T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜNEL KALIP SİSTEMLİ ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE YER HAREKETİ KAYDI ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİNİN VE GÜÇLÜ YER HAREKETİ KISMININ ETKİSİ

İsmail TOZLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ

Şubat, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜNEL KALIP SİSTEMLİ ORTA KATLI BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİNDE YER HAREKETİ KAYDI ÖLÇEKLEME YÖNTEMLERİNİN VE GÜÇLÜ YER HAREKETİ KISMININ ETKİSİ

İsmail TOZLU tarafından hazırlanan tez çalışması 07.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Tünel Kalıp Sistemli Orta Katlı Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesinde Yer Hareketi Kaydı Ölçekleme Yöntemlerinin ve Güçlü Yer Hareketi Kısmının Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İsmail TOZLU

Sevgili Aileme,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Muzaffer BÖREKÇİ'ye, eğitim hayatım boyunca emeği geçen değerli hocalarıma ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İsmail TOZLU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xiiiiii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 7
1.3 Hipotez 8
2 TÜNEL KALIP SİSTEMİ 9
2.1 Tünel Kalıp Sistemin Ortaya Çıkışı 9
2.2 Tünel Kalıp 10
2.3 Tünel Kalıp Sistemli Binaların Elemanları 10
2.3.1 Yapısal Elemanlar 10
2.3.2 Yapısal Olmayan Elemanlar 11
2.4 Tünel Kalıp Sistemin Avantajları 11
2.4.1 Üretim Hızı 11
2.4.2 Ekonomi 12
2.4.3 Çevre 13
2.4.4 Güvenlik 13
2.4.5 Kalite Kontrol 14
2.5 Tünel Kalıp Sistemlerin Dezavantajları 14
2.6 İmalat Teknikleri 15
3 YER HAREKETLERİNİN SEÇİLMESİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ 16
3.1 Uygun Yer Hareketi Seçilmesi 16
3.2 Yer Hareketi Ölçekleme Yöntemleri 17
3.2.1 Basit Ölçekleme Yöntemi 17
3.2.2 Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme 17
3.3 Güçlü Yer Harekeri 18
3.4 Performans Analizi ve Değerlendirme 20

4 MATARYEL VE YÖNTEM **27**
4.1 Yapılan Çalışma 27
4.2 Yapı Bilgileri 27
4.3 Doğrusal Model ve Optimizasyon Çalışması 28
4.3.1 Optimizasyon Çalışması 29
4.3.2 Modal Analiz 31
5 BASİT ÖLÇEKLEME VE SPEKTRAL UYUŞUM YÖNTEMİ **32**
5.1 Deprem Seçimi 32
5.2 Deprem Yer Hareketi Ölçekleme 34
5.2.1 Basit Ölçekleme Yöntemi ile Ölçekleme (BÖ) 34
5.2.2 Spektral Dönüşüm Yöntemi ile Ölçekleme (SÖ) 35
5.3 Doğrusal Olmayan Modelleme ve Hesap 36
5.4 Analiz Sonuçları 38
5.4.1 Basit Ölçekleme Yöntemi Hesap Sonuçları 38
5.4.2 Spektral Dönüşüm Yöntemi Hesap Sonuçları 44
5.4.3 Sonuçların Karşılaştırılması 48
6 ANLAMLI SÜRELER İLE HESAP **51**
6.1 Anlamlı Süreler Kullanılarak Yapılan Analiz 51
6.1.1 Basit Ölçekleme Yönteminin Anlamlı Süreleri ile Hesap Sonuçları 54
6.1.2 Spektral Dönüşüm Yönteminin Anlamlı Süreleri ile Hesap Sonuçları 58
6.1.3 Sonuçların Karşılaştırılması 61
6.2 Tam Kayıt ve Anlamlı Süreler ile Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması 63
7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER **67**
7.1 Sonuçlar 67
7.2 Öneriler 69
KAYNAKÇA **71**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **74**

SİMGE LİSTESİ

k	Adım Sayısı
AI	Arias Şiddeti
ΔT	Artış Miktarı
ε_c	Beton Birim Kısalması
ε_{cu}	Beton Birim Kısalması Üst Sınırı
f_{ck}	Beton Karakteristik Basınç Dayanımı
f_{ctd}	Beton Karakteristik Çekme Dayanımı
V_{cr}	Beton Kesme Kuvveti Katkısı
C25	Beton Malzeme Özelliği
f_{ce}	Betonun Beklenen Basınç Dayanımı
S_1	Bir sn için Harita Spektral İvme Katsayısı
b_k	Çekirdek Boyutu [mm]
f_{sy}, f_{yk}	Çelik Karakteristik Akma Dayanımı
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi
β_v	Dinamik Büyütme Katsayısı
Tp	Doğal Titreşim Periyodu
ø	Donatı Çapı
ε_{sy}	Donatı Çeliği Akma Birim Şekil Değiştirmesi
ε_s	Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmesi
ε_{su}	Donatı Çeliği Maksimum Şekil Değiştirme Değeri
S420	Donatı Çeliği Malzeme Özelliği
V_{dy}	Düşey Yüklerden Meydana Gelen Kesme Kuvveti Değeri
E	Elastisite Modülü
l_n	Eleman Serbest Açıklığı
Mr	Eleman Taşıma Gücü Momentleri
PGV	En Büyük Yer Hızı
PGA	En Büyük Yer İvmesi

A_{sh}	Enine Donatı Alanı (Dikdörtgen Kesit) [mm^2]
ω_{we}	Etkin Sargı Donatısının Mekanik Donatı Oranı
ρ_{shmin}	Etkin Sargı Donatısının Mekanik Donatı Oranı
d	Faydalı Yükseklik
b_0	Göbek Betonunu Saran Donatı Eksenleri Arasındaki Kesit Boyutu [mm]
h_0	Göbek Betonunu Saran Donatı Eksenleri Arasındaki Kesit Boyutu [mm]
ρ_{sh}	Gözönüne Alınan Doğrultuda Enine Donatının Hacimsel Oranı
Q	Hareketli Yük
n	Harektli Yük Katılım Katsayısı
V_e	Kapasite Kesme Kuvveti Değeri
b_w	Kesit Genişliği
V_d	Kesme İç Kuvveti
V_r	Kesme Kuvveti Dayanımı
S_s	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı
M_{pi}, M_{pj}	Kiriş Uçları Moment Kapasiteleri
M_a,M_u	Kolon Uçları Moment Değerleri
m	Kütle
α	Minimum Fark Katsayısı
Mw	Moment Büyüklüğü
$(M_d)_t$	Moment İç Kuvveti
β	Ölçek Katsayısı
Ta	Ölçekleme Yapılacak Periyot Başlangıç Değeri
Tb	Ölçekleme Yapılacak Periyot Son Değeri
G	Ölü Yük
$(M_p)_t$	Pekleşmesiz Kapasite Momenti
η	Poisson Oranı
T_L	Sabit Yerdeğiştirme Bölgesine Geçiş Periyodu
A_{sw}	Sargı Donatısı Alanı

s	Sargı Donatısı Aralığı
f_{ywe}	Sargı Donatısı Beklenen Akma Dayanımı
α_{se}	Sargı Donatısı Etkinlik Katsayısı
V_w	Sargı Donatısı Kesme Kuvveti Katkısı
f_{ywd}	Sargı Donatısı Tasarım Çekme Dayanımı
S_a^{hedef}	Tasarım Spektrumu İvme Değeri
T_A, T_B	Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
U1	X Ekseni Doğrultusu
U2	Y Ekseni Doğrultusu
a_i	Yatayda Bir Etriye Kolu veya Çiroz Tarafından Mesnetlenen Boyuna Donatıların Eksenleri Arasındaki Uzaklık [mm]
$S_a^{gerçek}$	Yer Hareketi Spektral İvme Değeri
g	Yerçekimi İvmesi
ZD	Yerel Zemin Sınıfı
t	Zaman

KISALTMA LİSTESİ

BÖ	Basit Ölçekleme Yöntemi
D	Döşeme
GÖ	Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
GYH	Güçlü Yer Hareketi
GYHS	Güçlü Yer Hareketi Süresi
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
L	Doğrusal (Lineer)
NL	Doğrusal Olmayan (Non-Lineer)
SD	Anlamlı Süre (Significant Duration)
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
SÖ	Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme Yöntemi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
TKS	Tünel Kalıp Sistemi
W	Perde Duvar (Wall)
ZTADOH	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yapımda Endüstriyelleşme 9
Şekil 2.2 Tünel Kalıp Sistemli Yapı Örneği 10
Şekil 2.3 TKS Yapı Üretimi 12
Şekil 3.1 BÖ Şematik Gösterim 18
Şekil 3.2 Husid Diyagramı ve Anlamlı Sürenin Belirlenmesi 19
Şekil 3.3 TBDY Kesit Hasar Bölgeleri 20
Şekil 3.4 TBDY Kiriş V_e Hesabı 21
Şekil 3.5 TBDY Ma ve Mu Hesabı 22
Şekil 3.6 TBDY Sargılı ve Sargısız Beton Davranış Modeli 25
Şekil 3.7 TBDY Donatı Çeliği Davranış Modeli 26
Şekil 3.8 Çok Katmanlı Kabuk Elaman Modeli 26
Şekil 4.1 Kat Planı 28
Şekil 4.2 Sonlu Elemanlara Bölünmüş Döşeme Modelleri 30
Şekil 4.3 Optimizasyon Çalışması Model 1 Üç Boyutlu Görünüm 30
Şekil 4.4 Sonlu Elemanlar Optimizasyon Çalışması Sonuçları 31
Şekil 4.5 Yapı Mod Şekilleri 31
Şekil 5.1 Tasarım Spektrumu 33
Şekil 5.2 Deprem İvme-Zaman Grafikleri 33
Şekil 5.3 Basit Ölçekleme Yöntemi Spektrumlar 1 35
Şekil 5.4 Basit Ölçekleme Yöntemi Spektrumlar 2 35
Şekil 5.5 Spektral Dönüşüm Yöntemi 36
Şekil 5.6 SÖ İvme Zaman Grafikleri 36
Şekil 5.7 Doğrusal Olmayan Malzeme Davranışları 37
Şekil 5.8 Katman Modeli Kesitler 37
Şekil 5.9 Sönüm Katsayıları 38
Şekil 5.10 Çatı Deplasman Değerleri Alınan Nokta 39
Şekil 5.11 BÖ Çatı Deplasmanları 39
Şekil 5.12 Perde Konfigürasyonu 42
Şekil 5.13 BÖ Maksimum Basınç Noktası 43
Şekil 5.14 BÖ Maksimum Çekme Noktası 43

Şekil 5.15 SÖ Çatı Deplasman Değerleri 44
Şekil 5.16 SÖ Maksimum Basınç Noktası 47
Şekil 5.17 SÖ Maksimum Çekme Noktası 47
Şekil 5.18 BÖ ve SÖ Çatı Deplasman Değerleri (cm) 48
Şekil 5.19 BÖ ve SÖ Birim Şekil Değiştirme Değerleri 49
Şekil 5.20 BÖ ve SÖ Taban Kesme Kuvvetleri 50
Şekil 6.1 Anlamlı Süreler İçin Deprem İvme Kayıtları 51
Şekil 6.2 SD BÖ Çatı Deplasman Değerleri (cm) 55
Şekil 6.3 SD SÖ Çatı Deplasman Değerleri (cm) 58
Şekil 6.4 SD BÖ ve SD SÖ Çatı Deplasman Değerleri (cm) 61
Şekil 6.5 SD BÖ ve SD SÖ Taban Kesme Kuvvetleri (kN) 62
Şekil 6.6 SD BÖ ve SD SÖ Birim Şekil Değiştirme Değerleri 63
Şekil 6.7 Deprem Verilerine Göre Karşılaştırma 67
Şekil 6.8 Analiz Sonuçlarının Ortalamasına Göre Karşılaştırma 67

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 TBDY Etkin Kesit Rijitlikleri 29
Tablo 4.2 Sonlu Elemanlar Optimizasyon Modelleri ve Periyot Değerleri 30
Tablo 5.1 Seçilen Deprem Bilgileri..... 33
Tablo 5.2 Lineer Olmayan Katman Modeli 37
Tablo 5.3 BÖ Çatı Deplasmanları..... 41
Tablo 5.4 BÖ Taban Kesme Kuvvetleri..... 41
Tablo 5.5 BÖ Maksimum Basınç Noktası Birim Şekil Değiştirme Değerleri 42
Tablo 5.6 SÖ Çatı Deplasman Değerleri..... 46
Tablo 5.7 SÖ Taban Kesme Kuvvetleri..... 46
Tablo 5.8 SÖ Maksimum Birim Şekil Değiştirme Değerleri 46
Tablo 6.1 SD BÖ Çatı Deplasman Değerleri 57
Tablo 6.2 SD BÖ Taban Kesme Kuvvetleri 57
Tablo 6.3 SD BÖ Maksimum Basınç Noktası Birim Şekil Değiştirme Değerleri..... 57
Tablo 6.4 SD SÖ Çatı Deplasman Değerleri 60
Tablo 6.5 SD SÖ Taban Kesme Kuvvetleri 60
Tablo 6.6 SD SÖ Maksimum Basınç Noktası Birim Şekil Değiştirme Değerleri..... 60
Tablo 6.7 Çatı Deplasman Değerleri 64
Tablo 6.8 Taban Kesme Kuvvetleri 64
Tablo 6.9 Taban Kesme Kuvvetlerinin Bina Ağırlığına Oranları 64
Tablo 6.10 Birim Şekil Değiştirmeler 65
Tablo 6.11 Deprem Verilerine Göre Karşılaştırma..... 65
Tablo 6.12 Analiz Sonuçlarına Göre Karşılaştırma..... 65

ÖZET

Tünel Kalıp Sistemli Orta Katlı Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesinde Yer Hareketi Kaydı Ölçekleme Yöntemlerinin ve Güçlü Yer Hareketi Kısmının Etkisi

İsmail TOZLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer BÖREKÇI

Betonarme çerçeveli sistemler, yapım yöntemleri nedeniyle hızla artan konut talebini güvenlikten ödün vermeden ekonomik bir şekilde hızlıca karşılayabilmekte zaman zaman yetersiz kalmaktadırlar. Dolayısıyla, hızlı imalat, ekonomik çözüm ve deprem güvenilirliği bakımından oldukça avantajlı endüstriyel yapım yöntemlerinden olan Tünel Kalıp Sistemli (TKS) yapılar sıkça kullanılmaya başlanmıştır. TKS yapılar oldukça rijit davranış gösterdiğinden, özellikle depremselliği yüksek bölgelerde tercih edilebilmektedirler. Bu nedenle TKS yapıların tasarımı ve deprem altındaki davranışlarının anlaşılması son derece önemli hale gelmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre deprem hesabında, analizde kullanılan depremlerin tasarım depremine ölçeklenmesi gerekmektedir. Yönetmelikte "Basit Ölçeklendirme (BÖ)" ve "Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme (SÖ)" olmak üzere iki farklı ölçekleme yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada, ölçeklendirme

yöntemlerinin kullanılmasının TKS binalar için elde edilen deprem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, altı katlı TKS bir bina, tüm perde elemanları “doğrusal olmayan katman modeli” ile kabuk olarak SAP2000 programında modellenmiş ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (ZTADOH) yöntemi ile deprem hesabı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bir depremin belirli bir kısmının yıkıcı etkiye sahip olduğu bilinmekte ve bu kısım “Güçlü Yer Hareketi” (GYH), GYH kısmını içeren toplam süre ise “Güçlü Yer Hareketi Süresi” (GYHS) olarak isimlendirilmektedir. Çalışmada, deprem kayıtlarının literatürde sıklıkla tercih edilen “Anlamlı Süre” yöntemi kullanılarak elde edilen GYH kısımlarının kullanılmasıyla ile belirlenen TKS binaların deprem performansının, tüm deprem kaydı ile belirlenen performanstan farkları incelenmiştir. Bu karşılaştırmanın amacı, büyük rijitlik matrisine sahip TKS binaların ZTADOH ile çözümü için gerekli toplam süresinin kısaltılması ve büyük depolama alanının azaltılmasının sağlanmasıdır. Analizler sonucunda; BÖ yöntemi ile elde edilen sonuçların, SÖ yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre daha elverişsiz olduğu belirlenmiştir. Ancak analiz sonuçlarının ortalaması dikkate alındığında her iki yöntemden elde edilen sonuçların genel performansı etkilemediği görülmüştür. GYHS açısından incelendiğinde ise tam deprem kaydı ile elde edilen deprem tepkilerinin, yalnızca GYH kısmı için elde edilen deprem etkileriyle neredeyse aynı olduğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tünel kalıp sistemler, dinamik analiz, doğrusal olmayan hesap, güçlü yer hareketi süresi, ölçekleme yöntemleri

ABSTRACT

The Effect of Ground Motion Record Scaling Methods and Strong Ground Motion Part on The Estimation of Seismic Performance of Mid-Rise Tunnel-Form Reinforced Concrete Buildings

İsmail TOZLU

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Muzaffer BÖREKÇİ

RC frame systems are sometimes insufficient to meet the increasing housing demand in a safe and economical way. Hence, Tunnel Formwork Systems (TFSs) are more frequently as a fast and economical solution with earthquake reliability. TFSs can be preferred especially in high seismicity regions for their high lateral stiffness. Therefore, the design procedures and understanding of the seismic behavior of TFSs are extremely important. According to the “Turkish Seismic Code for Buildings (TSCB) 2018”, ground motion records should be scaled to the design earthquake. TSCB 2018 suggests two scaling methods as "Simple Scaling (SS)" and "Spectrum Matching (SM)". This study investigates the effects of considering different scaling methods on the estimated seismic behavior of TFSs. For this purpose, an analytical model of a six-story TFS building was prepared in SAP2000 with a “nonlinear shell-layered element”, and NLTHA was performed. A certain part of an earthquake has a destructive

capacity, which is called “Strong Ground Motion (SGM)" and the total duration of the SGM is called “Strong Ground Motion Duration (SGMD). This study investigates how the seismic performance of TFS, determined by considering SGM by using the “Significant Duration” method varies from the performance determined by using the total seismic record. The objective of this comparison is to shorten the total required time and reduce the storage amount for the NLTHA of a TFS building that has a large stiffness matrix. Analysis results indicated that the results obtained by using the SM method are more conservative than those obtained with the SS method. However, considering the mean of the analysis results, both methods do not significantly affect the overall performance. The seismic responses obtained using a total seismic record are approximately the same as those obtained for the ground motion records shortened by considering the significant duration method.

Keywords: Tunnel formwork systems, dynamic analysis, non-linear analysis, strong ground motion duration, scaling methods

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ülkemizde Kocaeli (Mw=7,4) ve Düzce (Mw=7,2) depremlerinden sonra tünel kalıp sistemli (TKS) binaların geleneksel yapı sistemlerinden daha iyi performans sergilediği dikkat çekmiş ve bu tür yapılar üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bunun yanı sıra tünel kalıp sistemlerin bütün taşıyıcı sisteminin tek seferde üretilebilmesinin sonucu olarak hız, zaman, ekonomi, güvenlik gibi faktörleri olumlu anlamda etkilediğinden, bu tür sistemlere olan ilgi artmıştır [1].

TKS yapılar üzerine yapılan araştırmaların en genel sonuçlarından biri mevcut yönetmelik ve standartların tasarım aşamasında oldukça yetersiz kaldığının anlaşılmasıdır. Bu durumun giderilmesi adına yapılan ilk çalışmalar daha çok doğal titreşim periyodunun belirlenmesi ve depreme karşı tasarım parametrelerinin araştırılması üzerine olmuştur. Ardından sismik performans çalışmaları başlamış, doğrusal olmayan analizler uygulanarak farklı tipteki (bina yüksekliği, düzensizlik durumları vb.) tünel kalıp sistemli binalar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak tünel kalıp sistemli binalar için yapı zemin etkileşimini araştıran çalışmalar da literatürde mevcuttur.

Doğal titreşim periyodu üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, Goel ve Chopra [2] yaptıkları çalışmada, 1971 San Fernando depreminden 1994 Northridge depremine kadar olan toplamda sekiz adet deprem verilerinden perde duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyotlarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, mevcut yönetmelikte verilen deneysel gözlemlere dayalı ampirik formüllerle hesaplanan değerlerin oldukça hatalı olduğu belirlenmiştir. Yaptıkları hesaplamalar ve kalibrasyonların neticesinde doğal titreşim periyodunun tahmini için yeni bir formül önermişlerdir

Benzer bir çalışmayı Lee vd. [3] elli adet betonarme perde duvarlı konut binasından tam ölçekli ölçümler ile gerçekleştirmiş ve mevcut binalardan

deneysel olarak belirlenen periyotlar ile standartlardaki formüllerden elde edilen sonuçlar arasında tutarsızlık olduğunu belirlemişlerdir. Mevcut binalardan doğrudan ölçümler ile elde ettikleri verileri kullanarak perdeli binaların doğal titreşim periyodunu veren bir bağıntı önermişlerdir.

Bu konu üzerine yapılan bir diğer çalışmada Balkaya ve Kalkan [4], 2-5-10-12-15 katlı 16 adet farklı plana sahip toplamda 80 bina üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Plan boyutlarının hakim modda oldukça etkili olmasından dolayı plan boyutları oranı 1,5 den küçük ise kare, eşit ya da büyükse dikdörtgen olarak sınıflandırmışlardır. Analiz sonuçları dikkate alınarak doğrusal olmayan korelasyon ile toplam bina yüksekliğine, plan boyutları oranına, kısa ve uzun doğrultudaki perde duvar oranına, toplam perde duvar oranına ve plan polar atalet momentine bağlı olan oldukça ayrıntılı bir periyot bağıntısı önermişlerdir.

Balkaya ve Kalkan 2004 [1] yılında yaptıkları çalışmada ise farklı plan şekli, bina yüksekliği ve duvar konfigürasyonuna sahip 140 farklı tünel kalıp sistemli binada modal analizler yaparak 5 ile 25 kat arasındaki tünel kalıp sistemli binaların doğal titreşim periyodunun tahmini için yeni bir ampirik bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntı, literatürde mevcut olan deneysel çalışma sonuçlarıyla oldukça yakın bir korelasyon göstermiştir. Ayrıca tünel kalıp sistemli binalarda, burulma modunun hakim olma ihtimalinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durumu giderebilmek adına perde duvarların uygun doğrultuda ve uygun dağılımda yerleştirilmesi önerilmiştir. Dikdörtgen plan şeklindeki binaların kare plan şeklindekilere göre burulmaya karşı daha avantajlı olduğu belirtilse de dikdörtgen plan şeklindeki yapıların zayıf yönde eğilmeye karşı daha güvensiz olduğu ayrıca vurgulanmıştır.

Tavafoghi ve Eshghi 2008 [5] yılında yaptıkları bir çalışmada bu tür yapıların doğal titreşim periyodunu ve mod şekillerini araştırmışlardır. Yapılan araştırmada bina yüksekliği, plan uzunluğu ve perde duvarların katlardaki oranının doğal titreşim periyodu üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Bina yüksekliği etkisini belirlemek adına aynı plan şekline sahip 5 ile 25 kat arasında değişen 10 farklı bina üstünde inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak doğal titreşim periyodunun bina yüksekliğine doğrudan bağlantılı olduğu, ancak mod

sıralamasının yükseklikten bağımsız olduğu elde edilmiştir. Plan uzunluğunun ise doğal titreşim periyoduna doğrudan etkisi olmamakla beraber modların sıralamasını değiştirebileceği görülmüştür. Perde duvar oranının ise hakim periyotta doğrudan etkili olmadığı belirtilmiştir.

Son olarak Balkaya vd. [6] doğal titreşim periyodunun tahmini için öne sürülen ampirik formüllerin yapı zemin etkileşiminden bağımsız olduğunu belirterek bu durum üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı yüksekliklerde 140 farklı tünel kalıp sistemli bina dört farklı zemin sınıfı için üç boyutlu olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Modellerde zemin – yapı etkileşimi lineer yaylar olarak dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda farklı zemin koşullarına bağlı olarak perde duvarların baskın olduğu binalarda titreşim periyotları ve mod şekillerinin değişebileceği gösterilmiştir. Çalışmada, yapı – zemin etkileşimini de dikkate alan bir periyot bağıntısı önerilmiştir.

Literatürdeki çalışmaların odaklandığı bir diğer husus da tünel kalıp sistemli binaların deprem etkisindeki davranışları olmuştur. Balkaya ve Kalkan [7] bu konu üzerine yaptıkları bir çalışmada tünel kalıp sistemli binaların deprem yükü altındaki davranışlarını ve dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma için 5 katlı tünel kalıp sistemli basit plan şekline sahip bir konut ele alınmıştır. Seçilen bina 2 boyutlu ve 3 boyutlu olmak üzere iki ayrı şekilde modellenmiştir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesap yapılmıştır. Modelde perde duvarlardaki boşluklar da dikkate alınmıştır. Bu bölgelerde sonlu eleman ağları sıklaştırılmıştır. Analizler için POLO-FINITE programı kullanılmıştır. Yapılan iki boyutlu ve üç boyutlu hesaplar sonucunda mevcut deprem yönetmeliklerinde verilen deprem yükü azaltma katsayılarının bu tür yapılar için oldukça hatalı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra üç boyutlu modellemenin iki boyutlu modellemeye göre daha kabul edilebilir sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Üç boyutlu model ile elde edilen kapasite miktarının diğer modele göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca doğrusal olmayan itme analizinin birinci modun geçerli olduğu tüm binalarda oldukça güvenilir şekilde kullanılabileceği savunulmuştur

Yine Balkaya ve Kalkan [1] deprem altındaki davranışın incelenebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanarak 2 ve 5 katlı tünel kalıp sistemli binalarda duvar-duvar etkileşimi, duvar döşeme etkileşimi, duvar boşlukları ve burulma etkisi gibi parametreleri de içeren ayrıntılı modelleri POLO-FINITE programında hazırlayıp doğrusal olmayan statik analizler uygulayarak incelemişlerdir. Sonuç olarak 5 katlı bina için deprem yükü azaltma katsayısı için 4 değerinin uygun olacağı belirtilmiştir. Ancak gerçekte yapısal olmayan elemanların etkisiyle bu değerin aslında daha büyük olacağı vurgulanmıştır. Ayrıca farklı tipteki tünel kalıp sistemli binalarda incelemelerin yapılması gerekliliği de vurgulanmıştır.

Deprem davranışı üzerine yapılan bir diğer araştırmada, Mohsenian vd. [8] tünel kalıp sistemli bir binada planda çıkıntıların olması (TBDY-2018 A3 düzensizliği) düzensizliğinin performansa etkisini araştırmışlardır. Çalışma için aynı plan şekline sahip planda düzensizlik içeren (X yönünde %40 Y yönünde %50) 3-5-7 ve 10 katlı tünel kalıp formundaki binalar modellenmiştir. Seçilen on adet deprem etkisi için tasarım deprem yükü ve maksimum deprem yükü altında ayrı ayrı incelemeler yapılmış ve analizler sonucu hasar olasılık eğrileri elde edilmiştir. İncelenen tüm binaların hemen kullanım performans düzeyini aşma olasılığının bağ kirişleri ve duvarlar için tasarım deprem yükü altında %2, maksimum deprem yükü altında ise %19 olduğu görülmüştür. Bu durum bağ kirişleri ve duvarların tasarım deprem yükü altında belirli bir performans seviyesine ulaşma olasılığının oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Bir başka deyişle tünel kalıp sistemli binaların tasarım deprem yükü altında elastik davranış sergileyeceği belirtilmiştir. Ayrıca bina yüksekliği arttıkça bina performansında düşüşler olduğu da gözlemlenmiştir. Son olarak taşıyıcı sistem davranış katsayısı “R” için 5 değerinin alınması hem tasarım depremi hem de göz önüne alınan maksimum deprem yer hareketi için yeterli performansı sağlayacağı savunulmuştur.

Behesti ve Asayesh [9] asimetrik plan şekline sahip tünel kalıp sistemli yapıların deprem davranışlarını incelemişlerdir. Tünel kalıp sistemli binaların deprem performanslarının oldukça yüksek olmasına rağmen özellikle asimetrik plan şeklindeki yapılarda mevcut yönetmeliklere göre burulma etkilerinden dolayı kısıtlamalar getirildiği belirtilmiştir. Bu nedenle asimetrik plan şeklindeki

yapılarda söz konusu sistemin tercih edilemediği ortaya konmuştur. Diğer yapısal sistemlere göre deprem performansı daha yüksekken asimetrik sistemlerde kullanılamaması bir eksiklik olarak görülmüş ve bu konu üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmalarında 2, 5 ve 15 katlı ikişer asimetrik plan şekline sahip yapılar ele alınmıştır. Perform3D programında yapılan itme ve artırımsal dinamik analizler ile elde edilen sonuçlara göre tünel kalıp sistemli binaların yatay rijitliğinin ve kapasitelerinin oldukça fazla olmasından dolayı asimetrik plan şeklinde burulma etkilerini giderebildiklerini göstermiştir.

Düzensizliklerle ilgili yapılan bir diğer çalışmada Mohsenian ve Nikkhoo [10] tünel kalıp sistemli binalarda düzensiz kütle dağılımının davranışa etkisini incelemişlerdir. Literatürden aldıkları 2 ve 5 katlı yapılarda üst kattan alt kata doğru katların kütle katılımlarını arttırarak tasarım deprem yükü ve maksimum deprem yükü altında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda katların kütle katılımlarının artması mod sıralamasını değiştirmezken yapı periyodunu arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte yapısal performansın düzensiz kütle dağılımından fazla etkilenmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum yapısal rijitliğin yüksek olmasına bağlanmıştır.

Bilindiği gibi sismik performansının yüksek olmasından dolayı tünel kalıp sistemli binalar deprem bölgelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Deprem bölgelerinde kullanılmasından dolayı Aval vd. [11] yapmış oldukları bir çalışmada tünel kalıp sistemli binaların faya yakınlığının performansa etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 5 ve 10 katlı tünel kalıp sistemli iki bina 14 farklı deprem etkisinde tasarım ve maksimum deprem yer hareketleri için yakın fay ve uzak fay etkileri dikkate alınarak ayrı ayrı modellenmiştir. Perform3D programı ile yapılan doğrusal olmayan hesaplamalarla sonuçlar elde edilmiş, yakın fay ve uzak fay etkileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tasarım deprem yükü altında uzak ve yakın fay etkisinde binalar yakın performans göstermişlerdir. Ancak deprem yükleri arttıkça yakın fay deprem etkilerindeki yüksek binalarda yüksek modların etkisinin arttığı görülmüştür. Bu nedenle yakın fay etkisindeki yüksek binaların performansı uzak fay etkisindekilere göre daha az olduğu sonucu ortaya konmuştur.

Tünel kalıp sistemli binalarda yapı zemin etkileşimine dair yapılan bir çalışma Mohsenian vd. [12] tarafından gerçekleştirilmiştir. Aynı plan şekline sahip herhangi bir düzensizlik içermeyen 5 ve 10 katlı iki tünel kalıp sistemli bina seçilip her iki bina da yumuşak ve sert zemin üzerinde olması durumu ayrı ayrı incelenmiştir. Zemin lineer yaylar olarak modellenmiştir. Seçilen 10 adet deprem kaydı her bir modele etki ettirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Sonuç olarak yapı zemin etkileşiminin özellikle tünel kalıp sistemli yüksek binalarda, deprem etkisinin artmasıyla birlikte sonuçları ciddi oranda değiştirdiği görülmüştür. Bu nedenle özellikle sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde ve yumuşak zemin üzerine inşa edilecek tünel kalıp sistemli binaların tasarımında yapı zemin etkileşimin göz ardı edilemeyeceği vurgulanmıştır.

Literatürde tünel kalıp sistemli binalar üzerine yapılmış deneysel çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalardan biri Yüksel ve Kalkan [13] tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında tünel kalıp sistemli binaların 3 boyutlu inelastik davranışını deneysel olarak gözlemlemek adına 1/5 ölçekli dört katlı iki adet bina ele almışlardır. Numunelerden biri güçlü yönde diğeri zayıf yönde olacak şekilde yarı statik yanal çevrimsel yüklemeler altında deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca test numunelerinin TNO-DIANA programında 3 boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanla modeli hazırlanarak numerik analizler de yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda perde duvarlardaki boyuna donatının kopmasından dolayı eğilme etkisinde gevrek kırılmaların oluşabileceği görülmüştür. Bu göçme mekanizması düşük donatı oranı ve kırılmaya neden olacak eğilme momenti değerinde etkili olan eksenel yükün negatif yönlü etkisinden dolayı meydana geldiği saptanmıştır. Yapılan numerik analizler de deneysel sonuçları doğrulamıştır. Sonuç olarak deprem yüklerine maruz kalacak betonarme perde duvarlarda minimum donatı oranının gevrek kırılmaların önüne geçebilmek adına göz ardı edilemeyecek kadar hayati önem taşıdığı ortaya konmuştur.

Yapılan bir diğer çalışmada Balkaya vd. [14] tünel kalıp sistemli binaların burulma rijitliğinin arttırılmasını araştırmışlardır. Çalışmada tünel kalıp sistemli binalarda yapım tekniklerinden dolayı önyüzün mecburi olarak açık bırakılmasının, yapılarda istenmeyen burulma etkilerini ortaya çıkarabildiği ileri

sürülmüştür. Bu durumu giderebilmek adına dört farklı güçlendirme tekniği ele alınarak incelemeler yapılmıştır. Bu teknikler çelik X çaprazlar, donatılı dolgu duvarlar, prekast betonarme perde duvarlar ve betonarme perde duvarların kullanılması olarak sıralanmıştır. Her bir teknik üç katlı önyüzleri açık bir bina modelinde SAP2000 programı yardımıyla yapılan doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Numerik çalışma sonucunda en etkili güçlendirme tekniğinin çelik X çaprazlar olduğu görülmüştür. Bunun üzerine söz konusu yapının 1/3 ölçekli çelik çaprazlarla güçlendirilmiş hali hazırlanmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda çelik X çaprazlarla güçlendirilmiş modelde göçmenin burulma etkisi yerine sehimden dolayı olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak çelik çaprazların kullanılması yapıdaki çatlak modellerinin değişmesine sebep olmuştur. Bu yöntemle güçlendirme yapıldığında yapının burulma modundan çıkarıldığı bu durumun da yapı performansını artırdığı görülmüştür. Sonuç olarak çelik X çaprazların hem mevcut yapılarda hem de yeni yapılacak yapılarda burulma rijitliğini, dolayısıyla yapı performansını artırmada kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Tünel kalıp sistemli binalar üzerine yapılan bir diğer deneysel araştırma da Hamid vd. [15] tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 1/3 ölçekli deprem etkileri göz önüne alınmadan tasarlanmış bir model oluşturulmuştur. Birinci aşamada deneysel model düzlem içi ve düzlem dışı yanal çevrimsel yüklemelere maruz bırakılmıştır. Yükleme sonucu oluşan hasarlar incelenmiş ve CFRP, çelik levhalar ile köşebentler kullanılarak onarım çalışmaları yapılmıştır. İkinci aşamada güçlendirilen sistem tekrar ilk aşamada olduğu gibi yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deneysel veriler güçlendirilen sistemin performansında dikkate değer artışlar olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak CFRP, çelik levhalar ve köşebentlerin tünel kalıp sistemli binalarda meydana gelen hasarları gidermek için kullanılabileceği savunulmuştur. Bu sayede hasarlı yapıların tekrar kullanıma açılabileceği ekonomik bir çözüm ortaya atılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tünel kalıp sistemli binaların doğrusal olmayan analizinde TBDY 2018'de verilen deprem yer hareketi ölçekleme yöntemlerinin kullanılması durumunda analiz

sonuçlarında ne gibi farklılıkların olduğu ortaya konması amaçlanmıştır. Yönetmelikte verilen kurallara uygun olarak seçilecek deprem yer hareketleri Basit ölçekleme (BÖ) ve Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme (SÖ) yöntemleriyle ölçeklenecek ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizle sonuçlar elde edilecektir. Ayrıca tünel kalıp sistemli binalarda modellemede kullanılan 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi nedeniyle uzun olan analiz sürelerinin, deprem yer hareketleri için anlamlı süreler kullanılarak analiz yapıldığında sonuçların yakınsaklığına göre bu yöntemle zamandan ve depolama alanından tasarruf sağlanıp sağlanamayacağı da araştırılacaktır.

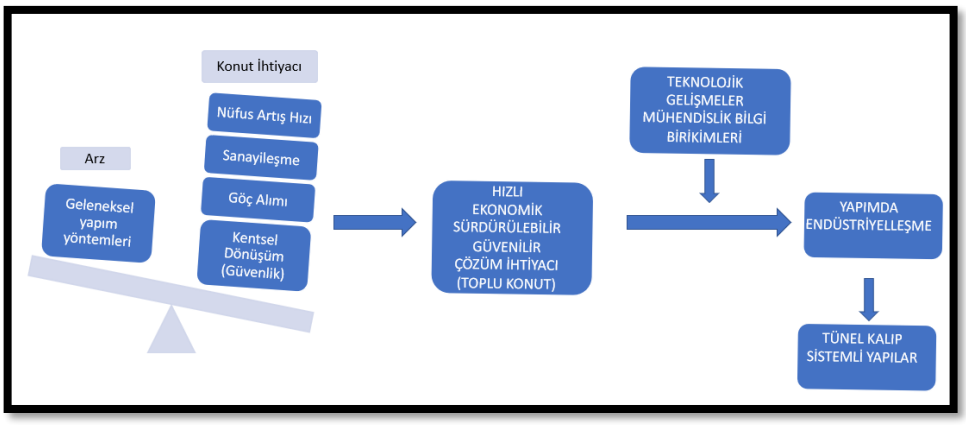
1.3 Hipotez

SÖ yöntemiyle elde edilen veriler, BÖ yöntemine göre elde edilen deprem yer hareketlerine göre tasarım spektrumuyla daha iyi uyuşum sağladığı için analiz sonuçlarında nispeten daha elverişli sonuçlar verecek olsa da büyük bir fark olmayacağı öngörülmektedir. Bir depremin Güçlü Yer Hareketi kısmının elde edilmesinde kullanılan Anlamlı Süreler Yöntemi kullanıldığında göz ardı edilen deprem yer hareketi kısımlarının genel sonuca oldukça az etkisi olacağı düşünüldüğünden daha kısa sürede analiz ve daha az bellek kullanımıyla istenilen sonuçlara ulaşılabileceği test edilecektir.

2
TÜNEL KALIP SİSTEMİ

2.1 Tünel Kalıp Sistemin Ortaya Çıkışı

Tünel kalıp sistemli binalar ilk olarak 1950'li yıllarda, II. Dünya Savaşı sonrasında artan konut ihtiyacını hızlı bir şekilde karşılayabilmek için ortaya çıkmıştır [16]. Hızlı nüfus artışı ve çeşitli sebepler sonucu köyden kente göç ile belirli bölgelerde nüfus yoğunluğunun artması gibi sebepler konut talebinde göz ardı edilemez bir artışa sebep olmuştur [17]. Dahası, bu talebe zamanında karşılık verilemeyince gecekondulaşma çarpık kentleşme gibi olumsuz durumlar meydana gelmiştir [18]. Gerek doğal afetler sonucu oluşmuş yıkımın etkisini giderebilmek gerek kentsel dönüşüm uygulamalarıyla depreme dayanıklı yapılar üretebilme ve çarpık kentleşmeyi önleme arzusu toplu konut projelerini kaçınılmaz kılmıştır. Maddi ve manevi mağduriyetlerin en aza indirgenebilmesi için toplu konut projelerindeki ana hedefin en kısa sürede en ekonomik çözüm olduğu söylenebilir. Geleneksel yapım yöntemleriyle bu hedefe ulaşmak oldukça güç olduğundan teknolojik gelişmeler ve bilgi birikimleri sayesinde endüstriyel yapım sistemleri yakın geçmişte önem kazanmıştır [19]. Şekil 2.1' de yapımda endüstriyelleşmeyi tetikleyen faktörler şematik olarak gösterilmiştir. Uygun şartlar altında geleneksel yapı sistemlerine göre tünel kalıp sistemli tip binalarla bu hedefe ulaşmak daha kolay olduğundan toplu konut projelerinde sıklıkla tünel kalıp sistem tercih edilmektedir.



Şekil 2.1 Yapımda endüstriyelleşme

2.2 Tünel Kalıp

Geleneksel yapım şekilleri ile ön üretimli yapım tekniklerinin karışımı olarak nitelendirebileceğimiz tünel kalıp sistemler son derece hızlı imalat imkânı sunan, kat içinde yatay ve düşey taşıyıcı sistemin tek bir seferde birlikte üretilebilmesini sağlayan endüstriyel bir yapım tekniğidir. Hızlı nüfus artışı ve belirli bölgelerin çeşitli nedenlerle yoğun göç almasından kaynaklı konut ihtiyacını karşılamak, kentsel dönüşüm projeleriyle çarpık kentleşmenin önüne geçmek için tercih edilen toplu konut inşaatlarında vazgeçilmezdir. Bu bölümde tünel kalıp sistemli binaların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanları, uygulama esasları ve teknik özellikleri anlatılmıştır. Şekil 2.2'de TKS yapılara örnek verilmiştir.



Şekil 2.2 Tünel kalıp sistemli yapı örneği [20]

2.3 Tünel Kalıp Sistemli Binaların Elemanları

Tünel kalıp sistemli binaların elemanları yapısal ve yapısal olmayan tamamlayıcı elemanlar olarak ele alınabilir. Taşıyıcı sistemi oluşturan kat döşemeleri, betonarme perdeler, bağ kirişleri ve temel sistemi yerinde imalat yoluyla üretilmektedir. Bunun aksine merdiven, sahanlık, balkon parapetleri gibi taşıyıcı olamayan elemanlar ise ön üretimli olarak imal edilir ardından montaj işlemleri yapılır.

2.3.1 Yapısal Elemanlar

Tünel kalıp sistemli binalarda yükler bir döküm kat döşemleri ve betonarme perdeler ile karşılanmaktadır. Konvansiyonel yapı sistemlerinde olduğu gibi kirişler mevcut değildir. Bununla birlikte oldukça rijit elemanlar olan betonarme

perdeler arasında yük aktarımını düzgün bir şekilde sağlayabilmek adına döşeme kalınlıkları geleneksel sistemlere göre nispeten daha kalın seçilmektedir. Yapının kullanılabilmesi için bırakılan boşluklarda (Kapı, pencere boşlukları) perde duvarlar bağ kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Bağ kirişleri düzgün yük aktarımı için oldukça önemli elemanlardır. Yapıda oluşan iç kuvvetler döşemelerden betonarme perdelere, betonarme perdeler vasıtasıyla da temele iletilmektedir. Temel sistemi için genellikle radye temel sistemi tercih edilmektedir. Kat içinde düzgün dağılmış betonarme perdelerin olması iç kuvvetlerin radye temele homojen olarak iletilmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır.

2.3.2 Yapısal Olmayan Elemanlar

Tünel kalıp sistemli yapılarda yapısal olmayan elemanlar genellikle ön üretimli olarak imal edilmektedir. Ön üretimle yapılan imalat sayesinde, standartlaşmış kaliteli seri imalatlar yapılmaktadır ve böylece hız, zaman ve ekonomi açısından büyük avantaj sağlanmaktadır. Üretimi tamamlanan elemanlar sahaya nakledilerek vinçler yardımıyla montaj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Yapısal elemanların düzgün yüzeyli ve neredeyse kusursuz olarak üretilebilmesi montaj esnasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Tünel kalıp sistemli binalarda yapısal olmayan elemanlar merdiven ve merdiven sahanlıkları, bölme duvarlar, dış cephe elemanları, balkon parapetleri ve bacalardır.

2.4 Tünel Kalıp Sisteminin Avantajları

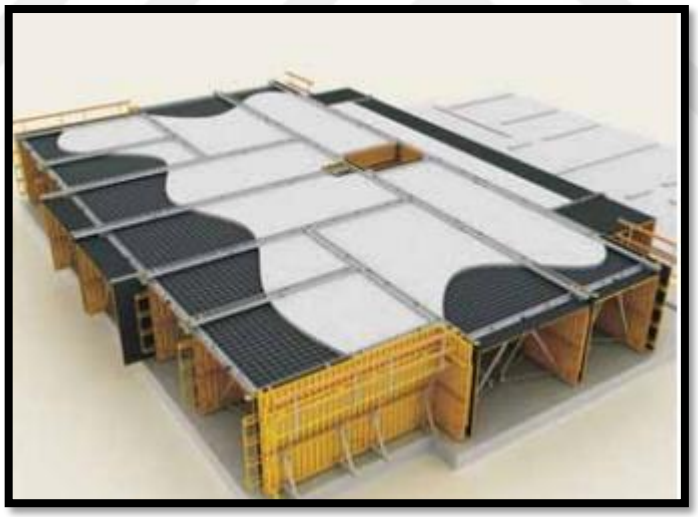
TKS yapıların geleneksel yapım yöntemlerine göre belirli şartlar altında birçok avantajı mevcuttur. Başlıca avantajları; üretim hızı, ekonomi, çevre, güvenlik ve kalite kontrol olarak sıralanabilir.

2.4.1 Üretim Hızı

Tünel kalıp sistemli binaların en önemli avantajı küçük bir ekiple diğer yapı sistemlerine göre hızlıca imalat yapılabilmesidir [16]. Kule vinçler sayesinde kolayca taşınabilen kalıplar hızlıca kurulabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kalıp elemanları üstünde çalışma platformları mevcut olduğundan işçiler için iskele kurulmasına gerek kalmamaktadır. Ayrıca kalıplarda kapı ve pencereler için

kasalar oluşturulabilmekte ve elektrik tesisatı için gerekli kablolar kalıp içine kolayca yerleştirilebilmektedir. Bu durum sayesinde kalıp alındıktan sonra başka bir işlem yapmaya gerek kalmamaktadır. Bununla birlikte cephe elemanlarının, merdivenlerin, bölme duvarların ve bacaların ön üretimli olarak imal edilebilmeleri dolayısıyla kolayca sisteme entegre edilebilmektedir [21-22-23].

Günümüz teknolojisinde taze betona uygulanan kür işlemleriyle hedeflenen mukavemet kısa sürelerde yakalanabilmektedir. Bu durum, tünel kalıp sistemlerde kısa periyotlarla kalıp alınmasına ve uygun tasarımın yapılması durumunda tekrarlı şekilde katların imalatını sağlamaktadır [24]. Standart kalıplarla yapılan bu tekrarlı imalatlarla işçiler alışkanlık kazanmakta ve verim artmaktadır. Ayrıca tünel kalıp sistemlerde kullanılan çelik kalıplar düzgün yüzey elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede sıva, tamir işlemleri minimize edilmiş, daha sonra yapılacak olan boya işlemleri için avantaj elde edilmiş olmaktadır [16].



Şekil 2.3 TKS yapı üretimi [20]

2.4.2 Ekonomi

Tünel kalıp sisteminin bir diğer önemli avantajı genelde üretim hızının yüksek olmasına bağlı olarak maliyetinin diğer yapı sistemlerine göre düşük olmasıdır. Hızlı imalat yapının hizmete daha erken açılması anlamına geldiğinden beklenen gelire daha erken ulaşılabilmektedir. Yine hızlı imalat dolaysıyla işgücü, makine, teçhizat, anapara gibi duran ve dönen varlıklar daha az meşgul edilmektedir.

Ancak unutulmamalıdır ki tünel kalıpların ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle tip projelerle seri imalatlarda tekrarlı kullanımı sayesinde uzun sürede ekonomik sonuçlar vermektedir. Tekrarlı imalat sayesinde işçiler alanında kısa sürede uzmanlaşmakta, iş kazaları ve hatalı imalatlar önemli miktarda azalmaktadır. Bu durum da beklenmedik ekonomik kayıpların önüne geçmektedir (16-24-25). Ayrıca elde edilen düzgün yüzeyler sayesinde daha sonra yapılacak uygulamaların süresini kısaltacağından maliyeti olumlu etkilemektedir. Standart üretim sayesinde planlama daha doğru şekilde yapılabileceğinden işgücü ve malzeme zayiatı en aza indirgenebilmektedir. Yine üretimde standartlaşmaya bağlı olarak uzun vadede oluşabilecek olumsuzluklar da en aza indirgenmiş olduğundan bakım-onarım maliyeti düşük olmaktadır [16]. Deprem etkisine karşı oldukça güvenli olmasına bağlı olarak da olası bir deprem sonrasında can ve mal kaybının mümkün olduğunca önüne geçilebilmektedir.

2.4.3 Çevre

Özellikle deprem bölgelerinde tünel kalıp sistemli binalar dikey kentleşmeye elverişli olduğundan, inşaat nedeniyle doğaya verilen tahribatlar azaltılmış olmaktadır. Bunun yanı sıra imalat süresinin kısa olması sosyal çevreye verilen rahatsızlığın süresini de azaltmaktadır. Konut talebinin zamanında karşılanamamasından kaynaklı oluşan gecekondulaşma, düzensiz kentleşme gibi istenmeyen durumların da önüne geçebilmek için hızlı çözümler sunduğundan, sosyal çevrenin ihtiyaçları karşılanmış olmaktadır.

Standart üretim sayesinde daha kolay planlama olanağı mevcuttur. Bu durum malzeme israfını ve imalat sonucu oluşacak atık miktarını azaltmaktadır. Bir diğer durum da yerinde imalat sayesinde nakliyeye bağlı oluşacak çevresel etkilerin önüne geçilmesidir [26].

2.4.4 Güvenlik

Tünel kalıplar iş güvenliği için korkuluklar ve çalışma platformlarıyla birlikte üretilmektedir. Ayrıca yapılacak işlerin tekrarlı olması işçilerde alışkanlıklar meydana getirdiğinden iş kazası riskini düşürmektedir. Tünel kalıp sistemli binalarda perde duvarlar yoğun olarak bulunduğundan yapı rijitliği oldukça

fazladır. Bu nedenle büyük deprem yer hareketlerine maruz kalsa dahi geleneksel yapı sistemlerine göre oldukça küçük yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Çoğunlukla elastik ötesi bir davranış beklenmemektedir. Ayrıca kat içinde perde duvarların ve kat döşemesinin dökümü birlikte yapıldığından birleşim bölgelerinde soğuk derz kaynaklı problemlerin de önüne geçilmiş olmaktadır. Bu durum da yapının deprem performansının artmasında son derece önemlidir. Perde duvarlar sayesinde yapıdaki iç kuvvetlerin temele homojen olarak dağılması da bir başka önemli avantajdır. Ayrıca betonun yangına karşı diğer yapı elemanlarına göre daha dayanıklı olması sayesinde tünel kalıp sistemli binalarda yangının yayılması daha azdır [25].

2.4.5 Kalite Kontrol

Tünel kalıpların uygulamada sağladığı kolaylıklar, tekrarlı uygulamalarla elde edilen uzmanlık üretimdeki hataları minimize etmektedir. Kalıp alma işlemi sonrasında elde edilen düzgün yüzeyler sonraki işlemlerinde sorunsuz olarak ilerlemesini sağlamaktadır. Bu avantajlar neticesinde uygulamadan kaynaklı yapısal ve yapısal olmayan sorunların önüne geçilmiş olmaktadır. Konu ile ilgili bir diğer dikkat çeken durum ise yapısal elemanların ölçülerinin ve doğrultularının hassas bir şekilde ayarlanabilmesidir. Yapısal olmayan elemanlar için standart bir üretim planı oluşturulabildiğinden dolayı yapısal olmayan elemanların kaliteli üretilmesine katkı sağlanmaktadır [24].

2.5 Tünel Kalıp Sistemlerin Dezavantajları

Tünel kalıp elemanları, tekrarlı olarak kullanılan kalıp çeşitleridir. Bu nedenle bodrum perdesi imalatında kalıpların alınmasını sağlayacak şekilde bir kazı planlaması yapılmalıdır. Tünel kalıp sistemi, diğer yapı sistemlerine göre daha yüksek yapılar inşa etmeyi mümkün kılmaktadır ve yapılar yükseldikçe taze betonun pompalanması ve yerleştirilmesi işlemi sorun oluşturmaktadır. Taze betonun yerleştirilmesinde vibrasyon işleminin hatalı uygulanması ile oluşacak segregasyonlara bağlı olarak kısa ve uzun vadede yapısal ya da yapısal olmayan çatlaklar gözlenebilmektedir [27-28].

Montaj sırasında yapısal olmayan elemanlarla yapısal elemanlar arasında boşluklar kalabilmektedir. Önlem alınmadığı takdirde bu boşluklar yalıtımla ilgili

sorunlara neden olabilmektedir. Tünel kalıp sistemli binalar oldukça rijit elemanlardan meydana geldiği için seslerin yayılma hızı oldukça yüksektir. Bu durumda ses yalıtımı için ekstra önlemler alınmasını gerektirebilmektedir. Özellikle çeşitli amaçlarla kullanılan makinelerin oluşturduğu ses titreşimleri oldukça rahatsız edici olabilmektedir [28].

Tünel kalıp sisteminin ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Bununla birlikte tünel kalıp elemanların ölçüleri standart olduğundan tasarlanacak yapı kalıp ölçülerine göre seçilmelidir. Tünel kalıp sistemli binalar aynı kalıbın tekrarlı olarak kullanılmasıyla üretildiğinden tekdüze bir görüntü oluşmaktadır. Dolayısıyla, estetik görüntü verebilmek için çeşitli işlemlerin yapılması gerekmektedir.

2.6 İmalat Teknikleri

Tünel kalıp sistem uygulanmasında kule vinçler olmazsa olmazdır. Kalıp kurulumu, taşınması yerleştirilmesi kule vinçlerin çalışma alanına göre planlanmalıdır. Uygulamada ilk adım projeye uygun ölçüde seçilen kalıp panellerinin kontrafişler ve dikmelerle birleştirilmesidir. Gerektiği hallerde kalıplar yan yana çok sayıda bağlanılarak da kullanılabilir. Bir sonraki adımda mevcut ise kapı, pencere ve şaft boşlukları için rezervasyon elemanları yerleştirilir. Daha sonra ölçüye göre perde ve döşeme için alın levhaları monte edilir. Sonraki adımda birleştirme işlemleri tamamlanmış tünel kalıp elemanlar önceden dökülmüş aks betonları referans alınarak projeye uygun şekilde yerleştirilir. Kalıp yerleşimi tamamlandıktan sonra öncelikli olarak perde duvar elemanların donatıları ardından döşemelerin donatıları yerleştirilir. Bir sonraki katın imalatında referans olacak olan aks betonları için aks ayakları ve aks köşebentleri monte edilir. Montaj işlemleri tamamlandıktan sonra beton dökümüne geçilir. Son olarak bir sonraki kat tünel kalıp elemanların yerleştirilebilmesi için dökülmüş olan elemanlara iskeleler kurulur [20].

3
YER HAREKETLERİNİN SEÇİLMESİ VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

3.1 Uygun Yer Hareketi Seçilmesi

Deprem esnasında ortaya çıkan enerji, fay karakteristikleri, zemin koşulları, mesafe gibi parametrelere bağlı olarak bölgeden bölgeye farklı etkiler meydana getirmektedir. Dolaysıyla her deprem kaydı her bölge için yapılacak analizlere uygun olmamaktadır. Bu nedenle dikkate alınan bölge için uygun deprem kayıtlarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Yapay olarak deprem kaydı oluşturma ya da yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alarak simüle edilmiş deprem kayıt kaynakları oluşturma imkânları mevcut olsa da günümüzde gerçek depremlerden elde edilen kayıtların oldukça zengin olmasından dolayı sıklıkla gerçek deprem kayıtlarından faydalanılmaktadır. Ayrıca gerçek depremlerden elde edildiği için kaydın süresi, genliği, faz özellikleri, frekans içeriği hakkında daha doğru bilgiler içermektedir. Bununla birlikte kaynak ve zemin türü etkisi gibi parametre etkilerini de kapsamaktadır [29]. TBDY 2018'e göre binanın yapılacağı bölgede geçmiş bir uygun deprem kaydı varsa seçimde öncelik verilmelidir. TBDY 2018'e göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap (ZTADOH) en az 11 adet yer hareketi kaydı çifti kullanılarak yapılmalıdır. Aynı depremden seçilebilecek kayıt ya da kayıt takımı sayısı 3 ile sınırlandırılmıştır. TBDY 2018'de kayıt seçiminin deprem büyüklüğü, yapının bulunduğu zemin sınıfı, faylanma tipi, faya olan uzaklık gibi parametrelere uygun olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir [30].

TBDY 2018'e göre seçilen yer hareketi kayıtlarının, yönetmeliğin öngördüğü şiddetin sağlanması bakımından tasarım depremine ölçeklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla tüm kayıtların ivme spektrumları, TBDY 2018'de verilen tasarım ivme spektrumlarına ölçeklenmektedir. Dolayısıyla, yukarıda verilen seçim kriterleri yanında yönetmeliğin öngördüğü ivme spektrumuna uyumlu olan depremlerin seçilmesi, ölçekleme sonrası gerçekçi olmayan değerlerin elde edilmemesini

sağlayacaktır. Deprem büyüklüğü, yapının bulunduğu zemin sınıfı, faylanma tipi, faya olan uzaklık gibi parametrelere uygun olarak seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının her iki bileşeninin ivme spektrumları oluşturulur. Her iki yatay bileşenin ivme spektrumlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke ivme spektrumları elde edilir. (3.1) ile bileşke yer hareketi davranış spektrumu ivme değerleri ($S_a^{gerçek}$) ve tasarım spektrumu ivme değerleri (S_a^{hedef}) arasındaki farkı minimize eden alfa değeri hesaplanır. Ardından (3.2), (3.3) ve (3.4) yardımıyla hata oranları hesaplanır. Denklemlerde T_A ve T_B değerleri ölçeklemenin yapılacağı yönetmelikçe verilen aralıktır. Bu değer yapının hâkim periyodu Tp ye bağlı olarak 0,2-1,5 Tp aralığıdır. ΔT ise yer hareketi kaydındaki artış miktarını göstermektedir. Hesaplanan alfa değeri ve oransal göreceli hata değerleri değerlendirilerek istenen sayıda deprem seçimi işlemi gerçekleştirilir. Lineer olamayan hesap için alfa değerinin 0,5-2 aralığında olacak şekilde hata oranının en küçük olanları arasından seçim yapılması tavsiye edilmiştir [29].

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B}(S_a^{gerçek}(T)S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B}(S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (3.1)$$

$$|\text{Toplam Göreceli Hata}| = \sum_{T_A}^{T_B}\left|\left[\left(\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T)\right)/S_a^{hedef}(T)\right]\right| \quad (3.2)$$

$$|\text{Oransal Göreceli Hata (\%)}| = \frac{1}{k}|\text{Toplam Göreceli Hata}|x100 \quad (3.3)$$

$$k = (T_B - T_A)/\Delta T \quad (3.4)$$

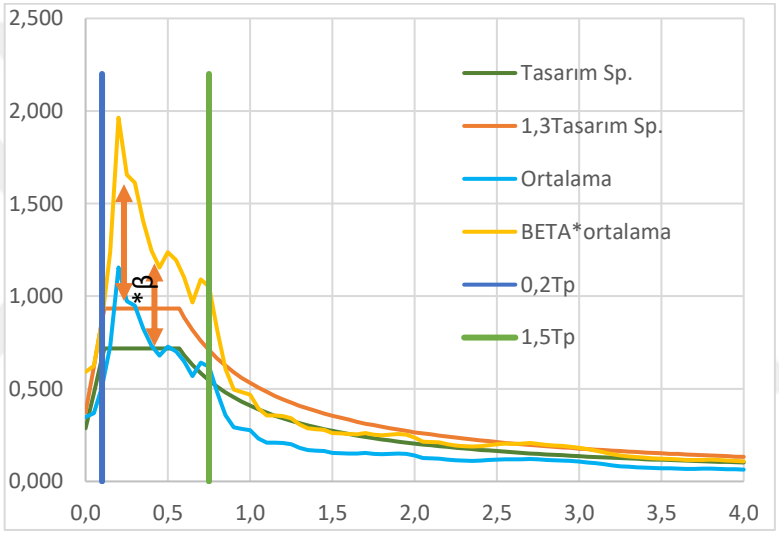
3.2 Yer Hareketi Ölçekleme Yöntemleri

Yapıya ve bölgeye uygun olarak seçilen depremlerin analizde kullanılabilmesi için tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Yönetmeliğimizde deprem yer hareketi ölçekleme işlemi için Basit Ölçekleme yöntemi (BÖ) ve Spektral Uyuşum Sağlayacak Şekilde Ölçekleme (SÖ) olmak üzere iki farklı yöntem verilmiştir. Hangi yöntemin kullanılacağı tercihe bırakılmıştır. Bu bölümde her iki yöntem de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2.1 Basit Ölçekleme Yöntemi

Basit Ölçekleme (BÖ) yönteminde, seçilen 11 adet deprem yer hareketinin bileşkelerinin ortalamaları alınarak hesaplanan deprem yer hareketi spektral

ivme değerlerinin 0,2-1,5 Tp aralığında tasarım ivme spektrumu ivme değerlerinin 1.3 katından (hedef ivme spektrumu) daha az olmaması koşulunu sağlayacak şekilde ölçeklenmektedir. Bunun için sabit bir ölçek katsayısı (β) kullanılmaktadır. β değeri hedef ivme spektrumunun bileşke deprem yer hareketi spektrumuna oranından gelen maksimum değer olarak seçilmektedir. Ölçek katsayısı ile çarpılan bileşke deprem yer hareketi spektrumu bu sayede istenen aralıkta hedef ivme spektrumu ivme değerlerinin üstünde kalmaktadır. Analizde kullanılacak deprem yer hareketinin iki yatay bileşeni için tek bir ölçek katsayısı kullanılması zorunludur. Şekil 3.1'de BÖ yöntemi teorisi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 BÖ şematik gösterim

3.2.2 Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme

SÖ yönteminde deprem yer hareketi bileşenlerinin frekans içeriği değiştirilerek doğrudan tasarım spektrumuna benzeştirilmektedir. Benzeştirme işlemi sonucu elde edilen ivme değerlerinin ortalamasının tasarım spektrumu ordinat değerlerinden küçük olmaması esasına dayandırılır. Yöntemin tartışılan tarafı yer hareketi frekans içeriği değiştirildiğinden gerçek deprem özelliklerinin yapıya aktarılamaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.3 Güçlü Yer Hareketi

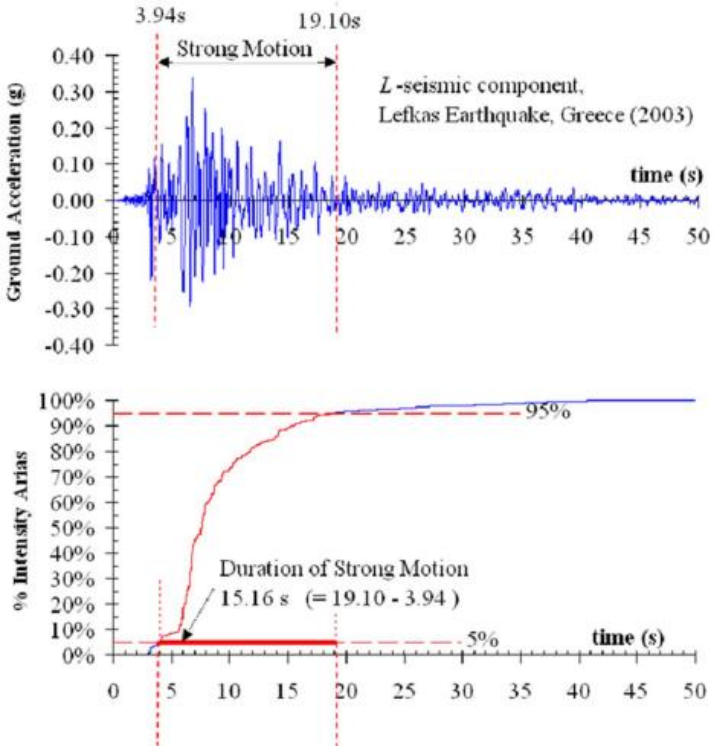
Bir depremin yıkıcı etkiye sahip belirli bir kısmı "Güçlü Yer Hareketi" (GYH) ve GYH kısmının toplam süresi ise "Güçlü Yer Hareketi Süresi" (GYHS) olarak

isimlendirilmektedir. GYHS'nin elde edilmesi amacıyla literatürde çeşitli yöntemler önerilmektedir ve "Anlamlı Süre" (Significant Duration) yöntemi genel kabul görmüş ve en sık tercih edilen yöntemlerden biridir. ZTADOH yönteminde yapıya etki ettirilen depremin tümünün kullanılması yerine yıkıcı etkiye sahip yalnızca GYH kısmının etki ettirilmesi analiz süresini oldukça kısaltacaktır. Anlamlı süre yaklaşımı, (significant duration, SD) kısaca depremin ivme-zaman grafiğindeki enerji birikimini dikkate alan bir yöntemdir. Bu birikime Arias Şiddeti (AI) adı verilmektedir ve denklem (3.5) ile hesaplanmaktadır. Denklem (3.5)'te a yer hareketi ivmesini, T_d toplam süreyi, g ise yerçekimi ivmesini temsil etmektedir [31].

$$AI = \pi/2g \int_0^{T_d} a^2(t)dt \tag{3.5}$$

Biriken enerjinin (AI) alt ve üst sınır değerlerinin (genellikle %5-%95), deprem kaydının hangi sürelerinde meydana geldiği belirlenerek anlamlı süre aralığı tespit edilmektedir. Bu hesaplama için Husid Diyagramı'ndan yararlanılmaktadır (Şekil 3.2). Husid Diyagramı (3.6) ile hesaplanarak çizilmektedir.

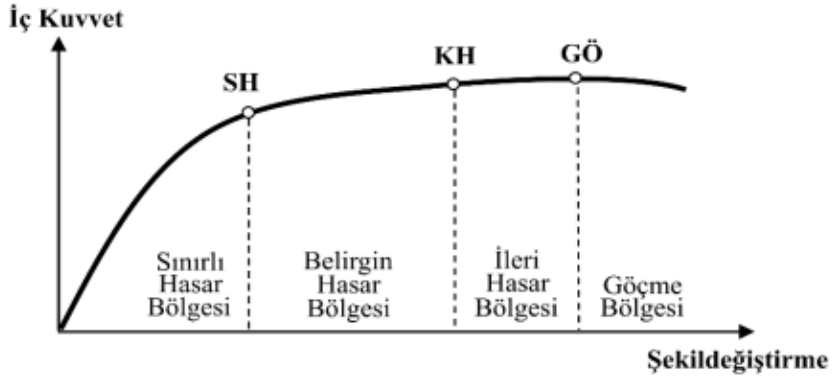
$$H(t) = \frac{\pi/2g \int_0^{t} a^2(t)dt}{AI} \tag{3.6}$$



Şekil 3.2 Husid diyagramı ve anlamlı sürenin belirlenmesi [32]

3.4 Performans Analizi ve Değerlendirme

Bu bölümde mevcut yapıların deprem altındaki performansının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesine değinilmiştir. Performans değerlendirmesinde yapısal elemanların davranışına göre dış yüklerden meydana gelen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler incelenmektedir. Yapısal elemanlar sünek veya gevrek davranış gösterebilmektedirler. Sünek davranış gösteren elemanlarda plastik şekil değiştirme mertebelerine göre, gevrek davranış gösteren elemanlarda ise iç kuvvet değerlerinin kapasite değerini aşıp aşmamasına göre hasar durumu belirlenmektedir. Yönetmelikte sünek elemanlar için sınırlı hasar SH, kontrollü hasar KH ve göçme öncesi hasar GÖ olmak üzere 3 farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Bu durumda kritik kesitlerdeki hasar seviyesi SH durumundan küçükse Sınırlı Hasar Bölgesinde, SH-KH arasında ise Belirgin Hasar Bölgesinde, KH-GÖ arasında ise İleri Hasar Bölgesinde son olarak GÖ durumundan büyükse Göçme Bölgesinde olarak değerlendirilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 TBDY kesit hasar bölgeleri [30]

Yapısal elemanların davranışının belirlenmesinde elemanların kritik kesitlerindeki kapasite kesme kuvveti değeri V_e ile aşağıda verilen (3.7) ve (3.8) karşılaştırılır. Denklemlerdeki koşul sağlanıyorsa davranış sünek, aksi halde gevrek olarak nitelendirilmektedir. Denklemlerdeki V_r kesit kesme kuvveti dayanımını b_w kesit genişliğini, d faydalı yüksekliğini f_{ck} ise karakteristik beton dayanımını temsil etmektedir.

$$V_e \leq V_r \tag{3.7}$$

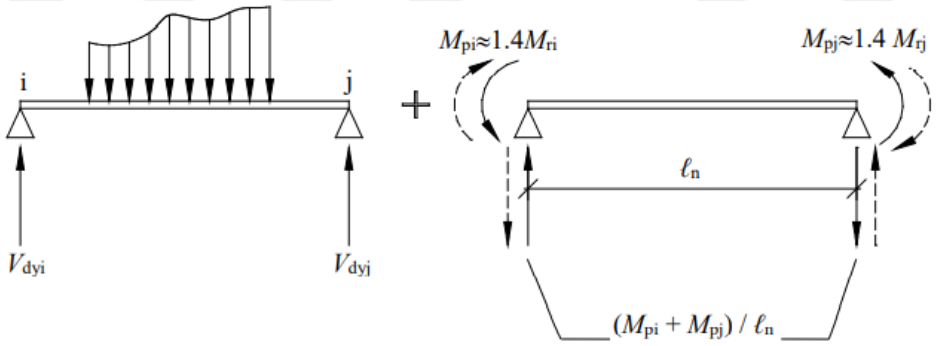
$$V_e \leq 0{,}85 b_w d\sqrt{f_{ck}} \tag{3.8}$$

Kiriş elemanların V_e hesabında düşey yüklerden meydana gelen kesme kuvvetine ek olarak deprem doğrultuları dikkate alınarak yapılan hesaptan gelen sonuçların toplamının elverişsiz olanı dikkate alınır (3.9). V_{dy} yük katsayılarıyla çarpılmamış düşey yüklerden meydana gelen kesme kuvvetini, M_{pi} ve M_{pj} kiriş iki ucundaki pozitif ya da negatif moment kapasitesini, l_n ise kiriş serbest açıklığını göstermektedir. TBDY'ne göre kapasite momentlerinin hesabında pekleşme dikkate alınmamaktadır. Yaklaşık hesapta M_{pi} ve M_{pj} eğilme momenti değerlerinin 1,4 katı olarak alınabilmektedir. Kirişler için Vr TS500'e göre (3.10) ile belirlenmektedir. (3.10)'daki ilk terim beton katkısını, ikinci terim ise sargı donatısının katkısını göstermektedir. Deprem etkisi altında ise Vr (3.11) ile belirlenmektedir. Kiriş elemanların V_e hesabı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

$$V_e = V_{dy} \mp \left(M_{pi} + M_{pj}\right)/l_n \tag{3.9}$$

$$V_r = 0{,}8V_{cr} + V_w = 0{,}8 * 0{,}65 * f_{ctd} b_w d + \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \tag{3.10}$$

$$V_r = 0{,}22 f_{cd} b_w d \tag{3.11}$$

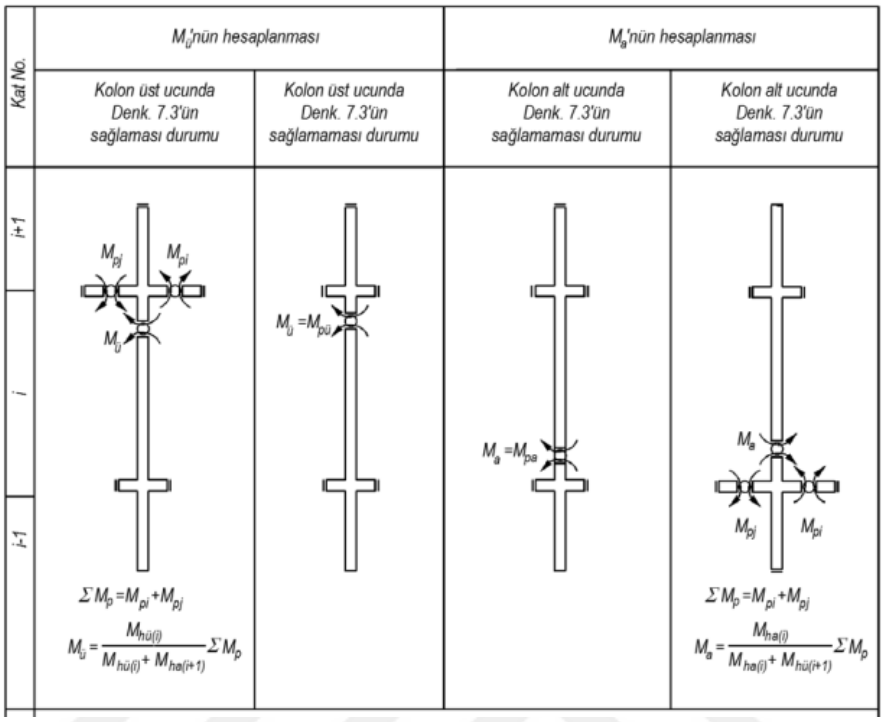


Şekil 3.4 TBDY kiriş V_e hesabı [30]

Kolon elemanların Ve hesabında (3.12) kullanılmaktadır. Denklemde M_a ve M_u sırasıyla kolon alt ve üst ucunda kesme kuvvetinde esas alınan moment değerleri, ln kolon serbest yüksekliğini temsil etmektedir. M_a ve M_u için kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuluna (3.13) göre hesaplama yolu değişmektedir. Denklemdeki M_r değerleri kolon ve kirişin iki ucundaki taşıma gücü momentlerini göstermektedir. Bu durum Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

$$V_e = (M_a + M_u)/l_n \tag{3.12}$$

$$V_e = (M_{ra} + M_{rü}) \geq 1{,}2(M_{ri} + M_{rj}) \tag{3.13}$$



Şekil 3.5 TBDY Ma ve Mu hesabı [30]

Kolonların kirişlerden güçlü olması durumunda plastik şekil değiştirmeler kiriş uçlarında meydana gelmektedir. Bu durumda kolonlar için V_e kolona birleşen kirişlerin ilgili doğrultudaki kapasite momentlerinin toplamı kullanılmaktadır. Kesin hesap yapılmadığı durumlarda kiriş kapasite momenti, taşıma gücü momentinin 1.4 katı olarak alınabilmektedir. TBDY'ne göre performans değerlendirmesinde donatının pekleşmesi dikkate alınmamaktadır.

Perde elemanların kapasite kesme kuvveti değeri hesaplanırken perde yüksekliğinin perde genişliğine oranı 2'den küçük olması durumunda dayanıma göre tasarım hesabından gelen maksimum kesme kuvveti değeridir. Bu oran 2'den büyük olması halinde (3.14) ile hesap yapılmaktadır. Denklemdeki β_v değeri dinamik büyüme katsayısı olarak nitelendirilmektedir. Performans değerlendirmede 1 olarak alınmaktadır. Mp pekleşme ihmal edilerek hesaplanan kapasite moment değerini, M_d ve V_d ilgili yüklemlerden gelen iç kuvvetleri temsil etmektedir.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (3.14)$$

Düşey yüklerle birlikte deprem yükü azaltma katsayısı 1 alınarak yapılan analiz sonucu elde edilen kesme kuvvetleri V_e değerinden küçük ise davranış tipi tayininde bu değer dikkate alınmaktadır. Bu bölümde anlatılan kontroller sağlandığında elemanların davranışı sünek olarak değerlendirilmekte aksi halde gevrek olarak dikkate alınmaktadır. Sünek olarak davranan elemanlar için plastik şekil değiştirme değerleri plastik şekil değiştirme sınır değerleriyle karşılaştırılarak, gevrek elemanlar için ise kapasite durumun aşılma durumuna göre performans noktası belirlenmektedir.

Dikdörtgen kesitler için plastik şekil değiştirmeler için sınır değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

- Göçmenin Önlenmesi Bölgesi Sınır Değerleri
  - Beton için sınır değer (3.15), (3.16), (3.17), (3.18) denklemleri ile hesaplanır

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0{,}0018 \quad (3.15)$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\rho_{shmin}\frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.16)$$

$$\alpha_{se} = \left[1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right]\left[1 - \frac{s}{2b_0}\right]\left[1 - \frac{s}{2h_0}\right] \quad (3.17)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.18)$$

  - Donatı sınır değeri (3.19) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}4\varepsilon_{su} \quad (3.19)$$

- Kontrollü Hasar Sınır Değerleri
  - Beton için sınır değer (3.20) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0{,}75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (3.20)$$

  - Donatı sınır değeri (3.21) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0{,}75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.21)$$

- Sınırlı Hasar Sınır Değerleri

- Beton için sınır değer (3.22) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0{,}0025 \tag{3.22}$$

- Donatı sınır değeri (3.23) ile hesaplanır.

$$\varepsilon_s^{(SH)} = 0{,}0025 \tag{3.23}$$

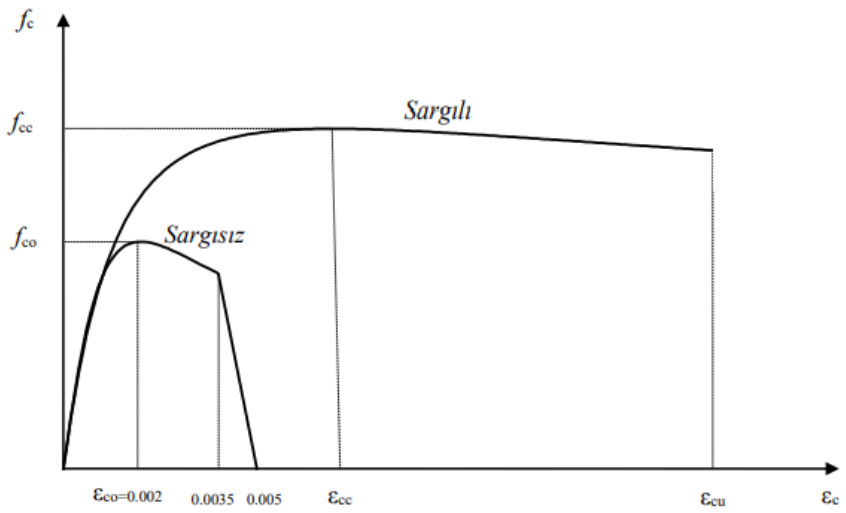
Taşıyıcı elemanların hasar seviyelerinin yoğunluğu dikkate alınarak mevcut yapıların performans düzeyleri belirlenmektedir. Bu işlemde, betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçmiş ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'nde ve eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilmektedir.

Herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusu için yapılan hesap ve değerlendirme sonucunda ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler dışında kalan kiriş elemanların en fazla %35'i, İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında ve en üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olduğu durumda diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde olma şartı sağlanıyorsa Kontrollü Hasar Performans Düzeyi sağlanmıştır.

Binanın herhangi bir katında, gözönüne alınan deprem doğrultusu için yapılan hesap ve değerlendirme sonucunda ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler dışında kalan kiriş elemanların en fazla %20'si Göçme Bölgesi'nde ve diğer taşıyıcı elemanlar Sınırlı Hasar, Belirgin Hasar veya İleri Hasar bölgesinde ise Göçmenin Önlenmesi Performans Hedefi sağlanmıştır. Bu durumdan daha elverişsiz olan hallerde yapı göçme durumunda olarak değerlendirilmektedir.

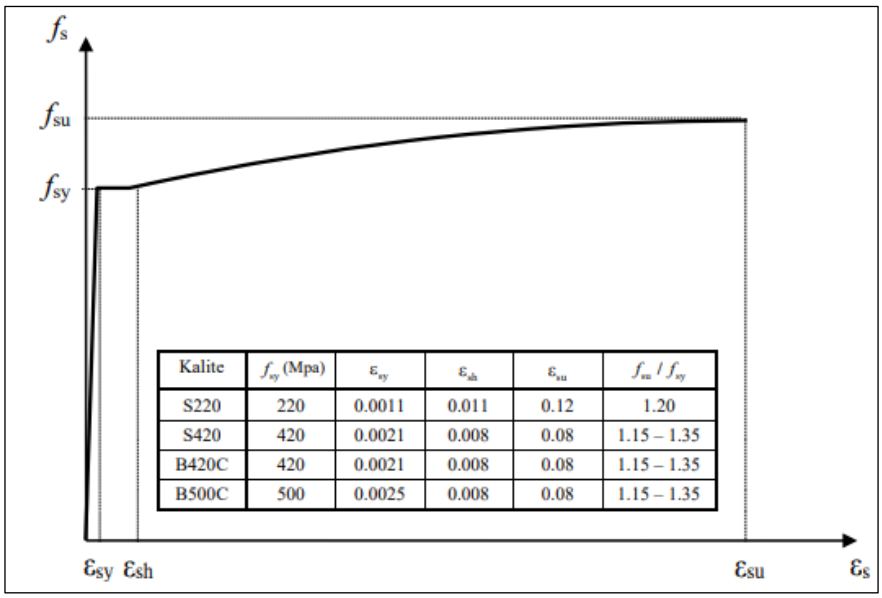
TBDY'ne göre deprem hesabında yönetmelikte belirtilen yatay elastik tasarım spektrumları kullanılmaktadır. Binaların deprem performansının belirlenmesinde deprem etiklerinin düşey yüklerle ortak etkisi dikkate alınmaktadır. Analizde

kullanılan deprem yükleri, binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilmektedir. Modelleme, iç kuvvet, şekil değiştirme ve yerdeğiştirmeler yeterli doğrulukta hesaplanacak şekilde yapılmalıdır. Yönetmelikte çatlamış kesit rijitliklerinin kullanılması ve bina önem katsayısının (I) 1,0 olarak alınması zorunlu tutulmuştur. Malzeme davranış modelleri sargılı ve sargısız beton için Şekil 3.6'da, donatı çeliği için Şekil 3.7'de verilmiştir.



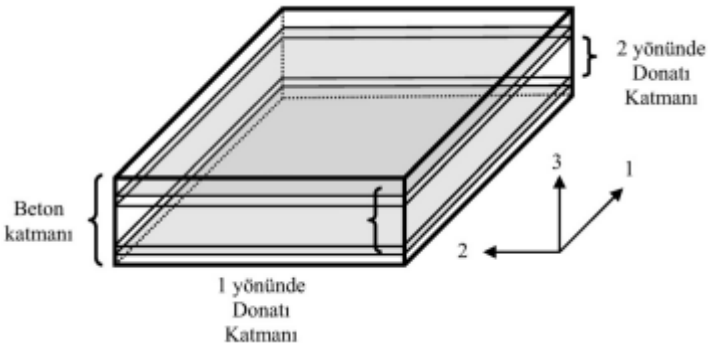
Şekil 3.6 TBDY sargılı ve sargısız beton davranış modeli [30]

Taşıyıcı sistem elemanların davranış modellenmesinde elastik ötesi davranış etkilerini inceleyebilmek adına yönetmelikçe yığılı ve yayılı olmak üzere iki farklı plastik mafsal modeli ileri sürülmüştür. Yığılı plastik mafsal davranışı elemanların kritik kesitlerindeki plastik dönmeleri baz alırken, yayılı plastik mafsal modelinde elastik ötesi birim şekil değiştirmeler dikkate alınmaktadır. Yapılan çalışmada perde elemanlar için çok katmanlı kabuk eleman modeli kullanılmıştır (Şekil 3.8). Bu model donatı ve betonu temsil eden katmanlar ile oluşturulur. Sonlu elemanlar yöntemi ile orta katmandaki eğrilik ile eksenel gerilmeler elde edilir. Diğer katmanların eğilme ile gerilmeleri ise düzlem kesitlerin düzlem kaldığı prensibi kullanılarak hesap edilebilir. Katmanlarda kullanılan malzemenin yapısal özellikleri, elde edilen gerilmeler altında incelenerek perdelerin yapısal performansı malzemenin lineer olmayan davranışına bağlı olarak çıkarılır [33-34].



Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 – 1.35

Şekil 3.7 TBDY donatı çeliği davranış modeli [30]



Şekil 3.8 Çok katmanlı kabuk elaman modeli [34]

4
MATARYEL VE YÖNTEM

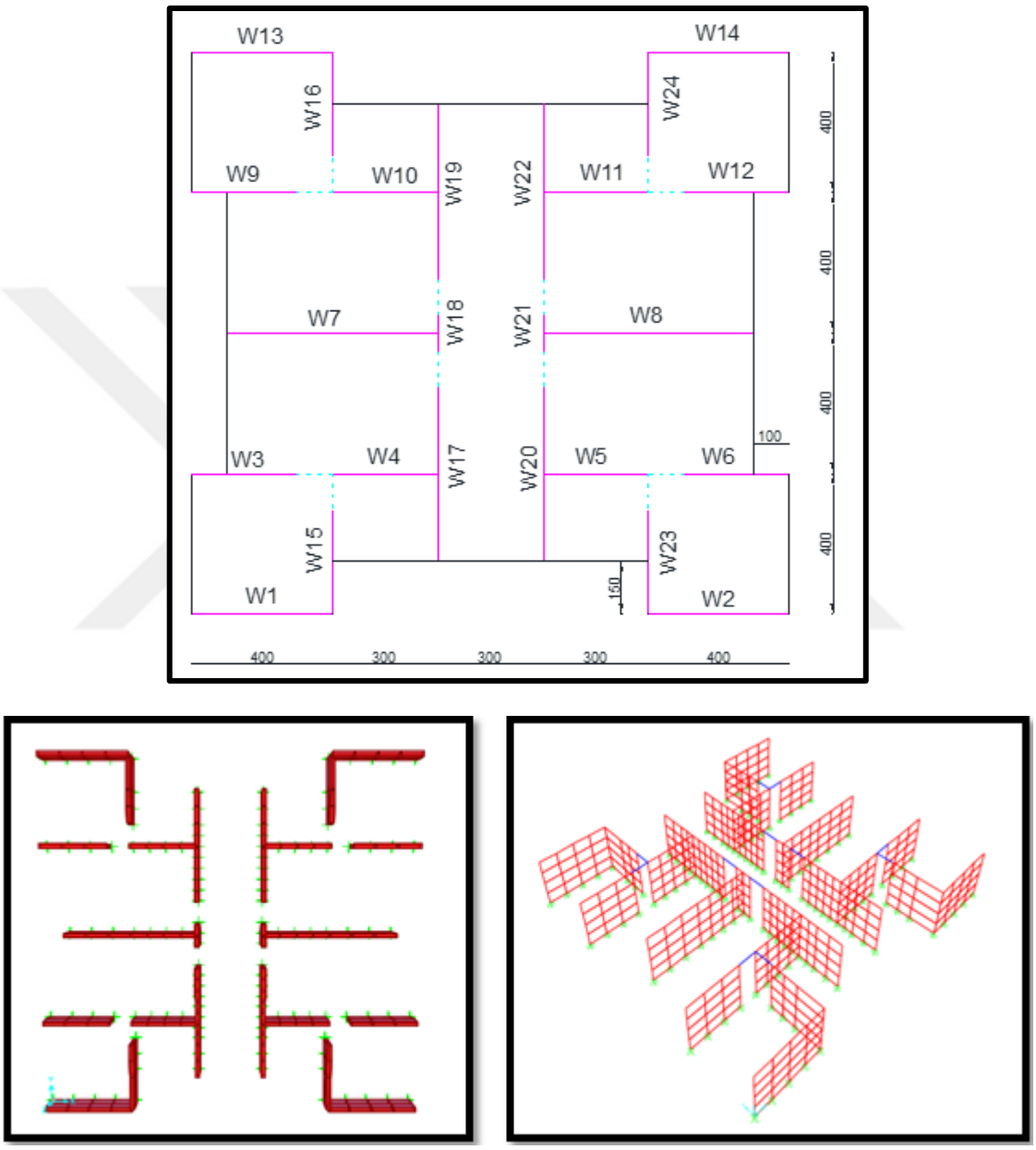
4.1 Yapılan Çalışma

Çalışmada literatürde mevcut bir TKS yapı ele alınmıştır [35]. TKS yapının performans değerlendirmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılmıştır. Doğrusal hesapta uygun sonlu elemanlar boyutlarının belirlenmesi için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Uygun sonlu elemanlar boyutları belirlendikten sonra yapılan modal analiz neticesinde yapı periyodu ve mod şekilleri elde edilmiştir. Modal analiz sonuçları baz alınarak yapıya uygun deprem yer hareketleri seçilmiş, Basit Ölçekleme (BÖ) ve Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme (SÖ) yöntemleriyle ölçeklendirilmiştir. Çok katmanlı kabuk eleman modeli ile SAP2000 programında oluşturulan doğrusal olamayan model üzerinde Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (ZTADOH) uygulanmıştır. Son olarak BÖ ve SÖ ile ölçeklendirilen deprem verileri Anlamlı Süre (Significant Duration, SD) metoduna göre yeniden değerlendirilerek ZTADOH tekrarlanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2 Yapı Bilgileri

Plan boyutları 17 m *16 m olan yapının toplam yüksekliği 18 metredir. Her biri eşit üçer metre olmak üzere 6 kattan oluşmaktadır. Betonun basınç dayanımı 25 MPa, poisson oranı (η) 0,2 ve elastisite modülü (E) $25*10^6$ MPa olarak dikkate alınmıştır. Betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Yapıda kullanılan donatı çeliğinin akma dayanımı 420 MPa, kopma dayanımı 500 MPa ve elastisite modülü ise $2*10^5$ MPa olarak hesaba dahil edilmiştir. Betonarme perde elemanların kalınlığı 20 cm'dir. Duvar eleman enine ve boyuna doğrultuda her iki kenarda da simetrik olacak şekilde ø8/20 olarak donatılandırılmıştır. Perde uç bölgesi dikkate alınmamıştır. Bağ kirişlerinin boyutları 0,2*0,7*1 (m)'dir. Alt ve üst boyuna donatılar simetrik 4ø12, enine donatılar ise ø8/20 olarak modellenmiştir. Döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Pas payı tüm elemanlar için 2,5 cm'dir. Normal kat ve çatı katı için sabit yük değeri (G) 6,28 kN/m^2 olarak alınmıştır. Hareketli yük değeri (Q) normal katlar için 1.96 kN/m^2 iken çatı katı için 1,47 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı (n) 0,3 olarak hesaba katılmıştır. Şekil 4.1'de kat planı verilmiştir.



Şekil 4.1 Kat planı (cm)

4.3 Doğrusal Model ve Optimizasyon Çalışması

Doğrusal hesap için perde ve döşeme elemanlar alan eleman, bağ kirişleri çubuk eleman olarak modellenmiştir. Etkin kesit rijitlikleri, TBDY (2018)'de önerildiği

şekilde dikkate alınmıştır (Tablo 4.1). Birleşim bölgeleri tam rijit, perde temel birleşimi tam ankastre olarak modellenmiştir. Kütle kaynağı (4.1)'e göre hesaplanmıştır.

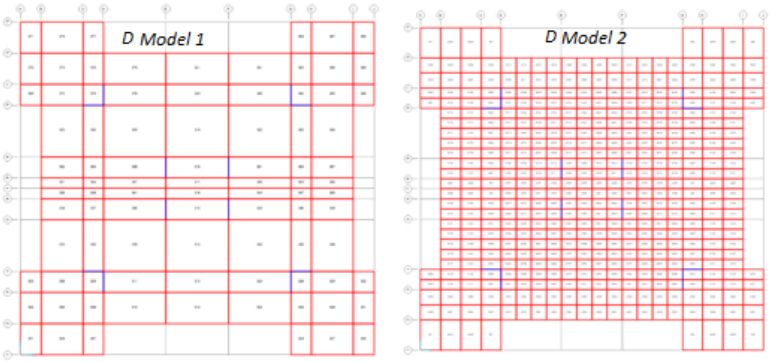
$$\text{Kütle Kaynağı} = G+nQ \tag{4.1}$$

Tablo 4.1 TBDY etkin kesit rijitlikleri [30]

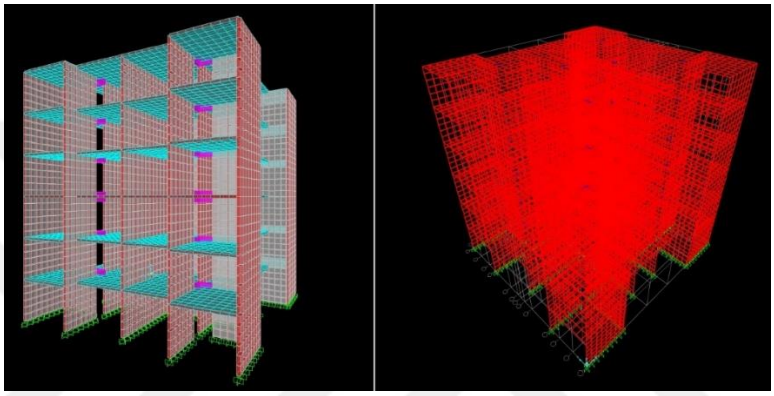
Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	***Eksenel***	***Kayma***
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	***Eğilme***	***Kesme***
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	***Eğilme***	***Kesme***
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

4.3.1. Optimizasyon Çalışması

Sonlu elemanlar ağ sıklığı analiz sonuçlarını büyük ölçüde değiştirdiği için uygun ağ sıklığının belirlenmesi son derece önem arz etmektedir. Bu nedenle optimizasyon çalışması yapılması uygun görülmüştür. 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli optimizasyon çalışması için bağımlı değişken yapının doğal periyodu olarak seçilmiştir. Farklı şekillerde sonlu elemanlara bölünmüş toplam 14 model incelenmiştir. İlk üç modelde tüm elemanlar eşit olacak şekilde sırasıyla 50-25-12,5 cm olacak şekilde bölünmüştür. Diğer modeller için iki farklı döşeme tipi belirlenmiş ve perde elemanlar düşey doğrultuda döşeme düğüm noktalarına uygun olarak bölünmüştür. Perde elemanlar yatayda farklı şekillerde bölünerek modeller oluşturulmuştur. Şekil 4.2'de kullanılan döşeme modelleri gösterilmiştir. Örnek olarak model 1 Şekil 4,3 'te gösterilmiştir. Tablo 4.2' de kullanılan 14 modele ait bilgiler ve hesaplanan periyot değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2 Sonlu elemanlara bölünmüş döşeme modelleri

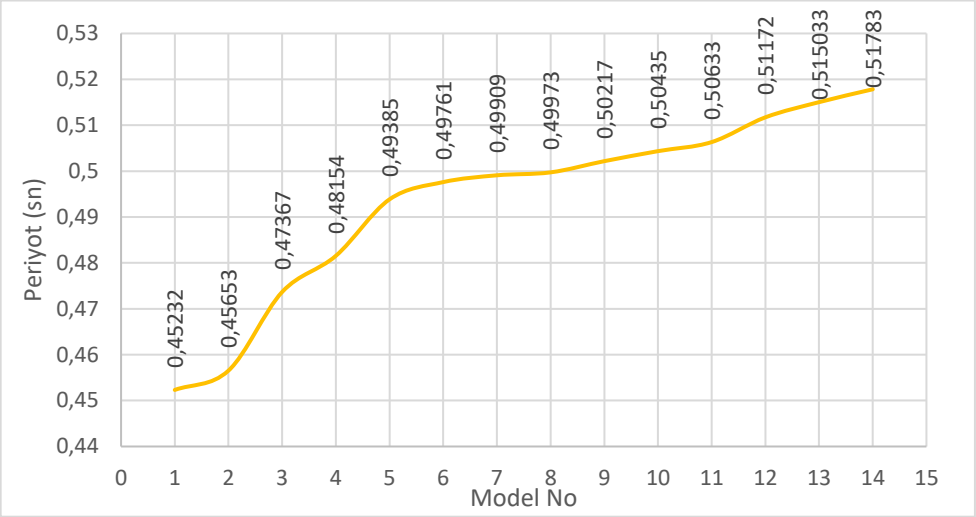


Şekil 4.3 Optimizasyon çalışması model 1 üç boyutlu görünüm

Tablo 4.2 Sonlu elemanlar optimizasyon modelleri ve periyot değerleri

Model	Tp (sn)	Açıklama
1	0,50435	Tüm elemanlar 50*50 cm*cm
2	0,51172	Tüm elemanlar 25*25 cm*cm
3	0,515033	Tüm elemanlar 12,5*12,5 cm*cm
4	0,45232	D model 1+perdeler yatayda kat yüksekliği kadar 3 m
5	0,49385	D model 1+perdeler yatayda 1,5 m
6	0,47367	D model 1+ perdeler yatayda 1 m
7	0,49973	D model 1+perdeler yatay 0,75 m
8	0,50633	D model 1+ perdeler yatay 0,5 m
9	0,51783	D model 1+perdeler yatay 0,25 m
10	0,45653	D model 2 + perde yatay aralığı kat yüksekliği 3 m
11	0,49761	D model 2 + perde yatay aralığı 1,5 m
12	0,48154	D model 2 + perde yatay aralığı 1 m
13	0,49909	D model 2 + perde yatay aralığı 0,75 m
14	0,50217	D model 2 + perde yatay aralığı 0,5 m

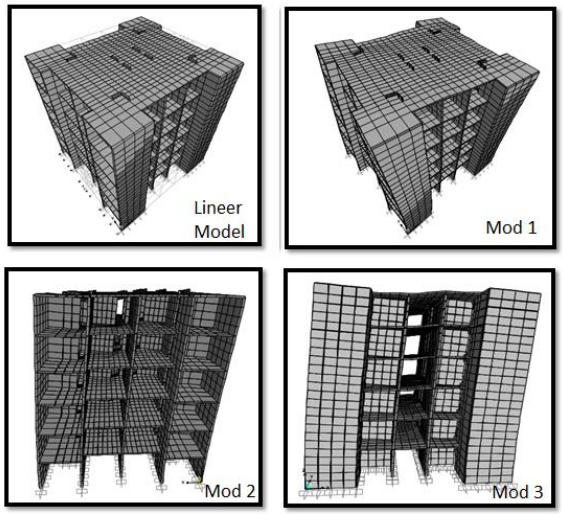
Yapılan analiz sonuçları Şekil 4'te küçükten büyüğe sıralı olarak verilmiştir. Yapı için uygun sonlu eleman modelinin model 13 olduğuna karar verilmiştir. Bu modelde kat döşemeleri D model 2'deki gibi bölünmüştür. Perdeler düşeyde döşemelere uygun olarak yatayda ise 0,75 m aralıklarla bölünmüştür. Sonuç olarak lineer modelden elde edilen hâkim mod değeri yaklaşık olarak 0,5 sn olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 4.4 Sonlu elemanlar optimizasyon çalışması sonuçları (Küçükten büyüğe)

4.3.2 Modal Analiz

Analiz sonucu yapının doğal titreşim periyodu 0,5 sn olarak bulunmuştur. Yapının hâkim modu burulma olarak çıkmıştır. Elde edilen mod şekilleri ilk üç mod için Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Yapı mod şekilleri

5
BASİT ÖLÇEKLEME VE SPEKTRAL UYUŞUM YÖNTEMLERİ

5.1 Deprem Seçimi

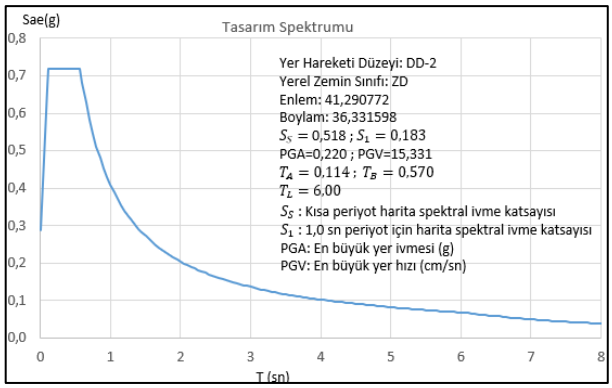
Deprem seçimi için kullanılan tasarım spektrumu ve ilgili parametreler Şekil 5.1'de verilmiştir. Zemin parametrelerine uygun olarak 66 adet deprem yer hareketi PEER veri bankasından [37] indirilmiştir. Seismosignal programı [38] ile deprem yer hareketlerinin ivme zaman spektrumları çizdirilmiştir. İki yatay bileşene ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum elde edilmiştir. Bileşke spektrum ile tasarım spektrumu arasındaki farkı minimize eden alfa katsayısı her bir bileşke yer hareketi için (5.1) ile hesaplanmıştır. Denklemde gerçek olarak nitelendiren spektral ivme değerleri bileşke yer hareketi spektrumları ordinat değerlerini, hedef olarak nitelendirilen ivme değerleri ise tasarım spektrumu ordinat değerlerini ifade etmektedir. T_A ve T_B, yapının doğal titreşim periyodu T_p dikkate alınarak hesaplanan ölçeklemenin yapılacağı aralık olan 0,2-1,5 T_p değerleridir. Yapı periyodu 0,5 sn olarak hesaplandığından bu aralık 0,1 sn ile 0,75 sn aralığı olarak alınmıştır. Alfa değerleri kullanılarak (5.2), (5.3) ve (5.4) ile oransal göreceli hatalar hesaplanmıştır. Denklem 4'teki ΔT değeri ölçekleme yapılan aralıktaki sürenin artış miktarıdır. ΔT, 0,05 değeri için k değeri 13 olarak hesaplanmıştır.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B}(S_a^{gerçek}(T)S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B}(S_a^{gerçek}(T))^2} \tag{5.1}$$

$$|\text{Toplam Göreceli Hata}| = \sum_{T_A}^{T_B}\left|\left[\left(\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T)\right)/S_a^{hedef}(T)\right]\right| \tag{5.2}$$

$$|\text{Oransal Göreceli Hata (\%)}| = \frac{1}{k}|\text{Toplam Göreceli Hata}|x100 \tag{5.3}$$

$$k = (T_B - T_A)/\Delta T \tag{5.4}$$

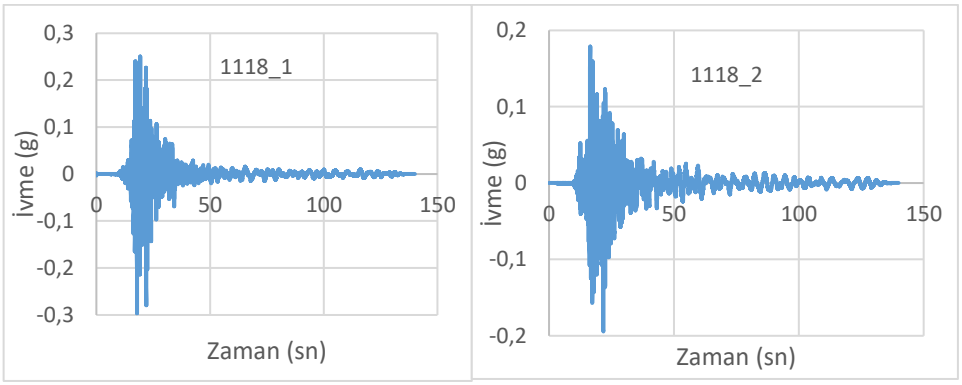


Şekil 5.1 Tasarım spektrumu

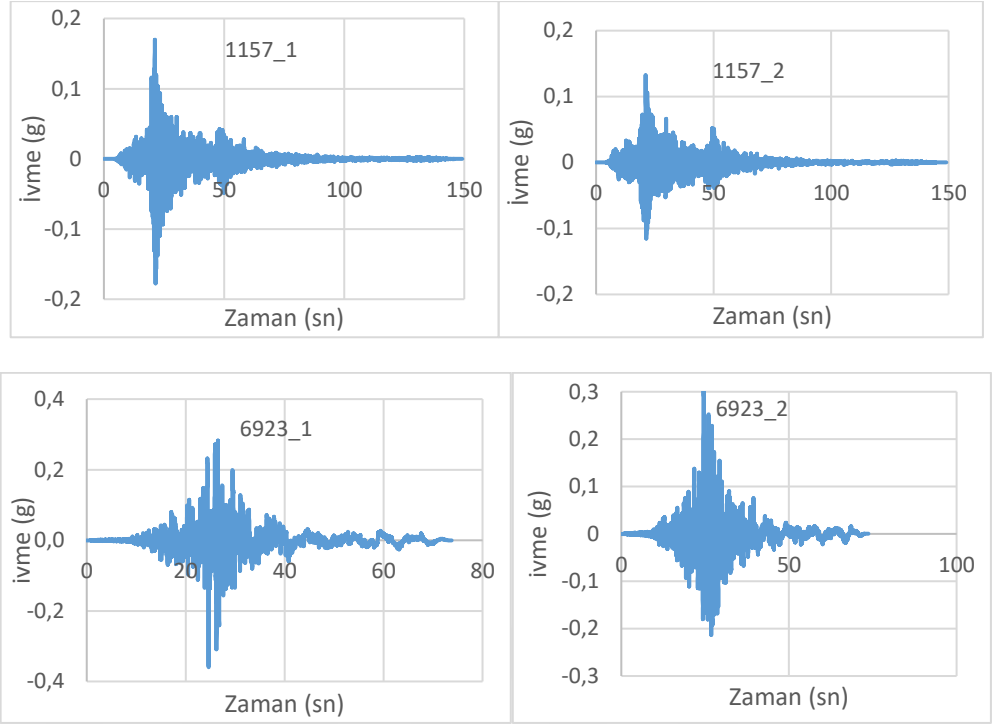
Yönetmelikçe en az 11 adet deprem yer hareketi seçilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada analiz sürelerinin uzun süreceği göz önüne alınarak 3 adet deprem yer hareketi seçilmesi uygun görülmüştür. Deprem seçimi alfa değeri 0,5-2 aralığında kalan deprem yer hareketi verilerinden hata oranları küçük olanlar arasından seçilmiştir. Seçilen deprem yer hareketlerine ait bilgiler Tablo 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.2'de seçilen üç depremin iki yatay bileşenine ait ivme değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Seçilen deprem bilgileri

No	RSN	DEPREM	YIL	İSTASYON	BÜYÜKLÜK	MESAFE	α	Hata%
1	1118	"Kobe_ Japan"	1995	"Tadoka"	6.9	31.69	0,77	32,70
2	1157	"Kocaeli_ Turkey"	1999	"Cekmece"	7.51	64.95	1,26	39,26
3	6923	"Darfield_ New Zealand"	2010	"Kaiapoi North School "	7.0	30.53	0,65	19,12



Şekil 5.2 Deprem ivme-zaman grafikleri



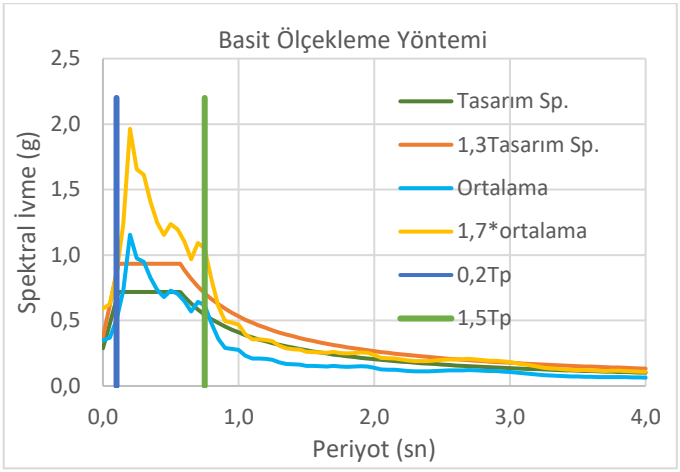
Şekil 5.2 Deprem ivme-zaman grafikleri (devamı)

5.2 Deprem Yer Hareketi Ölçekleme

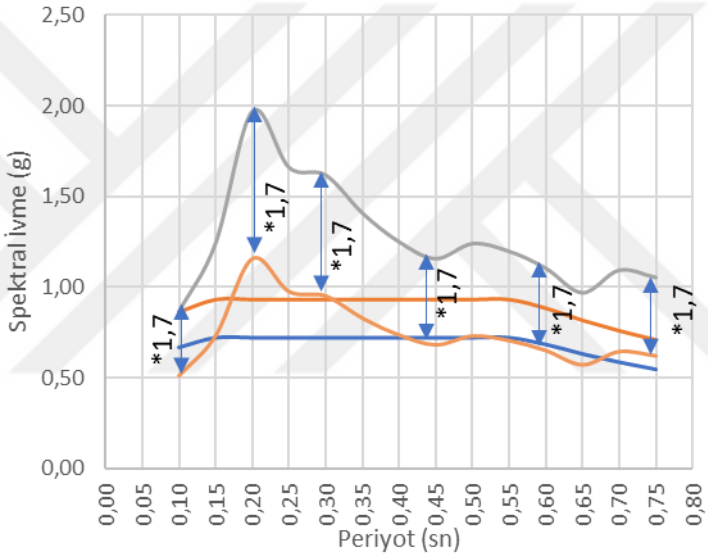
Yapıya ve bölgeye uygun olarak seçilen depremlerin analizde kullanılabilmesi için tasarım spektrumuna göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Yönetmeliğimizde deprem yer hareketi ölçekleme işlemi için Basit Ölçekleme yöntemi (BÖ) ve Spektral Uyuşum Sağlayacak Şekilde Ölçekleme (SÖ) olmak üzere iki farklı yöntem verilmiştir.

5.2.1 Basit Ölçekleme Yöntemi (BÖ) ile Ölçekleme

Seçilen deprem kayıtlarının bileşkelerinin ortalamasının spektral ivme değerleri, yönetmelik şartınca tasarım ivme spektrumu ivme değerlerinin 0,2 Tp-1,5 Tp aralığında 1,3 katından (hedef spektrum) az olmayacak şekilde ölçeklenmiştir. Bu işlem için her bir deprem kaydında kullanılacak tek bir ölçek katsayısı, hedef spektrumunun deprem yer hareketi ortalama spektrumuna oranından gelen en büyük katsayı değeri (1,7) seçilmiştir. Ölçekleme işleminde her doğrultudaki yatay deprem yer hareketi bileşeni için aynı değer kullanılmıştır. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te basit ölçekleme de kullanılan spektrumlar gösterilmiştir.



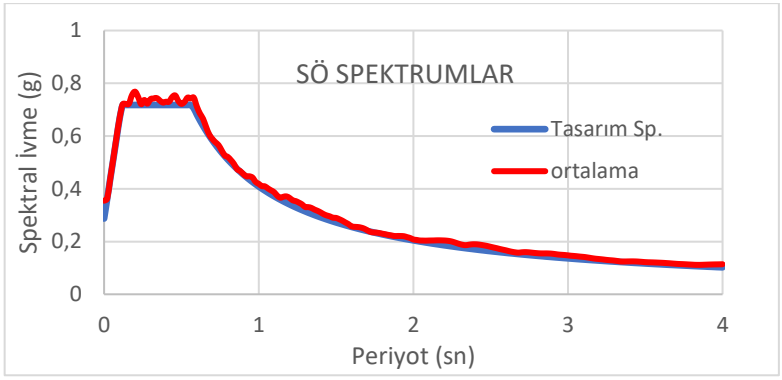
Şekil 5.3 Basit ölçekleme yöntemi spektrumlar 1



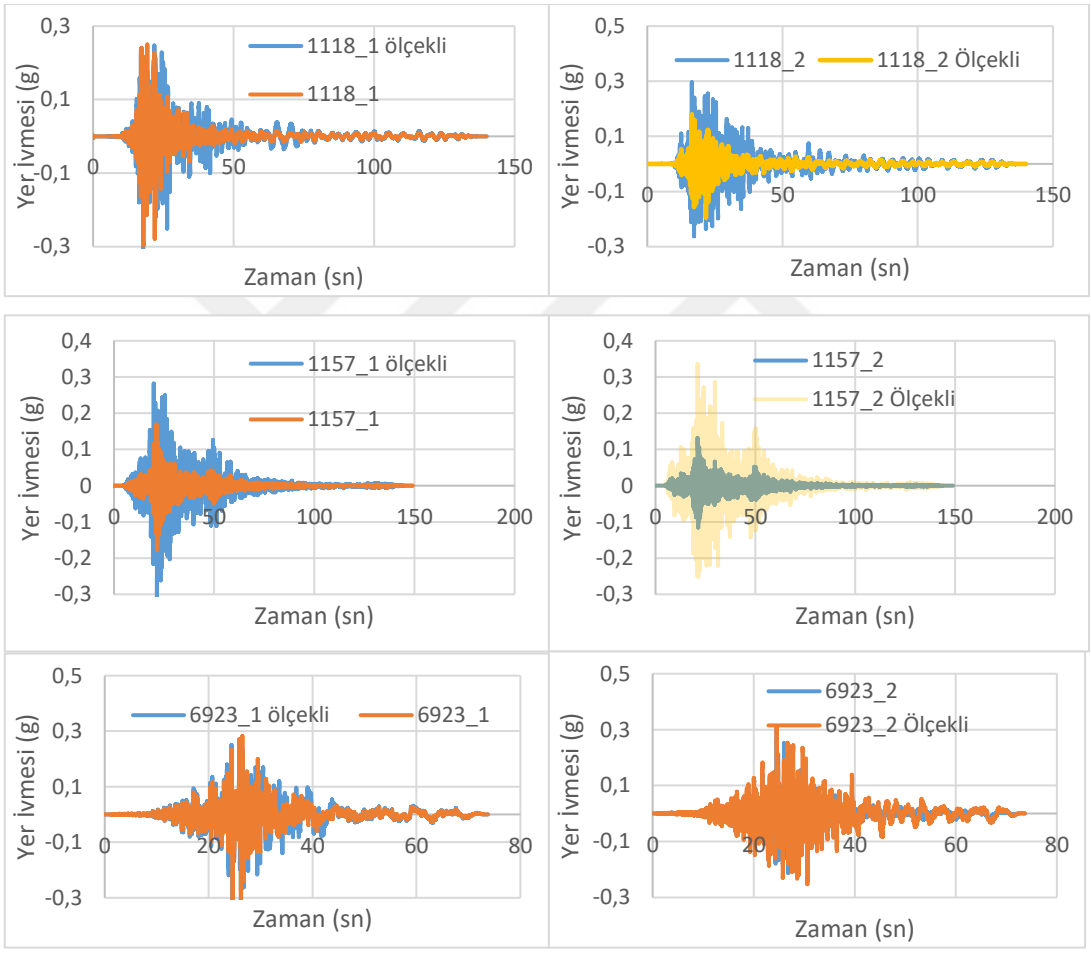
Şekil 5.4 Basit ölçekleme yöntemi spektrumlar 2

5.2.2 Spektral Dönüşüm Yöntemi (SÖ) ile Ölçekleme

Deprem yer hareketi ivme kayıtları ivme spektrumları SeismoMatch programı [39] yardımı ile tasarım spektrumuyla eşleşecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Her bir deprem yer hareketinin her iki yatay bileşeni için tekrarlanan bu işlem sonucunda elde edilen spektral ivme değerlerinin ortalamasının tasarım spektrumu ivme değerlerinden daha küçük olmaması kuralı göz önüne alınmıştır. Şekil 5.5'te SÖ yöntemi sonucu gösterilmiştir. Şekil 5.6'da deprem ivme değerleri verilmiştir.



Şekil 5.5 Spektral dönüşüm yöntemi

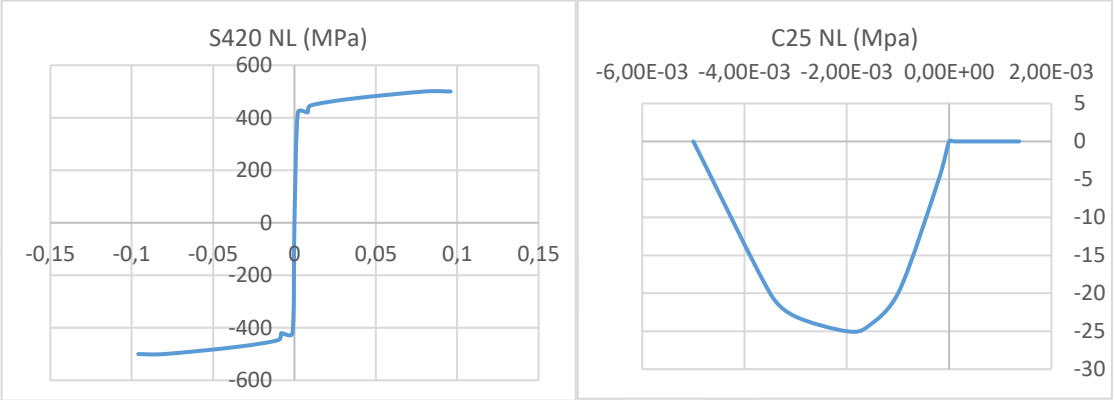


Şekil 5.6 SÖ ivme zaman grafikleri

5.3 Doğrusal Olmayan Modelleme ve Hesap

Doğrusal olmayan analiz modelinde, bağ kirişleri çubuk eleman, döşemeler alan eleman, perde duvarlar doğrusal olmayan katman modeli kullanılarak tanımlanmıştır. Perde elemanlarda yatay donatı katmanı dikkate alınmamıştır. Modelde düzlem içi (membran) davranış lineer ötesi, düzlem dışı (plak)

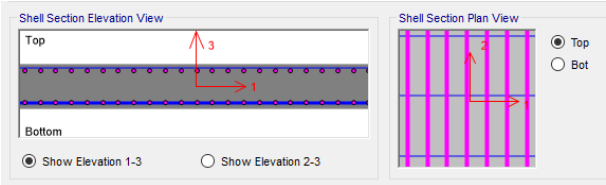
davranış lineer olarak ele alınmıştır. Eksenel yük etkisi için sadece beton lineer ötesi olarak dikkate alınmış donatı katkısı ihmal edilmiştir. Betonun çekme dayanımı dikkate alınmamıştır. Tablo 5.2'de doğrusal olmayan katman modelinde yapılan kabuller toplu halde verilmiştir. Şekil 5.7'de doğrusal olmayan malzeme davranışları gösterilmiştir. Şekil 5.8'de perde duvarlar için kullanılan katman modelinin şematik olarak kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Doğrusal olmayan malzeme davranışları

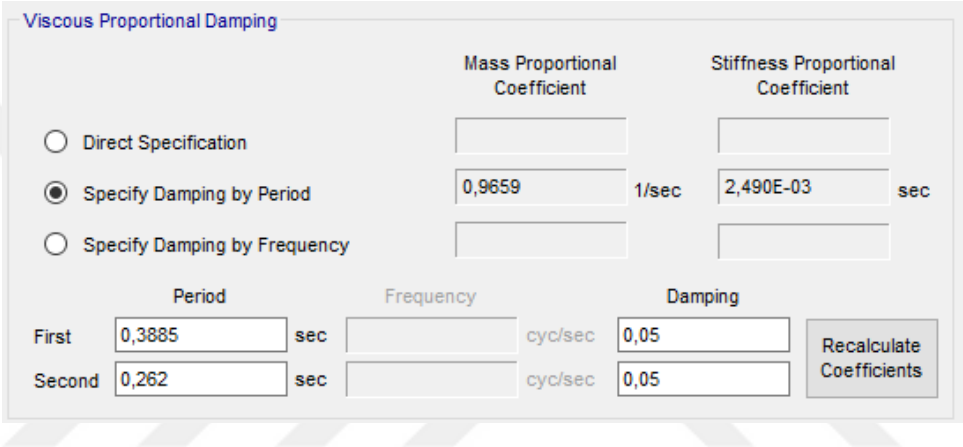
Tablo 5.2 Lineer olmayan katman modeli

Katman	Katman Adı	Kalınlık (m)	Malzeme	Davranış	Malzeme Açısı	S11	S22	S12
1	ConcM	0,2	Beton	Membran	0	L	NL	L
2	TopBar2M	0,000251	S420	Membran	90	NL	X	X
3	BotBar2M	0,000251	S420	Membran	90	NL	X	X
4	ConcP	0,142	Beton	Plak	0	L	L	L
L: lineer NL: Non-lineer X: İhmal								



Şekil 5.8 Katman modeli kesitler [36]

Doğrusal olmayan hesap için TBDY'ne göre en az 11 adet deprem yer hareketi kullanılmalıdır. Yapılan çalışmada analiz sürelerinin uzunluğu düşünülerek üç adet deprem yer hareketi seçimi uygun görülmüştür. Deprem yer hareketleri isimlendirilirken kullanılan "1" ve "2" numaraları sırasıyla yapı planına göre X ve Y doğrultularınca etkitilmeyi temsil etmektedir. Ayrıca deprem yer hareketlerinin yatay bileşenleri doksan derece çevrilerek analiz tekrarlanmamıştır. Hareket denkleminin çözümünde Newmark-Beta yöntemi (γ=0,5 β=0,25) kullanılmıştır. Yapı periyot değerlerine bağlı olarak hesaplanan sönüm oranları Şekil 5.9'da verilmiştir. Geometrik lineer ötesi davranış dikkate alınmamıştır.



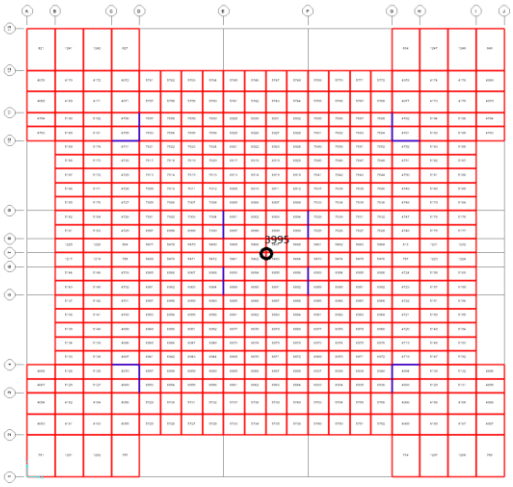
Şekil 5.9 Sönüm katsayıları [36]

5.4 Analiz Sonuçları

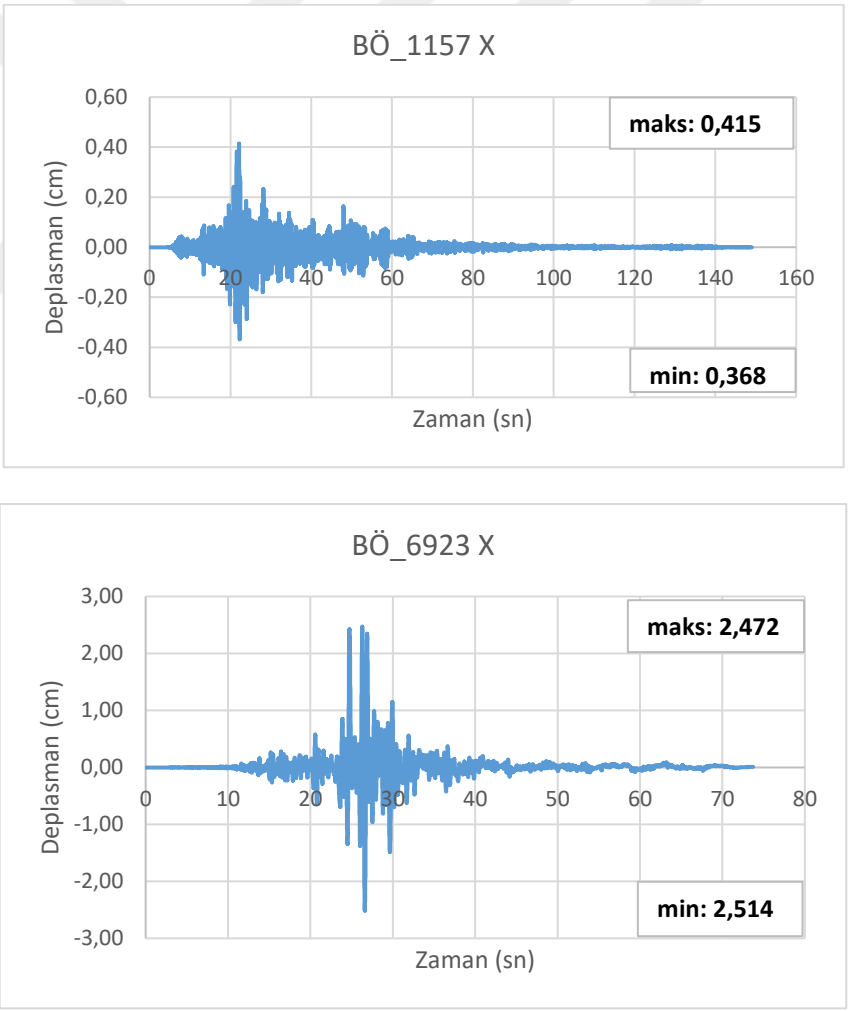
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonuçları BÖ ve SÖ için değerlendirilmiştir. Çatı deplasman değerleri, taban kesme kuvvetleri ve zemin kat perdelerinin kritik kesitlerinde meydana gelen maksimum birim şekil değiştirmeler kontrol edilmiştir.

5.4.1 Basit Ölçekleme Yöntemi Hesap Sonuçları

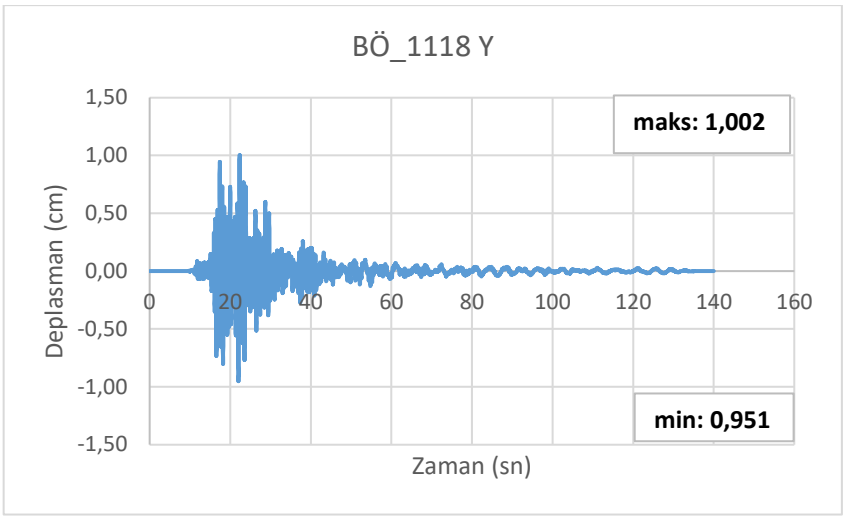
- BÖ yöntemi ile ölçeklendirilen deprem yer hareketleri ile yapılan doğrusal olmayan hesap sonucunda çatı deplasman değerleri her iki doğrultu için pozitif ve negatif yönde ele alınmıştır. Şekil 5.10'da çatı katından verilerin çekildiği nokta (3995) gösterilmiştir. Hesap sonuçları Şekil 5.11'de verilmiştir. Deplasman değerleri toplu halde Tablo 5.3'te verilmiştir.

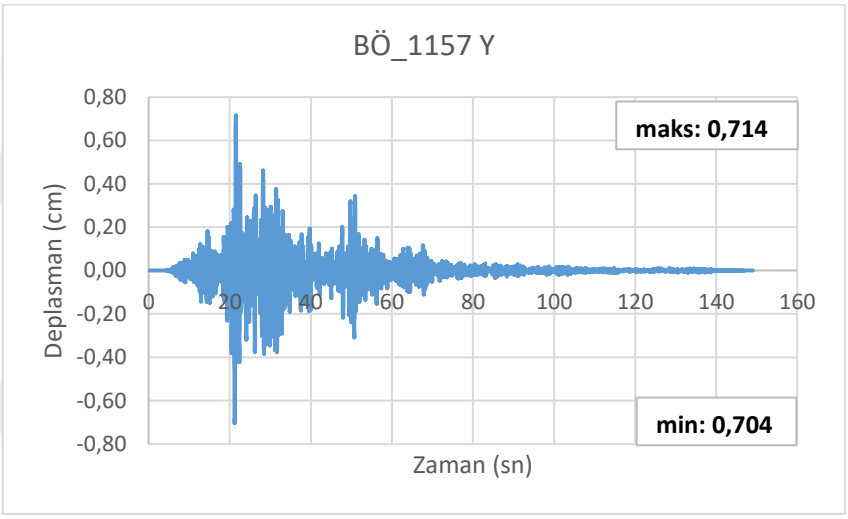


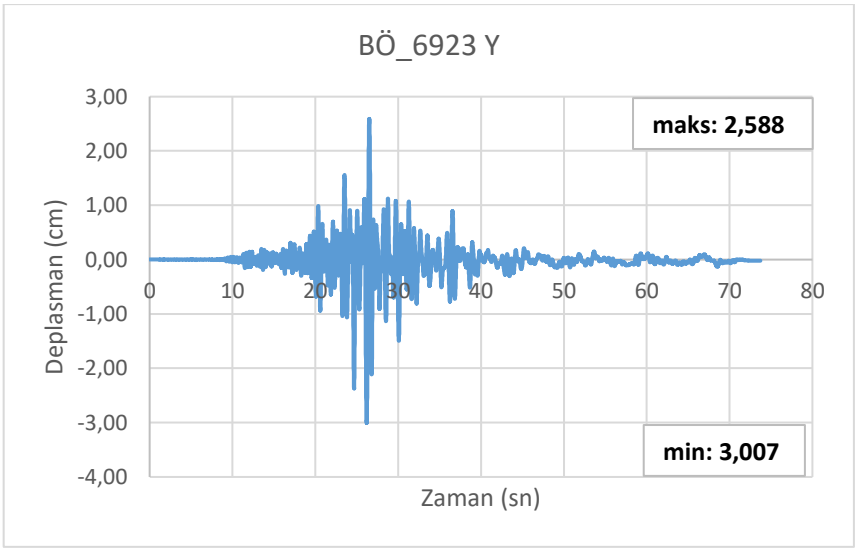
Şekil 5.10 Çatı deplasman değerleri alınan nokta



Şekil 5.11 BÖ çatı deplasmanları







Şekil 5.11 BÖ çatı deplasmanları (devamı)

Tablo 5.3 BÖ çatı deplasmanları

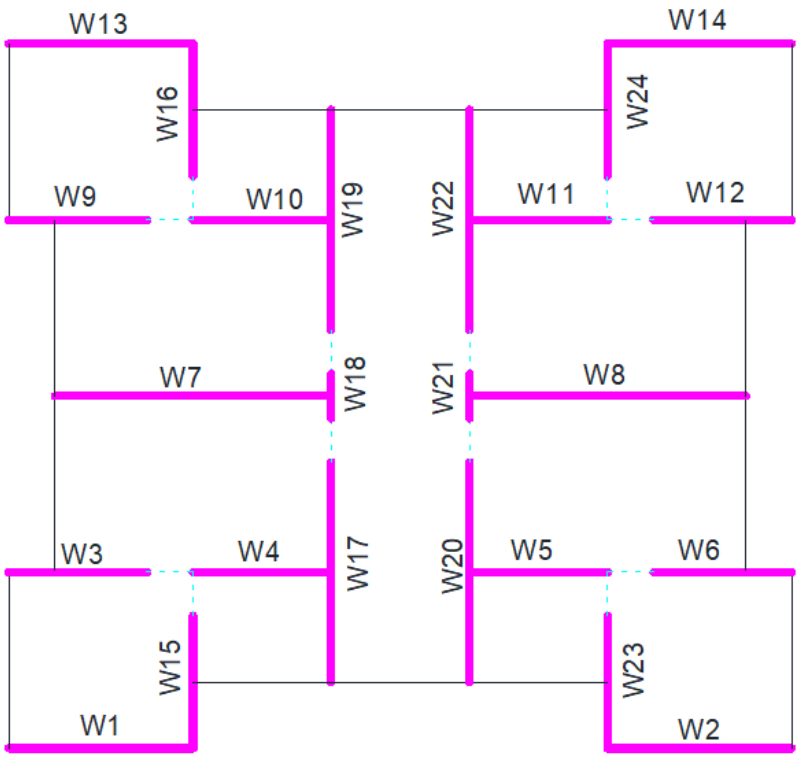
cm	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1 (cm)***	***-U1 (cm)***	***U2 (cm)***	***-U2 (cm)***
1118	1,690	1,480	1,000	0,950
1157	0,410	0,370	0,710	0,700
6923	2,470	2,510	2,590	3,010
Ortalama	1,523	1,453	1,433	1,553

- BÖ yönteminden elde edilen verilerle yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4 BÖ taban kesme kuvvetleri

kN	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	10124,47	11550,7	5438,15	6410,52
1157	4142,09	4370,47	4205,50	4680,11
6923	13248,39	13400,8	11991,35	10788,7
Ortalama	9771,65	9773,99	7211,67	7293,10

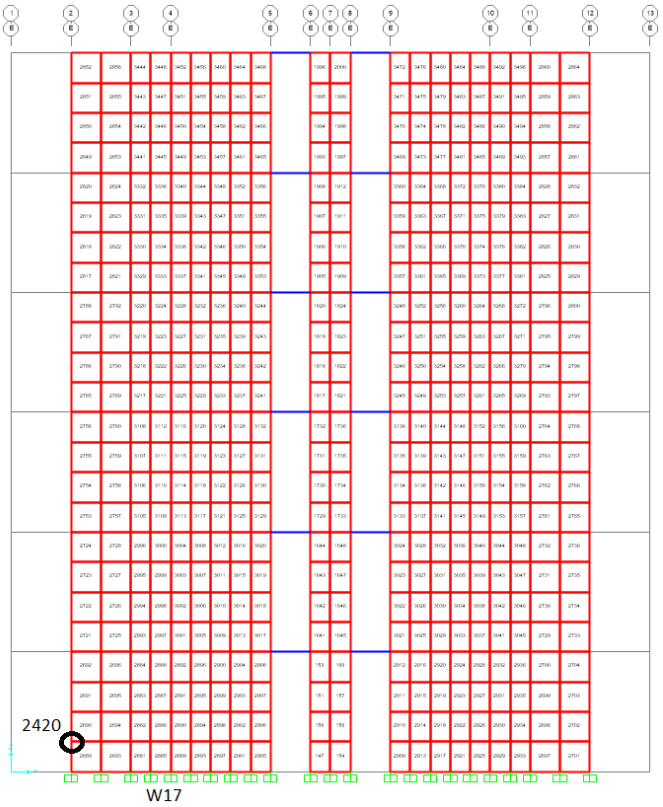
- Analiz sonuçlarına göre incelenen bir diğer parametre de birim şekil değiştirme olarak seçilmiştir. Birim şekil değiştirme değerleri perdeler için kritik kesit olan mesnet bölgelerinden alınmıştır. Değerlendirmede kullanılan üç depremin ortalaması alınarak maksimum değerlerin olduğu noktalar göz önüne alınmıştır. Tablo 5.5'te maksimum basınç noktası ve maksimum çekme noktası için değerler verilmiştir. Noktaların yerini tariflemek üzere oluşturulan perde konfigürasyonu Şekil 5.12'de maksimum basınç noktası Şekil 5.13'te, maksimum çekme değerinin okunduğu nokta ise Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



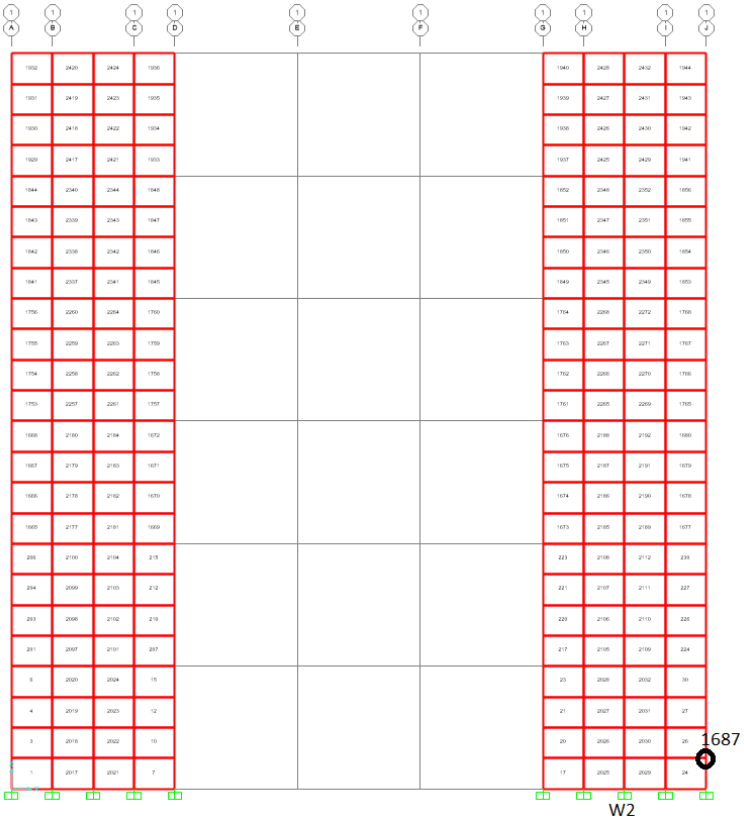
Şekil 5.12 Perde konfigürasyonu

Tablo 5.5 BÖ Maksimum basınç noktası birim şekil değiştirme değerleri

Birimsiz	**MAKS BASINÇ NOKTASI (W17/2420)**			**MAKS ÇEKME NOKTASI (W2/1687)**		
DEPREM	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**
1118	-0,001009	0,003158	0,003158	-0,001216	0,00449	0,00449
1157	-0,000614	0,001207	0,001207	-0,000479	0,000755	0,000755
6923	-0,006554	0,008088	0,008088	-0,00213	0,010491	0,010491
Ortalama	-0,002726	0,004151	0,004151	-0,001275	0,005245	0,005245



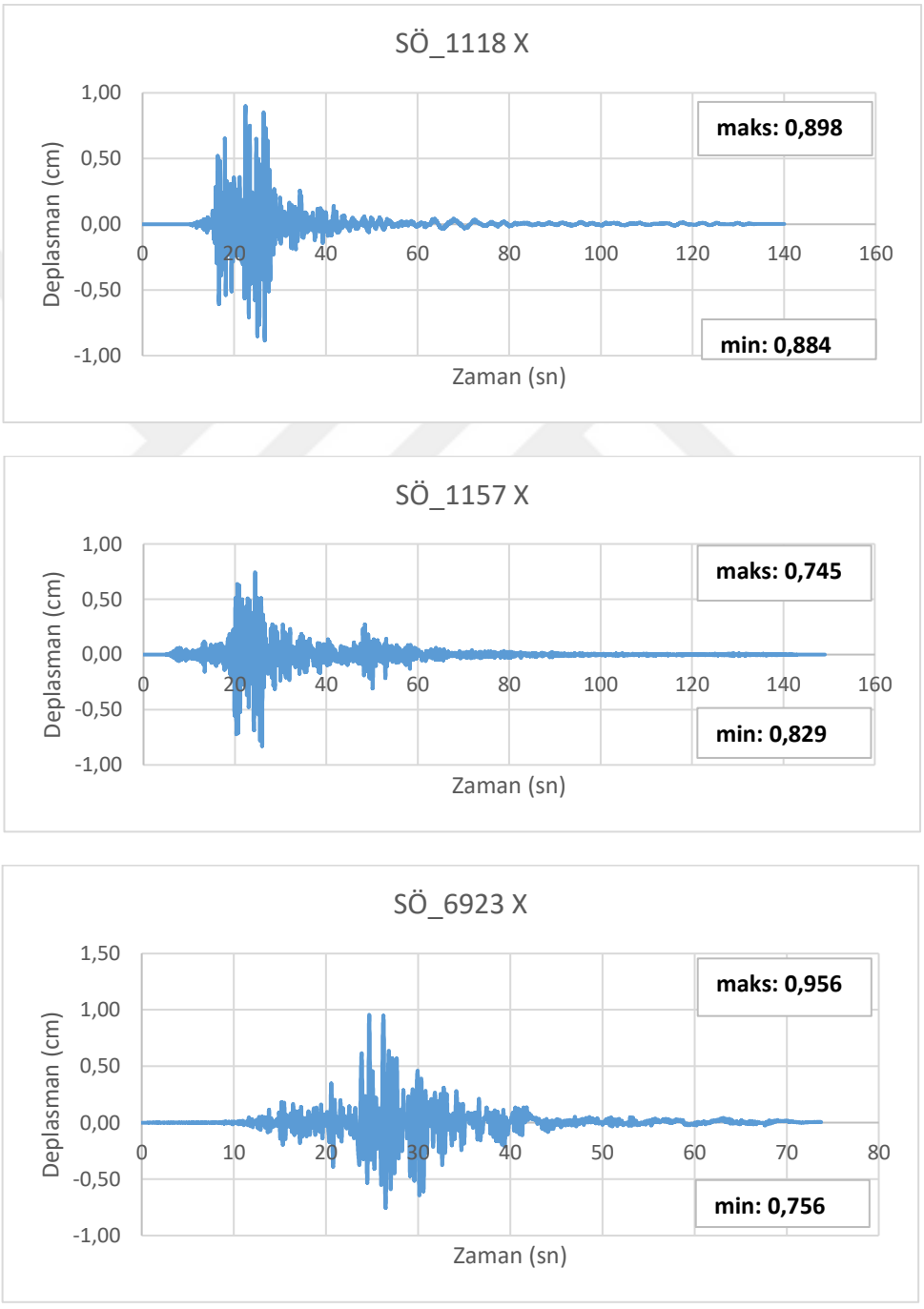
Şekil 5.13 BÖ maksimum basınç noktası



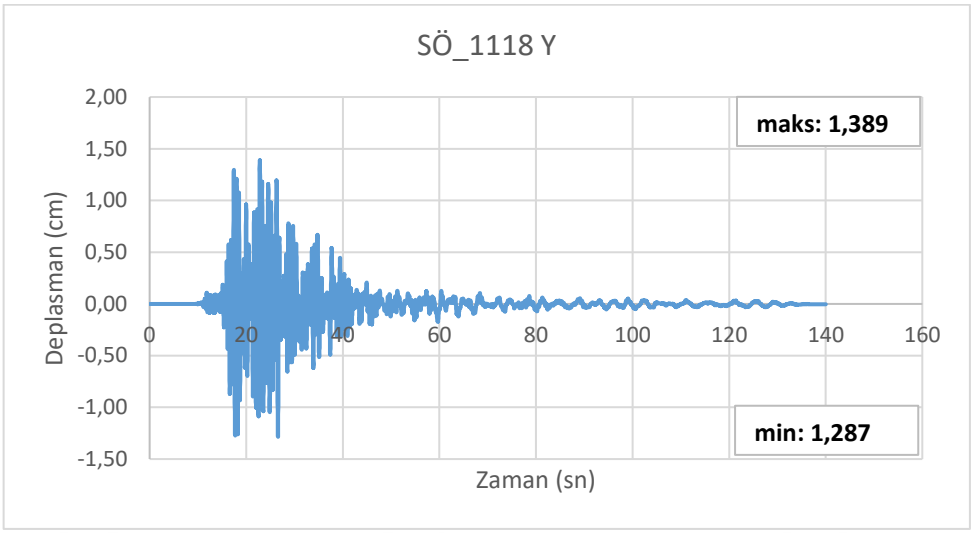
Şekil 5.14 BÖ maksimum çekme noktası

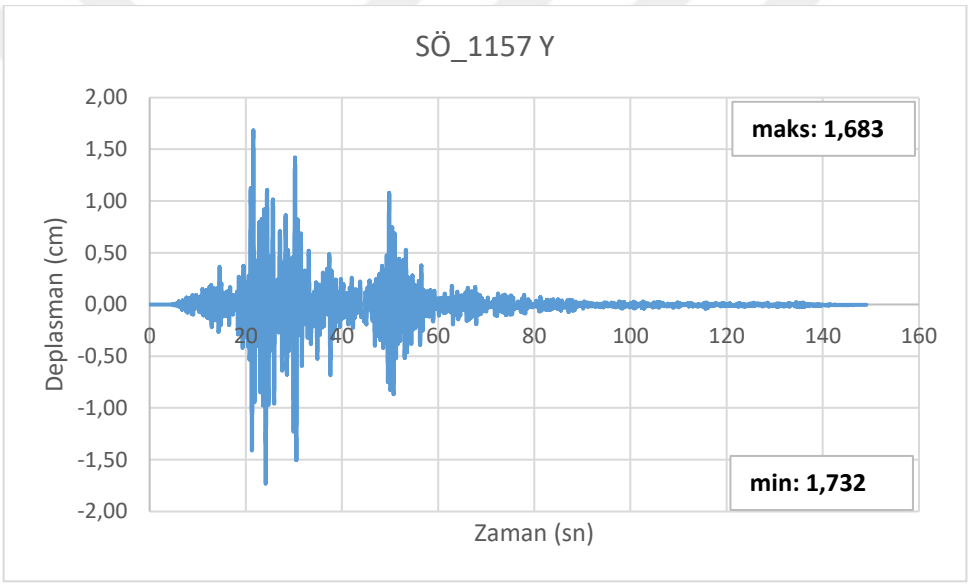
5.4.2 Spektral Dönüşüm Yöntemi Hesap Sonuçları

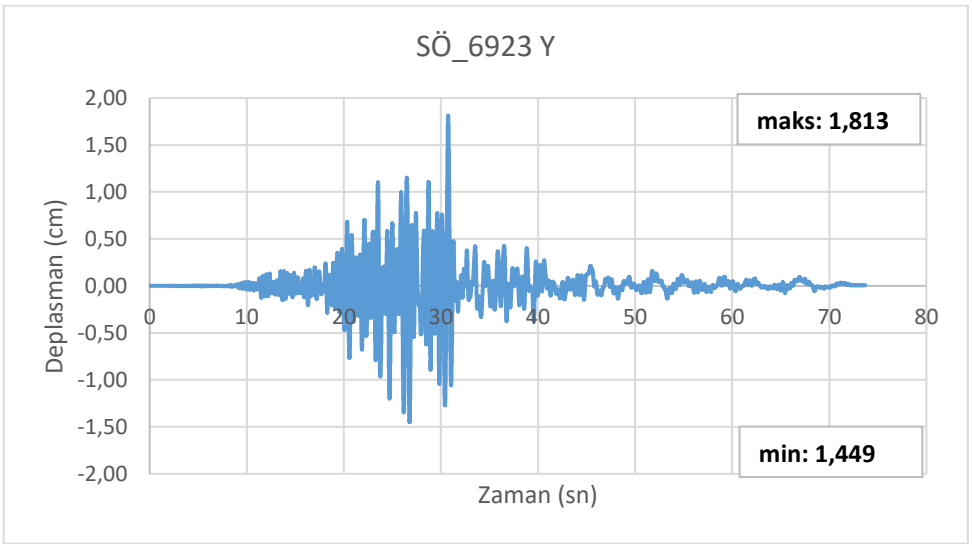
- SÖ yöntemi ile ölçeklendirilen deprem yer hareketleri ile yapılan doğrusal olmayan hesap sonucunda çatı deplasman değerleri her iki doğrultu için pozitif ve negatif yönde ele alınmıştır. Hesap sonuçları Şekil 5.15'te verilmiştir. Deplasman değerleri toplu halde Tablo 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.15 SÖ çatı deplasman değerleri







Şekil 5.15 SÖ çatı deplasman değerleri (devamı)

Tablo 5.6 SÖ çatı deplasman değerleri

cm	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	0,900	0,880	1,390	1,290
1157	0,750	0,830	1,680	1,730
6923	0,960	0,760	1,810	1,450
Ortalama	0,870	0,823	1,627	1,490

- SÖ yönteminden elde edilen verilerle yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir.

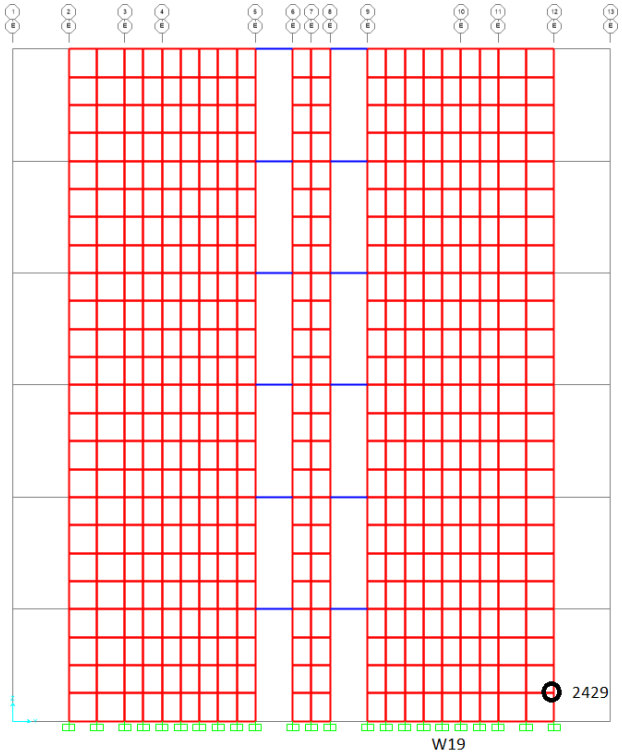
Tablo 5.7 SÖ Taban kesme kuvvetleri

kN	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	7204,20	7766,51	7677,43	7669,44
1157	7003,62	6139,21	8124,79	8304,17
6923	6279,12	8040,83	6907,62	8899,30
Ortalama	6828,98	7315,52	7569,95	8290,97

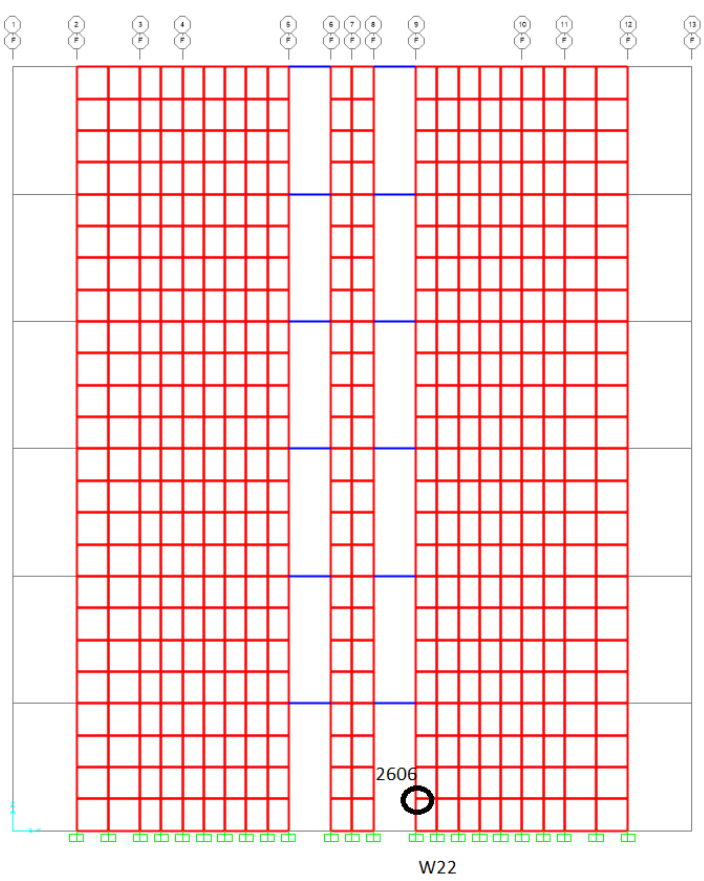
- Tablo 5.8'de maksimum basınç noktası ve maksimum çekme noktası için birim şekil değiştirme değerleri verilmiştir. Maksimum basınç noktası Şekil 5.16'da, maksimum çekme değerinin okunduğu nokta ise Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8 SÖ Maksimum birim şekil değiştirme değerleri

Birimsiz	MAKS BASINÇ NOKTASI (W19/2429)			MAKS ÇEKME NOKTASI (W22/2606)		
DEPREM	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**
1118	-0,00117	0,00309	0,00309	-0,00125	0,00313	0,00313
1157	-0,00153	0,00443	0,00443	-0,00154	0,00421	0,00421
6923	-0,00162	0,00277	0,00277	-0,00104	0,00465	0,00465
Ortalama	-0,00144	0,00343	0,00343	-0,00127	0,00400	0,00400



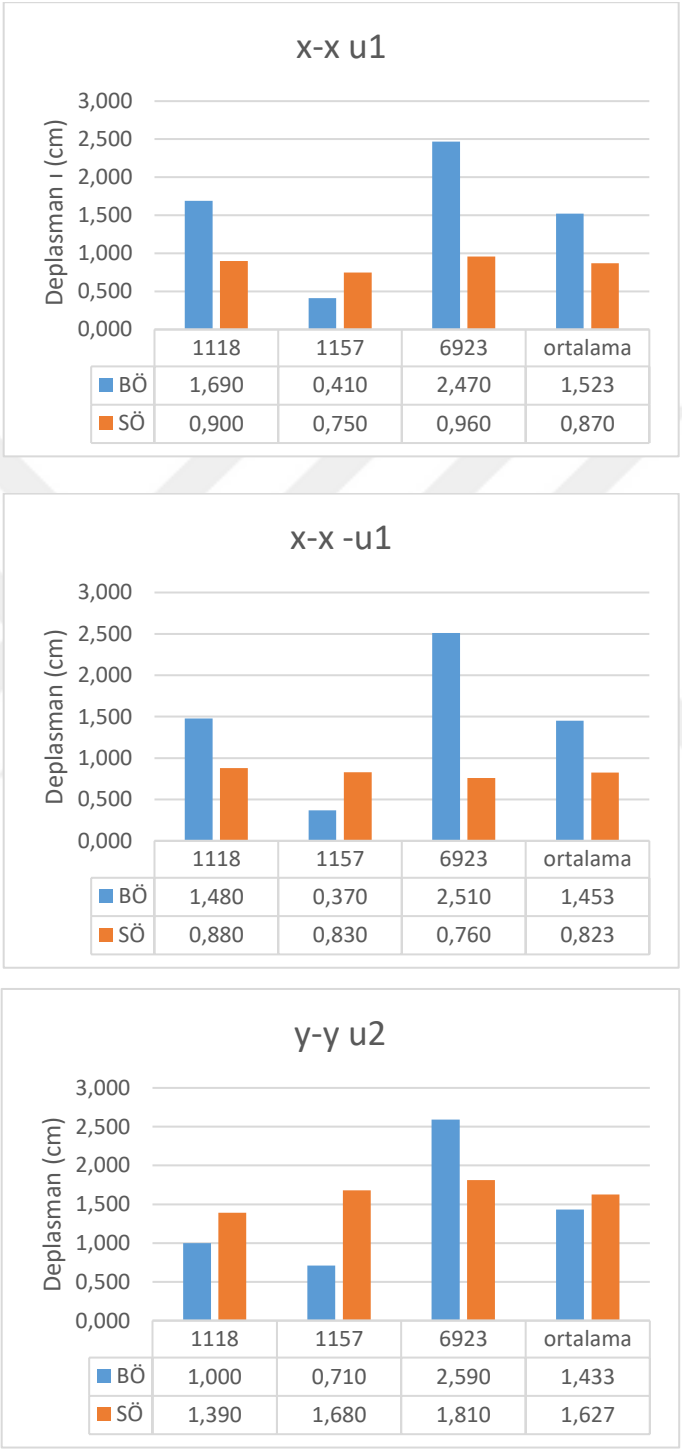
Şekil 5.16 SÖ maksimum basınç noktası



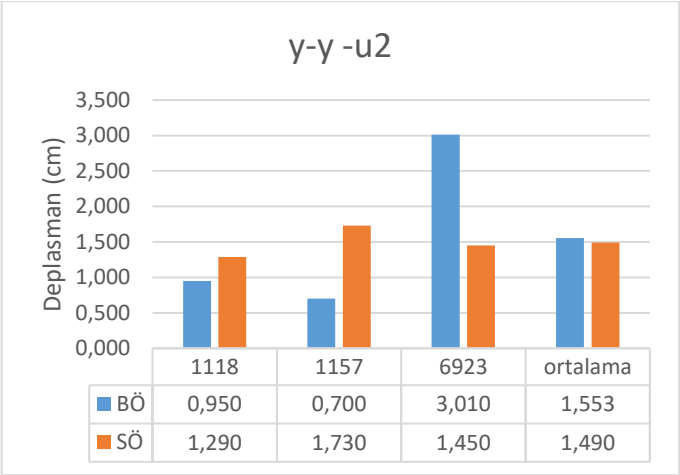
Şekil 5.17 SÖ maksimum çekme noktası

5.4.3 BÖ ve SÖ Sonuçlarının Karşılaştırılması

- Bu bölümde BÖ ve SÖ yönteminden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Şekil 5.18' de grafik üzerinde karşılaştırma yapılmıştır.

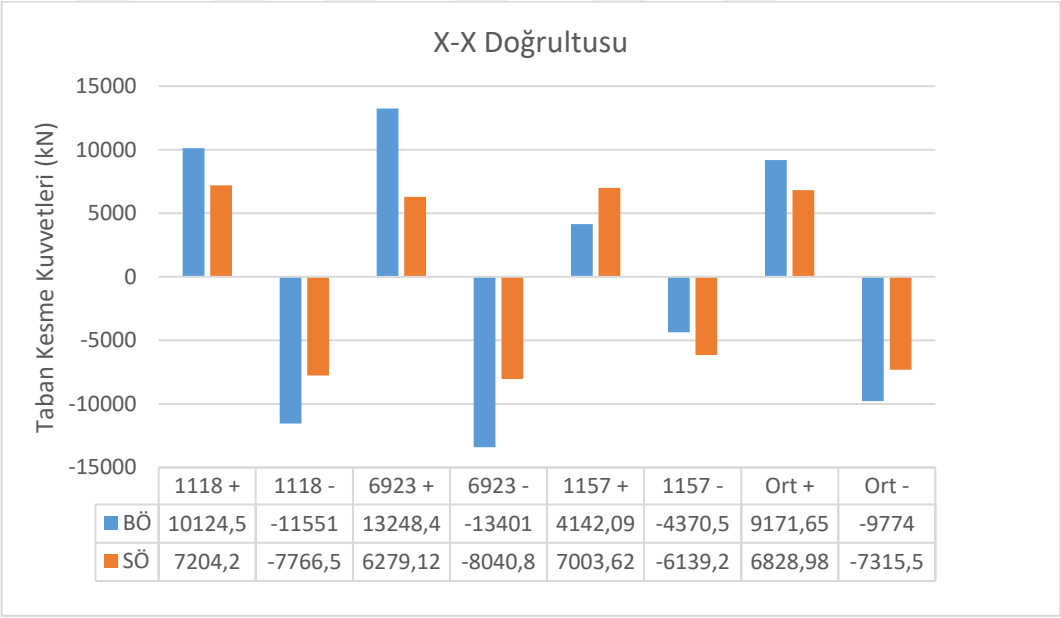


Şekil 5.18 BÖ ve SÖ çatı deplasman değerleri (cm)

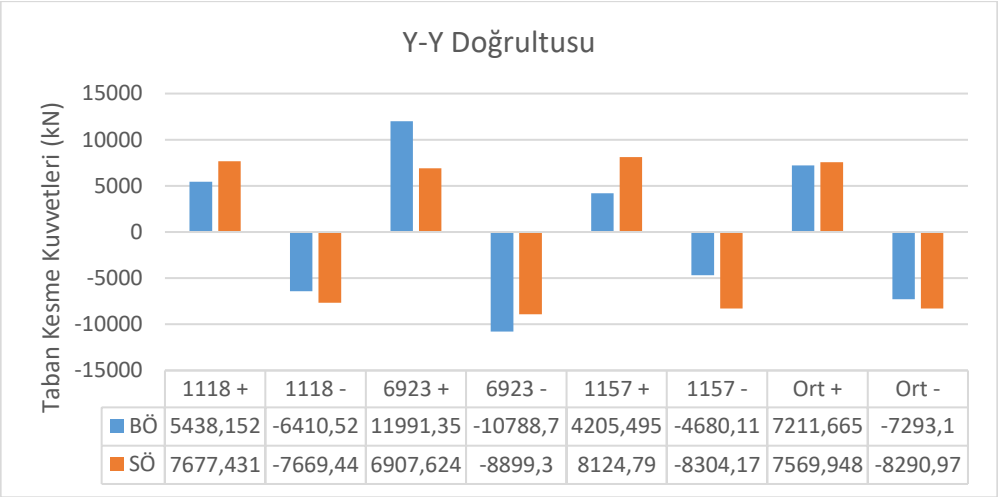


Şekil 5.18 BÖ ve SÖ çatı deplasman değerleri (cm) (devamı)

- BÖ ve SÖ yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 5.19'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



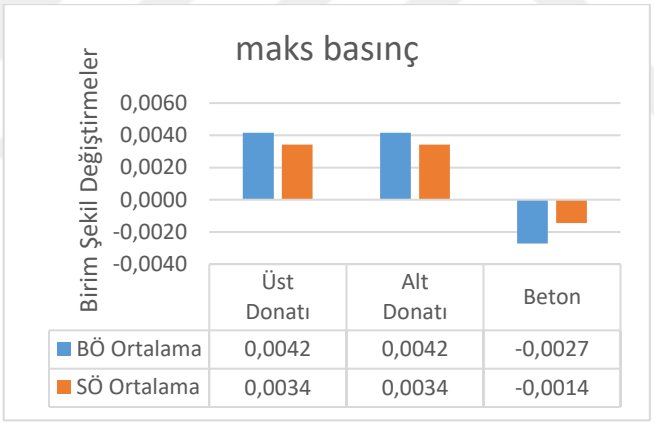
Şekil 5.19 BÖ ve SÖ taban kesme kuvvetleri (kN)



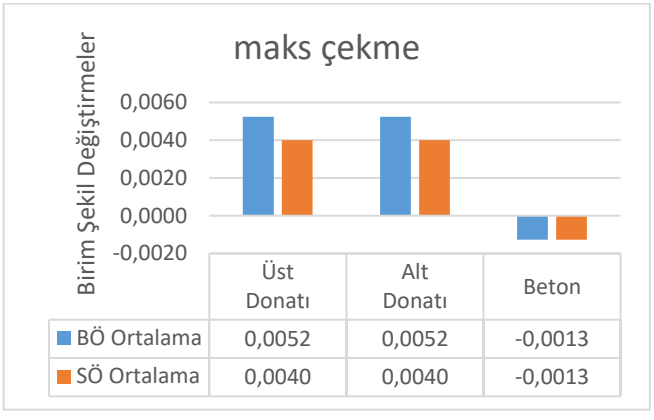
	1118 +	1118 -	6923 +	6923 -	1157 +	1157 -	Ort +	Ort -
BÖ	5438,152	-6410,52	11991,35	-10788,7	4205,495	-4680,11	7211,665	-7293,1
SÖ	7677,431	-7669,44	6907,624	-8899,3	8124,79	-8304,17	7569,948	-8290,97

Şekil 5.19 BÖ ve SÖ taban kesme kuvvetleri (kN) (devamı)

- BÖ ve SÖ için elde edilen birim şekil değiştirme değerleri Şekil 5.20'de karşılaştırmalı grafikler olarak sunulmuştur.



	Üst Donatı	Alt Donatı	Beton
BÖ Ortalama	0,0042	0,0042	-0,0027
SÖ Ortalama	0,0034	0,0034	-0,0014



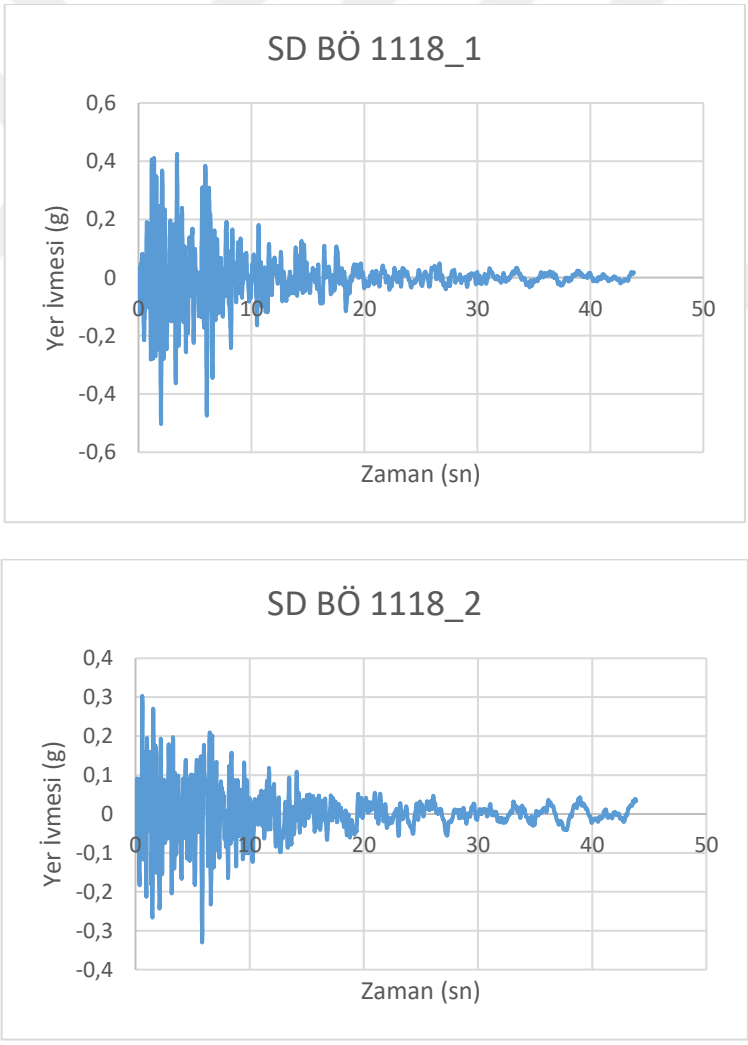
	Üst Donatı	Alt Donatı	Beton
BÖ Ortalama	0,0052	0,0052	-0,0013
SÖ Ortalama	0,0040	0,0040	-0,0013

Şekil 5.20 BÖ ve SÖ birim şekil değiştirme değerleri

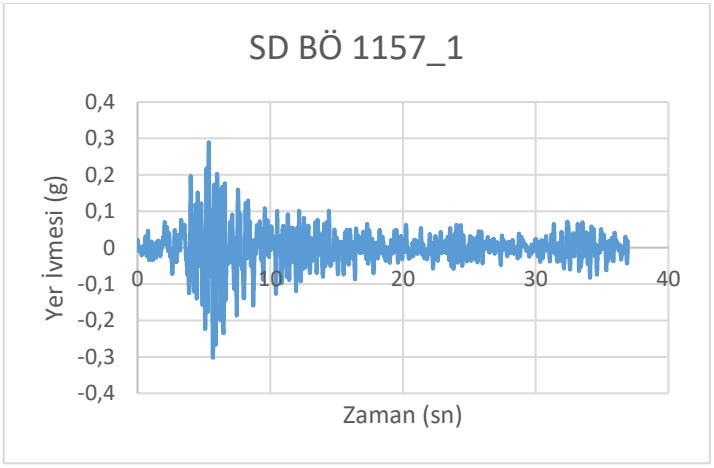
6
ANLAMLI SÜRELER İLE HESAP

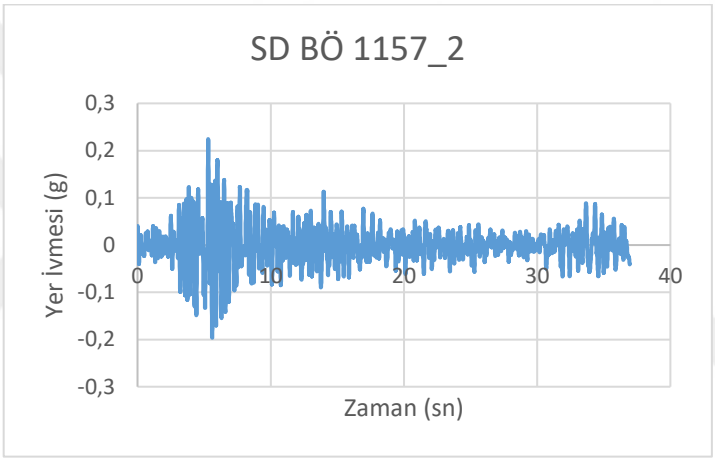
6.1 Anlamlı Süreler Kullanılarak Yapılan Analiz

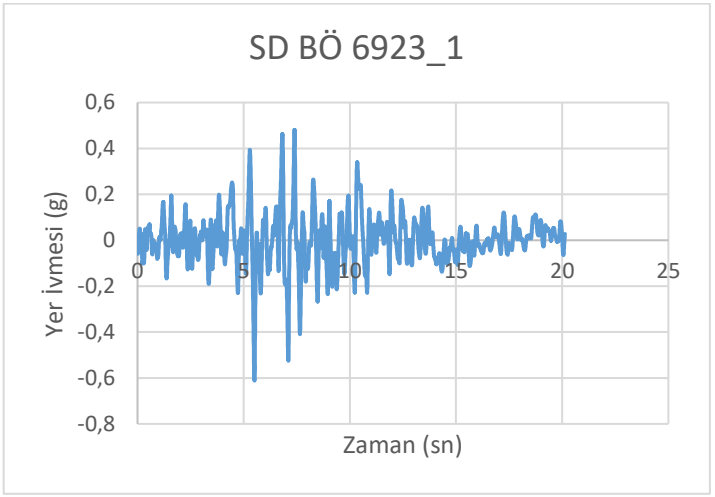
Bu bölümde BÖ ve SÖ için kullanılan deprem verileri Bölüm 3'te açıklanan yönteme göre kesilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Bu bölümde kullanılan SD kısaltması (Significant Duration) anlamlı süre yöntemini temsil etmektedir. Şekil 6.1'de anlamlı süreler için deprem ivme kayıtları verilmiştir.



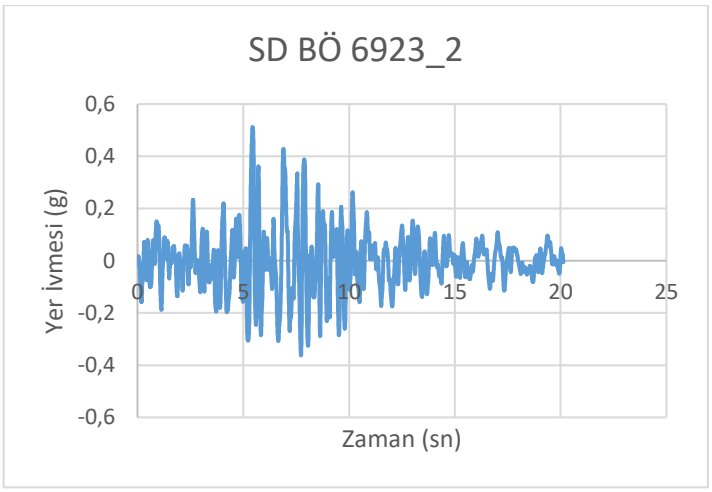
Şekil 6.1 Anlamlı süreler için deprem ivme kayıtları

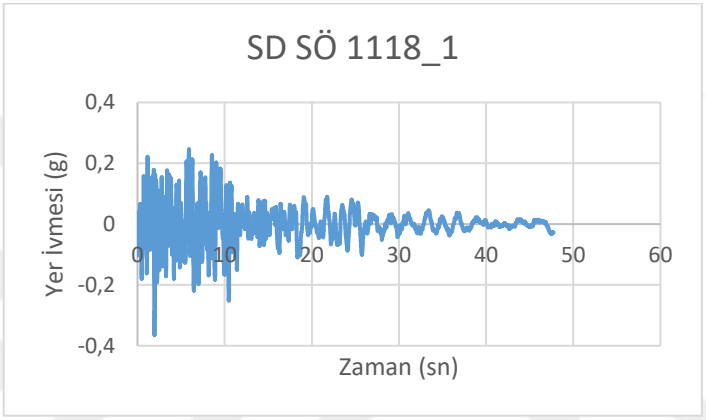


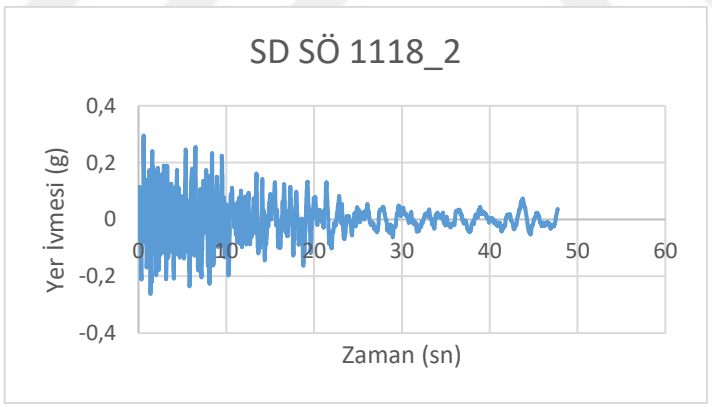


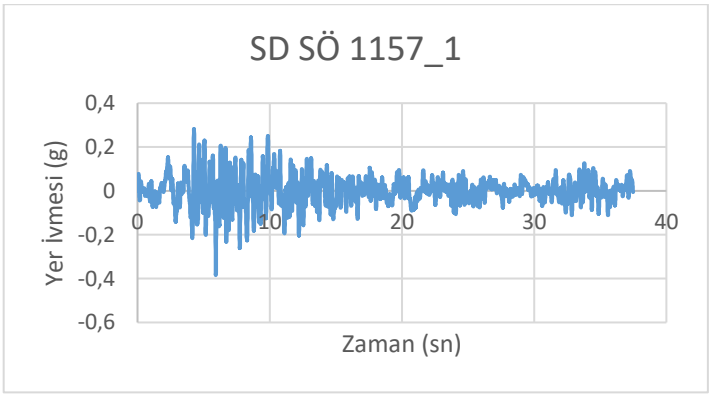


Şekil 6.1 Anlamlı süreler için deprem ivme kayıtları (devamı)

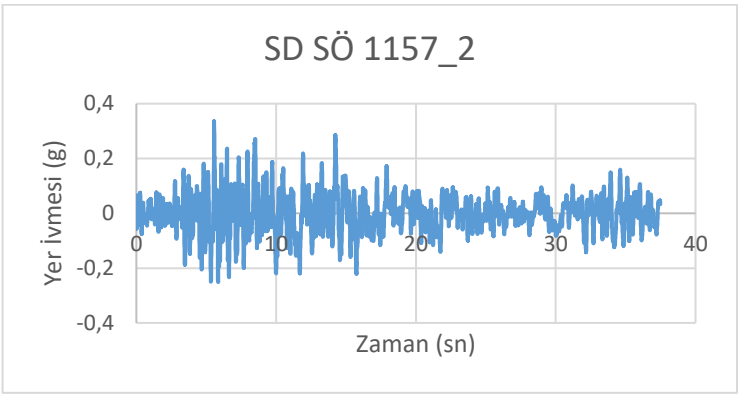


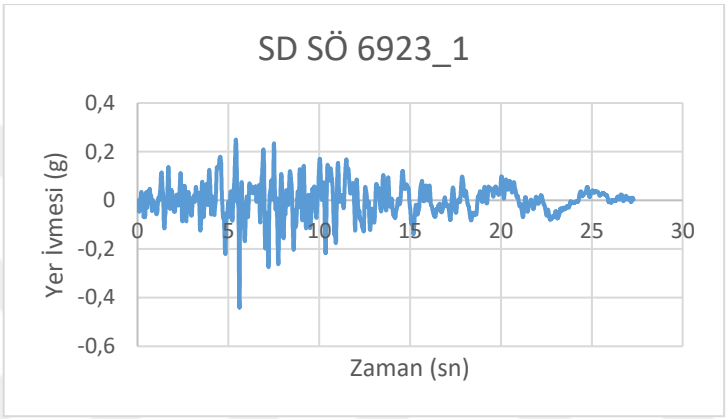


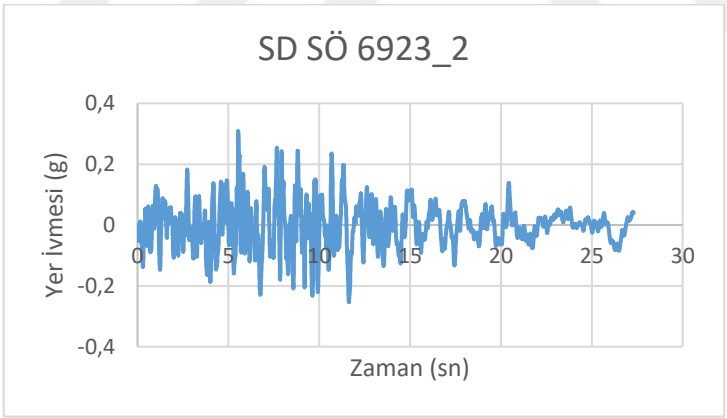




Şekil 6.1 Anlamlı süreler için deprem ivme kayıtları (devamı)



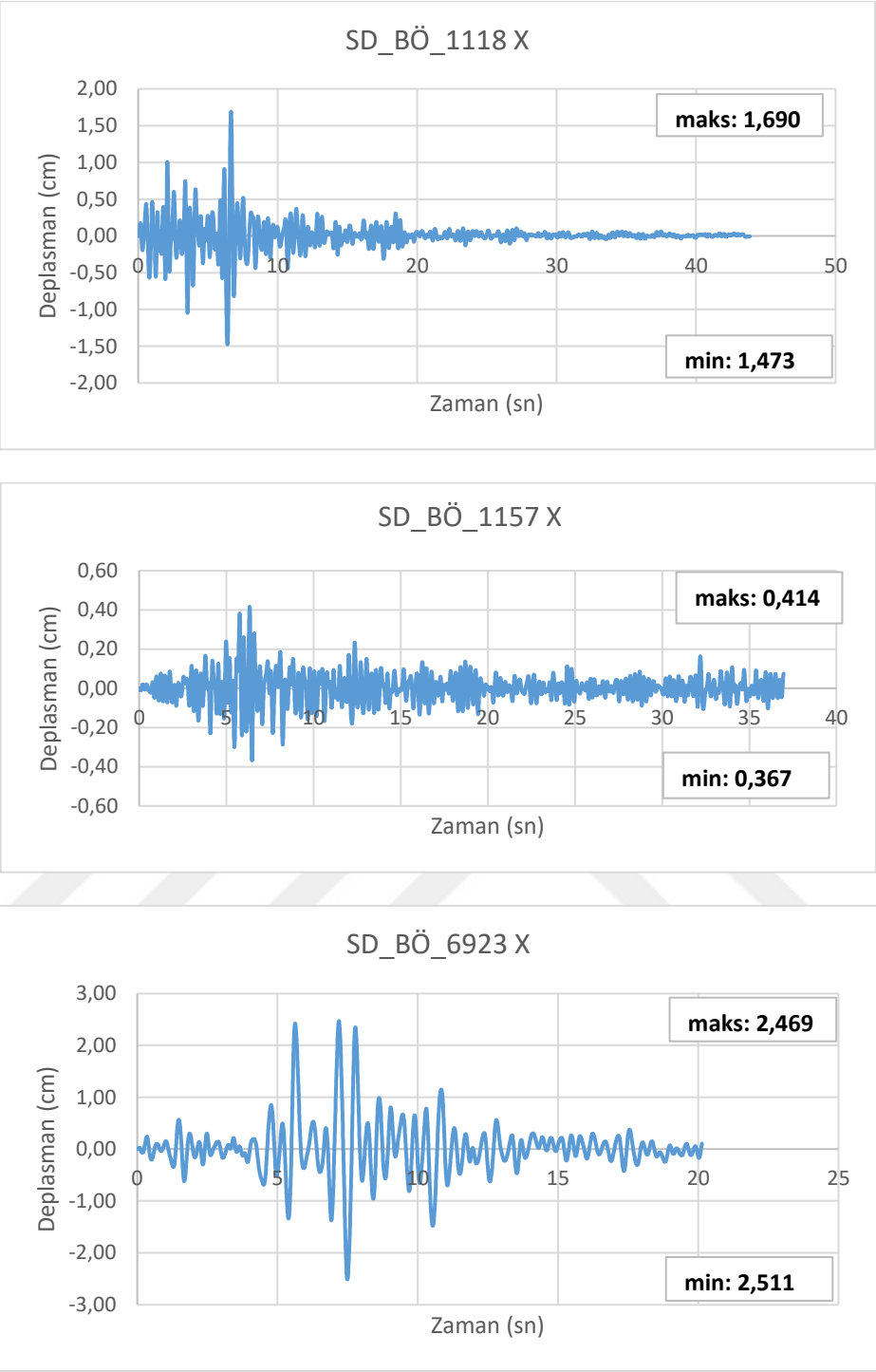




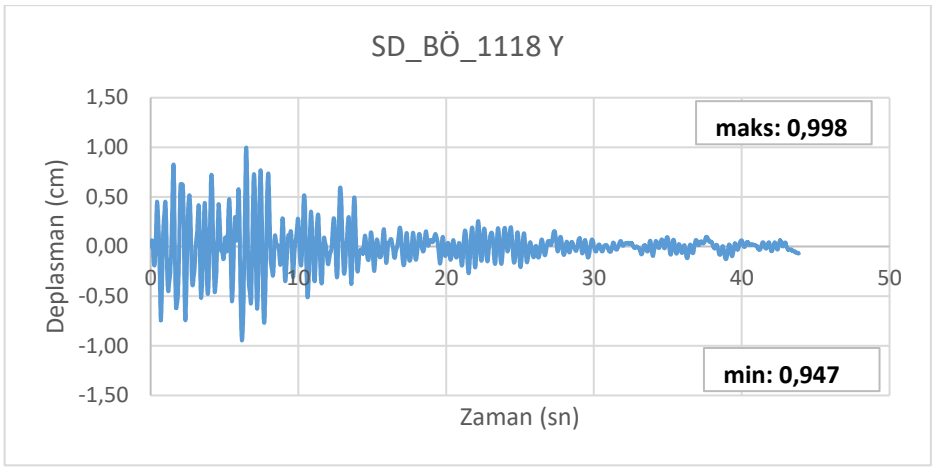
Şekil 6.1 Anlamlı süreler için deprem ivme kayıtları (devamı)

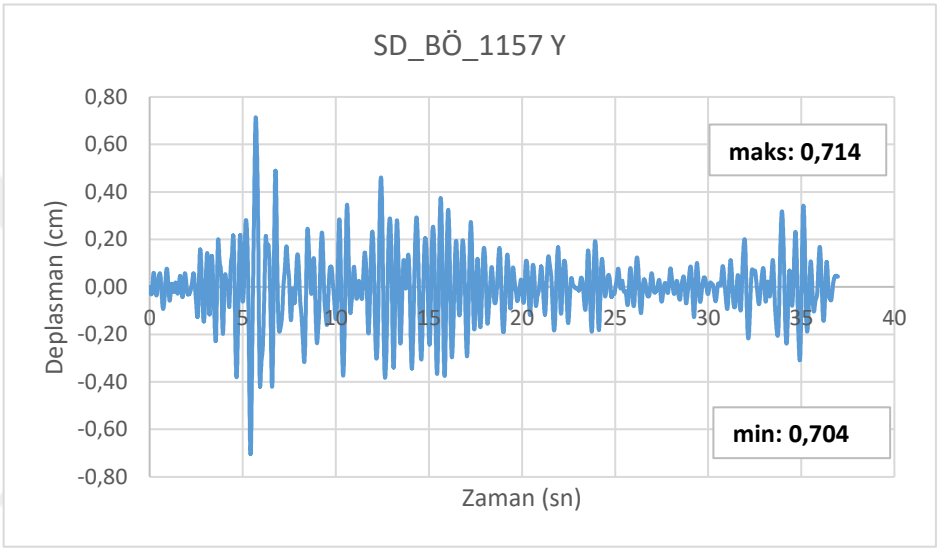
6.1.1 Basit Ölçekleme Yönteminin Anlamlı Süreleri ile Hesap Sonuçları

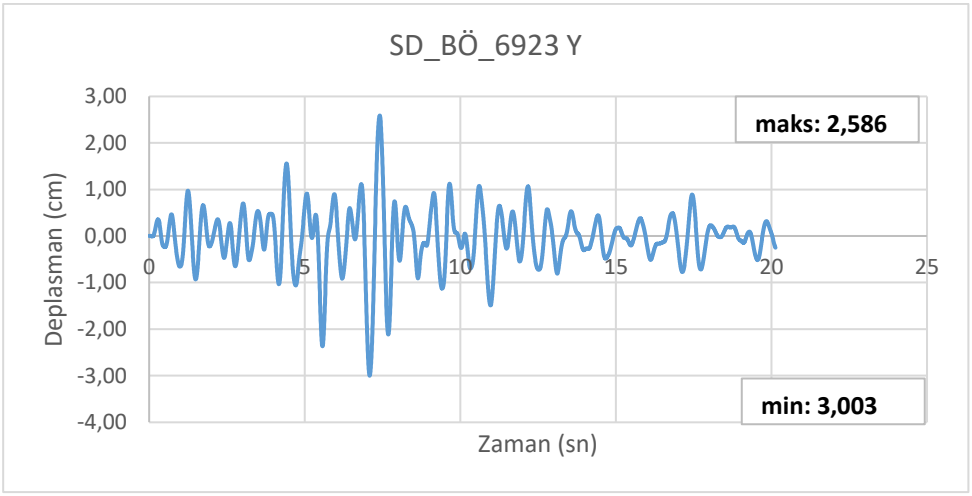
- SD BÖ yönteminden elde edilen çatı deplasman değerleri Şekil 6.2'de verilmiştir. Deplasman değerleri toplu halde Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.2 SD BÖ çatı deplasman değerleri (cm)







Şekil 6.2 SD BÖ çatı deplasman değerleri (cm) (devamı)

Tablo 6.1 SD BÖ çatı deplasman değerleri (cm)

cm	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	1,690	1,473	0,998	0,947
1157	0,414	0,367	0,714	0,704
6923	2,469	2,511	2,586	3,003
Ortalama	1,524	1,450	1,433	1,551

- SD BÖ yönteminden elde edilen verilerle yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2 SD BÖ taban kesme kuvvetleri (kN)

kN	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	10115,94	11533,86	5192,79	5972,15
1157	4138,72	4367,23	4208,45	4681,69
6923	13237,98	13393,66	11979,13	10779,63
Ortalama	9164,22	9764,91	7126,79	7144,49

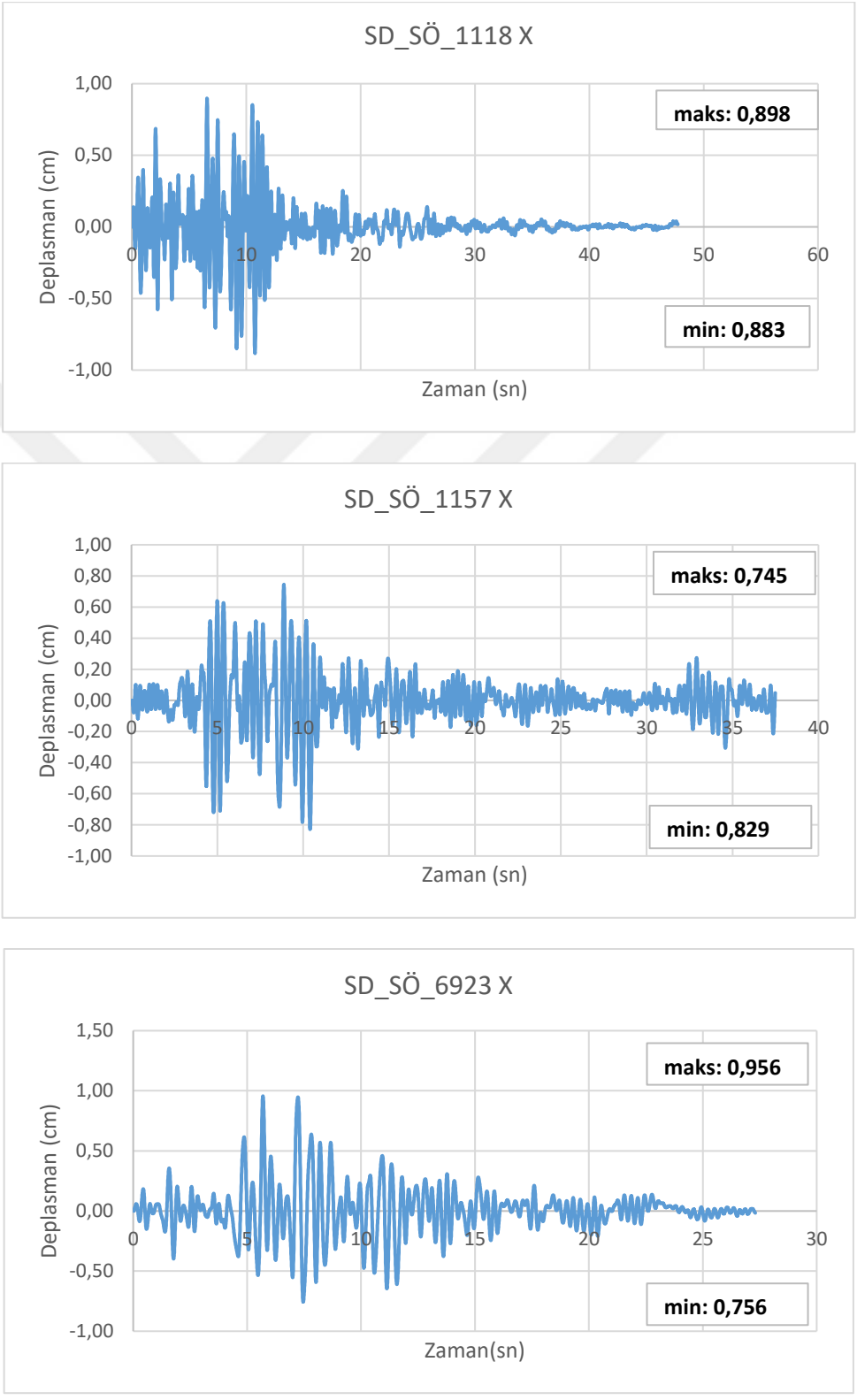
- Tablo 6.3'te maksimum basınç noktası ve maksimum çekme noktası için birim şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 6.3 SD BÖ maksimum basınç noktası birim şekil değiştirme değerleri

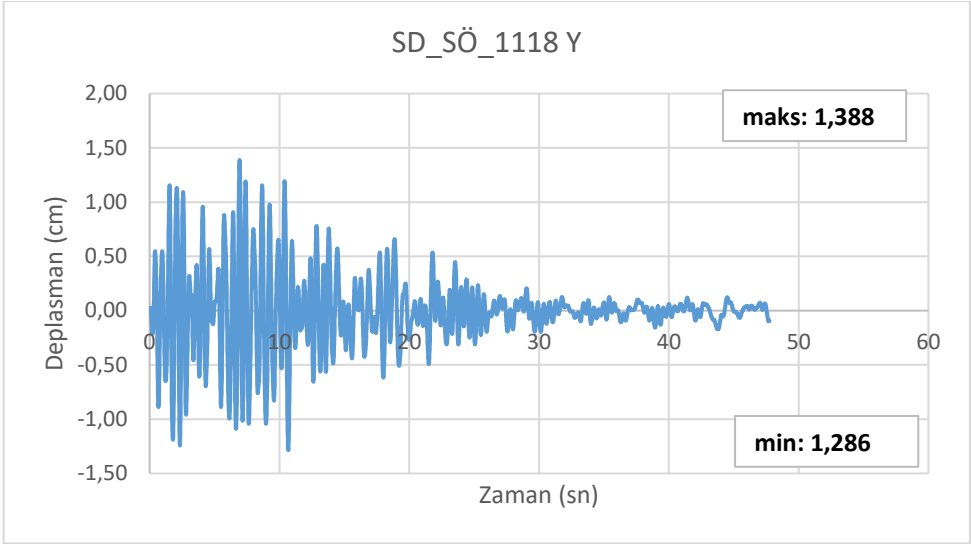
Birimsiz			MAKS BASINÇ NOKTASI (W17/2420)			MAKS ÇEKME NOKTASI (W2/1687)
DEPREM	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**
1118	-0,00101	0,00315	0,00315	-0,00121	0,00448	0,00448
1157	-0,00062	0,00121	0,00121	-0,00048	0,00076	0,00076
6923	-0,00650	0,00809	0,00809	-0,00212	0,01048	0,01048
Ortalama	-0,00271	0,00415	0,00415	-0,00127	0,00524	0,00524

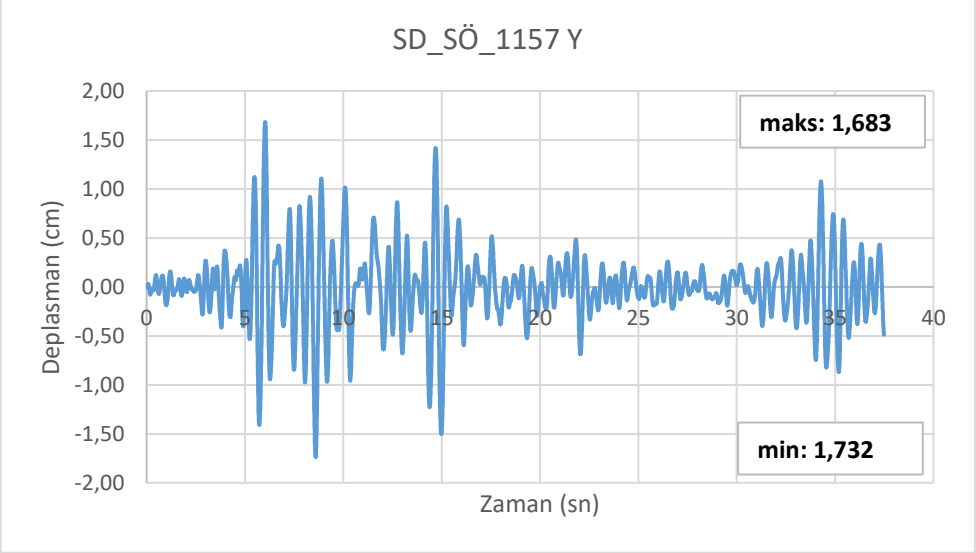
6.1.2 Spektral Dönüşüm Yönteminin Anlamlı Süreleri ile Hesap Sonuçları

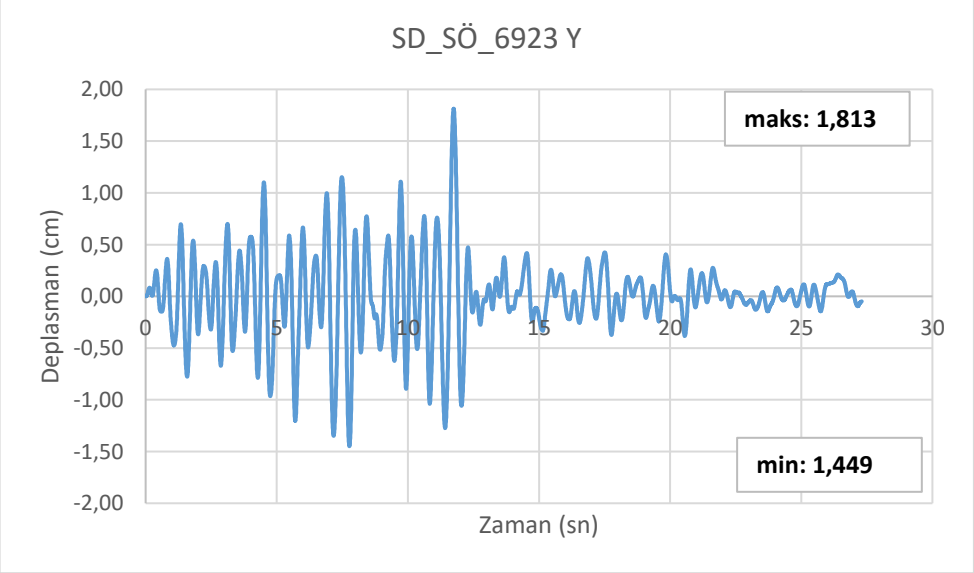
- SD SÖ yönteminden elde edilen çatı deplasman değerleri Şekil 6.3'te verilmiştir. Deplasman değerleri toplu halde Tablo 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.3 SD SÖ çatı deplasman değerleri (cm)







Şekil 6.3 SD SÖ çatı deplasman değerleri (cm) (devamı)

Tablo 6.4 SD SÖ Çatı deplasman değerleri (cm)

cm	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	0,898	0,883	1,338	1,286
1157	0,745	0,829	1,683	1,732
6923	0,956	0,756	1,813	1,449
Ortalama	0,866	0,823	1,611	1,489

- SD SÖ yönteminden elde edilen verilerle yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5 SD SÖ taban kesme kuvvetleri (kN)

kN	X-X Doğrultusu		Y-Y Doğrultusu	
Deprem	***U1***	***-U1***	***U2***	***-U2***
1118	7204,20	7766,51	7677,43	7669,44
1157	7003,62	6139,21	8124,79	8304,17
6923	6279,12	8040,83	6907,62	8899,30
Ortalama	6828,75	7315,80	7476,57	8150,19

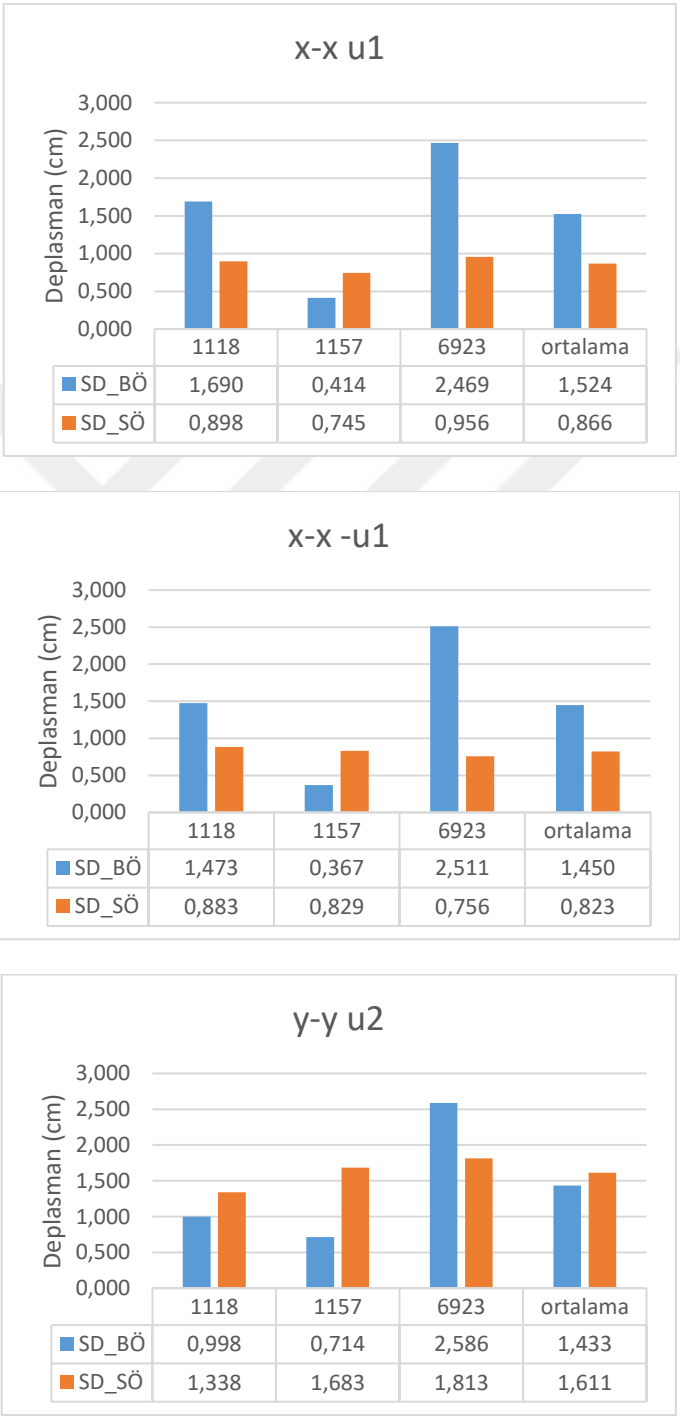
- Tablo 6.6'da maksimum basınç noktası ve maksimum çekme noktası için birim şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 6.6 SD SÖ maksimum basınç noktası birim şekil değiştirme değerleri

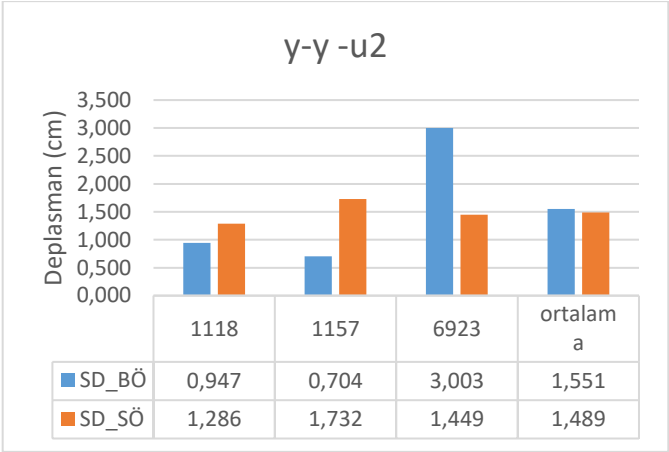
Birimsiz				MAKS BASINÇ NOKTASI (W19/2429)		
DEPREM	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**	**BETON**	**ALT DONATI**	**ÜST DONATI**
1118	-0,00117	0,003085	0,003085	-0,00125	0,003109	0,003109
1157	-0,00162	0,002768	0,002768	-0,00104	0,004648	0,004648
6923	-0,00153	0,004431	0,004431	-0,00154	0,004207	0,004207
Ortalama	-0,00144	0,00343	0,00343	-0,00127	0,00399	0,00399

6.1.3 Sonuçlarının Karşılaştırılması

- Bu bölümde SD BÖ ve SD SÖ yönteminden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır Şekil 6.4'te grafik üzerinde çatı deplasman değerleri karşılaştırma yapılmıştır.



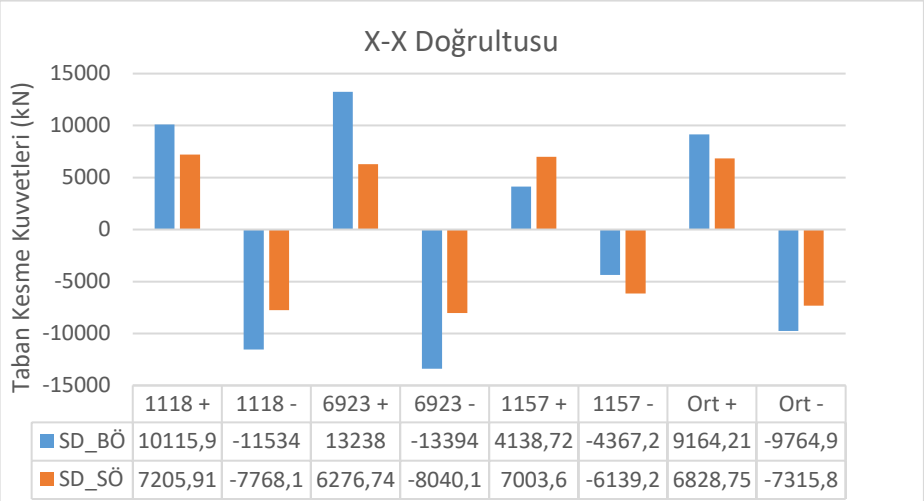
Şekil 6.4 SD BÖ ve SD SÖ çatı deplasman değerleri (cm)



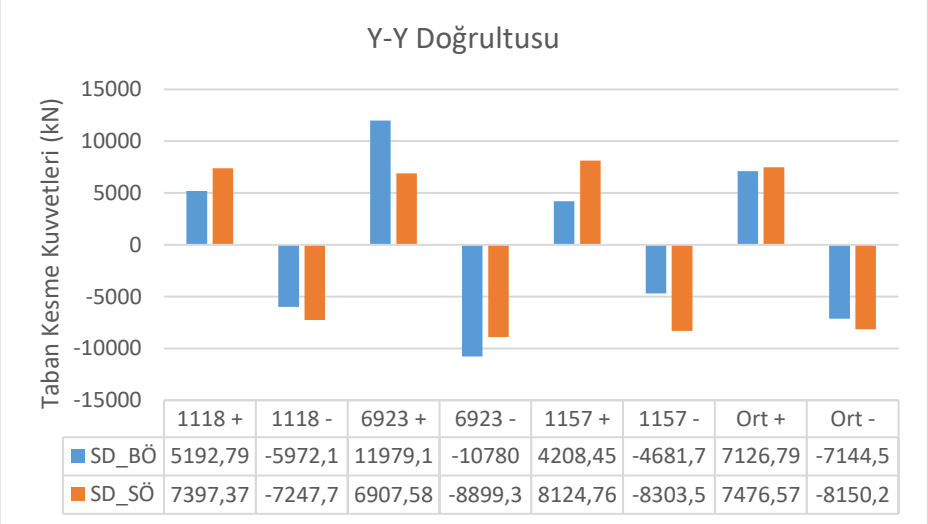
	1118	1157	6923	ortalama
SD_BÖ	0,947	0,704	3,003	1,551
SD_SÖ	1,286	1,732	1,449	1,489

Şekil 6.4 SD BÖ ve SD SÖ çatı deplasman değerleri (cm) (devamı)

- BÖ ve SÖ yönteminden elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 6.5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



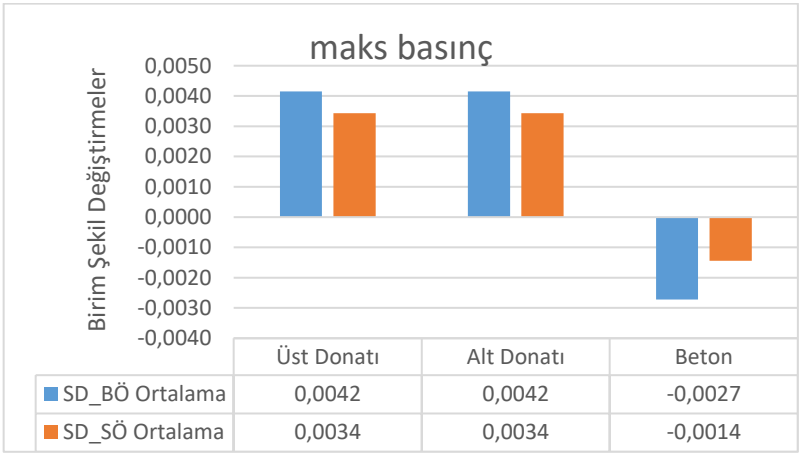
	1118 +	1118 -	6923 +	6923 -	1157 +	1157 -	Ort +	Ort -
SD_BÖ	10115,9	-11534	13238	-13394	4138,72	-4367,2	9164,21	-9764,9
SD_SÖ	7205,91	-7768,1	6276,74	-8040,1	7003,6	-6139,2	6828,75	-7315,8

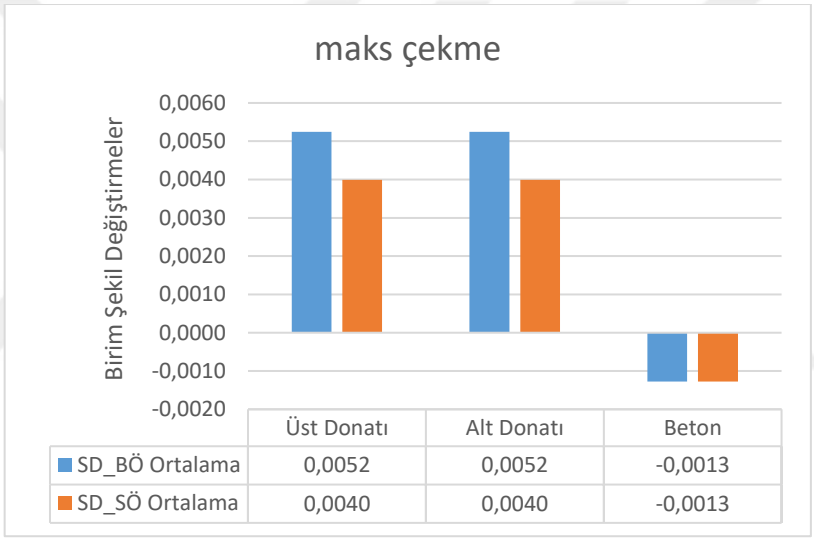


	1118 +	1118 -	6923 +	6923 -	1157 +	1157 -	Ort +	Ort -
SD_BÖ	5192,79	-5972,1	11979,1	-10780	4208,45	-4681,7	7126,79	-7144,5
SD_SÖ	7397,37	-7247,7	6907,58	-8899,3	8124,76	-8303,5	7476,57	-8150,2

Şekil 6.5 SD BÖ ve SD SÖ taban kesme kuvvetleri (kN)

- SD BÖ ve SD SÖ için elde edilen birim şekil değiştirme değerleri Şekil 6.6'da karşılaştırmalı grafikler sunulmuştur.





Şekil 6.6 SD BÖ ve SD SÖ birim şekil değiştirme değerleri

6.2 Tam Kayıt ve Anlamlı Süreler ile Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması

Bu bölümde tam kayıt ve anlamlı süreler kullanılarak yapılan analizlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

- BÖ: Basit Ölçekleme Yöntemini
- SÖ: Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme Yöntemini
- SD: Anlamı süre (Significant Duration)

Kavramlarını temsil etmektedir.

- Çatı deplasman değerlerinin karşılaştırılması (Tablo 6.7);

Tablo 6.7 Çatı deplasman değerleri

MUTLAK MAKS ORTALAMA ÇATI DEPLASMANLARI			
İŞLEM	**YÖNTEM**	**X-X Doğrultusu**	**Y-Y Doğrultusu**
A	**BÖ**	1,523	1,553
B	**SD_BÖ**	1,524	1,551
A/B		0,999	1,001
C	**SÖ**	0,870	1,627
D	**SD_SÖ**	0,866	1,611
C/D		1,005	1,010

- Taban kesme kuvvetlerinin (Tablo 6.8) ve bina ağırlığına oranlarının karşılaştırılması (Tablo 6.9);

Tablo 6.8 Taban kesme kuvvetleri

MUTLAK MAKS ORTALAMA TABAN KESME KUVVETLERİ			
İŞLEM	**YÖNTEM**	**X-X Doğrultusu**	**Y-Y Doğrultusu**
A	**BÖ**	9773,990	7293,100
B	**SD_BÖ**	9764,910	7144,490
A/B		1,001	1,021
C	**SÖ**	7315,520	8290,970
D	**SD_SÖ**	7315,800	8150,190
C/D		1,000	1,017

Tablo 6.9 Taban kesme kuvvetlerinin bina ağırlığına oranları

TABAN KESME KUVVETİ/ BİNA AĞIRLIĞI ORANLARI			
İŞLEM	**YÖNTEM**	**X-X Doğrultusu**	**Y-Y Doğrultusu**
A	**BÖ**	-0,434	-0,324
B	**SD_BÖ**	-0,433	-0,317
IA/BI		1,001	1,021
C	**SÖ**	-0,325	-0,368
D	**SD_SÖ**	-0,325	-0,362
IC/DI		1,000	1,017
Bina ağırlığı G+0,3Q için 22543,588 kN'dur.			

- Birim şekil değiştirmelerin karşılaştırılması (Tablo 6.10);

Tablo 6.10 Birim şekil değiştirmeler

ORTALAMA BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME DEĞERLERİ							
İŞLEM	YÖNTEM	MAKS BASINÇ NOKTASI (W17/2420)			MAKS ÇEKME NOKTASI (W2/1687)		
		BETON	ALT DONATI	ÜST DONATI	BETON	ALT DONATI	ÜST DONATI
A	BÖ	-0,00273	0,00415	0,00415	-0,00128	0,00525	0,00525
B	SD_BÖ	-0,00271	0,00415	0,00415	-0,00127	0,00524	0,00524
A/B		1,00590	1,00024	1,00024	1,00394	1,00095	1,00095
C	SÖ	-0,00144	0,00343	0,00343	-0,00127	0,00400	0,00400
D	SD_SÖ	-0,00144	0,00343	0,00343	-0,00127	0,00399	0,00399
C/D		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00251	1,00251

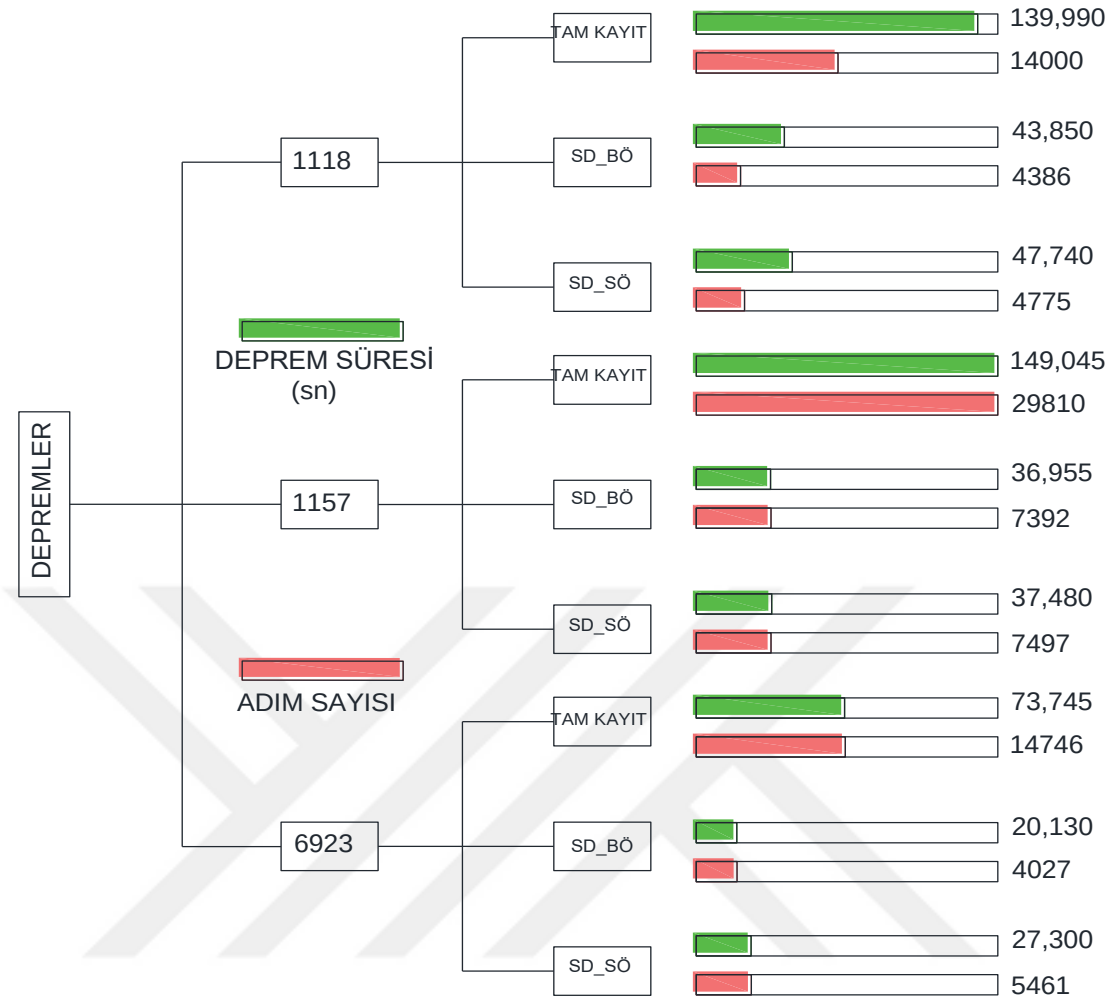
- Deprem verileri (Tablo 6.11), (Şekil 6.7) ve analiz sonuçlarına (Tablo 6.12), (Şekil 6.8) göre karşılaştırma;

Tablo 6.11 Deprem verilerine göre karşılaştırma

DEPREM	VERİ	TAM KAYIT	SD_BÖ	SD_BÖ %Azalış	SD_SÖ	SD_SÖ %Azalış
1118	Toplam Zaman (sn)	139,990	43,850	68,7	47,740	65,9
	Adım Sayısı	14000	4386		4775	
1157	Toplam Zaman (sn)	149,045	36,955	75,2	37,480	74,9
	Adım Sayısı	29810	7392		7497	
6923	Toplam Zaman (sn)	73,745	20,130	72,7	27,300	63,0
	Adım Sayısı	14746	4027		5461	

Tablo 6.12 Analiz sonuçlarına göre karşılaştırma

	Toplam Analiz Süresi			Depolama Alanı
YÖNTEM	sn	dk	sa	GB
BÖ	106348,87	1772,48	29,54	891
SD_BÖ	42784,25	713,07	11,88	240
%Azalış	59,8			73,1
SÖ	127365,94	2122,77	35,38	891
SD_SÖ	52955,48	882,59	14,71	270
%Azalış	58,4			69,7



Şekil 6.7 Deprem verilerine göre karşılaştırma



Şekil 6.8 Analiz sonuçlarının ortalamasına göre karşılaştırma

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada altı katlı tünel kalıp sistemli bir bina üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak TBDY 2018 esaslarına göre deprem performansı belirlenmiştir. Analizlerde kullanılan depremler Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de önerilen Basit Ölçekleme ve Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yöntemleriyle ayrı ayrı ölçeklenmiş ve bu ölçekleme yöntemlerinin TKS binalar için elde edilen deprem performansına etkisi incelenmiştir. Buna ek olarak ölçeklenmiş deprem kayıtları, Güçlü Yer Hareketi yöntemlerinden biri olan Anlamlı Süreler Yöntemi kullanılarak kısaltılmış ve analizler tekrarlanmıştır. Buradaki amaç yer hareketi kayıtlarının bütün olarak kullanılması yerine analiz sürelerinin kısaltılmasını ve depolama alanından tasarruf edilmesini sağlayan Güçlü Yer Hareketi kısmının dikkate alınmasının elde edilen deprem performansında herhangi bir farklılık oluşturup oluşturmayacağının belirlenmesidir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Deprem kaydı ölçekleme yöntemleri açısından:

- Basit Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında X-X doğrultusunda elde edilen en büyük çatı yerdeğiştirmesi 2,51 cm iken Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında aynı doğrultuda elde edilen en büyük çatı yerdeğiştirmesi 0,96 cm'dir. Üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum değerler dikkate alındığında X-X doğrultusu için BÖ yöntemi SÖ yönteminden 2,57 kat daha büyük sonuç vermiştir. Fakat 3 depremin ortalaması göz önüne alındığında BÖ yöntemi SÖ yönteminden 1,77 kat daha büyük sonuç vermiştir.

- Basit Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında Y-Y doğrultusunda elde edilen en büyük çatı yerdeğiştirmesi 3,01 cm iken Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında aynı doğrultuda elde edilen en büyük çatı yerdeğiştirmesi 1,81 cm'dir. Üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum değerler dikkate alındığında Y-Y doğrultusu için BÖ yöntemi SÖ yönteminden 1,66 kat daha büyük sonuç vermiştir. Fakat 3 depremin ortalaması göz önüne alındığında BÖ yöntemi ve SÖ yönteminden elde edilen çatı yerdeğiştirmelerinin yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Basit Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında X-X doğrultusunda elde edilen en büyük taban kesme kuvveti 13401 kN iken Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında aynı doğrultuda elde edilen en büyük taban kesme kuvveti 8040,8 kN'dur. Üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum değerler dikkate alındığında X-X doğrultusu için BÖ yöntemi SÖ yönteminden 1,67 kat daha büyük sonuç vermiştir. Fakat 3 depremin ortalaması göz önüne alındığında BÖ yöntemi SÖ yönteminden 1,34 kat daha büyük sonuç vermiştir.
- Basit Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında Y-Y doğrultusunda elde edilen en büyük taban kesme kuvveti 11991,35 kN iken Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yöntemi ile ölçeklenen kayıtlar kullanıldığında aynı doğrultuda elde edilen en büyük taban kesme kuvveti 8899,3 kN'dur. Üç adet deprem kaydından elde edilen maksimum değerler dikkate alındığında Y-Y doğrultusu için BÖ yöntemi SÖ yönteminden 1,35 kat daha büyük sonuç vermiştir. Fakat 3 depremin ortalaması göz önüne alındığında BÖ yöntemi SÖ yöntemiyle yakın sonuçlar vermiştir.
- En büyük birim kısalmanın meydana geldiği perde elemanında BÖ yöntemi ile elde edilen ortalama beton birim kısalması 0,0027 iken bu değer SÖ yöntemi kullanıldığında 0,0014'tür. Elde edilen veriler göz önüne alındığında BÖ yöntemi daha olumsuz sonuçlar vermektedir.

- En büyük birim uzamanın meydana geldiği perde elemanında BÖ yöntemi ile elde edilen ortalama donatı birim şekil değiştirmesi 0,0052 iken bu değer SÖ yöntemi kullanıldığında 0,0040'tır. Elde edilen veriler göz önüne alındığında BÖ yöntemi daha olumsuz sonuçlar vermektedir.
- *Elde edilen veriler göz önüne alındığında Basit Ölçekleme yöntemi, Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçekleme yönteminden genel olarak daha elverişsiz sonuçlar vermektedir.*

Güçlü Yer Hareketi kısmı açısından:

- Çatı yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvveti ve malzeme birim şekil değiştirmeleri açısından deprem kaydının tümünün kullanılması ile elde edilen sonuçlar deprem kaydının yalnızca Güçlü Yer Hareketi kısmının kullanılması ile elde edilen sonuçlar arasındaki fark gözardı edilebilecek derecede azdır.
- Deprem kayıtlarının Güçlü Yer Hareketi kısmının kullanılması tam kayıt deprem verileri kullanılmasına göre *veri depolama alanında yaklaşık %70* oranında bir tasarruf sağlamaktadır.
- Deprem kayıtlarının Güçlü Yer Hareketi kısmının kullanılması tam kayıt deprem verileri kullanılmasına göre *analiz süresinde yaklaşık %60* oranında bir tasarruf sağlamaktadır.
- *Tünel kalıp sistemli binaların doğrusal olmayan deprem hesabında tam kayıt deprem verileri yerine depremin Güçlü Yer Hareketi kısmının kullanılması, binanın deprem etkisi altında elde edilen tepkilerinde bir değişikliğe neden olmadığı gibi analiz sürelerinde ve depolama alanında oldukça önemli bir tasarruf sağlamaktadır.*

7.2 Öneriler

Bu çalışma 6 katlı ve ZD bir zemin üzerine inşa edilmiş Tünel Kalıp Sistemli bir bina için gerçekleştirilmiştir. Çalışma farklı yüksekliklerdeki Tünel Kalıp Sistemli binalar için daha fazla sayıda deprem yer hareketi kullanılarak ve farklı zemin sınıfları dikkate alınarak genişletilmelidir. Ayrıca yapı-zemin etkileşiminin ve

yakın fay etkilerinin de elde edilen sonuçlar açısından incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] C. Balkaya, ve E. Kalkan, “Seismic vulnerability, behaviour and design of tunnel form building structures”, Engineering Structures, 26, 14, 2081-2099, 2004.

[2] R. K. Goel, ve A. K. Chopra, “Period formulas for concrete shear wall buildings”, journal of structural engineering, 124, 4, 426-433, 1998.

[3] L. H. Lee, K. K. Chang, ve Y. S. Chun, "Experimental formula for the fundamental period of rc buildings with shear-wall dominant systems", the structural design of tall buildings, 9, 4, 295-307, 2000.

[4] C. Balkaya, ve E. Kalkan, “Estimation of fundamental periods of shear-wall dominant building structures”, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 32, 7, 985-998, 2003.

[5] A. Tavafoghi, ve S. Eshgi, “Seismic behaviour of tunnel form concrete building structures”, 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008, 12-17.

[6] C. Balkaya, S. B. Yüksel, ve O. Derinöz, “Soil-structure interaction effects on the fundamental periods of the shear-wall dominant buildings”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21, 6, 416-430, 2012.

[7] C. Balkaya, ve E. Kalkan, "Tünel kalıp ile inşa edilen yapıların deprem yükleri altındaki davranışları", ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 2002.

[8] V. Mohsenian, A. Nikkhoo, ve I. Hajirasouliha. "Estimation of seismic response parameters and capacity of irregular tunnel-form buildings", Bulletin of Earthquake Engineering, 17, 9, 5217-5239, 2019.

[9] S. B. B. Aval, ve M. J. Asayesh, "Seismic performance evaluation of asymmetric reinforced concrete tunnel form buildings", Structures, 10, 157-169, 2017.

[10] V. Mohsenian, ve A. Nikkhoo, "A study on the effects of vertical mass irregularity on seismic performance of tunnel-form structural system", Adv. Concr. Construct., 7, 3, 131-141, 2019.

[11] S. B. B. Aval, V. Mohsenian, ve S. K. Hamed, "Seismic performance-based assessment of tunnel form building subjected to near-and far-fault ground motions", Asian Journal of Civil Engineering, 19, 1, 79-92, 2018.

[12] V. Mohsenian, A. Nikkhoo, ve F. Hejazi, "An investigation into the effect of soil-foundation interaction on the seismic performance of tunnel-form buildings", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125, 105747, 2019.

[13] S. B. Yuksel, ve E. Kalkan, "Behaviour of tunnel form buildings under quasi-static cyclic lateral loading", Structural Engineering and Mechanics, 27, 1, 99, 2007.

[14] C. Balkaya, I. Karagoz, ve I. Gunal, "Improving torsional rigidity and seismic performance of tunnel form building structures", International Journal of Engineering Technologies IJET, 3, 3, 124-134, 2017.

[15] A. Hamid, N. Hayati, S. Anuar, H. Awang, ve M. K. Effendi, "Seismic behaviour of tunnel form building under lateral cyclic loading", Journal of Engineering & Technological Sciences, 50, 2, 224-239, 2018.

[16] J. Nasvik, “Building with tunnel forms”, Concrete Construction Magazine, 2003.

[17] Ş. Ercan, “Konut alanında endüstrileşmenin sorunları ve geleceği", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.

[18] H. Şimşek, “Çok katlı yapılarda tünel kalıp uygulaması ve bu yapıların projelendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

[19] A. Çiçek, “Tünel kalıp yapım sistemi ile toplu konut tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1985

[20] NERU kalıp ve uzay kafes sistemleri, https://www.neru.com.tr/veri/dosyalar/tunel.pdf, 24.01.2023

[21] O. Paçacı, “Konut üretiminde tünel kalıp teknolojisi”, Yapı Endüstri Merkezi, 51, 1985.

[22] Y. Erbil, “Toplu konutlarda tünel kalıp uygulamaları”, Dünya İnşaat Dergisi, 2, 2005.

[23] S. Tepebaş, “Tünel kalıp sistemlerin geleneksel kalıp sistemleri ile maliyet açısından uygulamalı karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

[24] M. C. Çelebioğlu, “Tünel kalıp sistemine göre tasarlanan perdeli yapılar ve perdeli yapıların farklı modelleme yöntemleriyle çözümlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.

[25] E. Sarıçay, “Tünel kalıpla inşa edilen binaların deprem yükleri etkisindeki davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

[26] N. N. Bulgu, “Tünel kalıpla inşa edilen binaların deprem yükleri etkisindeki davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

[27] A. Boyacı, “Tünel kalıp sistemiyle çok katlı toplu konut üretiminde tasarım kısıtlamaları üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990.

[28] E. H. Oğuzalp, ve S. Korur, “Toplu konut üretiminde tünel kalıp sistemi uygulamaları ve karşılaşılan sorunlar”, 2005.

[29] Z. Özdemir, Y. M. Fahjan, “Gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak zaman ve frekans tanım alanlarında ölçekleme yöntemlerinin karşılaştırılması”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 2007, 16-20.

[30] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018

[31] J. J. Bommer, ve A. Marytínezpereira, “The effective duration of earthquake strong motion”, J. Earthq. Eng., 3, 2, 127–172, 1999.

[32] T. Makarios, “Design characteristic value of the arias intensity magnitude for artificial accelerograms compatible with hellenic seismic hazard zones” 2, 1, 87-98, 2015.

[33] O.Görgülü, “Mevcut betonarme okul binalarında güçlendirme perdelerinin etkinliğinin doğrusal olmayan dinamik analiz ile irdelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

[34] Y. M. Fahjan, K. Başak, J. Kubin, ve T. M. Tan, “Perdeli betonarme yapılar için doğrusal olmayan analiz metotları”, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 2011, 30.

[35] V. Mohsenian, I. Hajirasouliha, S. Mariani, A. Nikkhoo, "Seismic reliability assessment of rc tunnel-form structures with geometric irregularities using a combined system approach", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 139, 106356, 2020.

[36] “SAP2000” Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

[37] Pacific earthquake engineering research center https://ngawest2.berkeley.edu/ 24.01.2023

[38] “SeismoSignal” Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Pavia, Italy.

[39] “SeismoMatch.” Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Pavia, Italy.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

[1] İ. Tozlu, ve M. Börekçi, “Effects of Using Different Ground Motion Scaling Methods on the Estimation of Seismic Behavior of Tunnel-Form Buildings.” 2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, 2022, 177.