

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARIN TAM ÖLÇEKLİ TEST
MODELLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur ÖZDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

OCAK 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİNALARIN TAM ÖLÇEKLİ TEST
MODELLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur ÖZDOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erkan ÇELEBİ

OCAK 2024

Onur ÖZDOĞAN tarafından hazırlanan “Betonarme Binaların Tam Ölçekli Test Modellerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Deprem Analizi” adlı tez çalışması 19.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Erkan ÇELEBİ** (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Elif AĞCAKOCA**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Osman KIRTEL**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “BETONARME BİNALARIN TAM ÖLÇEKLİ TEST MODELLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Onur ÖZDOĞAN



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ilgisi, deneyimi ve sunduğu değerli görüşleriyle her daim yanımda olan, araştırmanın tüm aşamalarında benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Erkan ÇELEBİ'ye çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Arş. Gör. Muhammet Burhan Navdar'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir şekilde benden desteğini esirgemeyen sevgili anne ve babam Gülten-Adnan ÖZDOĞAN'a ve kardeşlerim Ufuk ÖZDOĞAN ile Tuğba ÖZDOĞAN'a desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Onur ÖZDOĞAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.3. Konu ile İlgili Çalışmalar	4
2. LABORATUVAR DENEYLERİNDE ÖLÇEKLENDİRME YAKLAŞIMI ...	7
2.1. Benzerlik Koşullarına Göre Modelleme	7
2.2. Ölçekli Model Oluşturma Prensibi.....	7
2.2.1. Birincil ve ikincil ölçek katsayıları	9
2.3. Ölçekli Modellerin Tasarımı	10
3. ÖLÇEKLİ TEST MODELLERİ İÇİN KULLANILAN SARSMA	
TABLALARININ ÖZELLİKLERİ	17
3.1. Küçük Ölçekli Sarsma Tablası	19
3.2. Büyük Ölçekli Sarsma Tablası	20
4. PROTOTİP YAPININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM	
ANALİZİ	21
4.1. Sarsma Tablası Test Modellerinin Temsil Ettiği Çok Katlı Prototip Yapının	
Tasarım Parametreleri	21
4.2. Çok Katlı Prototip Yapının Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Prototip Yapıya	
Dönüştürülmesi	23
4.3. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtları	24
4.3.1. Yakın alan deprem kayıtları	25
4.3.2. Uzak alan deprem kayıtları	28
4.4. Prototip Yapının Mevcut Hali ile Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Toplu Kütleli	
Durumunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi	30
5. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ SARSMA TABLASINA GÖRE TASARLANMIŞ	
MODELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM	
ANALİZİ	33
5.1. Model Yapıların $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması	33
5.1.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin	
oluşturulması	33
5.1.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının temsil eden tek katlı sarsma	
tablası test modellerinin oluşturulması	34

5.1.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	35
5.1.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	36
5.2. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtlarının $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı ile Ölçeklendirilmesi.....	37
5.2.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	37
5.2.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	40
5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı ile Oluşturulan Model Yapıların Deprem Analizi	42
5.3.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi.....	42
5.3.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	45
5.3.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	49
6. BÜYÜK ÖLÇEKLİ SARSMA TABLASINA GÖRE TASARLANMIŞ MODELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ.....	53
6.1. Model Yapıların $\lambda = 14$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması	53
6.1.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin oluşturulması	53
6.1.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil eden tek katlı sarsma tablası test modellerinin oluşturulması.....	54
6.1.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	55
6.1.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	56
6.2. Model Yapıların $\lambda = 24$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması	57
6.2.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin oluşturulması	57
6.2.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil eden tek katlı sarsma tablası test modellerinin oluşturulması.....	59
6.2.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	59
6.2.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması	60
6.3. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtlarının Ölçek Katsayıları ile Ölçeklendirilmesi	61
6.3.1. Deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi.....	61
6.3.1.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	62
6.3.1.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	64
6.3.2. Deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi.....	66
6.3.2.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	66
6.3.2.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi	68
6.4. Sarsma Tablası Test Modellerinin Deprem Analizi	70

6.4.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan model yapıların deprem analizi	70
6.4.1.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi.....	71
6.4.1.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	73
6.4.1.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	77
6.4.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan model yapıların deprem analizi	80
6.4.2.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi.....	80
6.4.2.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	83
6.4.2.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi	87
7. AYARLI SIVI SÜTÜN SÖNÜMLEYİCİLİ SİSTEMLERİN OLUŞTURULMASI.....	91
7.1. Ayarlı Sıvı Sütun Sönümleyicili Sistemin Çalışma Prensibi	91
7.2. Prototip ve Model Yapılar İçin Ayarlı Sıvı Sütun Sönümleyicili Sistemin Oluşturulması	91
7.2.1. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin çok katlı prototip yapı için tasarlanması.....	92
7.2.2. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması	93
7.2.3. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması	95
7.2.4. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması	97
8. SONUÇLAR	101
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ.....	107



KISALTMALAR

C20/25	: 28 Günlük Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı 20 Mpa Olan Beton Sınıfı
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi)
PGA	: Peak Ground Acceleration (En Büyük Yer İvmesi)
S420	: Minimum Akma Dayanımı 420 N/mm ² Olan Çelik Sınıfı
TLCD	: Tuned Liquid Column Damper (Ayarlı Sıvı Sütun Sönümleyici)
x-eks.	: x-ekseni
y-eks.	: y-ekseni
z-eks.	: z-ekseni
2D	: 2 Boyutlu
3D	: 3 Boyutlu



SİMGELER

A	: TLCD sistemin kollarının kesit alanı [m^2]
A_h	: TLCD sistemin yatay kolunun kesit alanı [m^2]
A_v	: TLCD sistemin düşey kolunun kesit alanı [m^2]
B	: Genişlik [m]
B_m	: Modelin genişliği [m]
B_p	: Prototipin genişliği [m]
cm	: Santimetre
F_p	: Prototipte temsili bir kuvvet [kN]
F_m	: Modelde temsili bir kuvvet [kN]
F_y	: Çok katlı prototip yapının y-doğrultusundaki maksimum taban kesme kuvveti değeri [kN]
F_y^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının y-doğrultusundaki maksimum taban kesme kuvveti değeri değeri [kN]
F_{ym}	: Model yapının y-doğrultusundaki maksimum taban kesme kuvveti değeri [kN]
f_x	: X-doğrultusundaki hakim frekans [Hz]
f_y	: Y-doğrultusundaki hakim frekans [Hz]
f_{xm}	: Model yapının x-doğrultusundaki hakim frekans [Hz]
f_{ym}	: Model yapının y-doğrultusundaki hakim frekans [Hz]
g	: yerçekimi ivmesi [$9,81 \text{ m/s}^2$]
H	: Toplam kat yüksekliği [m]
H_p	: Prototipin toplam kat yüksekliği [m]
H_m	: Modelin toplam kat yüksekliği [m]
Hz	: Hertz
h^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının yüksekliği [m]
h_m^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin yüksekliği [m]
h_n	: Çok katlı prototip yapının n'inci katının yerden yüksekliği [m]
K_x	: Çok katlı prototip yapının her bir katındaki x-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_y	: Çok katlı prototip yapının her bir katındaki y-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]

K_x^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının x-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_y^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının y-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
$K_{x,y}^*$	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının x veya y doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_{xm}	: Model yapının x-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_{ym}	: Model yapının y-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_{xm}^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin x-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
K_{ym}^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin y-doğrultusundaki toplam rijitliği [kN/m]
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kN	: Kilonewton
L	: Uzunluk [m]
L_p	: Prototipin uzunluğu [m]
L_m	: Modelin uzunluğu [m]
l_p	: Prototipte temsili bir uzunluk [m]
l_m	: Modelde temsili bir uzunluk [m]
L_h	: TLCD sistemin yatay kolunun uzunluğu [m]
L_v	: TLCD sistemin düşey kolunun uzunluğu [m]
L_{TLCD}	: TLCD sistemin toplam uzunluğu [m]
n	: Uzunluk oranı
M	: Yapının kütlesi [ton]
M^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının kütlesi [ton]
M_m^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin kütlesi [ton]
M_x	: Çok katlı prototip yapının x-doğrultusundaki maksimum devrilme momenti değeri [kN.m]
M_x^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının x-doğrultusundaki maksimum devrilme momenti değeri [kN.m]
M_{xm}	: Model yapının x-doğrultusundaki maksimum devrilme momenti değeri [kN.m]
M_w	: Deprem kuvvetinin moment büyüklüğü
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m_n	: Çok katlı prototip yapının n'inci katının toplam kütlesi [ton]

r	: Kesit alanı oranı
rad	: Radyan
sn	: Saniye
T_x	: X-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu [sn]
T_y	: Y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu [sn]
$T_{x,y}$	: X veya y doğrultusundaki hakim titreşim periyodu [sn]
T_{xm}	: Model yapının x-doğrultusundaki hakim periyodu [sn]
T_{ym}	: Model yapının y-doğrultusundaki hakim periyodu [sn]
T_{xm}^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin x-doğrultusundaki hakim periyodu [sn]
T_{ym}^*	: Tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin y-doğrultusundaki hakim periyodu [sn]
u_y	: Çok katlı prototip yapının y-doğrultusundaki maksimum tepe noktası deplasmanı değeri [m]
u_y^*	: Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının y-doğrultusundaki maksimum tepe noktası deplasmanı değeri [m]
u_{ym}	: Model yapının y-doğrultusundaki maksimum tepe noktası deplasmanı değeri [m]
x	: TLCD sistemin bağlı olduğu yapının yatay yönde yaptığı yer değiştirme [m]
y	: TLCD sistemin içindeki sıvının düşey yönde yaptığı yer değiştirme [m]
λ	: Ölçek katsayısı
λ_i	: Herhangi bir fiziksel değerin ölçek katsayısı
λ_l	: Uzunluk ölçek katsayısı
λ_t	: Zaman ölçek katsayısı
λ_F	: Kuvvet ölçek katsayısı
λ_v	: Hız ölçek katsayısı
λ_A	: Alan ölçek katsayısı
λ_a	: İvme ölçek katsayısı
λ_M	: Moment ölçek katsayısı
λ_θ	: Sıcaklık ölçek katsayısı
λ_i	: Akım ölçek katsayısı
∂	: Diferansiyel operatör
Σ	: Toplam sembolü
ρ_{su}	: Suyun yoğunluğu [kg/m ³]

μ	: Kütle oranı
γ	: Frekans oranı
v_p	: Prototipte temsili bir hız [m/sn]
v_m	: Modelde temsili bir hız [m/sn]
ω	: Açısal frekans [rad/sn]
ω_s	: Yapının açısal frekansı [rad/sn]
ω_x	: Çok katlı prototip yapının x-doğrultusundaki açısal frekansı [rad/sn]
ω_y	: Çok katlı prototip yapının y-doğrultusundaki açısal frekansı [rad/sn]
ω_{TLCD}	: TLCD sistemin açısal frekansı [rad/sn]
$\underline{K}$	: Rijitlik matrisi
$\underline{K_x}$	: Çok katlı prototip yapının x-doğrultusundaki rijitlik matrisi
$\underline{K_y}$	: Çok katlı prototip yapının y-doğrultusundaki rijitlik matrisi
$\underline{M}$	: Çok katlı prototip yapının kütle matrisi
ϕ_{n1}	: Çok katlı prototip yapının n'inci katının hakim modu
ϕ_1^T	: Çok katlı prototip yapının hakim mod biçimi matrisinin transpozesi
ϕ_1	: Çok katlı prototip yapının hakim mod biçimi matrisi
$\underline{1}$	: Birim matris

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Uzunluk ölçek katsayısının (λ) problemin kinematik ve dinamik parametrelerine uyarlanması [11].	10
Tablo 2.2. Küçük ölçekli sarsma tablası modelleri için yapılan sayısal uygulamalar.	13
Tablo 2.3. Büyük ölçekli sarsma tablası modelleri için yapılan sayısal uygulamalar.	13
Tablo 2.4. Sayısal deneylerde ölçülen parametreler.....	14
Tablo 3.1. En çok bilinen sarsma tablaları [12].....	17
Tablo 3.2. Küçük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri.	19
Tablo 3.3. Büyük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri.	20
Tablo 4.1. Çok katlı prototip yapıya ait tasarım parametreleri.	21
Tablo 4.2. Kullanılan ivme-zaman deprem kayıtları.....	25
Tablo 4.3. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı.	30
Tablo 4.4. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı.....	31
Tablo 4.5. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı.	31
Tablo 5.1. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$. 34	
Tablo 5.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$	36
Tablo 5.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$	37
Tablo 5.4. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	42
Tablo 5.5. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	43
Tablo 5.6. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	44
Tablo 5.7. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	46
Tablo 5.8. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	47
Tablo 5.9. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	48
Tablo 5.10. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	49
Tablo 5.11. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	50
Tablo 5.12. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$	51

Tablo 6.1. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.	54
Tablo 6.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.	56
Tablo 6.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.	57
Tablo 6.4. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.	58
Tablo 6.5. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.	60
Tablo 6.6. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.	61
Tablo 6.7. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	71
Tablo 6.8. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	72
Tablo 6.9. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	72
Tablo 6.10. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	74
Tablo 6.11. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	75
Tablo 6.12. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	76
Tablo 6.13. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	77
Tablo 6.14. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	78
Tablo 6.15. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.	79
Tablo 6.16. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	81
Tablo 6.17. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	81
Tablo 6.18. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	82
Tablo 6.19. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	84
Tablo 6.20. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	85
Tablo 6.21. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	86
Tablo 6.22. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	87
Tablo 6.23. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	88
Tablo 6.24. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.	89

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çok katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin tasarımında kullanılan akış diyagramı.	11
Şekil 2.2. Tek katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin tasarımında kullanılan akış diyagramı.	12
Şekil 3.1. Küçük ölçekli sarsma tablası.	19
Şekil 3.2. Büyük ölçekli sarsma tablası.	20
Şekil 4.1. Çok katlı prototip yapının, (a) üç boyutlu görünüşü, (b) kat planı.	21
Şekil 4.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı.	24
Şekil 4.3. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	25
Şekil 4.4. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	26
Şekil 4.5. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	26
Şekil 4.6. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	26
Şekil 4.7. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	27
Şekil 4.8. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	27
Şekil 4.9. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	28
Şekil 4.10. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	28
Şekil 4.11. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	28
Şekil 4.12. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	29
Şekil 4.13. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	29
Şekil 4.14. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.	29
Şekil 5.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 25$	34
Şekil 5.2. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 25$	35
Şekil 5.3. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$	35
Şekil 5.4. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$	37
Şekil 5.5. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$	38
Şekil 5.6. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$	38

Şekil 5.7. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	38
Şekil 5.8. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	39
Şekil 5.9. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	39
Şekil 5.10. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	39
Şekil 5.11. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	40
Şekil 5.12. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	40
Şekil 5.13. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	40
Şekil 5.14. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	41
Şekil 5.15. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	41
Şekil 5.16. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.	41
Şekil 6.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 14$.	54
Şekil 6.2. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 14$.	55
Şekil 6.3. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.	55
Şekil 6.4. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.	57
Şekil 6.5. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 24$.	58
Şekil 6.6. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 24$.	59
Şekil 6.7. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.	60
Şekil 6.8. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.	61
Şekil 6.9. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	62
Şekil 6.10. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	62
Şekil 6.11. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	62
Şekil 6.12. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	63
Şekil 6.13. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	63
Şekil 6.14. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	63
Şekil 6.15. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	64
Şekil 6.16. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	64
Şekil 6.17. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	64
Şekil 6.18. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	65
Şekil 6.19. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	65

Şekil 6.20. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.	65
Şekil 6.21. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	66
Şekil 6.22. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	66
Şekil 6.23. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	67
Şekil 6.24. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	67
Şekil 6.25. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	67
Şekil 6.26. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	68
Şekil 6.27. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	68
Şekil 6.28. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	69
Şekil 6.29. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	69
Şekil 6.30. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	69
Şekil 6.31. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.	70
Şekil 7.1. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistem.	91
Şekil 7.2. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli prototip yapı.	93
Şekil 7.3. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$.	95
Şekil 7.4. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.	97
Şekil 7.5. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.	99



BETONARME BİNALARIN TAM ÖLÇEKLİ TEST MODELLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ

ÖZET

Ölçekli deneyler, sahada veya kontrollü bir laboratuvar ortamında gerçekleştirildiğinden model tasarım parametrelerinin kısıtlarını, yönetici fiziksel yasalar ile uyumunu ve fiziksel probleme dâhil edilen tüm ilişkili değişkenlerin uygulanabilirliğini baştan iyi bilmek ve belirlemek gerekmektedir. Prototipe yakın ölçekte modellerle yapılan deneysel araştırma sonuçlarının güvenilirliği konusunda kaygı azalırken, küçük ölçekli model testlerinden elde edilen veriler üzerindeki şüphe de artmaktadır. Bu çalışmada tam ölçekli bir yapının titreşim davranışını istenilen düzeyde temsil edebilecek test modellerinin tasarımında prototip ile sadece geometrik ölçüde bir bağ değil, aynı zamanda kinematik ve dinamik benzeşim ilişkisi de kurulmuştur.

Prototipin dinamik davranışını hâkim titreşim modunda sarsma tablası deneylerinde temsil edecek çelikten çerçeve test modellerinin geliştirilmesi için matematiksel adımlar ve tasarım ilkeleri sistematik olarak bir yöntem içinde sunulmuştur.

Bu çalışmada referans olarak seçilen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan küçük ve büyük ölçekli sarsma tablalarının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasitesi gibi teknik özelliklerine bağlı olarak farklı ölçek katsayıları ile kurulan çelikten çerçeve test modellerinin Sap2000 sonlu elemanlar programında kuvvetli deprem yer hareketi kayıtları kullanılarak dinamik analizleri yapılmıştır.

Ayrıca meydana gelen kuvvetli deprem yer hareketinin uzaklığına bağlı olarak yapıların dinamik tepkilerini gözlemleyebilmek üzere altı adet yakın alan ve altı adet de uzak alan deprem kaydı olmak üzere toplamda on iki adet deprem kaydı kullanılmıştır.

Küçük ölçekli sarsma tablası için $\lambda = 25$ ölçek katsayısının sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasite sınırlarını aşmayacağı belirlenmiş ve bu ölçek katsayısı kullanılarak 8 katlı ölçekli test modeli, tek katlı çift doğrultulu ölçekli test modeli ve tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modeli olmak üzere toplamda üç adet çelik model geliştirilmiştir. Tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modeli, prototip yapının zayıf doğrultusu olan y-dogrultusu dikkate alınarak tasarlanmıştır.

Büyük ölçekli sarsma tablası kullanılarak da ölçek katsayısının küçülmesi sonucunda elde edilecek olan daha büyük boyutlu model yapıların prototip yapıyı temsil edebilme yetkinliğinin ne derecede değiştiği görülmek istenmiştir. Bu sebeple sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasite sınırlarını aşmayacak şekilde $\lambda = 14$ ölçek katsayısı seçilmiştir. Ayrıca büyük ölçekli sarsma tablası için daha küçük boyutlu modeller de geliştirebilmek amacıyla $\lambda = 24$ ölçek katsayısı da dikkate alınmıştır. Bu ölçek katsayıları kullanılarak küçük ölçekli sarsma tablası için geliştirilen modeller gibi üçer adet çelik model geliştirilmiştir.

Geliştirilen çok katlı sarsma tablası test modellerinin dinamik analiz sonuçları çok katlı prototip yapı ile karşılaştırılmıştır. Ancak tek katlı sarsma tablası test modellerinin sayısal analiz sonuçları ise daha doğru bir yaklaşım olduğu düşünüldüğü için çok katlı betonarme prototip yerine onu temsil eden eşdeğer tek serbestlik dereceli toplu kütleli prototip bir sistem ile karşılaştırılmıştır. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının dinamik analiz sonuçları çok katlı prototip yapı ile karşılaştırıldığında hata payı oranının %30 seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Hata payı oranının bu seviyelere ulaşmasının sebebi prototip yapının diğer mod biçimlerini ihmal etmemiz ve sadece hakim mod biçimine göre tasarlanmamızdır. Ayrıca tek katlı sarsma tablası test modellerinin tasarımı eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya göre yapıldığı için bu hata payının sonuçlar üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Betonarme prototip yapı için Sap2000 sonlu elemanlar programında asıl deprem kayıtları ile dinamik analiz yapılırken çelik modellerde ise bu deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklenmiş halleri kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır.

Yapılan dinamik analizler sonucunda yapılarda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri incelenip karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda uzak alan deprem kayıtlarının yer ivmesi değerlerinin yakın alan deprem kayıtlarına göre daha küçük olduğundan prototip ve model yapılarda daha küçük yer değiştirmelere neden olduğu görülmüştür.

Kocaeli, Chi-Chi ve Loma prieta yakın alan deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi değerlerinin birbirine yakın olmasına rağmen prototip ve model yapılarda Kocaeli deprem kaydının etkisi sonucunda Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarına oranla daha fazla maksimum tepe noktası deplasmanı meydana geldiği görülmüştür. Fourier genliği-Frekans grafikleri incelendiğinde Kocaeli deprem kaydının frekans içeriğinin hem prototip yapı hem de model yapıların hakim frekanslarına yakın seviyelerde yoğun olduğu görülmüştür. Frekansların yakın olmasından dolayı rezonans durumunun oluştuğu ve daha büyük yer değiştirmelerin sebebinin rezonans olduğu görülmüştür. Uzak alan deprem kayıtlarından olan N. palm springs ve Morgan hill deprem kayıtları içinde aynı durumun meydana geldiği görülmüştür. Fourier genliği-Frekans grafiklerinin incelenmesiyle Morgan hill deprem kaydının rezonans frekansına yakın olduğu görülmüştür. Bu sebeple N. palm springs deprem kaydına oranla daha büyük yer değiştirmeler meydana gelmiştir.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda model yapıların tolere edilebilecek bazı aykırı sonuçlar haricinde genellikle %10'dan küçük hata payı ile prototip yapıyı kabul edilebilir düzeyde temsil ettiği görülmüştür. Seçilmiş olan uzunluk ölçek katsayılarının prototip ile model arasında kinematik ve dinamik etkileşimlerini de kapsayan tam benzeşimin sağlanmasında etkili olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada araştırmacılar için bir öneri niteliğinde mevcut olan birçok pasif titreşim kontrol sistemleri arasından ayrı bir güç kaynağı gerektirmeyen ve kontrol kuvvetlerini yapının hareketinden yararlanarak üreten ayarlı sıvı sütun sönümleyici enerji yalıtım araçları tasarlanmıştır. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemler tasarlanırken imalat maliyetini ve uygulanabilirliğini kabul edilebilir derecede tutacak şekilde gerekli katsayılar seçilerek çok katlı prototip yapı ve tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modellerinin kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalması durumunda vereceği dinamik tepkiyi azaltmak hedeflenmiştir.

Tasarlanan ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemlerin özellikle deprem kuvvetleri etkisi altında titreşim kapasitesi fazla olan mevcut yüksek katlı yapılara iletilen sismik

enerjiyi sönümlemek üzere son derece etkili bir yöntem olabileceği görüşüne varılmıştır.





SEISMIC ANALYSIS OF FULL-SCALE TEST MODELS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

Since scaled experiments are conducted in the field or in a controlled laboratory environment, it is necessary to know and determine the limitations of design parameters, their compliance with governing physical laws, and the applicability of all relevant variables included in the physical problem from the beginning. While the reliability of experimental research results using scaled models close to the prototype decreases, the doubt on the data obtained from small-scale model tests increases. In this study, not only a geometric connection but also kinematic and dynamic similarity relationship was established between the prototype and the designed test models that can represent the vibration behavior of a full-scale structure at the desired level.

Mathematical steps and design principles were systematically presented in a method for the development of steel frame test models that represent the dynamic behavior of the prototype in the dominant vibration mode during shaking table experiments.

In this study, steel frame test models were established with different scale factors based on the dimensional properties and dynamic loading capacity of the small and large-scale shaking tables in the structural laboratory of the Civil Engineering Department at Sakarya University, which were selected as a reference. Dynamic analyses were performed using the Sap2000 finite element program with strong earthquake ground motion records.

In addition, twelve earthquake records, including six near-field and six far-field earthquake records were used to observe the dynamic responses of structures depending on the distance of strong seismic ground motion.

For the small-scale shaking table, it was determined that a scale factor of $\lambda = 25$ would not exceed the dimensional properties and dynamic loading capacity limits of the shaking table. Accordingly, three steel models were developed, including an 8-story scale test model, a single-story scale test model with dual-direction motion, and a single-story scale test model with single-direction motion. The single-direction scale test model was designed considering the weak direction of the prototype structure which is the y-axis.

It was aimed to observe the extent of the ability of larger-sized model structures, which will be obtained by decreasing the scale factor using a large-scale shaking table, to represent the prototype structure. For this reason, a scale factor of $\lambda = 14$ has been selected for the shaking table in a way that it does not exceed the dimensional characteristics and dynamic loading capacity limits. Additionally, a scale factor of $\lambda = 24$ has also been considered in order to develop smaller-sized models for the large-scale shaking table. Three steel models similar to the models developed for the small-scale shaking table have been developed using these scale factors.

The dynamic analysis results of the developed multi-storey shaking table test models were compared with the multi-storey prototype structure. However, instead of a multi-storey reinforced concrete prototype, an equivalent single-degree-of-freedom lumped mass system representing it has been compared due to the belief that numerical analysis results of single-storey shaking table test models provide a more accurate approach. When the dynamic analysis results of the equivalent single-degree-of-freedom lumped mass system were compared with the multi-storey prototype structure, it was observed that the error rate reached around 30%. The reason for this error rate reaching these levels is that we neglect the other mode shapes of the prototype structure and design it only based on the dominant mode shape. Additionally, since the design of the single-storey shaking table test models was based on the equivalent single-degree-of-freedom lumped mass system, it was observed that this error rate did not have an effect on the results.

While dynamic analysis was performed using actual earthquake records in the Sap2000 finite element program for the reinforced concrete prototype structure, dynamic analysis was carried out for the steel models using the scaled versions of these earthquake records with the respective scale factors.

As a result of the dynamic analyses maximum peak displacement, maximum base shear force and maximum overturning moment values occurring in the structures were examined and compared. It has been observed that as a result of the comparisons made, the values of ground acceleration of far-field earthquake records are smaller than those of near-field earthquake records, which leads to smaller displacements in prototypes and models.

Although the peak ground acceleration values of Kocaeli, Chi-Chi, and Loma prieta near-field earthquake records were close to each other, it was observed that Kocaeli earthquake record caused larger maximum peak displacements compared to the Chi-Chi and Loma prieta earthquake records in all the prototype and model structures. When the Fourier amplitude-frequency graphs were examined, it was observed that the frequency content of the Kocaeli earthquake record was concentrated at levels close to the dominant frequencies of the prototype structure and the model structures. Resonance occurred due to the close frequencies, and it was observed that larger displacements occurred as a result of resonance. The same situation was observed for the N. palm springs and Morgan hill far-field earthquake records. When the Fourier amplitude-frequency graphs were examined, it was seen that the Morgan Hill earthquake record was close to the resonance frequency. Therefore, larger displacements occurred compared to the N. Palm Springs earthquake record.

As a result of the comparisons, it was observed that the model structures generally represented the prototype structure with an error rate of less than 10% except for some outliers. The selected length scale factors were found to be effective in achieving complete similarity, including kinematic and dynamic interactions between the prototype and the models.

Moreover, in this study, as a suggestion for researchers adjustable liquid damper energy isolation devices that do not require a separate power source and produce control forces by utilizing the motion of the structure have been designed among many existing passive vibration control systems. When designing tunable liquid column damping systems, the necessary coefficients are selected to keep the manufacturing cost and applicability at an acceptable level and the aim is to reduce the dynamic

response of multi-storey prototype structures and single-storey single-directional scaled test models when subjected to strong earthquake ground motion.

It has been concluded that the designed tunable liquid column damping systems can be an extremely effective method for dampening seismic energy transmitted to existing high-rise structures with high vibration capacity, especially under the influence of earthquake forces.





1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Sahada veya laboratuvar ortamında makro veya mikro ölçekte cihazlarla yapılan deneysel araştırmalar, yapısal sistemlerin ileri mühendislik uygulamaları için yeni yöntemlerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Maliyet sınırlamaları ve araştırma koşullarını etkileyecek çevresel değişkenler göz önünde bulundurulduğunda, laboratuvar ortamında deneysel analizler en elverişli çalışma alanını oluşturmaktadır. Tasarımcılar, geliştirilen sistemin dinamik etkiler altında aslına uygun tepki verdiğinden emin olmak için ilgilenilen yapının gerçek boyutlarına yakın test numunelerini incelemek isterler. Ancak, mühendislik yapı sistemlerinin tam ölçekli modelleri üzerinden gerçekleştirilen deneysel araştırmaların kapsamı sınırlı kalmakta ve maliyeti çok yüksek olmaktadır. Bundan dolayı karmaşık problemlerin analizleri için küçük ölçekli modeller tercih edilmektedir.

Bu çalışmada çok katlı yapıların deprem davranışını laboratuvar ortamında sarsma tablası üzerindeki deneylerde gerçekçi bir şekilde temsil edebilecek olan farklı ölçek katsayıları kullanılarak çelikten çok katlı ölçekli test modeli ile tek katlı çift doğrultulu ve tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modellerinin sap2000 sonlu elemanlar programında geliştirilmesine odaklanılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Mühendislik yapı sistemlerinin test modeli olarak adlandırılan küçük ölçekte yapılmış replikaları üzerinde gerçekleştirilen dinamik deneysel araştırmalar maliyet ve zaman faktörleri açısından kazanç sağlamasından dolayı tercih edilmektedir. Ancak, sadece geometrik açıdan ölçeklendirilmiş küçük modeller ile gerçekleştirilen dinamik testlerin güvenilirliği de araştırmacılar arasında büyük bir şüpheyile değerlendirilmektedir. Ölçeklendirme yasaları, tam ölçekli bir yapı ile küçük ölçekli bir test modeli arasındaki geometrik, kinematik ve dinamik benzerlik ilişkilerini tek bir uzunluk ölçeğine bağlı geliştirildiğinde etkili sonuçlar vermektedir [1].

Yapıların deprem davranışlarını en iyi örnekleyen yaklaşımlardan biri sarsma tablası deneyleridir. Sarsma tablası deneylerinde model rijit bir plaka üzerine yerleştirilir ve istenilen ölçümler için uygun sınır koşulları belirlenir. Sarsma tablasında kurulan model yapıya istenen formdaki ivme kayıtları uygulanabileceği gibi gelişigüzel hareketler de uygulanabilmektedir. İncelenmek istenen yapıyı temsil edebilecek şekilde kurulan bir modelden elde edilen deney sonuçları bize gerçek yapının deprem anındaki davranışıyla ilgili gerçeğe yakın sonuçlar verir.

Ölçekli model kullanımı ekonomik olmasının yanı sıra zaman tasarrufu sağlayan bir yöntemdir bu nedenle birçok mühendislik alanında sıklıkla tercih edilen bir yaklaşımdır. Betonarme bir yapıyı ölçeklendirip deney modelini oluştururken küçük boyutlarda betonarme model oluşturmak pek mümkün olmadığından deney modeli gerçek yapının kinematik ve dinamik parametrelerini temsil edecek bir şekilde çelik elemanlar kullanılarak oluşturulabilir.

Bu çalışmada dinamik davranışı çelikten küçük sarsma tablası test modelleri üzerinden incelenen prototip bina, toplam kütlesi 2400 ton olan, 8 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip rijit döşemeli betonarme bir yapıdır. Seçilen örnek binanın taşıyıcı sisteminin konfigürasyonu hâkim titreşim periyodu kısa doğrultuda baskın olacak şekilde yapılmıştır. Referans olarak seçilen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan küçük ve büyük ölçekli sarsma tablalarının özellikle yük taşıma kapasitesine göre belirlenmiş olan geometrik ölçeklerin betonarme prototip ile çelik modeller arasında kinematik ve dinamik etkileşimlerini de kapsayan tam benzeşimin sağlanmasında rolü incelenmiştir.

$\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak oluşturulan modellerin küçük ölçekli sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasite sınırlarını aşmayacağı belirlenmiş ve bu ölçek katsayısı kullanılarak 8 katlı, tek katlı çift doğrultulu ve tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modelleri olmak üzere toplamda üç adet çelik model geliştirilmiştir. Tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modeli, prototip yapının zayıf doğrultusu olan y-doğrultusu dikkate alınarak tasarlanmıştır.

Ayrıca ölçek katsayısının küçülmesi sonucunda elde edilecek olan daha büyük boyutlu model yapıların prototip yapıyı temsil edebilme kabiliyetinde meydana gelecek olan değişimleri gözlemleyebilmek amacıyla büyük ölçekli sarsma tablası için de test modelleri geliştirilmiştir. Bu sebeple sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik

yükleme kapasite sınırlarını aşmayacak şekilde $\lambda = 14$ ölçek katsayısı seçilmiştir. Bunun yanı sıra büyük ölçekli sarsma tablası için daha küçük boyutlu modeller de geliştirmek için $\lambda = 24$ ölçek katsayısı da dikkate alınmıştır. Bu ölçek katsayıları kullanılarak küçük ölçekli sarsma tablası için geliştirilen modeller gibi üçer adet çelik model geliştirilmiştir.

Geliştirilen model yapıların prototip yapıyı temsil edebilme kabiliyetleri sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan serbest titreşim ve zorlanmış titreşim analizlerinin karşılaştırılmasıyla kontrol edilmiştir. Aynı zamanda çok katlı betonarme prototip ile çelikten çok katlı ve tek katlı test modellerinin titreşim davranışlarının ölçek katsayısına bağlı uyumu, serbest titreşim hareketinin yanı sıra hem uzak alan ve yakın alan deprem kayıtlarına verdiği tepkilere hem de ölçek katsayısı değerine göre incelenmiştir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında çok katlı prototip yapı ile üç farklı ölçek katsayısı kullanılarak geliştirilen tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelleri için kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalması durumunda vereceği dinamik tepkiyi azaltmasını sağlayabilecek ayarlı sıvı sütunlu sönümleyici sistemler tasarlanmıştır.

Yapısal deprem mühendisliğini ilgilendiren en önemli çalışma alanlarından biri yıkıcı depremlere maruz yüksek yapıların sadece dayanıklılığını artıracak ek önlemlerin araştırılması değil, üzerine gelen deprem dalgalarının ana taşıyıcı sistemdeki etkilerinin bir harici sönümleyiciyle azaltılmasını sağlayacak titreşim kontrol sistemlerinin de geliştirilmesidir. Özellikle titreşim kapasitesi fazla olan yüksek katlı yapılara iletilen sismik enerjiyi kontrollü yapısal hasarlarla tüketmek yerine ek sönüm sistemleri ile kontrol altına almak alternatif bir çözüm olarak görülmektedir. Narin yapılarda dinamik yüklerden oluşabilecek büyük yanal deplasmanlar ayarlı kütle ve akışkan sönümleyiciler gibi mevcut tasarıma ek olarak titreşim yalıtım mekanizmalarıyla aktif veya pasif olarak kontrol altına alınabilmektedir.

Çok katlı yüksek yapılar kuvvetli deprem yer hareketi ve rüzgâr gibi dinamik yüklere karşı kat sayısı az olan yapılara göre daha savunmasızlardır. Yapıların kuvvetli deprem yer hareketleri etkisi altında vereceği dinamik tepkiyi azaltmasını sağlayabilecek birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler içinde pasif titreşim kontrol sistemlerinden biri olan ayrı bir güç kaynağı gerektirmeyen ve kontrol kuvvetlerini yapının hareketinden yararlanarak üreten ayarlı sıvı sütun sönümleyici etkili ve

maliyeti düşük bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan ayarlı sıvı sütunlu sönümleyiciler, incelenen yapıların hâkim titreşim periyodunun ve mod biçiminin baskın olduğu kısa doğrultuda yerleştirilmiştir.

1.3. Konu ile İlgili Çalışmalar

Literatürde tam ölçekli bir yapının, geometrik, kinematik ve dinamik parametrelerini tek bir uzunluk ölçeğine bağlı olacak şekilde küçük ölçekli test modellerinin geliştirilmesiyle ve benzeri deneysel modelleme teknikleri kullanılarak küçük ölçekli test modellerinin oluşturulmasıyla alakalı bir çok araştırma yapılmıştır. Ayrıca kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalan yapıların vereceği dinamik tepkinin azaltılmasını sağlamak amacıyla ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemlerin tasarımı ve bu sistemlerin yapının davranışına olan etkisini inceleyen çalışmalar da oldukça fazladır.

Schuring ve Emori sadece inşaat mühendisliğinde değil akla gelebilecek birçok mühendislik alanında ölçekli modellerin önemini, ölçeklendirmenin nasıl yapılacağını ve farklı mühendislik dallarında kullanım şekillerini detaylı gösteren ve değişik karmaşık problemlere uyarlayan ilk araştırmacılardandır [2].

Jha tam benzeşimli ve eksik benzeşimli modelleme yöntemini kullanarak konsol bir kirişin 2 farklı tipte ölçekli modelini oluşturmuştur. Yapmış olduğu analitik hesapların sonucuna göre oluşturulan tam benzeşimli modelin prototip konsol kirişi temsil etmede daha iyi sonuçlar verdiğini görmüştür. Ardından çelik prototip konsol kiriş ile alüminyumdan üretilen tam benzeşimli modeli deneysel olarak analiz edip elde ettiği sonuçları karşılaştırıp birtakım çıkarımlar yapmıştır. Ölçekli model kullanımının oldukça faydalı, ekonomik ve zaman tasarrufu sağladığı sonucuna varmıştır. Deneysel olarak yerçekimi kuvvetinin modelin tepkileri üzerinde büyük bir etkisi olmadığını ve bu yüzden yerçekimi kuvvetinin ölçeklendirilmesinin göz ardı edilebileceğini belirtmiştir [3].

Baran yapıların dinamik davranışlarını inceleyebilmek için biri tek katlı diğeri ise iki katlı olan çelik modeller oluşturmuş ve sarsma tablası deneyinden elde ettiği deneysel sonuçları aynı yapının sayısal çözümleme sonuçları ile karşılaştırarak dinamik davranışı etkileyen unsurları araştırmıştır. Model yapının üretimi yapılırken sınır koşullarının sağlanmasının ve üretim tekniklerinin son derece önemli olduğunu gözlemlemiştir. Mühendislerin vazgeçilmezlerinden olan sonlu eleman yöntemi

kullanan yapı analizi ve tasarımı yazılımlarının sonuçlarının büyük ölçüde gerçeğe yakın olduğunu görmüştür [4].

Göktepe ve ark. yapı-zemin etkileşimi problemini tam benzeşimli modelleme yöntemine göre ölçeklendirdikleri çelik model üzerinde incelemişlerdir. Yapı-zemin etkileşimli bir model üzerinde sayısal ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Farklı deprem yer hareketi kayıtları kullanılarak Plaxis 2D sonlu elemanlar programıyla tasarlanan model ile sarsma tablası modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerlerini elde edip, bu değerlerin birbirleriyle tutarlı olduğunu göstermişlerdir. Bu şekilde deneysel sonuçların doğruluğunu sayısal çalışma ile teyit etmişlerdir. Yapı-zemin etkileşimini dikkate almaları sonucunda yapının deprem yer hareketi kayıtları etkisinde periyot ve maksimum tepe noktası deplasman değerlerinde bir artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir [5].

Hoseny ve ark. deprem yükleri etkisi altında yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. 7 katlı betonarme bir binanın $\lambda = 50$ ölçek katsayısıyla çelikten sarsma tablası test modelini ve Plaxis 3D programıyla sonlu elemanlar modelini geliştirmişlerdir. Her bir katta meydana gelen yer değiştirmeler ile taban kesme kuvvetlerini karşılaştırması sonucunda deney modeli ile sayısal modelin birbirleriyle uyumlu sonuçlar verdiğini ve 7 katlı betonarme binayı tutarlı bir şekilde temsil ettiğini görmüşlerdir. Modellerde meydana gelen her bir kattaki yer değiştirmeler ile taban kesme kuvvetlerinde yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınmasıyla artış meydana geldiğini gözlemlemişlerdir [6].

Farshidianfar ve Oliazadeh harmonik yük etkisi altında ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemler için kapalı denklem çözümü bulmayı hedeflemişlerdir. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemin tasarımını yaparken örnek yapı olarak 59 katlı Citicorp Center'ı seçmişlerdir. Seçilen çok katlı prototipi tek katlı olarak modelleyerek ayarlı sıvı sütun sönümleyicinin tasarım parametrelerini hesaplamak üzere bir kapalı denklem çözümü geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri denklem çözümünü kullanarak ayarlı sıvı sütun sönümleyicinin tasarımını yapmışlardır. Elde ettikleri tasarım parametrelerini farklı bir analitik çözüm formülü kullanarak hesaplayıp, doğruluğunun kontrolünü sağlamak için karşılaştırmasını yapmışlardır. Yaptıkları karşılaştırma sonucu geliştirdikleri kapalı denklem çözümünün oldukça doğru sonuçlar verdiğini ve ayarlı sıvı sütun sönümleyicisinin tasarım süresini kısalttığını göstermişlerdir. Ayrıca yapı ile ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemin kütle oranı arttıkça yapının yaptığı yer değiştirme

değerinin azaldığını, ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemin yatay doğrultudaki kolunun uzunluğu ile toplam uzunluğu arasındaki uzunluk oranı arttıkça da sistemin performansında bir iyileşme meydana geldiğini görmüşlerdir. Ancak yüksek kütle oranının arttırmanın her zaman iyi sonuçlar sağlamayacağı ve %3'ü geçmemesi gerektiğini belirtilmişlerdir [7].

Wu ve ark. 75 katlı bir gökdelenin dinamik ve kinematik parametrelerini temsil edecek tek katlı bir yapı modellemişlerdir. Harmonik yük etkisi altında, bu yapının yatay düzlemde yapacağı titreşim hareketini azaltması için tasarlanacak olan ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistem için en elverişli tasarım parametreleri incelemişlerdir. Yapının ve ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemin açısal frekanslarının eşit olduğu durumlarda iletilen deprem enerjisinin en fazla tüketildiğini göstermişlerdir [8].

Bir diğer çalışmada ise Farshidianfar ve ark. yapıları sönümsüz olarak düşünerek ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistem için, tek katlı bir yapının rüzgâr yükü etkisinde yatay düzlemde yapacağı titreşim hareketini azaltacak optimum parametreleri belirlemek amacıyla analitik bir formül geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Geliştirdikleri analitik formül ile mevcut 75 katlı bir gökdelenin parametrelerini tek katlı bir sistem olarak düşünüp ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemin performansını incelemişlerdir. Aynı şekilde kütle oranı ve uzunluk oranının belli bir seviyeye kadar artmasıyla sistemin performansında iyileşme meydana geldiğini gözlemlemişlerdir [9].

2. LABORATUVAR DENEYLERİNDE ÖLÇEKLENDİRME YAKLAŞIMI

2.1. Benzerlik Koşullarına Göre Modelleme

Deneysel modelleme kavramı prototip ve modelin aynı fizik kurallarına uyduğu gerçeğine dayanmaktadır. Prototip sisteminde bulunan ilgili tüm özellikleri ve bileşenleri kapsayacak şekilde modelin titizlikle oluşturulmasını gereklidir. Prototip ile model arasındaki bağlantı genellikle benzerlik olarak ifade edilir. Benzerlik koşulunu elde edebilmek boyutsal analiz olarak bilinen bir tekniğin benimsenmesiyle mümkündür. Bu yaklaşım fizik ve mühendislikteki tüm genel ilişkilerin boyutsal olarak homojen denklemlerle ifade edildiği gerçeğine dayanır [10]. Mevcut bir problemin çözümü için yeterli zaman, nakit ve uygulanabilir yöntemler bulunamadığında, boyutsal analiz yaklaşımına dayalı kurulan bir model etkili bir çözüm yolu olabilir.

Bir prototip sistemin davranışlarını temsil etmek üzere daha küçük ölçeklerde model oluşturma tekniğine modelleme denir. Modelleme, uygulaması boyutsal değerlendirmeye dayanan deneysel bir tekniktir. İncelenen prototip sistemin analitik ve ampirik kökenli bilgilerinin kullanılmasıyla modelleme tekniğinin etkinliği artırılabilir. Sistem hakkında bu tür bilgilerin kullanılması, mevcut bilgi miktarına göre hem model tasarımı hem de deneysel çalışmada bir dereceye kadar kolaylık sağlayabilir.

2.2. Ölçekli Model Oluşturma Prensipleri

Ölçekli model oluştururken prototipin geometri, basınç, ağırlık, gerilme, hız, ivme ve frekans vb. gibi fiziksel veriler hesaba katılır. Prototipin her bir geometrik, kinematik ve dinamik verisi ölçek katsayısı adı verilen sabit bir faktörün türevleri ile çarpılarak model yapının ilgili geometrik, kinematik ve dinamik verileri elde edilir. Benzerlik koşulu, prototipin ilgili değişkenleri ile model arasındaki doğrusallığı ifade eder ve ölçek katsayısı (λ) olarak adlandırılan bir orantılılık sabiti ile tanımlanabilir.

$$\lambda_i = \frac{\text{Prototipteki "i" değişkenin büyüklüğü}}{\text{Modeldeki "i" değişkenin büyüklüğü}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'deki λ_i değeri herhangi bir fiziksel değerin ölçek katsayısına karşılık gelir. Buradan yola çıkarak prototip ve modelin ilgili değişkenleri arasındaki oran sabittir. Örneğin uzunluk faktörü denklem 2.2'deki şekilde tanımlanır.

$$\lambda_l = \frac{l_p}{l_m} = \text{sabit değer} \quad (2.2)$$

Eğer uzunluk değeri için ölçek katsayısı $\lambda_l = 4$ ise model yapıya ait bütün uzunluk verileri prototip yapıdaki ilgili uzunluğun dörtte birine eşit olur. Örneğin prototip ve model yapıya ait uzunluk (L), genişlik (B) ve toplam kat yüksekliği (H) değerleri denklem 2.3'te görüldüğü gibi aynı ölçek katsayısı ile ifade edilebilir.

$$\lambda_l = \frac{L_p}{L_m} = \frac{B_p}{B_m} = \frac{H_p}{H_m} \quad (2.3)$$

Aynı mantık ile bütün ilgili zaman verileri denklem 2.4'deki gibi aynı zaman ölçeğine bağlıdır.

$$\lambda_t = \frac{t_p}{t_m} \quad (2.4)$$

Uzunluk ve zaman verilerinde olduğu gibi bütün ilgili Kuvvet verileri de denklem 2.5'deki gibi aynı kuvvet ölçeği ile ilişkilendirilir.

$$\lambda_F = \frac{F_p}{F_m} \quad (2.5)$$

Ölçekli modellemede benzerlik genellikle üç temel sınıflandırmayı içerir:

- 1) **Geometrik benzerlik:** Modelin tüm doğrusal boyutları, prototipin karşılık gelen boyutlarıyla sabit uzunluk ölçek katsayısı λ_l ile ilişkilidir.
- 2) **Kinematik benzerlik:** Prototip ve model üzerindeki birbirine karşılık gelen noktalarda meydana gelen hız değerleri aynı yöndedir ve aralarında sabit bir hız ölçek katsayısı λ_v oranında bir ilişki bulunmaktadır.

- 3) Dinamik benzerlik:** Prototip ve model üzerindeki birbirine karşılık gelen noktalarda meydana gelen kuvvet değerleri arasında sabit bir kuvvet ölçek katsayısı λ_F oranında bir ilişki bulunmaktadır.

2.2.1. Birincil ve ikincil ölçek katsayıları

Ölçekli model kurulurken, uzunluk, kütle, zaman, sıcaklık ve akım gibi beş temel büyüklüğün beşi yada daha azı kullanılarak elde edilen ölçek katsayıları ile ilgilenilir. Bu nedenle sadece bu beş nicelik birincil ölçek katsayısı olarak hesaba katılır, diğer tüm ikincil ölçek katsayıları ise birincil ölçek katsayılarından türetilerek oluşturulabilir.

Örneğin ikincil ölçek katsayısı olan hız ölçek katsayısı λ_v , birincil ölçek katsayıları olan uzunluk ölçek katsayısı λ_l ve zaman ölçek katsayısı λ_t kullanılarak kolayca elde edilebilir. Hız, uzunluğun zamana göre birinci türevi olarak denklem 2.6'da gösterildiği şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\lambda_v = \frac{v_p}{v_m} = \frac{\partial l_p / \partial t_p}{\partial l_m / \partial t_m} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da ilgili yerlere denklem 2.7 ve denlem 2.8'deki değerler yazılarak bir sadeleştirme yapılırsa hız ölçek katsayısı, uzunluk ve zaman ölçek katsayısı kullanılarak gösterilebilmektedir.

$$l_p = \lambda_l l_m \quad (2.7)$$

$$t_p = \lambda_t t_m \quad (2.8)$$

Aşağıdaki denklem 2.9'da hız ölçek katsayısının, uzunluk ve zaman ölçek katsayısına bağlı olarak gösterimi görülmektedir.

$$\lambda_v = \frac{\lambda_l}{\lambda_t} \quad (2.9)$$

İki veya daha fazla birincil ölçek katsayısı kullanılarak herhangi bir ikincil ölçek katsayısı aynı yöntem ile elde edilebilmektedir. Alan, ivme ve moment ölçek katsayıları bahsedilen yöntem ile elde edilip aşağıdaki denklem 2.10, denklem 2.11 ve denklem 2.12'de gösterilmiştir.

$$\text{Alan ölçek katsayısı} = \lambda_A = \lambda_l^2 \quad (2.10)$$

$$\text{İvme ölçek katsayısı} = \lambda_a = \frac{\lambda_l}{\lambda_t^2} \quad (2.11)$$

$$\text{Moment ölçek katsayısı} = \lambda_M = \lambda_F \lambda_l \quad (2.12)$$

İkincil ölçek katsayıları genel bir gösterim kullanarak formülize edilecek olursa denklem 2.13'teki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\text{İkincil ölçek katsayısı} = \lambda_l^{n_1} \lambda_t^{n_2} \lambda_F^{n_3} \lambda_\theta^{n_4} \lambda_i^{n_5} \quad (2.13)$$

2.3. Ölçekli Modellerin Tasarımı

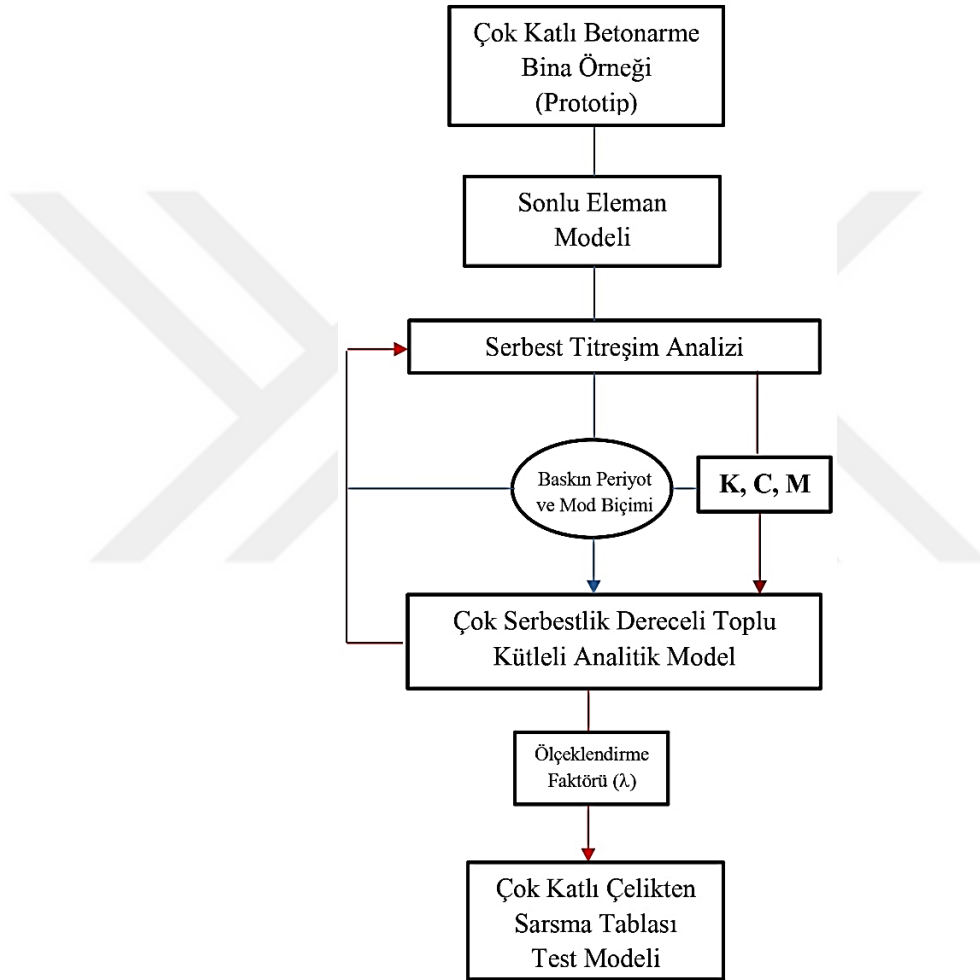
Ölçekle model oluştururken bizleri kısıtlayan bazı durumları bulunmaktadır. Örneğin yerçekimi ivmesinin model yapı için ölçeklendirilmesi mümkün değildir. Bu yüzden ivme ölçek katsayısını bire eşit olacak şekilde almamız gerekmektedir.

Meymand, Boyut analizine dayalı ölçeklendirme kurallarını tam benzeşim teorisine göre uygulayarak yoğunluk, ivme, kütle, zaman vb. gibi ölçek katsayılarının hepsinin uzunluk ölçek katsayısı cinsinden yazılabileceğini belirtmektedir. Uzunluk ölçek katsayısını λ_l yerine sabit bir ölçek katsayısı λ olacak şekilde tanımlamıştır. Tablo 2.1'de geometrik, kinematik ve dinamik parametrelerin bu ölçek katsayısı cinsinden yazılmış hali görülmektedir [11].

Tablo 2.1. Uzunluk ölçek katsayısının (λ) problemin kinematik ve dinamik parametrelerine uyarlanması [11].

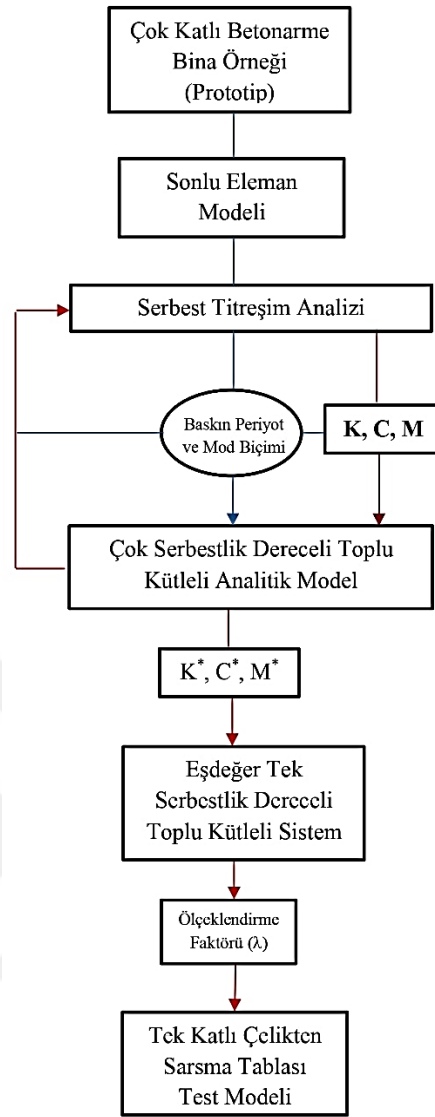
Kütle Yoğunluğu	1	İvme	1	Uzunluk	λ
Kuvvet	λ^3	Kesme Dalga Hızı	$\lambda^{1/2}$	Gerilme	λ
Rijitlik	λ^2	Zaman	$\lambda^{1/2}$	Şekil Değiştirme	1
Modül	λ	Frekans	$\lambda^{-1/2}$	Eğilme Rijitliği	λ^5

Çok katlı çelikten sarsma tablası test modelleri geliştirilirken Şekil 2.1'deki akış diyagramı doğrultusunda öncelikle çok katlı betonarme prototip yapının sap2000 paket programında sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve serbest titreşim analizi yapılmıştır. Serbest titreşim analizi sonucunda prototip yapının hakim periyot ve hakim mod biçimini sağlayacak şekilde çok serbestlik dereceli toplu kütleli analitik model geliştirilip ilgili ölçeklendirme katsayıları kullanılarak çok katlı çelikten sarsma tablası test modelleri oluşturulmuştur.



Şekil 2.1. Çok katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin tasarımında kullanılan akış diyagramı.

Tek katlı çelikten sarsma tablası test modelleri ise Şekil 2.2'deki akış diyagramı takip edilerek oluşturulmuştur. Çok katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin oluşturulmasından farklı olarak sadece çok serbestlik dereceli toplu kütleli analitik modelden eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı elde edilmiş ve bu sistemden ilgili ölçeklendirme katsayıları kullanılarak tek katlı çelikten sarsma tablası test modelleri oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Tek katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin tasarımında kullanılan akış diyagramı.

Sap2000 sonlu elemanları programında çok katlı prototip yapı ve onu temsil edecek olan eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının serbest titreşim analizi ve yakın alan ile uzak alan deprem kayıtları kullanılarak zorlanmış titreşim analizi yapılmıştır. Aynı analizler Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan küçük ölçekli sarsma tablası için $\lambda = 25$ ölçek katsayısı, büyük ölçekli sarsma tablası için ise $\lambda = 14$ ve $\lambda = 24$ ölçek katsayıları ile kurulan çok katlı, tek katlı tek doğrultulu ve tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelleri için de yapılmıştır. Çok katlı prototip yapı ve onu temsil edecek olan eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile küçük ölçekli sarsma tablasına göre $\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak oluşturulan test modelleri için yapılan sayısal uygulamaların içerikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Küçük ölçekli sarsma tablası modelleri için yapılan sayısal uygulamalar.

	Serbest titreşim analizi	Zorlanmış titreşim analizi	
		Yakın alan	Uzak alan
Çok katlı prototip yapı	✓	✓	✓
Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı	✓	✓	✓
Çok katlı sarsma tablası test modeli ($\lambda = 25$)	✓	✓	✓
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 25$)	✓	✓	✓
Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 25$)	✓	✓	✓

Çok katlı prototip yapı ve onu temsil edecek olan eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile büyük ölçekli sarsma tablasına göre $\lambda = 14$ ve $\lambda = 24$ ölçek katsayıları kullanılarak oluşturulan test modelleri için yapılan sayısal uygulamalar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Büyük ölçekli sarsma tablası modelleri için yapılan sayısal uygulamalar.

	Serbest titreşim analizi	Zorlanmış titreşim analizi	
		Yakın alan	Uzak alan
Çok katlı prototip yapı	✓	✓	✓
Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı	✓	✓	✓
Çok katlı sarsma tablası test modeli ($\lambda = 14$)	✓	✓	✓
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 14$)	✓	✓	✓

Tablo 2.3. (Devamı) Büyük ölçekli sarsma tablası modelleri için yapılan sayısal uygulamalar.

	Serbest titreşim analizi	Zorlanmış titreşim analizi	
		Yakın alan	Uzak alan
Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 14$)	✓	✓	✓
Çok katlı sarsma tablası test modeli ($\lambda = 24$)	✓	✓	✓
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 24$)	✓	✓	✓
Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli ($\lambda = 24$)	✓	✓	✓

Yapılan sayısal uygulamalar sonucunda yapılarda meydana gelen hakim titreşim periyodu, maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri elde edilmiştir. Küçük ve büyük ölçekli sarsma tablaları için kurulan test modellerinin doğruluğunu kontrol etmek için çok katlı sarsma tablası test modellerinin sonuçları çok katlı prototip yapının sonuçları ile karşılaştırılırken tek katlı sarsma tablası test modellerinin sonuçları ise eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal uygulamalar sonucunda elde edilen parametreler Tablo 2.4’de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Sayısal deneylerde ölçülen parametreler.

	Hakim titreşim periyodu	Maksimum tepe noktası deplasmanı	Maksimum taban kesme kuvveti	Maksimum devrilme momenti
Çok katlı prototip yapı	✓	✓	✓	✓
Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı	✓	✓	✓	✓
Çok katlı sarsma tablası test modelleri	✓	✓	✓	✓

Tablo 2.4. (Devamı) Sayısal deneylerde ölçülen parametreler.

	Hakim titreşim periyodu	Maksimum tepe noktası deplasmanı	Maksimum taban kesme kuvveti	Maksimum devrilme momenti
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelleri	✓	✓	✓	✓
Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelleri	✓	✓	✓	✓



3. ÖLÇEKLİ TEST MODELLERİ İÇİN KULLANILAN SARSMA TABLALARININ ÖZELLİKLERİ

Laboratuvar ortamında deprem hareketlerinin benzeştirilmesi konusunda sarsma tablaları en gerçekçi yaklaşım şekli olarak tanımlanabilir. 1960 ve 1970’li yıllar sırasında özellikle servo motor, elektronik ve bilgisayar alanındaki gelişmeler sonucunda sarsma tablaları büyük ölçüde ilerleme göstermiştir. Bu gelişmeler sonucunda ilerleyen zamanlarda dünya çapında birçok sarsma tablası faaliyete geçmiştir. En çok bilinen ve dünyada çeşitli ülkelerde bulunan bazı sarsma tablaları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. En çok bilinen sarsma tablaları [12].

Araştırma Merkezi	Ülke	Serbestlik Derecesi	Faydalı Yük (kN)	Alan (m ²)
CEA	Fransa	6	1000	36
Hydroproject Research Enst.	Rusya	3	450	36
LNEC	Portekiz	3	450	31
Univ. SS Cyril and Methodi	Makedonya Cumhuriyeti	3	360	25
KFA Juelich	Almanya	3	230	25
ENEL HYDRO/IMES	İtalya	6	150	16
Univ. BRISTOL	İngiltere	6	140	9
ENEA	İtalya	6	90	16
NTUA Athenes	Yunanistan	6	90	16
Ansaldo	İtalya	3	60	12
Nishimatsu Construct. Corp.	Japonya	6	-	30
Nat. Inst. for Earth Dis. Prev. (MIKI)	Japonya	3	12000	300
Nuclear Power Eng. Corp. (Tadotsu)	Japonya	2	10000	225
Public Works Res. Inst.	Japonya	6	2720	64

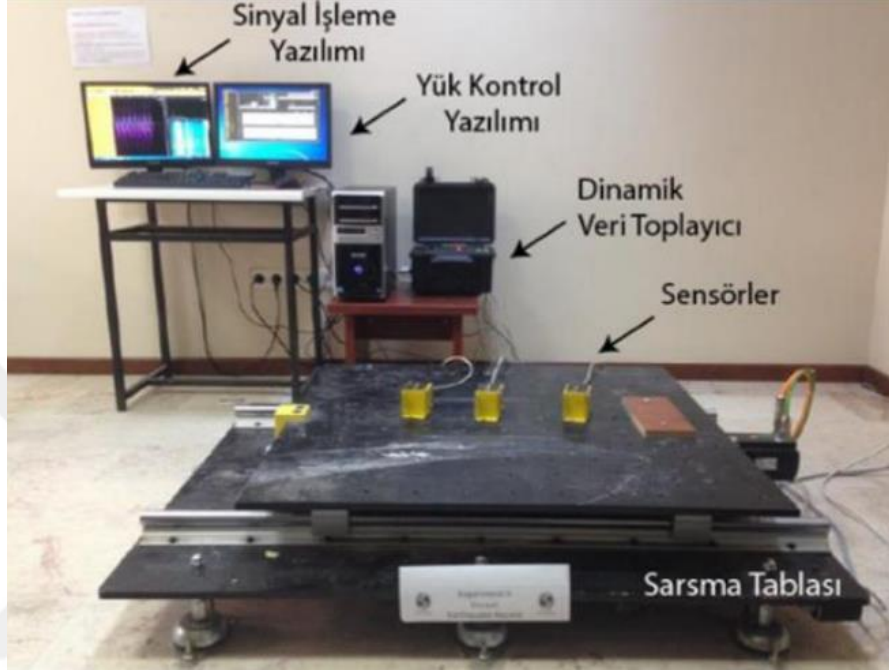
Tablo 3.1. (Devamı) En çok bilinen sarsma tablaları [12].

Araştırma Merkezi	Ülke	Serbestlik Derecesi	Faydalı Yük (kN)	Alan (m ²)
Aichi Inst. of Tech.	Japonya	1	1360	66
Sanryo Heavy Ind. Corp.	Japonya	3	910	36
Hazama Cop.	Japonya	3	910	36
Kumagai Corp.	Japonya	6	640	25
Kajima Corp.	Japonya	6	460	25
Nat. Research Inst. of Agric Eng.	Japonya	3	450	24
Obayashi-Gumi Corp.	Japonya	3	450	25
Inst. of Machinery and Metals	Kore	6	270	16
Nation Center for research in EE	Tayvan	6	270	25
Fujita Corp.	Japonya	1	250	16
NYK Corp.	Japonya	6	200	7
Shimizu Corp.	Japonya	3	200	16
Tobishima Corp.	Japonya	3	200	16
Taisei Corp.	Japonya	2	200	16
Hitachi Eng. Cop.	Japonya	1	200	16
Building Research Inst.	Japonya	3	180	12
Kyoto Univ.	Japonya	6	140	15
Tonji Univ.	Çin	2	140	16
NPIC Chengdu	Çin	6	600	36

Sarsma tablalarını oluşturan temel parçalar rijit tabla ve tahrik mekanizması olarak adlandırılabilir. Model rijit tablanın üzerine koyulur ve istenilen hız ve ivmeyle tahrik mekanizması modeli hareket ettirir. Sarsma tablasında istenen formdaki ivme kayıtları modele uygulanabileceği gibi gelişigüzel hareketler de uygulanabilmektedir.

3.1. Küçük Ölçekli Sarsma Tablası

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılacak bazı model yapılar için kullanılacak olan ölçek katsayısı seçiminde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan tek eksenli bir yapıya sahip olan Şekil 3.1'deki küçük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri referans alınmıştır [13].



Şekil 3.1. Küçük ölçekli sarsma tablası.

Bu sarsma tablası tek doğrultuda sinüzoidal yükler ve deprem yükleri uygulayabilme kapasitesine sahiptir. Bahsi geçen küçük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir [14].

Tablo 3.2. Küçük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri.

Tabla ölçüleri (en x boy)	100 cm x 100 cm
Maksimum yük kapasitesi	100 kg
Maksimum yer değiştirme kapasitesi	$\pm 0,10$ m
Maksimum doğrusal hız kapasitesi	$\pm 0,5$ m/s
Maksimum ivme kapasitesi	± 2 g

3.2. Büyük Ölçekli Sarsma Tablası

Bu çalışmada büyük ölçekli sarsma tablasına uygun olacak şekilde de model yapılar geliştirilecektir. Geliştirilecek olan model yapılar için Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan Şekil 3.2’deki büyük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri referans alınmıştır.



Şekil 3.2. Büyük ölçekli sarsma tablası.

Şekil 3.2’deki üzerinde örnek bir model yapı bulunan altı serbestlik dereceli büyük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri de Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

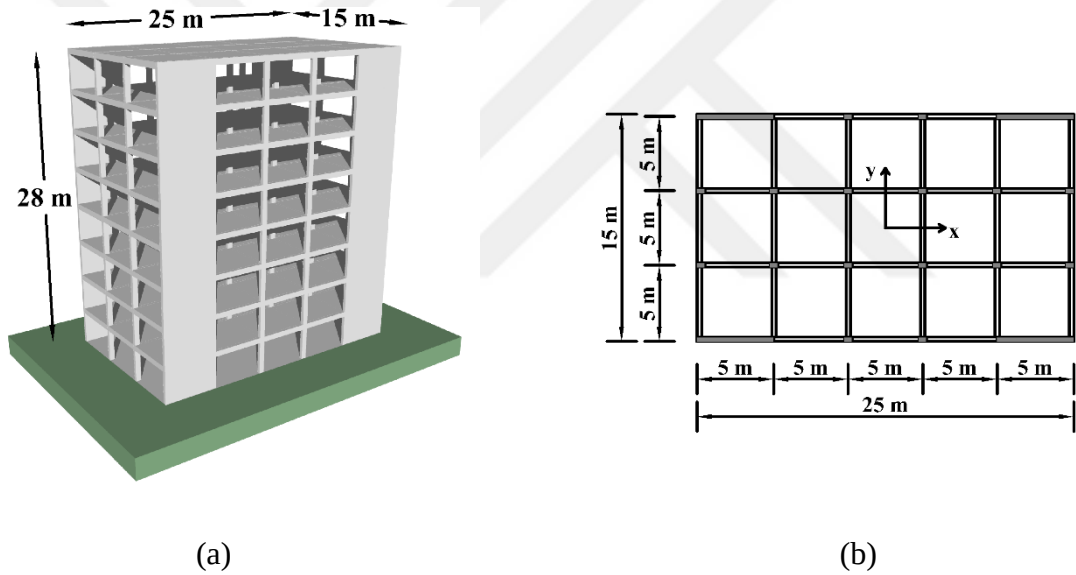
Tablo 3.3. Büyük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri.

Tabla ölçüleri (en x boy)	250 cm x 250 cm
Maksimum yük kapasitesi	1500 kg
Maksimum yer değiştirme kapasitesi	$\pm 0,34$ m (x-eks.) $\pm 0,33$ m (y-eks.) $\pm 0,33$ m (z-eks.)
Maksimum doğrusal hız kapasitesi	$\pm 0,7$ m/s (x-eks.) $\pm 0,7$ m/s (y-eks.) $\pm 0,55$ m/s (z-eks.)
Maksimum ivme kapasitesi	± 6 g (x-eks.) ± 6 g (y-eks.) ± 6 g (z-eks.)

4. PROTOTİP YAPININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ

4.1. Sarsma Tablası Test Modellerinin Temsil Ettiği Çok Katlı Prototip Yapının Tasarım Parametreleri

Bu çalışma kapsamında göz önüne alınacak olan 8 katlı prototip yapı rijit döşemeli perde-çerçevesel betonarme bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Çok katlı prototip yapının uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri sırasıyla 25 m, 15 m ve 28 m'dir. Beton sınıfı C20/25 seçilen yapının toplam kütlesi 2400 ton'dur ve boyutsal özellikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çok katlı prototip yapının, (a) üç boyutlu görünüşü, (b) kat planı.

Çok katlı prototip yapıya ait tasarım parametreleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Çok katlı prototip yapıya ait tasarım parametreleri.

Kolon kesitleri (m)	Perde kesitleri (m)	Tabliye kalınlığı (m)	Kat yüksekliği (m)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_x (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_y (sn)
0,5/0,3	5/0,3	0,15	3,5	300	0,84	2,12

Prototip yapının sonlu elemanlar yöntemine dayalı Sap2000 paket programıyla modal analizi yapılmıştır ve asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim

titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_y = 2,12$ sn ve $f_y = 0,47$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hâkim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_x = 0,84$ sn ve $f_x = 1,19$ Hz olarak bulunmuştur. Bir sayısal hesaplama programı olan Matlab’de denklem 4.1’deki çok katlı prototip yapının kütle matrisi ve x ve y doğrultusundaki hakim periyotlarından elde edilen $\omega_x = 7,48$ rad/sn ile $\omega_y = 2,96$ rad/sn açısal frekans değerleri kullanılarak denklem 4.2’deki özdeğer problemi çözülmüştür.

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 300 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 300 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 300 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$|\underline{K} - \omega^2 \underline{M}| = 0 \quad (4.2)$$

Özdeğer probleminin çözülmesi sonucunda prototip yapının denklem 4.3 ve denklem 4.4’te görülen x ve y doğrultusundaki rijitlik matrisleri bulunmuştur. Buradan prototipin her bir katındaki kolon ve perdelerin toplam rijitlik değerlerinin $K_x = 498000$ kN/m ve $K_y = 77000$ kN/m olduğu görülmüştür. Rijitlik değerleri incelendiğinde zayıf doğrultunun y-doğrultusu olduğu görülmüştür ve bu çalışma kapsamında zayıf doğrultunun dikkate alınması planlanmıştır.

$$\underline{K_x} = \begin{bmatrix} 996000 & -498000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -498000 & 996000 & -498000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -498000 & 996000 & -498000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -498000 & 996000 & -498000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -498000 & 996000 & -498000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -498000 & 996000 & -498000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -498000 & 996000 & -498000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -498000 & 498000 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$\underline{K_y} = \begin{bmatrix} 154000 & -77000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -77000 & 154000 & -77000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -77000 & 154000 & -77000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -77000 & 154000 & -77000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -77000 & 154000 & -77000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -77000 & 154000 & -77000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -77000 & 154000 & -77000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -77000 & 77000 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4.2. Çok Katlı Prototip Yapının Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Prototip Yapıya Dönüştürülmesi

Çok katlı çelik sarsma tablası test modellerinin sayısal analizi sonucu elde edilen sonuçlar çok katlı betonarme prototip yapının sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Ancak tek katlı çelikten sarsma tablası test modellerinin sayısal analiz sonuçlarının ise çok katlı betonarme prototip yapıyı temsil eden zayıf doğrultudaki hakim periyot, hakim kütle ve hakim mod biçimlerini kullanılarak elde edilen eşdeğer tek serbestlik dereceli toplu kütleli prototip bir sistem ile karşılaştırılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Çok katlı prototip yapının yapılan modal analizi sonrasında mod biçimleri x ve doğrultusunda birbirinin aynısı olarak elde edilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının yükseklik ve kütle parametreleri, çok katlı prototip yapının denklem 4.1'deki hakim kütle matrisi ve denklem 4.5'deki hakim mod biçimi gibi değerlerinden yararlanılarak denklem 4.6 ve denklem 4.7'deki formülasyonla bulunmuştur.

$$\underline{\phi}_1 = \begin{bmatrix} 0,0051 \\ 0,0101 \\ 0,0147 \\ 0,0189 \\ 0,0223 \\ 0,0251 \\ 0,0269 \\ 0,0279 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

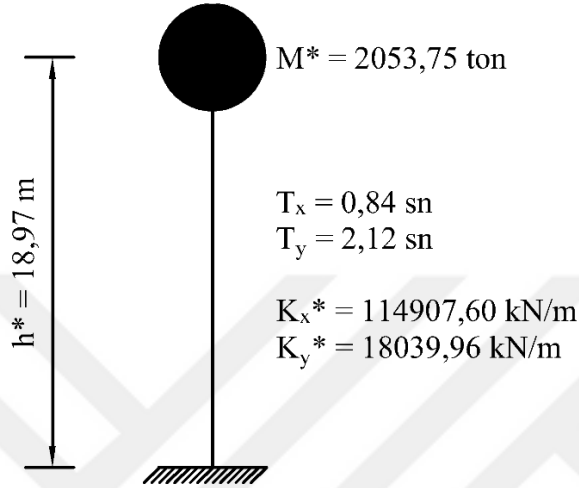
$$h^* = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1} h_n}{\underline{\phi}_1^T * \underline{M} * \underline{1}} = \frac{859,34}{45,3} = 18,97 \text{ m} \quad (4.6)$$

$$M^* = \frac{(\underline{\phi}_1^T * \underline{M} * \underline{1})^2}{\underline{\phi}_1^T * \underline{M} * \underline{\phi}_1} = \frac{2052,09}{0,999} = 2053,75 \text{ ton} \quad (4.7)$$

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı, Çok katlı prototip yapıyı temsil edecek şekilde oluşturulduğu için hâkim titreşim periyotları aynı olmalıdır. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının periyot ve kütle değerleri denklem 4.8'de yerine yazıldığında sistemin her iki doğrultudaki rijitlik değerleri $K_y^* = 18039,96 \text{ kN/m}$ ve $K_x^* = 114907,56 \text{ kN/m}$ olarak bulunmuştur.

$$T_{x,y} = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K_{x,y}^*}} \quad (4.8)$$

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının tasarım parametreleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı.

4.3. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtları

Sap2000 paket programında prototip yapı ve model yapılara etkitilmek üzere Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veritabanından altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtları seçilmiştir [15].

Yakın alan deprem kayıtlarında uzak alan deprem kayıtlarına göre daha büyük yer ivmesi ve daha kısa etki süreleri meydana gelmektedir [16]. Yakın alan deprem kayıtlarının gözlemlendiği mesafeler hakkında tam bir mutabakat yoktur ve genellikle yüksek frekans içeriğine sahiplerdir. Bu deprem kayıtları depremin ilk saniyelerinde kısa süreli itkilerle yapıya yüksek enerji girişi verirler bu yüzden yapılarda uzak alan depremlerine oranla daha büyük maksimum tepe noktası deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri meydana gelmesi beklenmektedir [17].

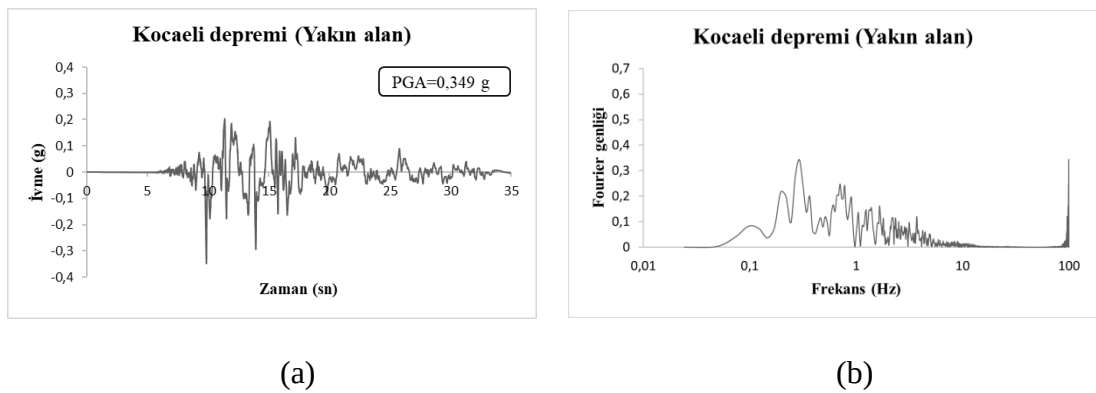
Tablo 4.2’de söz konusu yakın ve uzak alan deprem kayıtlarına ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan ivme-zaman deprem kayıtları.

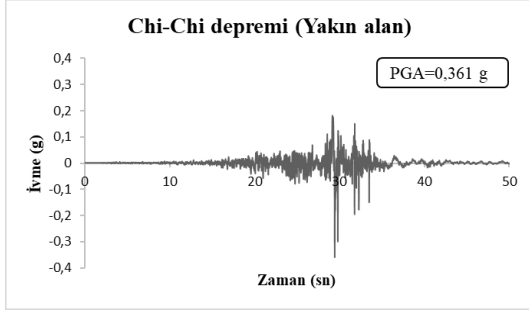
Tip	Deprem	İstasyon	Yıl	Mw	Uzaklık (km)	PGA (g)
Yakın alan	Kocaeli	Yarımca	1999	7,51	4,83	0,349
Yakın alan	Chi-Chi	TCU045	1999	7,62	26	0,361
Yakın alan	Loma prieta	Gilroy array-3	1989	6,93	12,82	0,367
Yakın alan	Tabas	Tabas	1978	7,35	55,24	0,862
Yakın alan	Sierra madre	Cogswell dam	1991	5,61	18,77	0,302
Yakın alan	Kobe	KJMA	1995	6,9	18,27	0,834
Uzak alan	Kern county	Taft lincoln school	1952	7,4	38,89	0,180
Uzak alan	Landers	Baker fire station	1992	7,3	87,94	0,108
Uzak alan	Loma prieta	Richmond city hall	1989	6,9	87,87	0,126
Uzak alan	N. palm springs	Hesperia	1986	6,1	72,97	0,041
Uzak alan	Imperial valley-06	Coachella canal-4	1979	6,5	50,1	0,128
Uzak alan	Morgan hill	San juan baitista, 24 polk st	1984	6,2	27,15	0,043

4.3.1. Yakın alan deprem kayıtları

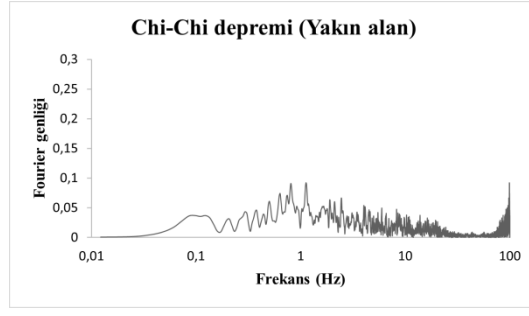
Tablo 4.2'deki yakın alan deprem kayıtlarının İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 4.3-4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

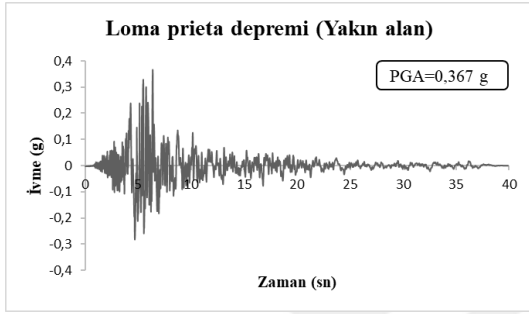


(a)

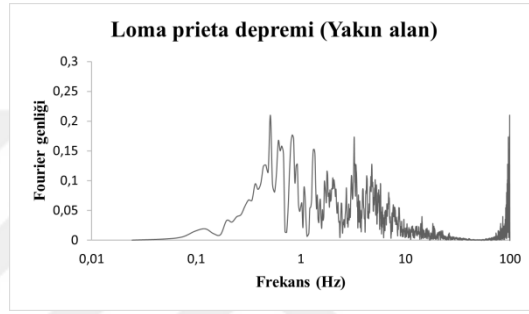


(b)

Şekil 4.4. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

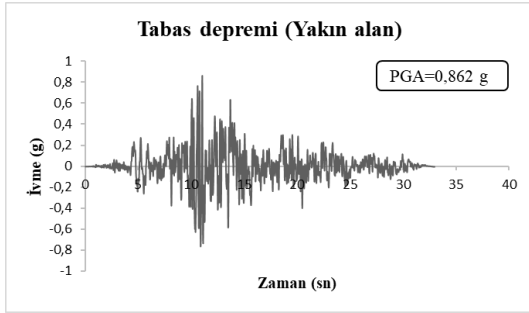


(a)

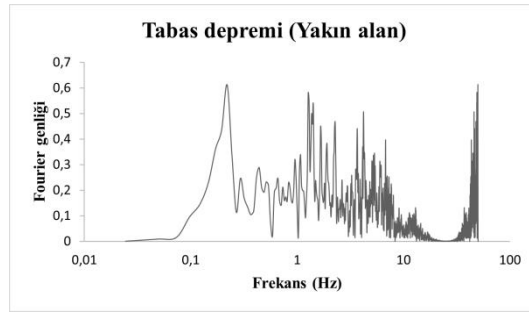


(b)

Şekil 4.5. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

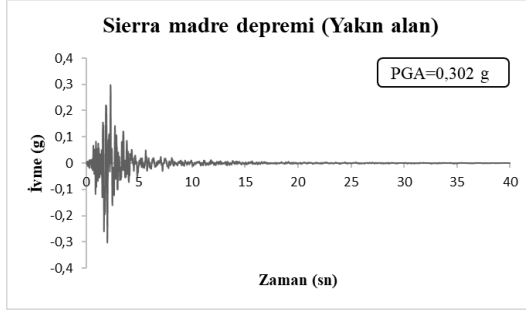


(a)

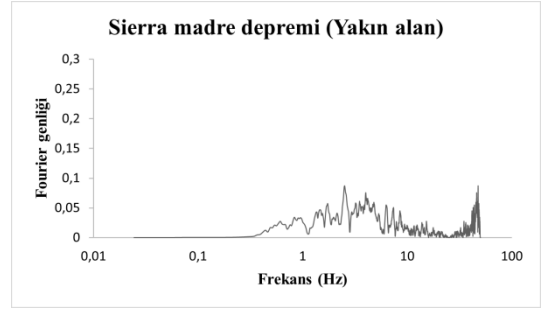


(b)

Şekil 4.6. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

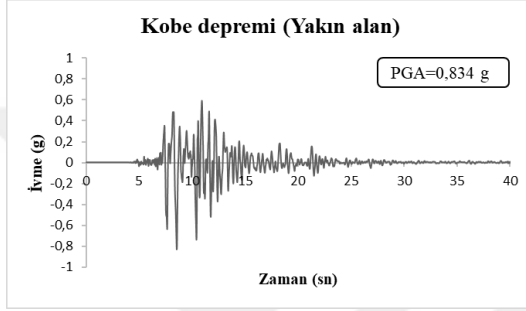


(a)

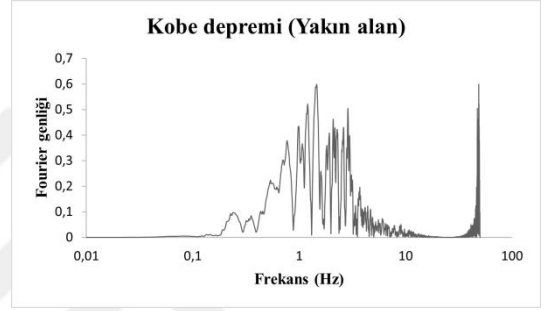


(b)

Şekil 4.7. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.



(a)



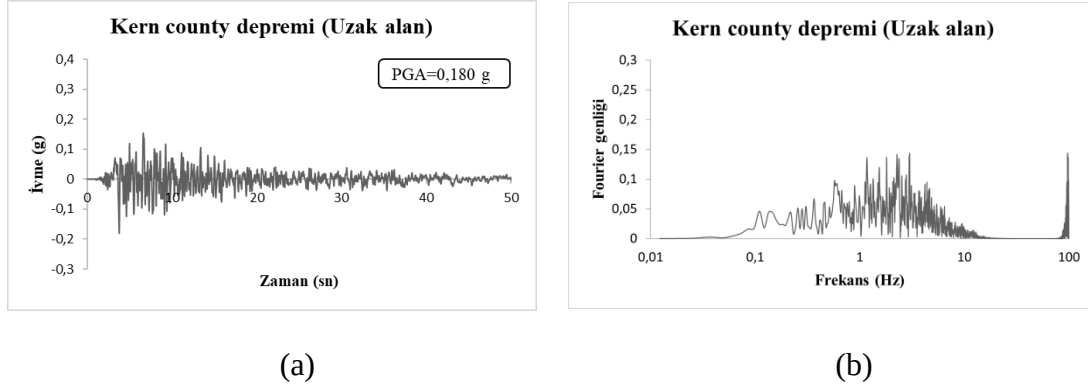
(b)

Şekil 4.8. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

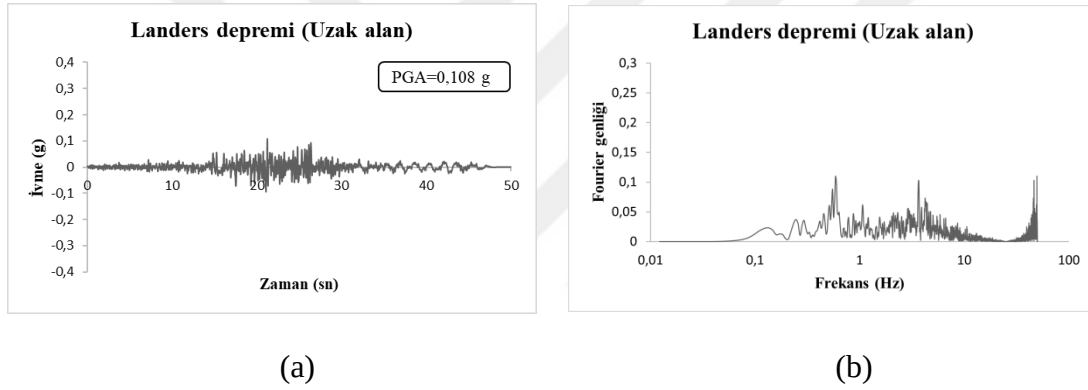
Seçilen yakın alan deprem kayıtlarından Tabas ile Kobe deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri yaklaşık 0,85 g seviyelerinde iken diğer dört adedinin 0,3 g ile 0,4 g arasında olduğu görülmüştür. PGA değeri yüksek olan deprem kayıtlarında diğerlerine oranla daha büyük fourier genliği değeri ölçülmüştür. Ayrıca yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıkları incelendiğinde Kobe deprem kaydının 1 Hz ile 4 Hz aralığında ve Sierra madre deprem kaydının 3 Hz ile 6 Hz arasında olduğu görülmüştür. Diğer yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıklarının ise yaklaşık 0,3 Hz ile 1,2 Hz aralığında değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

4.3.2. Uzak alan deprem kayıtları

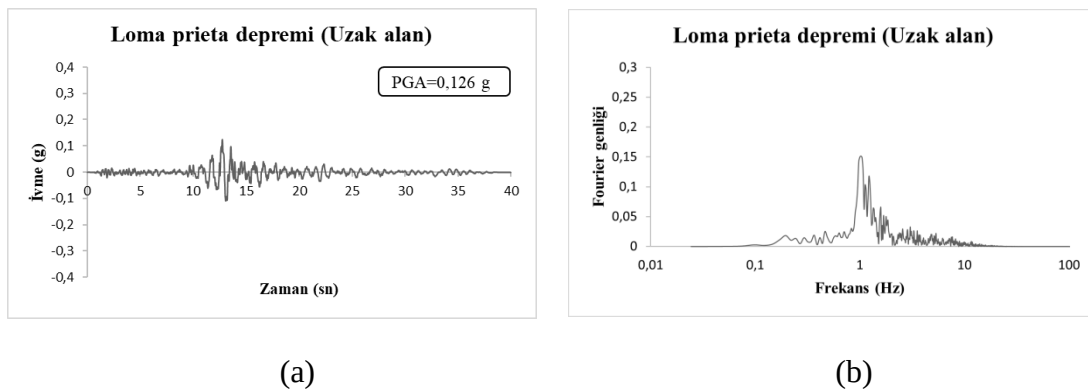
Tablo 4.2'deki uzak alan deprem kayıtlarının İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 4.9-4.14'da gösterilmiştir.



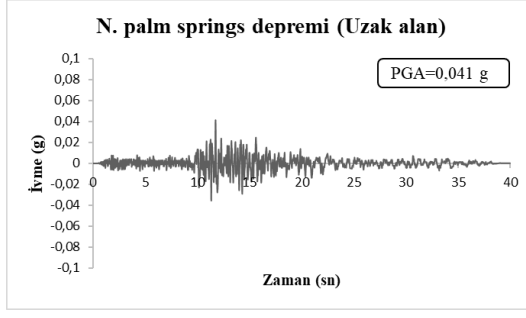
Şekil 4.9. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.



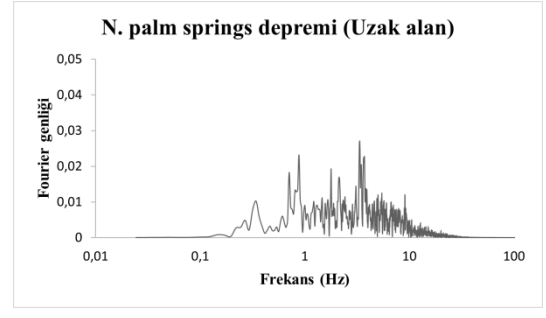
Şekil 4.10. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.



Şekil 4.11. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

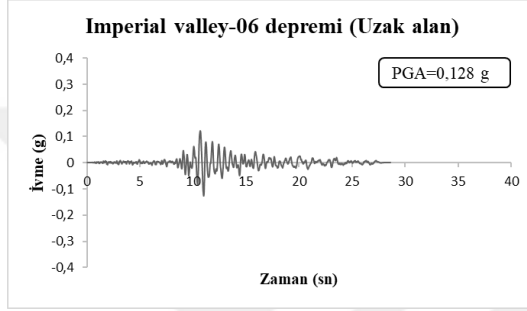


(a)

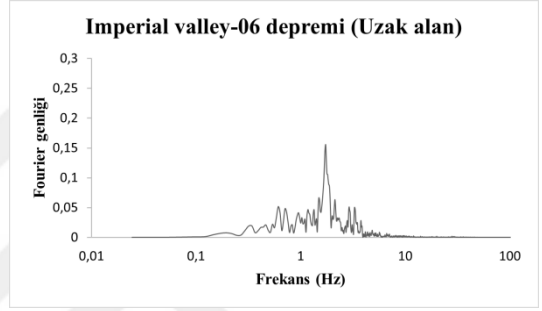


(b)

Şekil 4.12. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

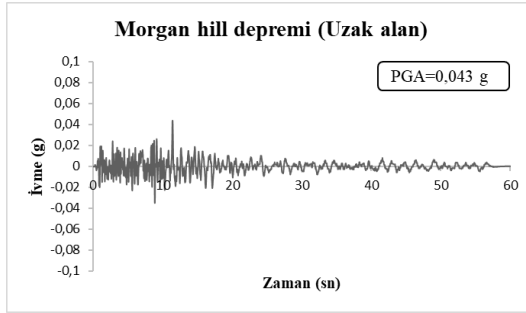


(a)

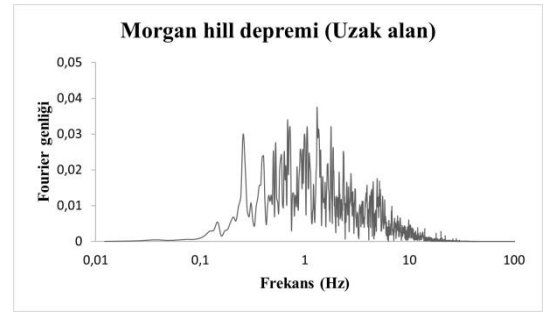


(b)

Şekil 4.13. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.



(a)



(b)

Şekil 4.14. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği.

Seçilen uzak alan deprem kayıtlarından N. palm springs ile Morgan hill deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri yaklaşık 0,04 g iken diğer dört adet deprem kaydının ise 0,1 g ile 0,2 g arasında olduğu görülmüştür. PGA değeri yüksek olan deprem kayıtlarında diğerlerine oranla daha büyük fourier genliği değeri ölçülmüştür. Ayrıca bu deprem kayıtlarından Loma prieta ile Imperial valley-06

deprem kayıtlarının 0,9 Hz ile 3 Hz arasında, diğer deprem kayıtlarının ise 1 Hz ile 8 Hz seviyelerinde baskın frekans içeriklerine sahip olduğu görülmüştür.

4.4. Prototip Yapının Mevcut Hali ile Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Toplu Kütleli Durumunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtları asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda sonlu elemanlar programında çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya etkililip bu yapıların dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Ayrıca eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının doğruluk düzeyi de bahsi geçen değerler incelenerek Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de kontrol edilmiştir.

Tablo 4.3. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)				
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (u_y)	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,7670	0,6937	9,55
Yakın alan	Chi-Chi	0,3240	0,2862	11,66
Yakın alan	Loma prieta	0,3910	0,3269	16,39
Yakın alan	Tabas	1,2200	1,1431	6,30
Yakın alan	Sierra madre	0,0500	0,0317	36,66
Yakın alan	Kobe	0,4600	0,3121	32,15
Uzak alan	Kern county	0,1400	0,1301	7,06
Uzak alan	Landers	0,1100	0,0985	10,45
Uzak alan	Loma prieta	0,0600	0,0452	24,60
Uzak alan	N. palm springs	0,0110	0,0102	7,27
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0570	0,0456	20,00
Uzak alan	Morgan hill	0,0470	0,0398	15,43

Tablo 4.4. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)				
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (F_y)	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4762	4541	4,64
Yakın alan	Chi-Chi	2081	2134	2,55
Yakın alan	Loma prieta	5789	5419	6,39
Yakın alan	Tabas	11249	9275	17,55
Yakın alan	Sierra madre	929	658	29,17
Yakın alan	Kobe	7447	6302	15,38
Uzak alan	Kern county	1946	1385	28,83
Uzak alan	Landers	1066	959	10,04
Uzak alan	Loma prieta	875	977	11,66
Uzak alan	N. palm springs	132	108	18,37
Uzak alan	Imperial valley-06	1195	829	30,63
Uzak alan	Morgan hill	673	580	13,82

Tablo 4.5. Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)				
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	82217	86155	4,79
Yakın alan	Chi-Chi	40183	40498	0,78
Yakın alan	Loma prieta	101603	102808	1,19
Yakın alan	Tabas	170791	175962	3,03
Yakın alan	Sierra madre	14402	12499	13,21
Yakın alan	Kobe	127648	119555	6,34
Uzak alan	Kern county	25874	26286	1,59
Uzak alan	Landers	18264	18203	0,33

Tablo 4.5. (Devamı) Çok katlı prototip yapı ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)				
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Hata payı (%)
Uzak alan	Loma prieta	19778	18546	6,23
Uzak alan	N. palm springs	2095	2053	2,00
Uzak alan	Imperial valley-06	14197	15736	10,84
Uzak alan	Morgan hill	10156	11013	8,44

Çok katlı prototip yapı ile onu temsil eden eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri karşılaştırıldığında görülen hata payları özellikle yakın alan deprem kayıtlarında çok daha büyük çıkmaktadır. Yakın alan deprem kayıtlarının daha büyük yer ivmesi değerlerine sahip olması sebebiyle daha yüksek hata payları elde edilmiştir.

Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemler oluşturulurken her bir mod biçimi için ayrı modal yükseklik ve modal kütle elde edilir. Bu çalışma kapsamında sadece hakim mod biçimi kullanılarak oluşturulan eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı incelenmiştir. Hata payı oranının %30 seviyelerine ulaşmasının bir diğer sebebi ise prototip yapının diğer mod biçimlerini ihmal etmemiz ve sadece hakim mod biçimine göre eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı tasarlamamızdır [18].

Genel olarak hata payları incelendiğinde eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

5. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ SARSMA TABLASINA GÖRE TASARLANMIŞ MODELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ

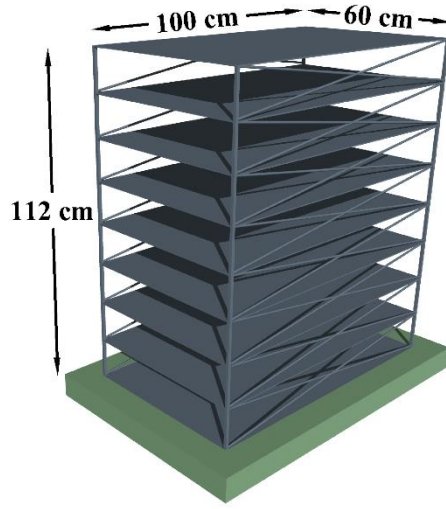
Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan küçük ölçekli sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasitesi gibi teknik özellikleri dikkate alınarak kurulacak olan çok ve tek katlı ölçekli test modelleri için $\lambda = 25$ ölçek katsayısının uygun olacağı belirlenmiştir.

5.1. Model Yapıların $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması

5.1.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri $\lambda = 25$ ölçek katsayısına bölündüğünde çok katlı sarsma tablası test modelinin uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri sırasıyla 100 cm, 60 cm ve 112 cm olarak bulunmuştur. Boyut analizine dayalı ölçeklendirme kurallarına göre kütle yoğunluğu ölçek katsayısı 1 olarak kabul edilir yani prototip ve model yapının kütle yoğunluğu eşittir. Buradan yola çıkarak çok katlı model yapının toplam kütlesi 0,154 ton olarak bulunmuştur. Prototip yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri olan $K_y = 77000$ kN/m ve $K_x = 498000$ kN/m sırasıyla λ^2 ile ölçeklendirildiğinde model yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri $K_{ym} = 123$ kN/m ve $K_{xm} = 797$ kN/m olarak bulunmaktadır.

Model yapının tasarım malzemesi olarak S420 çelik sınıfı seçilmiştir. Kolonları kare kolon olarak seçilmiş ve kuvvetli doğrultu olan x-doğrultusunda çarpaz elemanlar kullanılmıştır. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü ve ölçüleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 25$.

Model yapı, prototip yapı ile aynı olacak şekilde 8 katlı olarak modellenmiştir. Belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde çok katlı sarsma tablası test modelinin kolon, çarpraz ve tabliye elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$.

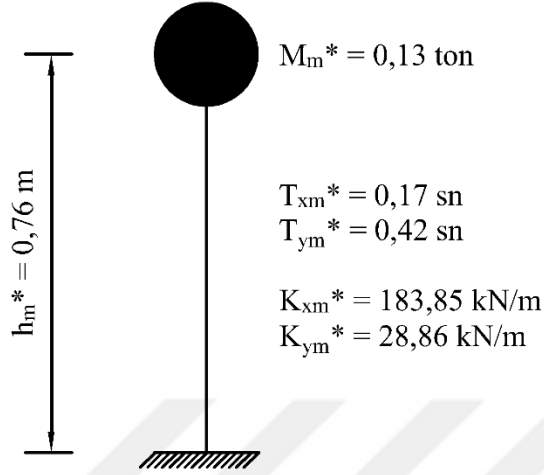
Kolon kesitleri (cm)	Çarpraz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
0,45/0,45	0,149	0,41	14	0,019	0,124	0,444

Çok katlı sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,444$ sn ve $f_{ym} = 2,25$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,124$ sn ve $f_{xm} = 8,06$ Hz olarak bulunmuştur.

5.1.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının temsil eden tek katlı sarsma tablası test modellerinin oluşturulması

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının tasarım parametreleri ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklendirilip Şekil 5.2’deki tek serbestlik dereceli toplu kütleli modele dönüştürülmüştür. Bu toplu kütleli model yapının tasarım parametrelerini sağlayacak şekilde tek katlı sarsma tablası test modelleri oluşturulmuştur. Ancak tek katlı sarsma tablası test modellerinin yüksekliği eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının

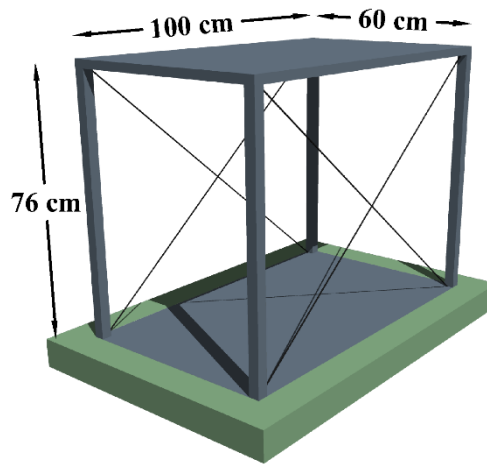
yükseklik değeri ölçeklendirilerek bulunurken uzunluk ve genişlik parametleri çok katlı prototip yapının ilgili değerleri ölçeklenerek bulunmuştur. Tek katlı sarsma tablası test modelleri oluşturulurken S420 çelik sınıfı seçilmiştir.



Şekil 5.2. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 25$.

5.1.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk ve genişlik değerleri $\lambda = 25$ ölçek katsayısına bölündüğünde tek katlı çift doğrultulu model yapının uzunluk ve genişlik değerleri sırasıyla 100 cm ve 60 cm olarak bulunmuştur. Bu model yapının yüksekliği ise eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının yükseklik değeri ölçeklendirilerek 76 cm olarak bulunmuştur. Oluşturulan tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin boyutsal özellikleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$.

Şekil 5.2’de belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin kolon, tabliye ve x-doğrultusundaki çarpaz elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$.

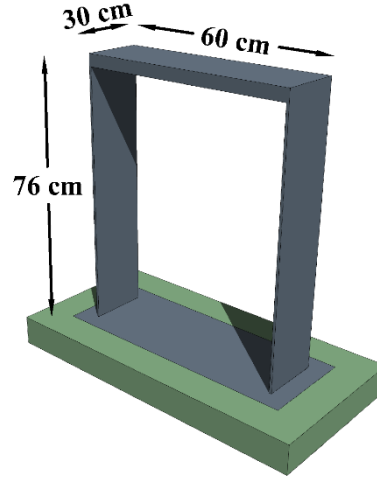
Kolon kesitleri (cm)	Çarpaz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
1,1/1,1	0,099	0,86	76	0,13	0,122	0,439

Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,439$ sn ve $f_{ym} = 2,27$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,122$ sn ve $f_{xm} = 8,19$ Hz olarak bulunmuştur.

5.1.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Yapının zayıf doğrultusu olan y-doğrultusu incelenmek istendiği için tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli iki adet perde kolonlu olacak şekilde. Çok katlı prototip yapıya ait zayıf doğrultudaki genişlik değeri $\lambda = 25$ ölçek katsayısına bölündüğünde bulunan değer tek katlı tek doğrultulu model yapının uzunluk değeri olacak şekilde 60 cm olarak bulunmuştur.

Şekil 5.2’de belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde tek katlı tek doğrultulu model yapının perde kolon ve tabliye elemanları boyutlandırılmıştır. Oluşturulan modelin boyutsal özellikleri Şekil 5.4’de ve modele ait tasarım parametleri Tablo 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$.

Tablo 5.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 25$.

Perde kolon kesitleri (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
30/0,47	9,3	76	0,13	-	0,426

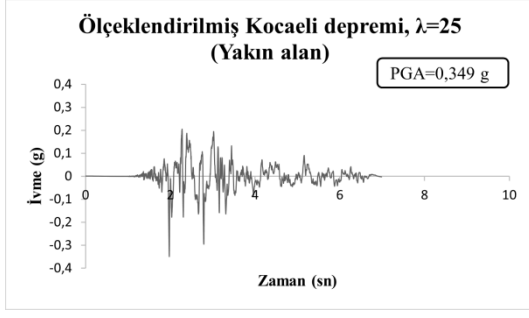
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,426$ sn ve $f_{ym} = 2,35$ Hz olarak bulunmuştur.

5.2. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtlarının $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı ile Ölçeklendirilmesi

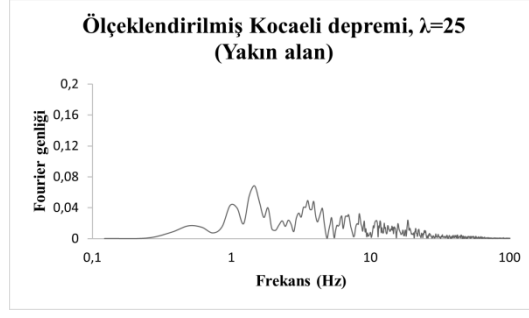
Sap2000 paket programında model yapılara deprem kayıtları etkilmeden önce bu kayıtlarında ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklendirilmesi yapılmıştır. Bu deprem kayıtları model yapılara etkilirken, zaman adımları $\sqrt{\lambda}$ ölçeklendirme faktörü ile küçültülmüştür ancak ivme değerleri için ölçek katsayımız 1 olduğu için ivme değerleri değiştirilmemiştir.

5.2.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

Tablo 4.2'deki yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 5.5-5.10'da gösterilmiştir.

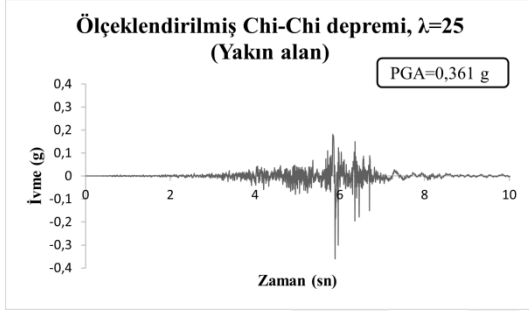


(a)

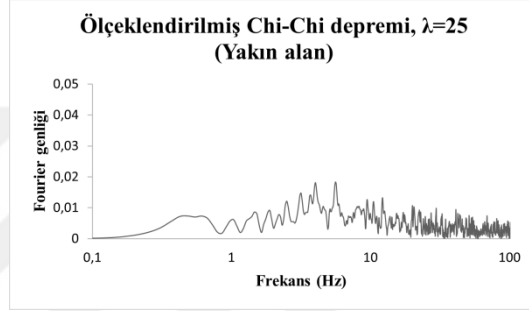


(b)

Şekil 5.5. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

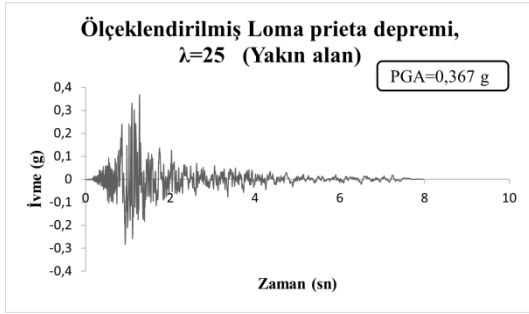


(a)

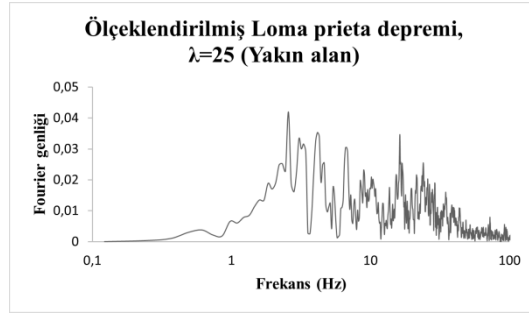


(b)

Şekil 5.6. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

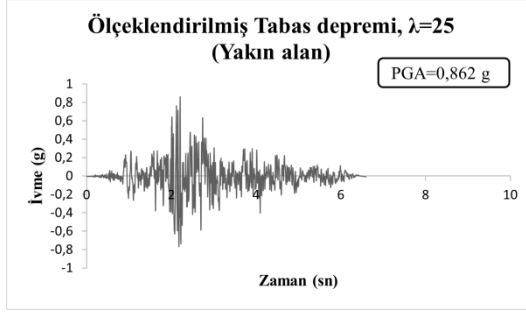


(a)

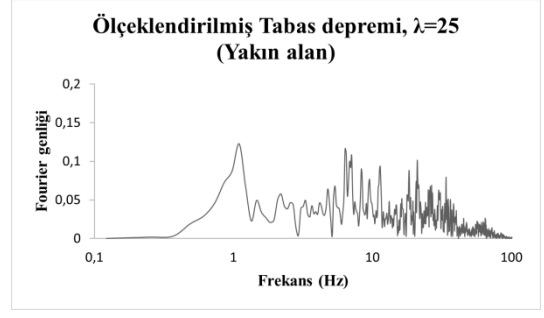


(b)

Şekil 5.7. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

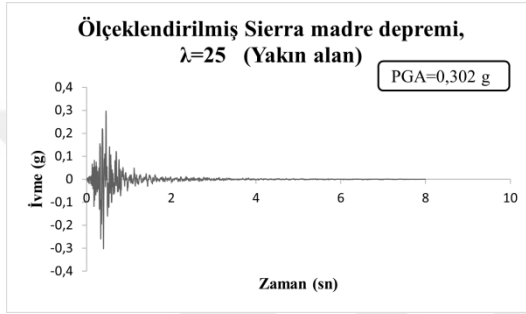


(a)

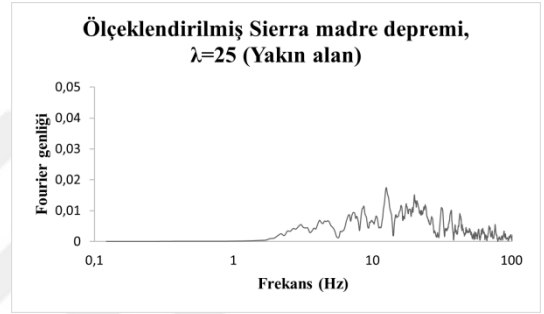


(b)

Şekil 5.8. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

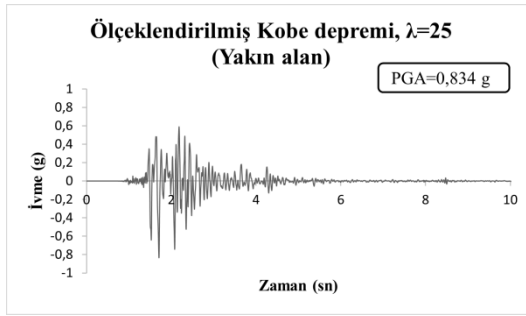


(a)

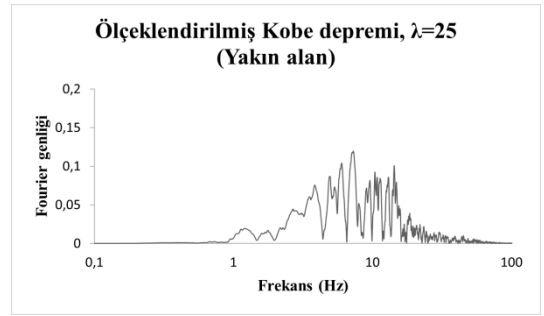


(b)

Şekil 5.9. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.



(a)



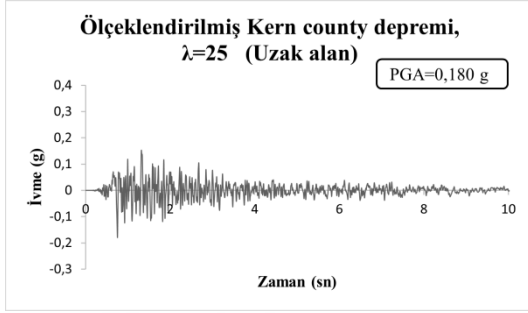
(b)

Şekil 5.10. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

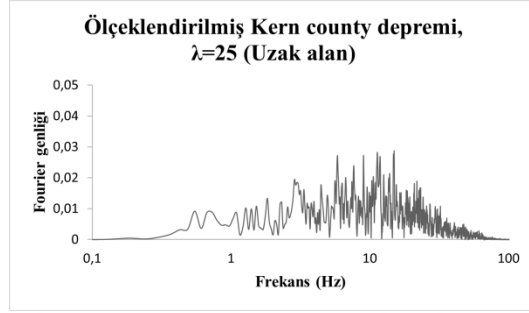
$\lambda = 25$ ölçek katsayısıyla ölçeklendirilmiş yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıkları incelendiğinde Kobe deprem kaydının 5 Hz ile 20 Hz aralığında ve Sierra madre deprem kaydının 15 Hz ile 30 Hz arasında olduğu görülmüştür. Diğer yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıklarının ise yaklaşık 1,5 Hz ile 6 Hz aralığında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

5.2.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

Tablo 4.2'deki uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 5.11-5.16'da gösterilmiştir.

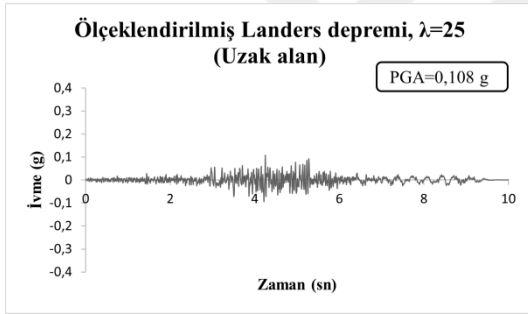


(a)

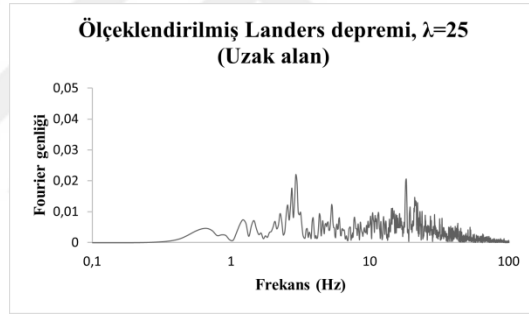


(b)

Şekil 5.11. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

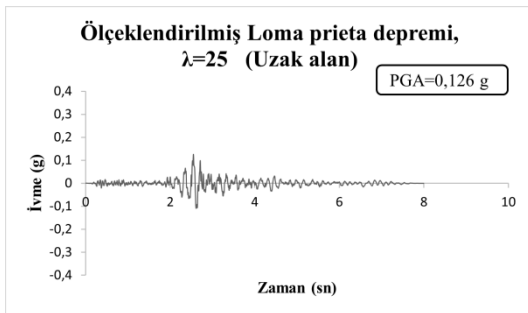


(a)

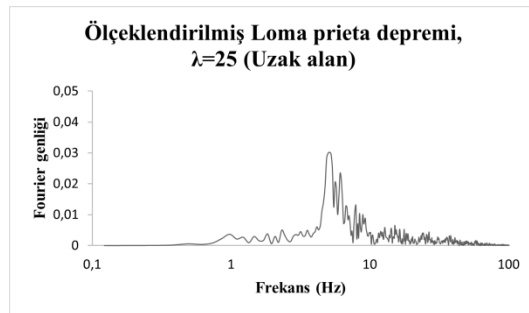


(b)

Şekil 5.12. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

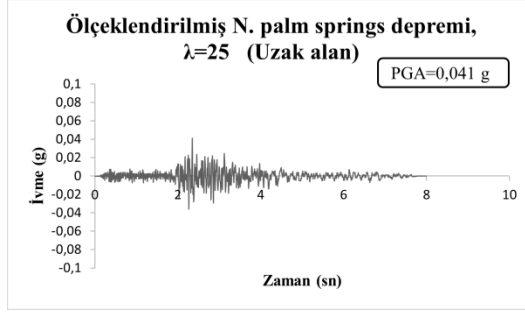


(a)

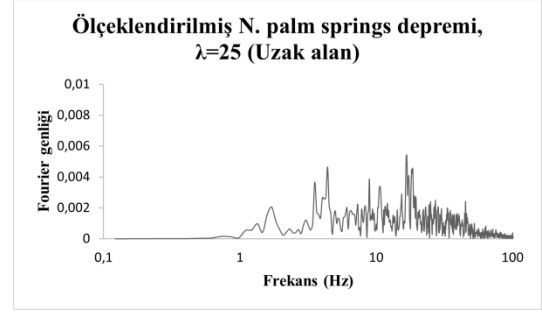


(b)

Şekil 5.13. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

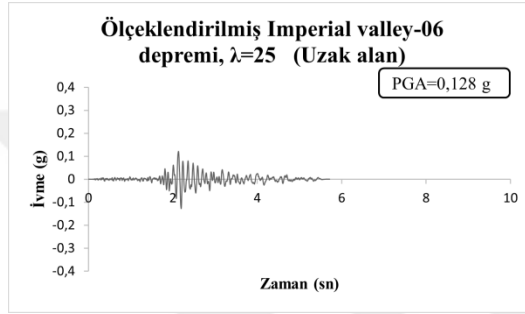


(a)

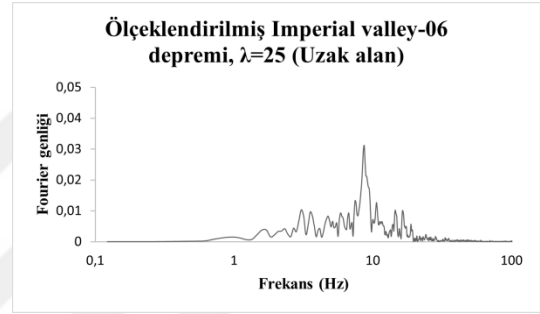


(b)

Şekil 5.14. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

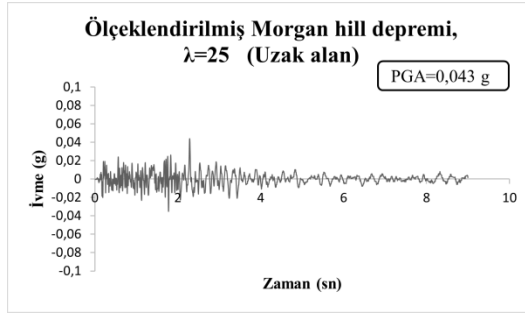


(a)

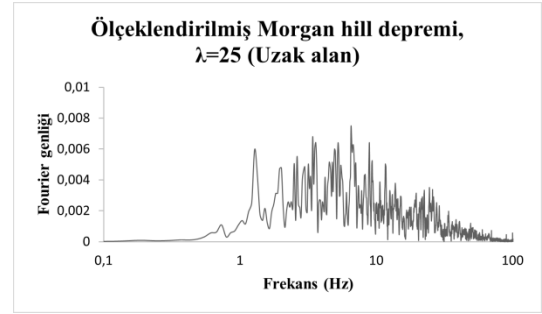


(b)

Şekil 5.15. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.



(a)



(b)

Şekil 5.16. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 25$.

Ölçeklendirilmiş uzak alan deprem kayıtlarından Loma prieta ile Imperial valley-06 deprem kayıtlarının 4,5 Hz ile 15 Hz arasında, diğer deprem kayıtlarının ise 5 Hz ile 40 Hz seviyelerinde baskın frekans içeriklerine sahip olduğu belirlenmiştir.

5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle $\lambda = 25$ Ölçek Katsayısı ile Oluşturulan Model Yapıların Deprem Analizi

5.3.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında çok katlı sarsma tablası test modeline etkililip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6’da gösterilmiştir. Prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve prototip ile model yapıya ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, Model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 5.4. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (u_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,7670	0,0314	24,45	2,20
Yakın alan	Chi-Chi	0,3240	0,0123	26,34	5,37
Yakın alan	Loma prieta	0,3910	0,0154	25,39	1,56
Yakın alan	Tabas	1,2200	0,0477	25,58	2,31
Yakın alan	Sierra madre	0,0500	0,0018	27,62	10,50
Yakın alan	Kobe	0,4600	0,0157	29,30	17,20
Uzak alan	Kern county	0,1400	0,0058	24,18	3,28
Uzak alan	Landers	0,1100	0,0049	22,63	9,47
Uzak alan	Loma prieta	0,0600	0,0021	29,13	16,50
Uzak alan	N. palm springs	0,0110	0,0005	20,11	19,56

Tablo 5.4. (Devamı) Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (u_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0570	0,0022	25,44	1,74
Uzak alan	Morgan hill	0,0470	0,0018	26,70	6,82

Tablo 5.5. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (F_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4762	0,286	25,54	2,14
Yakın alan	Chi-Chi	2081	0,093	28,18	12,72
Yakın alan	Loma prieta	5789	0,347	25,55	2,21
Yakın alan	Tabas	11249	0,679	25,49	1,97
Yakın alan	Sierra madre	929	0,051	26,31	5,25
Yakın alan	Kobe	7447	0,397	26,57	6,28
Uzak alan	Kern county	1946	0,108	26,22	4,87
Uzak alan	Landers	1066	0,065	25,41	1,63
Uzak alan	Loma prieta	875	0,050	25,96	3,85
Uzak alan	N. palm springs	132	0,010	23,70	5,21
Uzak alan	Imperial valley-06	1195	0,069	25,87	3,49
Uzak alan	Morgan hill	673	0,040	25,62	2,50

Tablo 5.6. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	82217	0,201	25,30	1,18
Yakın alan	Chi-Chi	40183	0,087	26,05	4,22
Yakın alan	Loma prieta	101603	0,237	25,59	2,35
Yakın alan	Tabas	170791	0,398	25,59	2,38
Yakın alan	Sierra madre	14402	0,031	26,13	4,51
Yakın alan	Kobe	127648	0,287	25,82	3,30
Uzak alan	Kern county	25874	0,067	24,94	0,25
Uzak alan	Landers	18264	0,043	25,57	2,29
Uzak alan	Loma prieta	19778	0,050	25,13	0,52
Uzak alan	N. palm springs	2095	0,006	24,62	1,51
Uzak alan	Imperial valley-06	14197	0,034	25,51	2,06
Uzak alan	Morgan hill	10156	0,024	25,43	1,70

Çok katlı prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile modellenen çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda görülen hata payları genellikle uzak alan deprem kayıtları etkisi altında meydana gelen yer değiştirmelerde büyük çıkmaktadır. Uzak alan deprem kayıtlarının yer ivmesi değerleri ve yakın alan deprem kayıtlarına göre daha küçük olduğundan prototip ve model yapıda daha küçük yer değiştirmelere neden olmuştur. Bu hata paylarının diğerlerine oranla daha büyük çıkmasına sebep olarak ise sonlu elemanlar programının küçük değerlerde gerekli işlem hassasiyetini yapamaması gösterilebilir.

Yapı ile deprem kayıtlarının frekans oranlarının birbirlerine yakın olması sonucunda rezonans meydana gelmesi ve bunun sonucunda yapıda daha büyük deplasman, kesme kuvveti ve devrilme momenti değeri meydana gelmesi beklenir [19].

Deprem kayıtlarının incelenmesi sonucunda yakın alan deprem kayıtlarından olan Kocaeli, Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak Kocaeli deprem kayıtları etkisi altında meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanının Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarında meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı değerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Fourier genliği-Frekans grafikleri incelendiğinde Kocaeli deprem kaydının frekans içeriğinin hem prototip yapı hem de model yapının hakim frekanslarına yakın seviyelerde yoğun olduğu görülmüştür. Kocaeli deprem kaydının rezonans frekansına yakın olması sebebiyle daha büyük yer değiştirmeler meydana geldiği söylenebilir. Aynı durum uzak alan deprem kayıtlarından olan N. palm springs ve Morgan hill deprem kayıtları içinde söylenebilir. Morgan hill deprem kaydının rezonans frekansına yakın olması sebebiyle N. palm springs deprem kaydına oranla daha büyük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ise hata paylarının kabul edilebilir bir seviyede olduğu ve model yapının prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

5.3.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline etkililip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’da gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile tek katlı çift doğrultulu model yapıya ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 5.7. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0283	24,51	1,94
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0110	26,02	4,08
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0128	25,54	2,17
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0456	25,07	0,27
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0012	27,30	9,21
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0123	25,37	1,50
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0049	26,55	6,21
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0043	22,70	9,21
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0017	26,61	6,45
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0005	21,70	13,19
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0019	24,65	1,41
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0015	26,50	6,00

Tablo 5.8. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	0,270	25,62	2,48
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,112	26,71	6,84
Yakın alan	Loma prieta	5419	0,319	25,71	2,83
Yakın alan	Tabas	9275	0,547	25,69	2,76
Yakın alan	Sierra madre	658	0,036	26,34	5,37
Yakın alan	Kobe	6302	0,343	26,39	5,55
Uzak alan	Kern county	1385	0,081	25,76	3,05
Uzak alan	Landers	959	0,056	25,78	3,10
Uzak alan	Loma prieta	977	0,056	25,92	3,68
Uzak alan	N. palm springs	108	0,007	24,73	1,08
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,049	25,67	2,69
Uzak alan	Morgan hill	580	0,033	26,00	4,00

Tablo 5.9. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	0,205	25,47	1,88
Yakın alan	Chi-Chi	40498	0,085	26,24	4,97
Yakın alan	Loma prieta	102808	0,242	25,53	2,12
Yakın alan	Tabas	175962	0,415	25,52	2,08
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,027	26,06	4,24
Yakın alan	Kobe	119555	0,261	26,03	4,10
Uzak alan	Kern county	26286	0,061	25,58	2,32
Uzak alan	Landers	18203	0,043	25,55	2,21
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,043	25,69	2,75
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,005	24,83	0,67
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,037	25,54	2,15
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,025	25,84	3,36

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda görülen hata paylarının genellikle %10'un altında olduğu görülmüştür. Çok katlı modelde de olduğu gibi deprem kayıtlarının incelenmesi sonucunda yakın alan deprem kayıtlarından olan Kocaeli, Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi değerlerinin birbirine yakın olmasına rağmen meydana gelen rezonanstan dolayı Kocaeli deprem kaydı etkisi altında yapılarda daha büyük yer değiştirme meydana geldiği görülmüştür. Aynı durum uzak alan deprem kayıtlarından olan N. palm springs ve Morgan hill

deprem kayıtlarında da gözlenmiştir. Morgan hill deprem kaydının rezonans frekansına yakın olması sebebiyle N. palm springs deprem kaydına oranla daha büyük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. İncelenen hata payları kabul edilebilir seviyede olduğundan dolayı model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

5.3.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline etkililip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 5.10, Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının ait dinamik analiz sonuçları ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 5.10. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0278	24,95	0,18
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0114	25,11	0,42
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0130	25,15	0,59
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0458	24,96	0,17

Tablo 5.10. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0013	25,34	1,34
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0123	25,37	1,50
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0052	25,17	0,67
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0040	24,75	0,99
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0018	25,13	0,53
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0004	24,64	1,45
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0018	24,92	0,33
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0016	25,13	0,51

Tablo 5.11. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	0,288	25,08	0,30
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,134	25,16	0,64
Yakın alan	Loma prieta	5419	0,342	25,12	0,47
Yakın alan	Tabas	9275	0,587	25,09	0,37
Yakın alan	Sierra madre	658	0,041	25,22	0,90

Tablo 5.11. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_{y*})	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kobe	6302	0,394	25,20	0,78
Uzak alan	Kern county	1385	0,086	25,25	1,01
Uzak alan	Landers	959	0,061	25,05	0,21
Uzak alan	Loma prieta	977	0,062	25,07	0,28
Uzak alan	N. palm springs	108	0,007	25,05	0,20
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,052	25,17	0,67
Uzak alan	Morgan hill	580	0,036	25,26	1,03

Tablo 5.12. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_{x*})	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	0,218	25,07	0,29
Yakın alan	Chi-Chi	40498	0,101	25,14	0,56
Yakın alan	Loma prieta	102808	0,260	25,08	0,31
Yakın alan	Tabas	175962	0,446	25,07	0,26
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,031	25,14	0,55
Yakın alan	Kobe	119555	0,299	25,14	0,57

Tablo 5.12. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 25$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Kern county	26286	0,065	25,20	0,79
Uzak alan	Landers	18203	0,046	25,03	0,11
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,047	25,08	0,31
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,005	25,07	0,27
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,040	25,09	0,37
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,028	25,13	0,53

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda en fazla %1,50 hata payı görülmüştür. Görülen hata payları oldukça küçük değerler olduğundan dolayı kolaylıkla model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

6. BÜYÜK ÖLÇEKLİ SARSMA TABLASINA GÖRE TASARLANMIŞ MODELLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DEPREM ANALİZİ

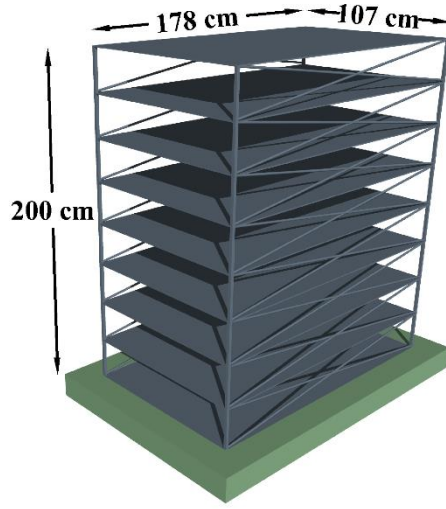
Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan büyük ölçekli sarsma tablasının boyutsal özellikleri ve dinamik yükleme kapasitesi gibi teknik özellikleri dikkate alınarak kurulacak olan çok katlı ve tek katlı model yapılar için $\lambda = 14$ ölçek katsayısının uygun olacağı belirlenmiştir. Aynı zamanda kurulan modellerde seçilecek olan ölçek katsayısının büyük veya küçük olmasından dolayı kaynaklanacak değişimleri gözlemlemek üzere $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile de çok katlı ve tek katlı model yapılar kurulmuştur.

6.1. Model Yapıların $\lambda = 14$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması

6.1.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri $\lambda = 14$ ölçek katsayısına bölündüğünde çok katlı sarsma tablası test modelinin uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri sırasıyla 178 cm, 107 cm ve 200 cm olarak bulunmuştur. Boyut analizine dayalı ölçeklendirme kurallarına göre kütle yoğunluğu ölçek katsayısı 1 olarak kabul edilir yani prototip ve model yapının kütle yoğunluğu eşittir. Buradan yola çıkarak çok katlı sarsma tablası test modelinin toplam kütlesi 0,875 ton olarak bulunmuştur. Çok katlı prototip yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri olan $K_y = 77000$ kN/m ve $K_x = 498000$ kN/m sırasıyla λ^2 ile ölçeklendirildiğinde model yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri $K_{ym} = 393$ kN/m ve $K_{xm} = 2541$ kN/m olarak bulunmaktadır.

Model yapıda malzeme olarak S420 çelik sınıfı kullanılmıştır. Kolonları kare kolon olarak seçilmiş ve kuvvetli doğrultu olan x-doğrultusunda çarpraz elemanlar kullanılmıştır. Çok katlı sarsma tablası test modelinin boyutsal özellikleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 14$.

Çok katlı sarsma tablası test modeli, çok katlı prototip yapı ile aynı olacak şekilde 8 katlı olarak modellenmiştir. Belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde model yapının kolon, çarpaz ve tabliye elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.

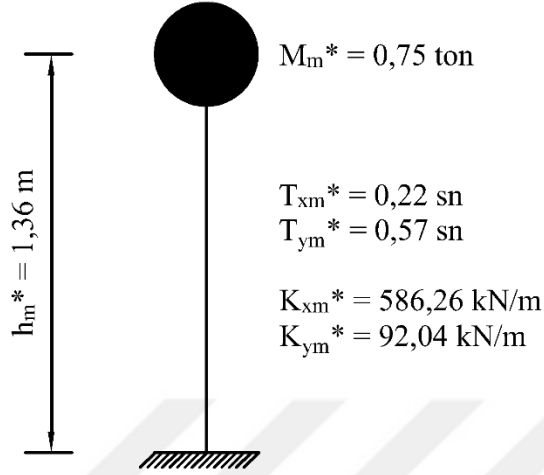
Kolon kesitleri (cm)	Çarpaz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
0,94/0,94	0,355	0,73	25	0,109	0,167	0,621

Çok katlı sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,621$ sn ve $f_{ym} = 1,61$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,167$ sn ve $f_{xm} = 5,99$ Hz olarak bulunmuştur.

6.1.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil eden tek katlı sarsma tablası test modellerinin oluşturulması

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının tasarım parametreleri ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklendirilip Şekil 6.2’deki tek serbestlik dereceli toplu kütleli modele dönüştürülmüştür. Bu toplu kütleli model yapının tasarım parametrelerini sağlayacak şekilde tek katlı sarsma tablası test modelleri oluşturulmuştur. Ancak tek katlı sarsma tablası test modellerinin yüksekliği eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının

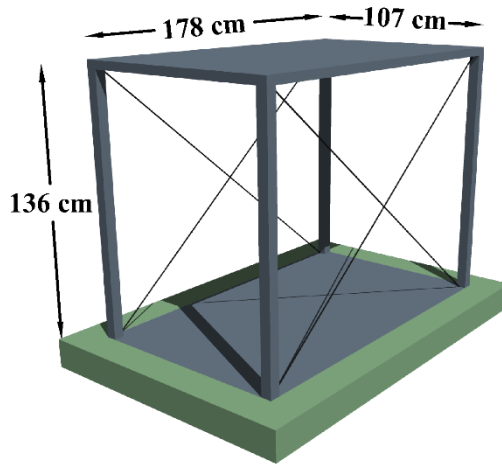
yükseklik değeri ölçeklendirilerek bulunurken uzunluk ve genişlik parametreleri çok katlı prototip yapının ilgili değerleri ölçeklenerek bulunmuştur. Tek katlı sarsma tablası test modelleri oluşturulurken S420 çelik sınıfı seçilmiştir.



Şekil 6.2. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 14$.

6.1.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk ve genişlik değerleri $\lambda = 14$ ölçek katsayısına bölündüğünde tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin uzunluk ve genişlik değerleri sırasıyla 178 cm ve 107 cm olarak bulunmuştur. Bu modelin yüksekliği ise eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının yükseklik değeri ölçeklendirilerek 136 cm olarak bulunmuştur. Oluşturulan tek katlı ölçekli test modelinin boyutsal özellikleri Şekil 6.3’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.

Şekil 6.2’de belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde tek katlı çift doğrultulu modelin kolon, tabliye ve x-doğrultusundaki çarpaz elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.

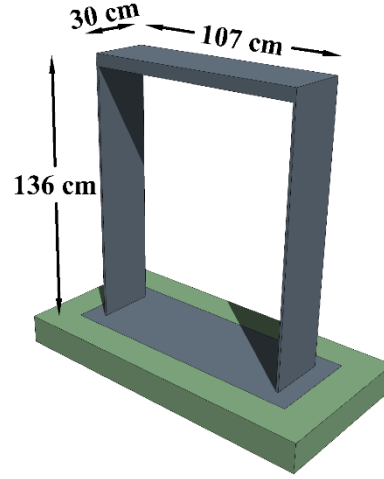
Kolon kesitleri (cm)	Çarpaz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
2,3/2,3	0,236	4,85	136	0,75	0,163	0,565

Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,565$ sn ve $f_{ym} = 1,77$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,163$ sn ve $f_{xm} = 6,13$ Hz olarak bulunmuştur.

6.1.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Yapının zayıf doğrultusu olan y-doğrultusu incelenmek istendiği için tek katlı tek doğrultulu iki adet perde kolonlu bir sarsma tablası test modeli oluşturulmuştur. Çok katlı prototip yapıya ait zayıf doğrultudaki genişlik değeri $\lambda = 14$ ölçek katsayısına bölündüğünde bulunan değer tek katlı tek doğrultulu model yapının uzunluk değeri olacak şekilde 107 cm olarak bulunmuştur.

Şekil 6.2’de belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde model yapının perde kolon ve tabliye elemanları boyutlandırılmıştır. Oluşturulan model yapının boyutsal özellikleri Şekil 6.4’de ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 6.3’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.

Tablo 6.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 14$.

Perde kolon kesitleri (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
30/1,24	29,66	136	0,75	-	0,532

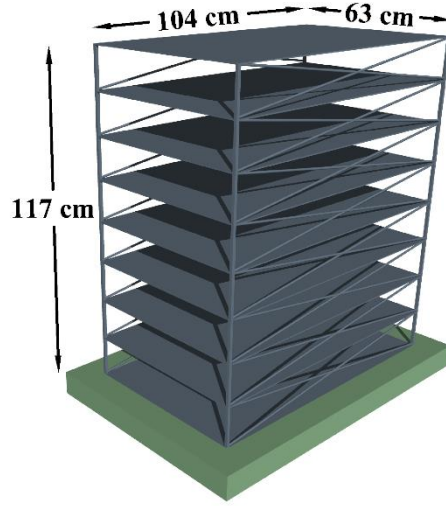
Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,532$ sn ve $f_{ym} = 1,88$ Hz olarak bulunmuştur.

6.2. Model Yapıların $\lambda = 24$ Ölçek Katsayısı Kullanılarak Oluşturulması

6.2.1. Çok katlı prototip yapıyı temsil eden çok katlı sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri $\lambda = 24$ ölçek katsayısına bölündüğünde çok katlı sarsma tablası test modelinin uzunluk, genişlik ve toplam kat yüksekliği değerleri sırasıyla 104 cm, 63 cm ve 117 cm olarak bulunmuştur. Boyut analizine dayalı ölçeklendirme kurallarına göre kütle yoğunluğu ölçek katsayısı 1 olarak kabul edilir yani prototip ve model yapının kütle yoğunluğu eşittir. Buradan yola çıkarak model yapının toplam kütlesi 0,176 ton olarak bulunmuştur. Prototip yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri olan $K_y = 77000$ kN/m ve $K_x = 498000$ kN/m sırasıyla λ^2 ile ölçeklendirildiğinde model yapının her bir katındaki toplam rijitlik değerleri $K_{ym} = 134$ kN/m ve $K_{xm} = 865$ kN/m olarak bulunmaktadır.

Model yapının malzemesi olarak S420 çelik sınıfı kullanılmıştır. Kolonları kare kolon olarak seçilmiş ve kuvvetli doğrultu olan x-doğrultusunda çarpraz elemanlar kullanılmıştır. Model yapının boyutsal özellikleri Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Çok katlı sarsma tablası test modelinin üç boyutlu görünüşü, $\lambda = 24$.

Çok katlı sarsma tablası test modelinin kat sayısı, prototip yapı ile aynı olacak şekilde 8 katlı olarak modellenmiştir. Belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde model yapının kolon, çarpraz ve tabliye elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

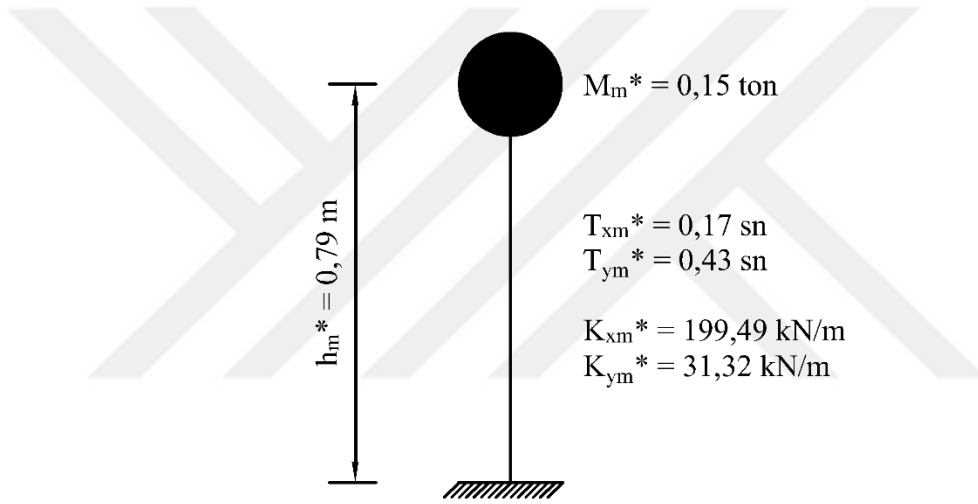
Tablo 6.4. Çok katlı sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.

Kolon kesitleri (cm)	Çarpraz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
0,48/0,48	0,158	0,42	15	0,022	0,128	0,459

Çok katlı sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,459$ sn ve $f_{ym} = 2,18$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,128$ sn ve $f_{xm} = 7,81$ Hz olarak bulunmuştur.

6.2.2. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil eden tek katlı sarsma tablası test modellerinin oluşturulması

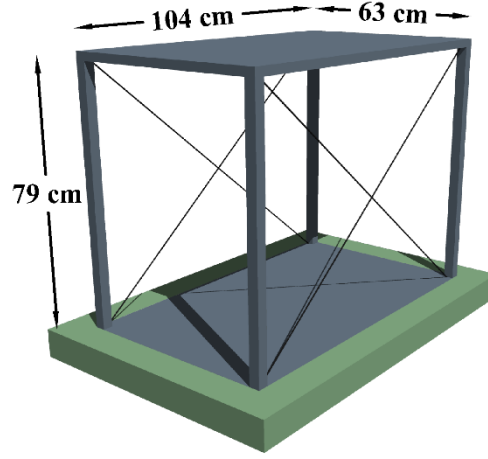
Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının tasarım parametreleri ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklendirilip Şekil 6.6'daki tek serbestlik dereceli toplu kütleli modele dönüştürülmüştür. Tek katlı çelik modeller oluşturulurken tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin parametrelerini sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Ancak tek serbestlik dereceli çelik model yapıların yüksekliği eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapının yükseklik değeri ölçeklendirilerek bulunurken uzunluk ve genişlik parametreleri çok katlı prototip yapının ilgili değerleri ölçeklenerek bulunmuştur. Tek katlı sarsma tablası test modelleri oluşturulurken kullanılmak üzere seçilen malzeme S420 çeliğidir.



Şekil 6.6. Tek serbestlik dereceli toplu kütleli model, $\lambda = 24$.

6.2.2.1. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Çok katlı prototip yapıya ait uzunluk ve genişlik değerleri $\lambda = 24$ ölçek katsayısına bölündüğünde tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin uzunluk ve genişlik değerleri sırasıyla 104 cm ve 63 cm olarak bulunmuştur. Model yapının yüksekliği ise eşdeğer tek serbestlik dereceli toplu kütleli modelin yükseklik değeri ölçeklendirilerek 79 cm olarak bulunmuştur. Oluşturulan tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin boyutsal özellikleri Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.

Şekil 6.6’da belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde modelin kolon, tabliye ve x-doğrultusundaki çarpaz elemanları boyutlandırılmış ve modele ait tasarım parametreleri Tablo 6.5’de gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.

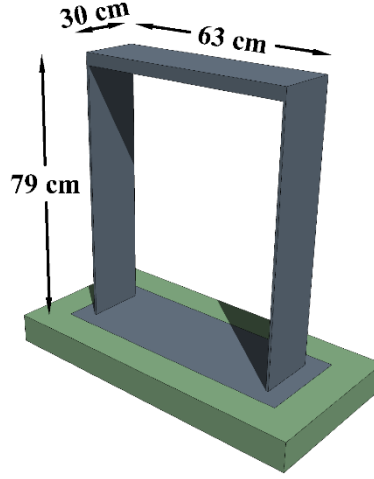
Kolon kesitleri (cm)	Çarpaz çapı (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
1,2/1,2	0,105	0,97	79	0,15	0,125	0,416

Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,416$ sn ve $f_{ym} = 2,39$ Hz bulunmuştur. Ayrıca x-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı da sırasıyla $T_{xm} = 0,125$ sn ve $f_{xm} = 8,00$ Hz olarak bulunmuştur.

6.2.2.2. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin oluşturulması

Yapının zayıf doğrultusu olan y-doğrultusu incelenmek istendiği için model yapı iki adet perde kolonlu olarak tek doğrultuda çalışacak şekilde oluşturulmuştur. Çok katlı prototip yapıya ait zayıf doğrultudaki genişlik değeri $\lambda = 24$ ölçek katsayısına bölündüğünde bulunan değer tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin uzunluk değeri olacak şekilde 63 cm olarak bulunmuştur.

Şekil 6.6’da belirtilen rijitlik ve kütle değerlerini sağlayacak şekilde model yapının perde kolon ve tabliye elemanları boyutlandırılmıştır. Oluşturulan modelin boyutsal özellikleri Şekil 6.8’de ve tasarım parametreleri Tablo 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.

Tablo 6.6. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait tasarım parametreleri, $\lambda = 24$.

Perde kolon kesitleri (cm)	Tabliye kalınlığı (cm)	Kat yüksekliği (cm)	Kat kütlesi (ton)	Hakim titreşim periyodu- T_{xm} (sn)	Hakim titreşim periyodu- T_{ym} (sn)
30/0,51	10,09	79	0,15	-	0,427

Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin modal analizi sonucunda asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodu ve hakim frekansı sırasıyla $T_{ym} = 0,427$ sn ve $f_{ym} = 2,34$ Hz olarak bulunmuştur.

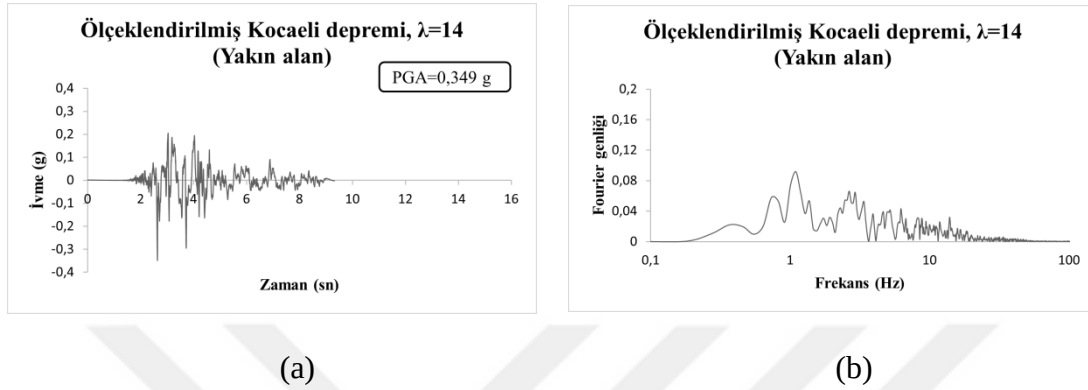
6.3. Dinamik Analizlerde Kullanılacak Olan Deprem Kayıtlarının Ölçek Katsayıları ile Ölçeklendirilmesi

6.3.1. Deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi

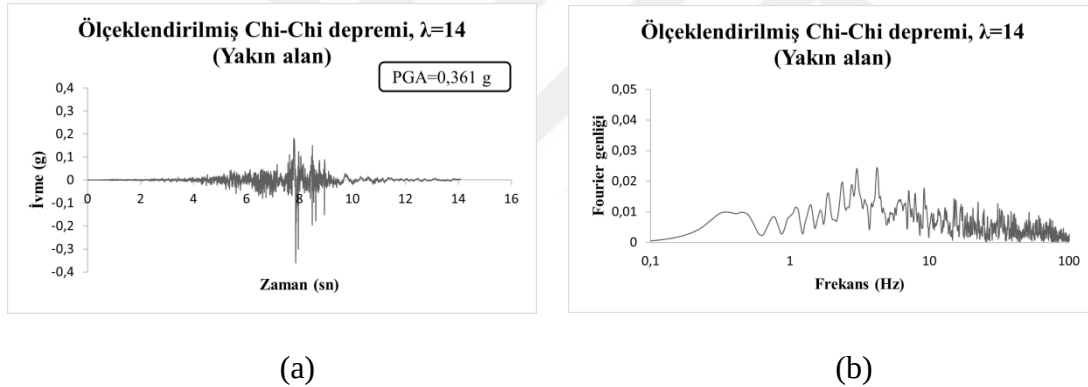
Sap2000 paket programında model yapılara deprem kayıtları etkililmeden önce bu kayıtlarında ilgili ölçek katsayıları ile ölçeklendirilmesi yapılmıştır. Bu deprem kayıtları model yapılara etkililirken, zaman adımları $\sqrt{\lambda}$ ölçeklendirme faktörü ile küçültülmüştür ancak ivme değerleri için ölçek katsayımız 1 olduğu için ivme değerleri değiştirilmemiştir.

6.3.1.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

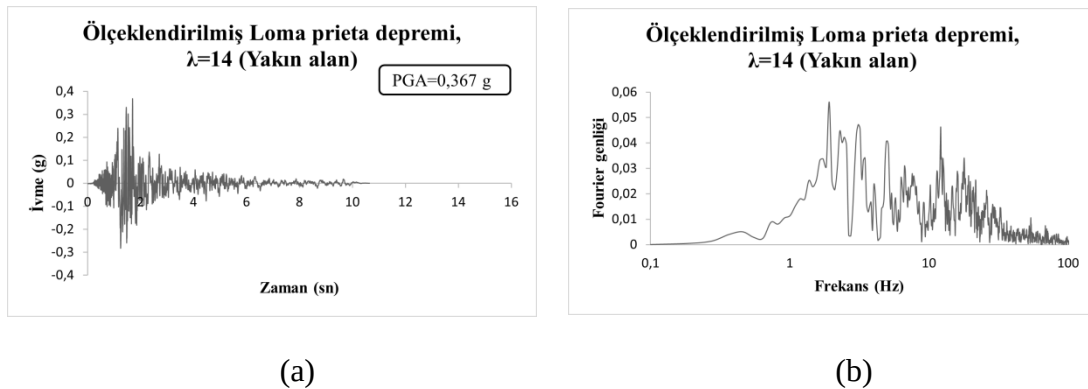
Tablo 4.2'deki yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 6.9-6.14'de gösterilmiştir.



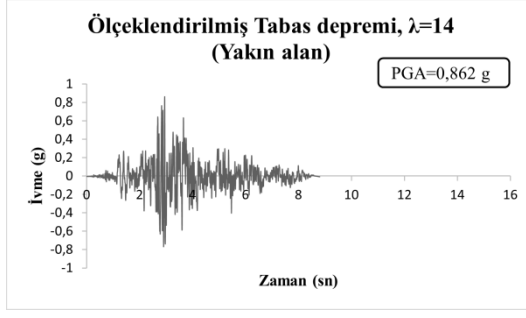
Şekil 6.9. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



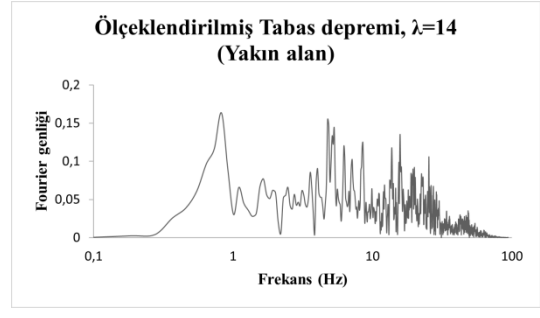
Şekil 6.10. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



Şekil 6.11. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

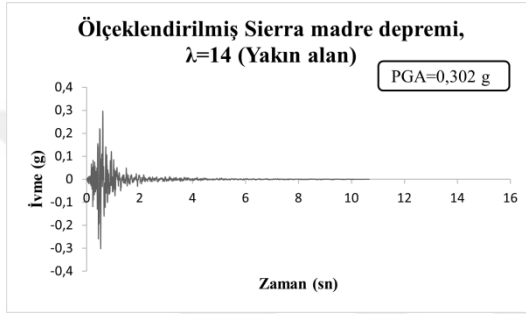


(a)

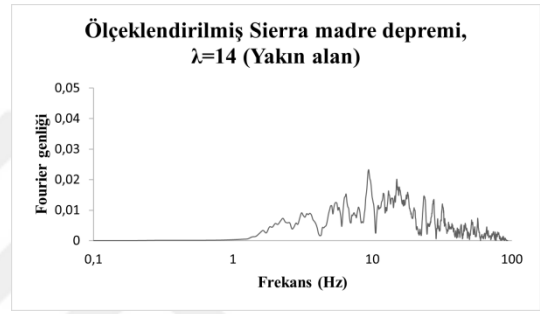


(b)

Şekil 6.12. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

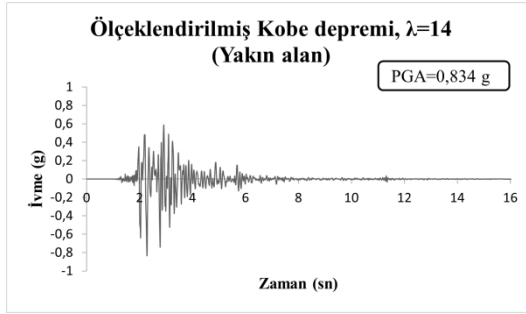


(a)

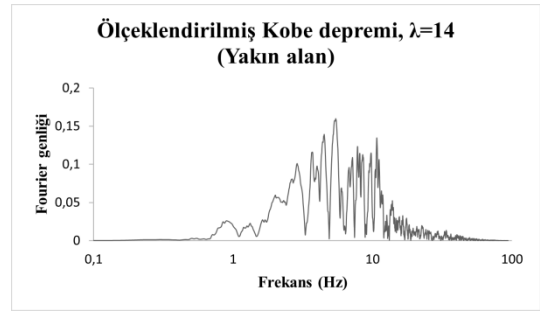


(b)

Şekil 6.13. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



(a)



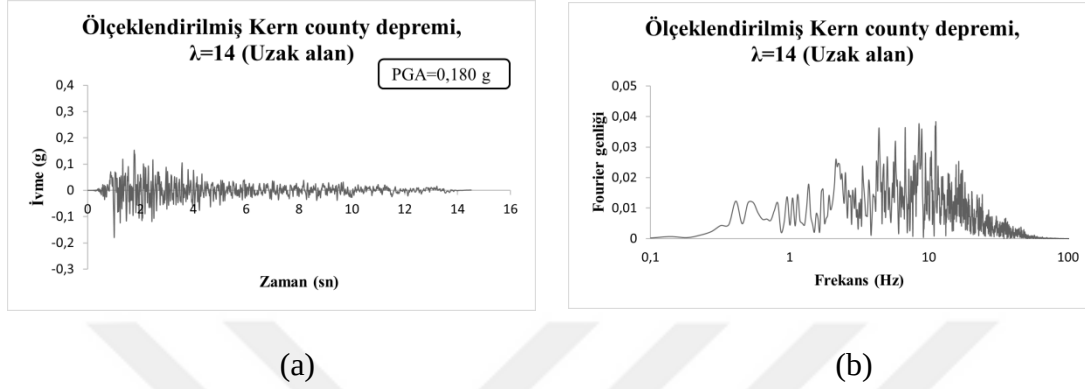
(b)

Şekil 6.14. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

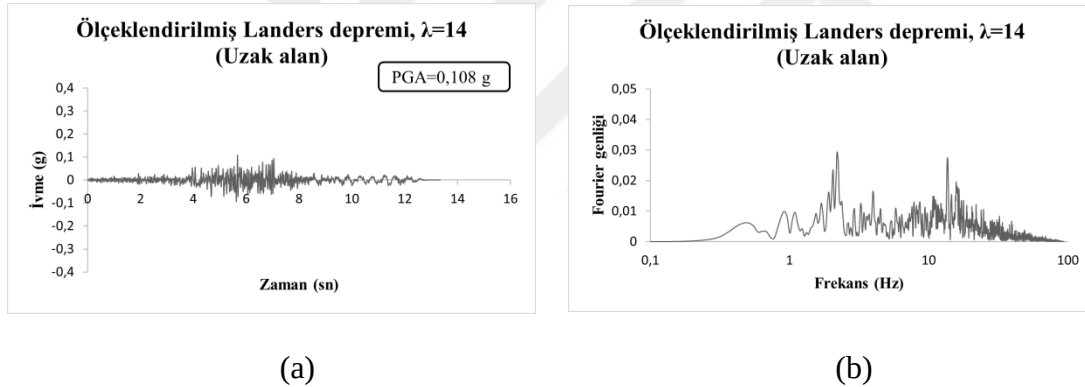
$\lambda = 14$ ölçek katsayısıyla ölçeklendirilmesi yapılan yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıkları incelendiğinde Kobe deprem kaydının 5 Hz ile 15 Hz aralığında ve Sierra madre deprem kaydının 8 Hz ile 15 Hz arasında olduğu görülmüştür. Diğer yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıklarının ise yaklaşık 1 Hz ile 5 Hz aralığında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

6.3.1.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

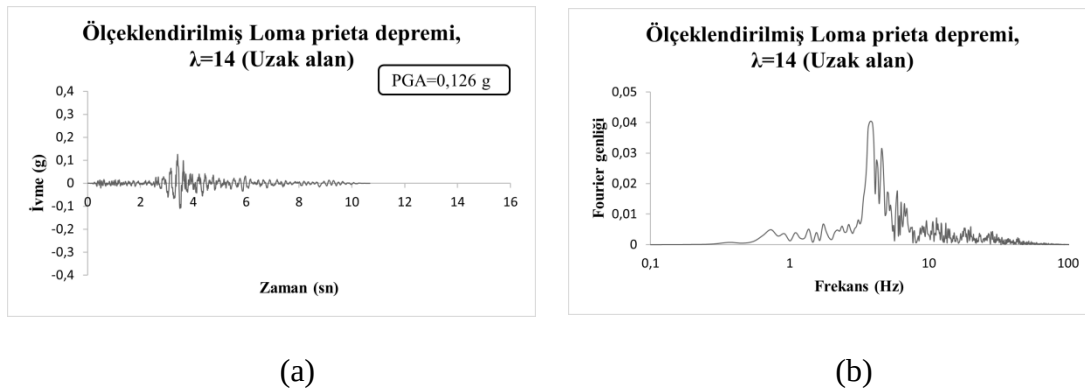
Tablo 4.2'deki uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 6.15-6.20'de gösterilmiştir.



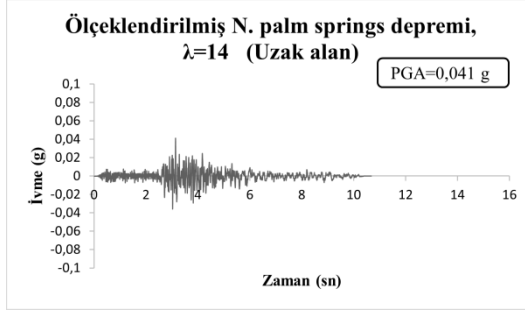
Şekil 6.15. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



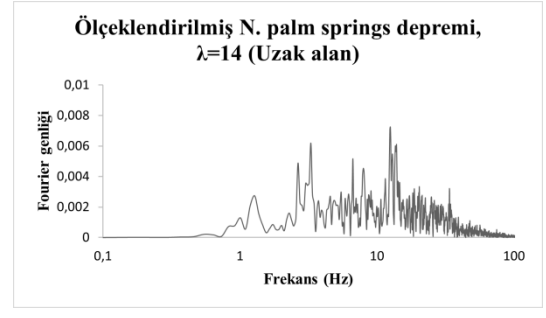
Şekil 6.16. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



Şekil 6.17. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

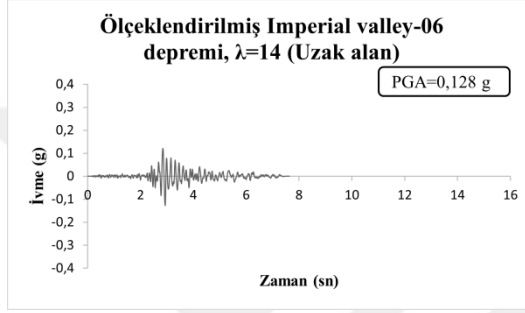


(a)

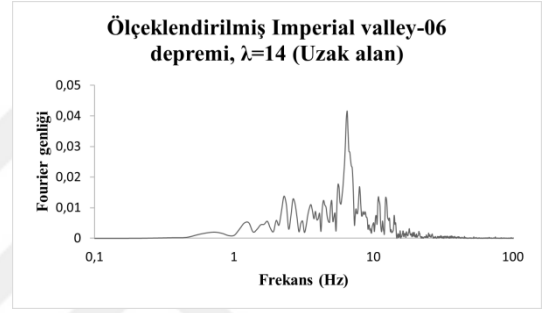


(b)

Şekil 6.18. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

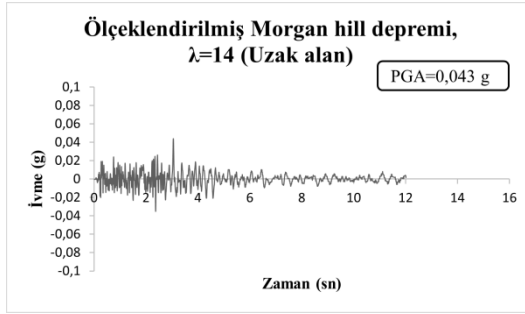


(a)

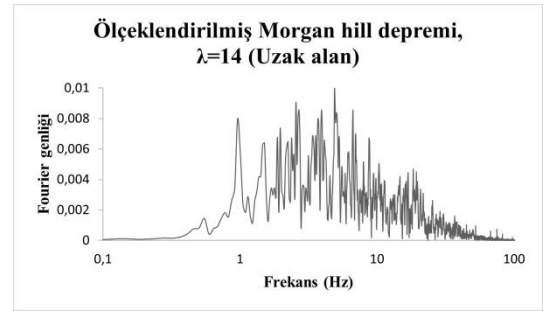


(b)

Şekil 6.19. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.



(a)



(b)

Şekil 6.20. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 14$.

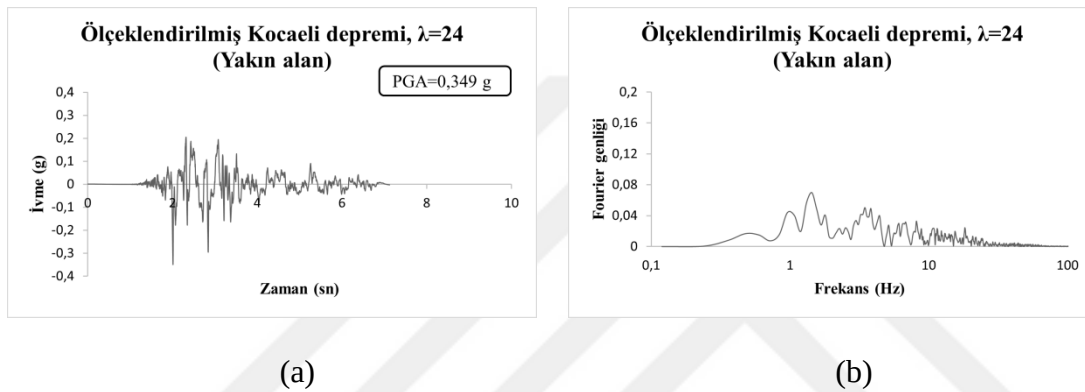
Ölçeklendirilmiş uzak alan deprem kayıtlarının baskın frekans içerikleri incelendiğinde Loma prieta ile Imperial valley-06 deprem kayıtlarının 3 Hz ile 10 Hz arasında, diğer deprem kayıtlarının ise 3 Hz ile 30 Hz aralıklarında olduğu görülmüştür.

6.3.2. Deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi

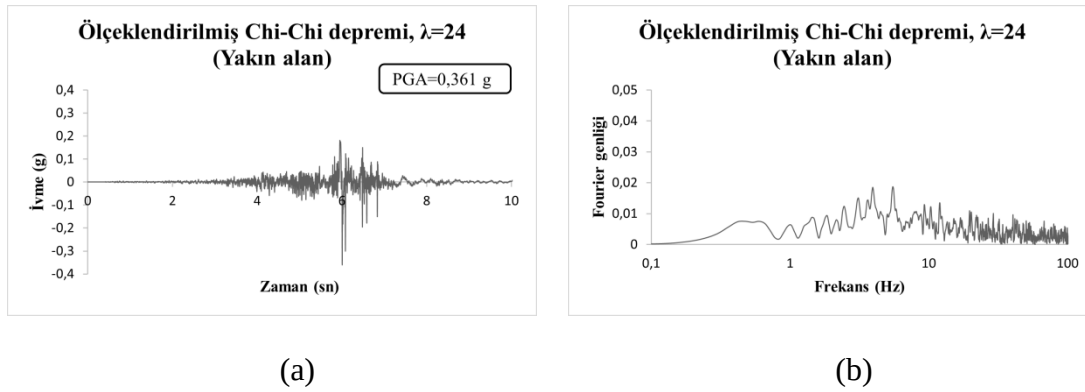
Sap2000 paket programında model yapılara deprem kayıtları etkililmeden önce $\lambda = 14$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendiği gibi aynı şekilde $\lambda = 24$ ölçek katsayısı kullanılarak da ölçeklendirme yapılmıştır.

6.3.2.1. Yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

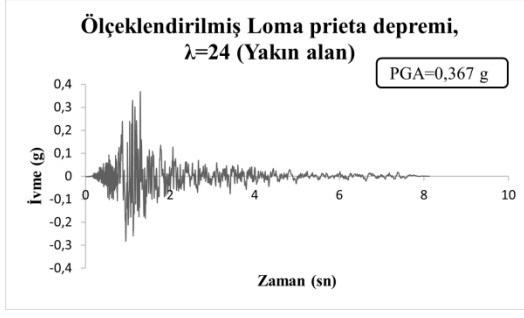
Tablo 4.2'deki yakın alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 6.21-6.26'de gösterilmiştir.



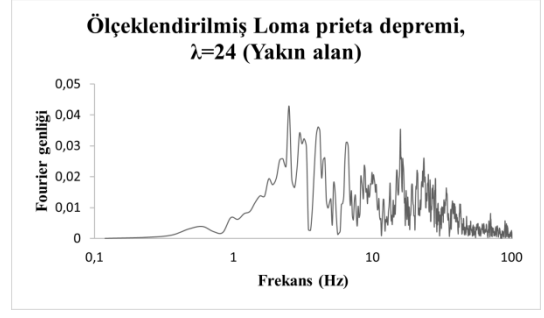
Şekil 6.21. Kocaeli depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.



Şekil 6.22. Chi-Chi depremi (1999), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

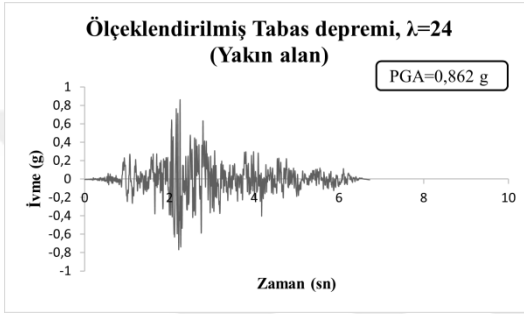


(a)

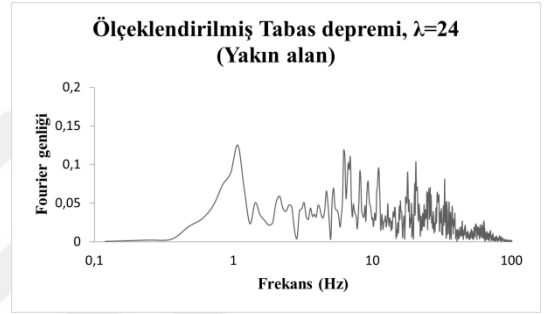


(b)

Şekil 6.23. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

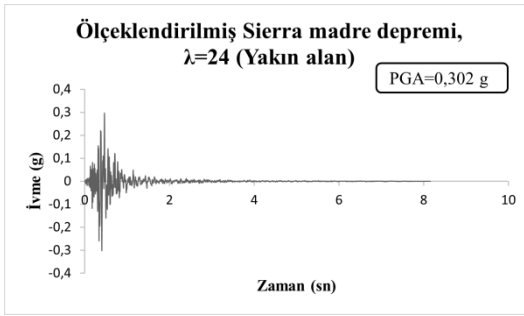


(a)

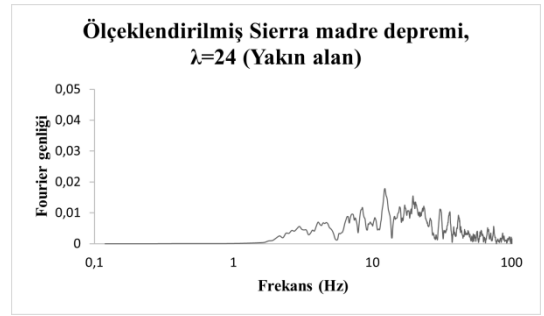


(b)

Şekil 6.24. Tabas depremi (1978), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

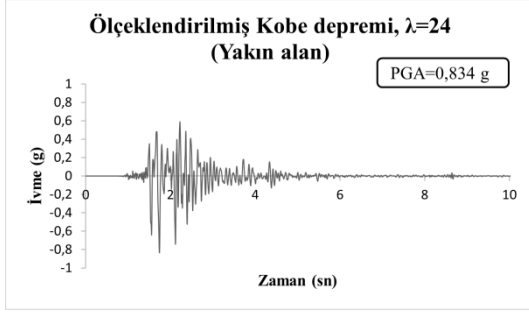


(a)

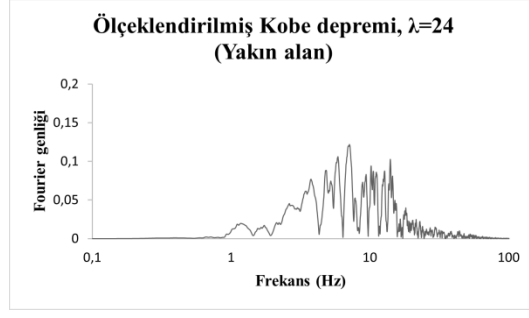


(b)

Şekil 6.25. Sierra madre depremi (1991), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.



(a)



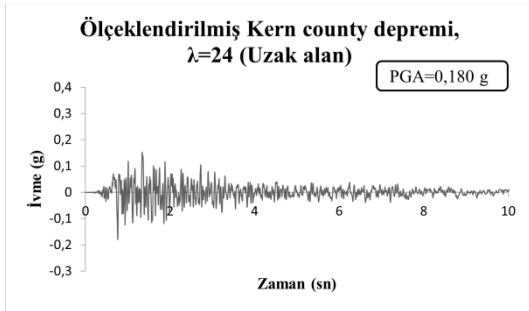
(b)

Şekil 6.26. Kobe depremi (1995), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

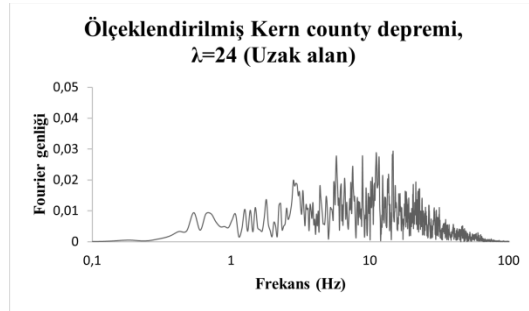
$\lambda = 24$ ölçek katsayısıyla ölçeklendirilmesi yapılan yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans içerikleri incelendiğinde Kobe deprem kaydının 5 Hz ile 20 Hz ve Sierra madre deprem kaydının 15 Hz ile 30 Hz aralığında olduğu görülmüştür. Diğer yakın alan deprem kayıtlarının baskın frekans aralıklarının ise yaklaşık 1 Hz ile 6 Hz aralığında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

6.3.2.2. Uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmesi

Tablo 4.2'deki uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesi sonucu elde edilen İvme-Zaman grafikleri ve Fourier genliği-Frekans grafikleri Şekil 6.27-6.32'de gösterilmiştir.

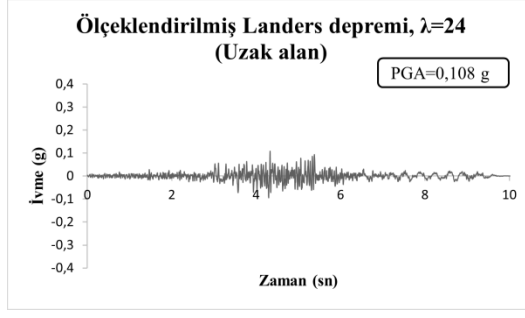


(a)

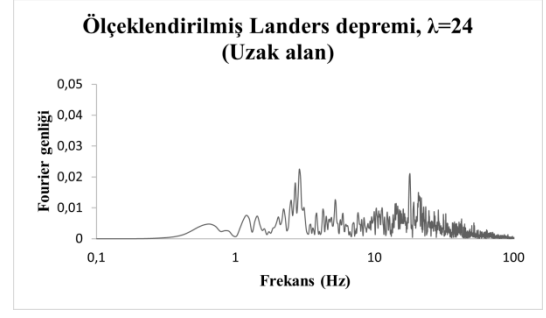


(b)

Şekil 6.27. Kern county depremi (1952), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

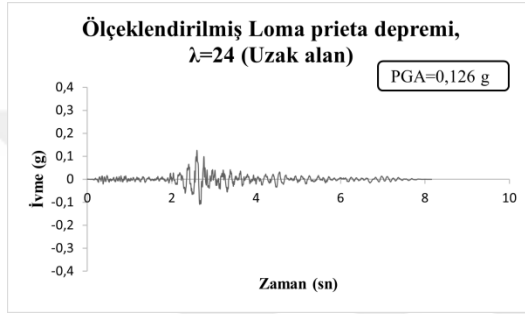


(a)

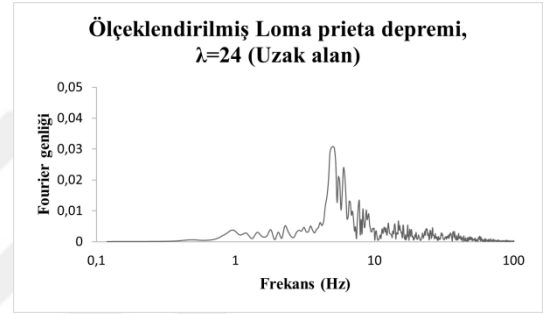


(b)

Şekil 6.28. Landers depremi (1992), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

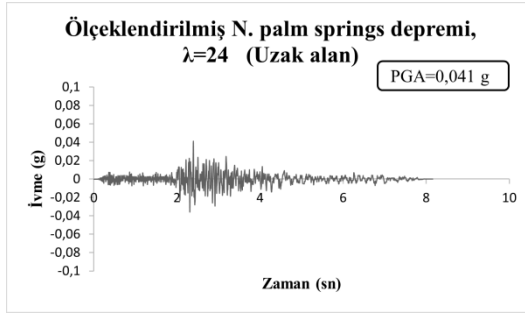


(a)

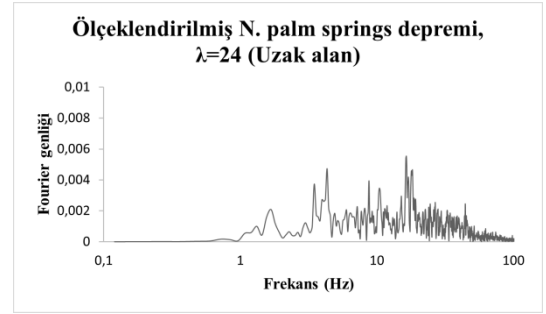


(b)

Şekil 6.29. Loma prieta depremi (1989), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

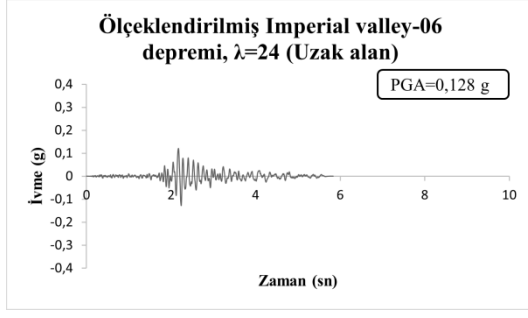


(a)

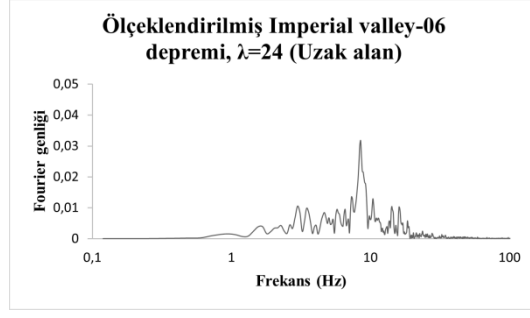


(b)

Şekil 6.30. N. palm springs depremi (1986), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

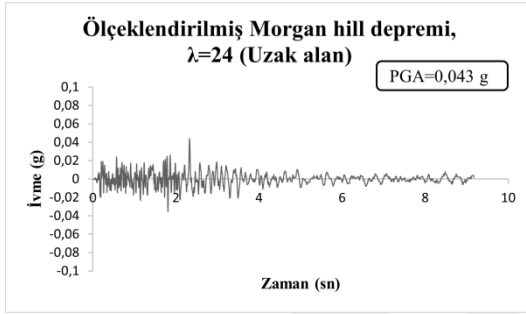


(a)

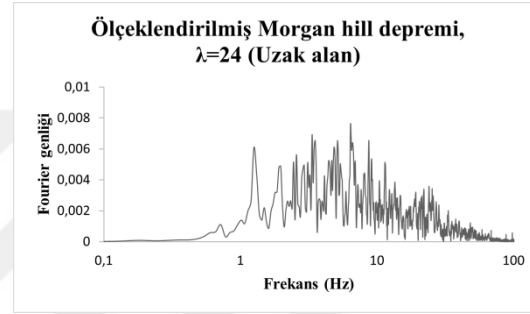


(b)

Şekil 6.31. Imperial valley-06 depremi (1979), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.



(a)



(b)

Şekil 6.32. Morgan hill depremi (1984), (a) İvme-Zaman grafiği, (b) Fourier genliği-Frekans grafiği, $\lambda = 24$.

$\lambda = 24$ ölçek katsayısıyla ölçeklendirilen uzak alan deprem kayıtlarının baskın frekans içeriklerinin incelenmesiyle Loma prieta ile Imperial valley-06 deprem kayıtlarının 4 Hz ile 15 Hz arasında, diğer deprem kayıtlarının ise 5 Hz ile 40 Hz seviyelerinde olduğu görülmüştür.

6.4. Sarsma Tablası Test Modellerinin Deprem Analizi

6.4.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan model yapıların deprem analizi

Altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan olmak üzere toplamda on iki adet olan deprem kayıtlarının $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında çok katlı ve tek katlı model yapılara etkililip modellerin dinamik analizi yapılmıştır.

6.4.1.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Yapılan dinamik analiz sonucunda çok katlı sarsma tablası test modelinde meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.7, Tablo 6.8 ve Tablo 6.9’da gösterilmiştir. Çok katlı prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve çok katlı prototip ile çok katlı model yapıya ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları aynı tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, çok katlı model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.7. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (u_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,7670	0,0577	13,29	5,05
Yakın alan	Chi-Chi	0,3240	0,0201	16,14	15,25
Yakın alan	Loma prieta	0,3910	0,0272	14,38	2,68
Yakın alan	Tabas	1,2200	0,0865	14,10	0,74
Yakın alan	Sierra madre	0,0500	0,0031	16,18	15,58
Yakın alan	Kobe	0,4600	0,0327	14,07	0,48
Uzak alan	Kern county	0,1400	0,0106	13,21	5,66
Uzak alan	Landers	0,1100	0,0097	11,35	18,91
Uzak alan	Loma prieta	0,0600	0,0047	12,79	8,62
Uzak alan	N. palm springs	0,0110	0,0011	10,38	25,88
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0570	0,0041	13,90	0,70
Uzak alan	Morgan hill	0,0470	0,0033	14,33	2,35

Tablo 6.8. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (F_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4762	1,460	14,83	5,93
Yakın alan	Chi-Chi	2081	0,378	17,66	26,12
Yakın alan	Loma prieta	5789	1,809	14,74	5,26
Yakın alan	Tabas	11249	3,197	15,21	8,64
Yakın alan	Sierra madre	929	0,250	15,49	10,64
Yakın alan	Kobe	7447	2,270	14,86	6,13
Uzak alan	Kern county	1946	0,574	15,02	7,30
Uzak alan	Landers	1066	0,403	13,83	1,22
Uzak alan	Loma prieta	875	0,329	13,85	1,04
Uzak alan	N. palm springs	132	0,058	13,16	5,97
Uzak alan	Imperial valley-06	1195	0,363	14,88	6,26
Uzak alan	Morgan hill	673	0,205	14,86	6,16

Tablo 6.9. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	82217	1,932	14,36	2,59
Yakın alan	Chi-Chi	40183	0,655	15,74	12,41
Yakın alan	Loma prieta	101603	2,227	14,61	4,39
Yakın alan	Tabas	170791	3,465	14,90	6,43
Yakın alan	Sierra madre	14402	0,279	15,07	7,66

Tablo 6.9. (Devamı) Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kobe	127648	2,850	14,55	3,91
Uzak alan	Kern county	25874	0,664	14,05	0,36
Uzak alan	Landers	18264	0,499	13,83	1,20
Uzak alan	Loma prieta	19778	0,445	14,52	3,71
Uzak alan	N. palm springs	2095	0,062	13,54	3,27
Uzak alan	Imperial valley-06	14197	0,321	14,50	3,58
Uzak alan	Morgan hill	10156	0,246	14,25	1,82

Çok katlı prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile modellenen çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda hata payı oranlarının bazı istisnalar haricinde %15 seviyesini geçmediği görülmüştür. Bu seviyenin üzerine çıkan birkaç hata payı mevcut olmasına rağmen genele bakıldığında model yapının prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

6.4.1.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline etkitilip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.10, Tablo 6.11 ve Tablo 6.12’de gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir.

Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.10. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0494	14,04	0,31
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0204	14,03	0,21
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0233	14,03	0,22
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0815	14,03	0,18
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0023	13,95	0,35
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0224	13,93	0,48
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0093	14,01	0,04
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0070	14,07	0,52
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0032	14,01	0,04
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0007	13,97	0,20
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0033	14,03	0,22
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0028	14,00	0,03

Tablo 6.11. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_{y*})	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	1,609	14,13	0,94
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,759	14,11	0,81
Yakın alan	Loma prieta	5419	1,921	14,13	0,93
Yakın alan	Tabas	9275	3,284	14,14	0,97
Yakın alan	Sierra madre	658	0,234	14,11	0,82
Yakın alan	Kobe	6302	2,241	14,11	0,82
Uzak alan	Kern county	1385	0,494	14,10	0,72
Uzak alan	Landers	959	0,339	14,14	1,02
Uzak alan	Loma prieta	977	0,346	14,13	0,96
Uzak alan	N. palm springs	108	0,038	14,16	1,18
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,294	14,13	0,91
Uzak alan	Morgan hill	580	0,206	14,12	0,86

Tablo 6.12. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	2,179	14,10	0,72
Yakın alan	Chi-Chi	40498	1,028	14,09	0,63
Yakın alan	Loma prieta	102808	2,603	14,10	0,70
Yakın alan	Tabas	175962	4,450	14,10	0,72
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,318	14,08	0,57
Yakın alan	Kobe	119555	3,037	14,09	0,61
Uzak alan	Kern county	26286	0,670	14,07	0,53
Uzak alan	Landers	18203	0,459	14,11	0,80
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,469	14,10	0,73
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,052	14,10	0,73
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,399	14,09	0,66
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,280	14,08	0,59

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda en fazla %1,18 hata payı görülmüştür. Görülen hata payları oldukça küçük değerlerdir ve buradan da model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı sorunsuz bir şekilde temsil ettiği söylenebilir.

6.4.1.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline etkilip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Yapılan dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.13, Tablo 6.14 ve Tablo 6.15’de gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, ölçekli model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.13. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0477	14,54	3,88
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0203	14,10	0,71
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0239	13,68	2,29
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0837	13,66	2,45
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0025	12,62	9,87
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0249	12,53	10,47
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0097	13,48	3,69
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0076	12,93	7,66
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0033	13,71	2,08

Tablo 6.13. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0007	13,97	0,20
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0032	14,25	1,79
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0029	13,85	1,07

Tablo 6.14. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	1,789	13,64	2,56
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,826	13,72	1,99
Yakın alan	Loma prieta	5419	2,190	13,53	3,39
Yakın alan	Tabas	9275	3,620	13,68	2,26
Yakın alan	Sierra madre	658	0,284	13,23	5,48
Yakın alan	Kobe	6302	2,829	13,06	6,71
Uzak alan	Kern county	1385	0,631	13,00	7,17
Uzak alan	Landers	959	0,435	13,01	7,04
Uzak alan	Loma prieta	977	0,369	13,83	1,18
Uzak alan	N. palm springs	108	0,044	13,49	3,65

Tablo 6.14. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,350	13,33	4,79
Uzak alan	Morgan hill	580	0,236	13,49	3,61

Tablo 6.15. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	2,425	13,73	1,93
Yakın alan	Chi-Chi	40498	1,119	13,79	1,48
Yakın alan	Loma prieta	102808	2,968	13,64	2,55
Yakın alan	Tabas	175962	4,906	13,76	1,70
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,384	13,43	4,06
Yakın alan	Kobe	119555	3,830	13,29	5,06
Uzak alan	Kern county	26286	0,855	13,24	5,42
Uzak alan	Landers	18203	0,590	13,25	5,33
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,499	13,88	0,82
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,059	13,65	2,48
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,474	13,50	3,58

Tablo 6.15. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 14$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,319	13,63	2,64

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda en yüksek değer olarak yakın alan deprem kaydı olan Kobe deprem kaydında maksimum tepe noktası deplasmanı için hata payının %10.47 olduğu görülmüştür. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için incelenen hata payları oldukça küçük değerlerdir ve buradan da model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı sorunsuz bir şekilde temsil ettiği söylenebilir.

6.4.2. Sonlu elemanlar yöntemiyle $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan model yapıların deprem analizi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda sonlu elemanlar programında çok ve tek katlı model yapılara etkililip dinamik analizleri yapılmıştır.

6.4.2.1. Çok katlı sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Yapılan dinamik analiz sonucunda çok katlı sarsma tablası test modelinde meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.16, Tablo 6.17 ve Tablo 6.18’de gösterilmiştir. Çok katlı prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve çok katlı prototip ile çok katlı sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile hesaplanan

ölçek katsayıları karşılaştırılarak, model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.16. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (u_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,7670	0,0329	23,31	2,86
Yakın alan	Chi-Chi	0,3240	0,0125	25,92	8,00
Yakın alan	Loma prieta	0,3910	0,0160	24,44	1,82
Yakın alan	Tabas	1,2200	0,0498	24,50	2,07
Yakın alan	Sierra madre	0,0500	0,0019	26,88	12,01
Yakın alan	Kobe	0,4600	0,0191	24,10	0,40
Uzak alan	Kern county	0,1400	0,0061	23,03	4,06
Uzak alan	Landers	0,1100	0,0053	20,83	13,19
Uzak alan	Loma prieta	0,0600	0,0025	23,62	1,57
Uzak alan	N. palm springs	0,0110	0,0006	18,64	22,32
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0570	0,0024	24,15	0,64
Uzak alan	Morgan hill	0,0470	0,0019	25,41	5,86

Tablo 6.17. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (F_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4762	0,320	24,60	2,49
Yakın alan	Chi-Chi	2081	0,096	27,88	16,18
Yakın alan	Loma prieta	5789	0,394	24,49	2,05

Tablo 6.17. (Devamı) Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (F_y)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Tabas	11249	0,745	24,72	2,99
Yakın alan	Sierra madre	929	0,056	25,50	6,27
Yakın alan	Kobe	7447	0,438	25,71	7,14
Uzak alan	Kern county	1946	0,122	25,17	4,89
Uzak alan	Landers	1066	0,081	23,61	1,63
Uzak alan	Loma prieta	875	0,059	24,57	2,37
Uzak alan	N. palm springs	132	0,012	22,26	7,26
Uzak alan	Imperial valley-06	1195	0,078	24,84	3,49
Uzak alan	Morgan hill	673	0,044	24,82	3,43

Tablo 6.18. Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	82217	0,238	24,24	1,01
Yakın alan	Chi-Chi	40183	0,097	25,39	5,79
Yakın alan	Loma prieta	101603	0,274	24,68	2,85
Yakın alan	Tabas	170791	0,463	24,64	2,68
Yakın alan	Sierra madre	14402	0,036	25,15	4,79
Yakın alan	Kobe	127648	0,344	24,69	2,87
Uzak alan	Kern county	25874	0,080	23,83	0,70
Uzak alan	Landers	18264	0,052	24,32	1,34

Tablo 6.18. (Devamı) Çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Çok katlı prototip yapı (M_x)	Çok katlı sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Loma prieta	19778	0,058	24,19	0,77
Uzak alan	N. palm springs	2095	0,007	23,39	2,54
Uzak alan	Imperial valley-06	14197	0,040	24,48	2,02
Uzak alan	Morgan hill	10156	0,029	24,35	1,45

Çok katlı prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile modellenen çok katlı sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda göze batan tek değer %22,32 hata payı ile bir uzak alan deprem kaydı olan N. palm springs deprem kaydının maksimum tepe noktası deplasmanı değeridir. Bu hata payı da dahil olmak üzere diğer bütün hata payları kabul edilebilir bir seviyede olduğundan dolayı model yapının çok katlı prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

6.4.2.2. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen altı adet yakın alan ve altı adet uzak alan deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline etkitilip dinamik analizi yapılmıştır. Dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.19, Tablo 6.20 ve Tablo 6.21’de gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve bu sistem ile tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, tek katlı model yapının doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.19. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0282	24,60	2,50
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0120	23,85	0,62
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0139	23,52	2,00
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0487	23,47	2,20
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0022	14,27	40,56
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0141	22,13	7,77
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0054	24,27	1,14
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0042	23,62	1,57
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0019	23,44	2,33
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0004	23,72	1,16
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0019	24,19	0,80
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0017	23,44	2,34

Tablo 6.20. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_{y*})	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	0,338	23,77	0,95
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,162	23,62	1,60
Yakın alan	Loma prieta	5419	0,410	23,64	1,49
Yakın alan	Tabas	9275	0,675	23,95	0,20
Yakın alan	Sierra madre	658	0,053	23,16	3,52
Yakın alan	Kobe	6302	0,511	23,10	3,73
Uzak alan	Kern county	1385	0,115	22,92	4,49
Uzak alan	Landers	959	0,078	23,08	3,83
Uzak alan	Loma prieta	977	0,071	23,96	0,15
Uzak alan	N. palm springs	108	0,009	23,33	2,77
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,064	23,49	2,15
Uzak alan	Morgan hill	580	0,045	23,45	2,31

Tablo 6.21. Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	0,267	23,84	0,67
Yakın alan	Chi-Chi	40498	0,128	23,74	1,10
Yakın alan	Loma prieta	102808	0,324	23,73	1,12
Yakın alan	Tabas	175962	0,533	23,97	0,12
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,042	23,38	2,57
Yakın alan	Kobe	119555	0,403	23,33	2,78
Uzak alan	Kern county	26286	0,091	23,18	3,40
Uzak alan	Landers	18203	0,062	23,29	2,97
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,056	23,95	0,22
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,007	23,53	1,97
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,051	23,63	1,56
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,036	23,57	1,80

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, taban kesme kuvveti ve devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda hata paylarının genellikle %5'in altında değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bir yakın alan deprem kaydı olan Sierra madre deprem kaydında maksimum tepe noktası deplasmanı için hata payının %40.56 olduğu görülmüştür. Sierra madre deprem kaydının etkin süresinin küçük olmasından dolayı bu yüksek hata payının olduğu düşünülmüştür ve standart sapmanın dışında olduğundan tolere edilebileceği kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak bu model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı temsil ettiği söylenebilir.

6.4.2.3. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin deprem analizi ve prototipe göre doğruluk düzeyi

Seçilen deprem kayıtlarının ilgili ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmiş halleri asıl ilgilendiğimiz zayıf doğrultu olan y-doğrultusunda Sap2000 paket programında tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline etkitilip modelin dinamik analizi yapılmıştır. Dinamik analiz sonucunda model yapıda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri sırasıyla Tablo 6.22, Tablo 6.23 ve Tablo 6.24’de gösterilmiştir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıya ait dinamik analiz sonuçları ve bu sistem ile tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeline ait dinamik analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ölçek katsayıları bahsi geçen tablolarda verilmiştir. Ayrıca model yapıların oluşturulmasında kullanılan $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile hesaplanan ölçek katsayıları karşılaştırılarak, tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin doğruluk düzeyi de ilgili tablolarda kontrol edilmiştir.

Tablo 6.22. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	0,6937	0,0287	24,17	0,72
Yakın alan	Chi-Chi	0,2862	0,0120	23,87	0,54
Yakın alan	Loma prieta	0,3269	0,0137	23,86	0,57
Yakın alan	Tabas	1,1431	0,0477	23,96	0,15
Yakın alan	Sierra madre	0,0317	0,0014	23,46	2,25
Yakın alan	Kobe	0,3121	0,0134	23,29	2,95
Uzak alan	Kern county	0,1301	0,0055	23,87	0,53
Uzak alan	Landers	0,0985	0,0041	24,32	1,35
Uzak alan	Loma prieta	0,0452	0,0019	23,81	0,79

Tablo 6.22. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasman değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum tepe noktası deplasmanı (m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (u_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (u_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	N. palm springs	0,0102	0,0004	24,17	0,71
Uzak alan	Imperial valley-06	0,0456	0,0019	24,26	1,06
Uzak alan	Morgan hill	0,0398	0,0017	23,80	0,82

Tablo 6.23. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	4541	0,335	23,84	0,65
Yakın alan	Chi-Chi	2134	0,161	23,67	1,39
Yakın alan	Loma prieta	5419	0,402	23,80	0,84
Yakın alan	Tabas	9275	0,681	23,88	0,50
Yakın alan	Sierra madre	658	0,050	23,61	1,63
Yakın alan	Kobe	6302	0,479	23,61	1,64
Uzak alan	Kern county	1385	0,107	23,48	2,17
Uzak alan	Landers	959	0,072	23,70	1,23
Uzak alan	Loma prieta	977	0,072	23,85	0,62
Uzak alan	N. palm springs	108	0,008	23,81	0,79

Tablo 6.23. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum taban kesme kuvveti (kN)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (F_y^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (F_{ym})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Imperial valley-06	829	0,062	23,73	1,10
Uzak alan	Morgan hill	580	0,044	23,62	1,57

Tablo 6.24. Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Yakın alan	Kocaeli	86155	0,265	23,88	0,51
Yakın alan	Chi-Chi	40498	0,127	23,77	0,97
Yakın alan	Loma prieta	102808	0,318	23,85	0,62
Yakın alan	Tabas	175962	0,538	23,91	0,37
Yakın alan	Sierra madre	12499	0,040	23,72	1,18
Yakın alan	Kobe	119555	0,378	23,71	1,21
Uzak alan	Kern county	26286	0,085	23,62	1,60
Uzak alan	Landers	18203	0,057	23,77	0,95
Uzak alan	Loma prieta	18546	0,057	23,88	0,49
Uzak alan	N. palm springs	2053	0,006	23,89	0,45
Uzak alan	Imperial valley-06	15736	0,049	23,82	0,76

Tablo 6.24. (Devamı) Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum devrilme momenti değerleri ve hata payı, $\lambda = 24$.

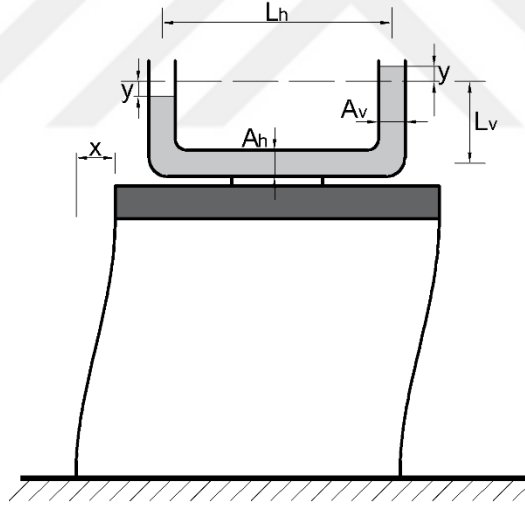
Maksimum devrilme momenti (kN.m)					
Tip	Deprem	Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı (M_x^*)	Tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli (M_{xm})	Hesaplanan ölçek katsayısı	Hata payı (%)
Uzak alan	Morgan hill	11013	0,035	23,75	1,03

Eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı ile onu temsil etmek üzere $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile modellenen tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modelinin maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen hata payı değerlerinin %3 seviyesinin üzerine çıkmadığı görülmüştür. İncelenen hata payı değerlerinin oldukça küçük olmasından dolayı bu model yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapıyı sorunsuz bir şekilde temsil ettiği söylenebilir.

7. AYARLI SIVI SÜTÜN SÖNÜMLEYİCİLİ SİSTEMLERİN OLUŞTURULMASI

7.1. Ayarlı Sıvı Sütun Sönümleyicili Sistemin Çalışma Prensibi

Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemler (TLCD), içi su veya herhangi bir akışkan madde ile doldurulmuş olan U şeklindeki bir tüp sisteminden meydana gelir. TLCD yapıların kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalması durumunda vereceği dinamik tepkiyi içerisindeki sıvının tüpün düşey kollarında yapacağı yukarı ve aşağı yöndeki hareketi yardımıyla azaltmaya yarayan bir pasif yalıtım yöntemidir. Şekil 7.1’de tek katlı bir sistemin üzerine yerleştirilmiş TLCD görülmektedir. Yapıda meydana gelen x yer değiştirmesine karşılık olarak TLCD içerisindeki sıvı bir kolda yukarı diğer kolda ise aşağı yönlü olacak şekilde y yer değiştirmesi yapmaktadır [20].



Şekil 7.1. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistem.

7.2. Prototip ve Model Yapılar İçin Ayarlı Sıvı Sütun Sönümleyicili Sistemin Oluşturulması

TLCD sistemi oluşturulurken yapının açılal frekansının (ω_s) TLCD sistemin açılal frekansına (ω_{TLCD}) oranı olan frekans oranı (γ), TLCD sistemin yatay kolunun TLCD sistemin toplam uzunluğuna oranı olan uzunluk oranı (n), TLCD sistemin düşey kolunun kesit alanının (A_v) yatay kolunun kesit alanına (A_h) oranı olan kesit alanı

oranı (r) ve TLCD sistemin içerisinde bulunan sıvının kütesinin yapının kütesine (M) oranı olan kütle oranı (μ) değerleri belirlenir.

Daha büyük kütle oranı seçmek TLCD sistemin performansını artırır ancak TLCD'nin boyutları büyümesine sebep olur ve binanın üzerinde TLCD'yi taşıyabilmek için daha büyük kesitlerde destek elemanlarına ihtiyaç olmasına sebep olur bu da imalat maliyetini artırır. Bir TLCD sistem için $\mu \geq \%3$ 'den büyük bir kütle oranı seçmek pratik olarak uygulaması imkansızla yakın olduğundan dolayı onun yerine birden fazla TLCD sistemin tasarlanması önerilir.

Bu çalışmada TLCD sistemin içerisindeki sıvı su olarak seçilmiştir. Ayrıca frekans oran $\gamma = 2$, uzunluk oranı $n = 0,6$, kesit alanı oranı $r = 1$ ve kütle oranı $\mu = 0,01$ olarak seçilmiştir.

7.2.1. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin çok katlı prototip yapı için tasarlanması

Bu çalışma kapsamında çok katlı prototip yapının zayıf doğrultusuyla ilgilenildiği için yapının y-doğrultusundaki hakim titreşim periyotundan denklem 7.1'de görüldüğü gibi yapının açısal frekansı $\omega_s = 2,96 \text{ rad / sn}$ olarak elde edilmiştir.

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_y} = \frac{2\pi}{2,12} = 2,96 \text{ rad/sn} \quad (7.1)$$

TLCD sistemin açısal frekansı, frekans oranı kullanılarak denklem 7.2'deki şekilde $\omega_{TLCD} = 1,48 \text{ rad / sn}$ olarak bulunur.

$$\gamma = \frac{\omega_s}{\omega_{TLCD}} \rightarrow \omega_{TLCD} = \frac{\omega_s}{\gamma} = \frac{2,96}{2} = 1,48 \text{ rad/sn} \quad (7.2)$$

TLCD sistemin toplam uzunluğu L_{TLCD} denklem 7.3 kullanılarak bulunur.

$$\omega_{TLCD} = \sqrt{\frac{2g}{L_{TLCD}}} \rightarrow L_{TLCD} = \frac{2g}{\omega_{TLCD}^2} = \frac{(2)(9,81)}{1,48^2} = 8,93 \text{ m} \quad (7.3)$$

TLCD sistemin yatay kolunun (L_h) ve düşey kollarının (L_v) uzunlukları, uzunluk oranı ve kesit alanı oranı kullanılarak sırasıyla denklem 7.4 ve denklem 7.5 kullanılarak bulunur.

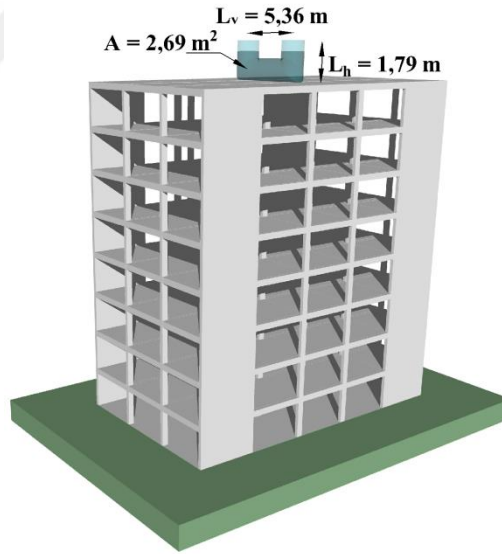
$$n = \frac{L_h}{L_{TLCD}} \rightarrow L_h = nL_{TLCD} = (0,6)(8,93) = 5,36 \text{ m} \quad (7.4)$$

$$L_{TLCD} = L_h + 2rL_v \rightarrow L_v = \frac{L_{TLCD} - L_h}{2r} = \frac{8,93 - 5,36}{(2)(1)} = 1,79 \text{ m} \quad (7.5)$$

Ardından kütle oranı, yapının kütlesi ve TLCD sistemin toplam uzunluk değerleri kullanılarak TLCD sistemin yatay ve düşey kollarının kesit alanı denklem 7.6 kullanılarak bulunmuştur. Kesit alanı oranı $r = 1$ olarak alındığı için TLCD'nin düşey ve yatay kollarının kesit alanları birbirine eşittir ve kesit alanları tek bir simge olarak (A) tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu $\rho_{su} = 997 \text{ kg / m}^3$ olarak alınmıştır.

$$\mu = \frac{\rho_{su}AL_{TLCD}}{M} \rightarrow A = \frac{\mu M}{\rho_{su}L_{TLCD}} = \frac{(0,01)(2400)(10^3)}{(997)(8,93)} = 2,69 \text{ m}^2 \quad (7.6)$$

Çok katlı prototip yapı için tasarlanan TLCD sistemin prototip yapı ile birlikte üç boyutlu görünüşü Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli prototip yapı.

7.2.2. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması

TLCD sistemin tasarımında en önemli faktörler yapının periyot ve kütle değerleridir. Çok katlı model, tek katlı modellerin periyotları ve kat kütleleri birbirine çok yakın olduğundan dolayı tasarlanacak TLCD'ler hemen hemen aynı olacaktır. Bu yüzden küçük ölçekli sarsma tablasına uygun olacak şekilde $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile

oluşturulan modeller arasında sadece tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için TLCD tasarımı yapılmıştır.

Sonlu elemanlar paket programında $\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı model yapının modal analizi yapıldıktan sonra elde edilen y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodundan denklem 7.7’de görüldüğü gibi tek katlı model yapının açısal frekansı $\omega_s = 14,74 \text{ rad / sn}$ olarak elde edilmiştir.

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_y} = \frac{2\pi}{0,426} = 14,74 \text{ rad/sn} \quad (7.7)$$

TLCD sistemin açısal frekansı, frekans oranı kullanılarak denklem 7.8’deki şekilde $\omega_{TLCD} = 7,37 \text{ rad / sn}$ olarak bulunur.

$$\gamma = \frac{\omega_s}{\omega_{TLCD}} \rightarrow \omega_{TLCD} = \frac{\omega_s}{\gamma} = \frac{14,74}{2} = 7,37 \text{ rad/sn} \quad (7.8)$$

TLCD sistemin toplam uzunluğu L_{TLCD} denklem 7.9 kullanılarak bulunur.

$$\omega_{TLCD} = \sqrt{\frac{2g}{L_{TLCD}}} \rightarrow L_{TLCD} = \frac{2g}{\omega_{TLCD}^2} = \frac{(2)(9,81)}{7,37^2} = 0,36 \text{ m} \quad (7.9)$$

TLCD sistemin yatay kolunun (L_h) ve düşey kollarının (L_v) uzunlukları, uzunluk oranı ve kesit alanı oranı kullanılarak sırasıyla denklem 7.10 ve denklem 7.11 kullanılarak bulunur.

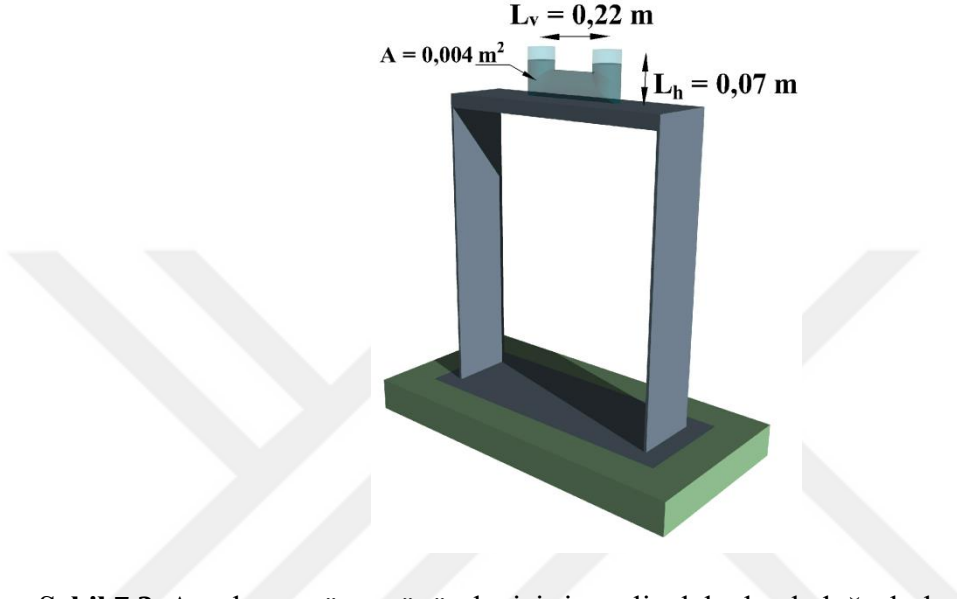
$$n = \frac{L_h}{L_{TLCD}} \rightarrow L_h = nL_{TLCD} = (0,6)(0,36) = 0,22 \text{ m} \quad (7.10)$$

$$L_{TLCD} = L_h + 2rL_v \rightarrow L_v = \frac{L_{TLCD} - L_h}{2r} = \frac{0,36 - 0,22}{(2)(1)} = 0,07 \text{ m} \quad (7.11)$$

Ardından kütle oranı, yapının kütlesi ve TLCD sistemin toplam uzunluk değerleri kullanılarak TLCD sistemin yatay ve düşey kollarının kesit alanı denklem 7.12 kullanılarak bulunmuştur. Kesit alanı oranı $r = 1$ olarak alındığı için TLCD’nin düşey ve yatay kollarının kesit alanları birbirine eşittir ve kesit alanları tek bir simge olarak (A) tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu $\rho_{su} = 997 \text{ kg / m}^3$ olarak alınmıştır.

$$\mu = \frac{\rho_{su} A L_{TLCD}}{M} \rightarrow A = \frac{\mu M}{\rho_{su} L_{TLCD}} = \frac{(0,01)(130)}{(997)(0,36)} = 0,004 \text{ m}^2 \quad (7.12)$$

$\lambda = 25$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanan TLCD sistemin model yapı ile birlikte üç boyutlu görünüşü Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 25$.

7.2.3. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması

Büyük ölçekli sarsma tablasına uygun olacak şekilde $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan modeller arasında da sadece tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için TLCD tasarımı yapılmıştır.

$\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile sonlu elemanlar modeli oluşturulan tek katlı sarsma tablası test modelinin modal analizi yapıldıktan sonra elde edilen y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodundan denklem 7.13’de görüldüğü gibi tek katlı model yapının açısıl frekansı $\omega_s = 11,80 \text{ rad / sn}$ olarak elde edilmiştir.

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_y} = \frac{2\pi}{0,532} = 11,80 \text{ rad/sn} \quad (7.13)$$

TLCD sistemin açısıl frekansı, frekans oranı kullanılarak denklem 7.14’deki şekilde $\omega_{TLCD} = 5,90 \text{ rad / sn}$ olarak bulunur.

$$\gamma = \frac{\omega_s}{\omega_{TLCD}} \rightarrow \omega_{TLCD} = \frac{\omega_s}{\gamma} = \frac{11,80}{2} = 5,90 \text{ rad/sn} \quad (7.14)$$

TLCD sistemin toplam uzunluğu L_{TLCD} denklem 7.15 kullanılarak bulunur.

$$\omega_{TLCD} = \sqrt{\frac{2g}{L_{TLCD}}} \rightarrow L_{TLCD} = \frac{2g}{\omega_{TLCD}^2} = \frac{(2)(9,81)}{5,90^2} = 0,56 \text{ m} \quad (7.15)$$

TLCD sistemin yatay kolunun (L_h) ve düşey kollarının (L_v) uzunlukları, uzunluk oranı ve kesit alanı oranı kullanılarak sırasıyla denklem 7.16 ve denklem 7.17 kullanılarak bulunur.

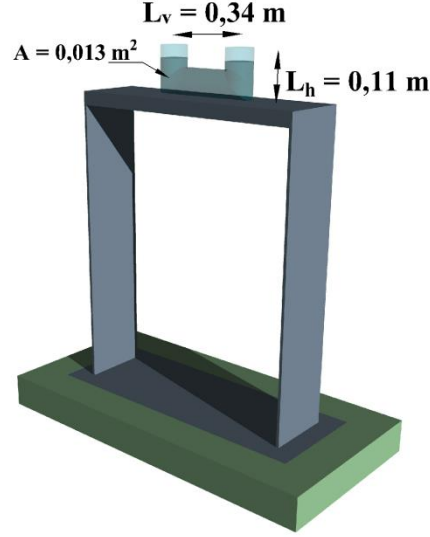
$$n = \frac{L_h}{L_{TLCD}} \rightarrow L_h = nL_{TLCD} = (0,6)(0,56) = 0,34 \text{ m} \quad (7.16)$$

$$L_{TLCD} = L_h + 2rL_v \rightarrow L_v = \frac{L_{TLCD} - L_h}{2r} = \frac{0,56 - 0,34}{(2)(1)} = 0,11 \text{ m} \quad (7.17)$$

Ardından kütle oranı, yapının kütlesi ve TLCD sistemin toplam uzunluk değerleri kullanılarak TLCD sistemin yatay ve düşey kollarının kesit alanı denklem 7.18 kullanılarak bulunmuştur. Kesit alanı oranı $r = 1$ olarak alındığı için TLCD'nin düşey ve yatay kollarının kesit alanları birbirine eşittir ve kesit alanları tek bir simge olarak (A) tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu $\rho_{su} = 997 \text{ kg / m}^3$ olarak alınmıştır.

$$\mu = \frac{\rho_{su}AL_{TLCD}}{M} \rightarrow A = \frac{\mu M}{\rho_{su}L_{TLCD}} = \frac{(0,01)(750)}{(997)(0,56)} = 0,013 \text{ m}^2 \quad (7.18)$$

$\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanan TLCD sistemin model yapı ile birlikte üç boyutlu görünüşü Şekil 7.4'de gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 14$.

7.2.4. Ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemin $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanması

Büyük ölçekli sarsma tablasına uygun olacak şekilde $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan modeller arasında da sadece tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için TLCD tasarımı yapılmıştır.

Sonlu elemanlar programında $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile sayısal modeli oluşturulan tek katlı model yapının modal analizi yapıldıktan sonra elde edilen y-doğrultusundaki hakim titreşim periyodundan denklem 7.19’da görüldüğü gibi tek katlı model yapının açısal frekansı $\omega_s = 14,70 \text{ rad / sn}$ olarak elde edilmiştir.

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_y} = \frac{2\pi}{0,427} = 14,70 \text{ rad/sn} \quad (7.19)$$

TLCD sistemin açısal frekansı, frekans oranı kullanılarak denklem 7.20’deki şekilde $\omega_{TLCD} = 7,35 \text{ rad / sn}$ olarak bulunur.

$$\gamma = \frac{\omega_s}{\omega_{TLCD}} \rightarrow \omega_{TLCD} = \frac{\omega_s}{\gamma} = \frac{14,70}{2} = 7,35 \text{ rad/sn} \quad (7.20)$$

TLCD sistemin toplam uzunluğu L_{TLCD} denklem 7.21 kullanılarak bulunur.

$$\omega_{TLCD} = \sqrt{\frac{2g}{L_{TLCD}}} \rightarrow L_{TLCD} = \frac{2g}{\omega_{TLCD}^2} = \frac{(2)(9,81)}{7,35^2} = 0,36 \text{ m} \quad (7.21)$$

TLCD sistemin yatay kolunun (L_h) ve düşey kollarının (L_v) uzunlukları, uzunluk oranı ve kesit alanı oranı kullanılarak sırasıyla denklem 7.22 ve denklem 7.23 kullanılarak bulunur.

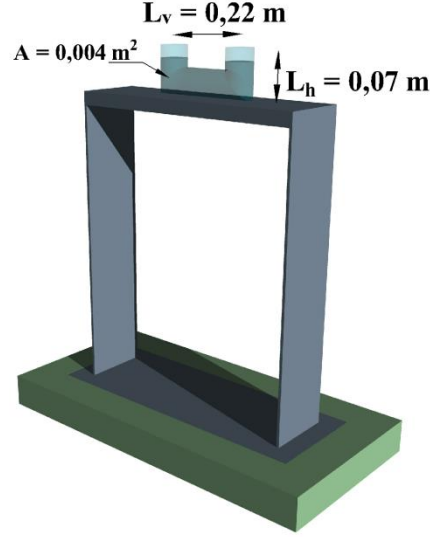
$$n = \frac{L_h}{L_{TLCD}} \rightarrow L_h = nL_{TLCD} = (0,6)(0,36) = 0,22 \text{ m} \quad (7.22)$$

$$L_{TLCD} = L_h + 2rL_v \rightarrow L_v = \frac{L_{TLCD} - L_h}{2r} = \frac{0,36 - 0,22}{(2)(1)} = 0,07 \text{ m} \quad (7.23)$$

Ardından kütle oranı, yapının kütlesi ve TLCD sistemin toplam uzunluk değerleri kullanılarak TLCD sistemin yatay ve düşey kollarının kesit alanı denklem 7.24 kullanılarak bulunmuştur. Kesit alanı oranı $r = 1$ olarak alındığı için TLCD'nin düşey ve yatay kollarının kesit alanları birbirine eşittir ve kesit alanları tek bir simge olarak (A) tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu $\rho_{su} = 997 \text{ kg / m}^3$ olarak alınmıştır.

$$\mu = \frac{\rho_{su}AL_{TLCD}}{M} \rightarrow A = \frac{\mu M}{\rho_{su}L_{TLCD}} = \frac{(0,01)(150)}{(997)(0,36)} = 0,004 \text{ m}^2 \quad (7.24)$$

$\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli için tasarlanan TLCD sistemin model yapı ile birlikte üç boyutlu görünüşü Şekil 7.5'de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Ayarlı sıvı sütun sönümleyici sistemli tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modeli, $\lambda = 24$.

Çok katlı prototip yapı ve tek katlı tek doğrultulu ölçekli test modellerinin kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalması durumunda vereceği dinamik tepkiyi azaltma hedefiyle tasarlanan ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemlerin deprem kuvvetleri etkisi altında yapılara iletilen sismik enerjiyi sönümlemek üzere son derece etkili bir yöntem olabileceği düşünülmektedir. Özellikle titreşim kapasitesi fazla olan yüksek katlı yapılara iletilen sismik enerjiyi kontrollü yapısal hasarlarla tüketmek yerine uygulanabilirlik ve maliyet açısından oldukça kullanışlı olan ayarlı sıvı sütun sönümleyicili sistemler ile kontrol altına alınması önerilir.



8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, prototip yapı olarak seçilen 8 katlı, rijit döşemeli ve perde-çerçeveli betonarme taşıyıcı sistemin geometrik, kinematik ve dinamik özelliklerini temsil edecek şekilde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün yapı laboratuvarında bulunan küçük ve büyük ölçekli sarsma tablasının teknik özellikleri dikkate alınarak üç farklı ölçek katsayısı kullanılarak 8 katlı, tek katlı tek doğrultulu ve tek katlı çift doğrultulu çelikten sarsma tablası test modelleri geliştirilmiştir.

Geliştirilen model yapıların, çok katlı prototip yapıyı temsil edip edemediğini gözlemleyebilmek amacıyla Sap2000 sonlu elemanlar programında uzak ve yakın alan deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan dinamik analizler sonucunda yapılarda oluşan maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerleri incelenip karşılaştırılmıştır.

Farklı ölçek katsayısı seçiminin model yapıların prototip yapıyı temsil edebilme konusundaki güvenilirliğinin tespitinin incelenmesinin yanı sıra çok katlı bir prototip yapının sadece çok katlı bir model yapı ile değil tek katlı model yapılar ile de temsil edileceği gösterilmek istenmiştir. Ayrıca söz konusu örnek prototip binanın her iki doğrultusu da dikkate alınarak tasarlanan tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelleri ile zayıf doğrultusu olan kısa doğrultusu dikkate alınarak tasarlanmış olan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modellerinin karşılaştırılması da yapılmıştır. Bunların yanı sıra uzak alan ve yakın alan deprem kayıtlarının prototip ve model yapıların dinamik tepkileri üzerinde ne gibi etkileri olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda daha büyük ölçek katsayıları kullanılması sonucunda yani ölçekli test modellerinin boyutlarının daha da küçülmesi ile model yapıların prototip yapıları temsil edebilme kabiliyetinin azaldığı belirlenmiştir. Daha küçük ölçek katsayıları seçilerek kurulan sarsma tablası test modelleri, prototip yapıyı daha gerçekçi veriler ile temsil edebilmektedir ancak modellerinin boyutlarının büyümesi hem maliyeti hem de imalat zorluğunu arttırdığından dolayı seçilecek ölçek katsayısı için optimum bir değer aranmalıdır. Optimum ölçek katsayısı seçiminde önemli parametrelerden biri de kullanılacak olan sarsma tablasının teknik özellikleridir.

Bu çalışmada büyük ölçekli sarsma tablası için $\lambda = 14$ ve $\lambda = 24$ ölçek katsayıları kullanılarak test modelleri geliştirilmiştir. Ancak seçilen prototip yapı ve prototip yapıya benzer karakteristik özelliklere sahip yapılar için büyük ölçekli sarsma tablasında $\lambda = 14$ ölçek katsayısı ile geliştirilen modellerin laboratuvar ortamında deneyinin yapılmasının daha doğru olacağı görülmüştür. Ayrıca $\lambda = 24$ ölçek katsayısının $\lambda = 25$ ölçek katsayısına yakın olduğundan dolayı bu katsayı ile geliştirilen modellerin küçük ölçekli sarsma tablasının teknik özelliklerini de aşmadığı görülmüştür. Bu yüzden seçilen prototip yapı ve prototip yapıya benzer karakteristik özelliklere sahip yapılar için $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile geliştirilen modellerin laboratuvar ortamında deneylerinin küçük ölçekli sarsma tablası ile yapılmasının zaman, maliyet ve uygulanabilirlik açısından daha doğru olacağı kanaatine varılmıştır.

Çok katlı sarsma tablası test modelleri için yapılan karşılaştırmalar sonucunda model yapılarda oluşan maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin çok katlı prototip yapının ilgili değerlerine göre yakın alan veya uzak alan deprem kaydı farketmeksizin bazı istisnalar dışında kabul edilebilir bir seviye olan %10'dan küçük hata payı ile farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Tek katlı sarsma tablası test modellerinde meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı, maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum devrilme momenti değerlerinin eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapılara ait ilgili değerler ile karşılaştırılması sonucunda hem yakın alan hem de uzak alan deprem kayıtları için genellikle %5'den küçük hata payları elde edilmesine rağmen %40,56 hata payına sahip aykırı bir sonuç gözlemlenmiştir. %40,56 hata payı $\lambda = 24$ ölçek katsayısı ile oluşturulan tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modelinin bir yakın alan deprem kaydı olan Sierra madre deprem kaydıyla yapılan dinamik analizi sonucundan meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanında görülmüştür. Sierra madre deprem kaydının etkin süresinin küçük olmasından dolayı bu yüksek hata payının oluştuğu düşünülmüştür ve standart sapmanın dışında olduğundan tolere edilebileceği kanaatine varılmıştır.

Prototip yapının zayıf doğrultu olan kısa doğrultusu dikkate alınarak tasarlanmış olan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modellerinde yapılan dinamik analizler sonucunda her iki doğrultu dikkate alınarak tasarlanan tek katlı çift doğrultulu sarsma tablası test modellerine kıyasla daha düşük hata payları elde edilmiştir. Tek katlı

modellerin eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı dikkate alınarak elde edildiği düşünüldüğünde ve eşdeğer tek serbestlik dereceli prototip yapı da betonarme prototip yapının zayıf doğrultusunda meydana gelen hakim modu ile hakim periyotu dikkate alınarak tasarlandığı için tek doğrultulu modellerin çift doğrultulu modellere kıyasla daha tutarlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Uzak alan deprem kayıtlarının etkisi altında prototip ve model yapılarda yakın alan deprem kayıtlarının etkisine oranla daha küçük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Bu duruma uzak alan deprem kayıtlarının yer ivmesi değerlerinin ve yakın alan deprem kayıtlarına göre daha küçük olmasının sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

Deprem kayıtlarının Fourier genliği-Frekans grafiklerinin incelenmesi sonucunda yakın alan deprem kayıtlarından olan Kocaeli, Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarının en büyük yer ivmesi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak Kocaeli deprem kayıtları etkisi altında hem prototip hem de model yapılarda meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı değerinin Chi-Chi ve Loma prieta deprem kayıtlarında meydana gelen maksimum tepe noktası deplasmanı değerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir. Fourier genliği-Frekans grafikleri incelendiğinde Kocaeli deprem kaydının frekans içeriğinin hem prototip yapı hem de model yapıların hakim frekanslarına yakın seviyelerde yoğun olduğu ve bu durumun rezonansa sebebiyet verdiği anlaşılmıştır. Rezonans etkisi sebebiyle Kocaeli deprem kaydı altında benzer en büyük yer ivmesi değerine sahip deprem kayıtlarına göre yapılarda daha büyük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Aynı durum uzak alan deprem kayıtlarından olan N. palm springs ve Morgan hill deprem kayıtlarında da gözlemlenmiştir. Morgan hill deprem kaydının rezonans frekansına yakın olması sebebiyle N. palm springs deprem kaydına oranla daha büyük yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ise hata paylarının kabul edilebilir bir seviyede olduğu belirlenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda tolere edilebilir derecede aykırı hata payı meydana geldiğinden dolayı kurulan modellerin gerçek yapı sisteminin davranışını kabul edilebilir doğrulukta temsil ettiği söylenebilir. Seçilmiş olan uzunluk ölçeklerinin prototip ile model arasında kinematik ve dinamik etkileşimlerini de kapsayan tam benzeşimin sağlanmasında etkili olduğu anlaşılmıştır. Çok katlı yapıların dinamik davranışına uyarlanan tam benzetim yaklaşımının, sarsma tablası deneyleri için küçük modellerin tasarlamasında araştırmacılara ve mühendislere yardımcı olabileceğine

inanılmaktadır. Her üç ölçek katsayısıyla geliştirilen çok katlı sarsma tablası test modellerinin dinamik analiz sonuçlarının tek katlı çift doğrultulu ve tek doğrultulu sarsma tablası test modelleri ile karşılaştırılması sonucunda tek katlı modellerin daha küçük hata paylarına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca tek katlı modellerin kendi aralarında karşılaştırılmasıyla da tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modellerinin daha tutarlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Çok katlı betonarme sistemlerin ele alındığı problemlerin çözümü için geliştirilecek olan model tercihinde hem çok katlı hem de tek katlı modellerin tercih edilmesinde herhangi sakınca olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada tek katlı tek doğrultulu model yapının prototip yapıyı temsil edebilme kabiliyetinin diğer model yapılara kıyasla daha iyi olduğunun tespit edilmiştir. Aynı zamanda tek katlı tek doğrultulu modellerin maliyet, uygulanabilirlik ve zaman açısından diğer modellere kıyasla daha ön planda olduğu da düşünülürse, çok katlı betonarme yapı problemlerinin çözümü için bu modellerin tercih edilmesi önerilir.

Çok katlı prototip yapı ve farklı ölçeklerde tasarlanan tek katlı tek doğrultulu sarsma tablası test modellerinin kuvvetli deprem yer hareketine maruz kalması durumunda vereceği dinamik tepkiyi azaltmak üzere araştırmacılara öneri olması amacıyla bir pasif yalıtım yöntemi olan TLCD sistemler tasarlanmıştır. TLCD sistemler tasarlanırken, imalat maliyetini ve uygulanabilirliğini kabul edilebilir derecede tutacak şekilde gerekli katsayıların seçimi yapılmıştır.

Özellikle deprem kuvvetleri etkisi altında titreşim kapasitesi fazla olan mevcut yüksek katlı yapılara iletilen sismik enerjiyi sönmölemek üzere bir pasif yalıtım yöntemi olan TLCD sistemi kullanılması son derece etkili bir yöntem olabilir. Bu tür yapılarda dinamik yüklerden dolayı meydana gelebilecek büyük yanal deplasmanları kısıtlayabilmek üzere uygulanabilirlik ve maliyet açısından oldukça kullanışlı olan TLCD sistemlerin uygulanması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Meymand, P. J., Riemer, M., ve Seed, R. B. (2000, 1-4, Şubat). Large Scale Shaking Table Tests of Seismic Soil-Pile Interaction in Soft Clay. *Proceeding of the 12th World Conference on Earthquake Engineering* (915-937) içinde. Auckland, New Zealand
- [2] Schuring, D. J. ve Emori, R. I. (1997). *Scale Models in Engineering: Fundamentals and Applications* (1. Baskı). Pergamon Press.
- [3] Jha, A. (2004). *Dynamic Testing of Structures Using Scale Models* [Yüksek lisans tezi]. Concordia University.
- [4] Baran, T. (2008). *Yapıların Dinamik Davranışının DeneySEL ve Teorik Olarak İncelenmesi* [Doktora tezi]. Çukurova Üniversitesi.
- [5] Göktepe, F., Çelebi, E., & Omid, A. J. (2019). Numerical and Experimental Study on Scaled Soil-Structure Model for Small Shaking Table Tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.01.016>
- [6] Hoseny, M. E., Ma, J., Luo, D., & Yue, Y. (2022). Investigation of Small-Scaled Soil Structure Model under Earthquake Loads via Small Shaking Table Tests. *Hindawi Shock and Vibration*. <https://doi.org/10.1155/2022/1517406>
- [7] Farshidianfar, A., ve Oliazadeh, P. (2009). Closed form optimal solution of a tuned liquid column damper responding to earthquake. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3 (11), 457-462. <https://www.researchgate.net/publication/289028519>
- [8] Wu, J. C., Chang, C. H., & Lin, Y. Y. (2009). Optimal designs for non-uniform tuned liquid column dampers in horizontal motion. *Journal of Sound and Vibration*, 326(1-2), 104-122. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.04.027>
- [9] Farshidianfar, A., Oliazadeh, P., & Farivar H. R. (2009, Mayıs, 19). Optimal Parameter's Design in Tuned Liquid Column Damper [Poster sunumu]. 17th. Annual (International) Conference on Mechanical Engineering, Tahrán, İran.
- [10] Zhong, C., ve Christopoulos, C. (2022) Scaled shaking table testing of higher-mode effects on the seismic response of tall and slender structures. *Earthquake Engng Struct Dyn*, 52, 549–570. <https://doi.org/10.1002/eqe.3772>
- [11] Meymand, P. J. (1998). *Shaking Table Scale Model Tests of Nonlinear Soil-Pile-Superstructure Interaction in Soft Clay* [Doktora tezi]. University of California.
- [12] Sollogoub, P. (2006). Seismic Testing. A. Pecker (Ed.), *Advanced Course on Advanced Earthquake Engineering Analysis* (1. Baskı, ss. 181-214) içinde. Springer Wien.

- [13] Omid, A. J. (2017). *Sarsma Tablası için Geliştirilmiş Ölçekli Yapı-Zemin Modeli Üzerinde Sayısal ve DeneySEL İncelemeler* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- [14] Şahin, Ö., Çağlar, N. & Çelebi E. (2017). Küçük Ölçekli Sarsma Tablası Test Modelleri için Uygun Ölçeklendirme Katsayısının Araştırılması [Poster sunumu]. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. Baku, Azerbaijan.
- [15] Pacific Earthquake Engineering Research Centre (2012). PEER Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>.
- [16] Tavakoli, H. R., Gilani, H. ve Abdollahzadeh, G. R. (2012, 24-28, Eylül). Comparative evaluation of seismic parameters for near-fault and far-fault earthquakes. 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, Portugal
- [17] Beyen, K. (2021). Yüksek Yapı Davranışında Yakın ve Uzak Alan Kaynaklı Depremlerin Etkisi. *9th Turkish Conference on Earthquake Engineering*, 1(1), 745-754. <https://avesis.kocaeli.edu.tr/yayin/b73d7f55-8f7e-44aa-97e1-687effc6766f/yuksek-yapi-davranisinda-yakin-ve-uzak-alan-kaynakli-depremlerin-etkisi>
- [18] Celep, Z. ve Kumbasar N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı* (2. Baskı). Beta Yayınları.
- [19] Aksoylar, N. D. (2009). *Yarı Rijit Birleşimli Çelik Çerçevelerin Deprem Performansının Değerlendirilmesi* [Doktora tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [20] Shah, M. U., ve Usman, M. (2022). An experimental study of tuned liquid column damper controlled multi-degree of freedom structure subject to harmonic and seismic excitations. *Plos One*, 17(6), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269910>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Onur ÖZDOĞAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021-2023 yılları arasında SH Mavi Yapı İnş. LTD. ŞTİ. İnşaat Mühendisi olarak çalıştı.
- 2024 yılında kurduğu Tenebra Mimarlık & Mühendislik firmasında çalışmalarına devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Özdoğan O. ve Çelebi E. (2022, 24-26, Aralık). Ölçekli Deney Modelleri İle Yüksek Yapıların Deprem Davranışının Sayısal Analizi. *10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 909-916.

DİĞER ESERLER: