**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# HAREKETLİ ÇATI SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA AKUSTİK KOŞULLARIN İNCELENMESİ: İZMİR BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU ÖRNEĞİ

**Yağmur SERİN**

**Mart, 2015**
**İZMİR**

# HAREKETLİ ÇATI SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA AKUSTİK KOŞULLARIN İNCELENMESİ: İZMİR BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU ÖRNEĞİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Yüksek Lisans Tezi**
**Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

**Yağmur SERİN**

**Mart, 2015**
**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**YAĞMUR SERİN,** tarafından **YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜL YILMAZ KARAMAN** ve **DOÇ. DR. FERİDUN ÖZİŞ** yönetiminde hazırlanan **"HAREKETLİ ÇATI SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA AKUSTİK KOŞULLARIN İNCELENMESİ: İZMİR BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU ÖRNEĞİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Özgül YILMAZ KARAMAN
Yönetici

Doç. Dr. Feridun ÖZİŞ
Yönetici

Yard. Doç. Dr. Aslı ÖZGEVİK
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Neslihan GÜZEL
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Müjde ALTIN
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe OKUR
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TEŞEKKÜR**

Tez çalışmamın tüm aşamasında beni yönlendiren ve çalışmalarıma yardımcı olan, yerinde ölçüm aşamasında değerli katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sayın Özgül Yılmaz Karaman' a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince yerinde ölçüm aşamasında ve yorumlamalarda yardımlarını esirgemeyen ikinci tez danışmanım Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Bilimleri Bölümü Müzik Teknolojisi Anabilim Dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Sayın Feridun Öziş' e teşekkür ederim.

Bugüne kadar aldığım tüm kararlarda beni destekleyerek yol gösteren ve başarıya ulaşmamı sağlayan canım annem Gülizar Serin'e ve biricik eşim Berk Kızılçay' a teşekkür ederim.

Mimar Yağmur SERİN

**HAREKETLİ ÇATI SİSTEMİNE SAHİP YAPILARDA AKUSTİK KOŞULLARIN İNCELENMESİ: İZMİR BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU ÖRNEĞİ**

## ÖZ

Son yıllarda, hareketli üst örtü kavramı mekânın hem açık hem de kapalı konumda kullanımına olanak verdiği için yaygın hale gelmeye başlamıştır. Ancak çatı örtüsü tasarlanırken mekân içerisinde oluşabilecek akustik sorunlar göz önüne alınmadan yapılmaktadır. Hareketli çatı strüktürüne sahip yapılar tasarlanırken yapı fiziği açısından birçok etkenin yanı sıra akustik problemler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada bu tür mekânların akustik açıdan sorunlarının incelenip, çözümlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu konuda yapılacak çalışmalara bir örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Tez dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemi açıklanmaktadır. İkinci bölümde; hareketli çatı strüktürlerinin mimaride kullanım örnekleri hakkında bilgi verilmektedir. Hareketli çatı strüktürleri hakkında genel bilgi verildikten sonra hareketli çatı örnekleri ve örneklerin akustik açıdan analizi aktarılmaktadır. Üçüncü bölümde; çalışma alanının tanımı, Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nda mevcut akustik ölçüm yapılarak sorunlar grafik ve tablo yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak anlatılmaktadır. Aynı zamanda Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu'ndaki akustik sorunların belirlenmesi ve tiyatronun işitsel koşullarının belirlenmesine yönelik çözüm önerileri getirilmektedir. Tezin son bölümünde elde edilen ölçüm sonuçları, grafikler ve sayısal veriler neticesinde bazı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Akustik, hareketli çatı strüktürü, tiyatro, mimari

**EXAMINATION OF ACOUSTICAL CONDITIONS IN BUILDINGS WITH RETRACTABLE ROOF SYSTEMS: CASE OF SUAT TASER THEATRE, BOSTANLI, İZMİR**

## ABSTRACT

In recent years, the concept of mobile top cover has become popular because it allows the place to be used both in open and closed positions. However, when the roof cover is being designed, acoustic problems that may arise within the place are not taken into consideration. When structures having mobile roof structures are designed, acoustic problems as well as a number of factors in terms of structure physics, must be taken into consideration. In this study, it is aimed at analyzing the acoustic problems of this kind of structures, and developing solutions. It is aimed at serving a model for future studies that are going to be made on this subject.

The thesis is comprised of 4 main sections. In the first section, the purpose, scope and method of the study are explained. In the second section, information about the architectural uses of mobile roof structures is provided. After general information about mobile roof structures is provided, examples of mobile roofs and their acoustic analyses are given. In the third section, following the definition of the working area and the demonstration of acoustic measurements made in Suat Taşer Open Air Theatre, the problems are explained with graphic and table methods comparatively. At the same time, suggestions for the solution of specifying acoustic problems in Suat Taşer Open Air Theatre and for determining acoustic conditions of the theatre are given. In the last section of the thesis, some results are obtained through the measurement results, graphics and numerical data.

**Keywords:** Acoustics, mobile roof structure, theatre, architecture

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ÖZ ..... iv
ABSTRACT ..... v
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... ix
TABLOLAR LİSTESİ ..... xiii

**BÖLÜM BİR – GİRİŞ ..... 1**

1.1 Amaç ..... 1
1.2 Kapsam ve Yöntem ..... 2

**BÖLÜM İKİ - HAREKETLİ ÇATI STRÜKTÜRLERİNİN MİMARİDE KULLANIM ÖRNEKLERİ ..... 3**

2.1 Hareketli Çatı Strüktürlerinin Mimaride Kullanımı ve Genel Özellikleri ..... 3
2.2 Hareketli Çatıların Kullanım Örnekleri ..... 9
2.2.1 Stadyum Yapıları ..... 9
2.2.1.1 Türk Telekom Arena (İstanbul, TÜRKİYE - 2011) ..... 9
2.2.1.2 Astana Stadyumu (Astana, KAZAKİSTAN - 2009) ..... 12
2.2.1.3 Roger Center (Toronto, KANADA - 1989) ..... 19
2.2.1.4 Wimbledon Merkez Kortu (Londra, UK) ..... 23
2.2.2 Alışveriş Merkezi ..... 25
2.2.2.1 Athensheart Alışveriş Merkezi (Athens, YUNANİSTAN-1991) ..... 25
2.2.3 Restoran, Kafeterya ..... 27
2.2.3.1 Azerbaycan Kafeterya (Bakü, AZERBAYCAN) ..... 27
2.2.3.2 İstanbul Restoran (İstanbul, TÜRKİYE) ..... 28
2.2.3.3 Pizza Express Binası (St Brelade, Jersey İNGİLTERE) ..... 29
2.2.4 Açık Hava Tiyatrosu ve Konferans Yapıları ..... 30

2.2.4.1 Bad Hersfeld Açık Hava Tiyatrosu (Bad Hersfeld, ALMANYA - 1968) ..... 30
2.2.4.2 Palm Beach Açık Hava Tiyatrosu (Cannes,FRANSA-1965) .... 34
2.2.4.3 Starlight Tiyatrosu (Rockford, Illinois, U.S. - 2003) ..... 37
2.2.4.4 Robinson Club Açık hava Tiyatrosu (İSPANYA, 1999) ..... 39
2.2.4.5 Landschaftspark (Duisburg, ALMANYA) ..... 41
2.2.4.6 Colosseum (ROMA) ..... 42
2.2.4.7 Kufstein Fortress Arena (AVUSTURYA) ..... 43
2.3 Örneklerin Akustik Açıdan Analizi ..... 46

**BÖLÜM ÜÇ – ALAN ÇALIŞMASI: BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU VE AKUSTİK DEĞERLENDİRMESİ ..... 54**

3.1 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun İzmir İçin Önemi ..... 54
3.2 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun Mimari Olarak Değerlendirilmesi ..... 55
3.2.1 Tiyatronun Tasarım Özellikleri ..... 56
3.2.2 Tiyatronun Yapısal Özellikleri ..... 60
3.2.3 Tiyatronun Geçirdiği Yenileme Çalışmaları ..... 63
3.2.4 Tiyatronun Mevcut İç Yüzey Kaplama Malzemelerinin Özellikleri ..... 67
3.3 Çalışma Alanında Yapılan Hacim Akustiği Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi ..... 68
3.3.1 Ölçüm ve Değerlendirmede Kullanılan Akustik Parametreler ve Optimum Değerleri ..... 68
3.3.2 Alan Ölçmesi ..... 71
3.3.2.1 Ölçüm Koşulları ve Pozisyonları ..... 71
3.3.2.2 Ölçüm Düzeneği ..... 73
3.3.3 Salonun Açık ve Kapalı Durumda Mevcut Akustik Koşul Değişiminin Belirlenmesi ..... 74
3.4 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun Akustik Değerlendirmesi ..... 83
3.4.1 Açık ve Kapalı Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ..... 84
3.4.2 Belirlenen Akustik Sorunlar ve Çözüm Önerileri ..... 87

**BÖLÜM DÖRT – DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR..... 96**

**KAYNAKLAR ..... 98**

## ŞEKİLLER LİSTESİ

**Sayfa**

Şekil 2.1 Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı ..... 3
Şekil 2.2 Pittsburgh Civic Arena ..... 4
Şekil 2.3 Kayar hareketli sistemler ..... 5
Şekil 2.4 Katlanır hareketli sistemler ..... 5
Şekil 2.5 Döner hareketli sistemler ..... 5
Şekil 2.6 Hareket yöntemleri ..... 6
Şekil 2.7 Colosseum'daki hareketli çatı ..... 7
Şekil 2.8 Açık hava tiyatrosu hareketli çatısı, Cannes ..... 7
Şekil 2.9 Genişleyebilen elemanlardan oluşmuş strüktür tipi ..... 8
Şekil 2.10 Genişleyebilen uzaysal strüktürden oluşmuş hareketli çatı ..... 8
Şekil 2.11 Türk Telekom Arena vaziyet planı ..... 10
Şekil 2.12 Türk Telekom Arena'nın genel görünüşü ..... 11
Şekil 2.13 Türk Telekom Arena hareketli çatı ..... 11
Şekil 2.14 Astana Stadyumu vaziyet planı ..... 12
Şekil 2.15 Astana Stadyumu görünüş ..... 12
Şekil 2.16 Astana Stadı' nın genel görünüşü ..... 13
Şekil 2.17 Astana Stadyumu hareketli çatı ..... 13
Şekil 2.18 Astana Stadyumu kesit ..... 14
Şekil 2.19 Astana Stadyumu sabit çatı planı ..... 15
Şekil 2.20 Astana Stadyumu ana taşıyıcı kirişten kesit ..... 16
Şekil 2.21 Astana Stadyumu ana taşıyıcı kirişten görünüm ..... 16
Şekil 2.22 Astana Stadyumu kuzey-güney görünüşü ..... 17
Şekil 2.23. Astana Stadyumu doğu-batı görünüşü ..... 17
Şekil 2.24 Astana Stadyumu hareketli çatı planı açık durumdayken ..... 18
Şekil 2.25. Astana Stadyumu hareketli çatı planı kapalı durumdayken ..... 18
Şekil 2.26 Roger Center genel görünüşü ..... 19
Şekil 2.27 Roger Center dış perspektif ..... 20
Şekil 2.28 Roger Center iç perspektif ..... 21
Şekil 2.29 Çatı çerçeve planı ..... 21

Şekil 2.30 Çatı çerçevesi ..... 22
Şekil 2.31 Toronto Roger Center' ın açılma pozisyonları ..... 22
Şekil 2.32 Wimbledon Center görünüş ..... 23
Şekil 2.33 Athensheart alışveriş merkezi hareketli çatı görünüşü ..... 25
Şekil 2.34 Hareketli çatıda boru profillerden oluşan makaslar ..... 26
Şekil 2.35 Azerbaycan kafeterya hareketli çatı görünüşü ..... 27
Şekil 2.36 İstanbul kafeterya hareketli çatı açıkken görünüşü ..... 28
Şekil 2.37 İstanbul kafeterya hareketli çatı kapalıyken görünüşü ..... 29
Şekil 2.38 Pizza Express binası hareketli çatı görünüşü ..... 30
Şekil 2.39 Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu üst örtüsünün görünüşü ..... 30
Şekil 2.40 Üst örtünün hareket evreleri ..... 31
Şekil 2.41 Üst örtünün enine kesiti ..... 32
Şekil 2.42 Üst örtünün boyuna kesiti ..... 32
Şekil 2.43 Kablo çekme elemanlarının şematik anlatımı ..... 33
Şekil 2.44 Palm Beach açık hava tiyatrosu üst örtüsünün görünüşü ..... 35
Şekil 2.45 Palm Beach açık hava tiyatrosu üst örtüsünün kesiti ..... 36
Şekil 2.46 Starlight Tiyatrosu hareketli çatı görünüşü ..... 38
Şekil 2.47 Hareketli çatının açılıp kapanma aşaması ..... 39
Şekil 2.48 Hareketli çatının görünüşü ..... 39
Şekil 2.49 Hareketli çatının açıkken görünüşü ..... 40
Şekil 2.50 Hareketli çatının kapalı iken görünüşü ..... 41
Şekil 2.51 Hareketli çatının görünüşü ..... 42
Şekil 2.52 Coloseum görünüş ..... 43
Şekil 2.53 Kufstein Fortress Arena binası görünüşü ..... 44
Şekil 2.54 Üst örtünün kapalı durumdaki görünüşü ..... 45
Şekil 2.55 Üst örtünün açık durumdaki görünüşü ..... 45
Şekil 3.1 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu konumu ..... 56
Şekil 3.2 Sahne ve oturma düzeni ..... 57
Şekil 3.3 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu vaziyet planı ..... 57
Şekil 3.4 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu zemin kat planı ..... 58
Şekil 3.5 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu çatı planı ..... 58
Şekil 3.6 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu A-A kesiti ..... 59

Şekil 3.7 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu B-B kesiti ..... 59
Şekil 3.8 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu batı cephesi ..... 59
Şekil 3.9 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu güney cephesi ..... 59
Şekil 3.10 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu kuzey cephesi ..... 60
Şekil 3.11 Bostanlı açık hava tiyatrosu doğu cephesi ..... 60
Şekil 3.12 Seyirci kısmı kesit ..... 61
Şekil 3.13 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu çatı planı ..... 62
Şekil 3.14 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı planı 1 ..... 62
Şekil 3.15 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı planı 2 ..... 63
Şekil 3.16 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı ..... 63
Şekil 3.17 Bostanlı açık hava tiyatrosu önceki hali ..... 64
Şekil 3.18 Sahne görünüm ..... 65
Şekil 3.19 Seyirci kısmı ..... 66
Şekil 3.20 Sahne son hali ..... 66
Şekil 3.21 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu kaynak ve alıcı noktaları ..... 73
Şekil 3.22 T30 çatı açık iken ölçüm sonuçları ..... 75
Şekil 3.23 T30 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 77
Şekil 3.24 EDT çatı açık iken ölçüm sonuçları ..... 78
Şekil 3.25 EDT çatı kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 78
Şekil 3.26 C80 çatı açık iken ölçüm sonuçları ..... 80
Şekil 3.27 C80 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 80
Şekil 3.28 D50 çatı açık iken ölçüm sonuçları ..... 82
Şekil 3.29 D50 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 82
Şekil 3.30 T30 çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 85
Şekil 3.31 EDT çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 85
Şekil 3.32 C80 çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 86
Şekil 3.33 D50 (-) çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 86
Şekil 3.34 STI çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları ..... 87
Şekil 3.35 Kaynak alıcı noktaları ..... 87
Şekil 3.36 A1/A2 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları ..... 89
Şekil 3.37 A3/A4 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları ..... 90
Şekil 3.38 A5/A6 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları ..... 91

Şekil 3.39 A1/A2 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları ..... 92
Şekil 3.40 A3/A4 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları ..... 93
Şekil 3.41 A5/A6 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları ..... 94

## TABLOLAR LİSTESİ

**Sayfa**

Tablo 2.1 Türk Telekom Arena teknik özellikleri ..... 10
Tablo 2.2 Astana Stadyumu teknik özellikleri ..... 14
Tablo 2.3 Roger Center teknik özellikleri ..... 20
Tablo 2.4 Wimbledon Center Court teknik özellikleri ..... 24
Tablo 2.5 Athensheart alışveriş merkezi teknik özellikleri ..... 26
Tablo 2.6 Azerbaycan kafeterya teknik özellikleri ..... 27
Tablo 2.7 İstanbul restoran teknik özellikleri ..... 28
Tablo 2.8 Pizza Express Binası teknik özellikleri ..... 29
Tablo 2.9 Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu teknik özellikleri ..... 31
Tablo 2.10 Palm Beach açık hava tiyatrosu teknik özellikleri ..... 35
Tablo 2.11 Starlight Tiyatrosu teknik özellikleri ..... 38
Tablo 2.12 Robinson Club açık hava tiyatrosu teknik özellikleri ..... 40
Tablo 2.13 Landschaftspark teknik özellikleri ..... 41
Tablo 2.14 Coloseum teknik özellikleri ..... 43
Tablo 2.15 Kufstein Fortress Arena binası teknik özellikleri ..... 44
Tablo 2.16 İncelenen yapıların yüzey ve malzeme özelikleri ..... 49
Tablo 2.17 Örneklerde kullanılan çatı kaplama malzemelerinin referans yutma çarpanı değerleri ..... 51
Tablo 3.1 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu teknik özellikleri ..... 55
Tablo 3.2 Farklı boyutlarda salonlar için kişi başına düşen hacim değerleri ..... 60
Tablo 3.3 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosunun malzeme özellikleri ve kapladıkları alan ..... 67
Tablo 3.4 Mekandaki yüzey gereçleri referans yutuculuk katsayıları ..... 68
Tablo 3.5 Akustik parametreler ve optimum değerleri ..... 70
Tablo 3.6 Ölçüm koşulları ..... 72
Tablo 3.7 Oturma yeri sayısına göre kullanılması gereken minimum mikrofon pozisyonu sayısı ..... 72
Tablo 3.8 Alıcı-kaynak uzaklıkları ..... 73
Tablo 3.9 T30 değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 76

Tablo 3.10 T30 değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı 77
Tablo 3.11 EDT (s) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 79
Tablo 3.12 EDT (s) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 79
Tablo 3.13 C80 (dB) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 81
Tablo 3.14 C80 (dB) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 81
Tablo 3.15 D50 (-) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 83
Tablo 3.16 D50 (-) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı ..... 83
Tablo 3.17 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 89
Tablo 3.18 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 89
Tablo 3.19 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 90
Tablo 3.20 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 90
Tablo 3.21 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 91
Tablo 3.22 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı açık kapalı farklı frekanslardaki T30 değerleri ..... 91
Tablo 3.23 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 92
Tablo 3.24 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 92
Tablo 3.25 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 92

Tablo 3.26 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 93
Tablo 3.27 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 93
Tablo 3.28 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri ..... 93

# BÖLÜM BİR
# GİRİŞ

Üzeri açık mekânların yağmur, kar, sıcak ve soğuk gibi her türlü hava koşullarına karşı kullanışlı hale gelmesi için hareketli çatı strüktürü ile kapatılması fikri geçmişten günümüze yaygın bir kullanıma sahiptir. Özellikle açık hava etkinliklerinin gerçekleştirildiği mekânlarda, doğa olaylarından korunmak amacıyla açılıp kapanabilen nitelikte üst örtülerin kullanıldığı görülmektedir. Yapılarda, çatının hareket edebilmesi ile doğal ışık ve hava mekân içine alınmaktadır. İhtiyaç halinde çatı kapatılarak kullanıcılar dış etkenlerden korunmaktadır.

Farklı işleve sahip yapılarda sıkça rastlanan yapı kabuğunun, özellikle de üst örtünün hareketi mekânların işitsel koşullarının değişimini de beraberinde getirmektedir. Hareketli çatıya sahip binalar tasarlanırken mekânın işitsel konforu da göz önünde bulundurulmalıdır. İç mekânın kullanım amacı, tasarımı, kullanılan malzemelerin özellikleri, uygulanan hareketli çatı strüktürünün biçimi ve malzeme özelliği gibi etkenler bu koşulların sağlanması için önemlidir. Tez kapsamında söz konusu mekânlarda ortaya çıkan akustik sorunların belirlenmesi ve çözümüne yönelik bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Ve bu bağlamda, hareketli çatı sistemine sahip yapı örnekleri üzerinden yapılan incelemeler ile mekânlarda çatı hareketinin sebep olabileceği akustik değişimler anlatılarak, örnek çalışma alanı olarak seçilen Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu akustik koşulları bakımından değerlendirilmektedir.

## 1.1 Amaç

Tez kapsamında, örnek çalışma alanı olarak seçilen Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nda nesnel yöntemlerle mevcut hacim akustiği koşullarının tespit edilerek, hareketli çatı strüktürünün açılıp kapanması sırasında oluşan akustik değişim koşullarının irdelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

## 1.2 Kapsam ve Yöntem

Bu çalışmada belirlenen amaç doğrultusunda genel anlamda kaynak taraması ile bilgi toplama, örnekleme, gerek görülen noktalarda şekil, tablo veya grafiklerle açıklama, mevcut durum tespiti, ölçüm, karşılaştırma, yorumlama ve değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır.

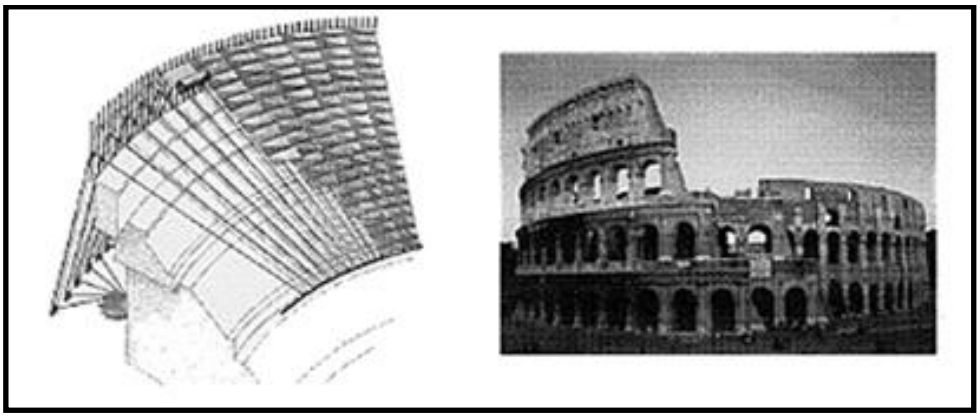
Bu bağlamda, Türkçe ve yabancı kaynaklardan hareketli çatı strüktürleri ile ilgili temel bilgiler verildikten sonra konu ile ilgili örnekler aktarılmıştır. Akustik koşul değişiminin belirlenmesi için çalışma alanı olarak seçilen Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun mimari özellikleri hakkında bilgi aktarımı ve akustik ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sırasında Dirac 5,5 yazılımı ve ölçüm ekipmanı kullanılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları tablolar ve grafikler ile açık ve kapalı durumlar için karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

# BÖLÜM İKİ
# HAREKETLİ ÇATI STRÜKTÜRLERİNİN MİMARİDE KULLANIM ÖRNEKLERİ

## 2.1 Hareketli Çatı Strüktürlerinin Mimaride Kullanımı ve Genel Özellikleri

Yapıların hareket edebilmesi fikri mimarlık tarihinde eski bir geçmişe sahiptir. 20. yy sonlarında ortaya çıkmaya başlayan teknolojik gelişmeler sayesinde yapıda esneklik kavramının daha etkin biçimde uygulanabilmesine fırsat vermiştir. Böylelikle hareket, değişebilirlik gibi yeni kavramların yapıda uygulama alanları artmaya başlamıştır. Günümüzde hızla gelişen, geniş bir teknoloji tabanı üzerinde yaşamımızın şekillendiği düşünülürse bu hızın yaşadığımız mekânlara etkisinin hissedilmesi gerekliliği kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkar (Güçyeter, 2004).

Şekil 2.1' deki gibi üzeri açık mekanların kapatılma gereksinimi Roma'daki Colosseum' da da görülmektedir. İzleyici bölümünün üstünde ipler ve makaralar yardımıyla hareket ettirilen "velarium" adı verilen örtünün bulunduğu bilinmektedir. Kalıntılar arasında bulunan direkler de burada eskiden bir hareketli çatı bulunduğunu doğrular niteliktedir (National Geographic, 1992).



Şekil 2.1 Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı (National Geographic, 1992)

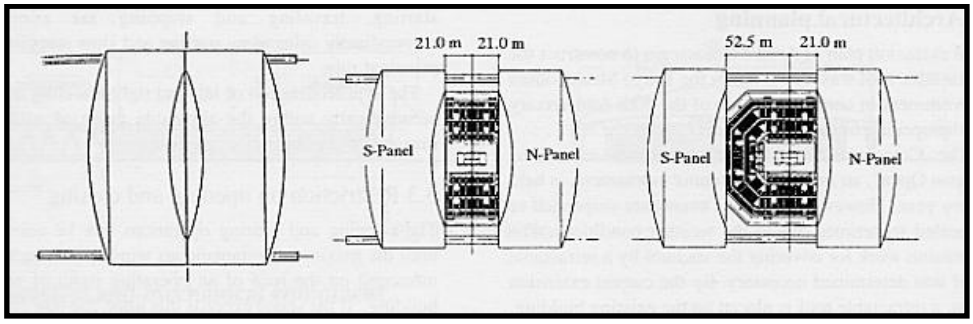
Seçilen taşıyıcı sistem, malzeme ve geçilen açıklık gibi pek çok faktöre bağlı olarak açılır kapanır sistemlerin sınıflandırılması farklılık göstermektedir. Bu

anlamda hareketli çatı strüktürleri; çerçeve tipi, membran ve genişleyebilen çerçeve tipi hareketli sistemler olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir (Ishii, 2000, Çalış 2012). Çerçeve tipi hareketli sistemlerde hareket biçimine göre alt sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Bunlar; kayar, katlanır, döner ve açılır kapanır hareketli sistemlerdir. Bu sistemler aşağıda kısaca anlatılacaktır.

Çerçeve tipi hareketli sistemlerde strüktür sistemi özellikleri ve örtü elemanlarının malzeme özellikleri rijittir. Yapı malzemeleri bu tip konstrüksiyonların ana elemanlarını oluşturmaktadır. Çerçeve tipi çatılarda, çatı çerçevesi çok sayıda parçaya bölünmektedir. Her bölünmüş parça bağımsız bir strüktürden oluşmaktadır (Şekil 2.2).

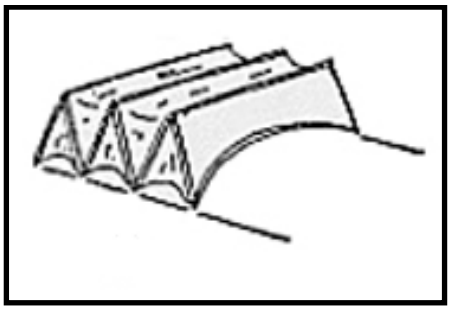
Şekil 2.2 Pittsburgh Civic Arena (Ishii, 2000)

Kayar hareketli sistemler; çatı panellerinin hareket yönü tasarıma göre düşey, yatay, eğik veya kombinasyonları olacak şekilde genel olarak kayma hareketli yani taşıyıcı sistem ana aksına paralel hareket özellikli sistemlerdir. Genellikle yapıların bütününü kapatmak için tercih edilen paralel kayma özelliğine sahip hareketli rijit strüktürler, sistemin bütün olarak ya da birden fazla parçalardan oluşmuş biçimde bir yönde ya da birbiri üzerinde hareket etmesi ilkesine göre tasarlanır (Şekil 2.3).



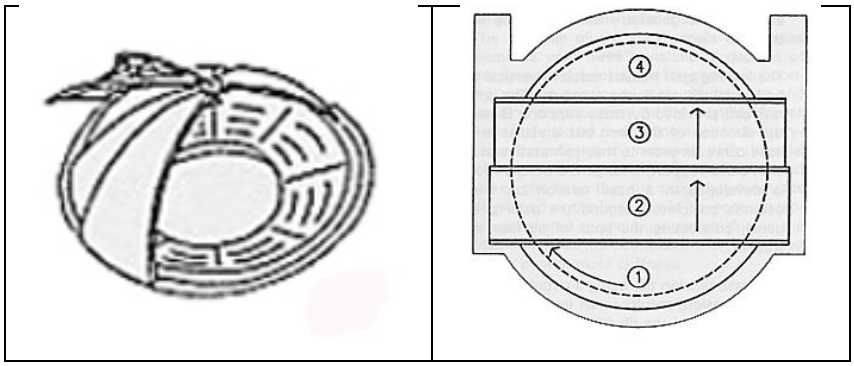

Şekil 2.3 Kayar hareketli sistemler (Ishii, 2000)

Katlanır hareketli sistemler; çatı panellerinin hareket yönü tasarıma göre düşey, yatay, eğik veya kombinasyonları olacak şekilde taşıyıcı sistem ana aksına paralel, taşıyıcı sistem sınırlarına doğru veya taşıyıcı sistem merkezine doğru katlanma hareket özellikli sistemlerdir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Katlanır hareketli sistemler (Ishii, 2000)

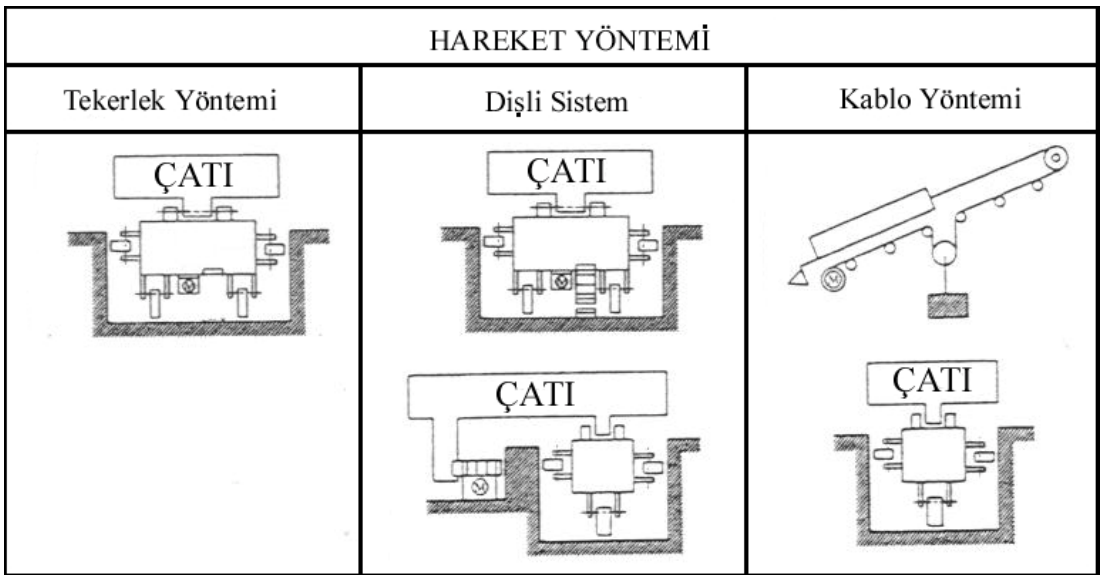
Döner hareketli sistemler; çatı panellerinin hareket yönü yatayda olacak şekilde düz ya da eğri strüktür elemanlarının taşıyıcı sistem merkezine doğru, taşıyıcı sistem sınırlarına doğru veya taşıyıcı sistem sınırları üzerinde döner hareket özellikli sistemlerdir (Şekil 2.5).




Şekil 2.5 Döner hareketli sistemler(Ishii, 2000)

Açılır-kapanır hareketli sistemler; özellikle pnömatik sistemler olmakla birlikle çatı örtü malzemelerinin hareket yönü tasarıma göre düşey, yatay, eğik veya kombinasyonları olacak şekilde taşıyıcı sistem merkezine doğru, taşıyıcı sistem sınırlarına doğru veya taşıyıcı sistem sınırları üzerinde tıpkı bir çiçeğin açılıp kapanması gibi açılıp kapanabilen hareket özellikli sistemlerdir.

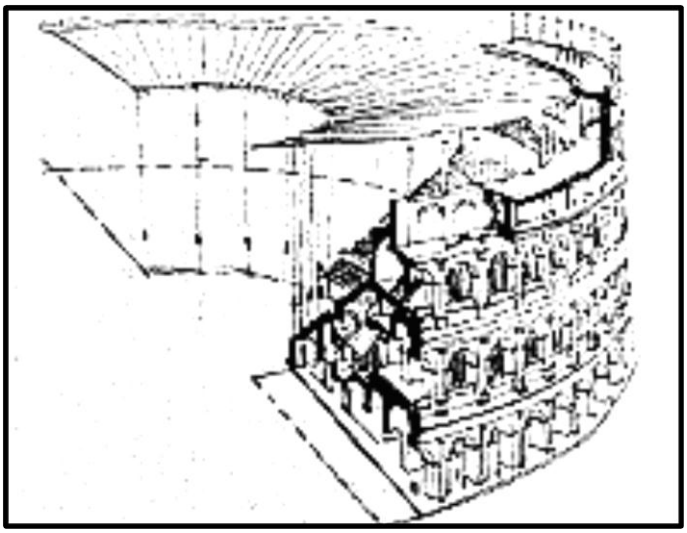
Hareketli çatılar eğri ya da düz raylar üzerinde hareket etmektedir. Hareketli çatıların tasarımına bağlı olarak hareket yöntemleri; yatay raylar üzerinde hareket eden motorlu tekerlekler; kablo ile çekilerek raylar üzerinde hareket eden tekerlekler ve düşeyde eğri raylar üzerinde hareket eden dişliler ile düzenlenir (Şekil 2.6).



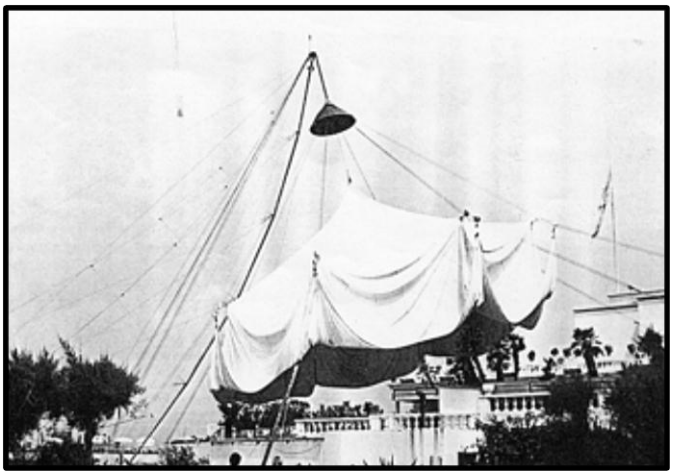

Şekil 2.6 Hareket yöntemleri (Ishii, 2000)

Membran hareketli sistemlerde, membran örtü malzemesi kablolar ve makaralar yardımıyla çeşitli şekillerde katlanarak çatının açılıp kapanmasını sağlar.

Membran malzemesinin sabit bina üzerinde hareketli olarak kullanılması Romalılar zamanına dayanır. Romalılar o zamanki gemilerde kullanılan yelkene benzeyen ve “velarium” adı verilen membran malzeme ile başta Colosseum olmak üzere çeşitli alanların üzerini örtmüşlerdir. Bu membran örtü kablolar yardımıyla hareket ettirilerek seyircilerin Roma güneş ve yağmurdan korunması sağlanmıştır (Ishii, 2001).

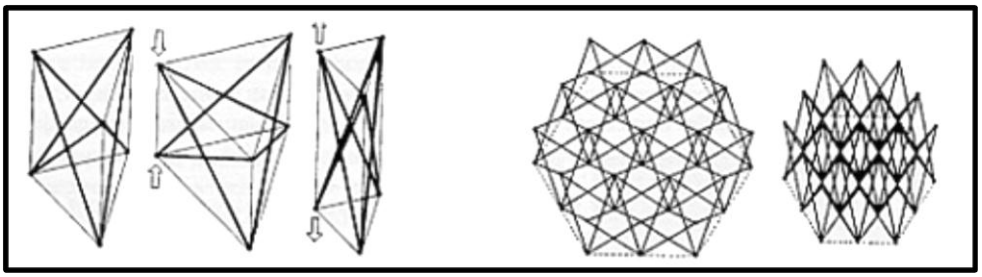


Şekil 2.7 Colosseum' daki hareketli çatı (Escrig, 2000)

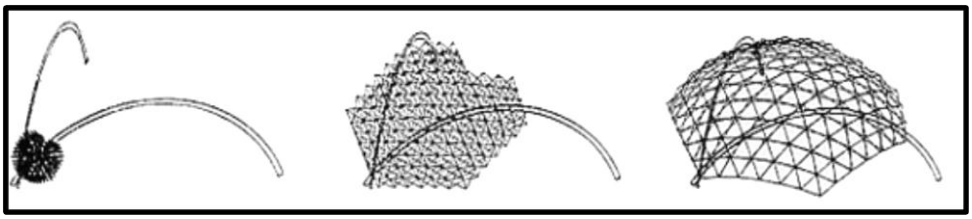


Şekil 2.8 Açık hava tiyatrosu hareketli çatısı, Cannes (Otto, 1977)

Genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılarda çubuklardan veya plaklardan oluşan çerçeve, strüktürün çevresine doğru genişler ve çatının açılması sağlanır. Bu tip hareketli çatılar montajı hızlı ve kolay olan uzaysal strüktürlerdir. Önceleri açılabilir toplanabilir geçici yapılarda kullanılan bu strüktür daha sonraları hareketli çatılarda da kullanılmıştır (Çalış, 2012).



Şekil 2.9 Genişleyebilen elemanlardan oluşmuş strüktür tipi (Ishii, 2000)



Şekil 2.10 Genişleyebilen uzaysal strüktürden oluşmuş hareketli çatı, Bergisel stadyumu (Ishii, 2000)

## 2.2 Hareketli Çatıların Kullanım Örnekleri

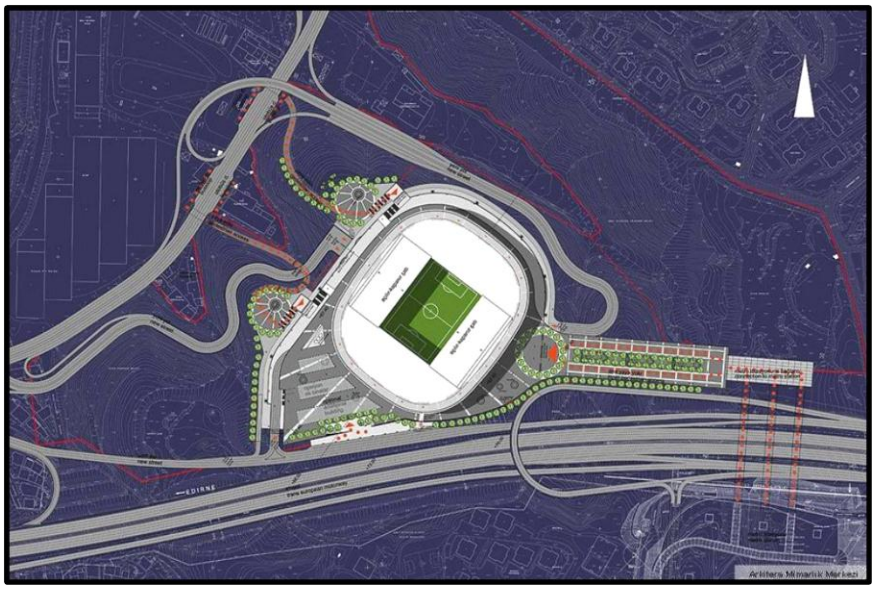
Hareketli çatıların, mimaride kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle toplanma amaçlı mekanlarda, iklimsel değişikliklere bağlı olarak yapı kabuğunun tamamen ya da kısmen hareketli olduğu örneklere rastlanmaktadır. Kullanılan malzeme ve hareket özelliğine göre söz konusu mekanlarda akustik koşul değişimi de kaçınılmaz olacaktır. Bu bölümde farklı amaçlı toplanma işlevine hizmet eden farklı büyüklükteki yapı örnekleri yapıların fonksiyonuna göre kısaca irdelenmektedir.

Herbir örnek için oluşturulan tablolarda yapının yeri, yapının fonksiyonu gibi künye bilgilerinin yanında, çatı sisteminin, kullanılan malzemenin çeşidi ve hareketli yüzeylerin oranı tariflenmiştir. Çatı strüktürünün hareketli bölümü ve yapının duvar yüzeyleri ile kısmen ve / veya tamamen çevrelenmiş olması, yüzeylerin yutuculuk değerlerinin ve dolayısıyla akustik koşulların değişimine neden olacağından çalışma kapsamında; yapının düşey elemanlar (duvarlar) ile çevrelenme oranı ve çatı sisteminin hareketli bölümünün, sabit bölüme oranı bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

### *2.2.1 Stadyum Yapıları*

#### *2.2.1.1 Türk Telekom Arena (İstanbul, TÜRKİYE-2011)*

Ankara- Edirne Otoyolu'nun (TEM) kuzeyinde yer almaktadır ve tasarımı ASP firması tarafından yapılmıştır. Oldukça eğimli bir yapısı olan bu arazide en yüksek tepeye oturtulan stadyum kuzeydoğu-güneybatı yönündedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Türk Telekom Arena vaziyet planı (Arkitera, 2012)

Tablo 2.1 Türk Telekom Arena teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | İstanbul, Türkiye |
| Yapım Yılı | 2011 |
| Yapı Fonksiyonu | Stadyum |
| Mimari Tasarım | Mete Arat |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem + Betonarme Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 110 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 12500 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Tekerlekli Sistem |
| Hareket Süresi | 30 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %50 |

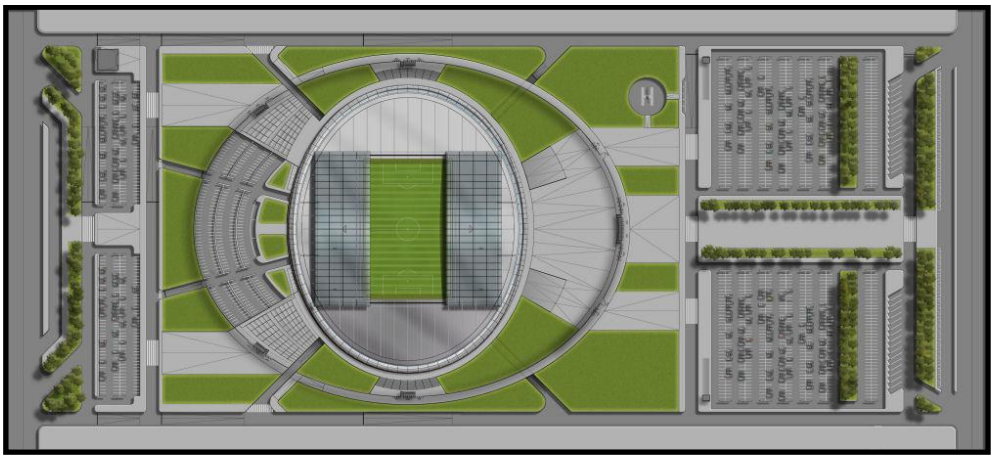
Şekil 2.12 Türk Telekom Arena'nın genel görünüşü (Arkitera, 2012)

Hareketli çatının toplam ağırlığı yaklaşık 6000 tondur. Açılma-kapatılma işlemi yaklaşık 30 dakika sürecek çatının açılır-kapanır kısmı şeffaftır. Çatıda gün ışığından en iyi şekilde yararlanmayı gerektiren mekânlarda en ideal çözümü sağladığı gibi reçinesinin özelliğinden ötürü darbelere karşı son derece dayanıklı olan Makrolon (çift cidarlı, saydam olabilen ve ileri teknoloji polikarbondan üretilen malzeme) kullanılacaktır. Soğuk bükülebilme özelliğinden ötürü mimaride dizayn kolaylığı sağlayan, cam ve akrilik gibi kaplama malzemelerine göre çok hafif olan %88 ışık geçiren, çatı kaplaması stadın doğal ışıktan maksimum derecede faydalanması sağlanmaktadır (Şekil 2.13).

Şekil 2.13 Türk Telekom Arena hareketli çatı (Arkitera, 2012)

*2.2.1.2 Astana Stadyumu (Astana, KAZAKİSTAN-2009)*

Astana Olimpik Stadyumu Kazakistan'ın başkenti Astana'nın mimari anlamda en önemli yapılarından biri olmak üzere planlanmıştır. Şehir merkezi ile uluslararası havalimanını birbirine bağlayan anayol üzerinde konumlandırılmıştır. Astana Stadyumu Tabanlıoğlu tarafından 232 bin 485 $m^2$ alanda tasarlanmıştır. Stadyumun ana formu elips olup, elips geometrisi kendisini çatı kabuğunda göstermektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Astana Stadyumu vaziyet planı (Arkitera, 2012)

Şekil 2.15 Astana Stadyumu görünüş (Arkitera, 2012)

Şekil 2.16 Astana Stadı' nın genel görünüşü (Arkitera, 2012)

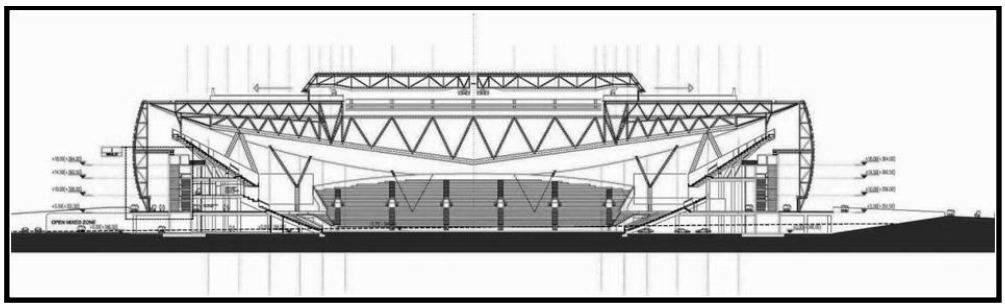
Şekil 2.17 Astana Stadyumu hareketli çatı (Arkitera, 2012)

Tablo 2.2 Astana Stadyumu teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Astana, Kazakistan |
| Yapım Yılı | 2009 |
| Yapı Fonksiyonu | Stadyum |
| Mimari Tasarım | Tabanlıoğlu Mimarlık |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem + Betonarme Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 117 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 7000 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Tekerlekli Sistem |
| Hareket Süresi | 15 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %50 |

Toplam oturma kapasitesi 30000 kişi olan stadyumun, alt tribün alanları 16000, üst tribün alanları ise 14000 kişi oturabilecek şekilde planlanmıştır. VIP tribünleri stadın batı tarafında, alt ve üst tribün alanlarının arasından bulunmaktadır.

Stadyumun ana taşıyıcı konstrüksiyonu çelikten inşa edilmiştir. Hareketli çatı elemanları doğu-batı yönünde ana taşıyıcı çelik elemanların üzerinde hareket edecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 2.18).

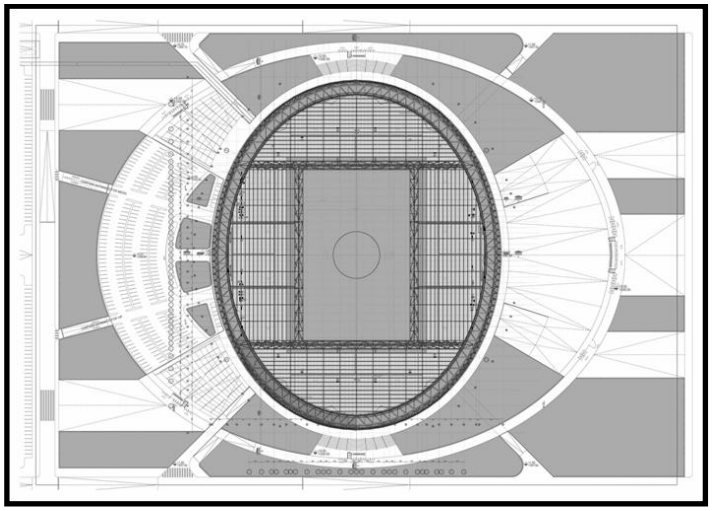


Şekil 2.18 Astana Stadyumu kesit(doğu – batı) (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

Astana Stadyumu ‘ndaki çelik yapılar dört ana başlık altında incelenebilir:

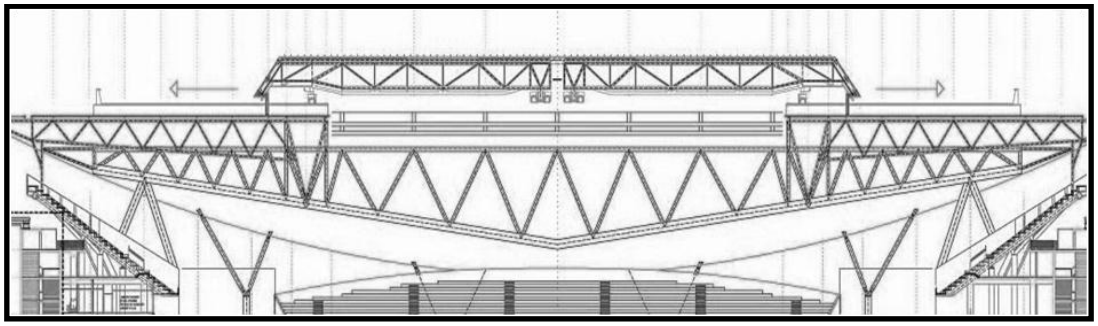
- Sabit çatı
- Hareketli çatı
- Üst tribün yapısı
- Yan duvarlar

Sabit Çatısı sahanın üstü dört adet kafes kirişle çevrelenmiştir. Bu kafes kirişlerden ana makas diye isimlendirilen iki tanesi 124,2 m açıklık geçmekte ve her iki uçta betonarme tribünlerin içinde yer alan mesnet çekirdeklerine oturmaktadır (Şekil 2.19).



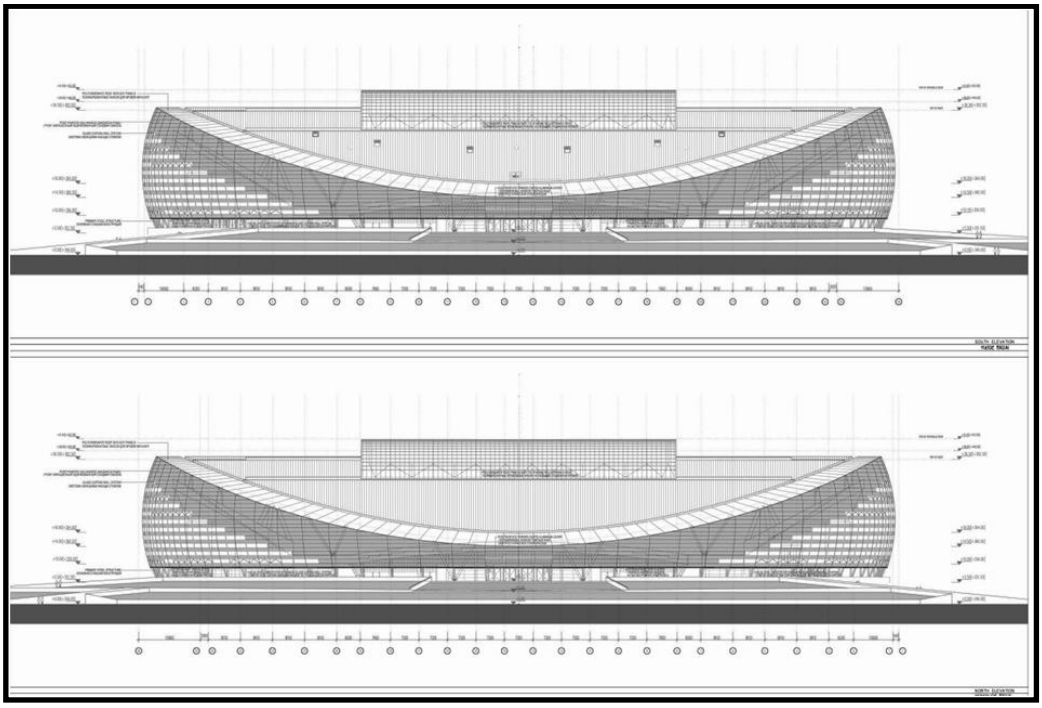
Şekil 2.19 Astana Stadyumu sabit çatı planı (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

Çatının en ağır ve büyük elemanı olan ana taşıyıcı kirişler 5,40 m genişliğinde ve açıklığın ortasında 12 m yüksekliğinde olup en kesit yüksekliği yanlara doğru azalarak mesnet noktalarında 3 m’ye düşmektedir.124,2 m açıklık geçen bu ana taşıyıcı kirişlerin dıştan dışa toplam uzunluğu 154,57 m ve her birinin ağırlığı 800 tondur (Şekil 2.20).

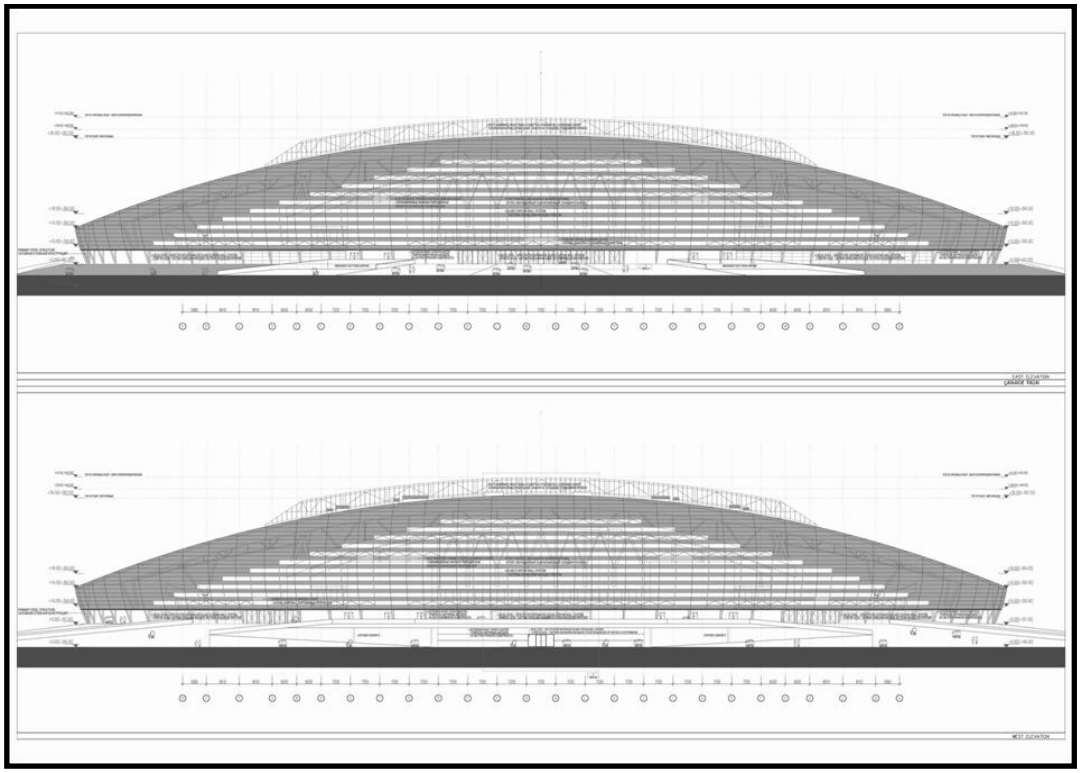


Şekil 2.20 Astana Stadyumu ana taşıyıcı kirişten kesit (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

Şekil 2.21 Astana Stadyumu ana taşıyıcı kirişten görünüm (Arkitera, 2012)



Şekil 2.22 Astana Stadyumu kuzey-güney görünüşü (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

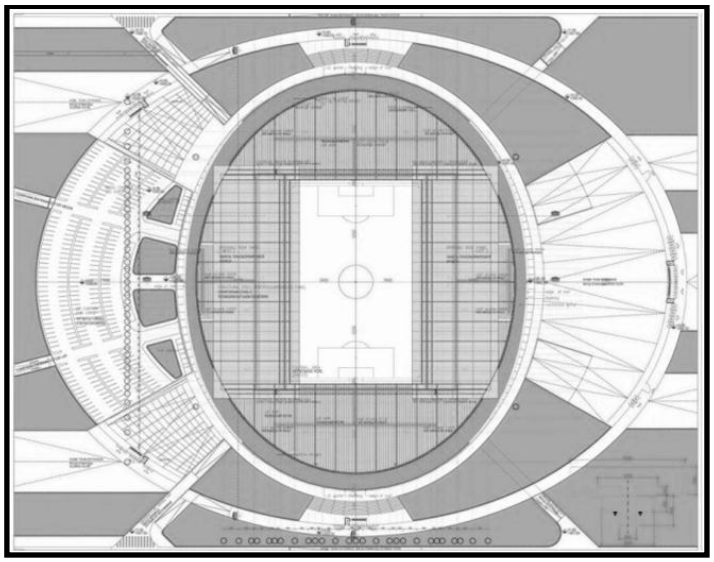


Şekil 2.23. Astana Stadyumu doğu-batı görünüşü (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

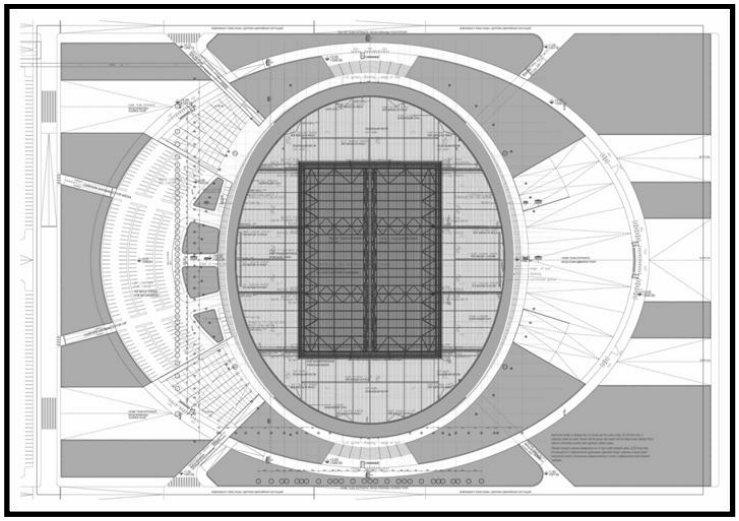
Stadın 183 m uzunluğunda ve 162 m genişliğinde yaklaşık elips şeklinde bir alanı kaplayan alt tribün yapıları betonarmedir. Üst tribün yapıları ile bunların üstünü

örten 222 m uzunluğunda ve 182 m genişliğindeki çatı yapısı tamamen çelik olarak imal edilmiştir (Şekil 2.20). Çelik çatının ortasında sahanın üstüne rastlayan bölümde de açılır- kapanır hareketli çatı yapılmıştır.

Hareketli çatı sahanın üstüne rastlayan kısım hareketli bir çatı ile kapatılmıştır. Hareketli çatı ortadan yanlara doğru açılıp kapanan iki ayrı kanattan oluşmuştur (Şekil 2.24). Hareketli kanatlardan her biri 6 noktadan sabit çatıya basmakta ve bu noktalara yerleştirilmiş tekerlek grupları üzerinde yürüyerek açılıp kapanmaktadır. Hareketli çatı kanatları 117 m. açıklık geçmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.24 Astana Stadyumu hareketli çatı planı açık durumdayken (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

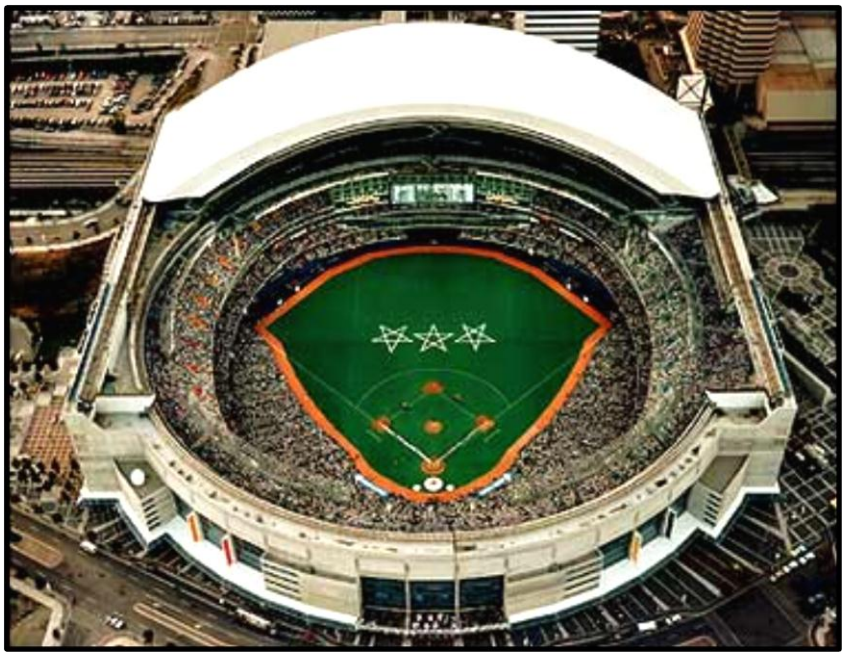


Şekil 2.25. Astana Stadyumu hareketli çatı planı kapalı durumdayken (Tabanlıoğlu Mimarlık, 2011)

Hareketli çatı kapalı durumda iken saha içinde doğal gün ışığından yararlanabilmek için hareketli çatı kanatlarının üstü şeffaf bir polikarbonat kaplama ile kaplanmıştır.

*2.2.1.3 Roger Center (Toronto, KANADA-1989)*

Roger Center, dünyanın ilk çok amaçlı rijit çelik hareketli çatıya sahip stadyumudur. Hareketli çatısı Roger Center' ın çok amaçlılığını sağlayan en önemli faktördür. Çatı kapalıyken hava koşullarından bağımsız her türlü etkinliğin yapılmasına olanak sağlar. İyi havalarda ise çatı açılarak kullanıcılar için uygun bir ortam sağlanır.



Şekil 2.26 Roger Center genel görünüşü (Açılır kapanır stadyum çatıları, 2012)

Tablo 2.3 Roger Center teknik özellikleri

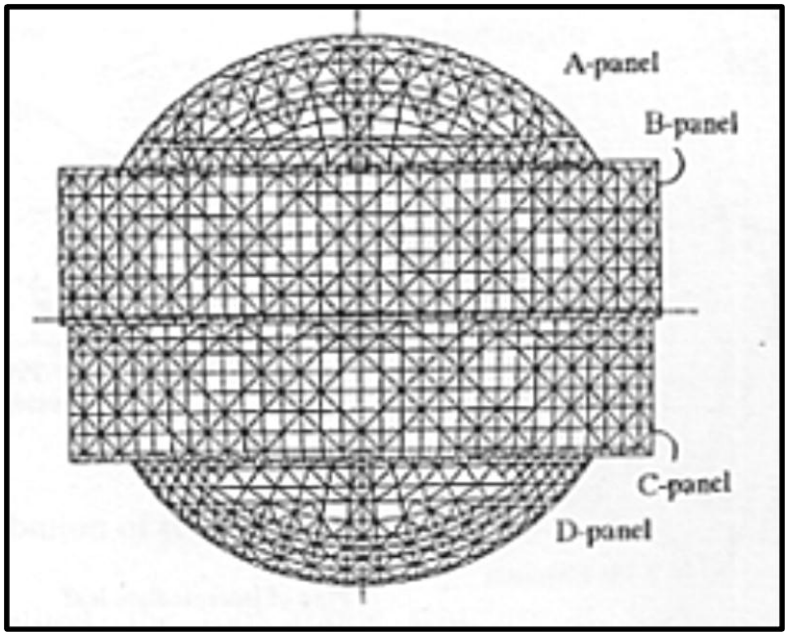
| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Toronto, KANADA |
| Yapım Yılı | 1989 |
| Yapı Fonksiyonu | Stadyum |
| Mimari Tasarım | Rod Robbie |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 180 m |
| Örtünün Geometrisi | Dairesel ve Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 24300 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Çelik Çerçeve Panel, PVC Kaplı Membran |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar ve Döner Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Tekerlekli ve Dişli Sistem |
| Hareket Süresi | 20 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %75 |

Roger Center ilk iki yılında 200 defanın üzerinde açılıp kapanmıştır. Bu açılış kapanışların bazıları içeride seyirci olduğu zaman yapılmıştır (Şekil 2.27, Şekil 2.28).

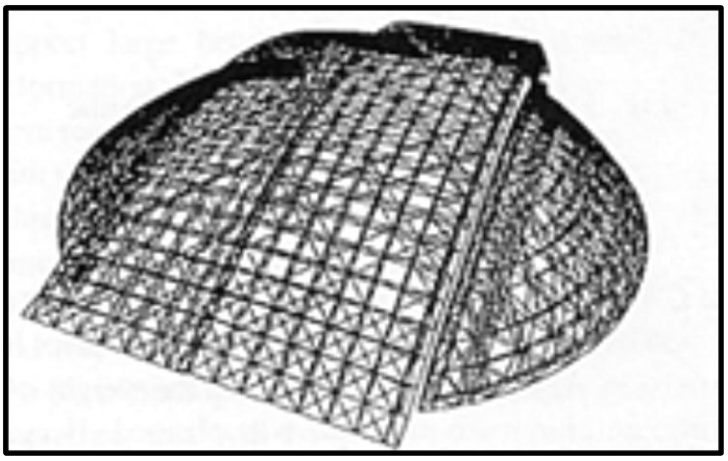
Şekil 2.27 Roger Center dış perspektif

Şekil 2.28 Roger Center iç perspektif

Roger Center' ın çatısı 180 m çapında ve 53 m yüksekliğindeki bir alanı örtmektedir. Çatı 4 adet rijit çelik çerçeve panelden oluşan bir kubbe şeklindedir. Bu panellerden kenarda bulunanları çeyrek kubbe, ortada bulunanlar ise parabolik kemer şeklindedir (Şekil 2.29,.Şekil 2.30).

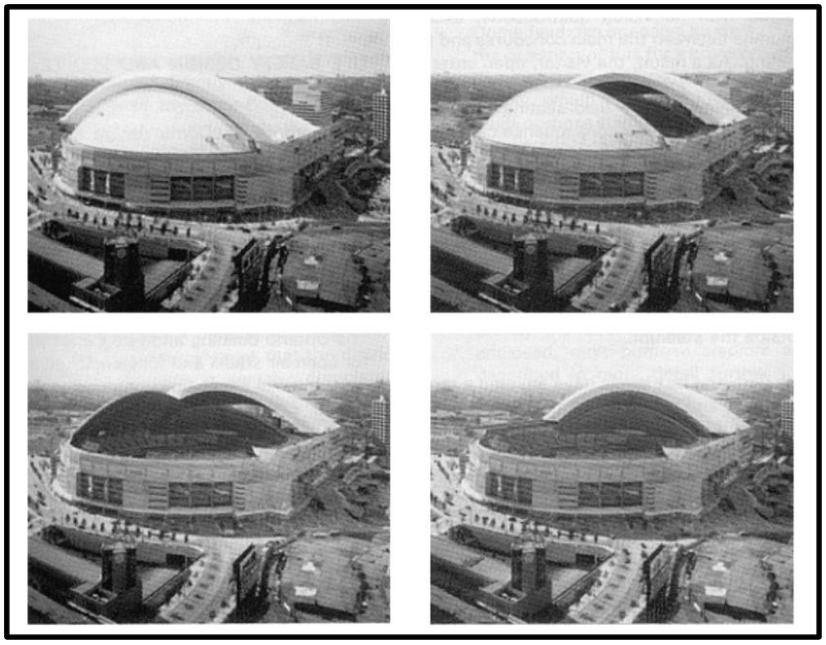



Şekil 2.29 Çatı çerçeve planı (Allen, 1992)



Şekil 2.30 Çatı çerçevesi (Allen, 1992)

Roger Center' ın hareketli çatısı tasarlanırken en önemli noktalardan biri çatı açıldığında yapının çatısızmış gibi hissedilmesini sağlayabilmekti. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan çatı 91% oranında açılabilmektedir. Ayrıca çatının gölgesi, seyircileri ve TV yayınlarını rahatsız etmeyecek şekilde düşmektedir. Diğer bir önemli nokta da çatının açık durumdaki pozisyonunun yapı izdüşümü üzerinde kalması ev komşu arazileri işgal etmemesidir. Ayrıca, çatı ve hareket mekanizmasının 100 yıllık bir kullanım ömrü vardır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Toronto Roger Center' ın açılma pozisyonları (Robbie, 1992)

*2.2.1.4 Wimbledon Merkez Kortu (Londra, UK)*

Londra' da 2009 yılında tenis sporları için inşa edilen Wimbledon Merkez Kortu Gore Tenarar Mimari tasarım şirketince tasarlanan hareketli çatı örtüsü 5200 m² alanı kapatması için özel olarak tasarlanmıştır. %40 şeffaf özelliğe sahip çift katmanlı ve UV filtre özellikli kaplama örtüsü 15 yıl yıpranmaya karşı garantilidir. Hareket konsepti olarak, birbirine paralel iki ray üzerinde taşıyıcı strüktür ve örtü malzemesinin birlikte katlanarak çatının açılması konsepti benimsenmiştir.

Şekil 2.32 Wimbledon Center görünüş (Wimbledon Centre Court retractable roof, 2015)

Tablo 2.4 Wimbledon Center Court teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Londra, UK |
| Yapım Yılı | 1922 |
| Yenileme | 2009 |
| Yapı Fonksiyonu | Stadyum |
| Mimari Tasarım | Capita Symonds |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Konstrüksiyon |
| Geçilen Açıklık | 77 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 5200 $m^2$ |
| Yapı Yüksekliği | 16 m |
| Kaplama Malzemesi | %40 Saydam Tenara Membranı (PTFE) |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Katlanabilir Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Hidrolik Sistem |
| Hareket Süresi | 7 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %50 |

Oyunlar ve açılış kapanış seremonilerinde kullanılmak üzere her iki uzun kenarında aydınlatma ve havalandırma sistemini de taşıyan hareketli örtü sistemi 77 m uzunluğunda olup çelik makasların örtüyü taşıdığı raylı sistem ile bu sistemi hareket ettiren hidrolik pistonlar ve kontrol valfleri sayesinde 7 dakika gibi kısa bir sürede açılıp kapanmaktadır. İki katlı Örtü malzemesinden birinci katı floropolimer lifli malzemeden, ikinci katı ise politetraflorotin malzemeden üretilmiştir. Çatı sistemi ayrıca yüksek toplarda sorun oluşturmaması için 16 m dairesel kavis ile yükseltilmiştir (SEFAR® Architecture TENARA® Fabric retractable roof on centre court, 2015).

### *2.2.2 Alışveriş Merkezi*

#### *2.2.2.1 Athensheart Alışveriş Merkezi (Athens, YUNANİSTAN-1991)*

Athensheart AVM de gün ışığından verimli şekilde yararlanmak için membran çatı örtüsü tercih edilmiştir. Hareketli çatıda binanın uzun kenarına dik ve kısa kenarına paralel olarak uzayan 50 m uzunluğunda boru profillerden oluşan makaslar kullanılmıştır (Şekil 2.33).

Şekil 2.33 Athensheart alışveriş merkezi hareketli çatı görünüşü

Membran çatı örtüsü her 1,2 m' de bir bağlantı aparatlarına bağlanmış alüminyum kılavuz raylar üzerinde motorların çektiği halatlar ile hareket ederek açılıp kapanmaktadır.

Tablo 2.5 Athensheart alışveriş merkezi teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Athens, Yunanistan |
| Yapım Yılı | 1991 |
| Yapı Fonksiyonu | Alışveriş Merkezi |
| Mimari Tasarım | Conron and Parents |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 13 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 780 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | EFTE Membran Kaplama |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistemler |
| Hareket Mekanizması | Motorlu Kablo Çekme Sistem |
| Hareket Süresi | - |
| Duvar Kapanma Oranı | %66 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Şekil 2.34 Hareketli çatıda boru profillerden oluşan makaslar

### *2.2.3 Restoran, Kafeterya*

#### *2.2.3.1 Azerbaycan Kafeterya (Bakü, AZERBAYCAN)*

Azerbaycan, Bakü' de bulunan kafeterya 11 m ve 40 m boyutlarda hareketli çatı özelliğine sahiptir.

Tablo 2.6 Azerbaycan kafeterya teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Bakü, Azerbaycan |
| Yapım Yılı | - |
| Yapı Fonksiyonu | Kafeterya |
| Mimari Tasarım | - |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 11 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 440 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Motorlu Sistem |
| Hareket Süresi | 2 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Şekil 2.35 Azerbaycan kafeterya hareketli çatı görünüşü

*2.2.3.2 İstanbul Restoran (İstanbul, TÜRKİYE)*

İstanbul' da bulunan kafeteryanın hareketli çatısı 15,5 m ve 22 m boyutlarındadır. Hareketli çatının üzeri polikarbonat malzeme ile kaplanmıştır.

Tablo 2.7 İstanbul restoran teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | İstanbul, TÜRKİYE |
| Yapım Yılı | - |
| Yapı Fonksiyonu | Restoran |
| Mimari Tasarım | - |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 15.50 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 341 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Motorlu Sistem |
| Hareket Süresi | 2 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %75 |

Şekil 2.36 İstanbul kafeterya hareketli çatı açıkken görünüşü

Şekil 2.37 İstanbul kafeterya hareketli çatı kapalıyken görünüşü

### *2.2.3.3 Pizza Express Binası (St Brelade, Jersey İNGİLTERE)*

İngiltere' de bulunan kafeterya 30 m ve 35 m ölçülerinde hareketli çatıya sahiptir.

Tablo 2.8 Pizza Express Binası teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | St Brelade, Jersey İNGİLTERE |
| Yapım Yılı | - |
| Yapı Fonksiyonu | Kafeterya |
| Mimari Tasarım | - |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 30 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 1050 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Motorlu Sistem |
| Hareket Süresi | 4 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %50 |

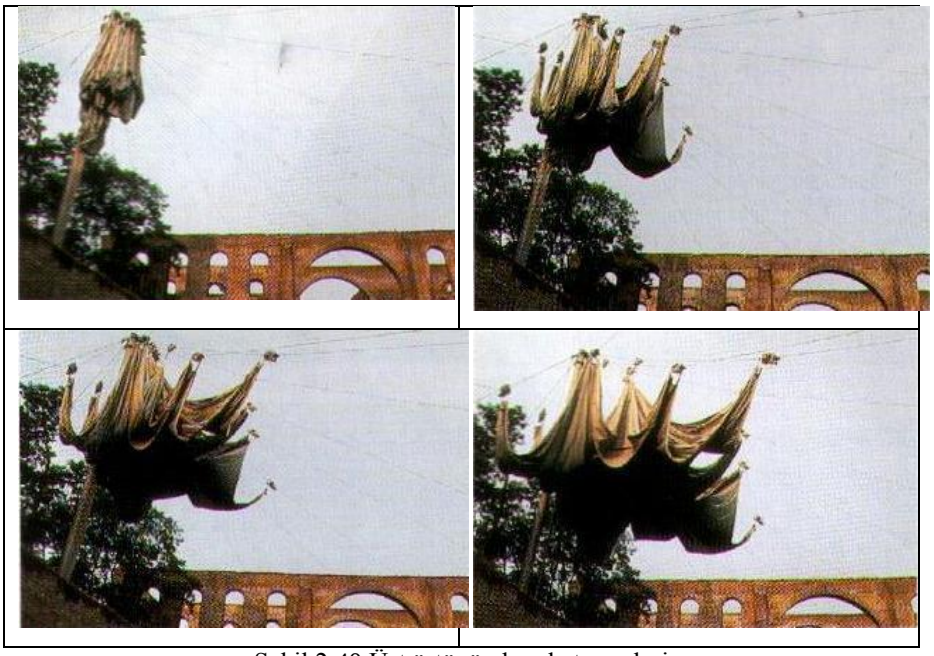
Şekil 2.38 Pizza Express binası hareketli çatı görünüşü

### *2.2.4 Açık Hava Tiyatrosu ve Konferans Yapıları*

#### *2.2.4.1 Bad Hersfeld Açık Hava Tiyatrosu (Bad Hersfeld, ALMANYA - 1968)*

1959 yılında, Bad Hersfeld'de yaz aylarında gerçekleştirilen geleneksel festival sırasında hava koşullarından etkilenmeksizin açık hava gösterilerinin düzenlenebilmesini sağlamak için şehirdeki eski manastır yapısının üzerinin kapatılmıştır.

Şekil 2.39 Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu üst örtüsünün görünüşü



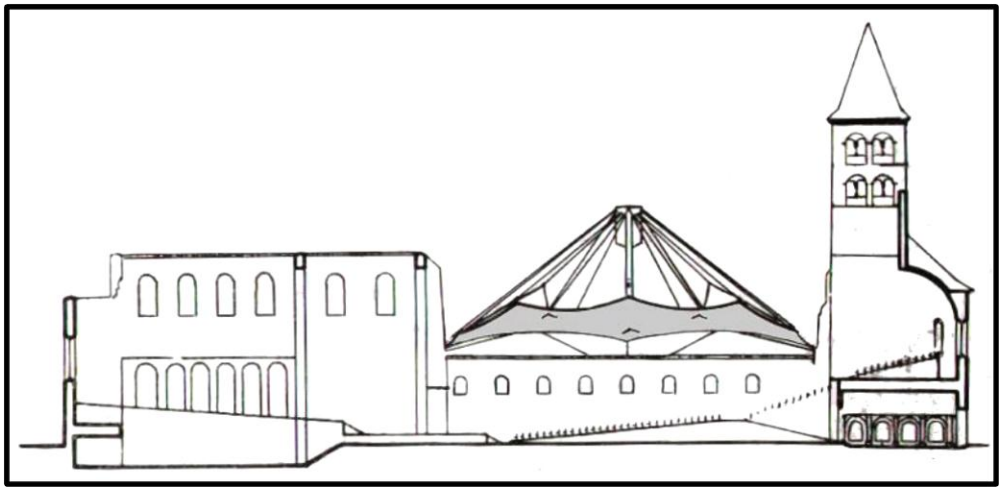
Şekil 2.40 Üst örtünün hareket evreleri

Tablo 2.9 Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu teknik özellikleri

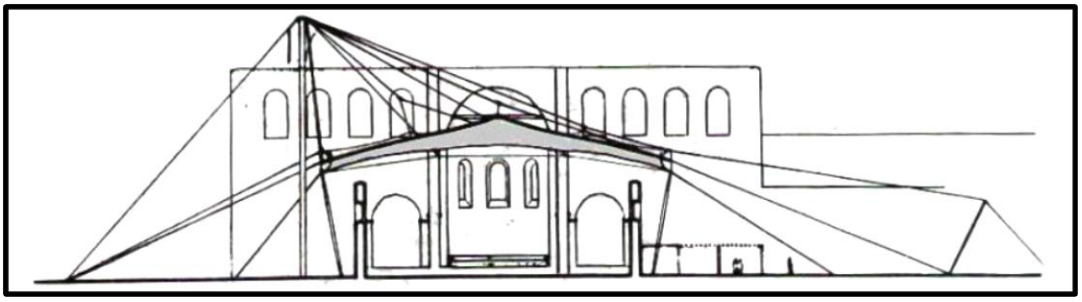
| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Bad Hersfeld, Almanya |
| Yapım Yılı | 1968 |
| Yapı Fonksiyonu | Açık Hava Tiyatrosu |
| Mimari Tasarım | Frei Otto |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 37 m |
| Örtünün Geometrisi | Yarım Küre Formunda Geometri |
| Örtülen Alan | 1315 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Sentetik Membran |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistemler |
| Hareket Mekanizması | Motor Sistem |
| Hareket Süresi | 4 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Frei Otto' nun önerdiği çözüm hızlı bir şekilde, mekanik kontrolle açılıp kapanabilen bir değişebilen üst örtü olmuştur. Mekânın dışında ışınsal kabloları ve

değişebilir özellikteki üst örtüyü destekleyebilecek yüksek bir pilon kullanılmıştır. Çevre noktalarından ve tepe noktasından asılmış olan üst örtü sistemi içinde membran, motor sistemi sayesinde kablolar üzerinde hareket etmektedir.



Şekil 2.41 Üst örtünün enine kesiti

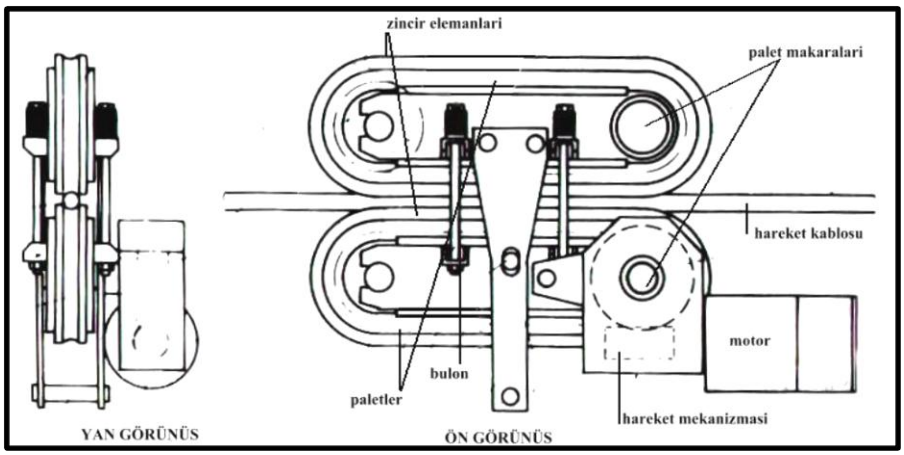


Şekil 2.42 Üst örtünün boyuna kesiti

Yapının dışında konumlandırılmış olan pilon, geriye doğru 39,5 mm çaplı iki kablo tarafından, öne doğru ise her biri 23 mm çapında on dört adet kablo ile strüktürü oluşturmaktadır. Yüksekliği 32 m olan pilon, 20 mm et kalınlığına, 559 mm çapa sahiptir. On dört adet hareket ve taşıma kablosu pilonu merkez kabul edecek biçimde ışınsal olarak düzenlenmiştir. Pilonu geriye doğru geren iki kablo, kablo çekme sistemlerinin hareketi için taşıma kablolarıdır. Membran kenarlarında bulunan on dört adet asılma noktasının her biri kendi kablo çekme sistemine sahiptir. Ayrıca yedi adet kablo daha açılmış durumda üst örtü geometrisini yarı küre formunda tutmak için yardımcı olarak kullanılmıştır.

13,5 m yüksekliğinde, her biri 76 mm çapa ve 10 mm et kalınlığına sahip 3 adet tüp kesitli çelik elemandan oluşan kafes dikmeler üst örtüyü dört köşe noktasından destekler. Dört adet kenar kablosu bu dikmeler arasında gerilmiş durumdadır ve her birine ikişer adet hareket sağlayan kablo bağlıdır. Bu duruma ek olarak, merkeze doğru hareket eden bu hareket kablolarının her biri zemine bağlanmaktadır.

Bad Hersfeld projesi için tasarlanan kablo çekme elemanlarının her biri iki adet zincir palet sistemli parçanın bir araya gelmesi ve kablo üstünde hareket etmesi mantığı ile oluşturulmuştur. Paletler dairesel kesitli elemanların gerilmesini sağlayacak biçimde dört adet bulonla birbirine bağlanmış ve kabloya gerilme uygulayacak biçimde monte edilmiştir. Zincir sistemi çok sayıda zincir elemanından oluşmuştur ve çekme kablosuna uygun biçimde tasarlanmıştır. Zincir elemanları sürtünme katsayısı yüksek malzemeden üretilmiştir.




Şekil 2.43 Kablo çekme elemanlarının şematik anlatımı (Zincir palet sistem)

Sistemde hareketi sağlamak için kullanılan motorlar zincir paletlere yanal olarak bağlanmıştır. Motor bağlı olduğu zincir paleti bir dişli sistemi gibi davranacak şekilde harekete geçirir ve böylelikle tüm sistem harekete geçer. Dişli sistemi kendi kendini kilitleyebilecek biçimde tasarlanmıştır. Böylelikle motor durduğu zaman zincir paletleri de hareketlerini bitirir. Ek olarak bir frenleme sistemine gerek duyulmamıştır.

Tasarım süreci sırasında üst örtü strüktürünün çeşitli hareket evrelerindeki statik davranışlarının gözlenebilmesi için 1/50 ölçekli hareket edebilen bir maketi yapılmıştır. Strüktürün statik hesaplamaları için üst örtünün kesin geometrisi, plan ve kesitleri bu maketten elde edilmiştir. Toplanma ve katlanma esnasında ortaya çıkabilecek kritik problemler de bu maket üzerinde incelenmiştir.

Asma noktalarında membran yonca yaprağı şeklinde, 5 m çapında, plastik folyo malzeme ile kaplanmıştır. Bu elemanlar sadece boşluğu kapatır, membranı takviye özelliğine ya da yük taşıma özelliğine sahip değildir. Bu noktaların ortalarında yağmur suyunun tahliyesi için su torbacıkları oluşturulmuştur.

Membran birbirine bağlı beş ayrı parçadan oluşur. Membranlar eklenecekleri kenarlarda birbirlerine dikilmiş ve daha sonra folyolarla kaynaklanmıştır. Serbest uçlarda membran yükü 16 mm kesitli kablolarla alınmaktadır.

Pilon temellerinin atılmasından sonra strüktürün ilk inşası seyyar bir vinç yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem teknik ayarlamalar ve üst örtü hareket sistemlerinin uygulanması dâhil olmak üzere sadece bir kaç hafta sürmüştür. Her yıl festival zamanlarında gerçekleştirilen yeniden kurulum ve strüktürün sökülmesi aşamaları da sadece bir kaç gün içinde tamamlanabilmektedir (Otto, 1969).

*2.2.4.2 Palm Beach Açık Hava Tiyatrosu (Cannes, FRANSA-1965)*

Hareketli çatısı 34,5 m açıklığı geçen ve 800 $m^2$ alanı kaplayan üst örtü malzemesi membrandan oluşmaktadır.

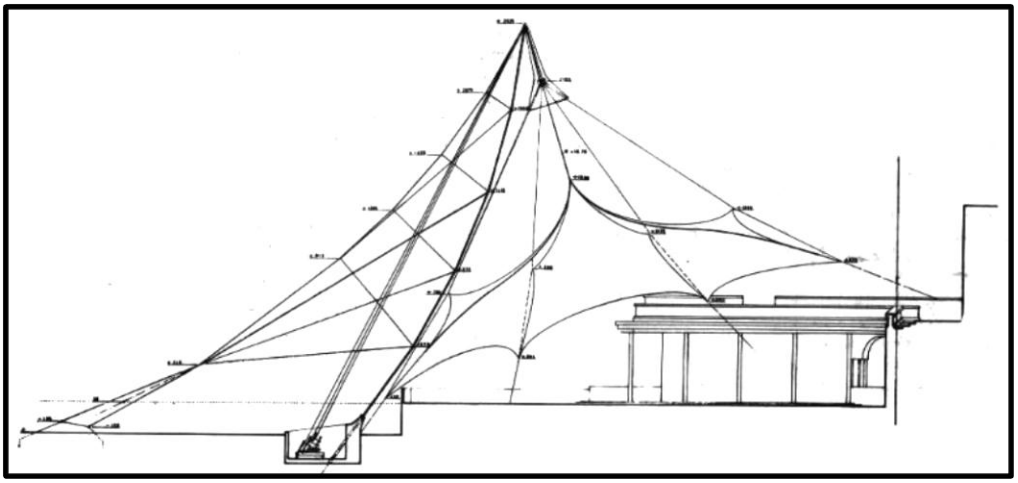
Şekil 2.44 Palm Beach açık hava tiyatrosu üst örtüsünün görünüşü

Tablo 2.10 Palm Beach açık hava tiyatrosu teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Cannes, Fransa |
| Yapım Yılı | 1965 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro Yapısı |
| Mimari Tasarım | Roger Taillibert |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 34,5 m |
| Örtünün Geometrisi | Serbest Biçimli Geometri |
| Örtülen Alan | 800 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Sentetik Membran |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Makara Sistem |
| Hareket Süresi | 12 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %25 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Frei Otto' nun danışmanlığını yaptığı ilk değişebilen üst örtü strüktürü olan bu yapı, daha önce yaptığı araştırmaların ve deneysel projelerin ışığında tasarlanmış olup, tasarımın başlangıcından uygulamanın sonlandırılmasına kadar sadece üç buçuk aylık bir sürede tamamlanmıştır. Bu strüktür dışardan ve eğik bir pilon ile uygulanan ilk değişebilir membran strüktür olma özelliğine sahiptir. Tepeye doğru toplanan membran üst örtü eyer formlu kısımların bir araya gelmesi ile oluşmuştur ve sekizgen bir piramit görünüşüne sahiptir. Kenar noktalarında ve tepe noktasında membran makaralara bağlanmıştır ve bu makaralar ışınsal destek kabloları üzerinde pilon başlığı ve ankraj noktaları arasında hareket etmektedirler. İnce çelik boruların birleşiminden oluşan ve parabolik eğriliğe sahip olan pilon iki kablo takımı ile zemine doğru yük akış yönüne ters eğrilikli olarak gerilerek stabilitesi sağlanmıştır. Membran pilona 16 noktadan asılmıştır. Sekiz adet sabit kablo üzerinde hareket eden makaralar motor sistemi ile kontrol edilmektedir.

Sekiz adet kablo, 18 derece eğimle sahne alanının üzerine doğru uzanarak geometrik olarak koniye yakın bir form tanımlar. Kablolar pilon başlığından asılmış olan bir noktada bir araya gelirler ve pilonun sabitlenmesini sağlayan üç kuvvet yönünden birini oluştururlar. Aynı zamanda bu kablolar makaraların hareketini sağlayan, membran örtüyü destekleyen ve değişimi sağlayan özelliktedir.



Şekil 2.45 Palm Beach açık hava tiyatrosu üst örtüsünün kesiti

28,5 m uzunluğunda, eğimden dolayı 25,5 m yüksekliğinde olan taşıyıcı pilon et kalınlığı ince, kaynakla birleştirilmiş, üç adet 130 mm çapa sahip çelik boru elemandan oluşmaktadır. Pilonun alt kısmında, bu boru elemanlardan sadece biri temel üzerine oturur. Tasarım sırasında yapılan çalışmalar sonucunda beklenen burkulma yönünde parabolik çokgensel bir eğrilik verilmiştir. Çokgenin her köşe noktasında pilon elemanları dört adet kablo ile birbirlerine gerilmiştir. Böylelikle pilonun statik burkulma uzunluğu 5,6 m'ye düşürülmüştür.

Strüktür kuvvetli rüzgâr yüklerine karşı koyabilecek özellikte değildir. 10 m/s hızla yani 7 kuvvetinden daha güçlü rüzgârlarda membran üst örtünün toplanması gerekmektedir. Pilon başlığının hemen altında bulunan konik şekilli eleman, membranın gerilmesiz olma durumunda korunmasını sağlayan bir kılıf görevini görmektedir. Yaklaşık 1000 m² alana sahip olan membran malzeme yapıdaki formu itibarıyla sekiz yüzlü bir piramite benzemektedir.

Membran üst örtü 8 adet kenar makarası, 8 adet orta makara ile 16 noktadan asılmıştır. Her makara kendine ait bir hareket kablosuna sahiptir. Hareketi sağlayan ana vinç sistemlerinden iki adet bulunmaktadır. Biri kenar makaraları için, diğeri orta makaralar için olan bu vinçlerin her birinde sekizer adet kablo yuvası bulunmaktadır.

Tepe noktasında pilondan asılmış olarak duran konik elemanın kendine ait bir makara sistemi ve hareket kablosu bulunmaktadır. Ana hareket mekanizmaları pilonun ayaklarında bulunmaktadır ve bu 3 adet sabit motor ile otomatik olarak kontrol edilmektedir (Otto, 1972).

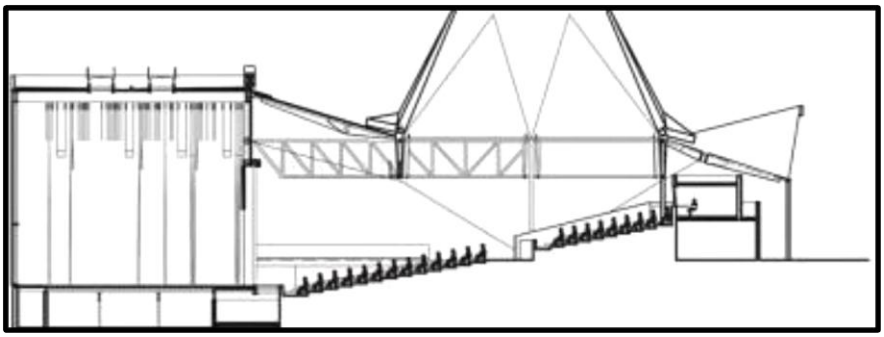
*2.2.4.3 Starlight Tiyatrosu (Rockford, Illinois, U.S. - 2003)*

Üçgen biçimindeki altı adet çelik konstrüksiyonlu panellerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Hareket özelliği üçgen panellerin çiçek gibi açılıp kapanması ile sağlanmaktadır. Özellikle yaz aylarında gösteri esnasında gösteriyi iptal edebilecek herhangi bir riske karşı sahne alanını korumak amacıyla yapılmıştır.

Şekil 2.46 Starlight tiyatrosu hareketli çatı görünüşü

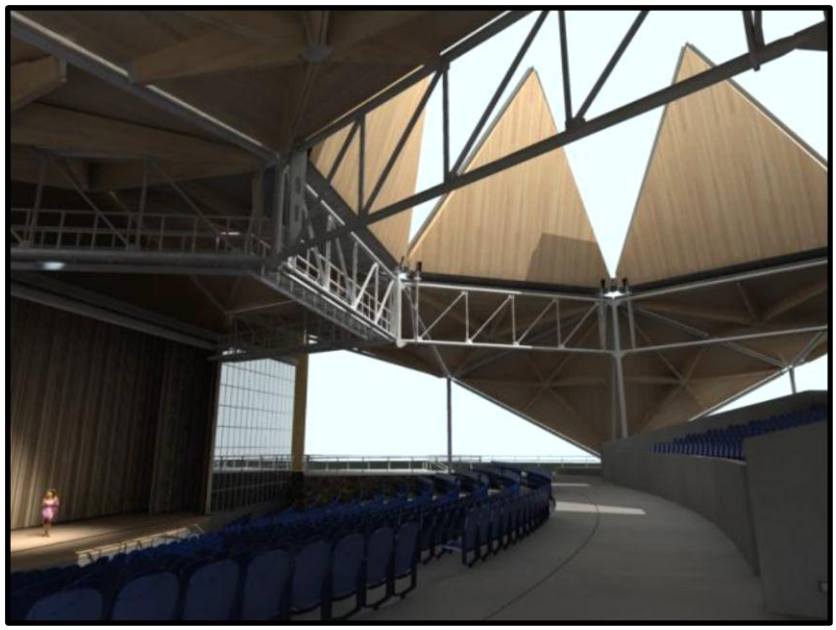
Tablo 2.11 Starlight tiyatrosu teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Rockford, Illinois, U.S. |
| Yapım Yılı | 2003 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro yapısı |
| Mimari Tasarım | Studio Gang Architects |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Konstrüksiyon |
| Geçilen Açıklık | 20 m |
| Örtünün Geometrisi | Yıldız Geometri |
| Örtülen Alan | 430 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Paslanmaz Çelik Panel, Ahşap Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Açılır - Kapanır Sistem |
| Hareket Mekanizması | Hidrolik Sistem |
| Hareket Süresi | - |
| Duvar Kaplama Oranı | %100 |
| Çatı Kaplama Oranı | %50 |



Şekil 2.47 Hareketli çatının açılıp kapanma aşaması (Bengt Sjostrom Starlight Theatre, 2012)

Çatı sistemi, altı adet üçgen şekilli çelik konstrüksiyonlu parçaların bir araya gelmesiyle oluşan altıgen bir prizma şeklindedir. Her bir üçgen şekilli parça alt kısımlarından mafsallanmış, hidrolik sistemler yardımıyla yukarı aşağı yönlü açılıp kapanarak hareketlendirilmiştir.



Şekil 2.48 Hareketli çatının görünüşü

*2.2.4.4 Robinson Club Açık Hava Tiyatrosu (İSPANYA, 1999)*

İspanya' da 1999 yılında inşa edilen Robinson Club tiyatrosu mekânın her mevsim kullanışlı hale gelebilmesi için üzeri acıkır kapanır sistem ile örtülmüştür. Hareketli çatı membran malzemesi ile kaplanmıştır.

Şekil 2.49 Hareketli çatının açıkken görünüşü

Tablo 2.12 Robinson Club açık hava tiyatrosu teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | İSPANYA |
| Yapım Yılı | 1999 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro yapısı |
| Mimari Tasarım | - |
| Taşıtıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 35 m |
| Örtünün Geometrisi | Serbest Biçimli Geometri |
| Örtülen Alan | 350 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Sentetik Membran |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Makara Sistem |
| Hareket Süresi | 7 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Şekil 2.50 Hareketli çatının kapalı iken görünüşü

### *2.2.4.5 Landschaftspark (Duisburg, ALMANYA)*

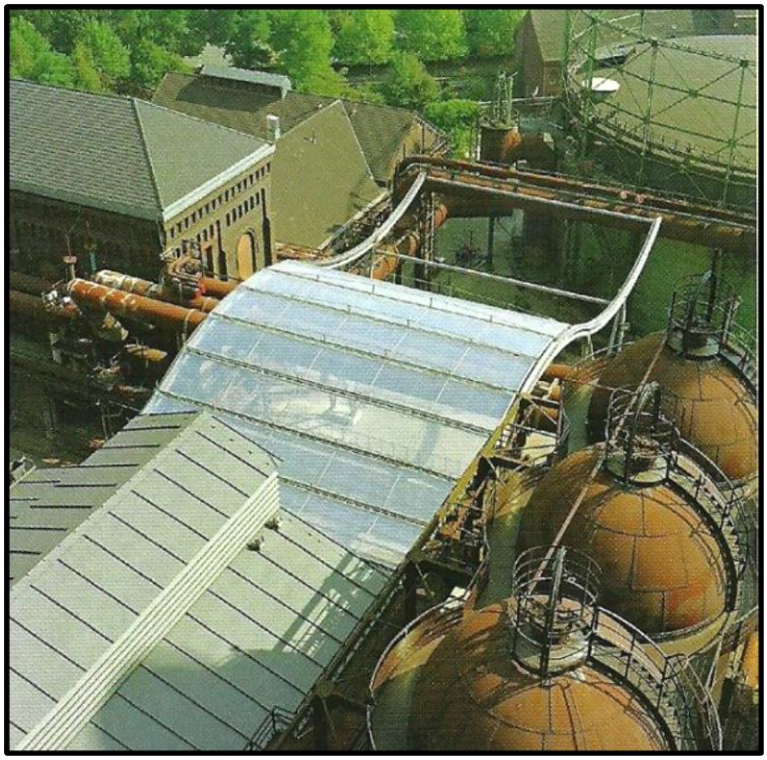
Duisburg, Almanya' da tiyatro yapısı 2003 yılında inşaa edilmiştir. Hareketli çatısı 3 m açıklık geçmektedir.

Tablo 2.13 Landschaftspark teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Duisburg, Almanya |
| Yapım Yılı | 2003 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro yapısı |
| Mimari Tasarım | Peter Latz |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Konstrüksiyon |
| Geçilen Açıklık | 3 m |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 570 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | ETFE Kaplı Membran |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Pinömatik Sistem |
| Hareket Süresi | - |
| Duvar Kapanma Oranı | %25 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

Landschaftspark hareketli çatısı 9 adet 24 m uzunluğunda ve 3 m genişliğinde şişirilmiş ETFE membran yastıktan oluşmaktadır. Bu membran yastıklar 1,3 m derinliğindeki çelik kablolarla güçlendirilmiş makas yaylar tarafından karşılıklı raylar arasında desteklenmektedir.

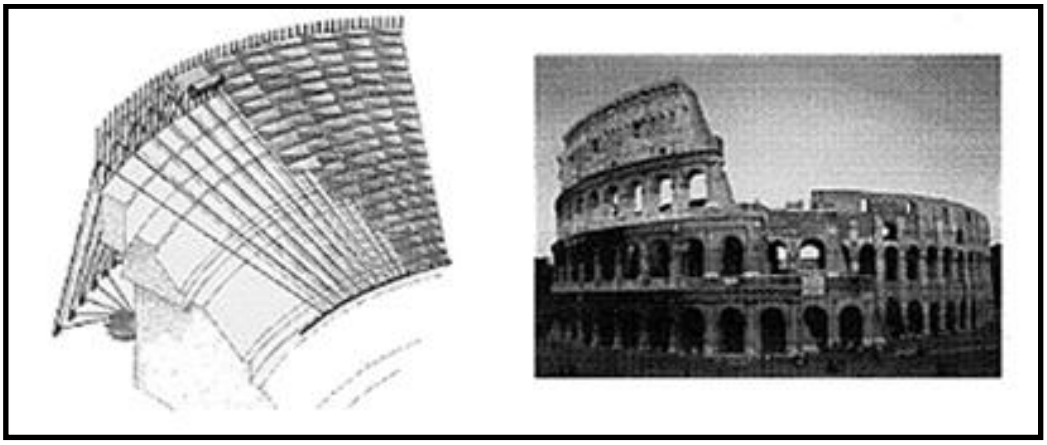
Bu hareketli çatı 570 m2 alan kaplamakta ve hareket mekanizması için elektrik motoru kullanılmaktadır. Bu elektrik motorunun raylar üzerindeki pinömatik kirişleri harekete geçirmesiyle çatı açılıp kapanmaktadır.



Şekil 2.51 Hareketli çatının görünüşü

*2.2.4.6 Colosseum (ROMA)*

Gösteri Yapısı, 50 bin kişi kapasitesine sahiptir. Uzun aks boyunca 188 m ve kısa aks boyunca 156 m uzunluğa sahip bu arena elips geometriye sahip bir yapıdır.



Şekil 2.52 Coloseum görünüş

Tablo 2.14 Coloseum teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Roma |
| Yapım Yılı | M.S. 82 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro, Gösteri yapısı |
| Mimari Tasarım | Vespusian, Domitian |
| Taşıyıcı Sistem | Kendir Otundan İpler ve Demir Çubuklar |
| Geçilen Açıklık | 103 m |
| Örtünün Geometrisi | Elips Geometri |
| Örtülen Alan | 23000 m2 |
| Kaplama Malzemesi | Velarium (Bir Çeşit Membran) |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | İlkel Makara Sistemi |
| Hareket Süresi | - |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 (Tamamen Hareketli) |

### *2.2.4.7 Kufstein Fortress Arena (AVUSTURYA)*

Tarihsel atmosferi ile Kufstein Fortress Arena binası, açık hava etkinlikleri için tasarlanmıştır. Avusturya Alpleri' inde öngörülmeyen hava koşulları yüzünden üzeri membran sistem ile kapatılmıştır.

Şekil 2.53 Kufstein Fortress Arena binası görünüşü

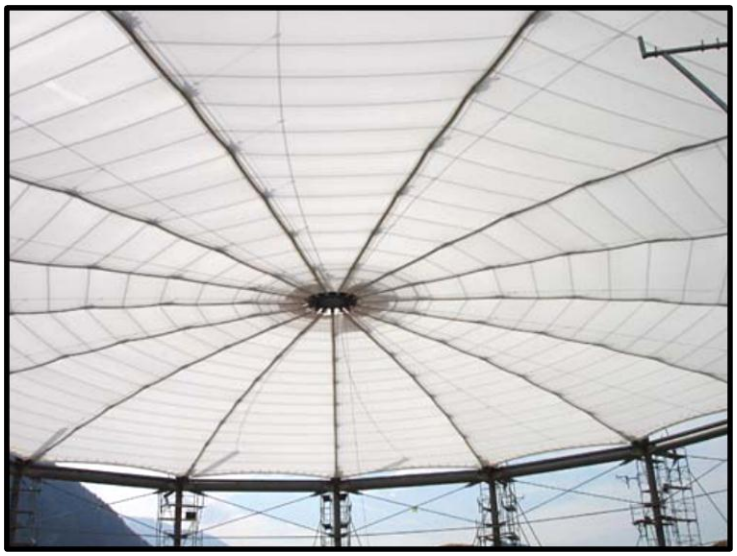
Tablo 2.15 Kufstein Fortress Arena binası teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Avusturya |
| Yapım Yılı | 2006 |
| Yapı Fonksiyonu | Tiyatro, Gösteri yapısı |
| Mimari Tasarım | Kugel & Rein Mühendislik - Mimarlık |
| Taşıyıcı Sistem | Çelik Bileşenli Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 26 m |
| Örtünün Geometrisi | Dairesel Geometri |
| Örtülen Alan | 2000 m2 |
| Kaplama Malzemesi | Sentetik Membran |
| Hareket Özelliği | Membran Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Motorlu Sistem |
| Hareket Süresi | 4 dakika |
| Duvar Kapanma Oranı | Tamamı Açık |
| Çatı Kapanma Oranı | %100 |

Kugel & Rein Mühendislik Mimarlık tarafından, 2000 $m^2$ avlu üzerinde dairesel açılır kapanır membran sistem tasarlanmıştır. Çiçeğe benzeyen bu örtü membran sistem ile örtülerek hava koşullarına karşı bölgeyi korumaktadır ve yaklaşık dört dakikada açılıp kapanabilmektedir.

Membran üst örtü dairesel geometriye sahip olur 52 m çapa sahiptir ve 15 eşit parçadan oluşmaktadır. Membran kumaş %40 ışık geçirgenliğine sahiptir.

Şekil 2.54 Üst örtünün kapalı durumdaki görünüşü



Şekil 2.55 Üst örtünün açık durumdaki görünüşü

## 2.3 Örneklerin Akustik Açıdan Analizi

İçerisinde farklı eylemler gerçekleştirilen ancak işitsel iletişime gereksinim duyulan tüm yapılarda akustik koşulların düşünülmesi ve işitsel konforun sağlanması büyük önem taşımakla birlikte, performansın öne çıktığı konser salonu ya da opera gibi yapılar dışında tasarım sürecinde gereken önemin verilmediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Ya da mimari tasarım ile birlikte yürütülmesi gereken akustik tasarım konusuna iç mekân tasarım sürecinde dikkat edilmesi, yapılacak müdahale çalışmalarının sınırlı düzeyde kalmasını ve böylece istenen akustik kalitenin sağlanamaması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Çünkü özellikle kapalı mekânlarda, mekânı çevreleyen ve/veya sınırlandıran tüm yüzeyler içeride oluşan ses alanına yalnızca kaplama malzemelerinin özellikleri ile değil, oluşan hacmin boyutlarını ve biçimlenişini belirlemeleri nedeniyle olumlu ya da olumsuz katkı yapmaktadırlar.

Bu noktadan hareketle, mimari tasarım sürecinin bir parçası olarak akustik tasarımın hedefi; mekânın istenmeyen seslerden arındırılması ve kaynaktan çıkan sesin tüm alıcılar için nitelik ve nicelik açısından eşdeğer düzeyde ve istenen kaliteye ulaşmasını sağlamak olarak özetlenebilir. Bir başka deyişle "Mimarlıkta akustik tasarım, mekân içerisinde gerçekleştirilen işleve uygun akustik konfor koşullarını sağlamak amacıyla yapılan bir tasarım sürecidir." (Çalışkan, 2014).

Akustik tasarım bir taraftan da yapıların/mekânların işlevi ve işlevin gerektirdiği programın gerçekleştirilmesi ile ilgilidir. Örneğin incelenen örnekler arasında çatı sisteminde hareketin görüldüğü stadyum yapılarında akustik tasarım hem seyircinin saha içerisinde yarattığı atmosfere katkısı hem de özellikle şehir içi alanlarda yer alan stadyum yapılarında çevrede yer alan yapılara sesin iletilmesi açısından önem taşımaktadır. Öte yandan saha içerisinde yapılan anonsların anlaşılabilirliği de söz konusu yapılar için önemli bir akustik tasarım parametresidir. Benzer biçimde incelenen performans alanı, tiyatro, kafeterya ya da restoran yapılarında da işleve uygun akustik koşulların oluşturulması ve çatı hareketinin mekânın biçimi, hacmi ve yüzey koşullarında dolayısı ile de akustik koşullarda oluşturacağı değişimin işitsel konforu bozmayacak nitelikte olması sağlanmalıdır.

Mekânların, özellikle de konuşma ve/veya müzik performansları içeren mekânların akustik tasarımı ve değerlendirilmesi sürecinde çeşitli öznel ve nesnel akustik parametreler kullanılır. Bu parametrelerden ölçme ve hesap ile belirlenenler nesnel, çeşitli istatistiksel yöntemlerle belirlenen kişisel değerlendirmeler ise öznel olarak tariflenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, hacim akustiğinde yapılacak değerlendirmelerde mekanın işlev ve özelliklerine göre seçilecek parametreler ve bu parametrelerin optimum değerleri de farklılık göstermektedir (Şerefhanoğlu Sözen, 2008). Özellikle müzik ve konuşmanın yapısal olarak birbirinden farklı olması akustik parametrelerin de müzik ve konuşma açısından belirgin farklılıklar göstermesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Genel olarak hacimlerin değerlendirilmesinde kullanılan başlıca akustik parametreler Ses Basınç Düzeyi (SPL) ve Yansışım Süresi (T, RT) olarak sıralanabilir (Erdem Aknesil, b.t).

Bir hacimde doğrultulu ve yayınık ses olmak üzere iki tür sesten söz edilmektedir: Kaynaktan çıkıp hiçbir engele rastlamadan direkt olarak dinleyiciye ulaşan "dolaysız ses" ve hacmin iç yüzeylerinin geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlı olarak yüzeylerden yansıyan "yansışmış ses". Mekân içerisinde değişik oranlarda bir arada bulunan yansışmış ses ve dolaysız ses birleşerek toplam sesi oluşturur. Toplam ses düzeyinin yeterliliği hacim içerisinde gerçekleştirilen aktivitenin tüm özelliklerinin algılanabilmesi açısından önem taşımaktadır ve arka plan gürültü düzeyi, mekândaki sesin frekans içeriği ve türü ile mekânın yüzeylerinin yansıtıcılık özellikleri ile değişim göstermektedir.

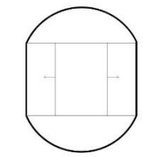
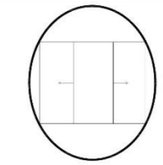
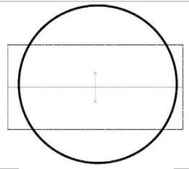
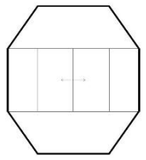
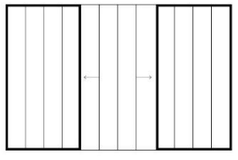
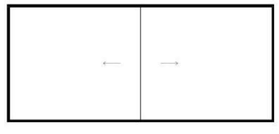
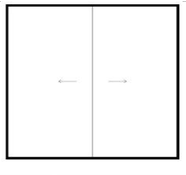
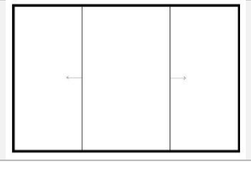
Benzer biçimde sesin frekans içeriği ve türü ile mekân yüzeylerinin biçimleniş ve yansıtıcılık/ yutuculuk özellikleri ve boyutları yansışım süresinin değişmesine neden olmaktadır. Yansışım (Reverberasyon) süresi, hacim akustiği açısından önemli parametrelerden birisidir. Sesin düşme hızı ile ilgili bir göstergedir ve belirtildiği gibi hacmin büyüklüğü ile hacim içerisinde kullanılan çeşitli yüzeyler, birimler ve havanın yutuculuğu ile ilgilidir. Hacim akustiği konusunda uzun süredir sürdürülen çalışmalar sonucunda, farklı işlevlere ve hacim büyüklüklerine bağlı olarak optimum yansışım süresi değerleri oluşturulmuştur. Hacmin büyüklüğünün arttırılması yansışım süresinin artmasına, toplam yutuculuğun artması ise yansışım süresinin

kısalmasına neden olmaktadır. Belirli büyüklükteki bir hacmin geometrik büyüklüğünü değiştirmeden, özellikle iç yüzeylerde (tavan, duvar, döşeme) kullanılan malzeme/ gereçlerin ve kullanım detaylarının değiştirilmesi yutma çarpanlarını değiştireceğinden toplam yutuculuğun da değişmesi söz konusu olacaktır. Öte yandan yüzeylerdeki malzeme/ gereçlerin seçimini ve değişkenliğini belirleyen "istenen mimari etkinin yaratılması, diğer yapı fiziği (aydınlatma, ısıtma vb) gereksinimlerinin karşılanması, dayanıklılık, uygulanabilirlik, taşıyıcı sistem özellikleri, sürdürülebilirlik ve maliyet" gibi pek çok başka tasarım parametresi de bulunmaktadır (Şerefhanoğlu Sözen, 2008).

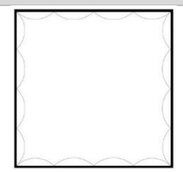
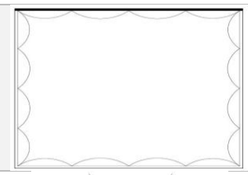
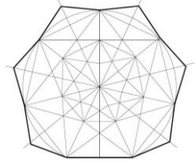
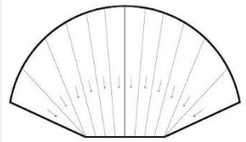
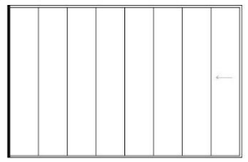
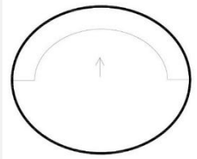
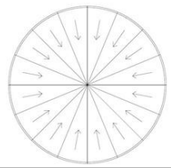
Yukarıda tariflenmeye çalışılan parametreler doğrultusunda çatının/ üst örtünün hareketli olması durumunda salonun biçimlenişi, boyutları (hacmi) ve de örtünün hareketli bölümü oranında malzemesi değiştirilmiş olmaktadır. Bu durum, malzeme ve biçimlenişle doğrudan ilişkisi ifade edilmeye çalışılan toplam ses basınç düzeyi ve yansışım süresi değerlerinin kaçınılmaz olarak değişimi anlamına gelmektedir. Dolayısı ile de çatı örtüsünün hareketi sırasında oluşan akustik koşul değişimleri gereken önlemler alınmadığı durumlarda insan kulağı tarafından fark edilebilir nitelikte olacaktır. Çoğu zaman hareket özelliğini, hareket eden yüzey büyüklüğünü ve seçilen malzemeyi belirleyen ve yukarıda bir bölümü sıralanan tasarım parametreleri arasında akustik son sıralarda yer aldığından akustik koşulların olumsuz yönde değişimi söz konusu olabilecektir.

Detaylı akustik ölçüm ya da değerlendirmeleri tez çalışması kapsamında incelenen her örnek yapı için elde etmek mümkün olmamakla birlikte; söz konusu yapıların biçimlenişleri ve çatı hareketlerinin yüzey değişimine etkisinin değerlendirilmesi Tablo 2.16'da yapılmaktadır. Yapılar işlevleri, hareketli çatıda kullanılan malzeme ve hareket özellikleri, hareketli bölümün oranı ve plan düzlemindeki açık/kapalı alan yüzdeleri açısından karşılaştırılmaktadır. Tablo 2.17'de ise çatı kaplaması olarak hareket eden yüzeylerde kullanılan polikarbonat ve membran malzemelerin referans yutma çarpanları hava ile karşılaştırılabilmeleri açısından aktarılmaktadır.

Tablo 2.16 İncelenen yapıların yüzey ve malzeme özellikleri

| **Yapı Adı** | **Yapım Yılı ve Yeri** | **Yapının Temel Fonksiyonu** | **Fonksiyonun Akustik Sınıflanması** | | | **Çatı Açıklığı** | **Çatının Hareket Özelliği** | **Üst Örtünün Hareket Oranı (%)** | **Çatı Kaplama Malzemesi** | **Sınırlayıcı Duvar Yüzeylerinin Biçimlenişi** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Konuşma | Müzik | Konuşma ve Müzik | | | | | |
| **Türk Telekom Arena** | 2011 İstanbul, Türkiye | Stadyum | Var | Var | Var | 110 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 50% | Polikarbonat Kaplama |  |
| **Astana Stadyumu** | 2009 Astana, Kazakistan | Stadyum | Var | Var | Var | 117 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 50% | Polikarbonat Kaplama |  |
| **Roger Center** | 1989 Toronto, Kanada | Stadyum | Var | Var | Var | 180 m | Çerçeve Tipi Kayar ve Döner Hareketli Sistem | 75% | Çelik Çerçeve Panel, PVC Kaplı Membran |  |
| **Wimbledon Merkez Kortu** | 2009 Londra, UK | Stadyum-(Tenis Kortu) | Var | Var | Var | 77 m | Çerçeve Tipi Katlanabilir Hareketli Sistem | 50% | %40 Saydam Tenara Membranı (PTFE) |  |
| **Athensheart Alışveriş Merkezi** | 1991 Athens, Yunanistan | Alışveriş Merkezi | Var | Var | Var | 13 m | Membran Hareketli Sistemler | 100% | EFTE Membran Kaplama |  |
| **Azerbaycan Kafeterya** | Bakü, Azerbaycan | Kafeterya | Var | Var | Var | 11 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 100% | Polikarbonat Kaplama |  |
| **Pizza Express Binası** | St Brelade, Jersey, İngiltere | Kafeterya | Var | Var | Var | 30 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 50% | Polikarbonat Kaplama |  |
| **İstanbul Restoran** | İstanbul, Türkiye | Restoran | Var | Var | Var | 15,50 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 75% | Polikarbonat Kaplama |  |

Tablo 2.16 İncelenen yapıların yüzey ve malzeme özelikleri (Devamı)

| Yapı Adı | Yapım Yılı ve Yeri | Yapının Temel Fonksiyonu | Fonksiyonun Akustik Sınıflanması | | | Çatı Açıklığı | Çatının Hareket Özelliği | Üst Örtünün Hareket Oranı (%) | Çatı Kaplama Malzemesi | Sınırlayıcı Duvar Yüzeylerinin Biçimlenişi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Konuşma | Müzik | Konuşma ve Müzik | | | | | |
| **Bad Hersfeld Açık Hava Tiyatrosu** | 1968 Bad Hersfeld, Almanya | Açık Hava Tiyatrosu | Var | Var | Var | 37 m | Membran Hareketli Sistemler | 100% | Sentetik Membran |  |
| **Palm Beach Açık Hava Tiyatrosu** | 1965 Cannes, Fransa | Açık Hava Tiyatrosu | Var | Var | Var | 34.5 m | Membran Hareketli Sistem | 100% | Sentetik Membran |  |
| **Starlight Tiyatrosu** | 2003 Rockford, Illinois, U.S. | Tiyatro | Var | Var | Var | 20 m | Çerçeve Tipi Açılır - Kapanır Sistem | 50% | Paslanmaz Çelik Panel, Ahşap Kaplama |  |
| **Robinson Club Açık Hava Tiyatrosu** | 1999 İspanya | Tiyatro | Var | Var | Var | 35 m | Membran Hareketli Sistem | 100% | Sentetik Membran |  |
| **Landschaftspark** | 2003 Duisburg, Almanya | Tiyatro | Var | Var | Var | 3 m | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem | 100% | ETFE Kaplı Membran |  |
| **Colosseum** | M.S. 82 Roma | Tiyatro, Gösteri yapısı | Var | Var | Var | 103 m | Membran Hareketli Sistem | 100% | Velarium (Bir Çeşit Membran) |  |
| **Kufstein Fortress Arena** | 2006 Avusturya | Tiyatro, Gösteri yapısı | Var | Var | Var | 26 m | Membran Hareketli Sistem | 100% | Sentetik Membran |  |

Tablo 2.17 Örneklerde kullanılan çatı kaplama malzemelerinin referans yutma çarpanı değerleri

| Malzemeler | Frekans (Hz) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 (Hz) | 250 (Hz) | 500 (Hz) | 1000 (Hz) | 2000 (Hz) | 4000 (Hz) |
| Açıkhava | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Membran | 0,15 | 0,50 | 0,90 | 1,00 | 0,95 | 0,95 |
| Polikarbonat | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,12 | 0,10 |
| Ahşap | 0,14 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,10 |

Örneklere bakıldığında; üst örtü kaplama malzemesi olarak genellikle stadyum ve kafeterya yapılarında polikarbonat ve membran; alışveriş merkezi, açık hava tiyatrosu ve gösteri merkezlerinde ise membran malzemenin kullanıldığı görülmektedir (Tablo 2.16). Tüm mekânların hem konuşma hem de müzik amaçlı olduğu görülmektedir.

Genel olarak mekânlarda – fonksiyonları göz önünde bulundurularak – sağlanması gereken en önemli akustik konfor koşulları özetle;

- İşleve uygun arka plan gürültü düzeyinin sağlanması,
- Mekanın fonksiyonuna/ programına uygun yansışım özelliklerine sahip olması,
- Oluşan sesin fonksiyona/ programa uygun berrak/net ve yüksek ya da gür olması (Yeterli toplam ses basın düzeyi elde edilmesi) ve mekan içerisinde konumlara göre büyük değişimler göstermemesi,
- Elektro-akustik güçlendirme söz konusu olan durumlarda ise seslerin aslına uygun olarak/ bozulmadan dinleyiciye ulaştırılması,
- Mekân içerisinde akustik kusurların (yankı, vurgusal yankı, odaklanma vb.) bulunmaması olarak sıralanmaktadır (Çalışkan, 2014).

Bu açıdan hareketli çatı sistemleri değerlendirildiğinde;

- Çatı örtüsünün hareketi iç mekânda oluşan seslerin çevreye ve/veya tam tersi koşulda da dış ortam gürültüsünün iç mekâna aktarılmasına,

- Yüksek yansıtıcılık değerlerine sahip üst örtü malzemelerin yansışım süresinin işlevin gerektirdiği sınırların üzerine çıkarak konuşma amaçlı hacimlerde konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltmasına ya da restoran, kafeterya gibi mekânlarda iç mekanda istenmeyen "uğultulu" ortamların oluşmasına ve iletişim bozukluklarına, elektronik güçlendirme sistemlerinin kullanıldığı mekanlarda ses özelliklerinin bozulmasına, örneğin stadyum yapılarında anonsların anlaşılabilirliğinin azalmasına yol açması söz konusu olabilecektir. Tersi durumda ise yüzeyi oluşturan malzeme yerine havanın yutuculuk katsayısı söz konusu olacak ve yansışım düzeyi fark edilir ölçüde azalacaktır. Üst örtünün performans icra edildiği sırada açılması ya da kapanması durumunda yansışım süresinde oluşan değişim izleyiciler / kullanıcılar tarafından fark edilebilecek (~0,1 sn) düzeyde olduğunda müzik/konuşmanın anlaşılabilirliği/ netliğini olumsuz yönde etkileyecektir.

  - Yine çatı örtüsünün kapanması durumunda açık durumda oluşmayan/var olmayan akustik kusurların oluşması durumu dikkate alınmalıdır.

Geçmişten günümüze yaygın olarak uygulanan hareketli çatı sistemlerinin temel amacı mekânı rüzgâr, güneş ve yağmur vb. gibi doğa olaylarından korumak ya da uygun koşullar için kapalı hacimleri dış mekan ile ilişkilendirmek/bütünleştirmek olsa da mekan içerisindeki akustik konfor açısından değerlendirilmeleri de önem taşımaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında mekânın akustik koşullarında oluşacak değişimlerin de bir parametre olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Özetle, çalışmanın konusunu oluşturan çatı örtü malzemesinin değişimi, mekân içerisinde kullanılan tüm diğer malzemeler ve yapının geometrisi gibi akustik kaliteyi etkilemektedir. Bu nedenle de özellikle hareketli çatı malzemesinin çatı

açılıp kapanması esnasında akustik koşul değişimini dinleyiciyi etkilemeyecek şekilde malzeme seçimine gidilmelidir. Aksi durumda performans sırasında çatının hareket özelliğinin kullanıl(a)maması söz konusu olmaktadır.

# BÖLÜM ÜÇ
# ALAN ÇALIŞMASI: BOSTANLI SUAT TAŞER AÇIK HAVA TİYATROSU VE AKUSTİK DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümden itibaren tezin çalışma alanı olarak seçilen Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun İzmir için önemi, mimari olarak değerlendirilmesi, yapısal özellikleri ve geçirdiği yenileme çalışmaları hakkında kısaca bilgi verildikten sonra, mekan boş iken mevcut akustik koşulların mevcut akustik ölçüm yöntemiyle ortaya çıkarılması ve ölçüm sonuçlarının analizi anlatılacaktır.

## 3.1 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun İzmir İçin Önemi

Karşıyaka' da bulunan Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu İzmir' in sosyal ve kültürel yaşamında önemli bir yere sahiptir. Yaz döneminde birçok etkinliğe ev sahipliği yapan Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu Ayhan Sicimoğlu & Latin All Stars, Yeni Türkü, Kerem Görsev Trio, Fatih Erkoç, Cem Adrian gibi sanatçılar ile 'Aşk'a 103 Adım' 'İçerdekiler', Metin Uca – 'Hakuna Matata', ve Atalay Demirci gibi birçok ünlü ismi konuk etmiştir. Mekânın her mevsimde kullanışlı hale gelebilmesi için üzeri Karşıyaka Belediyesi tarafından hareketli çatı strüktürü ile kapatılmıştır.

Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun çalışma alanı olarak seçilmesindeki etkenler; üzerinin hareketli çatı strüktürü ile kapatılması ve sonucunda içeride akustik sorunların ortaya çıkmasıdır. Bu tez kapsamında mekânın içerisinde alan ölçümü yaparak mevcut akustik koşulların belirlenip sorunların saptanması ve ne gibi önlemler alınması gerektiği hakkında bilgi verilmektedir.

## 3.2 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun Mimari Olarak Değerlendirilmesi

İzmir'deki kültür ve sanat etkinlikleri için tercih edilen mekânlardan biri olan Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu, özellikle yaz aylarında konser, tiyatro ve gösteriler için tercih edilmektedir.

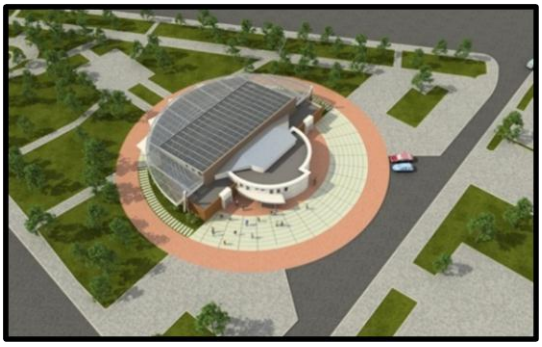
Karşıyaka'da Bostanlı sahil şeridinin başladığı alanda yer alan tiyatro, yılın her mevsiminde kullanıma açık hale gelmesi için belediye tarafından üzeri açılır kapanır sistem ile kapatılmıştır. Tiyatronun yönetimi belediyeye aittir.

Tiyatroda düzenlenen etkinliklere bakıldığında konser, söyleşi, tiyatro gibi birçok farklı etkinliğin gerçekleştiği görülmektedir. Bu sayede tiyatro müzik amaçlı kullanımının yanı sıra konuşma amaçlı olarak da kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Yapım Yeri | Bostanlı, Karşıyaka |
| Yapım Yılı | 1987, yenileme 2013 |
| Yapı Fonksiyonu | Açık Hava Tiyatrosu |
| Taşıyıcı Sistem | Betonarme Karkas Sistem |
| Geçilen Açıklık | 9,7 metre |
| **Üst örtü sistemi** | **Özellikleri** |
| Örtünün Geometrisi | Dikdörtgen Geometri |
| Örtülen Alan | 365 $m^2$ |
| Kaplama Malzemesi | Polikarbonat Kaplama |
| Hareket Özelliği | Çerçeve Tipi Kayar Hareketli Sistem |
| Hareket Mekanizması | Tekerlekli Sistem |
| Hareket Süresi | 2 dakika |
| Yapı boyutları | 36m x 43m x 7m |
| Duvar Kapanma Oranı | %100 |
| Çatı Kapanma Oranı | %50 |

Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu Adnan Saygun Parkı karşısı, Cemal Gürsel Cad. Hasan Ali Yücel Bulvarı, 2009. Sokak Bostanlı'da yer almaktadır. Şekil 3.1' de Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun konumu gösterilmiştir.



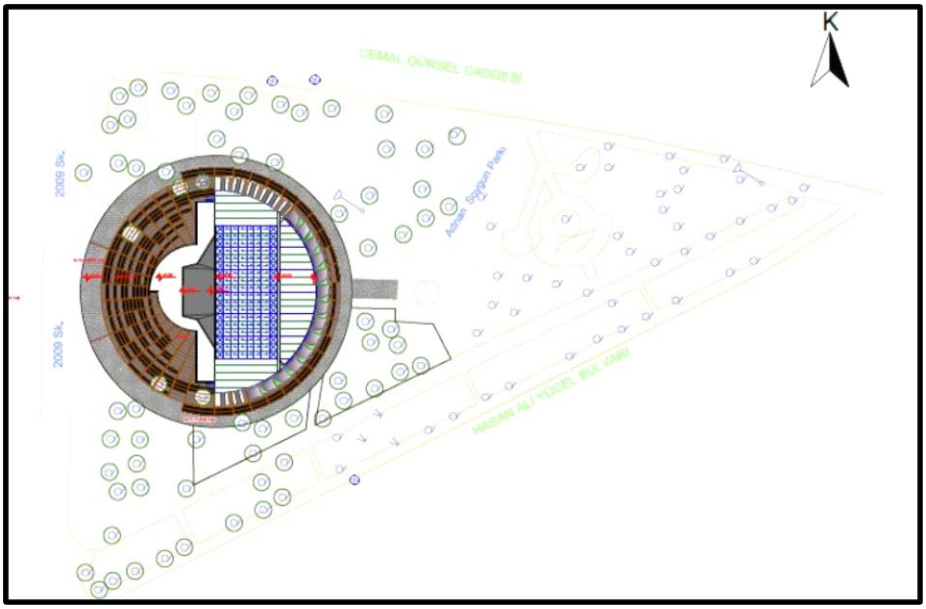
Şekil 3.1 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu konumu

### *3.2.1 Tiyatronun Tasarım Özellikleri*

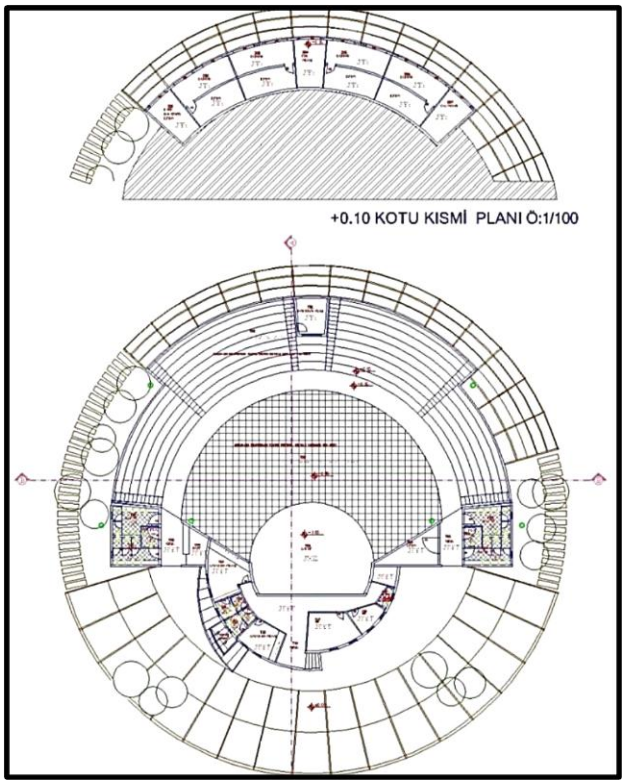
Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu 940 kişilik seyirci kapasitelidir. Yapı zemin kat planı ve +0.10 kotu kısmi plandan oluşmaktadır. Zemin katta seyirci kısmı, kontrol odası, wc, soyunma odaları, büfe ve sahneden oluşmaktadır. +0.10 kotunda ise depolar, dükkânlar, çay ocağı ve elektrik odası bulunmaktadır.

Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun planları ve kesitleri gösterilmiştir. Zemin kat planında perde aralarında seyircilerin gezinme ihtiyacını da sağlayacağı gibi iki tarafında giriş bulunmaktadır. Şekil 3.2' de sahne ve oturma düzeni gösterilmiştir.

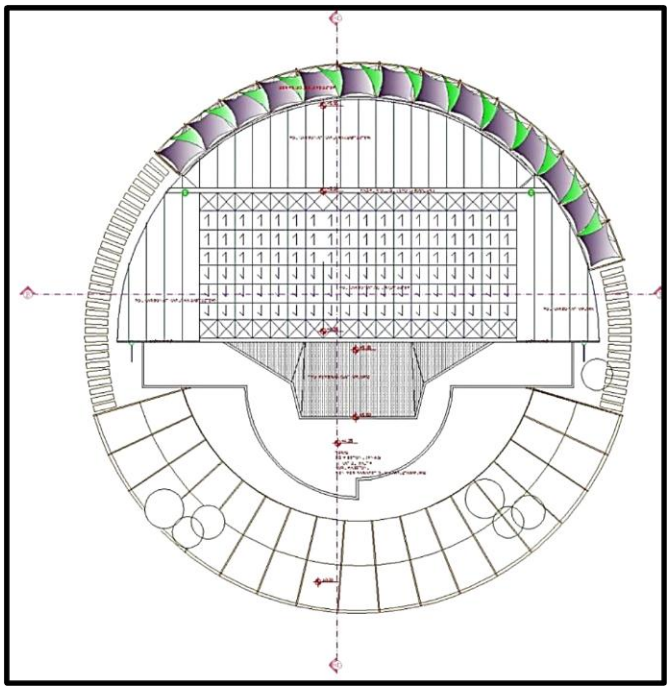
Şekil 3.2 Sahne ve oturma düzeni (Yağmur Serin arşivi, 2013)



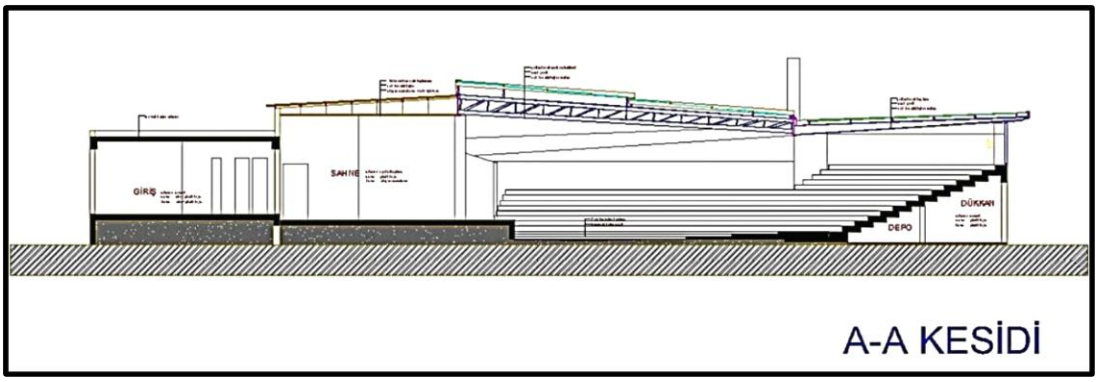

Şekil 3.3 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu vaziyet planı (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



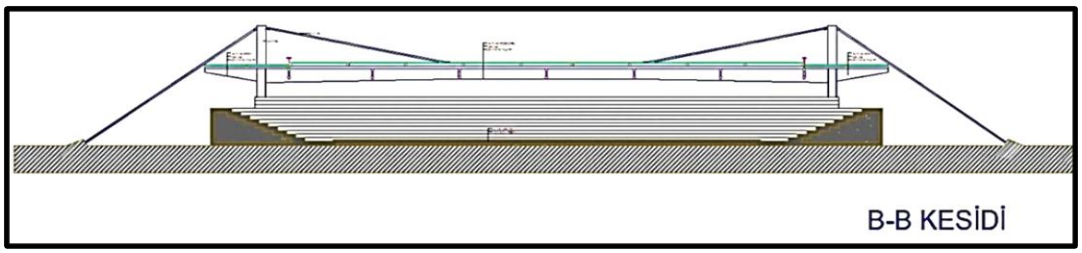

Şekil 3.4 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu zemin kat planı (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



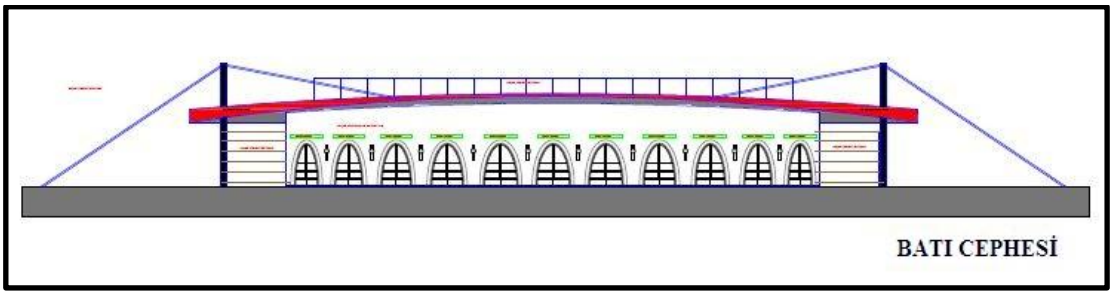
Şekil 3.5 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu çatı planı (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



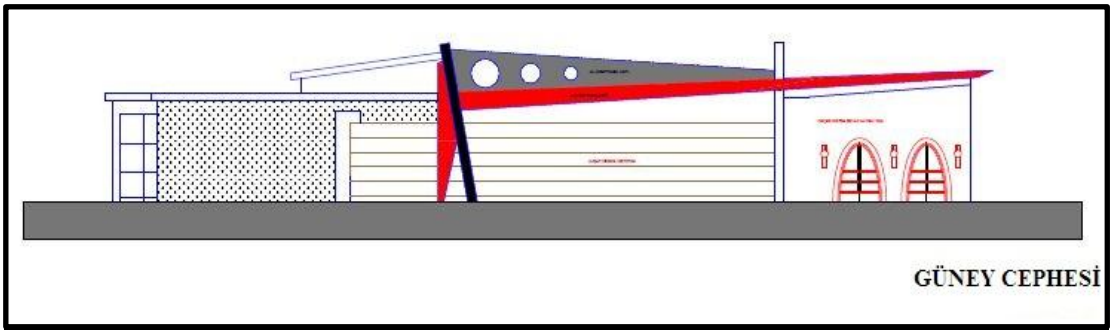

Şekil 3.6 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu A-A kesiti (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



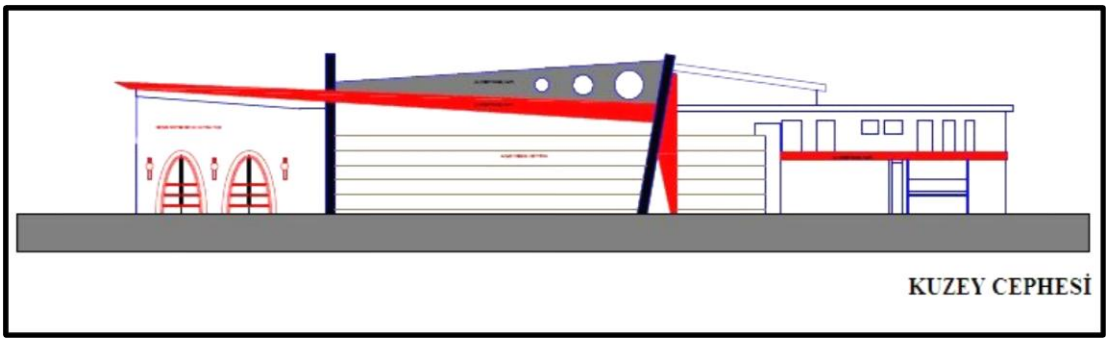

Şekil 3.7 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu B-B kesiti (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



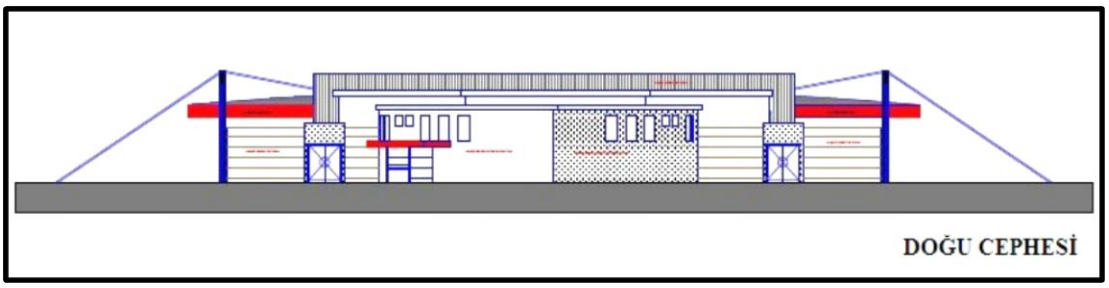

Şekil 3.8 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu batı cephesi (Karşıyaka Belediyesi, 2013)




Şekil 3.9 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu güney cephesi (Karşıyaka Belediyesi, 2013)




Şekil 3.10 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu kuzey cephesi (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



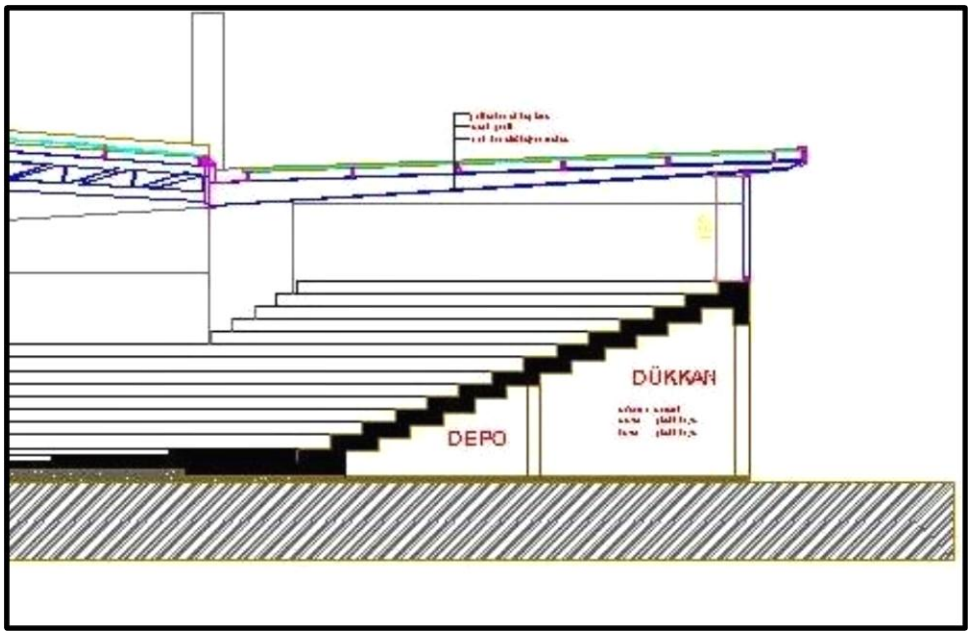

Şekil 3.11 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu doğu cephesi (Karşıyaka Belediyesi, 2013)

### *3.2.2 Tiyatronun Yapısal Özellikleri*

Tiyatro alanı 965,3m$^2$, hacmi 4825 m$^3$' tür. Seyirci bölümünün sahneye olan mesafesi 13 m' dir. Seyirci kısmı yaklaşık 20 derece eğimli olması planlanmıştır. Taşıyıcı sistemi betonarme karkas sistemdir. Tablo 3.2' de farklı boyutlardaki salonlarda kişi başına düşen m$^3$ gösterilmektedir. Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nda kişi başına 5,13 m$^3$ düşmektedir. Bu değer konser salonları için gerekli olan minimum değerin altında iken çok amaçlı salon için gerekli olan minimum sınırı sağlamaktadır.

Tablo 3.2 Farklı boyutlarda salonlar için kişi başına düşen hacim değerleri (Doelle 1972)

| | Minimum (m$^3$) | Optimum (m$^3$) | Maksimum (m$^3$) |
|---|---|---|---|
| Konser salonları | 6,52 | 7,8 | 10,8 |
| Opera binaları | 4,5 | 5,7 | 7,4 |
| Kiliseler | 5,7 | 8,5 | 12 |
| Sinemalar | 2,8 | 3,5 | 5,1 |
| Konuşma amaçlı hacimler | 2,3 | 3,1 | 4,3 |
| Çok amaçlı salonlar | 5,1 | 7,1 | 8,5 |

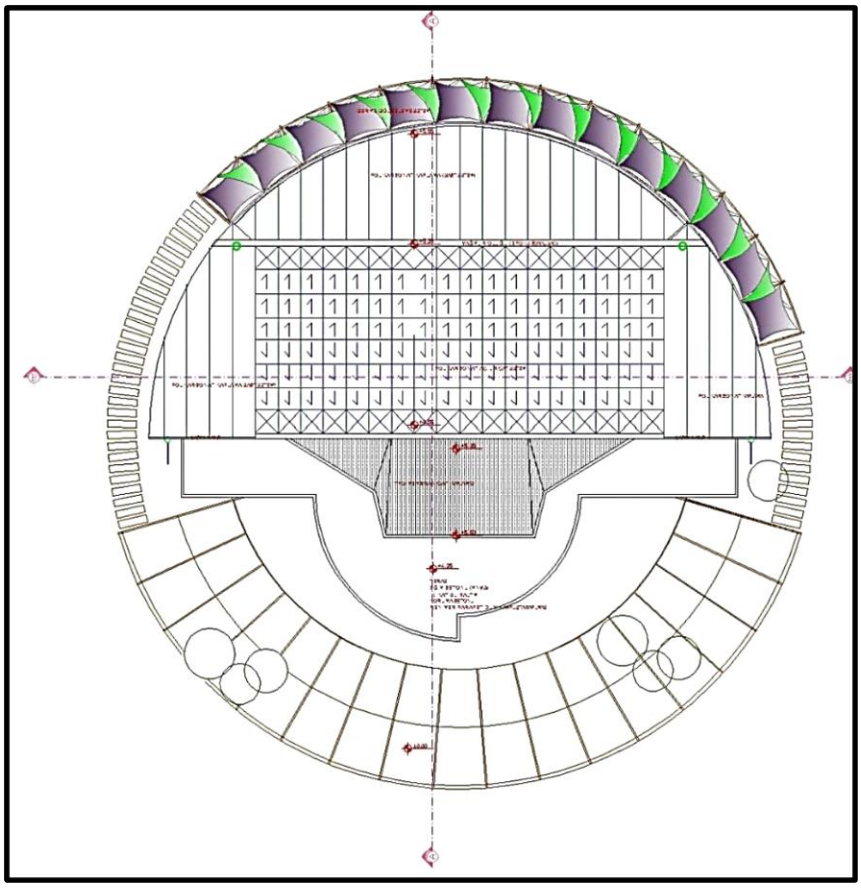



Şekil 3.12 Seyirci kısmı kesit (Karşıyaka Belediyesi, 2013)

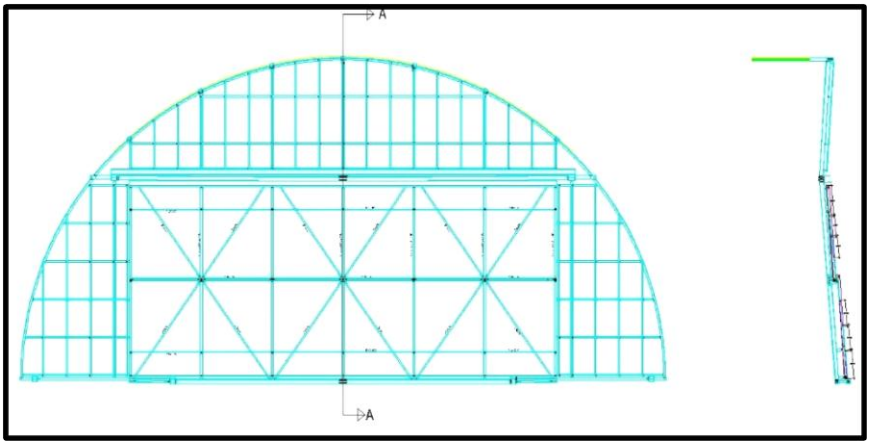
Basamakların rıht yüksekliği 20 cm'dir. Sahnenin ve protokol kısmının üzeri hareketli çatı ile örtülmüştür. Karşıyaka Belediyesi tarafından binanın her mevsim kullanılabilir hale gelmesi için bu sistem düşünülmüştür. Hareketli çatı strüktürü Kayzen Yapı Sistemleri tarafından yapılmıştır. Diğer kısımlar ise sabit çatıdan meydana gelmektedir. Şekil 3.13' te gösterilmiştir. Hareketli kısım çerçeve tipi kayar hareketli sistemden oluşmaktadır.

Açık hava tiyatrosunun çatısı kapatılırken yan yüzeyler de kapatılmaktadır. Yan yüzeylerde cam malzeme kullanılmıştır.

Hareketli çatının boyutları 9,7 m x 28,8 m'dir. Hareketli çatının zeminden mesafesi 4,50 m' dir. Hareketli kısım tekerlek grupları üzerinde yürüyerek açılıp kapanabilmektedir. Hareketli çatı kanatları 9,7 m açıklık geçmektedir. Hareket özelliği çerçeve tipi kayar hareketli sistemdir.

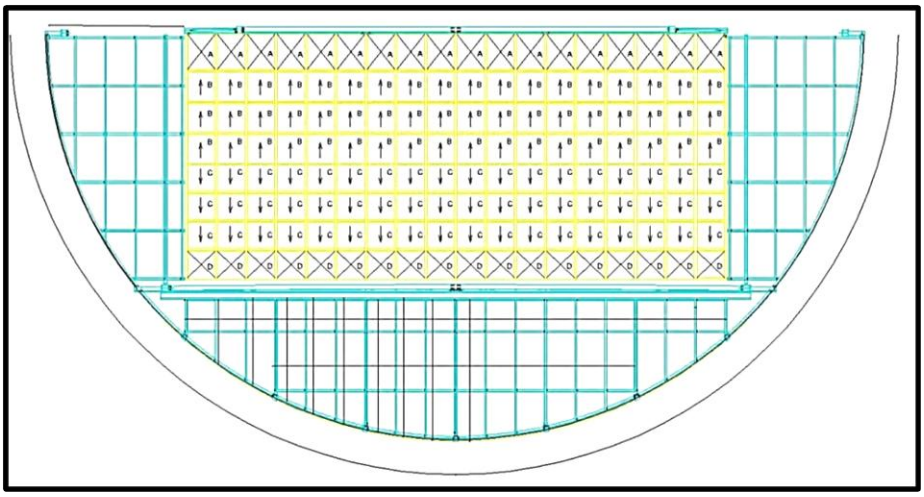


Şekil 3.13 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu çatı planı (Karşıyaka Belediyesi, 2013)

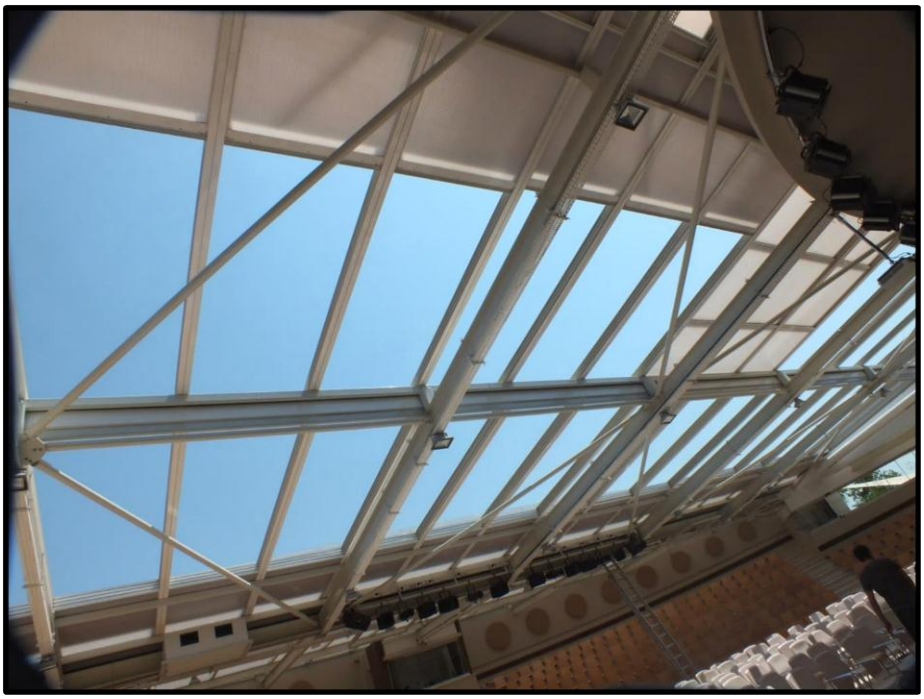



Şekil 3.14 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı planı 1 (Karşıyaka Belediyesi, 2013)

Hareketli çatı kapalı durumda iken saha içinde doğal gün ışığından yararlanabilmek için hareketli çatı kanatlarının üstü şeffaf bir polikarbonat kaplama ile kaplanmıştır.



Şekil 3.15 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı planı 2 (Karşıyaka Belediyesi, 2013)



Şekil 3.16 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu hareketli çatı (Yağmur Serin arşivi, 2013)

### *3.2.3 Tiyatronun Geçirdiği Yenileme Çalışmaları*

Tiyatro ilk olarak 1987 yılında yapılmıştır. O dönemde üzeri açık olarak planlanan yapıda yaz döneminde yoğun olarak kullanım söz konusu olabilmektedir.

Şekil 3.17 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosu yenileme öncesi durumu

2013 yılında projeye uygulanan temel değişikler şunlardır: ( Karşıyaka Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü)

- Sahne kısmı mermer kaplama iken 2013 yılında yapılan yenileme sonucu zemin kaplaması ahşap masif parke yapılmıştır. Sahnenin arkasına perde ilave edilmiştir. Sahnenin iki yan duvarlarına taş yünü üzeri delikli alçıpan uygulanmıştır. Sahne tavanı alçıpan ile kaplanmıştır. Şekil 3.18 'de sahnenin yeni hali gösterilmektedir.

- Sahnenin iki kenarında giriş ilave edilmiştir. Girişler perde ile kapatılmıştır ve etrafı kahverengi betopan malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 3.20).

- Sabit koltukların malzemesi ahşap görünümlü plastik ile kaplanmıştır. Kaldırılabilir koltukların üzeri suni deri kaplıdır.

- Mekanın üzeri bir kısmı açılıp-kapabilen bir kısmı sabit çatı ile kaplanmıştır. Bu sayede sadece yaz mevsimi değil her mevsim kullanılabilen bir mekan

haline gelmiştir. Hareketli çatı malzemesi polikarbonat kaplamadır. Bu malzeme sayesinde doğal ışık bina içerisine girebilmektedir.

- Zemin katta seyirci kısmı, kontrol odası, wc, soyunma odaları, büfe eklenmiştir.

- Seyircinin oturma alanının düz ve eğimli bölümleri (basamaklar) mermer ile kaplanmıştır.

- Oturma alanlarının en üst kademesindeki koltukların arka duvarı kalın sünger üzeri kumaş ile kaplanmıştır.

Şekil 3.18 Sahne görünüm (Yağmur Serin arşivi, 2013)

Şekil 3.19 Seyirci kısmı (Yağmur Serin arşivi, 2013)

Şekil 3.20 Sahne son hali (Yağmur Serin arşivi, 2013)

### *3.2.4 Tiyatronun Mevcut İç Yüzey Kaplama Malzemelerinin Özellikleri*

Tiyatronun iç yüzeylerini oluşturan malzemeler ve alanları tablo 3.3' te görülmektedir. En fazla yüzeyi hareketli ve sabit çatı ile örtülen alan kaplamaktadır. Çatıda kullanılan malzeme ise polikarbonat kaplamadır. Mekandaki yüzey gereçleri yutuculuk referans katsayıları da tablo 3.4' te görülmektedir.

Tablo 3.3 Bostanlı Suat Taşer açık hava tiyatrosunun malzeme özellikleri ve kapladıkları alan

| **Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun Malzeme Özellikleri** | | |
|---|---|---|
| **Birim / Yüzey** | **Sayı / Alan (m²)** | **Malzeme** |
| Sahne döşeme | 122,37 m² | Ahşap masif parke |
| Salon döşeme | 610,49 $m^2$ | Mermer |
| Hacim | 4381,1 $m^3$ | |
| Sahnenin iki kenarındaki duvarlar | 330,54 $m^2$ | Taş yünü üzeri delikli alçıpan |
| Arka duvarlar | 70,08 $m^2$ | Kalın sünger üzeri kumaş (duvarın belirli bölümü) |
| Pencere (Cam Yüzey) | 35,57 $m^2$ | Çift cam |
| Hareketli çatı alanı | 274,8 $m^2$ | Çelik çatı üzeri polikarbonat kaplama |
| Sabit çatı ile örtülen alan | 365.58 $m^2$ | Çelik çatı üzeri polikarbonat kaplama |
| Girişler | 10,032 $m^2$ | Perde |
| Sahnede arkası girişler | 61,013 $m^2$ | Perde |
| Kaldırılabilir koltuklar | 255 adet | Sünger üzeri suni deri kaplama |
| Sabit koltuklar | 685 adet | Ahşap görünümlü plastik kaplama |

Tablo 3.4 Mekandaki yüzey gereçleri referans yutuculuk katsayıları

| **Yutuculuk Katsayıları (α)** | **125 Hz** | **250 Hz** | **500 Hz** | **1000 Hz** | **2000 Hz** | **4000 Hz** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sahne döşeme | 0,14 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,10 |
| Salon döşeme | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Sahnenin iki kenarındaki duvarlar (Delikli Alçıpan) | 0,12 | 0,1 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,09 |
| Arka duvarlar(Kumaş Kaplı Yüzeyler) | 0,52 | 1,01 | 0,96 | 1,01 | 0,93 | 0,98 |
| Pencere (Cam Yüzey) | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Tavan(Polikarbonat) | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,12 | 0,10 |
| Perde | 0,06 | 0,10 | 0,38 | 0,63 | 0,70 | 0,73 |
| Sandalye | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

## 3.3 Çalışma Alanında Yapılan Hacim Akustiği Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirmesi

Bu bölümde Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun akustik koşullarının belirlenmesi amacıyla yürütülen nesnel değerlendirme çalışmaları aktarılmaktadır. Ölçümlerde; EDT, T30, D50, C80 ve STI parametreleri 125Hz-8000Hz oktav bandı aralığında ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

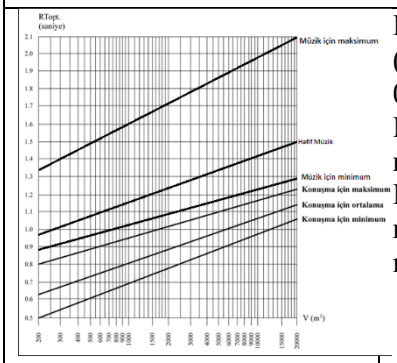
### *3.3.1 Ölçüm ve Değerlendirmede Kullanılan Akustik Parametreler ve Optimum Değerleri*

İkinci Bölümde örneklerin akustik analizi başlığında da belirtildiği gibi dünyada performans mekanları üzerine yapılan çalışmalar özellikle uluslararası sanat müziği seslendirilen mekanlar çerçevesinde ele alınmış, nesnel ve öznel parametreler ile söz konusu parametrelere ait optimum sınır değerleri belirlenmiştir. Salonların akustik performansları yaygın olarak simülasyon yazılımlarından elde edilen değerler ve

mekan içi ölçümlemeler çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Tez çalışması kapsamında, Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu'nun akustik değerlendirmesi için yapılan çalışmada yerinde ölçümleme yöntemi kullanılmış ve performans mekânlarında yapılacak ölçümler/değerlendirmeler için ISO 3382-1 standardında belirlenen nesnel parametreler kullanılmıştır. Söz konusu parametreler literatürde çeşitli referans kitaplarda ayrıntılı olarak ve pek çok kez açıklandığından bu bölümde yalnızca kısa tarifleri ve optimum değer aralıkları ile aktarılmaktadır (Tablo 3.5).

Suat Taşer Tiyatrosu'nda gerçekleştirilen etkinlikler değerlendirildiğinde konuşmanın yoğun olduğu etkinliklerin yanı sıra gerçekleştirilen müzik etkinliklerinin de var olduğu ve çoğu performans için elektronik güçlendirme sisteminin aktif olarak kullanıldığı görülmektedir. Yansısım açısından bakıldığında, farklı müzik türlerinin gereksinim duyduğu farklı süreler olduğu görülmektedir. Örneğin orta frekanstaki yansışım süresi opera için 1,4-1,6 s; senfonik müzik için ise 1,7-2,4 s. aralıklarında değerler almaktadır. Bu açıdan bakıldığında, Suat Taşer Tiyatrosunda çoğunlukla yer alan müzik türleri de dikkate alınmalıdır. İzmir kenti için önemli etkinliklere ev sahipliği yapan salonda daha çok popüler müzik performansları yer almakta ve özellikle yaz aylarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Popüler Müzik üretilen mekânlar konusundaki araştırmalar daha sınırlı olmakla birlikte, Öziş tarafından popüler müzik mekânlarının değerlendirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada; günümüzde popüler müzik mekânlarında gerçekleştirilen konser sayısının klasik müzik eserlerinin seslendirmelerinden çok daha fazla olduğu ve özellikle de ülkemizde bu farkın daha da açıldığı belirtilmektedir. Aynı çalışmada, Danimarka'da 2004 senesinde 12,500 popüler müzik konseri gerçekleştirilirken aynı yıl 2000 klasik müzik konseri gerçekleştirildiği ve 'en iyi' olarak değerlendirilen mekanların 0,6-1,2 sn yansışım süresine sahip oldukları belirtildiği aktarılmaktadır. Söz konusu mekânlarda, bas berraklık değerlerinin yüksek olması olumlu olarak değerlendirilirken yine bas frekanstaki yansışım değerinin ise olabildiğinde düşük olması gereği vurgulanmaktadır (Öziş, 2014). Burada belirtilen yansışım süresi üst limiti (1,2 sn), Tablo 3.5' te yer alan grafikte belirtilen müzik işlevi için hacim büyüklüğüne bağlı minimum değere karşılık gelmektedir.

Tablo 3.5 Akustik parametreler ve optimum değerleri (Örün, 2011; Long, 2006; Çalışkan 2014; Demirel ve İlisulu, 2013)

| **Akustik Parametre Adı (Birimi)** | **Tanımı** | **Optimum Değer Aralığı** |
|---|---|---|
| **Yansışım Süresi** (Çınlama Süresi – Reverberasyon Süresi) RT, $T_{60}$ (sn) | Ses kaynağı kapatıldıktan sonra hacimde sesin sönümlenerek başlangıç enerjisinin milyonda birine ya da 60 dB düşmesi için geçen süre olarak tanımlanmaktadır.   Konuşma (4825 $m^3$): 0,9-1,1 Müzik (4825 $m^3$) (min.): 1,2 Müzik (4825 $m^3$) (hafif müzik): 1,4 | Conference 0.85<Tmid<1.30 (Riberio, 2002) Music 1.30<Tmid<1.83 (Riberio, 2002) Concert Halls 1.8 ≤ RT ≤ 2.2 (Barron, 2005) Speech 0.7-1.0 (Barron,1993 for 500 Hz) Opera 1.3-1.8 (Barron,1993 for 500 Hz) Drama Theatres 0.7-1.0 (Barron, 2010) |
| $T_{30}$ (sn) – Yansışım Süresi | Uygulamada, ses düzeyinin fon gürültüsünün 60 dB üzerine çıkması her zaman mümkün olmadığından T60 genellikle ilk 30 dB'lik düşüş belirlenerek elde edilir. -5 ile -35 dB arasındaki düşüş süresi belirlenerek bulunan T30 değeri 2 ile çarpılarak T60'a ulaşılmaktadır (Beranek, 1996; Kara, 2009; Mehta ve diğer., 1999). | |
| **Erken Sönümleme (Düşme) Süresi** (EDT) (sn) | EDT değeri, sesin ilk 10 dB'lik düşüşü için geçen sürenin altı katına eşittir. Hacimlerde EDT' nin RT ile paralellik göstermesi, düzgün yayınmışlığın göstergesi olarak kabul edilmektedir (Çalışkan, 2014). | EDT=(1.1) RT±0.2 (Barron) ±%10xT (Gimenez, 1988) EDT<Tmid (konuşma) EDT>Tmid (müzik) (Mehta ve diğer., 1999) |
| **$D_{50}$** (%) Ayırtedilebilirlik | Dinleyiciye dolaysız gelen sesten sonra, ilk 50 milisaniyelik bölümde ulaşan sesler, doğrudan gelen sesi pekiştirerek, genişlemiş bir ses görüntüsüne ve iyi bir ses seviyesi güçlendirmesine katkıda bulunacağından, yararlı yansımaları oluşturur. Bu yararlı yansımaların enerjisinin toplamının, yararlı-yararsız tüm yansımaların enerjilerinin toplamına oranı ayırtedilebilirlik olarak ifade edilmektedir. (Kurtulan, 2009; Long, 2006; Mehta ve diğer., 1999). Konuşmanın anlaşılabilirliği ile D50 değerinin arasındaki ilişki incelendiğinde, D50'nin %50'nin üzerine çıktığı durumda, anlaşılabilirliğin de %90'ın üzerine çıktığı görülmektedir. | 0.34 (Cremer,1982) 0.56 (Bradley,1986) 0.4 - 0.6 (Gimenez, 1988) 0.45-0.55 (Hilbert,1982) Conference ≥0.65 (Riberio, 2002) Music 0.45<D≤ 0.60 (Riberio, 2002) |

Tablo 3.5 (Devamı): Akustik Parametreler ve Optimum Değerleri (Örün, 2013; Long, 2006; Çalışkan 2014; Demirel ve İlisulu, 2013)

| **Akustik Parametre Adı (Birimi)** | **Tanımı** | **Optimum Değer Aralığı** |
|---|---|---|
| **$C_{80}$** - Netlik (dB) | İlk 80 ms içerisinde ulaşan sesin enerjisinin bu süreden sonra ulaşan ses enerjisine göreceli değeridir (Çalışkan, 2014). Netlik değerinin müzik için konuşmadan daha uzun olduğu ortaya koyulmuştur. Reichardts müziğin net ve açık bir şekilde algılanabilmesi için gereken sürenin ilk 80 ms oldugunu belirlemiş ve Thiele'nin geliştirdiği konuşmanın belirginliği parametresinin yerine müziğin netliği parametresini ortaya koymuştur. Bu değer ilk yansımaların hem zamana bağlı olarak incelenmesini sağlamakta hem de spektral dalgalanma üzerinde etkili olmaktadır (Yaşaroğlu, 2006). | -4<C80<4 (Gade)<br>0 (Cremer, 1982)<br>-4 - 0 (Beranek, 1996)<br>-2 - +2 (Barron, 1993)<br>-1 - +1 (Hyde, 1994)<br>-5 - +5 (ISO 3382-1) |
| **Konuşma İletim Katsayısı** - STI | Konuşma iletim katsayısı, STI, anlaşılabilirliğin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Dolaysız ses, yansımış sesler ve arka plan gürültü düzeyi ile ilgili önemli bir ölçüt olan STI, ses iletiminin iyi olması durumunda 1'e, kötü olması durumunda 0'a yakın değerler almaktadır (Long, 2006; Kara, 2009; Kurtulan, 2009; Türk, 2011). | 0.00 - 0.30 (Kötü)<br>0.30 – 0.45 (Zayıf)<br>0.45 – 0.60 (Orta)<br>0.60 – 0.75 (İyi)<br>0.75 – 1.00 (Mükemmel) |

### *3.3.2 Alan Ölçmesi*

Bu çalışmada Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nun hacim akustiği sorunlarının belirlenmesi, konuşmanın anlaşılabilirliği ve müzik için uygunluğunun değerlendirilebilmesi için ölçüm çalışması yapılması yapılmıştır. Ölçümlerde, arka plan gürültü seviyesi, EDT, RT, D50, STI ve D50 parametreleri 125 Hz-8000 Hz oktav bandı aralığında ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### *3.3.2.1 Ölçüm Koşulları ve Pozisyonları*

Ölçümler tiyatronun boş olduğu durumda yapılmıştır. Ölçüm ekibi üç kişidir ve ölçüm esnasında aydınlatma veya havalandırma gibi herhangi bir sistem açılmamıştır. Tablo 3.6' da tiyatronun ölçümü sırasındaki koşullar gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Ölçüm koşulları

| | |
|---|---|
| **Tarih** | 08.07.2013 |
| **Kaynak Sayısı** | 1 |
| **Alıcı Sayısı** | 11 |
| **Ölçüm Saatleri** | 11:00 - 18.00 |
| **Sıcaklık** | 37 $C^0$ |
| **Nem** | % 50 |

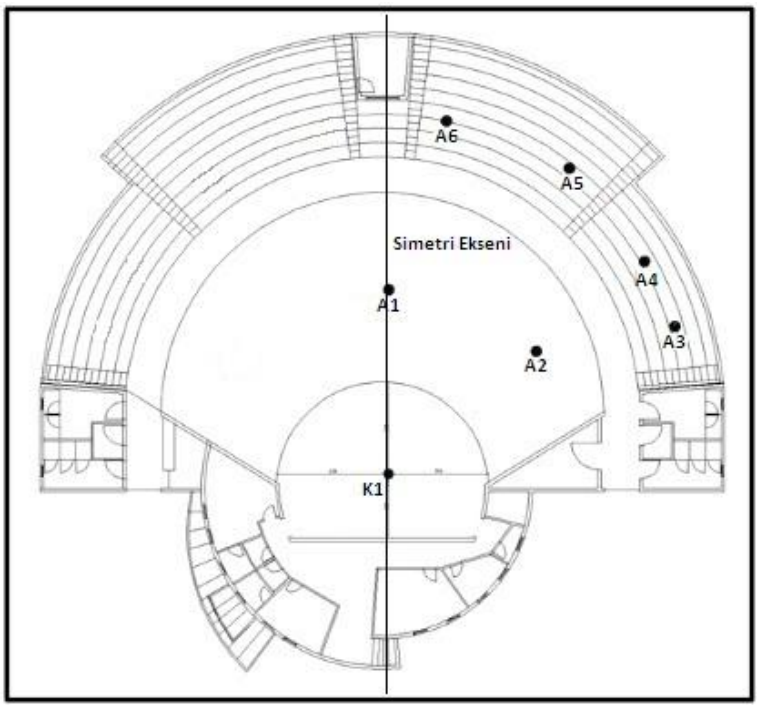
Ölçüm esnasında kullanılacak alıcı noktalarının sayısı hacmin büyüklüğüne bağlı olarak ISO 3382-1 standardı ile belirlenmektedir. Tablo 3.7' de oturma sayısına göre kullanılması gereken minimum mikrofon pozisyonu sayısı gösterilmektedir. Buna bağlı olarak Bostanlı Açıkhava Tiyatrosu' nda salonun simetrik olması nedeni ile simetri aksına göre sağ tarafta yapılan ölçüm sırasında 6 mikrofon noktası kullanılmıştır.

Tablo 3.7 Oturma yeri sayısına göre kullanılması gereken minimum mikrofon pozisyonu sayısı (ISO 3382-1)

| Oturma Yeri Sayısı | Kullanılacak minumum mikrofon pozisyonu sayısı |
|---|---|
| 500 | 6 |
| 1000 | 8 |
| 2000 | 10 |

Kaynak noktası sahne arka duvarından 3,60 m mesafede salonun salonun simetri aksı üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.21, Tablo 3.8).

Ses kaynağı ISO 3382-1 standardına uygun olarak yerden 1,5 m yükseklikte yerleştirilmiştir. Alıcı noktalarında mikrofonun yerden yüksekliği ise 1,2 m olarak belirlenmiştir.




Şekil 3.21 Bostanlı açık hava tiyatrosu kaynak ve alıcı noktaları

Tablo 3.8 Alıcı-kaynak uzaklıkları

| **Alıcı** | **Kaynak/Alıcı Uzaklığı(m)** |
|---|---|
| A1 | 10,42 m |
| A2 | 10,80 m |
| A3 | 18,13 m |
| A4 | 18,72 m |
| A5 | 19,99 m |
| A6 | 20,13 m |

*3.3.2.2 Ölçüm Düzeneği*

Ölçüm sırasında kullanılan temel araçlar içerisinde Dirac 5,5 programı, 1 adet preamplifikatör, 1 adet güç amplifikatörü, 1 adet dodekaedrik hoparlör, 1 adet hoparlör tripodu, 1 adet mikrofon ve mikrofon tripodu kullanılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce mikrofonlar kalibre edilmiştir.

Çalışmada kullanılan ses kaynağı Brüel&Kjaer ipinde 12 yüzünde hoparlör bulunan küresel (omnidirectional) bir kaynaktır. Kaynağın yaratacağı ses basınç

düzeyi arka plan gürültüsünden etkilenmeden, istenen minimum aktif alanda azalma eğrileri sağlayacak verimlilikte olmalıdır. Ses alıcı sistem olarak kullanılan ekipmanlar Brüel&Kjaer basıncını bulmak için ses dalgalarını her yönde toplayan (omnidirectional) mikrofon kullanılmıştır. Ölçülecek ses yüksekliği (G) değeri için mikrofon kalibre edilmiştir. Ses alıcı sistemi ile ölçülen veriler, bir diz üstü bilgisayarına yüklenen B&K tipi 'DIRAC Hacim Akustiği' yazılımı yardımı ile ISO 3382-1'e uygun olarak analiz edilmiş ve nesnel akustik parametrelerin değerleri ölçülmüştür.

### *3.3.3 Salonun Açık ve Kapalı Durumda Mevcut Akustik Koşul Değişiminin Belirlenmesi*

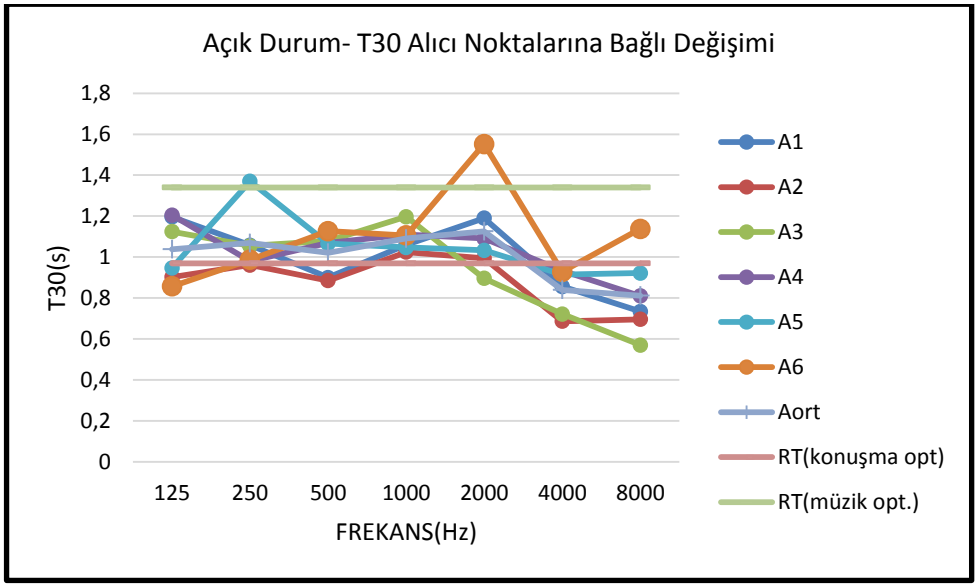
Ölçümler mekân boşken ve yan duvarlardaki pencereler kapalı durumdayken tefriş elemanlarının mevcut durumu korunarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, ölçülen akustik parametrelerin alıcı noktalarında ölçülen T30, EDT, D50, STI ve C80 değerleri ile ortalamaları hareketli çatı sisteminin açık ve kapalı olduğu durumlar için tablolar ve grafikler aracılığıyla aktarılmaktadır.

- T30 (s)

Grafikler oluşturulurken önce her bir alıcı noktasının farklı frekanslara göre T30 değerleri gösterilmiştir. Aynı grafiklerde alıcı noktalarının ortalama değerleri, müzik ve konuşma amaçlı mekanlar için hacme bağlı olarak grafikten (Tablo 3.5) okunan optimum değerler gösterilmiştir. Mekanın popüler müzik üretilen bir hacim olarak dikkate alınması durumunda, yansışım süresi üst limitinin – daha önce de belirtildiği gibi – 1,2 s. olarak dikkate alınması söz konusu olabilmektedir. Ancak salonun boyutları ve kapasitesi açısından popüler müzik üretilen mekanlardan farklılaşması nedeniyle yansışım süresi optimum değeri tablo 3.5' teki grafikten yararlanılarak ve hafif müzik için verilen eğime göre yaklaşık 1,4 s olarak belirlenmiştir. Her bir alıcı noktasındaki minimum ve maksimum değerler arasındaki farkı gösterebilmek amacıyla tablolar oluşturulmuştur. Böylece salonun farklı bölgelerinde oluşan farklılıklar ifade edilmeye çalışılmıştır.

T30 grafiğini konuşma amaçlı mekân için çatı açık konumda iken incelediğimizde; şekil 3.22' de görüldüğü gibi olması gereken optimum değerlerin 125 Hz frekansta $A_1$, $A_3$ ve $A_4$ alıcı noktalarında, 250 Hz frekansta $A_2$ alıcı noktası dışında tüm noktalarda, 500 Hz frekansta $A_1$ ve $A_2$ alıcı noktaları dışında tüm noktalarda, 1000 Hz frekansta tüm noktalarda, 2000 Hz frekansta $A_3$ alıcı noktası dışında tüm noktalarda, 8000 Hz frekansta ise $A_6$ alıcı noktasında üzerinde olduğu görülmüştür. 4000 Hz frekansta tüm alıcı noktalarında istenilen değerin altında olduğu tespit edilmiştir. T30 grafiğini müzik amaçlı mekan için çatı açık konumda iken incelendiğimizde ise; 2000 Hz frekansta A6 alıcı noktası dışında tüm frekanslarda kabul edilebilir değer aralığının altında olduğu görülmüştür.

Tablo 3.9' da T30 değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkını incelediğimizde; 2000 Hz oktav bandında alıcı noktaları arasında farkın en yüksek değerde olduğu; 1000 Hz oktav bandında ise en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Farklı alıcı noktalarındaki grafik eğrileri ise $A_5$ ve $A_6$ alıcı noktaları dışında diğer alıcılar hemen hemen birbirine paraleldir. Ortalama T30 değerleri 125 Hz oktav bandında 1,03 sn; 250 Hz oktav bandında 1,06 sn; 500 Hz oktav bandında 1,02sn; 1000 Hz oktav bandında 1,09 sn; 2000 Hz oktav bandında 1,12 sn; 4000 Hz oktav bandında 0,84 sn; 8000 Hz oktav bandında 0,81 sn' dir.



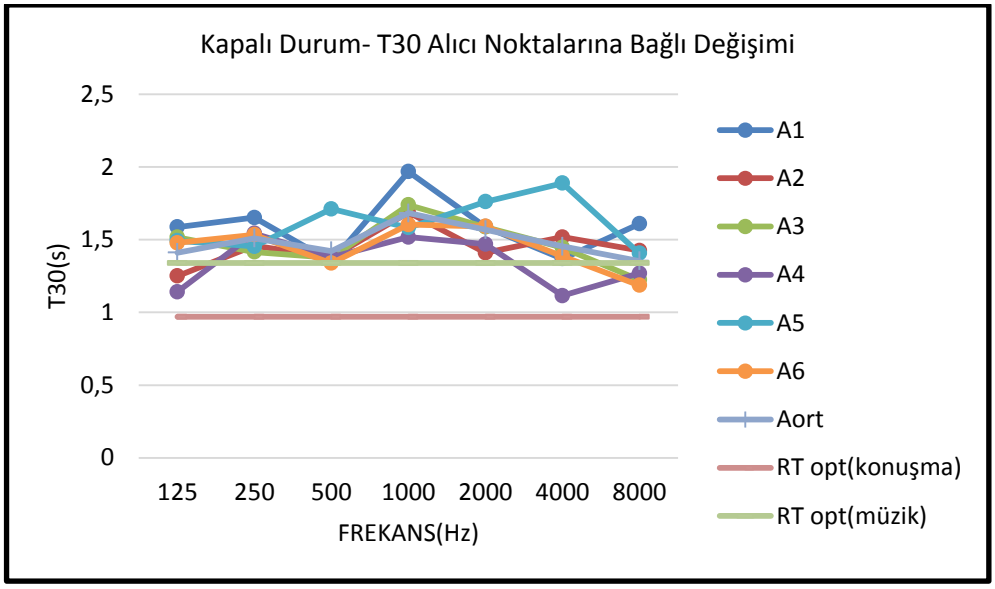

Şekil 3.22 T30 çatı açık iken ölçüm sonuçları

Tablo 3.9 T30 değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,19 | 1,05 | 0,9 | 1,06 | 1,19 | 0,85 | 0,73 |
| A2 | 0,90 | 0,96 | 0,88 | 1,02 | 0,99 | 0,68 | 0,69 |
| A3 | 1,12 | 1,05 | 1,07 | 1,19 | 0,89 | 0,72 | 0,57 |
| A4 | 1,20 | 0,98 | 1,07 | 1,11 | 1,091 | 0,93 | 0,81 |
| A5 | 0,94 | 1,37 | 1,06 | 1,04 | 1,03 | 0,91 | 0,92 |
| A6 | 0,85 | 0,98 | 1,12 | 1,10 | 1,55 | 0,92 | 1,13 |
| FARK | 0,33 | 0,40 | 0,24 | 0,17 | 0,65 | 0,24 | 0,56 |

T30 grafiğini konuşma amaçlı mekan için çatı kapalı konumda iken incelediğimizde; şekil 3.23' te görüldüğü gibi olması gereken optimum değerlerin tüm frekanslarda elde edilen değerlerin kabul edilebilir değer aralığının üzerinde olduğu görülmüştür. T30 grafiğini müzik amaçlı mekan için çatı kapalı konumda iken incelediğimizde ise; 125 Hz frekansta $A_2$ alıcı noktası dışında tüm noktalarda, 250 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekansta tüm alıcı noktalarında, 500 Hz frekansta $A_6$ noktası dışında tüm noktalarda, 4000 Hz frekansta $A_4$ alıcı noktası dışında tüm noktalarda, 8000 Hz frekansta ise $A_1$, $A_2$, $A_5$ ve $A_6$ alıcı noktalarında istenilen değerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 3.10' da T30 değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkını incelediğimizde 4000 Hz oktav bandında en yüksek değerde olan T30; 250 Hz oktav bandında en düşük değere sahiptir. Farklı alıcı noktalarındaki grafik eğrileri ise değişken değerlere sahiptir. Ortalama T30 değerleri 125 Hz oktav bandında 1,41 sn; 250 Hz oktav bandında 1,51 sn; 500 Hz oktav bandında 1,42 sn; 1000 Hz oktav bandında 1,68 sn; 2000 Hz oktav bandında 1,56 sn; 4000 Hz oktav bandında 1,45 sn; 8000 Hz oktav bandında 1,35 sn' dir.




Şekil 3.23 T30 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları

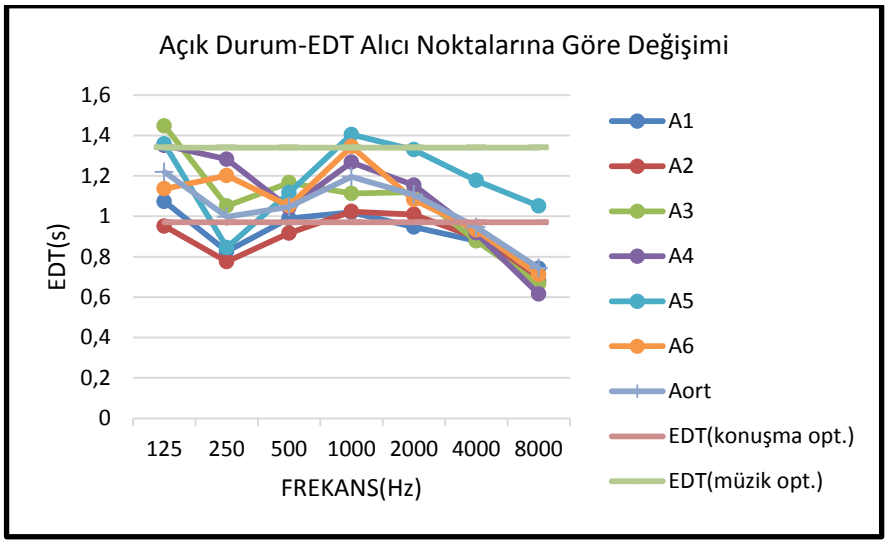
Tablo 3.10 T30 değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

| | FREKANS (Hz) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30(s) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,58 | 1,65 | 1,35 | 1,96 | 1,59 | 1,36 | 1,61 |
| A2 | 1,25 | 1,45 | 1,37 | 1,68 | 1,41 | 1,51 | 1,42 |
| A3 | 1,51 | 1,41 | 1,37 | 1,73 | 1,58 | 1,44 | 1,22 |
| A4 | 1,14 | 1,54 | 1,38 | 1,51 | 1,47 | 1,11 | 1,26 |
| A5 | 1,49 | 1,45 | 1,71 | 1,58 | 1,76 | 1,88 | 1,40 |
| A6 | 1,47 | 1,53 | 1,33 | 1,60 | 1,59 | 1,38 | 1,18 |
| FARK | 0,44 | 0,23 | 0,37 | 0,45 | 0,35 | 0,77 | 0,42 |

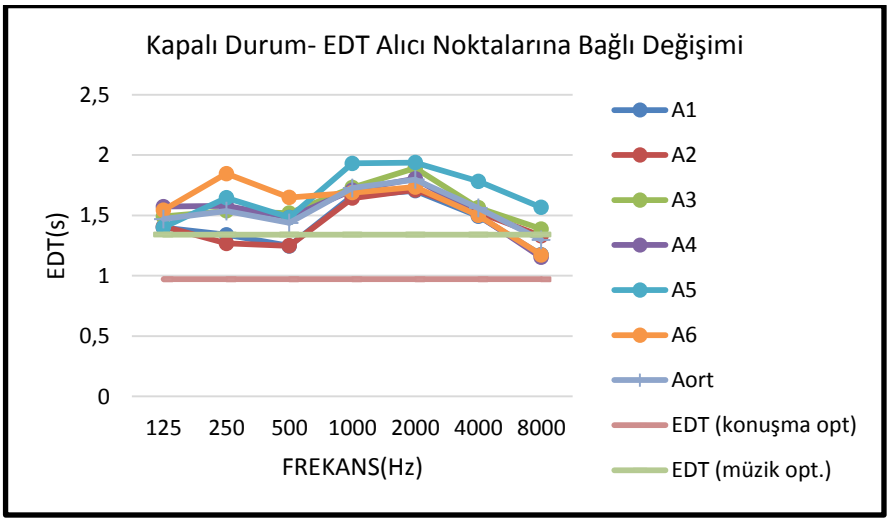
- EDT (s)

EDT grafiğini konuşma ve müzik amaçlı mekân için çatı açık ve kapalı konumda iken incelediğimizde; T30 ile paralel olması gereken EDT değerinin her bir alıcı noktasında farklı olduğu görülmektedir (Şekil 3.24, Şekil 3.25). T30 ile EDT değerinin paralellik göstermemesi mekan içerisinde düzgün yayınmışlığın olmadığı anlamına gelmektedir. Çatı açık iken ölçülen ortalama EDT değerleri; 125 Hz oktav bandında 1,21 sn; 250 Hz oktav bandında 0,99 sn; 500 Hz oktav bandında 1,04 sn; 1000 Hz oktav bandında 1,19 sn; 2000 Hz oktav bandında 1,10 sn; 4000 Hz oktav bandında 0,94 sn; 8000 Hz oktav bandında 0,74 sn' dir. Çatı kapalı iken ölçülen ortalama EDT değerleri; 125 Hz oktav bandında 1,46 sn; 250 Hz oktav bandında

1,53 sn; 500 Hz oktav bandında 1,43 sn; 1000 Hz oktav bandında 1,72 sn; 2000 Hz oktav bandında 1,79 sn; 4000 Hz oktav bandında 1,56 sn; 8000 Hz oktav bandında 1,29 sn' dir.




Şekil 3.24 EDT çatı açık iken ölçüm sonuçları




Şekil 3.25 EDT çatı kapalı iken ölçüm sonuçları

EDT(s) değeri tablo 3.11' de görüldüğü gibi çatı açık konumda iken 250 Hz frekansta alıcı noktaları arasındaki fark en yüksek değerde iken; 500 Hz frekansta ise en düşük değere sahiptir. Tablo 3.12' de ise çatı kapalı konumda iken 250 Hz frekansta alıcı noktaları arasında fark en yüksek değerde iken; 125 Hz frekansta ise en düşük değere sahiptir.

Tablo 3.11 EDT (s) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

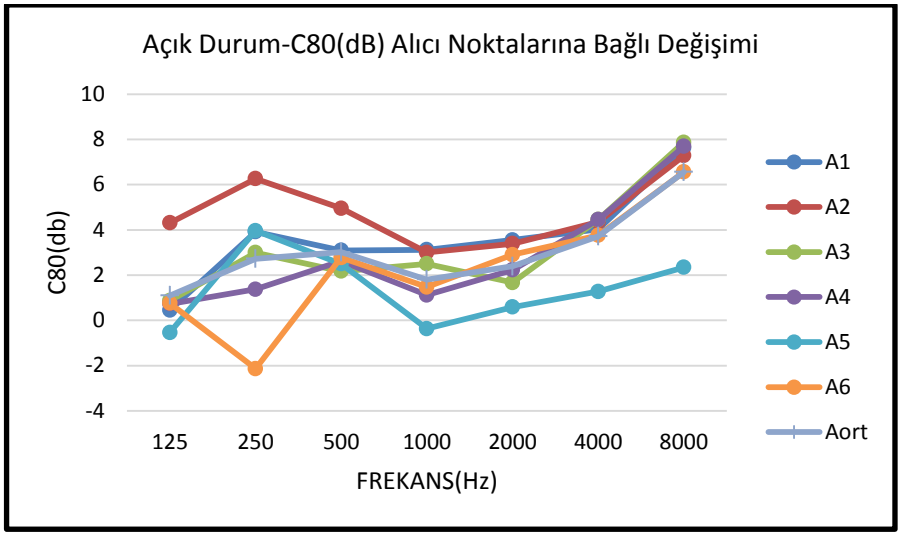
| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EDT [s] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,07 | 0,82 | 0,98 | 1,01 | 0,94 | 0,87 | 0,74 |
| A2 | 0,95 | 0,77 | 0,91 | 1,02 | 1,00 | 0,89 | 0,67 |
| A3 | 1,44 | 1,05 | 1,16 | 1,11 | 1,12 | 0,87 | 0,66 |
| A4 | 1,35 | 1,28 | 1,04 | 1,26 | 1,15 | 0,91 | 0,61 |
| A5 | 1,35 | 0,84 | 1,11 | 1,40 | 1,32 | 1,17 | 1,05 |
| A6 | 1,13 | 1,20 | 1,05 | 1,34 | 1,08 | 0,93 | 0,71 |
| FARK | 0,49 | 0,50 | 0,25 | 0.38 | 0,38 | 0,29 | 0,43 |

Tablo 3.12 EDT (s) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

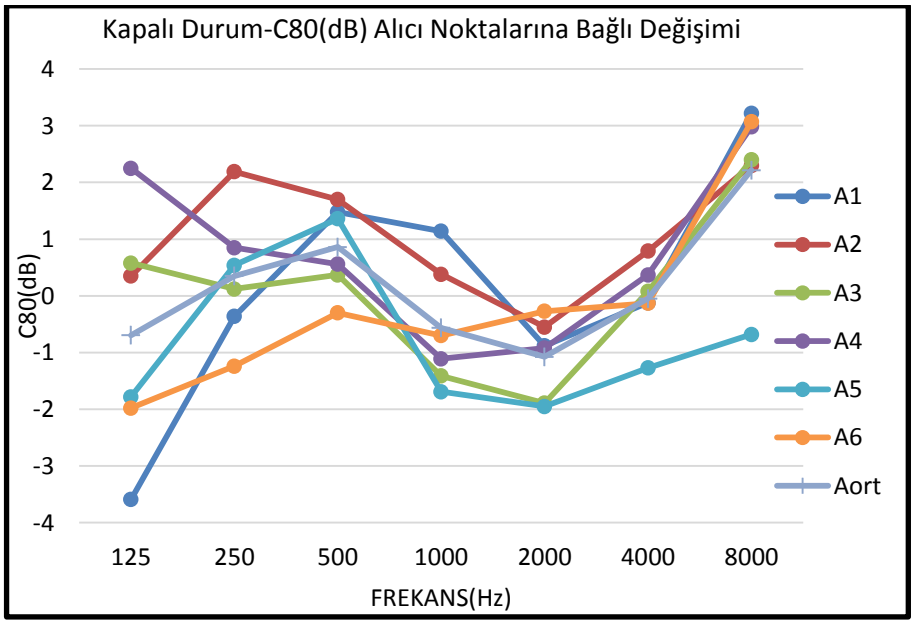
| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EDT [s] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,39 | 1,33 | 1,24 | 1,66 | 1,70 | 1,49 | 1,17 |
| A2 | 1,40 | 1,26 | 1,24 | 1,64 | 1,71 | 1,52 | 1,33 |
| A3 | 1,49 | 1,53 | 1,51 | 1,73 | 1,89 | 1,56 | 1,38 |
| A4 | 1,57 | 1,57 | 1,48 | 1,70 | 1,80 | 1,50 | 1,15 |
| A5 | 1,40 | 1,64 | 1,48 | 1,93 | 1,93 | 1,78 | 1,56 |
| A6 | 1,54 | 1,84 | 1,64 | 1,68 | 1,73 | 1,5 | 1,17 |
| FARK | 0,17 | 0,57 | 0,40 | 0,28 | 0,23 | 0,28 | 0,23 |

- C80 (dB)

C80 grafiğini konuşma ve müzik amaçlı mekân için çatı açık ve kapalı konumda iken incelediğimizde; T30 ile ters orantılı olması gereken C80 değerinin (Bakınız Bölüm 2.3) bazı alıcı noktalarında farklılaştığı görülmektedir. 8000 Hz' de C80 değerinin maksimum olduğu sırada T30 değeri minimum değerdedir. Çatı açık iken ortalama C80 değerleri, 125 Hz oktav bandında 1,09sn; 250 Hz oktav bandında 2,72sn; 500 Hz oktav bandında 3,01sn; 1000 Hz oktav bandında 1,8 sn; 2000 Hz oktav bandında 2,38 sn; 4000 Hz oktav bandında 3,71 sn; 8000 Hz oktav bandında 6,56 sn' dir. Çatı kapalı iken ortalama C80 değerleri ise 125 Hz oktav bandında -0,69 sn; 250 Hz oktav bandında 0,35 sn; 500 Hz oktav bandında 0,86 sn; 1000 Hz oktav bandında -0,56 sn; 2000 Hz oktav bandında -1,07 sn; 4000 Hz oktav bandında -0,04 sn; 8000 Hz oktav bandında 2,21 sn' dir.




Şekil 3.26 C80 çatı açık iken ölçüm sonuçları




Şekil 3.27 C80 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları

C80 (dB) değeri tablo 3.13 ve tablo 3.14' te görüldüğü gibi çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki fark 250 Hz frekansta en yüksek iken; 500 Hz frekansta ise aradaki fark en düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.13 C80 (dB) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C80 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 0,45 | 3,91 | 3,09 | 3,12 | 3,55 | 4,02 | 7,62 |
| A2 | 4,31 | 6,26 | 4,95 | 3 | 3,39 | 4,35 | 7,28 |
| A3 | 0,87 | 2,99 | 2,17 | 2,5 | 1,67 | 4,45 | 7,87 |
| A4 | 0,73 | 1,37 | 2,62 | 1,12 | 2,23 | 4,45 | 7,69 |
| A5 | -0,54 | 3,96 | 2,5 | -0,37 | 0,59 | 1,27 | 2,34 |
| A6 | 0,76 | -2,14 | 2,77 | 1,47 | 2,9 | 3,76 | 6,56 |
| FARK | 4,85 | 8,4 | 2,78 | 3,49 | 2,96 | 3,18 | 5,53 |

Tablo 3.14 C80 (dB) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

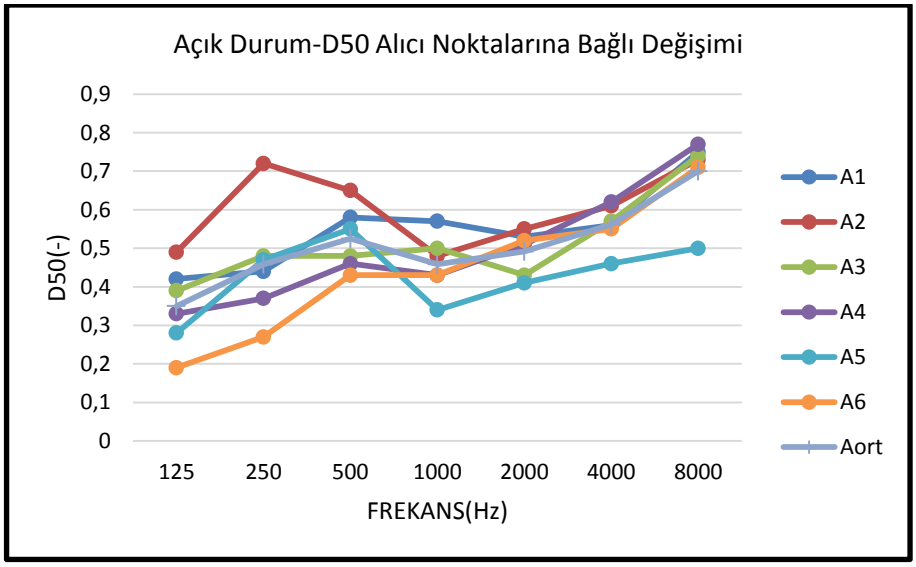
| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C80(db) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | -3,59 | -0,36 | 1,48 | 1,14 | -0,88 | -0,12 | 3,22 |
| A2 | 0,35 | 2,19 | 1,7 | 0,38 | -0,55 | 0,79 | 2,3 |
| A3 | 0,58 | 0,12 | 0,37 | -1,41 | -1,89 | 0,08 | 2,4 |
| A4 | 2,25 | 0,85 | 0,56 | -1,11 | -0,92 | 0,37 | 2,98 |
| A5 | -1,78 | 0,54 | 1,36 | -1,69 | -1,95 | -1,27 | -0,68 |
| A6 | -1,98 | -1,24 | -0,3 | -0,7 | -0,27 | -0,13 | 3,07 |
| FARK | 5,84 | 9,27 | 1,78 | 2,83 | 0,61 | 2,06 | 3,9 |

- D50 (-)

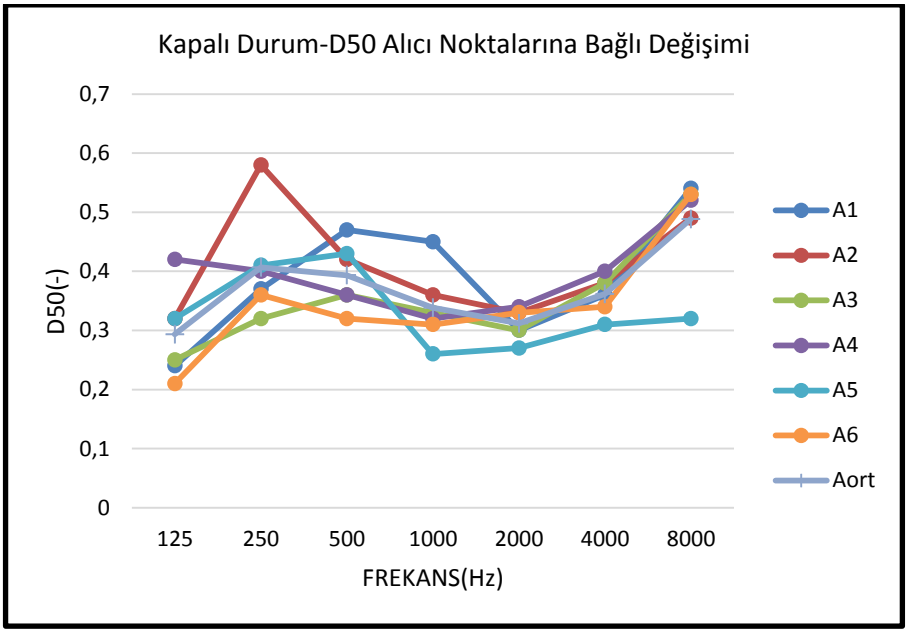
D50 grafiğini konuşma ve müzik amaçlı mekân için çatı açık iken incelediğimizde %50' nin üzerinde olması istenen D50' nin 500 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz' de sağladığı; diğer frekanslarda ise istenen değerin altında olduğu görülmüştür. Bu durum mekân içerisinde konuşmanın anlaşılabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir (Bakınız Bölüm 2.3). Ortalama D50 değerleri; 125 Hz oktav bandında %35; 250 Hz oktav bandında %45; 500 Hz oktav bandında %52; 1000 Hz oktav bandında %45; 2000 Hz oktav bandında %49; 4000 Hz oktav bandında %56; 8000 Hz oktav bandında %70' dir.

D50 grafiğini konuşma ve müzik amaçlı mekân için çatı kapalı iken incelediğimizde %50' nin üzerinde olması istenen D50' nin tüm alıcı noktalarında ve hemen hemen tüm frekanslarda bu değerin altında olduğu görülmüştür. Bu durum mekân içerisinde konuşmanın anlaşılabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir

(Bakınız Bölüm 2.3). Ortalama D50 değerleri; 125 Hz oktav bandında %29; 250 Hz oktav bandında %40; 500 Hz oktav bandında %39; 1000 Hz oktav bandında %33; 2000Hz oktav bandında %31; 4000 Hz oktav bandında %36 ve 8000 Hz oktav bandında ise %48' dir.




Şekil 3.28 D50 çatı açık iken ölçüm sonuçları




Şekil 3.29 D50 çatı kapalı iken ölçüm sonuçları

D50 (-) değeri tablo 3.15 ve 3.16' da görüldüğü gibi 250 Hz frekanstaki alıcı noktaları arasındaki farkın en yüksek; 2000 Hz frekanstaki alıcı noktaları arasındaki farkın ise en düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.15 D50 (-) değerinin çatı açık konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 0,42 | 0,44 | 0,58 | 0,57 | 0,53 | 0,56 | 0,75 |
| A2 | 0,49 | 0,72 | 0,65 | 0,48 | 0,55 | 0,61 | 0,73 |
| A3 | 0,39 | 0,48 | 0,48 | 0,5 | 0,43 | 0,57 | 0,74 |
| A4 | 0,33 | 0,37 | 0,46 | 0,43 | 0,51 | 0,62 | 0,77 |
| A5 | 0,28 | 0,47 | 0,55 | 0,34 | 0,41 | 0,46 | 0,5 |
| A6 | 0,19 | 0,27 | 0,43 | 0,43 | 0,52 | 0,55 | 0,71 |
| FARK | 0,3 | 0,45 | 0,22 | 0,23 | 0,14 | 0,16 | 0,27 |

Tablo 3.16 D50 (-) değerinin çatı kapalı konumda iken alıcı noktaları arasındaki farkı

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 0,24 | 0,37 | 0,47 | 0,45 | 0,3 | 0,36 | 0,54 |
| A2 | 0,32 | 0,58 | 0,42 | 0,36 | 0,33 | 0,38 | 0,49 |
| A3 | 0,25 | 0,32 | 0,36 | 0,33 | 0,3 | 0,38 | 0,53 |
| A4 | 0,42 | 0,4 | 0,36 | 0,32 | 0,34 | 0,4 | 0,52 |
| A5 | 0,32 | 0,41 | 0,43 | 0,26 | 0,27 | 0,31 | 0,32 |
| A6 | 0,21 | 0,36 | 0,32 | 0,31 | 0,33 | 0,34 | 0,53 |
| FARK | 0,21 | 0,26 | 0,15 | 0,19 | 0,07 | 0,07 | 0,22 |

- STI

STI grafiğini konuşma ve müzik için çatı açık konumda iken incelediğimizde; konuşmanın anlaşılabilirliği için 0,45' in üzerinde olması gereken değerler A5 ve A6 alıcı noktası dışında diğer tüm noktalarda sağlamaktadır.

### 3.4 Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosunun Akustik Değerlendirmesi

Bu bölümde, Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nda mevcut akustik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmaktadır.

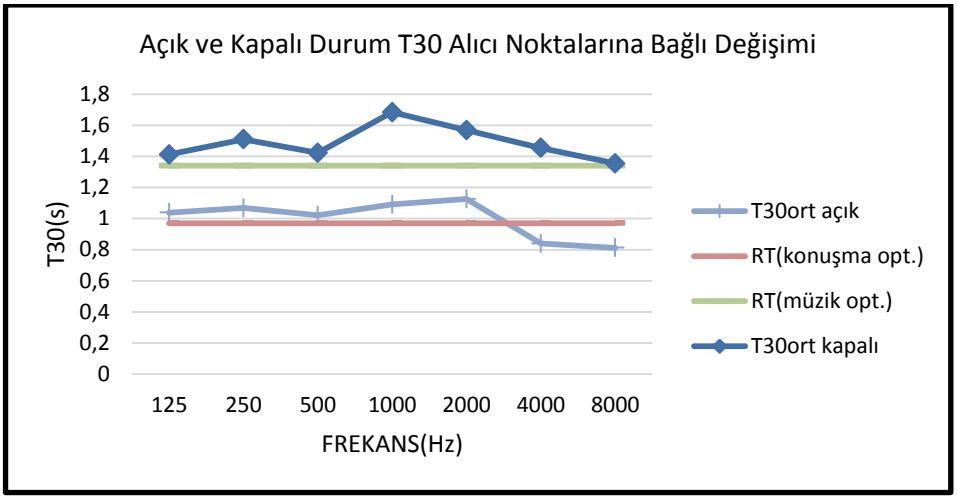
### *3.4.1 Açık ve Kapalı Mevcut Durumun Değerlendirilmesi*

Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu' nda yapılan ölçümler mevcut durum konuşma için değerlendirildiğinde yansışım süresi çatı açık konumda iken genelde istenilen seviyelerde iken; çatı kapalı konumda iken yansışım süresi uzamıştır. Müzik için değerlendirdiğimizde ise çatı açık konumda iken tüm frekanslarda istenilen yansışım süresinin altında iken; çatı kapalı konumda iken kabul edilebilir değer aralığının üzerinde olduğu görülmektedir. D50 değerini çatı açık ve kapalı iken değerlendirdiğimizde istenilen değerden düşük çıktığı görülmektedir. STI değeri ise çatı açık konumda iken hemen hemen tüm alıcılarda istenilen değerde iken; çatı kapalı konumda iken ise istenilen değerden düşük çıkmaktadır.

Mekân birden fazla fonksiyona hitap ettiğinden konuşma ve müzik için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu yüzden getirilecek olan öneriler de müzik ve konuşma mekânı olarak iki farklı şekilde tartışılacaktır.

- T30 (s)

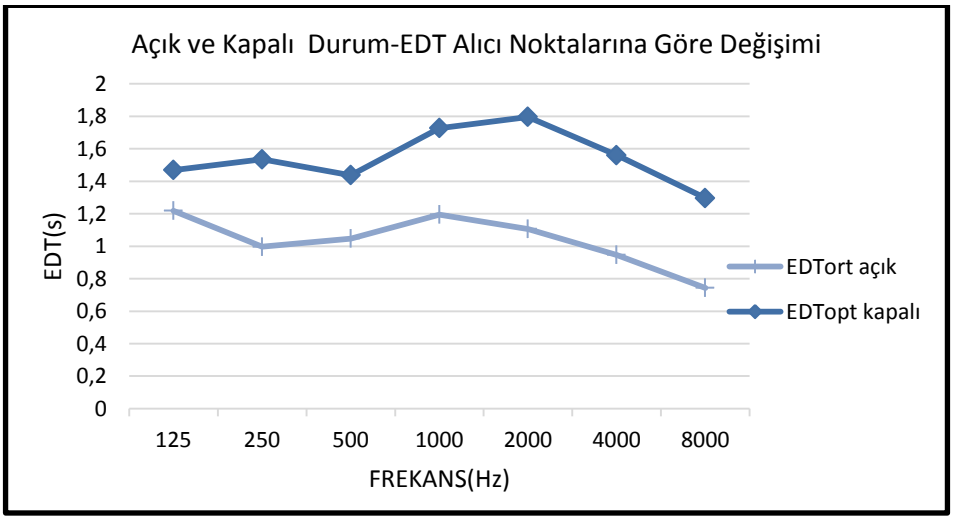
Şekil 3.30' da çatı açık ve kapalı durumdaki ortalama alıcı noktalarının değerlerini; konuşma ve müzik amaçlı mekanların olması gereken optimum değerlerini görmekteyiz. Grafiği incelediğimizde kapalı durum alıcı noktalarının ortalama değerlerinin konuşma ve müzik amaçlı mekanlar için olması gereken değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Açık durum alıcı noktalarının ortalama değerleri ise; müzik amaçlı mekan için olması gereken değerin altında iken, konuşma amaçlı mekan için incelediğimizde 4000 Hz ve 8000 Hz frekansları dışında üzerinde olduğu görülmüştür.




Şekil 3.30 T30 çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları

- EDT

Şekil 3.31' deki grafiği incelediğimizde çatı kapalı konumdaki ortalama EDT değerleri tüm frekanslarda çatı açık durumda iken ortalama alıcı noktalarından yüksek çıkmıştır.

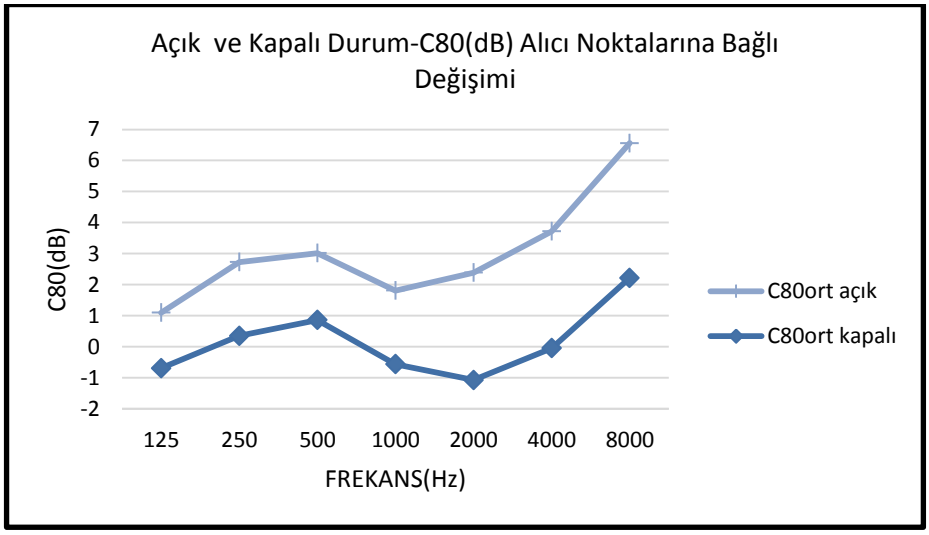



Şekil 3.31 EDT çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları

- C80

Şekil 3.32' de C80 değerinin çatı açık ve kapalı konumda iken ortalama alıcı noktalarının değerleri görülmektedir. Tüm frekanslarda açık durumdaki ortalama

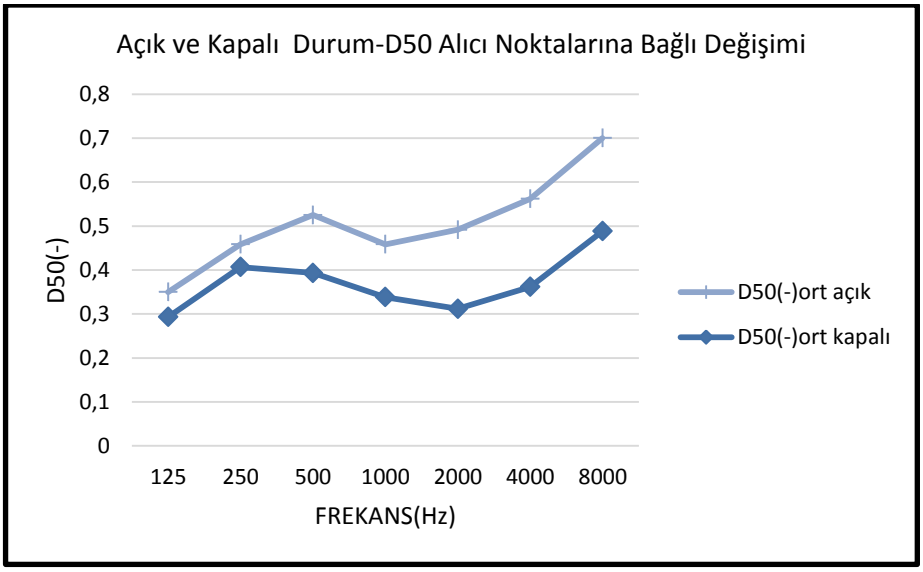
alıcı noktası değerlerinin kapalı durumdaki değerlerden yüksek olduğu gözlemlenmektedir.




Şekil 3.32 C80 çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları

- D50

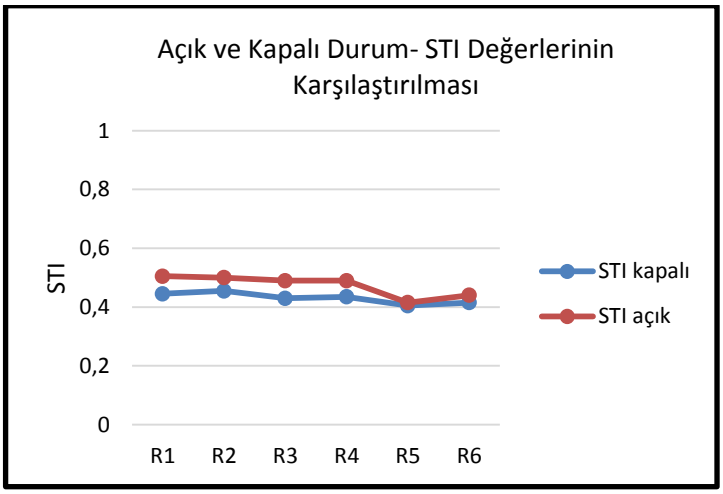
Şekil 3.33' te baktığımızda D50, tüm frekanslardaki çatı açık iken ortalama alıcı noktaları değerinin çatı kapalı durumdaki ortalama alıcı noktaları değerinden yüksek olduğu gözlemlenmektedir.




Şekil 3.33 D50 (-) çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları

- STI

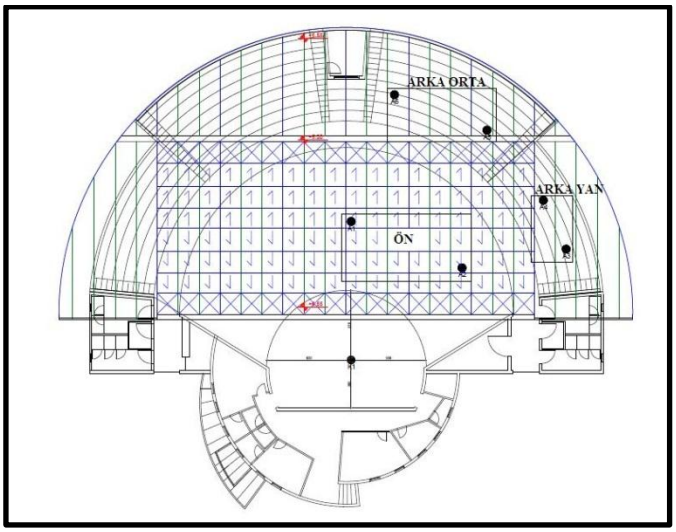
Şekil 3.34' teki grafikte STI değerlerini incelediğimizde tüm frekanslarda çatı açık durumda iken ortalama STI değerlerinin, çatı kapalı durumda iken ortalama STI değerlerinden yüksek olduğu ve yaklaşık 0,45-0,50 düzeyinde olduğu görülmektedir. Sadece $A_5$ alıcı noktasında STI değeri aynıdır.




Şekil 3.34 STI çatı açık ve kapalı iken ölçüm sonuçları

### *3.4.2 Belirlenen Akustik Sorunlar ve Çözüm Önerileri*

Şekil 3.35' te kaynak ile alıcı noktaları görülmektedir.




Şekil 3.35 Kaynak alıcı noktaları

Öneriler getirilmeden önce mekân içerisine yerleştirilen alıcı noktaları üç bölgeye ayrılmıştır. Değerlendirme yapılırken ön, arka yan ve arka orta bölgelerinin her bir parametredeki değerleri açıklanacaktır. Getirilecek olan öneriler de bölgesel değişiklere bakılarak yapılacaktır.

Çatı açık konumda iken bile mekân tam olarak açılmadığı için yarı açık mekân olarak değerlendirilmesinin uygun olduğu düşünülmektedir.

T30 tablosunu konuşma amaçlı mekân için çatı açık konumda iken incelediğimizde hemen hemen tüm frekanslarda istenilen değeri sağladığı görülmektedir. Müzik amaçlı mekân için değerlendirdiğimizde ise tüm frekanslarda kabul edilebilir değer aralığının altında olduğu görülmektedir.

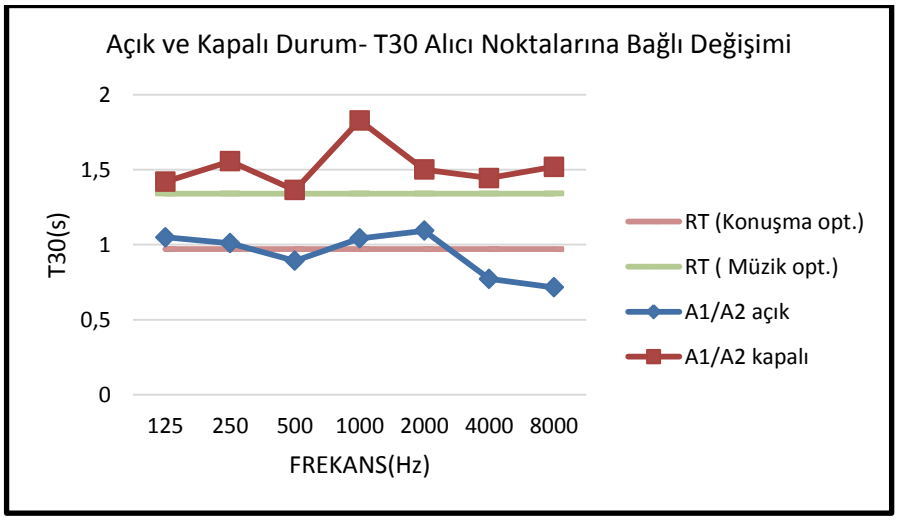
Ön bölgede yer alan A1 ve A2 alıcı noktalarının ortalama değerleri çatı açık ve kapalı konumda iken farklı frekanslara göre değerleri Tablo 3.17 ve Tablo 3.18' de görülmektedir. Şekil 3.36' ya göre A1 ve A2 ortalama alıcı noktalarını çatı açık iken konuşma amaçlı mekan için değerlendirdiğimizde; hemen hemen tüm frekanslarda istenilen değerde olduğu gözlemlenmektedir. Müzik amaçlı mekan için değerlendirdiğimizde ise tüm frekanslarda istenilen değerin altında olduğu görülmektedir. A1 ve A2 alıcı noktaları çatı örtüsünün tam açık olan kısmına denk geldiği için havanın yutuculuğundan dolayı konuşma için olumlu sonuç verirken müzik için olumsuz sonuç vermektedir (Tablo 3.17). Şekil 3.36' ya göre A1 ve A2 alıcı noktalarının ortalama değerlerini çatı kapalı konumda iken konuşma ve müzik amaçlı mekan için incelediğimizde tüm frekanslarda kabul edilebilir değer aralığının üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 3.18). Çatı kapalı iken konuşma için uygun olmaması çatı kaplamasının yansıtıcı malzemeden meydana geldiği anlamına gelmektedir. Ayrıca çatının hareket edebilmesi için yapılan çelik profillerin de yansıtıcı malzemeden oluşması elde edilen sonuçları etkilemektedir. Tüm bu faktörlerin yanında havanın yağmurlu olduğu günlerde hareketli çatının olduğu kısımda kullanılan polikarbonat malzeme yüzünden içeriye yağmurun çıkardığı gürültü de dâhil olmaktadır.

Tablo 3.17 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,19 | 1,05 | 0,9 | 1,06 | 1,19 | 0,85 | 0,73 |
| A2 | 0,90 | 0,96 | 0,88 | 1,02 | 0,99 | 0,68 | 0,69 |
| Aort | 1,04 | 1,00 | 0,89 | 1,04 | 1,09 | 0,77 | 0,71 |

Tablo 3.18 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30(s) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 1,58 | 1,65 | 1,35 | 1,96 | 1,59 | 1,36 | 1,61 |
| A2 | 1,25 | 1,45 | 1,37 | 1,68 | 1,41 | 1,51 | 1,42 |
| Aort | 1,41 | 1,55 | 1,36 | 1,82 | 1,5 | 1,44 | 1,51 |




Şekil 3.36 A1/A2 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları

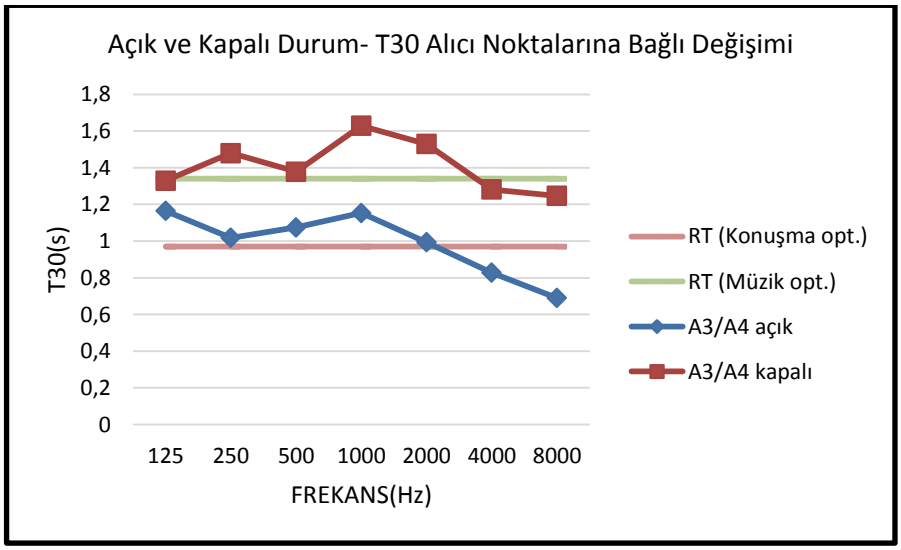
Oturma alanının arka yan bölgesinde yer alan A3 ve A4 alıcı noktalarının ortalama değerlerini konuşma amaçlı mekân için çatı açık konumda iken incelediğimizde; 4000Hz ve 8000 Hz frekansları dışında hemen hemen tüm frekanslarda istenilen değerde ve üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 3.19, Şekil 3.37). Çatı kapalı konumda iken ise tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarının üzerinde olduğu görülmektedir. Müzik için çatı açık konumda iken değerlendirdiğimizde; tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarının altında olduğu görülmektedir. Çatı kapalı konumda iken ise; 4000 Hz ve 8000 Hz frekansları dışında diğer tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarında ve üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 3.20, Şekil 3.37).

Tablo 3.19 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A3 | 1,12 | 1,05 | 1,07 | 1,19 | 0,89 | 0,72 | 0,57 |
| A4 | 1,20 | 0,98 | 1,07 | 1,11 | 1,09 | 0,93 | 0,81 |
| Aort | 1,16 | 1,01 | 1,07 | 1,15 | 0,99 | 0,82 | 0,69 |

Tablo 3.20 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30(s) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A3 | 1,51 | 1,41 | 1,37 | 1,73 | 1,58 | 1,44 | 1,22 |
| A4 | 1,14 | 1,54 | 1,38 | 1,51 | 1,47 | 1,11 | 1,26 |
| Aort | 1,32 | 1,47 | 1,37 | 1,62 | 1,52 | 1,28 | 1,24 |




Şekil 3.37 A3/A4 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları

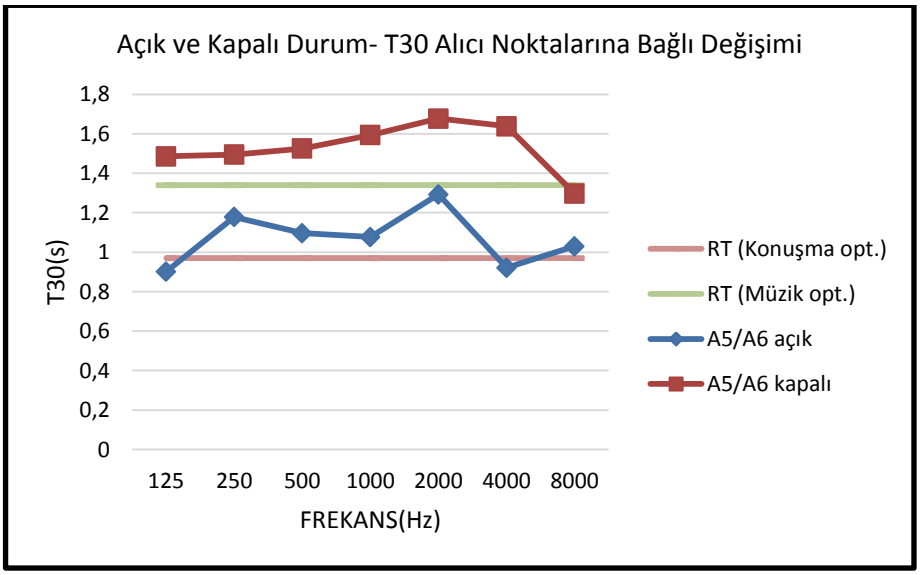
Oturma alanının arka orta bölgesinde yer alan A5 ve A6 alıcı noktalarının ortalama değerlerini konuşma amaçlı mekân için çatı açık konumda iken incelediğimizde; hemen hemen tüm frekanslarda istenilen değerde ve üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 3.21, Şekil 3.38). Çatı kapalı konumda iken ise tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarının üzerinde olduğu görülmektedir. Müzik için çatı açık konumda iken değerlendirdiğimizde; hemen hemen tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarının altında olduğu görülmektedir. Çatı kapalı konumda iken ise; tüm frekanslarda istenilen değer aralıklarında ve üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 3.22).

Tablo 3.21 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A5 | 0,94 | 1,37 | 1,06 | 1,04 | 1,03 | 0,91 | 0,92 |
| A6 | 0,85 | 0,98 | 1,12 | 1,10 | 1,55 | 0,92 | 1,13 |
| Aort | 0,90 | 1,17 | 1,09 | 1,07 | 1,29 | 0,92 | 1,03 |

Tablo 3.22 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı kapalı farklı frekanslardaki T30 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T30(s) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A5 | 1,49 | 1,45 | 1,71 | 1,58 | 1,76 | 1,88 | 1,40 |
| A6 | 1,47 | 1,53 | 1,33 | 1,60 | 1,59 | 1,38 | 1,18 |
| Aort | 1,48 | 1,49 | 1,52 | 1,59 | 1,67 | 1,63 | 1,29 |




Şekil 3.38 A5/A6 alıcı noktalarının T30 ölçüm sonuçları

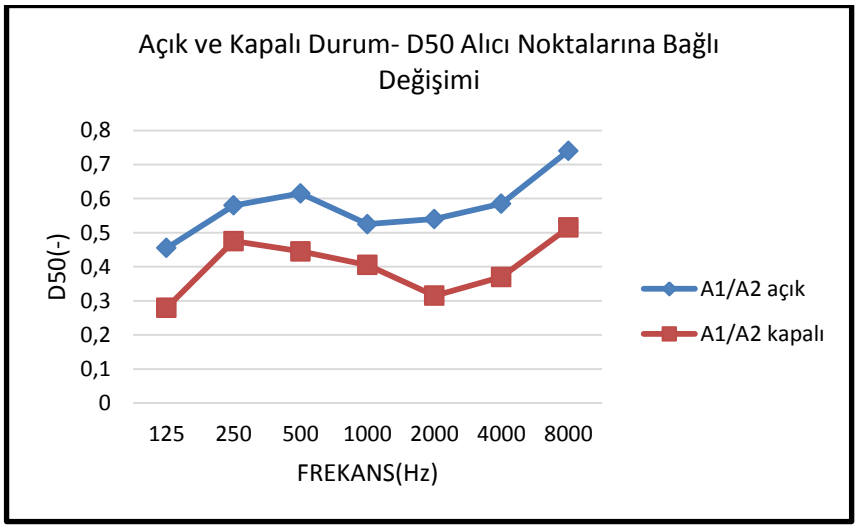
D50 tablosunu konuşma ve müzik amaçlı mekân için çatı açık konumda iken ön bölgede yer alan A1 ve A2 alıcı noktaları için incelediğimizde; hemen hemen tüm frekanslarda istenilen %50 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu da çatı açık konumda iken konuşmanın anlaşılabilir olduğunu göstermektedir (Tablo 3.23 Şekil 3.39). Çatı kapalı durumda iken ise, 8000 Hz dışında diğer tüm frekanslarda istenilen değerin altında olduğu görülmektedir. Bu da konuşmanın anlaşılabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir (Tablo 3.24, Şekil 3.39).

Tablo 3.23 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 0,42 | 0,44 | 0,58 | 0,57 | 0,53 | 0,56 | 0,75 |
| A2 | 0,49 | 0,72 | 0,65 | 0,48 | 0,55 | 0,61 | 0,73 |
| Aort | 0,45 | 0,58 | 0,61 | 0,52 | 0,54 | 0,58 | 0,74 |

Tablo 3.24 A1 ve A2 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A1 | 0,24 | 0,37 | 0,47 | 0,45 | 0,3 | 0,36 | 0,54 |
| A2 | 0,32 | 0,58 | 0,42 | 0,36 | 0,33 | 0,38 | 0,49 |
| Aort | 0,28 | 0,47 | 0,44 | 0,40 | 0,31 | 0,37 | 0,51 |




Şekil 3.39 A1/A2 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları

Arka yan ve arka orta bölgelerindeki A3, A4, A5 ve A6 alıcı noktalarındaki çatı açık iken D50 değerleri 4000 Hz ve 8000 Hz dışında diğer tüm frekanslarda düşük çıkmıştır ( Tablo 3.25 ve 3.26). Çatı kapalı iken de bu bölgelerdeki D50 değeri aynı şekilde düşük çıkmıştır (Tablo 2.27 ve 3.28).

Tablo 3.25 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

| FREKANS (HZ) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A3 | 0,39 | 0,48 | 0,48 | 0,5 | 0,43 | 0,57 | 0,74 |
| A4 | 0,33 | 0,37 | 0,46 | 0,43 | 0,51 | 0,62 | 0,77 |
| Aort | 0,36 | 0,425 | 0,47 | 0,465 | 0,47 | 0,59 | 0,75 |

Tablo 3.26 A3 ve A4 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

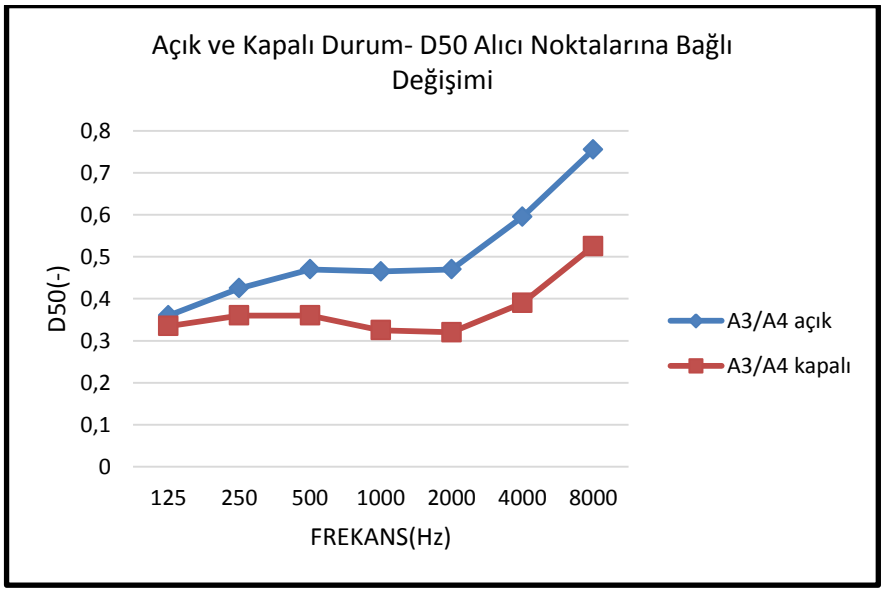
| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A3 | 0,25 | 0,32 | 0,36 | 0,33 | 0,3 | 0,38 | 0,53 |
| A4 | 0,42 | 0,4 | 0,36 | 0,32 | 0,34 | 0,4 | 0,52 |
| Aort | 0,33 | 0,36 | 0,36 | 0,32 | 0,32 | 0,39 | 0,52 |

Tablo 3.27 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı açık iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

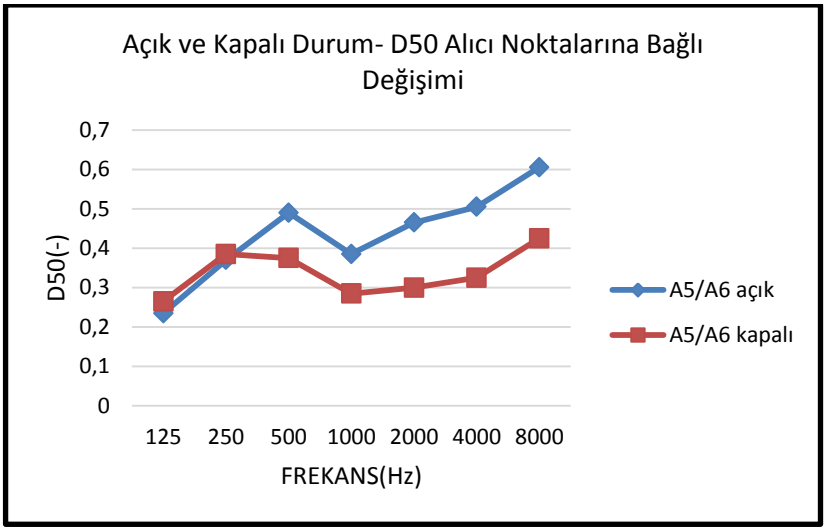
| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A5 | 0,28 | 0,47 | 0,55 | 0,34 | 0,41 | 0,46 | 0,5 |
| A6 | 0,19 | 0,27 | 0,43 | 0,43 | 0,52 | 0,55 | 0,71 |
| Aort | 0,23 | 0,37 | 0,49 | 0,38 | 0,46 | 0,50 | 0,60 |

Tablo 3.28 A5 ve A6 alıcı noktalarının çatı kapalı iken farklı frekanslardaki D50 değerleri

| FREKANS (Hz) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D50(-) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| A5 | 0,32 | 0,41 | 0,43 | 0,26 | 0,27 | 0,31 | 0,32 |
| A6 | 0,21 | 0,36 | 0,32 | 0,31 | 0,33 | 0,34 | 0,53 |
| Aort | 0,26 | 0,38 | 0,37 | 0,28 | 0,3 | 0,32 | 0,42 |




Şekil 3.40 A3/A4 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları




Şekil 3.41 A5/A6 alıcı noktalarının D50 ölçüm sonuçları

- Öneriler

Öncelikle konuşma amaçlı mekân için hareketli çatı strüktürünün kapalı olduğu durumda yanşısım süresini kısaltacak önlemler alınması gerekmektedir. Hareketli çatı strüktürünün sabit çelik profilleri üzerine entegre edilebilen yutucu özelliğe sahip perde ile kaplanabilir. Müzik amaçlı mekân için ise çatı açık konumda iken yansışım süresinin kabul edilebilir değerlere ulaşması için tüm alıcı noktalarında seslendirme sistemi ile desteklenebilir.

Oturma alanının arka yan bölgesinde yer alan A3 ve A4 alıcı noktalarında konuşma için çatı kapalı konumda iken tüm frekanslarda, açık konumda iken ise 4000 Hz ve 8000 Hz frekansları dışında tüm frekanslarda istenilen değerin üzerinde olması yan yüzeylerde bulunan cam pencerelerin aslında fazla bir etki yaratmadığını göstermektedir.

Oturma alanının arka orta bölgelerinde yer alan A5 ve A6 alıcı noktalarında ise konuşma için çatı kapalı konumda iken arka yüzeyler yutucu malzeme ile kaplı olmasına rağmen yanşısım süresi istenilen değerlerin üzerinde çıkmıştır. Bu yüzden bu bölgeleri yutuculuğu daha yüksek değere sahip başka malzeme ile kaplanabilir.

Hareketli çatı strüktürünün üzerinde kullanılan polikarbonat malzemenin birçok yönden olumsuz olduğu görülmektedir. Çatı örtüsü için özellikle konuşma amaçlı

mekân açısından değerlendirildiğinde çatının kapalı olduğu durumda daha anlaşılır mekân ortaya çıkması için malzeme araştırması yapılmalıdır. Mekanda seslendirme sistemi olduğu için mekan sese ölü olmalıdır. Yutuculuk yan duvarlarda kullanılacak ek yüzey kaplamaları ile arttırılmalıdır.

# BÖLÜM DÖRT
# DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Üzeri açık mekânlarda kullanılan açılır kapanır üst örtü uygulaması doğa olaylarından korunmanın yanı sıra doğa ile iç içe olmak için çözüm önerisi haline gelmektedir. Fakat tasarım aşamasında akustik koşulların değişimi göz önünde bulundurulmadan gerçekleşmektedir. Özellikle mekân birçok farklı işleve hitap edecekse her koşulda oluşabilecek akustik sorunların incelenmesi gerekmektedir. İç mekânın kullanım amacı, tasarımı, kullanılan malzemelerin özellikleri, uygulanan hareketli çatı strüktürünün biçimi gibi etkenler bu koşulların sağlanması için önemlidir.

Tez kapsamında ilk olarak hareketli çatı strüktürünün tarihçesi ve sınıflandırması aktarılarak bunun ile ilgili örnekler gösterilmiştir. Örnek çalışma alanı olarak ise İzmir Bostanlı Suat Taşer Açık Hava Tiyatrosu seçilmiştir. Mevcut durum akustik ölçümü yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanarak mekânın akustik konforunun iyileştirilmesine yönelik öneriler getirilmiştir. Mekânların sahip olması gereken hacim akustiği parametreleri belirlenerek mevcut durum EDT, T30, $D_{50}$, C80 ve STI hacim akustiği parametre değerleri kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılmıştır. Mevcut durum akustik ölçümü 125 Hz- 8000 Hz oktav bandı arasında yapılmıştır. Ölçümler hareketli çatı strüktürü açık ve kapalı durumlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

Yapılan ölçümlerde T30 değerinin konuşma amaçlı mekân için çatı kapalı konumda iken kabul edilebilir değer aralığının üzerinde olduğu görülmüştür. Bu durum konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltmaktadır. Müzik amaçlı mekân için ise kabul edilebilir değer aralığının altında olduğu görülmüştür. Mevcut durum ortalama EDT değerini konuşma ve müzik amaçlı mekân için incelediğimizde; T30 ile paralel olması gereken değerin her bir alıcı noktasında farklı olduğu görülmüştür. T30 ile EDT değerinin paralellik göstermemesi mekân içerisinde düzgün yayınmışlığın olmadığı anlamına gelmektedir. Ölçümler sonucu elde edilen $D_{50}$ değerini çatı açık iken incelediğimizde; 500 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz' de %50' nin üzerinde olduğu görülmüştür. Çatı kapalı iken ise; hemen hemen tüm frekanslarda % 50' nin altında

olduğu görülmüştür. Bu da mekânda konuşmanın anlaşılabilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir.

Tez çalışması hacim akustiği koşulları düşünülmeden üzeri açık mekânlara sonradan ilave edilen üst örtünün mekân içerisinde oluşturabileceği akustik sorunları vurgulamak amaçlı oluşturulmuştur. Üst örtünün malzemesi, strüktürü ve geometrisi iç mekânın akustik koşullarını önemli ölçüde etkilemektedir. İncelenen örnek çalışmasında üst örtü malzemesinin yağmur, kar, rüzgâr vb. gibi çeşitli hava koşulları sırasında ek bir gürültü oluşturması sebebiyle konuşma ve müzik amaçlı mekânlar için uygun olmadığı düşünülmektedir. Bu yüzden hareketli çatı strüktürü ve malzemesi ile ilgili farklı yöntemler geliştirilmelidir. Bu yöntemler için ise mevcut akustik ölçümün yanı sıra simülasyonu yapılıp iç mekânda ve çatıda farklı malzeme araştırması yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR


*Açılır Kapanır Stadyum çatıları*, 25 Haziran 2012, http://www.belgeler.com/blg/2oxq/acilir-kapanir-stadyum-catilari

*Arkitera (b.t) 20 Haziran 2012*, http://www.arkitera.com/etiket/3339/turk-telekom-arena

*Arkitera (b.t) 20 Haziran 2012*, http://v2.arkiv.com.tr/p11020-turk-telekom-arena.html

*Arkitera (b.t) 10 Ağustos 2012*, http://v3.arkitera.com/p370-astana-stadyum.html

*Athens Heart Shopping Mall.* (b.t). 20 Nisan 2012, http://www.tensinet.com/database/viewProject/4422

*Bengt Sjostrom Starlight Theatre* (b.t), 10 Haziran 2012, https://www.google.com.tr/search?q=Bengt+Sjostrom+Starlight+Theatre

Çalış, R. (2012). *Hareketli çatıların yapısal özelliklerinin sistematik olarak incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Çalışkan, M. (2014). Akustik tasarım ve CSO konser salonu yenileme projesi. *Yapı Aylık Mimarlık, Kültür ve Sanat Dergisi, 388,* 134–139.

Demirel, F. ve İlisulu, S.G. (2013). İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi projesi ve akustik konfor analizi. *Politeknik Dergisi, 16 (1),* 19-28.

Egan, M. D. (1988). *Architectural acoustics.* New York: McGraw-Hill.

Escrig, F. Ve Brebbia, C. (2000). *Mobile and rapidly assembled structures,* Southhampton: WIT Press.

*Galatasaray Spor Kulübü stadyumu önerisi (b.t),* 15 Haziran 2012, http://www.arkitera.com.tr/p175-galatasaray-spor-kulubu–seyrantepe-stadyumu önerisi.html?year=&aID=1365

Güçyeter, B. (2004). *Değişebilen strüktürlerin yapısal özelliklerinin karşılaştırmalı irdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Ishii, K. (2000). *Structural design of retractable roof structures,* Southhampton, Boston: WIT Press.

Kara, E. (2009). *Valensiya Santa Anna Şapeli'nin restorasyon sonrası akustik değerlendirmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Karşıyaka Belediyesi 2013. *Çizim arşivi*, İzmir

Korkmaz, K. ve Maden, F. (2010). Makas mekanizmaların kinetik mimarideki uygulamaları. *Yapı Aylık Mimarlık, Kültür ve Sanat Dergisi, 341,* 102–107.

*Kazakistan – Astana Olimpik Stadyumu Çelik Yapısı*, (b.t). 15 Ocak 2012, http://www.tucsa.org/images/projeler/38/38_01_24042010163755.pdf

Kurtulan, Z. (2009). *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Sedad Hakkı Eldem Oditoryumu'nun hacim akustiği açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kuttruff, H. (2009). *Room acoustics* (5th ed.). NY: Spon Press.

Long, M. (2006). *Architectural acoustics.* California: Elsevier Academic Press.

*Membrane Structures: Understanding Their Forms, (b.t).* 10 Ocak, 2012, http://blog.research-unit.net/wp-content/upload/UnderstandingTensile Forms2.pdf

Mehta, M., Johnson, J., ve Rocafort, F. (1999). *Architectural acoustics principle and design.* New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

*Open air theatre, Klooster ruine Bad Hersfeld. (b.t).* 12 Temmuz 2011, http://www.tensinet.com/database/viewProject/3898

Otto, F. (1977). *IL 17-The Work of Frei Otto and His Teams. German; Instıtut für Leichte Flachentragwerke.*

Örün, G. (2011). *Acoustical analysis and taxonomy of performance halls in early republican period in Ankara: resim heykel müzesi, küçük tiyatro and opera.* Yüksek Lisans Tezi. Ortadoğu Teknik Ünivrsitesi, Ankara.

Özçevik, A. (2005). *Mimari tasarım stüdyolarında işitsel konfor gereksinimleri ve bir örnek.* Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Özge, Ö. (2004). *Hareketli çatılar.* Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul.

Öziş, F. (2014). Küçük hacimli popüler müzik üretim mekanlarının akustik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir uygulama örneği. *Yedi- Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi, 12,* 77-83.

*Rogers Centre open and closed,* (b.t). 11 Kasım 2011, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rogers_Centre_open_and_closed.jpg

Serin, Y. (2013). *Fotoğraf arşivi*, İzmir.

Sü, Z. ve Yılmazer, S (2006) *The acoustical performance analysis of Bilkent Amphitheater: proposal for acoustical renovation. Architectural Science Review, 2* (49), 167-178.

Şerefhanoğlu Sözen, M. (2008). Müzik-akustik- mimari etkileşim. *Mimarlıkta Malzeme, 10*, 37-53.

Tabanlıoğlu Mimarlık 2011. *Çizim ve fotoğraf arşivi*, İstanbul.

*Türk Telekom Arena Mimari Uygulama Projesi, (b.t).* 15 Nisan 2012, http://www.mtfproje.com.tr/tr/tt-arena

Türk, E. (2011). *İstanbul'daki salonların akustik kalitesinin incelenmesi ve değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yaşaroğlu, K. (2006). *Açıkhava tiyatrolarının akustik açıdan değerlendirilmesi: İstanbul Cemil Topuzlu Açıkhava Tiyatrosu örneği.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Vural, A. (2009). *İstanbul'da bulunan dört konser salonunun akustik açıdan değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

*Wimbledon Centre Court Retractable Roof, (b.t.).* 8 Mart 2015, http://www.biotec-asia.com/Hightex_Wimbledon_Centre_Court_Retractable_Roof.php