

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TÜR VE NİTELİKTEKİ ASMA TAVAN  
SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSININ  
SARSMA TABLASI DENEYLERİ İLE  
BELİRLENMESİ**

**Serhan SARIDOĞAN**

**Eylül, 2013**

**İZMİR**

**FARKLI TÜR VE NİTELİKTEKİ ASMA TAVAN  
SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSININ  
SARSMA TABLASI DENEYLERİ İLE  
BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

**Serhan SARIDOĞAN**

**Eylül, 2013  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SERHAN SARIDOĞAN, tarafından PROF. DR. SERAP KAHRAMAN yönetiminde hazırlanan “FARKLI TÜR VE NİTELİKTEKİ ASMA TAVAN SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSININ SARSMA TABLASI DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



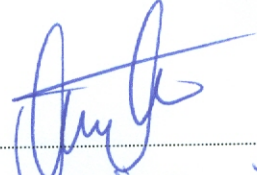
Prof. Dr. Serap KAHRAMAN

Yönetici



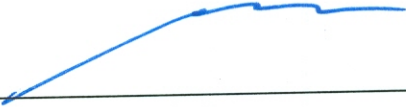
Doç. Dr. Zeki KIRAL

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZCELİK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, her türlü konuda bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, önerilerde bulunan ve beni destekleyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Serap KAHRAMAN'a teşekkürü borç bilirim.

Yoğun ve uzun çalışma programı içerisinde zamanından fedakârlık ederek bu çalışmaya görüşleri ile katkı sağlayan, deneysel çalışmalarda büyük bir özveri ile yardımlarda bulunan hocalarım Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZÇELİK ve Uz. Dr. İ. Serkan MISIR ve Araş Gör. Sadık Can GİRGİN'e sonsuz katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalışma için gerekli olan tüm asma tavan malzemelerinin tedariki ve montajı konusunda vermiş oldukları katkılardan dolayı Cüneyt SURLU ve Tacer İnşaat Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti'ne teşekkür ederim.

Çalışmanın kurgulanması ve deneysel veri toplama aşamaları uzun bir dönemde gerçekleşmiştir. Laboratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Araş. Gör. Umut YÜCEL'e teşekkür ederim.

Çalışmayı 2012.KB.FEN.062 numaralı projeler ile destekleyen Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi olarak her türlü imkanı sunan, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, yaşamım boyunca büyük özveride bulunarak bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi, sevgilerimi sunarım.

# FARKLI TÜR VE NİTELİKTEKİ ASMA TAVAN SİSTEMLERİNİN SİSMİK PERFORMANSININ SARSMA TABLASI DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ

## ÖZ

Sunulan çalışmada ülkemizde kullanılmakta olan farklı kalitelere sahip asma tavan sistemlerinin depremi benzeştiren dinamik yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca farklı türdeki taşıyıcı elemanların ve plakaların etkinliği incelenmiştir. Bunların dışında aynı zamanda mevcut durumun deprem performansının artırılması için önerilen taşıyıcı uç klipslerinin etkinliği incelenmiştir. Gerçekleştirilen dinamik deneylerde laboratuvar ve sarsma tablası imkanları dahilinde 3,0 m – 2,4 m plan boyutlarına sahip çelik askı çerçevesi kullanılmıştır. Dinamik deneyler gerçekleştirilmeden önce askı çerçevesinin dinamik özellikleri belirlenmiştir. Askı çerçevesinin dinamik özellikleri, ulusal ve uluslararası yönetmelikler ışığında asma tavan sistemlerinin dinamik testlerinde kullanılacak olan yükleme protokolü belirlenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında toplamda dokuz farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Altı konfigürasyon yüksek kaliteli malzeme ile, üç konfigürasyon ise düşük kalitedeki malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Yüksek kaliteli malzeme kullanılan altı konfigürasyonun üç tanesinde ise taşıyıcı uç klipslerin etkinliği incelenmiştir. Asma tavan sistemlerinin askı çerçevesine montaj tekniği düşük kaliteli ve yüksek kaliteli malzemeler için ayrı ayrı olmak üzere piyasa uygulamaları çerçevesinde yapılmıştır. Gerçekleştirilen dinamik deneyler sonucunda malzeme ve işçilik kalitesi asma tavan sistemlerin deprem performansında önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Taşıyıcı elemanların deprem performansları göz önüne alındığında özel gizli taşıyıcı sistemler, T24 taşıyıcı sistemlere göre daha iyi performans sergilemiştir. Plaka ağırlığının yüksek kaliteli asma tavan sistemlerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Son olarak taşıyıcı uç klipsleri T24 taşıyıcı sistemin deprem performansında olumlu yönde bir etki göstermiştir fakat özel gizli taşıyıcı sistemde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Asma tavan, sarsma tablası testi, sismik performans.

# EVALUATION OF THE SEISMIC PERFORMANCE OF DIFFERENT TYPE AND QUALITY SUSPENDED CEILING SYSTEMS WITH SHAKE TABLE TESTS

## ABSTRACT

In this study, behavior of suspended ceiling system, which of the different qualities that are being used in our country, under dynamic loading conditions similar to those under earthquake action is investigated. In the study also investigated the effectiveness of different types of suspension system and tiles. In addition, it also examined the effectiveness of the carrier end clips which proposed for improving the performance of the current situation in the earthquake. 3,0 m-2,4 m steel suspension frame is used to carried out dynamic experiments within the capabilities of the laboratory and the shaking table. Dynamic properties of suspension frame were determined before performed the dynamic test. Loading protocol to be used in the dynamic tests of suspended ceiling systems were determined in the light of dynamic characteristics of suspension frame, national and international regulations. A total of nine different configurations created within the scope of an experimental study. Six configuration with high-quality materials, the three configurations created using low quality material. In three of the six configuration with a high-end clips evaluate the efficacy of the carrier. In three of the six configuration, which high quality material is used, investigated effectiveness the carrier end clips. Assembly technique of suspended ceiling systems to the suspension frame for low quality and high quality materials made in separately accordance with field practices. As a result of the carried out dynamic tests, material and workmanship quality have a significant effect seismic performance of suspended ceiling systems. Considering the seismic performance of carrier elements, clip in systems performed better than T24 systems. There was no effect to the weight of the tile at high quality suspended ceiling systems. Finally, carrier end clips showed a positive effect in earthquake performance of the T24 system but no effect was observed in clip in system.

**Keywords:** Suspended ceiling, shake table test, seismic performance.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

### **BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....**

**1**

1.1 Giriş .....	1
1.2 Projenin Amacı ve Kapsamı .....	2
1.2.1 Amaç .....	2
1.2.2 Kapsam.....	3
1.3 Projenin Ana Hatları.....	3

### **BÖLÜM İKİ – MEVCUT ÇALIŞMALAR.....**

**5**

2.1 Giriş .....	5
2.2 Asma Tavanlar ile İlgili Mevcut Deneysel Çalışmalar.....	5

### **BÖLÜM ÜÇ – DENEY DÜZENEĞİ VE TEST NUMUNELERİ.....**

**10**

3.1 Sarsma Tablası .....	10
3.2 Askı Çerçevesi.....	13
3.3 Asma Tavan Malzemeleri .....	21
3.3.1 Taşıyıcı Sistem.....	21
3.3.1.1 Kenar Profili .....	21
3.3.1.2 Askı Elemanı .....	22

3.3.1.3 Taşıyıcı Profil .....	23
3.3.1.3.1 T24 Taşıyıcı Sistem.....	23
3.3.1.3.2 Özel Gizli Taşıyıcı Sistem.....	25
3.3.2 Plakalar .....	27
3.3.3 Taşıyıcı Uç Klipsi .....	28
3.3.4 Asma Tavan Sistemlerinde Yüksek Kaliteli ve Düşük Kaliteli Sistemler.....	30
3.3.4.1 Yüksek Kaliteli Oturmalı ve Gizli Taşıyıcılı Sistem.....	31
3.3.4.2 Düşük Kaliteli Oturmalı ve Gizli Taşıyıcılı Sistem.....	33
3.4 Ölçüm Cihazları .....	35

## **BÖLÜM DÖRT – ASKI ÇERÇEVESİNİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ.....43**

## **BÖLÜM BEŞ – YÜKLEME PROTOKOLÜ.....47**

5.1 Giriş .....	47
5.2 Yapısal Olmayan Elemanların Sarsma Tablası ile Sismik Sertifikasyon için Kabul Kriterleri (AC156) .....	47
5.3 Ulusal Yönetmelikler.....	49
5.4 DEÜ Yapı Mühendisliği Laboratuvarında Ulusal ve Uluslararası Yönetmelikler Dikkate Alınarak Yapılabilecek Test Protokolü.....	54

## **BÖLÜM ALTI – ASMA TAVAN KONFIGÜRASYONLARI VE DENEYGÖZLEMLERİ.....57**

6.1 Giriş .....	57
6.2 Asma Tavan Konfigürasyonları .....	57
6.2.1 Konfigürasyon 1.....	58
6.2.2 Konfigürasyon 2.....	58
6.2.3 Konfigürasyon 3.....	59
6.2.4 Konfigürasyon 4.....	60
6.2.5 Konfigürasyon 5.....	61
6.2.6 Konfigürasyon 6.....	61



6.2.7 Konfigürasyon 7.....	62
6.2.8 Konfigürasyon 8.....	63
6.2.9 Konfigürasyon 9.....	64
6.3 Deney Gözlemleri.....	66
6.3.1 Konfigürasyon 1.....	66
6.3.1.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu .....	66
6.3.1.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	67
6.3.2 Konfigürasyon 2.....	67
6.3.2.1 İki Ana Taşıyıcılı Sistem.....	67
6.3.2.1.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu .....	67
6.3.2.1.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu.....	68
6.3.2.2 Tek Ana Taşıyıcılı Sistem.....	70
6.3.2.2.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu.....	70
6.3.2.2.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu.....	73
6.3.3 Konfigürasyon 3.....	74
6.3.3.1 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	74
6.3.4 Konfigürasyon 4.....	75
6.3.4.1 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	75
6.3.5 Konfigürasyon 5.....	75
6.3.5.1 Üst Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu .....	75
6.3.5.2 Üst Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	77
6.3.6 Konfigürasyon 6.....	77
6.3.6.1 Üst Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu .....	77
6.3.6.2 Üst Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	79
6.3.7 Konfigürasyon 7.....	79
6.3.7.1 Ana Taşıyıcıya Paralel ve Dik Yükleme Durumları.....	79
6.3.8 Konfigürasyon 8.....	79
6.3.8.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu .....	79
6.3.8.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu .....	80
6.3.9 Konfigürasyon 9.....	80
6.3.8.2 Üst Taşıyıcıya Paralel ve Dik Yükleme Durumları.....	80

## **BÖLÜM YEDİ – DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....81**

7.1 Giriş .....	81
7.2 Farklı Taşıyıcı Elemanlar Kullanılarak Oluşturulan Asma Tavan Sistemlerinin Deprem Performansı.....	82
7.3 Farklı Kalitedeki Asma Tavan Malzemesi ve İşçiliğin ATS'lerin Deprem Performansına Etkileri .....	83
7.4 Farklı Ağırlıktaki Plakaların ATS'lerin Deprem Performansına Etkilerinin Kıyaslanması .....	85
7.5 Taşıyıcı Uç Klipslerin ATS'lerin Deprem Performansına Etkilerinin Kıyaslanması .....	87
7.6 Deprem Hareketinin Ana Taşıyıcının Konumuna Göre Etkilenmesi Durumunda ATS'lerin Deprem Performansının İncelenmesi .....	89
7.6.1 Alçı Plakalı T24 Taşıyıcı Sistem .....	89
7.6.2 Sac Plakalı T24 Taşıyıcı Sistem .....	91
7.6.3 Sac Plakalı Özel Gizli Taşıyıcı Sistem.....	92
7.7 Eşdeğer Deprem Yükleri Altında ATS'lerin Deprem Performansının İncelenmesi .....	94

## **BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR.....96**

8.1 Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar .....	96
8.2 Gelecekte Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler.....	97

## **KAYNAKLAR.....98**

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1 Sarsma tablasının laboratuvardaki yerleşimi .....	10
Şekil 3.2 Sarsma tablası plan boyutları .....	11
Şekil 3.3 Sarsma tablası yandan görünüşü .....	11
Şekil 3.4 Sarsma tablası performans zarfı .....	12
Şekil 3.5 Sarsma tablası çalışma prensibi .....	13
Şekil 3.6 Depsim programından bir görünüm .....	13
Şekil 3.7 Sonlu elemanlar modeli a) Önden görünüşü, b) Perspektif görünüş .....	14
Şekil 3.8 a) Askı çerçevesi önden görünüş, b) Askı çerçevesi sağ yandan görünüş ..	17
Şekil 3.9 a) Seviye 1 (Askı çerçevesi tavanı plan görünüşü), b) Seviye 2 (Asma tavan montaj seviyesi plan görünüşü), c) Seviye 3 (Eğik ayakların bağlandığı seviye plan görünüşü), d) Seviye 4 (Sarsma tablası bağlantı seviyesi plan görünüşü) .....	19
Şekil 3.10 Askı çerçevesi imalat sonrası görünümü .....	20
Şekil 3.11 Askı çerçevesi laboratuvarında görünümü .....	20
Şekil 3.12 a) L kenar profil, b) C kenar profili .....	22
Şekil 3.13 Kenar takozu .....	22
Şekil 3.14 a) 4 mm kalınlıklı askı teli, b) Askı maşası .....	23
Şekil 3.15 a) T24 tali taşıyıcı-60cm , b) T24 tali taşıyıcı-120cm,c) T24 ana taşıyıcı.	24
Şekil 3.16 Önceki T24 taşıyıcı sistem yerleşim planı .....	25
Şekil 3.17 Sonraki T24 taşıyıcı sistem yerleşim planı .....	25
Şekil 3.18 a) Özel gizli taşıyıcı, b) Özel gizli taşıyıcı sistem birleşim klipsi .....	26
Şekil 3.19 Özel gizli taşıyıcı sistem yerleşim planı .....	27
Şekil 3.20 a) Çelik sac plaka, b) Alçı plaka .....	28
Şekil 3.21 a) ve b) Oturmalı sistem için taşıyıcı uç klipsi .....	29
Şekil 3.22 a) ve b) Gizli taşıyıcılı sistem için taşıyıcı uç klipsi .....	30
Şekil 3.23 Yüksek kaliteli oturmalı sistem görünümü: 1) Ana taşıyıcı, 2) Tali taşıyıcı-120 cm, 3) Tali taşıyıcı-60 cm, 4) Askı maşası, 5) Askı teli, 6) L kenar profili, 7) Oturmalı asma tavan plakası .....	32

Şekil 3.24 Yüksek kaliteli özel gizli taşıyıcı sistem görünümü:1)Taşıyıcı, 2) C Kenar profili, 3) Askı teli ve askı maşası, 4) Özel gizli asma tavan plakası, 5) Kenar takozu, 6) Birleşim klipsi .....	33
Şekil 3.25 Düşük kaliteli oturmali sistem görünümü: 1) Ana taşıyıcı, 2) Tali taşıyıcı-120 cm, 3) Tali taşıyıcı-60 cm, 4) İnşaat teli, 5) L kenar profili, 6) Oturmali asma tavan plakası .....	34
Şekil 3.26Düşük kaliteli özel gizli taşıyıcı sistem görünümü:1)Taşıyıcı, 2) C Kenar profili, 3) İnşaat teli, 4) Özel gizli asma tavan plakası, 5) Kenar takozu, 6) Birleşim klipsi.....	35
Şekil 3.27Crossbow marka ivme ölçer .....	36
Şekil 3.28İvme ölçer yerleşim planı a) Sarsma tablası düzlemi, b) Asma tavan düzlemi, c) Askı çerçevesi tepe düzlemi. ....	38
Şekil 3.29 a) ve b) İvme ölçer yerleşimi .....	39
Şekil 3.30 Unimeasure marka deplasman ölçer .....	40
Şekil 3.31İpli ölçer yerleşim planı a) Sarsma tablası düzlemi, b) Asma çerçevesi tepe düzlemi.....	41
Şekil 3.32a) ve b) İpli ölçer yerleşimi.....	42
Şekil 4.1Askı çerçevesi kısa doğrultudaki serbest titreşimi.....	44
Şekil 4.2Askı çerçevesi uzun doğrultudaki serbest titreşimi.....	45
Şekil 4.3 Askı çerçevesi kısa doğrultudaki frekans değerleri .....	45
Şekil 4.4 Askı çerçevesi uzun doğrultudaki frekans değerleri .....	46
Şekil 5.1 Yatay ve düşey hedef tepki spektrumu.....	48
Şekil 5.2 Kısa periyot için spektral ivme (g) – $S_s$ 50 yılda %50 aşılma olasılığı.....	51
Şekil 5.3 Kısa periyot için spektral ivme (g) – $S_s$ 50 yılda %10 aşılma olasılığı.....	52
Şekil 5.4 Kısa periyot için spektral ivme (g) – $S_s$ 50 yılda %2 aşılma olasılığı.....	53
Şekil 5.5 D1, D2 ve D3 depremlerine karşılık gelen hedef ivme tepki spektrumu eğrileri ve sarsma tablası performans zarfı. ....	55
Şekil 6.1 Konfigürasyon 1 deney öncesi görünümü.....	58
Şekil 6.2 Konfigürasyon 2-2 ana taşıyıcılı deney öncesi görünümü .....	59
Şekil 6.3 Konfigürasyon 2- 1 ana taşıyıcılı deney öncesi görünümü .....	59
Şekil 6.4 Konfigürasyon 3 deney öncesi görünümü .....	60
Şekil 6.5 Konfigürasyon 4 deney öncesi görünümü.....	60

Şekil 6.6 Konfigürasyon 5 deney öncesi görünümü .....	61
Şekil 6.7 Konfigürasyon 6 deney öncesi görünümü .....	62
Şekil 6.8 a) ve b) Konfigürasyon 7 deney öncesi görünümü .....	63
Şekil 6.9 a) ve b) Konfigürasyon 8 deney öncesi görünümü .....	64
Şekil 6.10 a) ve b) Konfigürasyon 9 deney öncesi görünüm .....	65
Şekil 6.11 Konfigürasyon 1 ATPYD D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	66
Şekil 6.12 Konfigürasyon 2-1 ATPYD D2-3 (1,44 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	67
Şekil 6.13 Konfigürasyon 2-1 ATPYD a) ve b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	68
Şekil 6.14 Konfigürasyon 2-1 ATDYD a) ve b) D2-2 (1,44 g /2,1 Hz), D2-3 (1,44 g /2,4 Hz), D2-4 (1,44 g /2,7 Hz), D2-5 (1,44 g /3,0 Hz) hasar görünümü .....	69
Şekil 6.15 Konfigürasyon 2-1 ATDYD a) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	69
Şekil 6.16 Konfigürasyon 2-1 ATDYD a), b) ve c) D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü .....	70
Şekil 6.17 Konfigürasyon 2-2 ATPYD a) ve b) D2-4 (1,44 g / 2,7 Hz), D2-5 (1,44 g / 3,0 Hz) hasar görünümü .....	71
Şekil 6.18 Konfigürasyon 2-2 ATPYD a) ve b) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) hasar görünümü .....	71
Şekil 6.19 Konfigürasyon 2-2 ATPYD a), b), c) ve d) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	72
Şekil 6.20 Konfigürasyon 2-2 ATDYD D1-5 (0,96 g / 3,0 Hz) hasar görünümü .....	73
Şekil 6.21 Konfigürasyon 2-2 ATDYD D2-1 (1,44 g / 1,7 Hz) hasar görünümü .....	73
Şekil 6.22 Konfigürasyon 3 ATDYD D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü .....	74
Şekil 6.23 Konfigürasyon 4 ATDYD D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü .....	75
Şekil 6.24 Konfigürasyon 5 ÜTPYD a) ve b) D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar gör.....	76
Şekil 6.25 Konfigürasyon 5 ÜTPYD a) ve b) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz), D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz), D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) ve D3-4 (1,92 g / 3,0 Hz) hasar görünümü .....	76
Şekil 6.26 Konfigürasyon 6 ÜTPYD a) ve b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar gör.....	78
Şekil 6.27 Konfigürasyon 6 ÜTPYD D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz), D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz), D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü .....	78
Şekil 6.28 Konfigürasyon 8 ATPYD D3-2 hasar görünümü .....	79

Şekil 7.1 Yüksek kaliteli farklı taşıyıcı elemanlar ve bu taşıyıcı elemanlar ile kullanılan asma tavan türlerinin deprem performansı .....	82
Şekil 7.2 Düşük kaliteli farklı taşıyıcı elemanlar ve bu taşıyıcı elemanlar ile kullanılan asma tavan türlerinin deprem performansı .....	83
Şekil 7.3 T24 Taşıyıcılı alçı plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı.....	84
Şekil 7.4 T24 Taşıyıcılı sac plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı.....	84
Şekil 7.5 Özel gizli taşıyıcılı sac plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı .....	85
Şekil 7.6 Yüksek kaliteli farklı ağırlıktaki plakalı ATS'nin deprem performansı .....	86
Şekil 7.7 Düşük kaliteli farklı ağırlıktaki plakalı ATS'nin deprem performansı .....	86
Şekil 7.8 T24 taşıyıcılı alçı plakalı ATS'de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi.....	88
Şekil 7.9 T24 taşıyıcılı sac plakalı ATS'de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi.....	88
Şekil 7.10 Özel gizli taşıyıcılı sac plakalı ATS'de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi.....	89
Şekil 7.11 Farklı kaliteleredeki alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcı yönündeki deprem performansı.....	90
Şekil 7.12 Farklı kaliteleredeki alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı.....	91
Şekil 7.13 Farklı kaliteleredeki sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı.....	92
Şekil 7.14 Farklı kaliteleredeki sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'lerin üst taşıyıcıya paralel yöndeki deprem performansı .....	93
Şekil 7.15 Farklı kaliteleredeki sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'lerin üst taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı.....	93

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1 Çelik sac plaka özellikleri .....	28
Tablo 3.2 Alçı plaka özellikleri .....	28
Tablo 5.1 D1, D2 ve D3 depremlerine karşılık gelen yatay hedef tepki spektrumu parametreleri ( $z/h=1$ ) .....	55
Tablo 5.2 D1 Deprem düzeyi .....	56
Tablo 5.3 D2 Deprem düzeyi .....	56
Tablo 5.4 D3 Deprem düzeyi .....	56
Tablo 7.1 Performans düzeyleri ve gerçekleşen hasar türleri .....	81
Tablo 7.2 Asma tavan sistemlerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri ve bunlara karşılık gelen hasar ve performans düzeyleri .....	95

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Giriş

Yapısal olmayan elemanlar (YOE) yapı taşıyıcı sistemin bir parçası olmamakla birlikte, deprem etkisi açısından bütünlüklerinin sağlanması zorunlu olan elemanlardır. Bu zorunluluk yapısal sistemin hasar görmemesi durumunda dahi, YOE'lerin deprem kuvvetlerine karşı tepkisinin deprem sonrası binaların işlevselliğini önemli ölçüde etkilemesiyle açıklanabilir. Geçmişte yaşanan depremlerde YOE'lerin ciddi hasarlar alması binaların boşaltılmasına, ekonomik kayıplara ve bazı durumlarda yaşam kaybına yol açmıştır.

Geçmişte yaşanan depremlerde YOE'lerde oluşan hasarlar incelendiği zaman en fazla hasarın Asma Tavan Sistemlerinde (ATS) gerçekleştiği görülmektedir (Badillo, 2005). Diğer YOE'lere göre ATS'lerde daha fazla görülen bu hasar ATS'lerin birçok yapıda (kamu binaları, hastanelerde vs.) kapalı alanların neredeyse tamamında yaygın bir şekilde kullanılmasıyla da paralellik göstermektedir. Bu sebeple ATS'lerin deprem boyunca performansı, binanın kullanım amacına bağlı olarak kritik bir önem taşımaktadır.

1971 San Fernando depreminde elektrik santralinde bulunan ATS'lerin hasar görmesinin, kontrol odasının işlevselliğini engellediği belirtilmiştir (Sharpe, 1973). 1989 Loma Prieta depreminde San Francisco havaalanında bulunan ATS'lerin kitlesel olarak hasar görmesi havaalanının tahliye edilmesine sebep olmuştur (Benuska, 1990). Deprem sonrası ATS'lerde gerçekleşen hasarlar bu sistemlerin ülkemizdeki uygulamaları ve bu uygulamaların deprem performansının ne düzeyde olduğu sorularını karşımıza çıkarmaktadır.

Ülkemizde ATS'ler ile ilgili TS EN 13964 standardı bulunmaktadır. Bu standart, ATS'lerin binalar ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapıların iç mekânlarında kullanılan ATS'lerin tasarımı, imalatı ve seçiminden sorumlu ilgili



tarafllara yönelik gerekli bilgileri, bileŖen takımı hlinde satılan asma tavan taŖıyıcı sistemlerini, bu taŖıyıcı sistemlere ait münferit bileŖenleri ve asma tavan kaplama bileŖenlerini, ATS'lerin karŖılması gereken gereksinimler (modüler boyut, taŖıyıcı sistem mekanik direnci, yangın, akustik, dayanıklılık, ısı yalıtımı vs.) ve bu gereksinimler ile ilgili deney yöntemlerini (eēilme, çekme, rüzgar yükü, darbe vs.) kapsamaktadır (Türk Standardları Enstitüsü [TSE], 2008).Ancak bu standartta ATS'lerin montaj koŖullarını tanımlayan herhangi bir madde bulunmamaktadır. TS EN 13964'e göre bu sistemlerin montajı tedarikçi firmanın talimatlarına göre yapılmaktadır. Ancak bu madde piyasadaki ATS'ler ile ilgili uygulamalarda farklılıklara yol açmaktadır. Fakat yurtdıŖındaki standartları incelediēimiz zaman iŖlerin farklı yrtldēun görmekteyiz. rneēin Amerika'da ATS'lerin montajı yürürlükte bulunan ASTM E580'de tanımlanan minimum koŖulları saēlayacak Ŗekilde yapılmaktadır (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2011).

Ülkemizde ATS'lere yönelik bir standart bulunmasına raēmen mevcut standarda uygun olmayan dŖk kaliteli asma tavan bileŖenlerinin de piyasada bulunması ATS'lerin deprem hasarına baēlı kayıplarını artırıcı yönde etki göstermektedir.

## **1.2 Projenin Amacı ve Kapsamı**

### **1.2.1 Amaç**

Yukarıda bahsedilen deēerlendirmelerin ıŖıēında, ATS'lerin hasar riskinin azaltılması gereklidir. Bu amaçla, Türkiye'de kullanılan asma tavan ürünlerinin laboratuvar koŖullarında fiziksel modellerinin oluŖturulması, depremi benzeŖtiren dinamik yükler altında testlerinin gerekleŖtirilmesiyle ülkemizde kullanılan farklı kalitelerdeki ATS'lerin deprem kuvvetleri altındaki davranıŖına dair bir durum deēerlendirmesinin yapılması amalanmıŖtır.

### 1.2.2 Kapsam

Piyasada birçok türde ve kalitede ATS'ler kullanılmaktadır. Proje kapsamında bu geniş yelpaze içerisinde piyasada en çok kullanılan ATS'lerin yüksek kaliteli ve düşük kaliteli olanlarının dinamik deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Mühendisliği Laboratuvarında yer alan sarsma tablasında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dinamik deneylerde laboratuvar ve sarsma tablası imkânları dâhilinde 3,0 m - 2,4 m plan boyutlarında, ATS'leri gerçek sınır koşullarında test edebilmek için tasarlanan askı çerçevesi kullanılmıştır. ATS'lerin bu askı çerçevesine montaj tekniği düşük kaliteli ve yüksek kaliteli malzemeler için ayrı ayrı olmak üzere piyasa uygulamaları çerçevesinde yapılmıştır. Yukarıda bahsedilen bilgiler göz önünde bulundurularak deneysel çalışma kapsamında;

- i) Farklı taşıyıcı elemanlar (T24, özel gizli taşıyıcı) kullanılarak oluşturulan asma tavan sistemlerinin (oturmali sistem, gizli taşıyıcılı sistem) genel dinamik davranışı,
- ii) Farklı kalitedeki asma tavan malzemelerinin, ATS'lerin dinamik yükler altındaki performansına etkileri,
- iii) Farklı ağırlıktaki plaka türlerinin (çelik sac ve alçı) genel davranışa etkileri,
- iv) Taşıyıcı uç klipslerin ATS'lerin dinamik davranışına etkileri araştırılacaktır.

### 1.3 Projenin Ana Hatları

Ülkemizde kullanılmakta olan farklı kalitelere sahip asma tavan sistemlerinin depremi benzeştiren yükler altındaki davranışının incelenmesi ve mevcut durumun deprem performansının artırılması için önerilen taşıyıcı uç klipslerinin performansının incelenmesi üzerine olan bu çalışma toplam sekiz bölüme ayrılmıştır.

İlk bölümde asma tavan sistemleri hakkında özet bir bilgi verilmiştir. Ayrıca bu bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde ATS'ler ile ilgili önceki deneysel çalışmalar hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde sarsma tablası, askı çerçevesi ve asma tavan malzemelerinin özellikleri verilmiş, ölçüm sistemi tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde askı çerçevesinin dinamik özellikleri ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

Beşinci bölümde ATS'lerin dinamik testlerini gerçekleştirirken kullanacağımız yükleme protokolü verilmiştir. Ayrıca oluşturmuş olduğumuz bu protokole referans olan ulusal ve uluslararası yönetmelikler hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümde her bir ATS konfigürasyonun özellikleri ve deney gözlemleri sunulmuştur.

Yedinci bölümde deney gözlemleri değerlendirilmiş ve veriler grafikler halinde sunulmuştur.

Sekizinci bölümde ise proje kapsamında ATS'ler hakkında ulaşılan sonuçlara yer verilmiştir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **MEVCUT ÇALIŞMALAR**

#### **2.1 Giriş**

Bu bölümde asma tavan sistemleri (ATS) ile ilgili gerçekleştirmiş olan deneysel çalışmaların deneysel altyapısı ile ilgili, kullanılan yükleme protokolü ve ATS'lerin dinamik deneylerinden elde edilen sonuçları hakkında özet bilgiler verilmiştir.

#### **2.2 Asma Tavan Sistemleri ile İlgili Mevcut Deneysel Çalışmalar**

ATS'ler ile ilgili ilk çalışma 1983 yılında ANCO Engineers Inc. tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 3,6 m - 8,5 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemine monte edilmiş ATS'ler test edilmiştir. Yükleme protokolü olarak 1953 yılında gerçekleşen Taft deprem verileri kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ATS'lerde oluşan hasarlar genellikle ATS'lerin duvar ile bağlantılı olduğu bölgelerde görülmüştür. Oluşan hasarlar, taşıyıcıların burkulması ve/veya bu taşıyıcıların duvara perçinlenmiş kenar profiller ile olan bağlantılarının sökülmesi şeklinde belirtilmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan bir diğer sonuç ise kenar profillerde kullanılan perçinlerin, düşey yönde kullanılan askı tellerine göre ATS'lerde oluşabilecek hasarları azaltması açısından daha büyük bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir (ANCO, 1983).

Rihal ve Granneman 3,66 m - 4,88 m plan boyutlarına sahip çelik profiller ile oluşturulmuş çelik yatay diyaframa monte edilmiş ATS'leri sinüzoidal yüklemeye maruz bırakmıştır. Bu çalışma sonucunda düşey desteklerin ATS'lerin düşey doğrultudaki hareketini azalttığı görülmüştür (Rihal ve Granneman, 1984).

ANCO Armstrong World Industries firmasının asma tavan malzemelerinin testlerini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada 7,31 m - 4,26 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemine monte edilmiş ATS'ler, Uniform Building Code (Uniform

Building Code [UBC], 1991) yönetmeliğinde belirtilen 2A, 3 ve 4 sismik bölgelerinde bulunan, kritik öneme sahip 6 katlı bir çelik yapının 6. ve 3. katında olduğu varsayılan yapay deprem hareketlerine maruz bırakılmıştır. Kullanılan deprem verileri, dikkate alınan yapının katlarında oluşacak ivme değerlerini temsil etmesi için bir takım ölçekleme işleminden geçirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda Armstrong firmasının asma tavan malzemelerinin UBC yönetmeliğinde tanımlanan en kötü zemin koşullarını temsil eden bölgede (4. sismik bölge) kritik öneme sahip bir yapıda bulunmasına rağmen gerekli dayanımı sağladığı tespit edilmiştir (ANCO, 1993).

Yao 1,2 m - 4,0 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemine monte edilmiş ATS'lerin deprem performansını deneysel ve analitik yöntemlerle araştırmıştır. Çalışma kapsamında ATS'lerde kullanılan askı tellerinin etkisi incelenmiştir. Laboratuvar testleri sonucunda Ceiling and Interior System Contractors (Ceiling and Interior System Contractors [CISCA], 1992) firmasının kullanılması yönünde tavsiyede bulunduğu, her iki yönde yatay ile 45<sup>0</sup> açı ile kullanılan askı tellerinin ATS'lerin sismik kapasitelerine gözle görülebilir bir katkı vermediği görülmüştür. Deprem sonrası yapılan saha araştırmaları sonucunda kenar profillerin duvara monte edilmesinde kullanılan perçin sayısının artmasının ATS'lerin sismik kapasitesini artırması yönünde olumlu katkı yaptığı görülmüştür. Benzer sonuçlar kenara yakın bölgelerde kullanılacak askı telleri ile de elde edilmiştir (Yao, 2000).

Badillo ve diğerleri, Armstrong World Industries Inc. firması tarafından University at Buffalo Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratuvarında (SEESL) ATS'ler üzerine bir seri dinamik test gerçekleştirilmiştir. ATS'lerin deprem performansını ve hasar görülebilirliğini karakterize edebilmek için kırılma yöntemi kullanılmışlardır. Dinamik testler için 4,88 m - 4,88 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemi tasarlanmıştır. Tüm ATS'lere yatay ve düşey yönde aynı anda etkiyen yapay deprem kuvvetleri etkilmiştir. Bu deprem kuvvetlerinde günümüzde de halen geçerliliğe sahip ICBO-AC156 "Acceptance Criteria for Seismic Qualification Testing of

Nonstructural Components” (International Conference of Building Officials [ICBO], 2000) yönetmeliği dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında ATS’lerin sismik performansını etkileyeceği düşünülen plaka boyut ve ağırlığı, sabitleme klipsi kullanımı, basınç çubuğu kullanımı ve taşıyıcı bileşenlerin fiziksel özellikleri olmak üzere 4 parametre incelenmiştir. Bu parametrelerin dikkate alındığı toplamda 6 farklı deney kombinasyonu oluşturulmuştur. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi aşmasında ATS’lerin farklı hasar seviyelerini temsil etmesi açısından 4 farklı limit durumu tanımlanmıştır. Her bir limit durumu için yukarıda belirtilen 4 parametrenin ATS’lerin sismik performansına olan katkıları incelenmiştir. Sonuç olarak şu veriler elde edilmiştir. ATS’lerde en yaygın görülen hasar modu, sabitleme klipsi kullanılmadığı durumlarda plakaların bulunduğu gridlerden dışarı çıkması ve yere düşmesi olarak tespit edilmiştir. Geri dönüşümlü malzemelerden üretilmiş taşıyıcı bileşenler ile yapılan testlerde bu bileşenlerin plaka hasarlarını artırıcı yönde etki gösterdiği tespit edilmiştir. Normalden daha küçük boyuttaki plakalar, normal boyuttaki plakalara göre ATS’lerin sismik performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Basınç çubuğu kullanımı ATS’lerde plaka ve taşıyıcı sistemin hasar görmesini azaltıcı yönde etki gösterdiği tespit edilmiştir (Badillo ve diğer, 2006).

Japonya’da kullanılan ATS malzemeleri ile diğer ülkelerde kullanılan ATS malzemeleri arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin büyük alanlarda yanal rijitliği artırması amacıyla ATS’lerde genellikle basınç çubuğu ve askı telleri kullanılmaktadır. Ancak Japonya’da bu malzemelerin yerine çelik çapraz destekler kullanılmaktadır. Maseki ve diğerleri, Japonya’da kullanılan bu malzemeler ile birlikte birtakım dinamik testler gerçekleştirmiştir. Bu testler için 4,5 m - 4,5 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemi tasarlamıştır. Bu çalışmanın sonucunda Japonya’ya özgü kullanılan bu malzemelerin ATS’lerin sismik davranışında iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir (Maseki ve diğer, 2006).

Gilani ve diğerleri, University at Buffalo Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratuvarında bulunan daha önceki yıllarda da

ATS'lerin deprem performansı üzerine dinamik testlerinde kullanılan, 4,88 m - 4,88 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sisteminde ATS'lerin deprem performansı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda ATS'lerin duvar ile bağlantılı olan ana ve tali taşıyıcıların alternatif montaj teknikleri üzerinde durmuşlardır ve sonuç olarak montaj tekniklerinin performansını kırılma eğrileri üzerinden kıyaslamıştır (Gilani ve diğer, 2008).

Maddaloni ve diğerleri, 6,1 m - 6,1 m ve 6,1 m - 15,4 m'lik geniş plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemlerin sonlu elemanlar modellerini oluşturarak ATS'lerin gerçek durumdaki ve deneysel ortamındaki sismik davranışlarını birbirine yaklaştırması üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır (Maddaloni ve diğer, 2010).

MacRae ve diğerleri, Yeni Zelanda'da kullanılan tipik ATS malzemeleri üzerinde deneysel ve analitik yöntemler ile testler gerçekleştirmiştir. Deneysel olarak ATS'lerde kullanılan farklı kesit özelliklerine sahip ana ve tali taşıyıcılar üzerinde basınç ve çekme testleri gerçekleştirmiş ve sonuç olarak bu malzemelerin kırılma eğrileri elde edilmiştir. Analitik yöntem ile de rijit yangın boruları ile asma tavan plakaları arasında oluşturulan farklı boşlukların ATS'lerin sismik performansına olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak ATS'ler ile yangın boruları arasında boşluk olmadan oluşturulan bağlantıların ATS'lerin sismik açıdan kötü performans sergilemesine sebep olduğu görülmüştür (MacRae ve diğer, 2011).

Magliulo ve diğerleri, 2,42 m - 2,72 m plan boyutlarına sahip çelik kafes sistemine monte edilmiş ATS'ler üzerinde ICBO-AC156 "Acceptance Criteria for Seismic Qualification Testing of Nonstructural Components" (ICBO, 2000) yönetmeliğini dikkate alarak bir takım dinamik testler gerçekleştirmiştir. Yapılan testler sonucunda ATS'lerde hiçbir deprem düzeyinde hasar oluşmamıştır. Bunun sebebi olarak; test edilen ATS plan boyutlarının küçük olması ve kendi içerisinde rijit davranması, ATS'lerin montajı için oluşturulan kafes sisteminin gereğinden fazla rijit davranması, ATS'leri düşey yönde hareketini engellemek

için kullanılan askı tellerinin çok fazla sayıda olması gösterilmiştir (Magliulo ve diğeri, 2012).



## BÖLÜM ÜÇ

### DENEY DÜZENEĞİ VE TEST NUMUNELERİ

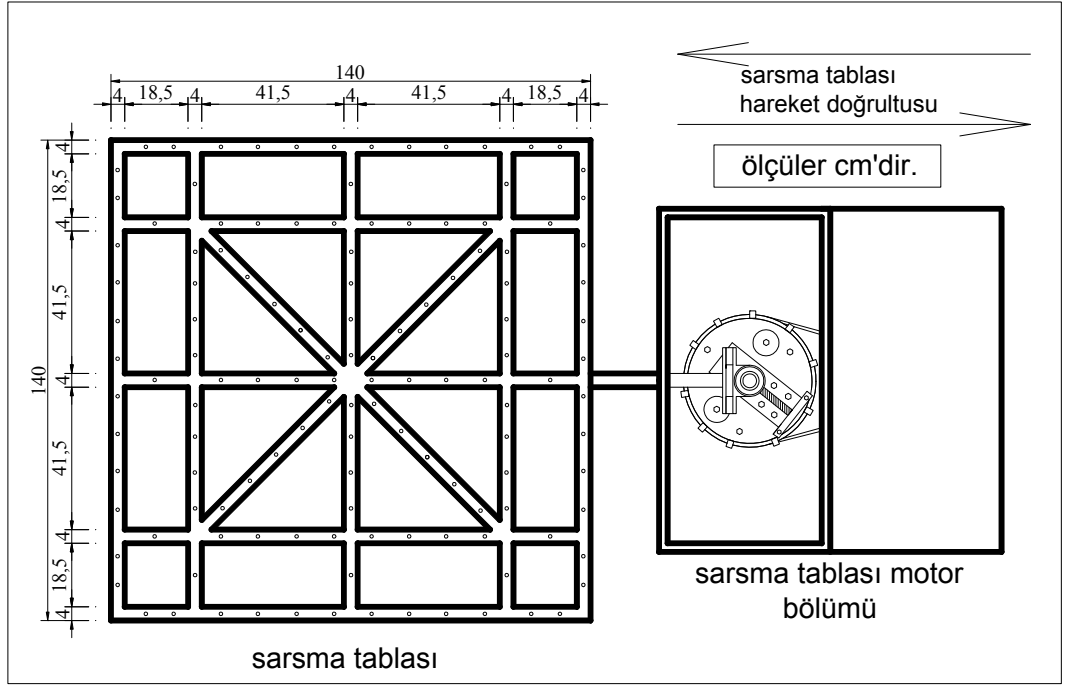
#### 3.1 Sarsma Tablası

Söz konusu sarsma tablası Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Mühendisliği Laboratuvarında bulunmakta olup, YOE'lerin deprem davranışının araştırılmasında kullanılmak üzere imal edilen, tek eksenli raylar üzerinde hareket edebilen, depremin yapılara etkittiği kuvvetleri benzeştiren farklı frekans ve genlik değerlerine sahip sinüzoidal dalga formlarını platformu üzerinde oluşturabilen bir simülatördür (Şekil 3.1).

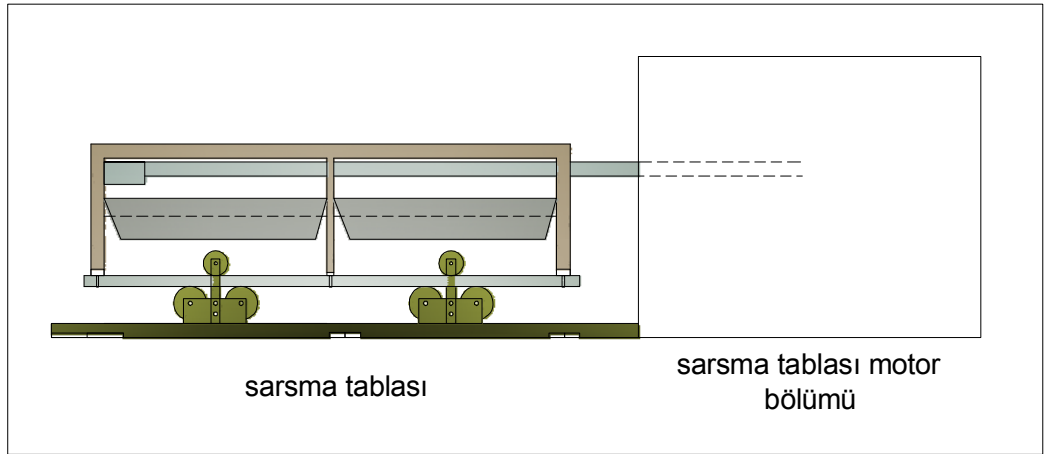


Şekil 3.1 Sarsma tablasının laboratuvardaki yerleşimi

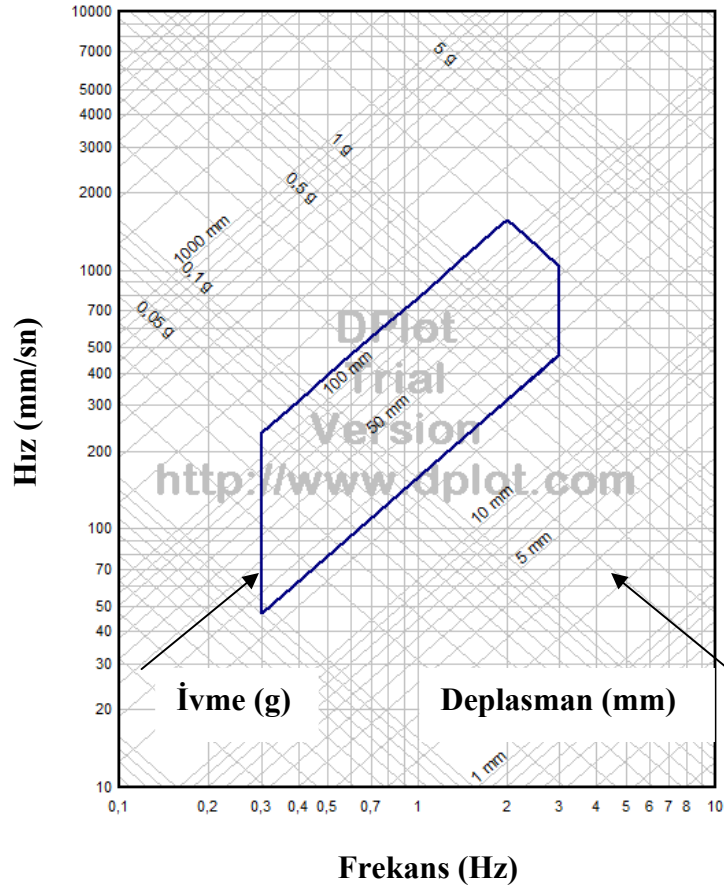
Simülatörün plan boyutları ve yandan görünüşü sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir. Simülatörün plan boyutları 140 cm - 140 cm dir. Üst aksama U80 çelik profillerin kaynaklı birleşimi ile oluşturulmuş olup üst aksama monte edilecek numuneyi sabitlemek için belirli aralıklarla cıvata delikleri açılmıştır. Simülatör platformu, üzerine yerleştirilecek 400 kg ağırlığındaki rijit bir cismi 0,3 Hz ve 3,0 Hz frekans bant aralığında, 25-125 mm deplasman aralığında, en fazla 2 g ivme uygulayabilecek kapasitedir. Ayrıca sistem harmonik frekans taraması (frequency sweep) yapabilmektedir. Sarsma tablasının deplasman, hız ve ivme sınırlarının frekansa bağlı olarak görülebildiği üç parçalı (tripartite) grafik formu Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2 Sarsma tablası plan boyutları

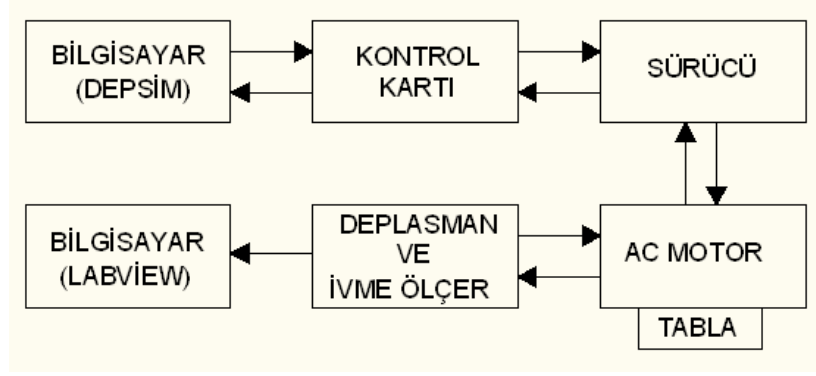


Şekil 3.3 Sarsma tablası yandan görünüşü

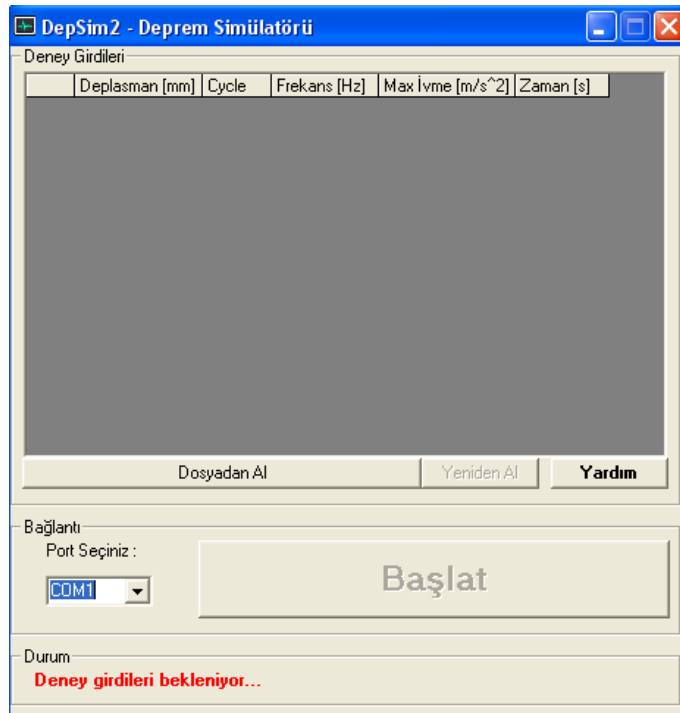


Şekil 3.4 Sarsma tablası performans zarfı

Sarsma tablasının motor kontrolü, bilgisayar aracılığıyla idare edilen bir sürücü tarafından sağlanmaktadır. Sürücü ve bilgisayar bağlantısını bir kontrol kartı sağlamaktadır. Kontrol kartı bilgisayar seri portu aracılığı ile aldığı veriyi okuyarak, sürücüye iletmektedir. Sürücüde motoru hareket ettirmekte ve ölçüm bilgileri sarsma tablası ve üzerine yerleştirilen numune üzerindeki sensörlerden dinamik veri toplama sistemi ile başka bir bilgisayarda yer alan LABVIEW programına aktarılmaktadır. Sistemin akış şeması Şekil3.5’de verilmektedir. Sarsma tablası, Win32 tabanlı DEPSİM programı ile kontrol edilmektedir. DEPSİM programına sarsma tablasına uygulanılmak istenen hareketin frekans değeri, hareketin uygulanacağı çevrim adedi ve sarsma tablasının yapmasını istediğimiz deplasman değeri girilmektedir (Şekil 3.6). Kontrolör, bu komutları alarak istenilen hareketi krank biyel mekanizmasını hareket ettirerek oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Sarsma tablası çalışma prensibi

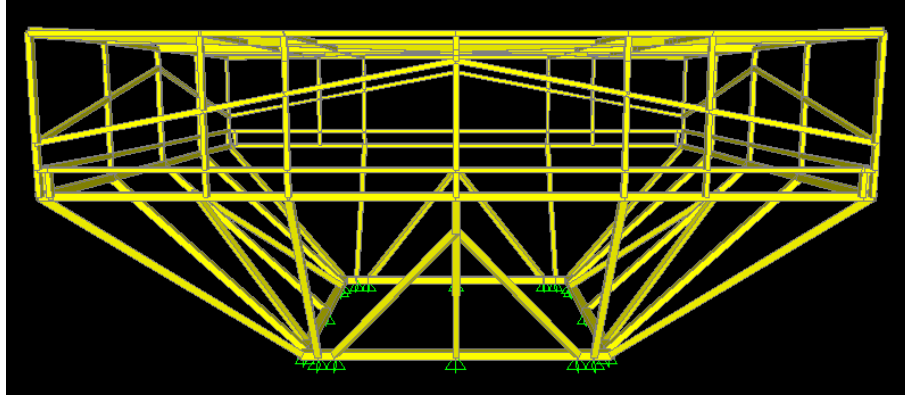


Şekil 3.6 Depsim programından bir görünüm

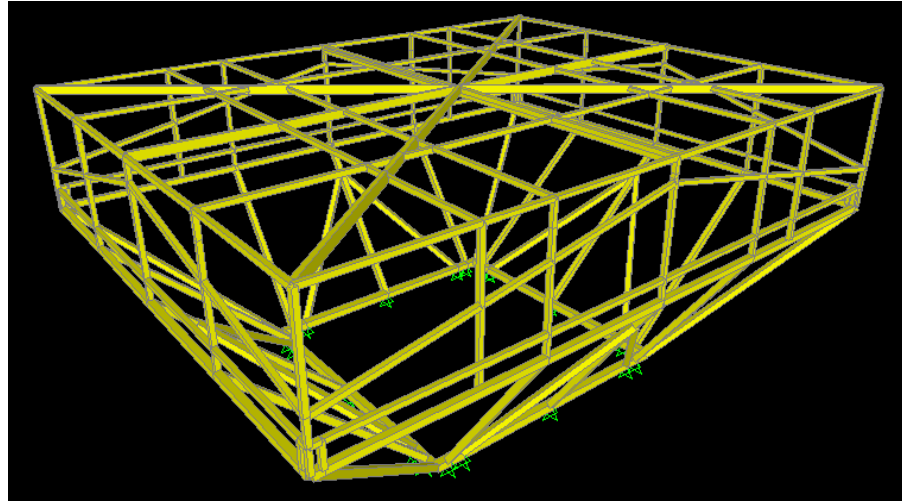
### 3.2 Askı Çerçevesi

ATS'leri gerçek sınır şartlarına en yakın durum altında test edilebilmek için SAP2000 paket programında oluşturulmuş sonlu elemanlar modeli Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Askı çerçevesinin sarsma tablasına oturduğu alanın plan boyutları 140 cm - 140 cm iken, asma tavanın monte edileceği alanın plan boyutlarını ATS'nin kendi içerisinde rijit davranmasını mümkün olduğunca azaltmak için sarsma tablası kapasitesi göz önünde bulundurularak 300 cm - 240 cm'ye

genişletilmiştir. Askı çerçevesi tavan kısmı asma tavan plaka boyutları dikkate alınarak eşit aralıklarla gridlere bölünmüştür. Böylelikle hem asma tavan taşıyıcıları gridlerin geldiği noktalardan asılabilecek, hem de ATS'nin titreşim özellikleri ile askı çerçevesinin titreşim özellikleri birbirinden ayrılarak, bu iki bileşen arasındaki etkileşim azaltılacaktır.



(a)

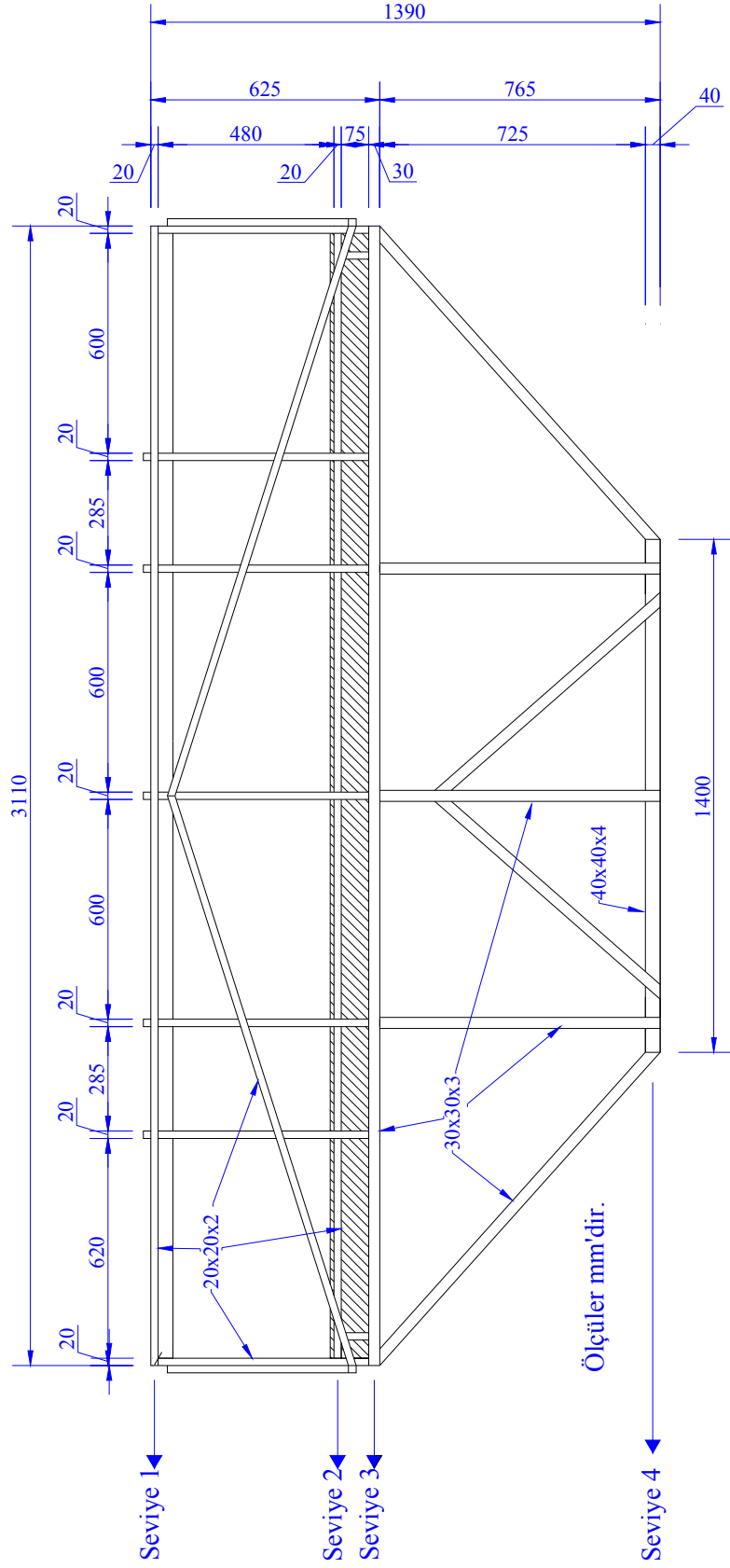


(b)

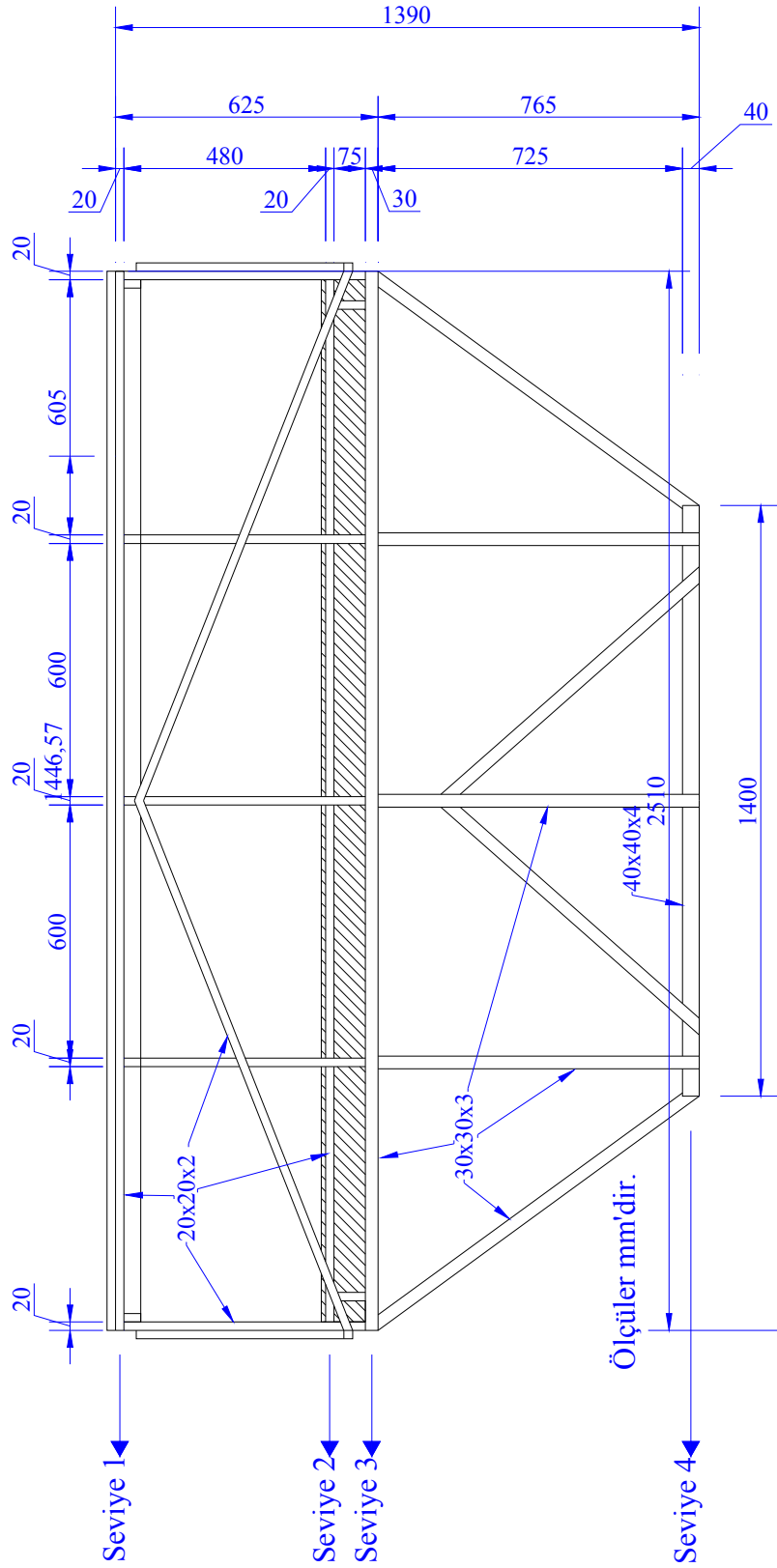
şekil 3.7 Sonlu elemanlar modeli (a) Önden görünüşü, (b) Perspektif görünüş

Askı çerçevesinin sarsma tablasına bağlandığı düzlemdaki (4. seviye ) profiller 40 mm - 40 mm - 4 mm, 3. seviye ve 4. seviye arasındaki eğik profiller ile 3. seviye düzleminde yer alan profiller 30 mm - 30 mm - 3 mm, diğer profiller ise 20 mm - 20 mm - 2 mm kesit özelliklerine sahiptir. Askı çerçevesi profillerinin birleşimi kaynaklı birleşim olarak imal edilmiştir. Askı çerçevesinin sarsma

tablasına bağlantısı ise her bir kenarda 5'er adet olmak üzere toplam 20 adet M12 civata ile yapılmıştır. ATS'nin askı çerçevesine montajı Şekil 3.8'de görülen eğik ayakların bağlandığı 3. seviyeden yaklaşık 10 cm yukarıda olan 2. seviyeden, askı çerçevesine sabitlenmiş olan 3 cm x 10 cm kesitindeki ahşap elemanlara vidalanarak yapılmıştır. Asma tavan montaj düzleminin 3. seviyeden, 2. seviyeye alınması ile birlikte ATS'lerde oluşabilecek hasarlarda askı çerçevesinin eğik ayaklarının oluşturabileceği olumsuz durum önlenmiş oldu. Şekil 3.8'den Şekil 3.11'e kadar askı çerçevesi ile ilgili ayrıntılar verilmiştir. Şekil 3.8'de askı çerçevesinin önden ve sağ yandan görünüşleri, Şekil 3.9'da ise farklı düzlemlerdeki plan detayları verilmiştir. Şekil 3.10'da askı çerçevesinin imalat sonrası, Şekil 3.11'de ise askı çerçevesinin sarsma tablası üzerine monte edilmiş hali görülmektedir.



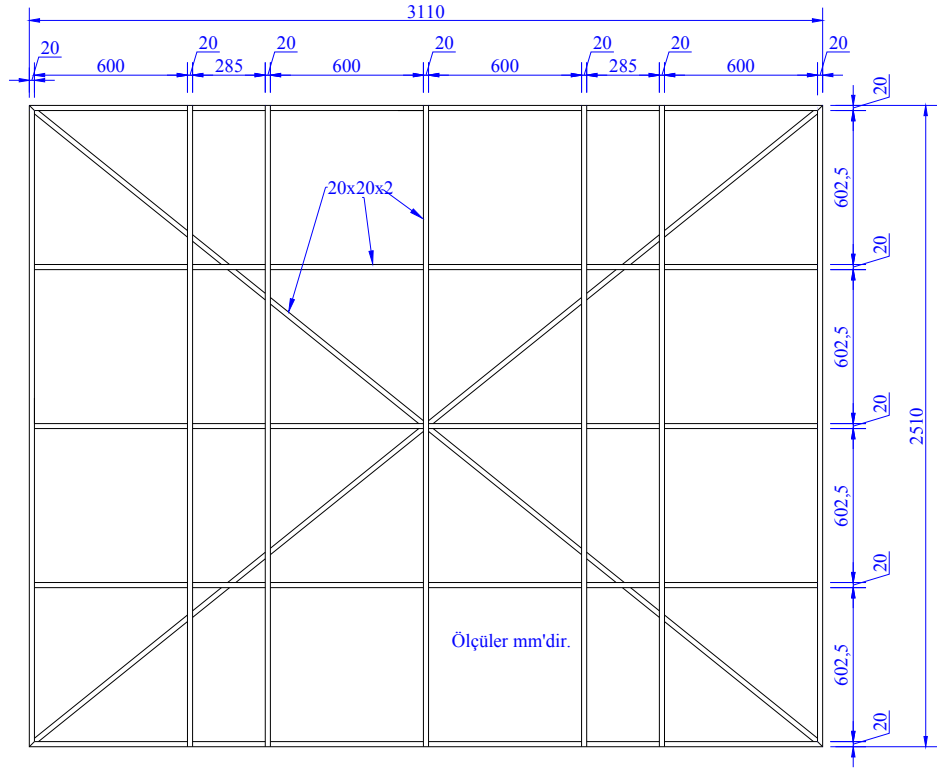
(a) Askı çerçevesi önden görünüş



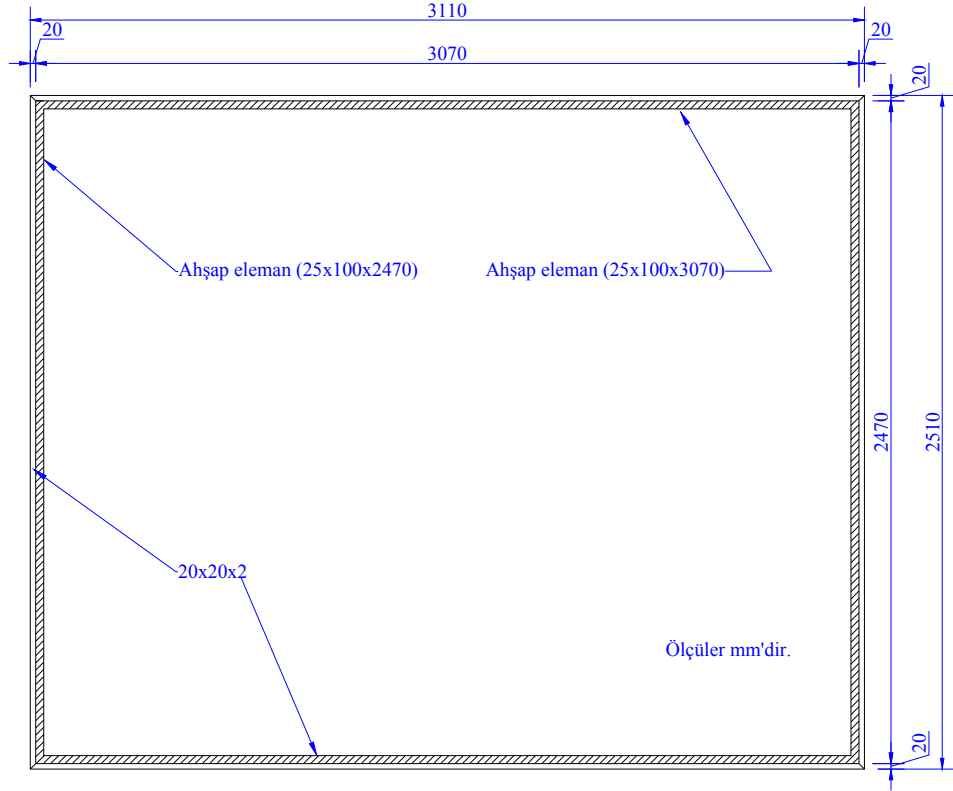
(b)Askı çerçevesi sağ yandan görünüş

Şekil 3.8(a) Askı çerçevesi önden görünüş,(b) Askı çerçevesi sağ yandan görünüş,

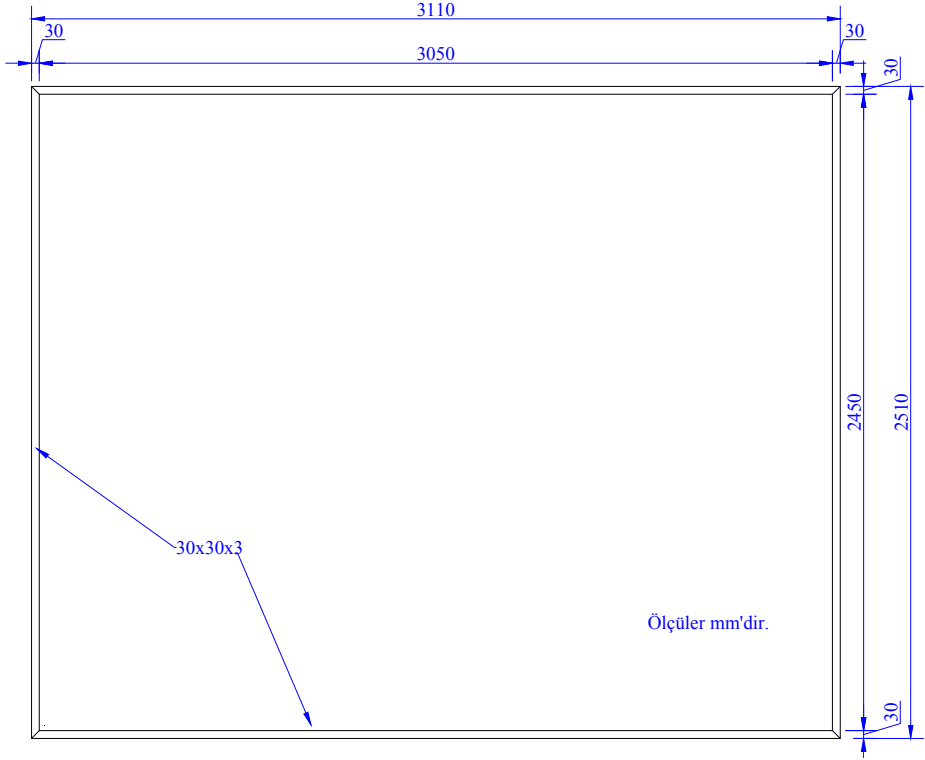




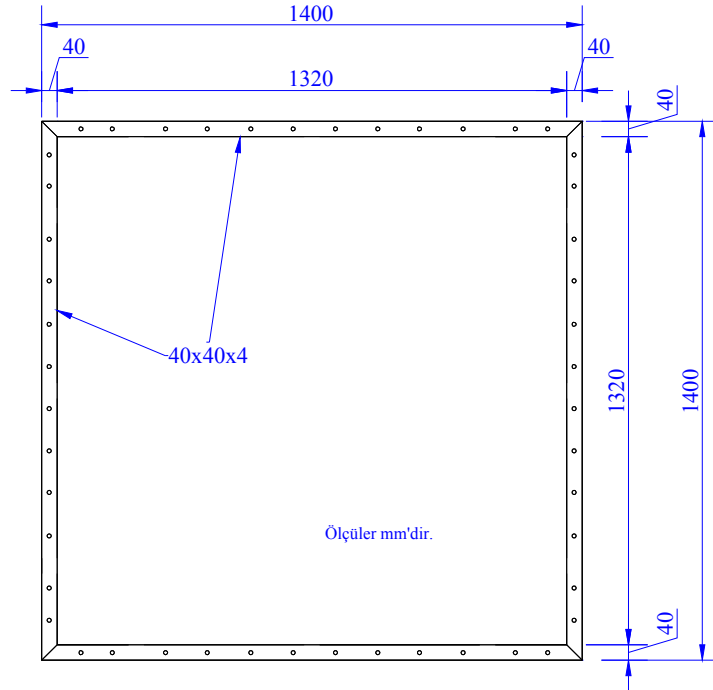
(a) Seviye 1 (Askı çerçevesi tavanı plan görünüşü)



(b) Seviye 2 (Asma tavan montaj seviyesi plan görünüşü)



(c) Seviye 3 (Eğik ayakların bağlandığı seviye plan görünüşü)

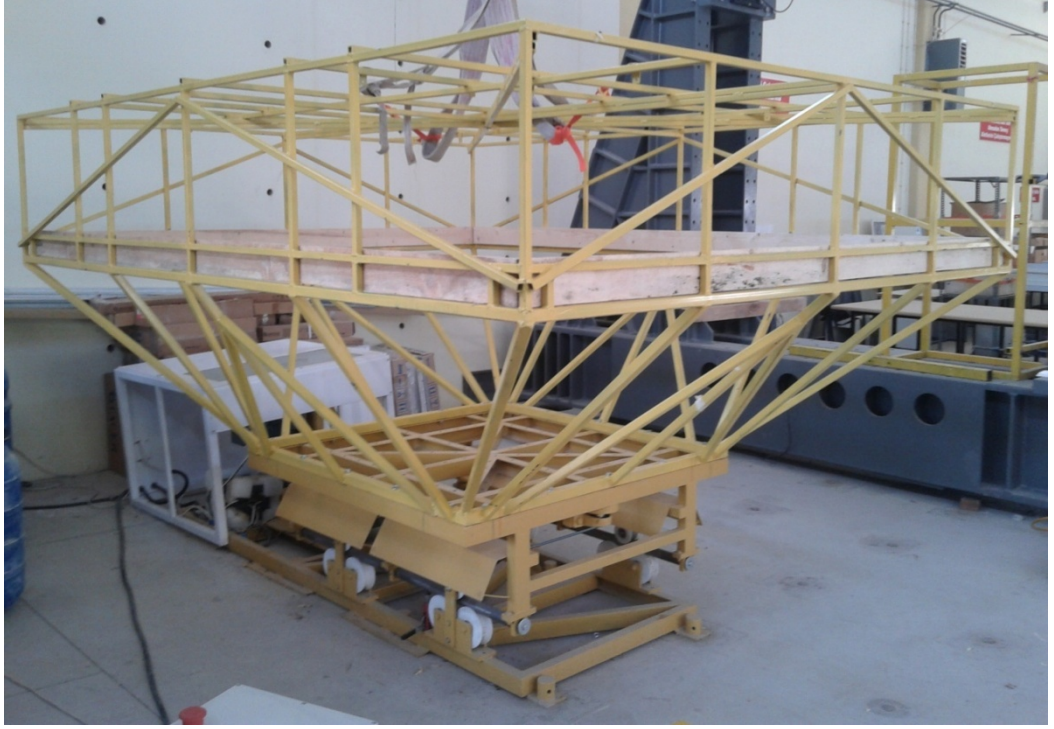


(d) Seviye 4 (Sarsma tablası bağlantı seviyesi plan görünüşü)

Şekil 3.9(a) Seviye 1 (Askı çerçevesi tavanı plan görünüşü), (b) Seviye 2 (Asma tavan montaj seviyesi plan görünüşü), (c) Seviye 3 (Eğik ayakların bağlandığı seviye plan görünüşü), (d) Seviye 4 (Sarsma tablası bağlantı seviyesi plan görünüşü)



Şekil 3.10 Askı çerçevesi imalat sonrası görünümü



Şekil 3.11 Askı çerçevesi laboratuvarında görünümü

### **3.3 Asma Tavan Malzemeleri**

ATS'ler taşıyıcı sistem ve plaka olmak üzere 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistem ise kendi içerisinde kenar profili, askı elemanı, taşıyıcı profillerden oluşmaktadır. Piyasada asma tavan modeli olarak; kaset metal, doğrusal panel, petek, alçı ve ahşap gibi birçok çeşidi mevcuttur. Saha araştırması sonucu piyasada en çok kullanılan asma tavan modellerinin kaset metal asma tavan modelleri olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında kaset metal asma tavan modellerinden oturmali ve gizli taşıyıcılı sistemlerin yüksek ve düşük kaliteli olanlarının dinamik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda ana taşıyıcı uç klipslerinin ATS'lerin deprem performansına olan etkileri incelenmiştir.

#### **3.3.1 Taşıyıcı Sistem**

##### *3.3.1.1 Kenar Profili*

Kenar profili, ana ve tali taşıyıcıların duvar kısmında bulunan uç kısımlarının kenar profillerinin üzerlerine oturtulmasıyla bir çeşit mesnet görevinde kullanılan ATS malzemesidir. Oturmali ve gizli taşıyıcılı sistemde farklı tür kenar profilleri kullanılmaktadır (Şekil 3.12). Oturmali sistemde L kenar profili, gizli taşıyıcı sistemde C kenar profili kullanılmaktadır. L kenar profil boyutları 20 mm x 20 mm x 2 mm, C kenar profil boyutları 20x40x20 mm'dir. C kenar profilinin içerisinde ayrıca plakaların sıkıştırılması için kenar takozu kullanılmaktadır (Şekil 3.13). Her iki profil türünün de bağlantısı askı çerçevesi kenarına monte edilmiş ahşap elemanlara vidalanarak sağlanmıştır.



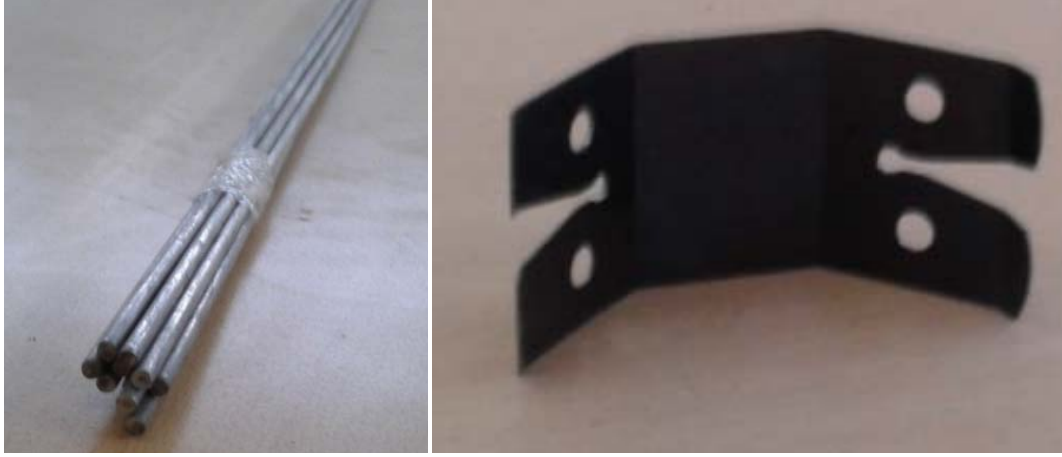
(a) (b)  
Şekil 3.12(a) L kenar profil,(b) C kenar profili



Şekil 3.13 Kenar takozu

### 3.3.1.2 Askı Elemanı

Askı elemanı, ana taşıyıcıların üzerinde bulunan delikler vasıtasıyla bunların tavana asılmasında kullanılan ATS malzemesidir. 2 tip askı teli kullanılmıştır. Yüksek kaliteli sistemlerde 4 mm kalınlıklı galvanize çelik tel (Şekil 3.14a), düşük kaliteli sistemlerde ise inşaat teli kullanılacaktır. Taşıyıcı askı elemanı, her iki uçta da telin çevresinde en az üç kez kıvrılarak kullanılmıştır. Yüksek kaliteli sistemlerde Şekil 3.14b'de görülen askı maşası, asma tavana ve döşemeye ayrı ayrı bağlı olan telin birleşiminde ve sıkıştırılmasında kullanılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.14(a) 4 mm kalınlıklı askı teli,(b) Askı maşası

### 3.3.1.3 Taşıyıcı Profil

**3.3.1.3.1 T24 Taşıyıcı Sistem.** Bu taşıyıcı sistem türü oturmalı asma tavan sistemleri modeli ile birlikte kullanılmaktadır. Bu taşıyıcı sistem ATS ızgaralarını oluşturan ters T kesitindeki profillerin başlık genişliğinin 24 mm olmasından dolayı T24 adını almıştır. T24 taşıyıcı sistemlerinde ATS ızgara sistemini oluşturan profiller ana ve tali taşıyıcı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ana taşıyıcılar tek doğrultuda 120 cm aralıklarla yerleştirilerek kullanılmaktadır. Tali taşıyıcılar ise 60 cm'lik ve 120 cm'lik uzunlukta olacak şekilde iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 3.15). Bu tali taşıyıcılardan 60 cm'lik olanlar ana taşıyıcı doğrultusunda, 120 cm'lik olanlar ise ana taşıyıcıya dik doğrultuda kullanılmaktadır.

Bu taşıyıcı sistemin montajında ilk olarak ana taşıyıcı yerleştirilmektedir. Ana taşıyıcı üzerindeki deliklerden, uç kısımlarının L kenar profillere temas etmesi sağlandıktan sonra, belirli aralıklar ile yerleştirilen askı elemanları ile yükseklik ayarı yapılarak asılmaktadır. Daha sonra ana taşıyıcı üzerinde belirli aralıklar ile açılmış olan tırnaklara 120 cm'lik taşıyıcılar 60 cm aralık ile ana taşıyıcıya takılmaktadır. Son olarak 60 cm'lik taşıyıcılar 120 cm'lik taşıyıcıların orta noktasında bulunan tırnaklardan takılmaktadır. Böylelikle 60 cm x 60 cm'lik gridler oluşturularak plakaların bu gridlerin üstlerine oturmasına imkân sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı da bu sistemlere oturmalı sistemler adı verilmiştir.

Deney aşamasına geçilmeden önce taşıyıcı sistem yerleşiminde Şekil 3.16 'da görüldüğü gibi 2 adet ana taşıyıcının kullanılması bizim tarafımızdan planlanmıştır. Yapılan ilk testler sonrasında montajı gerçekleştiren firma yetkilileri ile yapılan görüşmelerde, bu plan boyutlarında piyasada gerçekleştirilen uygulamalarda 1 adet ana taşıyıcının kullanıldığı, 2 adet ana taşıyıcı kullanımının gerçeği tam olarak yansıtmayacağı konusunda görüş bildirmiştir. Dolayısıyla bundan sonraki yapılacak testlerde hem oturmalı hem de gizli taşıyıcılı sistemlerde 1 adet ana taşıyıcı kullanılmasına karar verilmiştir. Sonuç olarak T24 taşıyıcı sistem yerleşiminin Şekil 3.17'de görüldüğü gibi yapılmasına karar verilmiştir.



(a)

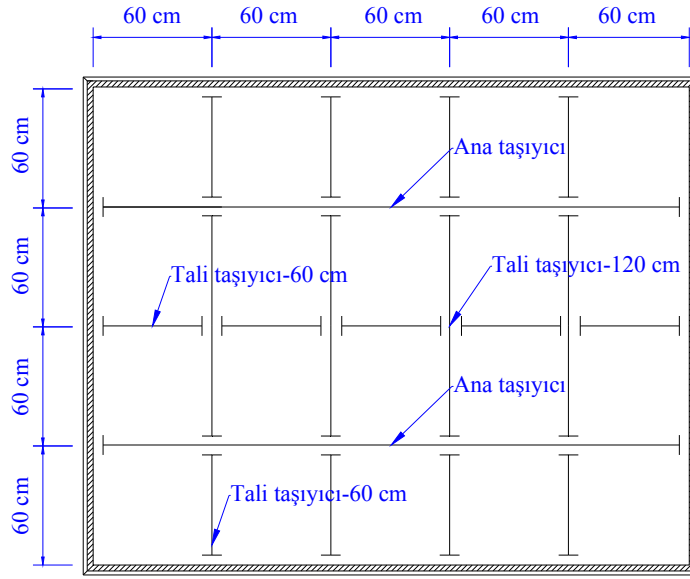


(b)

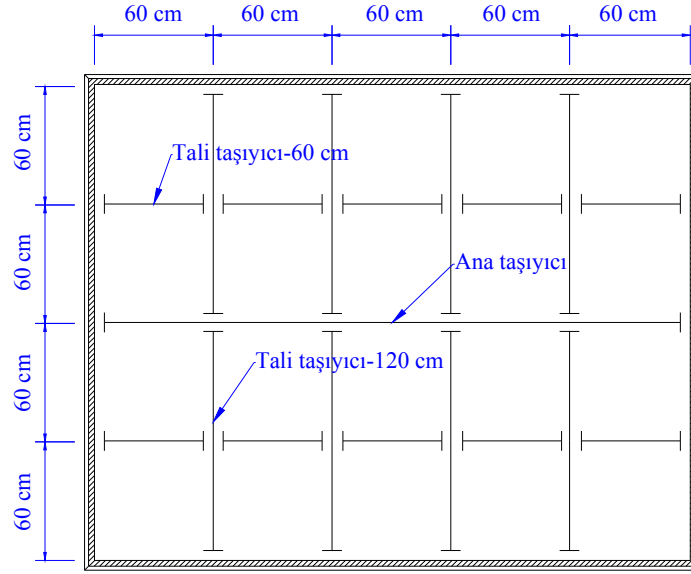


(c)

Şekil 3.15(a)T24 tali taşıyıcı-60cm , (b) T24 tali taşıyıcı-120cm, (c) T24 ana taşıyıcı



Şekil 3.16 Önceki T24 taşıyıcı sistem yerleşim planı



Şekil 3.17 Sonraki T24 taşıyıcı sistem yerleşim planı

**3.3.1.3.2 Özel Gizli Taşıyıcı Sistem.** Bu taşıyıcı sistem türü gizli taşıyıcılı asma tavan sistemleri modeli ile birlikte kullanılmaktadır. Bu asma tavan sisteminde tek bir tür taşıyıcı profil kullanılmaktadır(Şekil 3.18a). Her iki doğrultudaki taşıyıcı elemanlar üst üste birleşim klipsi adı verilen bir aparat ile birbirine bağlanmaktadır(Şekil 3.18b). Bu taşıyıcı sistemde üst kısımda yer alan taşıyıcılar 120 cm aralıklar ile alt kısımda yer alanlar ise 60 cm'lik aralıklar ile yerleştirilmektedir.



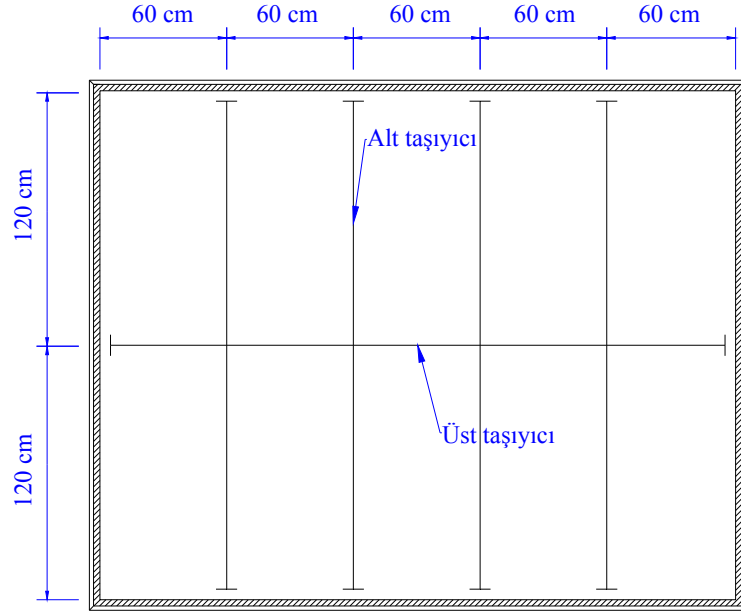
Bu taşıyıcı sistemin montajında ilk olarak üstteki taşıyıcı yerleştirilmektedir. Üstteki taşıyıcı üzerindeki deliklerden, uç kısımları C kenar profillerinin üstüne oturacak şekilde, belirli aralıklar ile yerleştirilen askı elemanları ile yükseklik ayarı yapılarak asılmaktadır. Daha sonra üstteki taşıyıcıya öncesinde yeterli miktarda takılan birleşim klipsleri ile birleşim klipsi altında bulunan deliklerden altta yer alacak taşıyıcılar geçirilmektedir. Bu taşıyıcıların aralarındaki mesafe 60 cm ve taşıyıcı uç kısımları C kenar profillerinin içerisinde profilin üstüne temas edecek şekilde yerleşimi yapılmaktadır. Plakalar ise karşılıklı kenarlarından tutulacak şekilde alttaki taşıyıcılara alttan sıkıştırılarak montajı yapılmaktadır. Son olarak kenar plakaların C profili içerisindeki kenarlarına belirli aralıklarla kenar takozu konularak plakaların sıkışması sağlanmakta ve gizli taşıyıcı sistemin montajı tamamlanmaktadır. Bu sisteme plakaların taşıyıcı profillere alttan sıkıştırılarak yerleştirilmesi ve taşıyıcı profillerin alttan görünmemesinden dolayı gizli taşıyıcı sistem adı verilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan özel gizli taşıyıcı sistem yerleşimi Şekil 3.19’da görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.



(a)

(b)

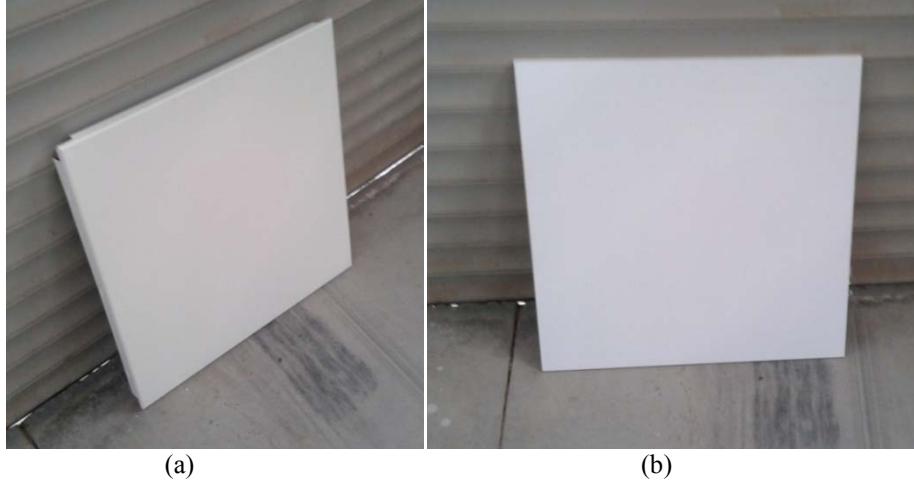
Şekil 3.18(a) Özel gizli taşıyıcı,(b) Özel gizli taşıyıcı sistem birleşim klipsi



Şekil 3.19 Özel gizli taşıyıcı sistem yerleşim planı

### 3.3.2 Plakalar

Bu çalışmada çelik sac ve alçı plaka olmak üzere iki tür plaka kullanılmıştır (Şekil 3.20). T24 taşıyıcı sistemlerde çelik sac ve alçı plaka kullanılmasına rağmen, Özel gizli taşıyıcı sistemlerde taşıyıcı sistemin özelliği gereği yalnızca çelik sac plaka kullanılmaktadır. Çelik sac ve alçı plakalarda piyasada isteğe göre çeşitli perforasyon seçenekleri mevcut. Çalışmada kullanılacak çelik sac ve alçı plakalarda perforasyon uygulanmamıştır. Ayrıca alçı plakalarda farklı kalınlıklarda üretim yapılmaktadır. Kullanılacak olan alçı plakalar için kalınlık 8 mm seçilmiştir. Çalışmada her bir kurulumda 20 adet plaka kullanılmıştır. Kullanılmış olan çelik sac ve alçı plaka boyutları ve birim ağırlıkları aşağıda Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.20(a) Çelik sac plaka, (b) Alçı plaka

Tablo 3.1 Çelik sac plaka özellikleri

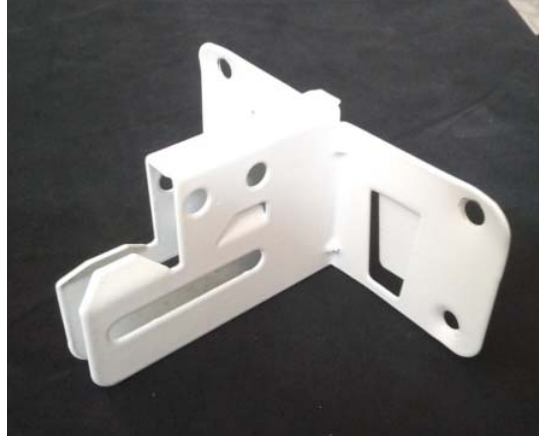
<i>Taşıyıcı Türü</i>	<i>Malzeme Kalitesi</i>	<i>Plaka Boyut (mm)</i>	<i>Ağırlık (kg/plaka)</i>
T24	Düşük	595x595x2	0,57
	Yüksek		1,53
Özel Gizli	Düşük		0,66
	Yüksek		1,71

Tablo 3.2 Alçı plaka özellikleri

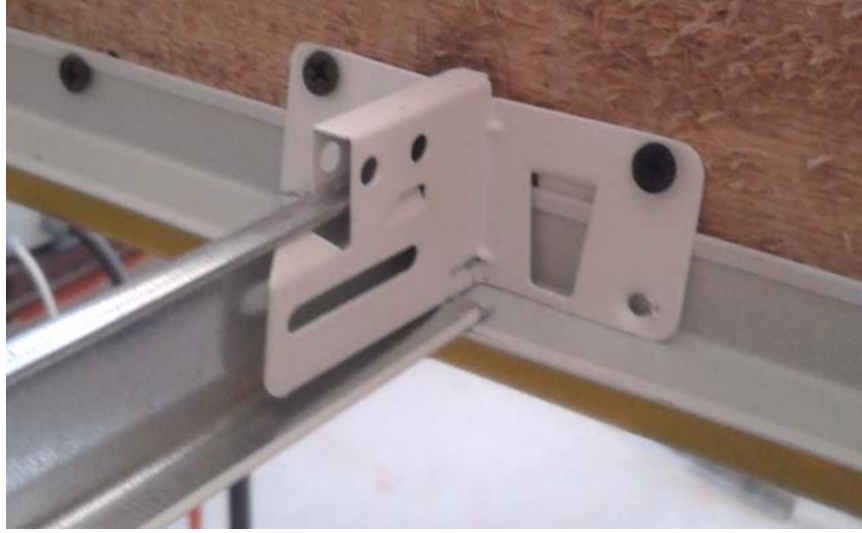
<i>Taşıyıcı Türü</i>	<i>Malzeme Kalitesi</i>	<i>Plaka Boyut (mm)</i>	<i>Ağırlık (kg/plaka)</i>
T24	Düşük	595x595x8	2,22
	Yüksek		2,57

### 3.3.3 Taşıyıcı Uç Klipsi

Ülkemizde kullanılan mevcut ATS'lerin deprem performansını artırmak amacıyla yerli malı sismik kilitler imal edilmiştir. Şekil 3.21'de görülen sismik kilit, oturmali sistemde ana ve tali taşıyıcı profillerin L kenar profili üzerine oturan uçlarına geçirilerek, üzerinde bulunan deliklerden L elemanları içerisinde ahşap elemanlara vidalanarak kullanılmıştır. Şekil 3.22'de görülen sismik kilit ise özel gizli taşıyıcı sistemdeki üst kısımda bulunan taşıyıcı profillerde, L kenar profilinde kullanılan uç klipse uygulanan montaj tekniği ile kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.21(a) ve (b) Oturmalı sistem için taşıyıcı uç klipsi



(a)



(b)

Şekil 3.22(a) ve (b) Gizli taşıyıcı sistem için taşıyıcı uç klipsi

### ***3.3.4 Asma Tavan Sistemlerinde Yüksek Kaliteli ve Düşük Kaliteli Sistemler***

ATS'lerin deprem performansında malzeme ve işçilik kalitesi büyük bir öneme sahiptir. Malzeme kalitesini belirleyen parametreler ve bu parametreler ile ilgili deney yöntemleri ATS'ler için oluşturulmuş olan TS EN 13964'te tanımlanmaktadır. Ancak piyasada bulunan tüm ATS'ler TSE'de belirtilmiş olan bu gereksinimleri

karşılamamaktadır. Bu durum ATS'lerin deprem esnasında farklı performanslar sergilemesine yol açmaktadır.

İşçilik kalitesi ise ATS'lerin deprem performansında etkili olan bir diğer önemli parametredir. Yapılan saha araştırmalarında özellikle önemli kamu binalarında ATS'lerde işçilik adına çok kötü uygulamalar tespit edilmiştir. Piyasada karşılaşılan bu tür uygulamalar ATS'lerin yönetmelik kapsamında montaj koşullarının sınırlandırılmamasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bu durum ATS'lerin montajının ne denli göz ardı edildiğini göstermektedir.

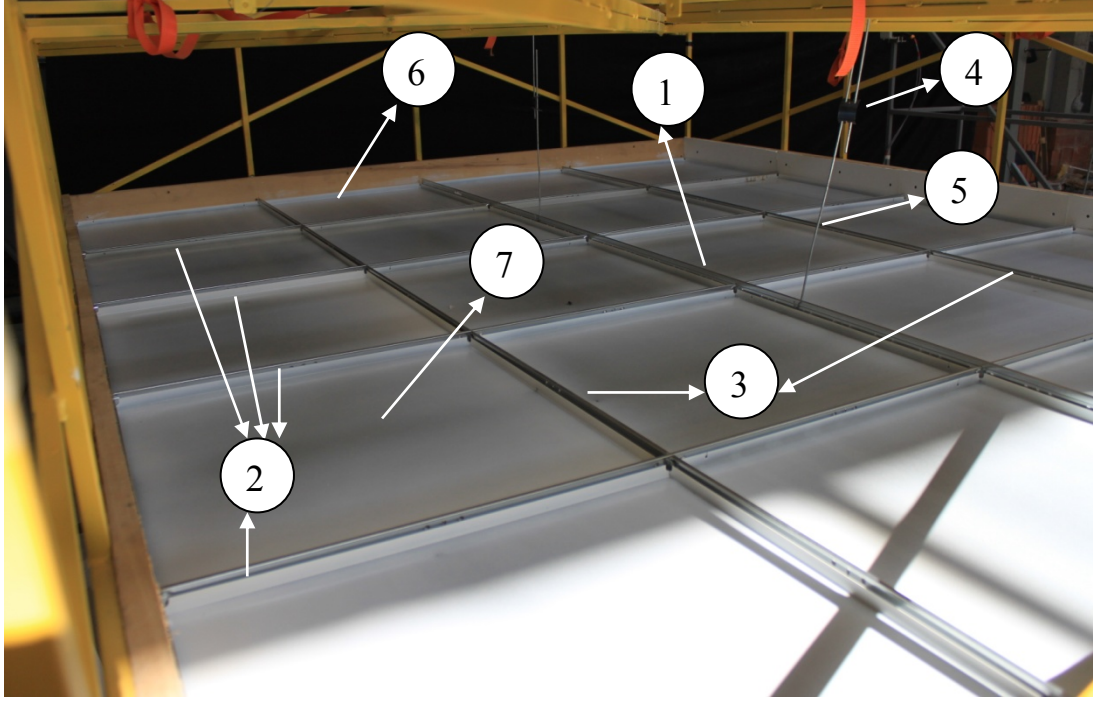
Bu bilgiler ışığında yapılan çalışma kapsamında malzeme ve işçilik kalitesinin her ikisinin de standartlara uygun olduğu durum için yüksek kaliteli ATS, her ikisinin de standartlara uygun olmadığı durum için düşük kaliteli ATS şeklinde bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu yüksek ve düşük kaliteli ATS'lerin malzeme ve işçilik açısından ne gibi özelliklere sahip olduğu, deneysel çalışma kapsamında dikkate alınacak oturmali ve gizli taşıyıcı sistemler için aşağıda belirtildiği şekilde dikkate alınmıştır.

#### *3.3.4.1 Yüksek Kaliteli Oturmali ve Gizli Taşıyıcı Sistem*

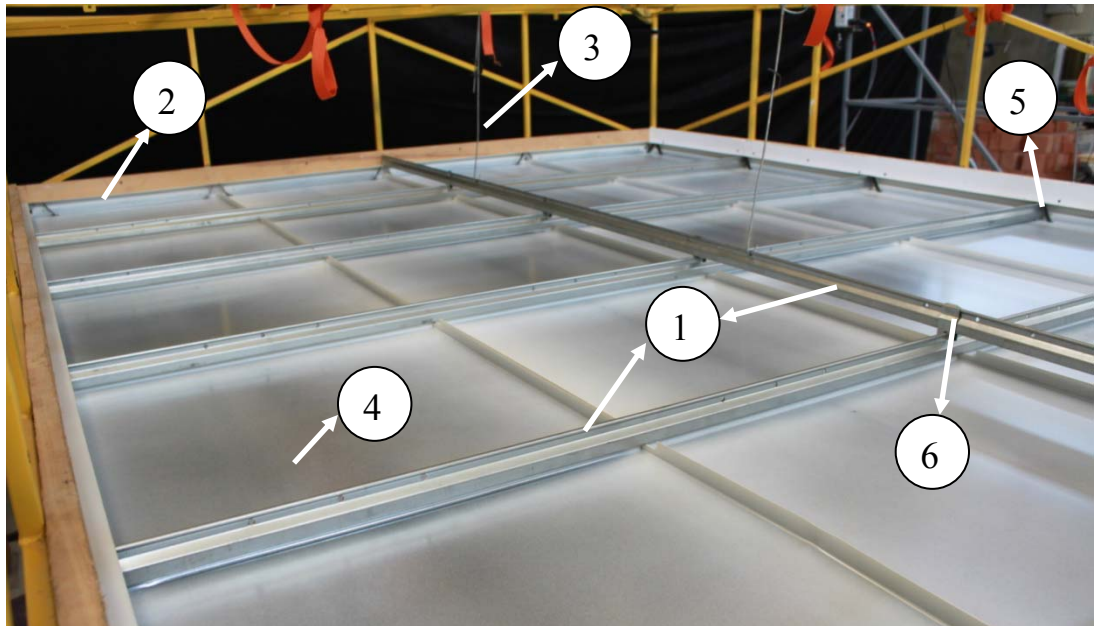
Yüksek kaliteli oturmali ve gizli taşıyıcı sistemlerin montajı Şekil 3.23 ve 3.24'de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir ve aşağıda belirtilen özelliklere sahiptirler:

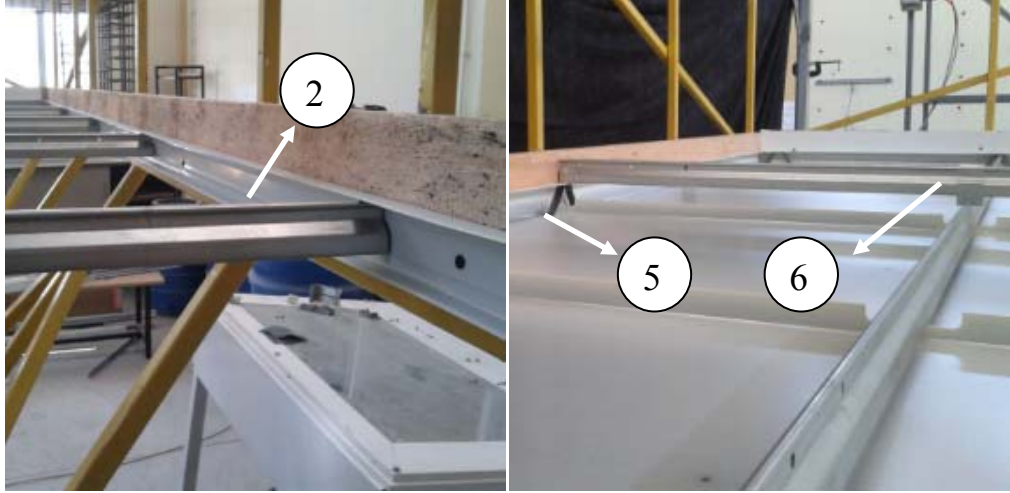
- 1) Oturmali sistemlerde taşıyıcı olarak T24 taşıyıcı, gizli taşıyıcı sistemlerde özel gizli taşıyıcı kullanılmaktadır. Bu taşıyıcılar TS EN 13964'de belirtilen gereksinimleri karşılayacak özelliklere sahiptir.
- 2) L profil ve C kenar profilleri askı çerçevesindeki ahşap elemanlara yaklaşık 30 cm'de bir vidalanarak montajı gerçekleştirilmiştir.
- 3) Taşıyıcı profillerin tavana asılmasında 2 adet 4 mm kalınlıklı galvanize çelik tel kullanılmıştır.
- 4) Taşıyıcı profillerin kenar profili üzerine oturan uçlarında, taşıyıcıların kenar profillerine tam olarak basmasına dikkat edilmiştir.

5) Gizli taşıyıcı sistemlerde plakaların sıkıştırılması amacıyla kullanılan kenar takozları duvara yakın olan plakalarda standartlara uygun olarak 2'şer adet kullanılmıştır.



Şekil 3.23 Yüksek kaliteli oturma sistemi görünümü: 1) Ana taşıyıcı, 2) tali taşıyıcı-120 cm, 3) tali taşıyıcı-60 cm, 4) askı maşası, 5) askı teli, 6) L kenar profili, 7) oturma asma tavan plakası





Şekil 3.24 Yüksek kaliteli özel gizli taşıyıcı sistem görünümü: 1) Taşıyıcı, 2) C kenar profili, 3) askı teli ve askı maşası, 4) özel gizli asma tavan plakası, 5) kenar takozu, 6) birleşim klipsi

#### 3.3.4.2 Düşük Kaliteli Oturmalı ve Gizli Taşıyıcılı Sistem

Düşük kaliteli oturmalı ve gizli taşıyıcılı sistemlerin montajı Şekil 3.25 ve 3.26’da görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir ve aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

1) Yüksek kaliteli sistemlerde olduğu gibi oturmalı sistemlerde taşıyıcı olarak T24 taşıyıcı, gizli taşıyıcılı sistemlerde özel gizli taşıyıcı kullanılmaktadır. Ancak bu taşıyıcılar TS EN 13964’de belirtilen gereksinimleri karşılayacak özelliklere sahip değildir.

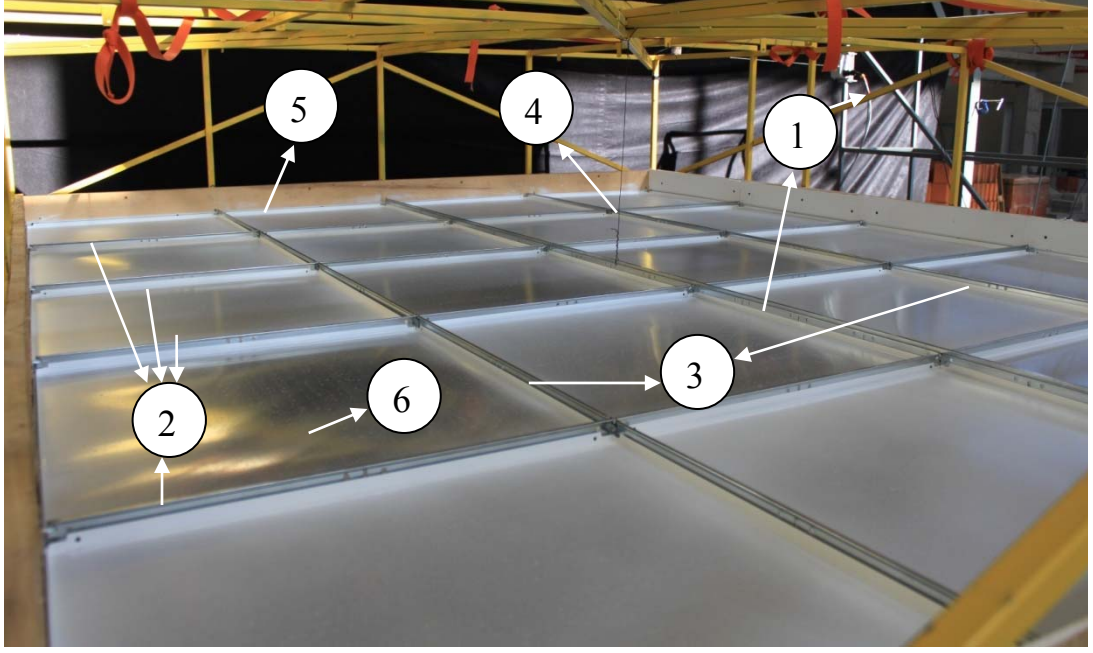
2) L profil ve C kenar profilleri askı çerçevesindeki ahşap elemanlara yaklaşık 60 cm’de bir vidalanarak montajı gerçekleştirilmiştir.

3) Taşıyıcı profillerin tavana asılmasında 1 adet inşaat teli kullanılmıştır.

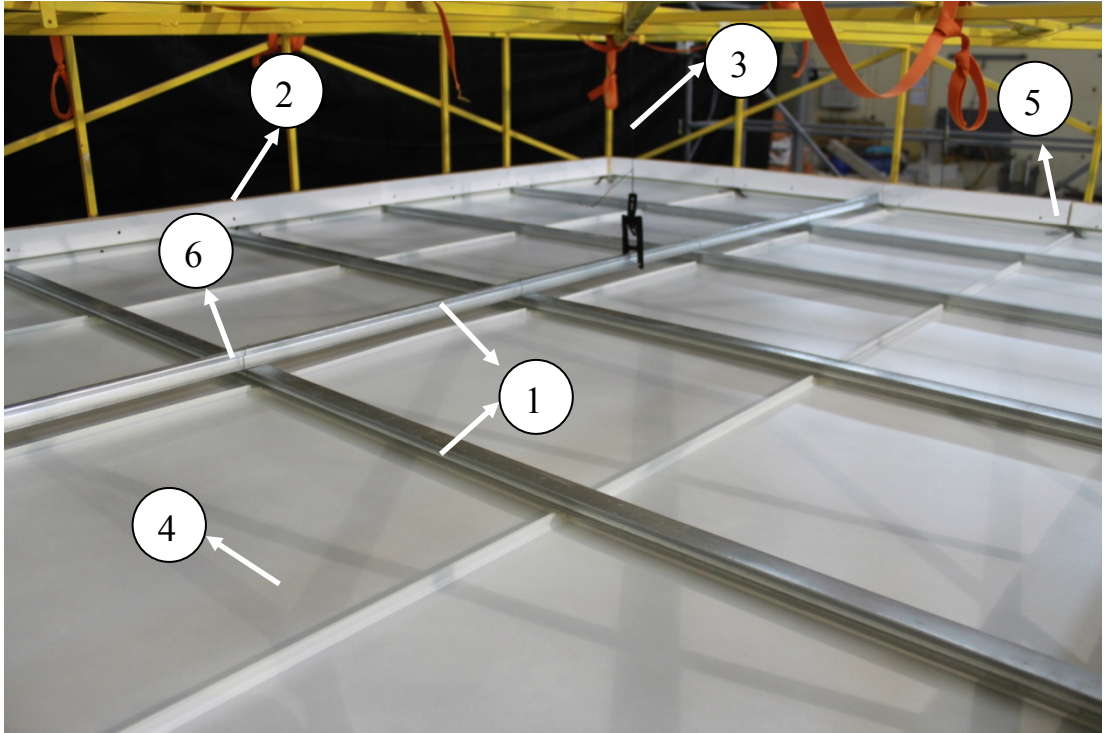
4) Taşıyıcı profillerin kenar profili üzerine oturan uçlarında, taşıyıcıların kenar profillerine tam olarak basmasına dikkat edilmemiştir.

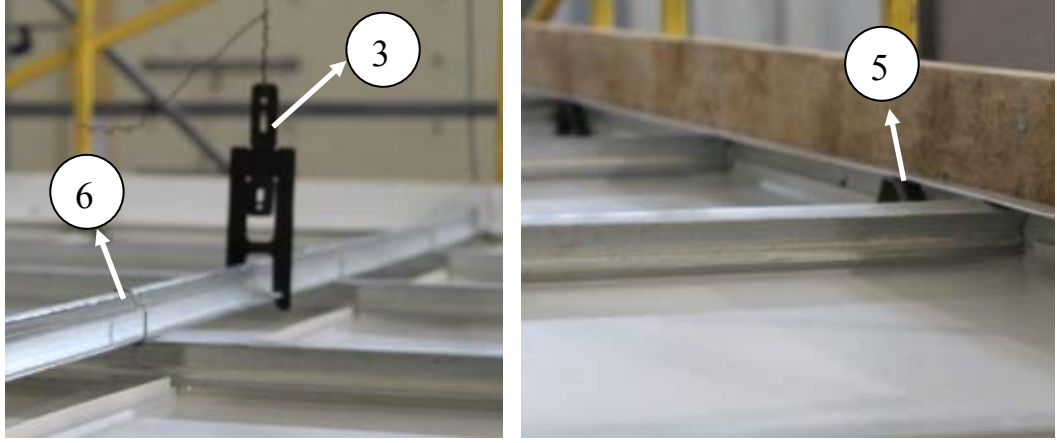
5) Gizli taşıyıcı sistemlerde plakaların sıkıştırılması amacıyla kullanılan kenar takozları duvara yakın olan plakalarda aralıklarla kullanılmıştır.





Şekil 3.25 Düşük kaliteli oturmali sistem görünümü: 1) Ana taşıyıcı, 2) tali taşıyıcı-120 cm, 3) tali taşıyıcı-60 cm, 4) inşaat teli, 5) L kenar profili, 6) oturmali asma tavan plakası





Şekil 3.26 Düşük kaliteli özel gizli taşıyıcı sistem görünümü: 1) Taşıyıcı, 2) C kenar profili, 3) inşaat teli, 4) özel gizli asma tavan plakası, 5) kenar takozu, 6) birleşim klipsi

### 3.4 Ölçüm Cihazları

Askı çerçevesinde, ATS'de ve sarsma tablasındaki dinamik tepkileri görebilmek için ivme ve deplasman ölçerler kullanılmıştır. Deney esnasında gerçekleşen ivme değerleri crossbow marka (CXL-LP serisi)  $\pm 4$  g'ye kadar tek yönde ivme ölçüm yapabilme özelliğine sahip ivme ölçerler ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.27). Sarsma tablasını kontrol etmek için kullanılan Depsim programında girilen deplasman ve frekans değerinden denklem (3.2) kullanılarak elde edilen ivme değeri sarsma tablasına yerleştirilen 1 no'lu ivme ölçer vasıtasıyla izlenmiştir (Şekil 3.28a). Asma tavan düzleminde köşe noktalarına harekete dik yönde yerleştirilen 4 no'lu ivme ölçer ve hareket yönünde yerleştirilen 2 ve 3 no'lu ivme ölçer ile askı çerçevesinde asma tavan düzleminde hareket esnasında burulma gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. 2 ve 3 no'lu ivme ölçer ile aynı zamanda sarsma tablasına gönderilen ivme değerinde ne mertebede bir büyütmenin olduğu takip edilmiştir. Asma tavan düzleminde hareket doğrultusuna dik yöndeki kenarda düşey yönde yerleştirilen 5 no'lu ivme ölçer ile de askı çerçevesinin fiziksel özelliğinden dolayı düşey yöndeki ivme değerlerinin hangi mertebelere ulaştığı takip edilmiştir (Şekil 3.28b). 6 ve 7 no'lu ivme ölçer ile de sarsma tablasına gönderilen ivme değerinin askı çerçevesi tavan düzleminde hangi ivme değerlerine ulaştığı takip edilmiştir (Şekil 3.28c). Şekil 3.29'da da ivme ölçerlerin yerleşim görüntüleri verilmiştir.

$$u = u \sin(2 \pi f t) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'in 2 kez türevi alınırsa,

$$\ddot{u} = -u (2 \pi f)^2 \sin(2 \pi f t) \quad (3.2)$$

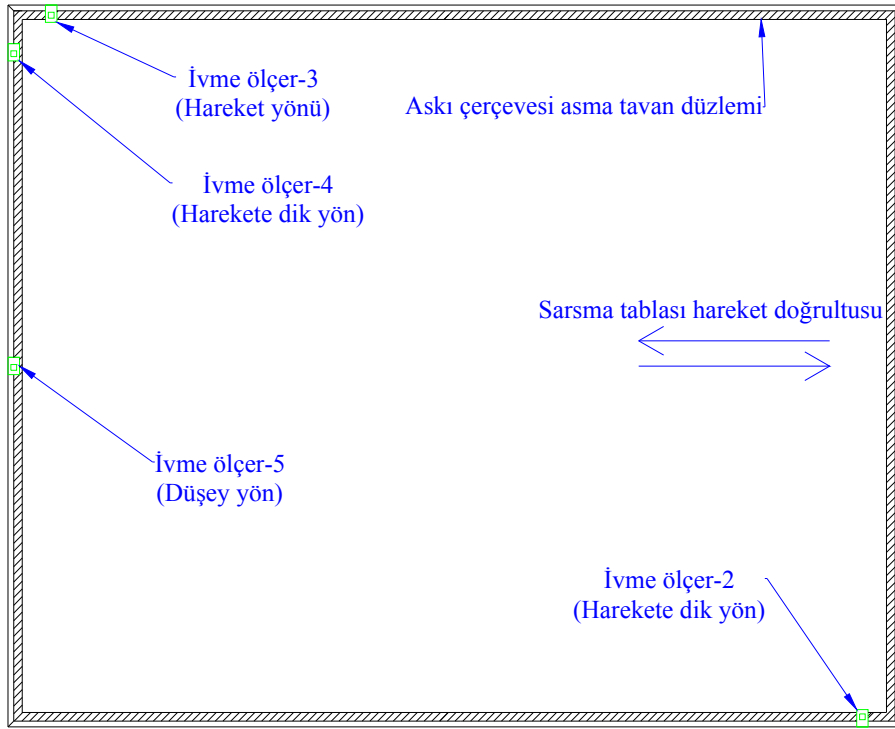
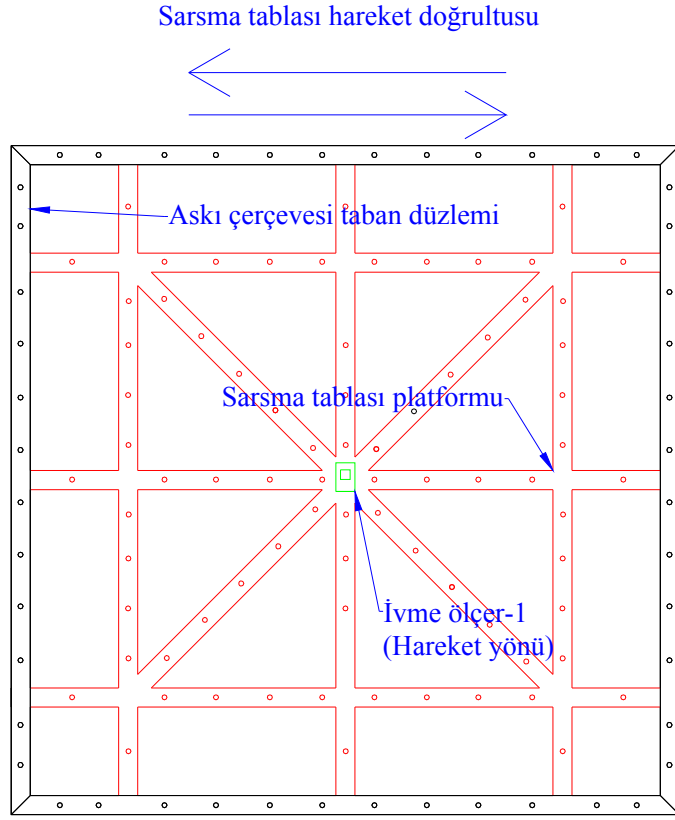
u: deplasmanı (mm)

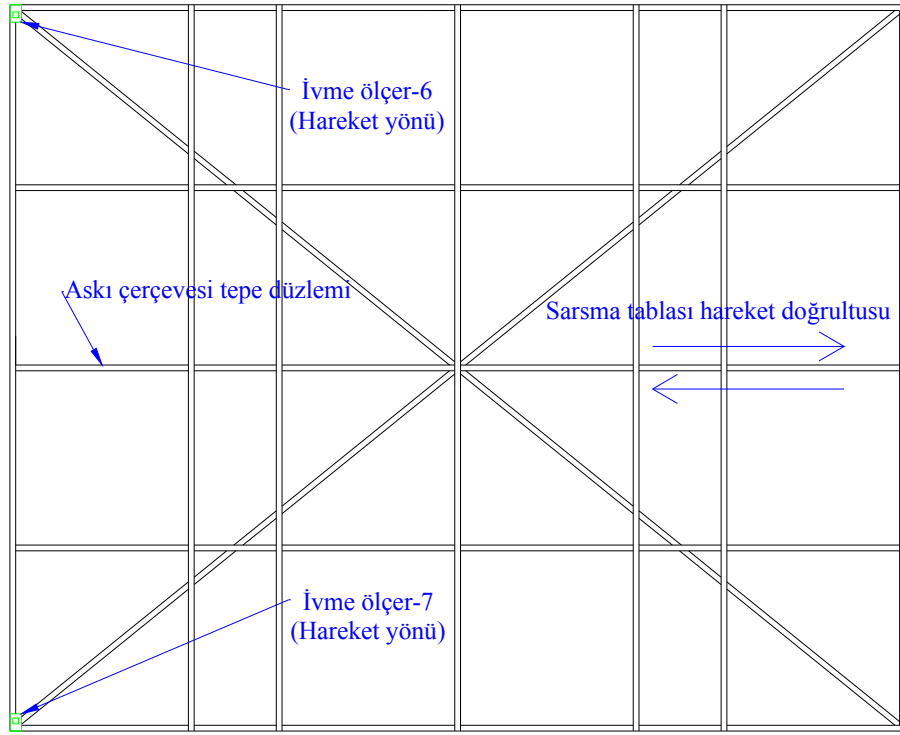
f: frekansı (Hz)

t: zamanı (sn) göstermektedir.



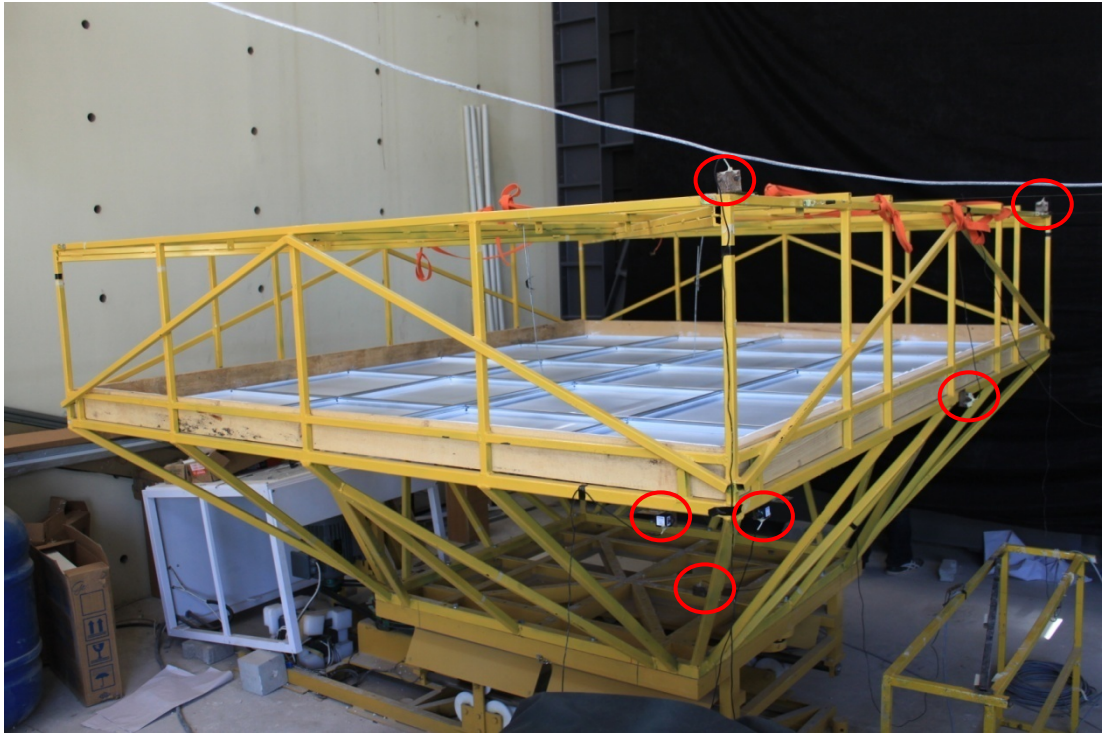
Şekil 3.27 Crossbow marka ivme ölçer



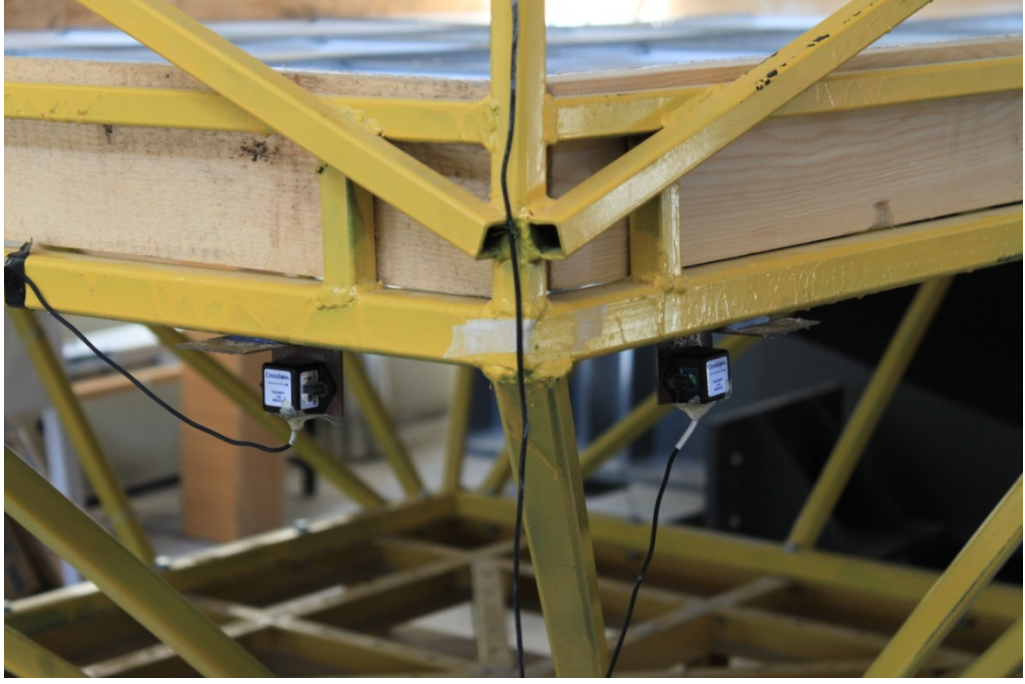


(c) Askı çerçevesi tepe düzlemi

Şekil 3.28 İvme ölçer yerleşim planı(a) Sarsma tablası düzlemi, (b) Asma tavan düzlemi, (c) Askı çerçevesi tepe düzlemi.



(a) İvme ölçer yerleşimi



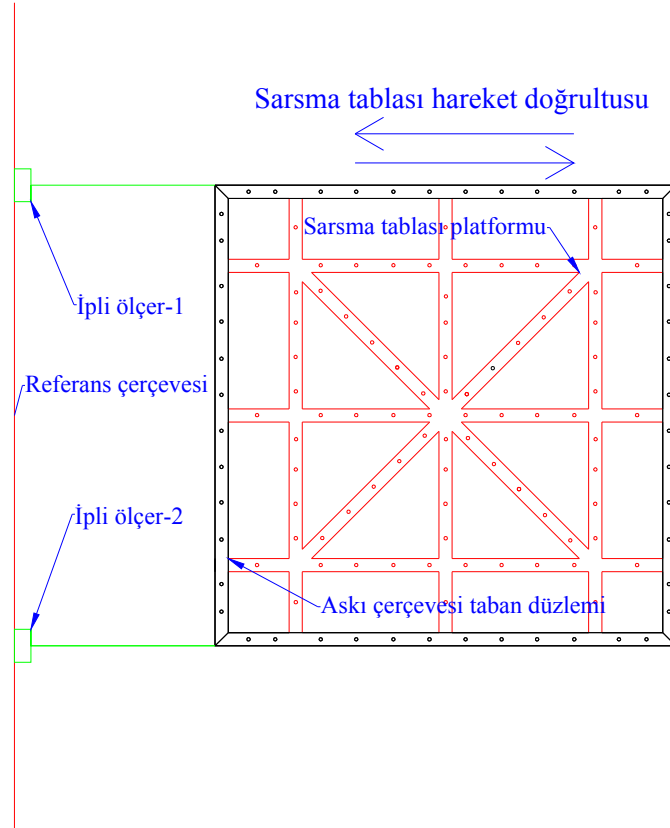
(b) İvme ölçer yerleşimi

Şekil 3.29(a) ve (b) İvme ölçer yerleşimi

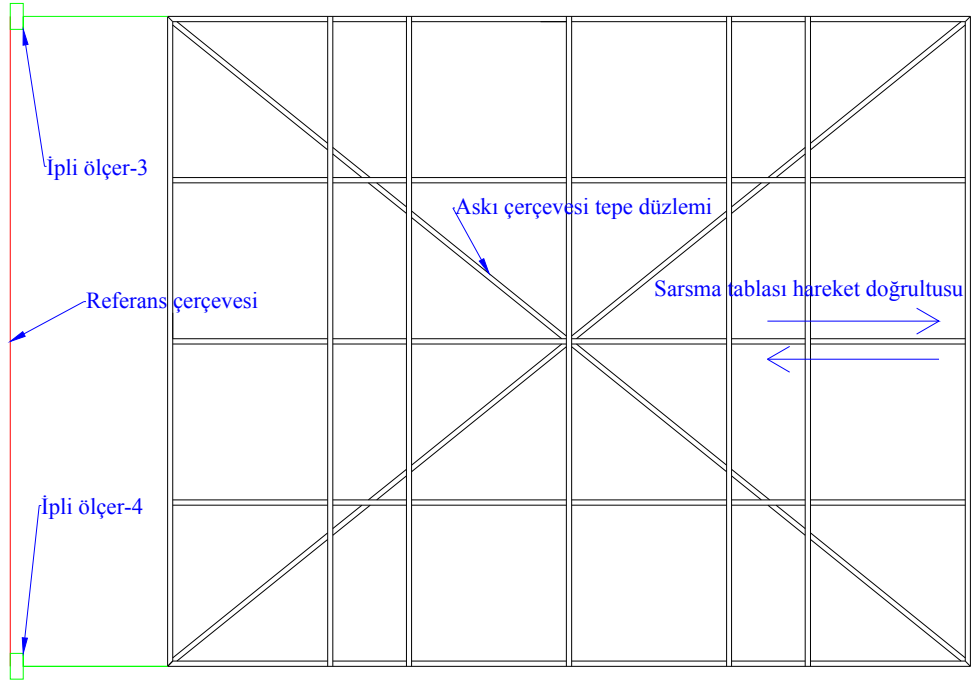
Askı çerçevesinin ve sarsma tablasının yatay hareketi hareket doğrultusunda yerleştirilen ipli ölçerler (string pot) vasıtasıyla takip edilmiştir. Sarsma tablasında ve askı çerçevesinde gerçekleşen deplasman unimeasure marka (P510 serisi) 1000 mm deplasman ölçüm yapabilme kapasitesine sahip ipli ölçerler ile kontrol edilmiştir (Şekil 3.30). Sarsma tablasına iliştirilen 1 ve 2 no'lu ipli ölçerler ile komut olarak gönderilen deplasman değeri takip edilmiştir (Şekil 3.31a). Askı çerçevesi tepe noktasına iliştirilen 3 ve 4 no'lu ipli ölçer ile de askı çerçevesi tepe noktasında sarsma tablasına komut olarak gönderilen deplasmana kıyasla ne kadarlık deplasman değerlerine ulaşıldığı takip edilmiştir (Şekil 3.31b). Şekil 3.32'de de ipli ölçerlerin yerleşim görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.30 Unimeasure marka deplasman ölçer

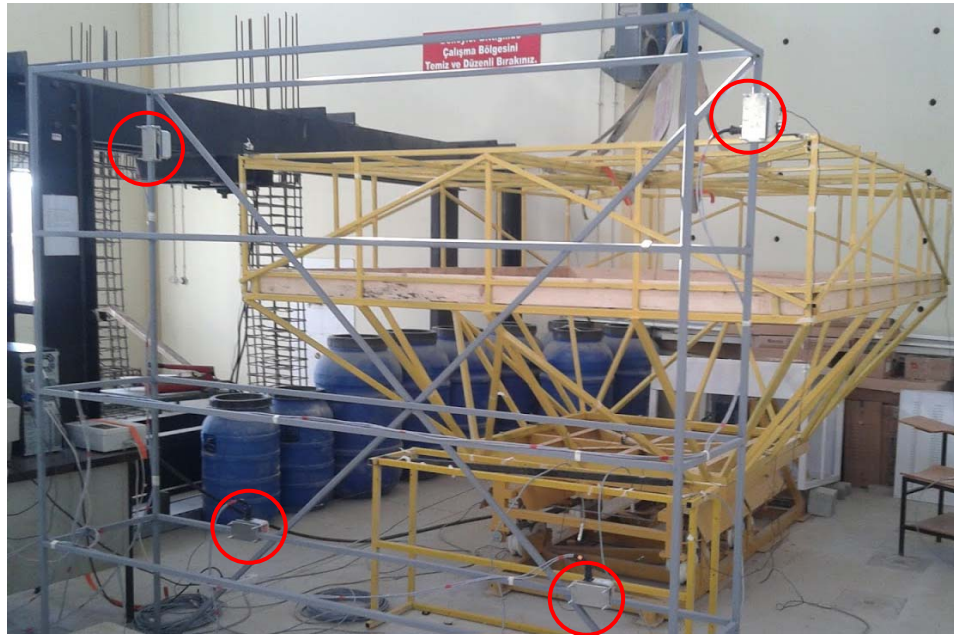


(a) Sarsma tablası düzlemi



(b) Asma çerçevesi tepe düzlemi

Şekil 3.3 İpli ölçer yerleşim planı (a) Sarsma tablası düzlemi, (b) Asma çerçevesi tepe düzlemi



(a) İpli ölçer yerleşimi





(b) İpli ölçer yerleşimi

Şekil 3.32 (a) ve (b) İpli ölçer yerleşimi

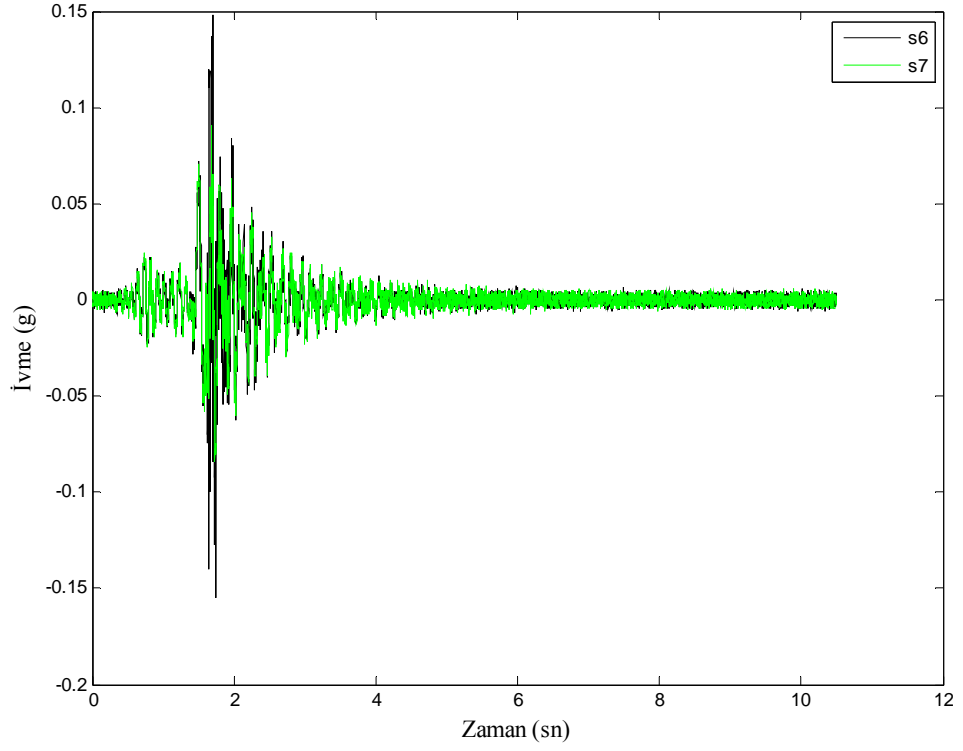
## **BÖLÜM DÖRT**

### **ASKI ÇERÇEVESİNİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ**

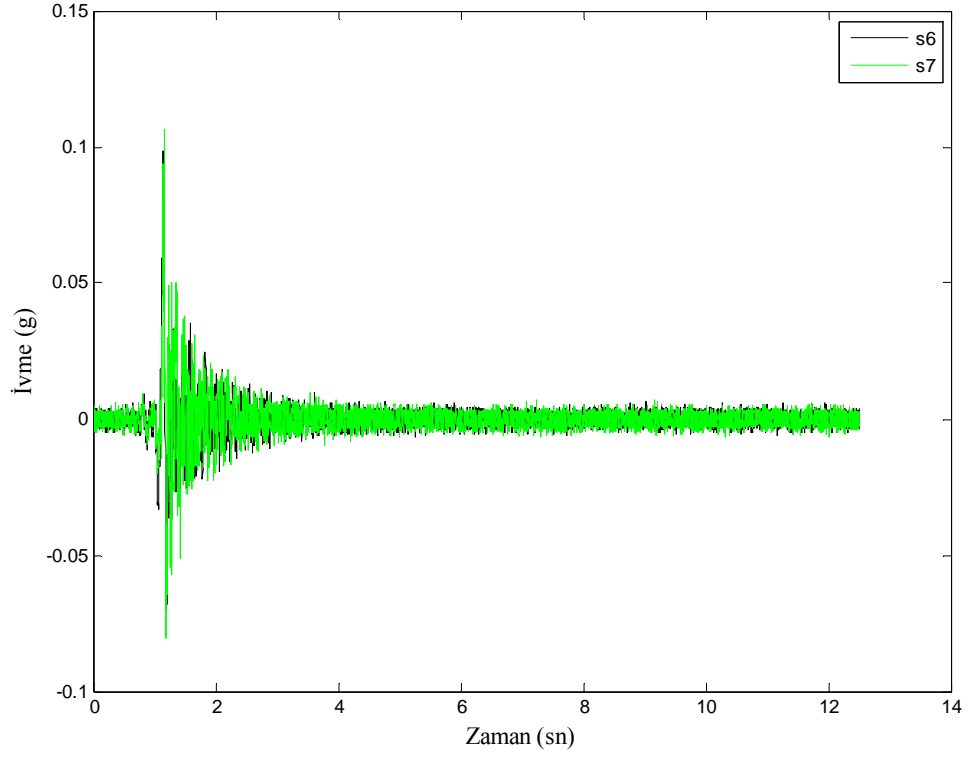
Askı çerçevesi ATS'leri gerçek sınır koşullarında test edebilmek için tasarlanmış çelik kafes bir sistemdir. ATS'lerin dinamik deneyleri esnasında gerçek davranışlarının anlaşılabilmesi için askı çerçevesinin dinamik özelliklerinin deney öncesinde bilinmesi, ATS'lerde askı çerçevesinden kaynaklanabilecek bir dinamik büyütme etkisini mümkün olduğunca azaltacaktır. Geçmişte yapılan çalışmalarda yapıların veya yapısal olmayan elemanların sarsma tablası testlerinde dinamik özelliklerinin belirlenebilmesi için birtakım yöntemler kullanılmıştır (Bracci ve diğerleri, 1992). Bu yöntemleri serbest titreşimli ve zorlanmış titreşimli dinamik test olarak ikiye ayırmak mümkündür. Serbest titreşimli dinamik test ani reaksiyon (snap-back) yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Zorlanmış titreşimli dinamik test ise rezonans taraması, beyaz gürültü (whitenoise), darbe testi (hammer) yöntemleri ile gerçekleştirilmek mümkündür. Laboratuarda mevcut olan sarsma tablası çalışma prensibinden dolayı zorlanmış titreşimli dinamik test yöntemlerini gerçekleştiremediğinden dolayı askı çerçevesinin dinamik özellikleri serbest titreşimli test yöntemi ile belirlenmiştir.

Askı çerçevesinin dinamik özelliklerinin belirlenmesi planda askı çerçevesinin kısa ve uzun doğrultularında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Serbest titreşimli dinamik test için askı çerçevesi sarsma tablasına bağlı durumda iken öncelikle kısa doğrultuda askı çerçevesinin tavan düzleminde kenarda yer alan profilin orta noktasından çekilip bırakılmıştır. Aynı işlem daha sonra uzun doğrultuda da tekrarlanmıştır. Askı çerçevesinin yapmış olduğu serbest salınım askı çerçevesi tavan düzlemine yerleştirilen ivmeölçerler ile kaydedilmiştir. Kaydedilen ivme değerleri kısa doğrultu ve uzun doğrultu için sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Kaydedilen ivme değerleri FFT (fast fourier transform) yöntemiyle zaman tanım alanından frekans tanım alanına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucu elde edilen grafikler kısa ve uzun doğrultu için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen grafikte oluşan pikler askı çerçevesinin doğal titreşim periyotlarını temsil etmektedir. Elde edilen bu piklerden kritik olan ilk pik değerleri askı çerçevesinin kısa ve uzun doğrultusu için sırasıyla 7,23 Hz ve 7,60 Hz olarak

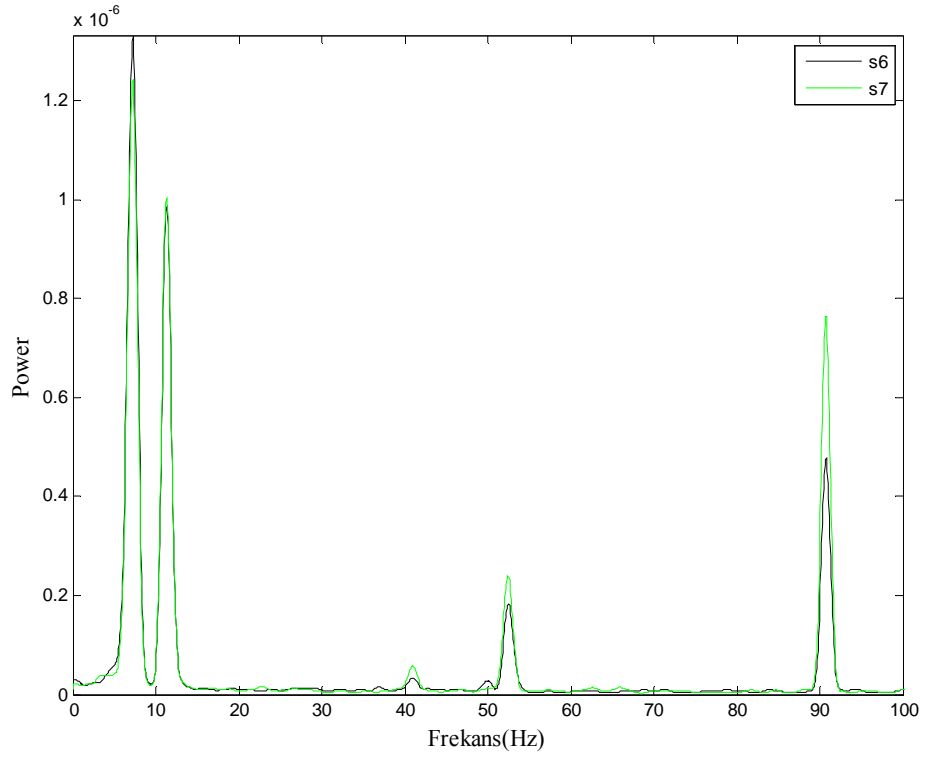
belirlenmiştir. Bu frekans değerleri laboratuarda mevcut olan sarsma tablasının çalışma limitlerinin (0,3 Hz – 3.0 Hz) dışında kalmasından dolayı askı çerçevesinin ATS'lerin dinamik performansına etkisinin olmadığını söylemek mümkündür.



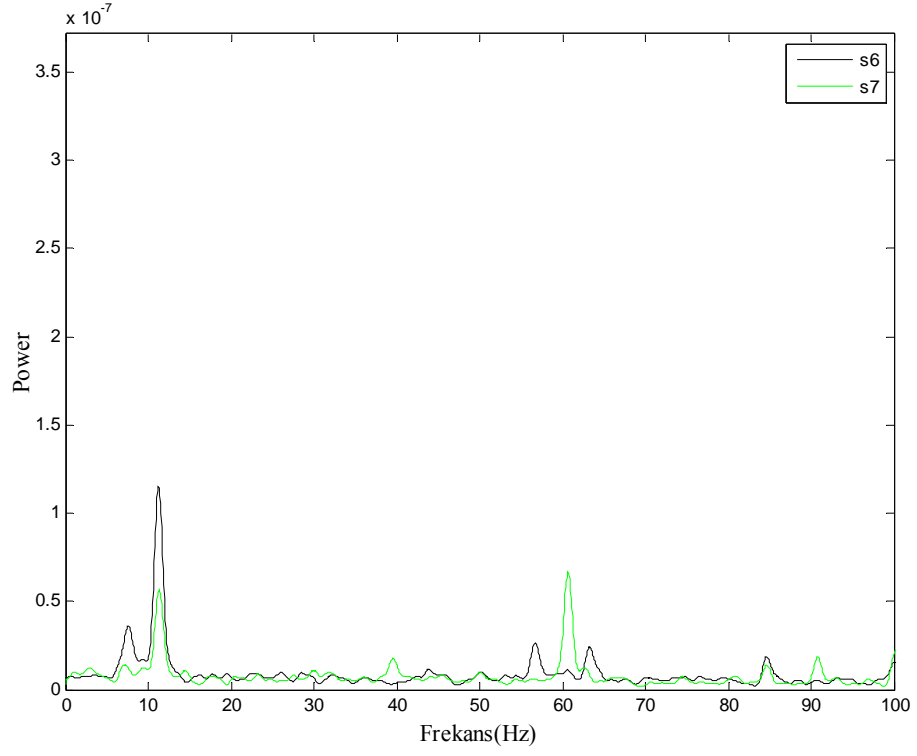
Şekil 4.1 Askı çerçevesi kısa doğrultudaki serbest titreşimi



Şekil 4.2 Askı çerçevesi uzun doğrultudaki serbest titreşimi



Şekil 4.3 Askı çerçevesi kısa doğrultudaki frekans değerleri



Şekil 4.4Askı çerçevesi uzun doğrultudaki frekans değerleri

## **BÖLÜM BEŞ**

### **YÜKLEME PROTOKOLÜ**

#### **5.1 Giriş**

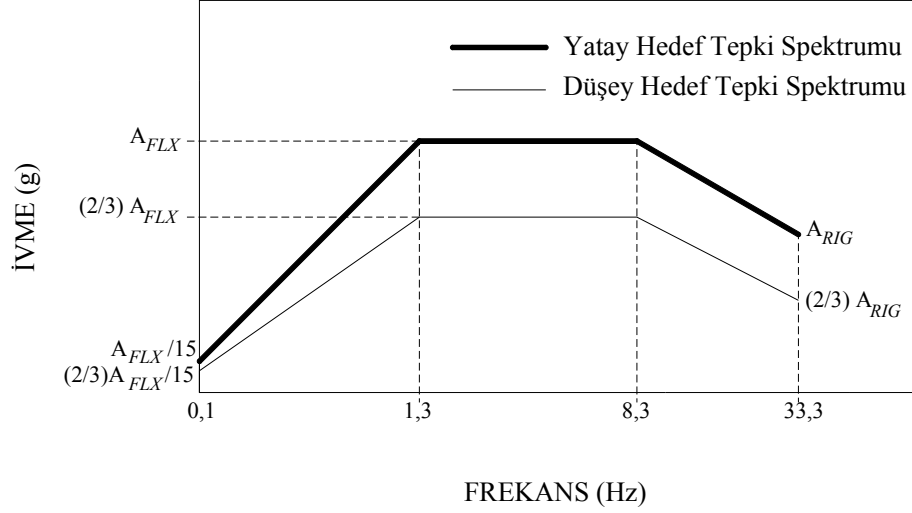
Yeni bina tasarım yönetmelikleri mekanik ve elektrik aksamlarının deprem performanslarının yeterliliğinin belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu yönetmelikler arasında IBC 2006 ve ASCE 7-05 sayılabilir. Yönetmeliklerde belirtilen şartlar, önemli binalar için bu aksamların fonksiyonel kalmasını zorunlu kılmaktadır. Bu şartlar üreticiler üzerinde çeşitli pratik zorunluluklar doğurmaktadır. Üreticiler yapısal olmayan aksamların deprem performansı açısından yönetmelik şartlarını sağladığını göstermekle yükümlüdür. Aksamların deprem kuvvetleri altında davranışlarının karakterize edilmesi ve yeterliliğinin gösterilmesi deneysel, analitik ve geçmiş depremlerden elde edilen deneyimin üretim detaylarına aktarılması ile mümkün olmaktadır.

Deprem performansı yeterliliğinin deneysel olarak belirlenmesi sarsma tablası (deprem simülatörü) deneyleri ile mümkündür. Deneylerde kullanılan yükleme protokolleri AC156, FEMA 461 ve IEEE 693 yönetmelikleri ile tarif edilmiştir.

#### **5.2 Yapısal Olmayan Elemanların Sarsma Tablası ile Sismik Sertifikasyon için Kabul Kriterleri (AC 156)**

AC 156 yönetmeliği yapısal olmayan bileşenlerin deprem yeterliliği kontrolü için en temel referanslardan biridir. Bu yönetmelik YOE'lerin sarsma tablası üzerinde gerçekleştirilen kabul testleri için minimum gereksinimleri oluşturmayı amaçlamaktadır. AC 156 yönetmeliğinde belirtilen dinamik yükleme protokolü yatay ve düşey yönde, 30 saniye uzunluğunda istasyonel olmayan (non-stationary) 1,3 Hz – 33,3 Hz arasında frekans içeriğine sahip rastgele tahrik fonksiyonu şeklindedir. Bu fonksiyon yatay ve düşey yön için ayrı olmak üzere Şekil 5.1'de görülen hedef tepki spektrumları içerisinde kalacak şekildedir. AC 156'ya göre bu tahrik fonksiyonu sarsma tablasına monte edilmiş deney numunesine yatay ve düşey yönde eş zamanlı (deprem hareketi gibi) uygulanabileceği gibi her üç ekseninde de ayrı ayrı

uygulanabilmesi mümkündür. Dolayısıyla DEÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan mevcut sarsma tablasının limitleri içerisinde AC 156 yönetmeliğine bağlı kalarak deneyleri gerçekleştirmek mümkün hale gelmektedir.



Şekil 5.1 Yatay ve düşey hedef tepki spektrumu

Burada,

$A_{FLX}$ : frekansı 16,67 Hz'den büyük olan YOE'ler için,

$A_{RIG}$ : frekansı 16,67 Hz'den küçük olan YOE'ler için tanımlanmış ivme değerleridir.

Bu ivme değerleri denklem (5.1) ve (5.2) de yer alan bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$A_{FLX} = S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right) \leq 1,6 S_{DS} \quad (5.1)$$

$$A_{RIG} = 0.4 S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right) \leq 1.2 S_{DS} \quad (5.2)$$

Burada,

$z$  : YOE'nin ilgili yapıda bulunduğu yüksekliğini,

$h$ : ilgili yapının yüksekliğini,

$S_{DS}$ : kısa periyot için tasarım spektral tepki ivmesini belirtmektedir.

$S_{DS}$  ifadesi denklem 5.3 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (5.3)$$

Burada,

$F_a$ : zemin katsayısı,

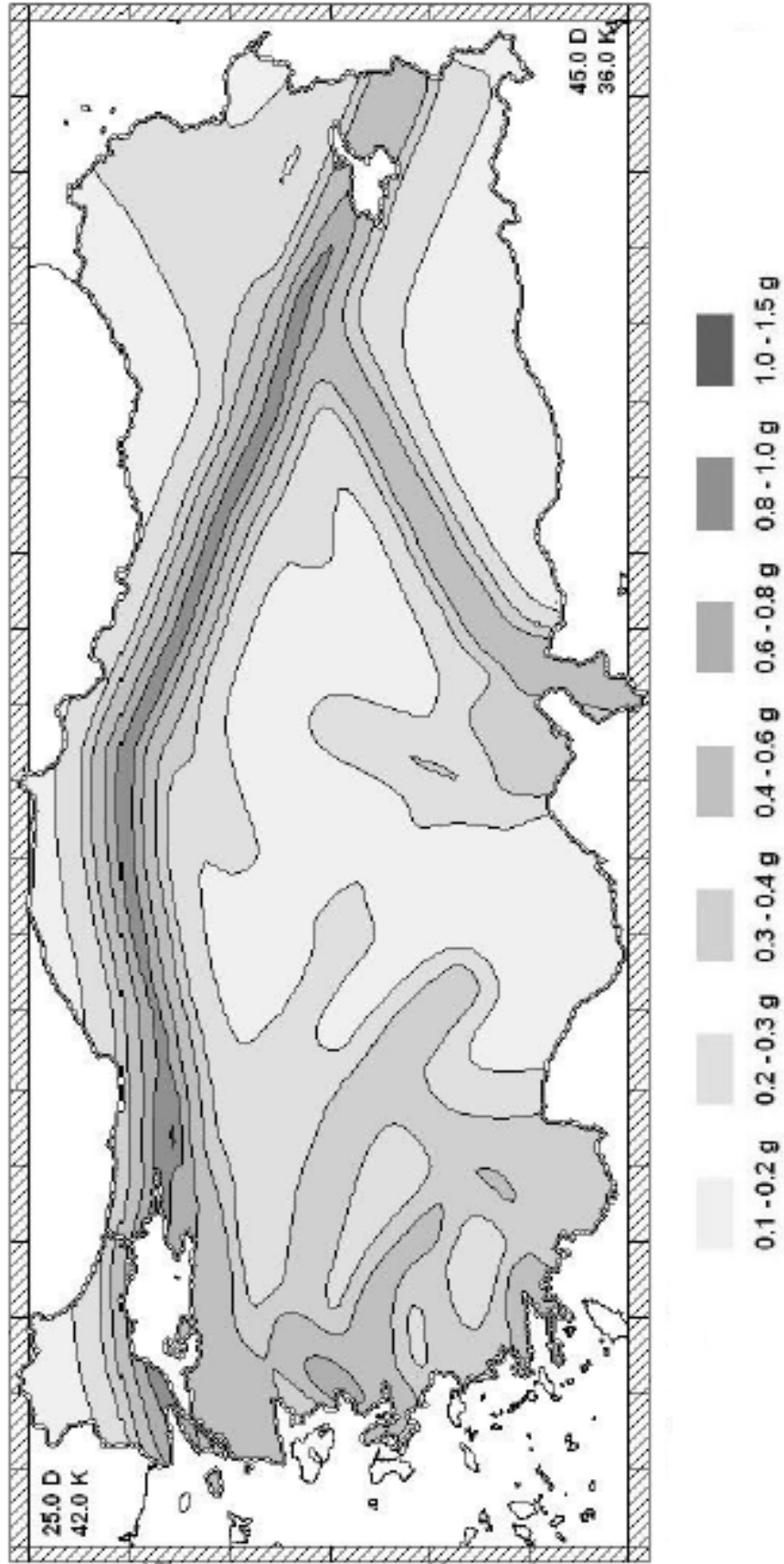
$S_s$ : kısa periyot için maksimum spektral deprem ivme değerini göstermektedir.

### 5.3 Ulusal Yönetmelikler

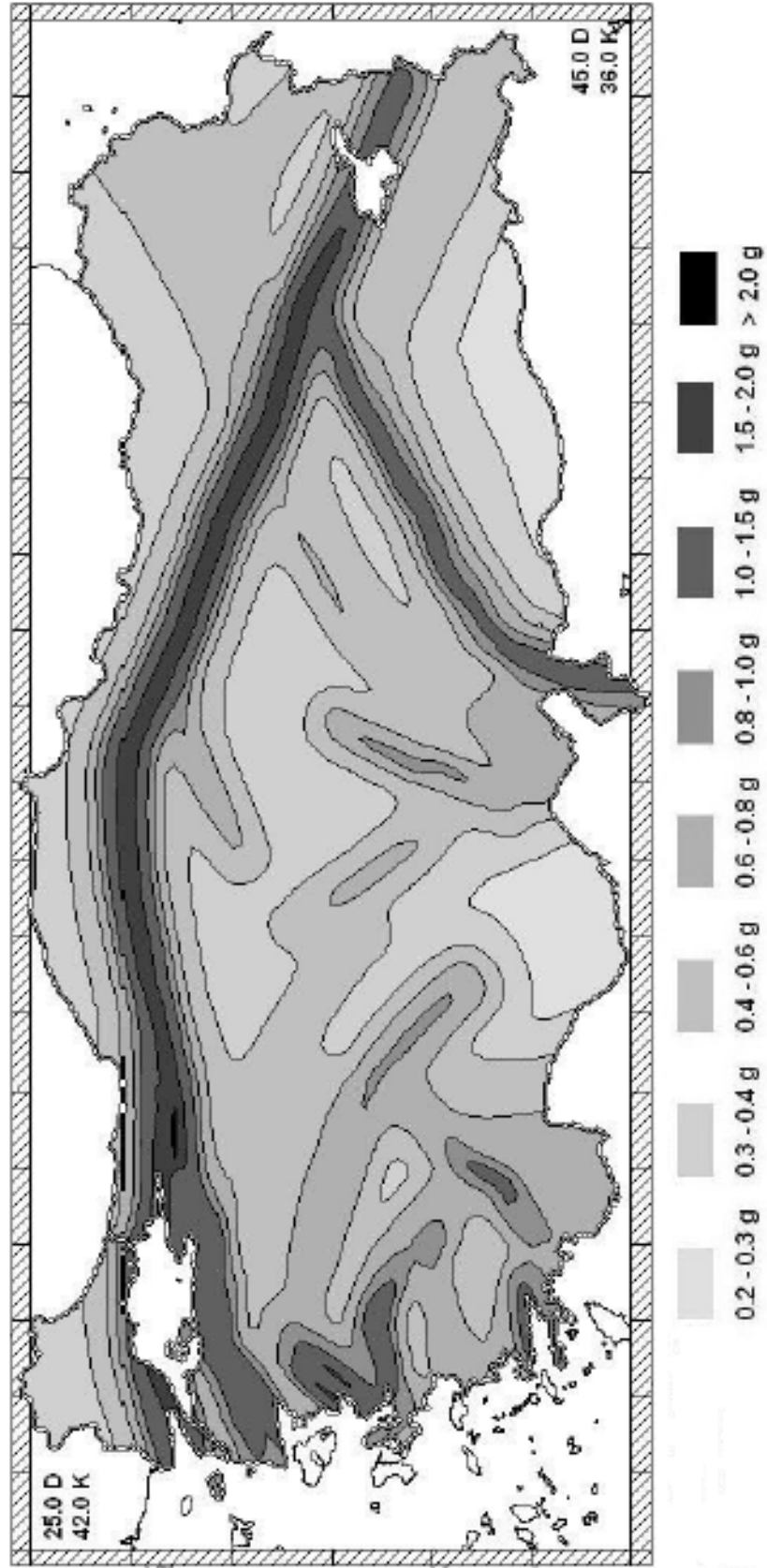
Ülkemizde YOE'lerin deprem analizi için yönetmelik çalışmaları uluslararası yönetmelikleri oldukça geriden takip etmektedir. YOE ve donanımlara gelecek deprem kuvvetlerinin hesabı ile ilgili ilk düzenlemeler 2007 tarihli Deprem Yönetmeliği ve 2008 tarihli İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğinde yer almaktadır. Deprem kuvvetlerinin hesabı için bu yönetmeliklerde tariflenen formüller aynı felsefeye dayanmaktadır ve bu açıdan uluslararası yönetmeliklerde aynı amaçla kullanılan formüller ile son derece benzer özelliklere sahiptir. Temel olarak YOE'lere uygulanacak eş değer deprem kuvvetleri YOE'nin kütleline, elemanın bulunduğu katın bir fonksiyonu olan dinamik büyütme katsayısına, binanın bulunduğu yerin sismik tehlikesine ve diğer bazı ampirik katsayılarla bağlı olarak hesaplanmaktadır. Deprem Yönetmeliği ve İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği performans esaslı bir tasarım yönetmeliği olduğu için farklı performans



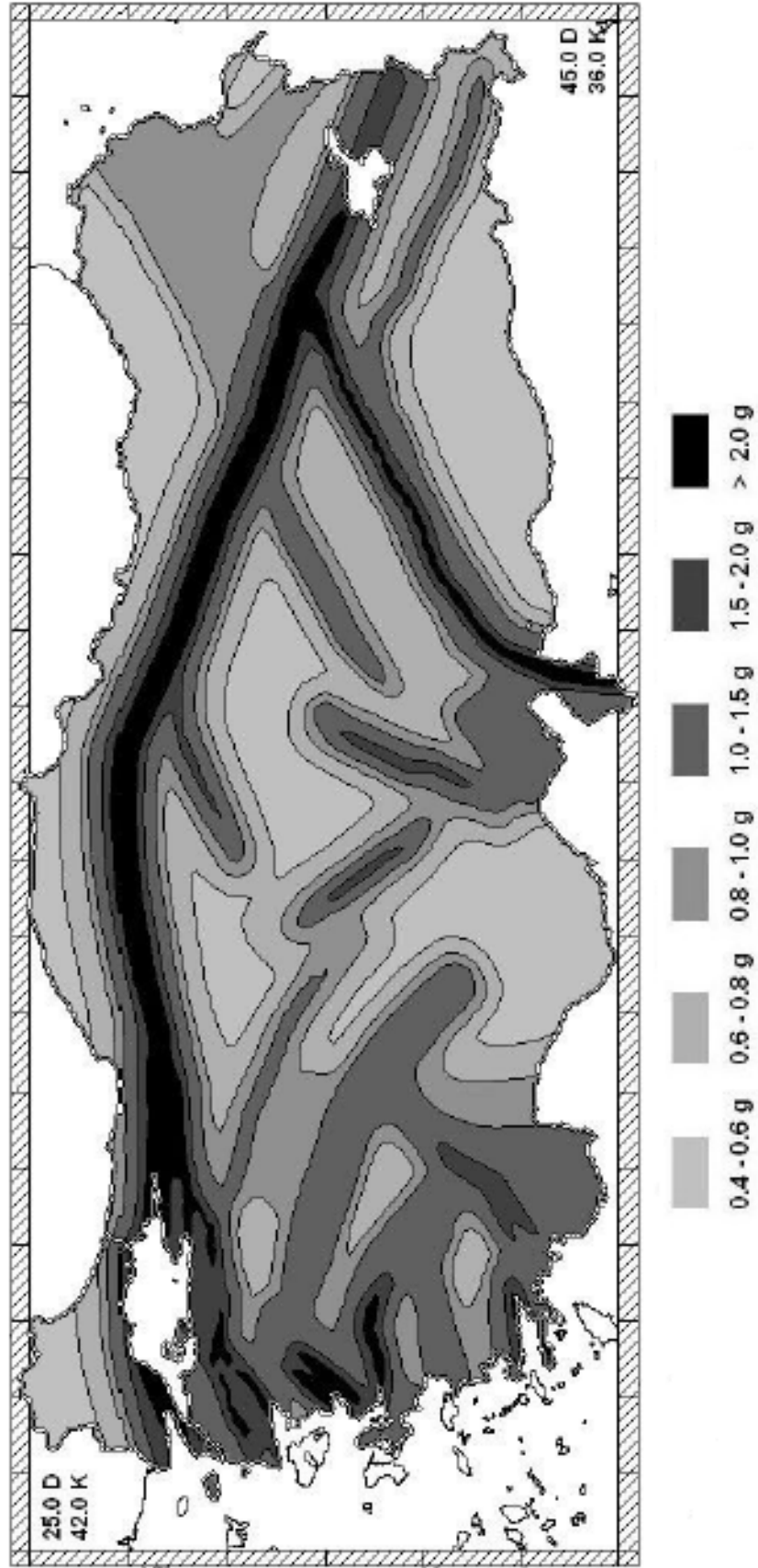
hedeflerine göre binanın tasarımında kullanılacak deprem düzeyleri ayrı ayrı tariflenmiştir. Bu deprem düzeyleri düşük şiddetliden yüksek şiddetli deprem düzeylerine doğru olmak üzere D1 (50 yılda aşılma olasılığı %50), D2 (50 yılda aşılma olasılığı %10) ve D3 (50 yılda aşılma olasılığı %2) şeklindedir. Bu depremlere karşılık gelen deprem tehlike haritaları Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Esasları (DLH Yönetmeliği, 2008) yönetmeliğinde tariflenmiştir (Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4).



Şekil 5.2 Kısa periyot için spektral ivme (g) – $S_s$  50 yılda %50 aşılma olasılığı



Şekil 5.3 Kısa periyot için spektral ivme (g) – $S_s$  50 yılda %10 aşılma olasılığı



Şekil 5.4 Kısa periyot için spektral ivme (g)–S<sub>s</sub> 50 yılda %2 aşılma olasılığı

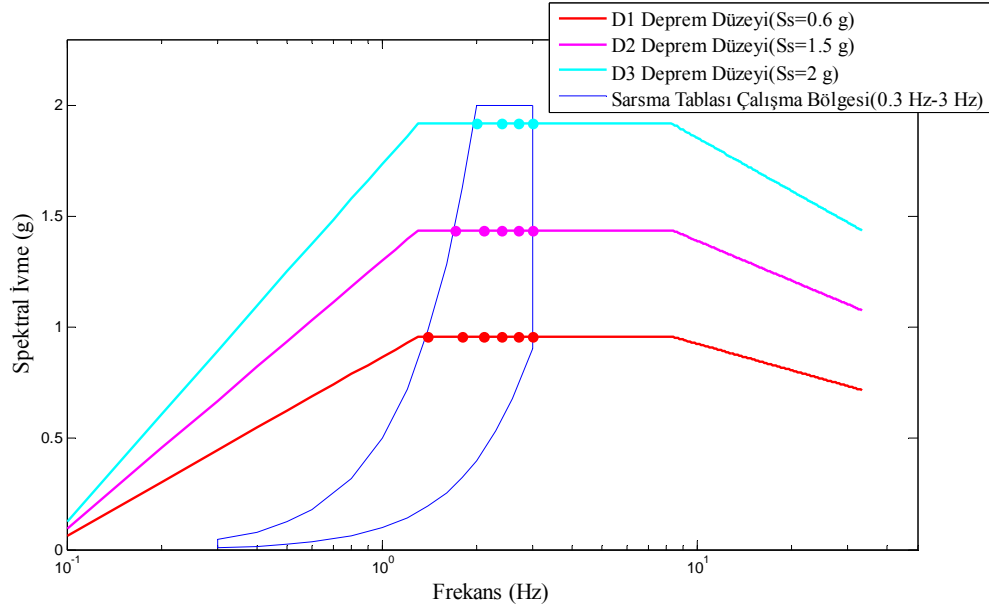
#### **5.4 DEÜ Yapı Mühendisliği Laboratuvarında Ulusal ve Uluslararası Yönetmelikler Dikkate Alınarak Yapılabilecek Test Protokolü**

Yukarıda bahsi geçen AC 156 yönetmeliğinde tariflenen yükleme protokolü ile DEÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan sarsma tablasının çalışma prensibi ve limitleri dikkate alınarak ATS'lerin deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılacak bir test protokolü oluşturulmuştur.

AC 156 yönetmeliğinde belirtilen %5 sönüm oranına karşılık gelen kısa periyot (0,2 sn) spektral ivme değeri İzmir ili sınırları içerisinde bir nokta için DLH Yönetmeliğinde tanımlanan deprem düzeyleri dikkate alınarak Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'te verilen deprem tehlike haritalarından; D1 deprem düzeyi için 0,6 g, D2 deprem düzeyi için 1,5 g, D3 deprem düzeyi için 2,0 g olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda İzmir ili için hakim olan E zemin sınıfı için kısa periyot zemin katsayıları ( $F_a$ ), DLH yönetmeliğinde verilen tablolardan D1 deprem düzeyi için 1,5, D2 deprem düzeyi için 0,9, D3 deprem düzeyi için 0,9 olarak enterpolasyon yolu ile hesaplanmıştır. Yerel zemin parametrelerinin belirlenmesinin ardından AC 156'da tanımlanan tasarım spektral tepki ivmesi denklem (5.3) ile, yatay eksen ordinat değerlerinden  $A_{FLX}$  denklem (5.1) ile,  $A_{RIG}$  denklem (5.2) ile Tablo 5.1'de belirtildiği şekilde elde edilmiştir.  $A_{FLX}$  ve  $A_{RIG}$  ifadelerinde yer alan  $z/h$  değeri YOE'lerin binanın hangi katında olduğuna bağlı olarak dinamik büyütme etkisini temsil etmektedir. Yapılan çalışmada ATS'lerin ilgili yapıda en üst katta bulunduğu varsayımı ile 1 alınmıştır. Şekil 5.5'te ise bu parametrelerin grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır. Ayrıca, aynı şekil üzerinde laboratuvarında mevcut olan sarsma tablasının operasyonel olduğu çalışma aralığı da gösterilmektedir (mavi eğrilerin sınırladığı bölge). Bu alan 0,3 Hz – 3 Hz arasında kalan ve tipik 2-10 katlı betonarme çerçeve sisteme sahip binaların baskın titreşim modlarının bulunduğu alan olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında ATS'lerin en büyük sismik talebi uygulayacak bölge konumundadır.

Tablo 5.1D1, D2 ve D3 depremlerine karşılık gelen yatay hedef tepki spektrumu parametreleri ( $z/h=1$ )

Deprem Düzeyi	$S_s$ (g)	$F_a$	$S_{ds}$ (g)	$A_{flx}$ (g)	$A_{rig}$ (g)	$A_{flx}/15$ (g)
D1	0,6	1,5	0,6	0,96	0,72	0,06
D2	1,5	0,9	0,9	1,44	1,08	0,10
D3	2,0	0,9	1,2	1,92	1,44	0,13



Şekil 5.5 D1, D2 ve D3 depremlerine karşılık gelen hedef ivme tepki spektrumu eğrileri ve sarsma tablası performans zarfı.

Şekil 5.5'te gösterilen D1, D2 ve D3 depremlerine karşılık gelen tepki spektrumları ATS'lere farklı şiddetlerde deprem kuvvetlerinin uygulanacağı spektrumları tariflemektedir. D1 en düşük ve D3 ise en büyük deprem taleplerinin ATS'lere uygulanacağı spektrumdur. Bu spektrumlar üzerinde plato bölgesine denk düşen noktalar farklı frekanslarda olan ancak aynı deprem talebine karşılık gelen noktalardır. AC 156 yönetmeliği dikkate alındığında D1, D2 ve D3 ivme spektrumları ve sarsma tablası limitlerinin kesiştiği noktalar sinüzoidal tarama tekniği ile sarsma tablası üzerine uygun sınır koşullarında yerleştirilen ATS'lere planda iki doğrultuda da ayrı ayrı uygulanmış ve ATS'lerin her iki yöndeki deprem performansı izlenmiştir. Burada kritik olan husus sinüzoidal taramaların döngü sayısıdır. Literatür araştırmaları ve araştırmacıların kendi deneyimleri dikkate alındığında döngü sayısının her bir frekans değeri için dört ile sınırlı tutulması uygun

görülmüştür. Şekil 5.5'ten her bir deprem düzeyi için plato bölgesine düşen noktadaki ivme değerleri Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4'de gösterildiği şekilde deplasman/frekans ikilileri şeklinde oluşturulmuştur.

Tablo 5.2D1 Deprem düzeyi

	<b>Deplasman (mm)</b>	<b>Frekans (Hz)</b>	<b>Sinüzoidal Tekrar Sayısı</b>	<b>İvme (g)</b>	<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>
<b>D1-1</b>	122	1,4	4	0,96	9,42
<b>D1-2</b>	74	1,8			
<b>D1-3</b>	54	2,1			
<b>D1-4</b>	41	2,4			
<b>D1-5</b>	33	2,7			
<b>D1-6</b>	27	3			

Tablo 5.3D2 Deprem düzeyi

	<b>Deplasman (mm)</b>	<b>Frekans (Hz)</b>	<b>Sinüzoidal Tekrar Sayısı</b>	<b>İvme (g)</b>	<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>
<b>D2-1</b>	124	1,7	4	1,44	14,13
<b>D2-2</b>	81	2,1			
<b>D2-3</b>	62	2,4			
<b>D2-4</b>	49	2,7			
<b>D2-5</b>	40	3			

Tablo 5.4D3 Deprem düzeyi

	<b>Deplasman (mm)</b>	<b>Frekans (Hz)</b>	<b>Sinüzoidal Tekrar Sayısı</b>	<b>İvme (g)</b>	<b>İvme (m/sn<sup>2</sup>)</b>
<b>D3-1</b>	119	2	4	1,92	18,84
<b>D3-2</b>	83	2,4			
<b>D3-3</b>	65	2,7			
<b>D3-4</b>	53	3			

Yukarıdaki tablolarda her bir satırda yer alan frekans/deplasman ikilileri ayrı ayrı olmak üzere ATS'lere bir yönde uygulanmıştır. Daha sonra askı çerçevesi 90<sup>0</sup> döndürülerek diğer yönde de aynı işlem uygulanmıştır.

## **BÖLÜM ALTI**

### **ASMA TAVAN KONFIGÜRASYONLARI VE DENEY GÖZLEMLERİ**

#### **6.1 Giriş**

Ülkemizde piyasada uygulanan ATS'lerin laboratuvar koşullarında tam ölçekli fiziksel modelleri oluşturularak depremi benzeştiren dinamik yükler altında dinamik testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dinamik deneylerde ATS'lerde: 1) Farklı taşıyıcı elemanlar (T24, özel gizli taşıyıcı) kullanılarak oluşturulan asma tavan sistemlerinin (oturmali sistem, gizli taşıyıcılı sistem) genel dinamik davranışı, 2) Farklı kalitedeki asma tavan malzemelerinin, ATS'lerin dinamik yükler altındaki performansına etkileri, 3) Farklı ağırlıktaki plaka türlerinin (çelik sac ve alçıpan) genel davranışa etkileri, 4) Ana taşıyıcı uç klipslerinin ATS'lerin dinamik davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu 4 değişkenin göz önünde bulundurulduğu toplam 9 farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Her bir konfigürasyon için Bölüm 5.4'de tanımlanan yükleme protokolü uygulanmıştır. Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4'de (D1, D2 ve D3 deprem düzeyi noktaları) her bir satırda belirtilen frekans/deplasman ikilileri her iki yönde de ayrı ayrı uygulanmıştır. Gerçekleştirilen her bir test sonrası taşıyıcı sistem elemanları, kenar profilleri, askı elemanları ve plakalar kontrol edilmiştir. Kontrol esnasında bileşenlerde eğer herhangi hasar tespit edildiyse (kenar profilinin eğilmesi, taşıyıcı bileşenlerin eğilmesi ve burkulması) bir sonraki test sonuçlarını etkilememesi için bu bileşenler yenisiyle değiştirilmiştir.

#### **6.2 Asma Tavan Konfigürasyonları**

Bu kısımda her bir konfigürasyonda taşıyıcı sistem ve işçilik kalitesi dikkate alınarak taşıyıcı sistemde, plaka malzemesinde ve askı telinde ne tür malzemeler kullanıldığı belirtilmiştir. Dinamik deneyler konfigürasyon numarası dikkate alınarak sıra ile gerçekleştirilmiştir. Konfigürasyon 1 ve 2'de 2 adet ana taşıyıcı kullanılmıştır. Bölüm 3.3.1.3'de belirtilen nedenden dolayı ana taşıyıcı sayısında değişikliğe gidilerek konfigürasyon 2 tek ana taşıyıcı ile tekrar edilmiş ve bundan sonra yapılacak testlerde tek ana taşıyıcı ile devam edilmesine karar verilmiştir. Her bir konfigürasyon aşağıda belirtilen şu özelliklere sahiptir.



### **6.2.1 Konfigürasyon 1**

Konfigürasyon 1’de taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak alçı plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Şekil 6.1’de konfigürasyon 1’in deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



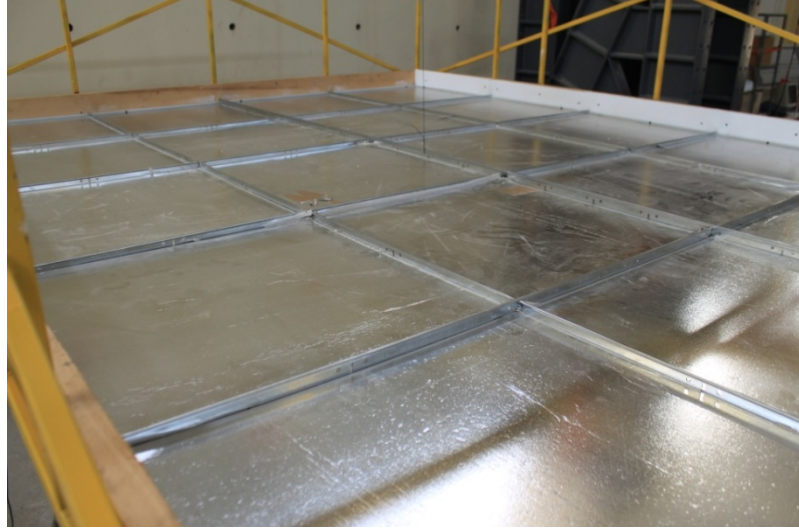
Şekil 6.1 Konfigürasyon 1 deney öncesi görünümü

### **6.2.2 Konfigürasyon 2**

Konfigürasyon 2’de taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak alçı plaka, askı teli olarak inşaat teli kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için düşük kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Düşük kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi düşük tutulmuştur. Bu konfigürasyonda öncelikle Şekil 6.2’de görüldüğü gibi 2 ana taşıyıcı kullanılmıştır. Daha sonrasında Şekil 6.3’de görüldüğü gibi ana taşıyıcı 1’e düşürülerek testlere bu şekilde devam edilmiştir. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 1 kıyaslanarak, alçı plakalı oturmali sistemlerde farklı kalitedeki asma tavan malzemelerinin, ATS’lerin dinamik performansına etkileri araştırılmıştır.



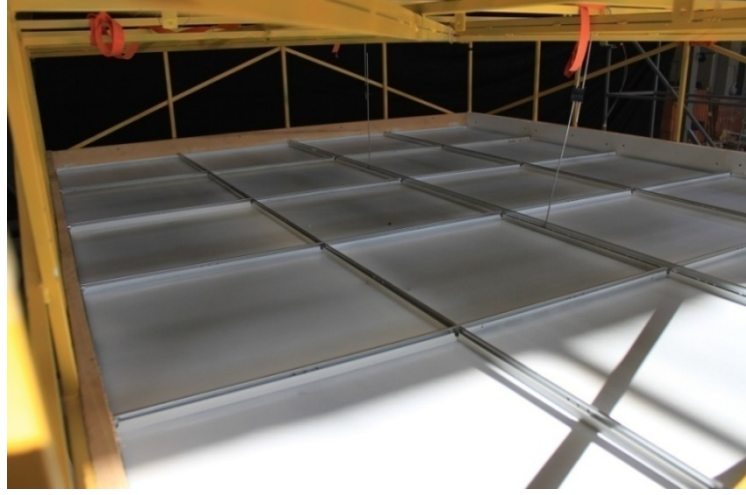
Şekil 6.2 Konfigürasyon 2-2 ana taşıyıcılı deney öncesi görünümü



Şekil 6.3 Konfigürasyon 2-1 ana taşıyıcılı deney öncesi görünümü

### **6.2.3 Konfigürasyon 3**

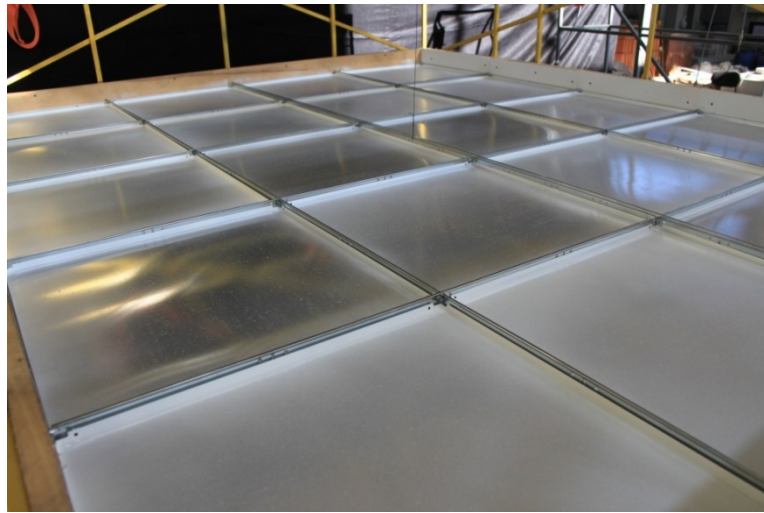
Konfigürasyon 3'te taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 1 karşılaştırılarak T24 taşıyıcı sisteminde farklı ağırlıktaki plakaların genel davranışa etkisi incelenmiştir. Şekil 6.4'de konfigürasyon 3'ün deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Konfigürasyon 3 deney öncesi görünümü

#### 6.2.4 Konfigürasyon 4

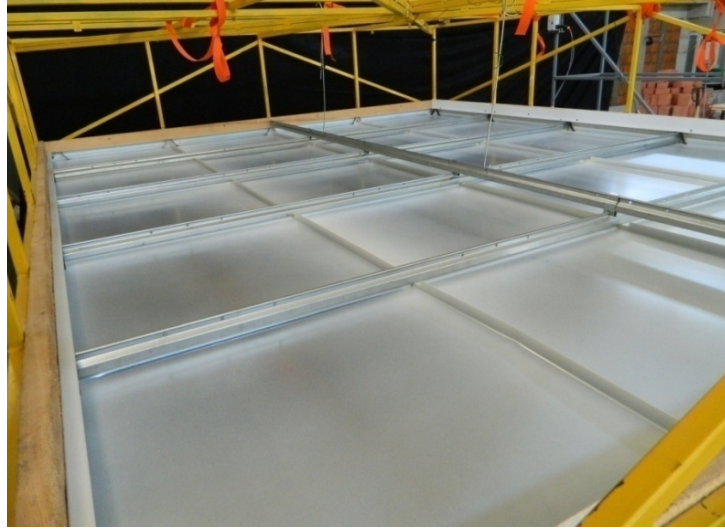
Konfigürasyon 4'te taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak inşaat teli kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için düşük kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Düşük kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi düşük tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 3 kıyaslanarak sac plakalı oturmali sistemlerde farklı kalitedeki asma tavan malzemelerinin, ATS'lerin dinamik performansına etkileri araştırılmıştır. Şekil 6.5'de konfigürasyon 4'ün deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Konfigürasyon 4 deney öncesi görünümü

### 6.2.5 Konfigürasyon 5

Konfigürasyon 5'te taşıyıcı sistem olarak özel gizli taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 3 ve konfigürasyon 1 karşılaştırılarak farklı tür taşıyıcıların dinamik davranışları karşılaştırma yoluyla incelenmiştir. Aynı zamanda aynı tür plakaların (sac plaka) farklı tür taşıyıcı sistemlerdeki (T24 ve özel gizli taşıyıcı) davranışları karşılaştırılarak incelenmiştir. Şekil 6.6'da konfigürasyon 5'in deney öncesi görünümü gösterilmiştir.

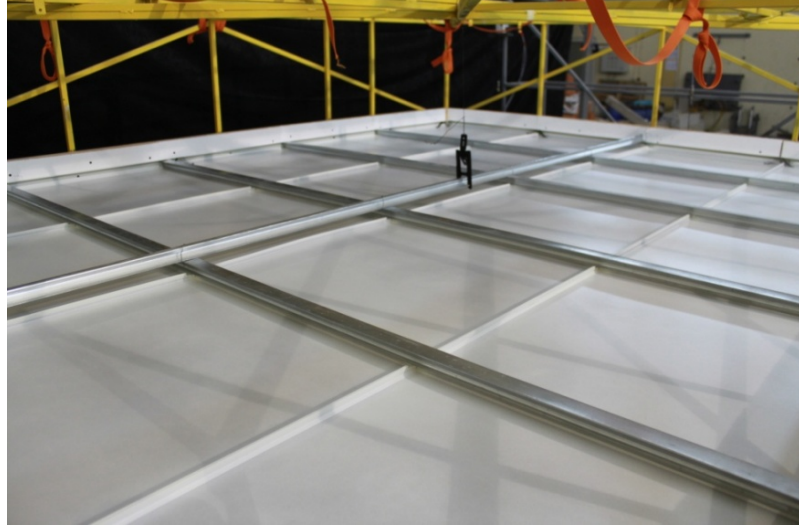


Şekil 6.6 Konfigürasyon 5 deney öncesi görünümü

### 6.2.6 Konfigürasyon 6

Konfigürasyon 6'da taşıyıcı sistem olarak özel gizli taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak inşaat teli kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için düşük kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Düşük kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi düşük tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 5 kıyaslanarak sac plakalı gizli taşıyıcılı sistemlerde farklı kalitedeki asma tavan malzemelerinin, ATS'lerin dinamik performansına

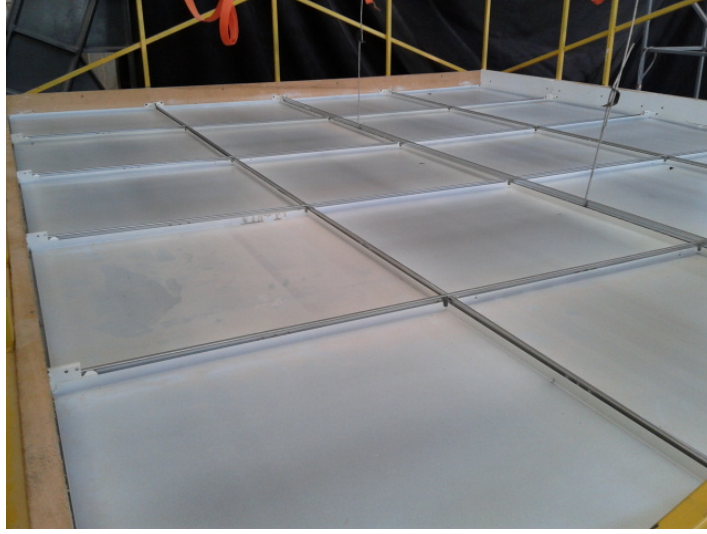
etkileri araştırılmıştır. Şekil 6.7’de konfigürasyon 6’nın deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Konfigürasyon 6 deney öncesi görünümü

### **6.2.7 Konfigürasyon 7**

Konfigürasyon 7’de taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel ve ana taşıyıcı uç klipsi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 3 karşılaştırılarak, ana taşıyıcı uç klipslerin T24 taşıyıcılı, sac plakalı ATS’lerin dinamik davranışına etkileri incelenmiştir. Şekil 6.8’de konfigürasyon 7’nin deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



(a)

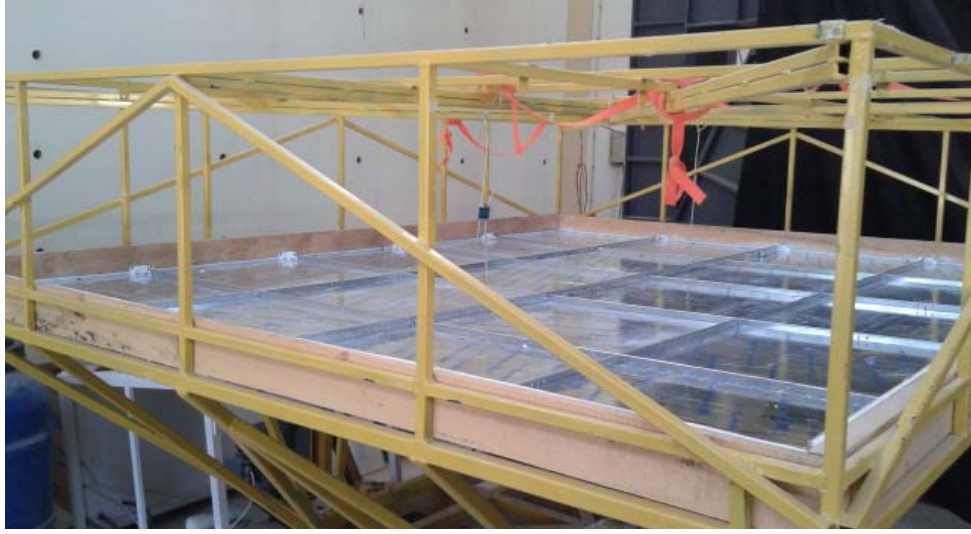


(b)

Şekil 6.8 (a) ve (b) Konfigürasyon 7 deney öncesi görünümü

### **6.2.8 Konfigürasyon 8**

Konfigürasyon 8’de taşıyıcı sistem olarak T24 taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak alçı plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 1 karşılaştırılarak ana taşıyıcı uç klipslerin T24 taşıyıcılı, alçı plakalı ATS’lerin dinamik davranışına etkileri incelenmiştir. Şekil 6.9’da konfigürasyon 8’in deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



(a)



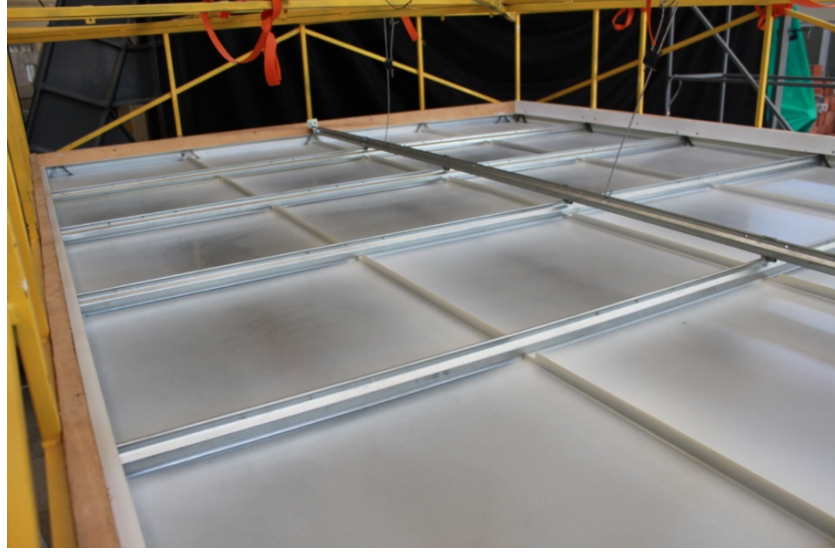
(b)

Şekil 6.9 (a) ve (b) Konfigürasyon 8 deney öncesi görünümü

### 6.2.9 Konfigürasyon 9

Konfigürasyon 9’da taşıyıcı sistem olarak özel gizli taşıyıcı sistemi, plaka malzemesi olarak sac plaka, askı teli olarak 4 mm kalınlıklı galvanizli çelik tel kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem ve plaka malzemesi için yüksek kaliteli malzemeler kullanılmıştır. Yüksek kaliteli malzemeler kullanılmasından dolayı da işçilik kalitesi yüksek tutulmuştur. Bu konfigürasyon ile konfigürasyon 5 karşılaştırılarak ana taşıyıcı uç klipslerin özel gizli taşıyıcılı, sac plakalı ATS’lerin dinamik davranışına

etkileri incelenmiştir. Şekil 6.10’da konfigürasyon 9’un deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.10(a) ve (b) Konfigürasyon 9 deney öncesi görünümü



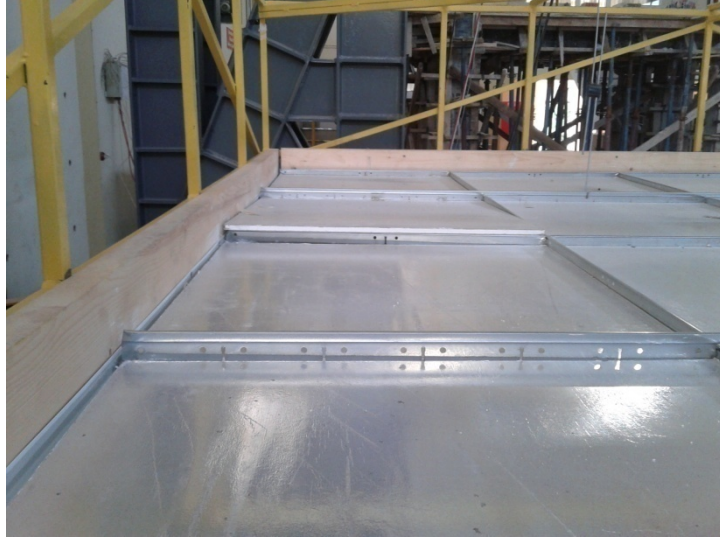
### 6.3 Deney Gözlemleri

Yukarıda bahsedilen her bir asma tavan konfigurasyonu Bölüm 5.4’de tanımlanan yükleme protokolüne maruz bırakılmıştır. Dinamik deneyler planda deprem hareketi ana taşıyıcıya paralel ve ana taşıyıcıya dik olacak şekilde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında gerçekleşen hasarlar her bir konfigurasyon için aşağıda belirtiliği şekilde tespit edilmiştir.

#### 6.3.1 Konfigurasyon 1

##### 6.3.1.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ATPYD)

1. konfigurasyonda ana taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasar yalnızca yüksek şiddetli (D3) deprem düzeyinde D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasında plakanın yerinden oynaması şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 Konfigurasyon 1 ATPYD D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

### 6.3.1.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD)

1. konfigürasyonda ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde ise herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır. Bunun sebebi olarak montaj esnasında ana taşıyıcıya paralel kenarda L kenar profili ile plaka arasında kalan boşluk ilave tali taşıyıcıların eklenmesiyle bu doğrultudaki dayanımı artırıcı etkisi gösterilebilir.

### 6.3.2 Konfigürasyon 2

#### 6.3.2.1 İki Ana Taşıyıcı Sistem

6.3.2.1.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ATPYD.2. konfigürasyonda iki ana taşıyıcılı durumda ana taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar orta şiddetli (D2) ve yüksek şiddetli (D3) deprem düzeylerinde gerçekleşmiştir. Orta şiddetli deprem düzeyinde oluşan hasar D2-3 (1,44 g / 2,4 Hz) noktasında 1 adet plakanın yere düşmesi şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.12).



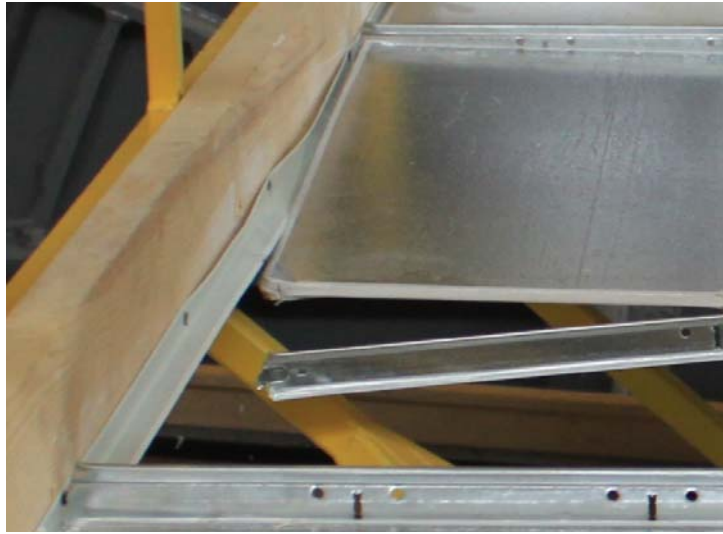
Şekil 6.12 Konfigürasyon 2-1 ATPYD D2-3 (1,44 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasında deprem hareketine dik doğrultuda yer alan kenar L profilinde 60 cm'lik tali taşıyıcının bastığı bölgede ezilme ve 60 cm'lik tali taşıyıcıda L kenar profilinden sıyrılmaya

gerçekleşmiştir. Bu durum 1 adet plakanın yere düşmesine neden olmuştur (Şekil 6.13).



(a)



(b)

Şekil 6.13 Konfigürasyon 2-1 ATPYD (a) ve (b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

*6.3.2.1.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD.2. konfigürasyonda iki ana taşıyıcı durumunda ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar orta şiddetli (D2) ve yüksek şiddetli (D3) deprem düzeylerinde gerçekleşmiştir. Orta şiddetli deprem düzeyinde D2-2 (1,44 g /2,1 Hz), D2-3 (1,44 g /2,4 Hz), D2-4 (1,44 g /2,7 Hz), D2-5 (1,44 g /3,0 Hz) noktalarının tümünde ortak olarak deprem*

hareketine dik doğrultuda yer alan kenar L profilinde 60 cm'lik tali taşıyıcıların bastığı bölgelerde ezilme ve 60 cm'lik tali taşıyıcılarda L kenar profilinden bir miktar sıyrıлма şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.14).



(a)

(b)

Şekil 6.14 Konfigürasyon 2-1 ATDYD (a) ve (b) D2-2 (1,44 g / 2,1 Hz), D2-3 (1,44 g / 2,4 Hz), D2-4 (1,44 g / 2,7 Hz), D2-5 (1,44 g / 3,0 Hz) hasar görünümü

Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) ve D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktalarında plakalar kenar profili ile taşıyıcı arasında sıkışmıştır (Şekil 6.15). D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) noktasında ise sistem toptan göçmeye uğramıştır (Şekil 6.16).



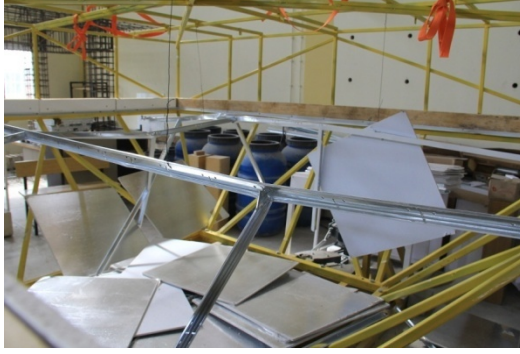
(a)

(b)

Şekil 6.15 Konfigürasyon 2-1 ATDYD (a) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) (b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.16 Konfigürasyon 2-1 ATDYD (a), (b) ve (c) D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü

### 6.3.2.2 Tek Ana Taşıyıcılı Sistem

6.3.2.2.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ATPYD).2. konfigürasyonda tek ana taşıyıcılı durumda ana taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar orta şiddetli (D2) ve yüksek şiddetli (D3) deprem düzeylerinde gerçekleşmiştir. Orta şiddetli deprem düzeyinde D2-4 (1,44 g / 2,7 Hz) ve D2-5 (1,44 g / 3,0 Hz) noktalarında deprem hareketi doğrultusundaki L kenar profiline basan 2 adet 60 cm'lik tali taşıyıcı L kenar profilinden sıyrılmıştır ve bu durum 2 adet plakanın yerinden oynamasına neden olmuştur (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 Konfigürasyon 2-2 ATPYD (a) ve (b) D2-4 (1,44 g / 2,7 Hz), D2-5 (1,44 g / 3,0 Hz) hasar görünümü

Yüksek şiddetli deprem düzeyinde, D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) noktasında orta şiddetli deprem düzeyinde gerçekleşen hasar benzer hasarlar daha da büyük ölçeklerde gelişmiştir. L kenar profiline basan 2 adet 60 cm'lik tali taşıyıcı L kenar profilinden sıyrılmıştır ve 2 adet plaka daha belirgin bir şekilde yerinden oynamıştır (Şekil 6.18). D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasında ise sistem toptan göçmeye uğramıştır (Şekil 6.19).



Şekil 6.18 Konfigürasyon 2-2 ATPYD (a) ve (b) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) hasar görünümü



(a)



(b)



(c)



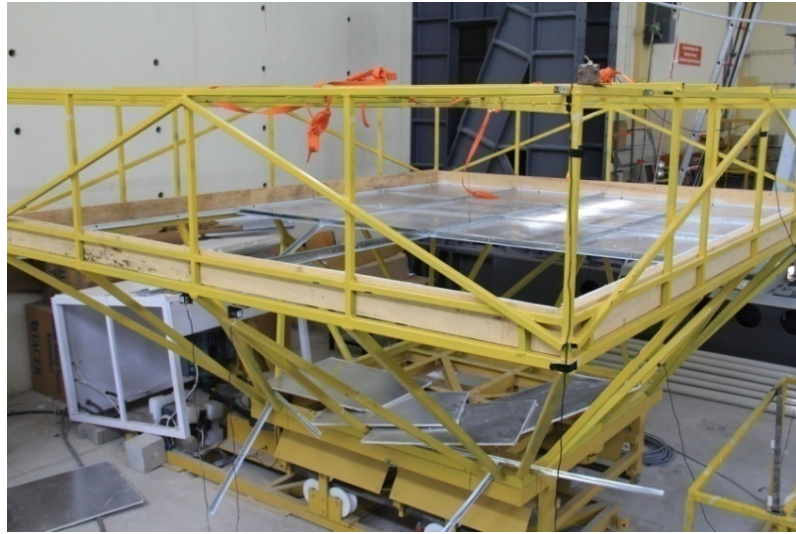
(d)

Şekil 6.19 Konfigürasyon 2-2 ATPYD (a), (b), (c) ve (d) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

6.3.2.2.2 *Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD)*.2. konfigürasyonda tek ana taşıyıcılı durumda ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar düşük şiddetli (D1) ve orta şiddetli (D2) deprem düzeylerinde gerçekleşmiştir. Düşük şiddetli deprem düzeyinde D1-5 (0,96 g / 3,0 Hz) noktasında deprem hareketine dik doğrultuda yer alan kenar L profilinde 60 cm'lik tali taşıyıcıların bastığı bölgelerde ezilme gerçekleşmiştir (Şekil 6.20). D2-1 (1,44 g / 1,7 Hz) noktasında ise sistem toptan göçmeye uğramıştır (Şekil 6.21).



Şekil 6.20 Konfigürasyon 2-2 ATDYD D1-5 (0,96 g / 3,0 Hz) hasar görünümü



Şekil 6.21 Konfigürasyon 2-2 ATDYD D2-1 (1,44 g / 1,7 Hz) hasar görünümü

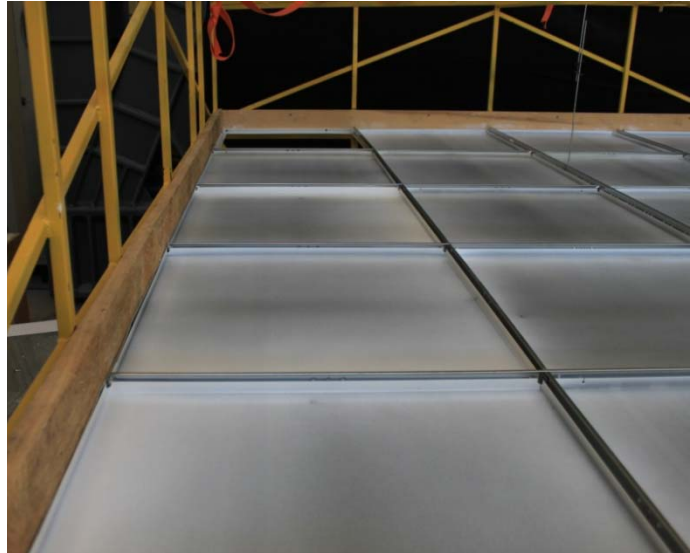


T24 taşıyıcılı sistemde alçı plaka kullanılarak gerçekleştirilen konfigürasyon 1 ve konfigürasyon 2 deneyleri sonucunda yapılan gözlemlerden, planda zayıf doğrultunun ana taşıyıcıya dik yön olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı sac plaka kullanılarak gerçekleştirilen konfigürasyon 3 ve konfigürasyon 4 deneyleri yalnızca ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilmiştir.

### 6.3.3 Konfigürasyon 3

#### 6.3.3.1 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD)

3. konfigürasyonda ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar yüksek şiddetli (D3) deprem düzeyinde gerçekleşmiştir. Yüksek şiddetli deprem düzeyinde ilk olarak D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz) noktasında plakalar oturdukları grid içerisinde bir miktar hareket etmiştir. D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasındaki deneyde ise bu hareketler daha büyük seviyelere çıkmıştır ancak yine plaka düşmesi gerçekleşmemiştir. D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) noktasındaki deneyde plakaların grid içerisindeki hareketleri artmış ve köşe bölgede yer alan 1 adet plaka yere düşmüştür (Şekil 6.22). D3-4 (1,92 g / 3,0 Hz) adımıdaki deneyde ise herhangi bir hasar oluşmamıştır.

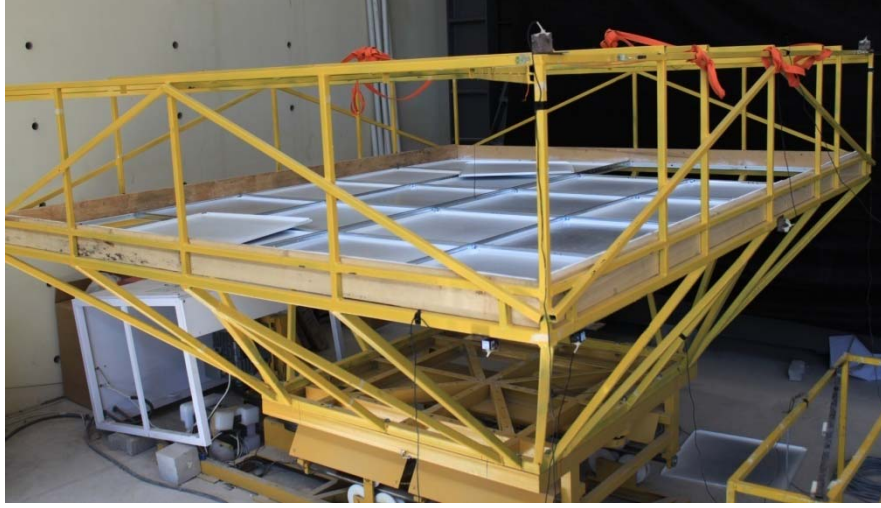


Şekil 6.22 Konfigürasyon 3 ATDYD D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü

### 6.3.4 Konfigürasyon 4

#### 6.3.4.1 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD)

4. konfigürasyonda ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar yüksek şiddetli deprem düzeyinde (D3) gerçekleşmiştir. Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasında 3 adet plakanın yere düşmesi şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.23). D3-4 (1,92 g / 3,0 Hz) noktasında ise sistem toptan göçmeye uğramıştır.



Şekil 6.23 Konfigürasyon 4 ATDYD D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

### 6.3.5 Konfigürasyon 5

#### 6.3.5.1 Üst Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ÜTPYD)

5. konfigürasyonda üst taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar yüksek şiddetli (D3) deprem düzeyinde gerçekleşmiştir. Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) noktasında 1 adet plakada sıkıştırıldığı yerden sıyrılmaya gerçekleşmiştir (Şekil 6.24).



(a)

(b)

Şekil 6.24 Konfigürasyon 5 ÜTPYD (a) ve (b) D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) hasar görünümü

Bir diğer gerçekleşen hasar tipi ise yüksek şiddetli deprem düzeyinde tüm noktalarda (D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz), D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz), D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) ve D3-4 (1,92 g / 3,0 Hz)) üstte bulunan taşıyıcı doğrultudan bir miktar kaymıştır (Şekil 6.25).



(a)

(b)

Şekil 6.25 Konfigürasyon 5 ÜTPYD (a) ve (b) D3-1 (1,92 g / 2,0 Hz), D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz), D3-3 (1,92 g / 2,7 Hz) ve D3-4 (1,92 g / 3,0 Hz) hasar görünümü

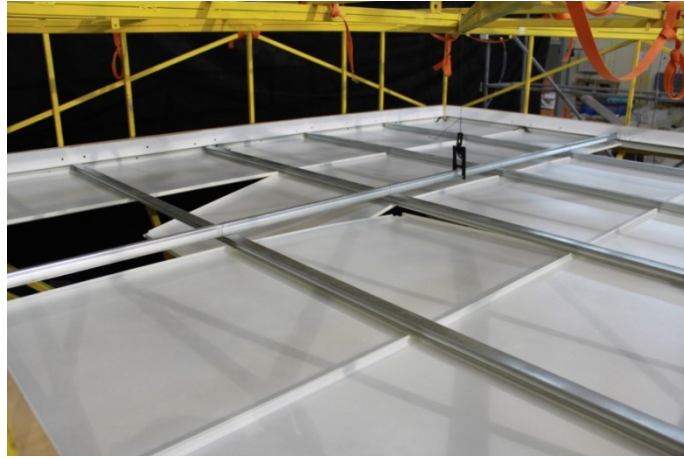
### 6.3.5.2 Üst Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ÜTDYD)

5. konfigürasyonda üst taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde ise herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır. Bunun nedeni olarak üst taşıyıcı yönünde gerçekleştirilen testlerde bu yöndeki dayanımı üstte bulunan 1 adet taşıyıcı sağlarken, üst taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde dayanımı altta bulunan 4 adet taşıyıcı sağlaması gösterilebilir.

### 6.3.6 Konfigürasyon 6

#### 6.3.6.1 Üst Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ÜTPYD)

6. konfigürasyonda üst taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar yüksek şiddetli (D3) deprem düzeyinde gerçekleşmiştir. Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) noktasında 3 adet plakada sıkıştırıldığı yerden sıyrılmaya başlamıştır (Şekil 6.26).



(a) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü



(b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

Şekil 6.26 Konfigürasyon 6 ÜTPYD (a) ve (b) D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) hasar görünümü

Bir diğer gerçekleşen hasar tipi ise yine yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-1 (1,92 g / 2,0hz), D3-2 (1,92 g / 2,4 Hz) ve D3-3 (1,92 g / 2,7hz) noktalarında konfigürasyon 5’de gerçekleşen hasara benzer şekilde üstte bulunan taşıyıcı doğrultudan bir miktar kaymıştır (Şekil 6.27).



Şekil 6.27 Konfigürasyon 6 ÜTPYDD3-1(1,92 g / 2,0hz), D3-2(1,92 g / 2,4 Hz), D3-3(1,92 g / 2,7hz) hasar görünümü

### 6.3.6.2 Üst Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ÜTDYD)

6. konfigürasyonda üst taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerde herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır.

### 6.3.7 Konfigürasyon 7

#### 6.3.7.1 Ana Taşıyıcıya Paralel ve Dik Yükleme Durumları

7. konfigürasyonun ana taşıyıcıya paralel ve dik yönde ayrı ayrı gerçekleştirilen testlerinde herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır.

### 6.3.8 Konfigürasyon 8

#### 6.3.8.1 Ana Taşıyıcıya Paralel Yükleme Durumu (ATPYD)

8. konfigürasyonda ana taşıyıcıya paralel yönde gerçekleştirilen testlerde hasarlar yüksek şiddetli (D3) deprem düzeyinde gerçekleşmiştir. Yüksek şiddetli deprem düzeyinde D3-2 noktasında 1 adet plaka yere düşmüştür (Şekil 6.28).



Şekil 6.28 Konfigürasyon 8 ATPYDD3-2 hasar görünümü

#### *6.3.8.2 Ana Taşıyıcıya Dik Yükleme Durumu (ATDYD)*

8. konfigürasyonun ana taşıyıcıya dik yönde gerçekleştirilen testlerinde herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır.

#### **6.3.9 Konfigürasyon 9**

##### *6.3.9.1 Ana Taşıyıcıya Paralel ve Dik Yükleme Durumları*

9. konfigürasyonda üst taşıyıcıya paralel ve dik yönde gerçekleştirilen testlerde herhangi bir hasar ile karşılaşılmamıştır.

## BÖLÜM YEDİ

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 7.1 Giriş

2007 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği (*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, DBYBHY-2007*) önceki yönetmeliklerden farklı olarak sadece yeni yapıların tasarımı hakkında değil, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin saptanmasına dair bölümler içermektedir. Bu yönetmeliğe göre yapılar, önem derecesine göre hemen kullanım, can güvenliği ve göçme öncesi olarak adlandırılan performans düzeylerine ayrılmaktadır. Sınıflandırma yapılırken sadece yapısal elemanların değil, yapısal olmayan elemanlarında (YOE) deprem sonrası sağlık durumu göz önüne alınmalıdır. Ancak mevcut deprem yönetmeliğinde yapısal olmayan donanımın sağlık durumunu denetleyen bir yönetmelik maddesi bulunmamaktadır. Bu nedenle, YOE'lerde deprem sonrası oluşabilecek farklı düzeylerdeki hasarlar, gerçekleştirmiş olduğumuz deneyler esnasında yapılan gözlemlerden faydalanılarak hemen kullanım, can güvenliği ve göçme durumu performans seviyelerine göre Tablo 7.1'de belirtildiği gibi sınıflandırılmıştır. Bu performans düzeyleri Bölüm 1'de deneysel çalışma kapsamında incelenmesi planlanan dört parametre için D1, D2 ve D3 düzeylerinde de ayrı ayrı olmak üzere grafiksel olarak verilmiştir.

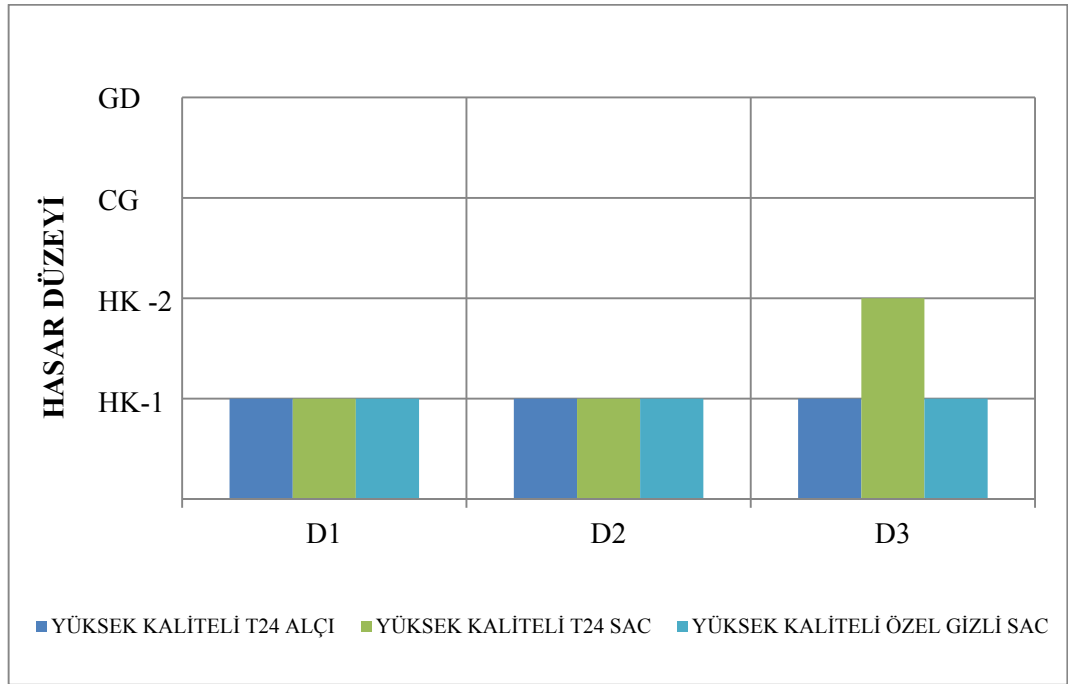
Tablo 7.1 Performans düzeyleri ve gerçekleşen hasar türleri

<b>Performans Düzeyi</b>	<b>Hasar Türü</b>
<b><i>Hemen Kullanım-1 (HK-1)</i></b>	Hasarsız durum veya bir plakanın yerinden oynaması
<b><i>Hemen Kullanım-2 (HK-2)</i></b>	%10'a kadar plakanın yerinden oynaması veya düşmesi, kenar profilinde düşük düzeyde ezilme.
<b><i>Can Güvenliği (CG)</i></b>	%33'e kadar plakanın yerinden oynaması veya düşmesi, bir veya daha fazla tali taşıyıcının kenar profilinden sıyrılması, kenar profilinde orta düzeyde ezilme.
<b><i>Göçme Durumu (GD)</i></b>	Kenar profilinde yüksek düzeyde ezilme, bir veya daha fazla tali taşıyıcının ayrılarak düşmesi.

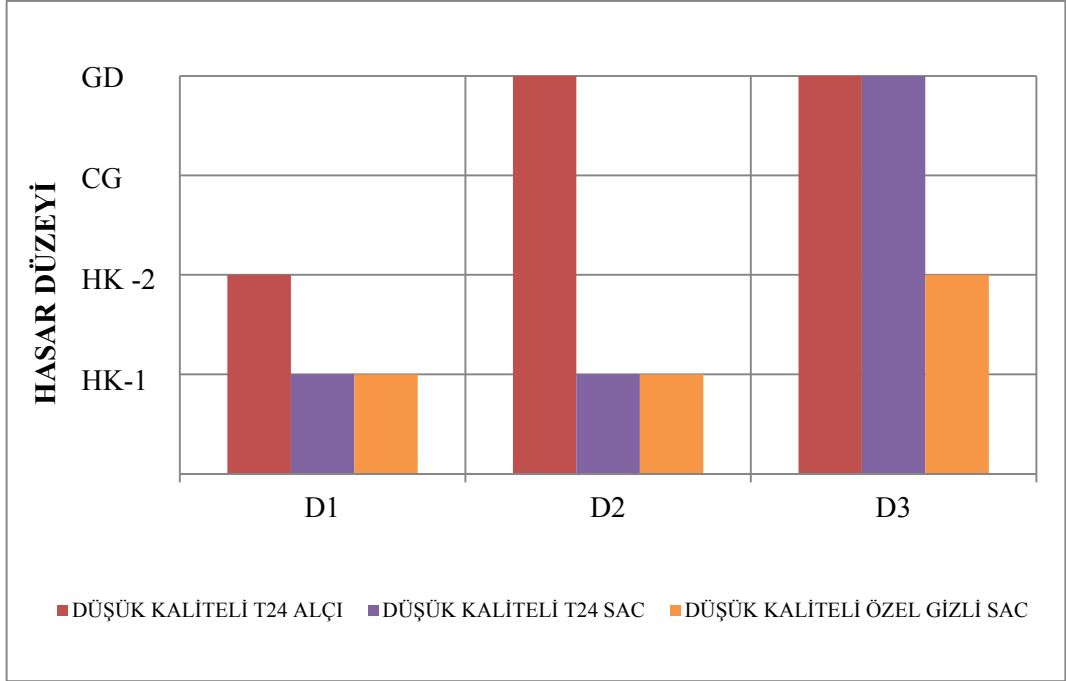


## 7.2 Farklı Taşıyıcı Elemanlar Kullanılarak Oluşturulan Asma Tavan Sistemlerinin Deprem Performansı

Gerçekleştirilen dinamik deneyler sonucunda farklı türdeki taşıyıcı kullanılarak oluşturulan asma tavan sistemlerinin (ATS) deprem performansı Şekil7.2 ve Şekil 7.3'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil7.2'deyüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS ile sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS benzer performans sergilerken, sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS diğer iki sisteme göre daha kötü performans sergilemiştir. Şekil7.3'de ise düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip sac ve alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'ler D3 deprem düzeyinde GD performans seviyesine ulaşırken, sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS HK-2 performans seviyesinde kalmıştır.



Şekil 7.1 Yüksek kaliteli farklı taşıyıcı elemanlar ve bu taşıyıcı elemanlar ile kullanılan asma tavan türlerinin deprem performansı

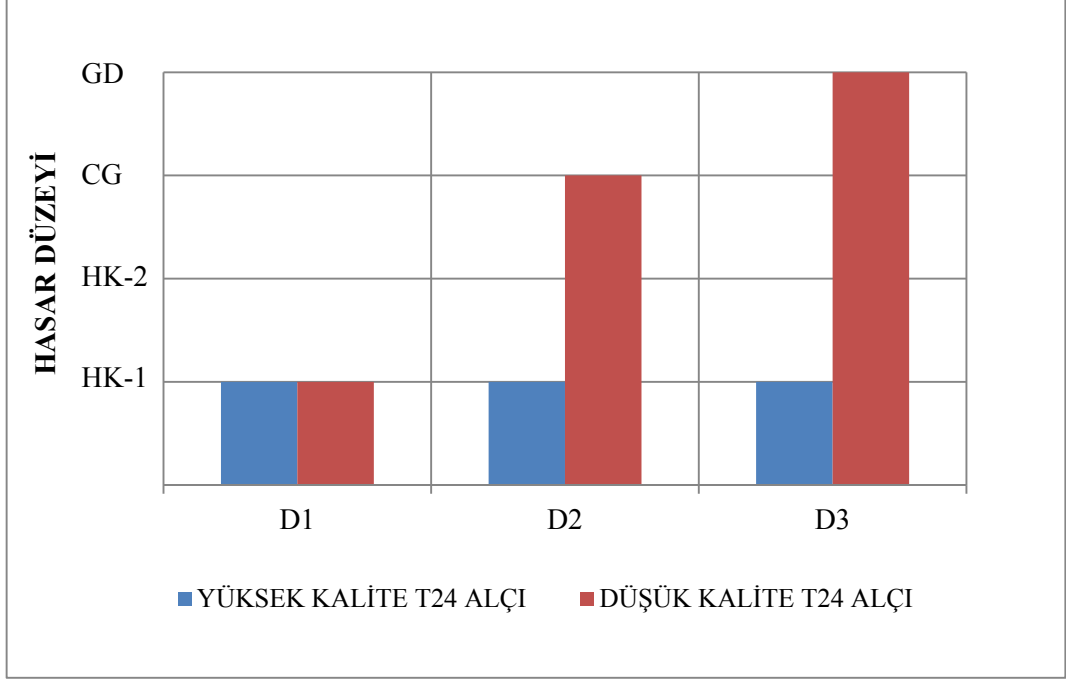


Şekil 7.2 Düşük kaliteli farklı taşıyıcı elemanlar ve bu taşıyıcı elemanlar ile kullanılan asma tavan türlerinin deprem performansı

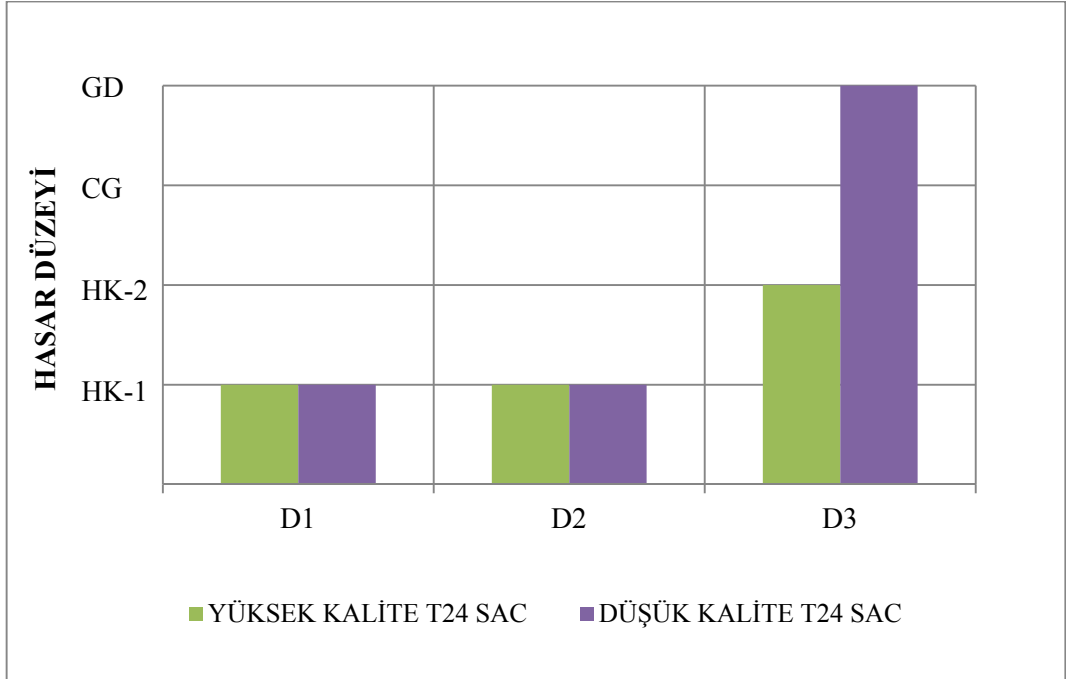
### 7.3 Farklı Kalitedeki Asma Tavan Malzemesi ve İşçiliğin ATS'lerin Deprem Performansına Etkileri

Gerçekleştirilen dinamik deneyler sonucunda farklı kalitedeki asma tavan malzemeleri ve işçiliğin ATS'lerin deprem performansına etkileri Şekil7.4, 7.5 ve 7.6'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil7.4'de yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip alçı plakalı ATS'nin her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde kaldığı, düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip alçı plakalı ATS'nin ise şiddetli deprem düzeylerine çıkıldıkça deprem performansının azaldığı ve D3 deprem düzeyinde GD performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil7.5'de farklı kalitelere sahip sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin D1 ve D2 deprem düzeylerinde HK-1 performans seviyesinde olmalarına rağmen, D3 deprem düzeyinde aralarındaki performans farkı artmış düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS GD performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil7.6'da ise yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'nin, her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde kaldığı görülürken, düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe

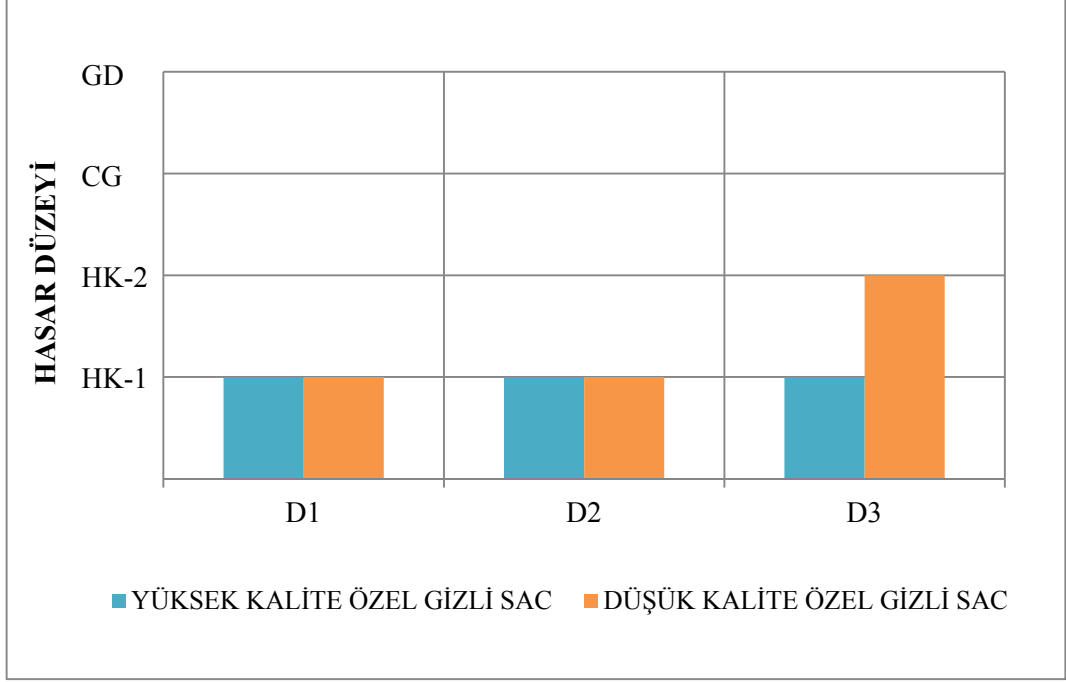
sahip sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS D3 deprem düzeyinde HK-2 performans seviyesine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 7.3 T24 Taşıyıcılı alçı plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı



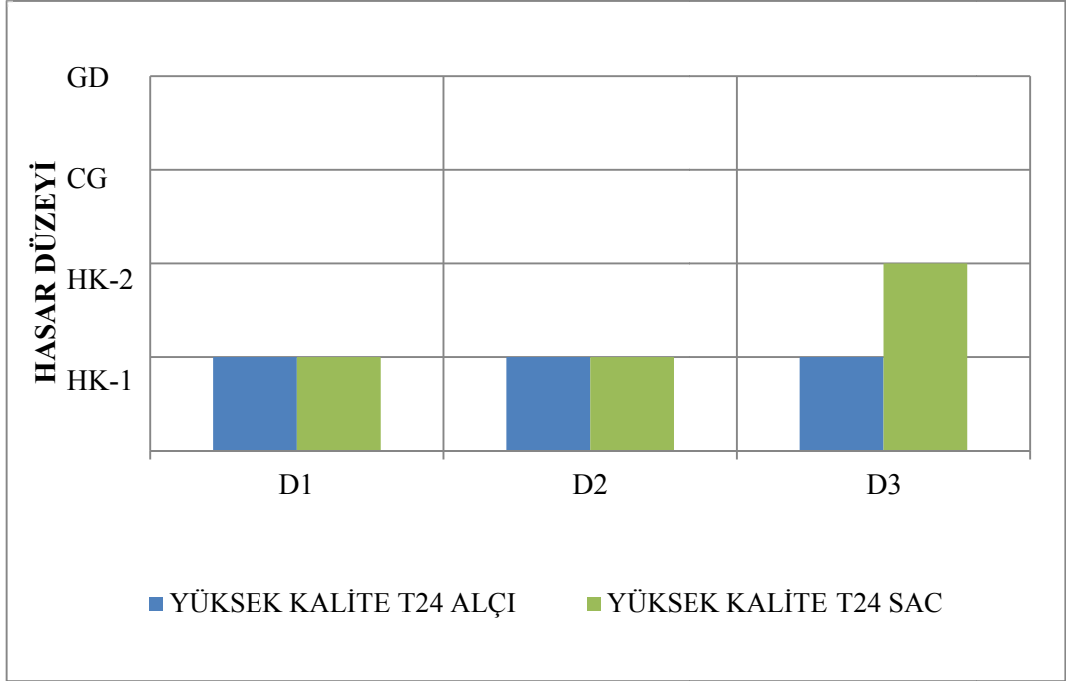
Şekil 7.4 T24 Taşıyıcılı sac plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı



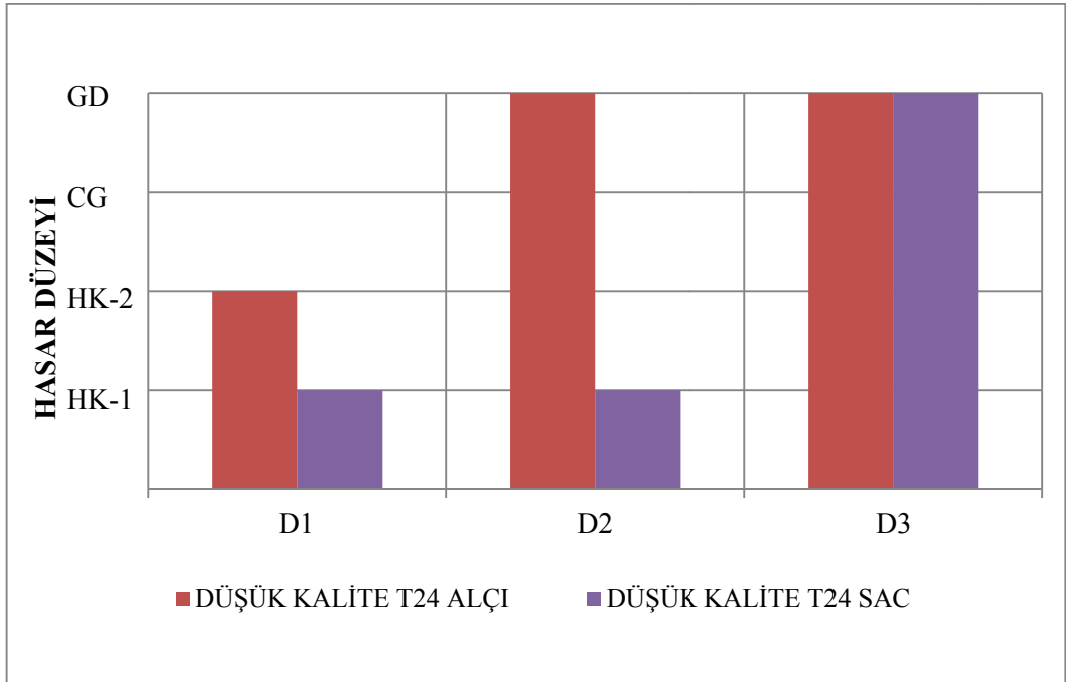
Şekil 7.5 Özel gizli taşıyıcılı sac plakalı farklı kalitede malzeme ve işçiliğe sahip asma tavan türünün deprem performansı

#### 7.4 Farklı Ağırlıktaki Plakaların ATS'lerin Deprem Performansına Etkilerinin Kıyaslaması

T24 taşıyıcılı ATS'lerde hem alçı plaka hem de sac plaka kullanılabilir. Dolayısıyla farklı ağırlıklı ATS'lerin deprem performansı birbirinden farklı olması muhtemeldir. Gerçekleştirilen dinamik deneyler sonucunda T24 taşıyıcılı ATS'lerde farklı ağırlıktaki plakaların ATS'lerin deprem performansına etkileri Şekil7.7 ve 7.8'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil7.7'de yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'nin, her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde kaldığı görülürken, düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS, D3 deprem düzeyinde HK-2 performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil7.8'de ise düşük kalitede malzeme ve işçiliğe sahip farklı ağırlıkta plakaların kullanıldığı ATS'lerde alçı plaka D1 ve D2 deprem düzeylerinde daha kötü deprem performansı sergilediği, D3 düzeyinde ise her iki tür plakalı ATS'lerde göçme öncesi (GÖ) performans seviyesine ulaştığı görülmektedir.



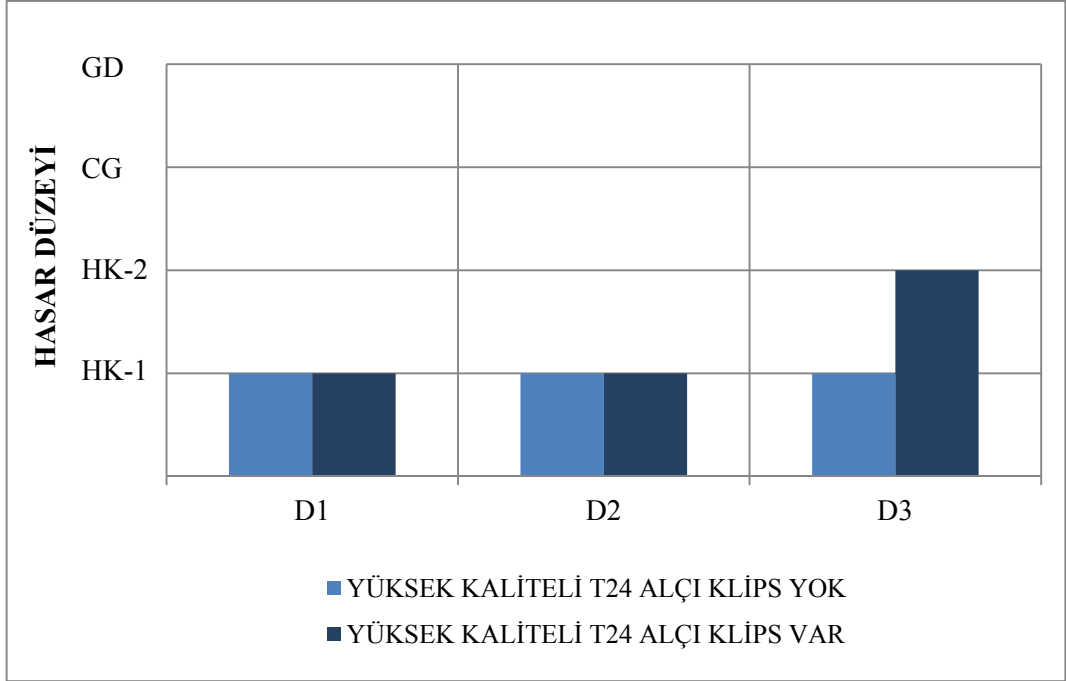
Şekil 7.6 Yüksek kaliteli farklı ağırlıktaki plakalı ATS'nin deprem performansı



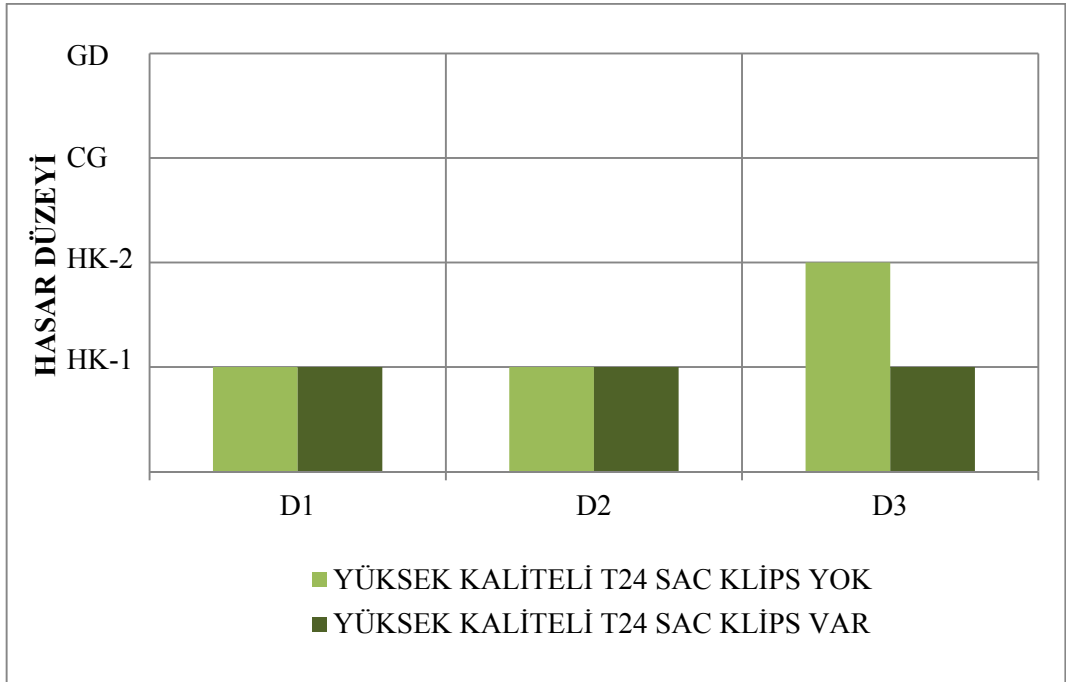
Şekil 7.7 Düşük kaliteli farklı ağırlıktaki plakalı ATS'nin deprem performansı

## 7.5 Taşıyıcı Uç Klipslerin ATS'lerin Deprem Performansına Etkilerinin Kıyaslaması

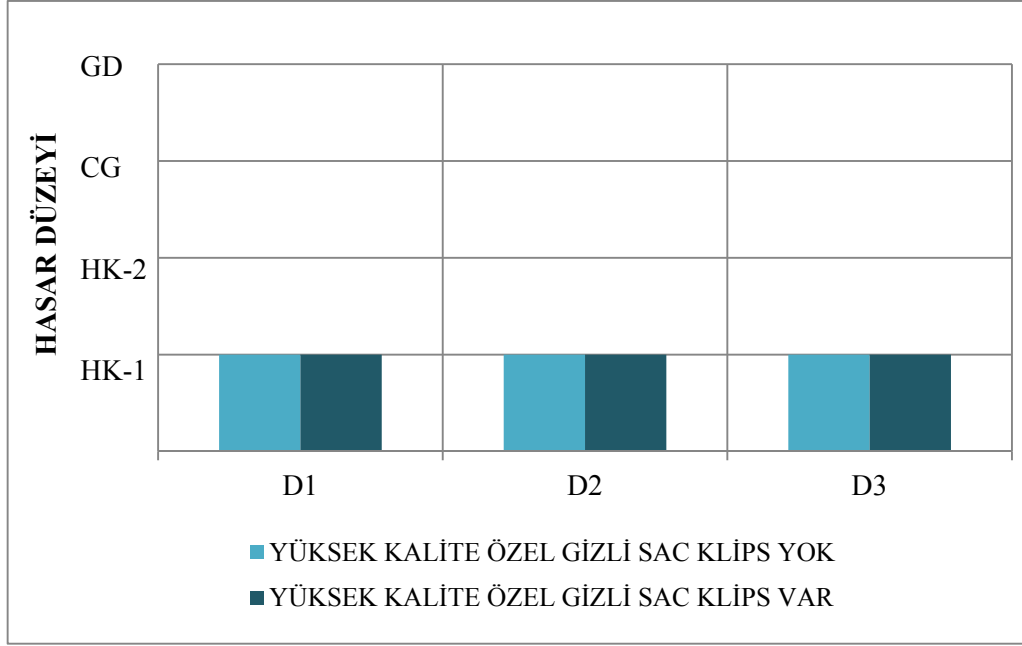
Taşıyıcı uç klipsler T24 ve özel gizli taşıyıcı sistemlerde farklı türlerde olmak üzere ATS'lerin deprem performansını artırmak amacıyla kullanılmıştır. Gerçekleştirilen dinamik deneyler sonucunda taşıyıcı uç klipslerin ATS'lerin deprem performansına etkileri Şekil 7.9, 7.10 ve 7.11'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 7.9'da alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerde taşıyıcı uç klipslerin ATS'lerin deprem performansına katkı sağlamadığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak bu sistemin plaka montajı bizim tarafımızdan gerçekleştirilmiş olup montaj sırasında plaka kenarlarında ezilme gerçekleştiği için deney öncesinde meydana gelen bu durum alçı plakalı ATS'nin deprem esnasındaki performansında bir miktar azalmaya neden olması gösterilebilir. Şekil 7.10'da sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'nin deprem performansında taşıyıcı uç klipslerin sağlamış olduğu katkı görülmektedir. D3 deprem düzeyinde taşıyıcı uç klipsleri ATS'nin deprem performansını HK-2 performans seviyesinden HK-1 performans seviyesine yükseltmiştir. Şekil 7.11'de ise taşıyıcı uç klipsi mevcut değilken sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'nin deprem performansı her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde olduğu, taşıyıcı uç klipsi kullanımının sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'lerin deprem performansını artırması açısından herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.8 T24 taşıyıcılı alçı plakalı ATS’de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi



Şekil 7.9 T24 taşıyıcılı sac plakalı ATS’de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi



Şekil 7.10 Özel gizli taşıyıcılı sac plakalı ATS’de taşıyıcı uç klipsin deprem performansına etkisi

## 7.6 Deprem Hareketinin Ana Taşıyıcının Konumuna Göre Etkitilmesi Durumunda ATS’lerin Deprem Performansının İncelenmesi

ATS’lerin taşıyıcı sisteminin planda simetrik olmamasından dolayı, yönlere göre deprem performansı farklı olmaktadır. ATS’lerin yönlere göre deprem performansının belirlenebilmesi için dinamik yükleme planda ana taşıyıcıya paralel ve dik olmak üzere iki doğrultuda da ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları tüm ATS’ler için (alçı ve sac plakalı T24 taşıyıcı ve sac plakalı Özel gizli taşıyıcı) yönlere göre ayrı, düşük ve yüksek kaliteli malzemeler bir arada olacak şekilde aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

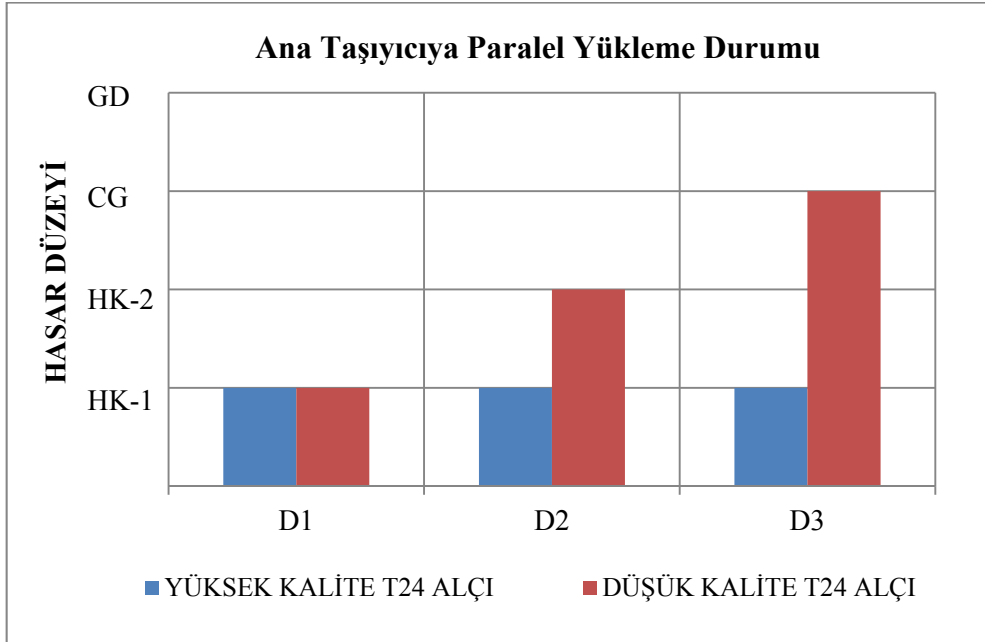
### 7.6.1 Alçı Plakalı T24 Taşıyıcılı Sistem

Alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS’lere ana taşıyıcıya paralel yönde yükleme durumunda ATS’lerin deprem performansı Şekil 7.12’de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Yüksek kalitedeki malzeme ve işçiliğe sahip ATS her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde kalırken, düşük kalitedeki malzeme ve işçiliğe sahip ATS D3 deprem düzeyinde CG performans seviyesine ulaşmıştır. Ana

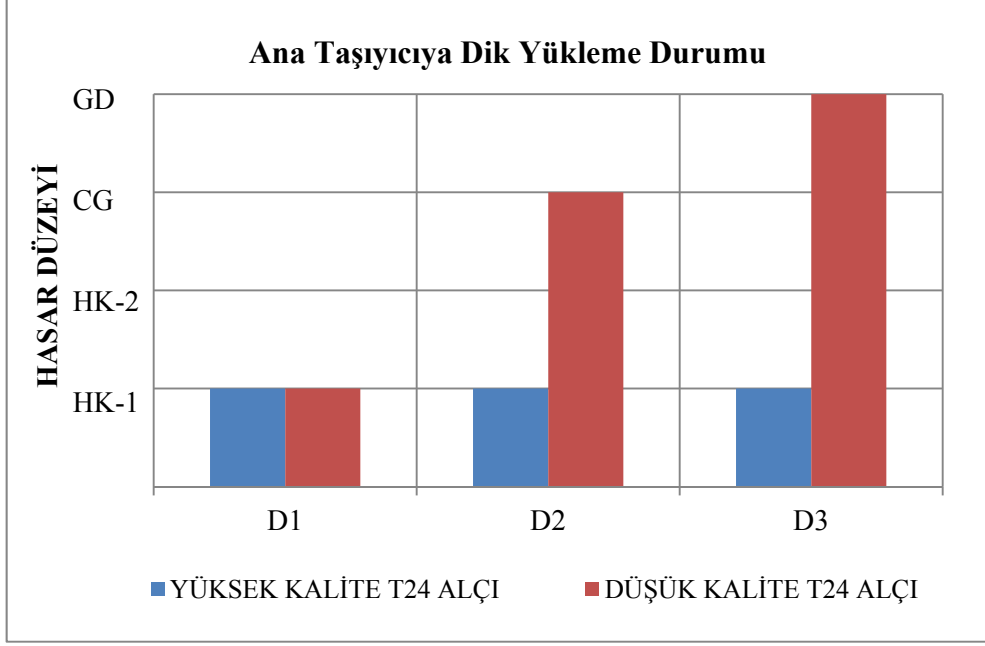


taşıyıcıya dik yönde yükleme durumunda ise farklı kalitelere sahip ATS'lerin deprem performansı Şekil 7.13'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Burada yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS, ana taşıyıcıya paralel durumdaki yüklemeye olduğu gibi HK-1 performans seviyesinde kalmıştır. Düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS'de ise D3 deprem düzeyinde GD performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Yüksek ve düşük kaliteli ATS'lerin her iki yöndeki deprem performanslarını karşılaştırdığımız zaman, yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS'lerde her iki yönde aynı performansı sergilediği görülürken, düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS'lerde zayıf yönün ana taşıyıcıya dik yönde olduğu görülmüştür.

Her iki deney esnasında yapılan gözlemlerden ATS'lerin yönler göre deprem performansında zayıf yönün ana taşıyıcıya dik yön olması tahmin edilmekteydi. Düşük kaliteli ATS'lerde bu gerçekleşmiş olduğu halde, yüksek kaliteli ATS'lerde bu durum oluşmamıştır. Bunun nedeni olarak yüksek kaliteli alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerde Bölüm 6.3.1.2 de verilen bilgi sebep olarak gösterilebilir.



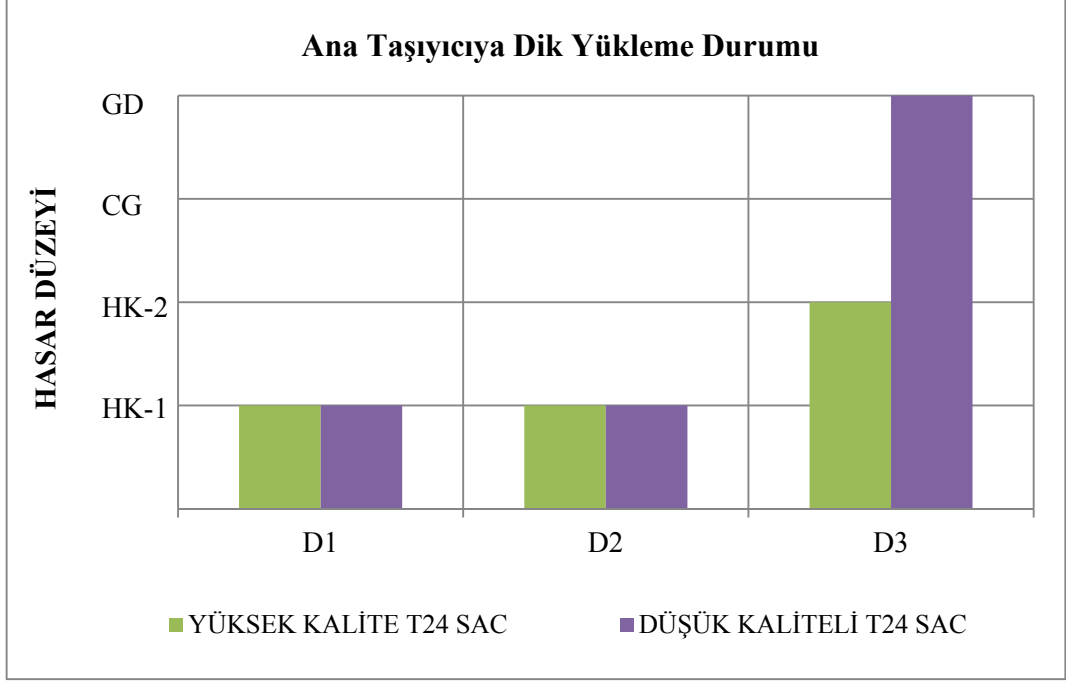
Şekil 7.11 Farklı kalitelere sahip alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcı yönündeki deprem performansı



Şekil 7.12 Farklı kalitelere sahip alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı

### 7.6.2 Sac Plakalı T24 Taşıyıcılı Sistem

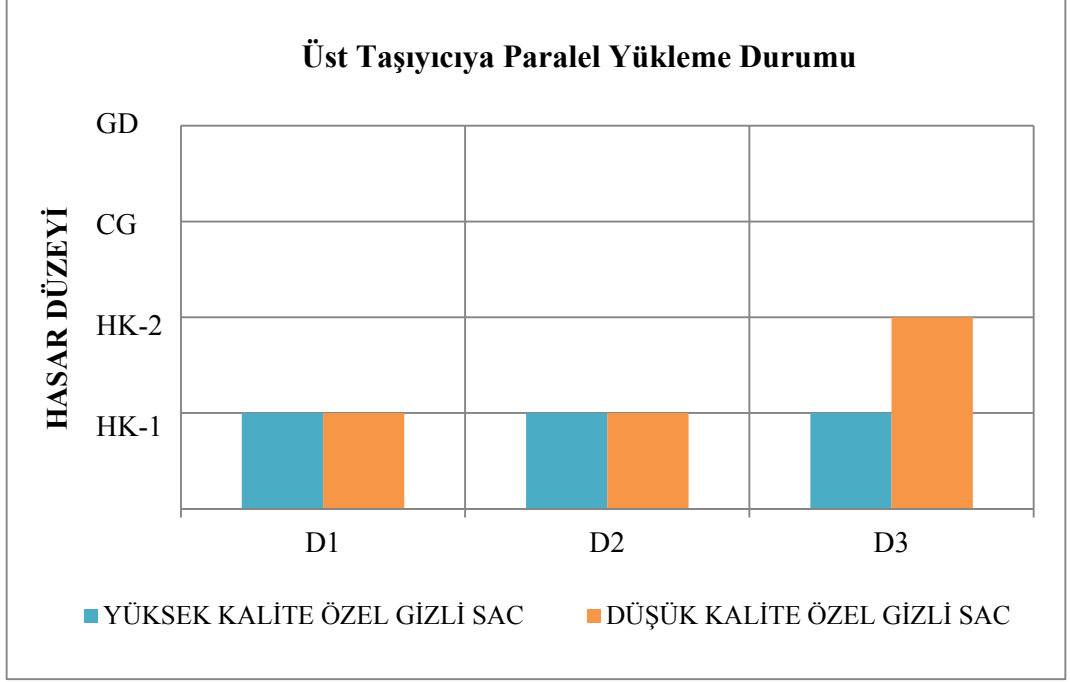
Bir önceki alçı plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerde zayıf yönün ana taşıyıcıya dik yön olduğu öngörüldüğü için sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerde dinamik deneyler yalnızca bu yönde gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.14'de farklı kalitelere sahip ATS'lerde ana taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı gösterilmiştir. Buradan D3 deprem düzeyinde yüksek kaliteli ATS'lerin düşük kaliteli ATS'lere kıyasla daha iyi performans sergilediğini söylemek mümkündür.



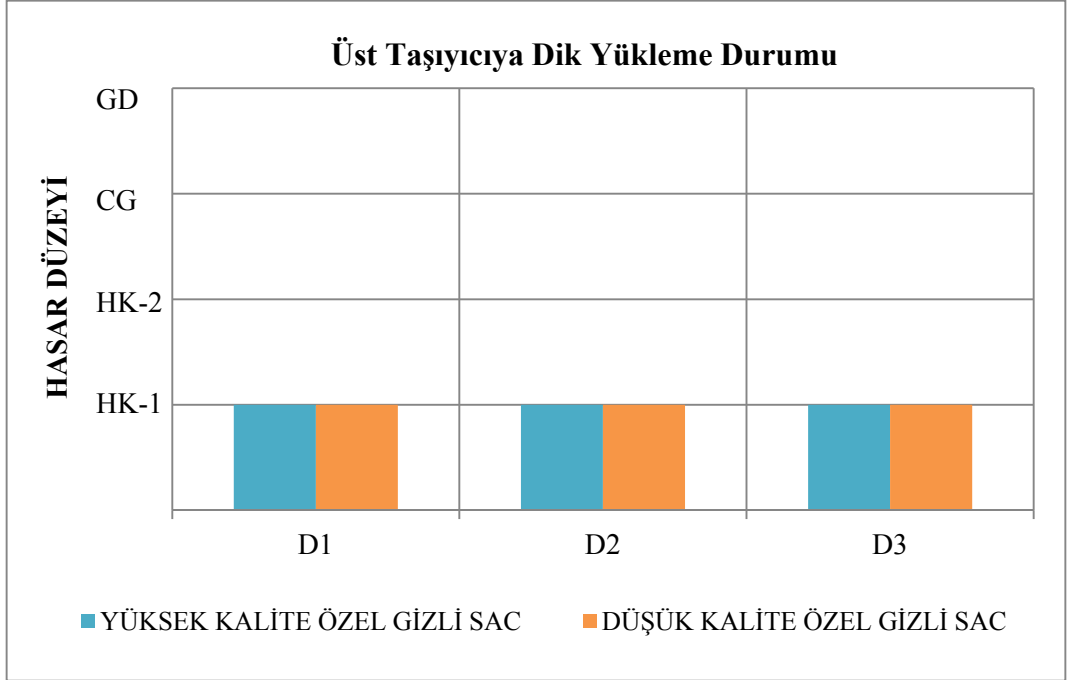
Şekil 7.13 Farklı kalitelere sahip sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'lerin ana taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı

### 7.6.3 Sac Plakalı Özel Gizli Taşıyıcılı Sistem

Sac plakalı özel gizli taşıyıcılı ATS'lere üst taşıyıcıya paralel yönde yükleme durumunda ATS'lerin deprem performansı Şekil 7.15'de gösterildiği gibidir. Burada yüksek kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS'nin, her üç deprem düzeyinde de HK-1 performans seviyesinde kaldığı görülürken, düşük kaliteli malzeme ve işçiliğe sahip ATS'nin, D3 deprem düzeyinde HK-2 performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Üst taşıyıcıya dik yönde yükleme durumunda ise farklı kalitelere sahip ATS'lerin deprem performansı Şekil 7.16'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Burada ise her iki ATS'nin tüm deprem düzeylerinde HK-1 performans seviyesinde kaldığı görülmektedir. Buradan sonuç olarak özel gizli taşıyıcılı sistemlerde zayıf yönün üst taşıyıcıya paralel yön olduğunu söylemek mümkündür. Bunun nedeni olarak Bölüm 6.3.5.2 de verilen bilgi sebep olarak gösterilebilir.



Şekil 7.14 Farklı kalitelere sahip sac plakalı özel gizli taşıyıcı ATS'lerin üst taşıyıcıya paralel yöndeki deprem performansı



Şekil 7.15 Farklı kalitelere sahip sac plakalı özel gizli taşıyıcı ATS'lerin üst taşıyıcıya dik yöndeki deprem performansı

## 7.7 Eşdeğer Deprem Yükleri Altında ATS'lerin Deprem Performansının İncelenmesi

Test edilen asma tavan sistemlerine etkiyen tasarım kuvvetleri İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğinde verilen eşdeğer deprem yükü formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F_e = \frac{m_e A_e B_e}{R_e} \quad (7.1)$$

Burada  $m_e$  donanımın kütlesi,  $A_e$  donanıma etkiyen en büyük ivmeyi,  $B_e$  dinamik büyütme katsayısını,  $R_e$  ise donanım için tanımlanan davranış katsayısını belirtmektedir. İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğinde belirtilen tablolar kullanılarak ATS'ler için  $B_e = 1.0$ ,  $R_e = 2.5$  seçilmiştir.  $A_e$  ivmesi ise en yüksek deprem talebine karşılık gelen D3 depremi için yapılan testlerden elde edilen maksimum ivme değeri olan 1.92g (g: yer çekimi ivmesi = 9.806 m/s<sup>2</sup>) olarak alınmıştır. Bu değer testlerde asma tavanın asılı olduğu seviyede ölçülen ivme değeridir. 1.92g değeri gerçek bir binanın en üst katının tavanına monte edilmiş asma tavan sistemine etkiyen maksimum kat ivmesi olarak düşünülebilir. Bu durumda farklı asma tavan türlerine etkiyen eş değer deprem yükü ve bu yükler altında gerçekleşen deprem performans seviyeleri Tablo 7.2'de verilmiştir

Tablo 7.2 Asma tavan sistemlerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri ve bunlara karşılık gelen hasar ve performans düzeyleri

Konfigürasyon	Taşıyıcı Sistem ve Plaka Kalitesi (Yüksek & Düşük)	Taşıyıcı Sistem Türü (T24 & Özel Gizli Taşıyıcı)	Plaka Malzemesi (Sac & Alçı)	Plaka Kütlesi (kg/plaka)	(Me) Toplam Kütle [kg]	Sarma Tablası Düzeyi [g]	(Ae) Asma tavan sistemi düzeyi [g]	(Fe) Kuvvet [N]	Performans Düzeyi
1	Yüksek Kalite	T24	Alçı	2,57	61	2,00	2,10	505	HK-1
2	Düşük Kalite	T24	Alçı	2,22	54	1,98	2,15	459	GD
3	Yüksek Kalite	T24	Alçı	2,57	61	2,00	2,10	505	HK-2
4	Yüksek Kalite	T24	Sac	1,53	41	2,10	2,20	350	HK-2
5	Düşük Kalite	T24	Sac	0,57	21	2,10	2,16	181	GD
6	Yüksek Kalite	T24	Sac	1,53	41	2,10	2,20	350	HK-1
7	Yüksek Kalite	Özel Gizli Taşıyıcı	Sac	1,71	42	2,06	2,15	356	HK-1
8	Düşük Kalite	Özel Gizli Taşıyıcı	Sac	0,66	21	2,00	2,14	178	HK-2
9	Yüksek Kalite	Özel Gizli Taşıyıcı	Sac	1,71	42	2,06	2,15	356	HK-1

Toplam etkin kütle, tek bir plakanın kütlesi ile plaka adedinin (toplam 20 adet) çarpılıp taşıyıcı kütlesi olarak; T24 taşıyıcılı ATS'lerde 10 kg, Özel Gizli taşıyıcılı ATS'lerde 8 kg eklenerek bulunmuştur. Burada, asma tavan kütesinin tümünün tek bir titreşim modunda aktive olduğu kabul edilmektedir; bu açıdan bakıldığında güvenli tarafta kalan bir kabuldür.

Yönetmelik hesap edilen deprem kuvvetleri altında asma tavan sistemlerinde bir miktar hasara izin vermekte ise de ( $R_e = 2.5$ ), bu kuvvet seviyelerinde testler sırasında düşük kaliteli alçı ve sac plakalı T24 taşıyıcılı ATS'ler (Konfigürasyon 2 ve 5) hariç hiçbir ATS'de hasar gözlenmemiştir. Bu durumda testleri gerçekleştirilen Konfigürasyon 2 ve Konfigürasyon 5 hariç diğer ATS'lerin performansının yönetmelik tarafından ön görülen performansın da üstünde olduğu söylenebilir. Konfigürasyon 2 ve Konfigürasyon 5'te ise hesap edilen deprem kuvvetleri altında göçme durumuna ulaşıldığı için bu sistemler ise yönetmelikte ön görülen performansın altında kaldığı söylenebilir.

## BÖLÜM SEKİZ

### SONUÇLAR

Ülkemizde kullanılmakta olan farklı kalitedeki asma tavan sistemlerin (ATS) depremi benzeştiren kuvvetler altındaki davranışının ve ATS'lerin deprem performansında taşıyıcı uç klipslerin etkisinin incelendiği bu deneysel çalışmada ulaşılan genel sonuçlar özet halinde bu bölümde sunulmuştur.

#### 8.1 Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar

- Malzeme ve işçilik kalitesinin ATS'lerin deprem performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu görülmüştür.
- T24 ve özel gizli taşıyıcı sistem kullanılarak oluşturulan ATS'lerde yüksek ve düşük kaliteli malzeme ve işçilik durumunda da özel gizli taşıyıcı sistem daha iyi performans sergilemiştir.
- Farklı ağırlıktaki plaka kullanılarak oluşturulan T24 taşıyıcılı ATS'lerin işçilik ve malzeme kalitesinin yüksek olması durumunda her iki tür plakalı ATS, yüksek şiddetli deprem düzeyinde hemen kullanım (HK) performans seviyesinde kaldığı görülmüştür. Buradan yüksek kaliteli malzeme ve işçilikte ağırlığın herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak işçilik ve malzeme kalitesinin düşük olması durumunda her iki durumda da ATS'ler göçme durumu (GD) performans seviyesine ulaştığı görülmüştür.
- Taşıyıcı uç klipsleri T24 taşıyıcılı ATS'lerin deprem performansında olumlu yönde bir etki gösterirken, özel gizli taşıyıcılı sistemlerde herhangi bir etkisi görülmemiştir.
- T24 taşıyıcılı sistemlerde planda zayıf doğrultunun ana taşıyıcıya dik yön olduğu, özel gizli taşıyıcı sistemlerde ise üst taşıyıcıya paralel yön olduğu görülmüştür.
- T24 taşıyıcılı ATS'lerde, ana ve tali taşıyıcıların kenar profillere oturduğu kısımdaki kenar boşlukları ve kenar profillerin askı çerçevesine monte edilmesine kullanılan civata sayısının ATS'lerin deprem performansını etkileyen diğer önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Yüksek kaliteli ATS'lerde sac plaka, alçı plakaya göre daha kötü performans sergilerken, düşük kaliteli sistemlerde bu durumun tersi gözlemlenmiştir.
- Yüksek kaliteli ATS'lerde (T24 ve Özel Gizli Taşıyıcılı durum için) İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliğinde öngörülen performans seviyelerin üzerine çıkmıştır.
- Düşük kaliteli ATS'lerde ise (T24 Taşıyıcılı durum için) İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliğinde öngörülen performans seviyelerine ulaşamamıştır.

## 8.2 Gelecekte Yapılacak Çalışmalar için Öneriler

Elde edilen sonuçlara ve çalışma boyunca karşılaşılan problemlere dayanarak şu tavsiyelerde bulunmak mümkündür:

- Laboratuvar imkânları dâhilinde gerçekleştirilen bu tür dinamik deneylerde gerçek deprem verileri ve daha büyük plan boyutlarına sahip ATS'ler ile çalışmak ATS'lerin gerçek deprem performansını anlamamız açısından daha gerçekçi olabilir.
- ATS'lerin deprem performansının değerlendirmesi aşamasında ATS'lerin kırılma eğrilerinin oluşturulması ATS'lerin deprem performansını belirlememiz açısından gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmemize imkân sağlar. Ayrıca kırılma eğrileri elde ederek ileride meydana gelebilecek depremlerde ATS'lerde oluşması muhtemel hasar düzeyleri tahmin edilebilecek ve olası hasarlardan dolayı meydana gelebilecek ekonomik kayıplar belirlenebilecektir.



## KAYNAKLAR

- Almaraz, B. H., Whittaker, S. A., Reinhorn, M. A., ve Cimellaro, P. G. (2006). *Seismic fragility of suspended ceiling system*. New York: University at Buffalo
- ANCO (1993). *Earthquake testing of a suspended ceiling system*. ANCO Engineers Inc., California: Culver City
- American Society of Civil Engineers, ASCE 7-2005 (2005). Minimum design loads for buildings and other structures. New York: American Society of Civil Engineers.
- Bracci, J. M., Reinhorn, A. M. ve Mander, J. B. (1992). *Seismic resistance of reinforced concrete frame structures designed only for gravity loads: part III – experimental performance and analytical study of a structural model*. New York: University at Buffalo.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Çalışma Grubu (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye.
- Federal Emergency Management Agency. (2005). Reducing the risks of nonstructural earthquake damage: A Practical Guide. Third Edition, Federal Emergency Management Agency 74. FEMA, Washington D.C.
- Federal Emergency Management Agency. (2007). Interim testing protocols for determining the seismic performance characteristics of structural and nonstructural components. Washington D.C.
- Gilani, A., Reinhorn, M. A., Ingratta, T., Glasgow, B. ve Lavan, O. (2008). Earthquake Simulator Testing and Evaluation of Suspended Ceilings: Standard and Alternate Perimeter Installations. *Structures Congress*, 1-10.

International Code Council, International Building Code. (2006), Whittier, CA: International Code Council.

International Conference of Building Officials (ICBO). (2000). ICBO AC156 Acceptance Criteria for the Seismic Qualification of Nonstructural Components. ICBO Evaluation Service, Inc., Whittier, California.

Institute of Electrical and Electronic Engineers (2005). Recommended practice for seismic design of substations. IEEE Std 693. Institute of Electrical and Electronic Engineers.

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008).

Maddaloni, G., Reinhorn M. A. ve Ryu, K.P. (2010). *Modeling and seismic evaluation of nonstructural components: Testing frame for experimental evaluation of suspended ceiling system*. New York: University at Buffalo

MacRae, G. A. ve Dhakal R. P. (2011). Development of typical NZ ceiling system seismic fragilities. *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society*. New Zealand:Auckland.

Magliulo, G. ve Pentangelo, V. (2012). *Seismic assessment of suspended ceiling systems*. Napoli: University of Naples Federico II

Rihal, S. ve Granneman, G. (1984). *Experimental investigation of the dynamic behavior of building partitions and suspended ceilings during earthquakes*. California: Polytechnic State University

TS EN 13964 (2008). Asma Tavanlar Gereker ve Deney Yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Yao, G. C. (2000). Seismic performance of direct hung suspended ceiling systems.  
*Journal of Architectural Engineering*, 6, 6-11.