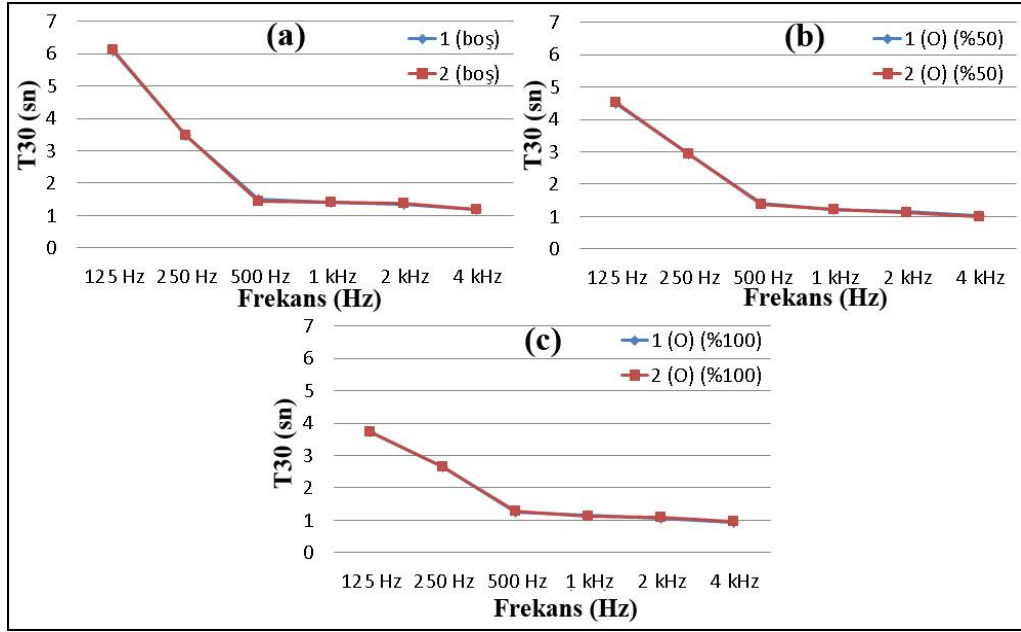
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 noktaları için elde edilen T30 değerleri doluluk oranına göre karşılaştırıldığında genel ortalama için elde edilen sonuçlara çok yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 101, Şekil 102, Şekil 103).



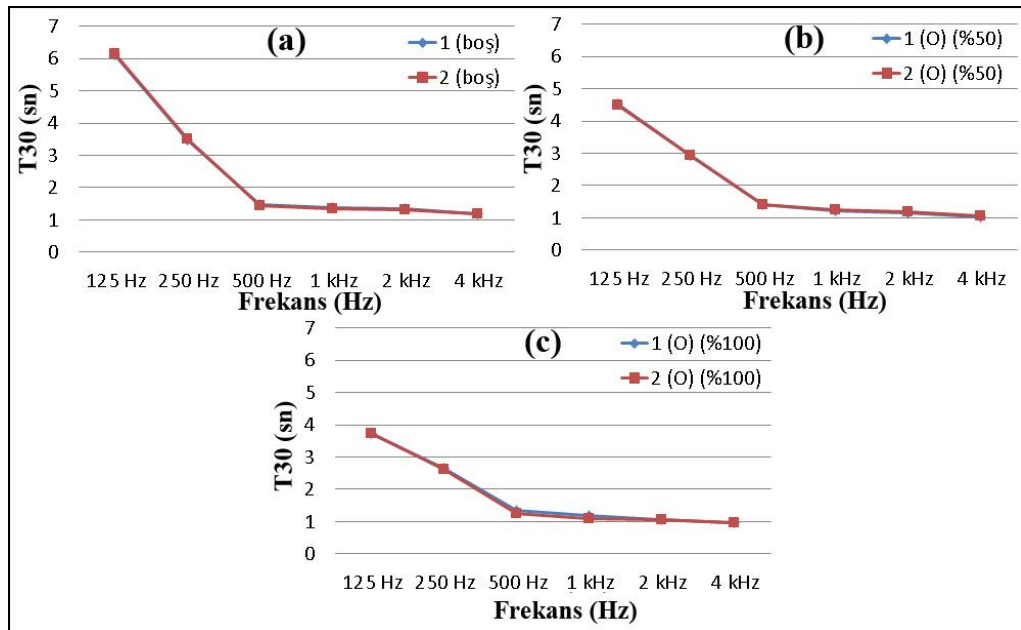
Şekil 100. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama T30 değerleri



Şekil 101. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 102. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



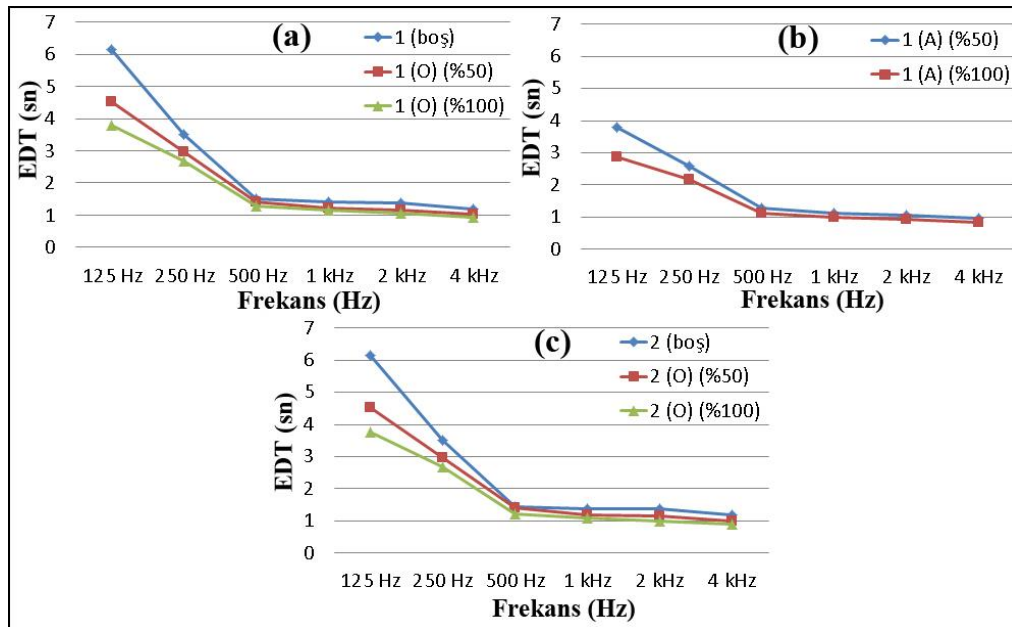
Şekil 103. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

3.6.2. İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama EDT sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 104'te yer almaktadır. İskenderpaşa Camii'nin sahip olduğu hacim için önerilen optimum EDT, 1,75 – 2,15 sn değer aralığındadır (Tablo 22).

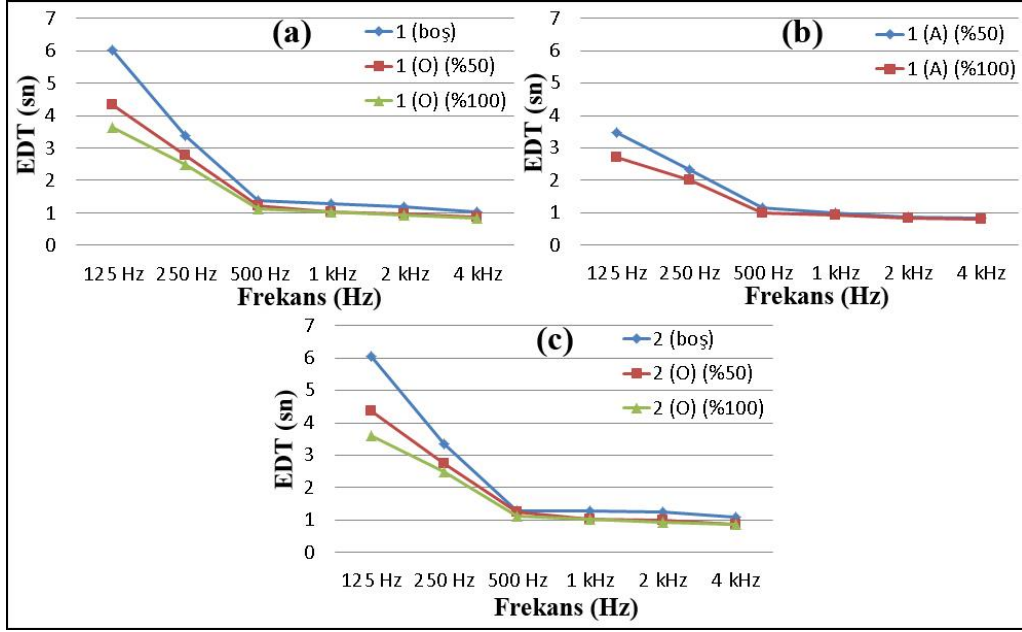
Sonuçlar incelendiğinde, alçak frekanslarda değerlerin aşırı yüksek, orta ve yüksek frekanslarda ise optimum aralığın altında elde edilmiştir. EDT değerleri T30 değerinin üzerinde olmasına rağmen, T30 değerinin düşük olmasından dolayı EDT değerleri optimum aralığının altında kalmıştır.

Doluluk oranı arttıkça EDT değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Doluluk oranlarının EDT değerleri üzerindeki etkisi alçak frekanslarda daha belirgin iken orta ve yüksek frekanslarda bu etkide azalma meydana gelmiştir. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 1,45sn ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük T30 değeri ise 1,05sn ile caminin %100 doluluk oranında, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 104).

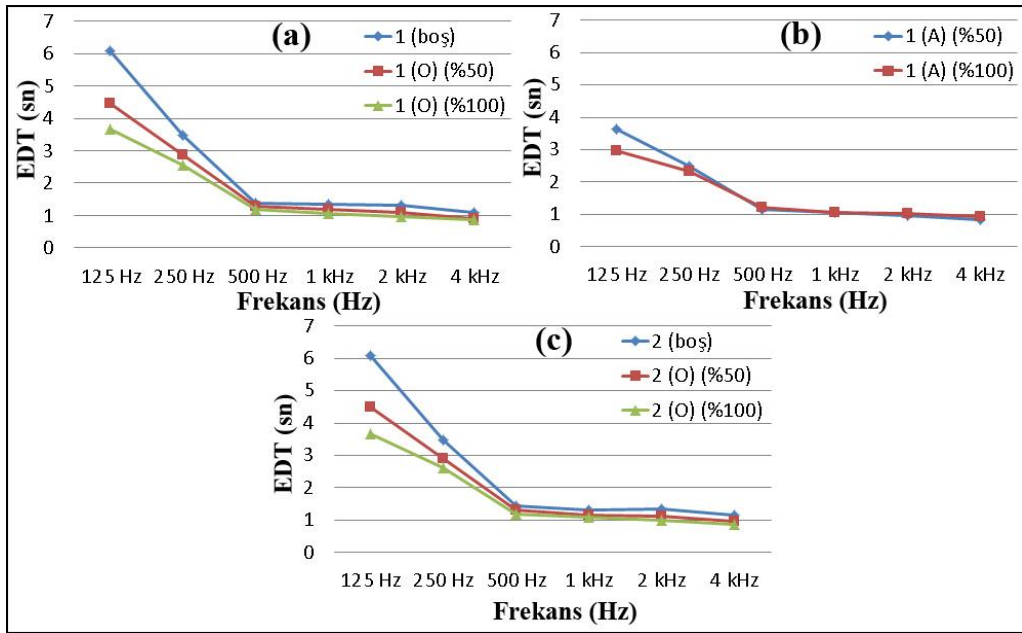


Şekil 104. Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii ortalama EDT değerleri

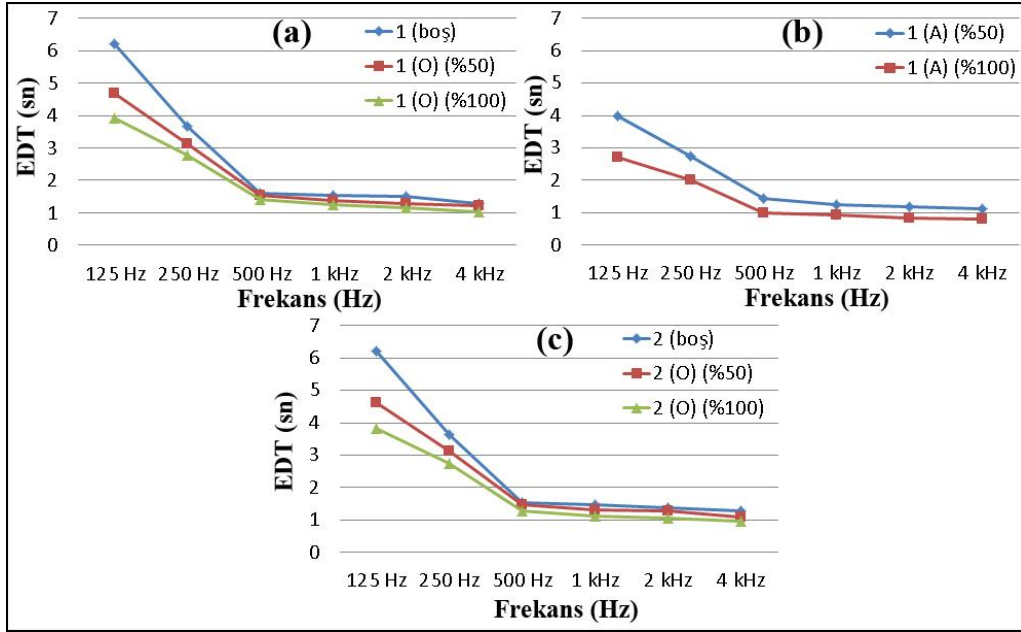
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3, noktaları için elde edilen T30 değerleri ses kaynağı noktalarına göre karşılaştırıldığında, alıcıların tümü için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 1,57 sn ile Alıcı 3'te, en düşük EDT değeri ise 0,97 sn ile Alıcı 1 ve Alıcı 3'te elde edilmiştir (Şekil 105, Şekil 106, Şekil 107).



Şekil 105. Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



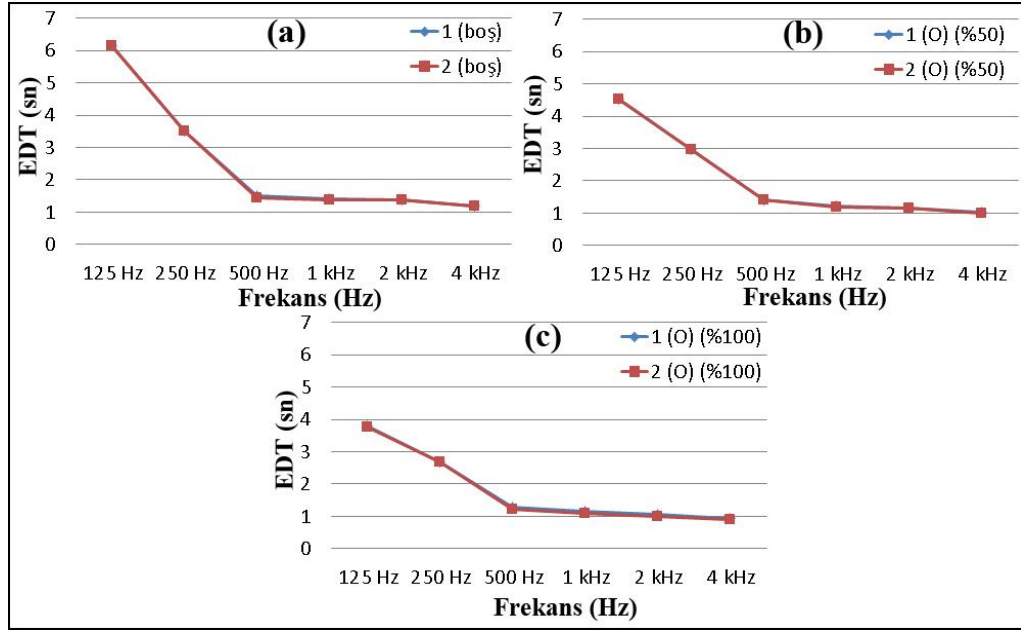
Şekil 106. Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



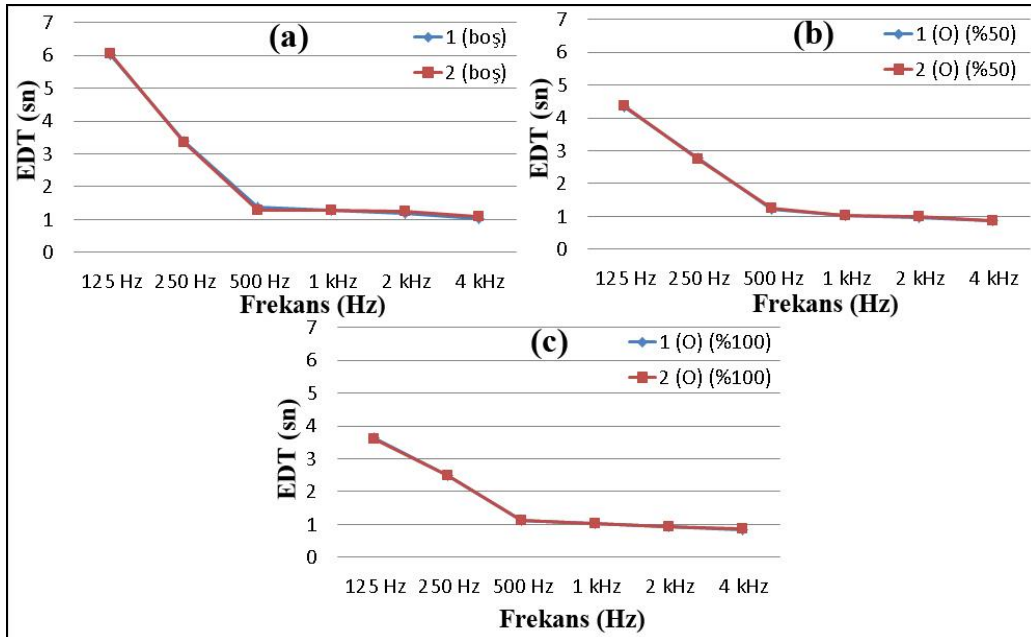
Şekil 107. Doluluk oranına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 108’de yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, değerler arasında belirgin bir farklılık olmadığı ortaya çıkmıştır. İskenderpaşa Camii’nde ses kaynağı konumunun değişimi EDT sonuçları üzerinde de fazla etkili olmamıştır (Şekil 108).

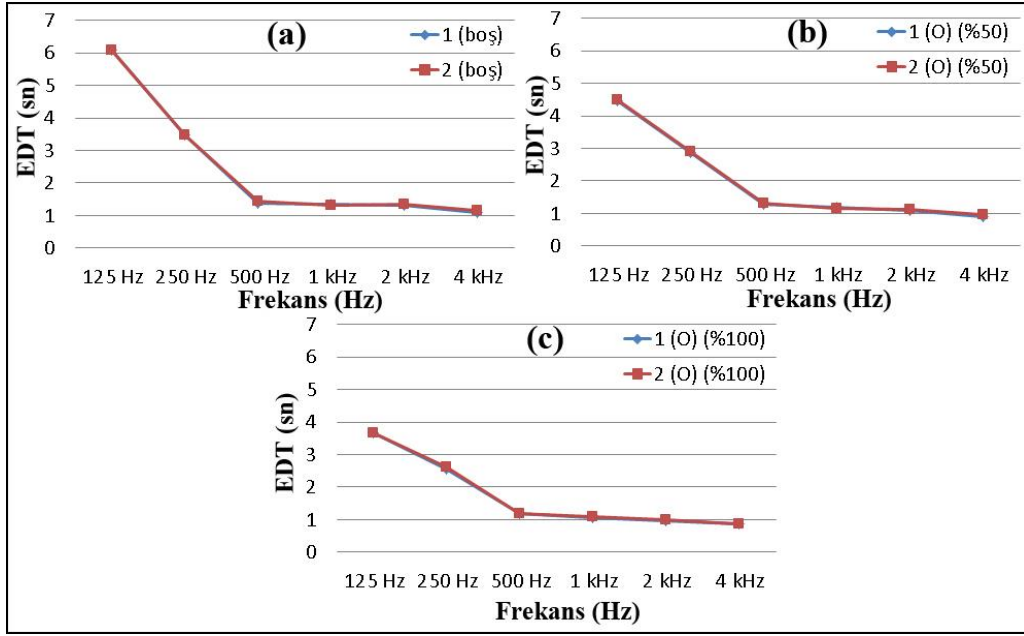
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 noktaları için elde edilen EDT değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde, genel ortalamadan farklı olarak grafikler arasında orta ve yüksek frekanslarda çok küçük farklar tespit edilmiştir. Değerler arasında en yüksek farklar Alıcı 3, en düşük farkların ise Alıcı 1 sonuçlarında elde edilmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında orta frekanslarda vaaz modu değerleri daha yüksek iken yüksek frekanslarda namaz modu değerleri daha yüksektir. Alıcı 3 sonuçlarında her durumda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde sonuçlanmıştır. Alıcı 2 sonuçlarında ise değerler hemen hemen eşit olarak elde edilmiştir (Şekil 109, Şekil 110, Şekil 111).



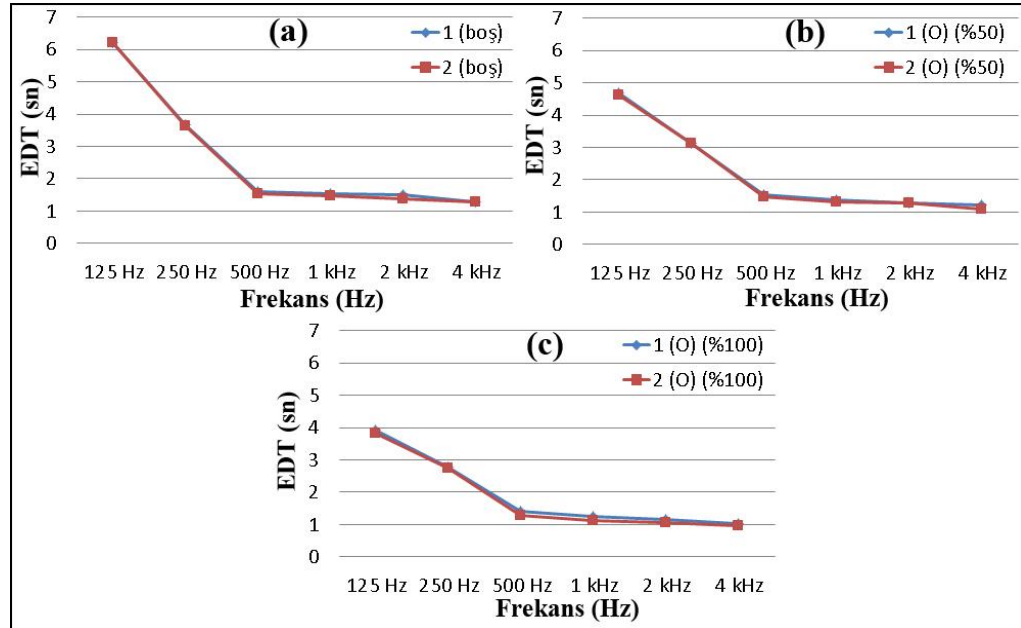
Şekil 108. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama EDT değerleri



Şekil 109. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 110. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıncı 2-EDT değerleri

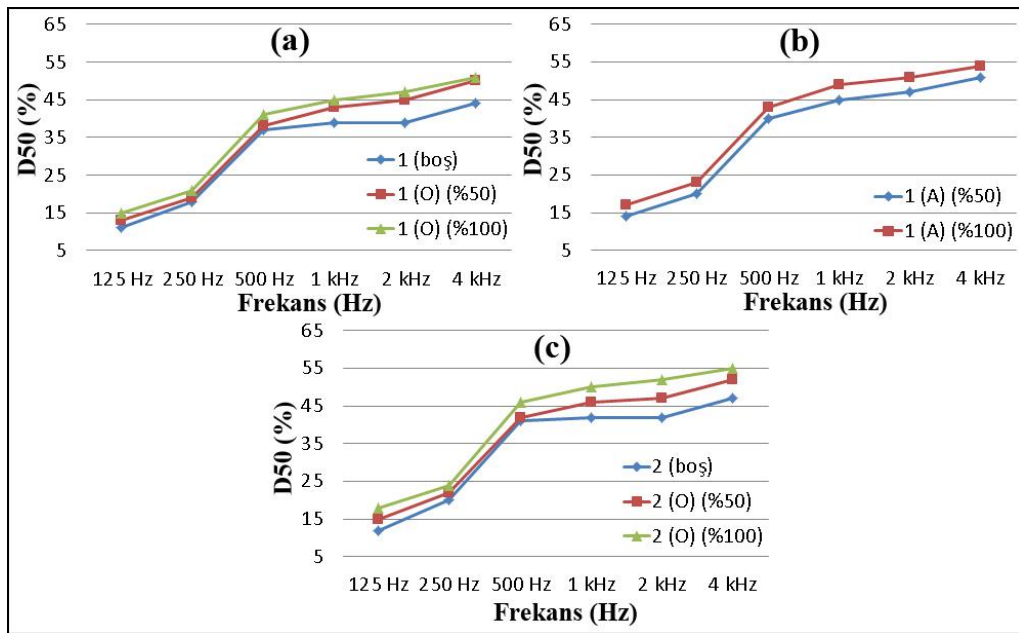


Şekil 111. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıncı 3-EDT değerleri

3.6.3. İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

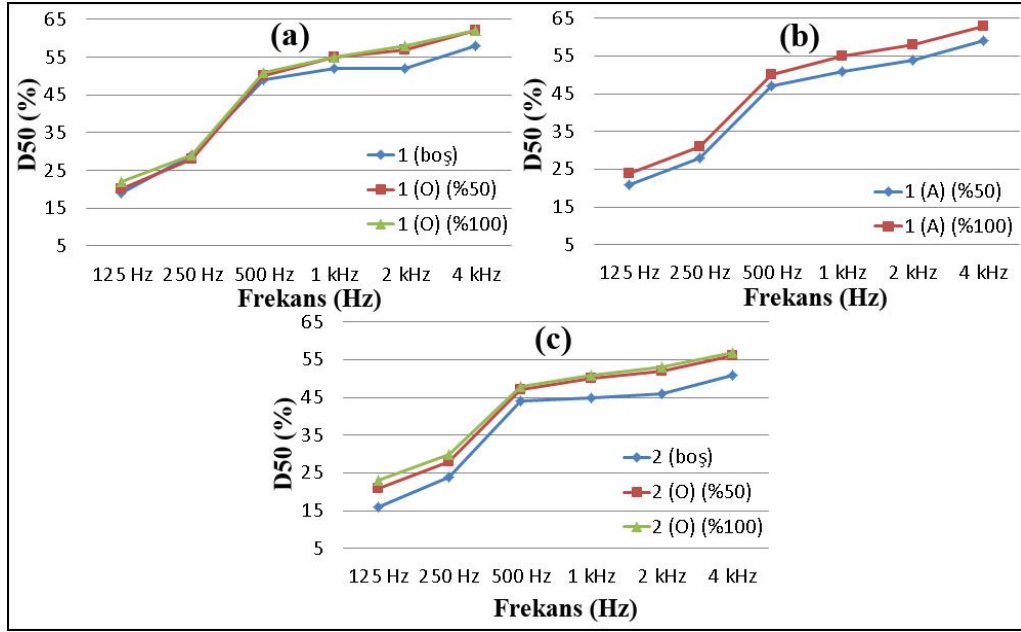
İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri

Şekil 112’de yer almaktadır. Optimum D50 parametresi %30 - %70 değer aralığındadır (Tablo 22). Sonuçlar incelendiğinde, orta frekanslarda D50 değerlerinin optimum aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Doluluk oranının artışı ile birlikte D50 değerlerinde de artış meydana gelmiştir. Değerler arasındaki farklar orta ve üst frekanslarda daha belirgin olmuştur. Orta frekanslarda en yüksek D50 değeri %46 ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük D50 değeri ise %38 ile caminin %100 doluluk oranında, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 112).

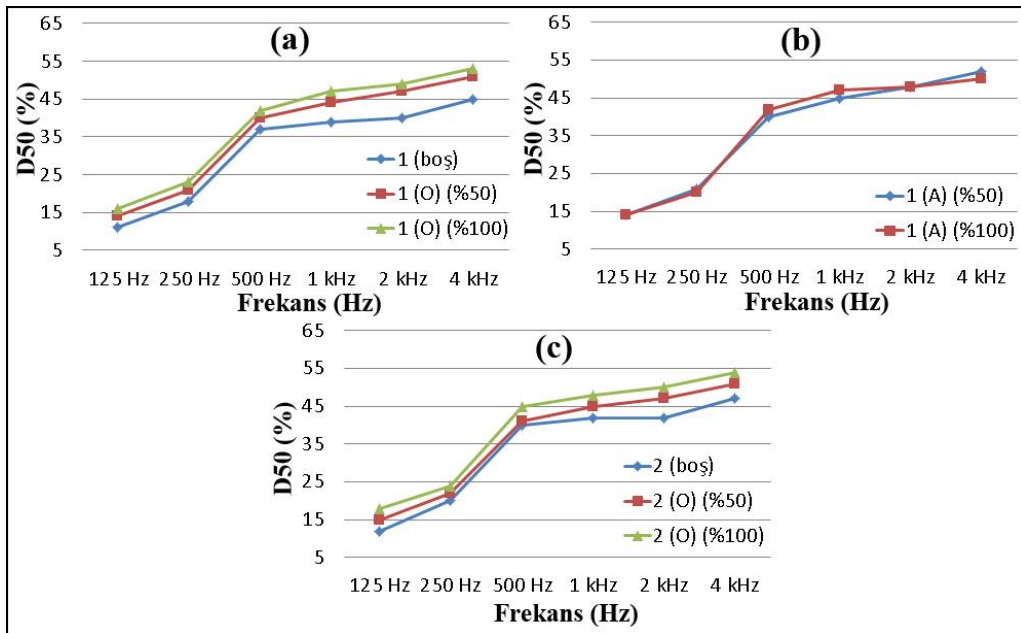


Şekil 112. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama D50 değerleri

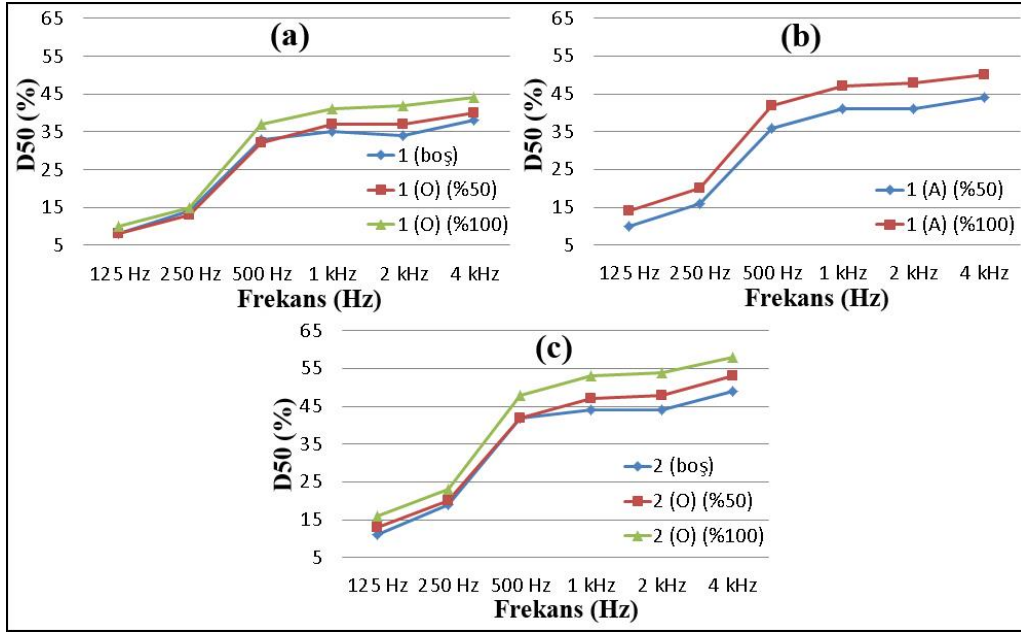
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 noktaları için elde edilen D50 parametresi sonuçlarının doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, en yüksek değerler % 53 ile Alıcı 1, en düşük değerler ise % 34 ile Alıcı 3’te elde edilmiştir. Tüm farklı durumlar için orta frekanslarda değerler optimum düzeylerde elde edilmiştir (Şekil 113, Şekil 114, Şekil 115).



Şekil 113. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-D50 değerleri

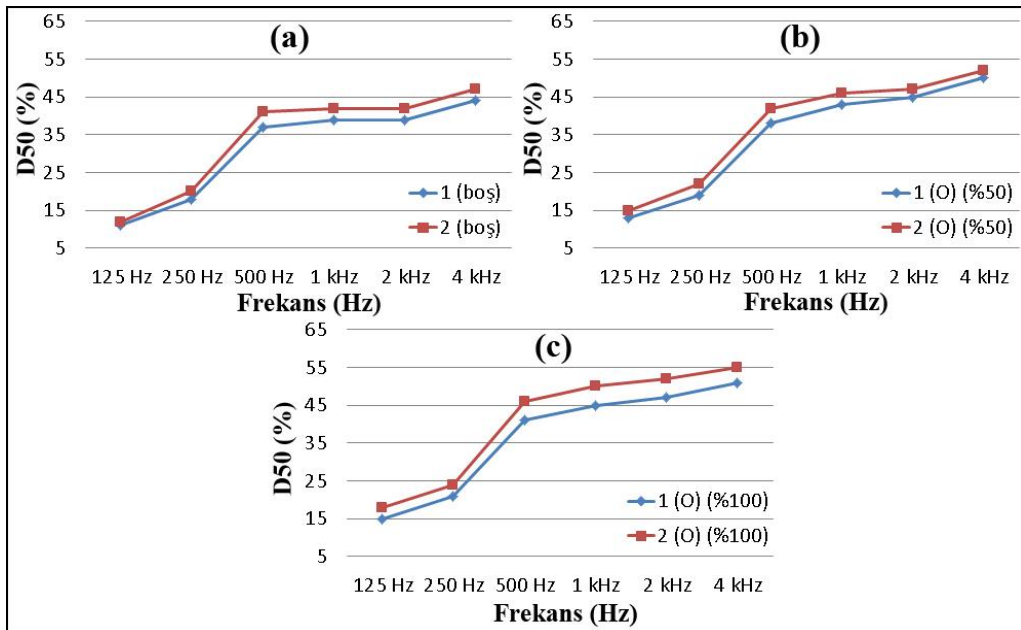


Şekil 114. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



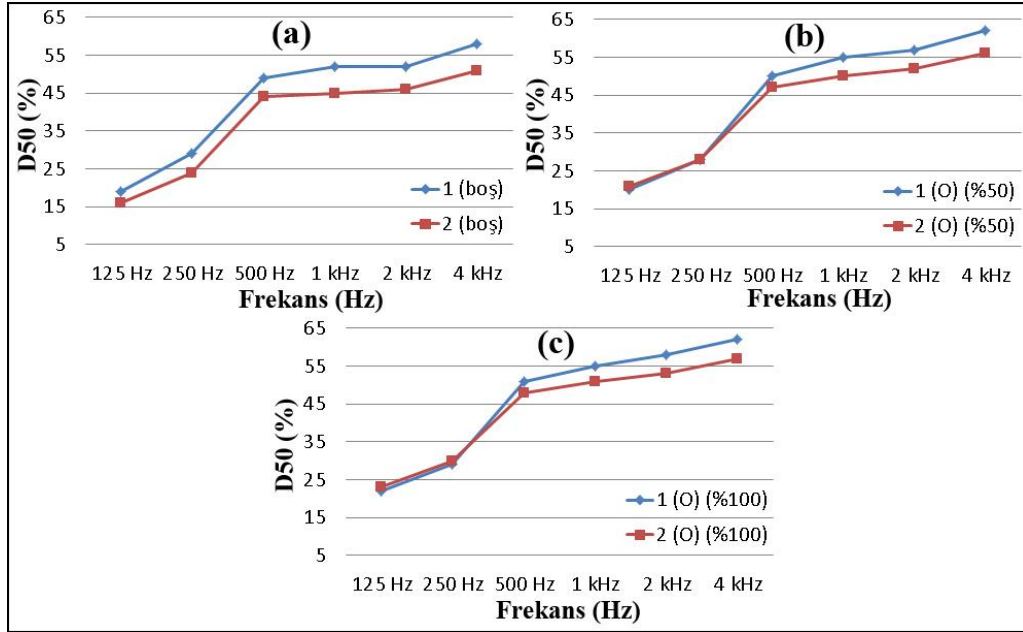
Şekil 115. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 116'da yer almaktadır. Sonuçlar arasında belirli bir miktarda değer farklılıkları elde edilirken, her frekansta vaaz modundaki değerler namaz modundaki değerlerden daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 116).

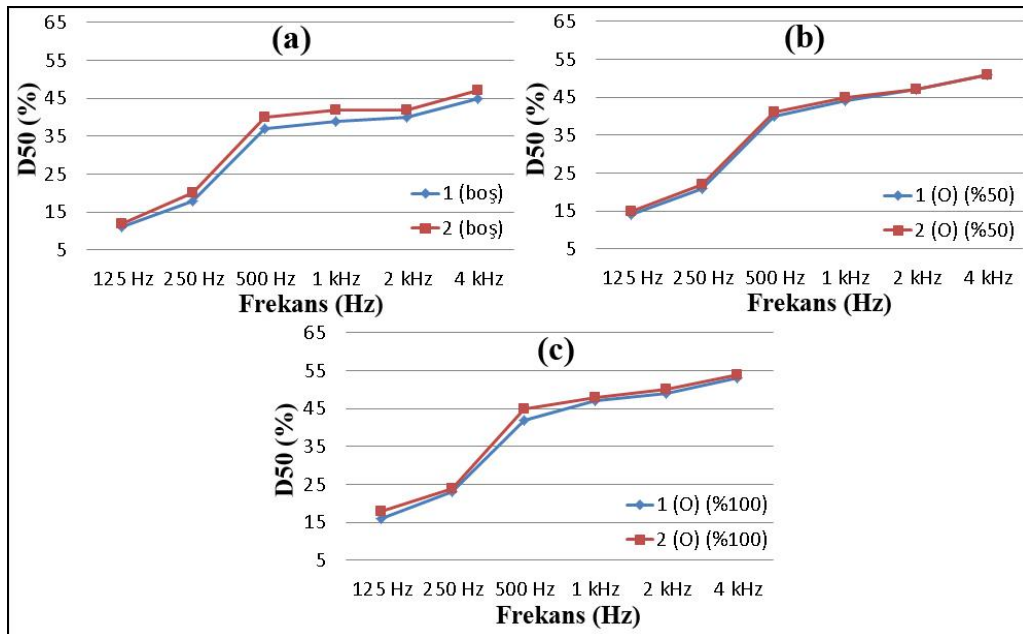


Şekil 116. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii ortalama D50 değerleri

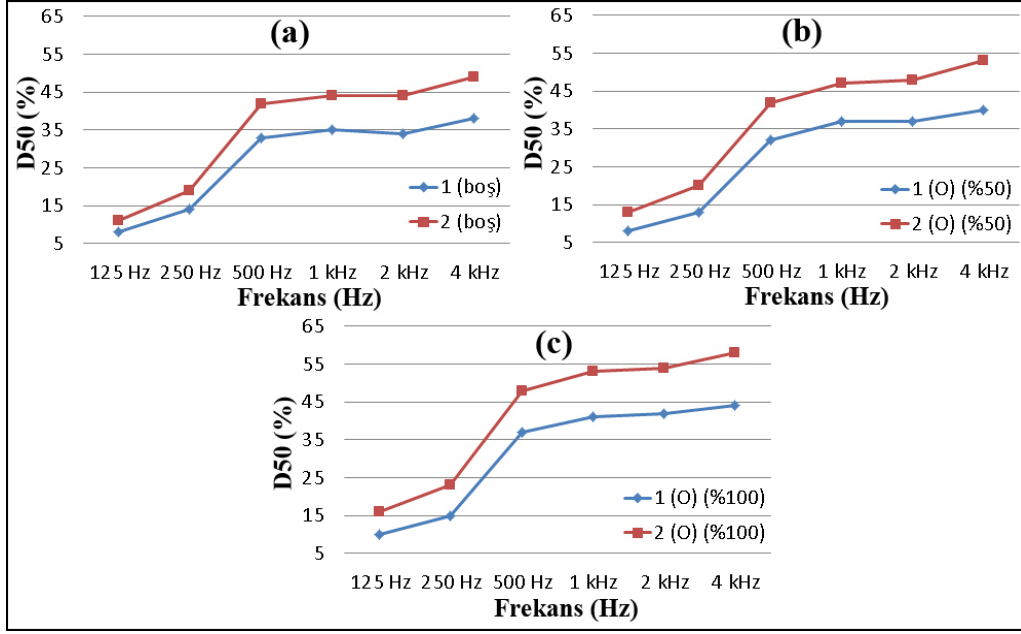
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arası en yüksek değer farkı Alıcı 3, en düşük fark ise Alıcı 2 sonuçlarında elde edilmiştir. Alıcı 1’de namaz modu değerleri, Alıcı2 ve Alıcı 3’te ise namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 117, Şekil 118, Şekil 119).



Şekil 117. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 118. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



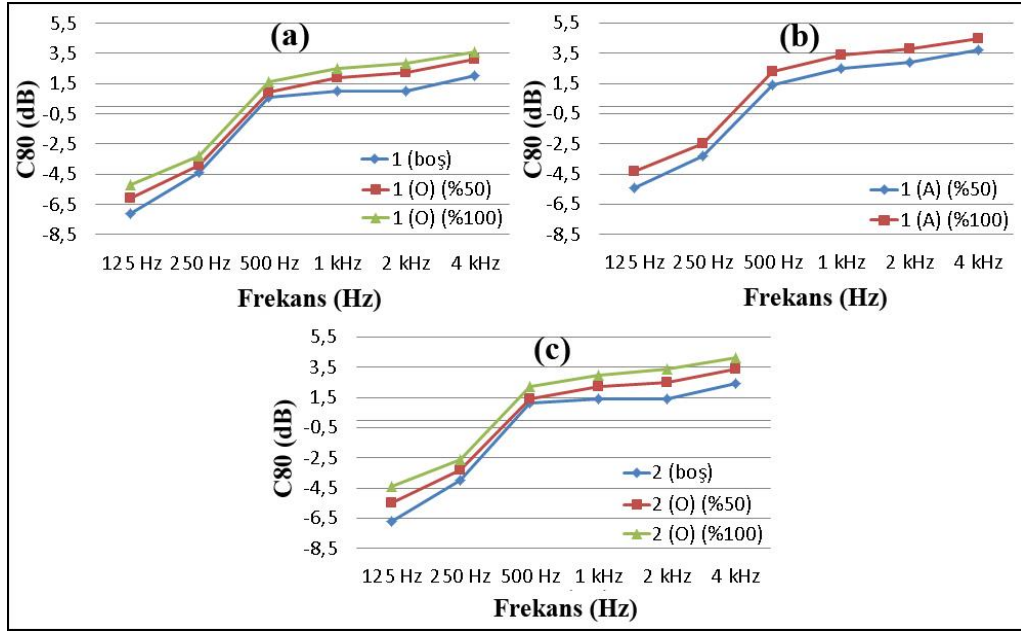
Şekil 118. Ses kaynağı noktalarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

3.6.4. İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri

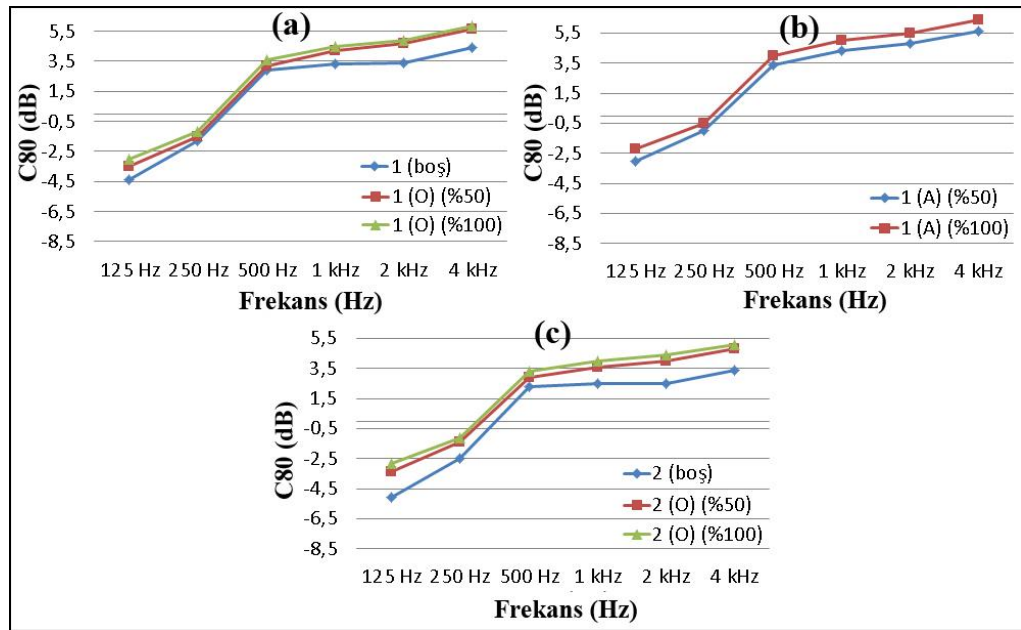
İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama C80 parametresi sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafiği Şekil 119’de yer almaktadır. Optimum C80 parametresi -4dB +4dB değer aralığındadır (Tablo 22). Orta frekanslarda tüm farklı durumlarda ortalama C80 değerleri optimum aralıkta ve optimum üst sınırına yakın düzeyde elde edilmiştir.

Doluluk oranının artmasıyla birlikte C80 değerleri de yükselmiştir. Orta frekanslarda en yüksek C80 değeri 2,05dB ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük C80 değerleri ise 0,8dB ile Caminin %100 doluluk oranında, ibadet edenlerin ayakta olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 119).

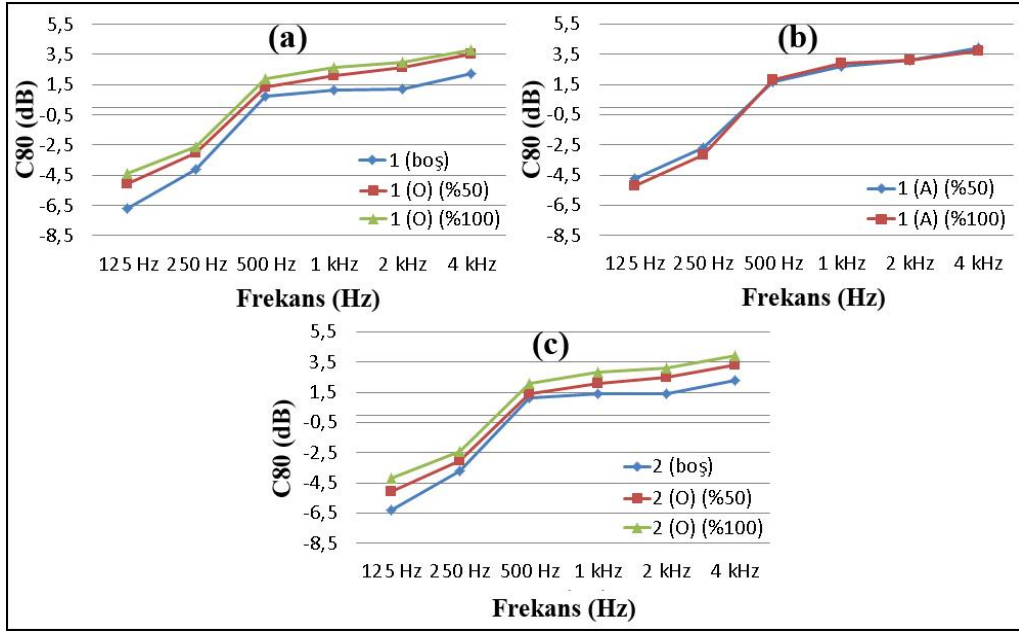
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, orta frekanslarda en yüksek değerleri 4,5 dB ile Alıcı 1, en düşük değerleri ise -0,15 dB ile Alıcı 3 için elde edilmiştir. Orta frekanslarda Alıcı 1 dışındaki diğer alıcı noktalarındaki değerler optimum düzeylerde elde edilmiştir. Alıcı 1 ‘e ait sonuçlar optimum aralığın üst sınırına yakın, %100 doluluk durumlarında ise optimum düzeylerin üzerinde elde edilmişlerdir (Şekil 120, Şekil 121, Şekil 122).



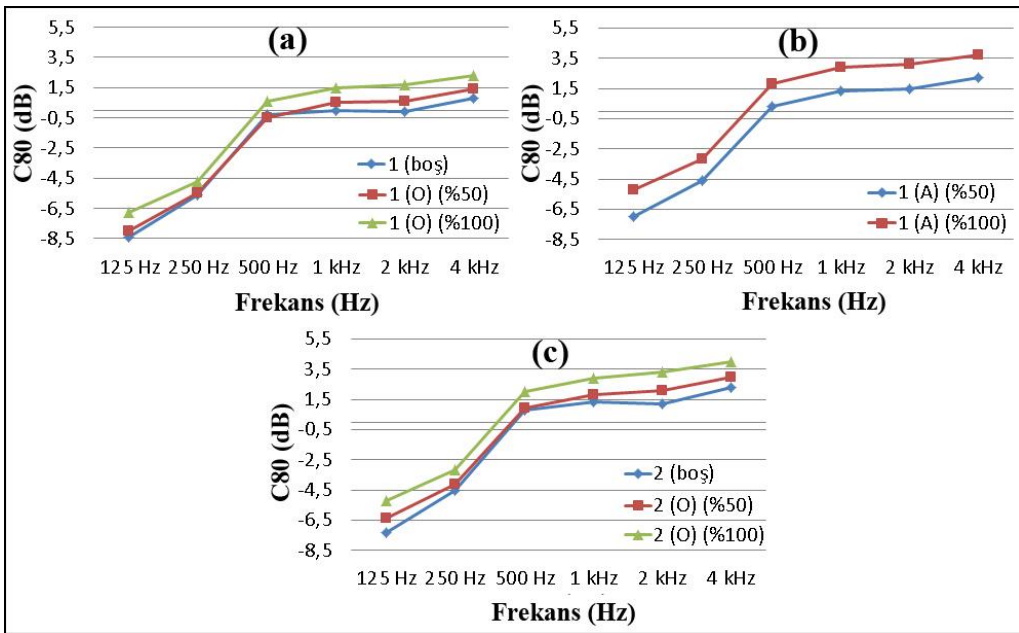
Şekil 120. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii ortalama C80 değerleri



Şekil 121. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-C80 değerleri

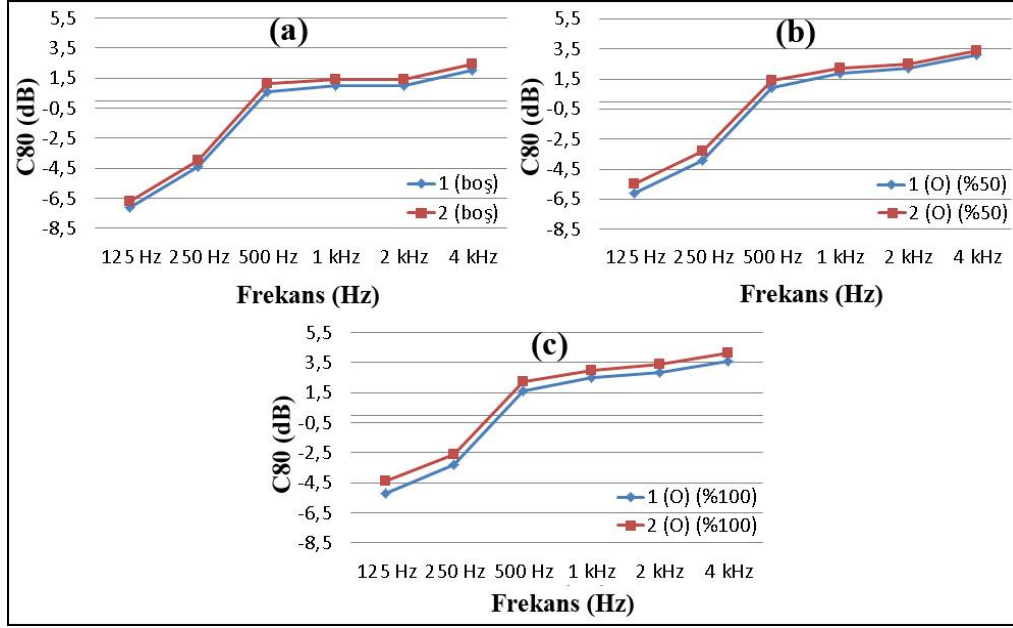


Şekil 122. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-C80 değerleri



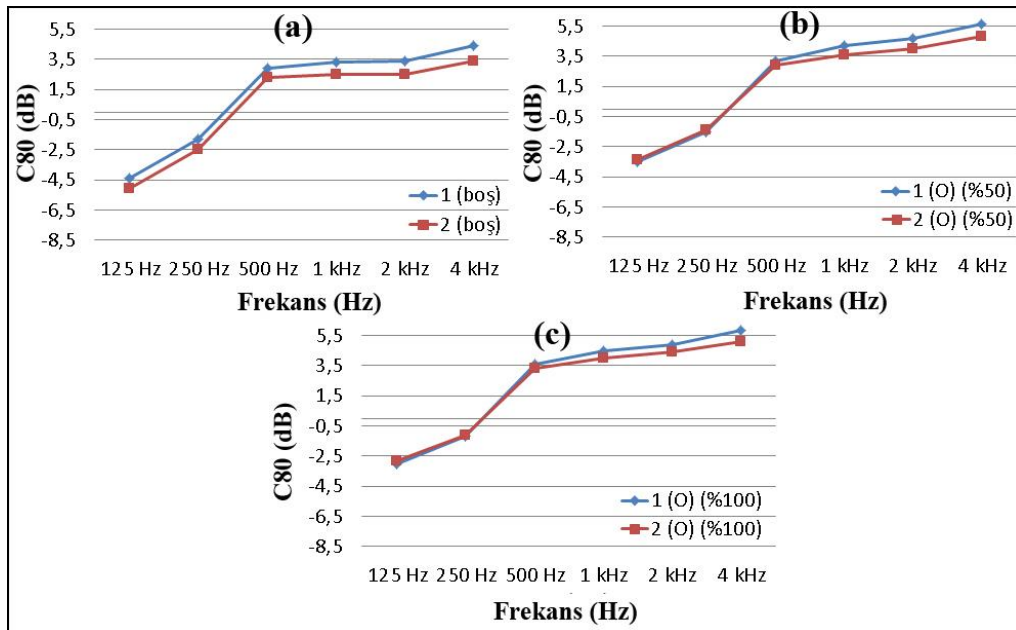
Şekil 123. Doluluk oranlarına göre İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 124'te yer almaktadır. Sonuçlar arasında küçük farklılık meydana gelmiştir. Her frekansta vaaz modundaki değerleri namaz modundaki değerlerden daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 124).

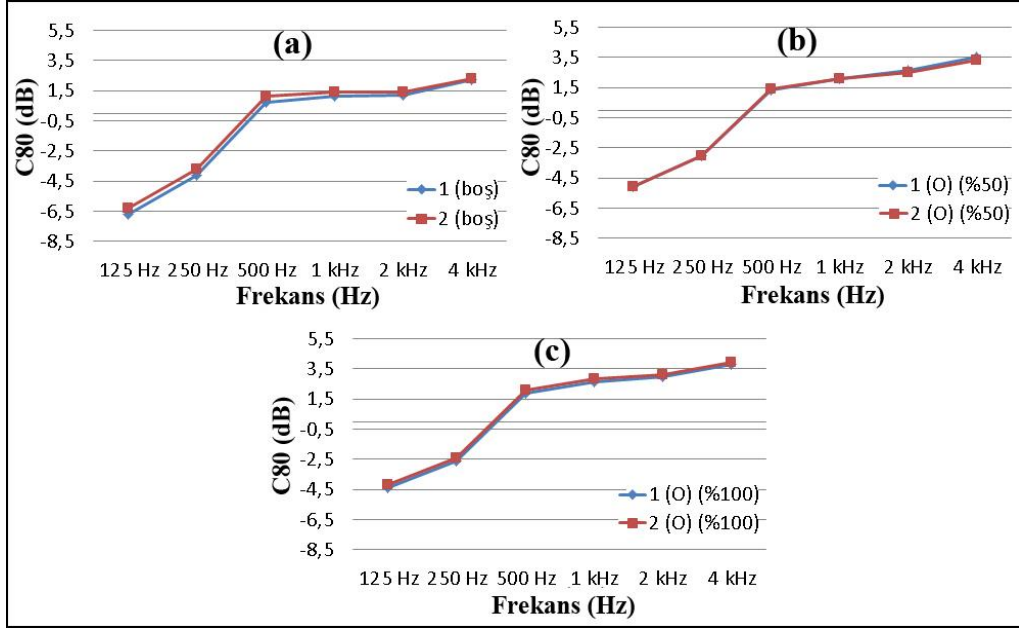


Şekil 124. Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii ortalama C80 değerleri

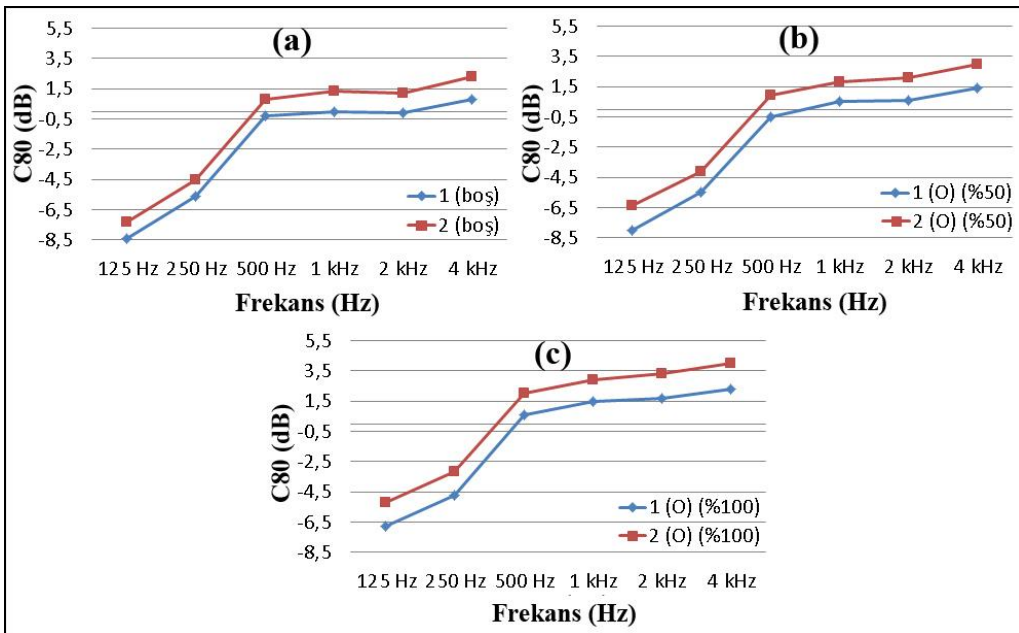
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen C80 değerleri ses kaynağı noktalarına göre incelendiğinde, değerler arasında en yüksek fark Alıcı 3, en düşük fark ise Alıcı 2'ye sonuçlarda elde edilmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde iken Alıcı 2 ve Alıcı 3'te namaz modu değerleri daha yüksektir (Şekil 125, Şekil 126, Şekil 127).



Şekil 125. Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 126. Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 2-C80 değerleri

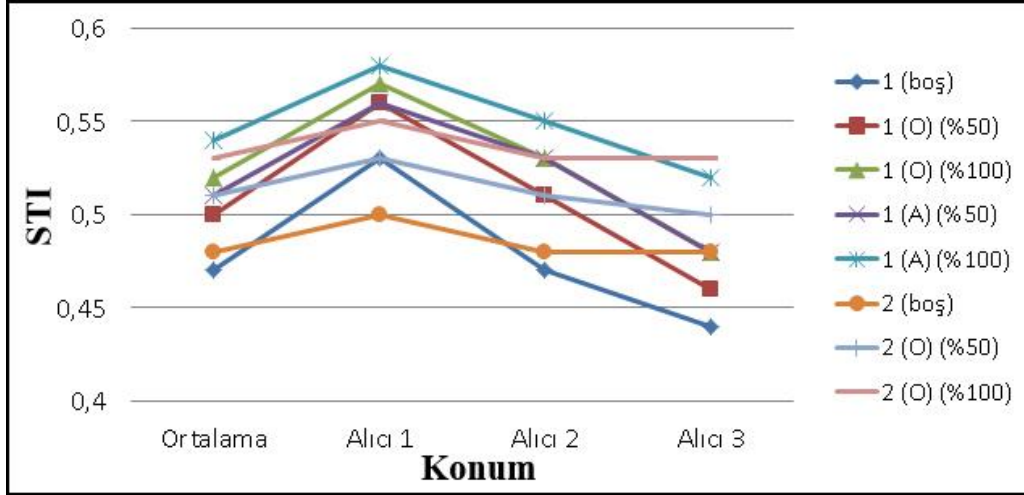


Şekil 127. Ses kaynağı noktalarına İskenderpaşa Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

3.6.5. İskenderpaşa Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri

İskenderpaşa Camii'ne ait ortalama STI parametresi değerleri Şekil 128'de yer almaktadır. 0.45 ve üzeri STI değerleri optimum olarak kabul edilmektedir (Tablo 22). Sonuçlar incelendiğinde, sadece Alıcı 3'te, caminin boş olduğu namaz modunda optimum sınırın altına düşen STI değerleri diğer tüm alıcı noktalarına ait değerler ve ortalama

değerlerde optimum sınırının üzerinde elde edilmiştir. En düşük STI değeri 0,44 ile Alıcı 3, en yüksek STI değeri ise 0,58 ile Alıcı 1’de elde edilmiştir (Şekil 128).



Şekil 128. İskenderpaşa Camii STI değerleri

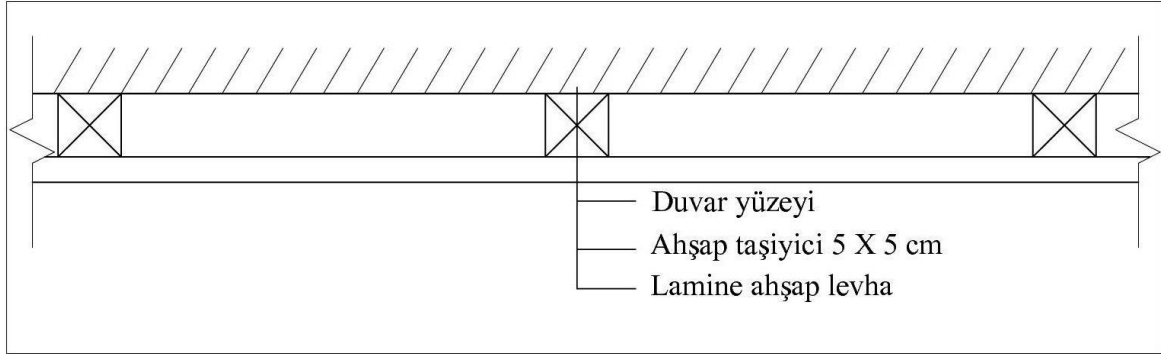
3.6.6. İskenderpaşa Camii İçin Düzenleme Önerisi

Camide tespit edilen başlıca sorunlar T30 değerinin optimum değerlere göre düşük olması, elde edilen değerlerin frekanslar arasında düzensiz dağılımı ve T30 değerinden daha düşük EDT değerlerinin elde edilmesidir. Yapılan düzenlemede mümkün olduğunca bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır.

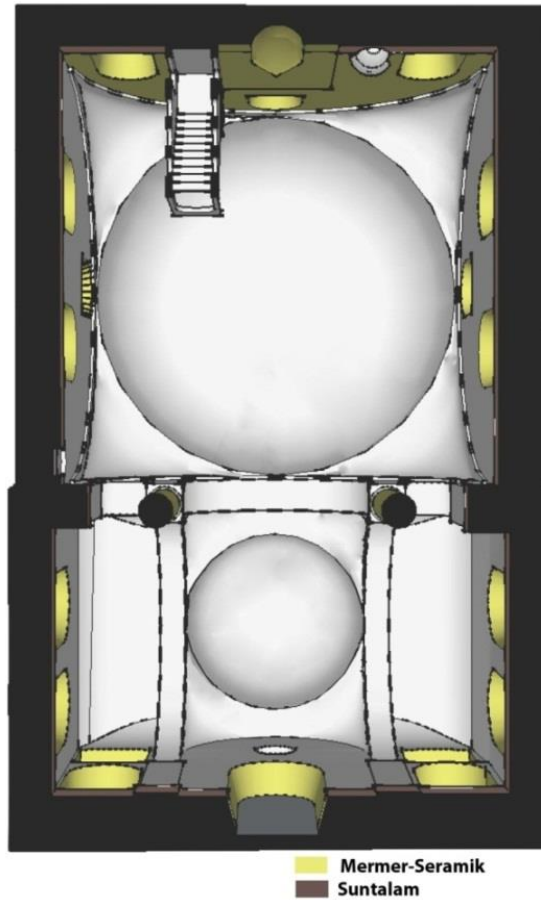
Düşük olan T30 değerlerini yükseltmek için yansıtıcı yüzeyler artırılmıştır. Cami iç yüzeylerinin tamamının mermer ya da seramik ile kaplanması caminin tarihi dokusuna zarar vereceği için mermer kaplama sadece pencere içleri, sütunlar ve kible duvarı ile sınırlı tutulmuştur. T30 değerlerinin frekanslar aralıklarındaki sonuçlarının birbirine daha yakın hale getirilmesi için minber basamaklarında ve pencere denizliklerindeki örtüler kaldırılmıştır. Duvar diplerindeki ahşap kaplama, lamine ahşap levha ile değiştirilmiştir. Lamine ahşap levhaların montaj detayı Şekil 129’da gösterilmiştir. Belirtilen malzeme değişiklikleri ise Şekil 130 ve Tablo 25’te yer almaktadır.

Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan Cami modeli ODEON 10.1 programına aktarılmıştır. Yeni malzemeler atandıktan ve diğer veriler işleme dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyonu modeli Şekil 131’de yer almaktadır.

Ayrıca Caminin T30 değerlerinin malzeme değişikliği yoluyla elde edilebilecek en yüksek değerlerini tespit etmek amacıyla ikinci olarak hayali bir model hazırlanmıştır. Bu ikinci modelde Caminin camları ve zeminindeki halı dışındaki tüm yüzeylerinin mermer ile kaplandığı ve caminin boş olduğu varsayılmıştır (Şekil 132). Bu model de düzenleme önerisi ile birlikte ODEON Version 10.1 programında simüle edilmiştir.



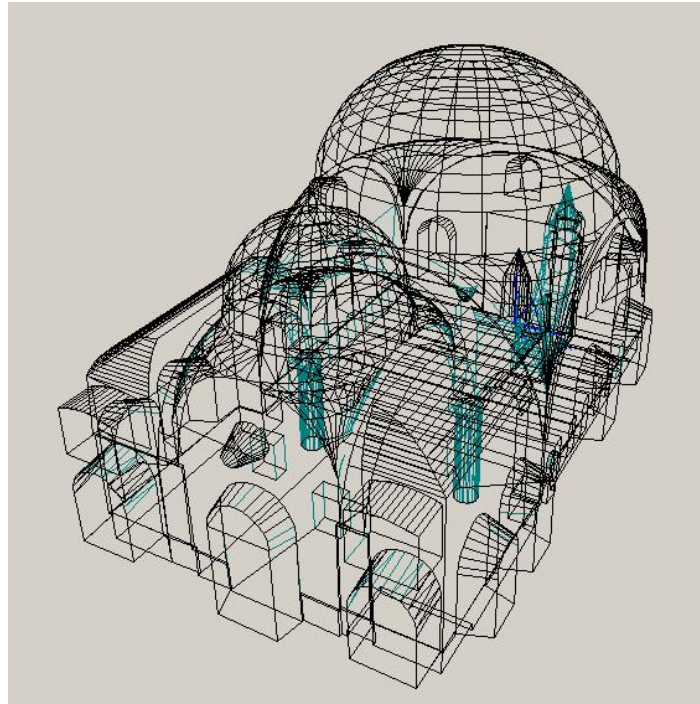
Şekil 129. Duvar yüzeyine lamine ahşap levha kaplama detayı



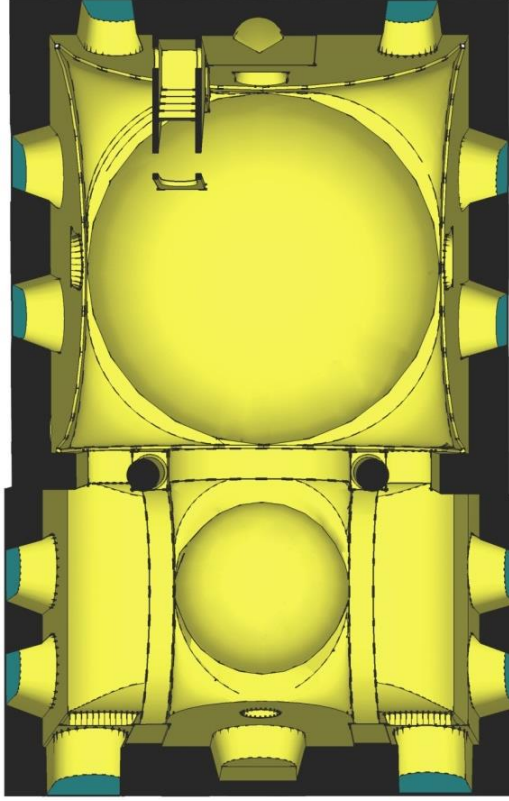
Şekil 130. İskenderpaşa Camii düzenleme önerisi

Tablo 25. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve malzemelere ait ses yutma katsayıları

| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme |  nerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------|----|--------------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Kible duvarı | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 2 | Ahşap duvar dibi kaplama | Ahşap | Lamine ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| | 3 | Pencere ileri | Halı | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Diğer yüzeyler | 4 | Minber Basamakları | Halı | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | Sütunlar | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |



Şekil 131. İskenderpaşa Camii düzenleme simülasyonu

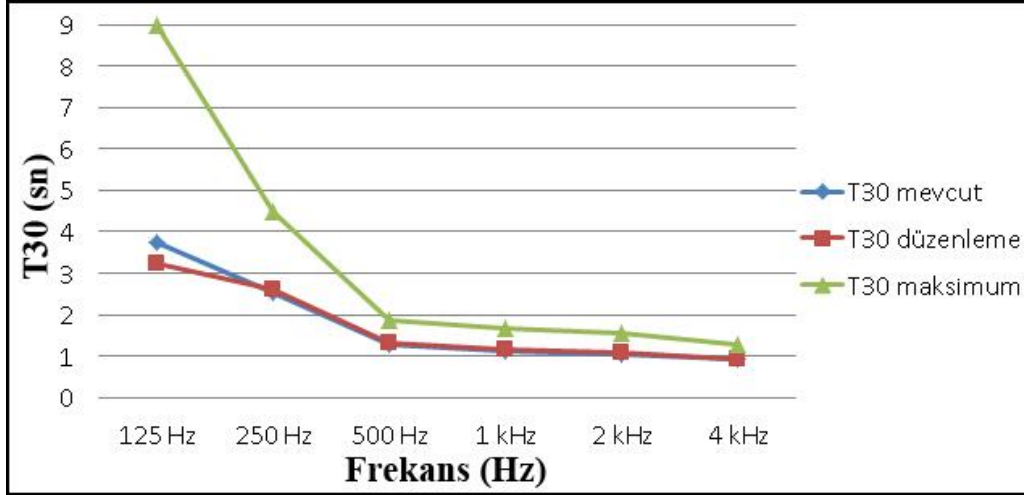


Şekil 132. İskenderpaşa Camii'nin bütün yüzeylerinin ses yansıtıcı olarak tasarlandığı hayali modeli

3.7. İskenderpaşa Camii Akustik Düzenleme Sonuçları

3.7.1. Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii T30 Sonuçları

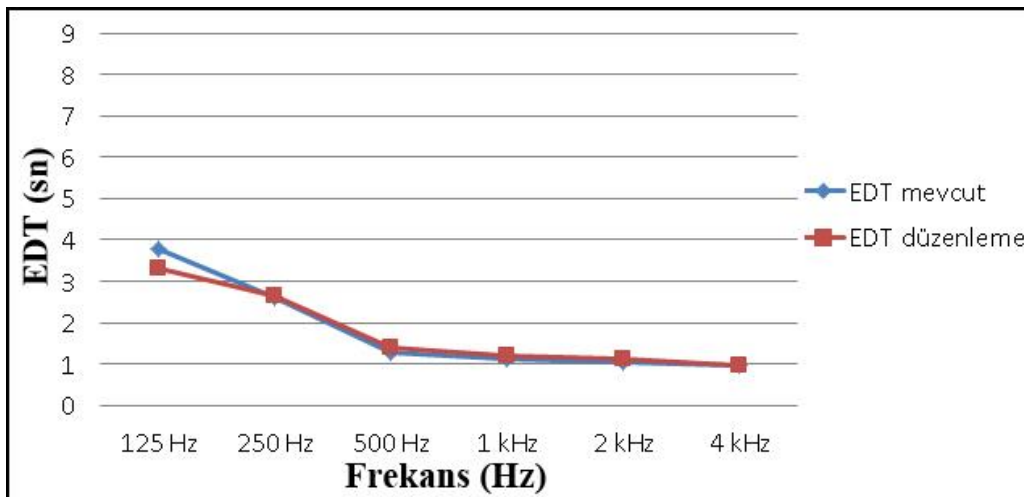
Akustik düzenleme öncesinde, sonrasında ve hayali simülasyonda İskenderpaşa Camii için elde edilen T30 değerleri Şekil 133'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 1,19 sn'den 1,24 sn'ye yükselmiştir. Mevcut duruma göre bir miktar yükseltilebilen T30 değeri yine de orta frekanslarda optimum aralıkta (1,61sn – 1,97sn) elde edilememiştir. Düzenleme önerisinde sınırlı bir başarı sağlanmıştır. Orta frekanslarda optimum düzeyde değerler 1,74 sn ile sadece, cami iç yüzeylerinin halı ve camlar dışında tamamen mermer ile kaplandığı hayali simülasyonda elde edilebilmiştir.



Şekil 133. Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii T30 değerlerinin değişimi

3.7.2. Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii EDT Sonuçları

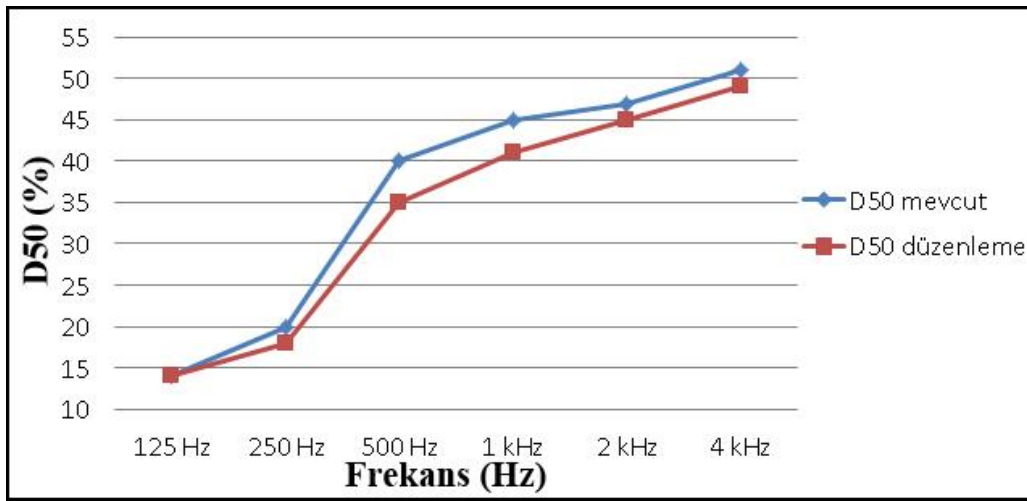
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında İskenderpaşa Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 134'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki EDT değerleri ortalaması 1,2 sn'den 1,31 sn'ye yükselmiştir. Düzenleme sonrası elde edilen değerler orta frekanslarda optimum aralığa (1,75 sn-2.15 sn) yükseltilememiştir. T30 değerlerinde olduğu gibi EDT değerlerinde de akustik düzenleme önerisi ile sınırlı bir başarı sağlanabilmiştir.



Şekil 134. Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii EDT değerlerinin değişimi

3.7.3. Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii D50 Sonuçları

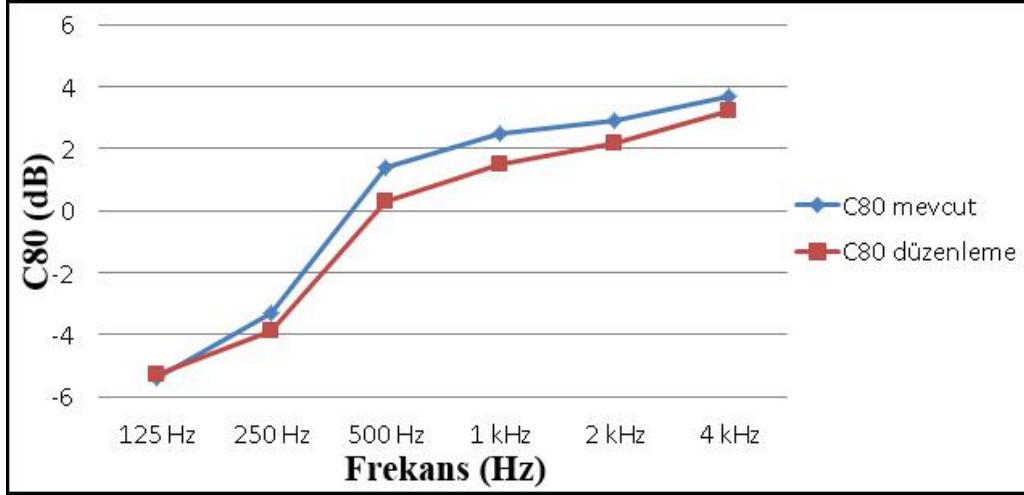
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında İskenderpaşa Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 135'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki D50 değerleri ortalamasının % 42,5'ten % 38'e düşmüştür. Düzenleme sonrasında T30 değerlerindeki artış sebebiyle D50 değerleri azalmıştır. Her iki durumda da değerler optimum düzeylerde (%30-%70) elde edilmiştir.



Şekil 135: Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii D50 değerlerinin değişimi

3.7.4. Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii C80 Sonuçları

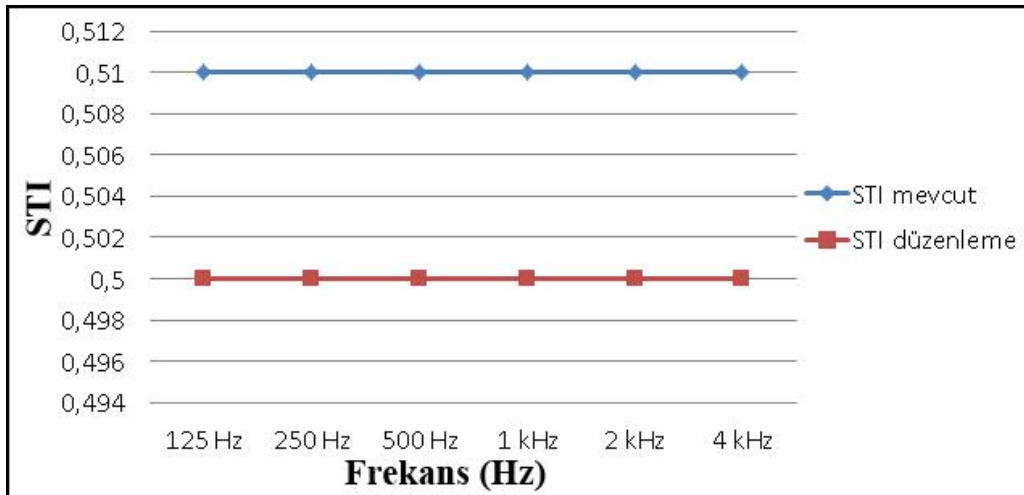
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında İskenderpaşa Camii için elde edilen C80 değerleri Şekil 136'da yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki C80 değerlerinin ortalamasının 1,95 dB'den 0,9 dB'e düşmüştür. C80 değerlerindeki bu azalma T30 değerlerindeki yükselmeden kaynaklanmıştır. Her iki durumda da C80 parametresi sonuçları optimum düzeylerde (-4 dB +4dB) elde edilmiş, düzenleme sonrası daha merkezi değerlere yaklaştırılmıştır.



Şekil 136. Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii C80 değerlerinin değişimi

3.7.5. Akustik Düzenleme Sonrası İskenderpaşa Camii STI Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında İskenderpaşa Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 137’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında STI değerinde çok küçük bir azalma meydana gelmiştir. STI değeri 0,51’den 0,5’e düşmüştür. Hem mevcut durumda hem de akustik düzenleme sonrasında STI değerleri optimum ($\geq 0,45$) düzeylerdedir.



Şekil 137. Düzenleme sonrası İskenderpaşa Camii STI değerlerinin değişimi

3.8. Rize Büyük Gülbahar Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri

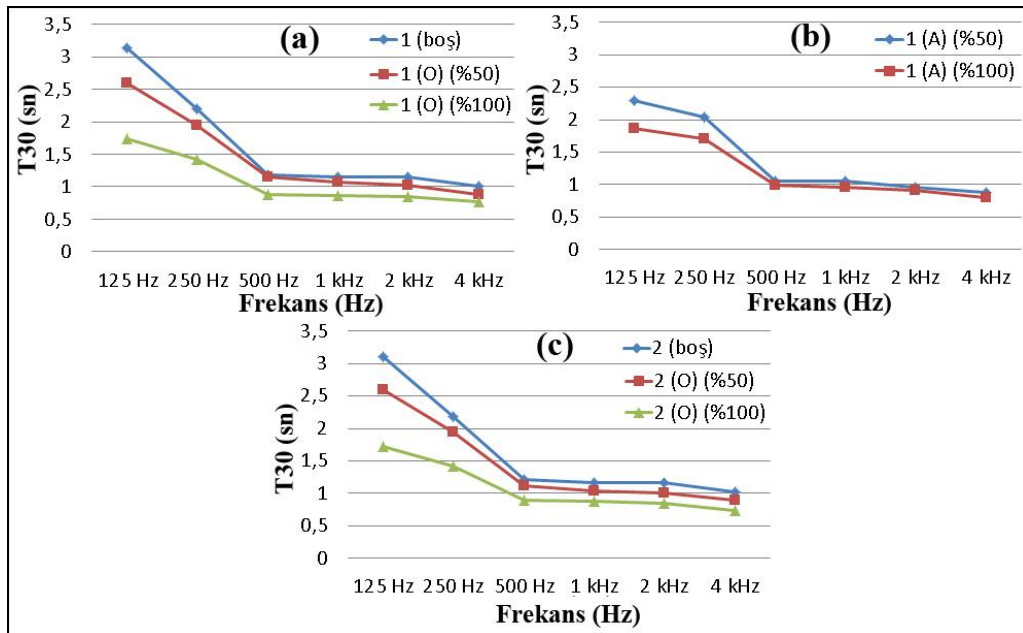
3.8.1. Rize Büyük Gülbahar İçin Elde Edilen Camii T30 Değerlerinin Analizleri

Büyük Gülbahar Camii için elde edilen T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 138’de yer almaktadır. Büyük Gülbahar Camii’nin hacmi için önerilen optimum T30 1.61sn – 1.97sn değer aralığındadır (Tablo 22).

Orta frekanslarda tüm farklı doluluk oranı durumları için camideki T30 değerleri optimum değerlerin altında kalmıştır. Mahfil katı ile caminin kapasitesinin artırılması sonucu kişi başına düşen iç hacmin azalması T30 değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmuştur.

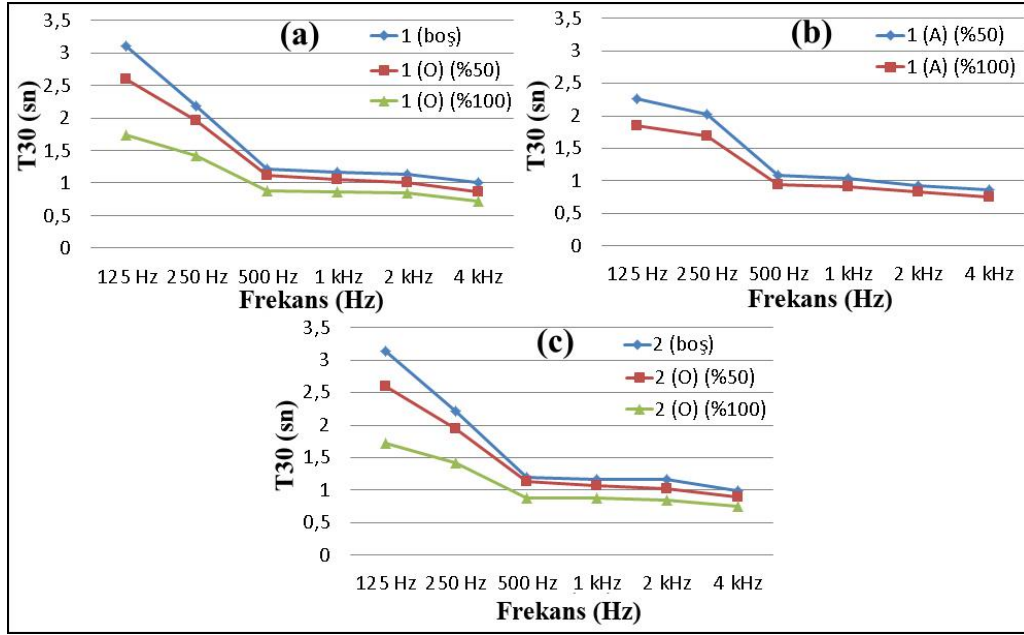
Halı ve kumaş yüzeylerde frekans aralıklarındaki ses yutma katsayı değerlerinin değişim farklarının yüksek olmasından dolayı alçak frekanslarda yüksek olan T30 değerleri orta ve yüksek frekanslarda çok düşük düzeylerde elde edilmiştir.

Doluluk oranı arttıkça T30 değerleri azalmıştır. Bu azalma alçak frekanslarda daha belirgin iken orta ve yüksek frekanslarda daha sınırlı düzeyde kalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,19 sn ile caminin boş olduğu vaaz modunda, en düşük T30 değeri ise 0,87sn ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 138).

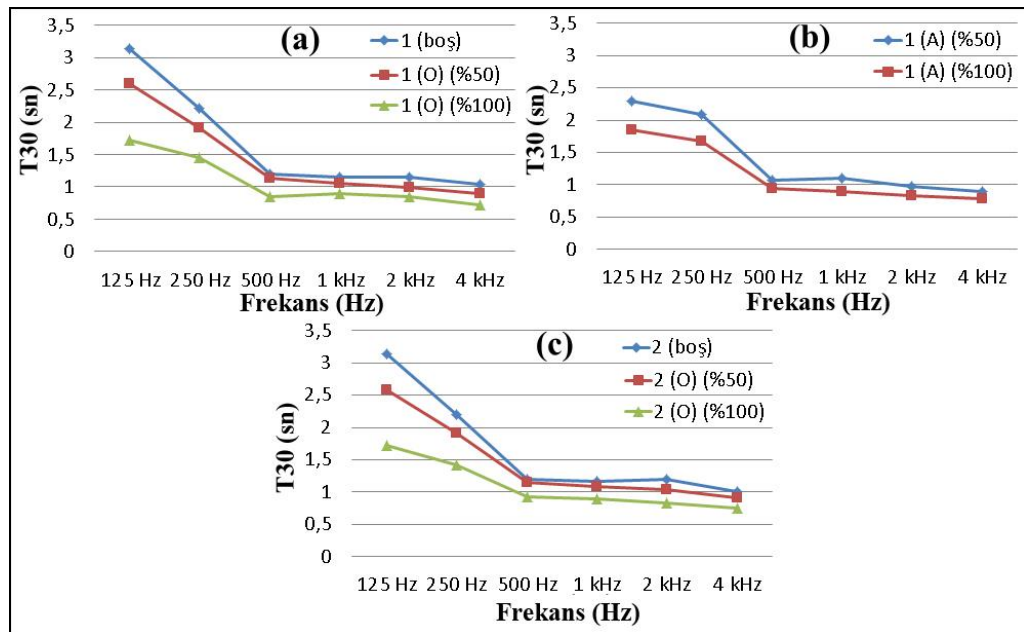


Şekil 138. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama T30 değerleri

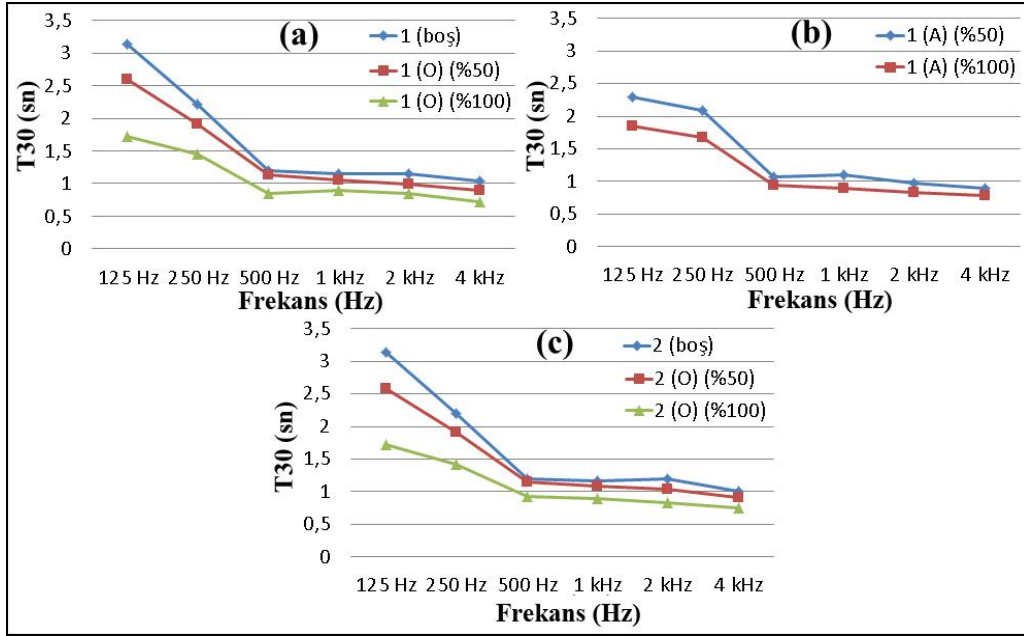
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, ortalama için elde edilen sonuçlara benzer değerler elde edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,19 sn ile Alıcı 1’de, en düşük T30 değerleri ise 0,87 sn ile Alıcı 3’te elde edilmiştir. Alıcı noktalarının konumları T30 değeri üzerinde fazla etkili olmamıştır (Şekil 139, Şekil 140, Şekil 141).



Şekil 139. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-T30 değerleri

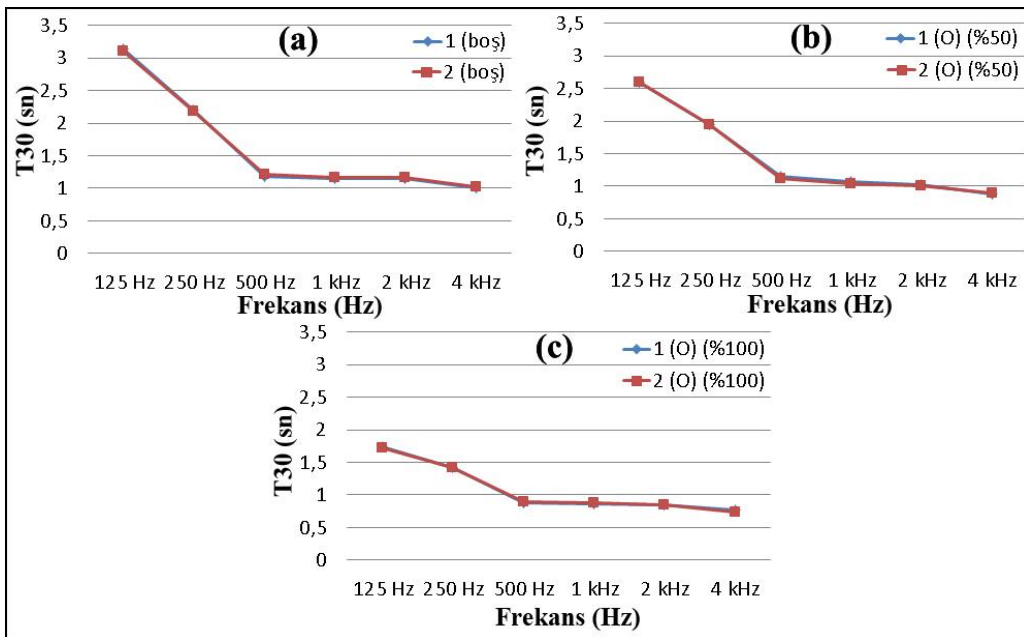


Şekil 140. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



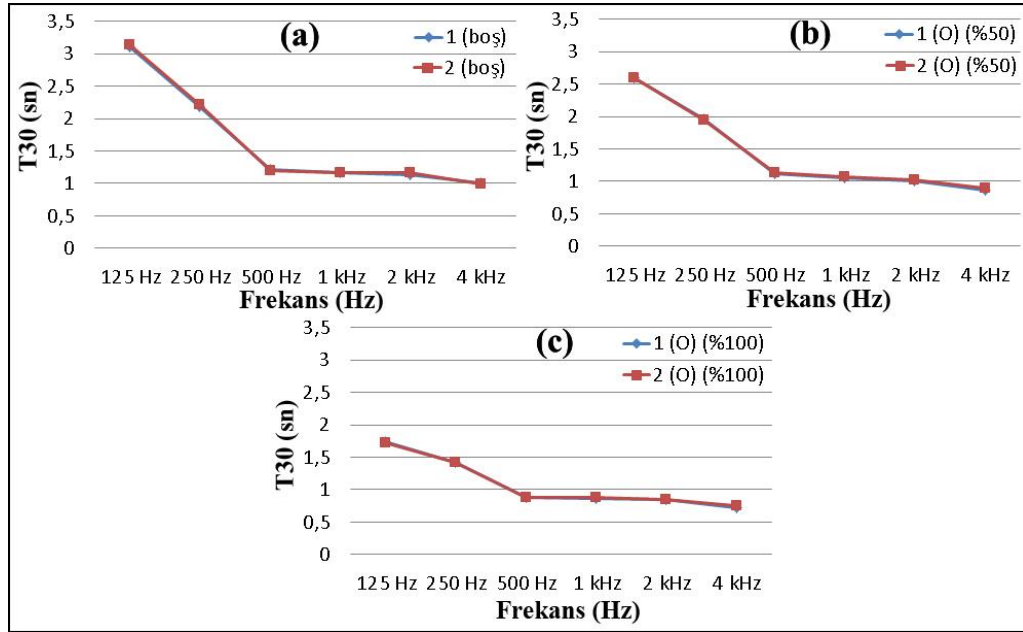
Şekil 141. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 142'de yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak belirgin bir değişim elde edilmemiştir. Ses kaynağı konumunun değişiminin T30 değeri üzerinde fazla etkisi olmamıştır (Şekil 142).

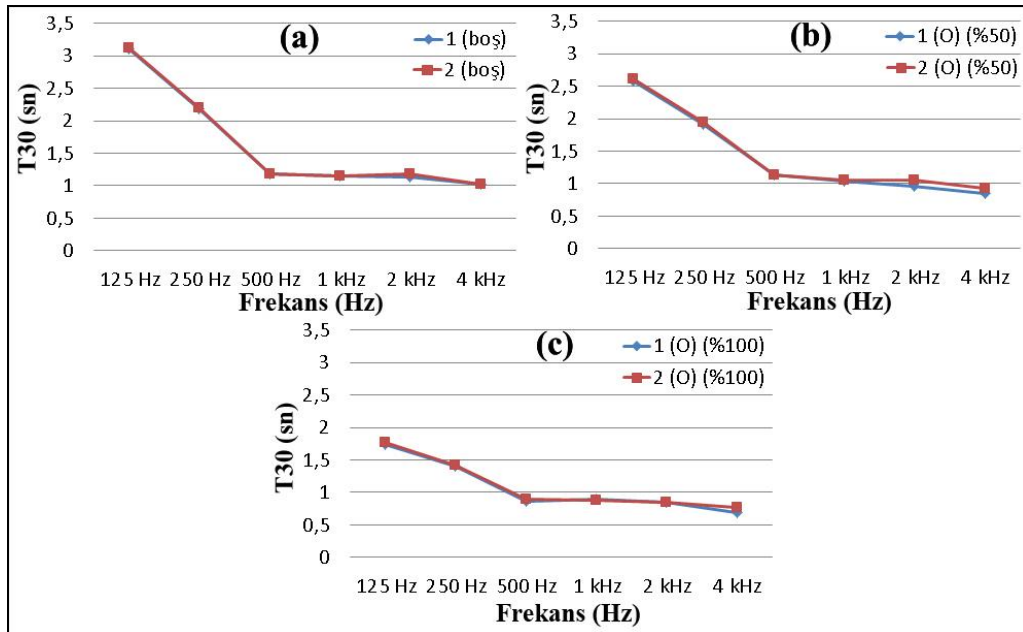


Şekil 142. Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama T30 değerleri

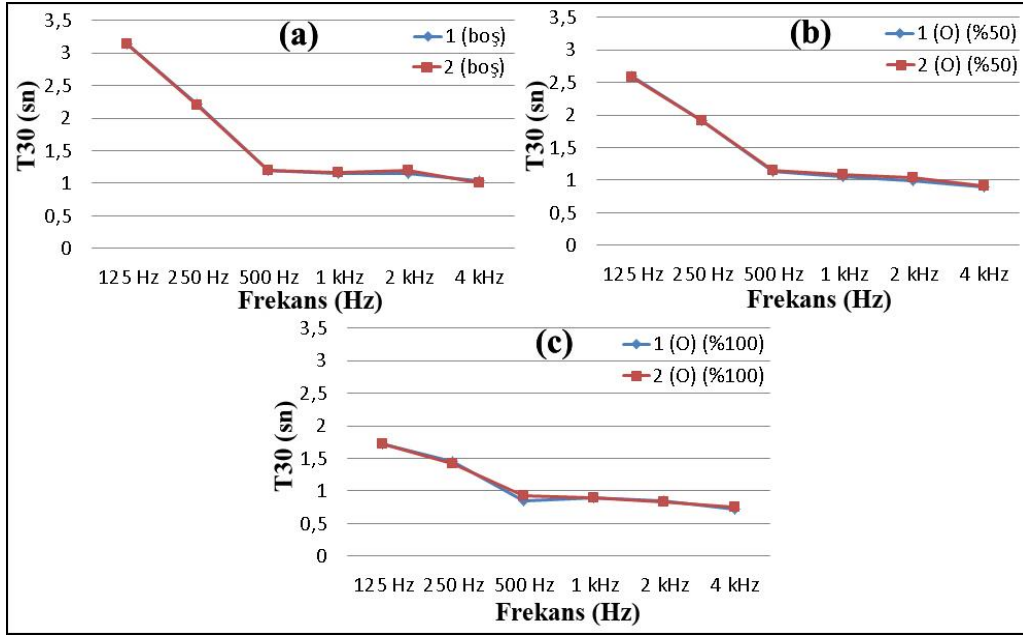
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen için elde edilen T30 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, sonuçlar arasında belirgin bir fark meydana gelmemiştir. Ses kaynağı konumunun değişimi T30 değerlerinde önemli bir değişime neden olmamıştır (Şekil 143, Şekil 144, Şekil 145).



Şekil 143. Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 144. Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



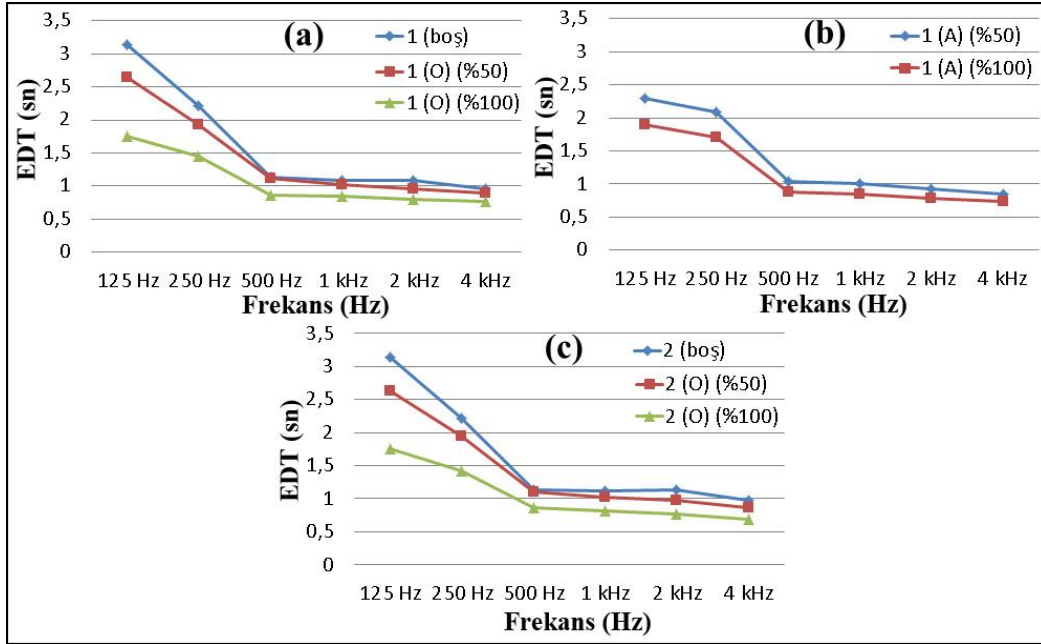
Şekil 145. Ses kaynağı konumlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-T30 değerleri

3.8.2. Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri

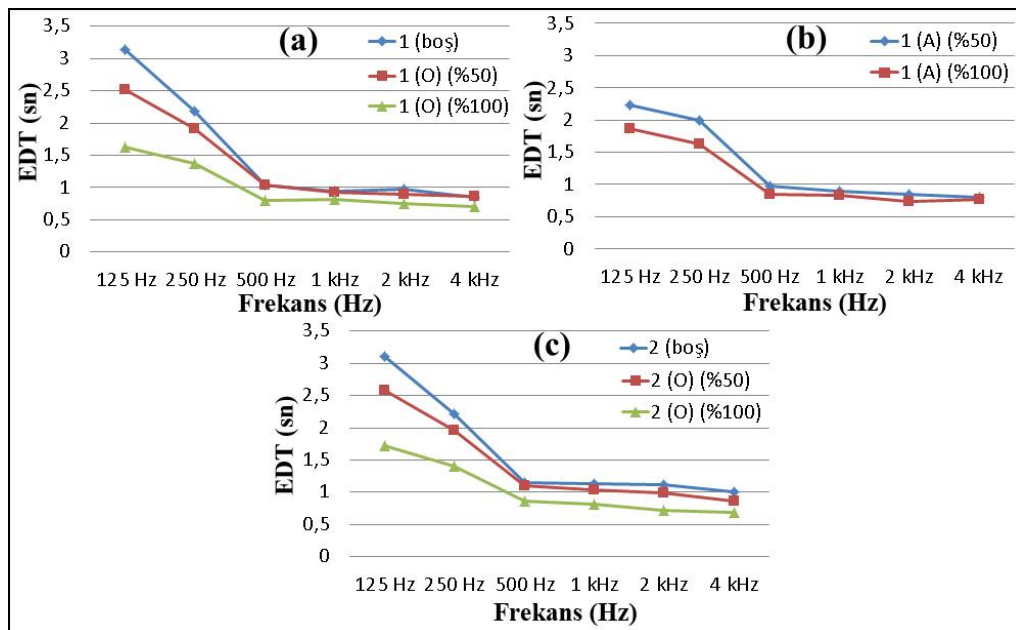
Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 146'da yer almaktadır. Rize Büyük Gülbahar Camii'nin hacmi için önerilen optimum EDT 1,75sn – 2,15sn değer aralığındadır (Tablo 22). EDT değerleri aynı faaliyet modlarındaki T30 değerlerinden daha düşük düzeyde elde edilmiştir. EDT değerlerinin T30 değerlerinden daha düşük değerlerde elde edilmesi yansımaların çınılamanın geç aşamasında yoğunlaştığını göstermektedir. Mekânın ortalama değerleri dikkate alındığında hiçbir durumda ve frekans aralığında T30 değerlerinden daha yüksek düzeyde EDT değerleri elde edilememiştir. Doluluk oranı arttıkça EDT değerlerinde de, T30 değerinde olduğu gibi alçak frekanslarda daha belirgin olmak üzere azalma meydana gelmiştir.

T30 değerinde olduğu gibi EDT değerlerinde de orta frekanslarda hiçbir senaryo durumu için optimum değerler elde edilememiş, her durumda değerler optimum değerlerden düşük düzeyde kalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 1,12 sn ile caminin boş olduğu vaaz modunda, en düşük EDT değeri ise 0,84 sn ile caminin %100 dolulukta olduğu ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 146).

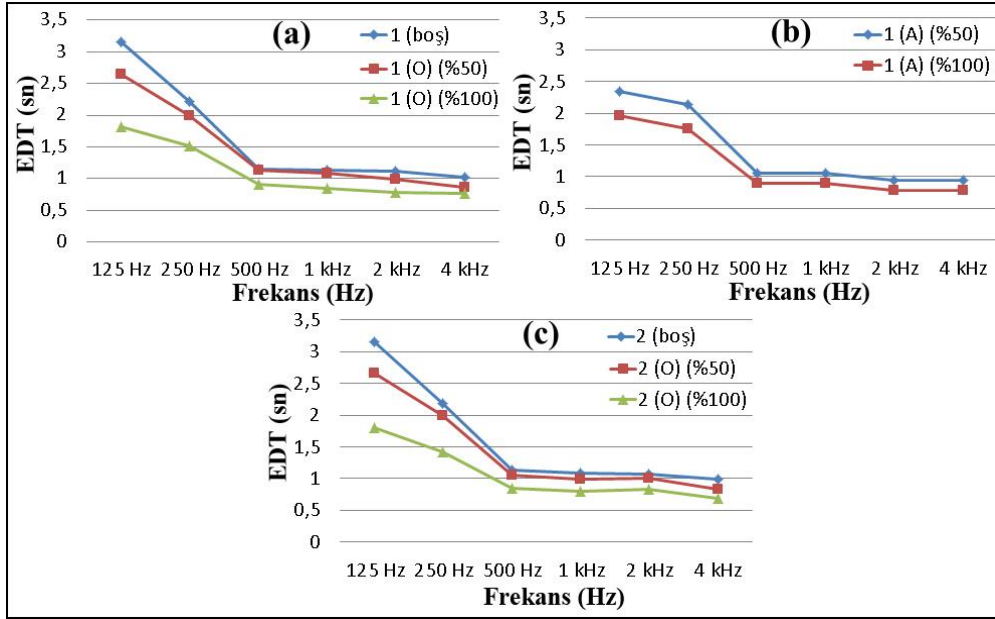
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen değerlerin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, ortalama değerlere benzer değerler elde edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,14 sn ile Alıcı 1 ve Alıcı 2’de, en düşük EDT değeri ise 0,79 sn ile Alıcı 3’te elde edilmiştir. EDT sonuçları alıcı nokta konumlarının değişiminden önemli derecede etkilenmemiştir (Şekil 147, Şekil 148, Şekil 149).



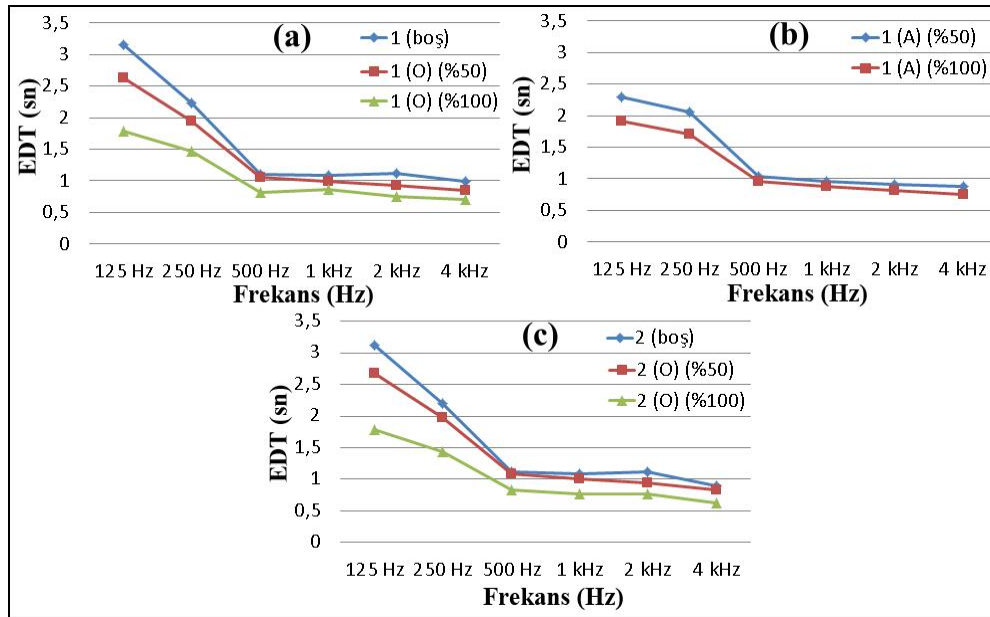
Şekil 146. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama EDT değerleri



Şekil 147. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-EDT değerleri

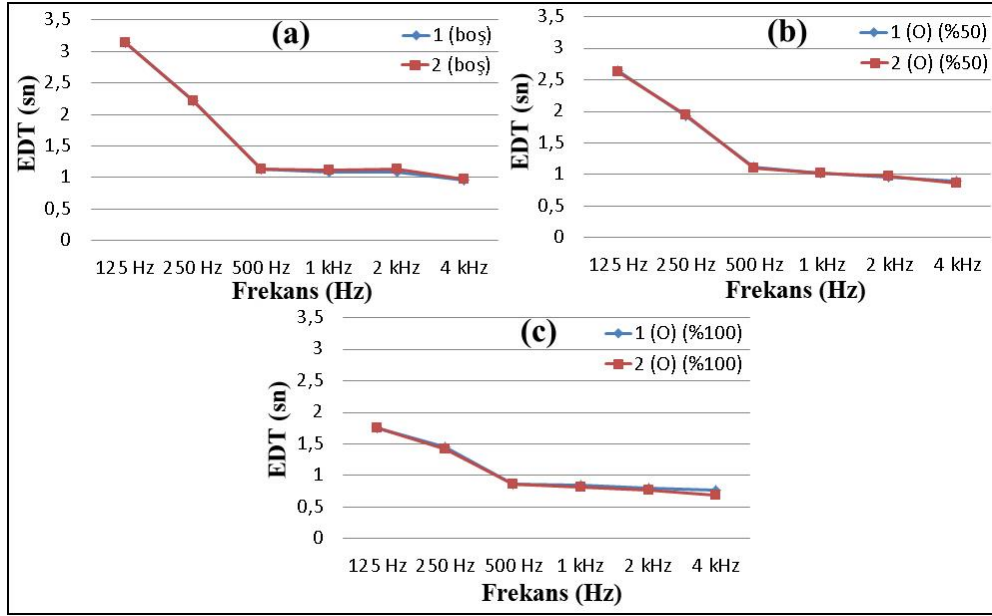


Şekil 148. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



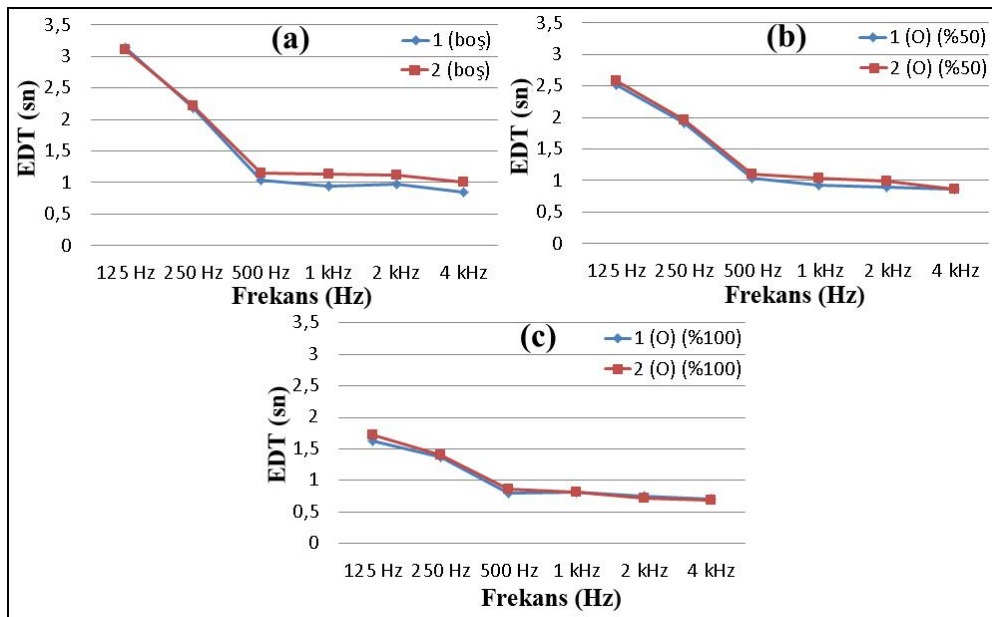
Şekil 149. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-EDT değerleri

Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 150'de yer almaktadır. Elde edilen değerler alçak frekanslarda birbirine çok yakın iken orta ve yüksek frekanslarda değerler arasında küçük farklar meydana gelmiştir. Büyük Gülbahar Camii'nde ses kaynağı noktası değişimi EDT sonuçları üzerinde fazla etkili olmamaktadır (Şekil 150).

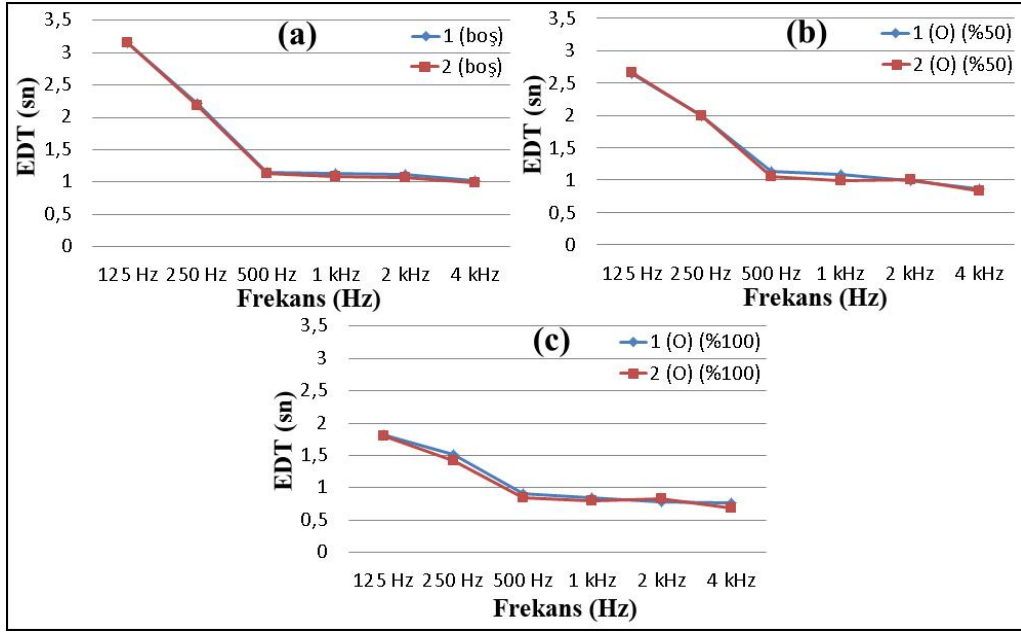


Şekil 150. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama EDT değerleri

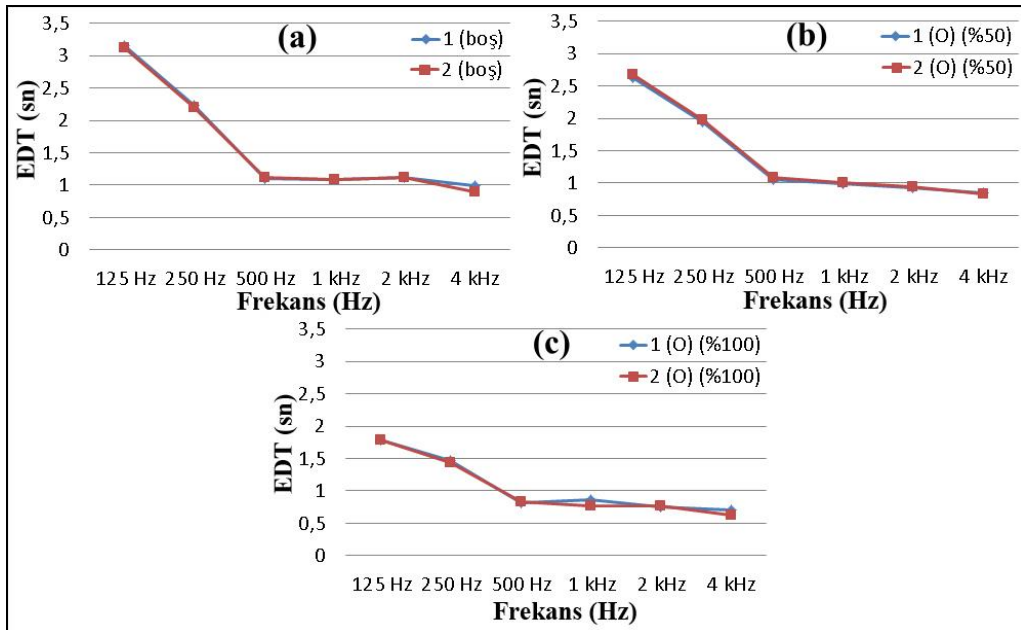
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçların ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde değerler arasında en büyük fark Alıcı 1, en düşük fark Alıcı 3 sonuçlarında meydana gelmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında namaz modu, Alıcı 2 ve Alıcı 3 sonuçlarında ise vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 151, Şekil 152, Şekil 153).



Şekil 151. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 152. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıncı 2-EDT değerleri



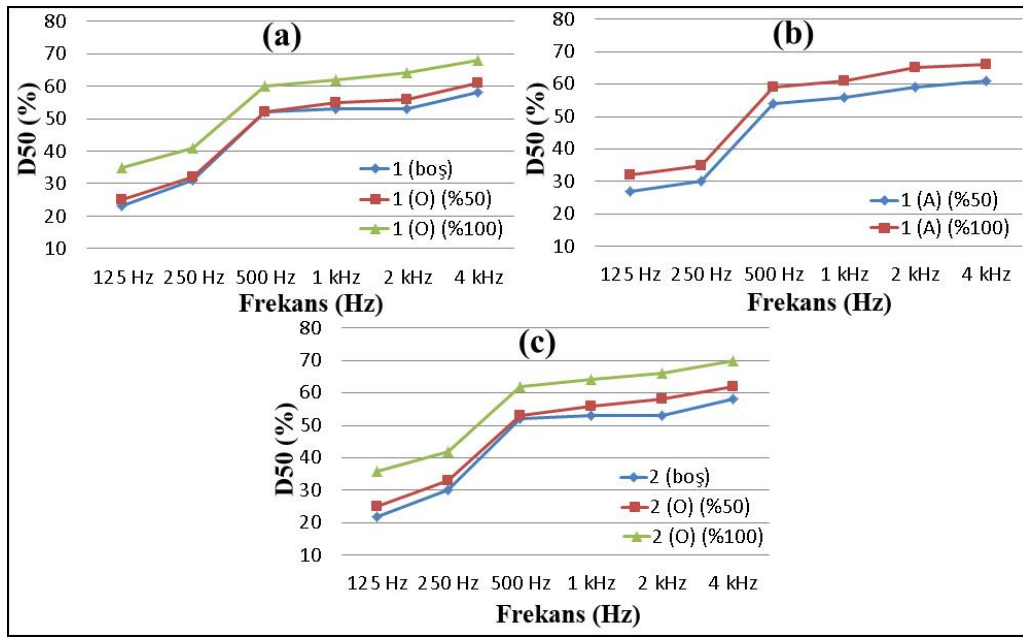
Şekil 153. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıncı 3-EDT değerleri

3.8.3. Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 154'te yer almaktadır. Optimum D50 parametresi %30 –

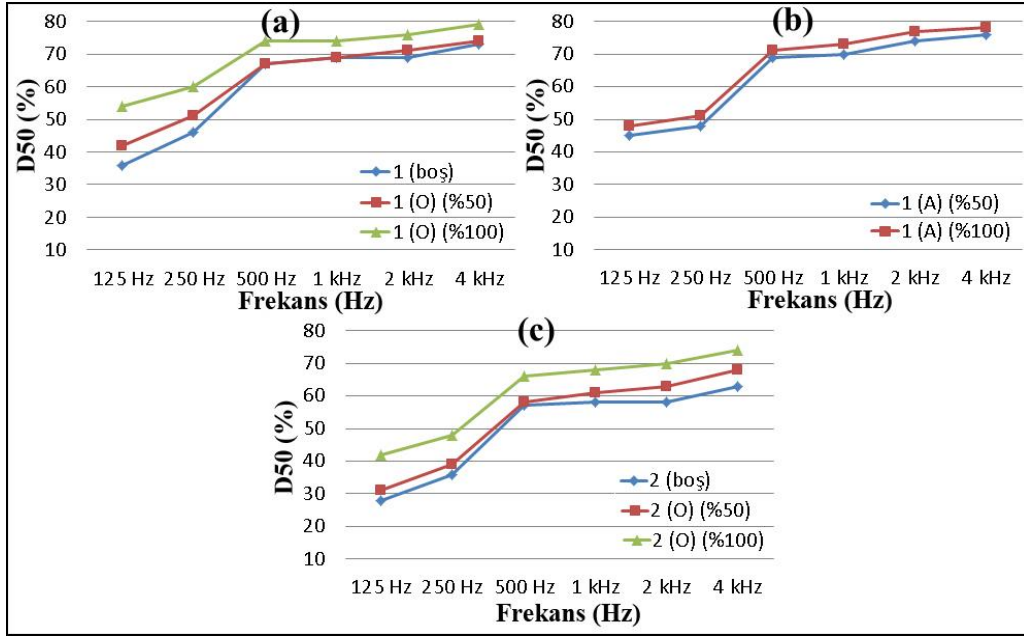
%70 değer aralığındadır (Tablo 22). T30 değerinin düşük olması nedeniyle orta frekanslarda tüm farklı durumlar için D50 değerlerinin optimum aralıkta, ve optimum üst sınırına yakın düzeylerde elde edilmiştir.

Doluluk oranının artmasıyla D50 parametresi değerleri de yükselmiştir. Orta frekanslarda en yüksek D50 değeri %63 ile caminin tam doluluk durumunda ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda, en düşük D50 değeri ise %52,5 ile caminin boş olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 154).

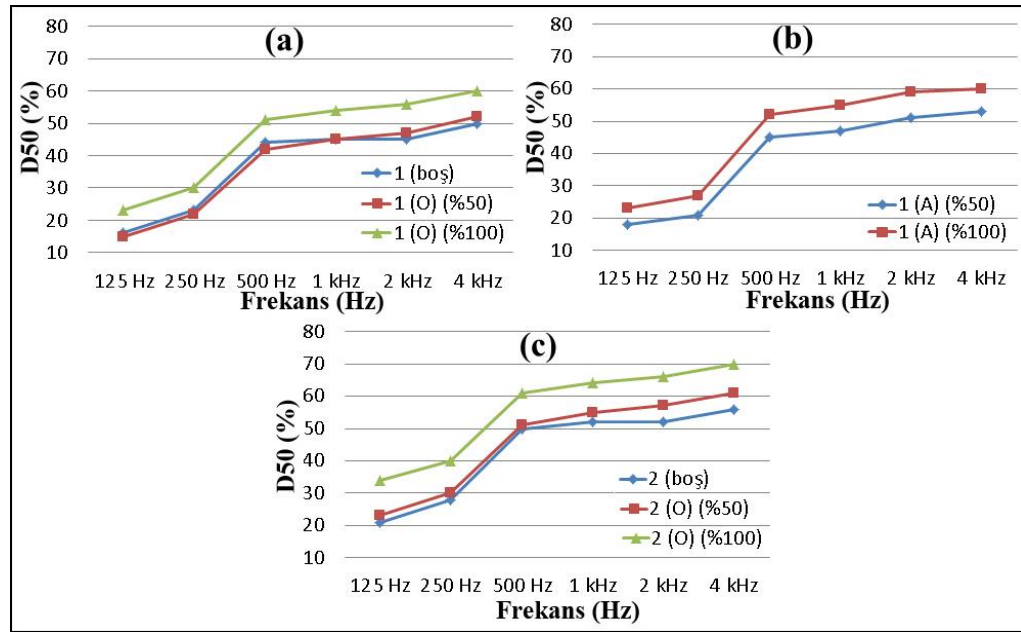


Şekil 154. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama D50 değerleri

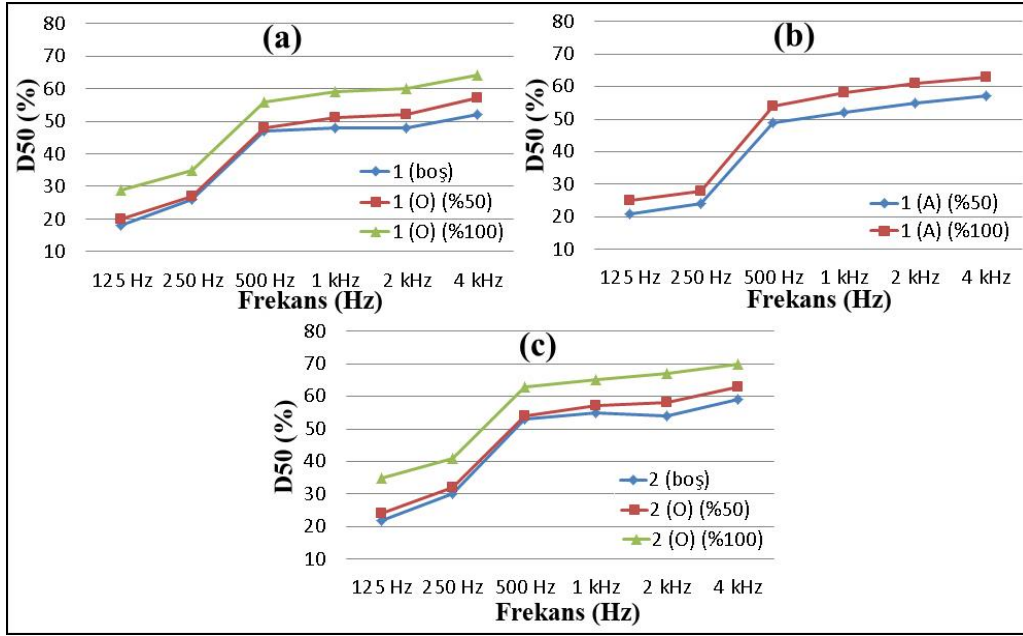
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, orta frekanslarda en yüksek D50 değerleri %74 ile Alıcı 1, en düşük değerleri ise % 43,5 ile Alıcı 2'de elde edilmiştir. Alıcı 1 için orta frekanslarda elde edilen değerler doluluk oranının artmasıyla optimum değerleri aşmıştır (Şekil 155, Şekil 156, Şekil 157).



Şekil 155. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



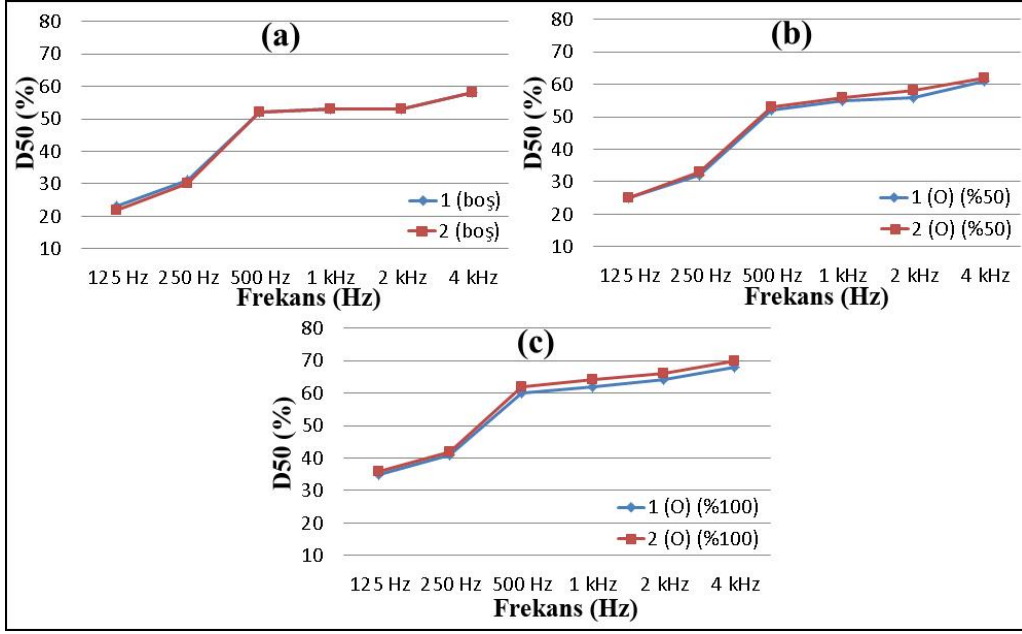
Şekil 156. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



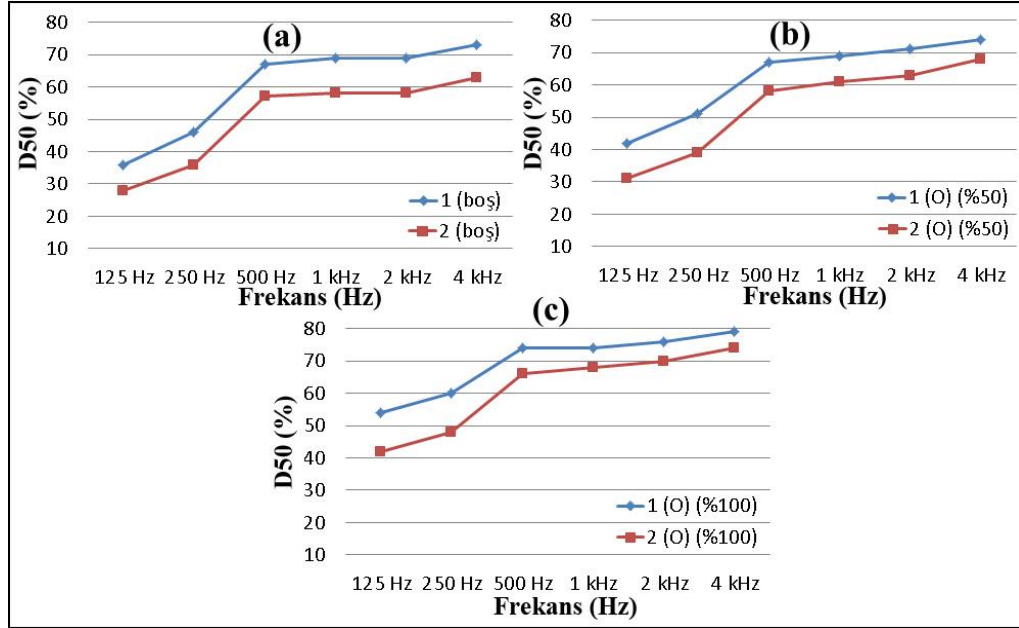
Şekil 157. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

İskenderpaşa Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 158'de yer almaktadır. Sonuçlar arasında çok küçük farklılıklar elde edilmiştir. Caminin boş olduğu durumda alçak frekanslarda namaz modu değerleri daha yüksek iken diğer durumlarda bütün frekanslarda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 158).

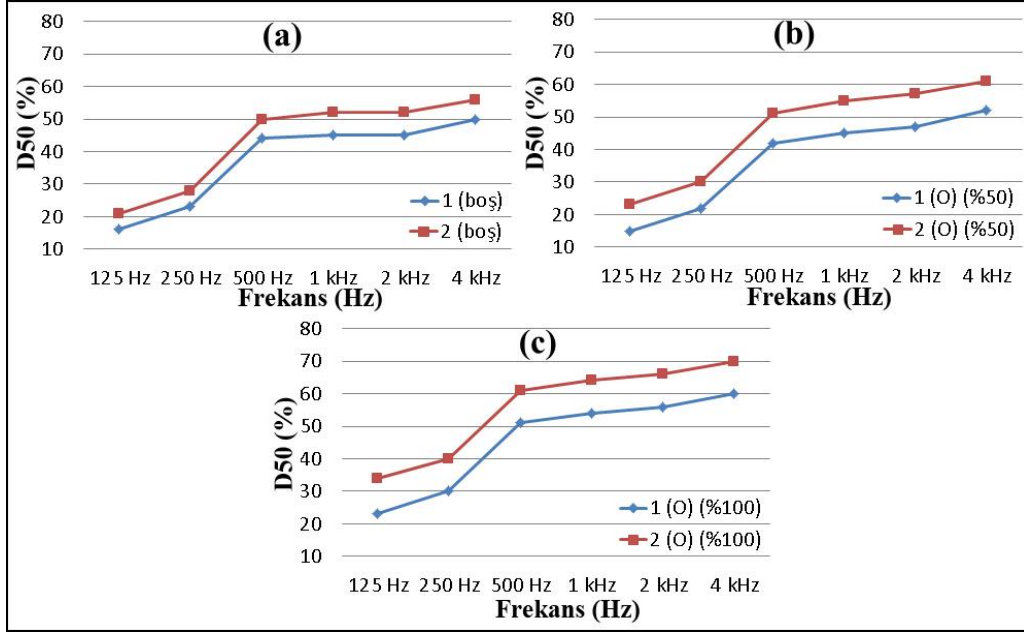
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen D50 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında en yüksek fark Alıcı 1, en düşük fark ise Alıcı 3 sonuçlarında elde edilmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında namaz modu değerleri daha yüksek iken Alıcı 2 ve Alıcı 3 sonuçlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 159, Şekil 160, Şekil 161).



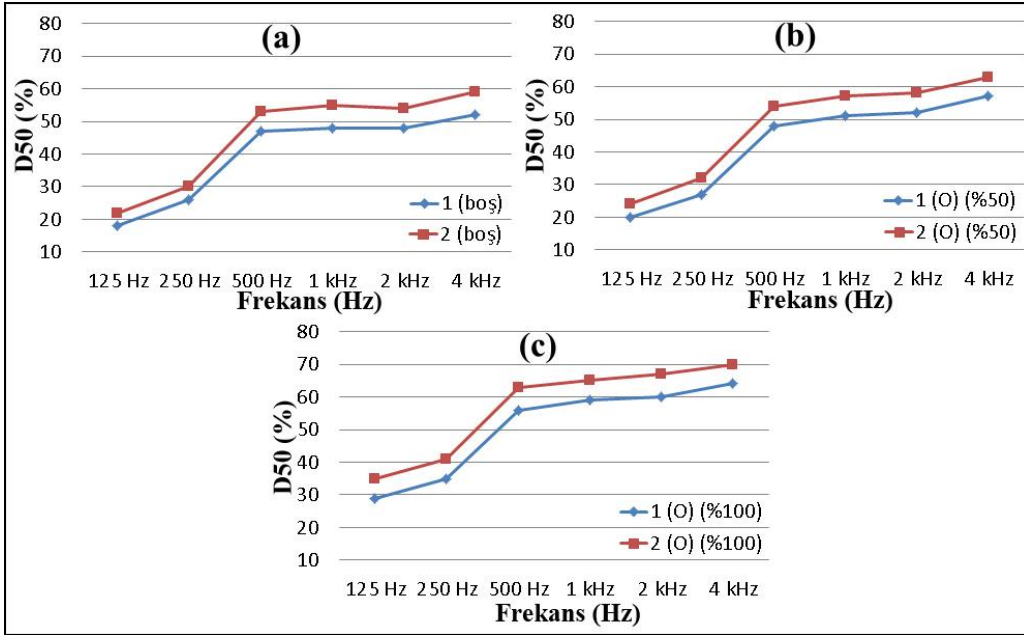
Şekil 158. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama D50 değerleri



Şekil 159. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 160. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-D50 değerleri



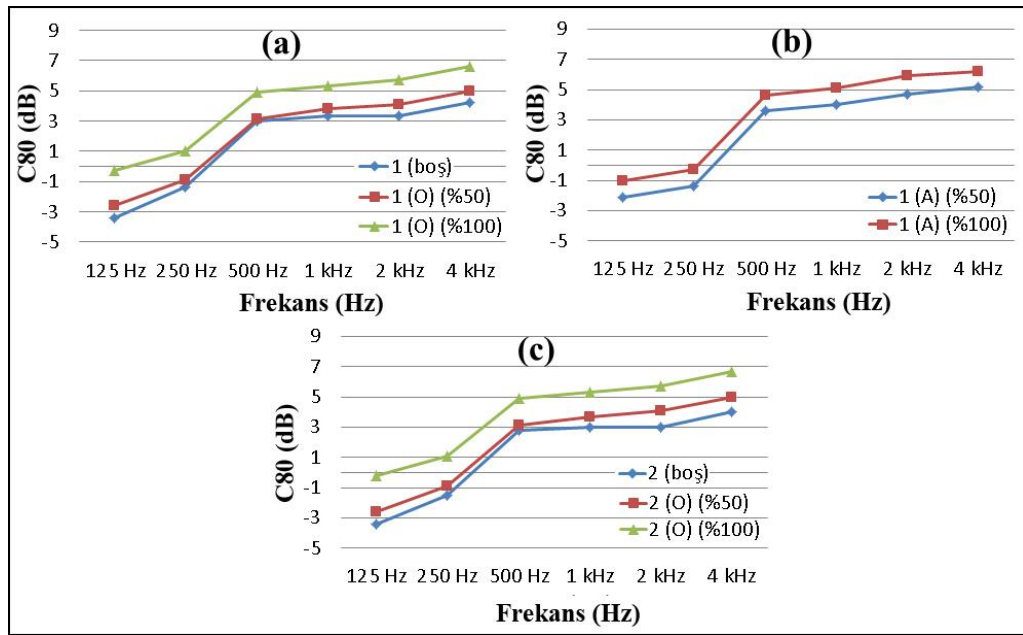
Şekil 161. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-D50 değerleri

3.8.4. Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri

Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 162'de yer almaktadır. Optimum C80 parametresi önerilen

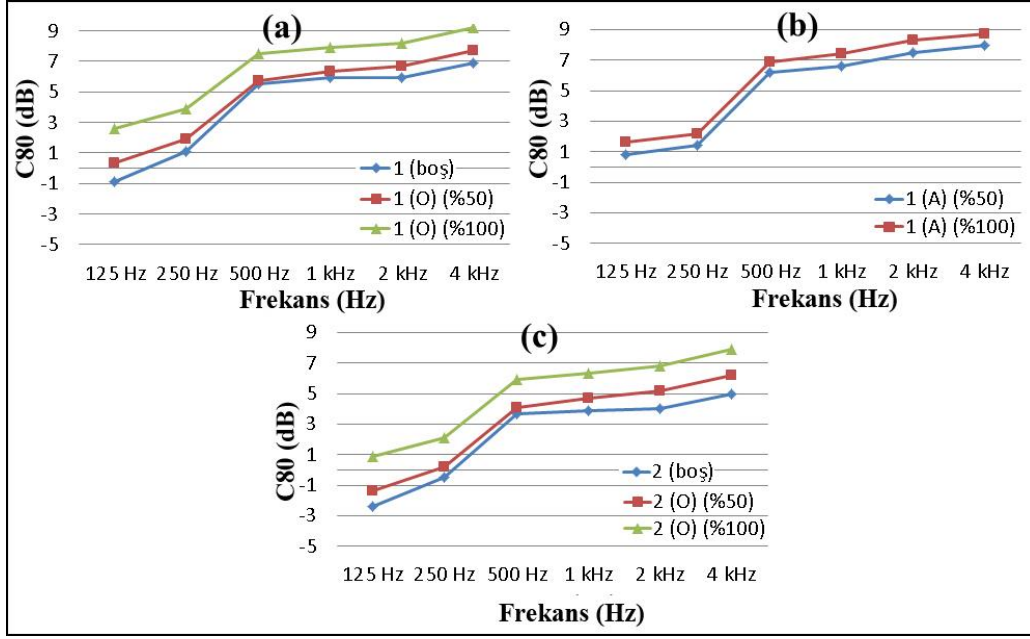
-4dB +4dB değer aralığındadır (Tablo 22). Orta frekanslarda, boş ve yarı doluluk durumlarında C80 değerleri optimum üst sınırına yakın, %100 doluluk durumlarında ise optimum üst sınırının üzerine çıkmıştır.

Doluluk oranının artmasıyla C80 parametresi değerleri yükselmiştir. Orta frekanslarda en yüksek C80 değeri 5,1 dB ile caminin tam dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda, en düşük C80 değeri ise 2.9dB ile caminin boş olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 162).

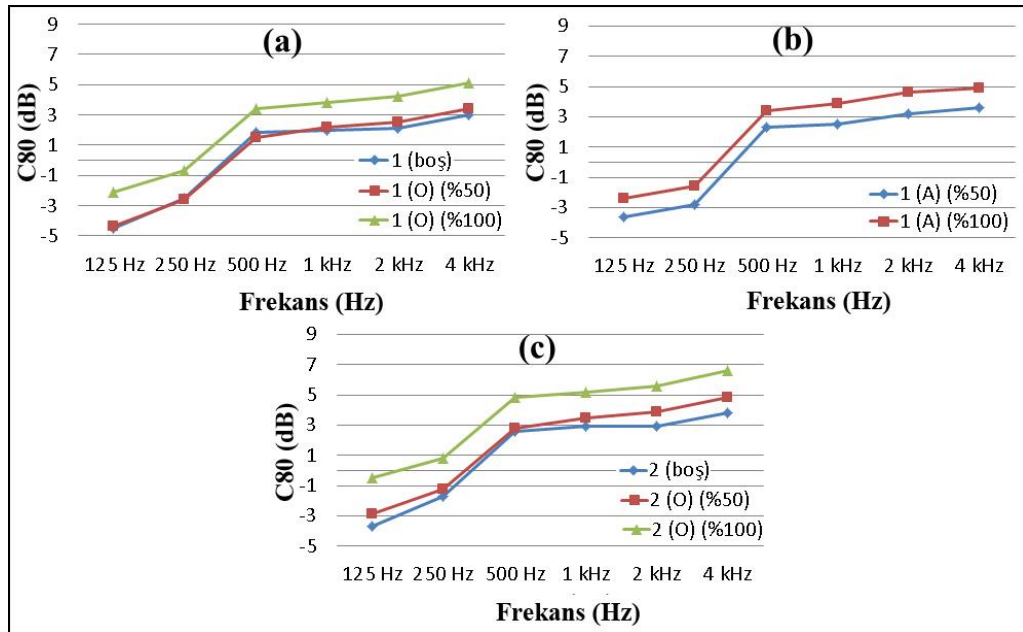


Şekil 162. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama C80 değerleri

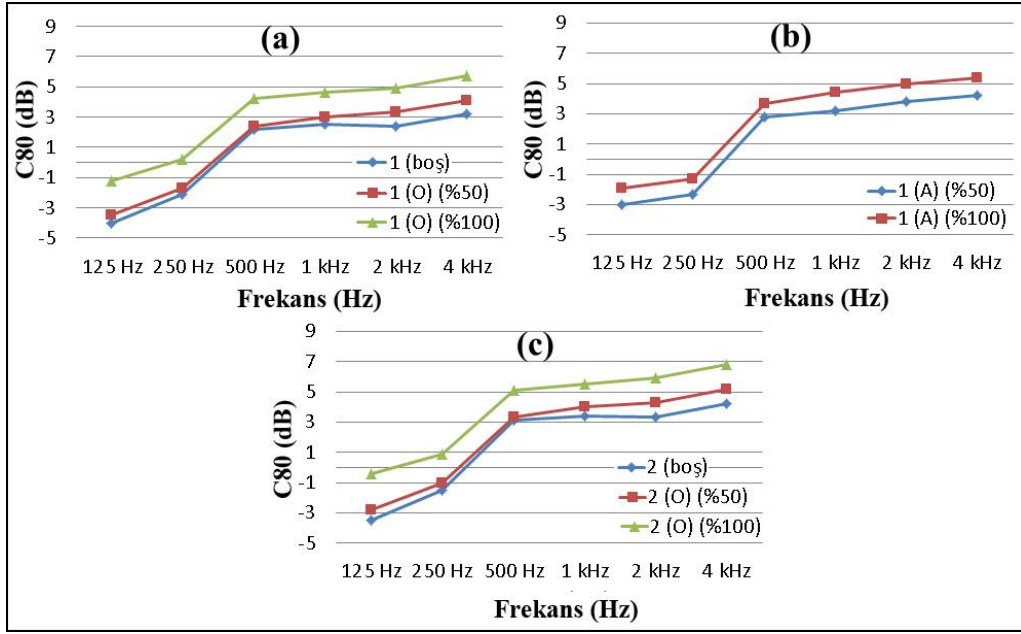
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçların doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, orta frekanslarda en yüksek değerler 7,7 dB ile Alıcı 1, en düşük değerler ise 1,85 dB ile Alıcı 2 için elde edilmiştir. Orta frekanslarda Alıcı 1 için elde edilen değerlerin hemen hepsi optimum değerlerin üzerine çıkmıştır. Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen değerler ise %100 doluluk durumlarında optimum değerlerin üzerine çıkmıştır (Şekil 163, Şekil 164, Şekil 165).



Şekil 163. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



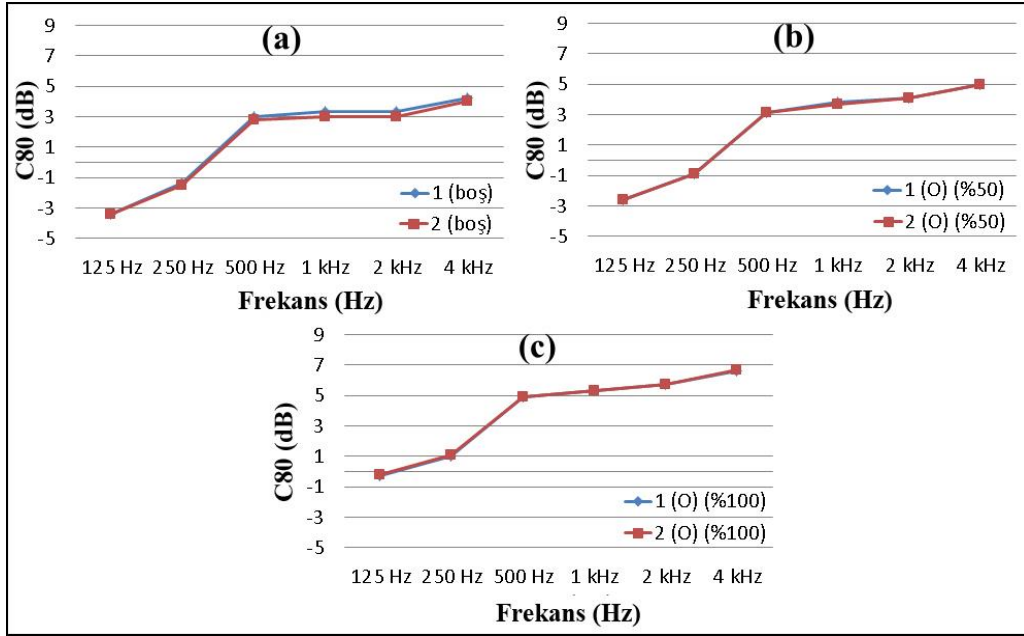
Şekil 164. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-C80 değerleri



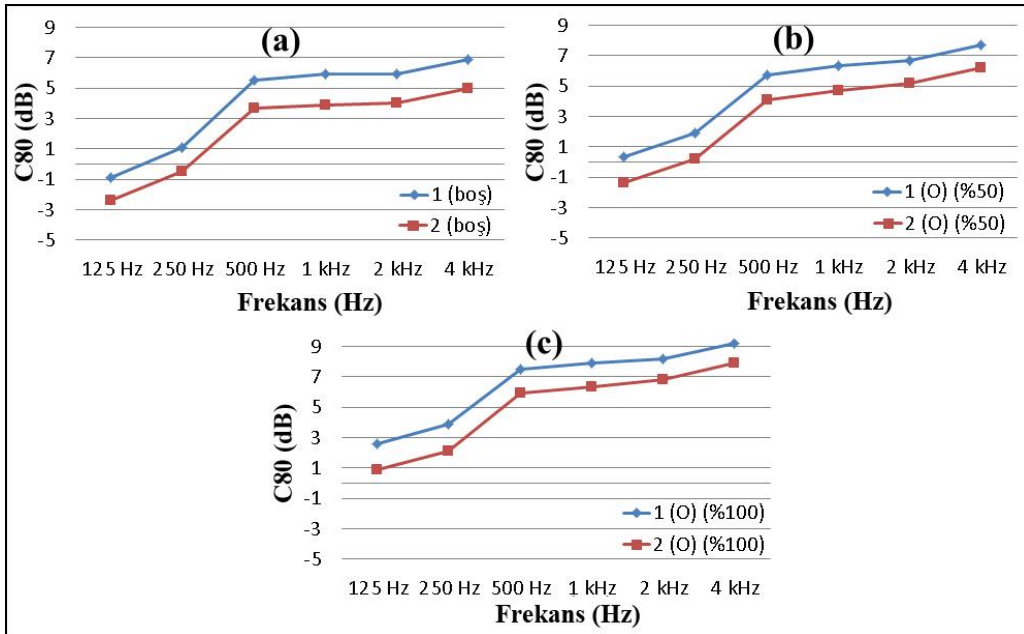
Şekil 165. Doluluk oranlarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

Büyük Gülbahar Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 166'da yer almaktadır. Elde edilen değerler arasında yalnızca caminin boş olduğu durumda, orta ve yüksek frekanslarda küçük farklar oluşmuştur. Namaz modundaki değerler vaaz modundaki değerlere göre daha yüksek olarak elde edilmiştir. Diğer doluluk oranlarında ise birbirine yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 166).

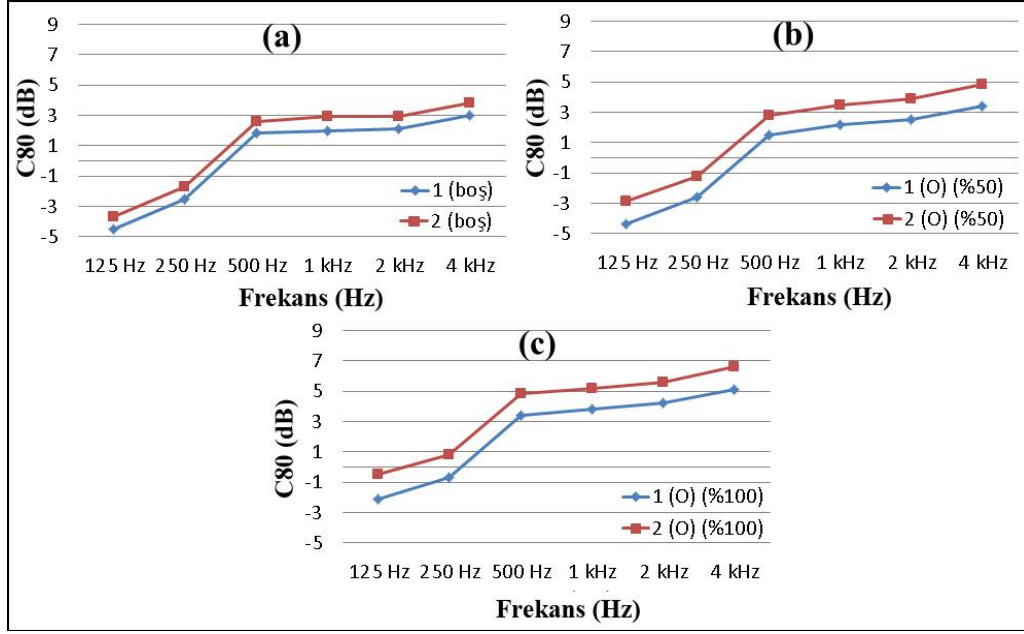
Alıcı 1, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen C80 değerleri doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde sonuçlar arasında en yüksek fark Alıcı 1, en düşük farkın ise Alıcı 3 için elde edilmiştir. Alıcı 1 için elde edilen sonuçlarda namaz modu, Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlarda ise vaaz modu değerleri daha yüksek çıkmıştır (Şekil 167, Şekil 168, Şekil 169).



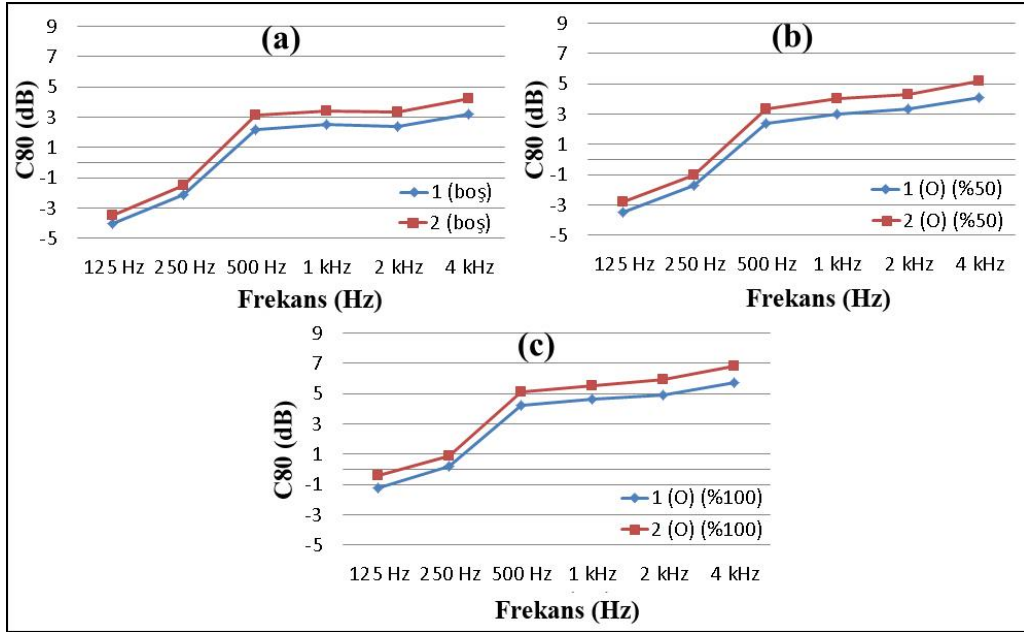
Şekil 166. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii ortalama C80 değerleri



Şekil 167. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 168. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 2-C80 değerleri

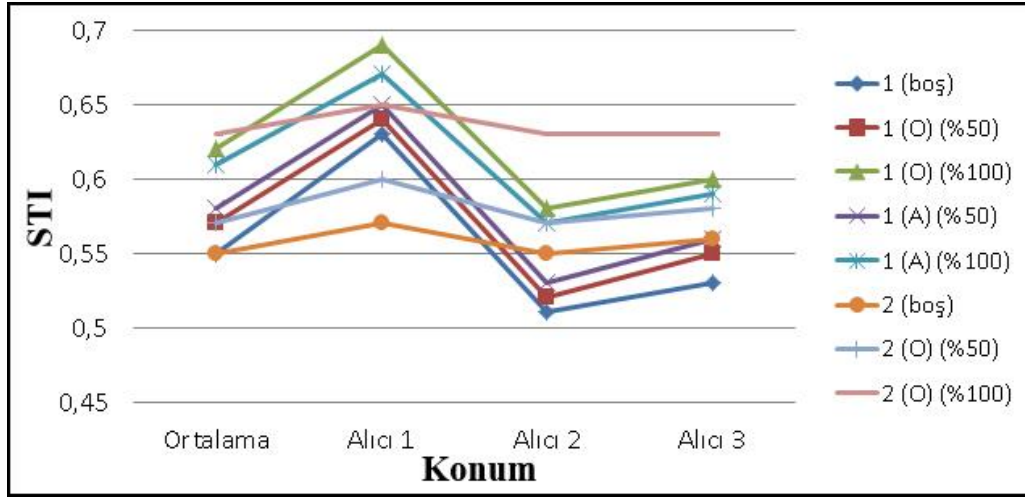


Şekil 169. Ses kaynağı noktalarına göre Büyük Gülbahar Camii-Alıcı 3-C80 değerleri

3.8.5. Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri

Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 170'te yer almaktadır. 0,45 ve üzeri STI değerleri optimum olarak kabul edilmektedir (Tablo 22). STI

parametresi değerleri her durumda ve her alıcı noktada optimum düzeylerde elde edilmiştir. En yüksek STI değerleri 0,69 ile Alıcı 1, en düşük STI değerleri ise 0,51 ile Alıcı 2’de elde edilmiştir (Şekil 170).



Şekil 170. Büyük Gülbahar Camii STI değerleri

3.8.6. Rize Büyük Gülbahar Camii İçin Akustik Düzenleme Önerisi

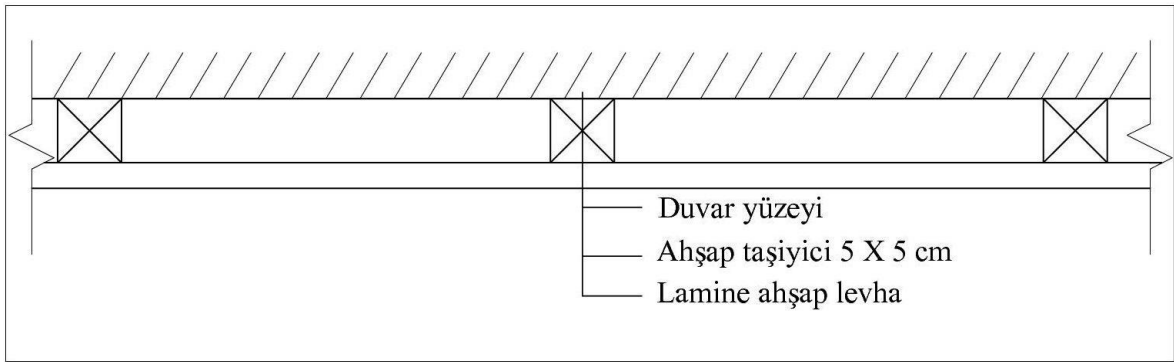
Rize Büyük Gülbahar Camii’de tespit edilen başlıca sorunlar, T30 ve EDT değerlerinin optimum değerlere göre düşüklüğü ile değerlerin frekans aralıklarında düzensiz dağılımı olmuştur. C80 değerleri optimum düzeylerde olmasına rağmen optimum düzeyin üst sınırına yakın elde edilmiş, doluluk oranının artmasıyla da optimum düzeyi aşmıştır. Yapılan düzenlemede mümkün olduğunca bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır.

Orta frekanslarda düşük olan T30 değerlerini yükseltmek için duvar yüzeylerinin tamamı mermer ile kaplanmıştır. Alçak frekanslarda çok yüksek olan T30 değerlerini frekans aralıklarında daha dengeli bir duruma getirebilmek için ana tavan, mahfil katının alt yüzeyi ile müezzin mahfili ve mahfil katının korkulukları lamine ahşap levhalar ile değiştirilmiştir. Minber ve mahfil merdivenlerindeki halılar kaldırılarak kumaş yüzeyler azaltılmıştır. Lamine ahşap levha kaplamalarının montaj detayı Şekil 171’de yer almaktadır. Malzemesi değiştirilen yüzeyler Şekil 172 ve Şekil 173’te, malzemelere ait ses yutma katsayıları Tablo 26’da yer almaktadır.

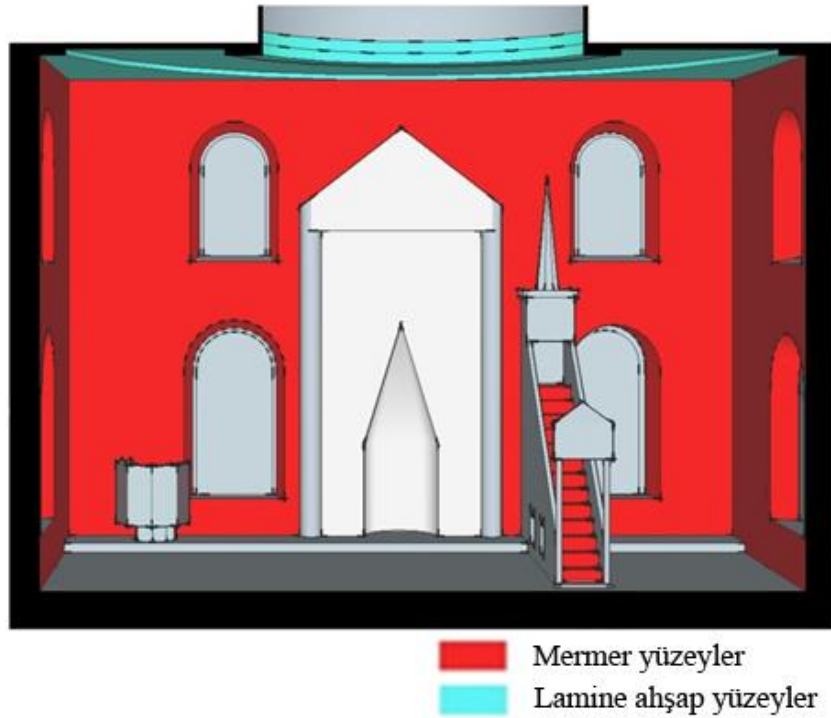
Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan cami modeli ODEON 10.1 programına aktarılmıştır. Yeni malzemeler atandıktan ve diğer

veriler işleme dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyon modeli Şekil 174’te yer almaktadır.

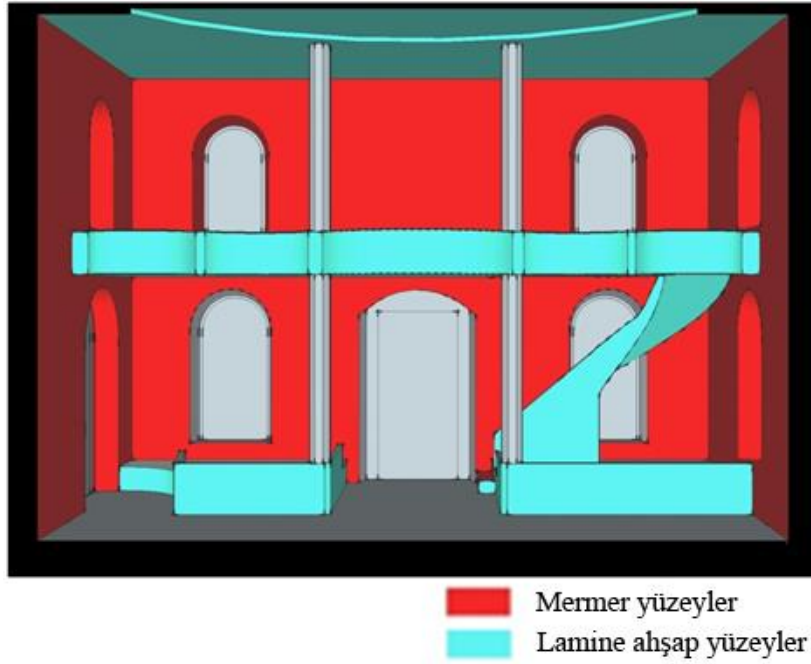
Ayrıca caminin T30 değerlerinin malzeme değişikliği yoluyla elde edilebilecek en yüksek değerlerini tespit etmek amacıyla ikinci olarak hayali bir model daha hazırlanmıştır. Bu ikinci modelde, Caminin camları ve zeminindeki halı dışındaki tüm yüzeylerinin mermer ile kaplandığı ve caminin boş olduğu varsayılmıştır (Şekil 175). Bu model de düzenleme önerisi ile birlikte ODEON Version 10.1 programında simüle edilmiştir.



Şekil 171. Lamine ahşap levha kaplama detayı



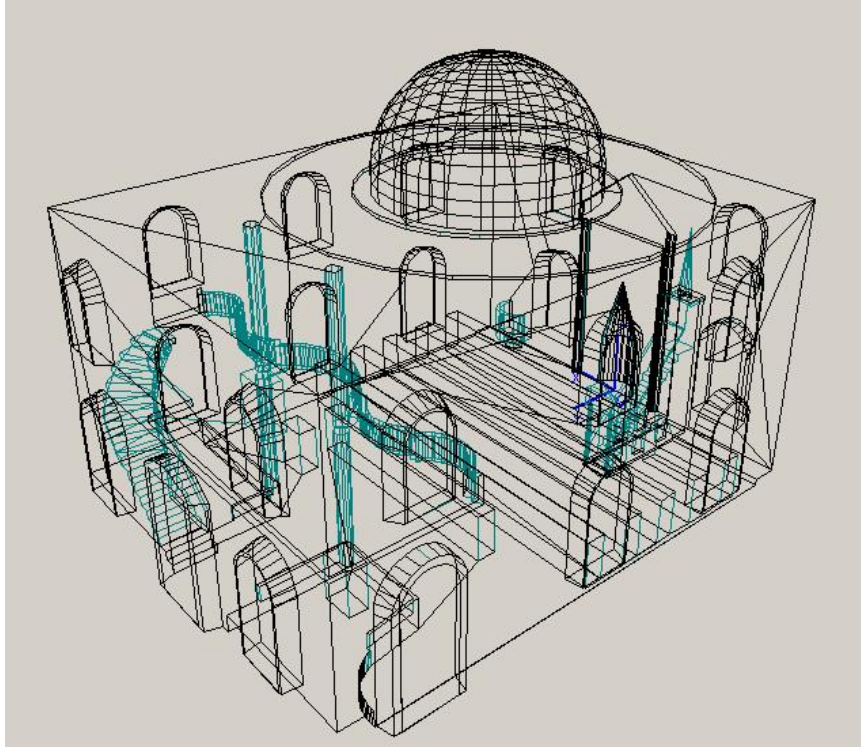
Şekil 172. Büyük Gülbahar Camii düzenleme önerisi, kible duvarı görünümü



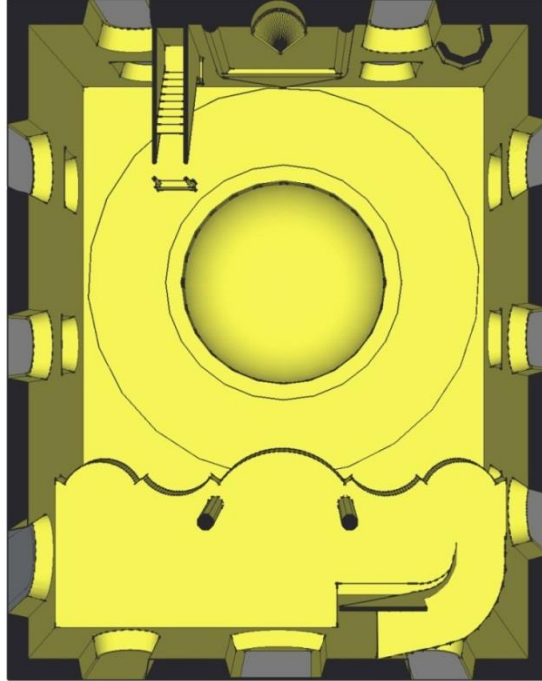
Şekil 173. Büyük Gülbahar Camii düzenleme önerisi, arka duvar görünümü

Tablo 26. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve malzemelere ait ses yutma katsayıları

| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme | Önerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|-------------------------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Duvarlar | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 2 | Ahşap duvar dibi kaplama | Ahşap | Lamine Ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 3 | Tavanlar (üst tavan ve Mahfil altı) | Ahşap | Lamine Ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| Diğer yüzeyler | 4 | Minber ve mahfil Basamakları | Halı | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | Geniş Ahşap yüzeyler | Ahşap | Lamine Ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |



Şekil 174. Büyük Gülbahar Camii simülasyonu modeli

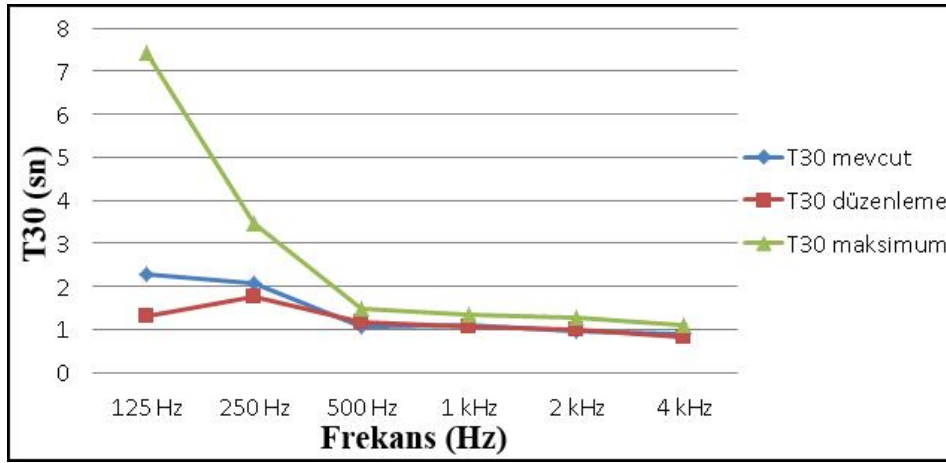


Şekil 175. Büyük Gülbahar Camii'nde bütün yüzeylerin yansıtıcı olduğu hayali model

3.9. Rize Büyük Gülbahar Camii Akustik Düzenleme Camii Sonuçları

3.9.1. Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii T30 Sonuçları

Akustik düzenleme öncesinde, sonrasında ve hayali simülasyonda Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen T30 değerleri Şekil 176'da yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 1,08 sn'den 1,12 sn'ye yükseltilmiştir. Mevcut duruma göre çok düşük düzeyde yükseltilebilen T30 değeri orta frekanslarda optimum aralığa (1,61sn – 1,97sn) yükseltilememiştir. Düzenleme önerisinde sınırlı bir başarı sağlanmıştır. Cami iç yüzeylerinin halı ve camlar dışında tamamen mermer olarak kabul edildiği hayali simülasyonda bile T30 değeri 1.42 sn'ye kadar yükseltilebilmiştir. Yüzey malzemelerinin değiştirilmesiyle Büyük Gülbahar Camii'nin akustik konfor koşulları sağlayacak duruma getirilmesinin mümkün olmadığı görülmüştür.

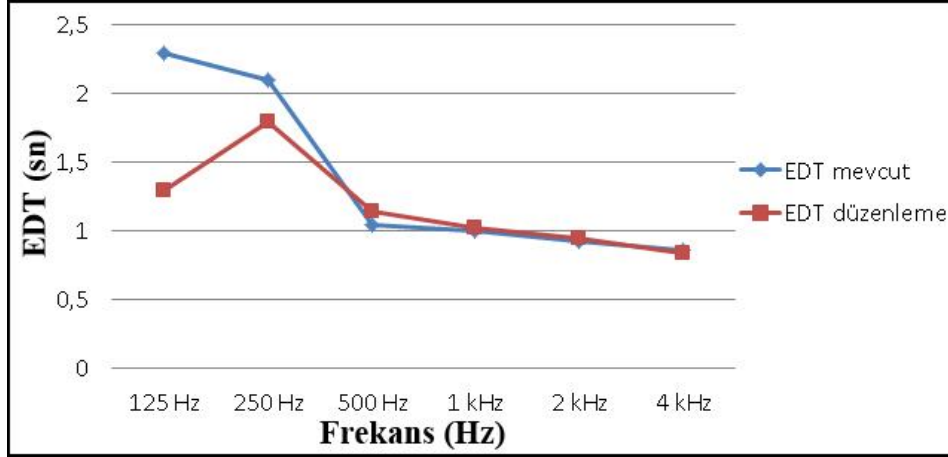


Şekil 176. Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde T30 değerlerinin değişimi

3.9.2. Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii EDT Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 177'de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki EDT değerleri ortalaması 1,02 sn'den 1,08 sn'ye yükseltilmiştir. Orta frekanslarda elde edilen bu düşük düzeydeki artış EDT değerlerinin optimum düzeylere

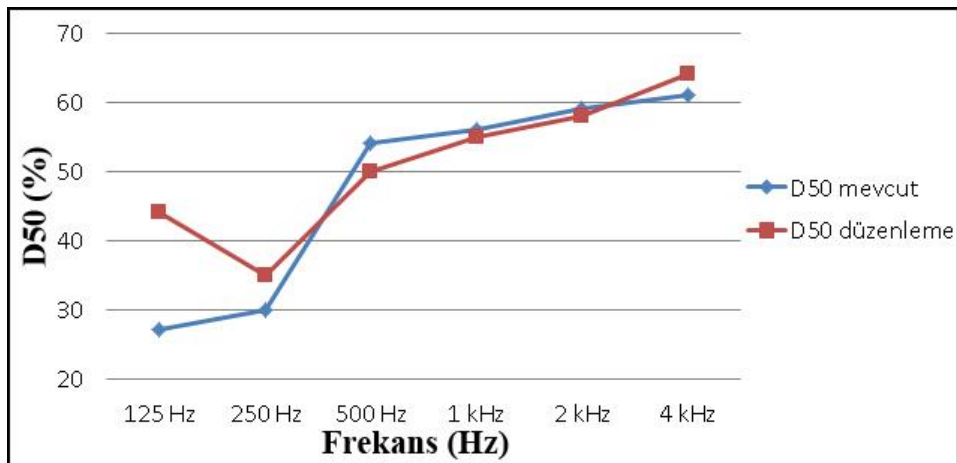
(1,75 sn-2.15 sn) getirilmesinde yetersiz kalmıştır. T30 değerlerinde olduğu gibi EDT değerlerinde de akustik düzenleme ile sınırlı bir başarı elde edilmiştir.



Şekil 177. Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde EDT değerlerinin değişimi

Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii D50 Sonuçları

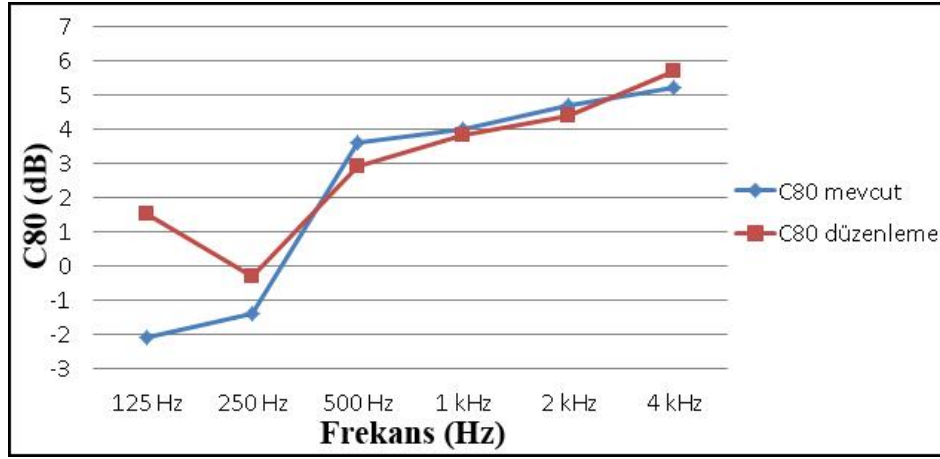
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 178’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki D50 değerlerini ortalaması % 55’ten % 52,5’e düşmüştür. Her iki durumda da D50 parametresi optimum değer aralığında elde edilmiştir (%30-%70).



Şekil 178. Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde D50 değerlerinin değişimi

3.9.3. Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii C80 Sonuçları

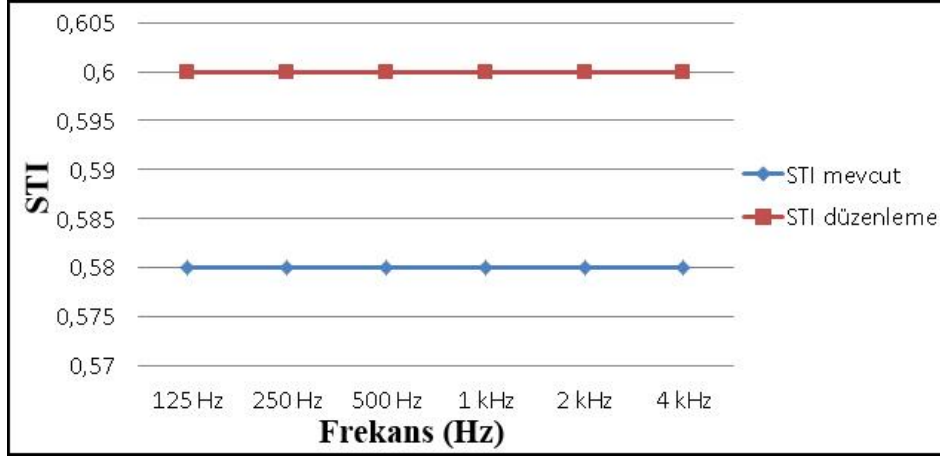
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen C80 değerleri Şekil 179'da yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki C80 değerlerinin ortalaması 3,8 dB'den 3,35 dB'e düşmüştür. C80 değerlerindeki bu azalma T30 değerlerindeki artıştan kaynaklanmıştır. Her iki durumda da C80 parametresine ait değerler optimum düzeylerde (-4 dB +4dB) elde edilmiştir. Düzenleme sonrası C80 değerleri optimum aralığın merkezine belirli bir düzeyde yaklaştırılmıştır.



Şekil 179. Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde C80 değerlerinin değişimi

3.9.4. Akustik Düzenleme Sonrası Rize Büyük Gülbahar Camii STI Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Rize Büyük Gülbahar Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 180'de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında, STI değerinde çok küçük düzeyde bir artış meydana gelmiştir. STI değeri 0,58'den 0,60'a yükseltilmiştir. Hem mevcut durumda hem de akustik düzenleme sonrasında STI değerleri optimum düzeyde ($\geq 0,45$) elde edilmiştir.



Şekil 180. Düzenleme sonrası Rize Büyük gülbahar Camiinde STI değerlerinin değişimi

3.10. Mehmet Akif Ersoy Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri

3.10.1. Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri

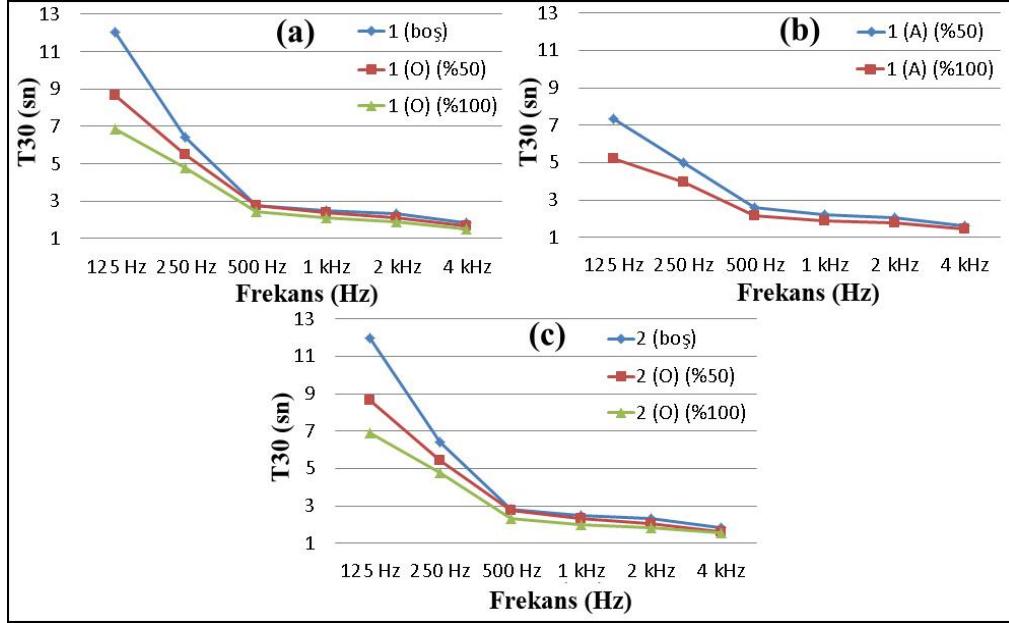
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 181’de yer almaktadır. Mehmet Akif Ersoy Camii’nin hacmi için önerilen optimum T30, 2,16sn – 2,64 sn değer aralığındadır (Tablo 22). T30 değerleri orta frekanslarda optimum üst sınırına yakın olarak, ve optimum üst sınırının üzerinde elde edilmiştir. Geniş hacmi ve ses yutucu yüzeylerin toplam yüzey içerisindeki oranlarının düşük olmasından dolayı orta frekanslarda T30 değerleri yüksek düzeyde elde edilmiştir.

Halı ve kumaş yüzeylerde oktav bant frekans aralıklarındaki ses yutma katsayı değerlerinin değişim farklarının yüksek olmasından dolayı alçak frekanslarda çok yüksek olan T30 değerleri orta ve yüksek frekanslarda daha düşük düzeyde elde edilmiştir.

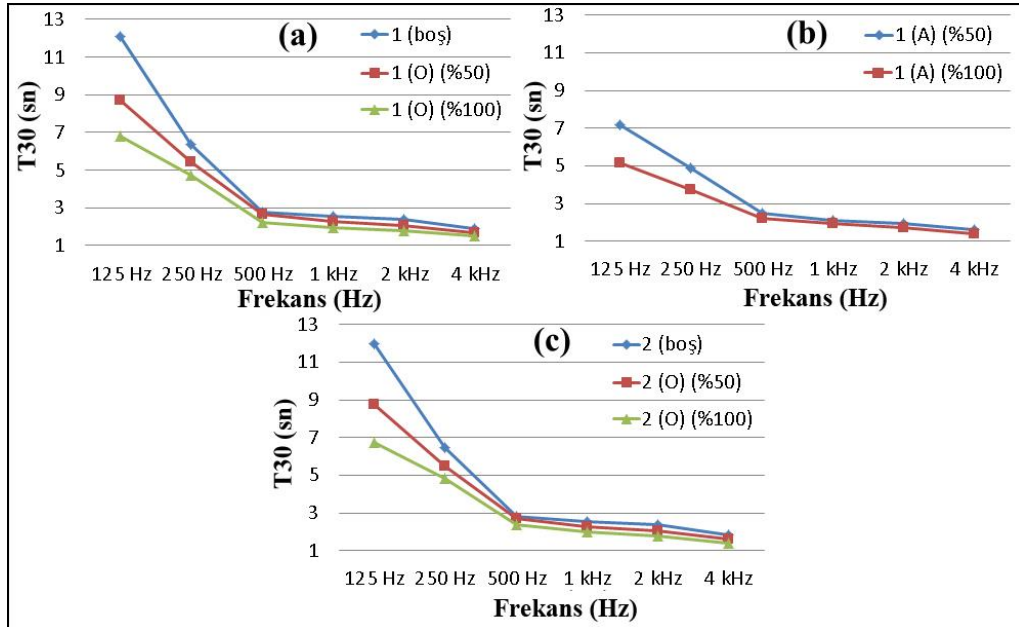
Doluluk oranı azaldıkça T30 değerlerindeki artış özellikle alçak frekanslarda meydana gelmiştir. Orta ve yüksek frekanslarda T30 değerlerindeki artış daha sınırlı olmuştur. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 2,65 sn ile caminin boş olduğu vaaz namaz modunda, en düşük T30 değeri ise 2.03 sn ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 181).

Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, T30 için elde edilen ortalama sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 2,66 sn

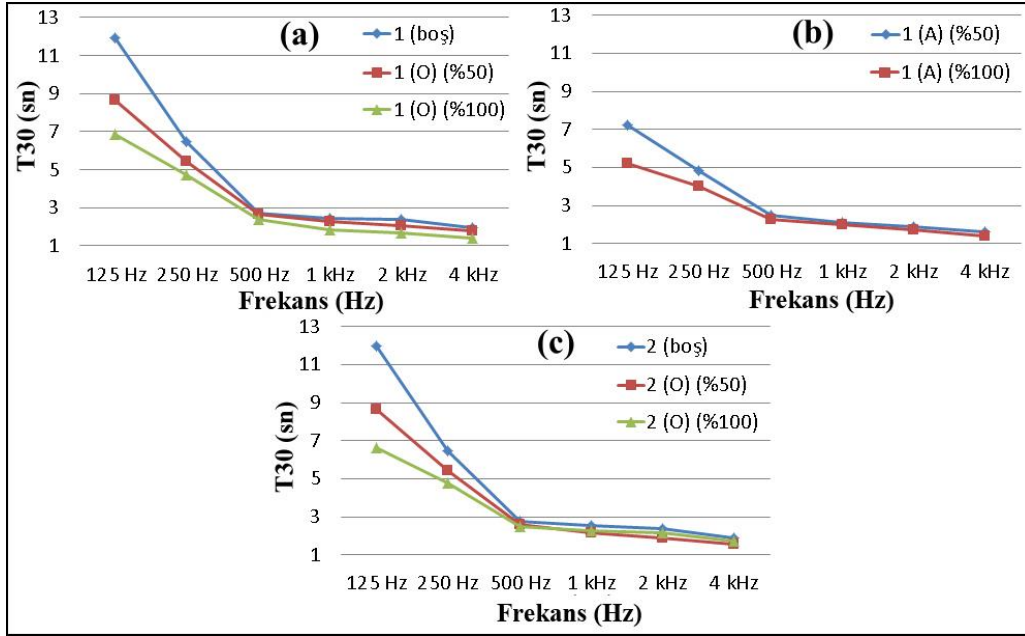
ile, en düşük T30 değeri ise 2,07 sn ile Alıcı 1’de elde edilmiştir. Alıcı noktası konumunun değişimi T30 değerlerini fazla etkilememiştir (Şekil 182, Şekil 183, Şekil 184, Şekil 185).



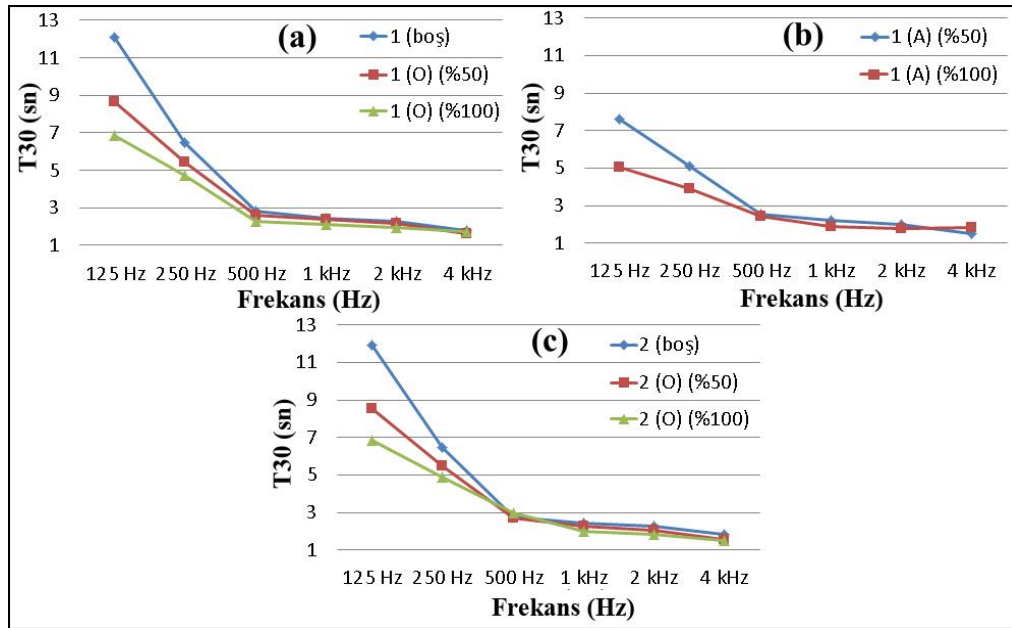
Şekil 181. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama T30 değerleri



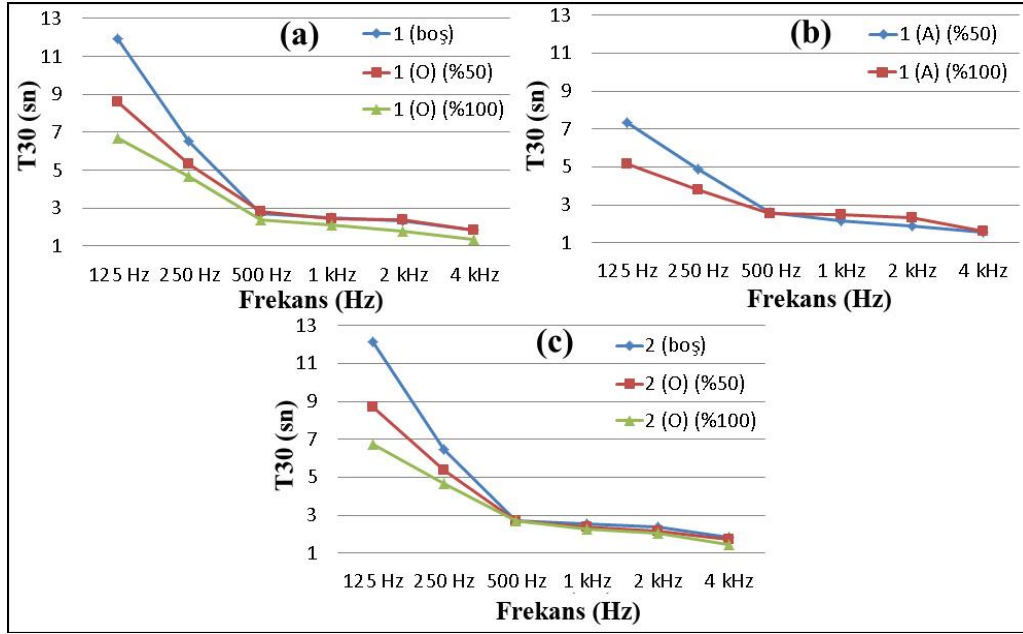
Şekil 182. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 183. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıncı 2-T30 değerleri



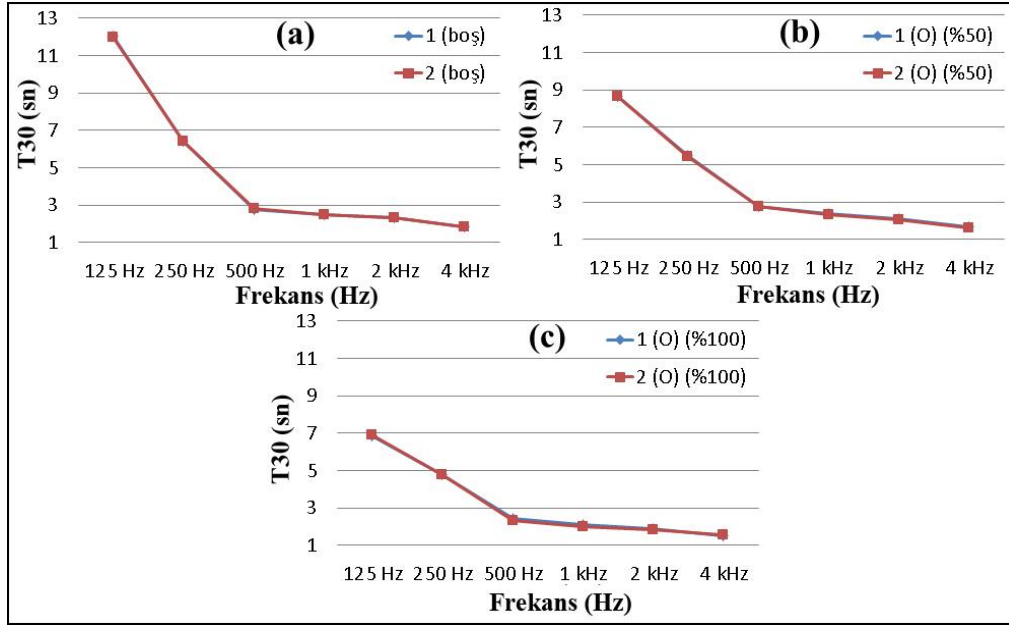
Şekil 184. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıncı 3-T30 değerleri



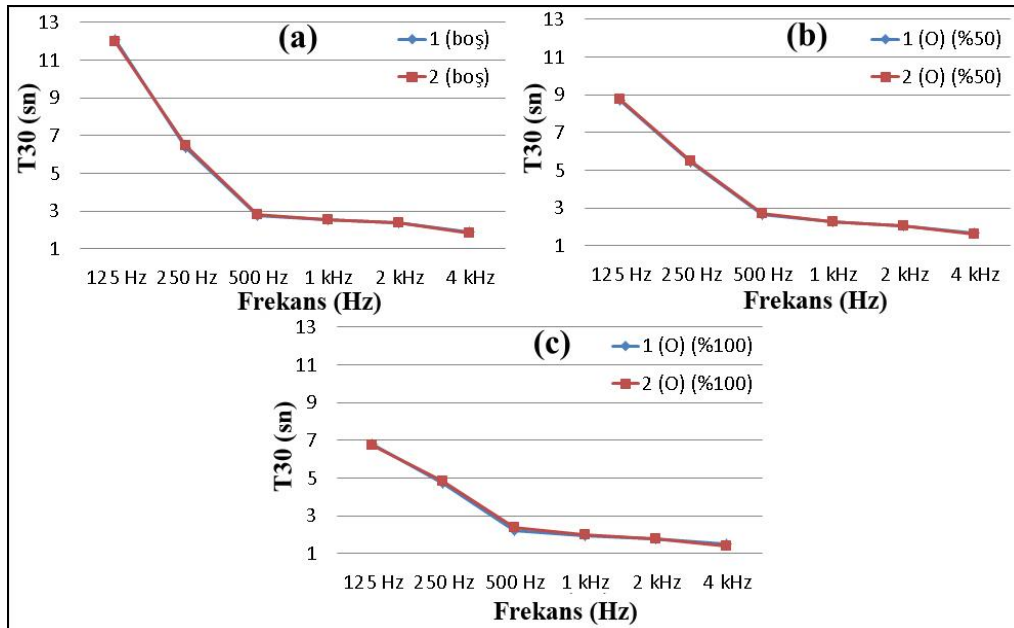
Şekil 185. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-T30 değerleri

Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 186'da yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak belirgin bir değişim elde edilmemiştir. Ses kaynağı konumunun değişimi T30 değeri üzerinde yüksek düzeyde etkili olmamıştır (Şekil 186).

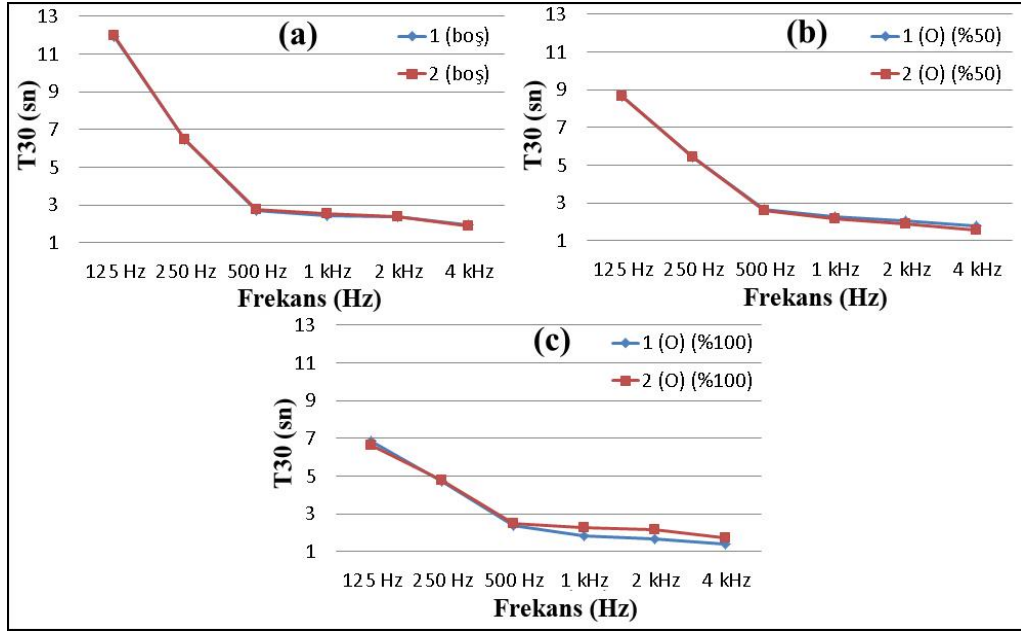
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, caminin boş olduğu durumlarda değerler arasında belirgin bir farklılık görülmez iken %50 ve %100 doluluk durumlarında orta ve yüksek frekanslarda farklılıklar olduğu görülmüştür. En belirgin farklar Alıcı 3 sonuçlarında tespit edilmiştir. Farklılıkların tespit edildiği durumlarda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 187, Şekil 188, Şekil 189, Şekil 190).



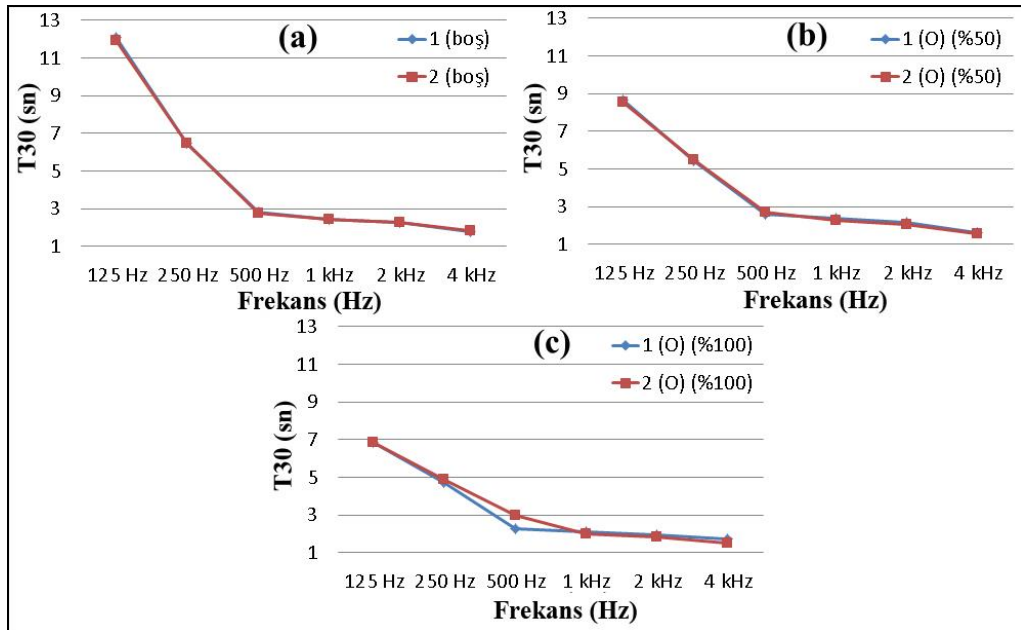
Şekil 186. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama T30 değerleri



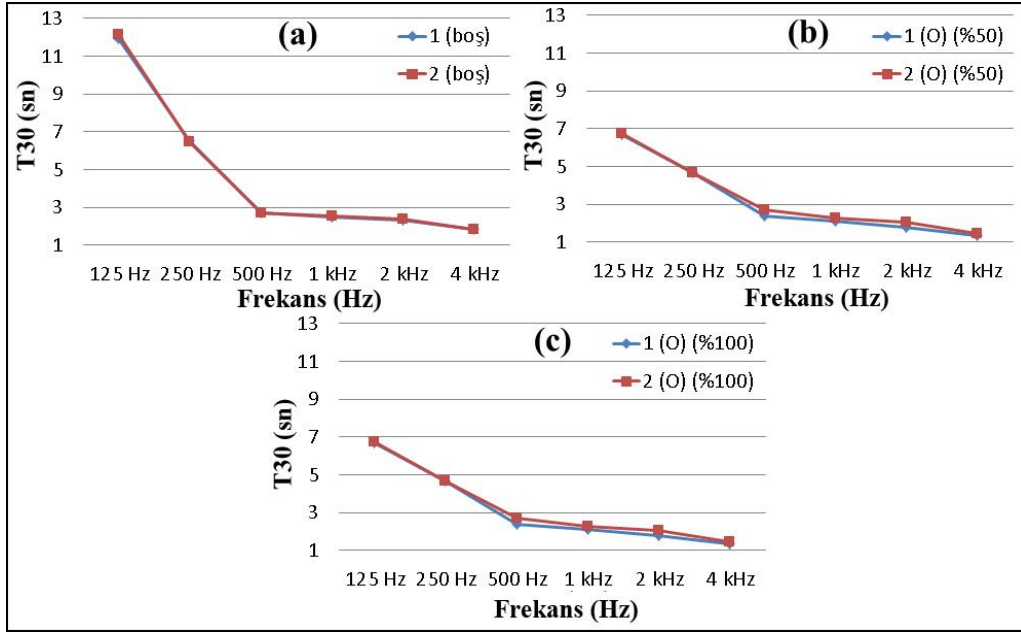
Şekil 187. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıncı 1-T30 değerleri



Şekil 188. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıncı 2-T30 değerleri



Şekil 189. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıncı 3-T30 değerleri

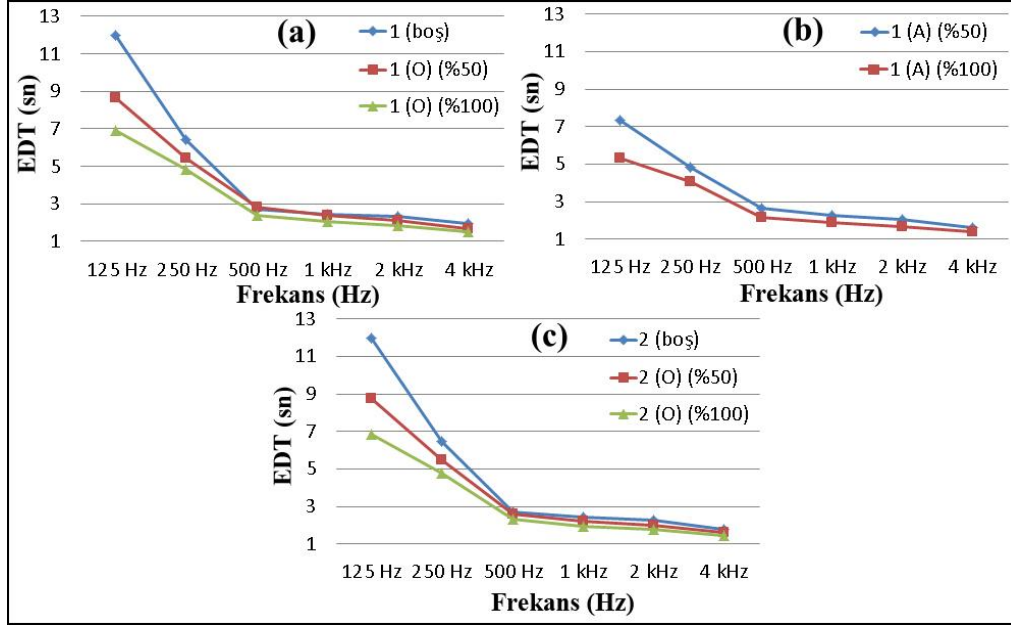


Şekil 190. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-T30 değerleri

3.10.2. Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri

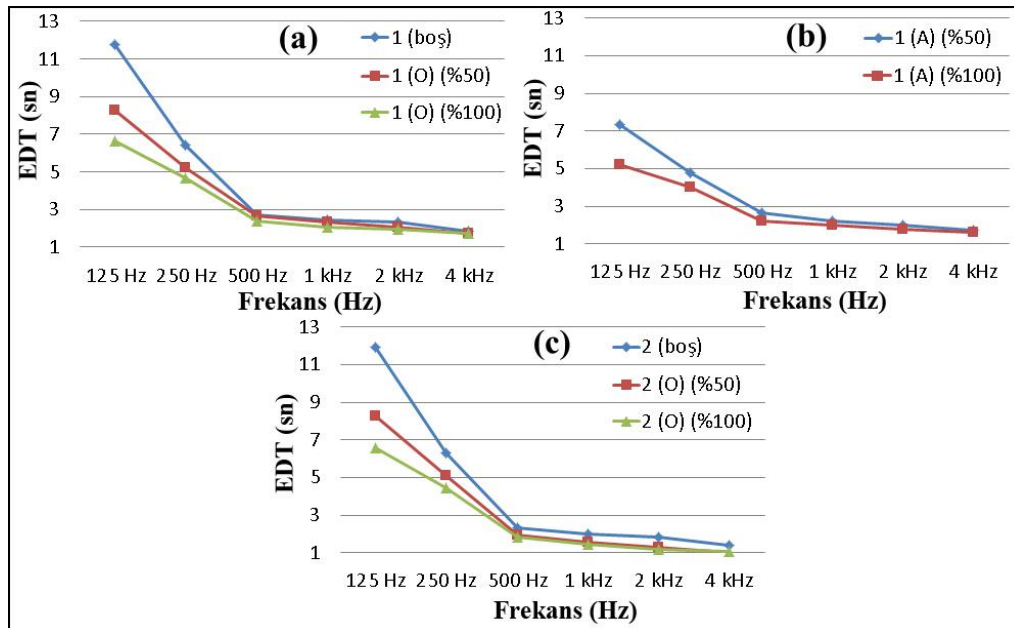
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 191’de yer almaktadır. Mehmet Akif Ersoy Camii’nin hacmi için önerilen optimum EDT, 2,35sn – 2,88 sn değer aralığındadır (Tablo 22). Caminin tam dolu olduğu durumlar dışında EDT sonuçları optimum düzeylerde elde edilmiştir. Tam doluluk durumlarında ise EDT sonuçları optimum değerlerin altında kalmıştır. Alçak frekanslarda çok yüksek düzeyde elde edilen EDT değerleri orta ve yüksek frekanslarda daha düşük düzeylerde elde edilmiştir.

Doluluk oranı azaldıkça EDT değerlerinde, T30 değerlerinde olduğu gibi alçak frekanslarda daha belirgin olmak üzere artış meydana gelmiştir. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 2,58 sn ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük EDT değeri ise 2,03 sn ile caminin %100 dolulukta olduğu ve ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 191).

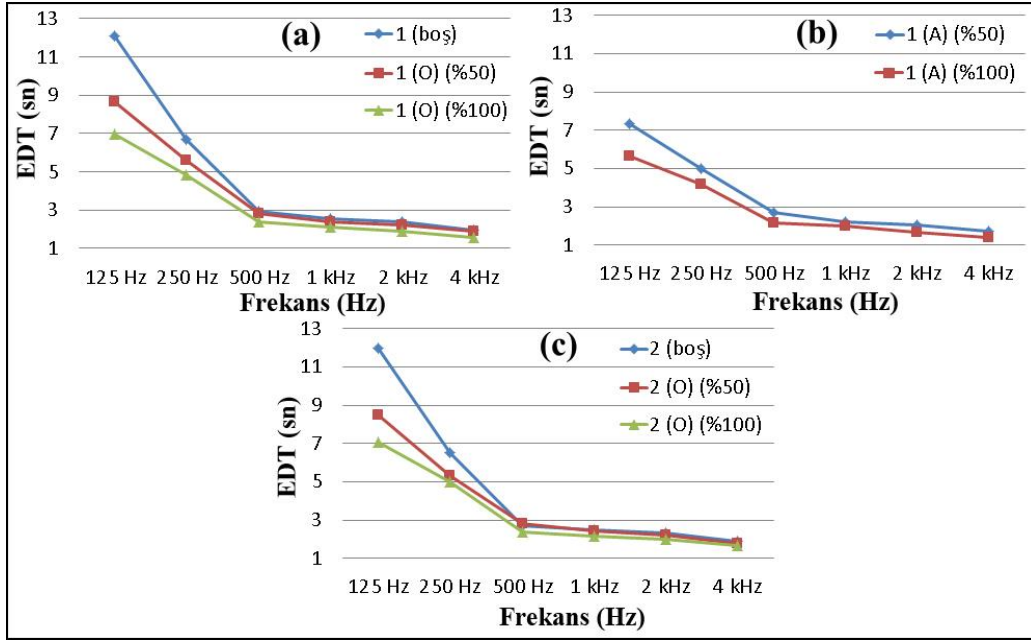


Şekil 191. Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama EDT değerleri

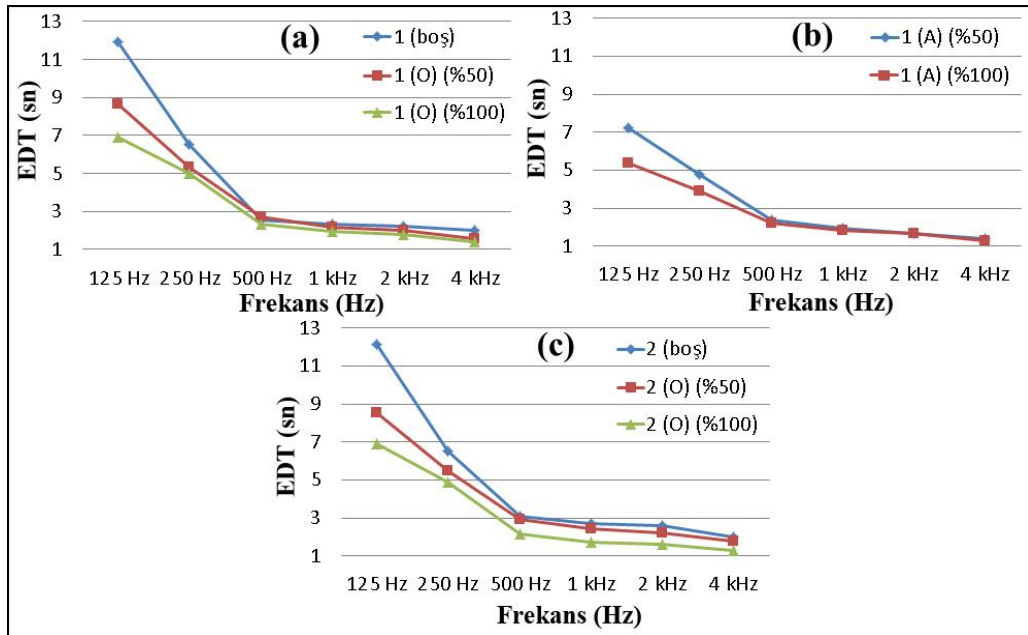
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen EDT parametresi değerleri doluluk oranına göre incelendiğinde elde edilen değerler ortalama için elde edilen değerlere yakın düzeyde oldukları görülmektedir. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 2,89 sn ile Alıcı 3, en düşük EDT değerleri ise 1,64 sn ile Alıcı 1’de elde edilmiştir (Şekil 192, Şekil 193, Şekil 194, Şekil 195).



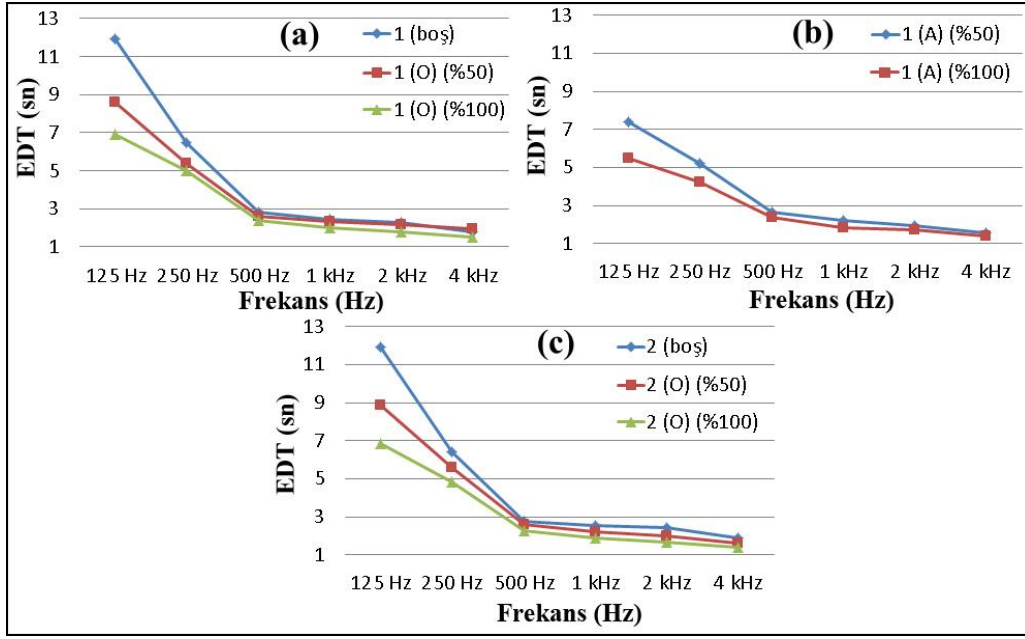
Şekil 192. Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 193. Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



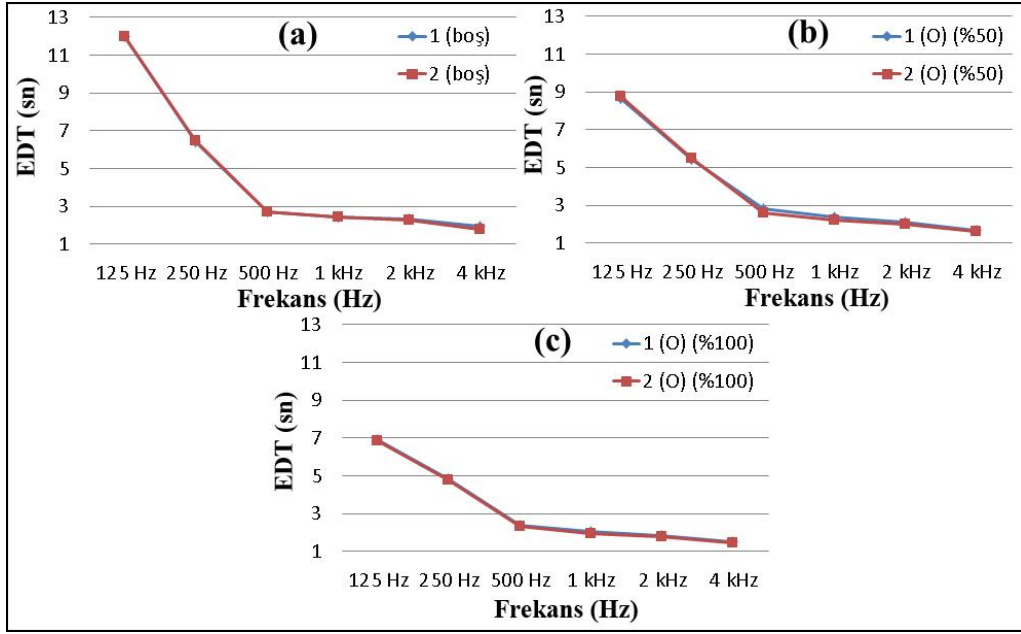
Şekil 194. Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 3-EDT değerleri



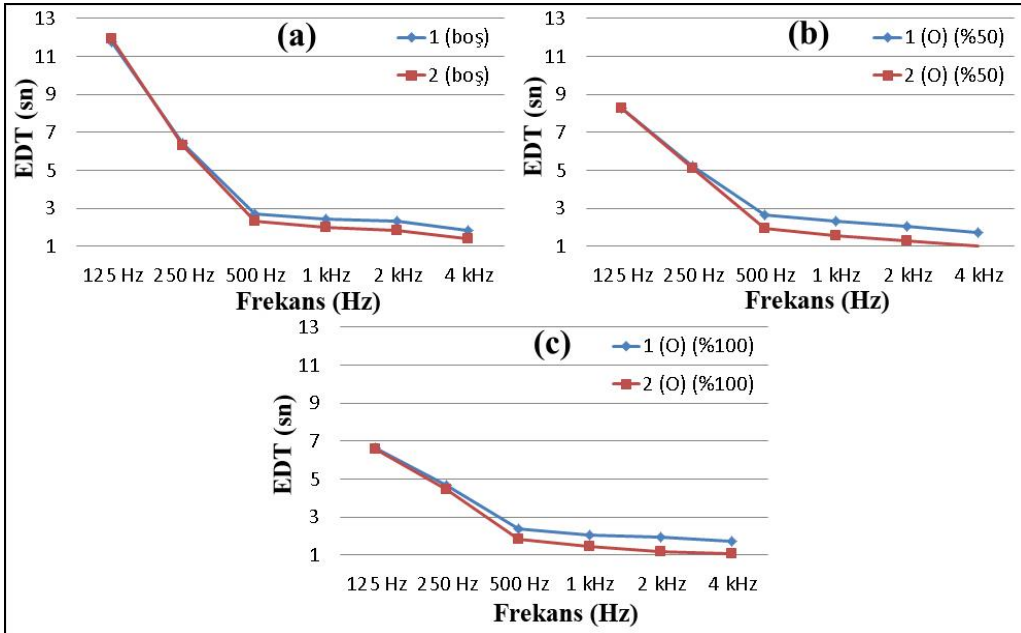
Şekil 195. Doluluk oranına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-EDT değerleri

Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 196'da yer almaktadır. Değerler arasında %50 doluluk durumu dışında belirgin bir fark meydana gelmemiştir. %50 doluluk durumunda orta frekanslarda namaz modu değerleri, vaaz modu değerlerine göre düşük bir oranda daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 196)

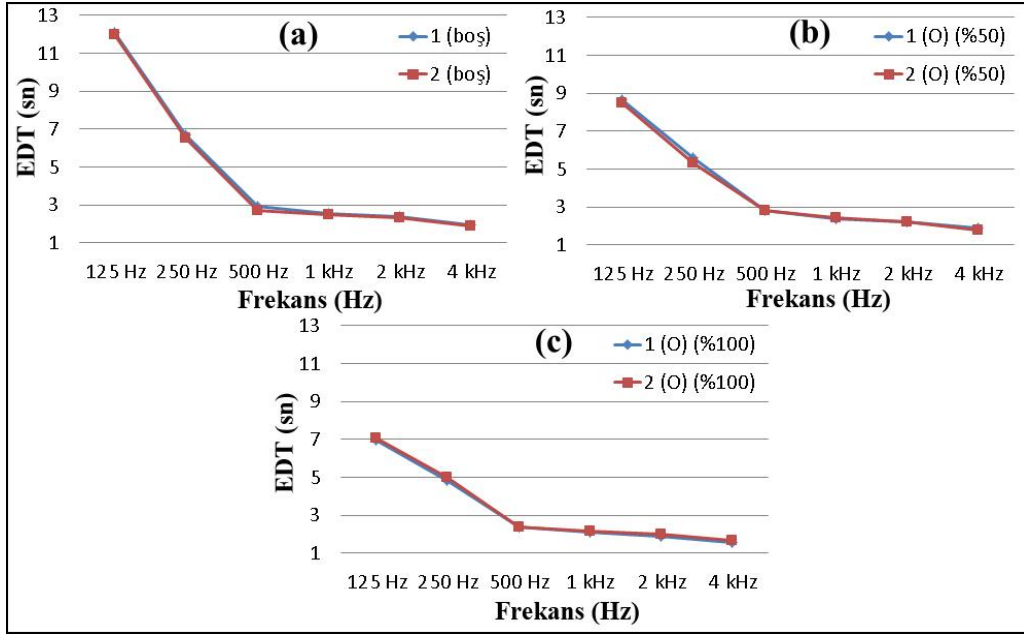
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen EDT sonuçlarının ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında en yüksek farklar Alıcı 1, en düşük farklar ise Alıcı 2 için elde edilen sonuçlarda meydana gelmiştir. Alıcı 1'de namaz modu değerleri daha yüksek iken Alıcı 3'te boş ve %50 doluluk durumlarında vaaz modu, %100 dolulukta ise namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. Alıcı 2 ve Alıcı 4 için elde edilen değerler birbirine yakın düzeylerde elde edilmiştir. (Şekil 197, Şekil 198, Şekil 199, Şekil 200).



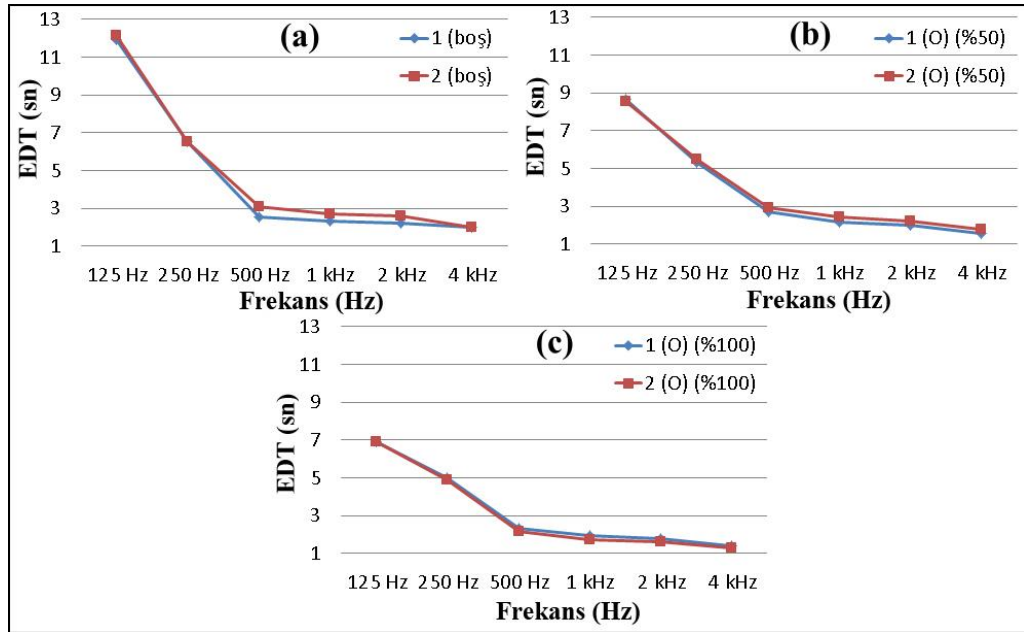
Şekil 196. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama EDT değerleri



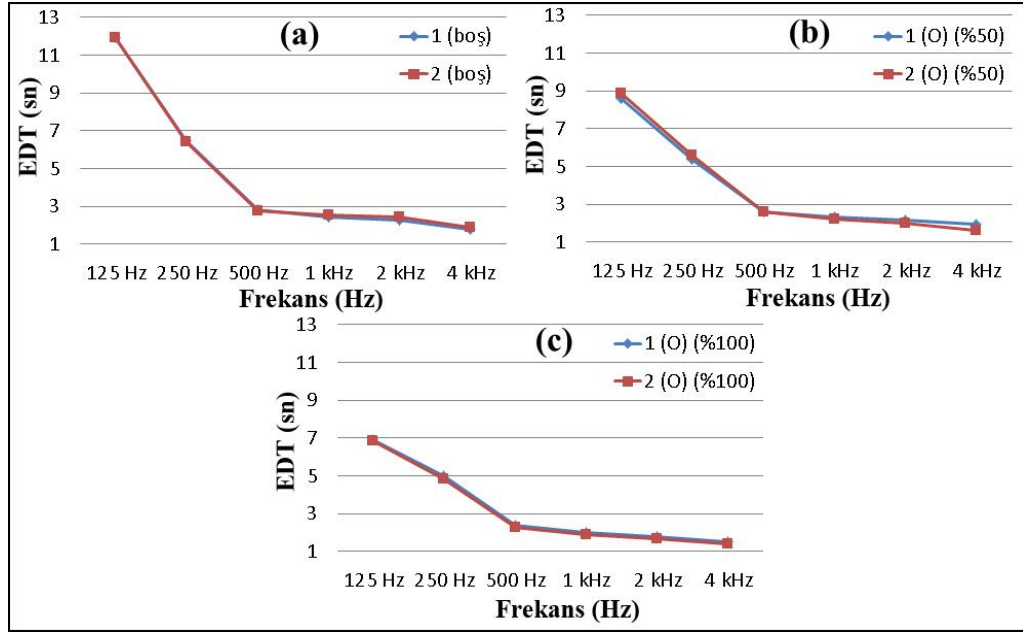
Şekil 197. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 198. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



Şekil 199. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 3-EDT değerleri



Şekil 200. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-EDT değerleri

3.10.3. Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

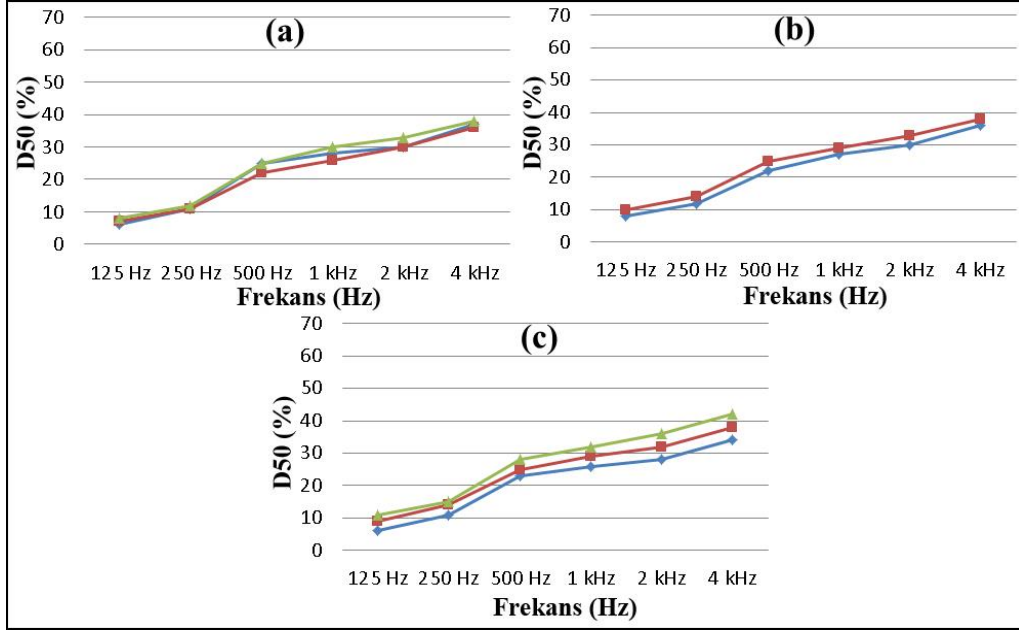
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 201’de yer almaktadır. Önerilen optimum D50, %30 - %70 değer aralığındadır (Tablo 22). Yüksek T30 değeri sebebiyle D50 parametresi değerleri orta frekanslarda tüm farklı durumlar için optimum değerlerin altında elde edilmiştir.

Doluluk oranının artmasıyla D50 değerlerinde de artış meydana gelmiştir. En düşük D50 değeri % 24 ile caminin %50 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modunda, en yüksek EDT değerleri ise %30 ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 201).

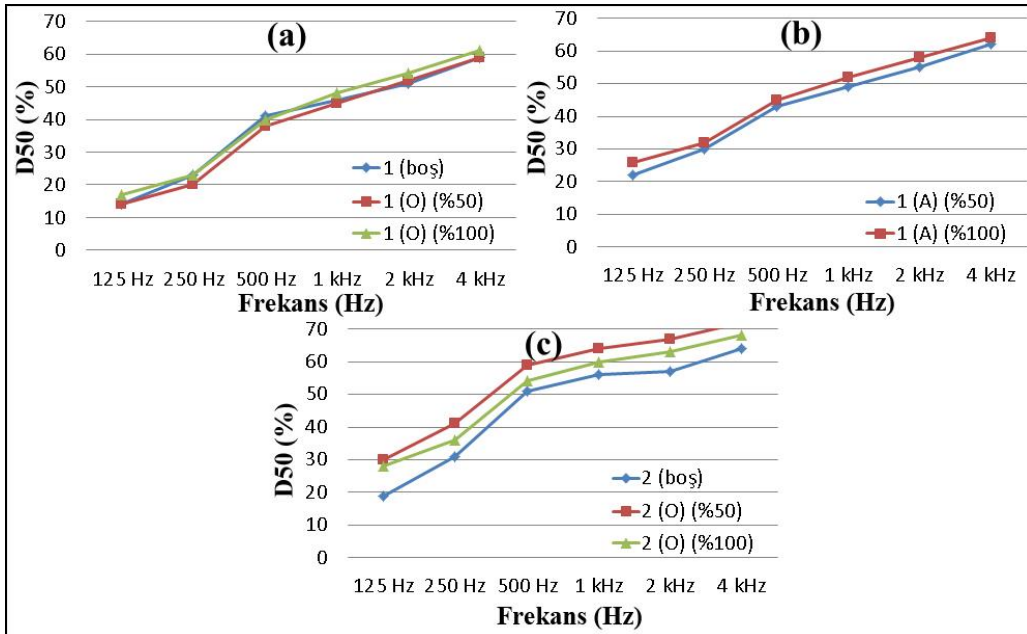
Alıcı 1 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen D50 parametresi sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafikleri incelendiğinde, en yüksek D50 değeri % 61,5 ile Alıcı 1, en düşük D50 değerleri ise % 24,5 ile Alıcı 4’te elde edilmiştir. Alıcı 1 için elde edilen sonuçların alıcı noktanın ses kaynaklarına yakın olması sebebiyle optimum düzeylerde gerçekleşmiştir. Alıcı 4 için elde edilen sonuçların ise ortalama için elde edilen sonuçlara yakın ve optimum düzeylerin altında elde edilmiştir (Şekil 202, Şekil 203).

Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır. Alıcı noktalar ile ses kaynağı konumları arasında maddesel engel bulunmasından ve alıcı

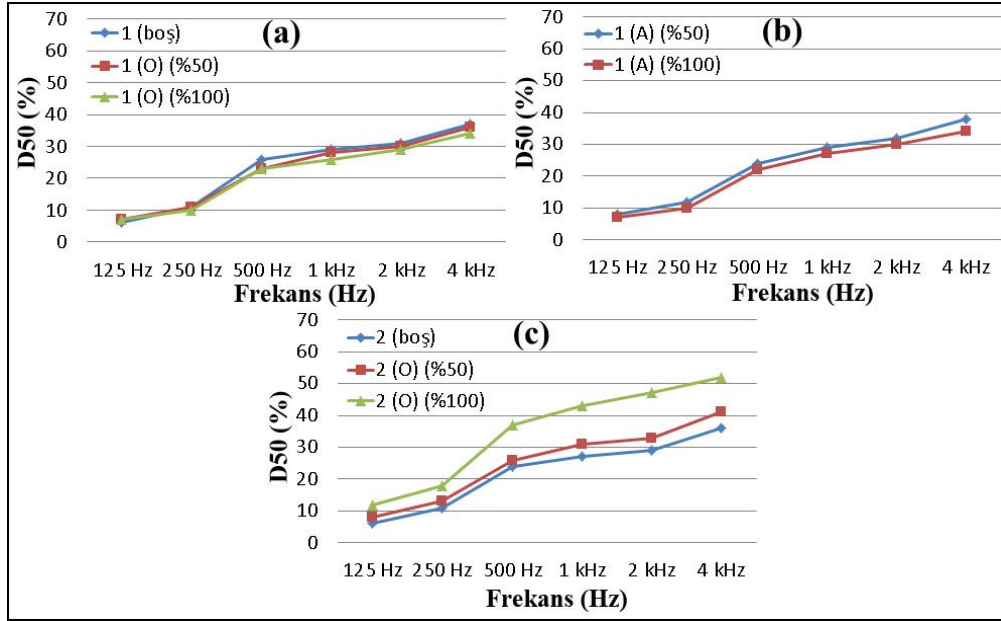
noktaların ses gölgesinde kalmasından dolayı ODEON Version 10.1 programı D50 parametresine ait sonuçları doğru olarak hesaplayamamıştır (Christensen, 2009).



Şekil 201. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama D50 değerleri

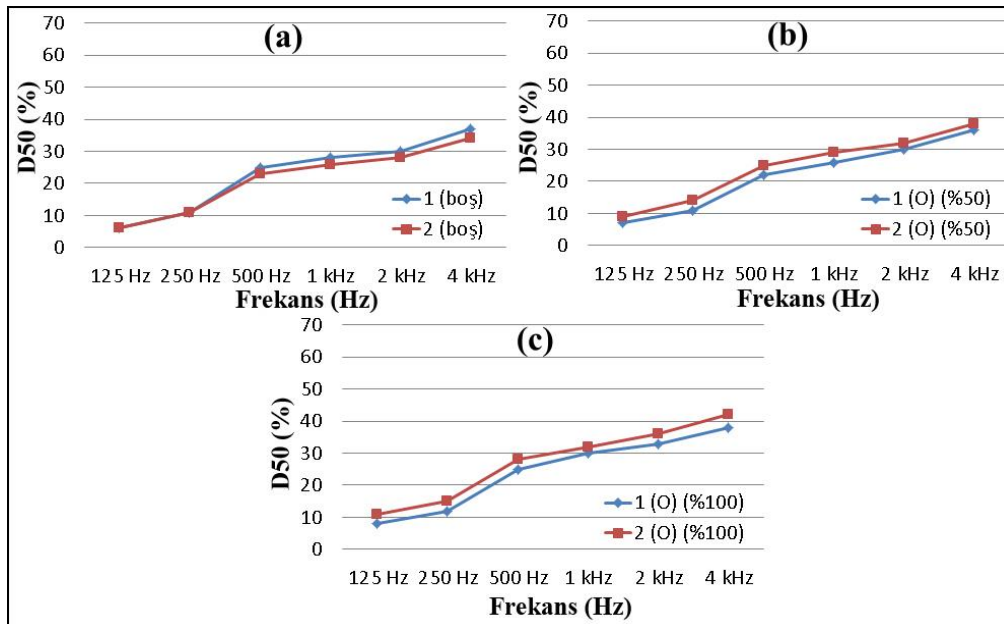


Şekil 202. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 203. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-D50 değerleri

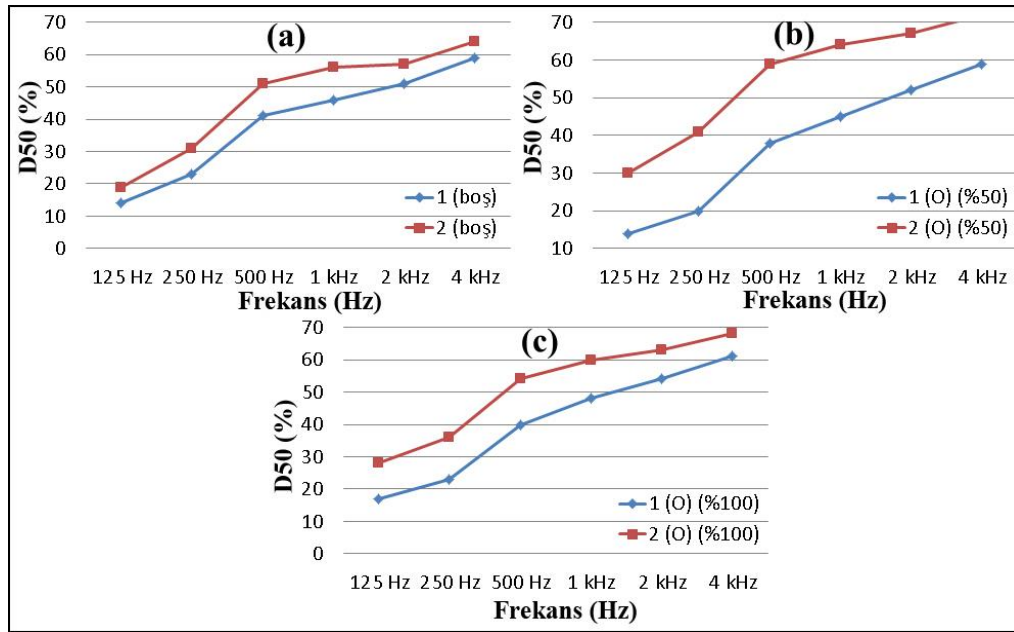
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 204'te yer almaktadır. Sonuçlar arasında ses kaynağının konumuna bağlı olarak farklılıklar elde edilmiştir. Caminin boş olduğu durumda namaz modundaki değerler daha yüksek düzeyde iken %50 ve %100 doluluk oranlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 204).



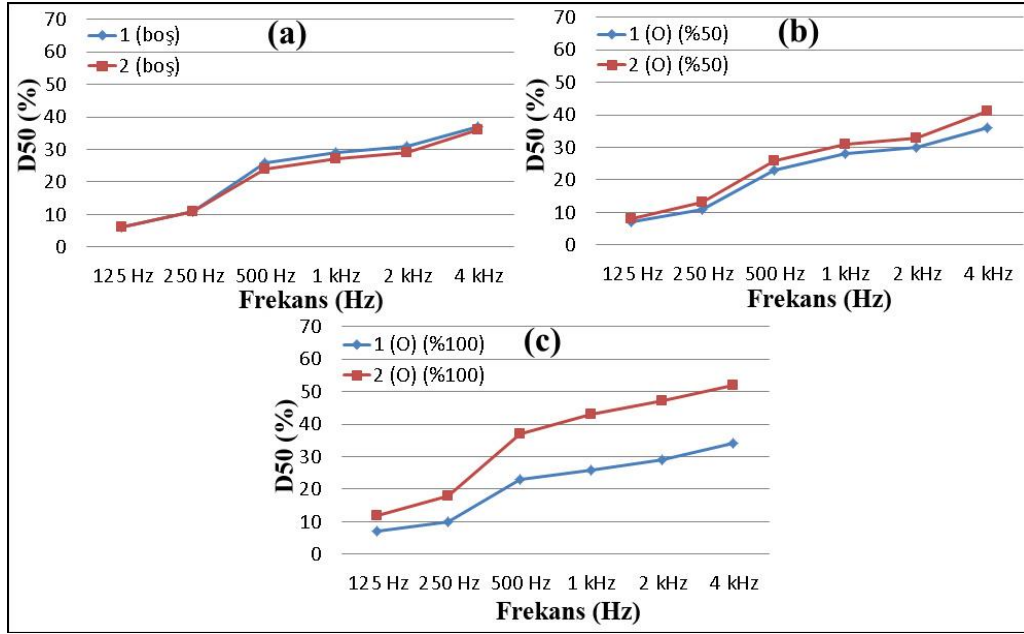
Şekil 204. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii Ortalama D50 değerleri

Alıcı 1 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen D50 parametresi sonuçları ses kaynağı konumlarına göre incelendiğinde, değerler arasındaki farklar Alıcı 1 sonuçlarında daha yüksek düzeyde meydana gelmiştir. Alıcı 1 için namaz modu değerleri her durumda daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. Alıcı 4 sonuçlarında ise, caminin boş olduğu durumda namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde iken doluluk oranının artmasıyla vaaz modu değerleri de artarak namaz modu değerlerinden daha yüksek düzeylerde elde edilmiştir (Şekil 205, Şekil 206).

Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır. Alıcı noktalar ile ses kaynağı konumları arasında maddesel engel bulunmasından ve alıcı noktaların ses gölgesinde kalmasından dolayı ODEON Version 10.1 programı C80 parametresine ait sonuçları doğru olarak hesaplayamamıştır (Christensen, 2009).



Şekil 205. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



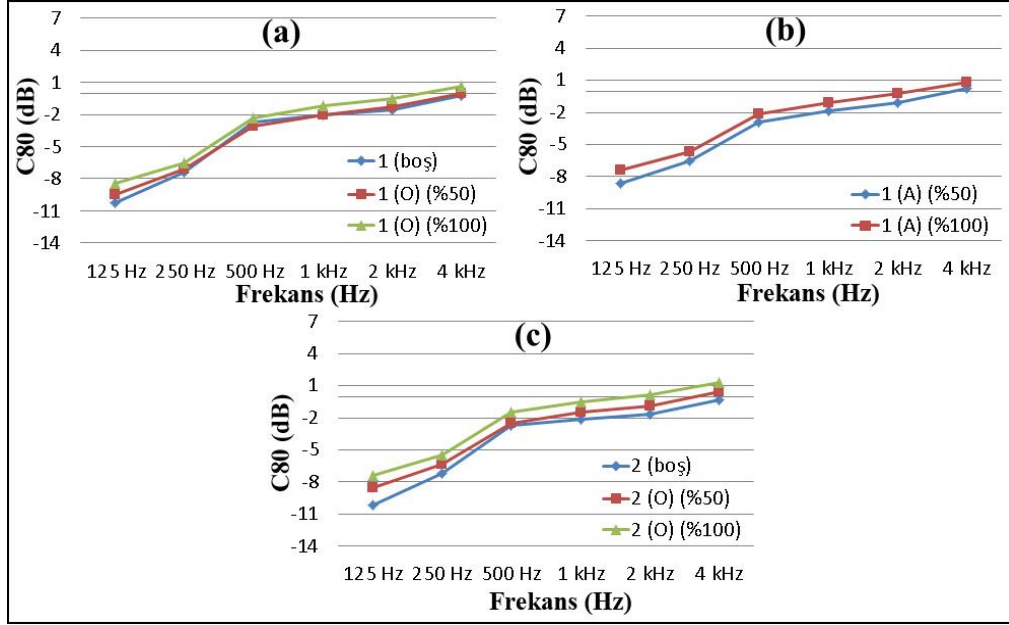
Şekil 206. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-D50 değerleri

3.10.4. Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen C80 Değerlerinin Analizleri

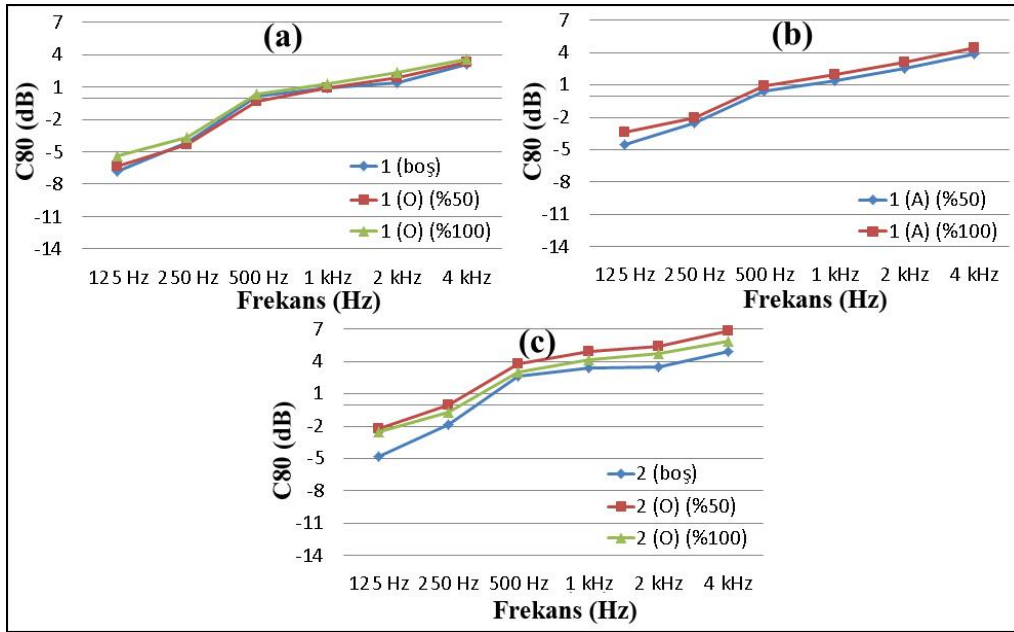
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 207’de yer almaktadır. Önerilen optimum C80, -4dB +4dB değer aralığındadır (Tablo 22). Sonuçlara göre, C80 değerleri orta frekanslarda optimum aralıkta ve optimum değer aralığının alt sınırına yakın düzeylerde elde edilmiştir. Doluluk oranının artışıyla C80 değerleri de yükselmiştir. En düşük C80 değeri -2,55dB ile caminin %50 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu namaz modunda, en yüksek C80 değerleri ise -1dB ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 207).

Alıcı 1 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen C80 parametresi değerleri doluluk oranına göre incelendiğinde, orta frekanslarda en yüksek C80 değeri 4,35 ile Alıcı 1, en düşük C80 değeri ise -2,5 ile Alıcı 4’te elde edilmiştir. Alıcı 1 için elde edilen değerler, noktanın ses kaynaklarına daha yakın olması sebebiyle Alıcı 4 sonuçlarından daha yüksek düzeyde oluşmuştur (Şekil 208, Şekil 209).

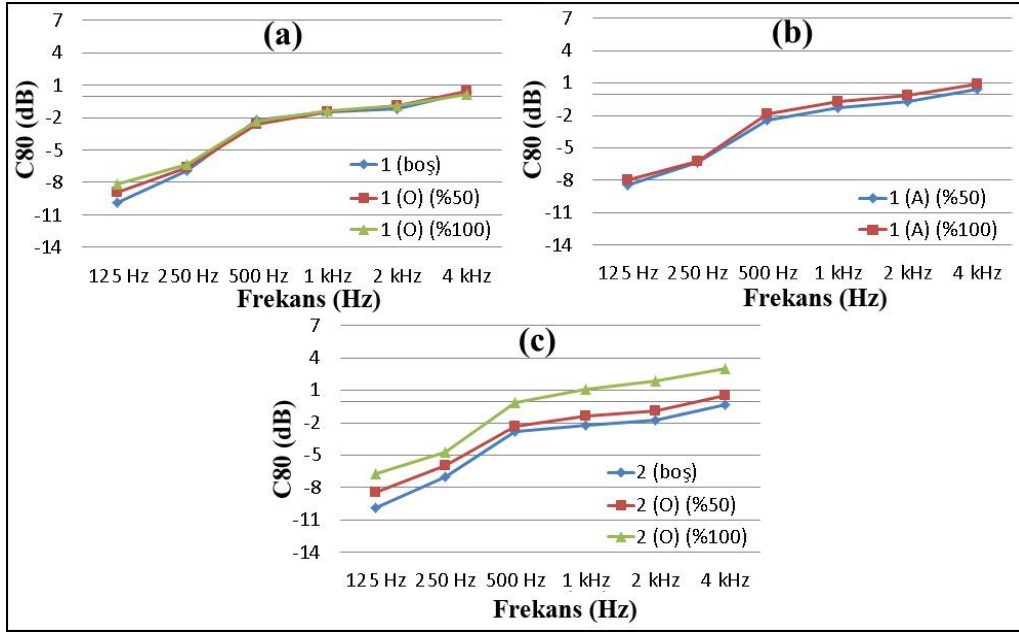
Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır. Alıcı noktalar ile ses kaynağı noktaları arasında maddesel engel bulunmasından ve alıcı noktaların ses gölgesinde kalmasından dolayı ODEON Version 10.1 programı C80 parametresine ait sonuçları doğru olarak hesaplayamamıştır (Christensen, 2009).



Şekil 207. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama C80 değerleri



Şekil 208. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-C80 değerleri

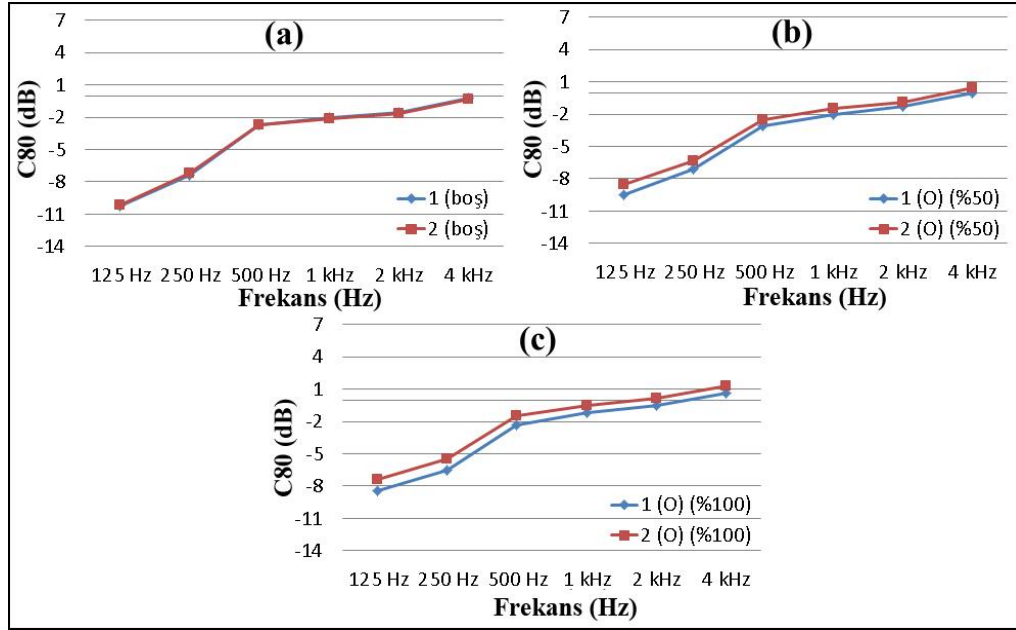


Şekil 209. Doluluk oranlarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-C80 değerleri

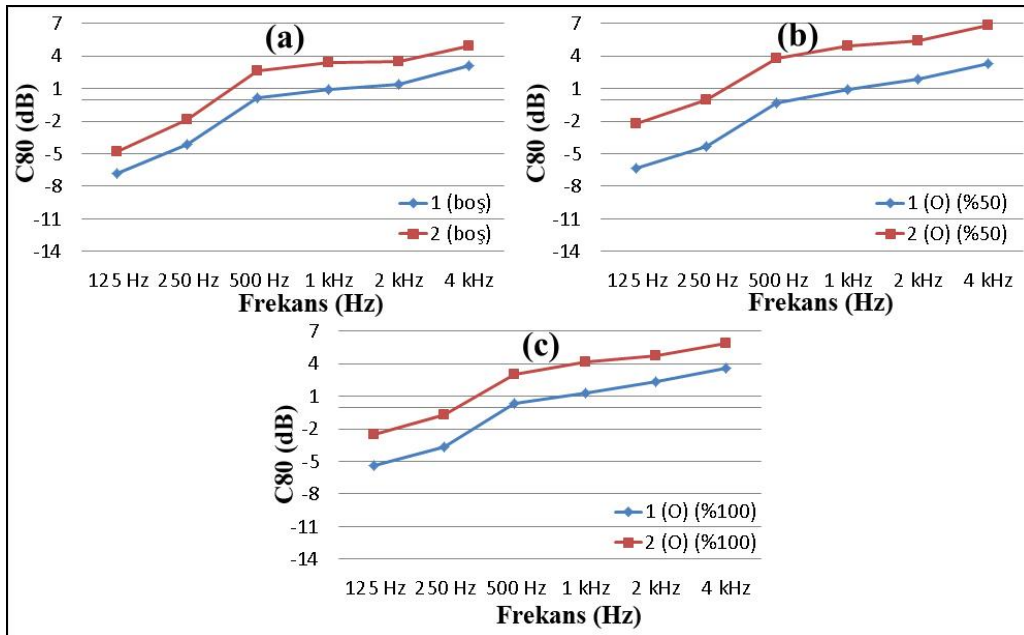
Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen ortalama C80 sonuçlarının ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri Şekil 210'da yer almaktadır. Caminin boş olduğu durumda değerler birbirine çok yakın düzeylerde elde edilirken, doluluk oranının artışıyla birlikte aralarındaki farklar da daha yüksek düzeylerde elde edilmiştir. Değerler arasında farklılıkların olduğu tüm durumlarda vaaz modu değerleri namaz modu değerlerinden daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 210).

Alıcı 1 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen C80 parametresi sonuçlarının doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasındaki farklar Alıcı 1 için elde edilen sonuçlarda daha yüksek düzeyde meydana gelmiştir. Alıcı 1 sonuçlarında her durumda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. Alıcı 4 sonuçlarında ise, boş durumda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde iken doluluk oranının artışıyla namaz modu değerleri vaaz modu değerlerinin üzerine çıkmıştır (Şekil 211, Şekil 212).

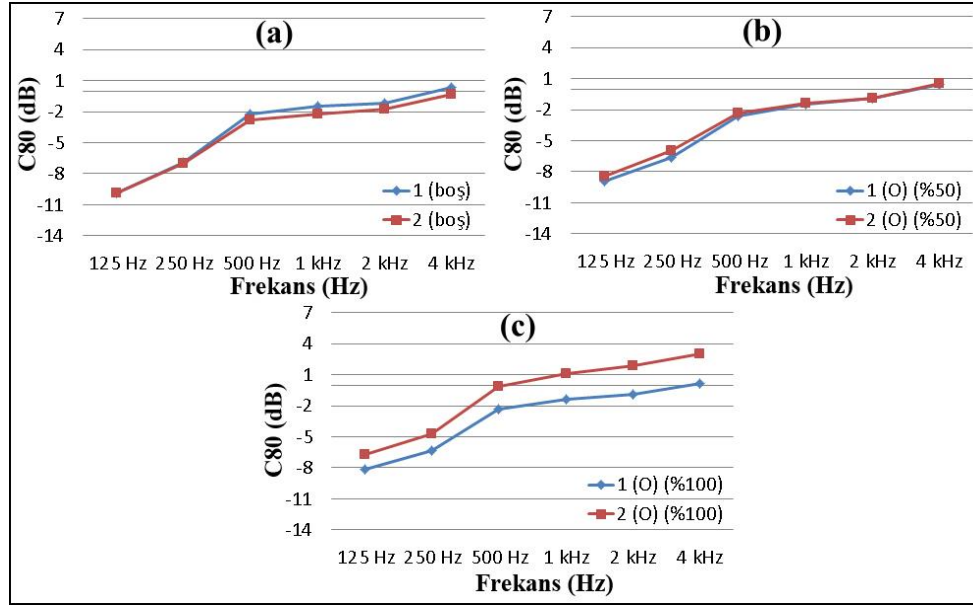
Alıcı 2 ve Alıcı 3 için ölçülen D50 değerleri, ses kaynaklarıyla aralarındaki ses perdelerinden dolayı hatalı olarak ölçüldüğü için değerlendirilmemiştir.



Şekil 210. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii ortalama C80 değerleri



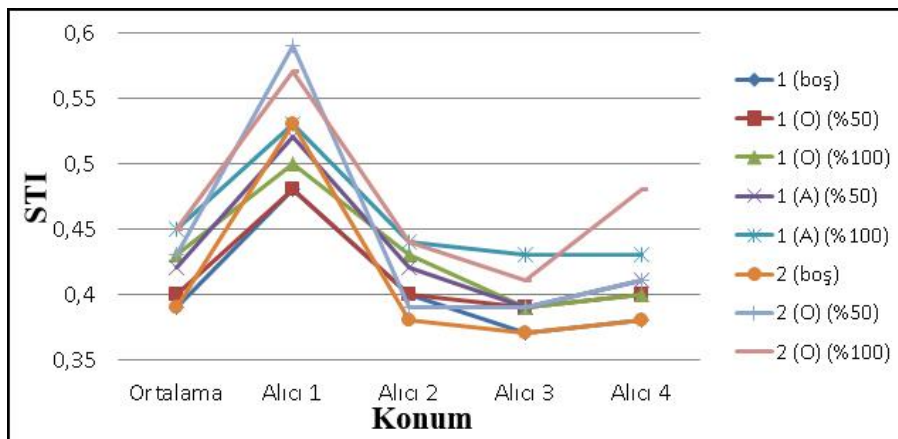
Şekil 211. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 122. Ses kaynağı noktalarına göre Mehmet Akif Ersoy Camii-Alıcı 4-C80 değerleri

3.10.5. Mehmet Akif Ersoy Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri

Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen STI değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 213'te yer almaktadır. Önerilen optimum STI değerleri $\geq 0,45$ 'tir (Tablo 22). En yüksek STI değeri 0,59 ile Alıcı 1'de, en düşük STI değeri ise 0,37 ile Alıcı 3'te elde edilmiştir. Ses kaynaklarına en yakın konumda olmasından dolayı Alıcı 1 için elde edilen değerler optimum düzeylerde oluşmuştur. Genel ortalama ve Alıcı 4 değerlerinin çoğunluğu, Alıcı 2 ve Alıcı 3 değerlerinin ise tümü optimum değerlerin altında kalmıştır (Şekil 213).



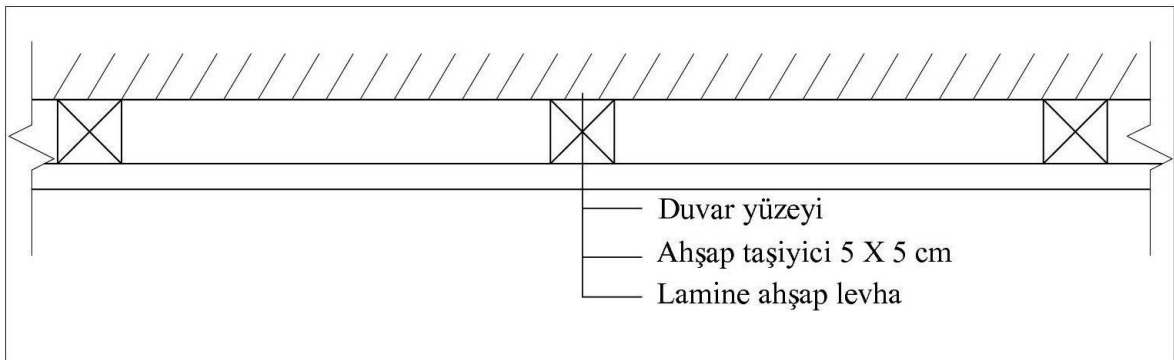
Şekil 213. Mehmet Akif Ersoy Camii STI değerleri

3.10.6. Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Önerisi

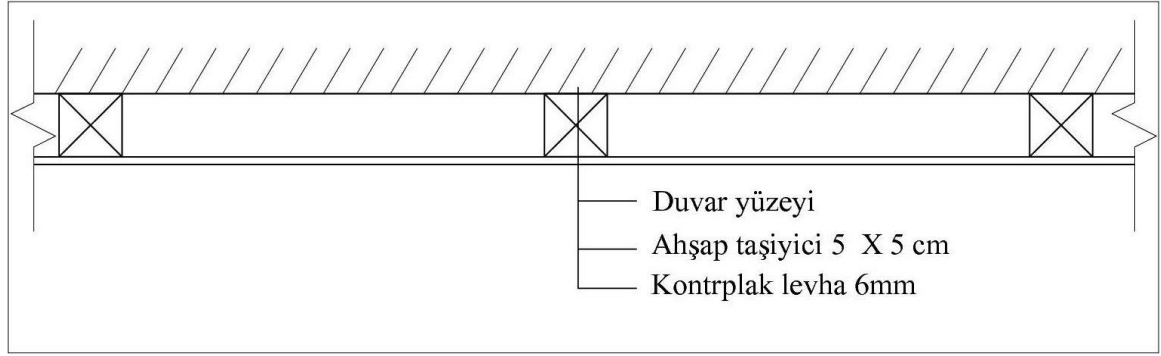
Mehmet Akif Ersoy Camii'nde tespit edilen başlıca sorunlar, frekans aralıklarında düzensiz olarak elde edilen T30 değeri ve EDT değerleri ile düşük düzeyde elde edilen D50 ve STI değerleridir. Yapılan düzenlemede mümkün olduğunca bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. Düzenlemede ana ibadet salonunun ön bölümlerinde erken yansımaların artırılması, orta bölümlerinde T30 değerinin frekans aralıklarındaki değerlerinin dengelenmesi, arka bölümlerinde ise geç yansımaların azaltılması amaçlanmıştır.

Erken yansımaları artırmak için kible duvarındaki seramik kaplı alan genişletilmiştir. Bunun dışında ön kolonlar ve ön kolonları duvara bağlayan kemerlerin mihraba dönük yüzleri de seramik ile kaplanmıştır. T30 değerlerinin frekans aralıklarında daha dengeli dağılımını sağlamak için balkon katlarında arka kapıların bulunduğu küçük girintiler 5 cm boşluklu kontrplak, yan taraflarda duvarlar 5 cm boşluklu lamine ahşap, tavanlar ise 10 cm boşluklu alçıpan ile kaplanmıştır. Ana ibadet salonunun arka tarafındaki duvarlar ve her iki katın tavanlarındaki yüzeyler kontrplak ile kaplanmıştır. Bu şekilde geç yansımaların düşürülmesi ve frekans aralıklarında elde edilen T30 değerlerinin dengelenmesi amaçlanmıştır. Arka yarım kubbe, yan kubbeler ve balkon katının üzerindeki kubbeler 10 cm kalınlığında akustik sıva ile kaplanmıştır. Minber merdivenlerindeki halılar kaldırılarak kumaş yüzeyler azaltılmıştır.

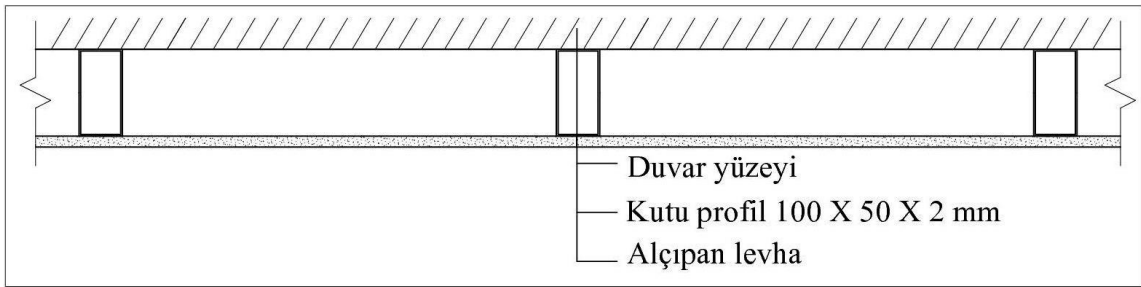
Yüzey kaplamalarında kullanılan lamine ahşap levhaların montaj detayı Şekil 214'te, kontrplak levhaların montaj detayı Şekil 215'te, alçıpan levhaların montaj detayı ise Şekil 216'da yer almaktadır.



Şekil 214. Lamine ahşap levha kaplama detayı

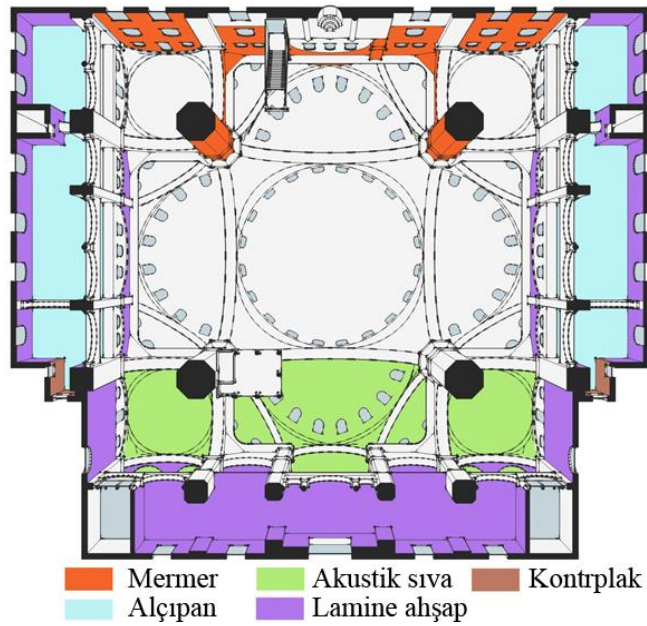


Şekil 215. Kontrplak kaplama detayı

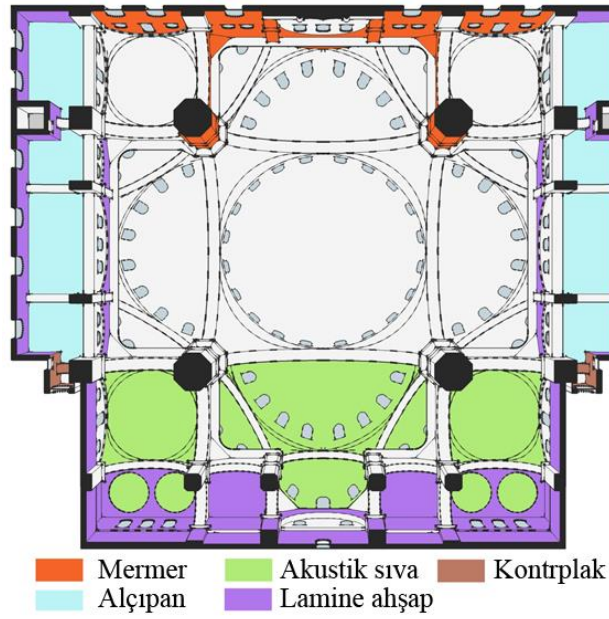


Şekil 216. Alçıpan kaplama detayı

Düzenleme sırasında malzemesi değiştirilen yüzeyler Şekil 217 ve Şekil 218’de, değiştirilen yüzeylere ait ses yutma katsayıları ise Tablo 27’de yer almaktadır.



Şekil 217. Mehmet Akif Ersoy Camii akustik düzenleme önerisi



Şekil 218. Mehmet Akif Ersoy Camii akustik düzenleme önerisi

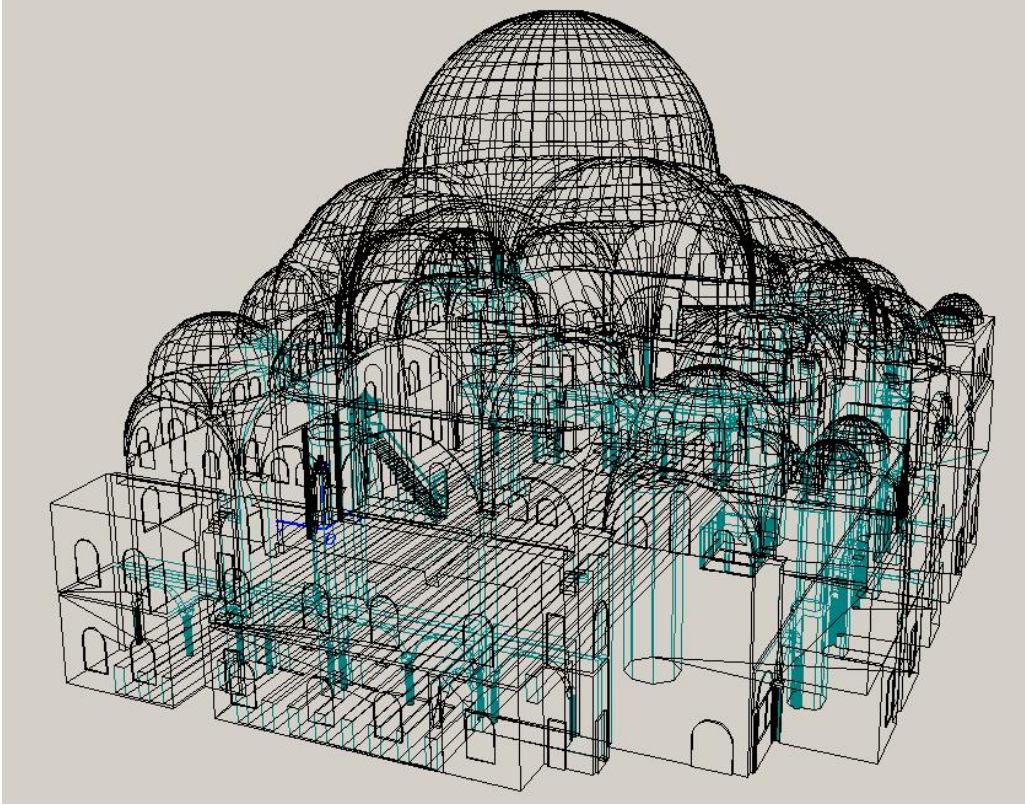
Tablo 27. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve önerilen malzemelere ait ses yutma katsayıları

| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme | Önerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|--|----------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Ön duvardaki sıva yüzeyler | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 2 | Yan duvarlar | Sıva | Lamine ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| | 3 | Arka duvarlar | Sıva | Lamine ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| | 4 | Balkon kapı önü girinti | Sıva | Kontrplak | (URL-15, 2015) | 0,63 | 0,42 | 0,35 | 0,12 | 0,08 | 0,08 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 5 | Ön kemerlerin minbere bakan yüzleri | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 6 | Yan tavanlar (her iki kat) | Sıva | Alçıpan | (URL-16, 2015) | 0,41 | 0,28 | 0,15 | 0,06 | 0,05 | 0,02 |
| | 7 | Arka yarım kubbe, köşe kubbeler, arka balkon üstü kubbeler | Sıva | Akustik sıva | (URL-15, 2015) | 0,27 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,33 | 0,04 |

Tablo 27'nin devamı

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---------------|------|--------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 8 | Arka tavanlar | Sıva | Lamine ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| Diğer yüzeyler | 9 | Ön kolonlar | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |

Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan cami modeli ODEON 10.1 programına aktarılmıştır. Yeni malzemeler atandıktan ve diğer veriler işleme dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyon modeli Şekil 219'da yer almaktadır.

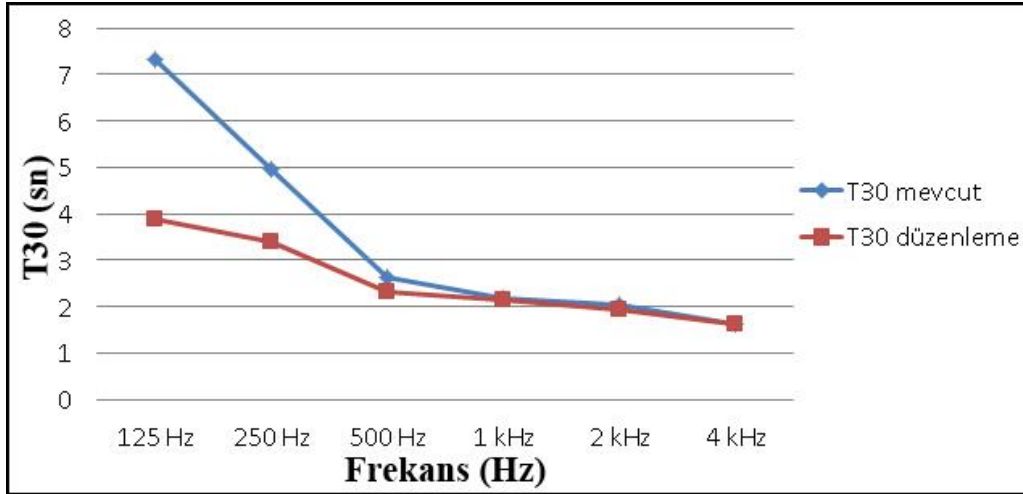


Şekil 219. Mehmet Akif Ersoy Camii simülasyonu

3.11. Mehmet Akif Ersoy Camii Dzenleme Sonuçları

3.11.1. Mehmet Akif Ersoy Camii Dzenleme Sonrası T30 Sonuçları

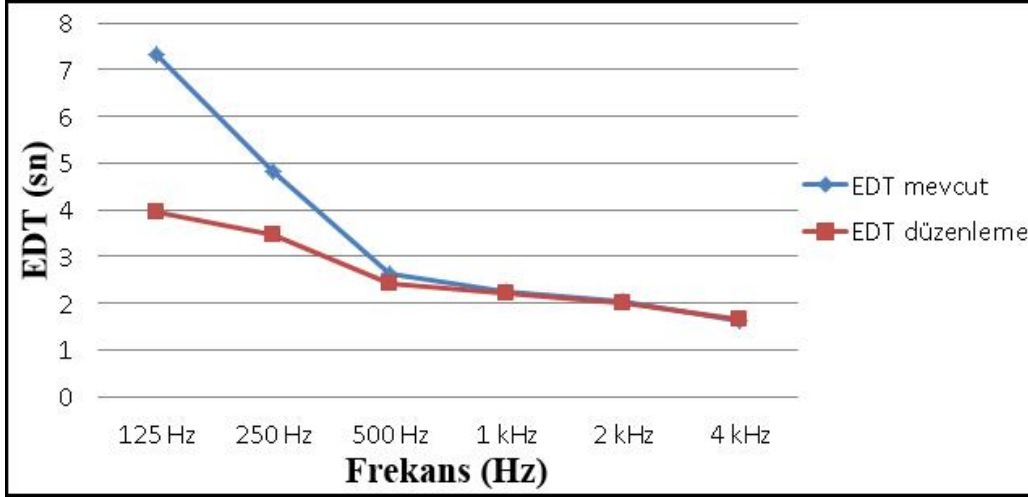
Akustik dzenleme öncesinde ve sonrasında Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen T30 değerleri Őekil 220’de yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 2,40 sn’den 2,22 sn’ye dūŐmūŐtur. Mevcut durumda ve dzenleme sonrasında T30 değeri optimum dzeylelerde (2,16sn – 2,64sn) elde edilmiŐtir. Yapılan malzeme deęiŐiklięi ile T30 değerlerinin frekans aralıklarındaki dağılımları daha dzenli hale gelmiŐtir.



Şekil 220. Akustik dzenleme sonrası T30 değerlerinin değişimi

3.11.2. Mehmet Akif Ersoy Camii Dzenleme Sonrası EDT Sonuçları

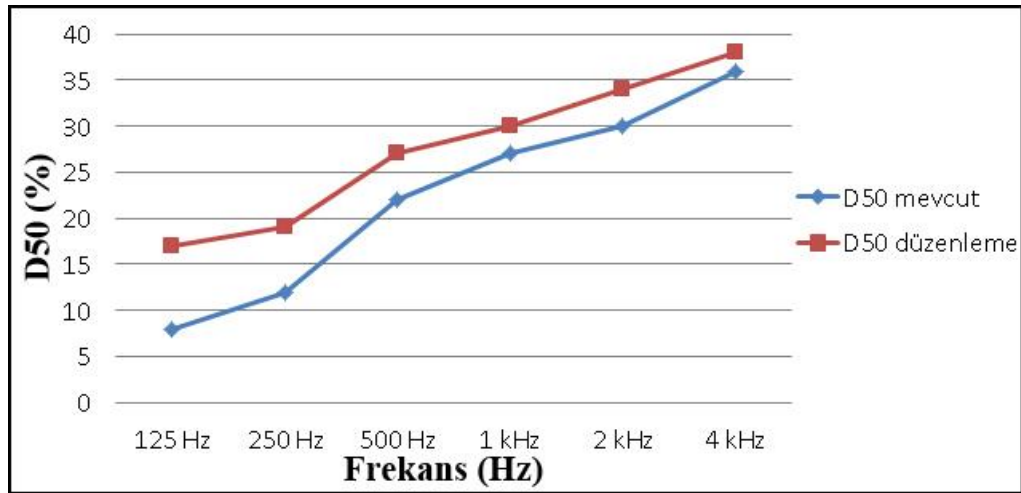
Akustik dzenleme öncesi ve sonrasında Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen EDT deęerleri Őekil 221’de yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında orta frekanslardaki EDT deęerleri ortalaması 2,45 sn’den 2,31 sn’ye dūŐmūŐtur. EDT deęerleri optimum dzeylelerin (2,35 sn-2.88 sn) altına dūŐmūŐ, fakat T30 deęerinden daha yüksek dzeylelerde elde edilmiŐtir.



Şekil 221. Akustik düzenleme sonrası EDT değerlerinin değişimi

3.11.3. Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası D50 Sonuçları

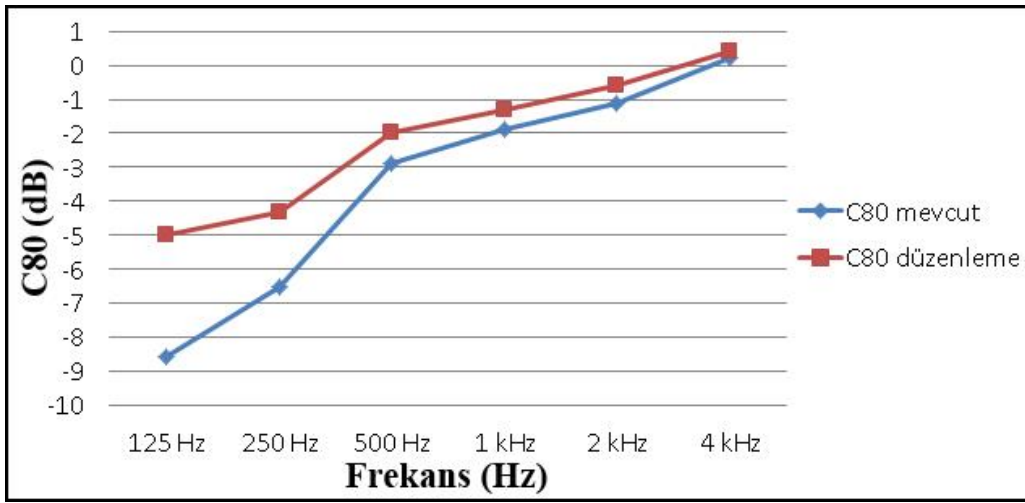
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 222’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında, orta frekanslardaki D50 değerlerinin ortalaması % 24,5’ten % 28,5’e yükselmiştir. D50 değerleri mümkün olduğunca optimum düzeylere (%30-%70) yaklaştırılmıştır.



Şekil 222. Akustik düzenleme sonrası D50 değerlerinin değişimi

3.11.4. Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası C80 Sonuçları

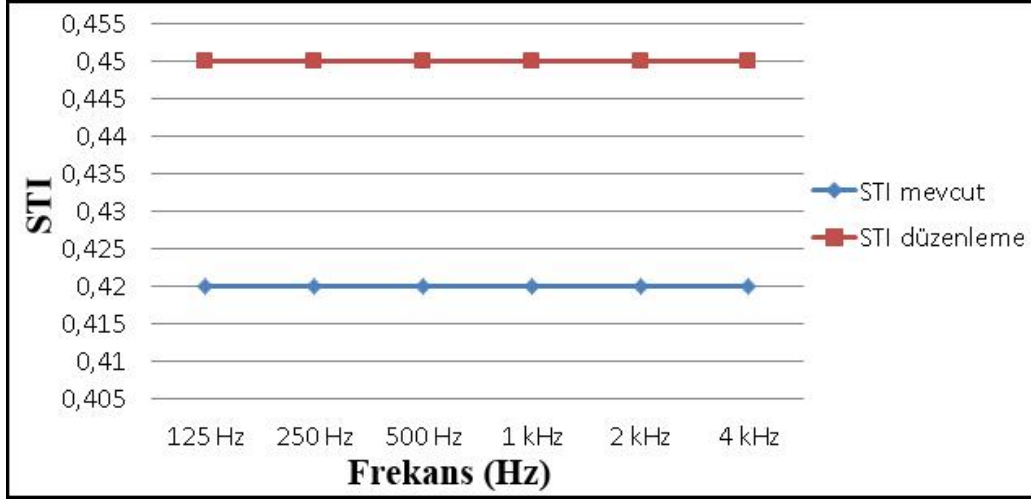
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen C80 değerleri Şekil 223'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki C80 değerlerinin ortalaması -2,4 dB'den -1,65 dB'e yükselmiştir. Her iki durumda da C80 parametresi sonuçları optimum düzeylerde (-4 dB +4dB) elde edilmiştir. Düzenleme sonrasında orta frekanslardaki değerler optimum aralığın merkezine belirli bir düzeyde yaklaştırılmıştır.



Şekil 223. Akustik düzenleme sonrası D50 değerlerinin değişimi

3.11.5. Mehmet Akif Ersoy Camii Düzenleme Sonrası STI Sonuçları

Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Mehmet Akif Ersoy Camii için elde edilen STI değerleri Şekil 224'te yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında, T30 değerlerinin düşmesi ve D50 değerlerinin yükselmesiyle birlikte STI değerinin de yükselmiştir. STI değeri 0,42'den 0,45'e çıkmıştır. Bu artış STI değerinin optimum düzeyde ($\geq 0,45$) elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 224. Akustik düzenleme sonrası STI değerinin değişimi

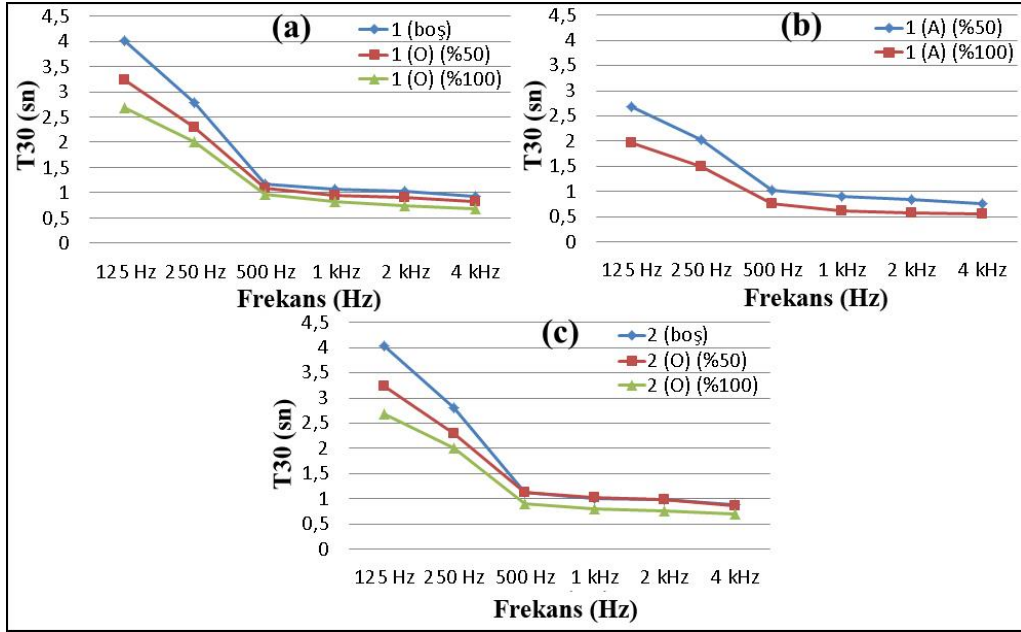
3.12. Yavuz Sultan Selim Camii Akustik Simülasyon Sonuçlarının Analizleri

3.12.1. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen T30 Değerlerinin Analizleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 225'te yer almaktadır. Yavuz Sultan Selim Camii'nin hacmi için önerilen optimum T30, 1,74sn – 2,12 sn değer aralığındadır (Tablo 22). Orta frekanslarda her durum için elde edilen T30 değerleri optimum değerlerin altında kalmıştır. Kişi başına düşen hacmin düşük değerde olması T30 değerlerinin orta frekanslarda çok düşük olmasına neden olmuştur.

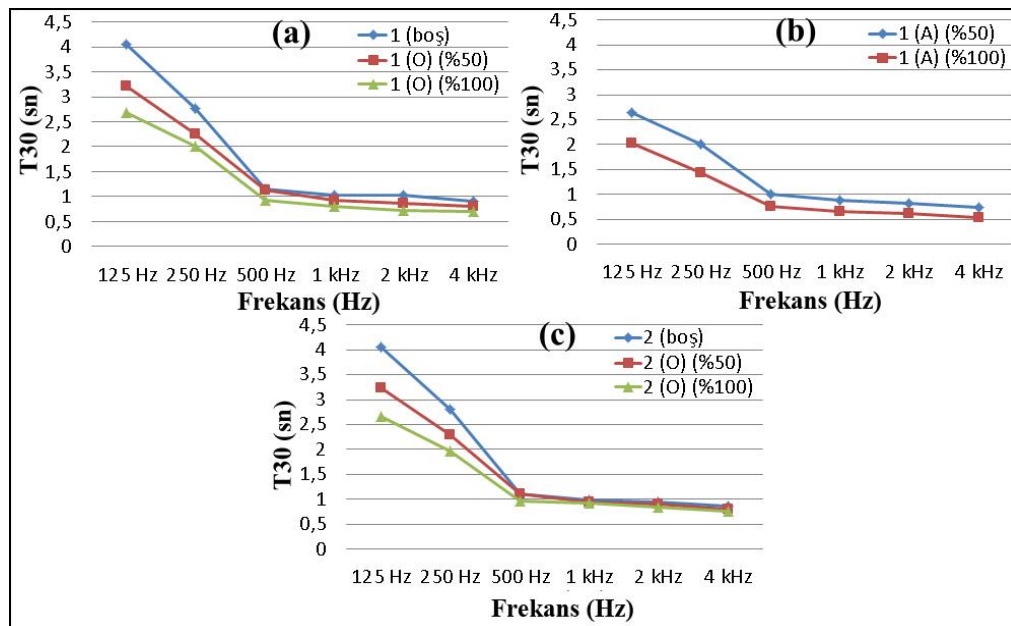
Halı ve kumaş yüzeylerde oktav bant frekans aralıklarındaki ses yutma katsayı değerlerinin değişim farklarının yüksek olmasından dolayı, alçak frekanslarda yüksek olan T30 değerleri orta ve yüksek frekanslarda çok düşük düzeyde elde edilmiştir.

Doluluk oranı azaldıkça T30 değerlerindeki artış özellikle alçak frekanslarda gözlenmekteyken orta ve yüksek frekanslarda daha sınırlı düzeyde kalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,12 sn ile caminin boş olduğu namaz modunda, en düşük T30 değeri ise 0,86 sn ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin oturma pozisyonunda olduğu vaaz modunda elde edilmiştir (Şekil 225).

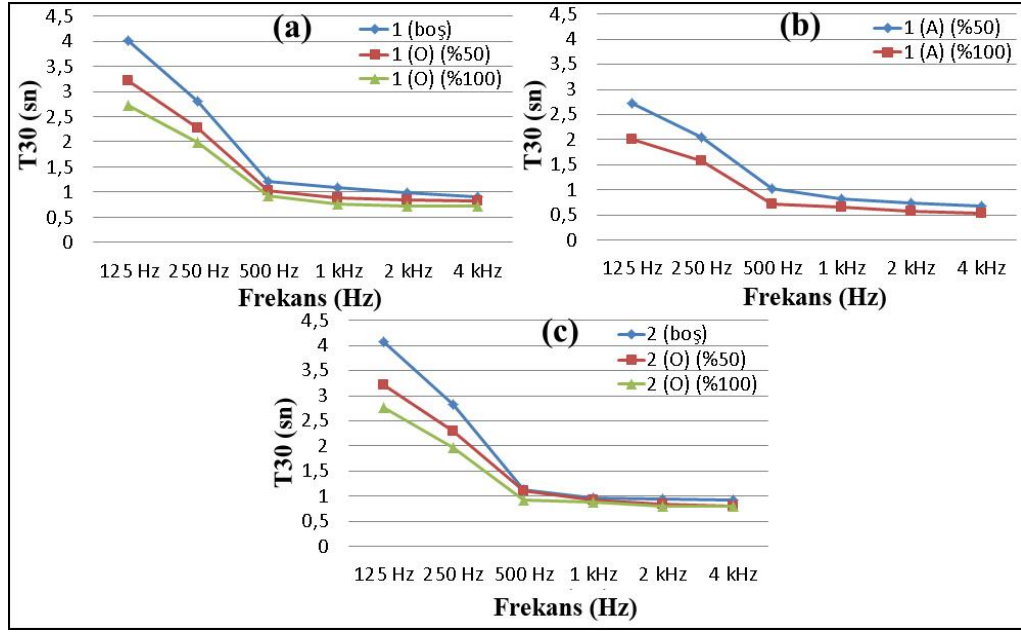


Şekil 225. Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre ortalama T30 değerleri

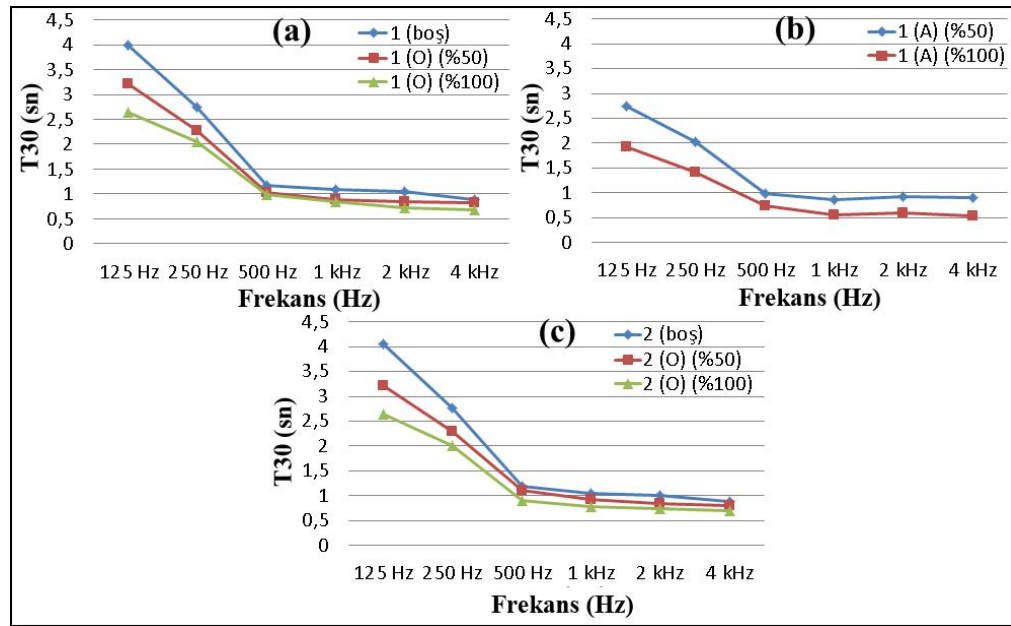
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen T30 değerleri doluluk oranına göre incelendiğinde, ses kaynaklarından uzaklaştıkça değerler arasında doluluk oranına göre oluşan farkların da belirli düzeyde arttığı ortaya çıkmaktadır. Orta frekanslarda en yüksek T30 değeri 1,18 sn ile, en düşük T30 değeri ise 0,62 sn ile Alıcı 4'te elde edilmiştir (Şekil 226, Şekil 227, Şekil 228, Şekil 229).



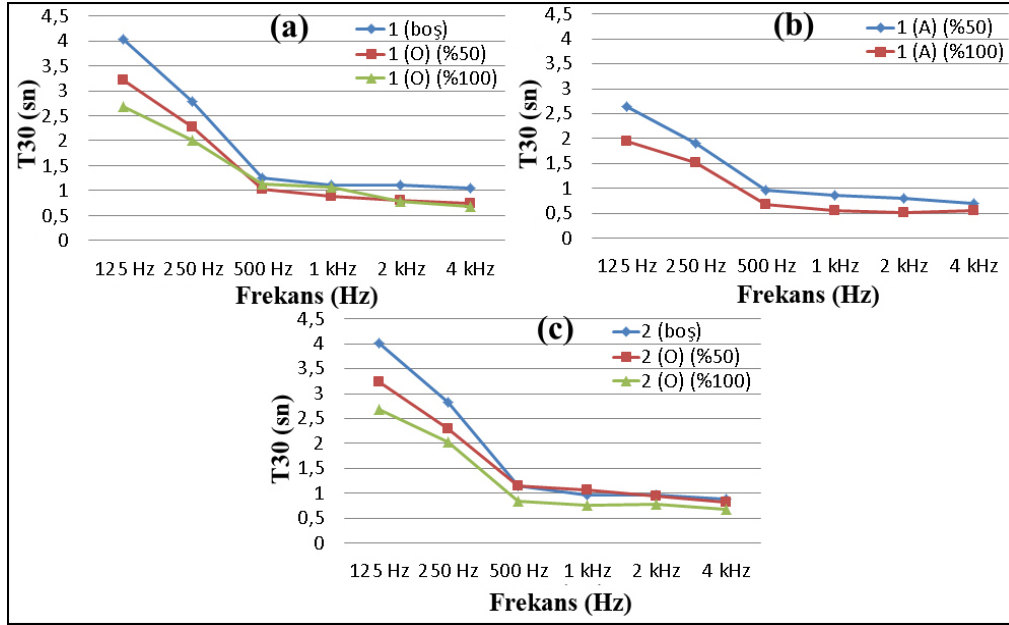
Şekil 226. Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 1 T30 değerleri



Şekil 227. Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 2 T30 değerleri



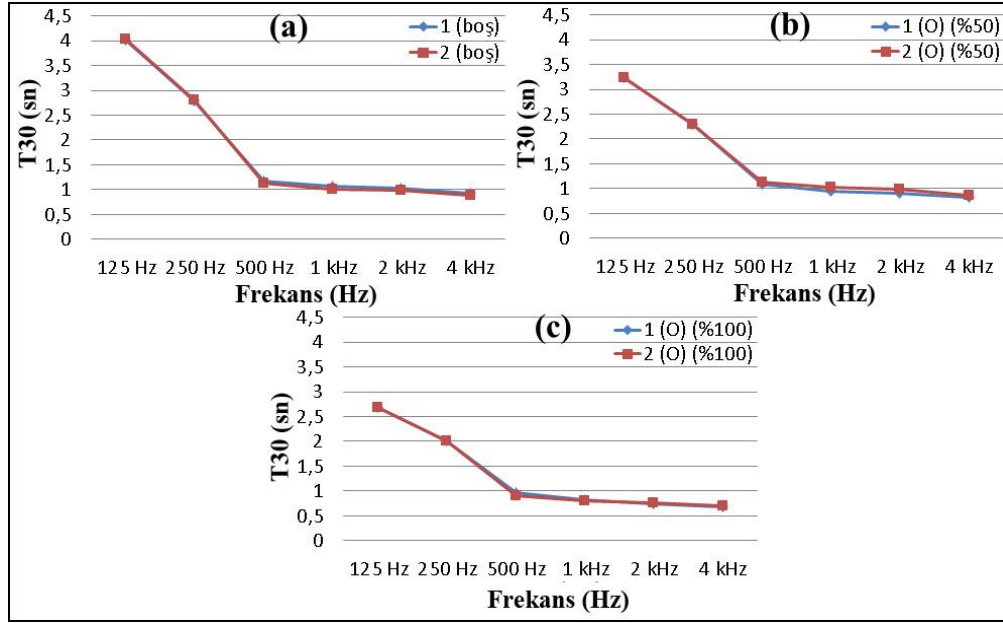
Şekil 228. Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 3 T30 değerleri



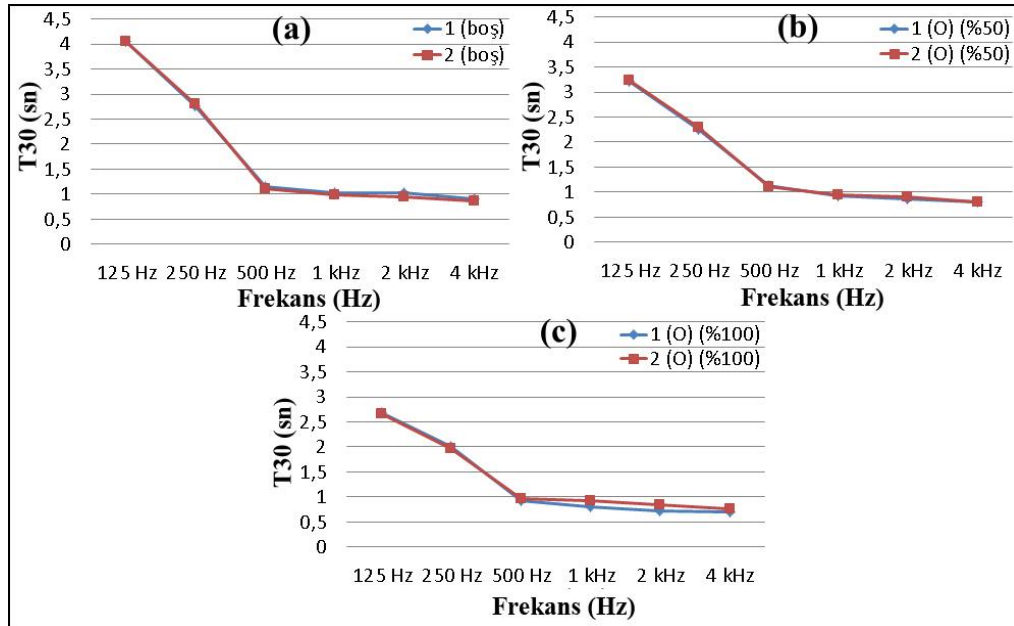
Şekil 228. Yavuz Sultan Selim Camii doluluk oranına göre Alıcı 4 T30 değerleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama T30 değerlerine ait değerlerin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 229'da yer almaktadır. Değerler arasında ses kaynağının konumuna bağlı olarak orta ve yüksek frekanslarda küçük farklar elde edilmiştir. Boş ve %100 doluluk oranında namaz modundaki değerler daha yüksek iken %50 dolulukta vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. Alçak frekanslarda hemen hemen eşit düzeylerde elde edilmiştir (Şekil 229).

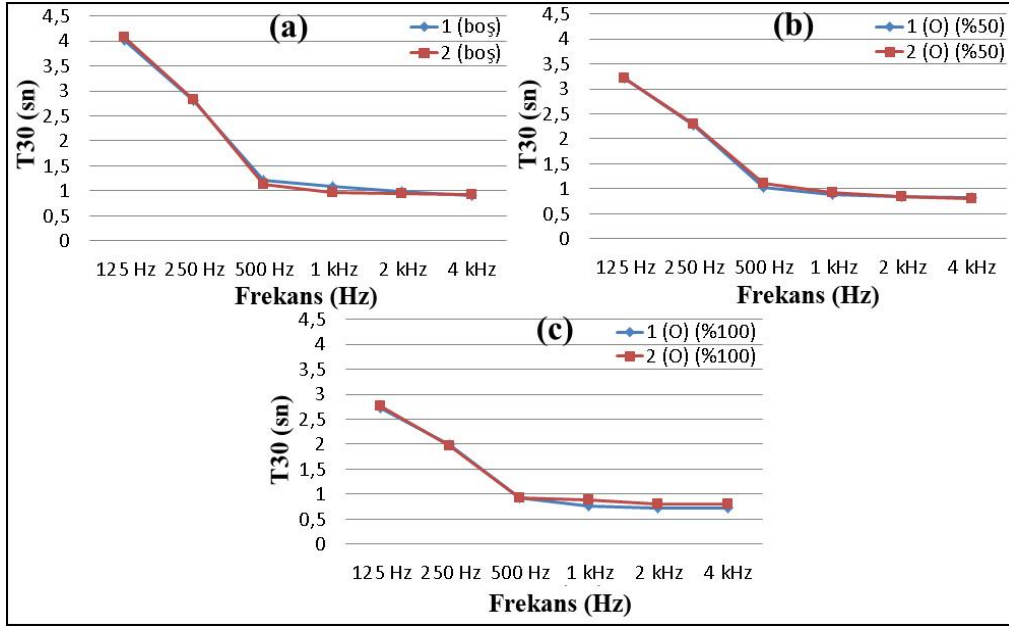
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen T30 değerlerinin ses kaynağı noktalarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında en yüksek fark Alıcı 4, en düşük fark ise Alıcı 1 için elde edilen sonuçlarda meydana gelmiştir. Alıcı 4 dışındaki noktalarda elde edilen değerlerdeki farklılıklar belirgin olmamıştır. Alıcı 4 için elde edilen sonuçlara göre orta ve yüksek frekanslarda caminin boş ve %100 dolulukta olduğu durumlarda namaz modu değerleri daha yüksek iken %50 dolu olduğu durumda vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde çıkmıştır (Şekil 230, Şekil 231, Şekil 232, Şekil 233).



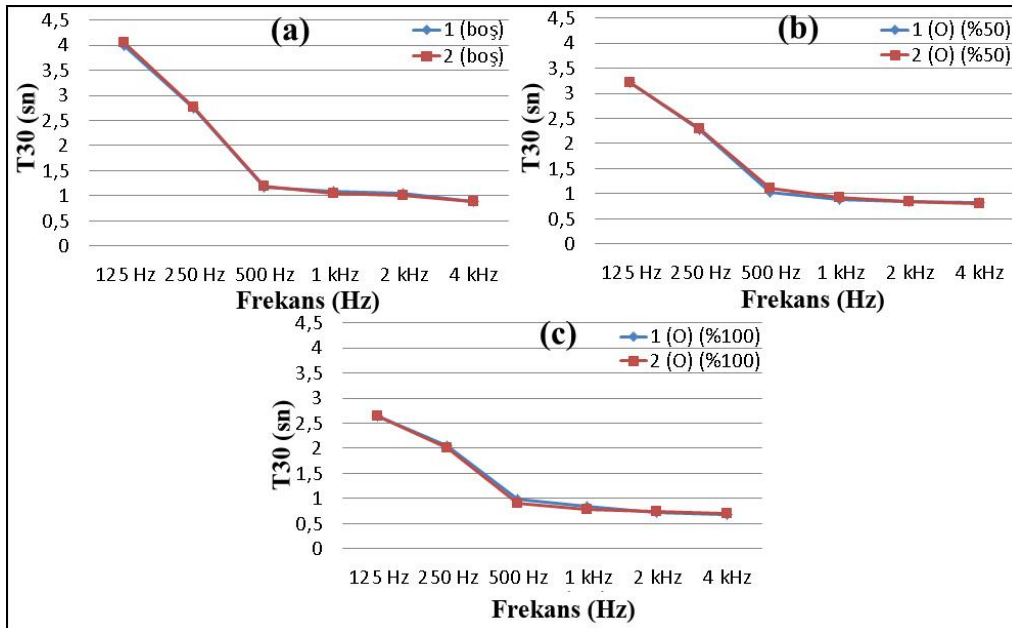
Şekil 230. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama T30 değerleri



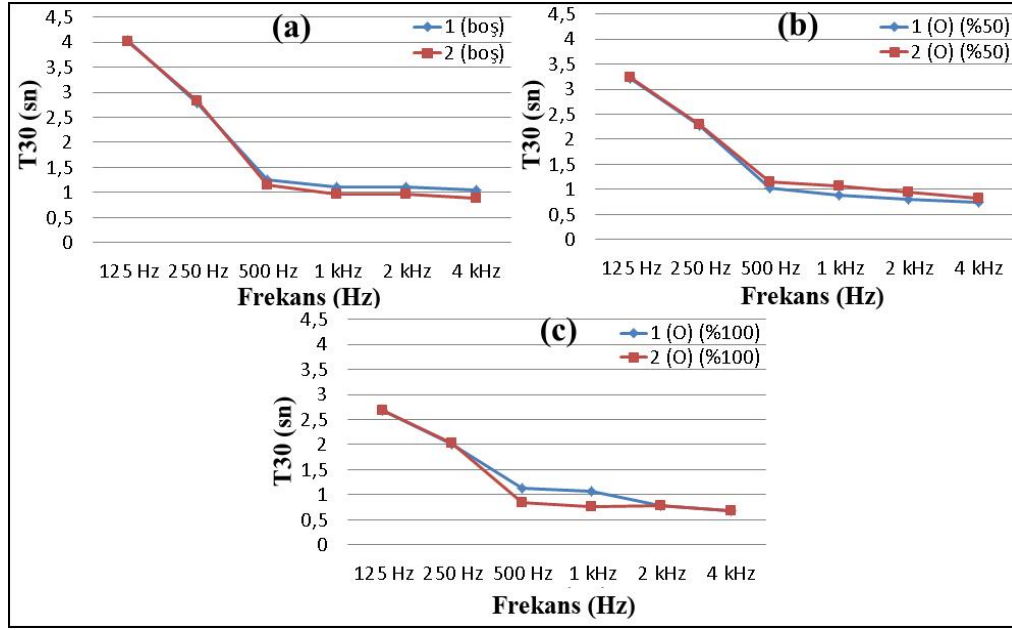
Şekil 231. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-T30 değerleri



Şekil 232. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-T30 değerleri



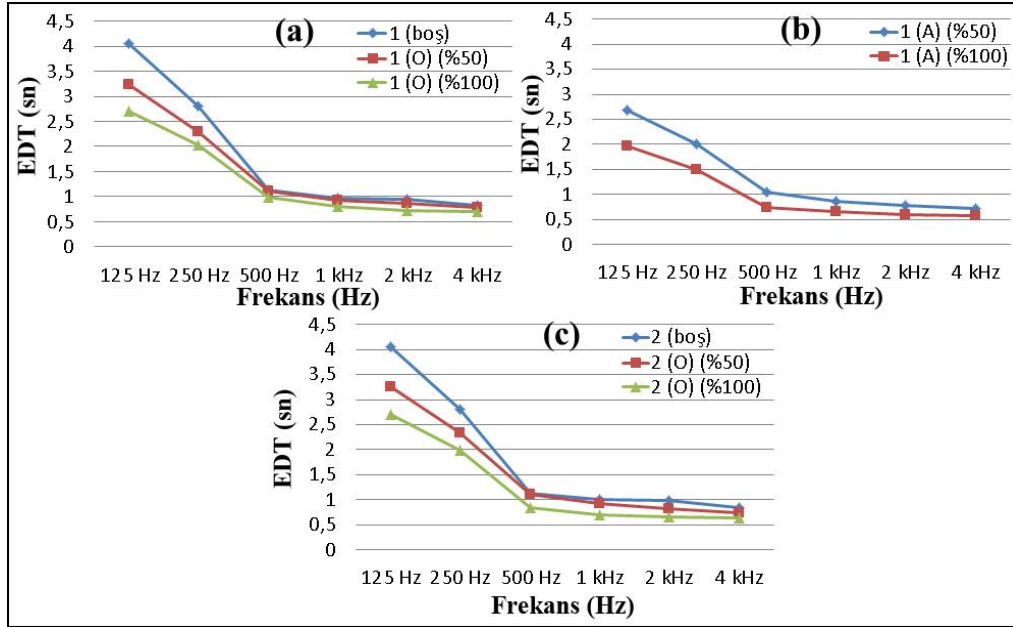
Şekil 233. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-T30 değerleri



Şekil 234. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-T30 değerleri

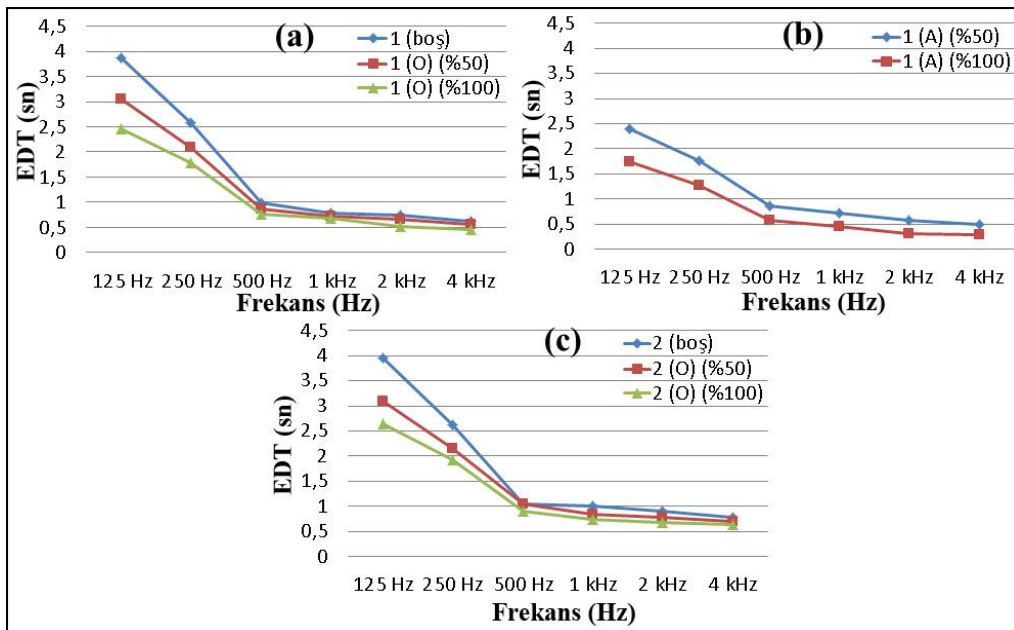
3.12.2. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen EDT Değerlerinin Analizleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama EDT sonuçlarının doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 235'te yer almaktadır. Yavuz Sultan Selim Camii'nin hacmi için önerilen optimum EDT parametresi 1,89sn – 2,12 sn değer aralığındadır (Tablo 22). EDT değerleri genel olarak T30 değerlerinden daha düşük düzeylerde elde edilmiştir. Doluluk oranı arttıkça EDT değerlerinde de, T30 değerlerinde olduğu gibi alçak frekanslarda daha belirgin olmak üzere azalma meydana gelmiştir. Orta frekanslarda hiçbir durumda optimum değerler elde edilememiş, tüm durumlarda mevcut değerler optimum değerlerin altında kalmıştır. Orta frekanslarda en yüksek EDT değeri 1,06 sn ile caminin boş olduğu vaaz modunda, en düşük EDT değeri ise 0,70 sn ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 235).

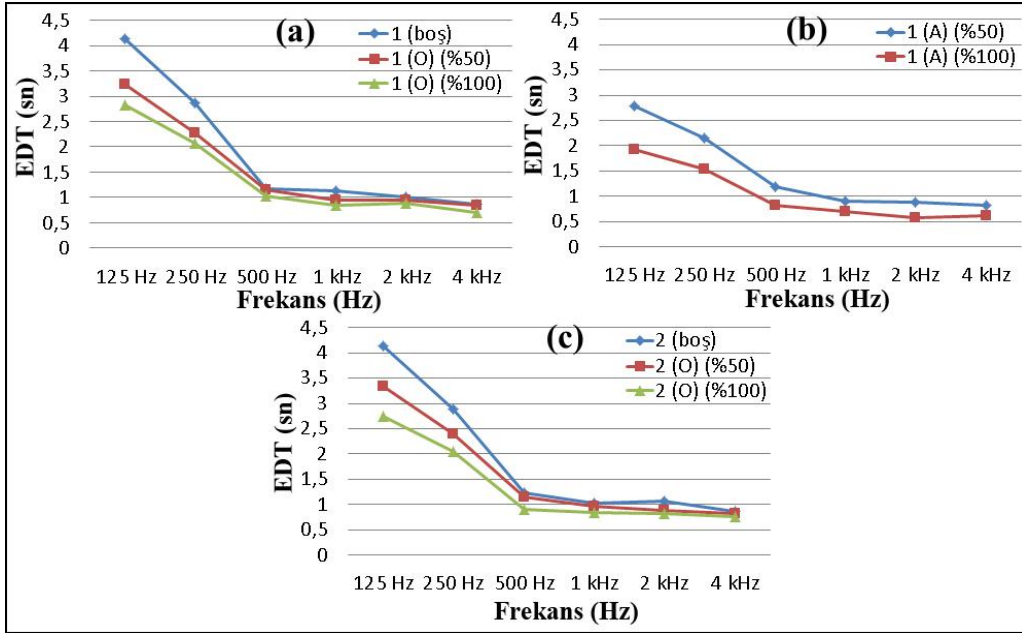


Şekil 235. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama EDT değerleri

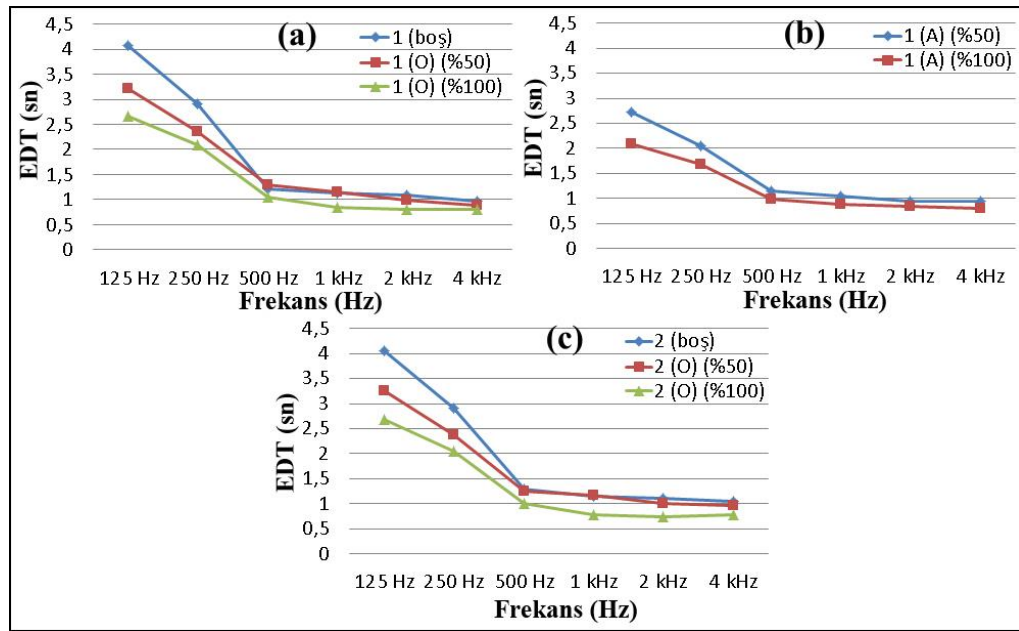
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen EDT parametresi sonuçlarının doluluk oranlarına göre oluşturulan grafiklerde, en yüksek EDT değeri 1,23 sn ile Alıcı 3, en düşük EDT değeri ise 0,51 sn ile Alıcı 1'de elde edilmiştir (Şekil 237, Şekil 238, Şekil 239).



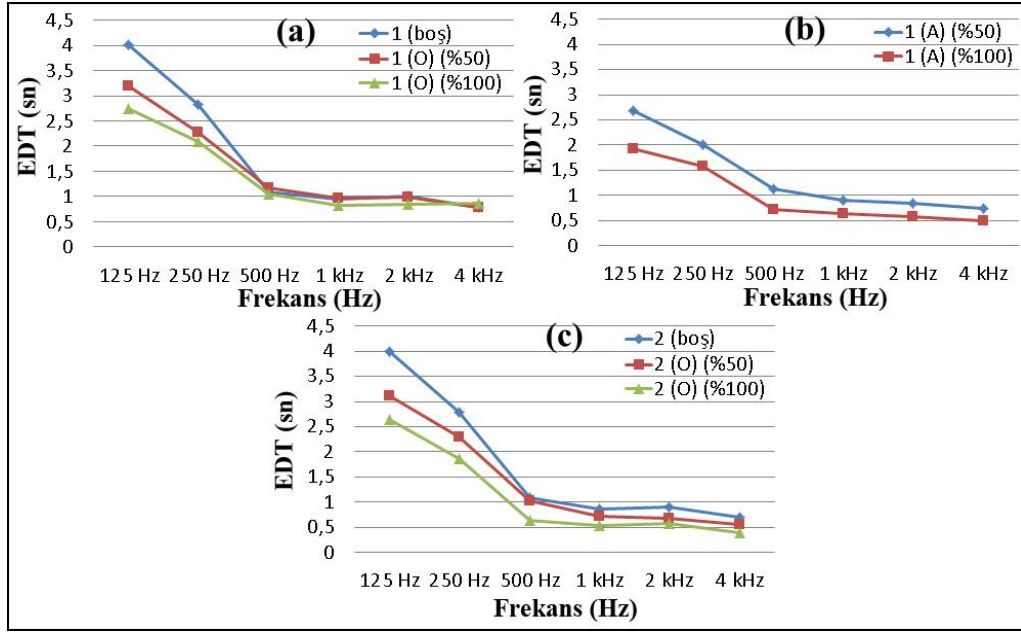
Şekil 236. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 237. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 2-EDT değerleri



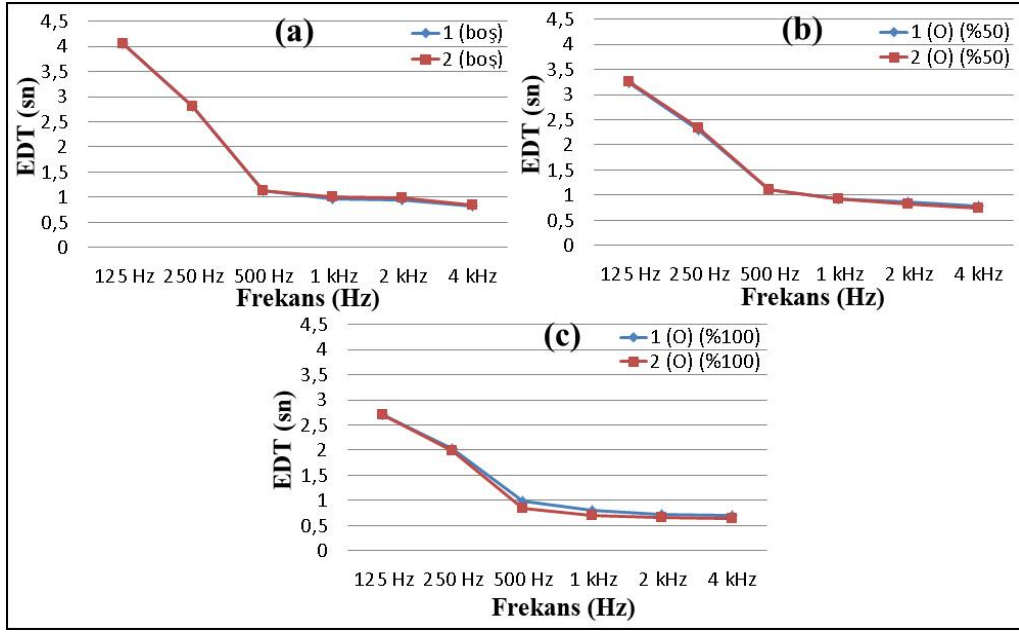
Şekil 238. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 3-EDT değerleri



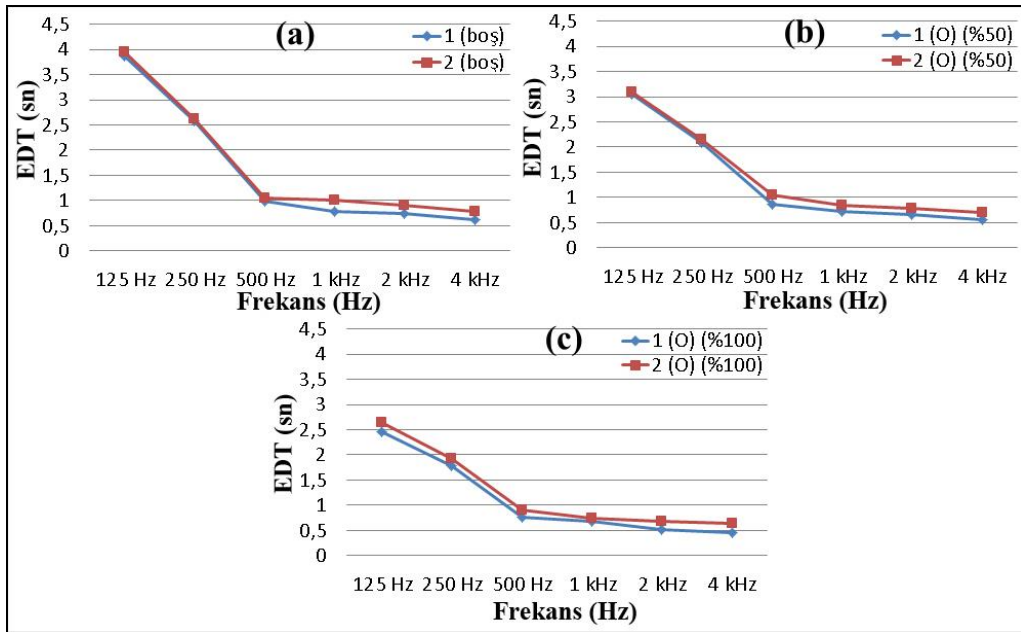
Şekil 239. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-EDT değerleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama EDT değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 240'ta yer almaktadır. Değerler arasındaki farklar boş ve %50 doluluk durumlarında belirsiz düzeylerde elde edilmiş iken tam doluluk durumlarında daha belirgin olarak elde edilmiştir. Farkların belirgin olduğu %100 doluluk durumunda namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 240).

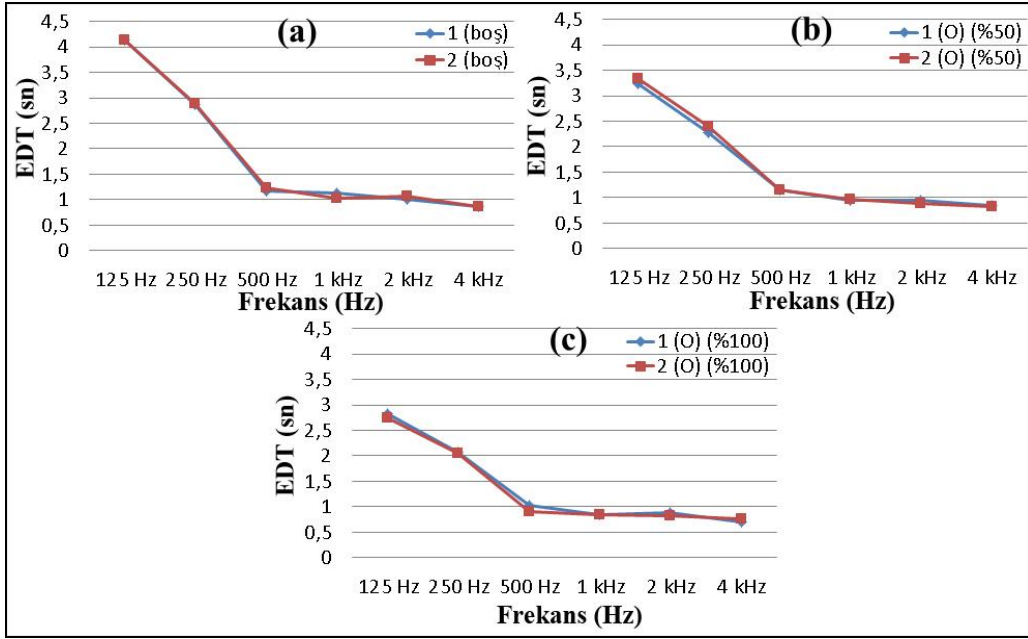
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen EDT parametresi sonuçlarının ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafiklerinde değerler arasında en yüksek fark Alıcı 4, en düşük fark ise Alıcı 3 sonuçlarında meydana gelmiştir. Alıcı 1 için elde edilen sonuçlarda vaaz modu, Alıcı 4 için elde edilen sonuçlarda ise vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde meydana gelmiştir. Alıcı 2 ve Alıcı 3 için elde edilen sonuçlarda değerler arasındaki farklar belirgin düzeyde olmamıştır (Şekil 241, Şekil 242, Şekil 243, Şekil 244).



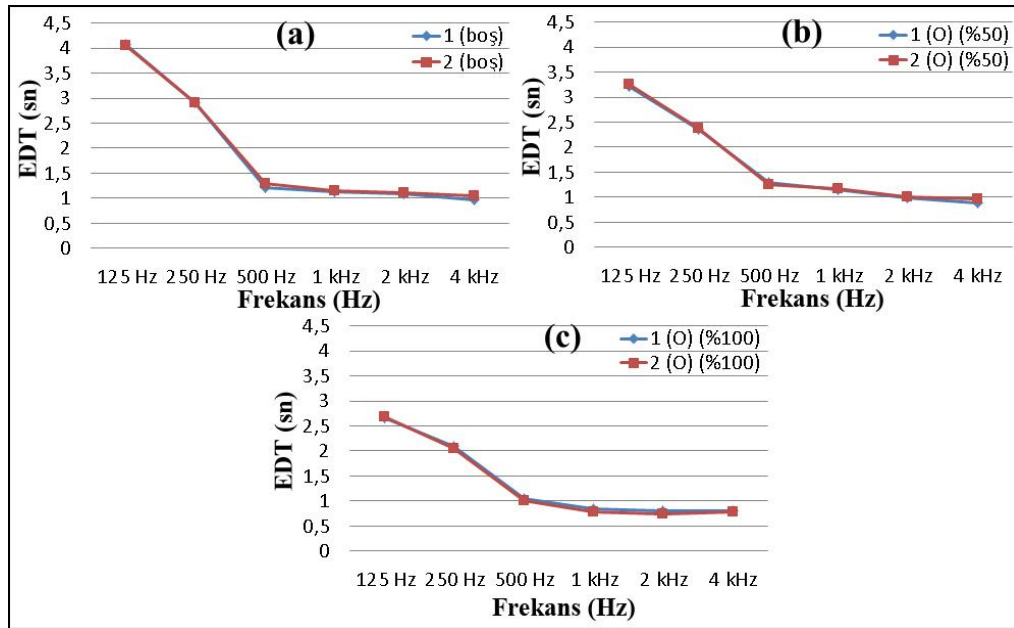
Şekil 240. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama EDT değerleri



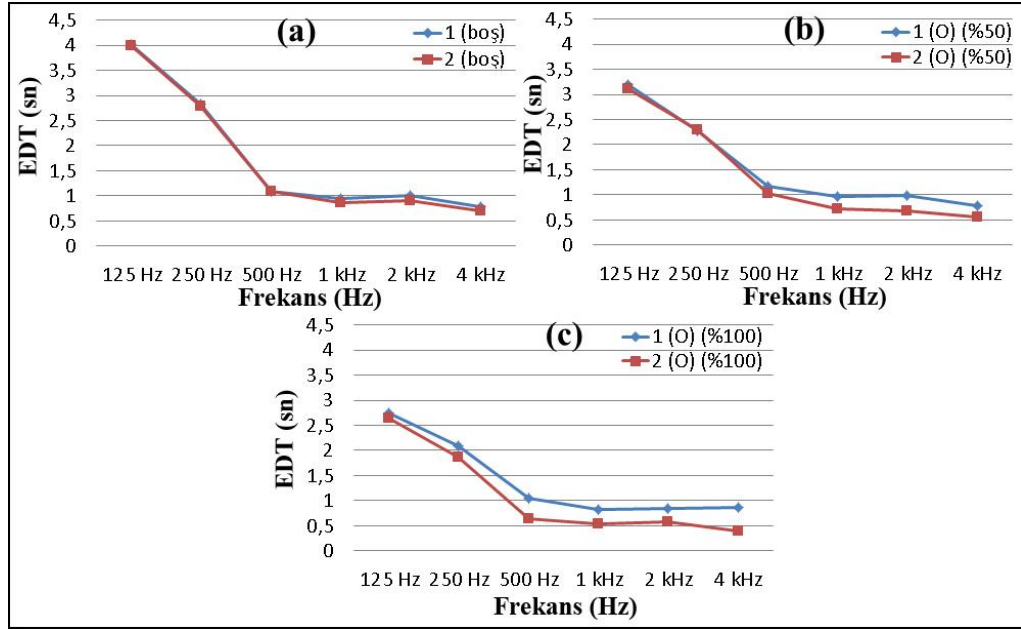
Şekil 241. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-EDT değerleri



Şekil 242. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-EDT değerleri



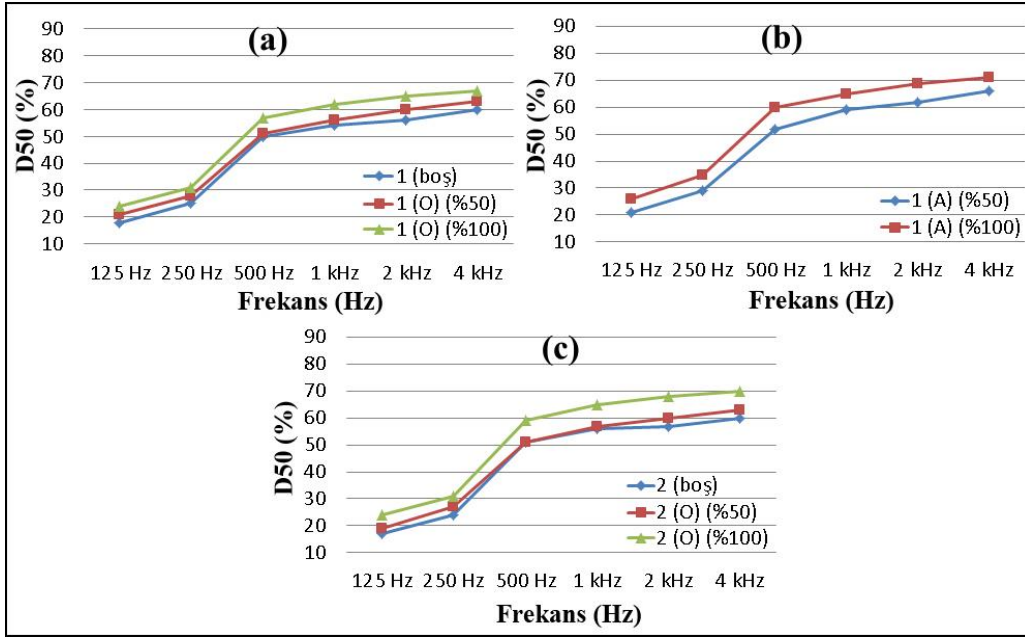
Şekil 243. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-EDT değerleri



Şekil 244. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 4-EDT değerleri

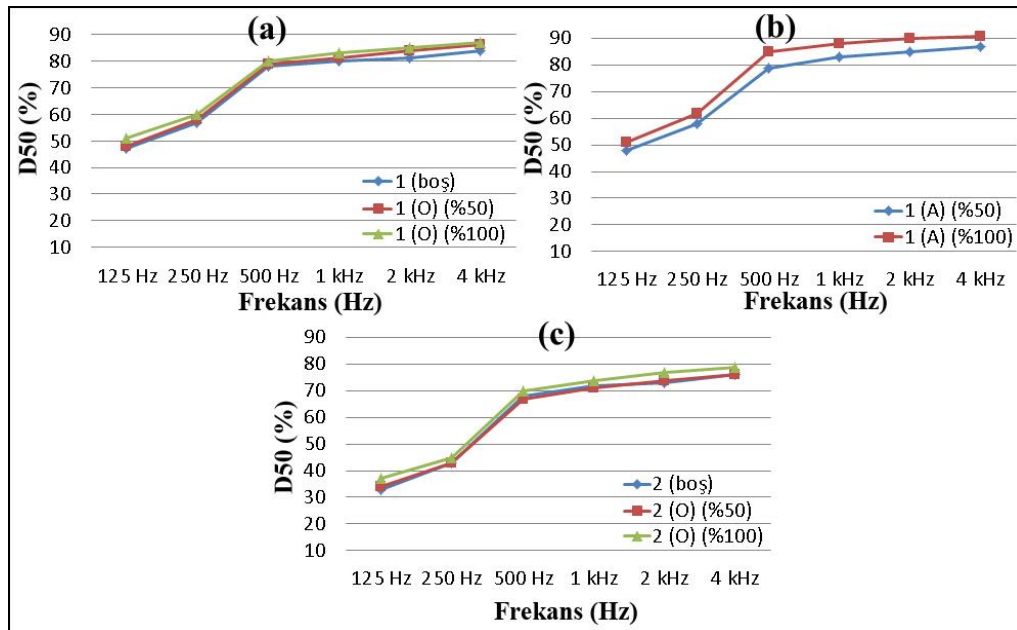
3.12.3. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 245'te yer almaktadır. Optimum D50 parametresi %30 - %70 değer aralığındadır (Tablo 22). D50 değerleri doluluk oranlarına göre incelendiğinde, orta frekanslarda bütün durumlarda değerler optimum aralıkta, optimum üst sınırına yakın olarak elde edilmiştir. Doluluk oranının artışıyla D50 değerleri de yükselmiştir. Orta frekanslarda en yüksek D50 değerleri %62,5 ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda, en düşük EDT değerleri ise %52 ile caminin boş olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 245).

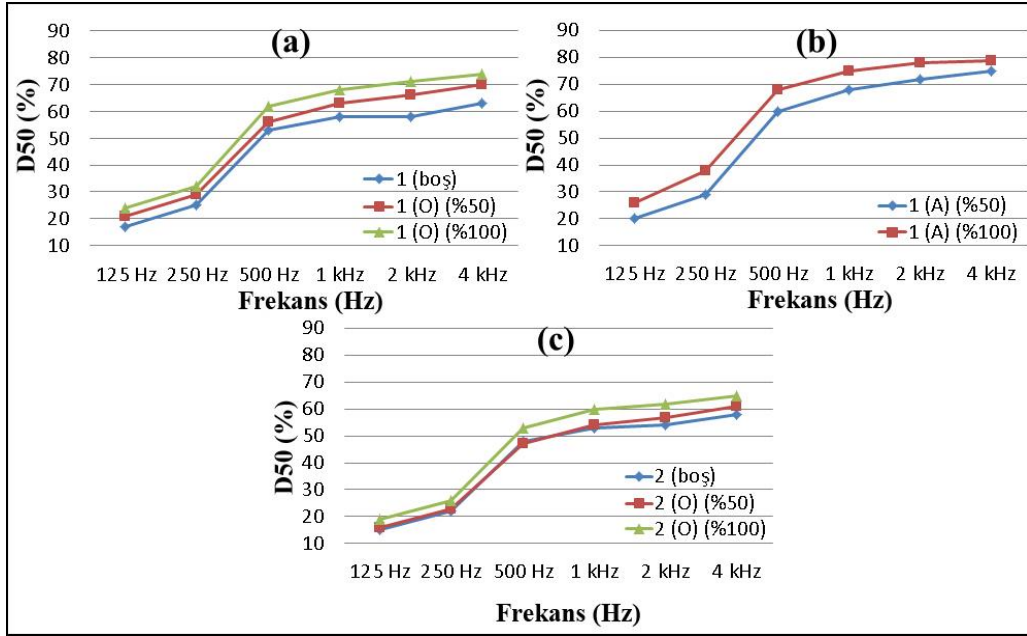


Şekil 245. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama D50 değerleri

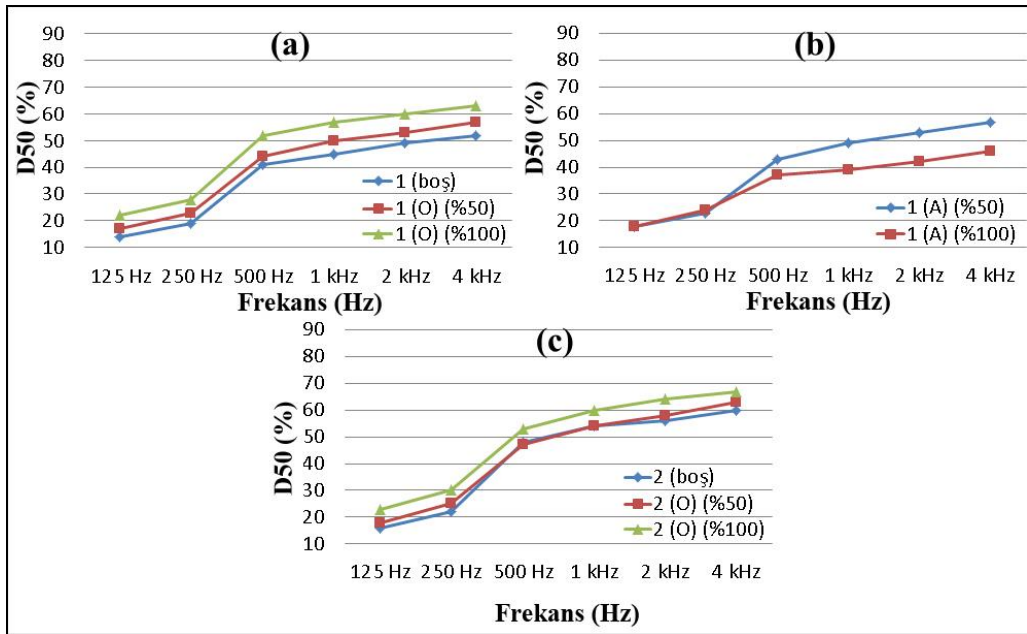
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen D50 parametresi sonuçlarının doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde en yüksek D50 değerleri % 86,6 ile Alıcı 1, en düşük D50 değerleri ise % 38 ile Alıcı 3 için elde edilmiştir. Doluluk oranının artışıyla D50 değerleri de yükselmiştir (Şekil 246, Şekil 247, Şekil 248, Şekil 249).



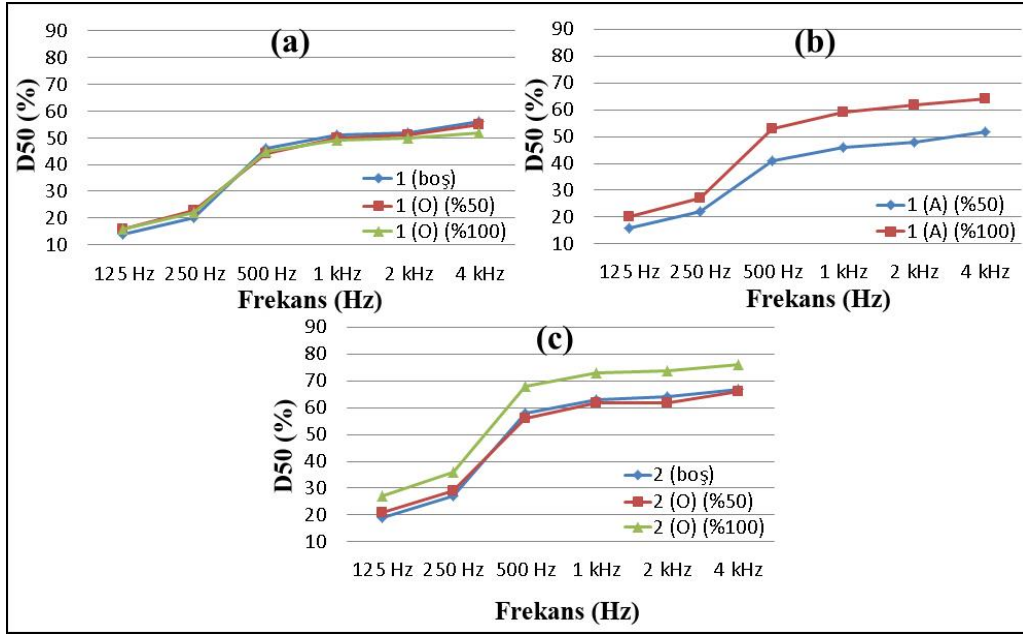
Şekil 246. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 247. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 2-D50 değerleri



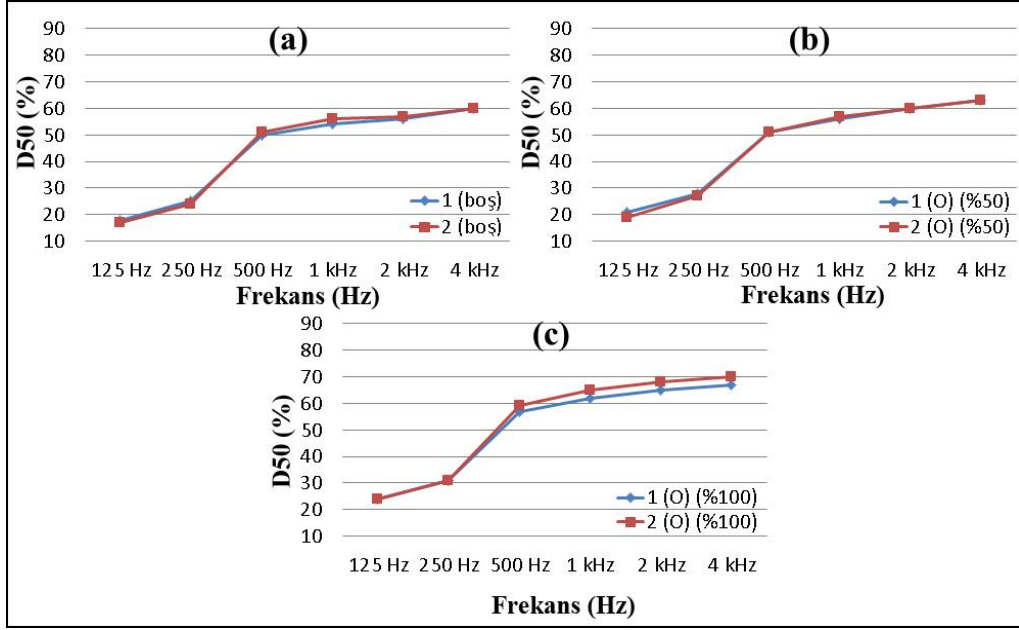
Şekil 248. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 3-D50 değerleri



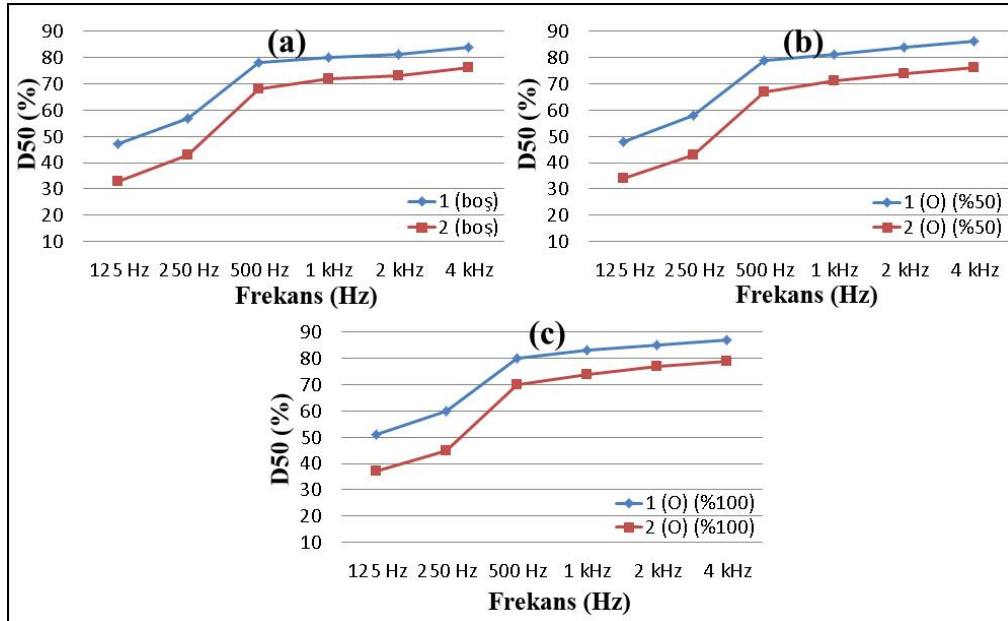
Şekil 249. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-D50 değerleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama D50 değerlerinin ses kaynağı noktalarının konumlarına göre grafikleri Şekil 250'de yer almaktadır. Ses kaynağının konumuna bağlı bazı frekanslarda değerler hemen hemen birbirine eşit düzeyde iken bazı frekanslarda küçük değer farklılıkları elde edilmiştir. Alçak frekanslardaki farklılıklarda namaz modundaki değerler daha yüksek iken orta ve yüksek frekanslardaki farklılıklarda vaaz modundaki değerler daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 250).

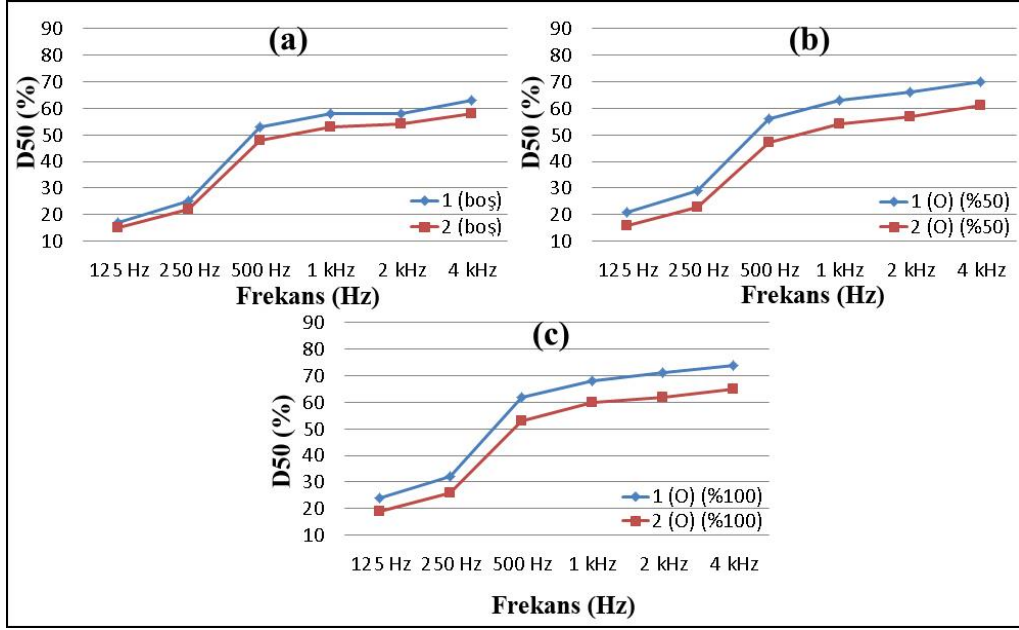
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen D50 parametresi sonuçlarının ses kaynağı konumlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, sonuçlar arasında en yüksek farklar alıcı 4, en düşük farklar ise Alıcı 1 için elde edilen değerlerde meydana gelmiştir. Alıcı 1 ve Alıcı 2 sonuçlarında namaz modu değerleri daha yüksek iken Alıcı 3 ve Alıcı 4 sonuçlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 251, Şekil 252, Şekil 253, Şekil 254).



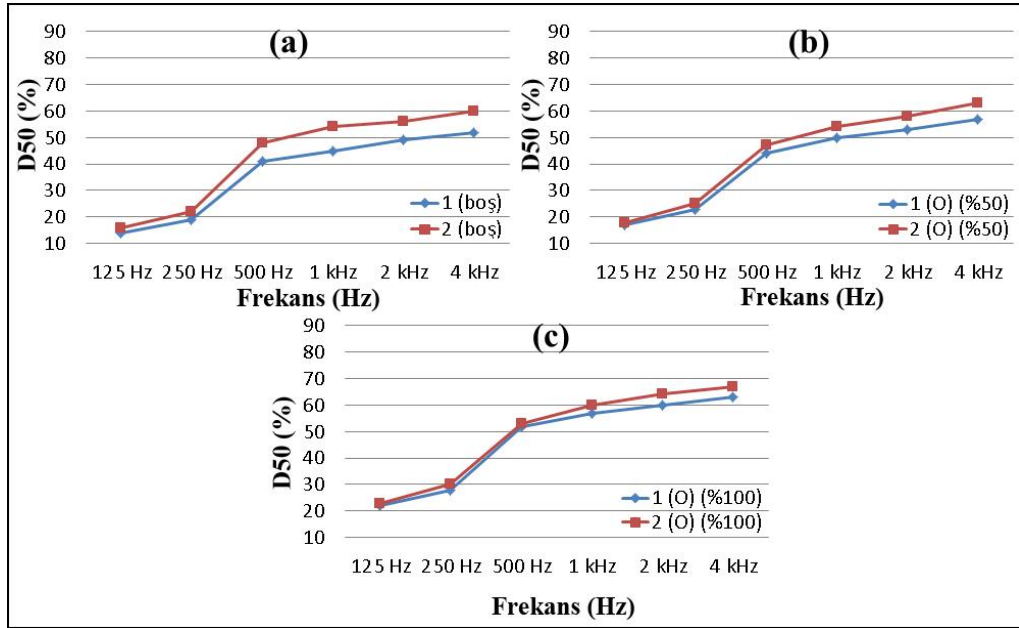
Şekil 250. Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama D50 değerleri



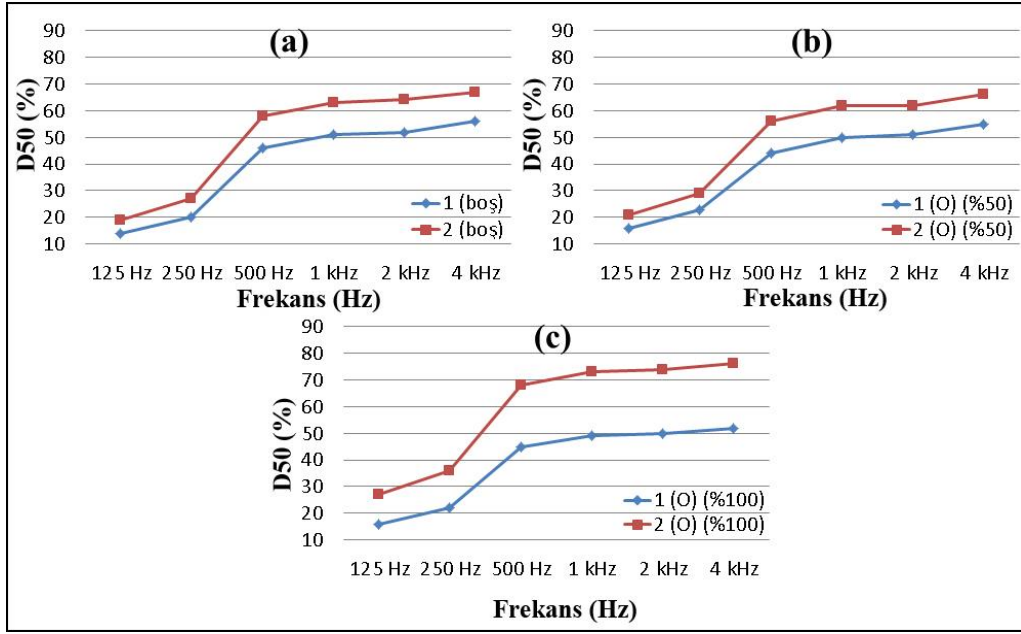
Şekil 251. Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-D50 değerleri



Şekil 252. Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 2-D50 değerleri



Şekil 253. Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 3-D50 değerleri

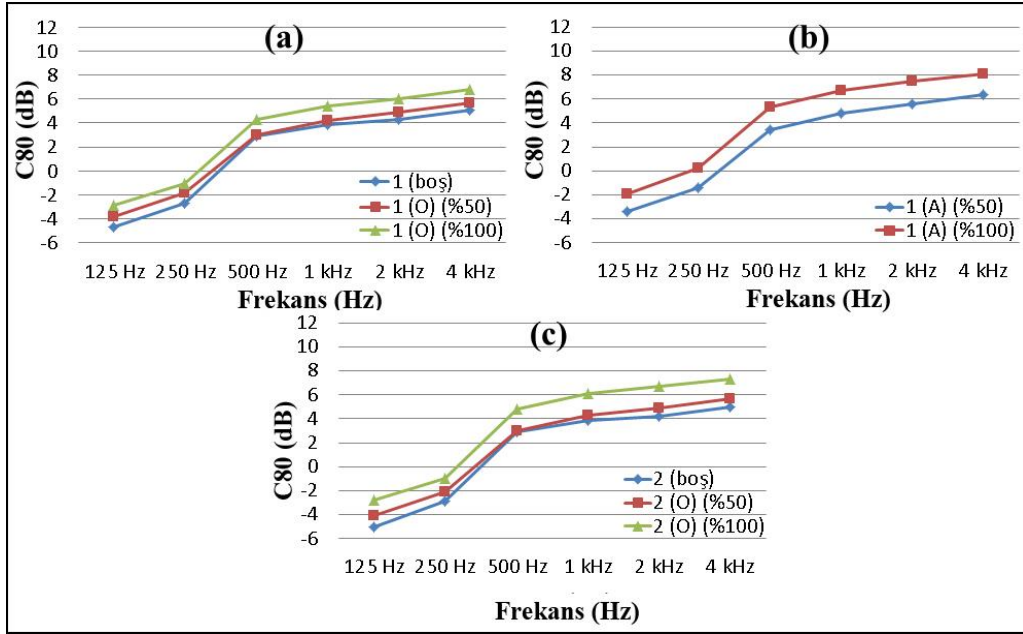


Şekil 254. Ses kaynağı konumuna göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-D50 değerleri

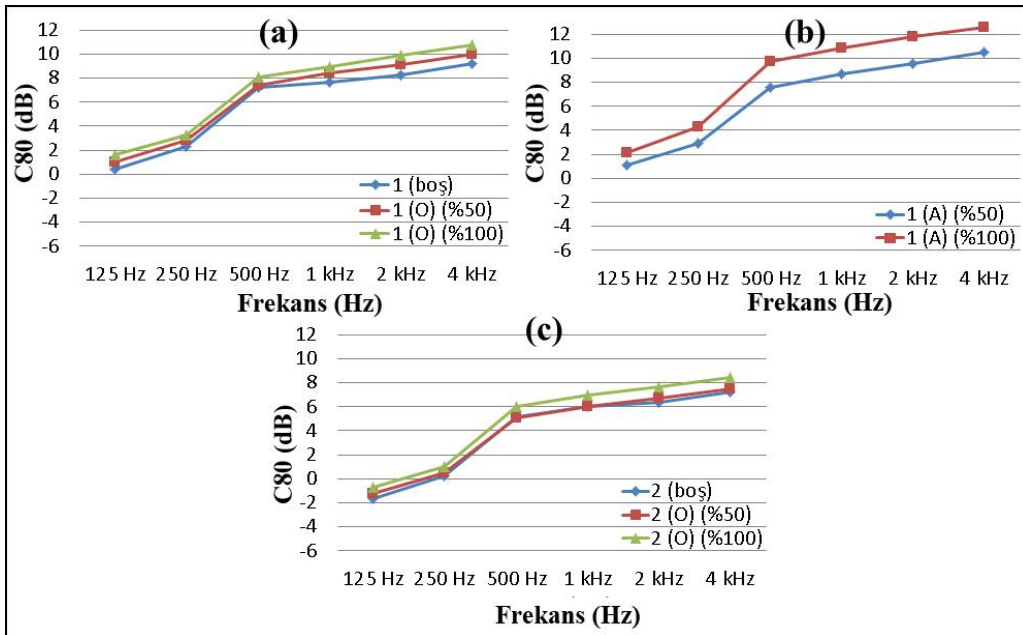
3.12.4. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen D50 Değerlerinin Analizleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin doluluk oranlarına göre grafikleri Şekil 255'te yer almaktadır. Optimum C80, -4dB +4dB değer aralığındadır (Tablo 22). Grafikler incelendiğinde, C80 değerleri düşük T30 değerleri sebebiyle orta frekanslarda optimum üst sınırına yakın olarak, bir çok durumda ise optimum üst sınırının üzerine düzeylerde elde edilmiştir. Doluluk oranının artışıyla C80 değerleri de yükselmiştir. Orta frekanslarda en yüksek C80 değerleri 6dB ile caminin %100 dolulukta ve ibadet edenlerin ayakta durma pozisyonunda olduğu namaz modunda, en düşük C80 değerleri ise 3,4 dB ile caminin boş olduğu namaz modunda elde edilmiştir (Şekil 255).

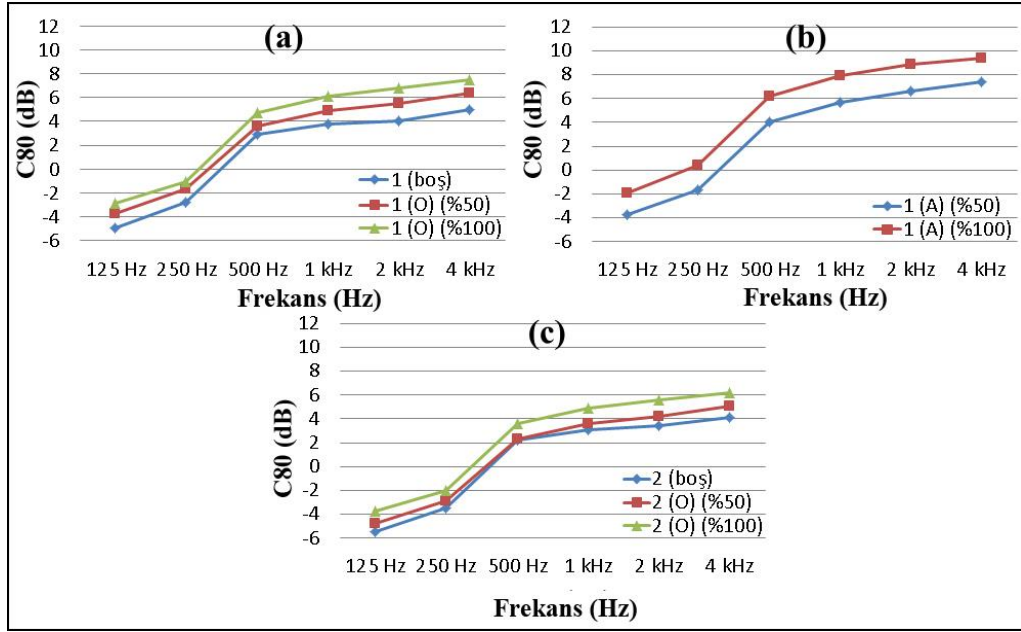
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen C80 değerlerinin doluluk oranlarına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, en yüksek değerler 10,3 dB ile Alıcı 1, en düşük değerler ise 1,15 dB ile Alıcı 3 için elde edilmiştir. Orta frekanslarda sadece Alıcı 3 ve Alıcı 4 sonuçları optimum düzeylerde elde edilmiştir. Alıcı 1 sonuçlarının hemen hemen hepsi optimum değerlerin üzerinde, Alıcı 2 sonuçları ise optimum değer aralığının üst sınırında elde edilmiştir. (Şekil 256, Şekil 257, Şekil 258, Şekil 259).



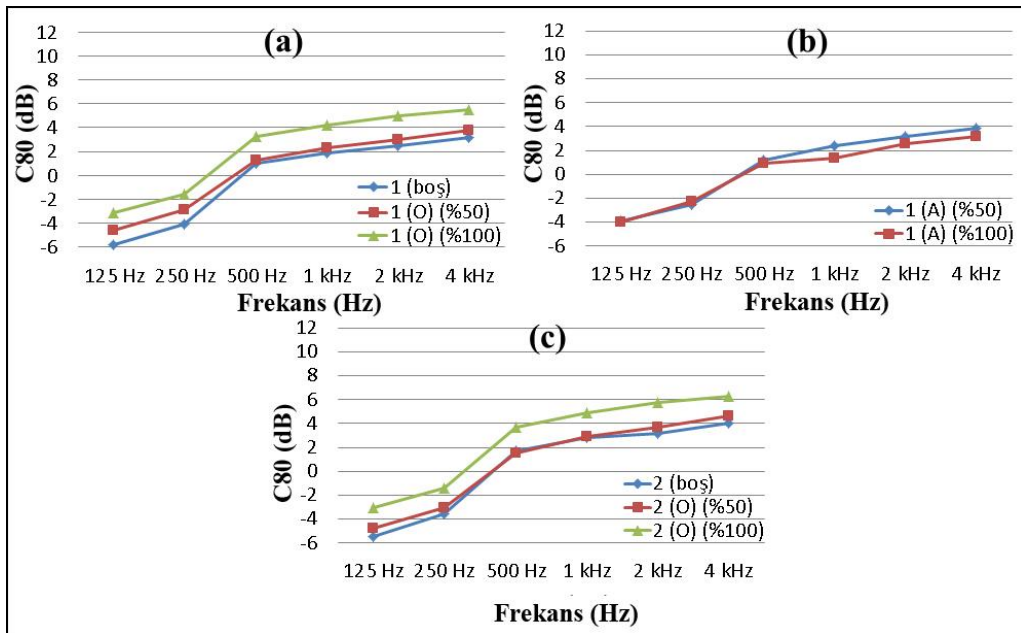
Şekil 255. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii ortalama C80 değerleri



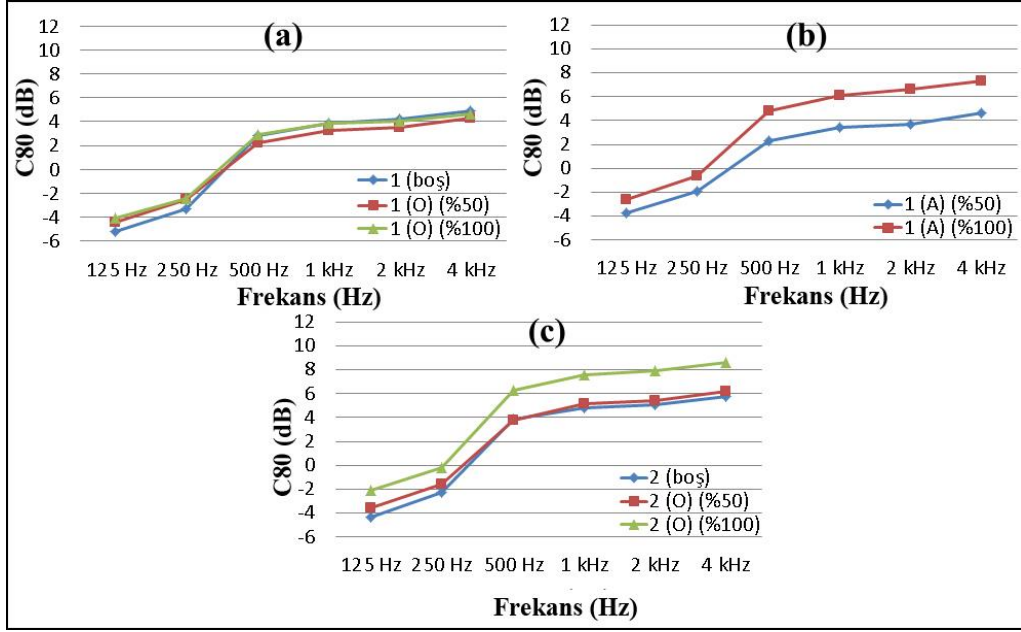
Şekil 256. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 257. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 2-C80 değerleri



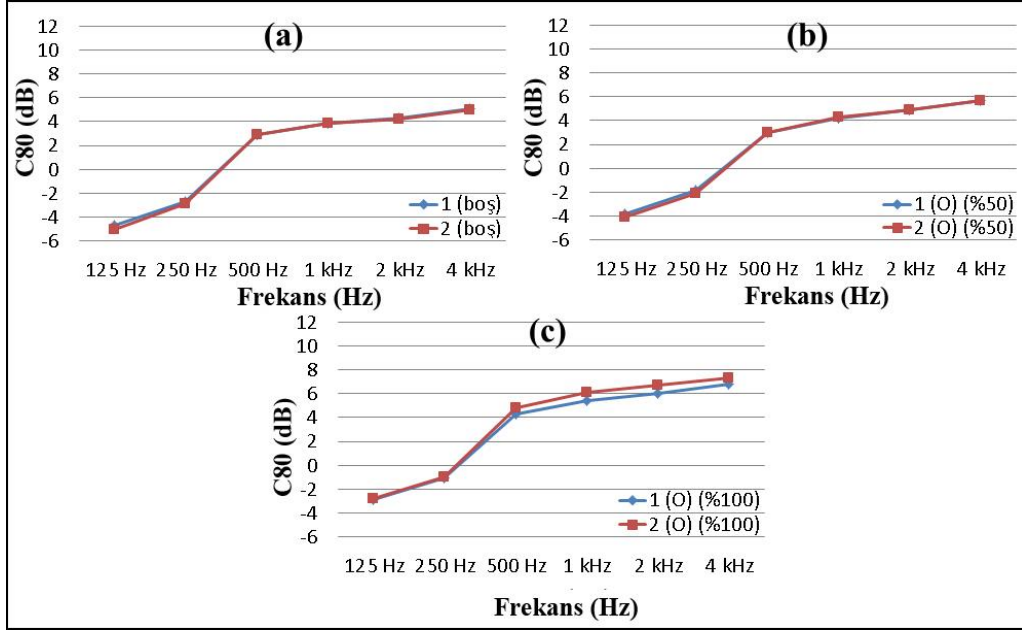
Şekil 258. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 3-C80 değerleri



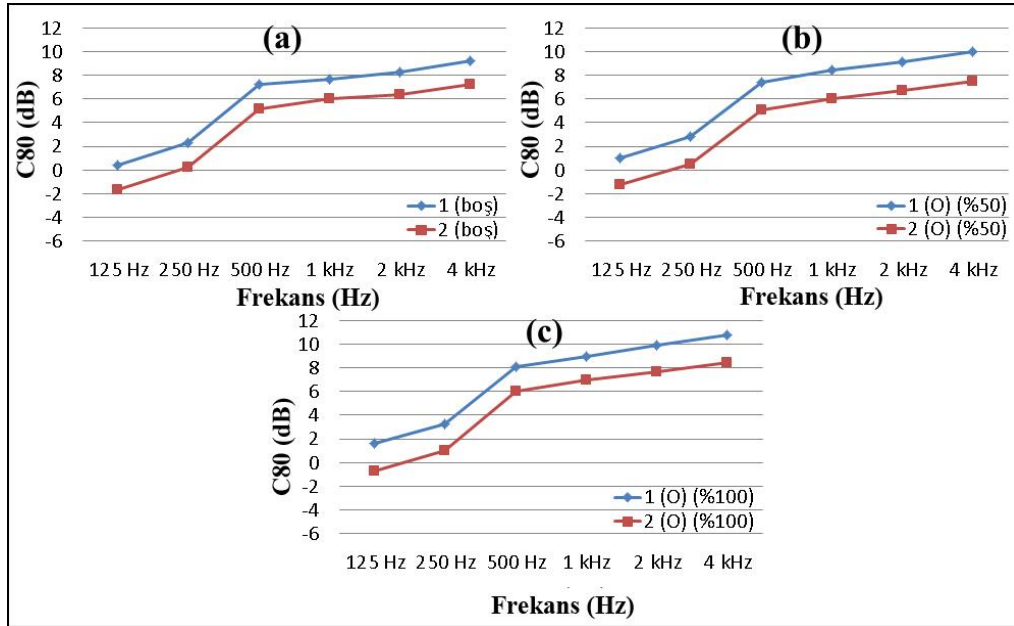
Şekil 259. Doluluk oranlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 4-C80 değerleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen ortalama C80 değerlerinin ses kaynağı konumlarına göre grafikleri Şekil 260'ta yer almaktadır. Değerlerde ses kaynağının konumuna bağlı olarak boş ve %50 doluluk durumlarında alçak frekanslarda, %100 doluluk durumunda ise orta ve yüksek frekanslarda farklılıklar elde edilmiştir. Alçak frekanslardaki farklılıklarda namaz modu, orta ve yüksek frekanslardaki farklılıklarda ise vaaz modu değerleri daha yüksek düzeyde elde edilmiştir (Şekil 260).

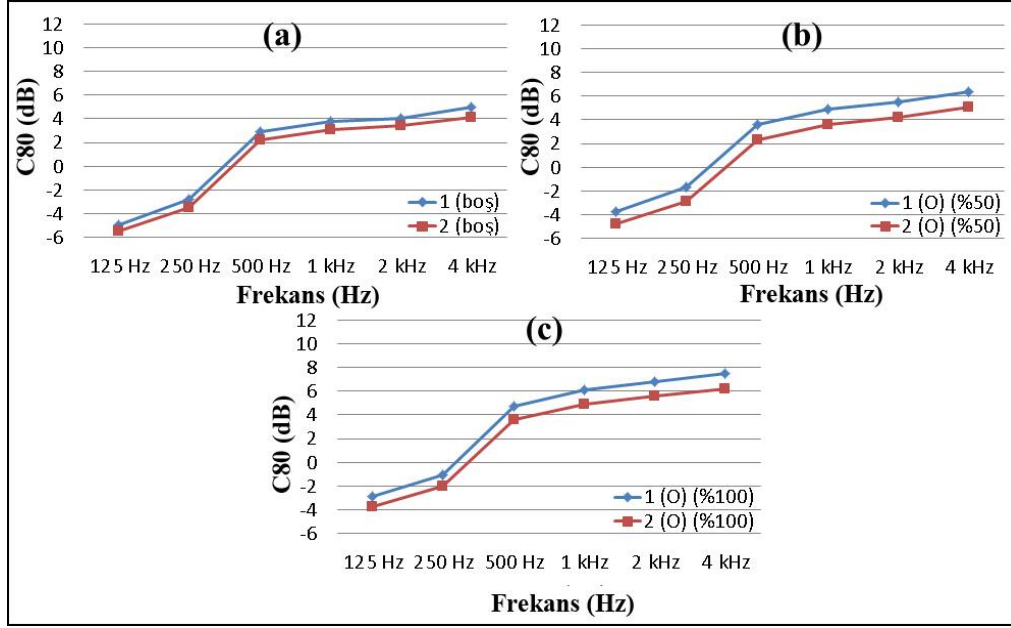
Alıcı 1, Alıcı 2, Alıcı 3 ve Alıcı 4 noktaları için elde edilen C80 değerlerinin doluluk oranına göre oluşturulan grafikleri incelendiğinde, değerler arasında en yüksek farklar Alıcı 1, en düşük farklar ise Alıcı 3 değerlerinde elde edilmiştir. Alıcı 1 ve Alıcı 2 sonuçlarında namaz modu değerleri daha yüksek düzeyde iken Alıcı 3 ve Alıcı 4 sonuçlarında vaaz modu değerleri daha yüksek düzeylerde elde edilmiştir (Şekil 261, Şekil 262, Şekil 263, Şekil 264).



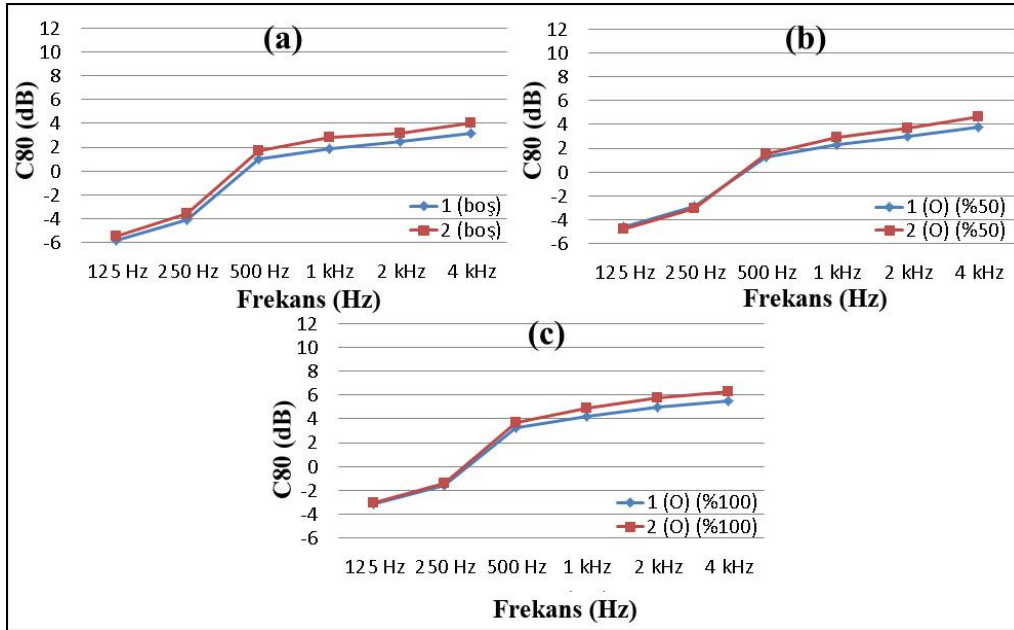
Şekil 260. Yavuz Sultan Selim Camii ses kaynağı noktalarına göre ortalama C80 değerleri



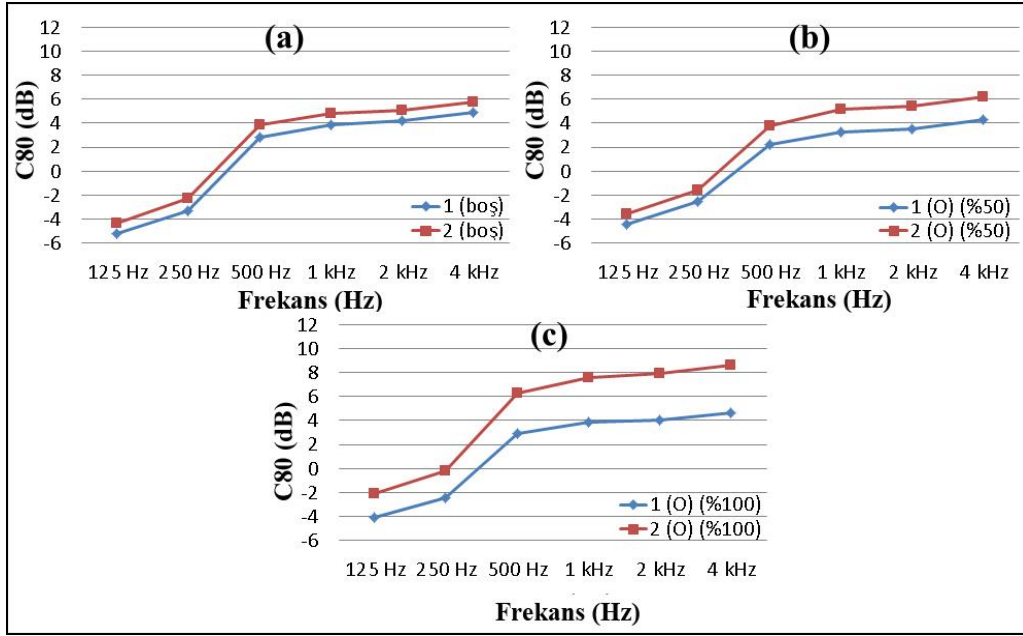
Şekil 261. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 1-C80 değerleri



Şekil 262. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 2-C80 değerleri



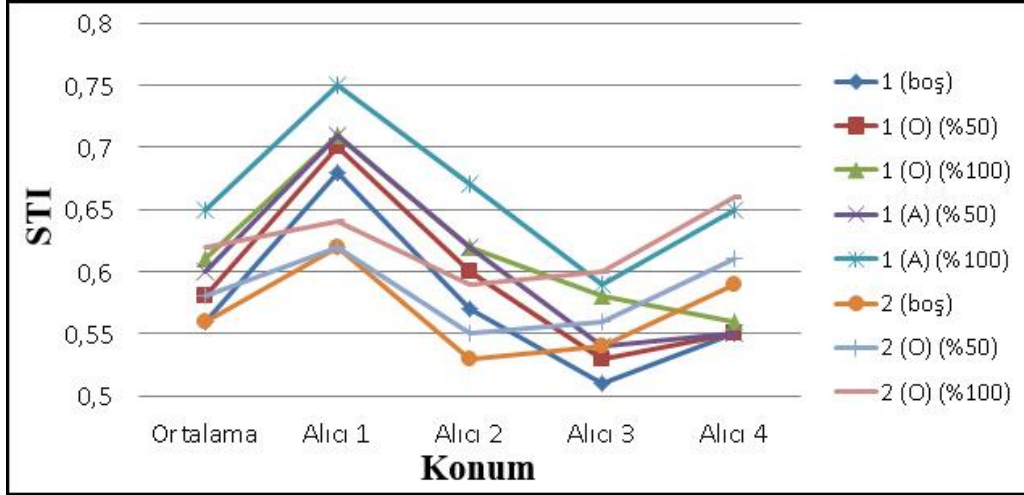
Şekil 263. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıcı 3-C80 değerleri



Şekil 264. Ses kaynağı konumlarına göre Yavuz Sultan Selim Camii-Alıncı 4-C80 değerleri

3.12.5. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Elde Edilen STI Değerlerinin Analizleri

Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen STI parametresine ait değerler Şekil 265'te yer almaktadır. Değerlendirmede 0,45 ve üzeri değerler yeterli kabul edilmiştir (Tablo 22).Camide T30 değeri düşük olduğundan konuşmanın anlaşılabilirliğinde bir sorun meydana gelmemiştir. Bütün doluluk ve ses kaynağı noktası aktifliği durumlarında STI değerleri optimum düzeylerde elde edilmiştir. En yüksek STI parametresi değerleri 0.75 ile Alıncı 1'de, en düşük STI parametresi değerleri ise 0,51 ile Alıncı 3'te elde edilmiştir (Şekil 265).

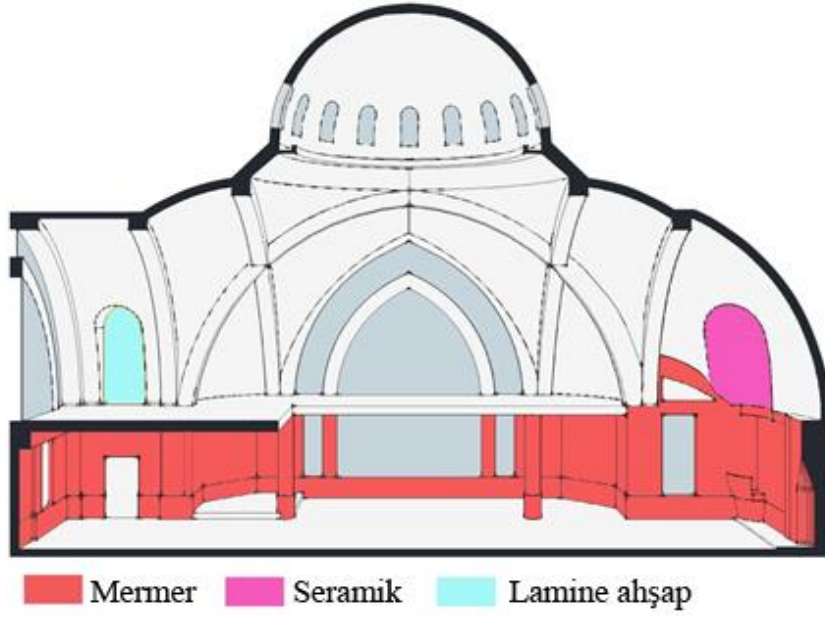


Şekil 265. Yavuz Sultan Selim Camii STI değerleri

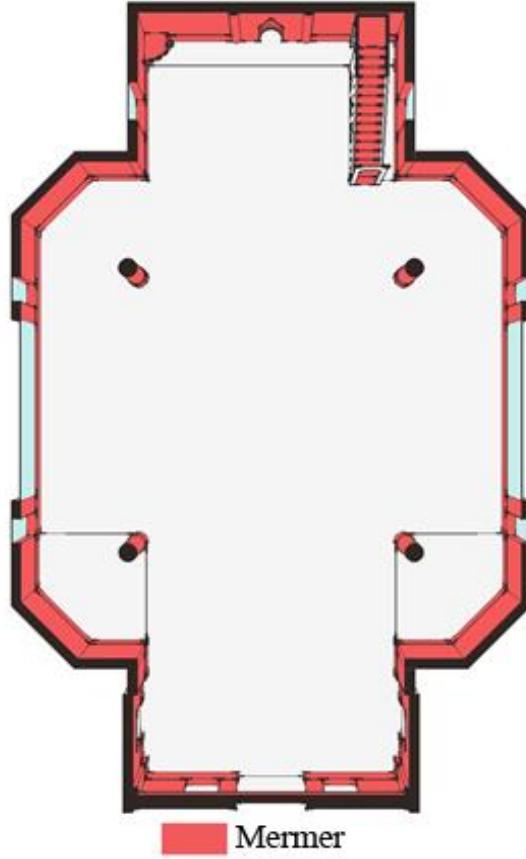
3.12.6. Yavuz Sultan Selim Camii İçin Düzenleme Önerisi

Yavuz Sultan Selim Camii'nde tespit edilen başlıca sorunlar orta frekanslarda optimum düzeylere göre düşük olarak elde edilen T30 değeri ve EDT değerleri ile optimum düzeylere göre yüksek düzeylerde elde edilen C80 değerleridir. Yapılan düzenlemede mümkün olduğunca bu sorunlar giderilmeye çalışılmıştır.

Camide orta frekanslardaki T30 değerlerinin yükseltilebilmesi için yansıtıcı yüzeyler artırılmıştır. Bunun için cami içerisindeki bütün düz duvar yüzeyleri ile kolonlara mermer kaplama yapılmış, kürsü ve ahşap duvar dipleri de mermer olarak düzenlenmiştir. Minbere çıkan merdiven basamaklarındaki halılar kaldırılmış, kible duvarının köşelerinde bulunan silindirik oyuklar seramik ile kaplanmıştır. Balkon katına çıkan merdivenlerin önüne lamine ahşap kapılar yerleştirilmiştir. Belirtilen malzeme değişiklikleri Şekil 266, Şekil 267 ve Tablo 28'de yer almaktadır.



Şekil 266. Yavuz Sultan Selim Camii akustik düzenleme önerisi, sol duvar görünümü



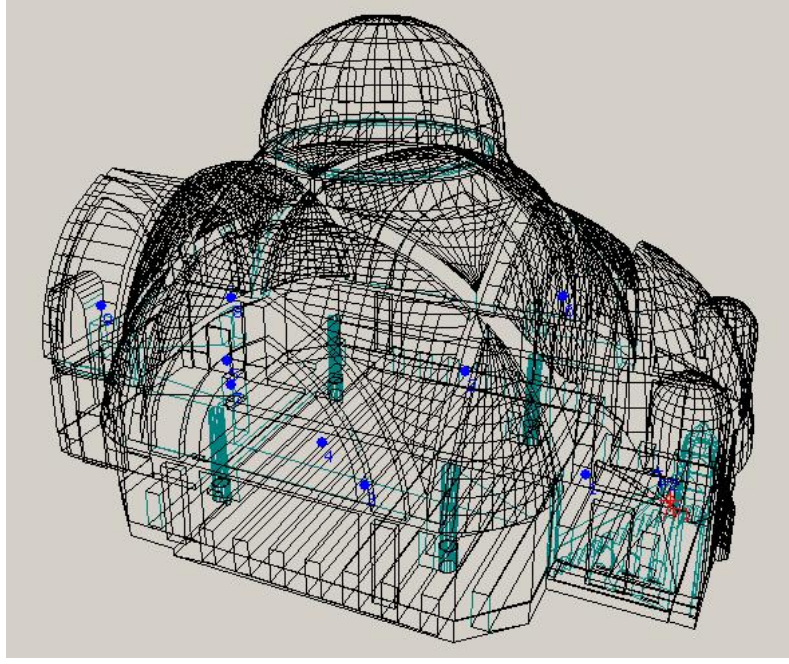
Şekil 267. Yavuz Sultan Selim Camii akustik düzenleme önerisi, üstten görünümü

Tablo 28. Düzenleme yapılan yüzeylerdeki mevcut ve önerilen malzemeler ve önerilen malzemelere ait ses yutma katsayıları

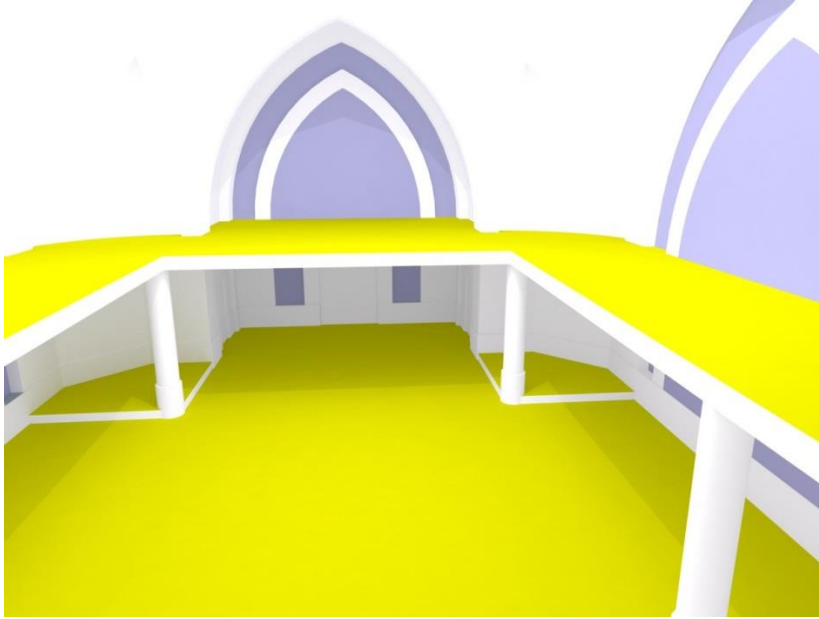
| | No | Yüzey | Mevcut Malzeme | Önerilen malzeme | ODEON Kodu | Ses Yutma Katsayıları | | | | | |
|-----------------------|----|------------------------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
| Duvar yüzeyleri | 1 | Ahşap duvar dibi | Ahşap | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 2 | Bütün düz duvar yüzeyleri | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 3 | Üsk kattaki yan boşluklar | Sıva | Lamine ahşap | (URL-15, 2015) | 0,32 | 0,13 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,13 |
| Kubbe-tavan yüzeyleri | 4 | Ön taraftaki silindirik girintiler | Sıva | Seramik | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 5 | Bütün düz tavan yüzeyleri | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Diğer yüzeyler | 6 | Kürsü | Beton | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 7 | Kolonlar | Sıva | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| | 8 | Basamaklar | Halı | Mermer | 2001 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |

Düzenleme önerisi doğrultusunda Sketchup 8 programı ile yeniden hazırlanan cami modeli ODEON Version 10.1 programına aktarılıp yeni malzemeler atandıktan ve diğer veriler dahil edildikten sonra simülasyon işlemi tekrar gerçekleştirilmiştir. Caminin düzenleme sonrası simülasyonu modeli Şekil 268’de yer almaktadır.

Ayrıca caminin T30 değerlerinin malzeme değişikliği yoluyla elde edilebilecek en yüksek değerlerini tespit etmek amacıyla hayali bir model daha hazırlanmıştır. Bu ikinci modelde Caminin camları ve zeminindeki halı dışındaki tüm yüzeylerinin mermer ile kaplandığı ve caminin boş olduğu varsayılmıştır (Şekil 269). Bu model de düzenleme önerisi ile birlikte ODEON Version 10.1 programında simüle edilmiştir.



Şekil 268. Yavuz Sultan Selim Camii simülasyonu

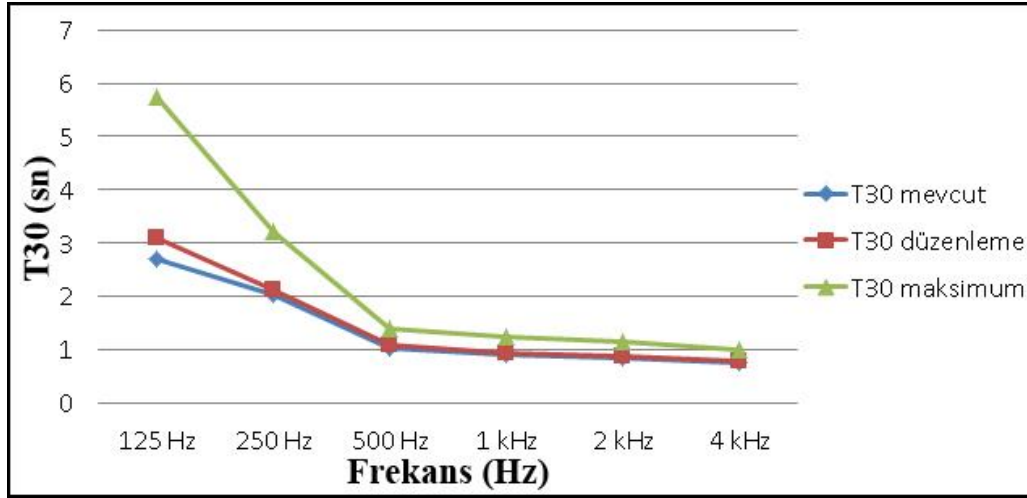


Şekil 269. Yavuz Sultan Selim Camii hayali modeli

3.13. Yavuz Sultan Selim Camii Akustik Dzenleme Sonuçları

3.13.1. Akustik Dzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii T30 Sonuçları

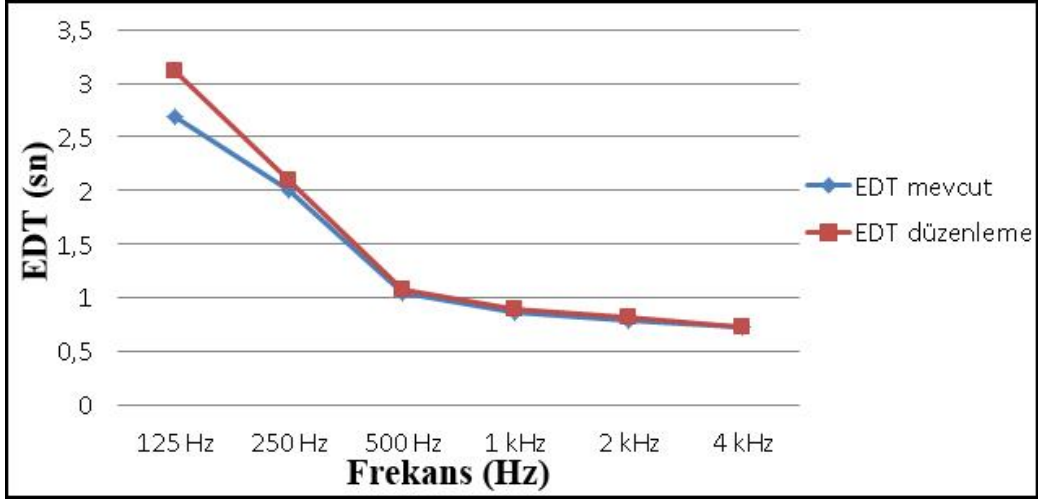
Akustik dzenleme öncesinde, sonrasında ve hayali modelin simülasyonunda Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen T30 değerleri Şekil 270’te yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 0,97 sn’den 1 sn’ye yükselmiştir. Çok düşük bir düzeyde elde edilen bu artış T30 değerini optimum dzeyele (1,74sn – 2,12sn) getirmek için yetersizdir kalmıştır. Cami i yüzeylerinin halı ve camlar dışında tamamen mermer ile kaplanması durumunda bile orta frekanslardaki T30 değerlerinin ortalaması 1.31 sn olarak elde edilebilmektedir. Yüzey malzemelerinin değiştirilmesi ile Yavuz Sultan Selim Camii için akustik konfor koşulları sağlanamayacağı anlaşılmıştır.



Şekil 270. Akustik dzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii T30 değerlerinin değişimi

3.13.2. Akustik Dzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii EDT Sonuçları

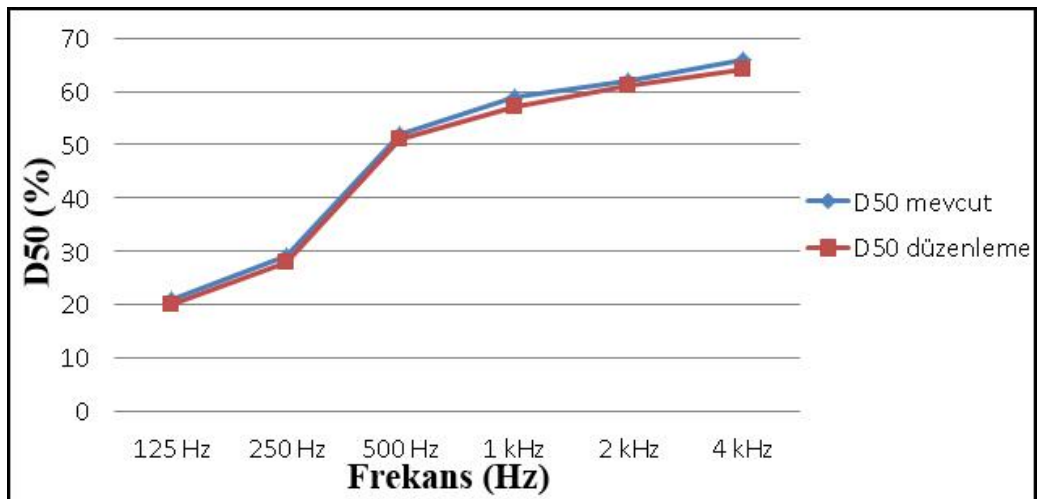
Akustik dzenleme öncesi ve sonrasında Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen EDT değerleri Şekil 271’de yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında orta frekanslardaki EDT değerleri ortalaması 0,95sn’den 0,98 sn’ye yükselmiştir. T30 değerinde olduğu gibi, elde edilen bu artış EDT değerlerini orta frekanslarda optimum dzeyele (1,89 sn-2,31 sn) yükseltmede yetersizdir kalmıştır.



Şekil 271. Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii EDT değerlerinin değişimi

3.13.3. Akustik Düzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii D50 Sonuçları

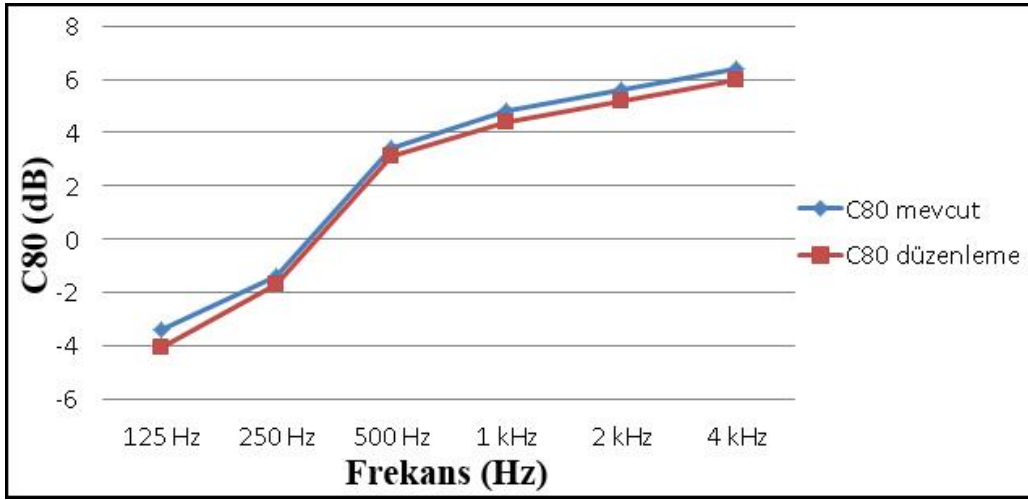
Akustik düzenleme öncesi ve sonrasında Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen D50 değerleri Şekil 272’de yer almaktadır. Yapılan akustik düzenleme sonrasında orta frekanslardaki D50 değerleri ortalaması % 55,5’ten % 54’e düşmüştür. Her iki durumda da değerler optimum düzeylerde (%30-%70) elde edilmiştir. Akustik düzenleme D50 parametresi sonuçlarında belirgin bir değişim sağlamamıştır.



Şekil 272. Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii D50 değerlerinin değişimi

3.13.4. Akustik Dzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii C80 Sonuçları

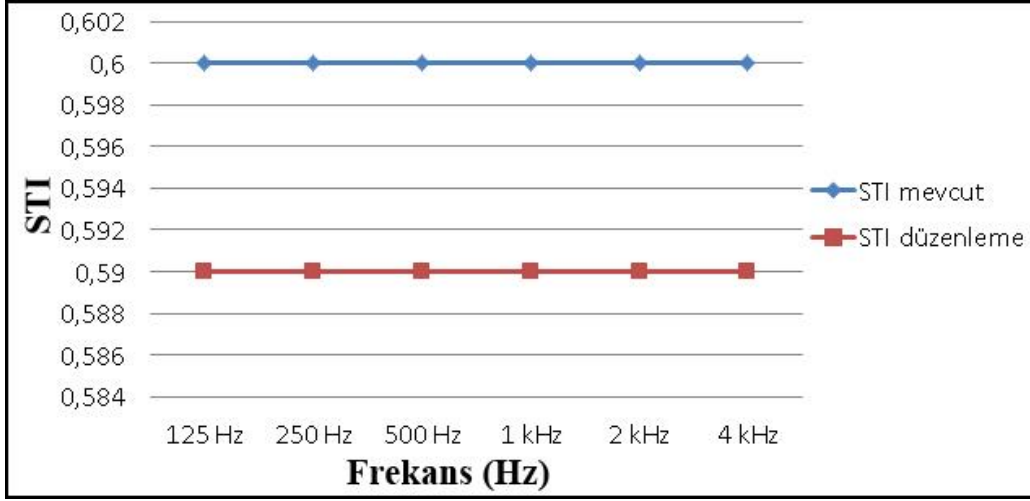
Akustik dzenleme öncesi ve sonrasında Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen C80 deęerleri Őekil 273'te yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında orta frekanslardaki C80 deęerlerinin ortalaması 4,1 dB'den 3,75 dB'e dūŐmūŐtur. C80 deęerlerindeki bu azalma, optimum dzeneylerin çok az bir miktarda üzerinde olan deęerlerin optimum dzenelere (-4 dB +4dB) gelmesini saęlamıŐtır.



Şekil 273. Akustik dzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii C80 değerlerinin değişimi

3.13.5. Akustik Dzenleme Sonrası Yavuz Sultan Selim Camii STI Sonuçları

Akustik dzenleme öncesi ve sonrasında Yavuz Sultan Selim Camii için elde edilen STI deęerleri Őekil 274'te yer almaktadır. Yapılan akustik dzenleme sonrasında STI deęerinde çok dūŐuk bir dzeneyde azalma meydana gelmiŐtir. Dzenleme öncesinde 0,51 olan STI deęeri 0,50'ye dūŐmūŐtur. Hem mevcut durumda hem de akustik dzenleme sonrasında STI deęerleri optimum ($\geq 0,45$) dzeneylerde elde edilmiŐtir. Akustik dzenleme STI parametresi sonuçlarında belirgin bir deęiŐim saęlamamıŐtır.



Şekil 274. Akustik düzenleme sonrası Yavuz Sultan Selim Camii STI değerlerinin değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Trabzon İl Merkezi'nde yer alan yeni dönem yapılarından Yavuz Sultan Selim Camii ve Mehmet Akif Ersoy Camii, tarihi değere sahip olan yapılardan Ayasofya Camii, Gülbahar Hatun Camii ve İskenderpaşa Camii ile yine tarihi değere sahip olan ve Rize İl Merkezi'nde yer alan Büyük Gülbahar Camii, Sesin Nesnel Parametre değerleri açısından Bilgisayar Simülasyonu yöntemiyle incelenmiştir. Öncelikle mevcut duruma ait ortalama ve farklı alıcı noktalar için sesin nesnel parametre değerleri elde edilmiş ve bu değerler parametrelerin optimum değerleri ile karşılaştırmıştır. Bu şekilde, sesin nesnel parametre değerleri açısından camilerin mevcut akustik performansları ve farklı senaryo durumlarının camilerin akustik performanslarına etkileri incelenmiştir. Ayrıca ana ibadet salonlarının farklı yerlerindeki alıcı noktalar vasıtasıyla camilerin mevcut durumdaki akustik performanslarının bölgesel değişimleri incelenmiştir. Yapılan inceleme ve değerlendirme ile camilerdeki mevcut akustik koşulların akustik konfor koşullara göre yetersiz oldukları durumlar tespit edilmiştir. Daha sonra camilerin akustik performanslarında sesin nesnel parametreleri açısından tespit edilen yetersizlikleri gidermek amacıyla yüzey malzemelerini değiştirerek akustik çözüm önerileri hazırlanmıştır.

Farklı senaryo durumlarının camilerdeki akustik performansa etkileri incelendiğinde genel olarak, camilerdeki doluluk oranlarının artması T30 ve EDT parametrelerinde düşüşe neden olurken D50, C80 ve STI parametrelerinde artışa sebep olmuştur. Bu durum, doluluk oranı artışının camilerin içerisindeki toplam ses yutuculuğu artırması nedeniyle meydana gelmiştir. İbadet edenlerin oturma ya da ayakta durma pozisyonunda olmalarının sesin nesnel parametrelerindeki değişime olan etkisi, toplam ses yutucu yüzeyde yol açtığı değişime bağlı olarak, doluluk oranının etkisine benzer şekilde gerçekleşmiştir. Ses kaynağı konumunun değişimi T30 parametresi sonuçlarında önemli değişikliklere yol açmazken, EDT, D50, C80 ve STI parametrelerine ait sonuçları etkilemiştir. Özellikle D50 parametresinde ses kaynağı konumunun etkisi daha belirgin bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu durum, T30 parametresi dışındaki parametrelerin erken yansımaları esas almalarından kaynaklanmıştır.

Genel ortalamalar dışında alıcı noktalardaki nesnel parametre sonuçları incelendiğinde, alıcı konumlarının değişiminden T30 parametresi önemli düzeyde

etkilenmemiş, diğer parametrelerin tamamı etkilenmiştir. Alıcı noktasının konumu ses kaynağından uzaklaştıkça, alıcı tarafından algılanan sesteki geç yansımaların oranları artmış, D50, STI ve C80 parametrelerine ait değerler azalmıştır.

Camilerin mevcut durumları ve akustik düzenleme sonrası için yapılan simülasyonların sonuçları incelendiğinde en fazla dikkat çeken durum T30 parametresine ait sonuçların sayısal değerlerinin frekans aralıklarındaki dağılımlarının düzensiz olmasıdır. Alçak frekanslarda, orta ve yüksek frekanslara göre çok daha yüksek T30 değerleri elde edilmiştir. Camilerin zeminlerindeki halılar başta olmak üzere, kumaş yüzeyler, alçak frekanslarda düşük olup orta ve yüksek frekanslarda yüksek olan ses yutma katsayılarına sahip olmaları nedeniyle T30 değerlerinin alçak frekanslarda çok yüksek olmalarına sebep olmuşlardır. T30 değerlerine bağlı olarak EDT, D50 ve C80 parametrelerinin sonuçları da frekans aralıklarında sayısal değerlerin dağılımı açısından düzensiz bir durumun oluşmasına neden olmuştur. Simülasyon sonuçlarında dikkat çeken diğer bir durum da, camilerde kişi başına düşen iç mekân hacminin, camilerin akustik performansını önemli bir şekilde etkilemiş olmasıdır. Mevcut halleri ile akustik performansı en iyi olan camiler, kişi başına düşen iç mekân hacmi en yüksek olan Mehmet Akif Ersoy (13,8 m³/kişi) ve Gülbahar Hatun (14,6 m³/kişi) Camileridir. Kişi başına düşen iç mekan hacmi en düşük düzeylerde olan Yavuz Sultan Selim (6 m³/kişi) ve Rize Büyük Gülbahar (7,13 m³/kişi) Camilerinde ise bu nedenle akustik performanslar da optimum düzeylerin altında elde edilmiştir.

Camilerin genelinde tespit edilen diğer bir sorunda sesin iç mekânlarda homojen olarak dağılmamasıdır. Özellikle D50 ve C80 parametrelerini etkileyen bu olay, alıcı noktalarının ses kaynağı konumlarına olan mesafesinden ya da alıcı noktalar üzerinde oluşan ses gölgelerinden kaynaklanmıştır. Mahfil katı bulunan camilerde bu durum daha belirgin olarak görülmüştür.

Ayasofya Camii'nin mevcut durum ve akustik düzenleme sonrası için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları incelendiğinde, 14 m³ ile kişi başına yeterli miktarda iç hacme sahip olmasına rağmen orta frekanslarda elde edilen T30 değerleri optimum düzeylerin altında kalmıştır. Cami iç yüzeylerinin çoğunluğunu oluşturan taş duvarın orta frekanslardaki ses yutma katsayılarının yüksek olması, orta frekanslarda T30 değerlerinin optimum düzeylerin oldukça aşağısında elde edilmesine sebep olmuştur. Akustik düzenlemede taş duvar yüzeylerin bir kısmı, ses yutma katsayıları orta frekanslarda daha düşük ve frekans aralıklarındaki değerleri birbirine daha yakın olan sıva ile değiştirilmiştir.

Bu düzenleme hem orta frekanslarda T30 değerlerinin optimum düzeylere yaklaştırılması, hem de frekans aralıklarındaki T30 değerlerinin dağılımlarının dengelenmesi açısından başarılı olmuştur. T30 değerlerinin yükselmesi sonucu EDT değerleri de yükselerek optimum düzeylere yaklaşmıştır. C80 değerleri azaltılarak optimum düzeylere düşürülmüş, mevcut durumda optimum düzeylerde bulunan D50 sonuçları ise optimum aralıkta daha merkezi değerlere getirilmiştir.

Gülbahar Hatun Camii, çalışma kapsamında incelenen camiler içerisinde mevcut durumu ile akustik konfor koşullarını en iyi sağlayan cami olmuştur. Orta frekanslarda T30 değerleri optimum aralığın üst sınırlarında elde edilmiştir ve doluluk oranının azalmasıyla optimum düzeylerin üzerine çıkmıştır. Buna karşılık D50 ve STI parametresi değerleri optimum düzeylerin alt sınırına yakın düzeyde elde edilmiş ve doluluk oranlarının azalmasıyla optimum düzeylerin altına düşmüşlerdir. Akustik düzenleme sonrasında orta frekanslarda T30 değerleri bir miktar düşürülerek optimum aralıkta daha merkezi düzeylere çekilmiştir. Alçak frekanslardaki yüksek T30 değerleri de belirli bir düzeyde azaltılarak T30 değerlerinin frekans aralıklarındaki dağılımı daha dengeli hale getirilmiştir. Ayrıca EDT değerlerinde de azalma olmuştur. D50, C80 ve STI parametresi değerleri de bir miktar yükselmiş, böylece tüm nesnel parametreler için optimum değerleri sağlanmışlardır. İncelenen camiler içerisinde Gülbahar Hatun Camii, yaklaşık 14 m³'lük iç hacmi sayesinde akustik düzenlemenin de en başarılı olduğu cami olmuştur.

İskenderpaşa Camii'nde mevcut durum için elde edilen T30 ve EDT değerleri orta frekanslarda optimum düzeylerin altında kalmışlardır. Kişi başına düşen iç mekan hacmi 8.5 m³ ile önerilen hacim değerinin altında bir düzeyde kalmıştır. Diğer camilerde olduğu gibi alçak frekanslarda T30 değerleri oldukça yüksek düzeyde elde edilmiştir. Bu değerlerin frekans aralıklarındaki dağılımları da düzensiz olarak elde edilmiştir. Akustik düzenleme sonrası T30 ve EDT değerleri yükseltılarak optimum düzeylere yaklaştırılmış ve frekans aralıklarındaki dağılımı daha dengeli bir hale getirilmiştir. D50, C80 ve STI parametrelerine ait değerler optimum düzeylerde kalmıştır.

Yaklaşık 7.15 m³ ile kişi başına düşen yetersiz miktardaki iç mekan hacminden dolayı, Rize Büyük Gülbahar Camii'nde mevcut durum için elde edilen T30 ve EDT değerleri optimum düzeylerin oldukça altında kalmışlardır. C80 ise optimum değer aralığında fakat optimum üst sınırına yakın değerlerde elde edilmiştir. Akustik düzenleme sonrasında T30 ve EDT değerlerinde düşük bir düzeyde artış elde edilerek değerler optimum düzeylere belirli bir oranda yaklaştırılabilmektedir. Bununla birlikte D50 ve C80

değerleri belirli bir düzeyde düşürülerek optimum aralıkta daha merkezi düzeylere getirilmiştir.

Mehmet Akif Ersoy Camii, kişi başına düşen $13,8 \text{ m}^3$ 'lük hacmi sayesinde mevcut durumda akustik performansı en yüksek olan camiler arasında yer almıştır. Orta frekanslarda T30 değeri optimum aralığın üst sınırına yakın düzeylerde elde edilmiştir ve doluluk oranlarının artmasıyla optimum düzeylerin üzerine çıkmışlardır. Alçak frekanslarda çok yüksek olan T30 değerlerinin frekans aralıklarındaki dağılımları düzensiz oluşmuştur. EDT ve C80 değerleri mevcut durumda orta frekanslarda optimum düzeylerde elde edilmiştir. D50 değerleri, caminin geniş iç hacminden dolayı optimum düzeylerin bir miktar altında kalmıştır. Akustik düzenleme sonrasında T30 değerleri düşürülerek optimum aralıkta merkezi bir konuma getirilmiştir. Optimum düzeylerde olan EDT ise düşük bir değer ile optimum alt sınırından düşük düzeyde, fakat T30 değerinin üzerinde elde edilmiştir. C80 değeri yükseltilerek optimum aralıkta daha merkezi düzeylere yaklaşmıştır. Optimum düzeyde elde edilemeyen D50 değerleri ise düşük bir düzey artışla optimum düzeylere yaklaştırılmıştır. Alçak frekanslardaki T30 değerlerinin düşürülmesiyle T30 ve diğer parametrelerin frekans aralıklarındaki dağılımları daha düzenli hale getirilmiştir.

6 m^3 ile kişi başına en düşük iç mekân hacmine sahip olan Yavuz Sultan Selim Camii, incelenen camiler içerisinde akustik performansı en düşük olan cami olmuştur. Orta frekanslarda T30 ve EDT değerleri optimum düzeylerin oldukça altında, C80 değerleri ise optimum düzeylerin üzerinde elde edilmiştir. Yapılan akustik düzenleme sonrasında T30 ve EDT değerleri belirli bir düzeyde artırılarak optimum düzeylere yaklaştırılmıştır. Optimum üst sınırının düşük bir düzeyde üzerinde olan C80 değeri ise optimum düzeylere indirilmiştir. D50 ve STI parametrelerinde değerler optimum sınırlar içerisinde kalacak şekilde düşük düzeyde azalmalar meydana gelmiştir. Kişi başına düşen yetersiz iç mekân hacmi sebebiyle akustik düzenlemenin sonuçları oldukça sınırlı düzeyde kalmıştır.

5. ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda tasarım, düzenleme, endüstri ve mevzuat konularında bazı önerilerde bulunmaktadır.

Tasarlanan caminin akustik konfor koşullarının daha tasarım aşamasındayken incelenmesi, eksiklerinin ve olumsuzlukları giderilmesi, akustik performansı daha yüksek olan camilerin inşa edilmesini sağlayacağı gibi sonradan yapılan müdahaleler ve düzenlemeler için yapılan ek masraflardan tasarruf edilmesini de sağlayacaktır. O nedenle, cami tasarımlarında bilgisayar simülasyonunun kullanılması önerilmektedir. Sesin cami iç mekânında daha homojen bir şekilde yayılmasını ve her alıcı noktasından birbirine yakın özelliklerde algılanmasını sağlamak için ses gölgesi oluşturacak yapı ve dekorasyon elemanları mümkün olduğunca kullanılmamalıdır.

Tarihi eser ya da yakın dönemde inşa edilmiş, mevcut camilerin hepsinin akustik özellikleri ölçme yöntemi ile elde edilmeli, camilerin tarihi dokusuna ya da mimari karakterine zarar vermeyecek şekilde akustik performansı artırıcı düzenlemeler yapılmalıdır. En ideal akustik düzenleme tasarımının tespiti için bilgisayar simülasyon programlarını kullanmak bir çok konuda kolaylık ve maliyet açısından tasarruf sağlayacaktır.

Endüstriyel olarak, camilerin iç tasarımlarında ve akustik düzenlemelerinde kullanılacak malzemelerin ses yutma katsayıları üreticiler tarafından belirlenerek müşterilerle paylaşılmalıdır. Bu hem tasarımcıların malzeme seçimlerini kolaylaştıracak, hem de simülasyon programları ile daha hassas akustik tasarımlar yapılarak düzenleme sonuçlarının daha doğru bir şekilde öngörülebilir olmasını sağlayacaktır.

Mevzuat olarak ibadet yapılarının akustik konfor koşullarını belirleyen standartlar daha kapsamlı bir şekilde oluşturulmalıdır.

Dini yapıların akustik açıdan incelenmesi ve değerlendirilmesi konusunda düzenlenecek kongre ve sempozyum gibi faaliyetlerle araştırmacıların çalışmaları sonucu elde ettikleri bilgi birikimini paylaşabilecekleri ortamlar oluşturulmalıdır. Bu bilgi birikimi, yeni yapılacak tasarımlarda ve mevcut yapıların düzenlenmesinde kullanılmalıdır. Bunun için meslek odaları ile işbirliği içerisinde meslek içi eğitim kursları, seminerler,

mesleki yayınlar ve internet vasıtasıyla bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen bilgi birikimi tasarımcılara aktarılmalıdır.

Yapılan bu tez çalışması, Türkiye'nin farklı şehirlerindeki camilerin akustik performanslarının incelenerek akustik performanslarının ve konfor koşulları açısından yetersizliklerinin tespit edilip mevcut durumun düzeltilmesi için öneriler hazırlanması ile gelecekte yapılacak çalışmalarda daha kapsamlı bir düzeye getirilmelidir. Ayrıca farklı dinlere ait ibadethanelerin akustik özellikleri incelenerek içlerinde gerçekleştirilen faaliyetlere göre değerlendirilmesi, camilerin akustik özellikleriyle karşılaştırılması, akustik açıdan benzerlik ve farklılıklarının tespit edilmesinin hacim akustiği alanındaki bilgi birikimine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abdülrahimov, R., 2005. Salonların Akustiği ve Tasarımı, Trabzon.
- Abdou, A.A., 2003. Measurement of Acoustical Characteristics of Mosques in Saudi Arabia, Acoustical Society of America, 113, 1505-1517.
- Ateş, G., 2007. Kültürel Mirasımız Olan Yerebatan Sarnıcının Akustik Sorunlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barron, M., 1993. Auditorium Acoustics and Architectural Design, E&FN Spon, Londra.
- Beranek, L., 1996. Concert and Opera Halls: How They Sound, Acoustical Society of America, New York.
- ISO, 2009. Acoustics – Measurement of rooms acoustic parameters – Part 1:Performance spaces”, BS EN ISO-3382-1.
- Balcı, H., 2007. Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Akustiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beranek, L.L.,1996. How They Sound: Concert and Opera House, Acoustical Society of America, New York.
- Carvalho, A.P.O. ve Freitas, C.P.T., 2011. Acoustical Characterization of the Central Mosque of Lisbon, Forum Acusticum 2011, Aalborg, Denmark, 43-55.
- Christensen, C.L., 2009. Odeon Room Acoustics Program Version 10.1 Industrial, Auditorium and Combined Editions, odeon A/s, Denmark.
- Cowan, J., 2000 Architectural Acoustics Design Guide, McGraw-Hill.
- Cunha, I. B., Smiderle, R. ve Bertoli, S. R., 2013. Influence of sound reinforcement system on acoustic performance in a Catholic Church, International Symposium on Room Acoustics 2013, Toronto.
- Demirkale, S.Y., 2007. Çevre ve Yapı Akustiği mimar ve Mühendisler için El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Gade, A.C., 1989. Acoustical Survey of Eleven European Concert Halls, The Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report no:44.

- Gavrea, D. R. T., Fernea R., Stanca S. ve Andreica L., 2012. Church Acoustic Rehabilitation a Case Study, Universitatea Tehnica "Gheorghe Asachi" din Iași, 58, 4, 71-78.
- Ginn, K.B., 1978. Architectural Acoustics, Brüel&Kjaer, Denmark
- Gül, Z. S. ve Çalışkan, M., 2013. Impact of Design Decisions on Acoustical Comfort: Case Study of Doğramacızade Ali Paşa Mosque, Applied Acoustics 74, 834-844
- İsmail, M. R., 2013. A Parametric Investigation of the Acoustical Performance of Contemporary Mosques, Frontiers of Architectural Research, 2, 30-41.
- Karabiber, Z., 1991. Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül Ve Büyüklükler, YTÜ Mimarlık Fakültesi İşliğı, İstanbul.
- Kavraz, M., 2014a. Comparisons Of Acoustic Characteristics For Different Ceiling Forms in The Boztepe Osmanlı Mosque, Turkey, International Journal of Academic Research, 6, 3, 136-144.
- Kavraz, M., 2014b. The acoustic characteristics of the Çarsı Mosque in Trabzon, Turkey, Indoor and Built Environment, 1-9.
- Kayılı, M., 2005. Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture, foundation for science technology and civilisation, Publication ID: 4087.
- Khabiri, O., Ahmad, M. H. ve Kandar M. Z., 2013. Research Method for Computer Modelling Study in Mosque Acoustic Design, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 3, 4, 227-233.
- Köse, İ. 2012. Hagia Sophia in Trabzon, Codrul Cosminului, 18, 2, 169-180.
- Kurtulan, Z., 2009. M.S.G.S.Ü. Sedad Hakkı Eldem Oditoryumunun Hacim Akustiğı Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Long, M., 2006. Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, London.
- Mehta, M., Johnson, J. ve Rocafort, J., 1999. Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- Orfali, W., 2007. Sound Parameters in Mosques, Proceeding of Meetings on Acoustics, Acoustical Society of America Salt Lake City, ABD.
- Özer, M., 1979. Yapı Akustiğı ve Ses Yalıtımı, Arpaz Matbaacılık.
- Özgür E., Öziş, F. ve Alpkoçak, A., 2004. DAAD: A New Software for Architectural Acoustic Design, The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Czech Acoustical Society, Prague.

- Rize Bld., 2015, Rize İmar Planı, Rize Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Rize.
- Salimi, A., 2013. İslam Ülkelerinde Çağdaş Cami Mimarisi Sorunsalı, Yüksek Lisans Tezi, Yakınoğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa.
- Suarez, R., Sendra, J. J., Navarro, J. ve Leon, A. L., 2005. The Sound of Cathedral-Mosque of Cordoba, Journal of Cultural Heritage, 6, 307-312.
- Sü, Z. ve Yılmaz S., 2007. The Acoustical Characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey, Architectural Science Review, 51,1, 21-30.
- TCVGM., 2014a. Ayasofya Hatun Camii Rölövesi, TC Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Trabzon Bölge Müdürlüğü Arşivi, Trabzon.
- TCVGM., 2014b. Gülbahar Hatun Camii Rölövesi, TC Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Trabzon Bölge Müdürlüğü Arşivi, Trabzon.
- TCVGM., 2014c. İskenderpaşa Camii Rölövesi, TC Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Trabzon Bölge Müdürlüğü Arşivi, Trabzon.
- TCVGM., 2014d. Rize Büyük Gülbahar Camii Rölövesi, TC Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Trabzon Bölge Müdürlüğü Arşivi, Trabzon.
- Trabzon Bld., 2015a. Trabzon İmar Planı, Trabzon Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Trabzon.
- Trabzon Bld., 2015b. Mehmet Akif Ersoy Camii Mimari Projesi, Trabzon Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Arşivi, Trabzon.
- URL 1. <http://www.big-soviet.ru/33/3753/Акустика> Büyük Sovyet Ansiklopedisi. 17.03.2015.
- URL 2. http://www.sae.edu/reference_material/pages/Coefficient%20Chart.htm Ses Yutma Katsayıları. 22.03.2015.
- URL 3. <http://www.islamansiklopedisi.info/dia/pdf/c07/c070033.pdf> Diyanet İslam Ansiklopedisi. 18.03.2015.
- URL 4. <http://www.bilinmeyenler.org/kutsal-mekan-kabe-hakkinda-bilgiler.html> Kutsal Mekan Kabe Hakkında Bilgiler. 17.10.2015.
- URL 5. <http://www.3dmekanlar.com/tr/mescid-i-nebevi-2.html> Mescid-i Nebevi 18.03.2015.
- URL 6. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Ayasofya> Ayasofya Camii 19.03.2015.
- URL7. <http://www.eba.gov.tr/gorsel/bak/07e6d7570733ce7eb4b088eac28bb9efc36750ef5e26> Süleymaniye Camii. 19.03.2015.

- URL 8. <http://www.touregypt.net/featurestories/ibntulun.htm> Egypt: The Mosque of Ahmad ibn Tulun. 9.03.2015.
- URL 9. http://www.tour-beijing.com/beijing_temples/niu jie_mosque.php Niu jie Mosque. 19.03.2015.
- URL 10. <http://www.karadenizinsesi.com.tr/ayasofya-artik-hem-cami-hem-muze-5295h.htm> Trabzon Ayasofya Camii. 21.10.2015.
- URL 11. <http://www.trabzonkulturturizm.gov.tr/TR,57661/camiler.html> Camiler. 21.10.2015.
- URL 12. http://www.rizemuftulugu.gov.tr/haber_detay.asp?haberID=1781 Gülbahar Merkez Camii. 21.10.2015.
- URL 13. <http://www.haber61.net/trabzonda-en-buyuk-cami-90891h.htm> Mehmet Akif Ersoy Camii. 21.10.2015.
- URL 14. http://www.steeneken.nl/wp-content/uploads/2014/04/Basics-STI_2014-V1.pdf STI değerleri. 18.11.2015.
- URL 15. http://www.akustik.ua/upload/file/Absorption_Data_calc_rt60.pdf Farklı malzemelerin ses yutma katsayıları. 24.05.2015.
- URL 16. <http://stroyclub.com.ua/wp-content/uploads/2008/11/01-d0b7d0b2d183d0bad0bed0bfd0bed0b3d0bbd0bed189d0b0d18ed189d0b8d0b5-d0bcd0b0d182d0b5d180d0b8d0b0d0bbd18b1.pdf> Ses yutucu malzemeler. 24.05.2015.
- YSSCKD, 2014. Yavuz Sultan Selim Camii Mimari Projesi, Yavuz Sultan Selim Camii Koruma Derneği Arşivi, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İzmir’de doğdu. İlköğrenimini Turgutlu Kurtuluş İlkokulu’nda, ortaöğretimini Turgutlu Orta Okulu’nda, lise eğitimini de Turgutlu Endüstri Meslek Lisesi’nde tamamladı. 2002 yılında Moldova Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümünü kazandı ve 2009 yılında mezun oldu. Piyasada bir süre çeşitli inşaatlarda yöneticilik yaptıktan sonra 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi’ne Araştırma Görevlisi olarak atanan Barış İLBAN halen YÖK kanunu 35. Madde kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde görevini sürdürmektedir. Bekâr olup iyi derecede İngilizce ve Rusça bilmektedir.