

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞEY DEPREM YER HAREKETİNİN ÖNÜRETİMLİ
BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA ETKİSİ

YAKUP ÇEVİK

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞEY DEPREM YER HAREKETİNİN ÖNÜRETİMLİ
BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA ETKİSİ

YAKUP ÇEVİK

Dr. Öğr. Üyesi Hilal MEYDANLI ATALAY
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ENGİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZGÜR
Jüri Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle, lisans ve lisansüstü eğitim hayatım süresince beni yönlendiren, yaşadığım her türlü problem karşısında kıymetli vaktini ayırıp bilgi ve tecrübesiyle daima çözüme ulaşmamı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hilal MEYDANLI ATALAY'a tüm emekleri ve hoşgörüsü için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni büyüten ve yetiştiren, hayatım boyunca en iyi yerlere gelmem için desteklerini her zaman ve her şekilde hissettiren, varlıkları sayesinde karşılaştığım engelleri daha kolay aştığım, haklarını asla ödeyemeyeceğim değerli annem, babam ve kardeşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Haziran – 2021

Yakup ÇEVİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Önüretimli Yapılar	4
1.1.1. Önüretimli yapıların avantajları	4
1.1.2. Önüretimli yapıların dezavantajları.....	5
1.2. Önüretimli Yapıların Davranışı.....	6
1.3. Yer Hareketi Düşey Bileşeni.....	6
1.3.1. Spektral oran (PGAV / PGAH).....	7
1.3.2. Frekans içeriği	8
1.3.3. Maksimum düşey ve yatay ivme arasındaki zaman aralığı.....	9
1.4. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	9
2. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNALARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIM İLKELERİ	15
2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.....	15
2.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	16
2.3. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.....	17
2.4. Deprem Tasarım Sınıfları	17
2.5. Bina Yükseklik Sınıfları	18
2.6. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı.....	18
2.7. Dayanım Fazlalığı Katsayısı	19
2.8. Deprem Etkilerinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	19
2.8.1. Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu.....	19
2.8.2. Yatayda deprem etkilerinin birleştirilmesi	19
2.8.3. Düşey deprem etkisi	20
2.8.4. Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi.....	20
2.9. Hesap Yöntemleri.....	20
2.9.1. Zaman-tanım alanında doğrusal hesap yöntemi.....	20
2.9.2. Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	21
2.9.2.1. P-Δ ikinci mertebeye etkileri	21
2.9.2.2. Malzeme ve kesit kabulleri	21
2.9.2.3. Plastik mafsal tanımı	22
2.10. Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması	22
2.11. Yapı Düzensizlikleri.....	24
3. ÖNÜRETİMLİ BETONARME YAPILARIN DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİ ETKİSİNDE ANALİZİ	26

3.1. Önüretimli Binanın Geometrik Özellikleri.....	26
3.2. Malzeme ve Zemin Özellikleri.....	27
3.3. Yük Tanımları	27
3.4. Doğrusal Olmayan Model	29
3.5. Deprem Parametreleri.....	31
3.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi	31
3.6.1. Deprem kayıtlarının seçilmesi.....	31
3.6.2. Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi	33
4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	35
4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Hesap Sonuçları.....	36
4.1.1. Göreli kat ötelenmeleri.....	36
4.1.2. Taban kesme kuvvetleri.....	40
4.1.3. Taban devrilme momentleri	43
4.1.4. Kolon aksenal kuvvetleri.....	45
4.2. Zaman-Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçları.....	47
4.2.1. Göreli kat ötelenmeleri.....	47
4.2.2. Taban kesme kuvvetleri.....	50
4.2.3. Taban devrilme momentleri	53
4.2.4. Kolon aksenal kuvvetleri.....	55
4.2.5. Performans düzeylerinin değerlendirilmesi	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62
EKLER	65
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	79
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	El-centro depreminde meydana gelen sırasıyla düşey(0,18g) ve yatay(0,28g) ivme-zaman geçmişi.....	8
Şekil 1.2.	El-centro depremi için yatay ve düşey yer hareketinin, Fourier spektrumlarının ve Arias yoğunluklarının karşılaştırılması.....	9
Şekil 2.1.	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu.....	16
Şekil 2.2.	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu.....	17
Şekil 2.3.	P-Δ ikinci mertebe etkisinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.4.	Planda çıkıntılar bulunması	24
Şekil 3.1.	Önüretimli betonarme bina modeli.....	27
Şekil 3.2.	Plastik mafsalların kesit içerisindeki konumu.....	29
Şekil 3.3.	Önüretimli kolonların moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramı.....	30
Şekil 3.4.	Gerçek deprem ivme kaydının yatay tasarım spektrumu.....	34
Şekil 3.5.	Gerçek deprem ivme kaydının düşey tasarım spektrumu.....	34
Şekil 4.1.	Model-1 için kat ötelenmeleri.....	37
Şekil 4.2.	Model-2 için kat ötelenmeleri.....	38
Şekil 4.3.	Model-3 için kat ötelenmeleri.....	39
Şekil 4.4.	Model-1 için taban kesme kuvvetleri.....	40
Şekil 4.5.	Model-2 için taban kesme kuvvetleri.....	41
Şekil 4.6.	Model-3 için taban kesme kuvvetleri.....	42
Şekil 4.7.	Model-1 için taban devrilme momentleri.....	43
Şekil 4.8.	Model-2 için taban devrilme momentleri.....	44
Şekil 4.9.	Model-3 için taban devrilme momentleri.....	45
Şekil 4.10.	Model-1, Model-2 ve Model-3 için kolon aksenal kuvvetleri.....	46
Şekil 4.11.	Model-1 için kat ötelenmeleri.....	47
Şekil 4.12.	Model-2 için kat ötelenmeleri.....	48
Şekil 4.13.	Model-3 için kat ötelenmeleri.....	49
Şekil 4.14.	Model-1 için taban kesme kuvvetleri.....	50
Şekil 4.15.	Model-2 için taban kesme kuvvetleri.....	51
Şekil 4.16.	Model-3 için taban kesme kuvvetleri.....	52
Şekil 4.17.	Model-1 için taban devrilme momentleri.....	53
Şekil 4.18.	Model-2 için taban devrilme momentleri.....	54
Şekil 4.19.	Model-3 için taban devrilme momentleri.....	55
Şekil 4.20.	Model-1, Model-2 ve Model-3 için kolon aksenal kuvvetleri.....	56

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Çeşitli deprem kayıtlarındaki ivme değerleri ve spektral oranlar.....	7
Tablo 2.1.	Deprem tasarım sınıfları (DTS)	18
Tablo 3.1.	Modellerde kullanılan malzeme özellikleri.....	28
Tablo 3.2.	Hareketli yük kütle katılım katsayısı.....	28
Tablo 3.3.	Özdeğer analizi sonuçları.....	29
Tablo 3.4.	Deprem parametreleri.....	31
Tablo 3.5.	Seçilen yer hareketi kayıtları ve sismik parametreleri.....	32
Tablo 4.1.	Bir deprem yer hareketi için oluşturulan yükleme durumları.....	35
Tablo 4.2.	Model -1 için moment-dönme davranışı.....	57
Tablo 4.3.	Model -2 için moment-dönme davranışı.....	57
Tablo 4.4.	Model -3 için moment-dönme davranışı.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(EI)_e$: Etkin kesit rijitliği
\emptyset_y	: Plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliği
$\delta_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi
$\delta_{i,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
θ_y	: Akma dönmesi
$\Delta_i^{(X)}$: Azaltılmış görelî kat ötelemesi
ϵ_{sh}	: Çeliğin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değıştirmesi
ϵ_{su}	: Çeliğin kopma durumunda birim şekil değıştirmesi
ϵ_{sy}	: Çeliğin akma durumunda birim şekil değıştirmesi
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
d_b	: Donatı çeliklerinin ortalama çapı
$E_d^{(Y)}$: Y doğrultusundaki deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$: Düşey doğrultudaki deprem etkisi
$E_d^{(H)}$: Tasarıma esas yatay deprem etkisini
$E_d^{(X)}$: X doğrultusundaki deprem etkisi
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) akma dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{su}	: Çeliğin çekme dayanımı
f_{sy}	: Çeliğin akma dayanımı
f_{ye}	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
G	: Sabit yük etkisi
H	: Zemin yatay itkisi
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
L_s	: Kesme açıklığı
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'ünün toplam kütlesi

$m_{txn}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
$m_{txn}^{(Y)}$: (Y) deprem doğrultusu için binanın x eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
M_y	: Etkin akma momentlerinin ortalaması
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
PGA	: En büyük yer ivmesi (g)
PGAH	: Yer hareketinin yatay doğrultuda pik ivme değeri (g)
PGAV	: Yer hareketinin düşey doğrultuda pik ivme değeri (g)
PGV	: En büyük yer hızı (cm/sn)
Q	: Hareketli yük etkisi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_{jb}	: Deprem odağına olan uzaklık (km)
S	: Kar yükü etkisi
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aeD}(T)$: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları
T_{AD}, T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
$u_i^{(x)}$: Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme
$u_{i-1}^{(x)}$: Binanın (i-1)'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirme
$V_{s,30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)

Kısaltmalar

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi)
SAP2000	: Structural Analysis Program (Yapısal Analiz Programı)
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

DÜŞEY DEPREM YER HAREKETİNİN ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNALARIN DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Deprem meydana geldiğinde, yer hareketi dalgaları, yeryüzü boyunca yatay ve düşey doğrultuda üç boyutlu olarak yayılım göstermektedir. Uzun yıllar boyunca bu alanda çalışma yürüten deprem mühendisleri, mevcut bilgi birikimi ve teknoloji imkanları dahilinde yer hareketinin ana bileşeni olan yatay doğrultudaki etkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak depreme dayanıklı yapı tasarımında son yıllarda önemi artan ve çalışma konusu olan düşey bileşen etkisinin, yapı elemanlarında düşey doğrultuda oluşan iç kuvvetlerde ciddi değişimlere ve bununla birlikte yapılarda önemli hasar ve göçmelere sebep olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, yer hareketinin düşey bileşeninin önüretimli betonarme binalar üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma içeriğini oluşturan zaman-tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere literatürde düşey bileşeninin etkisinin anlaşılması konusunda önemli bir yere sahip deprem ivme kayıtları seçilmiştir. Seçilen 12 adet kayıt Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 esaslarına göre SRSS yöntemi kullanılarak ölçeklenmiştir. Yapı modelinin oluşturulması, zaman tanım alanında analizlerde ve sonuçların değerlendirilmesinde SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarından yer hareketinin düşey bileşeninin yatay kat ötelenmesi değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Bununla birlikte faya yakın mesafeden elde edilen ve yüksek spektral orana sahip ivme kayıtları etkisinde binada oluşan taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentlerinde artış olduğu ölçülmüştür. Yer hareketinin düşey bileşeninin en belirgin etkisi kolon eksenel kuvvetlerinde olmuştur. İncelenen binalar deprem yönetmeliği tasarım esaslarına sağlayacak biçimde tasarlanırsa dahi fay hatlarına yakın mesafede inşa edilecek önüretimli betonarme binaların tasarımında düşey bileşeninin mutlaka hesaplara dahil edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Düşey Bileşeni, Deprem Yönetmeliği, Önüretimli Betonarme Bina, Spektral Oran, Zaman-Tanım Alanında Hesap Yöntemi.

THE EFFECT OF VERTICAL EARTHQUAKE GROUND MOTION ON THE BEHAVIOR OF PRECAST CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

When an earthquake occurs, ground motion waves spread around the earth in three dimensions in horizontal and vertical directions. Earthquake engineers, who have been conducted research in this field for many years, have focused on the effects in the horizontal direction, which is the main component of ground motion, within the current knowledge and technology possibilities. However, it has been observed that the vertical component effect, which has become more important in earthquake-resistant building design in recent years, causes an increase in the internal forces in the structural members, and causes damage and partial collapse at the building. It is aimed to investigate the effect of the vertical component of ground motion on precast reinforced concrete buildings. In this context, earthquake records, which are important in understanding the effect of the vertical component in the literature, have been selected to be used in the time-history analysis. The selected 12 records were scaled using the SRSS method according to the Turkish Building Earthquake Code-2018. The SAP2000 structural analysis program was used to create the building model, analyze the time history, and evaluate the results. The analysis results, it was determined that the vertical component of the ground motion did not affect the horizontal story drift values. However, under the effect of acceleration records with a high spectral ratio obtained from close distance to the fault, an increase in the base shear force and base overturning moments in the building was measured. The most significant effect of the vertical component of the ground motion was at the column axial forces. It has been concluded that the vertical component must be included in the design of precast reinforced concrete buildings to be built to the near-fault area, even if the design principles of the earthquake code are met in the design of the buildings examined.

Keywords: Vertical Ground Motion, Seismic Code, Precast Reinforced Concrete Building, Spectral Ratio, Time-History Analysis.

GİRİŞ

Prefabrikasyon, gelişen teknoloji ve ilerleyen mühendislik bilgisinin getirisi olarak ortaya çıkan bir yapım şeklidir. Prefabrikasyon, inşa sürecinin başından sonuna kadar hammadde niteliğindeki malzeme, işgücü, zaman ve paranın en verimli şekilde kullanılmasını sağlar. İşlem basamakları gerektiği gibi işlediği takdirde fabrika ortamında ekonomik, kaliteli, hızlı ve seri şekilde üretilen taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanları, şantiyeye nakliyesi gerçekleştirildikten sonra montaj işleminden geçer ve süreç tamamlanır. Üretimdeki hız ve kaliteye, montaj işlemi esnasında düşük işgücü eklendiğinde, prefabrikasyon ile üretilen yapılar monolitik yöntem ile üretilen yapılardan daha avantajlı imkanlara sahip olmaktadır. Çünkü monolitik yöntem ile üretilen yapılar gerçekleşebilecek yangın, deprem, temel oturması, korozyon gibi bütün doğal olayları yaşamış ve sınanmıştır, servis ömürleri ve bakım masrafları belirlenmiştir. Prefabrikasyon ile üretilen yapı elemanlarının ağırlığı azalmakta, bunun sonucu olarak deprem durumunda alacağı hasar ve temel oturması sorunu en düşük seviyelere inmektedir. Bu durumdan dolayı prefabrikasyon yöntemi özellikle endüstriyel yapılarda kullanılmaktadır ve yaygınlaşmasının getirdiği rekabet faktörü sayesinde firmalar, yeni bağlantı detayları, yeni taşıyıcı sistemler, yeni yapı elemanları ve yöntemler geliştirmektedir. Çalışmalar devam ederken, oluşan bilgi birikimi ile birlikte yayınlanan her yeni yönetmelikte veya şartnamede prefabrik (önüretimli) yapılara ilişkin bölümler kendine daha geniş yer bulmaktadır.

Bununla birlikte, önüretimli taşıyıcı sisteme sahip betonarme binaların deprem yükleri etkisindeki davranışı, daha çok depremin yatay bileşeni etkisinde inceleme konusu olmuştur. Düşey bileşenin depreme dayanıklı yapı tasarımında ihmal edilebilir seviyede kalması düşey bileşenin çoğu zaman yatay bileşenden daha zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yönetmelik kriterlerine uygun şekilde projelendirilip inşa edilmiş yapılarda düşey yüklere karşı büyük bir güvenlik faktörü mevcut olduğundan yer hareketinin düşey bileşeni son yıllara kadar hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Ancak, yakın geçmişte meydana gelen depremlerde yatay ivmeden daha büyük düşey deprem ivmeleri kaydedilmiş ve bu şiddetli depremler, depreme dayanıklı tasarım

kriterlerine göre tasarlanmış yapılarda bile yatay bileşenlerinin sebep olabileceğinden çok daha ağır yapısal hasarlar oluşmaktadır.

Planlanan çalışmanın amacı, önüretimli betonarme binaların, deprem yer hareketinin düşey bileşeni etkisi altında gösterdiği yapısal davranışı incelemektir. Literatürde son dönemlere kadar deprem yer hareketinin düşey bileşeni hakkında önemli çalışmalar bulunmamaktadır. Ancak son 10-15 yıldır dikkatle incelenen bu konuda bilgi birikimi hızla oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar monolitik sistem ile üretilen yapılar üzerinde yoğunlaşmaktadır ve önüretimli binaların bu kapsamda incelenmesi konusunda önemli eksikler mevcuttur. Böylelikle, literatürdeki bu eksiği gidermek ve söz konusu bileşenin önüretimli betonarme binalar üzerindeki etkilerini incelemek amaçlanmaktadır. Sanayi bölgelerinde sıklıkla kullanılan ve her geçen gün kullanım alanı genişleyen geniş açıklıklı bu yapıların, deprem yer hareketine göre tasarımında düşey bileşen göz önüne alındığı takdirde üretilen binaların deprem davranışları daha gerçekçi bir şekilde hesaplanabilecektir. Böylece konaklama, sağlık, eğitim, güvenlik, endüstriyel tesis vb. kullanım amaçlarıyla üretilecek önüretimli betonarme binaların deprem anında mutlak can güvenliğini sağlama hedefine ulaşması sağlanabilecektir. Öte yandan yakın zamana kadar dünyadaki hakim mühendislik algısı, önüretimli betonarme binaların, monolitik sistemle üretilen binalara göre daha düşük deprem performansı sağladığı yönündeydi. Çünkü dünya üzerindeki önemli depremler ile karşılaşan önüretimli betonarme binalar aldıkları büyük hasarlar sonucunda önemli ekonomik sorunlarla karşı karşıya gelmiştir. Son dönemde gelişen teknoloji ve tamamlanan bilimsel çalışmalarla birlikte bu algı değişmiştir. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise literatüre bu konuda ilerleme sağlayarak, önüretimli betonarme binaların doğru algılanması ve uygulanması konusunda katkı sağlamasıdır.

Bu tez, analitik bir çalışma içermektedir. Önüretimli betonarme binalarda sıklıkla uygulanan geniş açıklıklı, kolonları temelde ankastre, deprem yüklerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsalı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı bina örnekleri incelenecektir. Bu bina modelleri, geçmişte meydana gelen depremlerden alınan ivme-zaman verileri etkisinde analiz edilecektir. Matematiksel modellerin analizinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde tanımlanan mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal hesap yöntemi uygulanacaktır. Analiz sonuçları değerlendirilerek

sonuç grafikleri oluşturulacaktır. Analizlerde kullanılacak deprem ivme kayıtları, AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) veri bankasından alınmış ve deprem yönetmeliği kriterlerine göre ölçeklenecektir. Düşey deprem bileşeninin önüretimli binaların davranışı üzerinde oluşturacağı etkiler, yerdeğiştirme ve iç kuvvetler incelenerek değerlendirilecektir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Önüretimli Yapılar

Önüretimli yapılar için ilk tanımlardan biri 1947’de yapılmıştır. Union Syndicale de la Prefabrication tarafından yapılan tanıma göre “Kullanma amacına göre dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre ve en az bakım yönlerinden olağan koşullara yeterli şekilde yanıt verebilecek tutarlı bir yapım sistemi meydana getirmek üzere, elemanların çoğunluğu atölyede modern endüstriyel yöntemlerin duyarlılığı ile ve seri halinde imal edilmiş yapı türü prefabrikasyon olarak kabul edilir.” ifadesi kullanılmaktadır [1].

Prefabrikasyon yöntemi üst ve alt yapı elemanlarının üretiminde tercih edilen bir yöntem olup bu yöntem ile inşa edilen yapılar önüretimli yapılar olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca aynı sistemle çevre düzenleme elemanları ve elektrifikasyon depolama ve iletim hatları gibi çeşitli kullanım alanları da inşa edilebilmektedir. Prefabrikasyon endüstriyel yapı üretiminde, mühendisliğin ulaştığı en iyi aşama olarak kabul edilir. Özellikle ülkemizde 1960’lı yılların sonunda başlayıp günümüzde yaygın olarak kullanılan bu sistem inşaat sektörüne önemli avantaj ve dezavantajlar sağlamaktadır [2].

1.1.1. Önüretimli yapıların avantajları

Yapımda ekonomiyi sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Yapı elemanı üretiminde kullanılan kalıpları çok kez kullanılabilir.
- b) İskele kullanımı daha düşük olur.
- c) Öngerme sistemi sayesinde küçük kesitler ile büyük açıklıklara ulaşabilmenin sonucu olarak malzemedeki tasarruf edilir.
- d) Teknolojinin ve makineleşmenin getirisi olan seri üretim sayesinde iş verimliliği sağlanır.
- e) Kırıp düzeltme işlemleri sonucu oluşan malzeme kaybı düşürülür.
- f) İnşaat maliyetleri yüksek doğruluk ile önceden hesaplanabilir.

Yapımda hızı sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Mevsim koşullarından minimum derecede etkilenilir, mevsimsel duraklamalar önlenir.
- b) Yapı elemanı üretim süreleri kısalmır.
- c) Şantiyede bazı işlemler, fabrika ile eş zamanlı olarak yapılabilir. Bu sayede yapım süresi kısalmır ve işveren yapıyı daha hızlı şekilde işletmeye alabilir.

Kaliteli üretimi sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Fabrika ortamında denetim ve makine olanakları sağlıklı şekilde kullanılabilir.
- b) Betonda ve donatıda kalite kontrol işlemleri düzenli yapılabilir.
- c) Kürleme ve sıkıştırma işlemleri düzgün yapılabilir.
- d) Çelik kalıp kullanımı sayesinde ölçülerde hassasiyet ve yüzey pürüzsüzlüğü istenilen şekilde ayarlanabilir.

Mimari tasarımda esneklik sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Öngerme ve ardgerme yöntemleri ile büyük açıklıklar geçerek, mekanların bölünmesi engellenir.
- b) Önüretimli cephe elemanlarında form, doku, renk zenginliği vardır.

Çevre dostu üretimi sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Yapı elemanlarının üretimi fabrika ortamında sağlandığı için, şantiye ortamı temiz ve düzenli olmaktadır.
- b) Üretim atıklarının geri kazandırılabilir ve fire miktarı düşük olur.

Yüksek dayanıklılık (durabilite) sağlayan faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- a) Uzun ömürlü yapı üretimi sağlanır.
- b) Yangına, korozyona ve benzeri çevre koşullarına karşı yüksek dirençli eleman üretimi sağlanır [2-5].

1.1.2. Önüretimli yapıların dezavantajları

- a) Fabrika ile şantiye arasındaki mesafe arttıkça, nakliye masraflarından dolayı ekonomik olma özelliği kaybolur.
- b) Şantiye başlamadan önce stok hazırlamak için fabrika ortamında üretilen yapı elemanlarının üretimi yüksek miktarda ön ödeme gerektirir.

c) Karşılaşılan problemlere sunulabilecek çözüm önerileri, monolitik sisteme göre daha kısıtlıdır.

d) Sektördeki kalifiye eleman sayısı yüksek değildir [2-5].

1.2. Önüretimli Yapıların Davranışı

Prefabrikasyon yönteminin bu seviyeye gelmesi, sunduğu avantajlı hallerin geniş bir alanda kullanılması hem dünyada hem de ülkemizde hızlı ve kolay bir süreç olmamıştır. Bilindiği üzere ülkemiz aktif fay hatları üzerinde bulunmaktadır. Prefabrikasyon yönteminin ülkemize giriş yaptığı dönemlerde, öncelikle sanayi yapıları üzerinde kullanımı gerçekleştirilmiştir. Ancak bu önüretimli yapılar imal edildikten sonra önemli depremlerle yüzleşmiştir. 1998’de Adana-Ceyhan’da, 1999’da ise Kocaeli ve Düzce’de meydana gelen büyük depremlerde prefabrik yapılar ve barındırdıkları endüstriyel cihazlar ciddi hasarlar görmüştür [6, 7, 8]. Sanayi bölgelerinde gerçekleşen bu yıkımların faturası, önüretimli yapılara yüklenmiştir. Önüretimli yapıların uygulanma ve geliştirilme süreçleri dünyada da benzer zorluklardan geçmiştir. İncelemeler ile beraber deprem davranışındaki bu sorunun kaynağının, elemanların birleşim bölgelerinde olduğu görülmüştür. Bu yönüyle çelik yapılara benzerlik gösteren önüretimli yapılar, zayıf bağlantı bölgelerine sahip oldukları takdirde deprem esnasında beklenen davranışı sergileyememektedir. Birçok ülkede deprem bölgelerinde kullanımı yasaklanan önüretimli yapıların kendini kanıtlaması, yaklaşık 30 yıl süren deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda gerçekleşmiştir. Günümüzde ulaşılan noktada, başarılı bağlantı bölgelerinin sağlanması gereken esasların incelendiği çalışmalar yapılmış ve deprem yükleri altında beklendiği gibi dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitesi açısından monolitik bağlantılara yakın sonuçlar veren önüretimli binalar üretilmiştir [9].

1.3. Yer Hareketi Düşey Bileşeni

İnşa ettiğimiz binalar, deprem sonucu meydana gelen yer hareketinin yatay ve düşey bileşenlerine maruz kalmaktadır. Yer hareketinin yatay bileşeni üzerine önemli ve çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen düşey bileşen hakkında yapılan çalışmalar yeterince ileri gitmemiştir. Bunun başlıca sebebi mühendisler arasında yatay yer hareketinin, her zaman düşey yer hareketinden daha yüksek ivmeler ürettiği yanılgısıdır.

Yapı tasarımında yeterince dikkate alınmayan düşey yer hareketi binaya etkideğinde, kolonlarda ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Bunun yanında aksel basınç kuvveti taşıyan yapı elemanlarında kesme-basınç hasarları görülmektedir. Kolonlarda aksel kuvvetin azaldığı durumlarda ise yatay yer hareketi sebebiyle kesme kırılmaları gerçekleşmektedir. Kirişsiz döşemelerde zımbalama etkisi sebebiyle önemli hasarlar oluşmaktadır. Ayrıca, geniş açıklıklı kirişlerin mesnete yakın bölgelerinde de düşey bileşenin hasarlara sebep olduğu gözlemlenmektedir [10, 11, 12].

1.3.1. Spektral oran (PGAV / PGAH)

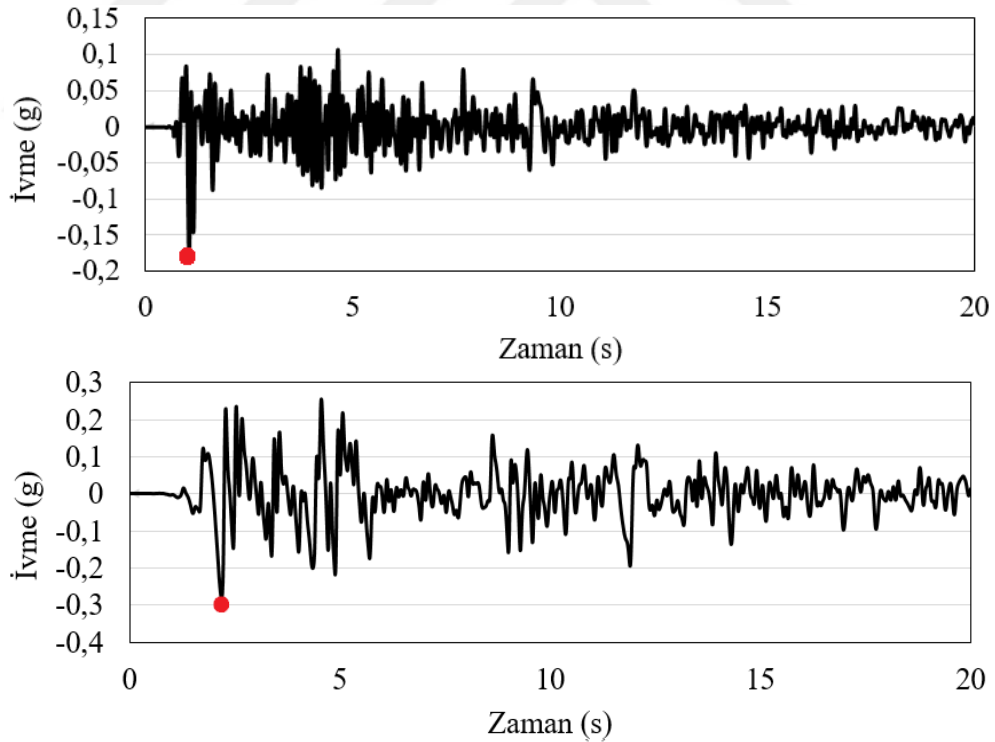
Geçmiş çalışmalarda yaygın algı, yer hareketinin düşey bileşenin yatay bileşenden daha düşük seviyelerde olduğu yönündedir. Bu nedenle PGAV/PGAH oranının (düşey/yatay pik yer ivmesi oranı) birden daha küçük olduğu varsayılır. Birçok yönetmelik, başlangıçta Newmark vd.(1973) tarafından önerilen 2/3 ortalama PGAV/PGAH oranını kullanarak yatay bileşen için türetilen tek bir spektral şeklin düşey bileşen için ölçeklendirilmesini önermektedir. PGAV/PGAH oranı için 2/3 oranını kullanmak yakın saha depremlerinde yeterli değildir. Ancak deprem kayıt istasyonu odağa uzak ise fazlasıyla tutarlı bir orandır. Tablo 1.1, çeşitli PGAV/PGAH oranına sahip bazı önemli depremleri göstermektedir. PGAV/PGAH oranının 5 km'lik bir deprem kaynağı yarıçapı içinde 1.0'den büyük olduğu, 25 km'lik yarıçap içinde ise 2/3'ten büyük olduğu ve Collier ve Elnashai (2001) tarafından yapılan çalışmalarda bu oranın deprem büyüklüğüne bağlı olduğu doğrulanmıştır [13].

Tablo 1.1. Çeşitli deprem kayıtlarındaki ivme değerleri ve spektral oranlar

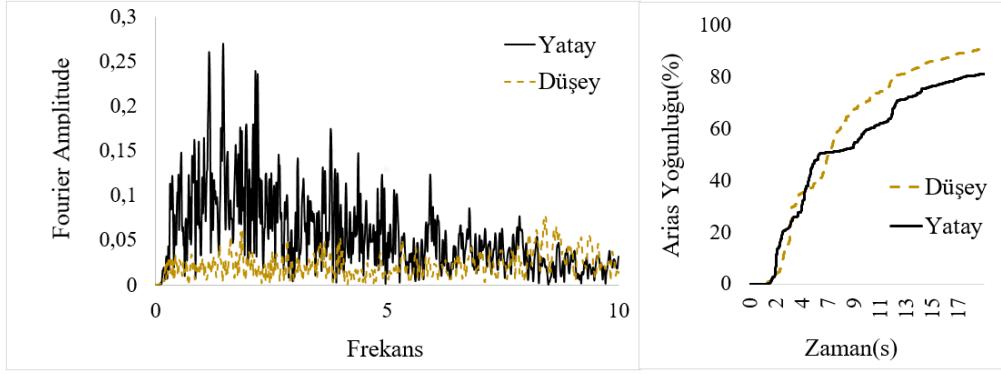
Deprem	İstasyon (Mw)	Büyüklik	Y1 (g)	Y2 (g)	Düşey (g)	PGAV/PGAH
Gazli	Karakyr	6,8	0,71	0,63	1,34	1,89
Imperial Valley	El centro array	6,5	0,41	0,44	1,66	3,77
Nahhani	Sitel	6,8	0,98	1,10	2,09	1,90
Morgan Hill	Gilroy array	6,2	0,11	0,19	0,43	2,25
Loma-prieta	LGPC	6,9	0,56	0,61	0,89	1,47
Northridge	Arleta	6,7	0,34	0,31	0,55	1,61
Kobe	Port Island	6,9	0,31	0,28	0,56	1,79
Chi Chi	TCU 076	6,3	0,11	0,12	0,26	2,07

1.3.2. Frekans içeriği

Yer hareketinin dűşey bileşeni, P-dalgalarının dűşey olarak yayılmasıyla ilişkiliyken, yer hareketinin yatay bileşeni S dalgalarıyla daha fazla ilişkilidir. P dalgalarının dalga boyu S dalgasından daha kısadır, yani yer hareketinin dűşey bileşeninin frekans içeriği yatay bileşenden daha yüksektir [12]. Şekil 1.1, 1940 El-centro depreminde meydana gelen yer hareketinin yatay ve dűşey bileşeninin ivme-zaman kaydını göstermektedir. Aynı deprem kaydına ait Fourier spektrumları ve Arias yoğunluk eğrisi Şekil 1.2’de verilmiştir. Bu şekil, yer hareketinin dűşey bileşeninin yüksek frekans içeriğini doğrular. Kısa periyot aralığında dűşey / yatay spektral ivme oranı daha yüksek değeri ile sonuçlanır. Dűşey bileşenin frekans genişliği yatay bileşenden daha küçük olmasına rağmen, sahip olduğu enerji dar bir frekans bandında değildir. Bu nedenle bu tür yüksek frekanslı içerik, kısa periyot aralığında büyük tepkiye yol açmaktadır. Betonarme yapıların dűşey periyoduyla dűşey ivmenin periyodunun denk geldiği bölgelerde önemli büyümelere neden olmaktadır [14].



Şekil 1.1. El-centro depreminde meydana gelen sırasıyla dűşey(0,18g) ve yatay(0,28g) ivme-zaman geçmiři



Şekil 1.2. El-centro depremi için yatay ve düşey yer hareketinin, Fourier spektrumlarının ve Arias yoğunluklarının karşılaştırılması

1.3.3. Maksimum düşey ve yatay ivme arasındaki zaman aralığı

Yer hareketinin önemli özelliklerinden biri, düşey yer hareketinin maksimum ivmesinin yapıya varış süresi ile yatay yer hareketinin maksimum ivmesinin yapıya varış süresi arasındaki ilişkidir. Genel olarak düşey yer hareketinin maksimum ivme değerine ulaşması, Şekil 1'de gösterildiği gibi yatay yer hareketinin maksimum ivme değerine ulaşmasından daha erken gerçekleşir (yaklaşık 1 saniye önce). Düşey yer hareketinin maksimum ivme değerine ulaşması daha erken olduğunda, yapıyı düşey ve yatay yer hareketinin etkileri için ayrı ayrı tasarlamak daha uygun olabilir ancak bu iki bileşen neredeyse çakıştığında, tasarımdaki birleşik etki dikkate alınmalıdır. 1979 yılında meydana gelen Imperial Valley ve 1984 yılında oluşan Morgan Hill depremlerinin kayıtları incelenerek depremin düşey ve yatay bileşenleri arasındaki zaman aralıkları tespit edilmiştir. Benzer saha koşullarıyla çeşitli mesafelerde 32 deprem kaydının değerlendirildiği çalışmanın sonucunda, zaman aralığının deprem odağından uzaklıkla birlikte arttığı tespit edilmiş ve odaktan 5 km uzaklıkta sıfır olarak alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, farklı yer hareketleri, yerel zemin etkisi, yer hareketinin izlediği yol ve odak derinliği gibi faktörler, yatay ve düşey bileşen ivmelerinin maksimum noktalarına ulaşma sürelerini önemli ölçüde etkilemektedir [13, 14].

1.4. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

M. A. Adam ve I. G. Shaaban, 2002 yılında yatay ve düşey deprem bileşenine maruz kalan on katlı bir betonarme yapı çerçevesinin doğrusal olmayan tepkisini incelemek için yaptıkları çalışmada üç farklı düşey yer hareketi seviyesi, iki farklı yer hareketi

seviyesi belirleyip, bunların kombinasyonlarıyla toplam 10 farklı deprem durumu oluşturup, doğrusal olmayan analiz yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, kolonlardaki eksenel basınç kuvvetlerinin, yer hareketinin düşey bileşeni sebebiyle arttığı raporlanmıştır. Bu kuvvetler orijinal statik kuvvetlerin üç veya dört katına kadar artmıştır. Güçlü düşey tepki, kolonlardaki toplam basınç kuvvetlerinin % 70'ine neden olmuştur ve iç üst kat kolonları düşey kuvvetten en fazla etkilenen elemanlar olmuştur. Yatay kuvvetin aksine, düşey kuvvet dış ve iç kolonlarda eksenel çekmeye neden olmuştur. Eksenel çekmenin değeri, düşey kuvvet seviyesinin artmasıyla, 1.0g pik yer ivmesi için dış kolonda akma kuvvetine çok yakın değere ulaşmıştır. Düşey tepki, incelenen on katlı çerçevenin sadece üst üç katının kolonlarında eğilme momentleri ve kesme kuvveti üzerinde dikkate değer etkiler oluşturmuştur. Düşey bileşen, maksimum kuvvetlerin ortaya çıkma süresini, düşey maksimum ivme zamanına yaklaştırarak çatlama ve plastik mafsallarda oluşma dizilimini değiştirmiştir. Ulaşılan sonuçları genelleyecek olursak, bazı modern yönetmelikler tarafından önerilen düşey yer hareketi seviyesi ve spektrum eğrisi yeterli değildir. Yatay ve düşey hareketlerin frekans içeriğindeki farklılıkları ihmal etmektedir. Bu durum, yakın saha depremleri sırasında eksenel kuvvetlerin büyük ölçüde hafife alınmasına yol açacaktır [15].

Elgamal A. ve He L. tarafından yapılan çalışmada yer hareketinin düşey bileşenini incelemek amacıyla California'da gerçekleşen ve pik ivme değerinin 0,1'den büyük olduğu 111 adet deprem kaydı dikkate alınmıştır. Seçilen kayıtlar ivme büyüklüklerine ve faya olan mesafelerine göre gruplara ayrılmıştır. Ayrıca dünyadaki çeşitli bölgelerden alınan kuyu içi kayıtları da incelemelerde kullanılmıştır. Çalışmada yakın alan ve uzak alan için spektral şekiller incelenmiştir. Ardından düşey bileşen için saha değerleri araştırılmış, oluşturulan spektral şekillerin yer yüzeyindeki ve derin noktalardaki değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yer hareketinin düşey bileşeni için 1-boyutlu modellemenin geçerliliği de sorgulanmıştır. Yapılan incelemelerin ardından düşey bileşenin karakteristiğine ilişkin önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Düşey bileşenin büyük ölçüde yüksek frekansa sahip olduğu ölçülmüştür. Genel olarak, faya olan mesafe arttıkça tepki spektrumları faya yakın bölgelere kıyasla biraz daha düşük frekans içeriği gösterir. Böyle bir etki, deprem yanal hareketi kayıtlarında da yaygın olarak görülmektedir. Öte yandan faya olan mesafenin değişmesiyle spektral şeklin açık bir şekilde etkilendiği bulunmuştur. Yakın alan için spektrumun köşe

periyotlarının 0,05 s ve 0,15 s olarak, uzak alan için 0,05 s ve 0,20 s olarak hesaplarda kullanılması önerilmektedir. Kuyu içi kayıtları üzerinde yapılan incelemelere göre pik düşey ivme değerinin artışı zeminin üst 20 metresinde gerçekleşmektedir. Pik düşey ivme değeri, zemin yüzeyine ulaşana kadar 2 ile 3 kat büyümektedir. Mevcut kuyu içi kayıtlara göre, 0-20 metre arasında derinliğin değişmesiyle spektral şekil üzerinde önemli bir değişiklik gerçekleşmemektedir. Ancak derinlik 20 m'ye ulaştığında spektral değerler %50 - %67 oranında azalmaktadır. Sahanın düşey tepkisi modellenirken, anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için gerçekçi olmayan yüksek sönümleme değerleri ve düşük dalga hızı değerleri kullanmak koşuluyla 1-boyutlu dalga yayılım modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar mükemmel yakın olsa da, böyle bir model uygun fiziksel temelden yoksundur, elde edilen sonuçların sorgulanmasına sebep olmuştur ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermiştir [16].

Aman Mwafy ve Amr Elnashai, 2006 yılında, aktif fayların yakınında modern yönetmeliklere göre tasarlanan betonarme binaların düşey yer hareketinin (VGM) yerel ve küresel sismik tepki ve kuvvet azaltma faktörü (R veya q) üzerindeki etkisini araştırmıştır. Artımsal dinamik analiz ile çözüm yapılan bu çalışmada farklı yükseklikteki ve farklı taşıyıcı sisteme (moment aktaran çerçeve - perde) sahip betonarme yapılar incelenmiştir. Eurocode 2 ve Eurocode 8'e göre tasarım ve detaylandırma yapılmıştır. Üç süneklik seviyesinin (düşük, orta, yüksek) ve iki tasarım ivme değerinin kombinasyonları ile deprem durumları oluşturulmuştur. Analizlerin ardından düşey yapısal elemanlardaki aksenal basınç kuvvetlerinin %45 arttığı ve çekme kuvvetlerinin sadece düşey bileşen dahil edildiğinde oluştuğu belirlenmiştir. Modern deprem yönetmeliklerine göre tasarlanan kolonların dayanımı ve yüksek güvenlik payı, kolonları kesme göçmesinden korumaktadır. Düşey bileşen, eğrilik sünekliği talebini % 58 artırmıştır. Ayrıca yerel göçmeye neden olan PGA'yı % 23'e kadar düşürmüş, deprem yükü azaltma katsayısının (R) ortalama değerlerini % 18'e kadar azaltarak ve daha yüksek deprem tasarım kuvvetleri belirlenmesine yol açmıştır. Sonuçlar, yer hareketinin düşey bileşeninin yokluğunda R faktörü hesaplamalarının yetersizliğini, bu etkinin sismik tasarım ve aktif fayların yakınındaki binaların değerlendirilmesine dahil edilmesi gerektiğini göstermiştir [10].

Bipin Shrestha tarafından yapılan çalışmada düşey yer hareketi ve son teknoloji mühendislik çalışmaları üzerindeki araştırmalar incelenmiştir. Araştırmaların ardından PGAV/PGA_H değeri için sunulan yönetmelik değerlerinin faya yakın bölgeler için yeterli olmadığı, uzak mesafelerdeki yapılar için ise gereğinden yüksek olduğu söylenmektedir. Çalışmada, bu konuda yapılan genellemelere karşı olarak yatay ve düşey yer hareketlerinin frekans içeriği için uluslararası yönetmelik yaklaşımlarının yanlış olduğu belirtilerek, yatay ve düşey hareketin farklı spektral verilerle tasarlanması gerektiği gösterilmiştir. Düşey yer hareketi, frekans aralığı üzerindeki içeriği yatay bileşeninkinden daha düşük olmasına rağmen tüm enerjisini dar frekans bandında yüksek genlik ile yoğunlaştırma eğiliminde olduğundan bu tür yüksek frekanslı içerik kısa periyot aralığında en büyük tepkiye yol açmaktadır. Bu durum genellikle betonarme yapının düşey periyoduyla çakışır ve böylece önemli kuvvet büyümelerine neden olur. İvme kayıtlarında görülen diğer önemli veri ise düşey hareketin maksimum ivme değerinin, yatay hareketin maksimum ivme değerinden yaklaşık bir saniye önce gerçekleşmesidir. Bu zaman aralığı faya olan uzaklıkla birlikte artmaktadır. Öte yandan düşey bileşenin, kolonlarda eksenel kuvveti arttırması, kesme kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Düşey zemin hareketi binanın enine tepkisini önemli ölçüde etkilemese de, kolon dönme sünekliği talebinde önemli bir artış bulunmuş ve daha düşük akma noktasının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Köprü, viyadük gibi geniş kolon kesitlerinin olduğu yapılarda, düşey elemanlarda düşey yer hareketi sebebiyle fil ayağı burkulması gerçekleşmektedir. Bütün bu bulguların ışığında yönetmeliklerde düşey yer hareketi için sunulan bilgilerin büyük felakete yol açabileceği ve mevcut yönetmelikler içinde en tatmin edici olanın Eurocode 8 olduğu belirtilmektedir. Sismik tasarım yapılırken yatay ve düşey yer hareketlerinin bileşik olarak tasarıma dahil edilmesi şiddetle tavsiye edilmektedir [14].

T. Narayana Murthy ve Prof. G. R. Patil tarafından yapılan çalışmada düşey yer hareketinin betonarme yapılardaki etkileri analitik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışmaya başlarken PGA_V / PGA_H oranının yönetmeliklerde sunulduğu gibi 2/3 alınmasının doğru olmadığı, bunun son yıllarda gerçekleşen büyük depremlerde oluşan ivme kayıtlarıyla desteklendiği ve düşey yer hareketi için tasarımda gereken önemin verilmediği değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan önemli bir diğer yanlışın, tasarımda yatay ve düşey yer hareketi için aynı spektral verilerin kullanılması olduğu

belirtilmiştir. Düşey hareketin oluşmasına sebep olan P dalgalarının dalga boyu, yatay hareketin oluşmasına sebep olan S dalgalarının dalga boyundan daha kısadır. Bu durum düşey hareketin frekans içeriğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada 21 katlı betonarme bir çerçeve sistem tepki spektrumları kullanarak Doğrusal Dinamik Yöntem ile analiz yapılmıştır. Sonuç olarak bileşik yatay ve düşey yer hareketine maruz kalan yapıların, sadece yatay yer hareketine maruz kalan yapılara göre daha savunmasız olduğu raporlanmıştır. Kirişsiz balkon gibi konsol elemanların düşey yer hareketiyle oluşan ivme sebebiyle düşey deformasyonlara maruz kaldığı ve kolonlarda aksel kuvvet artışları olduğu, aksel kuvvetteki bu artışın kesme kapasitesini olumsuz etkilediği ve gevrek göçme potansiyelini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında, yer hareketinin düşey bileşeninin tasarımda ihmal edilemeyecek önemde olduğu belirlenmiştir [17].

Ghobarah ve Elnashai tarafından 1998 yılında yapılan çalışmada farklı yüksekliklere sahip betonarme binaların deprem performansı üzerinde düşey bileşenin ne kadar etkili olduğu incelenmiştir. Eurocode-8'e göre tasarlanan binaların deprem davranışları belirlenmiştir. Binalar çökme durumuna ulaşana kadar, gittikçe artan deprem ivmelerine sahip kayıtlar ile yatay ve düşey doğrultuda deprem kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Deprem öncesi ve deprem sonrası hasar seviyelerinin tespit edilmesi için binanın rijitliğindeki bozulmalar ve yanal yük taşıma kapasiteleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda düşey bileşenin dikkate alındığı durumlarda, sünekliğin azaldığı, kat ötelenmesi ve hasar seviyelerinin arttığı görülmüştür. Bu durum, kolonlarda düşey bileşen sebebiyle artan aksel kuvvetlerin, yatay bileşen kaynaklı büyük etkilerle birleştiği anlarda gerçekleşmiştir. Genel olarak, süneklik düzeyi düşük, moment aktaran çerçevelere sahip, modern yönetmeliklere göre tasarlanmış betonarme binalarda düşey bileşen sebebiyle önemli hasarlar meydana gelmektedir. Ayrıca $P-\Delta$ etkilerinin önemli hale geldiği durumlar haricinde, düşey bileşenin yer değiştirme üzerindeki etkisi düşük seviyelerde kalmaktadır. Birçok durumda, statik itme analizi sonuçlarına göre dikey bileşen sebebiyle yapıda %10-%20 dayanım kaybı oluşmaktadır. Göçmeye neden olan yer ivmesinin, akmaya neden olan ivmeye oranı ile elde edilen davranış katsayıları, düşey bileşenin hesaba dahil edildiği durumlarda önemli oranda etkilenmiştir. Bazı durumlarda, düşey bileşen etkisiyle

davranış faktörü %30 oranında azalmıştır. Özellikle faya olan mesafe az olduğunda düşey bileşenin mutlaka tasarımda dikkate alınması önerilmektedir [18].

Papazoglou ve Elnashai tarafından yapılan çalışmada yer hareketinin düşey bileşenin yapısal etkilerini görmek amacıyla dinamik analizlerden elde edilen saha verileri ve sonuçları değerlendirilmektedir. Northridge, Loma Prieta ve Kobe depremlerine maruz kalan yapılar üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapı düşey hakim periyodu yanal rijitlik ve kat sayısından önemli miktarda etkilenmediğinden, çeşitli yapılar yer hareketinin düşey bileşeni karşısında benzer dinamik etkileri yaşamaktadır. Yapıların kolonlarında meydana gelen kesme göçmelerinin düşey bileşen sebebiyle meydana gelen eksenel kuvvet değişimlerinden kaynaklandığı raporlanmıştır. Yönetmeliklerde sunulan davranış katsayıları düşey bileşen etkisiyle yaklaşık %30 oranında azalmaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında tasarım sürecinde düşey bileşenin hesaba dahil edilmesinin kaçınılmaz olduğu görülmüştür [19] .

Bovo ve Savoia tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada bağlantıları mafsallı mevcut önüretimli yapıların davranışını temsil eden 48 adet sonlu eleman modeli üzerinde doğrusal olmayan zaman-tanım alanında analizler yapılarak düşey bileşenin etkisi incelenmiştir. Bir katta deprem sebebiyle meydana gelen düşey kuvvetlerin, farklı yapı elemanları için yerçekimi sebebiyle oluşan düşey kuvvetlere oranı α_{max} , çerçeve kirişleri ve döşeme elemanları için incelenmiştir. Farklı elemanlar için önemli ölçüde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Eurocode-8'de tavsiye edilen davranış katsayıları, düşey bileşen dikkate alınmadan hesaba dahil edildiğinde yeterli ve doğru sonuçlar vermemektedir. Eurocode 8'de sunulan tasarım spektrumlarının kullanılması, düşey bileşenin etkilerinin hafife alınmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada darbe hızı(pulse velocity) kayıtları da incelenmiştir. Darbesiz hız kayıtlarıyla kıyaslandığında, düşey kuvvet değerlerinde önemli artışlar meydana geldi. Aradaki ilişkiler incelendiğinde, düşey bileşenin bina üzerindeki etkisiyle, düşey pik spektral ivme değerleri arasından yüksek korelasyon görülürken, düşey pik ivme değeri ve düşey pik hız değeri arasında çok az korelasyon görülmüştür [20] .

2. ÖNÜRETİMLİ BETONARME BİNALARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIM İLKELERİ

Bu bölümde önüretimli betonarme binaların TBDY-2018'e göre deprem tasarımı yapılırken uyulması gereken kriterler, deprem yer hareketi spektrumları ve deprem etkisi altında binaların tasarım esasları özetlenmiştir.

2.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Deprem ivme spektrumu tek serbestlik dereceli sistemin belirli bir sönüm oranı için deprem etkisi altındaki maksimum tepkilerinin periyoda bağlı olarak çizilmesi ile elde edilmektedir. İvme, hız, yerdeğiştirme için oluşturulan spektrum eğrileri her bölgenin zemin özelliklerine göre türetilmektedir ve yapıların tasarım aşamasında kullanılacak deprem yüklerini belirlemede kullanılmaktadır. Deprem tehlike haritalarından alınan kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_S , 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 olarak tanımlanmaktadır. Harita spektral ivme katsayıları yerel zemin etki katsayıları ile çarpılarak tasarım Spektral İvme Katsayıları, S_{DS} ve S_{D1} elde edilir.

Tasarım spektrumları gelecekte yapının maruz kalması beklenen olası en büyük depremler için belirlenmektedir. Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ac}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (2.1)'e göre hesaplanmaktadır ve oluşturulan spektrum eğrisi Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

$$S_{ac}(T) = (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.1a)$$

$$S_{ac}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.1b)$$

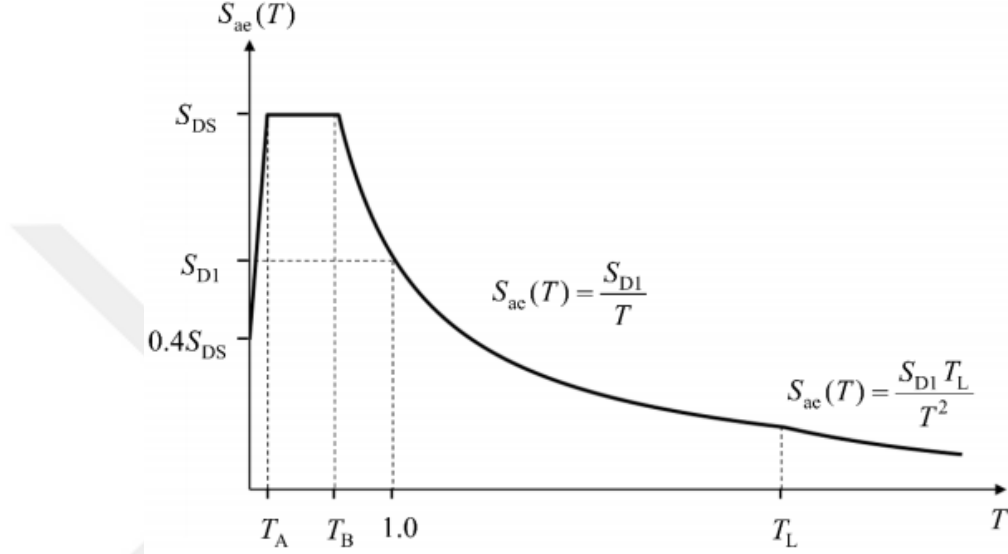
$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.1c)$$

$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.1d)$$

Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B , Denklem (2.2) ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.2)$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır.



Şekil 2.1. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu [21]

2.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Ülkemizde ilk defa TBDY-2018'de düşey deprem için spektrum eğrisi tanımlanmıştır. Düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları $S_{aeD}(T)$, yatay bileşen için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna göre yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (2.3) ile hesaplanmaktadır ve oluşturulan spektrum eğrisi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

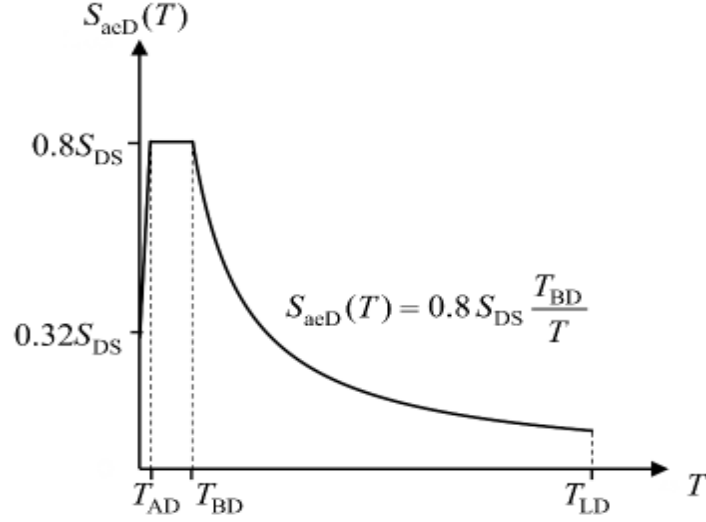
$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (2.3a)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (2.3b)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (2.3c)$$

Bu denklemde yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum köşe periyotları ile T_{LD} periyodu Denklem (2.4)'te verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2. Düşey elastik tasarım ivme spektrumu [21]

2.3. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfları (BKS), binaları kullanım amacına göre sınıflandırmakta olup binanın depremden hemen sonra kullanım önceliğine göre deprem kuvvetlerini belirleyen bir katsayı olarak tanımlanmaktadır. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar (BKS=1) için bu katsayı 1.5 olarak tanımlanmıştır. Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları (BKS=3) gibi yaygın bina türlerinde ise 1.0 olarak tanımlanmıştır.

2.4. Deprem Tasarım Sınıfları

Depreme dayanıklı yapı tasarımında tanımlanan Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve Bina Kullanım Sınıfı'na göre belirlenmektedir. Deprem sonrası kullanımı gereken ve insanların uzun süreli yoğun olarak bulunduğu binalar (BKS=1) için tasarım sınıfı a olarak tanımlanmaktadır. Tasarım spektral ivme katsayısının değeri büyüdükçe DTS azalmaktadır. Deprem yönetmeliğinde tanımlanmış deprem tasarım sınıfları Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Deprem tasarım sınıfları (DTS) [21]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

2.5. Bina Yükseklik Sınıfları

Deprem dayanıklı tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz gruba ayrılmıştır. Bu sınıflandırma binanın yüksekliğine ve deprem tasarım sınıfına göre yapılmaktadır. Burada bina taban kotu belirleyicidir. Eğer binanın en az üç tarafı rijit bodrum perdeleri ile çevrili ise ve bodrum katların binaya dahil edilmesi ile hesaplanan periyodun tüm bodrum perdelerinin hesaba katılmaksızın hesaplanan titreşim periyoduna oranı 1,1'den küçük ise bina tabanı bodrumlu binalarda perdenin üst katındaki döşeme seviyesinden tanımlanmaktadır. Bunun dışında kalan yapılarda ise bina tabanı temel üst kotundan tanımlanmaktadır. Bina yükseklik sınıfları, bina yüksekliğinin 70m'den fazla olan yapılarda $BYS=1$ iken, 7 m'den küçük olan binalar için $BYS=8$ olmaktadır. Bina yükseklik sınıfı, deprem yükleri için uygulanacak hesap yöntemini, izin verilen taşıyıcı sistem özelliklerini sınırlandırmaktadır.

2.6. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Deprem yüğü azaltma katsayısı, doğrusal elastik sistemin dayanım talebinin taşıma gücü ile kesit tasarımı yapılırken taşıyıcı sistemin sahip olması gereken tasarım dayanımına oranıdır. TBDY-2018 dayanıma göre tasarımda kullanılan doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınacak Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ Denklem (2.5) ile tanımlanmıştır.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (2.5a)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2.5b)$$

Denklemdaki R, taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D, dayanım fazlalığı katsayısı, T_B ise spektrum eğrisi köşe periyodudur. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı sistemin süneklik düzeyine ve bina yükseklik sınıfına göre belirlenmektedir.

2.7. Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Deprem fazlalığı katsayısı TBDY-2018’de tahmin edilen süneklik kapasitesi ve periyot esas alınarak belirlenen akma dayanımının, taşıma gücü yaklaşımına göre kesit tasarımı yapılırken sistemin sahip olması gereken tasarım dayanımına oranı olarak belirlenmektedir. Yapıların tasarımında yükleri artırmak için yük katsayılarının kullanılması, malzeme tasarım dayanımlarının güvenlik katsayılarına bölünerek azaltılması, taşıyıcı olmayan elemanların sisteme yaptığı katkıların dikkate alınmaması ile belirlenen tasarım dayanımı, yapının gerçek dayanımından daha düşük olmaktadır. Bu oran betonarme yapılarda 2-3 arasında değişmektedir.

2.8. Deprem Etkilerinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

2.8.1. Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu

TBDY-2018’e göre Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesabı yapılırken yatay doğrultuda azaltılmış deprem yüklerinin tespit edilmesinde kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrumunun yapı doğal titreşim periyodu T ’ye karşılık gelen azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, Denklem (2.6) ile hesaplanmaktadır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (2.6)$$

Bu denklemden $S_{ae}(T)$ yatay elastik tasarım spektral ivmesini, $R_a(T)$ ise deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir.

2.8.2. Yatayda deprem etkilerinin birleştirilmesi

Yatayda birbirine dik X ve Y doğrultularında tanımlanan deprem etkileri Denklem (2.7)’ye göre hesaplanmaktadır.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (2.7a)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (2.7b)$$

Bu denklemde $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ X ve Y doğrultularındaki deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise tasarıma esas yatay deprem etkisini ifade etmektedir.

2.8.3. Düşey deprem etkisi

TBDY-2018'e göre düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ yaklaşık olarak Denklem (2.8) ile hesaplanmaktadır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3) S_{DS} G \quad (2.8)$$

Burada G sabit yük etkisini, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

2.8.4. Deprem etkisinin diğer etkilerle birleştirilmesi

Düşey deprem etkisi diğer etkilerle birleştirilirken Denklem (2.9) kullanılmaktadır.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (2.9a)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (2.9b)$$

Burada Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H yatay zemin etkisini ve $E_d^{(H)}$ yatay deprem etkisini ifade etmektedir.

2.9. Hesap Yöntemleri

2.9.1. Zaman-tanım alanında doğrusal hesap yöntemi

Bu dinamik hesap yönteminde yer hareketinin yatay iki bileşeninin ve düşey bileşeninin eşzamanlı olarak binaya etki ettirilmesi gerekmektedir. Yeterli kütle katılımının sağlanacağı titreşim modu sayısı hesaba katıldığında yer değiştirme, göreceli kat ötelemesi, iç kuvvet bileşenleri gibi verilerin zamana bağlı değişimi elde edilebilmektedir. Bu yöntemle göre hesap yaparken malzemenin elastisite modülünün

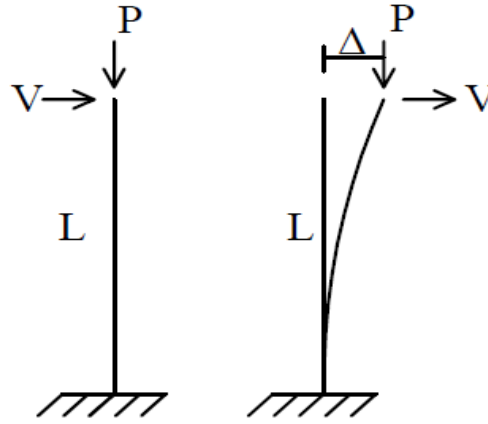
sabit kaldığı kabul edilir. Yer değiştirme sonucunda meydana gelen ikinci mertebe etkileri göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğundan dikkate alınmamaktadır.

2.9.2. Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Bu hesap yönteminde yer hareketi ivme kayıtları belli bir süre için eşzamanlı olarak binaya etki ettirilmektedir. Bu hesap yöntemi uygulamada zorlukları olması sebebiyle diğer doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre daha az tercih edilmesine rağmen deprem etkisinin bina üzerindeki etkilerini en gerçekçi şekilde göstermektedir.

2.9.2.1. P- Δ ikinci mertebe etkileri

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde P- Δ ikinci mertebe etkileri, yatay düzlemdeki yer değiştirmeler dikkate alınarak doğrusal olmayan analizlere dahil edilmiştir. P- Δ ikinci mertebe etkisi şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. P- Δ ikinci mertebe etkisinin şematik gösterimi

2.9.2.2. Malzeme ve kesit kabulleri

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde malzemenin kapasite eğrisinin doğrusal olmayan bölgeye geçmesine izin verilmektedir. Bu hesap yöntemine göre kolon elemanları için etkin kesit rijitlikleri ve beklenen malzeme dayanımları kullanılmıştır. Beklenen malzeme dayanımlarının hesabı TBDY-2018

esaslarına göre beton için Denklem (2.10), donatı çeliği için Denklem (2.11) kullanılarak yapılmıştır.

$$f_{ce} = 1.3 f_{ck} \quad (2.10)$$

$$f_{ye} = 1.2 f_{yk} \quad (2.11)$$

2.9.2.3. Plastik mafsal tanımı

Bu çalışma kapsamında kolon tabanlarında plastik mafsal tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan analizler sonucunda düşey bileşenin hesaba katılmasının performans düzeyi üzerindeki etkisi incelenmiştir. TBDY-2018'e göre yığılı plastik davranışına göre modellenen kolonların etkin kesit rijitliğinin hesabı Denklem (2.12) ile yapılmaktadır.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y^3} \quad (2.12)$$

Bu denklemde M_y etkin akma momentlerinin ortalamalarını, θ_y akma dönmelerinin ortalamasını göstermektedir. L_s ise kesme açıklığıdır. Kesme açıklığı kolon ve giriş elemanları için yaklaşık olarak açıklığın yarısı olarak alınmaktadır. Akma dönmesi θ_y Denklem (2.13) ile hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{\emptyset_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\emptyset_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.13)$$

Bu denklemde \emptyset_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini, h kesit yüksekliğini, d_b donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ve donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını ifade etmektedir. $\eta = 1$ olarak alınmıştır.

2.10. Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Yapının depreme dayanıklı tasarımını sağlamak için göreli kat ötelemeleri sınırlandırılmaktadır. Kat ötelenmesi belirli bir deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasındaki düşey taşıyıcı elemanlarda meydana gelen yerdeğiştirme farkıdır. Bu sınırlandırmanın amacı deprem etkileri altında taşıyıcı sistemdeki yerdeğiştirmeleri sınırlandırarak yapının yeterli rijitlikte kalması sağlanarak meydana gelebilecek ağır hasarları önlemektir.

TBDY-2018'e göre (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi, $\Delta_i^{(X)}$, Denklem (2.14) ile elde edilecektir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (2.14)$$

$u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, tipik (X) deprem doğrultusu için binanın i ve (i-1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

Tipik (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, $\delta_i^{(X)}$, Denklem (2.15) ile elde edilecektir. Deprem hesabı yapılırken azaltılmış deprem kuvvetleri etkisinde hesap yapıldığından elde edilen yerdeğiştirmeler R/I değeri ile çarpılmaktadır.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (2.15)$$

Bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem (2.15) ile hesaplanan $\delta_i^{(X)}$ etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(X)}$, gevrek malzemedeki yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda Denklem (2.16.a) kullanılır, dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda Denklem (2.16.b) kullanılır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (2.16a)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016 \kappa \quad (2.16b)$$

Burada yer alan λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer

hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. κ katsayısı ise betonarme binalarda $\kappa = 1$, çelik binalarda $\kappa = 0.5$ alınacaktır.

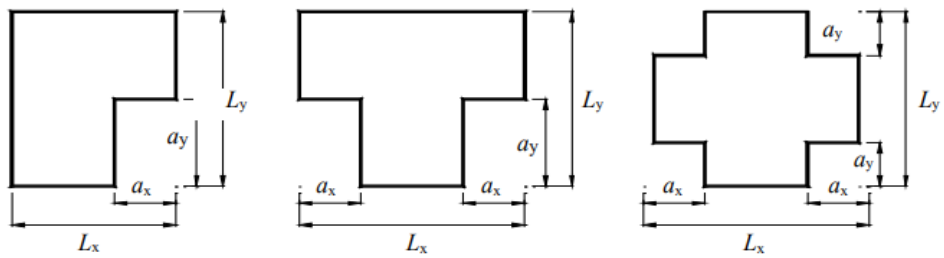
2.11. Yapı Düzensizlikleri

TBDY-2018’de binalardaki olası düzensizlikler sınıflandırılmıştır. Planda düzensizlikler, A1-Burulma düzensizliği, A2- Döşeme süreksizliği, A3- Planda çıkıntılar olması olarak tanımlanmıştır. Düşeyde düzensizlikler ise B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliği, B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, B3-Taşyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği olarak incelenmektedir.

A1 - Burulma düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} ’nin 1.2’den büyük olması durumudur. Burulma düzensizliği katsayısı deprem yükleri etkisinde hesap yöntemini belirlemektedir.

A2 - Döşeme süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden fazla olması, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.

A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumudur (Şekil 2.4).



A3 türü düzensizlik durumu:
 $a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 2.4. Planda çıkıntılar bulunması [21]

B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumudur.

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması olarak tanımlanır.

B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması olarak tanımlanır.

3. ÖNÜRETİMLİ BETONARME YAPILARIN DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİ ETKİSİNDE ANALİZİ

Bu çalışmanın amacı, yer hareketi düşey bileşeninin önüretimli betonarme binaların davranışına etkisinin analitik olarak incelenmesidir. İncelenen yapının geometrik özellikleri, malzeme ve zemin karakteristiği, inşa edileceği bölgenin deprem parametreleri, seçilen depremlere ait ivme-zaman kayıtlarının özellikleri ve ölçekleme esasları bu bölümde açıklanacaktır.

3.1. Önüretimli Binanın Geometrik Özellikleri

Proje kapsamında farklı rijitliklere sahip 3 adet önüretimli sanayi yapısı üzerinde çalışılmıştır. Analizlerin yapılacağı ve düşey deprem etkisinin inceleneceği önüretimli yapılar, yanal rijitliklerindeki farklar ile birbirinden ayrılmaktadır. Model-1’de kolon kesit boyutları 50x50 cm, Model-2’de 60x60 cm ve Model-3’te ise 70x70 cm olarak alınmıştır. Bu amaçla yapılar kısa doğrultuda 3 akstan, uzun doğrultuda 11 akstan oluşmaktadır. Yapının taban boyutu, çerçeve doğrultusunda 2x20.00 m, çerçeveye dik doğrultuda ise 10x7,5 m’dir. Çerçeveler, 8,00 metre kotunda kolonlara mafsallı olarak mesnetlenen eğik çatı kirişleri ile oluşturulmuştur. Eğik çatı kirişleri değişken kesitli ve 40-26/140 boyutlarındadır. Çerçeveler birbirine çatı seviyesinde mafsallı olarak mesnetlenen U kesitli oluk kirişler ve aşıklar ile bağlanmıştır. Çatı kaplaması alüminyum sandviç panel olarak kabul edilmiştir.

Yanal rijitliği değişen önüretimli bina modellerinin SAP2000 programı kullanılarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nin öngördüğü şekilde doğrusal ve doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Matematiksel modelde çerçeve sistemi oluşturan tüm taşıyıcı sistem elemanları çubuk eleman olarak modellenmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının ağırlıkları SAP2000 programı tarafından hesaplanarak analizlere dahil edilmiştir [22]. Binanın 3-boyutlu modeli Şekil (3.1)’de gösterilmektedir.

3.2. Malzeme ve Zemin Özellikleri

Yapısal model oluşturulurken, malzeme olarak elastisite modülü 33000 MPa olan C30/37 sınıfı beton, S420 sınıfı çelik donatı kullanılmıştır. Kullanılan malzemelere ait özellikler Tablo 3.1’de gösterilmektedir. Deprem parametrelerinin belirlenmesinde ZC zemin sınıfı özellikleri dikkate alınmıştır.



Şekil 3.1. Önüretimli betonarme bina modeli

3.3. Yük Tanımları

Önüretimli betonarme binalarda düşey yük olarak sabit ve hareketli yükler tanımlanmıştır. Sabit yükler olarak taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların ağırlıkları, çatı kaplaması, tesisat ve havalandırma sistemlerinin ağırlıkları, hareketli yükler olarak kat yükü dikkate alınmıştır. Hareketli yükler çatı kaplamasını taşıyan aşıklarla eğik çatı kirişine aktarılmıştır.

Tablo 3.1. Modellerde kullanılan malzeme özellikleri

Beton Sınıfı C30/37	f_{ck} (MPa)	30
	f_{ctk} (MPa)	1.9
	f_{cd} (MPa)	20
	f_{ctd} (MPa)	1.28
Çelik Sınıfı S420	f_{sy} (MPa)	420
	f_{su} (MPa)	550
	ϵ_{sy}	0,0021
	ϵ_{sh}	0,008
	ϵ_{su}	0.08

Sabit ve hareketli yüklerin kütle hesabına katılımı TBDY-2018'e göre belirlenmiştir. Binanın kullanım amacına göre değişiklik gösteren hareketli yük kütle katılım katsayısı Tablo (3.2)'de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak binalar için kütle katılım katsayısı $n = 0,30$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Hareketli yük kütle katılım katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, endüstri yapıları vb.	0,30

Kütlelerin modellenmesinin ardından özdeğer analizi yapılarak bina titreşim modları, hakim periyotları ve kütle katılım oranları elde edilir. TBDY-2018'e göre modal hesap yönteminin uygulanabilmesi için her iki yatay doğrultudaki taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması sağlanmalıdır.

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0,95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(Y)} \geq 0,95 m_t \quad (2.8)$$

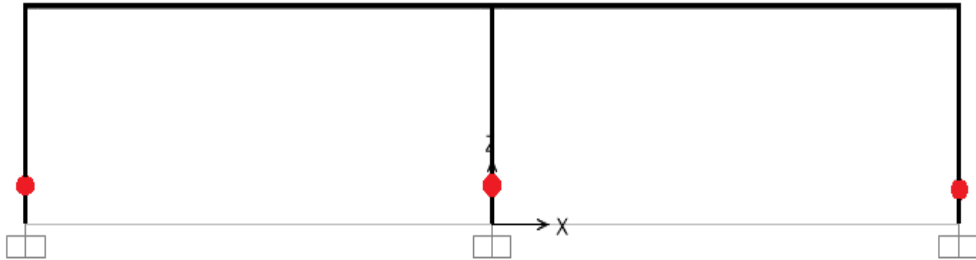
Özdeğer analizinden elde edilen kütle katılım oranları, hakim periyot değerleri ve karşılık gelen mod sayıları aşağıdaki Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Özdeğer analizi sonuçları

Yapı	Mod Sayısı	Periyot (s)	UX	UY	UZ
Model-1	1	1,203	-	0,909	-
	9	1,011	0,207	-	-
	27	0,158	-	-	0,143
	Toplam Kütle Katılım Oranı		0,999	1	0,695
Model-2	1	0,944	-	0,879	-
	5	0,726	0,309	-	-
	27	0,156	-	-	0,189
	Toplam Kütle Katılım Oranı		0,999	1	0,658
Model-3	1	0,814	-	0,813	-
	4	0,546	0,284	-	-
	29	0,155	-	-	0,231
	Toplam Kütle Katılım Oranı		0,999	1	0,623

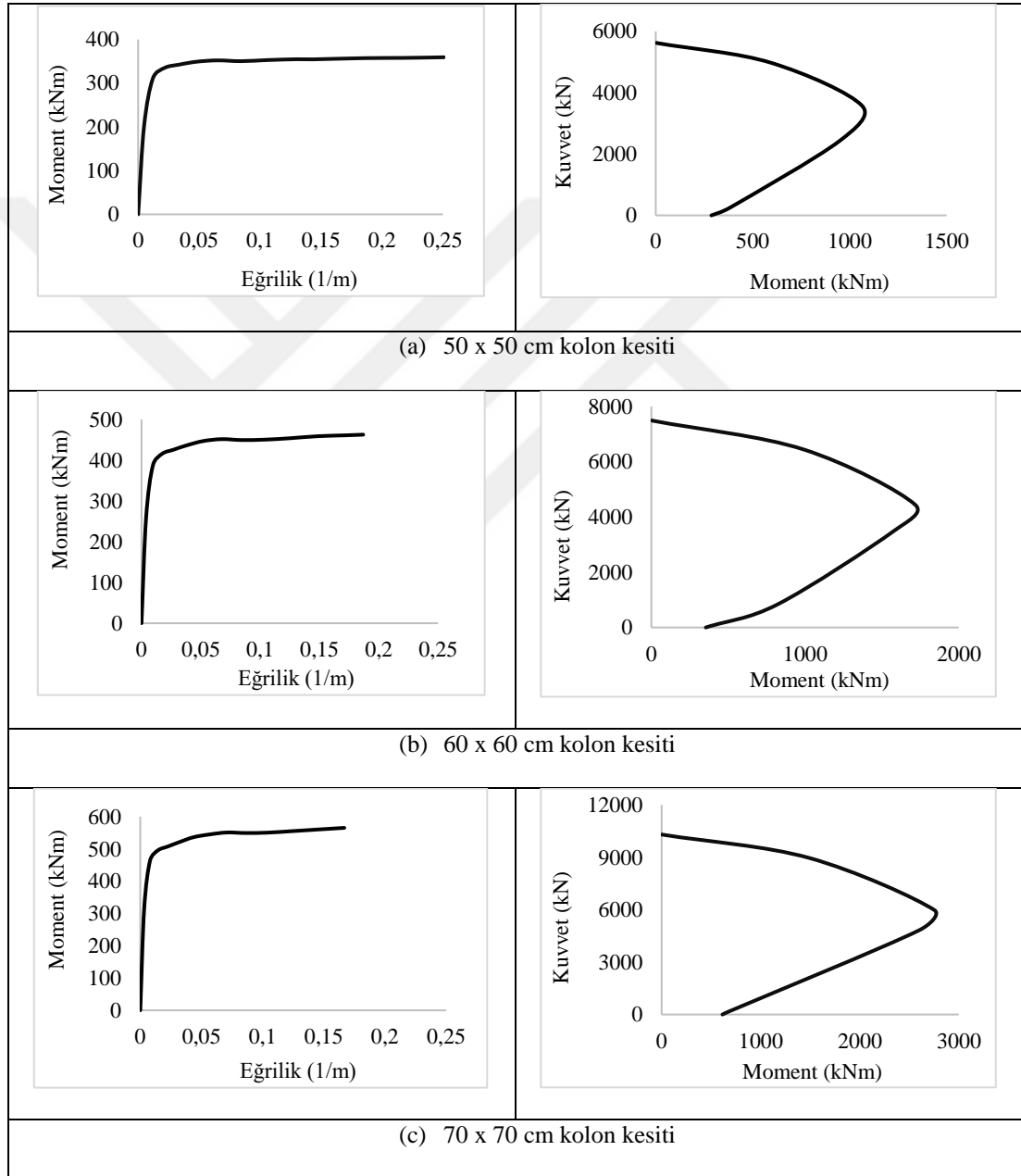
3.4. Doğrusal Olmayan Model

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap için yapının geometrik ve malzeme bilgileri dikkate alınarak matematiksel modeli SAP2000 yapısal analiz programı ile oluşturulmuştur. Kolonlar hem eğilme hem de aksel kuvvet etkisindeki yapı elemanları olduğundan kolonlarda aksel kuvvet (P) ile birlikte eğilme momentini dikkate alan PMM tipi mafsalları tanımlanmıştır. PMM mafsalları tanımlanırken moment eğrilik bağıntısının iki boyutlu etkileşim bağıntıları kesit analizi ile oluşturulmuştur. TBDY-2018’de belirtildiği gibi, plastik mafsalları boyu, elemanın çalışan doğrultudaki kesit yüksekliğinin yarısına eşit alınmıştır ($L_p=0.5h$). Kolon tabanlarına tanımlanan plastik mafsalların konumları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Plastik mafsalların kesit içerisindeki konumu

Doğrusal olmayan yapı modeli oluşturulurken eleman kapasiteleri moment-eğrilik ve aksel kuvvet-eğilme momenti davranışları ile idealize edilmiştir. Aksel kuvvete ve iki doğrultuda eğilmeye maruz kalan kolonlar için yığılı plastik tanımları yapılırken kolon kesitlerindeki akma yüzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Önüretimli çerçeve kolonlarının geometrisine göre kesit analizinden elde edilen moment-eğrilik ilişkisi ve karşılıklı etki diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Önüretimli kolonların moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramı

3.5. Deprem Parametreleri

Bu çalışmada incelenecek önüretimli binaların 40.713614° enlem ve 29.825816° boylam koordinatlarında bulunduğu kabul edilmiştir. Bu koordinatlar Kocaeli ili, Gölcük ilçesi sınırlarında yer almaktadır. Afet ve Acil Durum Başkanlığı'na ait Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>) kullanılarak söz konusu koordinatlarda, zemin tipi ZC ve deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve DD-3 olarak seçilip deprem parametreleri elde edilmiştir. Hesaplarda kullanılacak deprem parametreleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Deprem parametreleri

	DD-2	DD-3
S_s	1.734	0.636
S_1	0.469	0.155
S_{DS}	2.081	0.792
S_{D1}	0.704	0.233
$PGA(g)$	0.708	0.278
$PGV(cm/sn)$	57.330	16.581

Bu tabloda S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını, PGA en büyük yer ivmesini, PGV en büyük yer hızını ifade etmektedir.

3.6. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

3.6.1. Deprem kayıtlarının seçilmesi

Bir deprem meydana geldiğinde büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır ve bu enerji dalgalar halinde çevreye yayılarak sönmülmektedir. Odak noktasından yayılmaya başlayan bu dalgalar çeşitli sismogramlardan geçerken kayıt altına alınır. Bir deprem için farklı sismogramlar aracılığıyla farklı ivme-zaman verileri elde edilmektedir. Bu farklılıkların başlıca sebepleri odak noktasına uzaklık, zemin tipi, dalga tipi gibi parametrelerdeki değişikliklerin, kaydedilen ivme kayıtlarındaki frekans ve genlik değerlerini etkilemesidir. Bu analitik çalışmada kullanılmak üzere 12 adet deprem ivme kaydı seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçiminde, önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak deprem yer hareketinin düşey bileşeninin anlaşılmasında önemli bir

yere sahip olan kayıtlar dikkate alınmıştır. Kayıtlar, The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER (<https://ngawest2.berkeley.edu/>)) veritabanından alınmış olup özellikleri Tablo 3.5’te yer almaktadır.

Tablo 3.5. Seçilen yer hareketi kayıtları ve sismik parametreleri

Deprem	İstasyon	Büyüklik (Mw)	Mekanizma	R _{jb} (km)	V _{s30} (m/s)	PGA _H (g)	PGA _V (g)	PGV (cm/s)	PGA _V /PGA _H
Kobe	Port Island	6,9	Doğrultu Atımlı	3,31	198,00	0,35	0,57	90,97	1,63
Kocaeli	Yarımca	7,5	Doğrultu Atımlı	1,38	297,00	0,32	0,24	71,89	0,75
Kocaeli	Gebze	7,5	Doğrultu Atımlı	7,57	792,00	0,26	0,19	44,62	0,73
Northridge	Canoga Park	6,7	Ters	14,70	267,49	0,39	0,49	63,28	1,26
Northridge	Roscoe Blvd	6,7	Ters	5,59	320,93	0,45	0,33	42,75	0,73
Loma Prieta	Anderson Dam	6,9	Oblik Atımlı Ters	19,90	488,77	0,25	0,16	21,79	0,64
Park2004	Eades	6,0	Doğrultu Atımlı	1,37	383,90	0,39	0,20	26,84	0,51
Park2004	Gold Hill	6,0	Doğrultu Atımlı	4,66	510,92	0,79	0,15	23,21	0,19
Imperial Valley	Brawley Airport	6,5	Doğrultu Atımlı	8,54	208,71	0,22	0,15	40,93	0,68
Imperial Valley	El Centro Array #4	6,5	Doğrultu Atımlı	4,90	208,91	0,48	0,29	80,41	0,60
Loma Prieta	Saratoga Aloha Ave	6,9	Oblik Atımlı Ters	7,58	380,89	0,51	0,40	45,97	0,78
Loma Prieta	Gilroy-Historic Bldg	6,9	Oblik Atımlı Ters	10,27	308,55	0,29	0,15	43,39	0,63

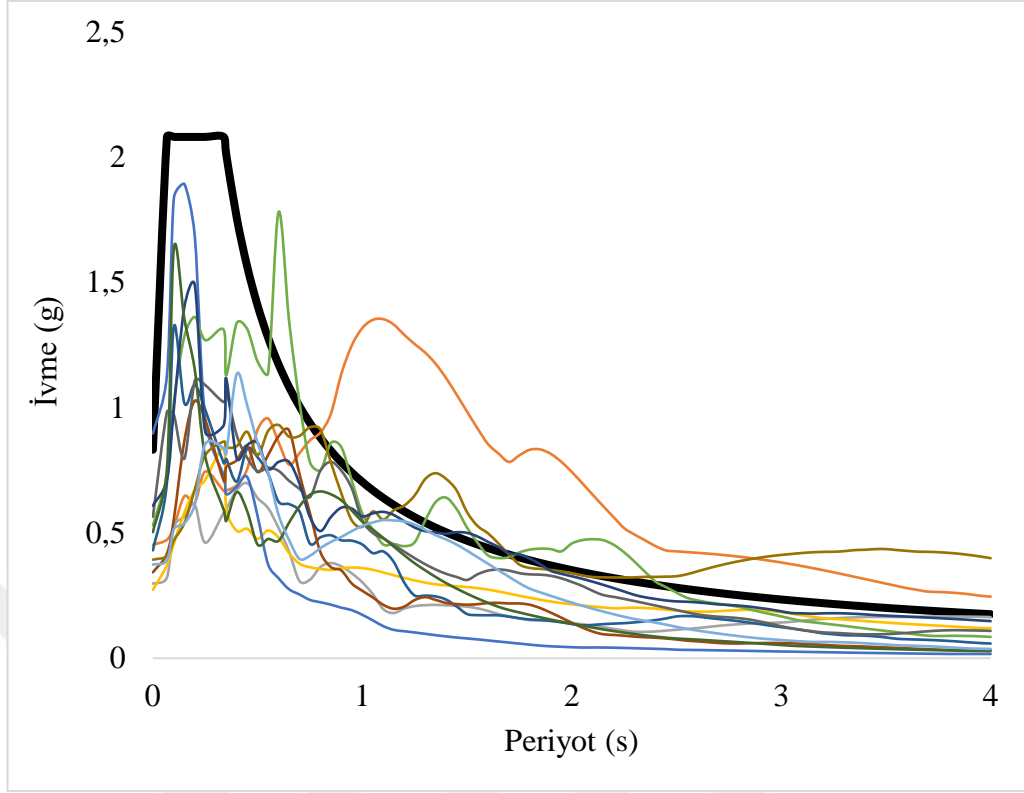
3.6.2. Deprem kayıtlarının ölçeklenmesi

Uluslararası veritabanından alınan gerçek depremlerden elde edilmiş deprem ivme kayıtları, zaman-tanım alanında deprem hesaplamalarında kullanılarak, bir zaman serisi içerisinde model binada meydana gelen değişiklikler izlenebilir. Ancak kullanılacak ivme kayıtlarının yönetmelikte tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu amaçla yönetmelikte belirtilen özellikte ve gerekli sayıda gerçek ivme kayıtları seçilerek ölçeklenmiş, tasarım spektrumu ile uyumluluk sağlanmıştır. Ölçeklemede SRSS metodu kullanılmıştır ve TBDY-2018'in 2. bölümünde verilen hükümlere göre yatay ve düşey bileşenler için ölçekleme yapılmıştır [23]. Ölçeklenecek bileşenlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilen yeni ivme-periyot değerleri $0,2T_1$ ve $1,5T_1$ arasında ölçeklenmiştir. Burada T_1 bina hakim periyodunu ifade etmektedir.

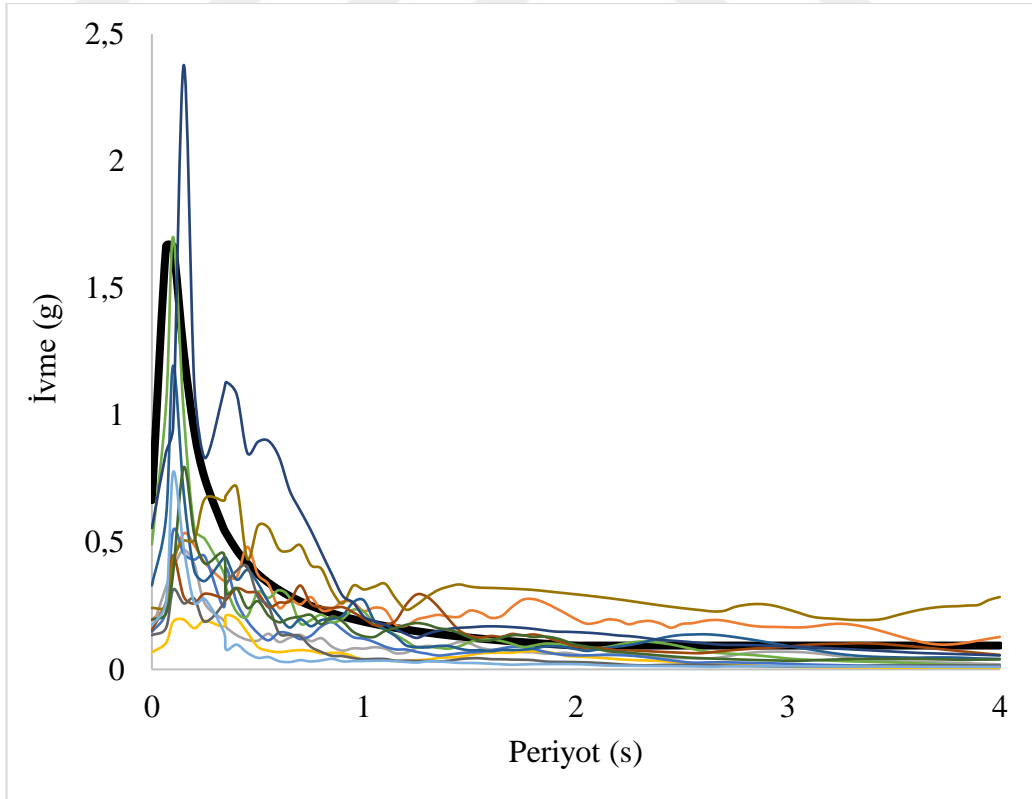
Bina modellerinin her doğrultusu için farklı hakim periyot değerleri belirlenmiştir. Sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatlarının hiçbir zaman yönetmelikte tanımlanan tasarım spektrumlarının ordinatlarının %90'ından aşağıya düşmemesi ve belirtilen periyot aralığındaki genliklerin tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması gerekmektedir.

Deprem ivme kayıtlarının karakteristik yapısı, ölçekleme yapıldıktan sonra değişmemelidir. Bu sebeple ölçekleme yapılacak ivme kayıtları doğrusal analizlerde kullanılacağı zaman her ivme kaydı için hesaplanan ölçekleme katsayılarının 0,25 ile 4 arasında olması gerekmektedir. Doğrusal olmayan analizlerde kullanılacağı zaman her ivme kaydı için hesaplanan ölçekleme katsayılarının 0,5 ile 2 arasında olması gerekmektedir. Ölçeklemelerde binanın inşa edileceği sahaya ait hedef spektrum olarak kullanılacak yatay ve düşey tasarım spektrumları sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilmektedir.

Analizlerde kullanılan her bir gerçek depremin ivme -zaman kayıtları, fourier amplitude spektrumları ve tasarım tepki spektrumları EK-A'da gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Gerçek deprem ivme kaydının yatay tasarım spektrumu



Şekil 3.5. Gerçek deprem ivme kaydının düşey tasarım spektrumu

4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapıların sismik performansının tespitinde binalara etkiyen deprem yüklerinin hesabı yaygın olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılmaktadır. Son yıllarda yapısal analiz yazılımlarının gelişmesi sonucunda zaman-tanım alanında hesap yöntemleri binaların deprem yükleri etkisindeki dinamik davranışının belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Zaman-tanım alanında hesap yönteminde yapıya deprem kuvveti doğrudan verilerek dinamik analiz yapılır. Zaman-tanım alanında yapılacak deprem hesaplamalarında kullanılacak ivme kayıtları, tasarım ivme spektrumu uyumlu yapay kayıtlardan, benzeştirilmiş kayıtlardan ve deprem esnasında kaydedilen ivme kayıtlarından seçilmektedir. Diğer kayıt türlerine olan üstünlüklerinden dolayı gerçek yer hareketi kayıtlarının kullanımı daha çok tercih edilmektedir. Yapı ve deprem hareketinin özelliklerine göre zaman-tanım alanındaki dinamik analizler doğrusal veya doğrusal olmayan analizler olarak gerçekleştirilebilir [24, 25, 26]. Doğrusal olmayan zaman-tanım alanında dinamik analizde belirli bir yer hareketinin zaman-tanım alanındaki kaydı ile yapıda meydana gelen elastik ötesi davranışı elde edilmektedir ve doğrusal olmayan analizler içinde en gerçekçi analiz olarak tanımlanmaktadır [27]. Bu çalışma kapsamında önüretimli betonarme binaların dinamik davranışını incelemek amacıyla zaman-tanım alanında hesap yöntemi uygulanmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde yer hareketinin düşey bileşeninin bina davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla gerçek yer hareketi kayıtlarından seçilen her bir ivme kaydı için dört farklı yükleme durumu oluşturulmuştur. Oluşturulan yükleme durumları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bir deprem yer hareketi için oluşturulan yükleme durumları

	Bina X-doğrultusu	Bina Y-doğrultusu	Bina Z-doğrultusu
Durum 1	Kuzey-Güney	Doğu-Batı	-
Durum 2	Kuzey-Güney	Doğu-Batı	Düşey
Durum 3	Doğu-Batı	Kuzey-Güney	-
Durum 4	Doğu-Batı	Kuzey-Güney	Düşey

Zaman-tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarından kat ötelenmesi, taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, kolon eksenel kuvvetlerinin ivme kayıt zamanı içerisinde değişimi izlenmektedir. Değerlendirmede bu sonuçların maksimum değerleri dikkate alınarak analiz sonuçları kıyaslanacaktır.

Yapılan analizler sonrasında yer hareketi düşey bileşenin kat ötelenmesi, taban kesme kuvveti ve taban devrilme momenti üzerindeki etki oranı Denklem 4.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{(H+V)_{max}}{H_{max}} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de verilen $(H + V)_{max}$ ifadesi yer hareketinin yatay ve düşey bileşenlerinin binaya birlikte etki ettirildiği yükleme durumlarından elde edilen sonuçların en büyüğünü, $(H)_{max}$ ifadesi yer hareketinin yalnızca yatay bileşenlerinin binaya etki ettirildiği yükleme durumlarından elde edilen sonuçların en büyüğünü göstermektedir.

Zaman-tanım alanında doğrusal hesap yönteminin uygulanmasının ardından kolon eksenel kuvvet değerleri incelendiğinde sonuçların çok küçük değerler aldığı görülmüştür. Bundan dolayı hem doğrusal hesaplarda hem de doğrusal olmayan hesaplarda düşey bileşenin etkisi altında kolon eksenel kuvvet değerlerindeki artış miktarının daha doğru bir şekilde anlaşılması için Denklem (4.2) kullanılmıştır.

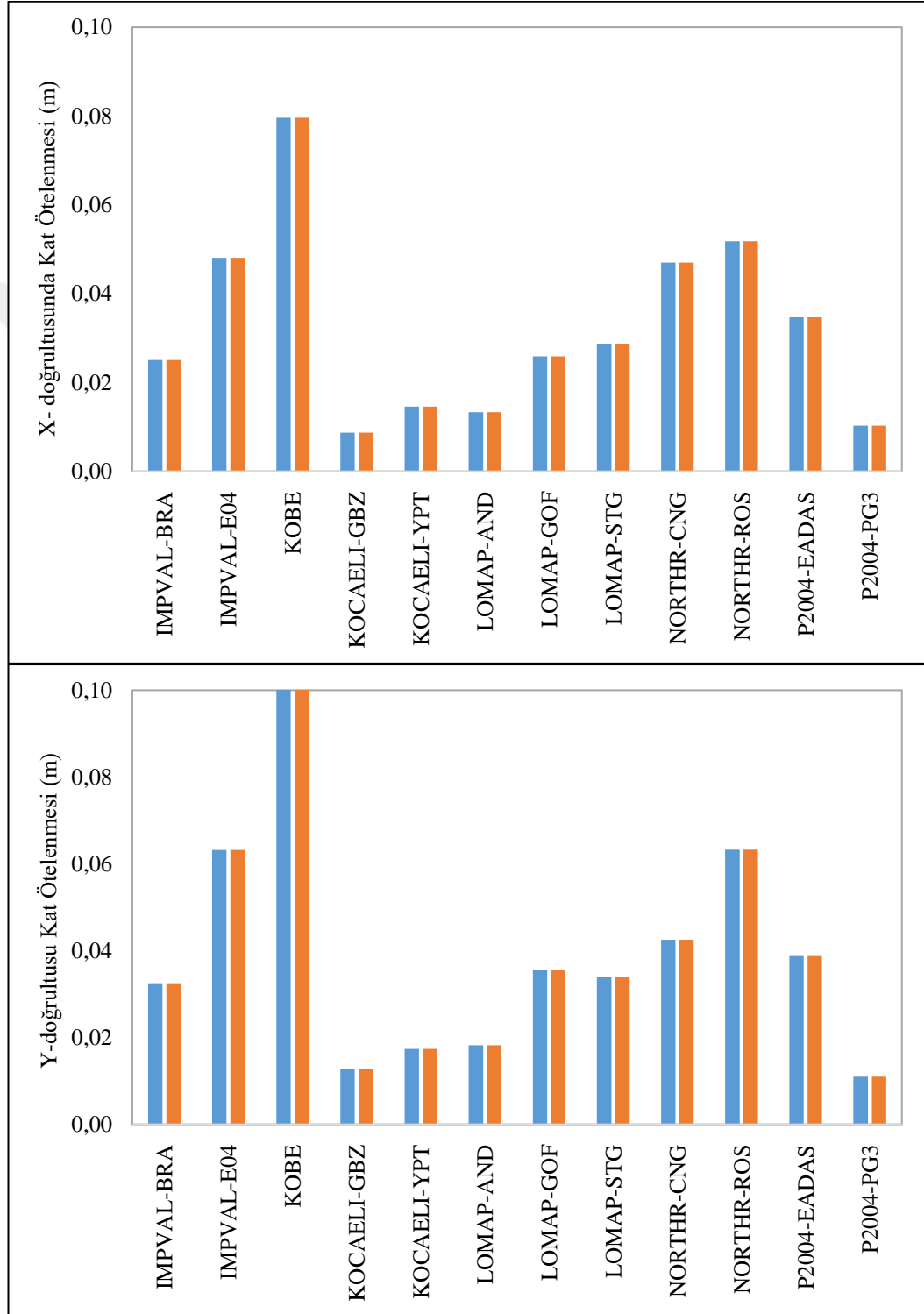
$$\frac{(H+V)_{max} - (H)_{max}}{\text{Kolon Eksenel Yük Taşıma Kapasitesi}} \quad (4.2)$$

4.1. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Hesap Sonuçları

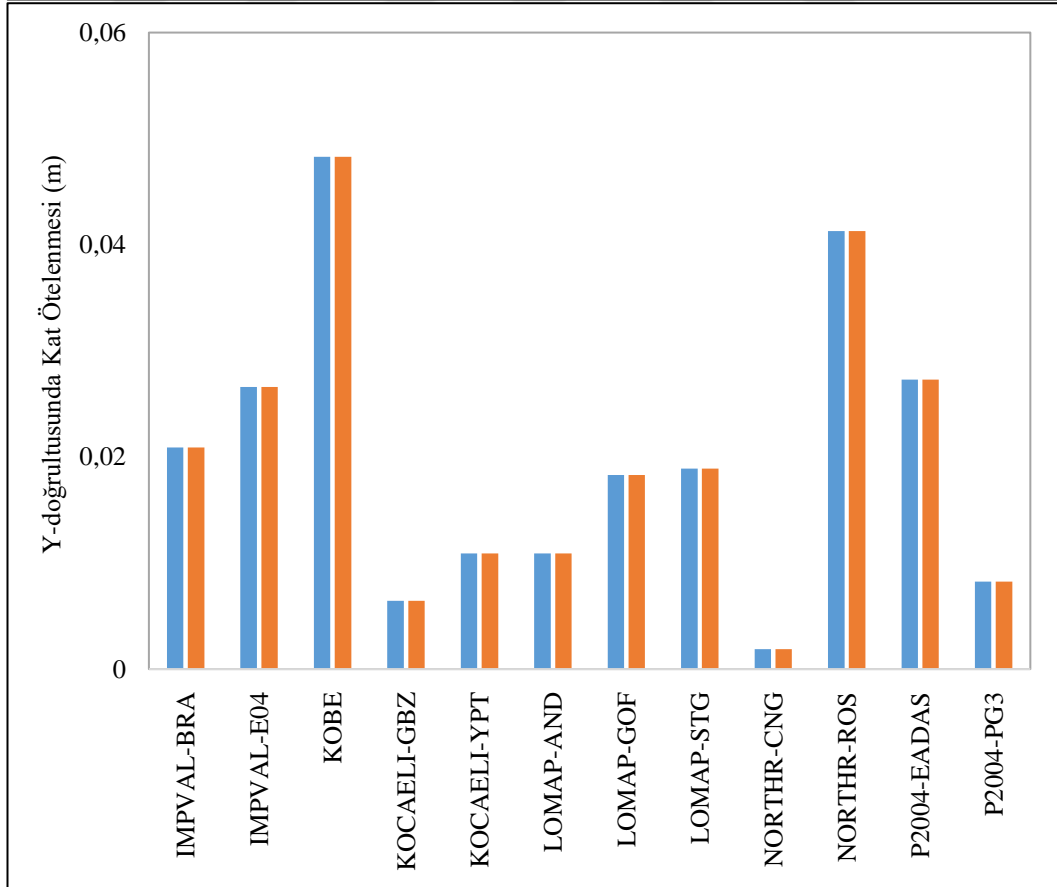
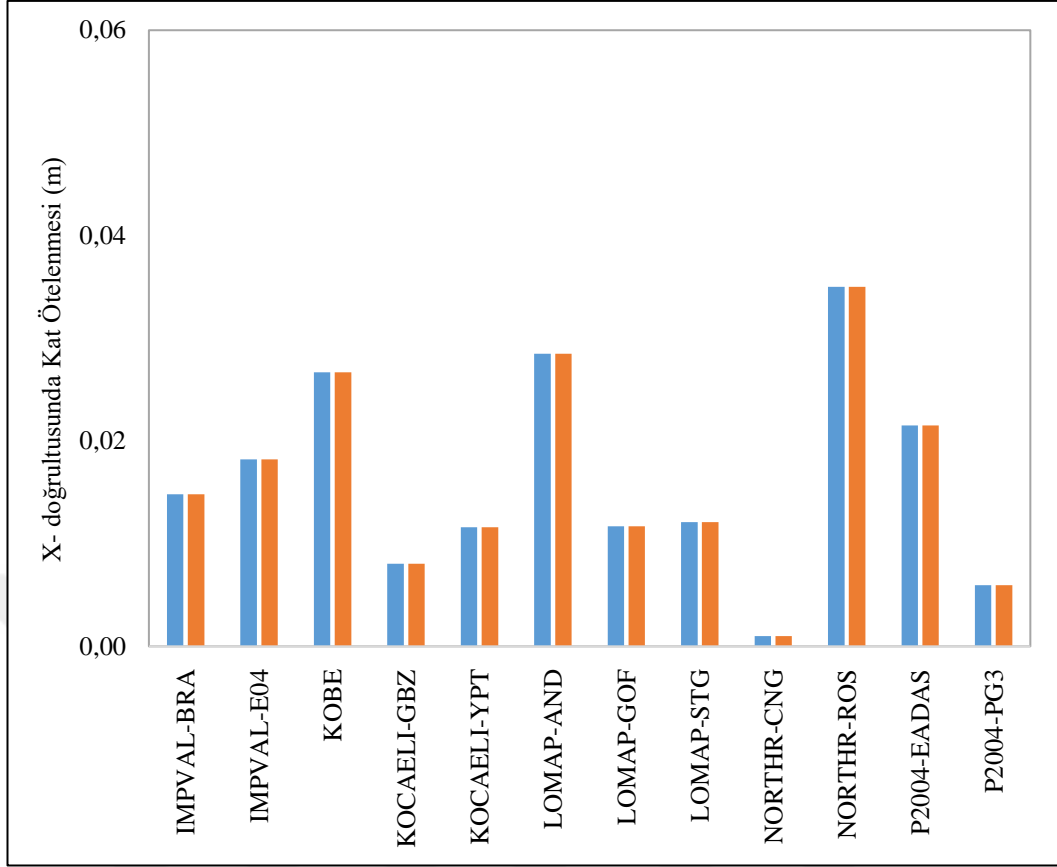
4.1.1. Göreli kat ötelenmeleri

Yapılan hesaplar sonrasında yer hareketinin düşey bileşenin kat ötelenmesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Diğer kayıtlara göre yüksek spektral orana, yüksek hız ve ivme değerlerine sahip Kobe depremine ait kayıtlarda en büyük kat ötelenmesi değerlerine ulaşılmıştır. Yanal rijitliğin artmasıyla kat ötelenme değerleri azalırken, seçilen yer hareketi kayıtlarının herhangi birinde düşey bileşenin hesaba katılması sebebiyle kat ötelenme değerlerinin değişmediği gözlenmiştir. Şekil 4.1'de sırasıyla

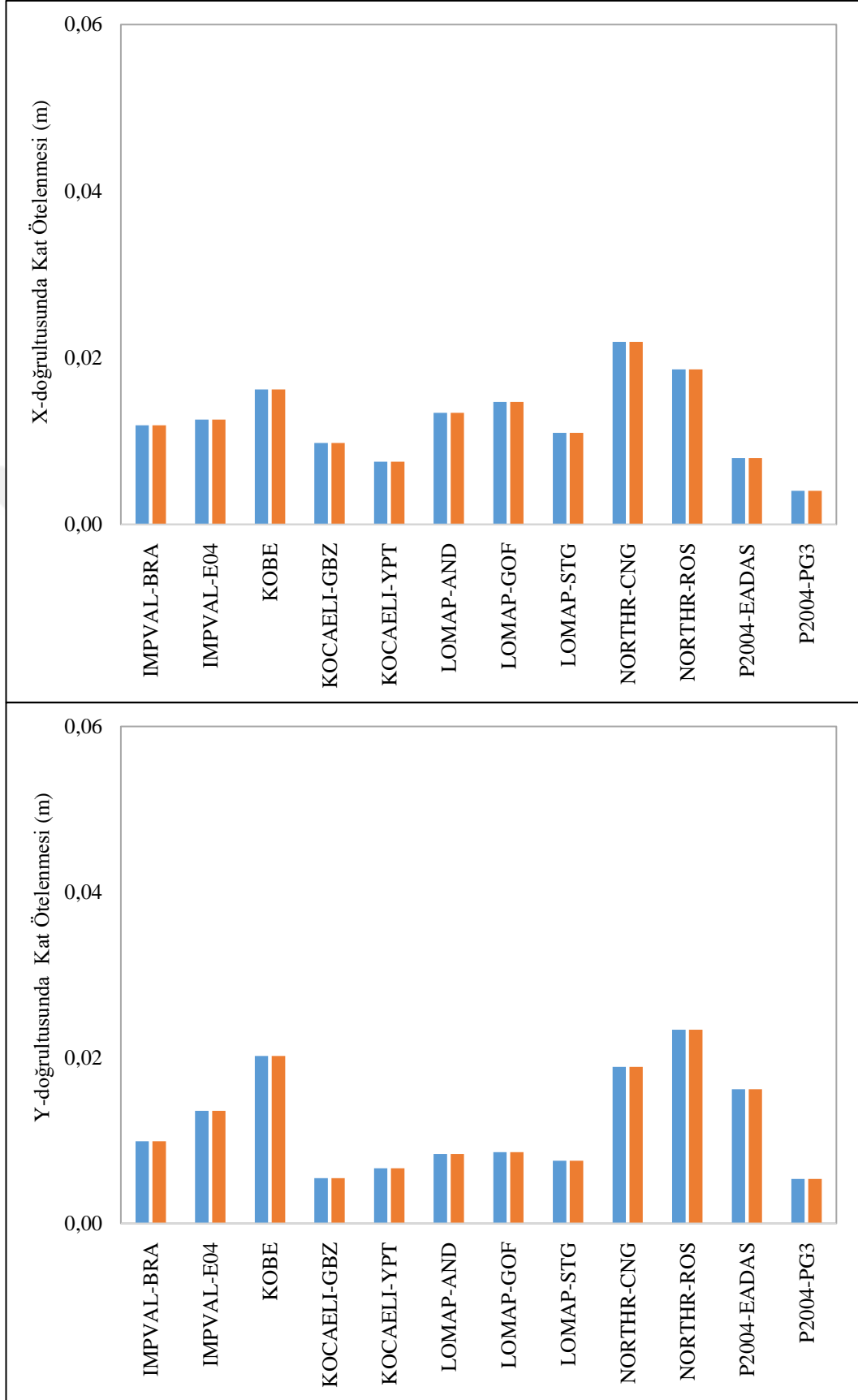
Model-1, Model-2 ve Model-3 için birbirine dik iki yatay doğrultuda hesaplanan kat ötelenmesi değerleri gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Model-1 için kat ötelenmeleri



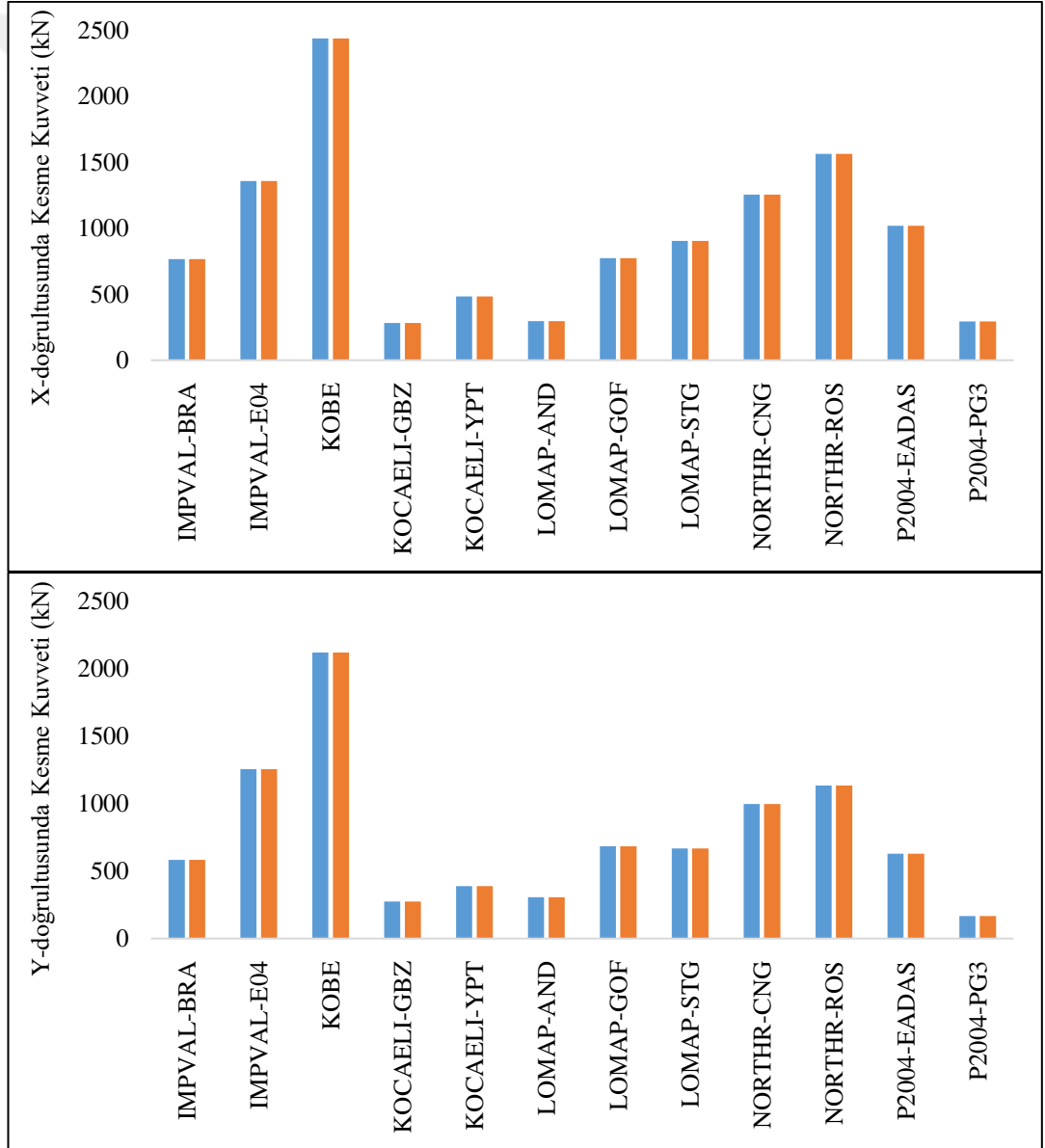
Şekil 4.2. Model-2 için kat ötelenmeleri



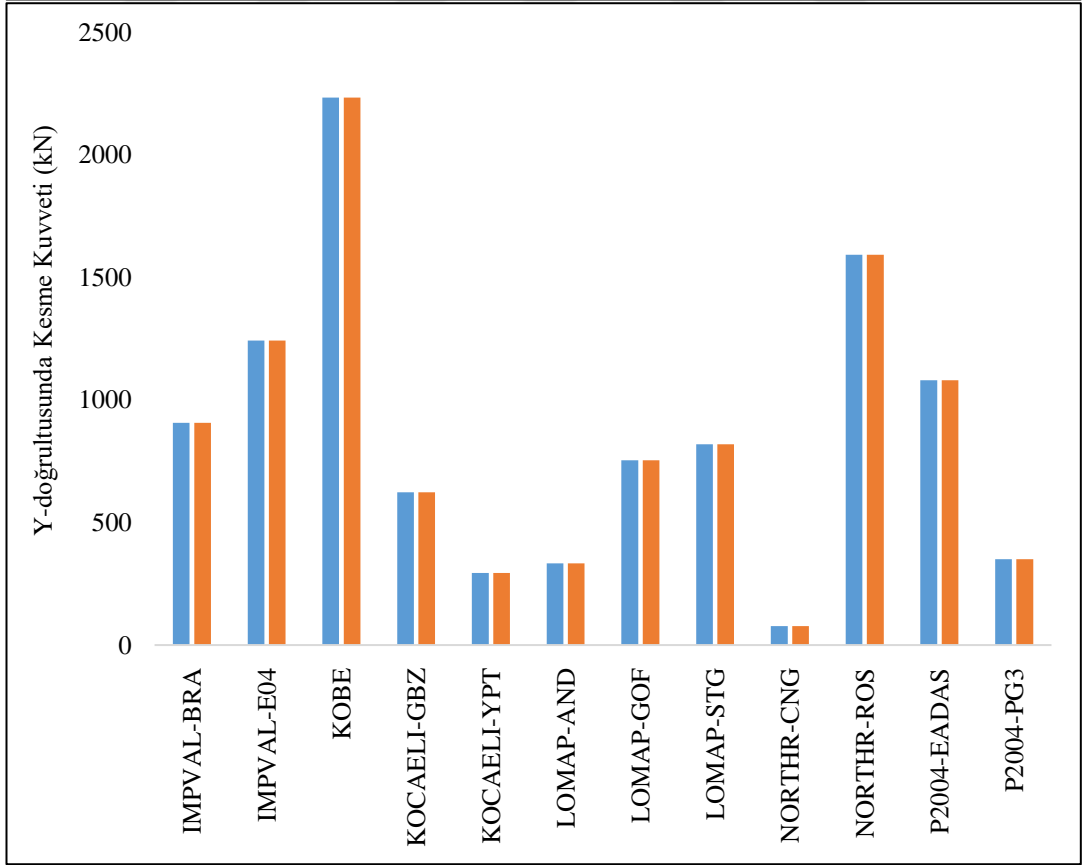
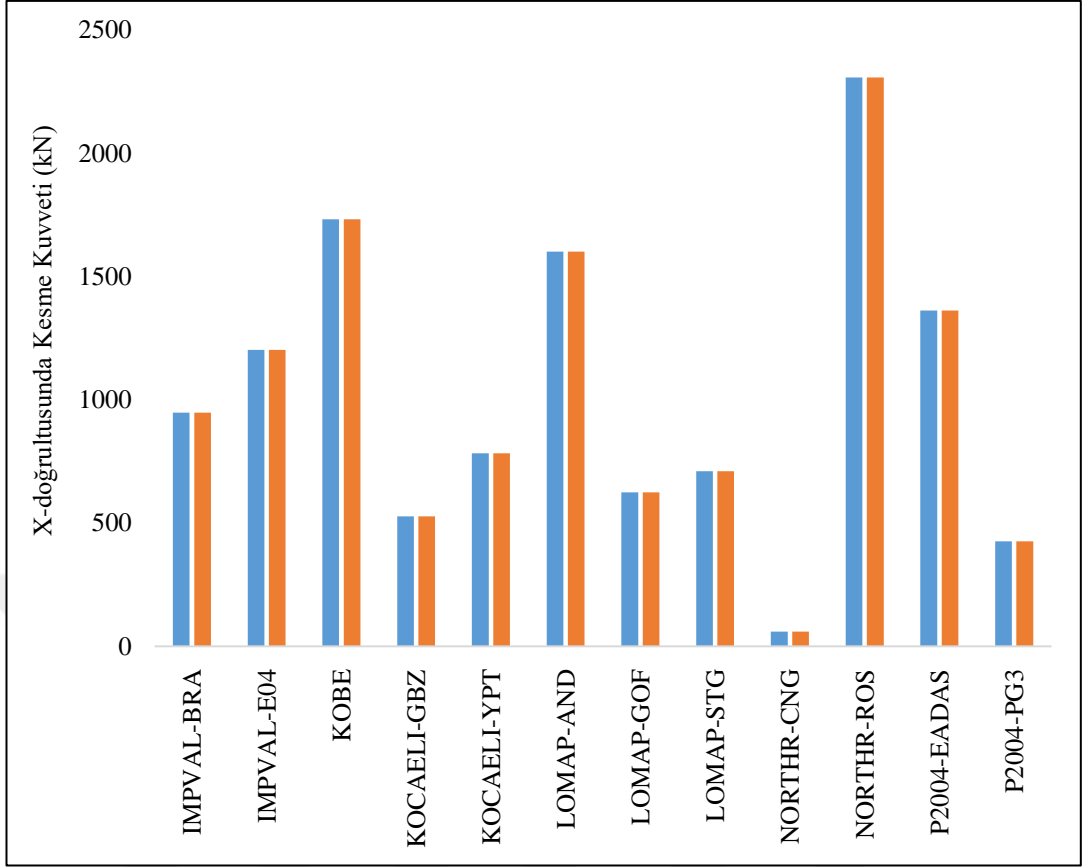
Şekil 4.3. Model-3 için kat ötelenmeleri

4.1.2. Taban kesme kuvvetleri

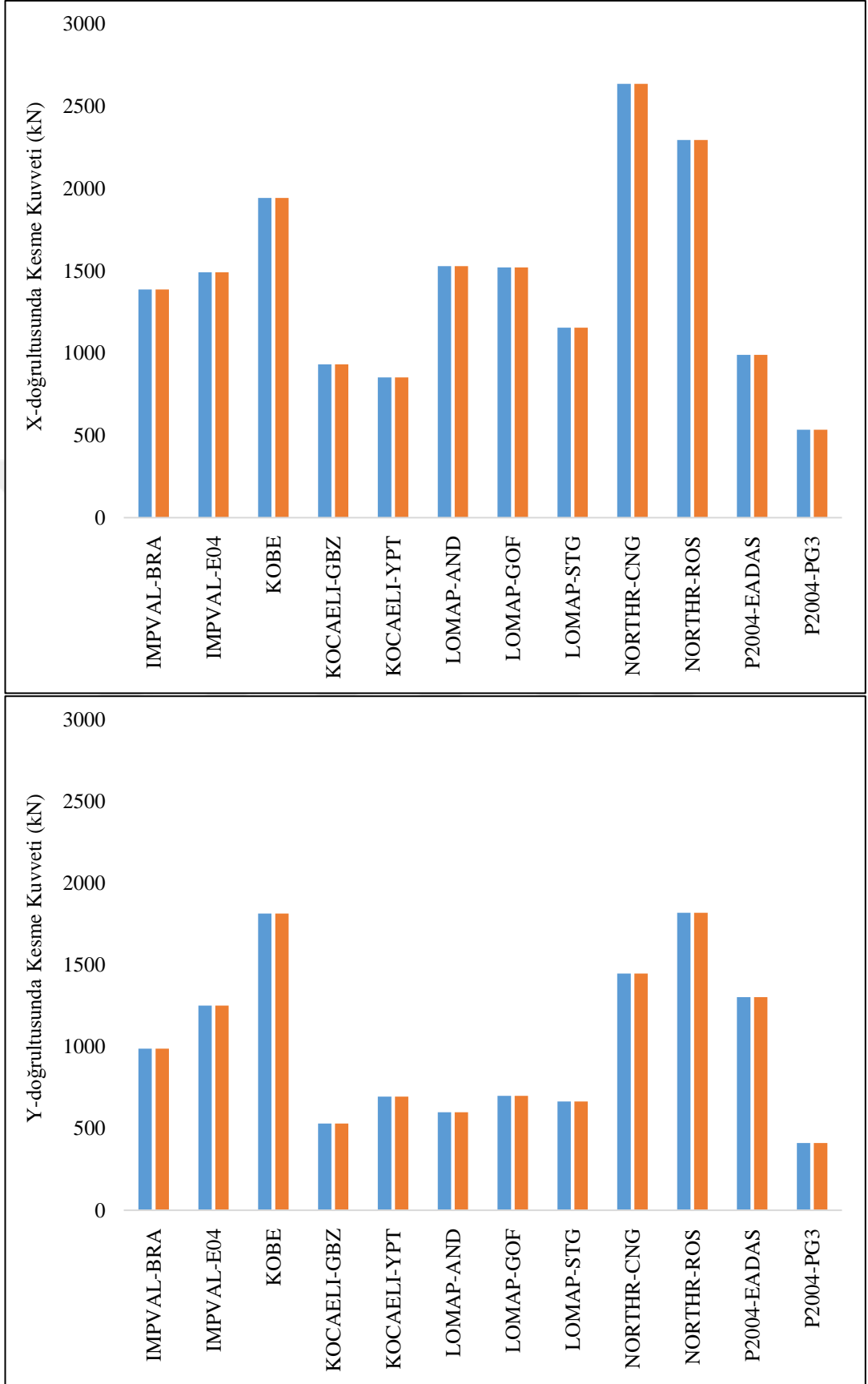
Yapılan analizlerden elde edilen bina tabanında oluşan taban kesme kuvveti değerleri incelenmiştir. En büyük kesme kuvveti sonuçlarına Kobe ve Northridge depremlerine ait kayıtlarda ulaşılmıştır. Bu kayıtlar yüksek spektral oranlarıyla dikkat çekmektedir. Şekil 4.2’de tüm modeller sırasıyla için X ve Y doğrultulu taban kesme kuvveti sonuçları verilmiştir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde düşey bileşenin hesaba katılmasının, taban kesme kuvveti üzerinde herhangi bir değişime sebep olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Model-1 için taban kesme kuvvetleri



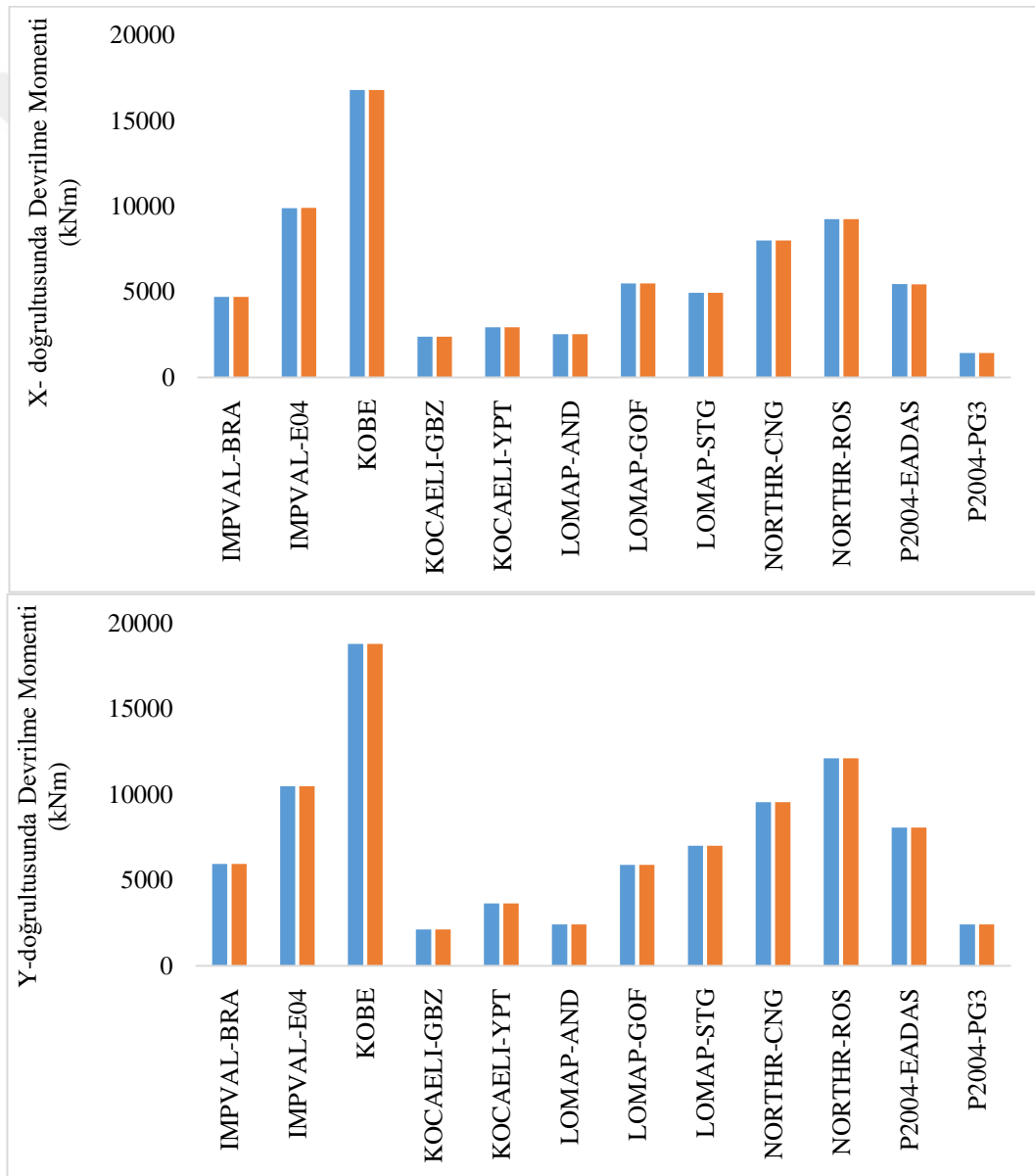
Şekil 4.5. Model-2 için taban kesme kuvvetleri



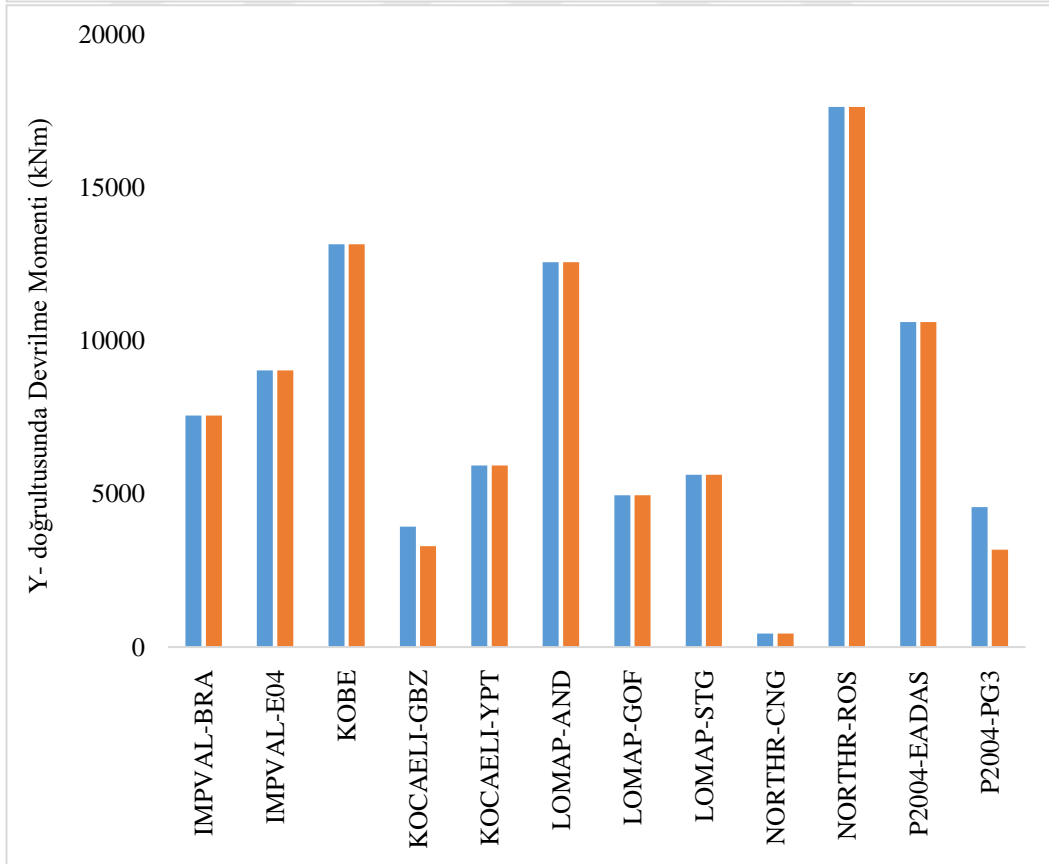
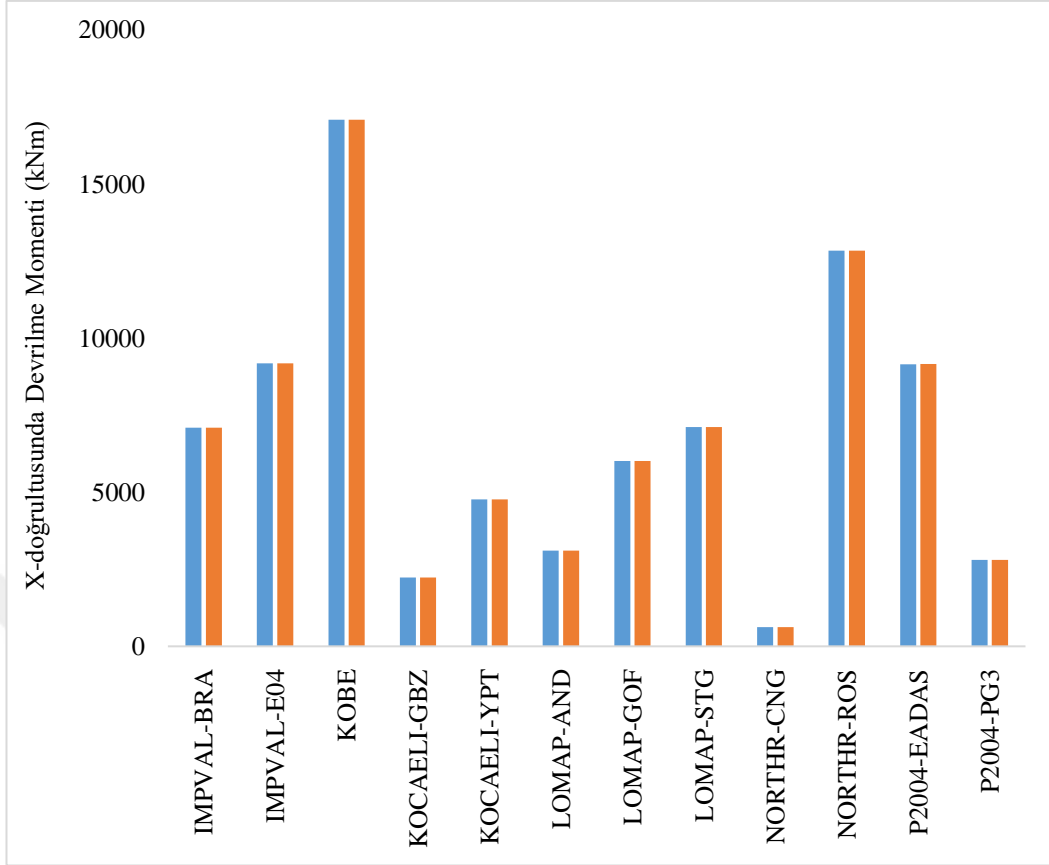
Şekil 4.6. Model-3 için taban kesme kuvvetleri

4.1.3. Taban devrilme momentleri

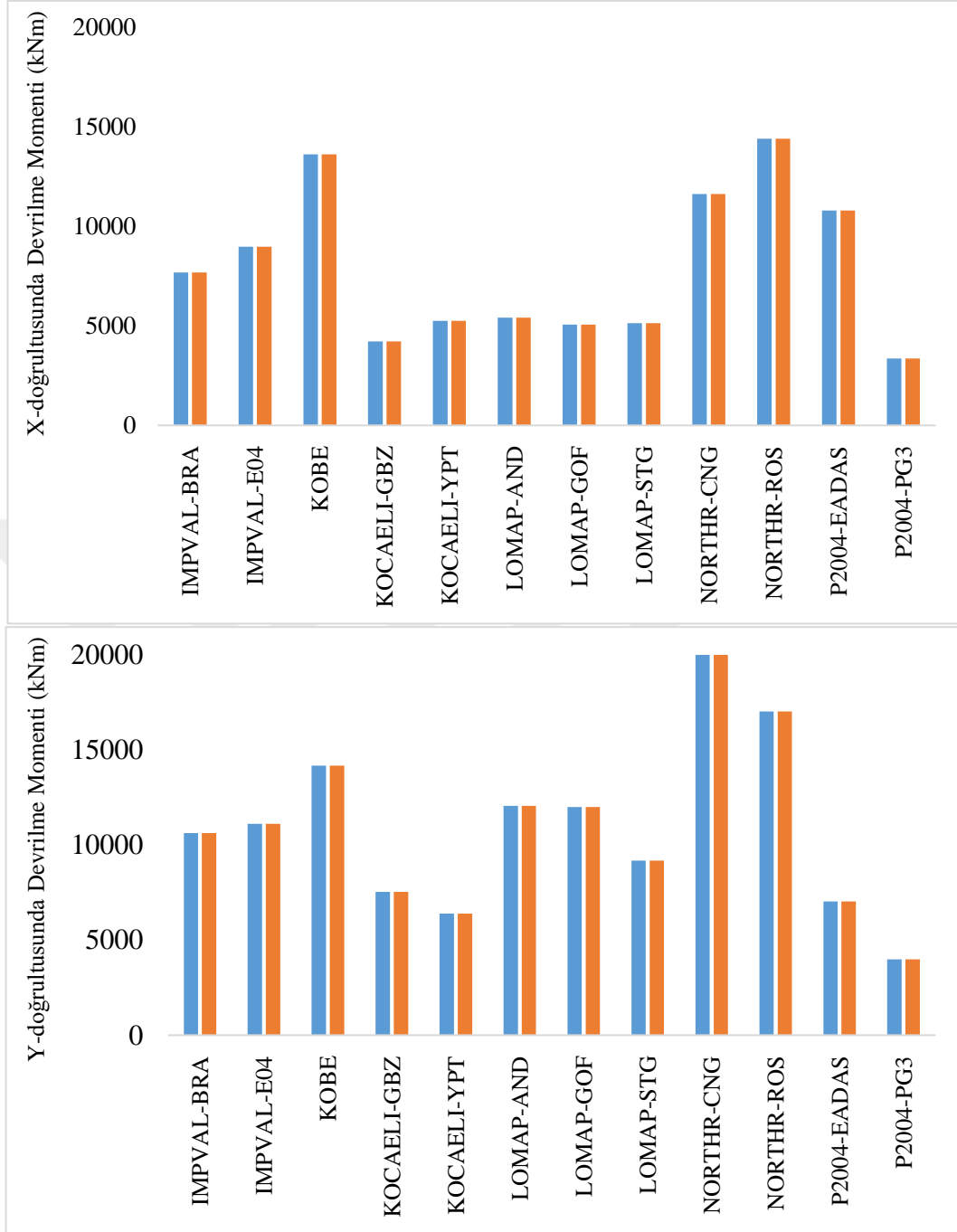
Zaman-tanım alanında doğrusal hesap yöntemine göre elde edilen taban devrilme momentleri, sırasıyla Model-1, Model-2 ve Model-3 için Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. İncelenen diğer veri gruplarında olduğu gibi Kobe ve Northridge depremlerine ait kayıtlarda en yüksek moment değerleri elde edilmiştir. Yer hareketinin düşey bileşeninin hesaba dahil edilmesi, taban devrilme momenti değerleri üzerinde artışa sebep olmamıştır.



Şekil 4.7. Model-1 için taban devrilme momentleri



Şekil 4.8. Model-2 için taban devrilme momentleri

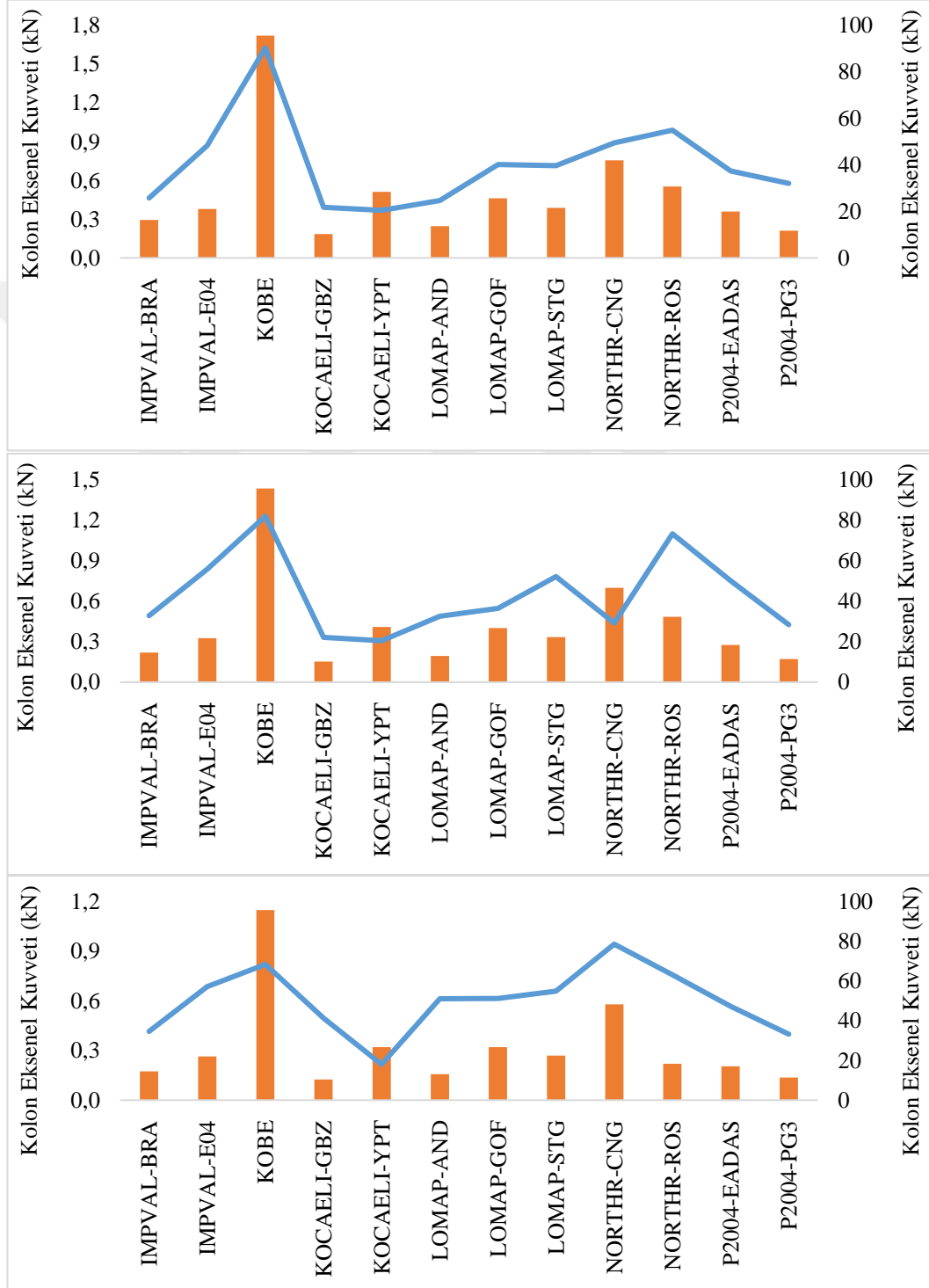


Şekil 4.9. Model-3 için taban devrilme momentleri

4.1.4. Kolon aksenal kuvvetleri

Zaman tanım alanında doğrusal analizden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek Model-1, Model-2 ve Model-3 için elde edilen kolon aksenal kuvvetleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Çizgi grafikleri sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, sütun grafikleri ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. Yer hareketinin yatay bileşeni ile düşey bileşeni birlikte hesaba dahil edildiğinde kolon

eksenel kuvvet değerlerinde önemli artışlar gerçekleşmiştir. Bu artış kolonların sünek davranışını gevreğe dönüştürebilecek seviyelere ulaşmaktadır. Kolon eksenel kuvvetlerinin en çok arttığı verilere, faya yakın mesafede olan, frekans içeriği ve spektral oranı yüksek olan Kobe depremine ait ivme kayıtlarında ulaşılmıştır.

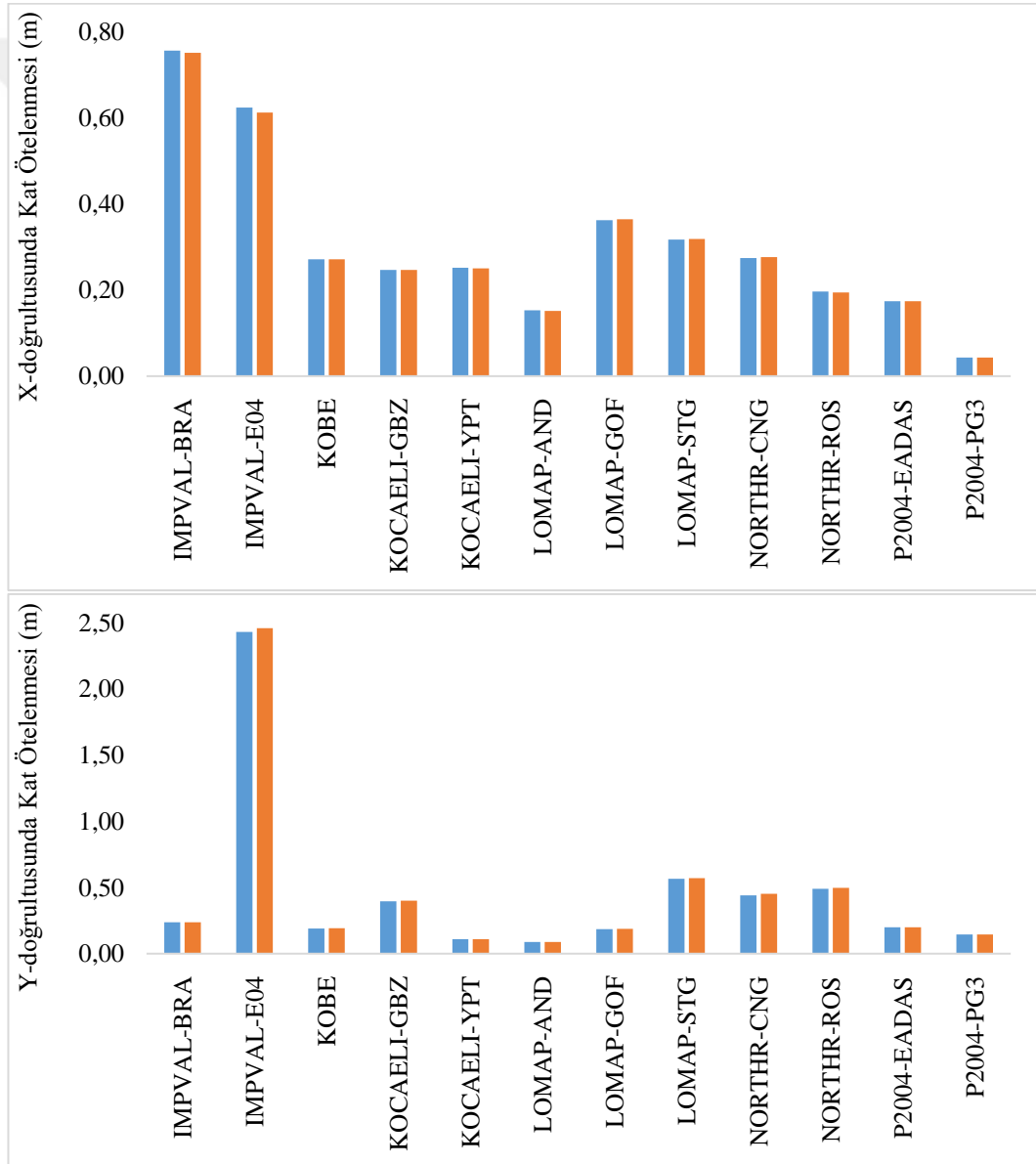


Şekil 4.10. Model-1, Model-2 ve Model-3 için kolon eksenel kuvvetleri

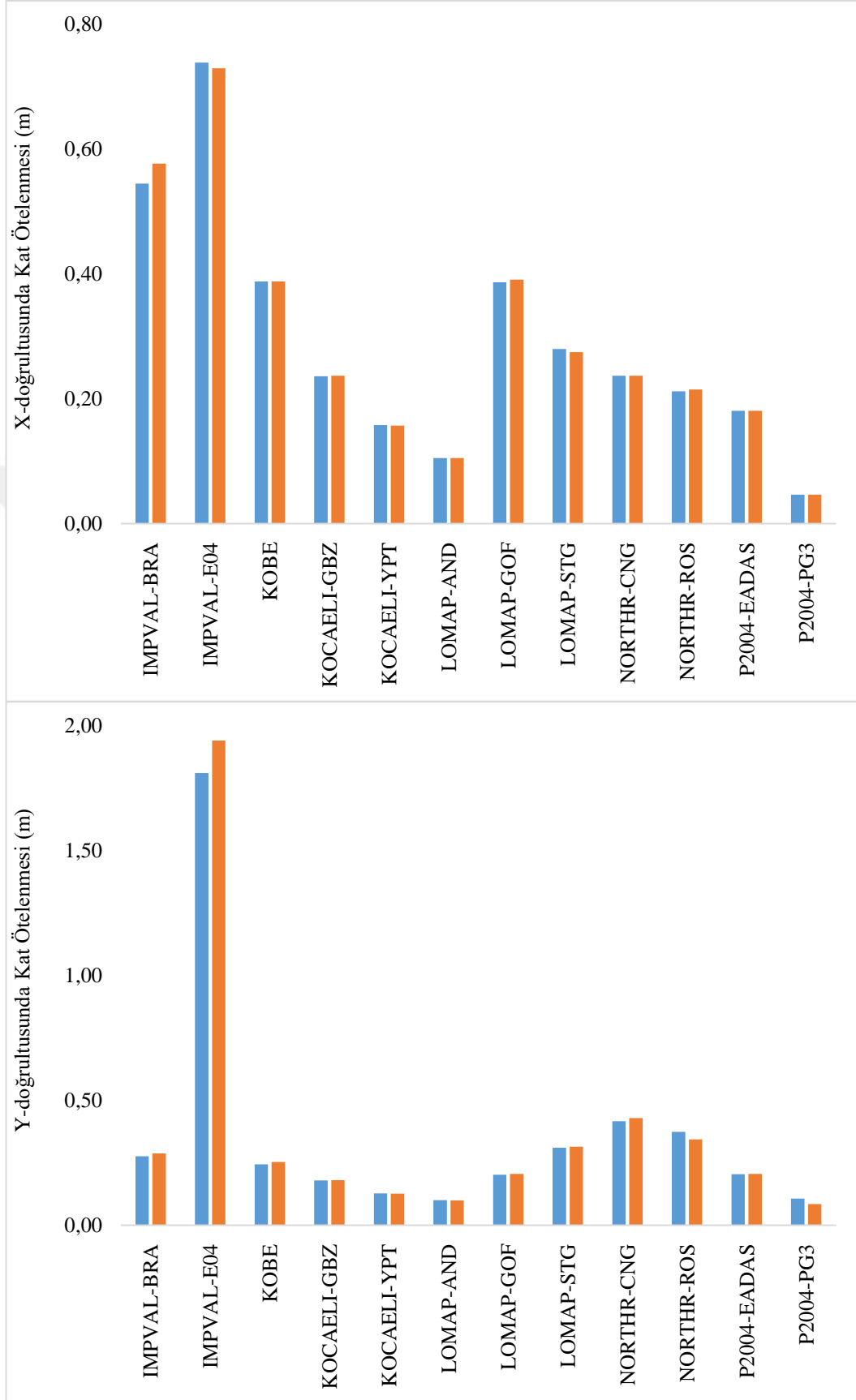
4.2. Zaman-Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Sonuçları

4.2.1. Göreli kat ötelenmeleri

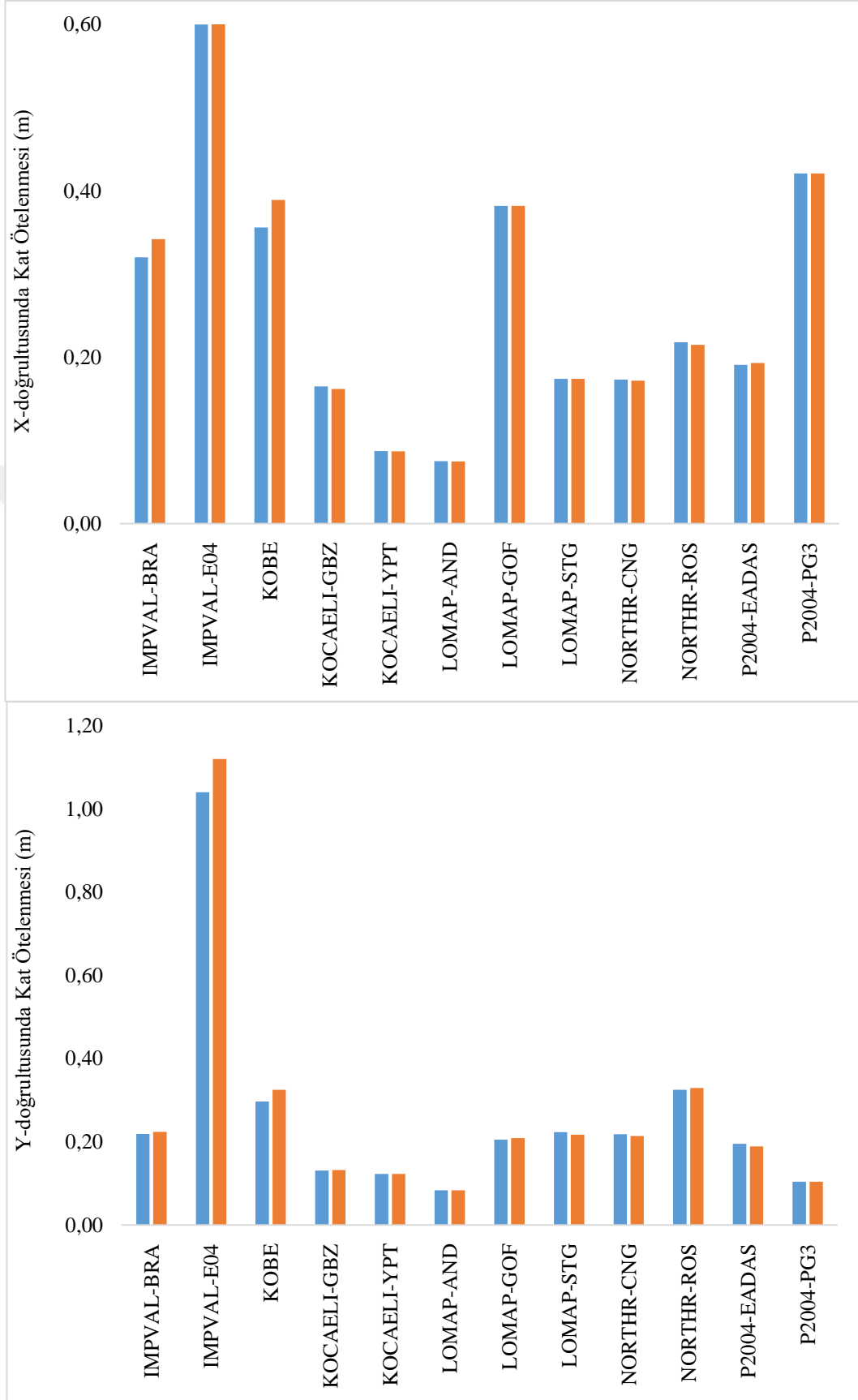
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yer hareketinin düşey bileşeninin kat ötelenmesine etkisi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşen ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde düşey bileşenin hesaba dahil edilmesinin X ve Y doğrultulu kat ötelenmelerinde belirgin artışa sebep olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.11. Model-1 için kat ötelenmeleri



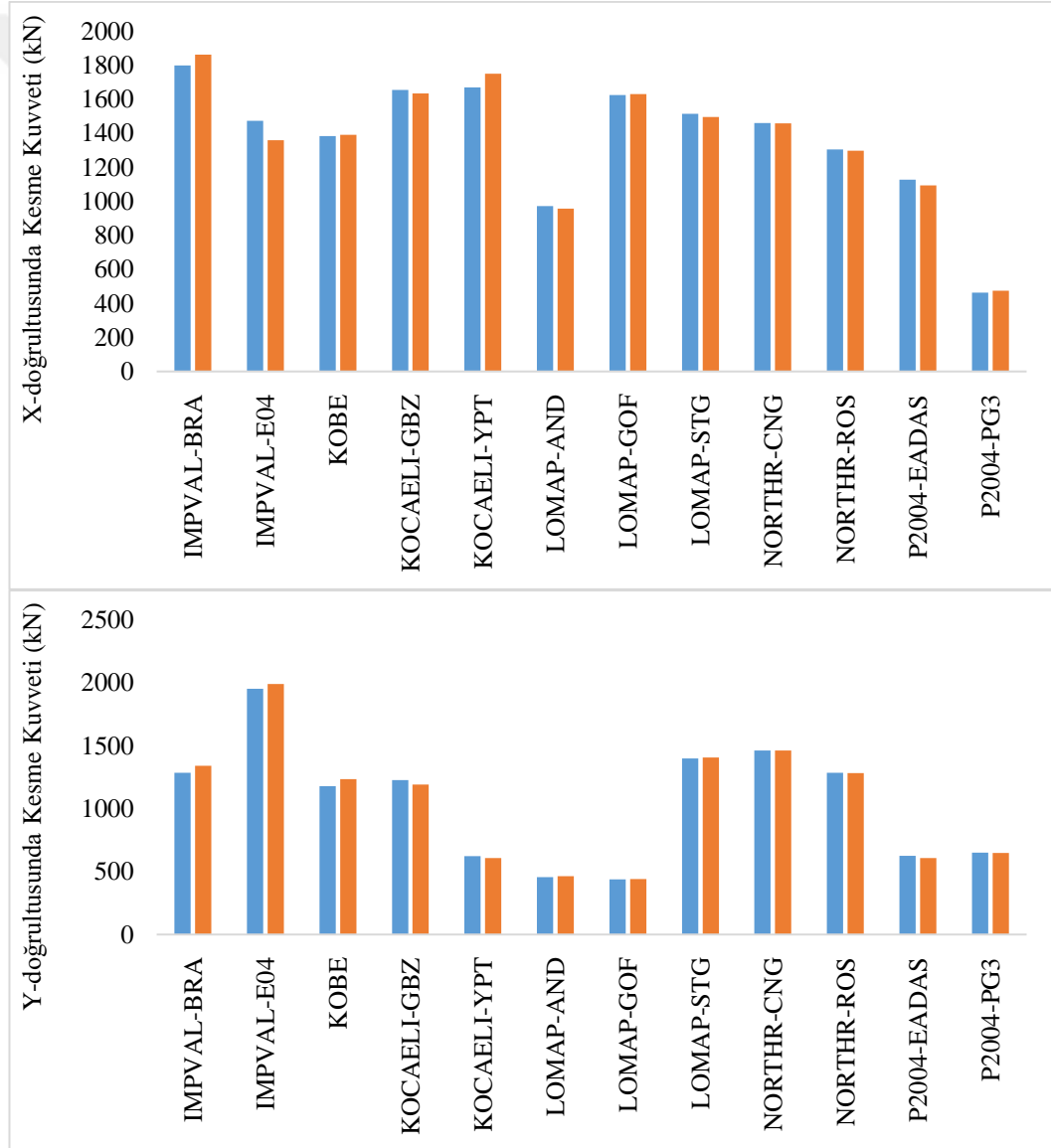
Şekil 4.12. Model-2 için kat ötelemeleri



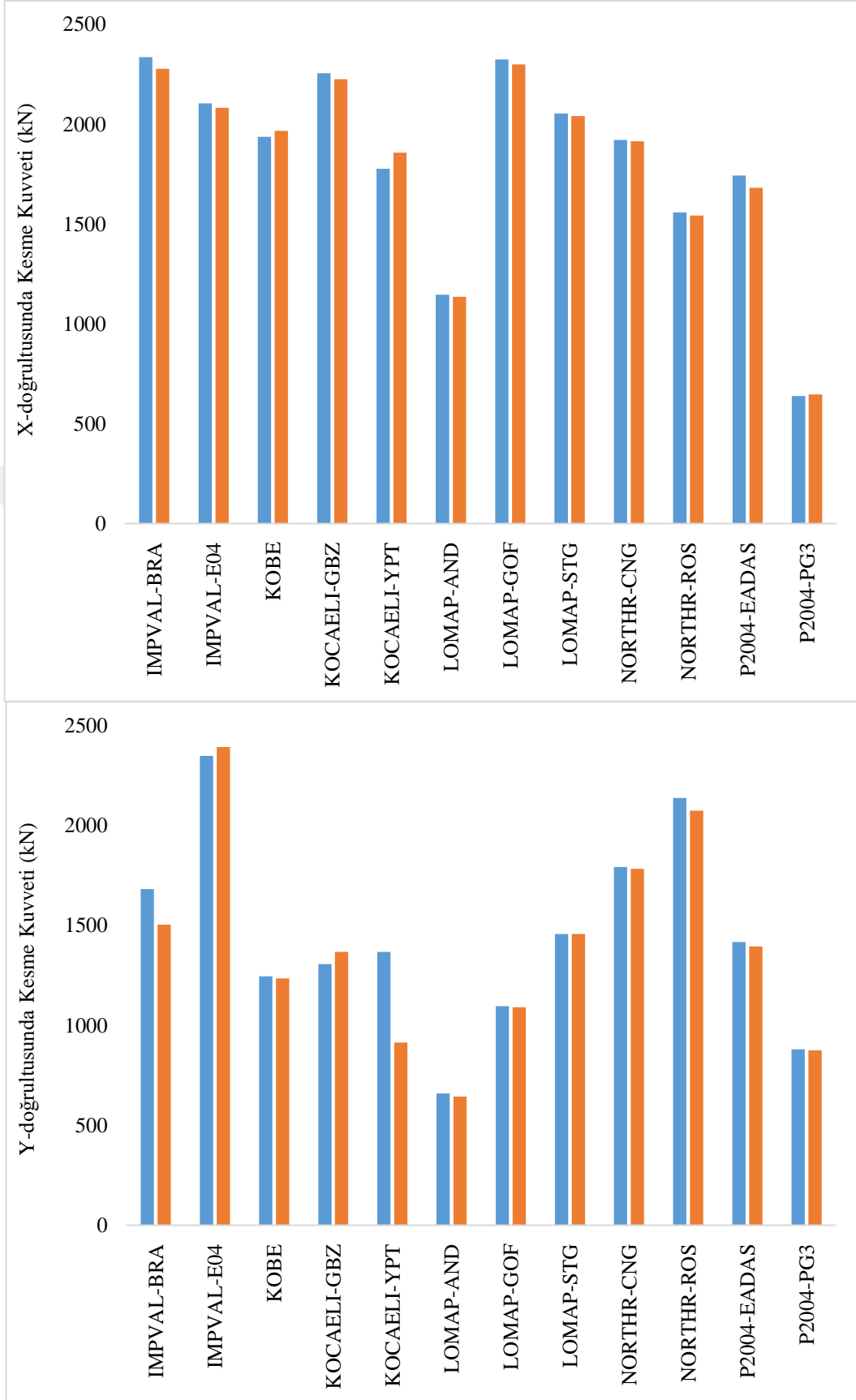
Şekil 4.13. Model-3 için kat ötelenmeleri

4.2.2. Taban kesme kuvvetleri

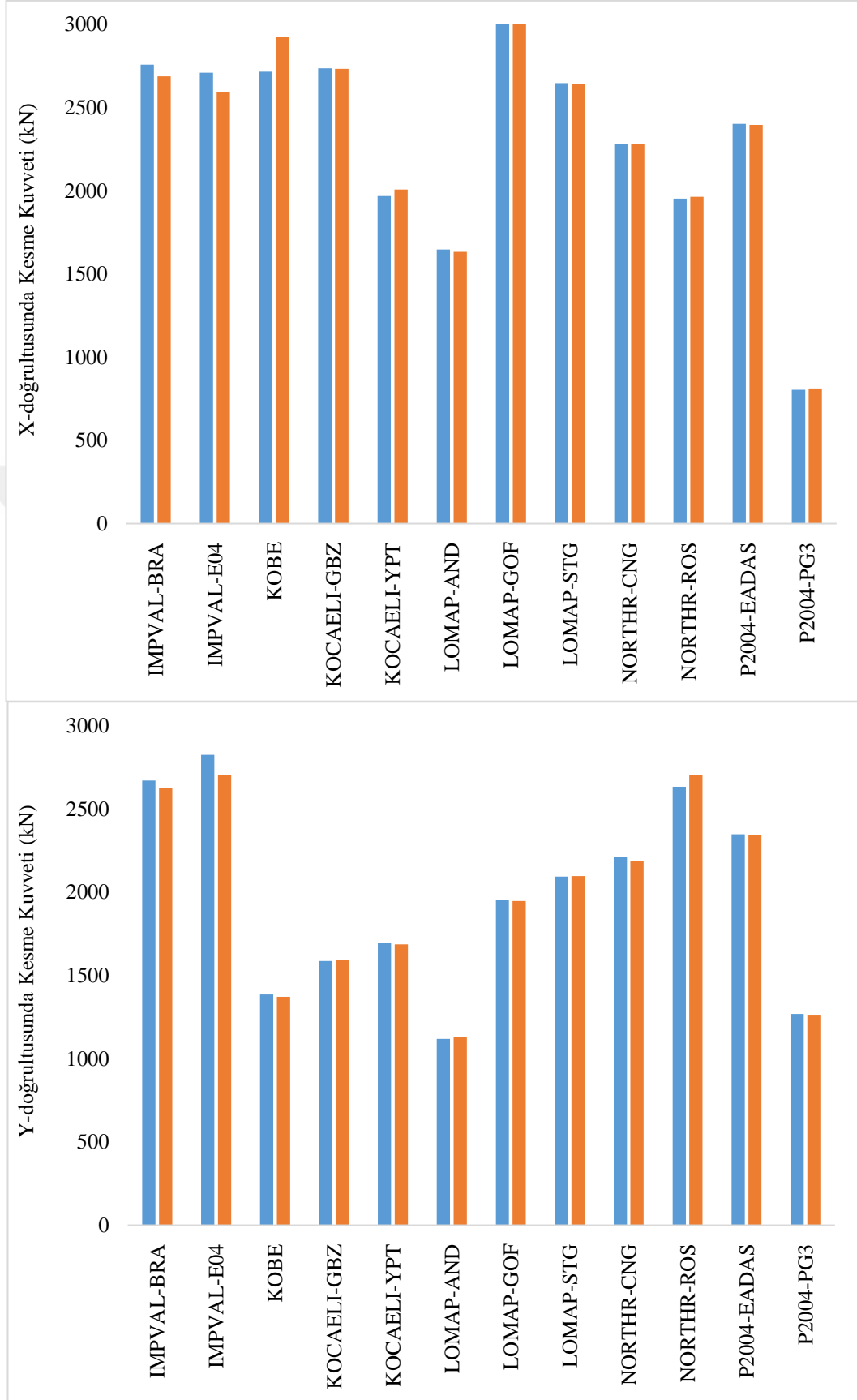
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre sırasıyla Model-1, Model-2 ve Model-3 de oluşan taban kesme kuvvetleri Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde Model-1 için Kocaeli ve Imperial Valley depremlerine ait yer hareketi kayıtlarında düşey bileşenin hesaba dahil edilmesiyle kesme kuvvetlerinde belirgin artış gözlenirken, Model-2 ve Model-3 için artış miktarlarının çok düşük seviyede kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.14. Model-1 için taban kesme kuvvetleri



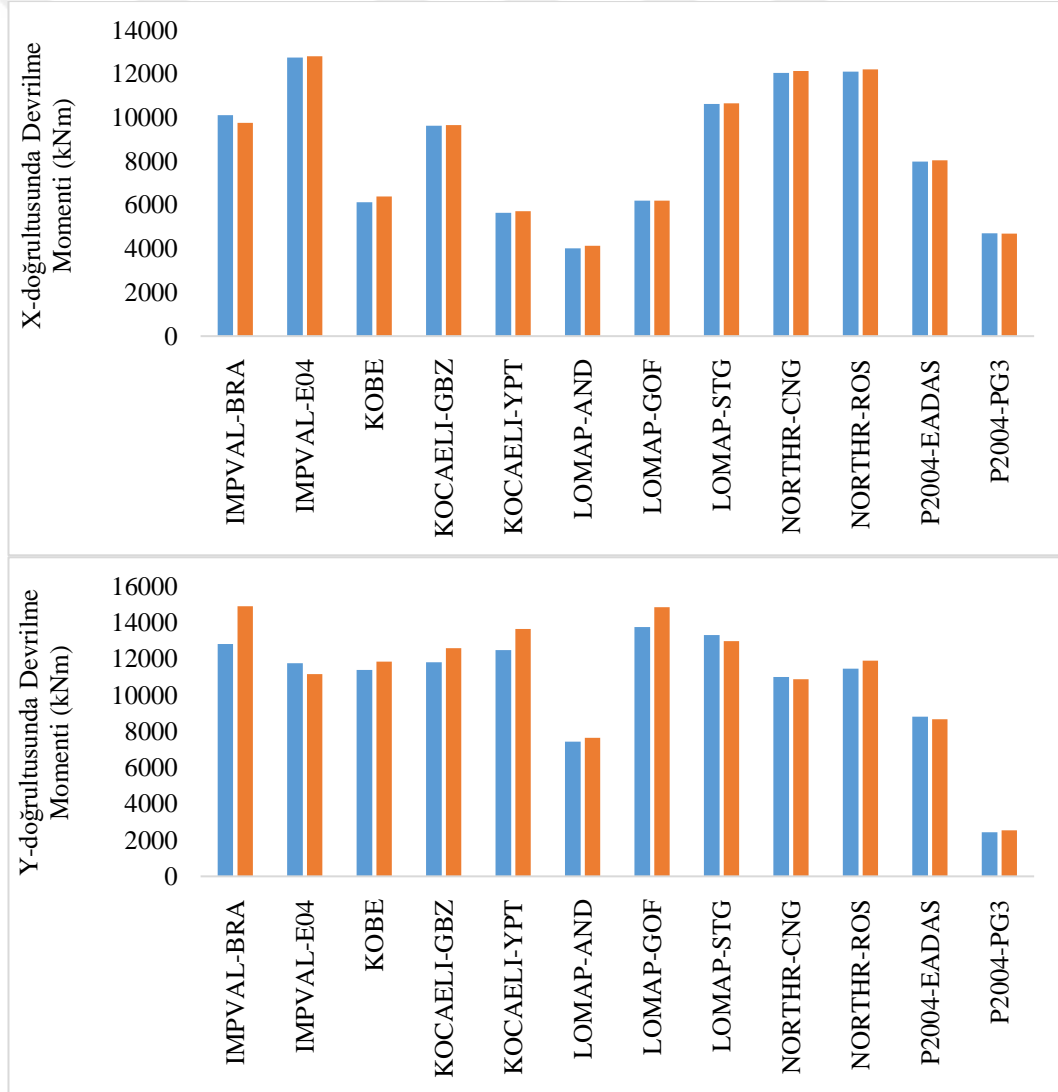
Şekil 4.15. Model-2 için taban kesme kuvvetleri



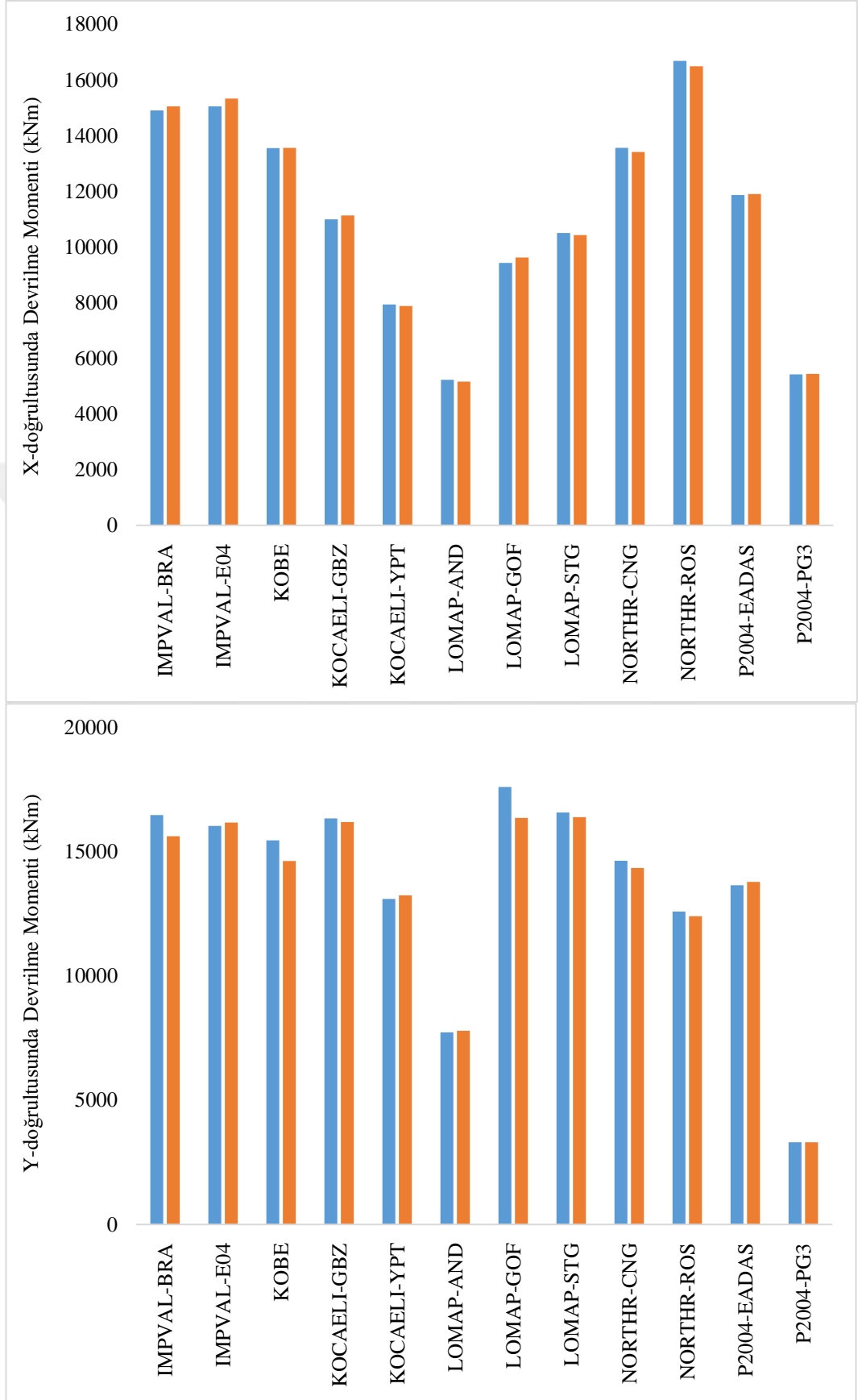
Şekil 4.16. Model-3 için taban kesme kuvvetleri

4.2.3. Taban devrilme momentleri

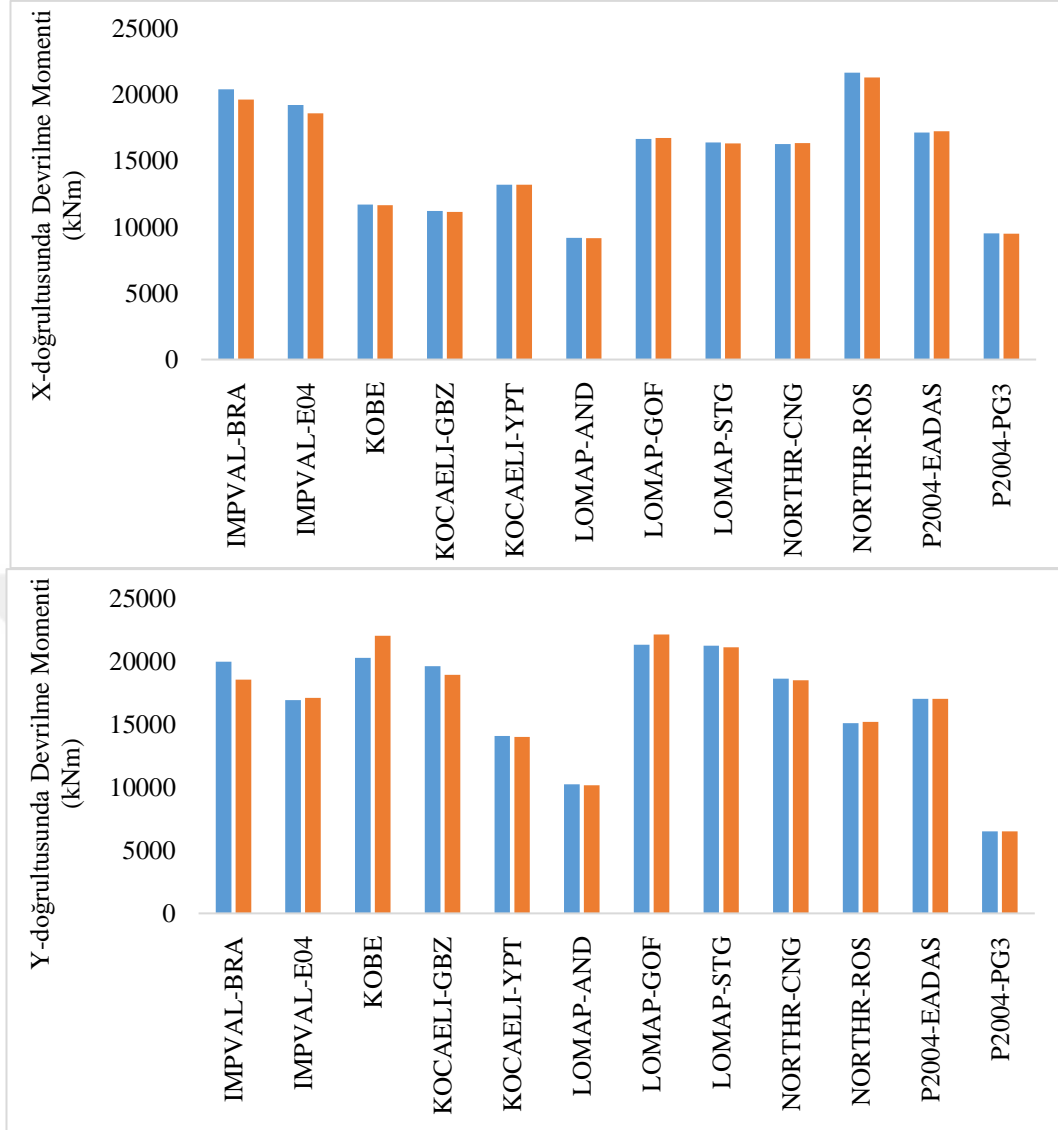
Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre Model-2’de oluşan devrilme momentlerinde her iki doğrultu için dikkate değer bir artış görülmemiştir. Model-1 ve Model-3’e ait X-doğrultulu devrilme momentlerinde belirgin değişimler olmazken, Y-doğrultusunda oluşan taban devrilme momentlerinde belirgin artış gerçekleşmiştir. En büyük artış oranı, Imperial Valley ve Kobe depremlerine ait ivme kayıtlardan elde edilmiştir. Şekil 4.7’de sırasıyla X ve Y doğrultuları için taban devrilme momentleri gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir.



Şekil 4.17. Model-1 için taban devrilme momentleri



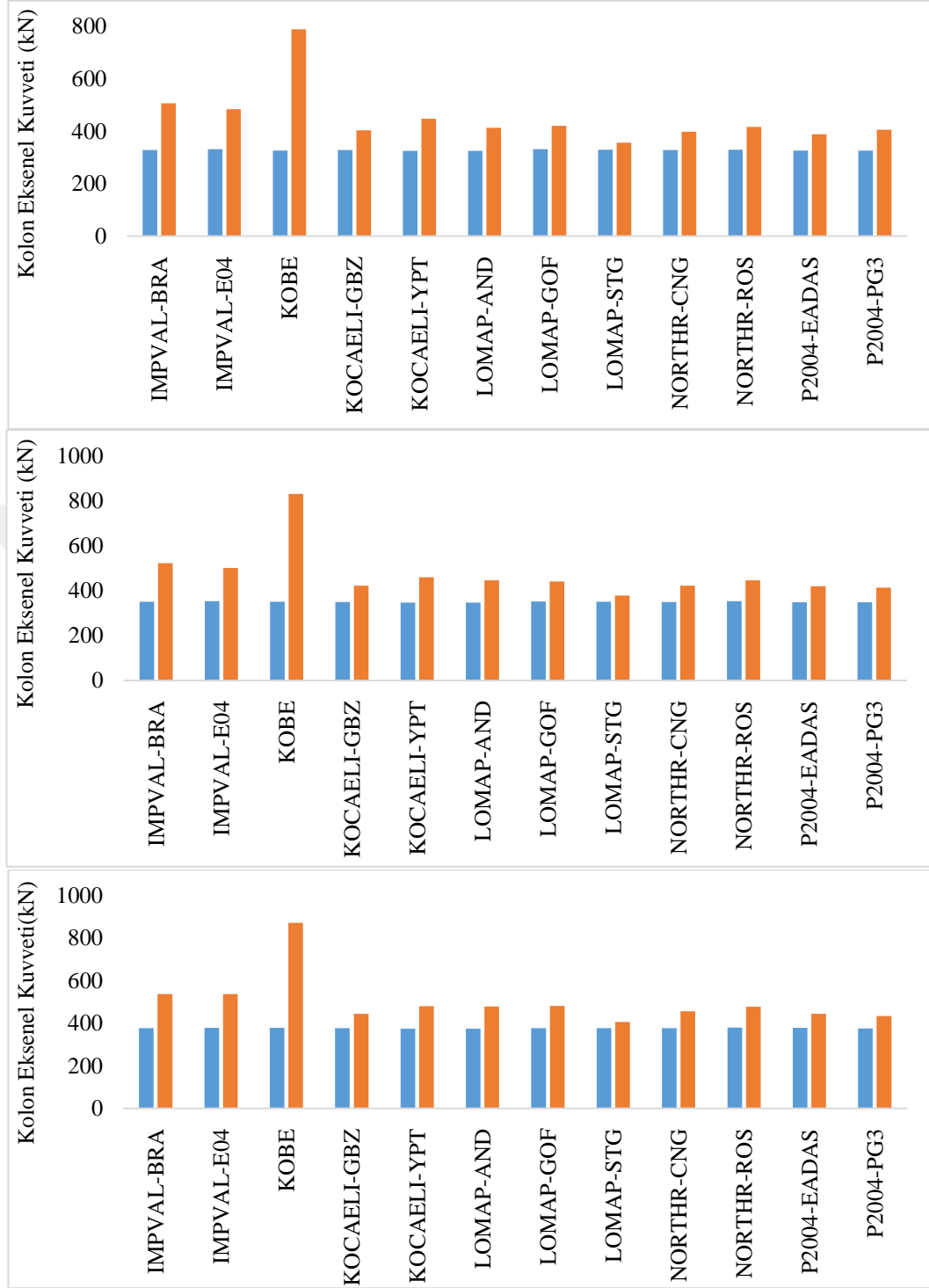
Şekil 4.18. Model-2 için taban devrilme momentleri



Şekil 4.19. Model-3 için taban devrilme momentleri

4.2.4. Kolon aksenal kuvvetleri

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonuçlarına göre hesaplanan kolon aksenal kuvveti değerleri Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Mavi sütunlar sadece yatay bileşen etkisi altındaki sonuçları, turuncu sütunlar ise yatay ve düşey bileşenin ortak etkisi altındaki sonuçları ifade etmektedir. Tüm modeller için düşey bileşenin hesaba katıldığı durumda kolon aksenal kuvvetlerinde çok büyük artışlar gözlenmiştir. Kolon aksenal kuvvetleri Kobe depreminde en yüksek artış değerlerine ulaşmıştır. Bu durum kolonların aksenal yük kapasitelerine beklenenden daha erken sürede ulaşip, sünek olan davranışının gevreğe dönüşmesine sebep olacak seviyededir. En yüksek aksenal kuvvet artışları, orta aksta bulunan kolonlarda meydana gelmiştir.



Şekil 4.20. Model-1, Model-2 ve Model-3 için kolon eksenel kuvvetleri

4.2.5. Performans düzeylerinin değerlendirilmesi

Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan analizde yapı sisteminde oluşan plastik mafsallardaki dönme değerleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Elde edilen değerlere göre yapı sisteminin yanal rijitliği arttıkça dönme talebi artmaktadır. Model-1 için Can

güvenliği performans seviyesi için plastik dönme talebi 0,007 iken, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için bu talep 0,009 olmaktadır. Model-2 için Can güvenliği performans seviyesi için plastik dönme talebi 0,009 iken, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için bu talep 0,012 olmaktadır. Model-3 için Can güvenliği performans seviyesi için plastik dönme talebi 0,012 iken, göçmenin önlenmesi performans düzeyi için bu talep 0,016 olmaktadır.

Tablo 4.2. Model -1 için moment-dönme davranışı

MODEL-1	X+Y		X+Y+Z		Y+X		Y+X+Z	
	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme
IMPVAL-BRA	382	0,075	401	0,076	114	0,020	120	0,021
IMPVAL-E04	286	0,062	267	0,061	55	0,166	54	0,167
KOBE	333	0,006	306	0,007	168	0,003	156	0,003
KOCAELI-GBZ	116	0,018	128	0,019	34	0,017	31	0,018
KOCAELI-YPT	147	0,003	130	0,005	79	0,006	70	0,006
LOMAP-AND	224	0,000	222	0,000	53	0,000	54	0,000
LOMAP-GOF	201	0,014	190	0,016	121	0,007	140	0,008
LOMAP-STG	281	0,022	284	0,022	104	0,021	106	0,021
NORTHR-CNG	166	0,008	166	0,009	223	0,016	223	0,017
NORTHR-ROS	191	0,011	188	0,011	101	0,017	108	0,017
P2004-EADAS	167	0,000	167	0,000	95	0,000	90	0,001
P2004-PG3	18	0,000	18	0,000	163	0,000	163	0,000

Tablo 4.3. Model -2 için moment-dönme davranışı

MODEL-2	X+Y		X+Y+Z		Y+X		Y+X+Z	
	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme
IMPVAL-BRA	248	0,055	326	0,060	10	0,015	8	0,014
IMPVAL-E04	453	0,063	439	0,063	112	0,111	131	0,000
KOBE	425	0,022	395	0,024	78	0,013	66	0,014
KOCAELI-GBZ	66	0,008	56	0,009	214	0,007	213	0,007
KOCAELI-YPT	33	0,000	36	0,000	168	0,001	158	0,002
LOMAP-AND	76	0,000	74	0,000	210	0,000	209	0,000
LOMAP-GOF	62	0,024	59	0,026	83	0,006	102	-0,006
LOMAP-STG	439	0,012	429	0,012	294	0,012	291	0,012
NORTHR-CNG	377	0,006	383	0,006	282	0,011	295	0,010
NORTHR-ROS	90	0,001	92	0,001	195	0,016	176	0,016
P2004-EADAS	61	0,000	68	0,000	80	0,000	92	0,003
P2004-PG3	11	0,000	11	0,000	63	0,000	63	0,000

Tablo 4.4. Model -3 için moment-dönme davranışı

MODEL-3	X+Y		X+Y+Z		Y+X		Y+X+Z	
	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme	Moment (kNm)	Dönme
IMPVAL-BRA	374	0,035	381	0,038	29	0,010	13	0,009
IMPVAL-E04	360	0,069	341	0,071	79	0,064	70	0,070
KOBE	445	0,030	434	0,036	254	0,023	234	0,026
KOCAELI-GBZ	272	0,005	264	0,005	272	0,003	92	0,004
KOCAELI-YPT	343	0,000	343	0,000	28	0,000	33	0,000
LOMAP-AND	79	0,000	78	0,000	113	0,000	113	0,000
LOMAP-GOF	135	0,031	169	0,033	253	0,003	259	0,003
LOMAP-STG	80	0,005	88	0,005	82	0,008	84	0,008
NORTHR-CNG	264	0,003	267	0,003	475	0,002	487	0,003
NORTHR-ROS	44	0,002	45	0,002	500	0,021	471	0,018
P2004-EADAS	139	0,002	128	0,002	10	0,000	22	0,003
P2004-PG3	108	0,000	108	0,000	23	0,000	23	0,000

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında seçilen 12 adet yer hareketi ivme kaydı, farklı kolon kesit boyutlarına sahip önüretimli betonarme bina modellerine etkililmiş ve zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri uygulanarak analizler tamamlanmıştır. Düşey deprem bileşeninin analiz sonuçlarına göreli kat ötelemesi, bina taban kesme kuvveti, bina taban devrilme momenti, kolon eksenel kuvvetleri ve kolon tabanlarında oluşan moment ve dönme değerleri, kiriş kesme kuvvetleri açısından etkisi incelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz sonucunda tüm bina modellerinde hem X-doğrultusunda hem de Y-doğrultusundaki göreli kat ötelenmelerinin yer hareketi düşey bileşeninden etkilenmediği gözlenmiştir. Düşey bileşen etki oranı 1.00 olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, kolon-kiriş bağlantıları mafsallı olan önüretimli çerçevelerin kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetlerinde yatay deprem kuvveti ile birlikte düşey deprem bileşeninin dikkate alınması durumunda bir değişiklik oluşmadığı tespit edilmiştir.

Zaman-tanım alanında doğrusal hesap sonrasında elde edilen diğer sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Tüm yapı modellerince X ve Y doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetinin, düşey deprem bileşeninin dikkate alındığında değişmediği ve düşey bileşen etki oranının 1.00'e çok yakın değerler aldığı belirlenmiştir.
- Bina taban devrilme momentleri düşey bileşen etkisi altında artış göstermemiş, düşey bileşen etki oranı tüm modellerde 1.00 değerini almıştır.
- Kolon eksenel kuvvetleri düşey bileşeninin dikkate katılmasıyla önemli miktarda artış göstermiştir. Eksenel kuvvet farklarının, kolon eksenel yük kapasitesine oranlanmasıyla elde edilen artış oranları tüm kayıtların ortalaması olarak Model-1 için 0.008, Model-2 için 0.006, Model-3 için 0.004 olarak ölçülmüştür. En yüksek artış oranlarına Kobe depremine ait kayıtlardan ulaşılmıştır. Buna göre artış oranı Model-1 için 0.027, Model-2 için 0.021, Model-3 için 0.015'dir. Kolon kesit boyutlarının artışıyla birlikte eksenel yük kapasitesi arttığı için Model-1'den Model-3'e doğru gidildikçe düşey bileşen etkisi altında eksenel kuvvet artış oranları azalmaktadır.

Bu artış miktarları sınır değerler oranında eksenel kuvvet değerlerinin artması sonucunda kolon davranışını sünekten gevreğe dönüştürebilecek seviyelere ulaşmaktadır. Zaman-tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Taban kesme kuvveti sonuçları incelendiğinde X ve Y doğrultularında düşey bileşen etki oranı tüm modeller için kayıtların büyük kısmında 1.00'e çok yakın değerler almıştır. En büyük etki oranları X-doğrultusunda Model-1 için 1.04, Model-2 için 1.05, Model-3 için 1.08 olarak, Y-doğrultusunda Model-1 için 1.04, Model-2 için 1.05, Model-3 için 1.03 olarak ölçülmüştür. En büyük artış miktarları Kocaeli, Loma Prieta ve Kobe depremlerine ait kayıtlardan elde edilmiştir.
- Bina taban devrilme momenti değerleri incelendiğinde ise düşey bileşen etki oranının X-doğrultusunda Model-2 ve Model-3 için 1.00'e çok yakın değerler alırken, Model-1 için 1.05 olarak ölçülmüştür. Y-doğrultusunda Model-2 için düşey bileşen etkisi görülmezken, Model-1 için 1.16, Model-3 için 1,08 oranları ölçülmüştür. Imperial Valley ve Kobe depremlerinin düşey bileşenlerinin taban devrilme momentlerine olan etkileri ile dikkat çekmektedir.
- Kolon eksenel kuvvetleri farkının, kolon eksenel yük kapasitesine oranlanmasıyla elde edilen ortalama artış oranı Model-1 için 0.043, Model-2 için 0.026 ve Model-3 için 0.019 olarak hesaplanmıştır. En yüksek artış oranları ise Model-1 için 0.119, Model-2 için 0.096 ve Model-3 için 0.074 olarak ölçülmüştür.
- Taşıyıcı sistemin yanal rijitliği arttıkça plastik mafsallardaki dönme talebinin arttığı gözlenmiştir. Plastik mafsallarda sadece yer hareketinin yatay bileşeni etkisinde hesaplanan mevcut performans düzeyi, yer hareketinin düşey bileşeninin hesaba dahil edilmesi ile değişmemektedir.

Yapılan bu çalışmada yer hareketinin düşey bileşeninin tek katlı, kolonlar temelde ankastre, kolon-kiriş birleşimleri mafsallı olan önüretimli binalar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yer hareketinin düşey bileşeni, yapsal analizde hesaba katıldığı takdirde kat ötelenmesi üzerinde etki yaratmazken, kolon eksenel kuvvetleri ve taban devrilme momentleri üzerinde dikkat çeken artışlara sebep olmaktadır. Özellikle fay hatlarına yakın mesafede inşa edilecek binalar deprem sonucunda daha büyük ivme ve hız değerlerine maruz kalacağından, artış oranları daha yüksek seviyelere ulaşacaktır. Bu durumda kolon eksenel kuvvet değerlerindeki

artışlar, elemanların yük kapasitelerine beklenenden daha erken ulaşır, davranışlarının beklenmeyen bir şekilde gerçekleşmesine yol açabilecektir. Bu durumu engellemek adına depreme dayanıklı yapı tasarımında, yer hareketinin düşey bileşeninin mutlaka hesaplara dahil edilmesi gerekmektedir.

İleride bu alanda yapılacak çalışmalarda daha geniş deprem kayıt seti kullanılarak farklı karakteristik özelliklere sahip depremlerin bina davranışı üzerindeki etkileri incelenebilir. Çok sayıda depreme ait geniş bir kayıt seti kullanıldığında ivme, hız, zemin sınıfı ve çeşitli parametrelere göre gruplandırma yapılarak, düşey bileşen etki oranlarının farklı parametrelere karşılaştırmalı analizi ile literatüre katkı sağlanabilecektir. Bununla birlikte analizlerde çeşitli kat sayısı, farklı geometrik özellikler ve bağlantı tiplerine sahip önüretimli betonarme binalar seçilerek, yapısal parametreler ile düşey bileşen etkisinin değişimi incelenebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Bekirođlu D., Prefabrike Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı, Onarım Ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 172220.
- [2] Acar M. Ş., *Türkiye'de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi*, Türkiye Prefabrik Birliği, İstanbul, 2006.
- [3] Amil A. P., Aydın A. C., Prefabrike Yapıların Başlıca Tasarım İlkeleri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 2004, **35**(3-4), 235-240.
- [4] Eşiyok Ü., Konut Üretiminde Prefabrikasyona Bağlı Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000, 101179.
- [5] Polat G., Damcı A., Türk İnşaat Sektöründe Prefabrik Betonarme Yapı Elemanlarının Kullanımını Etkileyen Faktörler, *4. İnşaat Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 30-31 Ekim 2007.
- [6] Zorbozan M., Barka G., Sarıfakıoğlu F., Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 1998, (48), 20-24.
- [7] Ersoy U., Özcebe G., Tankut T., 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Ötüretimli Yapı Hasarları, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, 2000.
- [8] Arslan M. H., Korkmaz H. H., Gulay F. G., Damage and Failure Pattern of Prefabricated Structures After Major Earthquakes in Turkey and Short Falls of the Turkish Earthquake Code, *Engineering Failure Analysis*, 2006, **13**(4), 537–557.
- [9] Özden Ş., Atalay H. M., Akpınar E., Doyranlı B., İmren Ö., Betonarme Prefabrik Yapıların 23 Ekim 2011 Van Depreminde Gözlenen Performansı, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 2012, (103), 11-19.
- [10] Mwafy A., Elnashai A., Vulnerability of Code-Compliant RC Buildings Under Multi-Axial Earthquake Loading, *4th International Conference on Earthquake Engineering*, Taipei, Taiwan, 12-13 October 2006.
- [11] Keskin E., Effect of Vertical Ground Motion on the Performance of High-Rise Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020, 630327.

- [12] Eren G., Beyen K, Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansın Tartışılması, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 11-15 Mayıs 2015.
- [13] Collier C. J., Elnashai A.S., A Procedure for Combining Horizontal and Vertical Seismic Action Effects, *Journal of Earthquake Engineering*, 2001, **5**(4), 521-539.
- [14] Shrestha B., Vertical Ground Motions and Its Effect on Engineering Structures: A State-of-The-Art Review, *International Seminar on Hazard Management for Sustainable Development*, Kathmandu, Nepal, 29-30 November 2009.
- [15] Adam M. A., Shaaban I. G., Seismic Response of R.C. Building Frames Subjected to Combined Horizontal and Vertical Excitations, *Engng. Research Journal*, Egypt, 2002, **82**, 59-75.
- [16] Elgamal A., He L., Vertical Earthquake Ground Motion Records: An Overview, *Journal of Earthquake Engineering*, 2004, **8**(5), 663-697.
- [17] Narayana T. M., Prof. Patil G. R., Effect of Vertical Ground Motion on Reinforced Concrete Structures, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2015, 33-39.
- [18] Ghobarah A., Elnashai, A. S., Contribution of Vertical Ground Motion to The Damage of R/C Buildings, *Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, Rotterdam, 1998.
- [19] Papazoglou A. J., Elnashai A. S., Analytical and Field Evidence of the Damaging Effect of Vertical Earthquake Ground Motion, *Earthquake Eng Struct Dyn*, 1996, **25**(10), 1109–1137.
- [20] Bovo M., Savoia M., Evaluation of Force Fluctuations Induced by Vertical Seismic Component on Reinforced Concrete Precast Structures, *Engineering Structures*, 2019, **178**, 70–87.
- [21] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 2018.
- [22] SAP2000, Structural Analysis Program v21.0, Computers and Structures, Berkeley, CA, 2000.
- [23] Fahjan Y, Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *Teknik Dergi*, 2008, **19**(93), 4423-4444.
- [24] Mwafy A., Elnashai A., Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings, *Engineering Structures*, 2001, **23**(5), 407-424.

- [25] Fahjan, Y. M., Vatansever, S., Özdemir, Z., Ölçeklenmiş Gerçek Deprem Kayıtları ile Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizleri. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, ODTÜ, Ankara. 11-14 Ekim 2011.
- [26] Öncü, M. E., Yön, M. Ş., Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının Artımsal Dinamik Analiz Yöntemiyle Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2016, **7**(1), 23-32.
- [27] Korkmaz, A., Düzgün, M., Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, *İtüdergisi/d mühendislik*, 2007, **6**(3), 11-23.
- [28] SeismoSignal Version 2020, <http://www.seismosoft.com>, Pavia, Italy, 2020.





EKLER

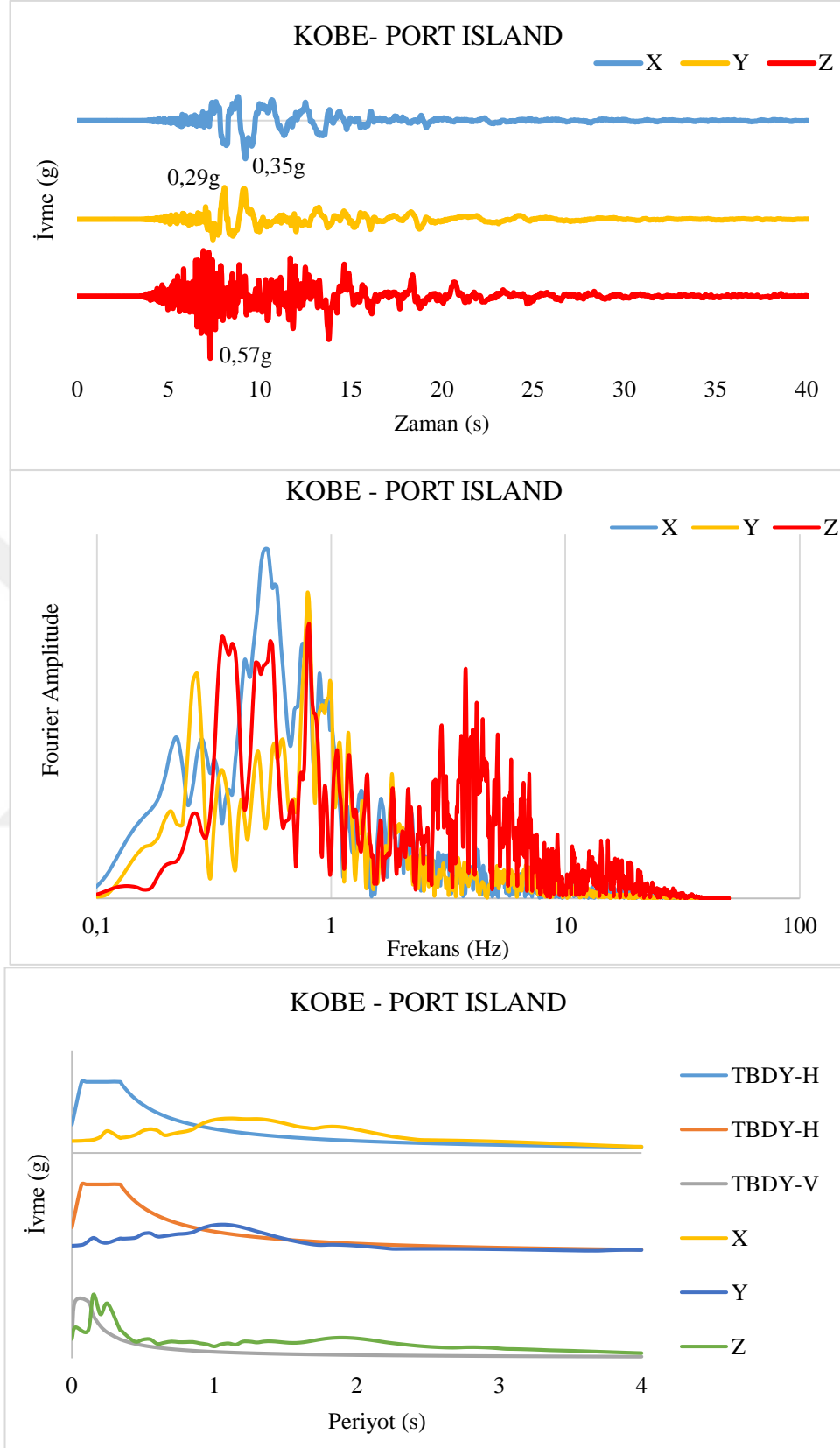
Ek-A: İvme – Zaman Kayıtları, Fourier Spektrumları ve Tepki Spektrumları

Bu bölümde, zaman-tanım alanında analizlerde kullanılan deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri, Fourier spektrumları ve tepki spektrumları gösterilmektedir. Bu verilerin elde edilmesinde SeismoSignal yazılımından faydalanılmıştır [28].

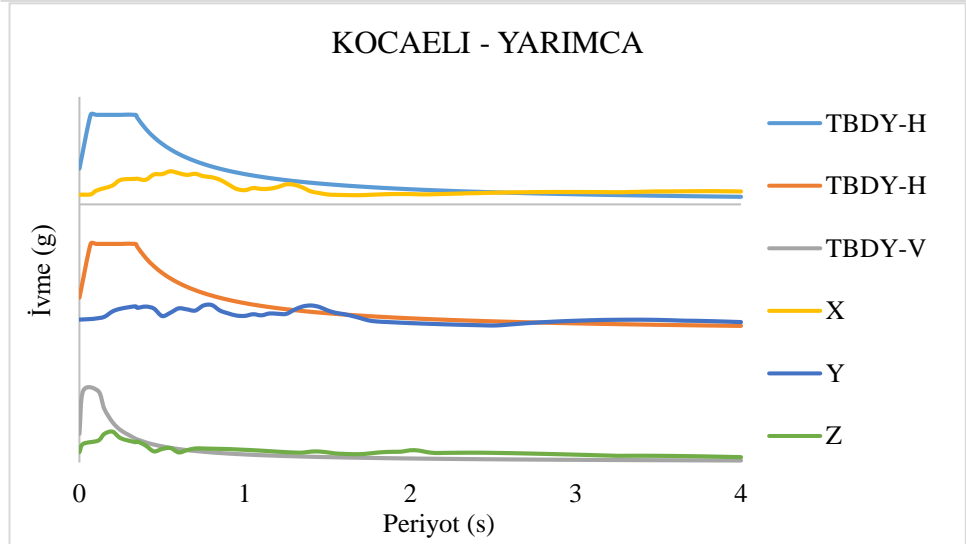
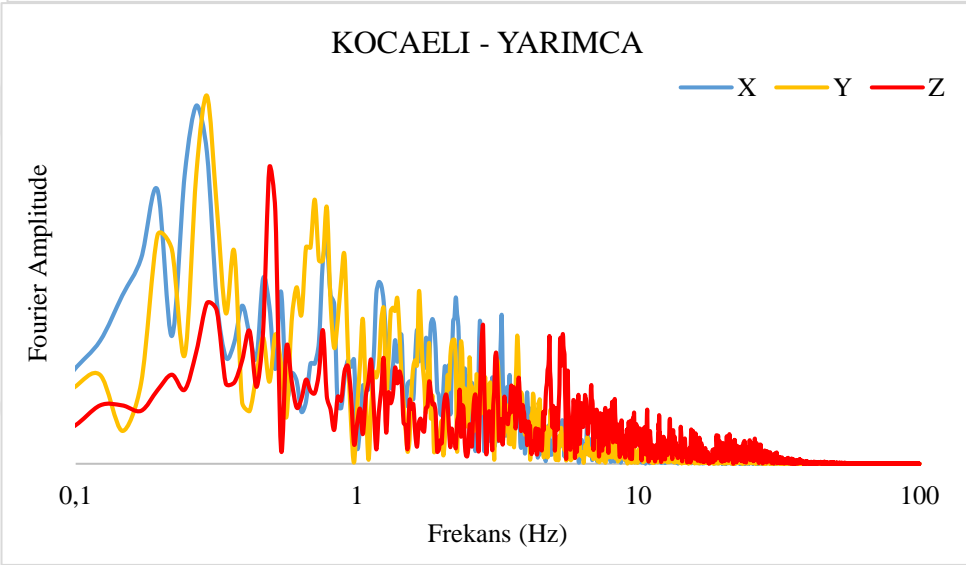
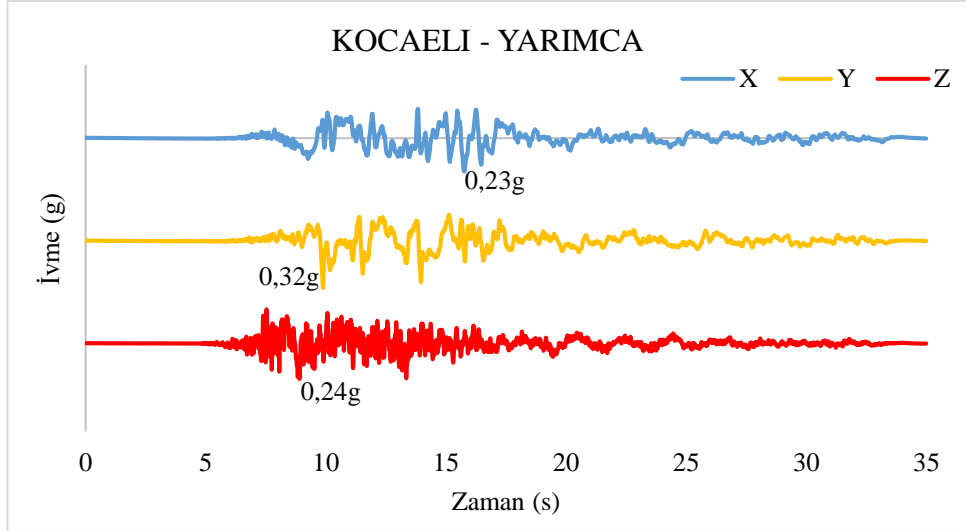
İlk sıradaki grafiklerde, sırasıyla yer hareketinin yatay (X, Y) ve düşey (Z) bileşenlerine ait ivme-zaman kayıtları gösterilmektedir. Yatay ekseninde zaman(s), düşey ekseninde ise ivme(g) değerleri yer almaktadır. PGA_H ve PGA_V değerleri grafik üzerinde gösterilmektedir.

İkinci sırada yer alan grafiklerde, sırasıyla yer hareketinin yatay (X, Y) ve düşey (Z) bileşenlerine ait Fourier spektrumları gösterilmektedir. Yatay ekseninde frekans(Hz) değerleri, düşey ekseninde ise Fourier genlikleri yer almaktadır.

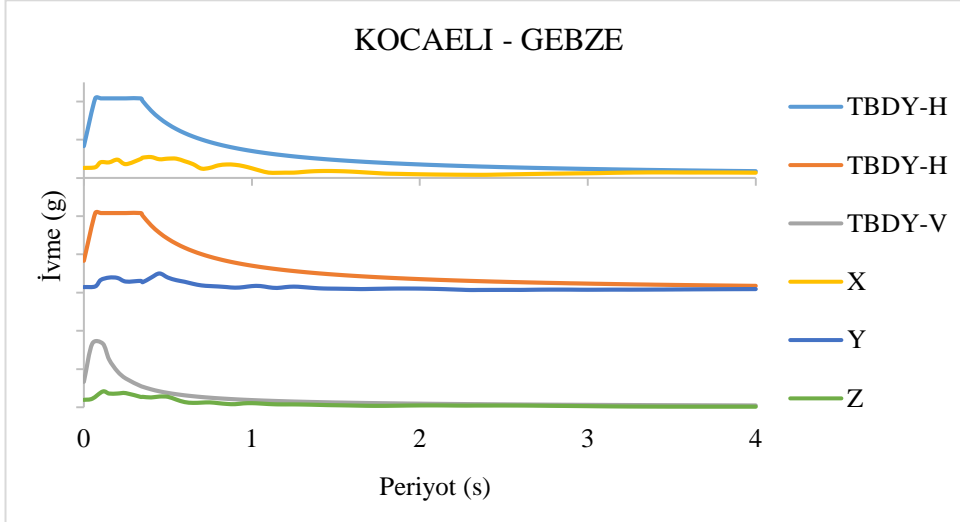
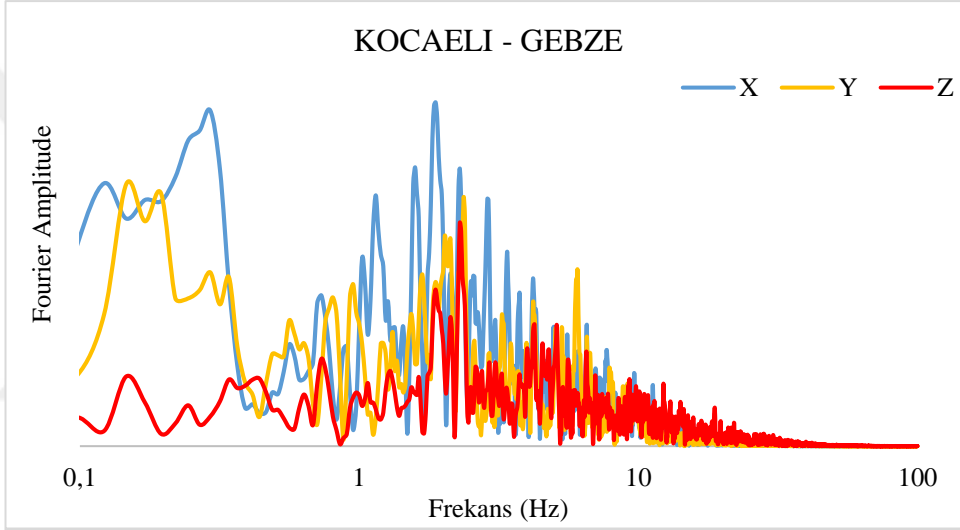
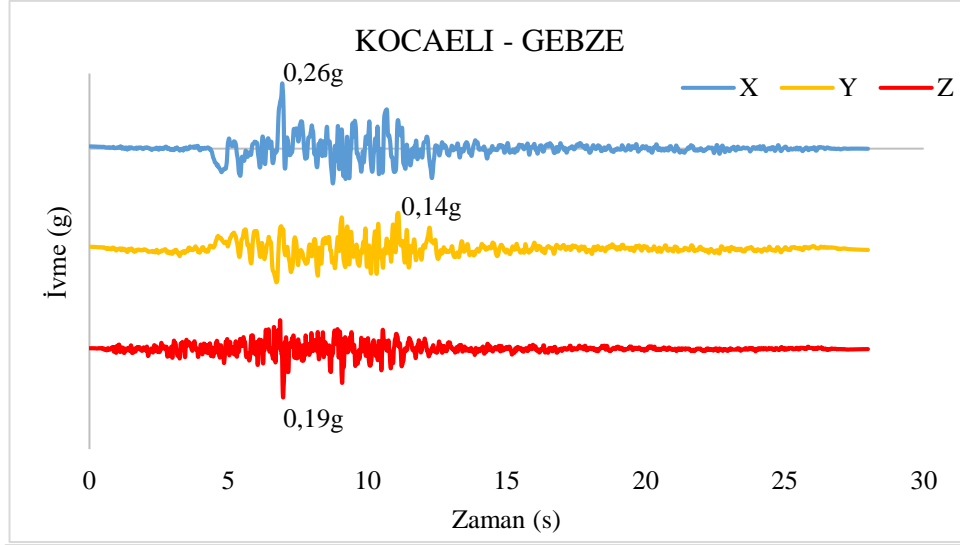
Üçüncü sırada yer alan grafiklerde, sırasıyla yer hareketinin yatay (X, Y) ve düşey (Z) bileşenlerine ait tepki spektrumları yer almaktadır. Aynı zamanda TBDY-2018'e göre oluşturulan yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları da bu grafiklerde gösterilmektedir. Yatay ekseninde periyot(s), düşey ekseninde ise ivme(g) değerleri yer almaktadır.



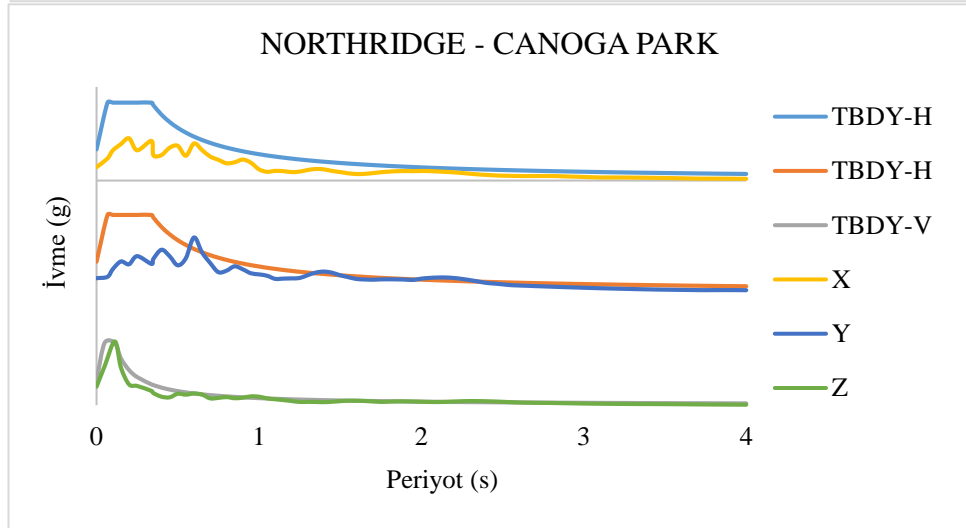
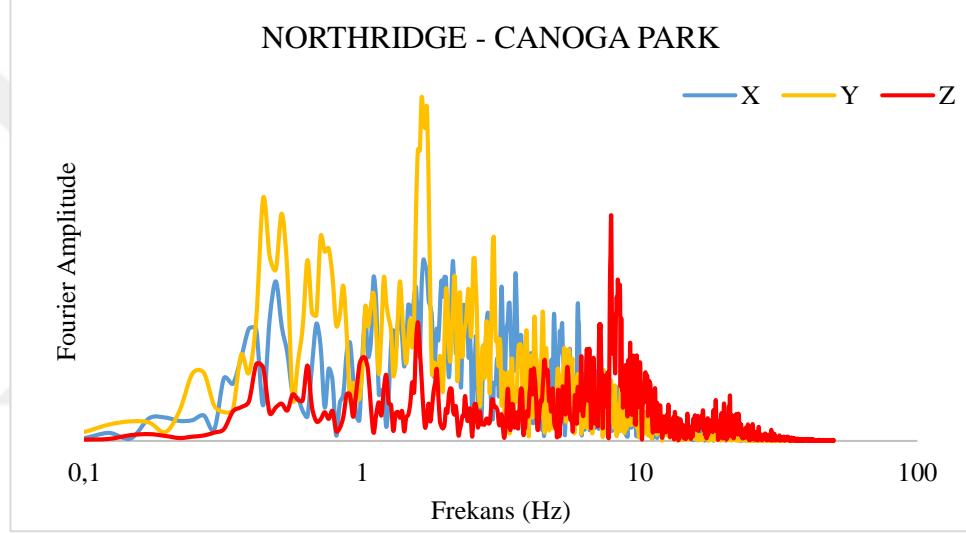
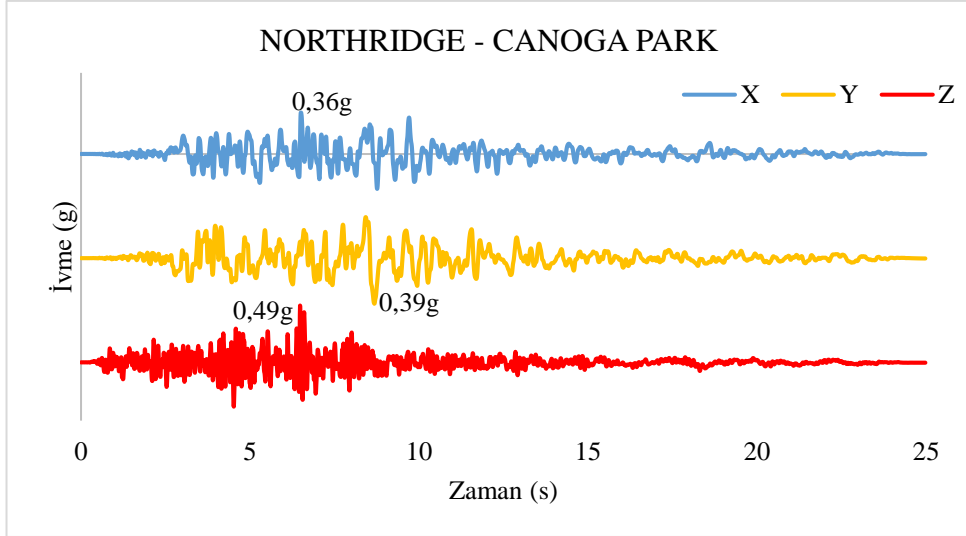
Şekil A.1. Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



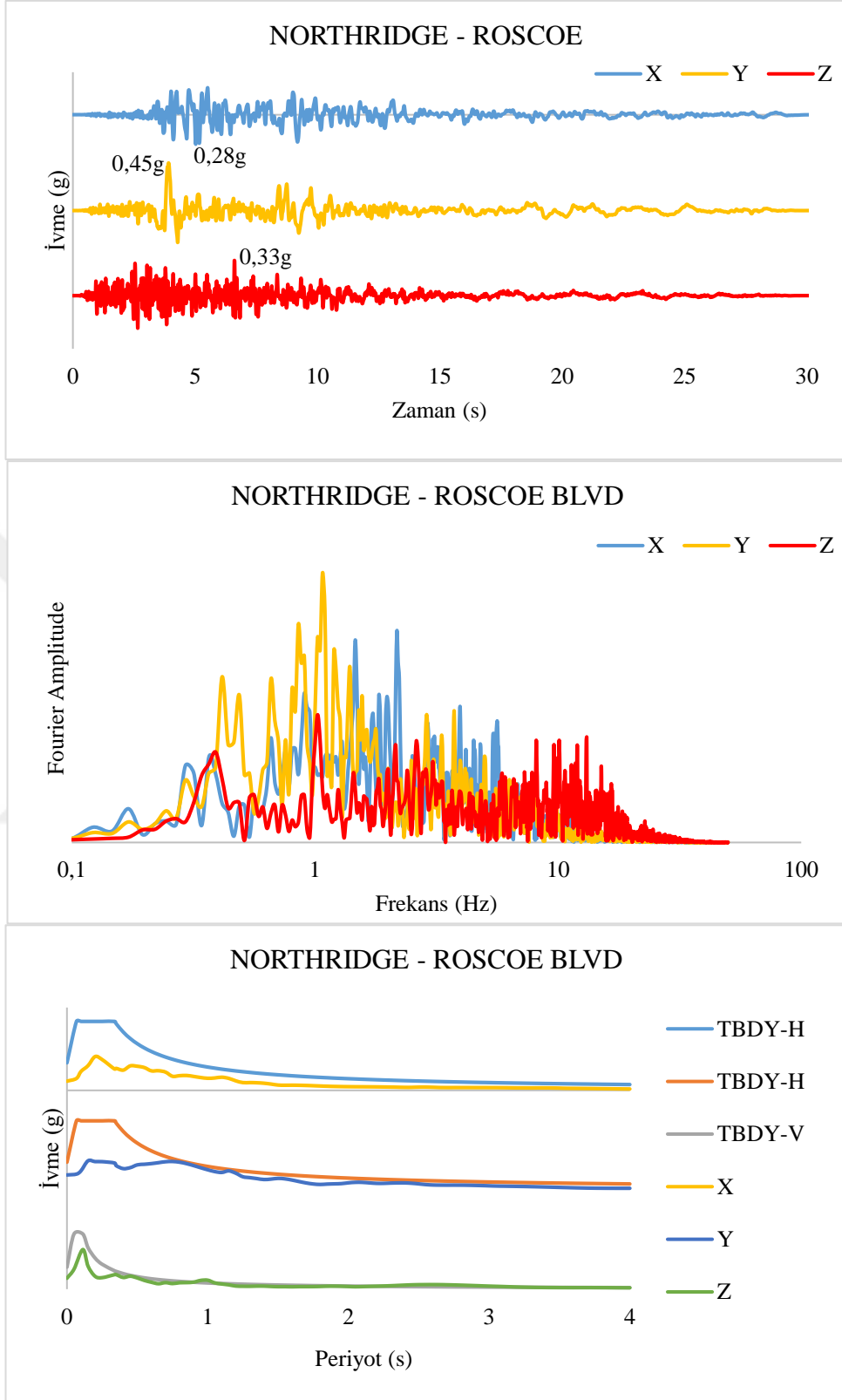
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



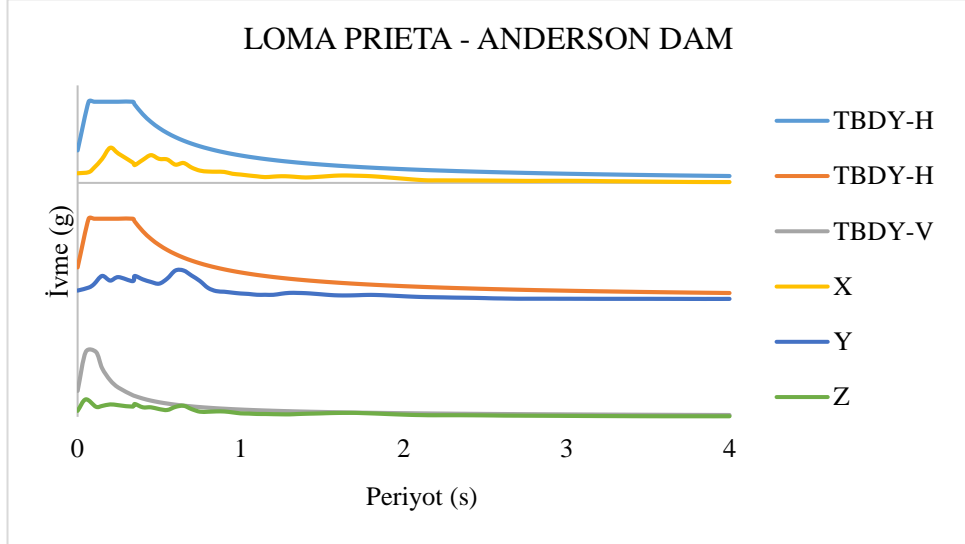
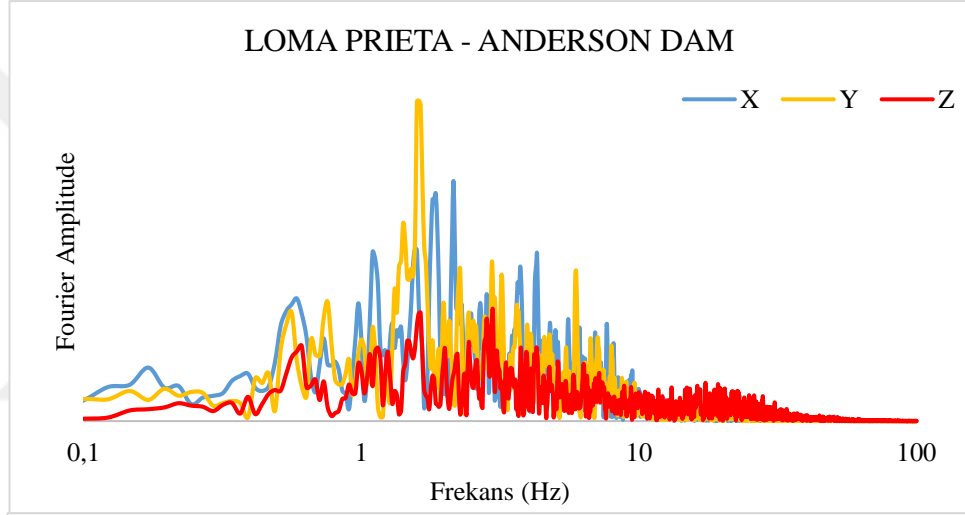
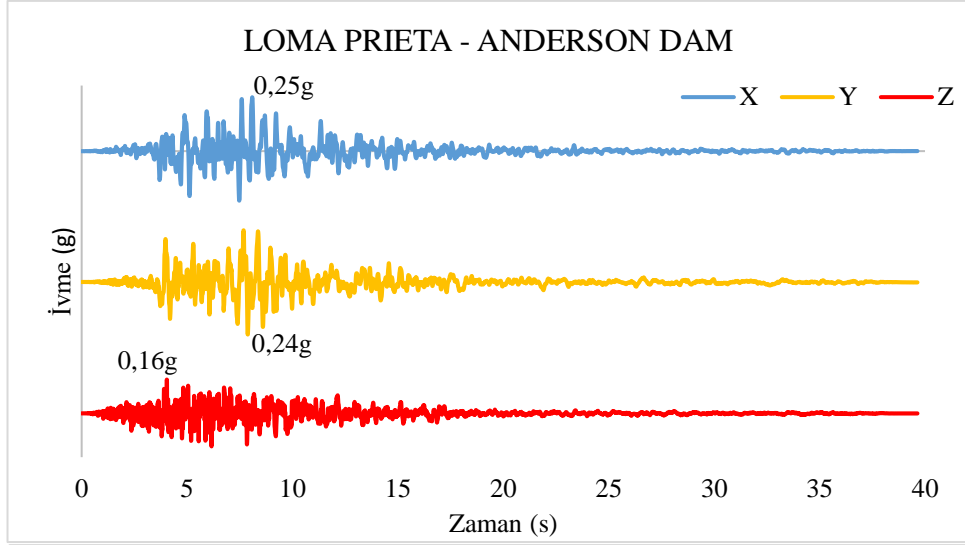
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



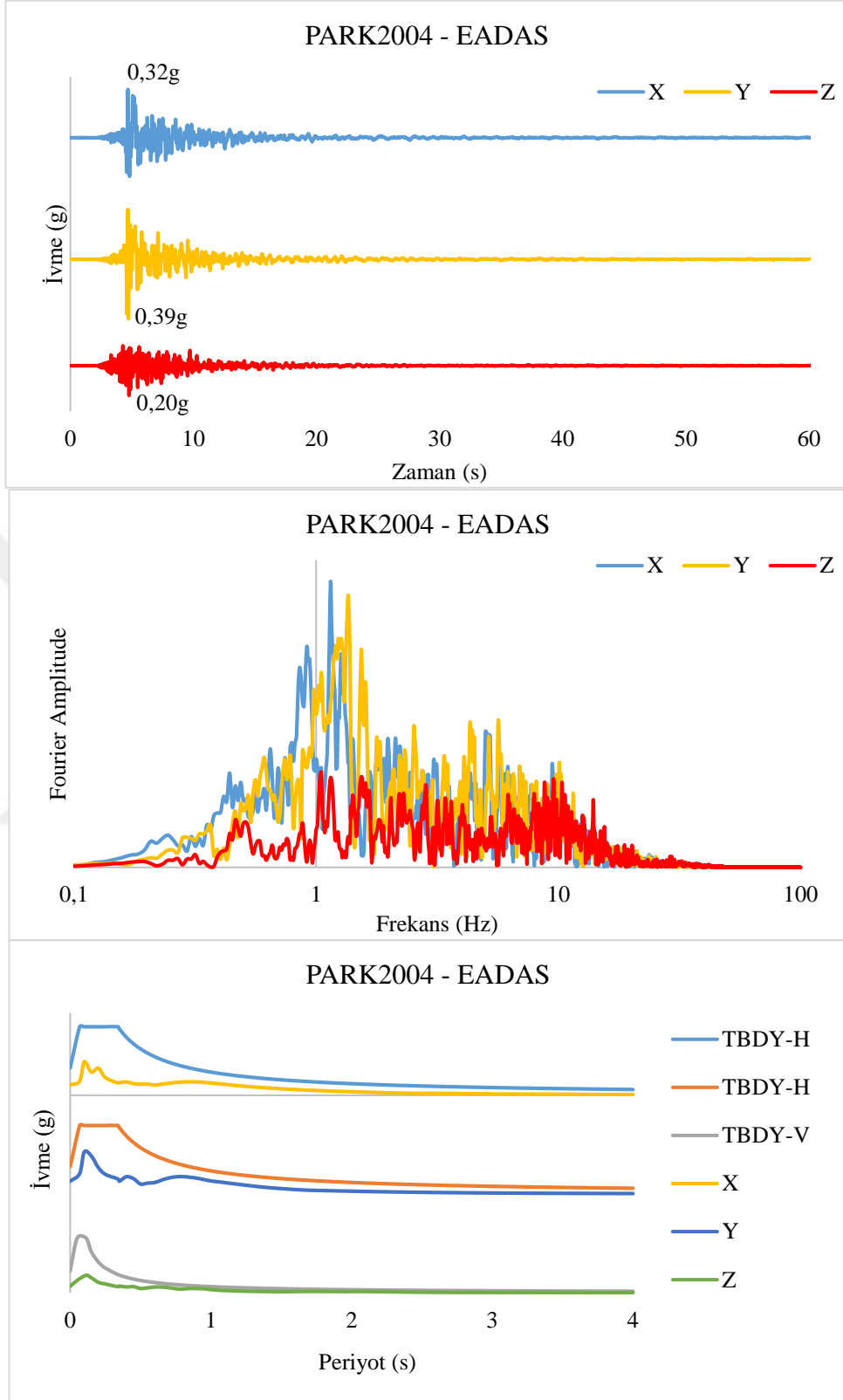
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



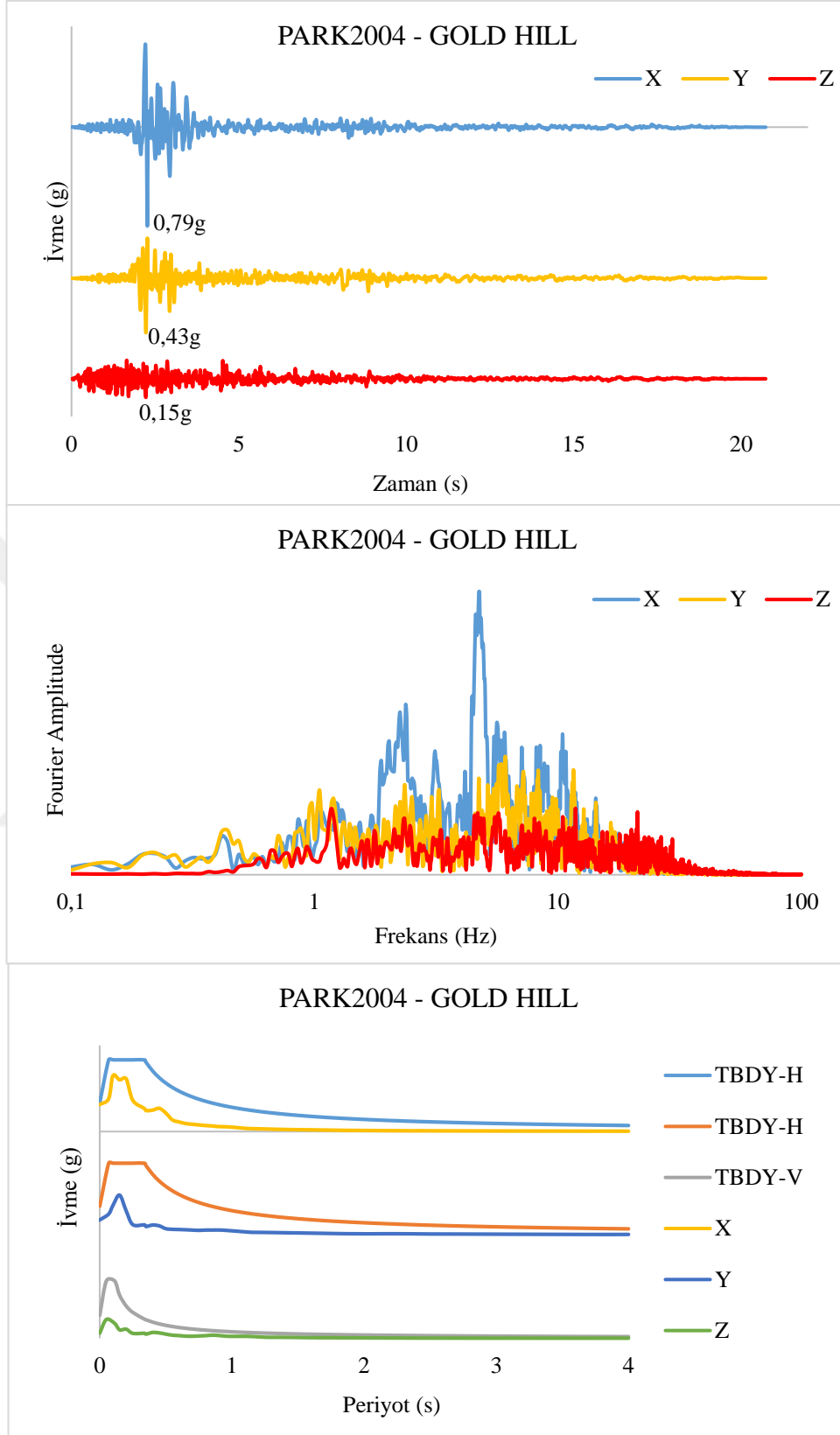
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



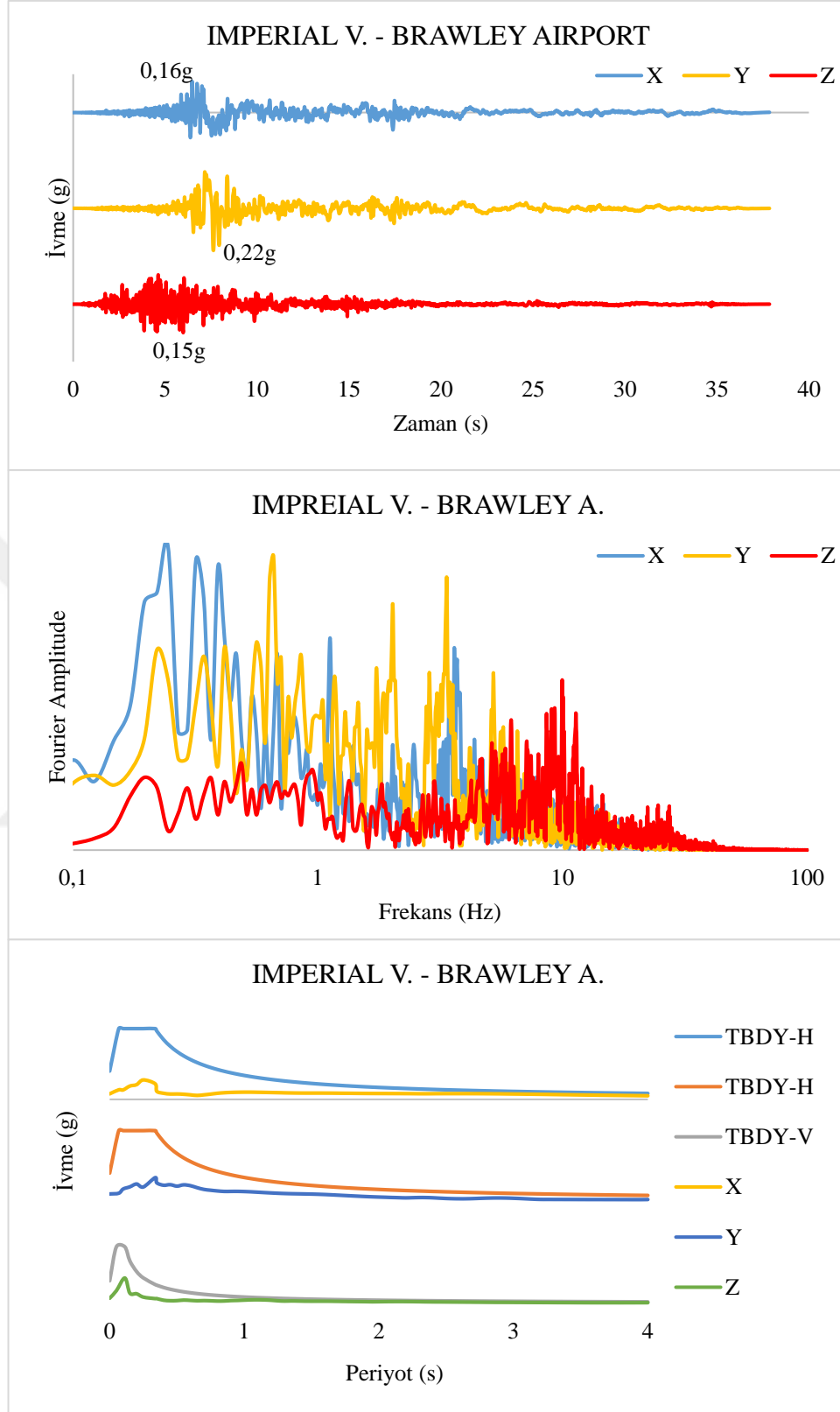
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



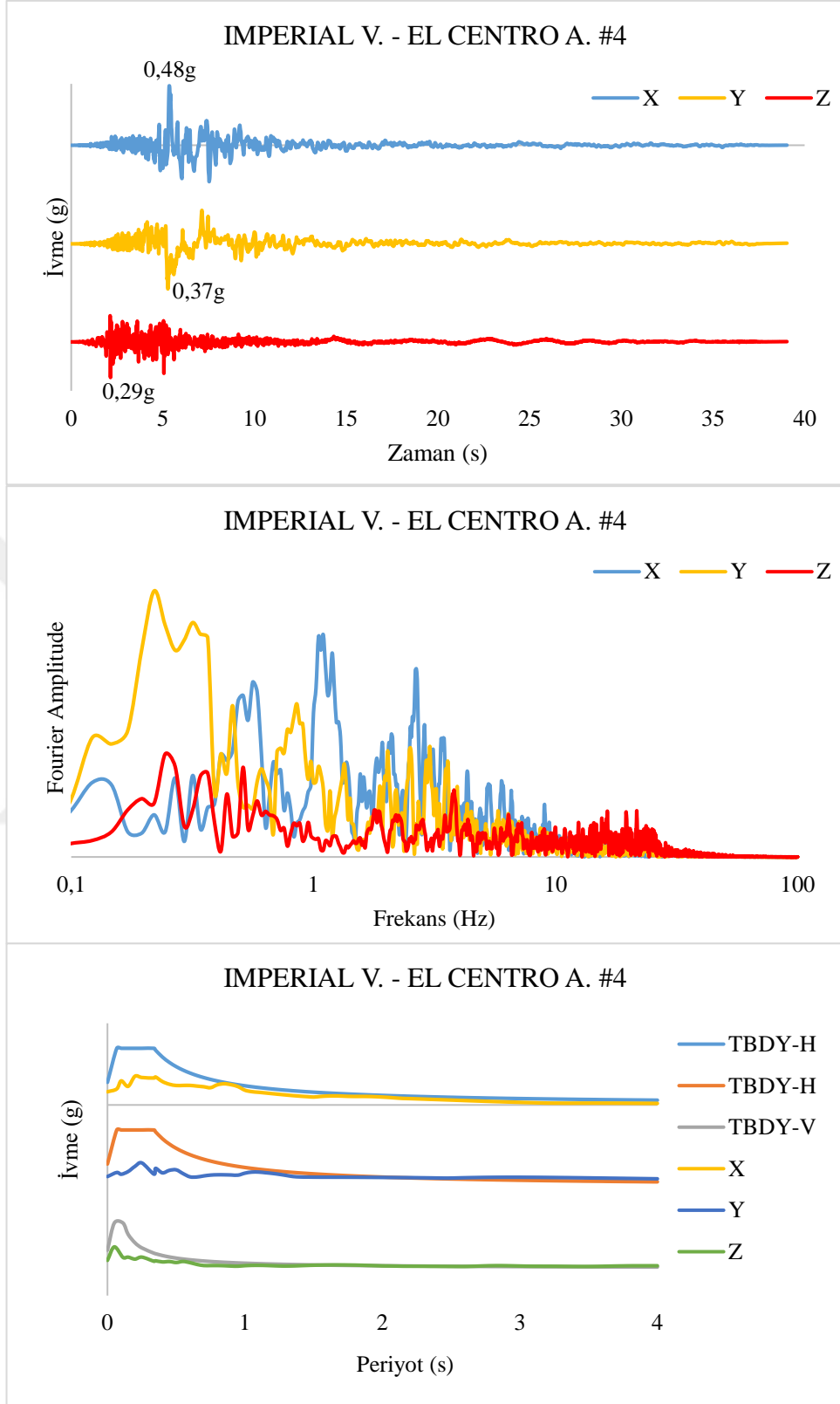
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



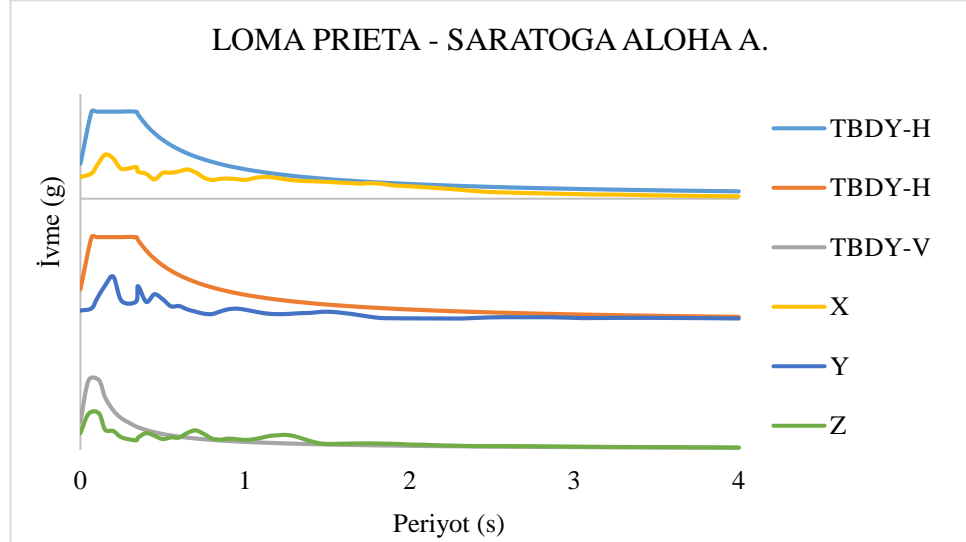
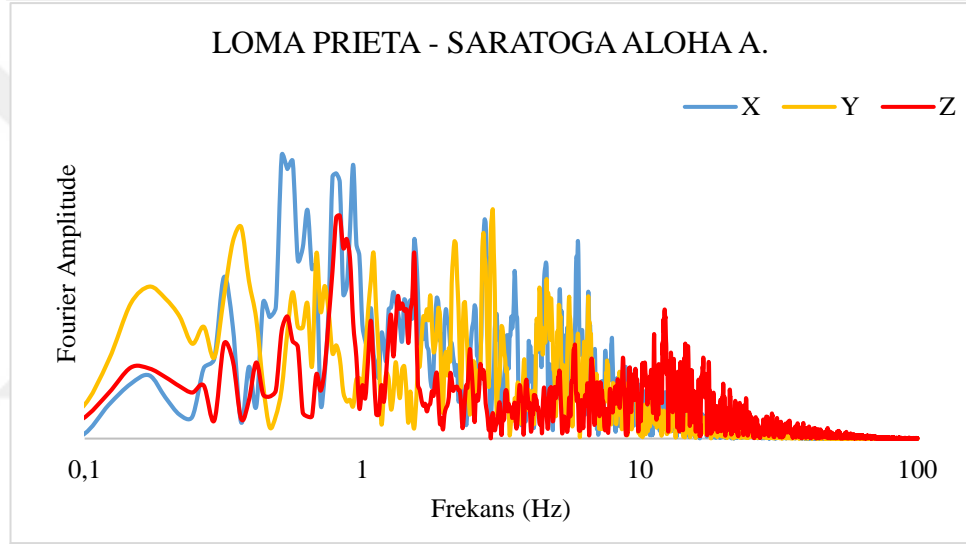
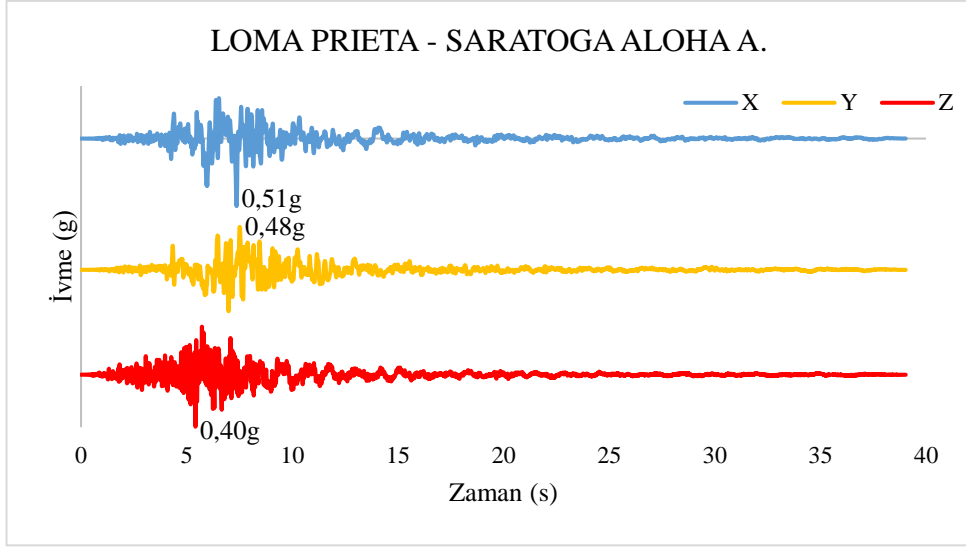
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



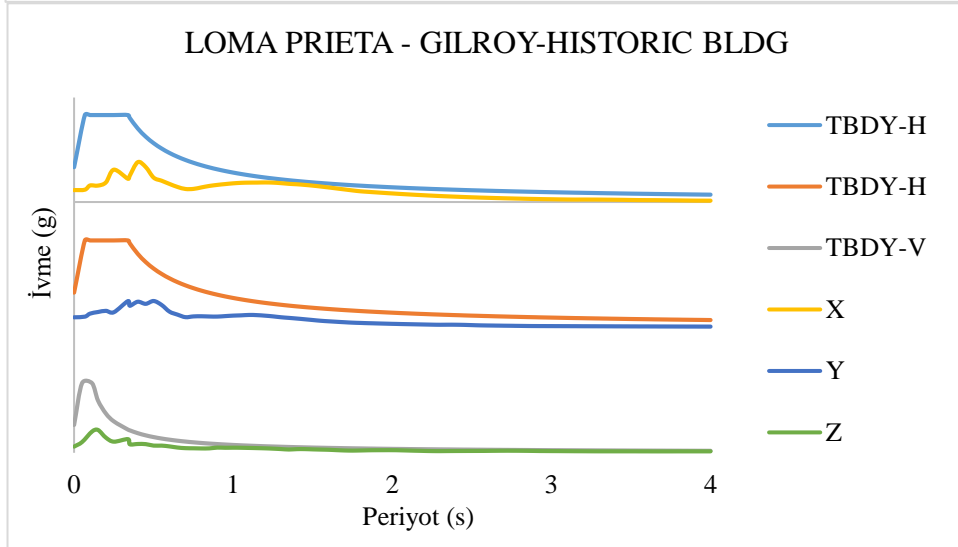
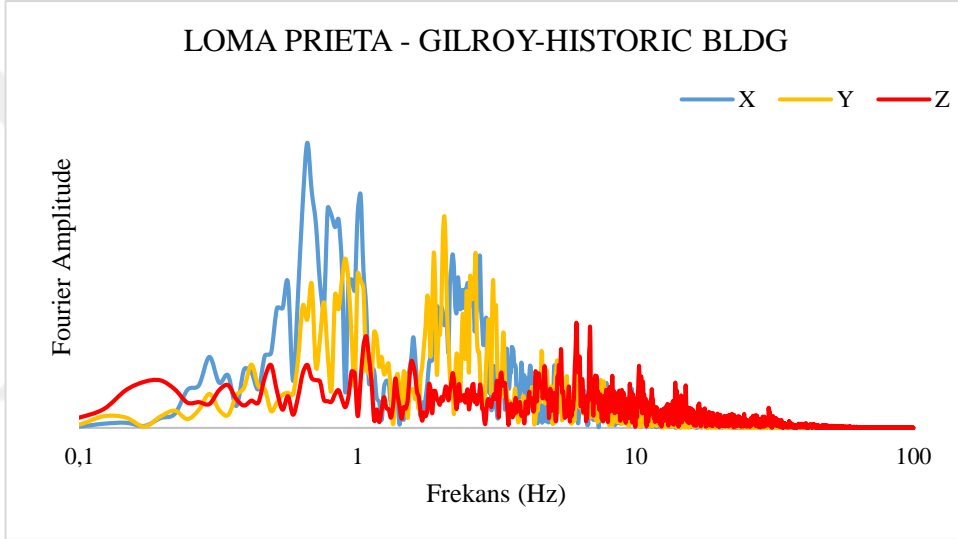
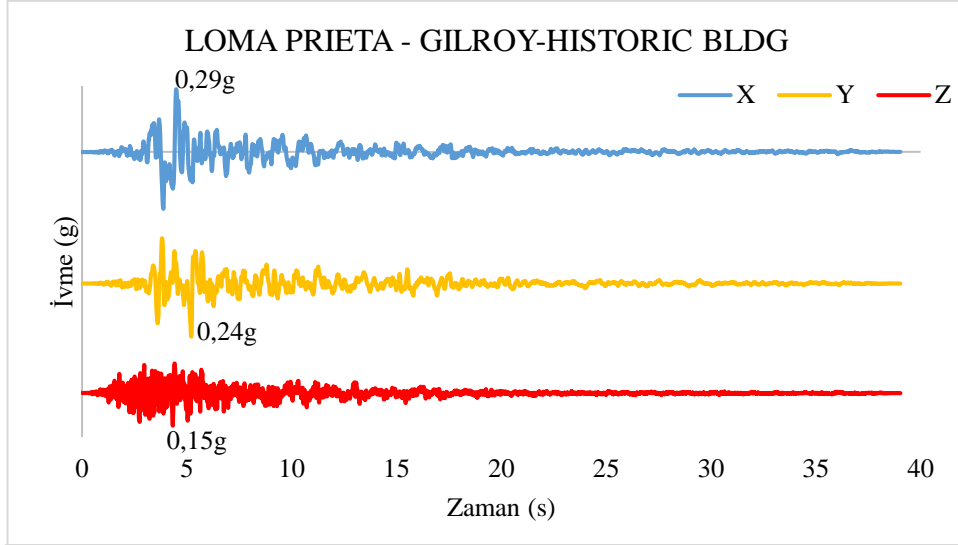
Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları



Şekil A.1.(Devam) Seçilen kayıtların ivme-zaman kayıtları, Fourier Amplitude spektrumları ve tepki spektrumları

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Çevik Y.**, Atalay H. M., Yer Hareketinin Düşey Bileşeninin Önüretimli Betonarme Binalara Etkisi, *Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi*, Ankara, Türkiye, 07-09 Mayıs 2021.



ÖZGEÇMİŞ

Yakup Çevik lise öğrenimini Kırklareli Remzi Yapıcı Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2019 yılında tamamladı. Aynı yıl içinde Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

