



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİSMİK YALITIMLI BİNALARIN YAKIN FAY
ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burak YARAY
(200992161087)**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Necmettin GÜNEŞ**

**SİVAS
EYLÜL 2019**

Burak YARAY'ın hazırladığı ve "Sismik Yalıtımlı Binaların Yakın Fay Etkisi Altında Davranışı" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Dr. Öğr. Üyesi Necmettin GÜNEŞ**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi **Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN**
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Pınar BORA**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

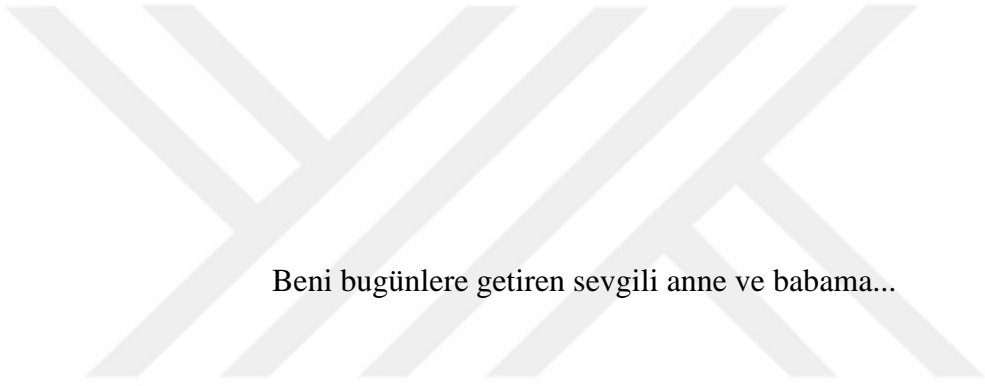
Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge) 'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Burak YARAY, 2019



Beni bugünlere getiren sevgili anne ve babama...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

11.09.2019

Burak YARAY

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Necmettin GÜNEŞ'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bana destek olan sevgili aileme, yardımlarıyla gece gündüz emeklerini esirgemeyen sevgili eşim Eda Çevikoğlu YARAY'a ve değerli kardeşim Ömer Faruk YARAY'a çok teşekkür ederim.

ÖZET

SİSMİK YALITIMLI BİNALARIN YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI

Burak YARAY

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Necmettin GÜNEŞ

2019, 82+xxi sayfa

Günümüzde depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda mühendislerin en önemli araştırma konularından biri deprem yalıtım sistemleridir. Son yıllarda deprem konusunda önemli bir araştırma konusu da, küçük depremlerde dahi büyük hasar potansiyeline sahip yakın fay yer hareketleridir. Bu tez çalışmasında, yakın fay yer hareketlerinin deprem yalıtımlı sistemler üzerine etkisi araştırılmıştır.

Doğrultu etkisi içeren yakın fay yer hareketleri yüksek hız değerleriyle birlikte hız kaydında atım içermektedir. Bu nedenle dayanıma göre tasarım yaklaşımı, yakın fay etkileri altında yetersiz kalabilmektedir. Bu tez çalışmasında, atım periyodu sürelerine göre 3 ayrı gruptan oluşan toplam 72 adet yer hareketi kullanılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, deprem yalıtımlı bina bu yer hareketlerine maruz bırakılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılmak üzere seçilen yakın fay yer hareketleri maksimum hız yönüne döndürülerek kullanılmıştır. Döndürülen yer hareketleri TBDY 2018'e uygun şekilde ölçeklendirilerek analizlerde kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan model oluşturulmuş, taşıyıcı sistem elemanlarında plastik mafsal tasarımı yapılmış ve tekrarlı yükler altındaki azalım dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Üst yapı tasarımında ASCE 7-16 (ASCE 2016) dikkate alınmıştır. Atım periyotları ile yalıtım elemanı deplasmanları arasında ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak küçük atım periyotlu deprem kayıtlarının, küçük periyotlardaki yüksek spektral ivme etkisiyle yüksek yalıtım elemanı deplasman talebi oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yer hareketi kaydının atım içeren yönünün diğer yöne göre yaklaşık 2 kat daha fazla deplasman talebi oluşturduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Deprem yalıtım sistemi, yakın fay yer hareketleri, doğrusal olmayan analiz

ABSTRACT

THE BEHAVIOR OF SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS UNDER THE EFFECTS OF NEAR – FAULT GROUND MOTIONS

Burak YARAY

Master of Science Thesis

Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Necmettin GÜNEŞ

2019, 82 + xxi pages

Currently, one of the most important subjects of structural engineering design is seismic isolation systems. Also, in recent years an important study subject on earthquake engineering is near-fault ground motions which have the potential of high destruction even in the small earthquakes. In this thesis, the effects of near-fault ground motions on the seismically isolated building are researched.

Near-fault ground motions which have the effect of directivity include pulses with the velocity values in the velocity record. Therefore the strength-based design approach can be insufficient under the impacts of near-fault. In this thesis, in total 72 ground motions consisting of 3 different groups based on pulse period duration are used. In the non-linear dynamic analyses the seismically isolated building was subjected to these ground motions.

The near-fault ground motions that are selected to be employed in this thesis are used by rotating towards the maximum velocity direction. The rotated ground motions were scaled according to TBDY 2018 and were used in analyses.

The nonlinear model is created, the plastic hinges are designed, and the nonlinear time history analyses are carried out considering cyclic degradation effects.

In superstructure design, ASCE 7-16 (ASCE,2016) was considered. The relationship between the pulse periods and the displacements of isolation components was examined. As a result, it is determined that the ground motions with low pulse periods, due to the high spectral acceleration demand at the short periods, create the large isolation unit displacement demands. Also, it is seen that displacement demands of pulse contained component of records has approximately two times larger than other component displacement demands.

KeyWords: seismic isolation systems, near-fault ground motions, non-linear time history analysis.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER DİZİNİ	xix
KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Gerekliliği ve Geçmiş Çalışmalar	1
1.3 Deprem Yalıtım Sistemi	3
1.4 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Uygulama Örnekleri	5
1.4.1 Tokyo.....	5
1.4.2 Amerika Birleşik Devletleri.....	6
1.4.3 Yeni Zelanda.....	9
1.4.4 Çin	9
1.4.5 İtalya	10
1.4.6 Türkiye.....	11
2. YAKIN FAY YER HAREKETLERİ VE ÖLÇEKLENDİRME	15
2.1 Kullanılan Deprem Yer Hareketleri.....	17
2.1.1 Yakın fay yer hareketlerinde yön etkisi ve ölçeklendirme	17
3. SİSMİK YALITIMLI BİNA TASARIMI	31
3.1 TBDY 2018 Sürtünme Sarkaçlı Yalıtım Elemanı Tasarım Esasları	31
3.1.1 TBDY-2018 etkin deprem yükü yöntemi	32
3.1.2 TBDY-2018 mod birleştirme yöntemi	34

3.1.3 TBDY-2018 zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	34
3.2 Bina Tanımı	35
3.4 Yalıtım Elemanı Tasarımı.....	36
3.3 Elastik Tasarım	39
4. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ ...	44
4.1 Giriş	44
4.1.1 Sargılı ve sargısız beton davranışı	44
4.1.2 Moment eğrilik ilişkisi ve plastik mafsallık	45
4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Model	47
4.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
KAYNAKÇA	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. 1 Imperial oteli, Tokyo (Atlantic, 2011).....	5
Şekil 1. 2 Trafik yönetim merkezi, Kaliforniya (Özdemir ve diğ., 2015).....	6
Şekil 1. 3 a)Hayward Belediye binası b)Sürtünme sarkaçlı mesnet	7
Şekil 1. 4 a) San Francisco uluslararası havaalanı terminali.....	7
Şekil 1. 5 OurLady of Angels Katedrali (Braga ve diğ., 2001).	8
Şekil 1. 6 Seahawks futbol stadyumu (Kravchuk ve diğ., 2008).	8
Şekil 1. 7 a) William Clayton binası b) Kullanılan kurşun kauçuk mesnet (Soyluk, 2010).	9
Şekil 1. 8 ShanTou şehir müzesi (Zhou, 2001).	10
Şekil 1. 9 İtfaiye merkezi, İtalya (Martelli, 1998).....	11
Şekil 1. 10 Bolu Viyadükleri (Roussis ve diğ., 2003).....	11
Şekil 1. 11 TAG otoyolu (Roussis ve diğ., 2003).	12
Şekil 1. 12 Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali (Mceer, 2002).	12
Şekil 1. 13 Atatürk Havalimanı Terminalinin çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı (Urgu, 2016).....	13
Şekil 1. 14 Kocaeli Üniversite Hastanesi (Doka Endüstri, 2002).	14
Şekil 2. 1 Lander 1992 depremi yakın fay etkisi.....	16
Şekil 2. 2 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN1148), hız polar değerleri.....	18
Şekil 2. 3 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN 1148), ivme-zaman grafiği.....	18
Şekil 2. 4 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN 1148), hız - zaman grafiği.....	19
Şekil 2. 5 RSN1148 Kocaeli depreminin ölçeklenmemiş bileşke spektrumu, maksimum deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklendirilmiş ivme spektrumu.....	20
Şekil 2. 6 Küçük, orta ve büyük atım periyotlu kayıtların moment büyüklükleri ile atım periyodu dağılımı.....	21
Şekil 2. 7 Ortalama spektral ivme grafiği.....	22
Şekil 2. 8 Ortalama spektral hız grafiği.....	22
Şekil 2. 9 Ortalama spektral deplasman grafiği.....	23
Şekil 2. 10 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.....	23

Şekil 2. 11 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.....	24
Şekil 2. 12 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.....	24
Şekil 2. 13 Orta atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.....	25
Şekil 2. 14 Orta atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.....	25
Şekil 2. 15 Orta atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.....	26
Şekil 2. 16 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.....	26
Şekil 2. 17 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.....	27
Şekil 2. 18 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.....	27
Şekil 3. 1 a) Üst yapı kat planı b) Alt yapı kat planı.....	36
Şekil 3. 2 Tek eğrilikli sürtünme sarkaçlı yalıtım elemanı (FPS).....	36
Şekil 3. 3 DD-2 ve DD-1 yatay elastik tasarım spektrumları.....	41
Şekil 3. 4 Göreli kat ötelemeleri grafiği.....	43
Şekil 3. 5 ETABS 2016 (CSI, 2016) elastik tasarım 1. mod şekli.....	43
Şekil 4. 1 Sargılı ve sargısız beton gerilme şekil değiştirme grafiği	45
Şekil 4. 2 Betonarme elemanlarda tipik moment-eğrilik ilişkisi.....	46
Şekil 4. 3 Perform 3D (CSI, 2018) bina modeli.....	47
Şekil 4. 4 DD-1 deprem düzeyi spektrum eğrisi ve deprem grupları ortalama spektral ivmeleri.....	48
Şekil 4. 5 Mander sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	49
Şekil 4. 6 2. kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	49
Şekil 4. 7 3. kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	50
Şekil 4. 8 4, 5, 6 kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	50
Şekil 4. 9 Perform 3D donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme modeli.....	51
Şekil 4. 10 Haselton ve diğ. (2016) tekrarlı yükler altında azaltılmış moment- eğrilik grafiği.....	53
Şekil 4. 11 Donatı çeliği için azalım katsayıları (Ghodsı ve diğ., 2009).....	53
Şekil 4. 12 Beton için enerji azalım katsayıları (Görgülü ve diğ., 2015).....	54
Şekil 4. 13 Plastik mafsal modeli (a) Kolon (b) Kiriş.....	55
Şekil 4. 14 Perform 3D (CSI, 2018) fiber kolon tanımlaması.....	56

Şekil 4. 15 RSN4483 nolu L’quila Italy depremi kesme kuvveti – deplasman grafiği.....	57
Şekil 4. 16 Yalıtım elemanları a) X yönü deplasman grafiği b) Y yönü deplasman grafiği c) Deplasman grafiği.....	59
Şekil 4. 17 X yönü ortalama görel kat ötelenmeleri.....	60
Şekil 4. 18 Y yönü ortalama görel kat ötelenmeleri.....	61
Şekil 4. 19 C aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	62
Şekil 4. 20 3 aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	62
Şekil 4. 21 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 1. kat kirişleri tasarımı (60x80) (b) 1. kat kirişleri negatif moment-eğrilik grafiği.....	63
Şekil 4. 22 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 1. kat kirişleri tasarımı (60x80) (b) 1. kat kirişleri pozitif moment-eğrilik grafiği.....	63
Şekil 4. 23 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı a) 2. ve 3. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 2. ve 3. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği....	64
Şekil 4. 24 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 2. ve 3. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 2. ve 3. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.....	64
Şekil 4. 25 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 4. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 4. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.....	65
Şekil 4. 26 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 4. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 4. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.....	65
Şekil 4. 27 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı a) 5. kat kirişleri tasarımı (45x60) b) 5.kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.....	66
Şekil 4. 28 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 5. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 5. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.....	66
Şekil 4. 29 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 6. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 6. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.....	67
Şekil 4. 30 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 6. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 6. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.....	67
Şekil 4. 31 Küçük atımlı ivme kayıtlarının X yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	68
Şekil 4. 32 Orta atımlı ivme kayıtlarının X yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	68

Şekil 4. 33 Büyük atımlı ivme kayıtlarının X yönü görelî kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	69
Şekil 4. 34 Küçük atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görelî kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	69
Şekil 4. 35 Orta atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görelî kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	70
Şekil 4. 36 Büyük atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görelî kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.....	70
Şekil 4. 37 Küçük atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	71
Şekil 4. 38 Orta atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği....	71
Şekil 4. 39 Büyük atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	72
Şekil 4. 40 Küçük atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	72
Şekil 4. 41 Orta atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği...	73
Şekil 4. 42 Büyük atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Küçük atım periyoduna ait ivme kayıtları listesi	28
Çizelge 2. 2 Orta ölçekte atım periyoduna ait ivme kayıtları listesi	29
Çizelge 2. 3 Büyük atım periyoduna ait ivme kayıtları listesi	30
Çizelge 3. 1 Bina Modeli Genel Özellikleri.....	35
Çizelge 3. 2 Yalıtım elemanı genel özellikleri.....	39
Çizelge 3. 3 Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (TBDY 2018).....	40
Çizelge 3. 4 Kolonların ve kirişlerin kesit ölçüleri ve donatı miktarları.....	42
Çizelge 4. 1 Negatif ve pozitif yön kiriş moment akma kapasiteleri.....	51
Çizelge 4. 2 Yalıtım elemanlarının deprem gruplarına göre X ve Y yönü ile ortalama deplasman değerleri	58

SİMGELER DİZİNİ

d	:Faya olan dik uzaklık
d_b	:Boyuna donatı çapı
D_D	:Tasarım deprem düzeyi yalıtım elemanı deplasmanı
DD-1	:Maksimum deprem düzeyi (tekrarlanma periyodu 2475 yıl)
DD-2	:Tasarım deprem düzeyi (tekrarlanma periyodu 475 yıl)
D_M	:Maksimum deprem düzeyi yalıtım elemanı deplasmanı
E_x	:X doğrultusundaki deprem etkisi
E_y	:Y doğrultusundaki deprem etkisi
f_c'	:Beton silindirik basınç dayanımı
f_y	:Donatı akma dayanımı
g	:Yer çekimi ivmesi
G	:Sabit yük
I_P	:Plastik mafsal boyu
K_D	:Tasarım deprem düzeyi etkin rijitliği
K_{eff}	:Efektif rijitlik katsayısı
K_M	:Maksimum deprem düzeyi etkin rijitliği
l	:Kesit yüksekliği
n	:Hareketli yük kütle katılım katsayısı
Q	:Hareketli yük
R	:Deprem yükü azaltma katsayısı
R	:Yalıtım elemanı eğrilik yarıçapı
R_I	:Üst yapı deprem yükü azaltma katsayısı
S_{ae}^(DD-1)	:Maksimum deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)
S_{ae}^(DD-2)	:Tasarım deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)
S_{M1}	:Maksimum deprem düzeyinde 1 saniyelik periyoda karşılık gelen spektral ivme katsayısı
S_{M5}	:Maksimum deprem düzeyi kısa periyot spektral ivme katsayısı
T_D	:Tasarım deprem düzeyi bina hakim periyodu
T_M	:Maksimum deprem düzeyi bina hakim periyodu

T_p	:Hız-zaman kaydı atım süresi
V_b	:Alt yapı tasarım kuvveti
V_D	:Tasarım deprem düzeyi üstyapıya etkiyen kuvvet
V_M	:Maksimum deprem düzeyi üstyapıya etkiyen kuvvet
V_{st}	:İndirgenmemiş üstyapı tasarım kuvveti
V_S	:Üstyapı tasarım kuvveti
W	:Yapının toplam sismik ağırlığı
W_s	:Yalıtım sistemi üstündeki kütlelerin sismik ağırlığı
η_{bi}	:Burulma düzensizliği katsayısı
η_D	:Tasarım deprem düzeyi sönüm ölçeklendirme katsayısı
η_M	:Maksimum deprem düzeyi sönüm ölçeklendirme katsayısı
ξ	:Etkin sönüm yüzdesi
μ	:Etkin sürtünme katsayısı
C_{units}	:Birim dönüştürme değişkeni
$\theta_{cap,pl}$:Monoton yükleme altında moment kapasite noktasındaki plastik dönme
a_{sl}	:Kayma katsayısı
v	:Eksenel yük oranı
ρ_{sh}	:Enine donatı oranı
$\theta_{cap,pl}(asimetrik)$:Simetrik olmayan kesitlerde plastik dönme kapasitesi
$\theta_{cap,pl}(simetrik)$:Simetrik kesitlerde plastik dönme kapasitesi
ρ	:Kiriş alt boyuna donatı oranı
ρ'	:Kiriş üst boyuna donatı oranı
$\theta_{cap,pl,cyclic}$:Azaltılmış plastik dönme kapasitesi
$\theta_{pc,cyclic}$:Dayanım azalması bölgesindeki azaltılmış plastik dönme kapasitesi
$\ln Sa_{CMS}(T_j)$:Hedef spektrum eğrisinin logaritmik spektral ivmesi
$\ln Sa(T_j)$:Logaritmik spektral ivme

KISALTMALAR DİZİNİ

FPS	:Sürtünme sarkaçlı deprem yalıtım elemanı
TAG	:Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu
TBDY	:Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
MCE	:Olabilecek en büyük deprem (Maksimum Capable Earthquake)
DBE	:Tasarım esaslı deprem (Design Basis Earthquake)
RSN	:Kayıt sıra numarası
PGA	:En büyük yer ivmesi
PGV	:En büyük yer hızı
PGD	:En büyük yer deplasmanı
LinRB	:Lineer kauçuk
HDR	:Yüksek sönümlü kauçuk
LRB	:Kurşun kauçuk
EDF	:Davranışı elasto-plastik olan sürtünmeli yalıtım elemanı
FPS	:Sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım elemanı
SSE	:Logaritmik farkların kareleri toplamı

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı, İnşaat Mühendisliğinin en temel problemi olan depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımlarından, deprem yalıtım sistemlerinin analizidir. Tez kapsamında oluşturulan bina modeli, doğrusal elastik tasarım ve doğrusal elastik olmayan tasarım esasları ile analiz edilmiştir. Aynı zamanda, faya yakın bölgelerde oluşan doğrultu atımlı depremlerin taban yalıtımlı sistemlere etkisi de tez çalışması kapsamında incelenmiştir.

1.2 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Gerekliliği ve Geçmiş Çalışmalar

Deprem, insanlığın varoluş süreci boyunca mücadele ettiği en önemli problemlerden biridir. Ülkemiz aktif bir deprem kuşağında bulunmakta olup topraklarımızın önemli bir bölümü deprem riski altındadır. Günümüze kadar önceden tahmin edilemeyen depremler, yıkıcı etkisi oldukça fazla olan bir afet türüdür. Son yüzyıl içerisinde gerçekleşen 1939 Erzincan, 1999 Gölcük ve Düzce depremleri can ve mal kaybı açısından ülkemizin yüksek deprem riski altında olduğunu göstermektedir. Ülkemizde ve dünyada oluşan yıkıcı depremler sonrasında, depreme dayanıklı bina tasarımı kavramı önem kazanmış ve bu amaç doğrultusunda yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlardan biri olan deprem yalıtım sistemleri, günümüzde inşaat mühendislerinin en önemli çalışma alanlarından biridir.

Binalar, kullanım amacına bağlı olarak birçok farklı sınıflara ayrılırlar. Hastaneler, havalimanları, köprüler vb. yapılar, insanların yoğun olarak kullandıkları ve herhangi bir doğal afet sonrası acil kullanılması gereken önemli yapılardır. Bu tür yapıların tasarımında daha kapsamlı analiz ve çözümlenmeler yapılarak, uzun süreli kullanım ve acil durumlarda istenilen ihtiyaca cevap vermesi temel sorundur. Bu amaç doğrultusunda ülkemizde, bazı hastane binalarında deprem yalıtım sistemlerinin kullanımı zorunla hale getirilmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2013).

Jansid ve Kelly (2001) çalışmasında dört farklı (Lineer kauçuk (LinRB), yüksek sönümlü kauçuk (HDR), kurşun-kauçuk (LRB) ve davranışı elasto-plastik olan sürtünmeli yalıtım elemanları (Electricite-de-France (EDF))) yalıtım elemanı kullanarak yakın fay etkileri altındaki davranışı incelemiştir. HDR tipi yalıtım elemanlarının kullanılmasında düşük yanal deplasmanlar ve yüksek üst yapı ivme değerleri elde edilmiştir. En uygun yalıtım elemanı EDF tipi olarak belirlenmiştir.

Mazza ve Vulcano (2012) yakın fay yer hareketleri altında, düşey yer hareketleri göz önüne alarak, 5 katlı betonarme bir binada HDR tipi yalıtım elemanlarının etkinliğini incelemiştir. Bu çalışma düşey yer hareketlerinin etkisi ile yalıtım elemanlarında çekme gerilmelerinin oluştuğunu ve özellikle alt katların kiriş ve kolonlarında atım etkisi ile süneklilik taleplerinin arttığını göstermiştir.

Pant ve Wijeyewickrema (2014) betonarme bir yalıtımlı binanın davranışını, çift yönlü yer hareketleri altında, çevre duvara çarpma etkisi göz önüne alarak incelemiştir. Bu çalışmada, uzak mesafe ve atım içeren yakın fay yer hareketleri kullanılmış ve bunların farklı etkileri karşılaştırılmıştır. Çarpma göz önüne alınmadan yakın fay yer hareketlerinin yalıtım elemanlarında deplasman talebini %37-58 arasında artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca daha yüksek görelî kat ötelenmeleri ve kolon süneklilikleri elde edilmiştir.

Deprem yalıtım sistemlerin tarihi geçmişî bir asırdan fazladır. Bu fikrin öncü isimlerinden biri Milne'dir. 1876-1895 yılları arasında Tokyo Üniversitesi Maden Mühendisliğı bölümünde yaptığı bir çalışmada, 25 cm çapında dökme demir bilyeler üzerine inşa ettiği bina deprem yalıtımı kullanılan ilk örneklerdendir. İnşa ettiği yapı hafif depremlerde olumlu sonuçlar ortaya koyarken, şiddetli rüzgarlarda stabilite sorunu yaşamıştır. Çalışmalarını sürdürerek bilye çapını 2,5 cm'e indirmesiyle hem deprem, hem rüzgar yükü etkilerinde makul sonuçlara ulaşmıştır (Cimilli ve diğ., 2002).

İngiltere'de yaşayan bir tıp doktoru olan Avetican Calantarients 1909 yılında yapı ile temeli ince kum veya mika ile ayıran bir katman oluşturmayı ve bu sayede depreme karşı bir yalıtım oluşturacağı fikrini ortaya atmıştır. Calantarients, Santiago Şili'deki Sismoloji Hizmetleri Müdürlüğü'ne bir mektup yazarak fikrini paylaşmış ve daha sonra İngiliz Patent Bürosuna başvuru yaparak deprem yalıtım sistemlerinin öncülüğünü yapmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

Naeim ve Kelly (1999) yaptıkları "1997 Uniform Building Code" isimli çalışmada, deprem yalıtımı uygulanacak yapıların tasarımında minimum koşullar ve tasarım esaslarını tanımlamışlardır.

Kelly California Berkeley Üniversitesi'nde ki çalışmalarında deprem yalıtımıyla ilgili hem teorik, hem pratik bazı uygulamalar yapmıştır. Bu uygulamalarda deprem yalıtımlı binaların depremsel tepkisinin yalıtımsız binalara göre daha az olduğu sonucuna ulaşmıştır (Gökhan, 2009).

1.3 Deprem Yalıtım Sistemi

Geleneksel yaklaşımda temel mantık, olası depremde oluşacak deprem kuvveti ve deplasman talebini karşılayabilecek dayanımda tasarım yapmaktır. Deprem yalıtım sistemindeki temel mantık ise, bina temeli ile taşıyıcı sistem arasında düşey rijitliği yüksek yatay rijitliği düşük yalıtım elemanları kullanarak, deprem sonucu meydana gelen yanal kuvvetlerin taşıyıcı sistem üzerindeki etkisini azaltmaktır. Bu sistem ile binanın serbest titreşim periyodu artarken oluşan deplasman talebi yalıtım sistemi ile karşılanır, deprem kuvveti ve üst yapı deplasmanları azaltılır. Yalıtım sistemi ile şiddetli depremler sonucu binada oluşabilecek yapısal ve yapısal olmayan hasarlar azaltılmaktadır.

Kullanım çeşitlerine göre binalardaki deprem yalıtım sistemleri aşağıdaki gibidir:

- 1) Elastomer mesnetler
 - Düşük sönümlü kauçuk mesnetler
 - Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler
 - Kurşun kauçuk mesnetler
- 2) Sürtünmeli mesnetler
 - Düz sürtünmeli mesnetler
 - Sürtünmeli sarkaç mesnetler

Deprem yalıtım sistemi kullanılarak tasarlanan bir binanın geleneksel yaklaşımla tasarlanmış bir binaya göre birçok avantajı bulunmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Bunlardan bazılarını özetlemek gerekirse;

- Yalıtım sistemleri üst yapı ile temel arasında, deprem kuvvetlerini azaltarak üst yapıya aktarımını sağlayan bir sistemdir.
- Yalıtımlı sistemlerde bina hakim periyodunun artması, deprem ivmelerinin artışını engellerken, rezonans etkisi riskini de azaltır.
- Üst yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azalması sebebiyle, taşıyıcı sistem elemanlarının kesit boyutlarının daha ekonomik olarak tasarlanmasına olanak sağlar.
- Deprem yalıtımının bir diğer önemli avantajı ise mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılmasıdır. Deprem yalıtım sistemi yalnızca bodrum kat seviyesinde uygulanmasından dolayı, mevcut binaların veya tarihi eserlerin güçlendirilmesinde, binanın tümünde önemli ölçüde değişikliklere gerek duyulmaz.

Deprem yalıtım sistemlerinin birçok avantajının yanı sıra bazı durumlarda dezavantajlar oluşturabilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999). Bunları sıralamak gerekirse;

- Asansör, merdiven ve tesisat gibi düşey yapı elemanlarında yalıtım seviyesinde ekstra uygulama gerektirmesi.
- Bitişik nizam yapılarda, deprem derzi oluşturma imkanı olmaması nedeniyle uygulanamaması.

1.4 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Uygulama Örnekleri

1.4.1 Japonya

Deprem yalıtım sisteminin uygulamadaki ilk örneği ise 1921 yılında Frank Lloyd Wright tarafından Tokyo’da inşa edilen Imperial Oteli’dir. Bina yaklaşık 20 cm kalınlığında iyi bir toprak ve hemen altındaki yumuşak çamur bir zemine oturuyordu. Wright’ın fikri binayı yumuşak çamur üzerine inşa ederek deprem etkilerine karşı bir yalıtım yüzeyi oluşturmaktı. Binayı gevşek zeminin üstüne gelecek şekilde kazıklarla bağladı. Bina yapıldıktan iki yıl sonraki 1923 Tokyo Depremi’ni başarıyla atlattı (Reitherman, 1980).



Şekil 1. 1 Imperial oteli, Tokyo (Atlantic, 2011).

1.4.2 Amerika Birleşik Devletleri

Kaliforniya eyaletinde bulunan trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, çelik çerçeveden oluşan iki katlı bir binadır. 600 mm çapında ve toplamda 40 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetten oluşan yalıtım sistemi kullanılmıştır. Yalıtım sistemi periyodu yaklaşık 2.5 saniyedir. Maksimum yalıtım sistemi yer değiştirmesi 254 mm'dir (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 1. 2 Trafik yönetim merkezi, Kaliforniya (Özdemir ve diğ., 2015).

1998 yılında inşası tamamlanan Hayward Belediye binası, faya yakın bir bölgede inşa edilmiş olup önemli bir devlet binasıdır. Bina tasarlanırken, büyük bir depremin gerçekleşmesi durumunda dahi fonksiyonunu yitirmemesi üzerine tasarlanmıştır. Toplamda 53 adet sürtünme sarkaçlı mesnet kullanılmıştır. Mesnetler bodrum kat kolonlarının üzerine yerleştirilmiştir (Soyluk, 2010).



(a)

(b)

Şekil 1. 3 a)Hayward Belediye binası b)Sürtünme sarkaçlı mesnet
(Soyluk, 2010).

San Francisco uluslararası havaalanı terminalinde toplam 267 adet sürtünme sarkaçlı mesnet kullanılmıştır. Binanın periyodu 3 sn'ye çıkararak binaya gelen deprem kuvvetlerini %70 oranında azaltmıştır (Kravchuk ve diğ., 2008).



(a)

(b)

Şekil 1. 4 a) San Francisco uluslararası havaalanı terminali
b)Sürtünme sarkaçlı mesnet (Kravchuk ve diğ., 2008).

5 katlı betonarme bir bina olan Our Lady of Angels Katedrali 18116 m² kat alanına sahiptir. Katedral 200 adet yüksek sönümleyici kauçuk mesnet ile düz kayıcı mesnetler kullanılarak deprem yalıtımı yapılmıştır (Braga ve diğ., 2001).



Şekil 1. 5 OurLady of Angels Katedrali (Braga ve diğ., 2001).

Seahawks futbol stadyumu 7000 koltuk kapasiteli olarak Seattle’da inşa edilmiştir. Stadyumun çatısında bulunan kafes kirişler, deprem esnasında oluşabilecek hasarları önlemek için sürtünme sarkaçlı deprem yalıtım elemanları ile yalıtılmıştır. Her mesnet 29400 N’luk yatay yüke karşı gelmektedir (Kravchuk ve diğ., 2008).



Şekil 1. 6 Seahawks futbol stadyumu (Kravchuk ve diğ., 2008).

1.4.3 Yeni Zelanda

Dünyada kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım elemanları ile güçlendirilmiş ilk bina William Clayton binasıdır. Yapımı 1981’de tamamlanan bu binada 80 adet kauçuk mesnet bulunmaktadır. Yalıtılmış binanın doğal periyodu 2.5 saniyedir. Yalıtım seviyesinde yatay yönde 150 mm yer değiştirme yapması öngörülerek tasarlanmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 1. 7 a) William Clayton binası b) Kullanılan kurşun kauçuk mesnet (Soyluk, 2010).

1.4.4 Çin

13 katlı betonarme bir bina olan ShanTou müzesinin kat alanı 28.000 m²’dir ve bina da bodrum kat bulunmamaktadır. Bu yüzden kauçuk mesnetler ilk kattaki kolonların üzerine yerleştirilmiştir. Geleneksel yöntemlere göre güvenlik düzeyi 4 kat artmıştır (Zhou, 2001).



Şekil 1. 8 ShanTou şehir müzesi (Zhou, 2001).

1.4.5 İtalya

Çelik-betonarme karma taşıyıcı sisteme sahip olan Naples’da bulunan itfaiye merkezi, İtalya’nın ilk deprem yalıtım sistemi kullanılan binasıdır. Zemin katında otopark olması sebebiyle kolon bulunmamaktadır. Bina yapıldığında deprem yükleri göz ardı edilmiş fakat 1980 Campano-Lucana depremi sonrasında binanın depreme karşı güçlendirilmesi gerekmiştir. Deprem yalıtım sistemi, üst yapı çelik elemanların betonarme kolonlarla birleştiği bölgelere yerleştirilen yalıtım elemanları vasıtasıyla oluşturulmuştur (Higashino ve Okamoto, 2006).



Şekil 1. 9 İtfaiye merkezi, İtalya (Martelli, 1998).

1.4.6 Türkiye

Deprem yalıtımlı yapılar birçok ülkede uygulama alanı bulurken ülkemizdeki ilk uygulamalar 1991 yılında eğilmeli çelik damperlerin kullanıldığı Bolu viyadükleri ile 1997 yılında kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım sistemlerinin kullanıldığı Tarsus - Adana- Gaziantep (TAG) otoyoludur (Erdik, 2007).



Şekil 1. 10 Bolu Viyadükleri (Roussis ve diğ., 2003).



Şekil 1. 11 TAG otoyolu (Roussis ve diğ., 2003).

Deprem yalıtım sistemi uygulamasının bir diğ er örneğ i de Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminalidir. Binada deprem yalıtımı, ç elik çatı makasları ile betonarme kolonlarının arasına, 130 adet sürtü nmeli sarkaç tipi (FPS) deprem yalıtım elemanın ın yerleş tirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Mceer, 2002).



Şekil 1. 12 Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali (Mceer, 2002).



Şekil 1. 13 Atatürk Havalimanı Terminalinin çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı (Urgu, 2016).

Ülkemizde inşaat esnasında deprem yalıtım sistemi uygulanmış ilk bina Kocaeli Üniversitesi hastane binasıdır. 6 adet, 8 katlı blok ve 5 adet az katlı bloktan meydana gelen hastane binasında, yüksek bloklarına deprem yalıtımı uygulanmış ve deprem yalıtım sistemi birinci kat döşemesi altında bulunmaktadır. Binada toplam 265 adet yalıtım elemanı kullanılmıştır (Doka Endüstri, 2002).

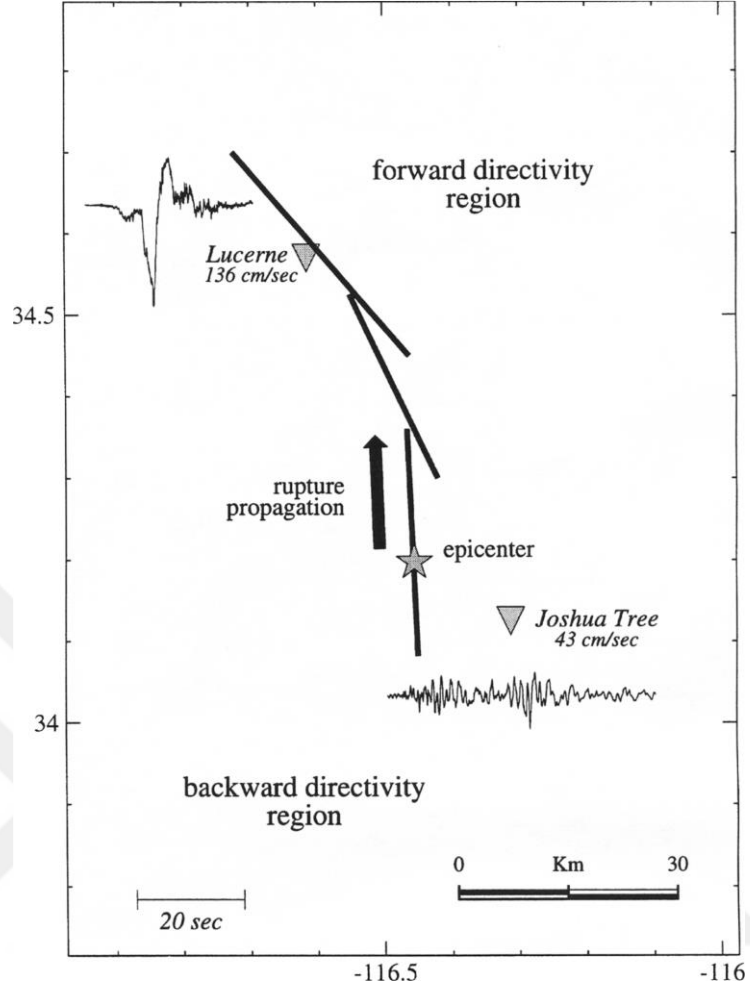


Şekil 1. 14 Kocaeli Üniversite Hastanesi (Doka Endüstri, 2002).

2. YAKIN FAY YER HAREKETLERİ VE ÖLÇEKLENDİRME

Faya yakın bölgelerde elde edilen deprem yer hareketlerinin uzak kayıtlardan farklı hasar potansiyeline sahip oldukları görülmüştür. Fay kırığının bir bölgeye doğru kayma dalgası hızına yakın hızla ilerlemesi ile yer hareketi kaydında büyük atımlar oluşur. Bu atımlar yer hareketinin genellikle başında bulunur (Somerviller ve diğ., 1997). Şekil 1’de Lander 1992 depreminde farklı istasyonlardan elde edilen hız kaydı verilmektedir. Lucerne kayıt istasyonu kırılmanın ilerlediği bölgede olması nedeniyle yüksek hız değerlerine sahip atım içermektedir. Buna karşın depremin merkez üssünün gerisinde kalan JoshuaTree istasyonunda elde edilen kayıt daha uzun süreli ve daha küçük hız değerlidir (Somerviller ve diğ., 1997).

Yakın fay yer hareketlerinin atım içeren özelliğine ileri doğrultu etkisi denir ve meydana gelebilmesi için, yanal atımlı faylarda, iki şartın sağlanması gerekir. Bunlar fay yırtılma yönünün bölgeye doğru olması ve fayın kayma yönünün bölge ile aynı tarafta olmasıdır (Somerville ve diğ., 1997). Eğim atımlı faylarda ileri doğrultu etkisi fay kırığının çevresinde meydana gelir. Deprem üssünün gerisinde kalan kısımlarda uzun süreli ve küçük genlikli yer hareketleri oluşur ve buna geri doğrultu etkisi denir (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004, Somerville, 1997). Fayın kırılma mekanizması yakın bölgelerde farklı yer hareketleri elde edilmesine neden olmakta ve fayın ötelenmesinden de yer hareketlerinde atım meydana gelebilmektedir (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004).



Şekil 2. 1 Lander 1992 depremi yakın fay etkisi (Somerville ve diğ., 1997).

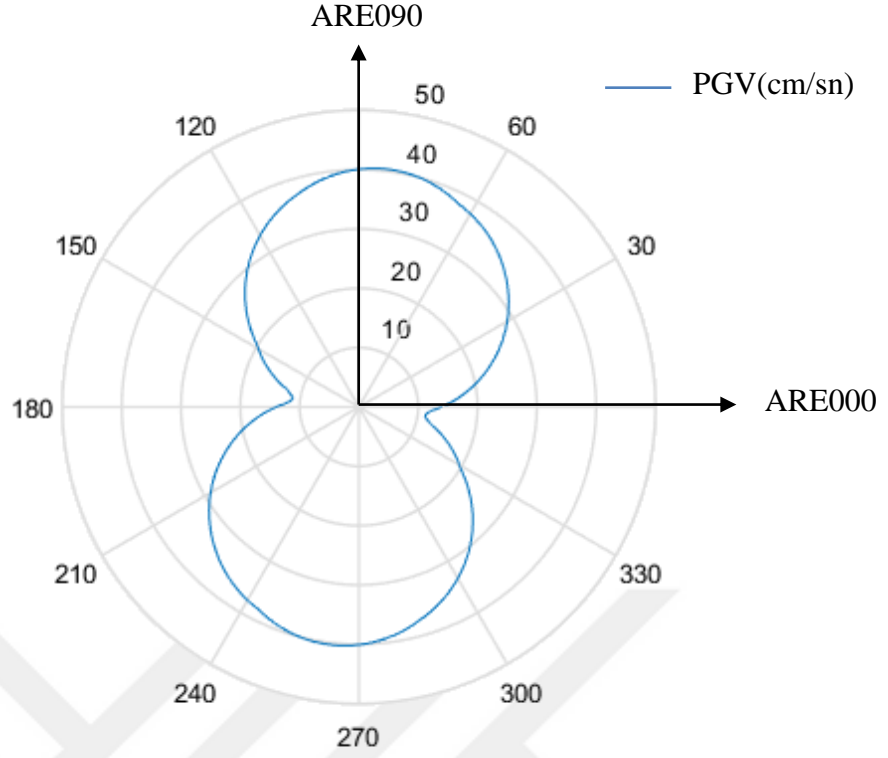
Yakın fay yer hareketlerindeki atım periyodunun hakim mod periyoduna oranı (T_P/T_I) binaların yakın fay etkisi altındaki davranışını belirleyen temel parametrelerden biridir. Bu oranın büyük olması birinci mod hakim davranışa, küçük olması yüksek mod etkili davranışa neden olmaktadır (Alavi ve Kravinkler, 2004, Champion ve Liel, 2012, Baker ve Cornell, 2007).

2.1 Kullanılan Deprem Yer Hareketleri

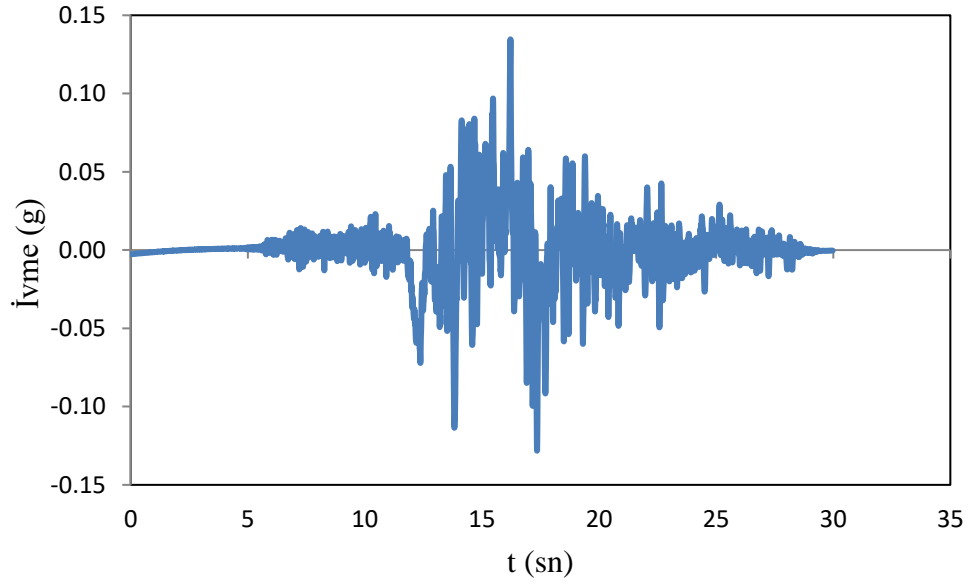
Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere 72 adet yer hareketi seçilmiştir. Seçilen yer hareketlerinin fayın kırılma düzlemine mesafeleri 28 km'nin altındadır. Kullanılan yer hareketi kayıtları PEER veri tabanından (PEER, 2014) alınmıştır. Kullanılan deprem kayıtlarına ait atım periyotları, hız-zaman kaydında mevcut en büyük atım süresi (T_p) olarak belirlenmiştir.

2.1.1 Yakın fay yer hareketlerinde yön etkisi ve ölçeklendirme

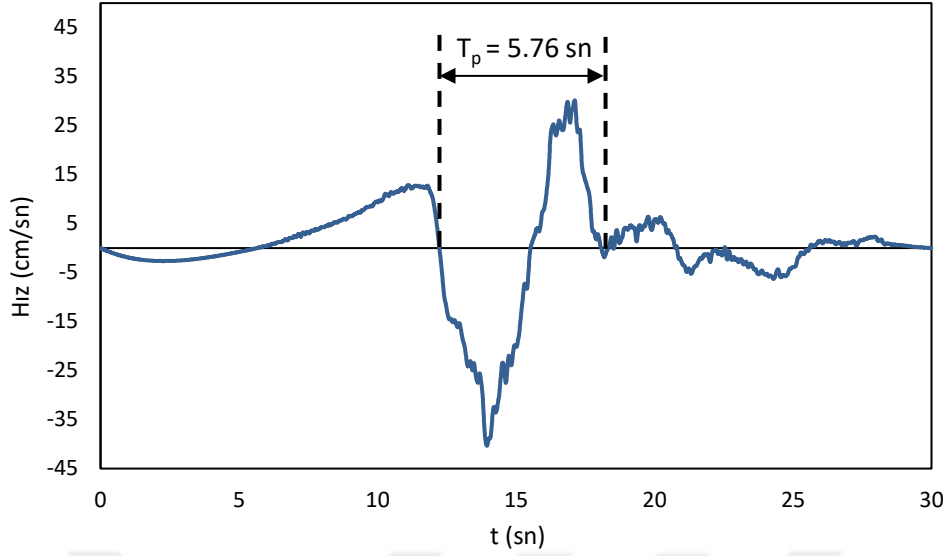
İleri doğrultu, geri doğrultu ve ötelenme etkileri arasında ileri doğrultu etkisi yakın fay yer hareketlerinin en yüksek hasar potansiyeline sahip özelliğidir. İleri doğrultu etkisi nedeniyle yer hareketi kayıtlarında meydana gelen atımlar ve yüksek hız değerleri, yakın fay yer hareketlerinin mühendislik özelliklerini belirleyen en temel parametrelerdir (Somerviller ve diğ., 1997; Alavi ve Kravinkler, 2004; Champion ve Liel, 2012; Baker ve Cornell, 2007). Yakın fay yer hareketlerinde ileri doğrultu etkisi içeren yönlerin belirlenmesi, faya normal (dik) yönlerin, kayıt merkezinin coğrafik konumun ve kayıt yönünün doğru tespit edilmesini gerektirmektedir. Bunların aşılabilmesi için faya normal yön yerine maksimum hız yönü kullanılmıştır (Akkar ve Gülkan, 2002; Akkar ve Gülkan, 2003). Tez çalışmasında kullanılmak üzere seçilen yakın fay ivme kayıtlarının farklı etkime açıları dikkate alınarak kullanılmıştır. Bu amaçla analizlerde kullanılmak üzere seçilen yakın fay ivme kayıtları, 1°'lik açılarla, 360° döndürülmüş ve maksimum yön elde edilmiştir. Maksimum yöne dik olan yön ise ikinci bileşen olarak alınmıştır. Döndürülmüş ivme kayıtlarının polar değerlerine ve elde edilen maksimum yön kaydına örnek Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN1148), hız polar değerleri.



Şekil 2. 3 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN 1148), ivme-zaman grafiği.



Şekil 2. 4 Kocaeli, Arçelik kaydı (RSN 1148), hız - zaman grafiği.

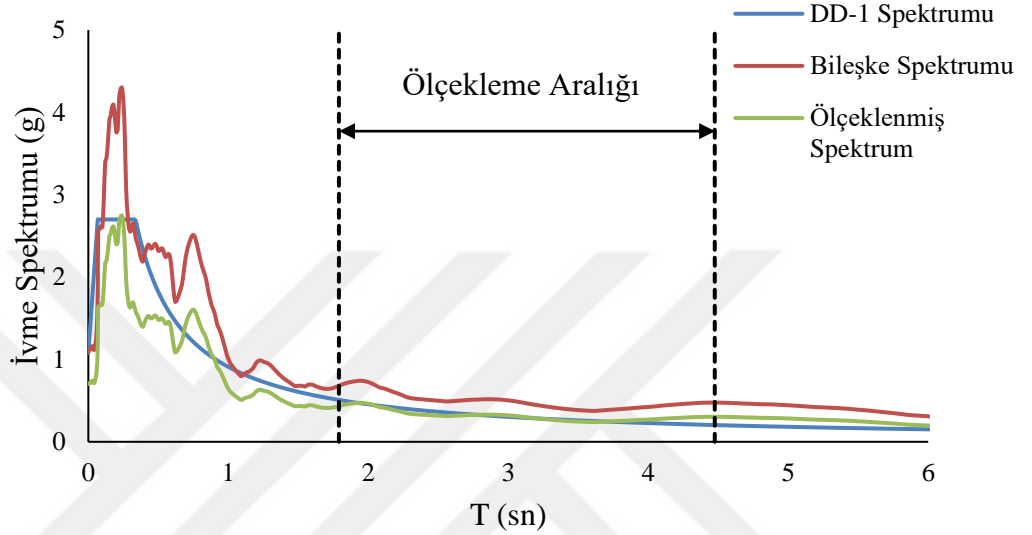
Deprem yer hareketi kayıtlarını tasarım spektrumlarına uyumlu hale getirmek için genlik ölçeklendirme veya spektrum eşleştirme yöntemlerinden herhangi birisi kullanılabilir. Spektrum eşleştirme ölçekleme yöntemi, genlik ölçekleme yöntemine göre tasarım spektrumuyla daha iyi uyum göstermektedir. Fakat spektrum eşleştirme yöntemi ile yapılan ölçeklemede, ivme genlik spektrumu incelenirse, frekans içeriğinin değiştiği görülmektedir. Bu durum yer hareketi kaydının doğal özelliğinin değişmesine sebep olur. Bu nedenle spektrum eşleştirme ölçekleme yöntemi ile elde edilen kayıtlar, genlik ölçekleme yönteminin sağladığı gibi yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralını sağlamamaktadır (Özdemir ve Fahjan, 2007).

Genlik ölçeklendirilmesinde, hedef spektrum ile yer hareketinin spektrumları arasındaki Denklem 2.1 ile hesaplanan logaritmik farkların kareleri toplamı (SSE) değeri minimum olacak şekilde ölçeklendirilir. Ölçekleme aralığının logaritmik aralıklarla 50 eşit parçaya bölünmesi yeterlidir (Baker, 2011). Şekil 2.5’de, Denklem 2.1’e uygun olarak RSN1148 Kocaeli depreminin ölçeklenmemiş bileşke spektrumu ve maksimum deprem düzeyi spektrumu ile ölçeklendirilmiş ivme spektrumları verilmiştir.

$$SSE = \sum_{j=1}^n ((\ln Sa(T_j)) - \ln Sa_{CMS}(T_j))^2 \quad [2.1]$$

$\ln Sa_{CMS}(T_j)$ Hedef spektrum eğrisinin logaritmik spektral ivmesi

$\ln Sa(T_j)$ Logaritmik spektral ivme

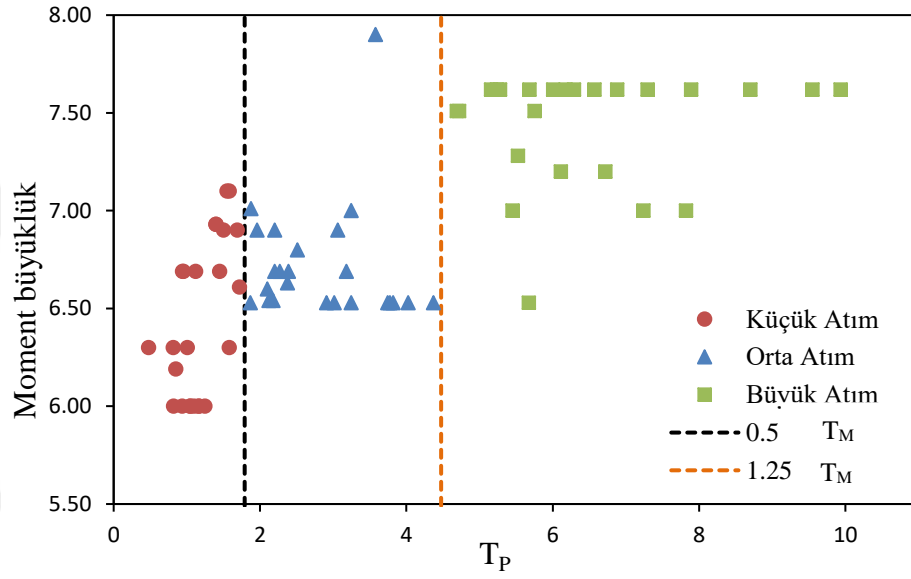


Şekil 2.5 RSN1148 Kocaeli depreminin ölçeklenmemiş bileşke spektrumu, maksimum deprem düzeyi spektrumu ve ölçeklendirilmiş ivme spektrumu.

Döndürülen ivme kayıtları, maksimum deprem düzeyi için bina hakim periyodu (T_M) ile bağıntılı olarak, TBDY 2018 (TBDY, 2018) yönetmeliğinin $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ alt ve üst sınır değerleri kullanılarak, T_M 3.58s periyot değeri esas alınarak genlik ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiş ve ölçek katsayıları belirlenmiştir.

Yeni oluşturulmuş yer hareketlerinin hız zaman kayıtlarında en büyük atım süreleri, atım periyotları olarak belirlenmiştir. Tez çalışmasında kullanılmak üzere oluşturulan 72 adet deprem kaydı atım periyotlarına bağlı olarak 3 farklı gruba ayrılmıştır. Atım periyotları $0.5T_M$ (1.79sn)'nin altında olan 24 adet deprem kaydı küçük atımlı depremler olarak, atım periyotları $0.5T_M$ (1.79sn) ile $1.25T_M$ (4.475sn) arasında olan 24 adet deprem kaydı orta atımlı depremler

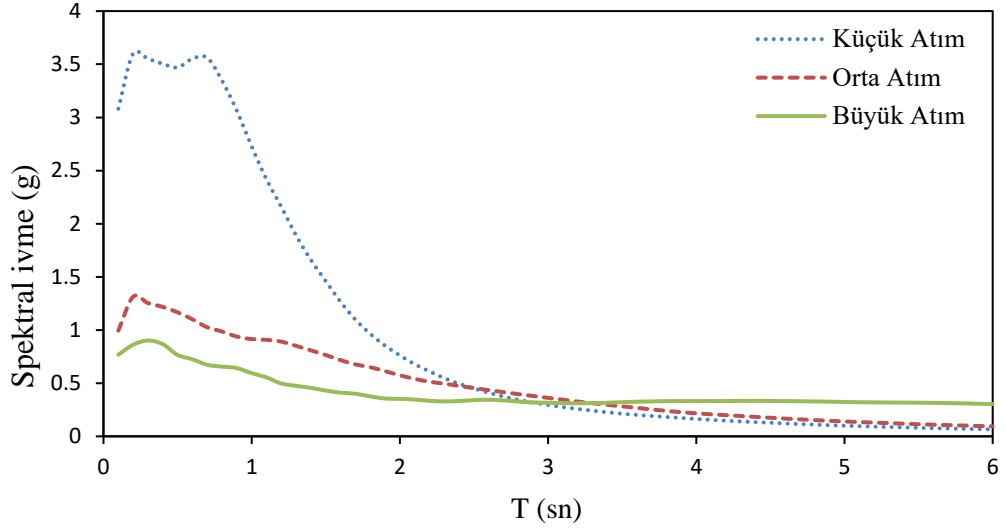
olarak belirlenmiştir. Atım periyotları $1.25T_M$ (4.475sn)'nin üstünde olan 24 adet deprem kaydı ise büyük atımlı depremler olarak alınmıştır. Küçük, orta ve büyük atım periyotlu yakın fay yer hareketleri Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de verilmiştir. Oluşturulan küçük, orta ve büyük atım periyotlu deprem gruplarına ait moment büyüklüğü atım periyotları dağılımını gösteren grafikler Şekil 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2. 6 Küçük, orta ve büyük atım periyotlu kayıtların moment büyüklükleri ile atım periyodu dağılımı.

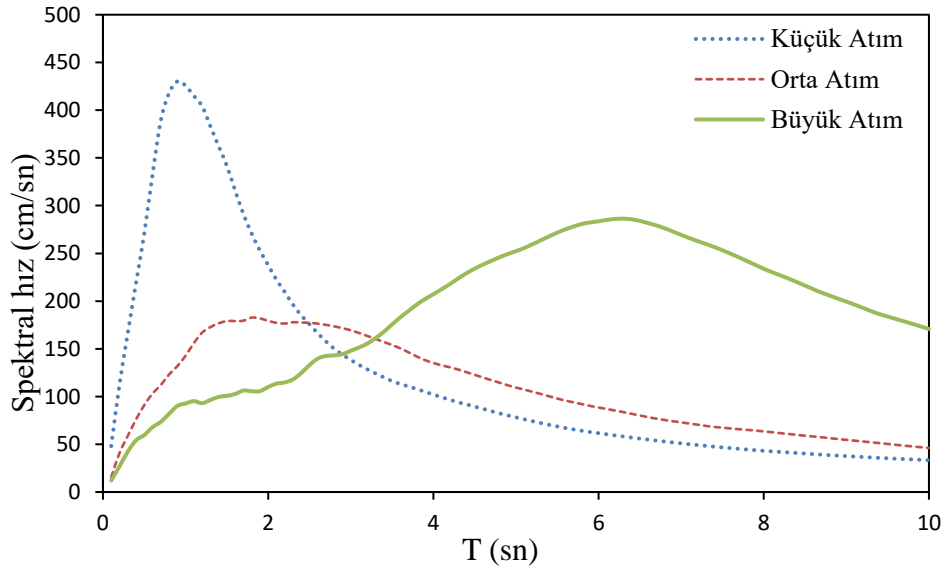
Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere oluşturulan 3 farklı veri seti için ortalama ivme, hız ve deplasman spektrumları, Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9'de ve spektral ivme, hız, deplasman spektrumları da Şekil 2.10 – Şekil 2.18'de verilmiştir.

Her bir veri setini oluşturan 24 adet deprem kaydına ilişkin ortalama spektral ivme grafiği Şekil 2.7'de verilmiştir. Spektral ivme grafiği göstermektedir ki küçük atım periyoduna sahip depremler yüksek spektral ivme oluşturmaktadır.

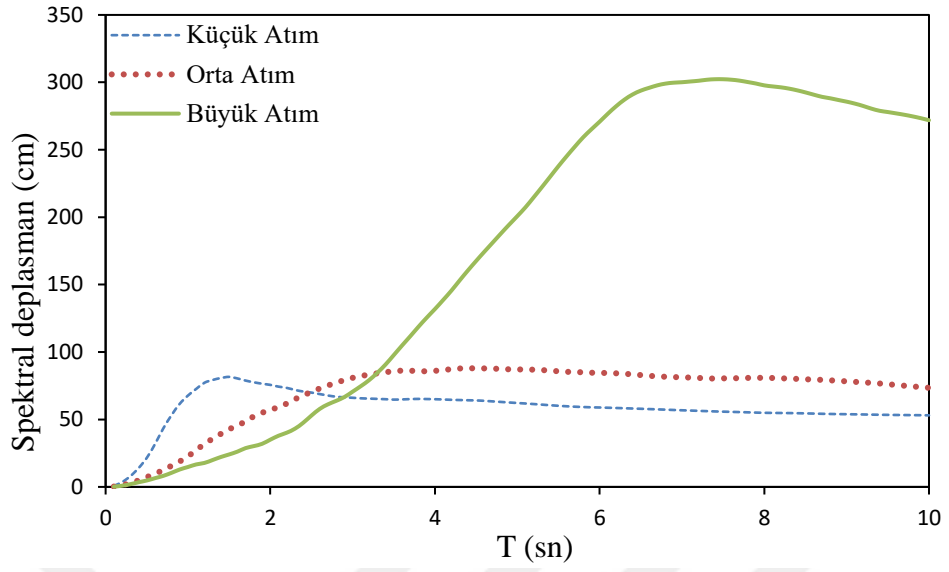


Şekil 2. 7 Ortalama spektral ivme grafiği.

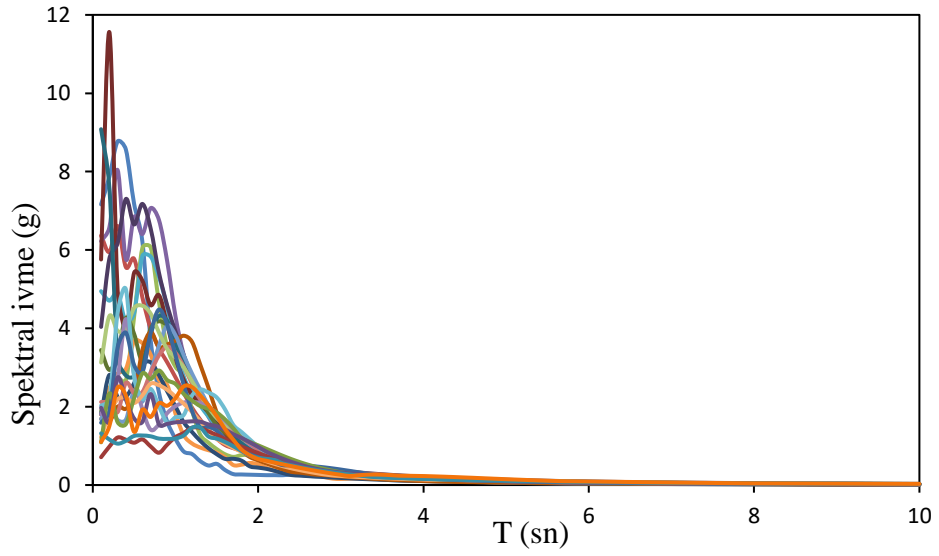
Her bir veri setini oluşturan 24 adet deprem kaydına ilişkin ortalama spektral deplasman grafikleri Şekil 2.9'da verilmiştir. Spektral deplasman grafiği göstermektedir ki büyük atım periyoduna sahip depremler büyük deplasman talebi oluşturmaktadır.



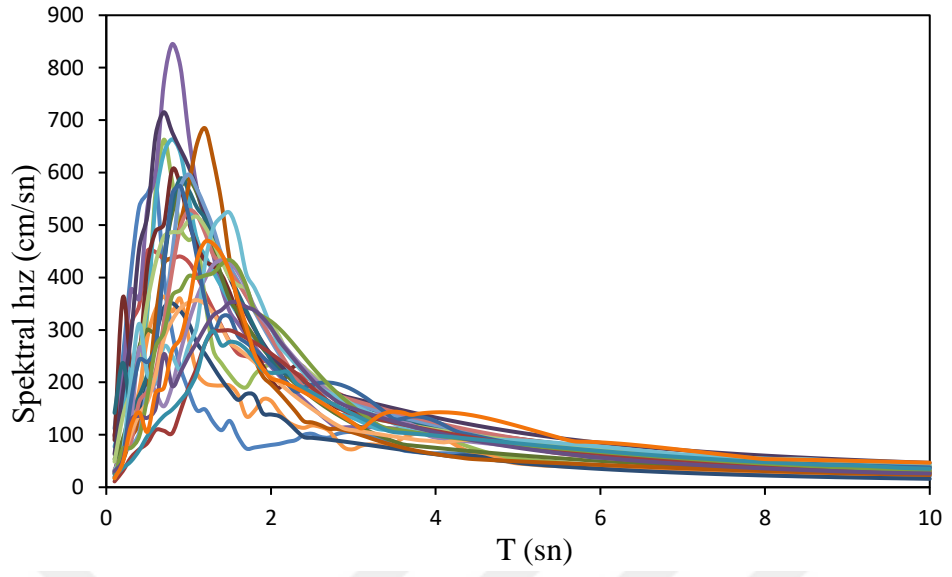
Şekil 2. 8 Ortalama spektral hız grafiği.



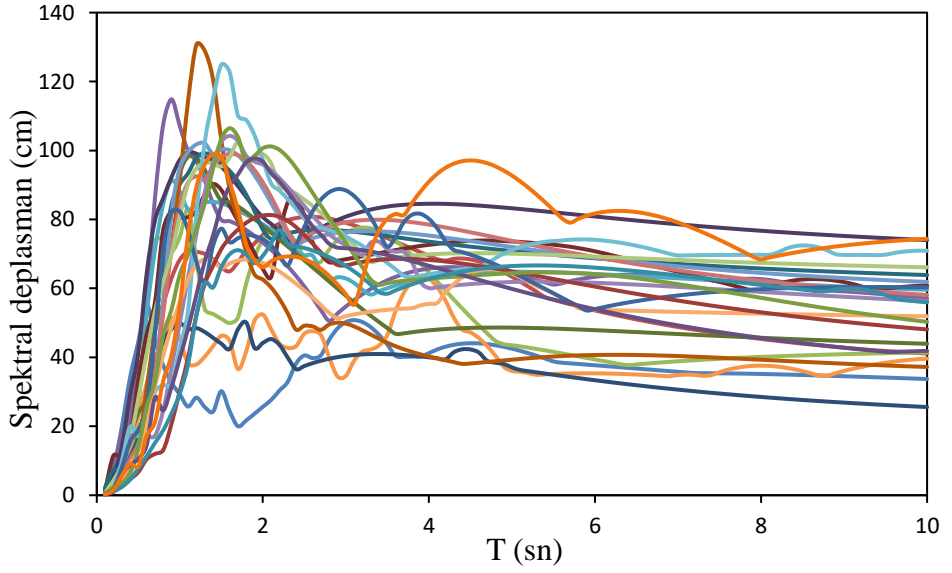
Şekil 2. 9 Ortalama spektral deplasman grafiği.



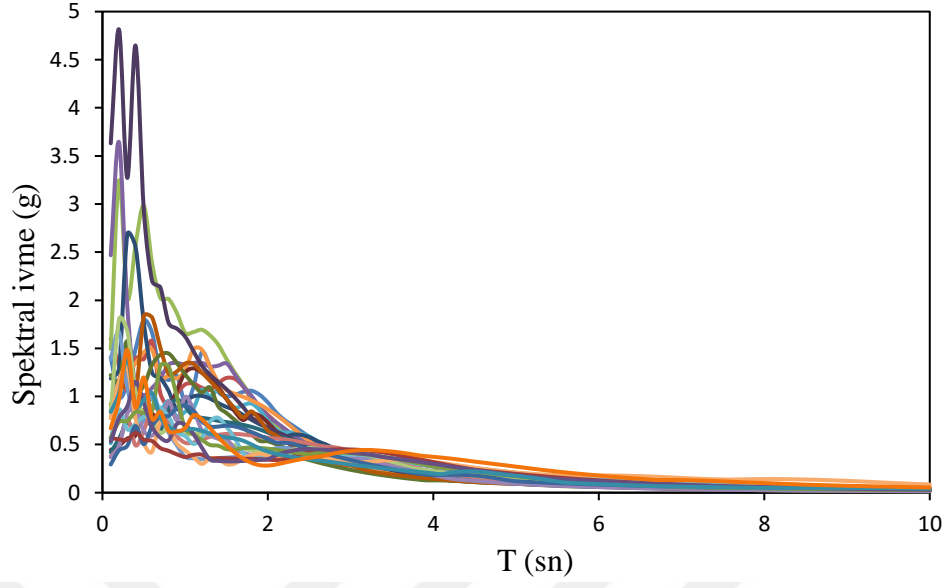
Şekil 2. 10 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.



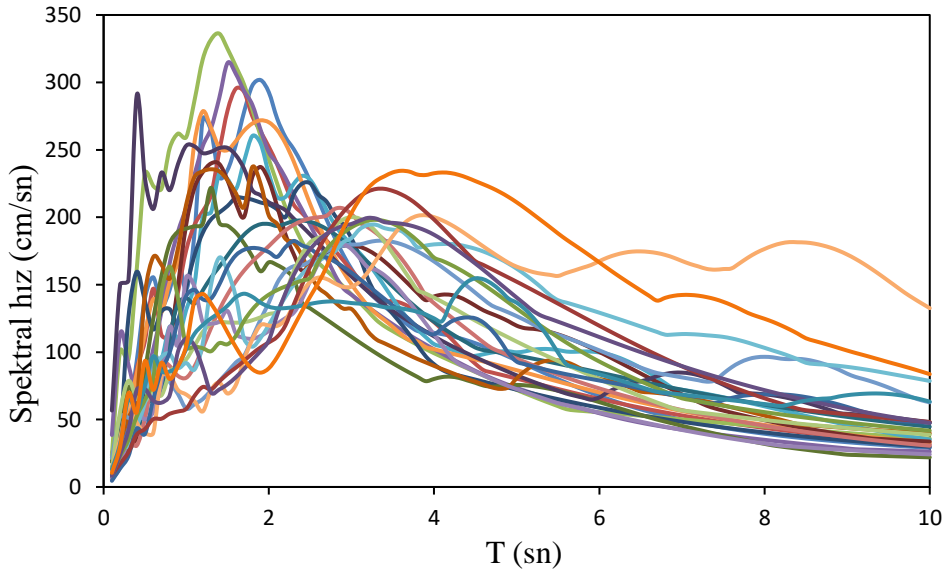
Şekil 2. 11 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.



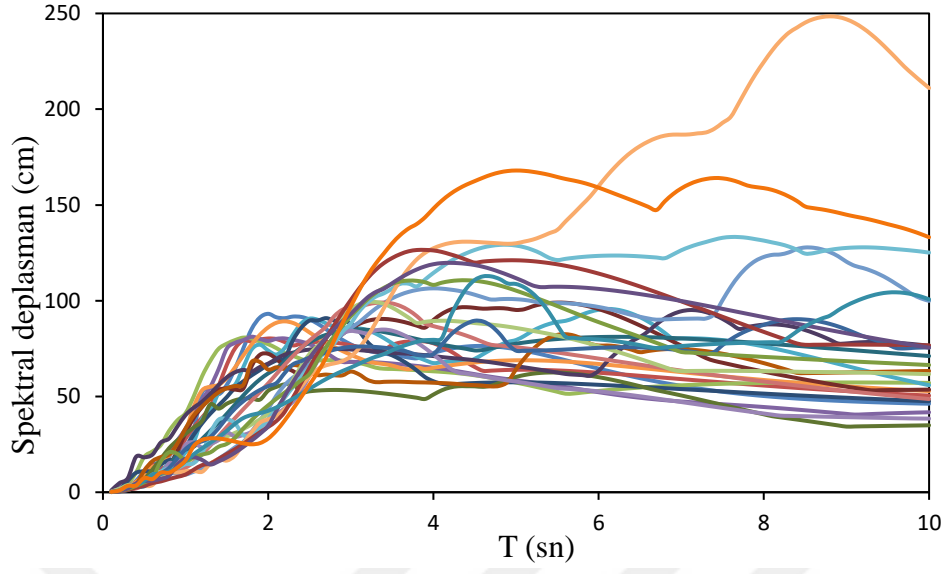
Şekil 2. 12 Küçük atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.



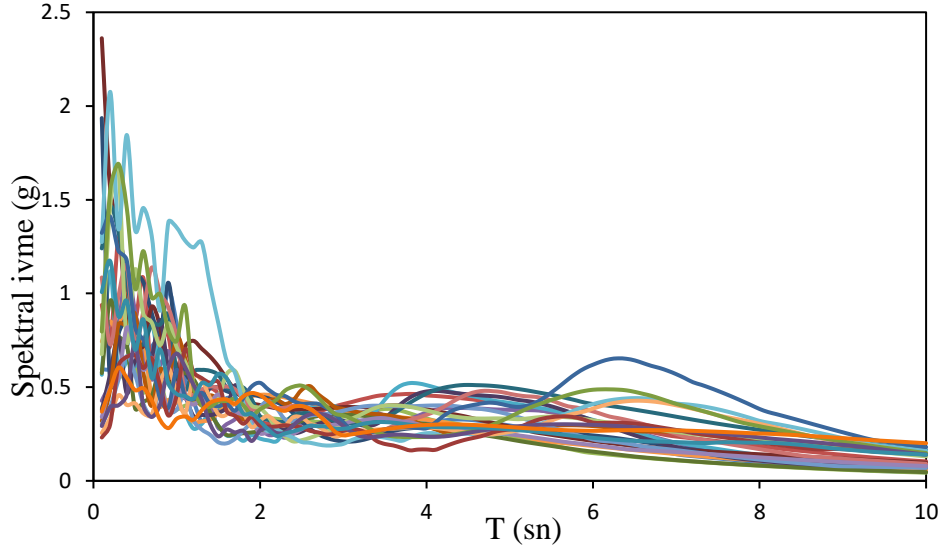
Şekil 2. 13 Orta atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.



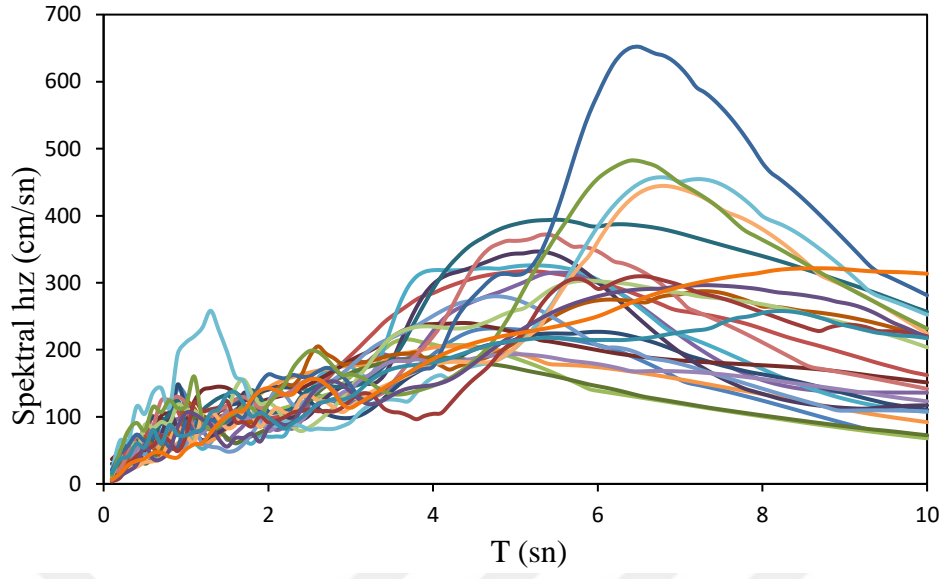
Şekil 2. 14 Orta atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.



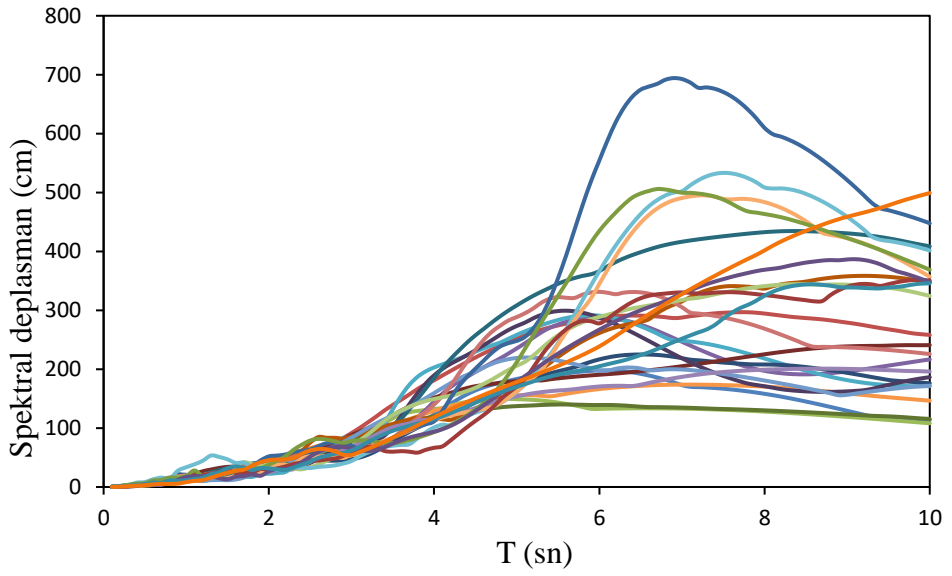
Şekil 2. 15 Orta atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.



Şekil 2. 16 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral ivme grafiği.



Şekil 2. 17 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral hız grafiği.



Şekil 2. 18 Büyük atım periyotlu kayıtların spektral deplasman grafiği.

Çizelge 2. 1 Küçük atım periyotlu ivme kayıtları

No	RSN	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Moment B.	d	V _s	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	T _p (sn)
1	285	Irpinia, Italy	1980	Bagnoli Irpinio	6.90	8.18	649.67	0.173	39.116	10.780	1.69
2	451	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam	6.19	0.53	561.43	1.287	78.682	13.757	0.85
3	764	Loma Prieta	1989	Gilroy-Historic Building	6.93	10.97	308.55	0.270	43.778	10.175	1.40
4	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array-02	6.93	11.07	270.84	0.413	48.812	19.064	1.40
5	1004	Northridge 01	1994	La-Sepulveda Va	6.69	8.44	380.06	0.755	78.003	11.070	0.96
6	1052	Northridge 01	1994	Pacoima Kagel Canyon	6.69	7.26	508.08	0.521	56.555	10.485	0.94
7	1054	Northridge 01	1994	Pardee-SCE	6.69	7.46	325.67	0.559	76.246	14.654	1.12
8	1063	Northridge 01	1994	Rinaldi Receiving Station	6.69	6.50	282.25	0.888	150.531	43.156	1.45
9	1106	Kobe, Japan	1995	Kjma	6.90	0.96	312.00	0.864	105.987	26.441	1.50
10	3475	Chi Chi, Taiwan	1999	TCU080	6.30	10.20	489.32	0.547	41.415	5.205	1.01
11	3965	Tottori, Japan	2000	TTR008	6.61	6.88	139.21	0.419	54.706	22.555	1.72
12	4065	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield-Eades	6.00	2.85	383.90	0.443	36.096	8.744	1.10
13	4097	Parkfield 02, CA	2004	Slack Canyon	6.00	2.99	648.09	0.350	53.654	9.778	0.82
14	4098	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Cholame-1E	6.00	3.00	326.64	0.472	52.640	11.763	1.25
15	4100	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Cholame-2WA	6.00	3.01	173.02	0.626	64.041	11.590	0.94
16	4102	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Cholame-3W	6.00	3.63	230.57	0.498	44.609	8.608	1.05
17	4107	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Fault Zone-01	6.00	2.51	178.27	0.775	82.216	11.780	1.04
18	4113	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Fault Zone-09	6.00	2.85	372.26	0.159	26.999	6.290	1.17
19	4115	Parkfield 02, CA	2004	Parkfield Fault Zone-12	6.00	2.65	265.21	0.386	58.021	14.713	1.16
20	4451	Montenegro Ygs	1979	Bar, Skupstina Opstine	7.10	6.98	462.23	0.405	62.575	17.211	1.58
21	4458	Montenegro Ygs	1979	Ulcinj Hotel Olympic	7.10	5.76	318.74	0.245	63.331	17.080	1.55
22	4480	L'aquila Italy	2009	L'aquila, V. Aterno, Centro	6.30	6.27	475.00	0.643	46.881	4.200	0.48
23	4482	L'aquila Italy	2009	L'aquila, V. Aterno	6.30	6.55	552.00	0.395	32.607	5.935	0.82
24	4483	L'aquila Italy	2009	L'aquila Parking	6.30	5.38	717.00	0.390	46.236	14.332	1.58

Çizelge 2. 2 Orta ölçekte atım periyotlu ivme kayıtları

No	RSN	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Moment B.	d	V _s	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	T _p (sn)
1	159	İmperial Valley-06	1979	Agrarias	6.53	0.65	242.05	0.294	53.280	14.370	1.87
2	161	İmperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	10.42	208.71	0.217	46.885	16.948	4.03
3	170	İmperial Valley-06	1979	Ec County Center FF	6.53	7.31	192.05	0.235	73.406	48.181	3.25
4	171	İmperial Valley-06	1979	El-Centro Meloland Geot	6.53	0.07	264.57	0.379	117.446	48.629	3.02
5	178	İmperial Valley-06	1979	El- Centro Array 3	6.53	12.85	162.94	0.266	57.548	28.586	2.91
6	180	İmperial Valley-06	1979	El- Centro Array 5	6.53	3.95	205.63	0.381	98.190	68.436	3.82
7	181	İmperial Valley-06	1979	El- Centro Array 6	6.53	1.35	203.22	0.442	121.612	74.536	3.75
8	182	İmperial Valley-06	1979	El- Centro Array 7	6.53	0.56	210.51	0.468	113.352	45.278	3.78
9	185	İmperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	6.53	7.50	202.89	0.226	73.662	42.578	4.37
10	292	İrpinia, Italy	1980	Sturno	6.90	10.84	382.00	0.333	73.818	28.282	3.06
11	722	Superstition Hills-02	1987	Kornbloom Road (temp)	6.54	18.48	266.01	0.158	33.619	10.790	2.18
12	723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	6.54	0.95	348.69	0.450	144.329	49.230	2.12
13	982	Northridge 01	1994	Jensen Filter Plant	6.69	5.43	373.07	0.414	112.858	42.459	3.18
14	1013	Northridge 01	1994	La Dam	6.69	5.92	628.99	0.476	86.351	25.536	2.27
15	1045	Northridge 01	1994	Newhall W Pico Canyon	6.69	5.48	285.93	0.419	118.748	42.097	2.39
16	1086	Northridge 01	1994	Sylmar Olive View Med FF	6.69	5.30	440.54	0.832	131.764	33.715	2.20
17	1114	Kobe, Japan	1995	Port Island	6.90	3.31	198.00	0.428	102.955	48.861	2.20
18	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	6.90	0.27	312.00	0.663	95.771	28.372	1.96
19	2114	Denali, Alaska	2002	Taps Pump Station 10	7.90	2.74	329.40	0.310	125.240	62.448	3.58
20	3746	Cape, Mendocino	1992	Centerville Beach Naval	7.01	18.31	459.04	0.479	58.239	19.665	1.88
21	4040	Bam, İran	2003	Bam	6.60	1.70	487.40	0.814	124.151	34.009	2.10
22	4228	Niigata, Japan	2004	Nigh11	6.63	8.93	375.00	0.600	67.981	18.618	2.38
23	4847	Chuetsu, Oki Japan	2007	Joetsu Kakizakiku Kakizaki	6.80	11.94	383.43	0.454	94.459	31.867	2.51
24	6942	Darfield, New Zealand	2010	NNBS North New Brighton	7.00	26.76	211.00	0.203	56.815	52.041	3.25

Çizelge 2. 3 Büyük atım periyotlu ivme kayıtları

No	RSN	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Moment B.	d	V_s	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	T_p (sn)
1	179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array-04	6.53	7.05	208.91	0.356	89.364	72.877	5.68
2	879	Landers	1992	Lucerne	7.28	2.19	1369.00	0.725	133.604	113.409	5.53
3	1148	Kocaeli Turkey	1999	Arcelik	7.51	13.49	523.00	0.135	40.356	37.037	5.76
4	1161	Kocaeli Turkey	1999	Gebze	7.51	10.92	792.00	0.168	52.980	45.059	4.69
5	1176	Kocaeli Turkey	1999	Yarımca	7.51	4.83	297.00	0.319	93.478	70.347	4.72
6	1244	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY101	7.62	9.94	258.89	0.396	109.234	73.923	5.16
7	1476	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU029	7.62	28.04	406.53	0.227	63.812	49.344	5.24
8	1480	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU036	7.62	19.83	478.07	0.135	64.742	58.063	5.69
9	1483	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU040	7.62	22.06	362.03	0.158	57.244	44.147	6.18
10	1486	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU046	7.62	16.74	465.55	0.140	34.380	41.023	6.29
11	1498	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU059	7.62	17.11	272.67	0.126	64.239	61.861	7.30
12	1502	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU064	7.62	16.59	645.72	0.123	55.798	63.029	6.88
13	1505	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU068	7.62	0.32	487.34	0.470	343.003	492.718	9.94
14	1510	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU075	7.62	0.89	573.02	0.331	109.614	97.350	5.28
15	1515	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU082	7.62	5.16	472.81	0.175	63.236	76.326	6.57
16	1528	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU101	7.62	2.11	389.41	0.191	77.930	76.727	9.55
17	1530	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU103	7.62	6.08	494.10	0.130	70.319	68.038	8.70
18	1548	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU128	7.62	13.13	599.64	0.197	79.172	66.121	6.01
19	1550	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU136	7.62	8.27	462.10	0.119	63.087	63.356	7.89
20	6897	Darfield New Zealand	2010	Dslc	7.00	8.46	295.74	0.236	67.428	82.969	7.82
21	6927	Darfield, New Zealand	2010	Linc	7.00	7.11	263.20	0.457	116.583	73.511	5.45
22	6975	Darfield, New Zealand	2010	Tplc	7.00	6.11	249.28	0.300	76.330	79.415	7.24
23	8161	El Mayor, Mexico	2010	El Centro Array-12	7.20	11.26	196.88	0.395	74.355	62.324	6.72
24	8606	El Mayor, Mexico	2010	Westside Elementary	7.20	11.44	242.00	0.245	62.399	49.015	6.11

3. SİSMİK YALITIMLI BİNA TASARIMI

3.1 TBDY 2018 Sürtünme Sarkaçlı Yalıtım Elemanı Tasarım Esasları

TBDY 2018'e göre deprem yalıtımlı binalar için, hesap yöntemleri ve uygulama limitleri aşağıdaki gibidir.

- Etkin deprem yükü yöntemi
- Mod birleştirme yöntemi
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Etkin Deprem Yükü Yöntemi aşağıda belirtilen maddelerin tamamını sağlaması halinde altyapı ve üstyapı deprem hesabında kullanılabilir. Mod Birleştirme Yöntemi ile üstyapı ve altyapı deprem hesabı yapabilmek için ise, aşağıda verilen (a), (b) ve (d) limitlerinin sağlanması gerekmektedir. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemini kullanmak içinse herhangi bir limit bulunmamaktadır.

- a. Yerel zemin sınıfı ZA, ZB, ZC veya ZD olan binalar.
- b. Maksimum deprem düzeyi için deprem yalıtımlı binanın hakim periyodu 4 saniyenin altında olması.
- c. Deprem yalıtımı uygulanan binada yalıtım üstü 4 kat ve 20 m'yi geçmeyen binalar.
- d. Deprem yalıtım elemanlarında çekme yada kalkma meydana gelmemesi.
- e. Yalıtım elemanı sönüm oranının %30'u geçmediği durumlar.
- f. Deprem yalıtımlı binada B2 düzensizliği bulunmadığı ve her bir katta maksimum görelî kat ötelemelerinin ortalama görelî kat ötelemesine oranı 2'yi geçmediği durumlarda.
- g. Yalıtımlı binanın düşey doğrultudaki periyot değeri 0.1s'nin altında kalması durumunda.

3.1.1 TBDY-2018 etkin deprem yükü yöntemi

Tasarım deprem düzeyi için yalıtım elemanı deplasmanı D_D ;

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)} (T_D) \quad [3.1]$$

- g :Yer çekimi ivmesi
 T_D :Tasarım deprem düzeyi için bina hakim periyodu
 η_D :Tasarım deprem düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
 $S_{ae}^{(DD-2)}$:Tasarım deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)

Tasarım deprem düzeyi için bina hakim periyodu T_D ;

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad [3.2]$$

- g :Yer çekimi ivmesi
 K_D :Tasarım deprem düzeyi için yalıtım elemanı etkin rijitliği
 W :Yapının toplam sismik ağırlığı

Maksimum deprem düzeyi için yalıtım elemanı deplasmanı D_M ;

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)} (T_M) \quad [3.3]$$

- g :Yer çekimi ivmesi
 T_M :Maksimum deprem düzeyi için bina hakim periyodu
 η_M :Maksimum deprem düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
 $S_{ae}^{(DD-1)}$:Maksimum deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)

Maksimum deprem düzeyi için bina hakim periyodu T_M ;

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad [3.4]$$

- g :Yer çekimi ivmesi
 W :Yapının toplam sismik ağırlığı

K_M :Maksimum deprem düzeyi için yalıtım elemanı etkin rijitliği

Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M ;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad [3.5]$$

ξ :Yalıtım eleman deplasmanları etkin sönüm yüzdesi

Tasarım deprem düzeyi için üstyapıya etkiyen kuvvet V_D ;

$$V_D = (S_{ac}^{(DD-2)}(T_D) W \eta_D) / R \quad [3.6]$$

R :Deprem yükü azaltma katsayısı

W :Yapının toplam sismik ağırlığı

T_D :Tasarım deprem düzeyi için bina hakim periyodu

$S_{ac}^{(DD-2)}$:Tasarım deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)

η_D :Tasarım deprem düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı

Maksimum deprem düzeyi için üstyapıya etkiyen kuvvet V_M ;

$$V_M = (S_{ac}^{(DD-1)}(T_M) W \eta_M) / R \quad [3.7]$$

R :Deprem yükü azaltma katsayısı

$S_{ac}^{(DD-1)}(T_M)$:Maksimum deprem düzeyi için spektral ivme [g](%5 sönüm için)

W :Yapının toplam sismik ağırlığı

η_M :Maksimum deprem düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı

Üst yapıya tasarım kuvveti, yalıtım sisteminin sürtünme ile karşıladığı kuvvet değerinin ve rüzgâr kuvvetinin üstünde olmalıdır.

3.1.2 TBDY-2018 mod birleştirme yöntemi

Yalıtım elemanlarının sistem içerisindeki matematiksel modeli iki yatay ve bir düşey doğrultu ile burulma etkilerini içerecek şekilde oluşturulmalıdır. Binada düzensizlik olmayan durumlarda yer değiştirme değerleri, denklem 3.1 ve denklem 3.3'de hesaplanan değerlerin %80'inden küçük olmayacaktır. Binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden herhangi biri bulunması halinde ise %90'ından küçük olmayacaktır. Binada düzensizlik bulunmuyorsa üstyapı ve altyapı tasarım kuvvetleri, denklem 3.6'da hesaplanan değerlerin %80'inden, A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden herhangi birinin bulunması durumunda ise %90'ından az olmayacaktır. Etkin sönüm oranı %30'u geçmeyecektir.

3.1.3 TBDY-2018 zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

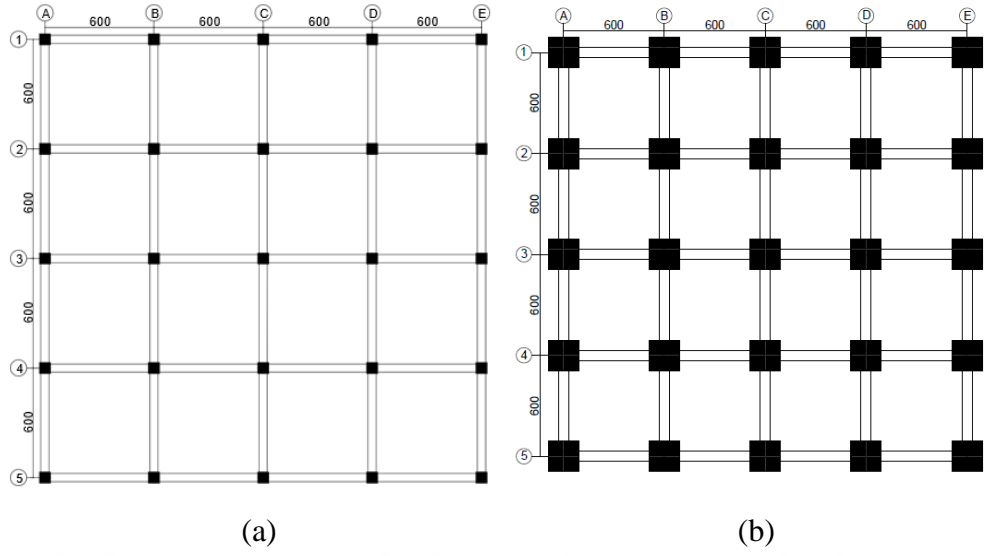
Yalıtımlı binanın düşey titreşim periyodu 0.1s'den küçük yada eşit olması durumunda iki yatay bileşen, aksi durumda ise düşey bileşende göz önünde bulundurularak analiz yapılacaktır. Kullanılacak kayıtların ölçeklendirilmesinde $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ alt ve üst sınır değerleri dikkate alınacaktır. ZD zemin türünden daha kötü zeminlerde, zemin-yapı etkileşimli dinamik analiz yapılmalıdır. Analizlerde kullanılmak üzere en az 11 kayıt çifti seçilerek her bir doğrultu için analiz yapılacaktır. Her doğrultu için yapılan analiz sonuçlarının ortalaması bina tasarımı için esas kabul edilecektir. Yalıtım elemanı deplasmanları, her bir doğrultu için hesaplanan her bir adımın bileşkeleri ile ifade edilecektir. Yalıtım elemanları için hesaplanan deplasmanlar denklem 3.1 ve denklem 3.3 ile hesaplanan değerlerin %80'inden küçük olmayacaktır. Binada düzensizlik bulunmuyorsa üstyapı ve altyapı tasarım kuvvetleri, denklem 3.6'da hesaplanan değerlerin %80'inden küçük olmayacaktır.

3.2 Binanın Tanımı

Bu tez çalışması kapsamında 6 katlı, taban yalıtımlı bir hastane binası tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında binanın elastik tasarım analizleri ETABS (CSI, 2016) programı ile yapılmıştır. Modelleme için seçilen bina, X ve Y ekseninde simetrik, 4 açıklıklı ve 6 m aks aralıklarından oluşmakta olup toplam kat alanı 576 m^2 'dir. 6 kattan oluşan binanın alt yapı olarak tanımlanan yalıtım katı 3.9 m yükseklikte olup üst yapı olarak tanımlanan diğer 5 kat ise 3.5 m yüksekliğindedir ve toplam bina yüksekliği 21.4 m'dir. Taşıyıcı sistem betonarme çerçeve sistem olup, tüm katlarda plak döşeme kullanılmıştır. Yalıtım seviyesi üzerinde rijit diyafram etkisi oluşturulması amacıyla kiriş boyutları ve döşeme kalınlığı büyük tutulmuştur. Bina modeline ait üstyapı ve alt yapı planları Şekil 3.1'de verilmektedir. Binaya ait diğer mimari ve statik detaylar ise Çizelge 3.1'de verilmektedir.

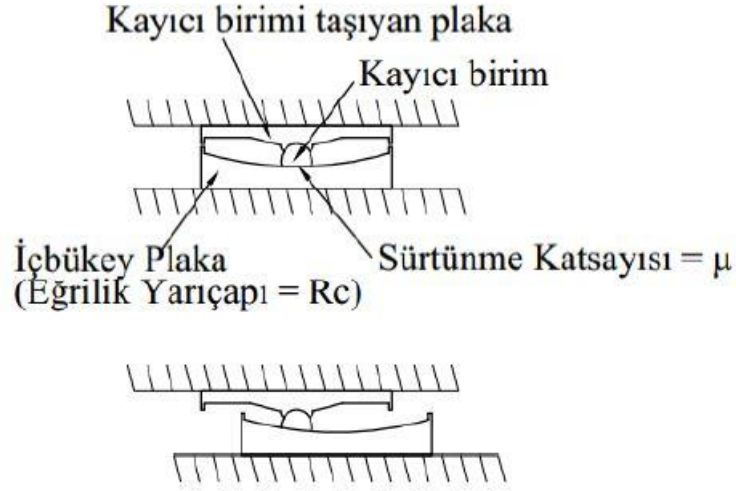
Çizelge 3. 1 Bina Modeli Genel Özellikleri

Döşeme Sistemi	Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	15 cm
Yalıtım Katı Döşeme Kalınlığı	25 cm
Kiriş Kesitleri	45x60 (cm)
Yalıtım Katı Kiriş Kesitleri	60x80 (cm)
Üst Yapı Kolon Kesitleri	60x60 (cm)
Alt Yapı Kolon Kesitleri	180x180 (cm)
Beton Sınıfı	BS45
Donatı Sınıfı	B420C
Dış Duvar Kalınlıkları	20 cm
İç Duvar Kalınlıkları	10 cm
Dış Duvar Yüğü	9.8 kN/m
İç Duvar Yüğü	7.5 kN/m
Döşeme Hareketli Yüğü	3.5 kN/m ²
Döşeme Kaplama, Sıva Yüğü	2.5 kN/m ²



Şekil 3. 1 a) Üst yapı kat planı b) Alt yapı kat planı.

3.4 Yalıtım Elemanı Tasarımı



Şekil 3. 2 Tek eğrilikli sürtünme sarkaçlı yalıtım elemanı (FPS) (TBDY, 2018).

Bina modelinde Şekil 3.2’de gösterildiği gibi tek eğrilikli Sürtünme Sarkaçlı Yalıtım Elemanı (Friction Pendulum Isolator) kullanılmıştır. Tasarlanan binada kolon farklı normal kuvvetleri göz önüne alınarak köşe, kenar ve orta kolonlar için 3 tip yalıtım elemanı kullanılmıştır. Köşe kolonların altında bulunan 4 adet yalıtım elemanı Tip-1, kenar kolonların altında bulunan 12 adet yalıtım

elemanı Tip-2, ve orta kolonların altında bulunan 9 adet yalıtım elemanı Tip-3 olarak tanımlanmıştır.

Binanın toplam ağırlığı 59253 kN ve yalıtım seviyesinin üstündeki ağırlığı ise 52823 kN olarak hesaplanmıştır. Sürtünme sarkaçlı yalıtım elemanı tipleri için etkin deprem yükü kullanılarak hesaplanan parametreler aşağıda verilmiştir.

Yalıtım elemanı tasarımı TBDY 2018'e uygun olarak Denklem 3.8 - Denklem 3.13'de verilen bağıntılarla yapılmıştır.

Maksimum deprem düzeyi bina hakim periyodu T_M ;

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad [3.8]$$

W :Yapının toplam sismik ağırlığı

K_M :Maksimum deprem düzeyi etkin rijitliği

Yalıtım elemanı deplasmanları etkin sönüm yüzdesi ξ ;

$$\xi = \frac{\frac{2}{\pi} \mu}{\mu + \frac{D_M}{R}} \quad [3.9]$$

μ :Etkin sürtünme katsayısı

D_M :Maksimum deprem düzeyi deplasman kapasitesi

R :Yalıtım elemanı eğrilik yarıçapı

Yalıtım elemanı tasarımı sönüm ölçeklendirme katsayısı η ;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad [3.10]$$

ξ :Etkin sönüm yüzdesi

Sönüm ölçeklendirme katsayısı, tasarım deplasmanı ile birlikte iteratif bir işlem sonucunda bulunmaktadır.

Maksimum deprem düzeyi yalıtım elemanı deplasman kapasitesi D_M ;

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) S_{MI} T_M \eta \quad [3.11]$$

S_{M1} :Maksimum deprem düzeyinde 1 saniyelik periyoda karşılık gelen spektral ivme katsayısı

T_M :Maksimum deprem düzeyi bina etkin periyodu

η :Yalıtım elemanı tasarımı sönüm ölçeklendirme katsayısı

g :Yer çekimi ivmesi

Yalıtım elemanı efektif rijitliği K_{eff} ;

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D_M} \quad [3.12]$$

W :Yapının toplam sismik ağırlığı

μ :Etkin sürtünme katsayısı

R :Yalıtım elemanı eğrilik yarıçapı

D_M :Maksimum deprem düzeyi deplasman kapasitesi

Yalıtım sistemi altında kalan elemanlar için tasarım kuvveti V_b ;

$$V_b = K_{eff} D_M \quad [3.13]$$

D_M :Maksimum deprem düzeyi deplasman kapasitesi

K_{eff} :Yalıtım elemanı efektif rijitliği

ASCE 7-16 (ASCE, 2016) esas alınarak üstyapı azaltılmamış tasarım kuvveti

V_{st} ;

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.5\xi)} \quad [3.14]$$

V_b :Altyapı tasarım kuvveti

W :Yapının toplam sismik ağırlığı

W_s :Yalıtım sistemi üstündeki kütle nin sismik ağırlığı

ξ :Etkin sönüm yüzdesi

ASCE 7-16 (ASCE, 2016) esas alınarak üstyapı tasarım kuvveti V_s ;

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I} \quad [3.15]$$

V_{st} :Üstyapı azaltılmamış tasarım kuvveti

R_I :Üst yapı deprem yükü azaltma katsayısı

Yalıtım elemanı tasarımında alt, nominal ve üst sürtünme oranları (μ) sırasıyla 0.05, 0.062 ve 0.09 olarak alınmıştır.

ASCE 7-16 (ASCE, 2016)'ya uygun olarak üst yapı tasarımları maksimum deprem düzeyi (MCE) deprem düzeyinde yapılmış ve R_I deprem yükü azaltma katsayısı 1.2 olarak alınmıştır. Üst yapı tasarım kuvveti V_s 'nin hesabı ASCE 7-16 (ASCE, 2016)'ya göre Denklem 3.15'de verildiği gibi hesaplanarak 10310 kN olarak elde edilmiştir. Alt yapı tasarım kuvveti V_b , Denklem 3.13'de verildiği gibi hesaplanarak 14233 kN olarak hesaplanmıştır.

Maksimum deprem düzeyinde yalıtım elemanı için hesaplanan D_M , maksimum deplasman kapasitesi 0.77 m olarak elde edilmiştir.

Yalıtım elemanı tasarım parametreleri yukarıda verilen denklemlerle hesaplanarak kullanılan değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Yalıtım elemanı genel özellikleri

T_M	R	μ	ξ	η
3.58	3.5	0.05	0.12	0.77

3.3 Elastik Tasarım

Modelin elastik tasarımı ETABS (CSI, 2016) programı ile sistem belirtilen mimari ve statik detaylara uygun olarak modellenmiştir. Yük analizi yapılırken TBDY 2018 Çizelge 3.3' de tanımlanan Hareketli yük kütle katılım katsayısı

tablosundan hastane binaları için verilen 0.3 katsayısı kullanılmıştır. Betonarme elemanların kesit etkin rijitlik katsayıları TBDY 2018 Çizelge 4.2'den alınmıştır. Buna göre, kirişlerde eğilme rijitliği çarpanı 0.35 ve kesme rijitliği çarpanı 1.0, kolonlarda eğilme rijitliği çarpanı 0.70 ve kesme rijitliği çarpanı 1.0, döşemelerde eksenel rijitlik çarpanı 0.25 ve kayma rijitliği çarpanı 0.25 alınarak tasarım yapılmıştır.

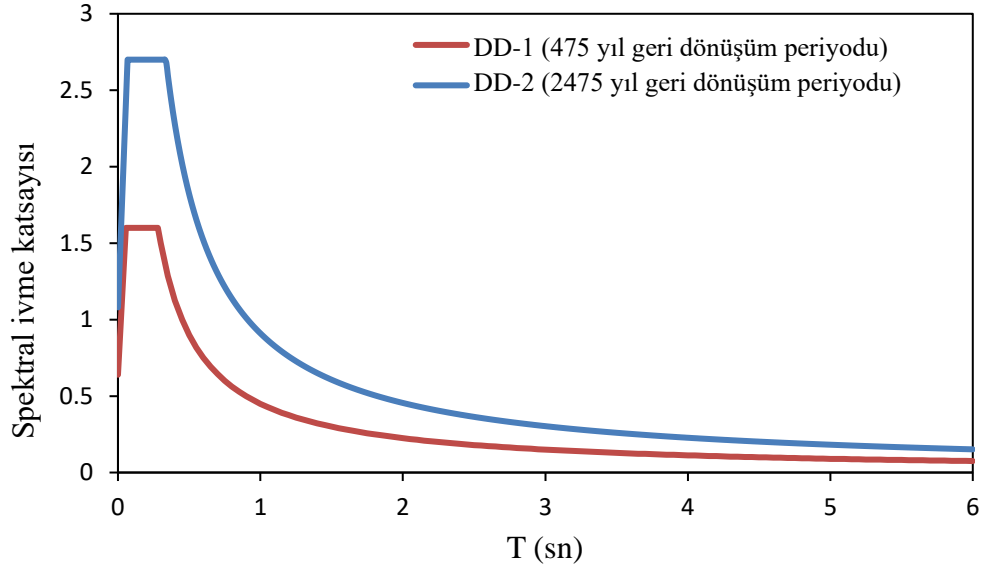
Çizelge 3. 3 Hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018)

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, vb.	0.30

ETABS (CSI, 2016) programında tasarlanan bina için, ölü yük, hareketli yük ve deprem yüklerinin her iki yönü göz önünde bulundurularak aşağıda belirtilen 19 adet yük kombinasyonu kullanılmıştır. Betonarme tasarımlar tanımlanan yük kombinasyonlarından en elverişsiz olanı dikkate alınarak yapılmıştır.

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1. $G+Q$ | 11. $G+Q-E_y-0.3E_x$ |
| 2. $1.4G+1.6Q$ | 12. $0.9G+E_x+0.3E_y$ |
| 3. $G+0.3Q$ | 13. $0.9G+E_x-0.3E_y$ |
| 4. $G+Q+E_x+0.3E_y$ | 14. $0.9G-E_x+0.3E_y$ |
| 5. $G+Q+E_x-0.3E_y$ | 15. $0.9G-E_x-0.3E_y$ |
| 6. $G+Q-E_x+0.3E_y$ | 16. $0.9G+E_y+0.3E_x$ |
| 7. $G+Q-E_x-0.3E_y$ | 17. $0.9G+E_y-0.3E_x$ |
| 8. $G+Q+E_y+0.3E_x$ | 18. $0.9G-E_y+0.3E_x$ |
| 9. $G+Q+E_y-0.3E_x$ | 19. $0.9G-E_y-0.3E_x$ |
| 10. $G+Q-E_y+0.3E_x$ | |

Tasarımı yapılan model için, DD-1 deprem düzeyi kısa ($T=0.2\text{sn}$) ve uzun ($T=1.0\text{sn}$) periyot spektral ivme değerleri, S_{MS} ve S_{M1} değerleri sırasıyla 2.70g ve 0.91g olarak belirlenmiştir. DD-2 ve DD-1 deprem düzeyi spektrumları TBDY 2018 2.3.4’de tanımlandığı gibi Şekil 3.3’de verilmektedir.



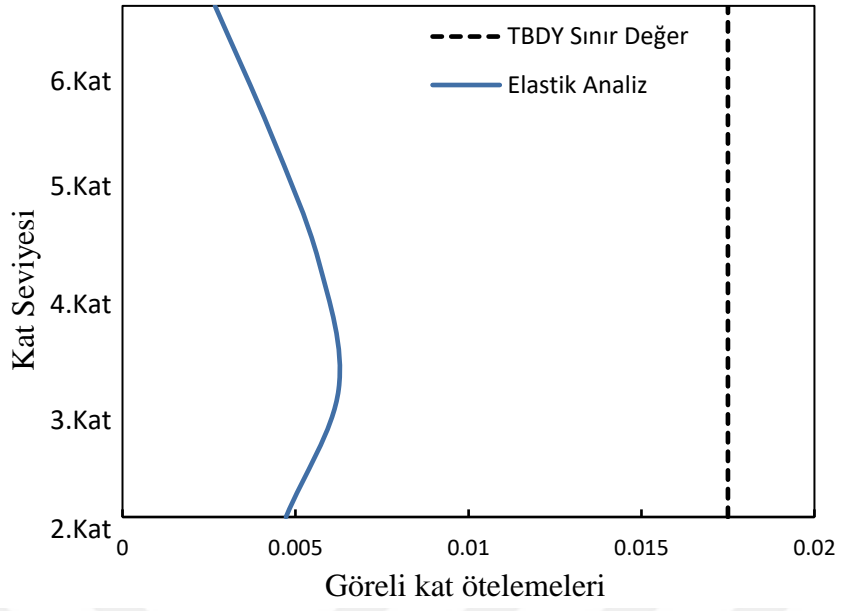
Şekil 3. 3 DD-2 ve DD-1 yatay elastik tasarım spektrumları.

Elastik modelin, yukarıda belirtilen veriler doğrultusunda analizi yapılmıştır. Elastik analizler sonucunda kolonların ve kirişlerin kesit boyutları ile donatıları Çizelge 3.4’de belirtildiği şekilde tasarlanmıştır.

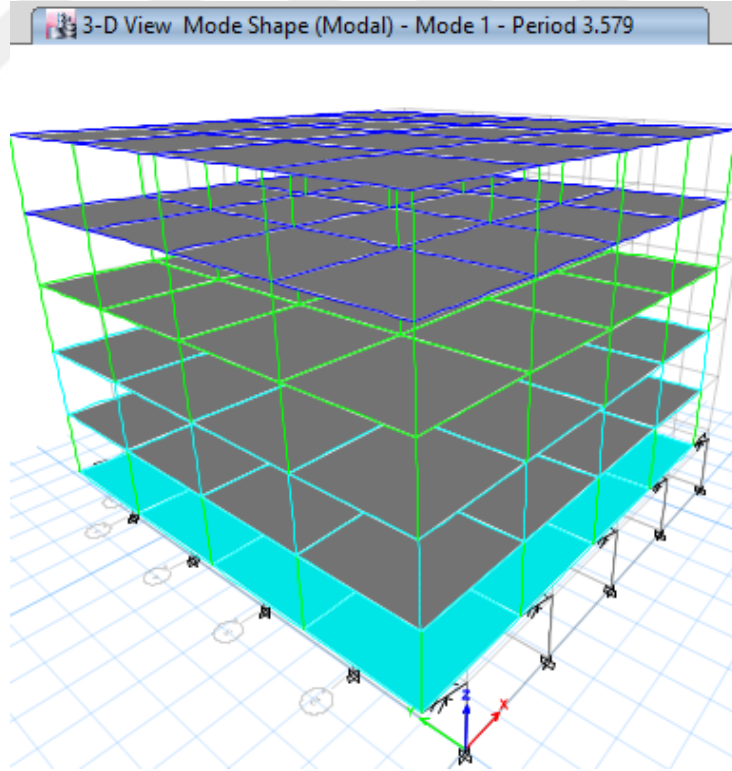
Çizelge 3. 4 Kolonların ve kirişlerin kesit boyutları ve donatıları

Eleman Adı	Kat Numarası	Kesit Boyutu	Boyuna Donatı	Enine Donatı
Kiriş	6	45X60	3ø24 üst 2ø24 alt	ø12/10
Kiriş	5	45X60	5ø24 üst 3ø24 alt	ø12/10
Kiriş	4	45X60	6ø24 üst 4ø24 alt	ø12/10
Kiriş	2 - 3	45X60	7ø24 üst 5ø24 alt	ø12/10
Kiriş	1	60X80	10ø26 üst 10ø26 alt	2ø14/10
Kolon	6 - 5 - 4	60X60	12ø20	2ø12/10
Kolon	3	60X60	16ø20	2ø12/10
Kolon	2	60X60	24ø24	2ø12/10
Kolon	1	180X180	56ø28	3ø14/10

Etabs 2016 (CSI, 2016) programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen görelî kat ötelemeleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Hesaplanan görelî kat ötelemeleri, TBDY 2018 madde 14.14.5.1'de verilen kesintisiz kullanım performans seviyesi için $0.005 h_i$ (0.0175) sınırının altında kaldığı Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Görel kat ötelemeleri grafiği.



Şekil 3. 5 ETABS 2016 (CSI, 2016) elastik tasarım 1. mod şekli.

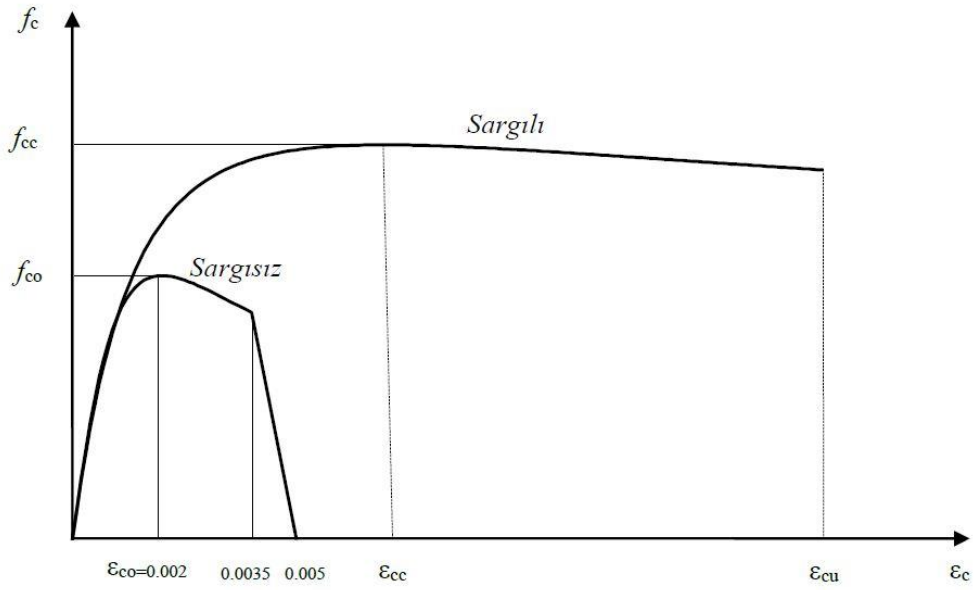
4. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

4.1 Giriş

Zaman tanım alanında hesap yöntemi, bir deprem ivme kaydının taşıyıcı sisteme adım adım etki ettirilmesi ile yapı davranışının belirlendiği hesap yöntemidir. Bu analiz yöntemi ile her bir zaman adımında taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvetler, şekil değiştirme ve deplasmanlar zamana bağlı olarak belirlenir. Buna göre de kesitlerde oluşacak hasarlar tespit edilir. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtları, geçmişte kaydedilmiş veya benzeştirilmiş ivme kayıtları olabilir (Krawinkler ve diğ., 1998).

4.1.1 Sargılı ve sargısız beton davranışı

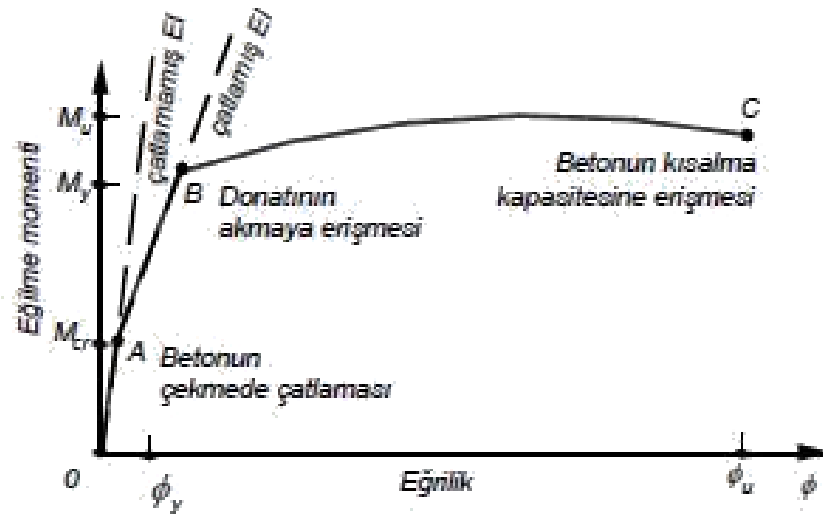
Beton gerilme-şekil değiştirme davranışına göre sargılı beton ve sargısız beton olarak ikiye ayrılır. Sargısız beton davranışı, tek eksenli yük etkisindeki betonun gerilme şekil değiştirme davranışının incelenmesidir. Sargılı beton davranışında ise, beton kesitinin dış çeperinde bulunan etriye veya çiroz olarak adlandırılan enine donatılar, betonun çekirdek bölgesinde boyuna donatılar ile birlikte sargılama etkisi oluşturur. Bu nedenle eksenel bir yükleme durumunda sargı donatısı olarak kullanılan etriye ve çirozlar, betonun çekirdek bölgesine yanal basınç uygulamakta ve buda çekirdek bölgesindeki betonunun dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Sargılı beton modeli, oluşan bu yanal basınç etkisiyle üç eksenli yükleme modeline dönüşmektedir (Celep, 2017). Betonun tek eksenli ve üç eksenli yükleme durumuna ilişkin birçok farklı model geliştirilmiştir ((Kent ve Park, 1971), (Mander ve diğ., 1988), (Saatcioğlu ve Razvi, 1992)).



Şekil 4. 1 Sargılı ve sargısız beton gerilme şekil değiştirme grafiği (TBDY, 2018).

4.1.2 Moment eğrilik ilişkisi ve plastik mafsalsal

Yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitesi, plastikleşme veya plastik mafsalsal kavramı ile tanımlanmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanları aksenal basınç ve eğilme momenti etkisi altında, elastik ve elastik ötesi davranış sergilemektedir. Betonarme elemanlarda tipik moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.2’de verilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanı, yükleme durumunda betonun çekme dayanımına ulaştığı anda sargısız beton kesiti çatlak ve kesitin eğilme rijitliğinde azalma meydana gelir. Kesit donatısının akma dayanımına kadar gerçekleşen yükleme durumunda, elastik şekil değiştirme davranışı gösterir. Kesitin yükleme durumu akma dayanımını aştığı andan itibaren elastik ötesi şekil değiştirme davranışı sergilemektedir. Başka bir ifade ile kesitte kontrollü hasar oluşmaya başlamıştır. Betonarme kesitte plastik şekil değiştirme başlaması ile birlikte kesit bir miktar daha eğilme momenti almasına karşılık önemi ölçüde plastik şekil değiştirme gerçekleştirir ve bu davranış plastik mafsalsal kavramı ile tanımlanmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanı eğilme momenti taşıma kapasitesine ulaştığı anda göçme gerçekleşir (Celep, 2017).

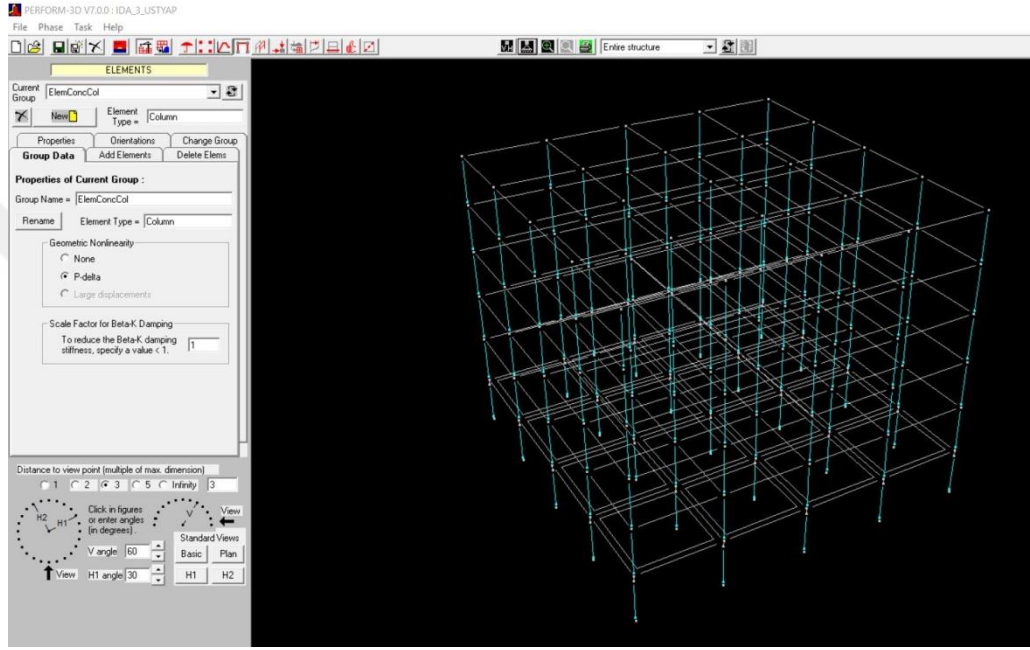


Şekil 4. 2 Betonarme elemanlarda tipik moment-eğrilik ilişkisi (Celep, 2017).

Doğrusal ötesi şekil değiştirmenin olduğu bölge kabulü açısından iki tür plastik mafsallı model kabul edilmiştir. Bunlar yığılı ve yayılı plastik mafsallı modellerdir. Yığılı plastik mafsallı yaklaşımında, doğrusal olmayan davranışın eleman uçlarında meydana geldiği varsayılarak, bu bölgelerde plastik mafsallı modellenir. Elemanın iki uç plastik mafsallı arasında kalan kısmının elastik davrandığı varsayılır. Bu model doğrusal olmayan analizlerde modelleme kolaylığı bakımından tercih edilir. Yayılı plastik mafsallı modelinde doğrusal olmayan davranışın eleman boyunca belirli bir bölgede yayıldığı varsayılır (TBDY, 2018).

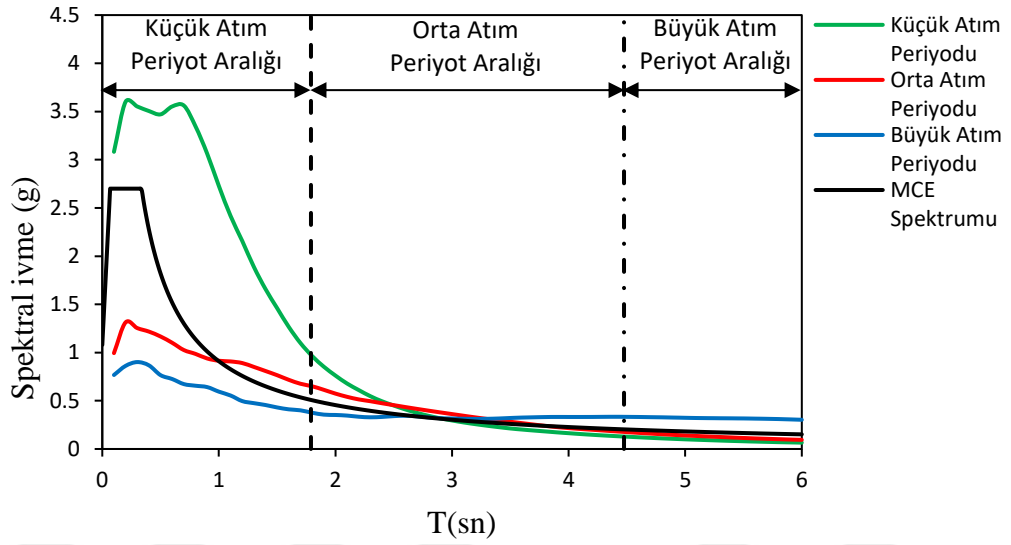
4.2 Doğrusal Elastik Olmayan Model

Doğrusal elastik olmayan analiz modelinde, Perform 3D (CSI, 2018) programı ile bina sistemi 3. Bölüm'de belirtilen mimari, statik ve betonarme detaylara uygun olarak modellenmiştir. Doğrusal elastik olmayan analiz modeli Şekil 4.3'de verilmiştir.



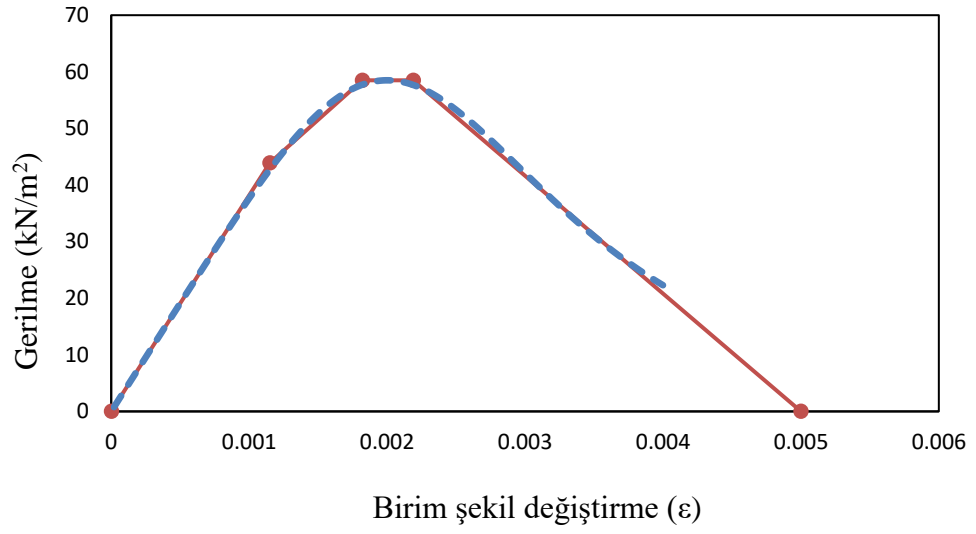
Şekil 4. 3 Perform 3D (CSI, 2018) bina modeli.

Küçük, orta ve büyük atımlı yer hareketlerinin maksimum hız (PGV) yönlerinden elde edilen ortalama ivme spektrumları ile DD-1 deprem düzeyi ivme spektrumu Şekil 4.4’de verilmektedir. Küçük atım periyotlu yer hareketleri küçük periyotlarda daha büyük spektral ivme talebi oluştururken, orta ve büyük periyotlu yer hareketleri ise sırasıyla orta ve büyük periyotlarda daha büyük spektral ivme talebi oluşturmaktadır.

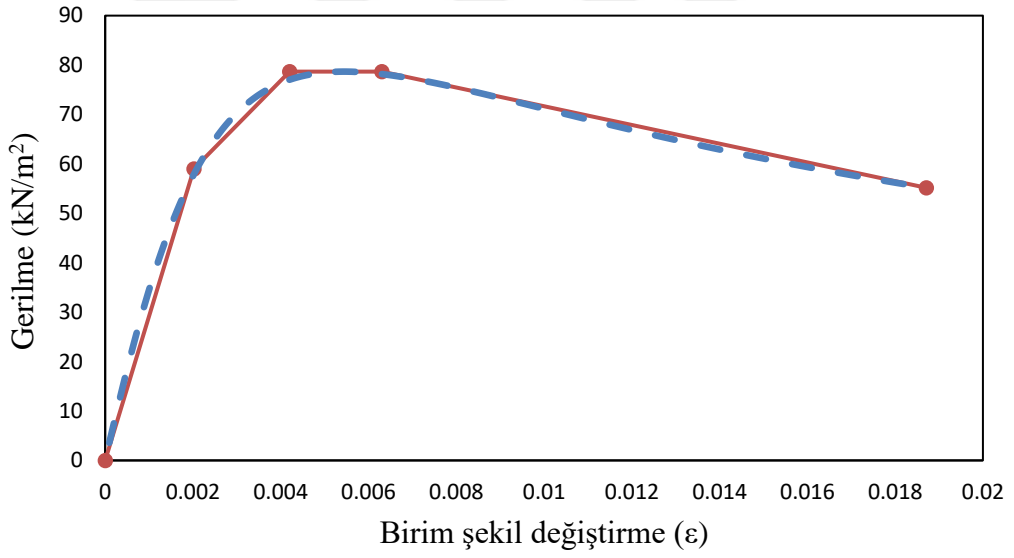


Şekil 4. 4 DD-1 deprem düzeyi spektrum eğrisi ve deprem grupları ortalama spektral ivmeleri.

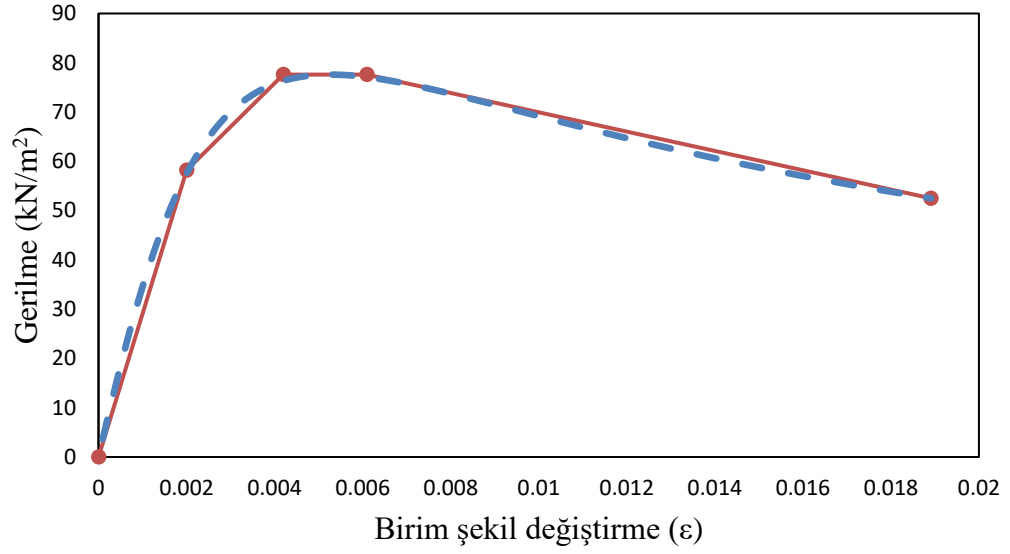
Perform 3D (CSI, 2018) lif eleman modelinde beton malzemesi tanımlanırken Mander beton modeli Şekil 4.5’de verildiği gibi 4 eğri ile idealleştirilerek kullanılmıştır. Sargılı, sargısız beton ve donatı çeliği kullanılarak lif elemanlar oluşturulmuştur. Sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Kullanılan donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme değerleri Perform 3D (CSI, 2018) yazılımında Ghodsı ve diğ. (2009) çalışmasına uygun olarak Şekil 4.9’da verildiği gibi kullanılmıştır.



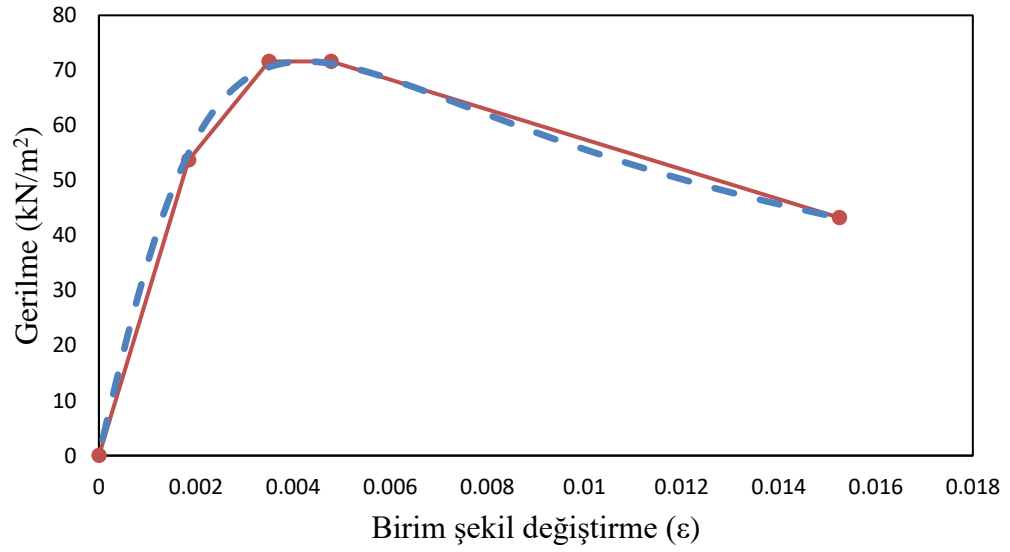
Şekil 4. 5 Mander sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



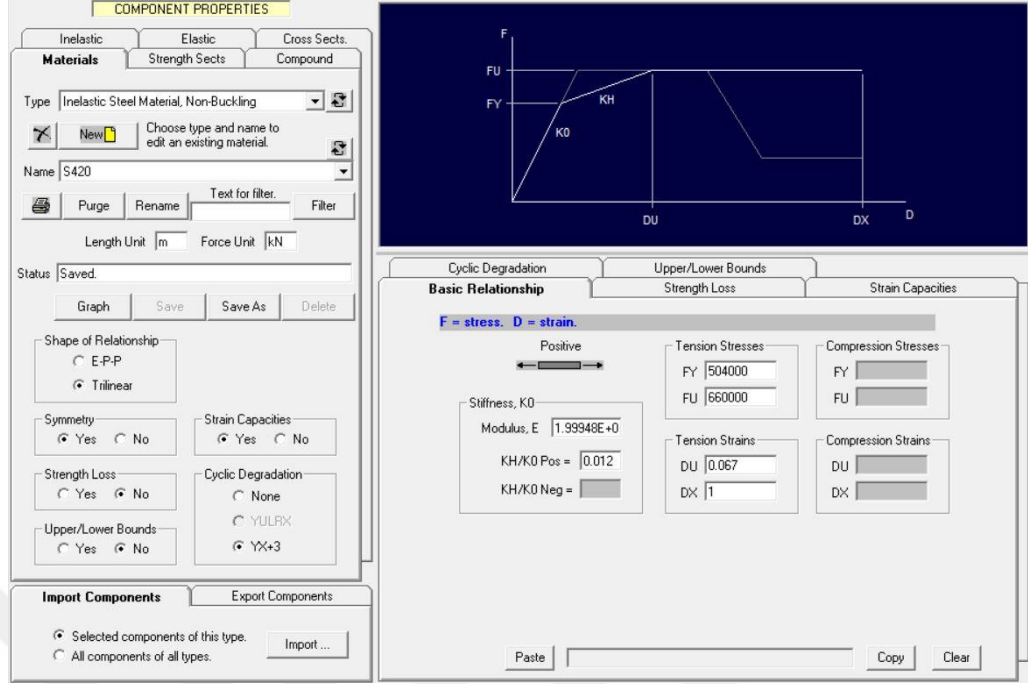
Şekil 4. 6 2. kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4. 7 3. kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4. 8 4, 5, 6 kat kolonları için Mander modeli sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.



Şekil 4. 9 Perform 3D donatı çeliği gerilme-birim şekil değıştirme modeli.

Doğrusal elastik olmayan modelde kirişler yığılı plastik mafsal yaklaşımı ile modellenmiştir. Tasarımda kullanılan 5 farklı kiriş kesitine ait moment-egrilik ilişki Xtract (2007) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Kat kirişlerinin pozitif ve negatif moment akma kapasiteleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4. 1 Negatif ve pozitif kiriş moment akma kapasiteleri

Kat No	Negatif Moment (kNm)	Pozitif Moment (kNm)
6	415.9	287.7
5	691.7	428.0
4	840.5	574.5
3	1000.8	730.8
2	1000.8	730.8
1	2108.6	2108.6

Kirişlerin iskelet eğrileri Haselton ve diğ. (2016) çalışmasında verildiği gibi elde edilmiştir (Şekil 4.10). Haselton ve diğ. (2016) monoton yükleme altında plastik dönme kapasitesini denklem 4.1’de verildiği gibi elde etmektedir.

$$\Theta_{cap,pl} = 0.10 (1+0.55a_{sl}) (0.16)^v (0.02+40\rho_{sh})^{0.43} (0.54)^{0.01C_{units}f_c'} \quad [4.1]$$

C_{units} :Birim dönüştürme değişkeni

$\Theta_{cap,pl}$:Monoton yükleme altında moment kapasite noktasındaki plastik dönme

a_{sl} :Kayma katsayısı

v :Eksenel yük oranı

ρ_{sh} :Enine donatı oranı

f_c' :Sargısız beton basınç dayanımı

Haselton ve diğ. (2016) tarafından simetrik olmayan kesitlerde plastik dönme kapasitesi denklem 4.2’de verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\Theta_{cap,pl(asimetrik)} = \left(\frac{\max\left(0.01, \frac{\rho' f_y}{f_c'}\right)}{\max\left(0.01, \frac{\rho f_y}{f_c'}\right)} \right)^{0.225} \Theta_{cap,pl(simetrik)} \quad [4.2]$$

ρ :Kiriş alt boyuna donatı oranı

ρ' :Kiriş üst boyuna donatı oranı

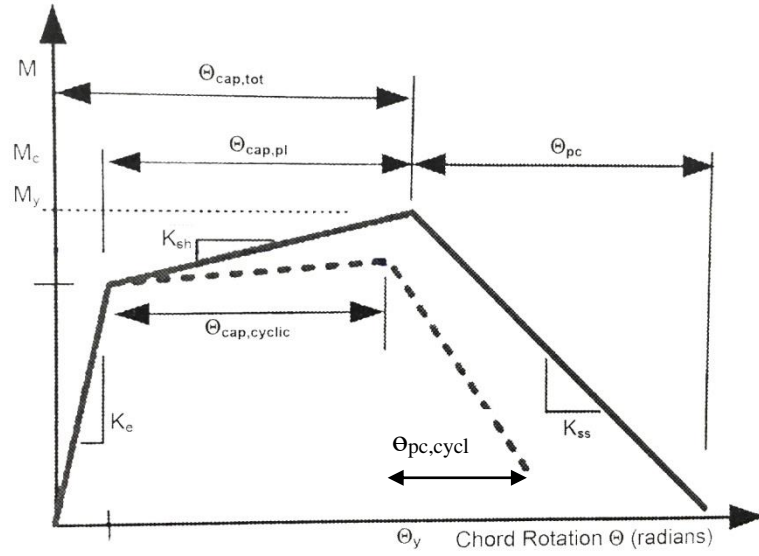
f_y :Çelik akma dayanımı

f_c' :Sargısız beton basınç dayanımı

Haselton ve diğ. (2016) çalışmasında tekrarlı yükler altındaki azalmanın göz önüne alınması için plastik dönme kapasitesini denklem 4.3’de verildiği gibi azaltılarak kullanmaktadır. Aynı çalışmada dayanım azalma bölgesindeki plastik dönme ise Denklem 4.4’de verilen ifade ile elde edilir.

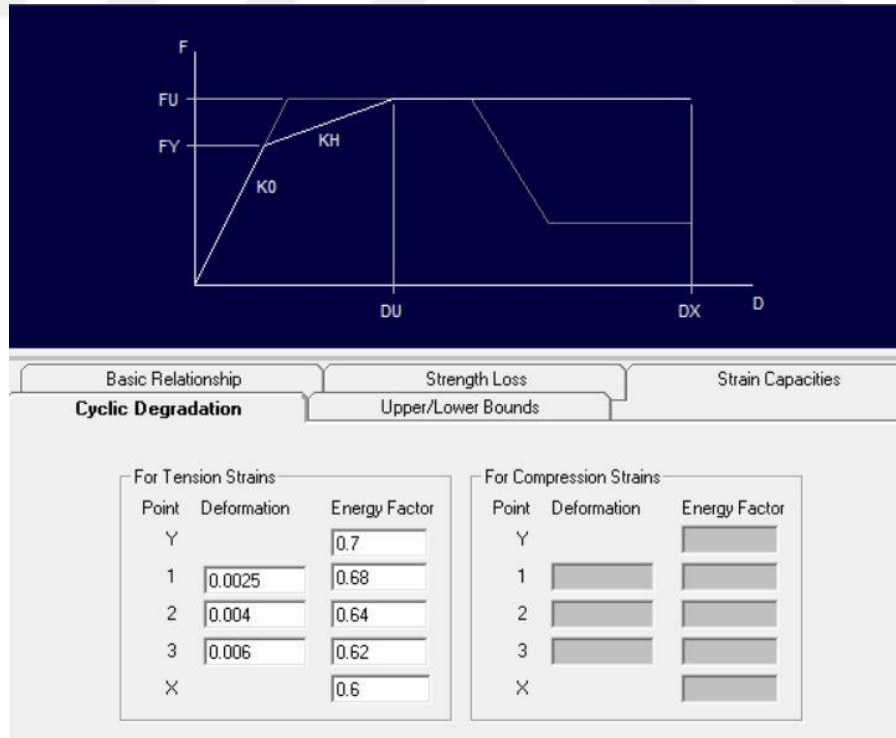
$$\Theta_{cap,pl,cyclic} = 0.70\Theta_{cap,pl} \quad [4.3]$$

$$\Theta_{pc,cyclic} = 0.50\Theta_{pc} \quad [4.4]$$



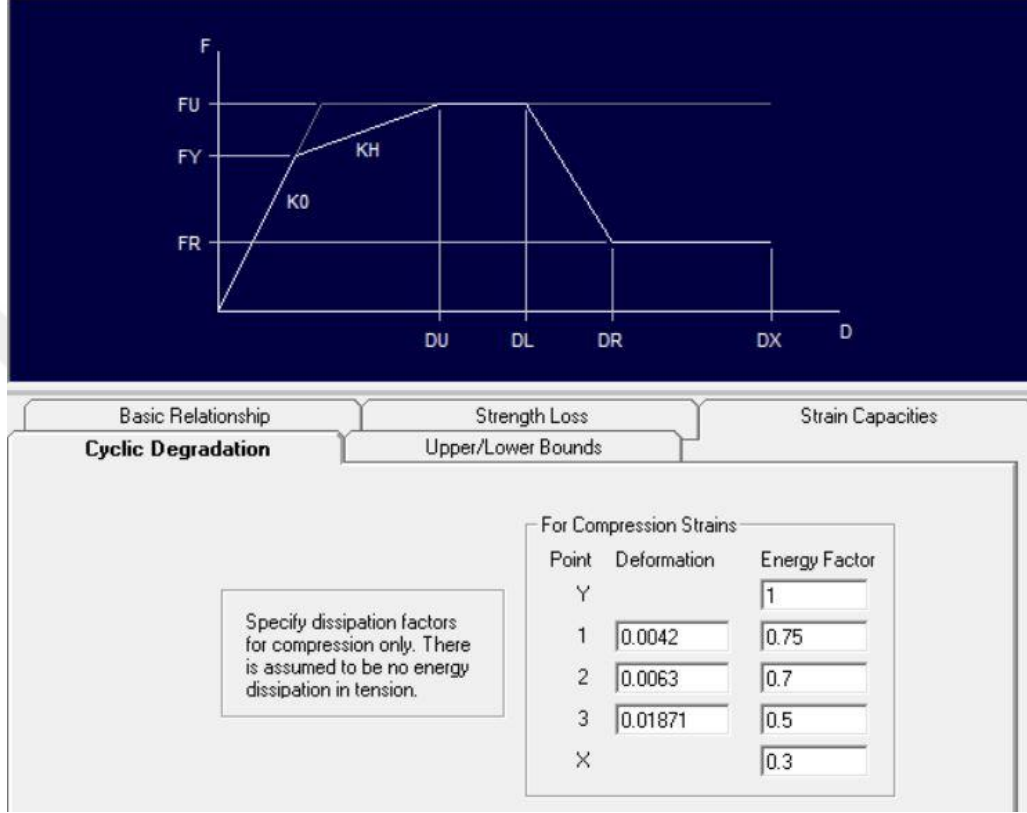
Şekil 4. 10 Haselton ve diğ. (2016) tekrarlı yükler altında azaltılmış moment-eğrilik grafiği.

Tekrarlı yük etkisiyle oluşan dayanım azalmasını göz önünde bulundurmak için, Ghodsı ve diğ. (2009) çalışmasında verilen çevrimsel azalım katsayıları Şekil 4.11’de gösterildiği gibi kullanılarak Perform 3D (CSI, 2018) programında donatı çeliği modellenmiştir.



Şekil 4. 11 Donatı çeliği için azalım katsayıları (Ghodsı ve diğ., 2009).

Tekrarlı yük etkisiyle oluşan dayanım azalmasını göz önünde bulundurmak için, Görgülü ve diğ. (2015) çalışmasında verilen enerji azalım katsayıları Şekil 4.12’de gösterildiği gibi kullanılarak Perform 3D (CSI, 2018) programıyla beton modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4. 12 Beton için enerji azalım katsayıları (Görgülü ve diğ., 2015).

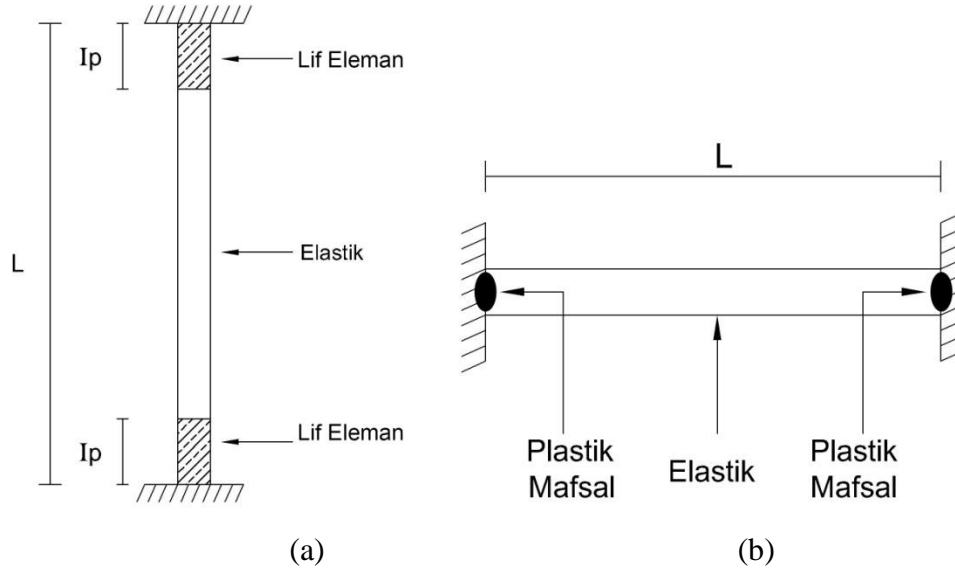
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verildiği gibi beton ve pekleştirilmiş donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri kullanılarak, kirişlerde ve kolonlarda plastik mafsallar, sırasıyla yığılı ve yayılı olarak tasarlanmıştır. Bina modeline ait kirişlerde plastik mafsallık boyu TBDY 2018 madde 5.4.2.3’e uygun olarak sıfır alınmış ve kolon-kiriş birleşim uçlarında olduğu kabul edilmiştir. Kolonlarda ise alt ve üst uçlarında plastik mafsallık bölgeleri tanımlanmıştır. Plastik mafsallık bölgelerinde donatı, sargılı ve sargısız beton lif eleman olarak modellenmiştir. Bu şekilde plastik mafsallık bölgelerindeki davranışın gerilme-şekil değiştirme açısından gerçek davranışa yakın modellenmesi sağlanmıştır.

Plastik mafsal boyu I_p , Berry ve Eberhard (2008) çalışmasında verildiği gibi denklem 4.5 ifadesi ile elde edilmiştir.

$$I_p = 0.05l + \frac{0.008d_b f_y}{\sqrt{f_c'}} \quad [4.5]$$

- I_p :Plastik mafsal boyu
 l :Kesit yüksekliği
 d_b :Boyuna donatı çapı
 f_y :Donatı akma dayanımı
 f_c' :Betonun silindirik serbest basınç dayanımı

Bina modelinde yalıtım sistemi üzerinde bulunan kolonlar Çizelge 3.4'de belirtildiği gibi 2 farklı donatı çapı kullanılmıştır. Bu sebeple 2. kat kolonları ve 3, 4, 5, 6 kat kolonları olmak üzere iki farklı plastik mafsal boyu denklem 4.5'e göre hesaplanmıştır. 2. kat kolonları için belirlenen plastik mafsal boyu 31.98 cm ve diğer tip kolonlar için hesaplanan plastik mafsal boyu 29.56 cm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. 13 Plastik mafsal modeli (a) Kolon (b) Kiriş.

Structural Fibers

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling
Material Name: S420
Fiber Area: Axis 2 Coord: Axis 3 Coord:

Add Insert Replace Delete

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 60) Click to highlight row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Material Name	Area	Axis 2 Coord	Axis 3 Coord
1	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	28.75	-13.75
2	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	28.75	13.75
3	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	-28.75	13.75
4	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	13.75	-28.75
5	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	13.75	28.75
6	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	-13.75	-28.75
7	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	-13.75	28.75
8	Concrete	C45_SARGISIZ	88.75	-28.75	-13.75
9	Concrete	C45_S2	121	22	-22
10	Concrete	C45_S2	121	22	-11
11	Concrete	C45_S2	121	22	0
12	Concrete	C45_S2	121	22	11
13	Concrete	C45_S2	121	22	22
14	Concrete	C45_S2	121	11	-22
15	Concrete	C45_S2	121	11	-11
16	Concrete	C45_S2	121	11	0
17	Concrete	C45_S2	121	11	11
18	Concrete	C45_S2	121	11	22
19	Concrete	C45_S2	121	0	-22
20	Concrete	C45_S2	121	0	-11

Section Properties

Concrete Steel

Area = 3575 108.5

Inertia about Axis 3 = 1.011e6 55460

Axis 2 Centroid = 0 0

Inertia about Axis 2 = 1.011e6 55460

Axis 3 Centroid = 0 0

Import Components Export Components

Selected components of this type.

All components of all types.

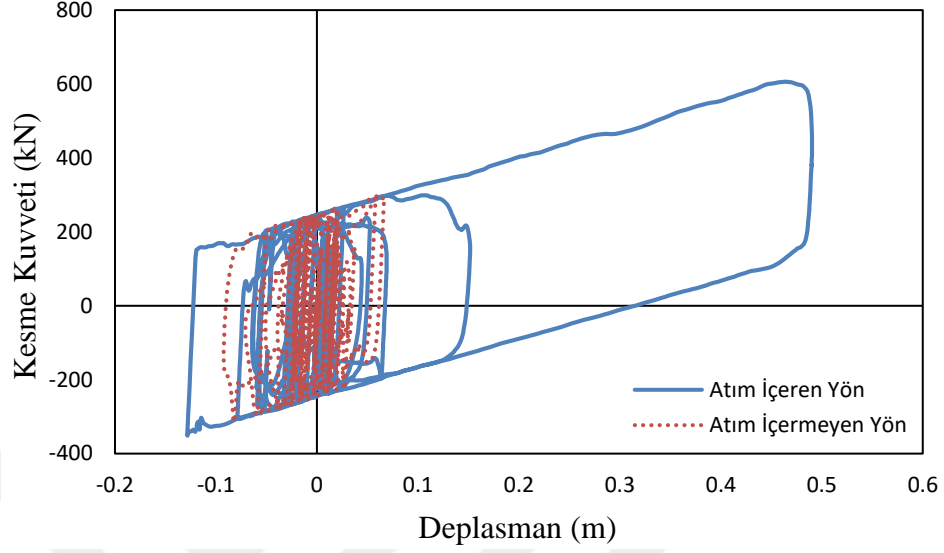
Şekil 4. 14 Perform 3D (CSI, 2018) fiber kolon tanımlaması.

4.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Perform 3D (CSI, 2018) programında analiz modeli oluşturulan bina zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz modelinde kullanılan deprem kayıtlarına ilişkin detaylı bilgi bu çalışmanın 2. bölümünde verilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde % 2.5 oranında sönüm oranı kullanılmıştır. Perform 3D (CSI, 2018) programında yakınsama problemi meydana gelmemesi için Powell (2007) çalışmasında belirttiği gibi düşük oranda Rayleigh sönüm oranı kullanılmıştır. Bu oran $0.5T_M$ ile $1.25T_M$ periyot ölçekleme aralığında %0.1 olarak göz önüne alınmıştır. Yer hareketlerinin düşey bileşenleri yatay bileşenlerle aynı katsayı ile ölçeklendirilmiş ve analiz modeli 3 bileşenli deprem yer hareketlerine maruz bırakılmıştır.

Bina analizi sonucunda RSN4483 nolu L'aquila Italy deprem kaydına ait atım içeren yön ve atım içermeyen yön için yalıtım sistemi kesme kuvveti-deplasman grafiği Şekil 4.15'de verilmiştir. Atım içeren yönde eleman kesme

kuvveti 600 kN, deplasman 0.48 m iken, atım içermeyen yönde kesme kuvveti 311 kN, deplasman ise 0.081 m olarak hesaplanmıştır.

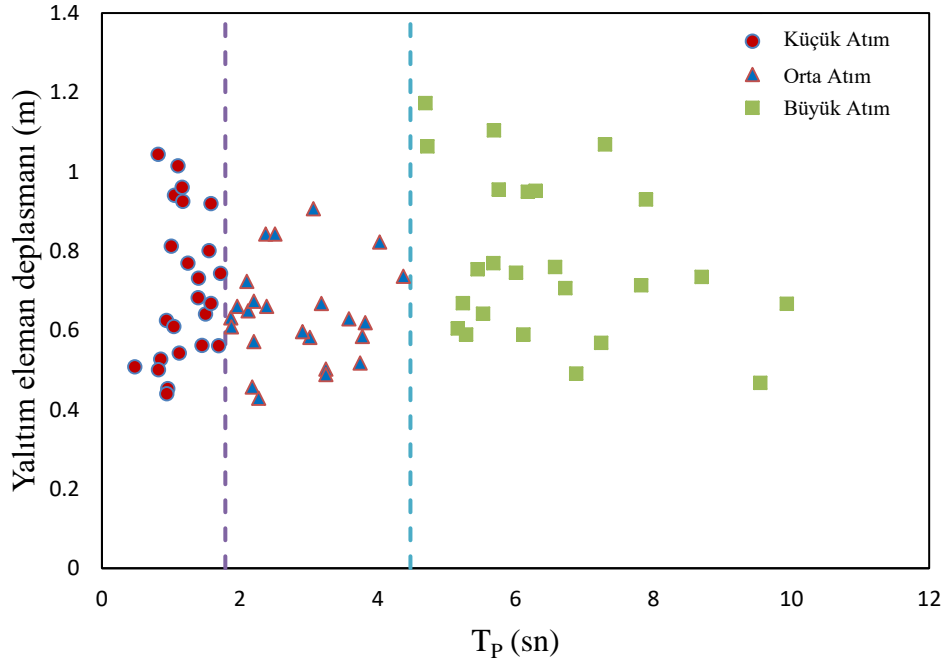


Şekil 4. 15 RSN4483 nolu L'aquila Italy depremi kesme kuvveti – deplasman grafiği.

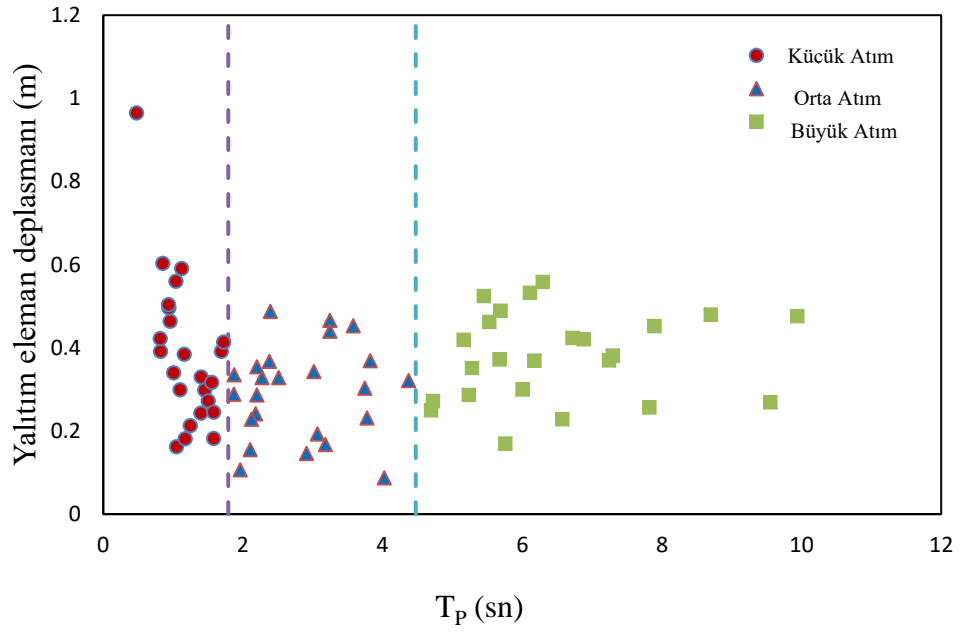
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu 3 farklı deprem grubu için elde edilen yalıtım elemanı deplasmanlarının X ve Y yönleri ile ortalama değerleri Çizelge 4.2'de verilmektedir. Büyük atım periyotlu depremlerin deplasman talepleri büyük olması sebebi 0.77 m olarak hesaplanan yalıtım elemanlarının deplasman kapasitelerinin üzerinde değerler elde edilmiştir. Küçük atım periyotlu depremler ise yüksek spektral ivmeleri sebebi ile yüksek mod etkisi oluşturmuş ve yalıtım elemanlarının maksimum deplasman kapasitesine ulaşan deplasman değerleri görülmüştür. İkinci grup depremlerde ise yalıtım elemanları deplasman kapasitesini aşmayacak değerler elde edilmiştir. Her üç grup için yalıtım elemanı ortalama deplasmanları Şekil 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Yalıtım elemanlarının küçük, orta ve büyük atım periyotlu yer hareketleri için X ve Y yönü ile ortalama deplasman değerleri

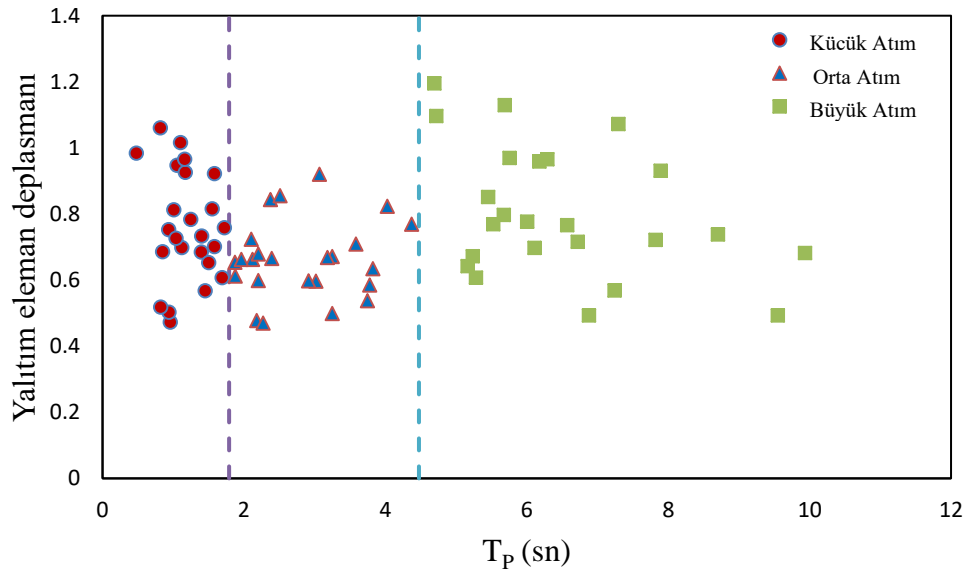
	Küçük Atımlı	Orta Atımlı	Büyük Atımlı
X Yönü Deplasmanları (m)	0.70	0.63	0.77
Y Yönü Deplasmanları (m)	0.38	0.29	0.37
Ortalama Bileşke Deplasmanlar (m)	0.76	0.65	0.80



a)



b)

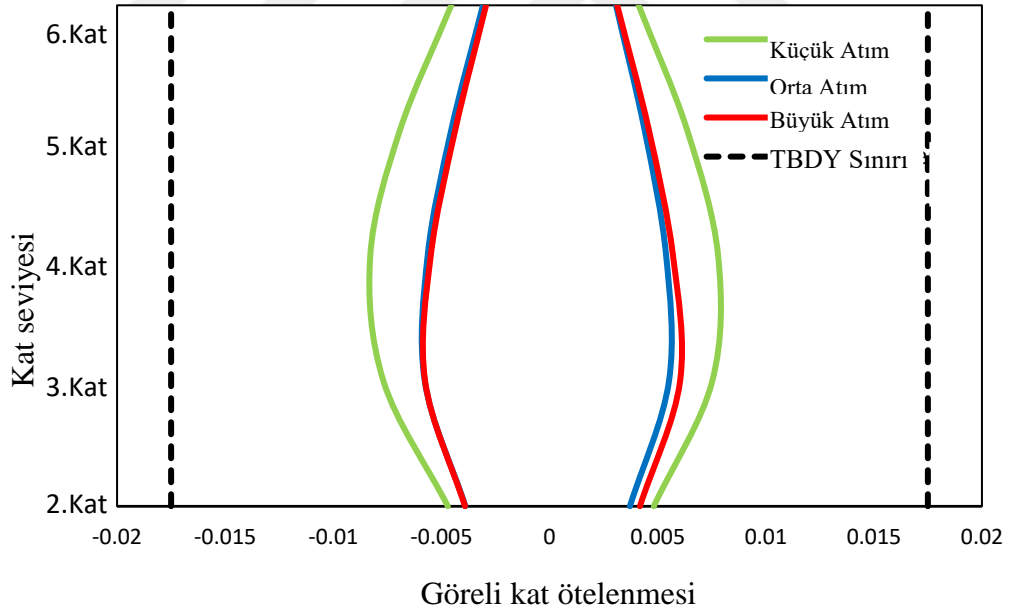


c)

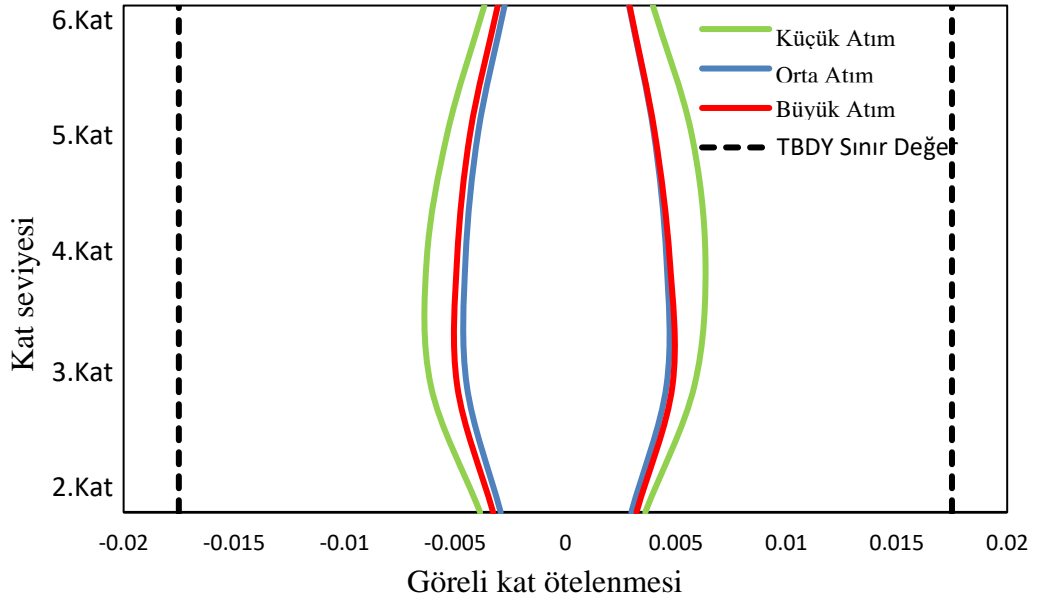
Şekil 4. 16 Yalıtım elemanları a) X yönü deplasman grafiği b) Y yönü deplasman grafiği c) Deplasman grafiği.

Perform 3D (CSI, 2018) yazılımında yalıtım elemanı alt ve üst sürtünme oranları için farklı modeller oluşturulmuştur. Yalıtım elemanı deplasmanları alt sürtünme oranı, görelî kat ötelenmeleri üst sürtünme oranı kullanılarak elde edilmiştir. TBDY 2018’de kesintisiz kullanım performans seviyesi için görelî kat ötelenmesi üst sınırı %1.75’dir. Yapılan analizler, hiçbir deprem grubunda bu sınırın aşılmadığını göstermiştir.

Şekil 4.17 ve şekil 4.18’de üç deprem grubunun ortalama görelî kat ötelenmelerinin x ve y yönü için oluşturulmuş grafikleri gösterilmektedir. Görelî kat ötelenmeleri her bir deprem grubu için kesintisiz kullanım performans düzeyinin altında olsa da, orta ve büyük atım periyoduna sahip depremler eşit düzeyde görelî kat ötelenmesi oluştururken, küçük atım periyoduna sahip depremler atım periyodunun üst yapı hakim periyoduna yakın olması sebebiyle daha büyük görelî kat ötelenmeleri meydana getirmiştir.



Şekil 4. 17 X yönü ortalama görelî kat ötelenmeleri.

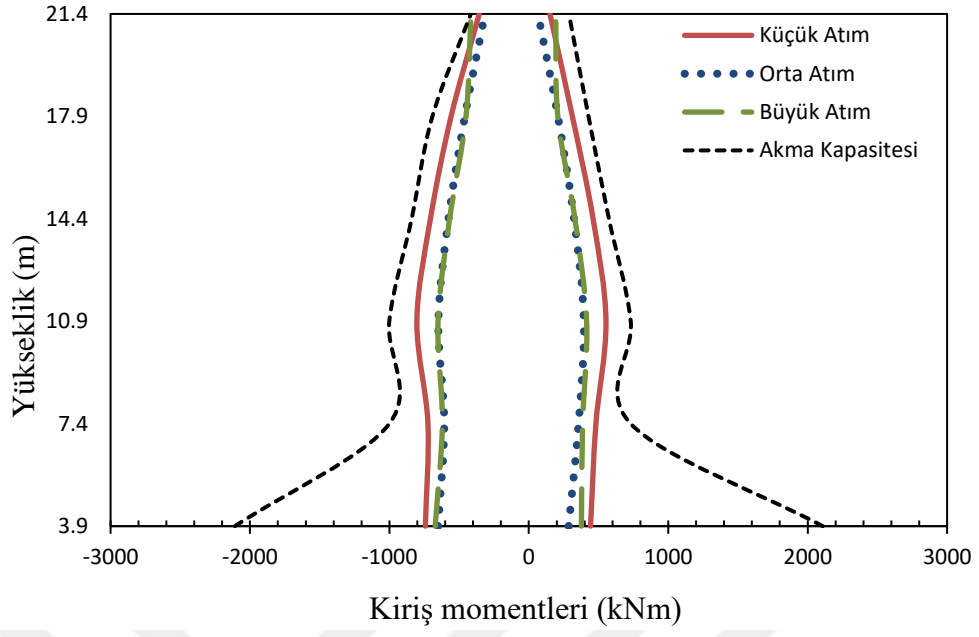


Şekil 4.18 Y yönü ortalama görelî kat ötelenmeleri.

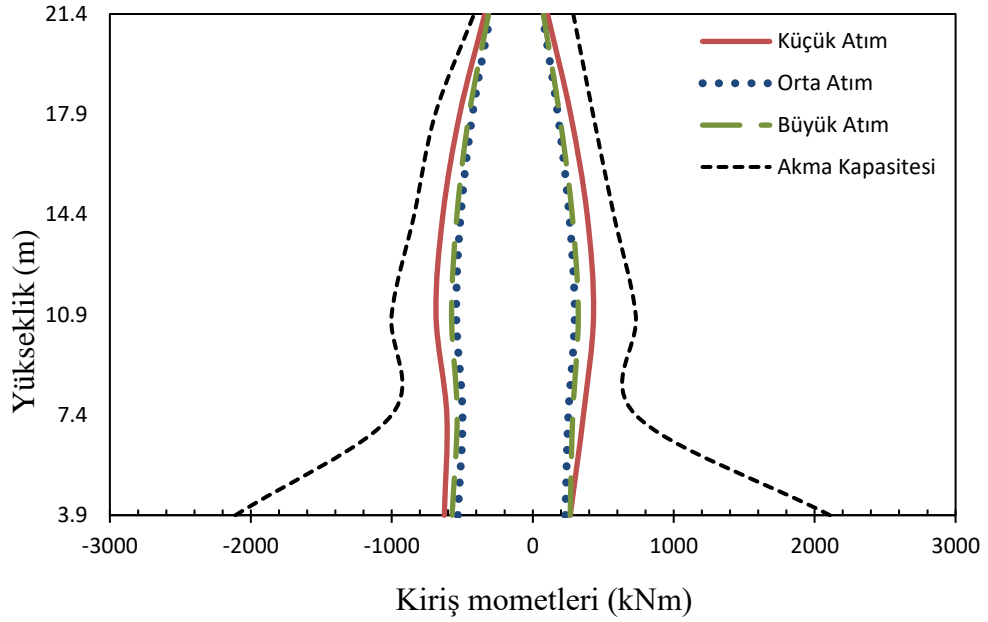
ASCE 7-16 (ASCE, 2016) üst yapı tasarımının DD-1 (MCE) deprem düzeyinde yapılmasını öngörmektedir. Bu şekilde DD-1 deprem düzeyinde üst yapının elastik davranışa yakın davranış göstermesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, üst yapı kirişlerinin plastik dönme oranları ihmal edilebilir düzeyde kaldığı için, ortalama moment değerleri akma kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Üç farklı yer hareketi grubu için binanın orta aksları olan C ve 3 akslarında, ortalama kiriş momentleri ile akma moment kapasiteleri Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de verilmiştir.

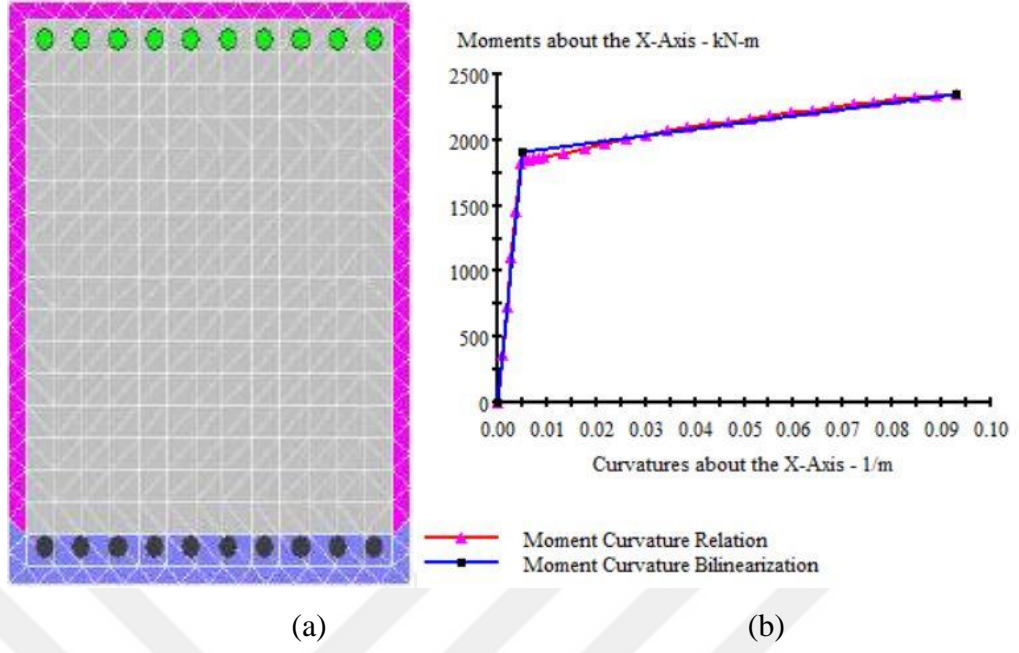
Binanın orta aksları baz alınarak her üç deprem grubu için hesaplanan ortalama kat kirişleri ortalama momentleri, akma moment kapasitesine ulaşamamış ve elastik bir davranış sergilemiştir. Deprem gruplarına ait kiriş momentleri kıyaslandığında en büyük değerlere küçük atım periyoduna sahip depremlerde ulaşılmıştır. Orta ve büyük atımlı depremlerde ise birbirine yakın değerler gözlemlenmiştir.



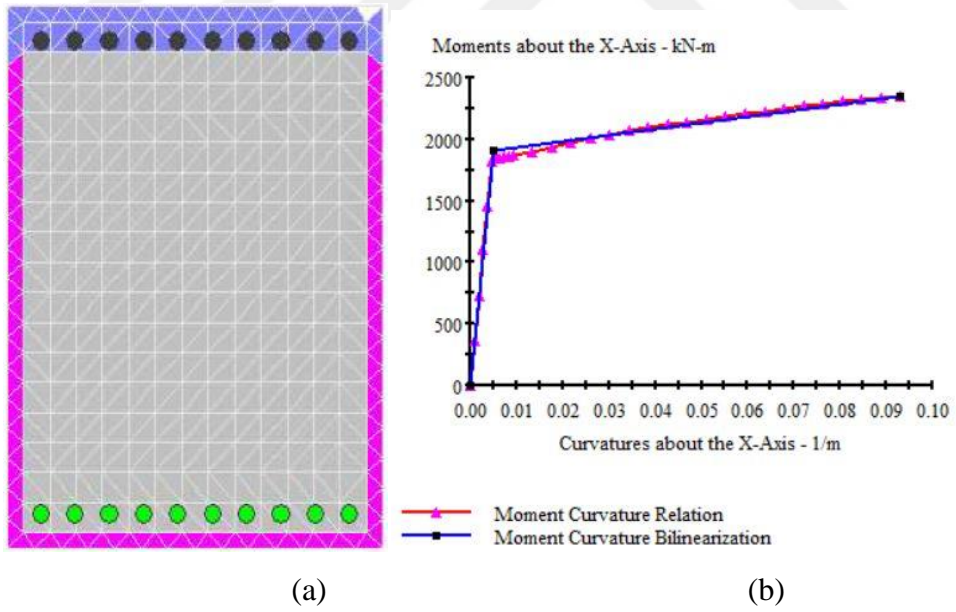
Şekil 4. 19 C aksı kiriş ortalama moment grafiği.



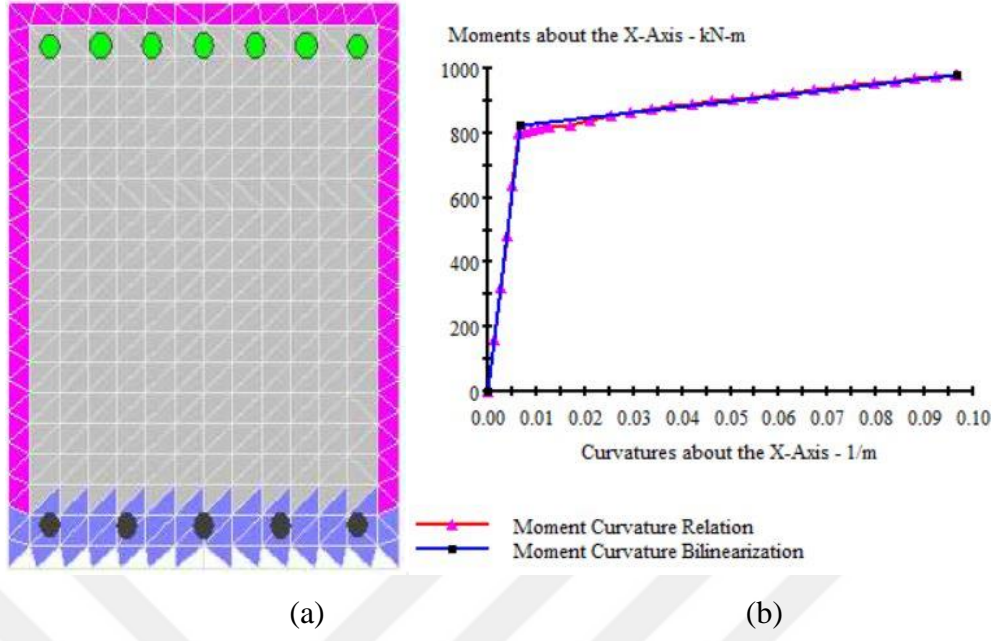
Şekil 4. 20 3 aksı kiriş ortalama moment grafiği.



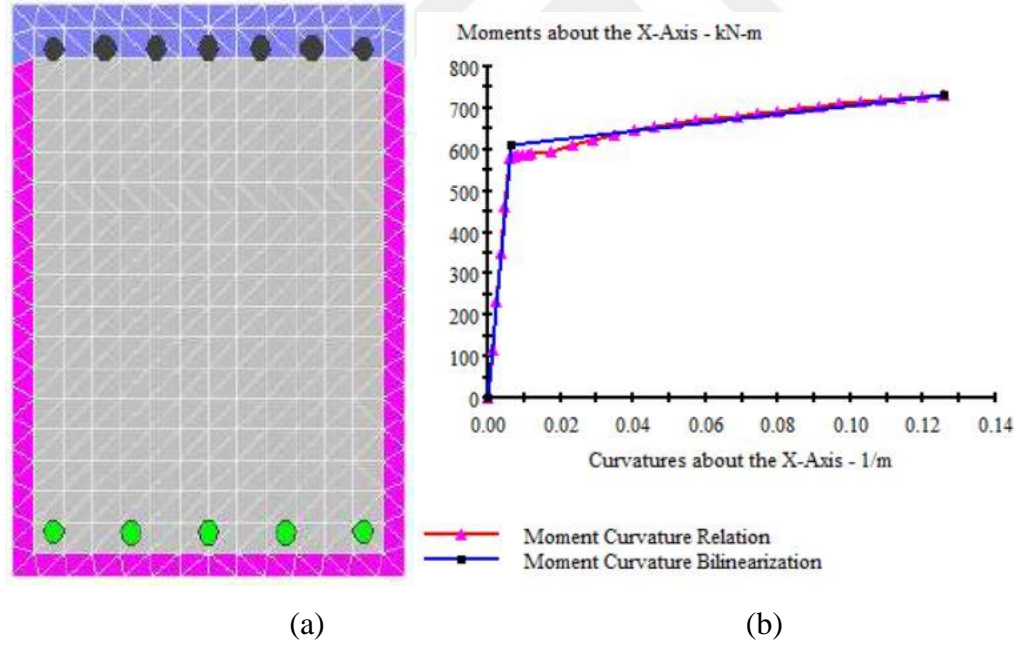
Şekil 4. 21 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 1. kat kirişleri tasarımı (60x80)
 (b) 1. kat kirişleri negatif moment-eğrilik grafiği.



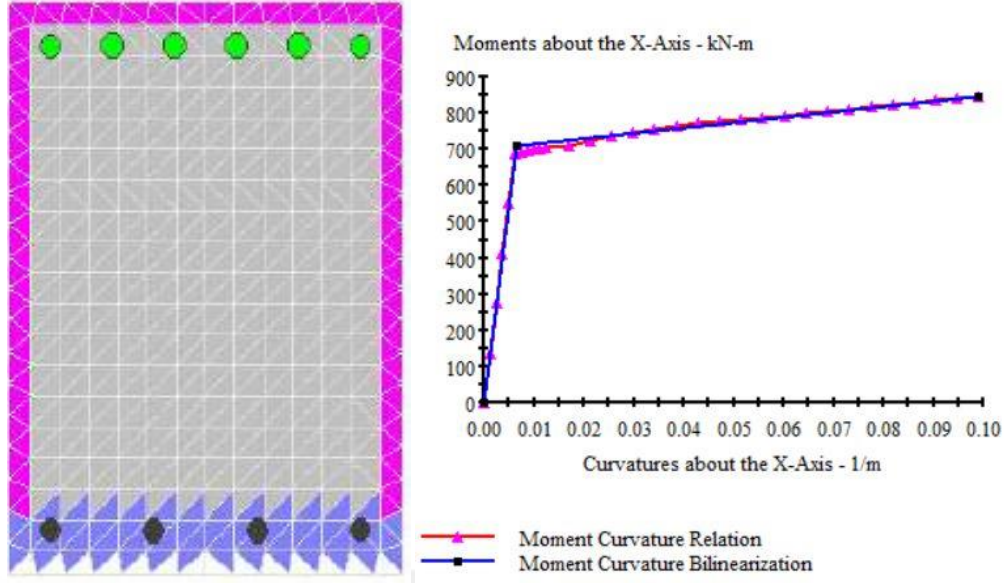
Şekil 4. 22 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 1. kat kirişleri tasarımı (60x80)
 (b) 1. kat kirişleri pozitif moment-eğrilik grafiği.



Şekil 4. 23 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı a) 2. ve 3. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 2. ve 3. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.



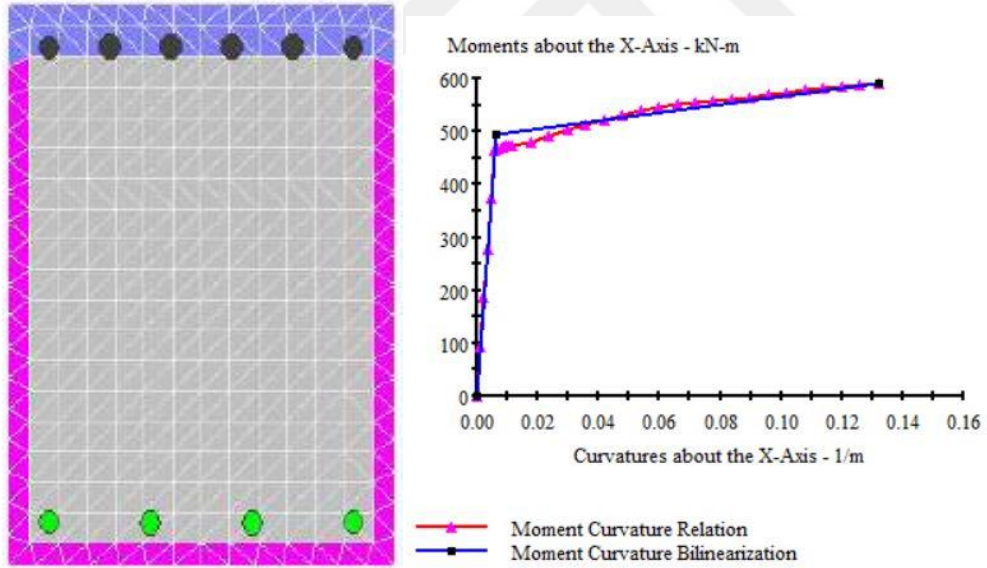
Şekil 4. 24 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 2. ve 3. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 2. ve 3. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.



(a)

(b)

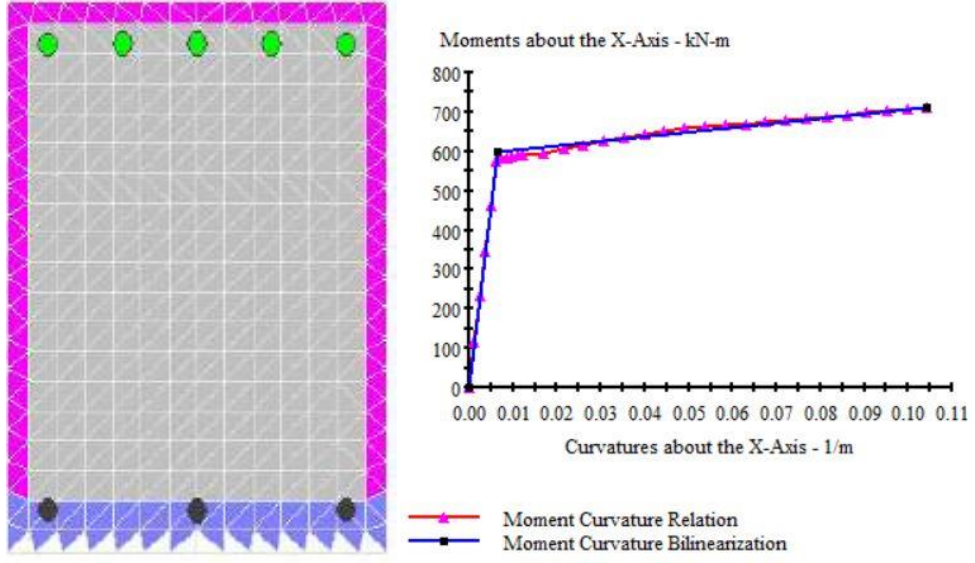
Şekil 4. 25 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 4. kat kirişleri tasarımı (45x60)
(b) 4. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.



(a)

(b)

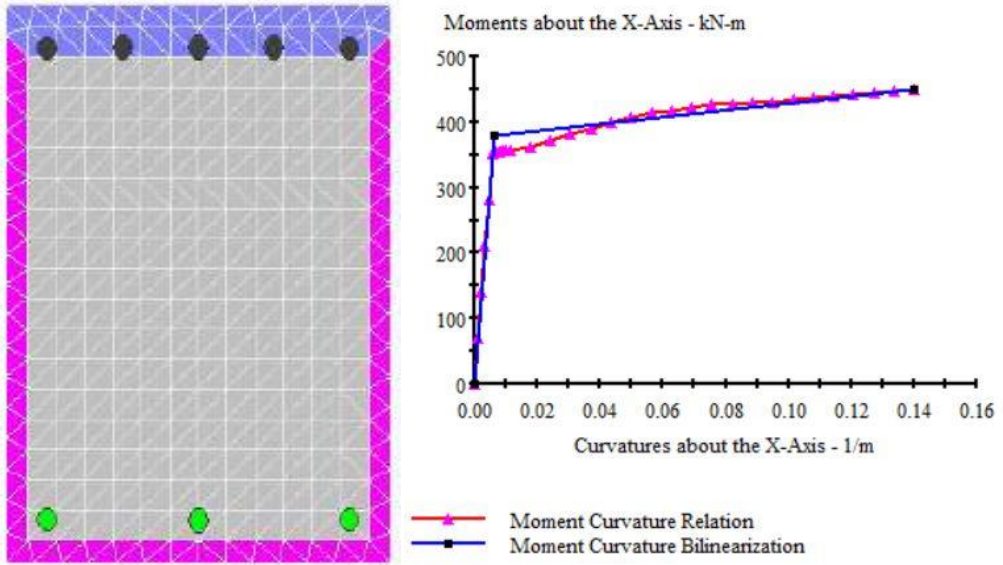
Şekil 4. 26 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 4. kat kirişleri tasarımı (45x60)
(b) 4. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.



(a)

(b)

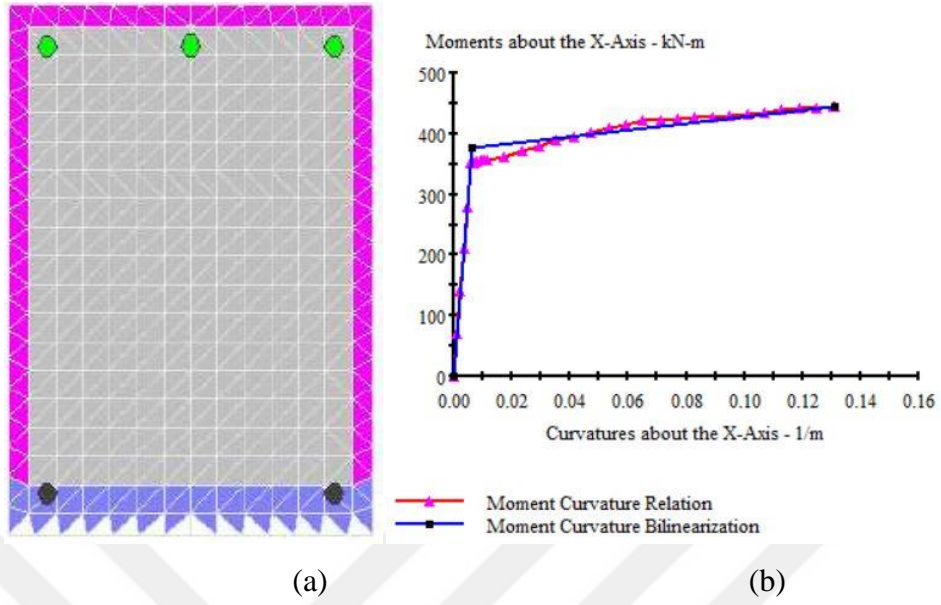
Şekil 4. 27 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı a) 5. kat kirişleri tasarımı (45x60) b) 5.kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.



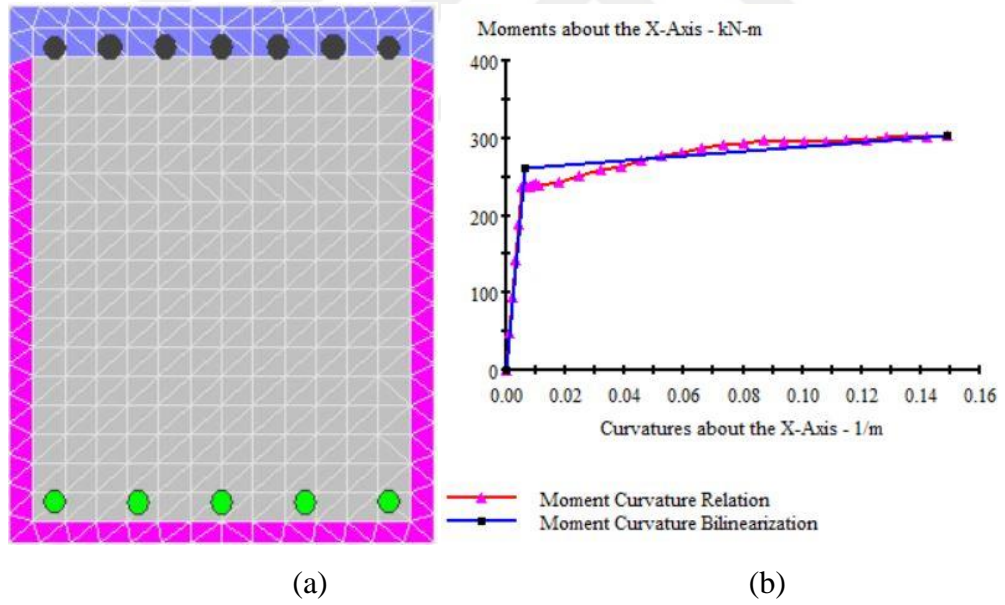
(a)

(b)

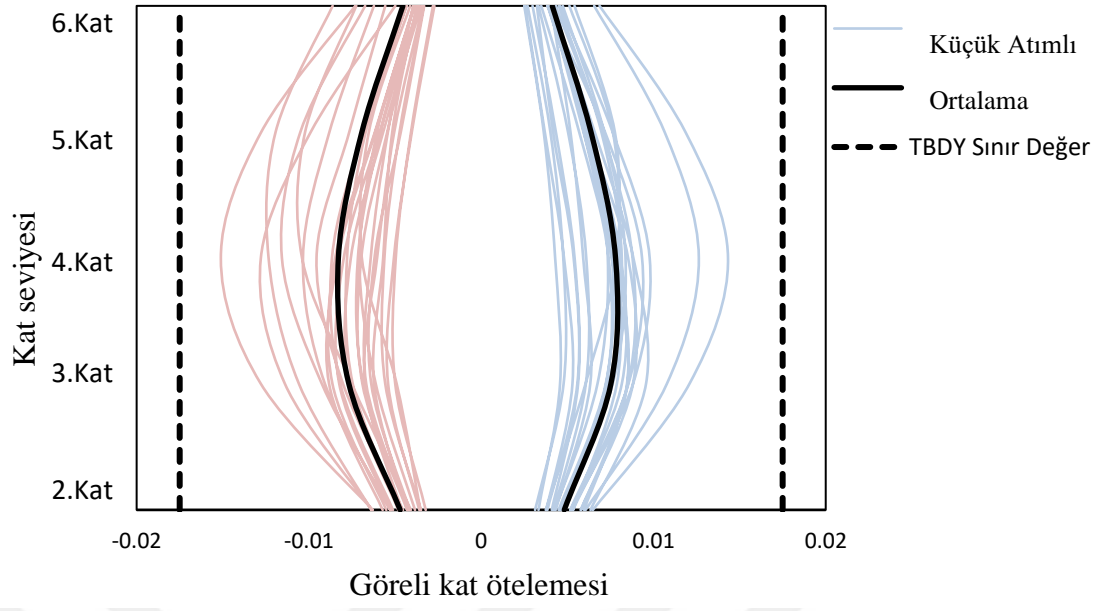
Şekil 4. 28 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 5. kat kirişleri tasarımı (45x60) (b) 5. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.



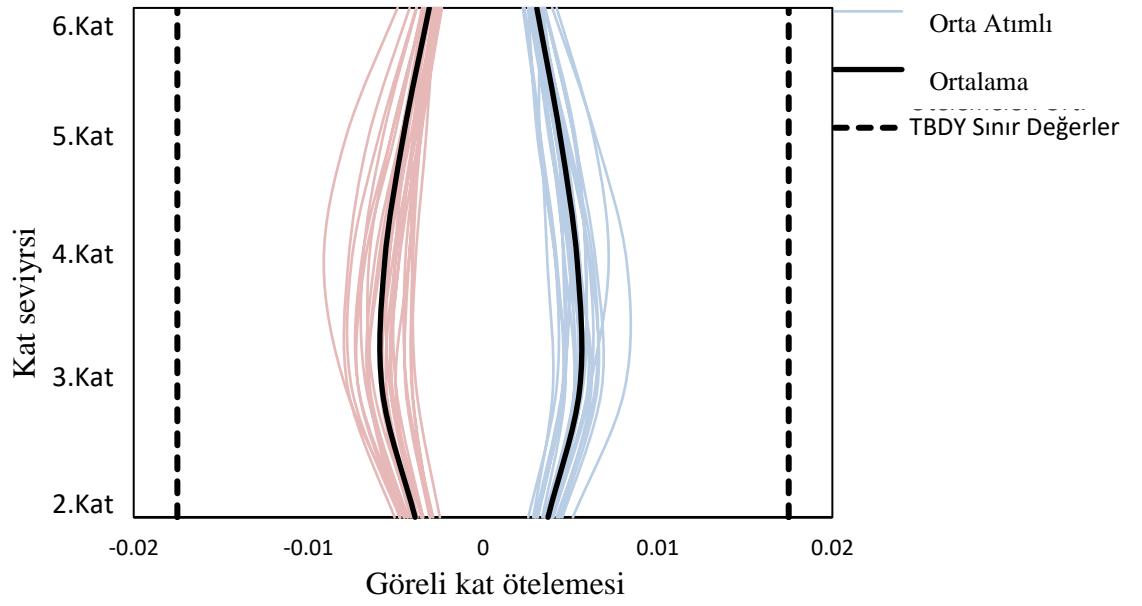
Şekil 4. 29 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 6. kat kirişleri tasarımı (45x60)
(b) 6. kat kirişleri negatif moment eğrilik grafiği.



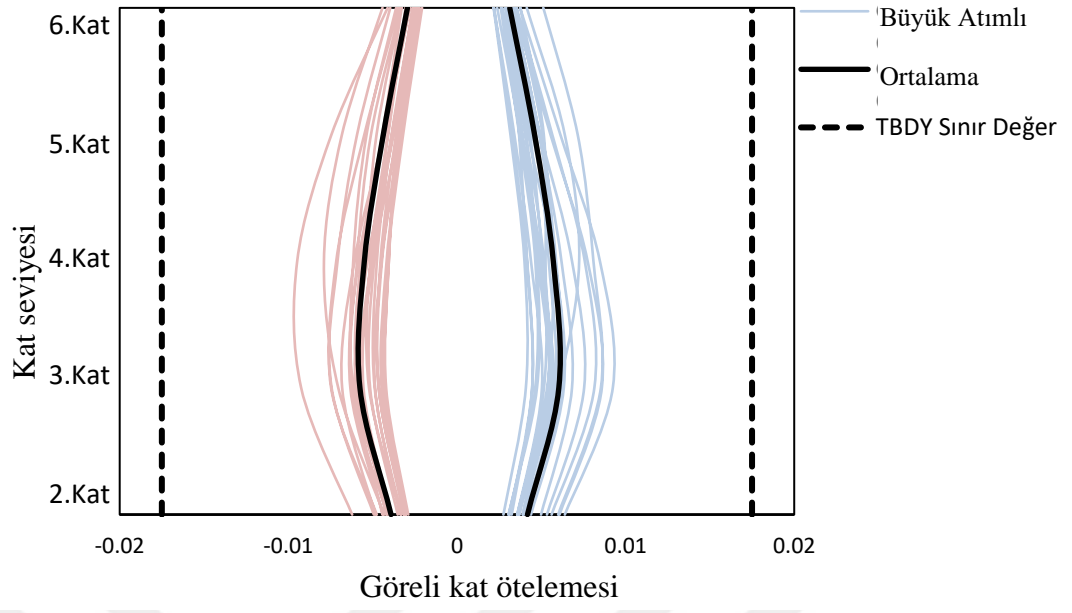
Şekil 4. 30 Xtract (Xtract, 2007) yazılımı (a) 6. kat kirişleri tasarımı (45x60)
(b) 6. kat kirişleri pozitif moment eğrilik grafiği.



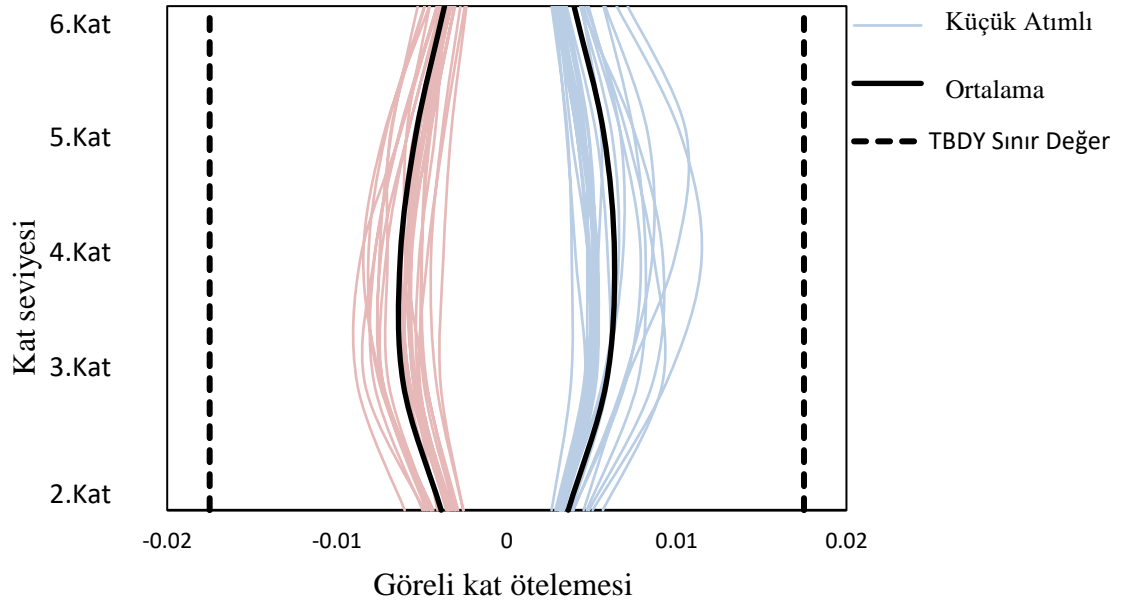
Şekil 4. 31 Küçük atımlı ivme kayıtlarının X yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



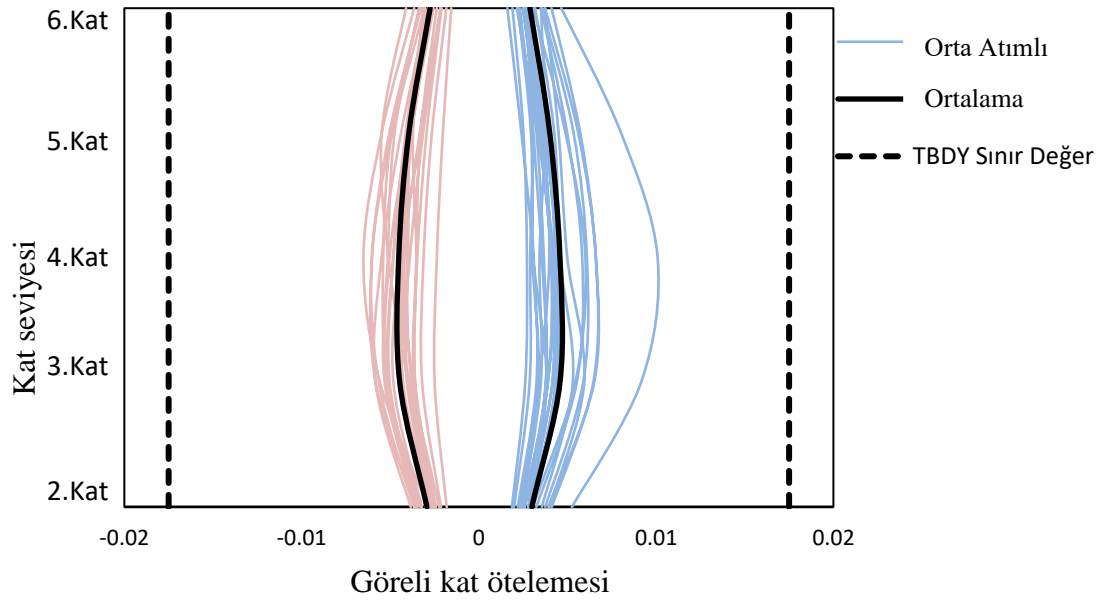
Şekil 4. 32 Orta atımlı ivme kayıtlarının X yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



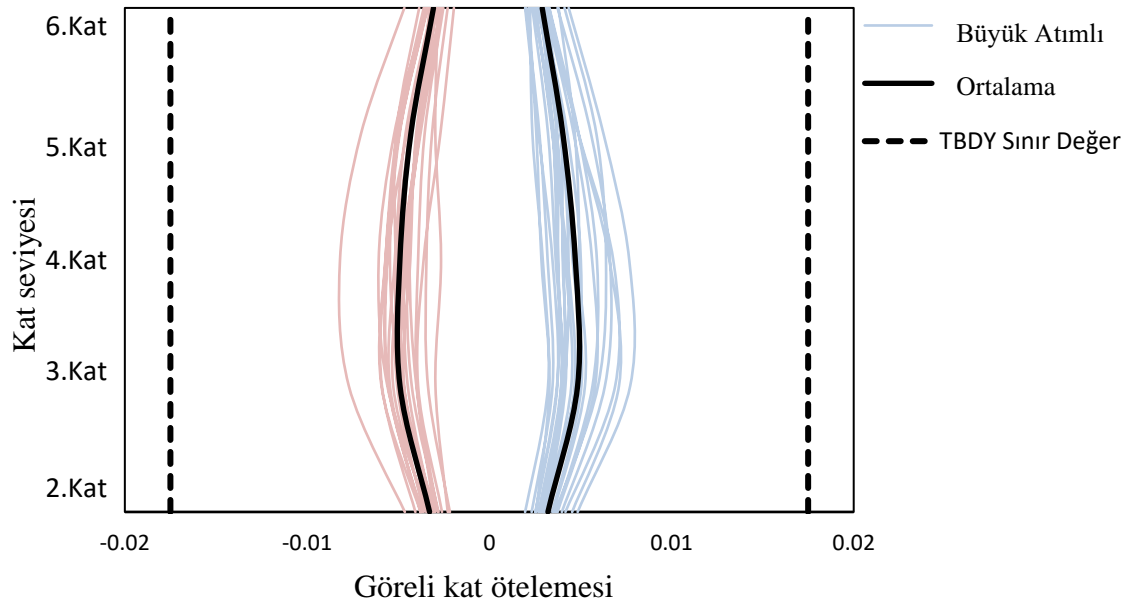
Şekil 4. 33 Büyük atımlı ivme kayıtlarının X yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



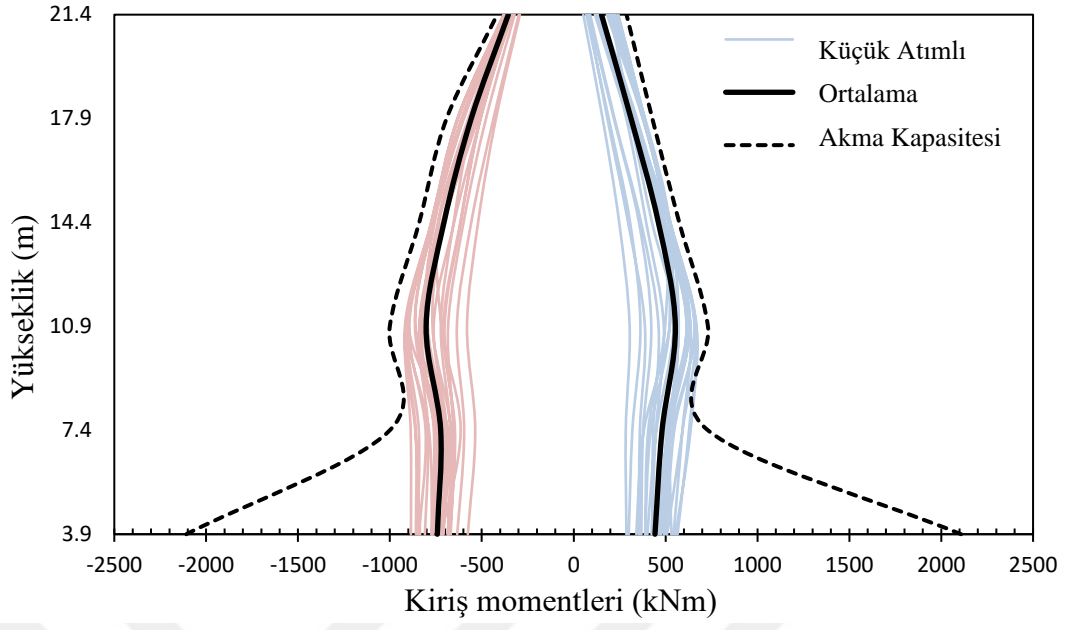
Şekil 4. 34 Küçük atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



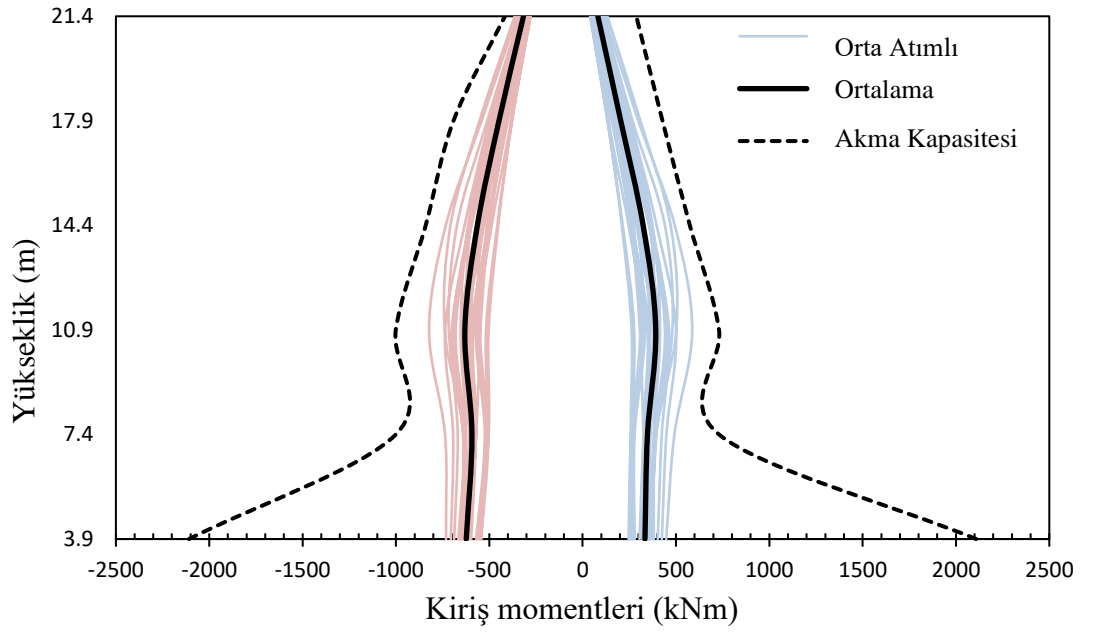
Şekil 4. 35 Orta atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



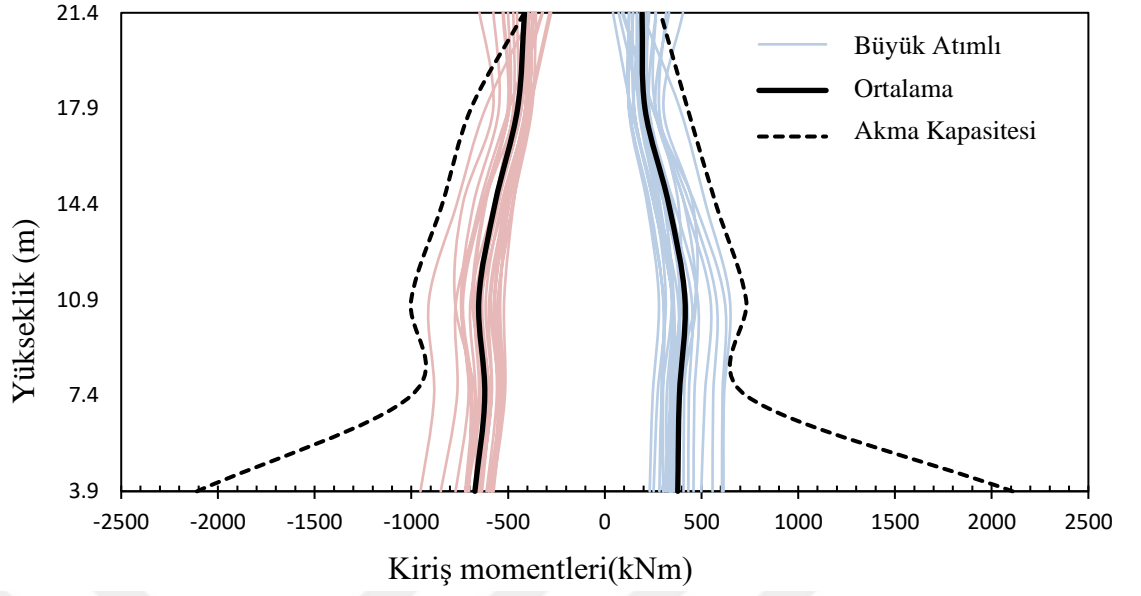
Şekil 4. 36 Büyük atımlı ivme kayıtlarının Y yönü görel kat ötelemeleri ve ortalama değerleri.



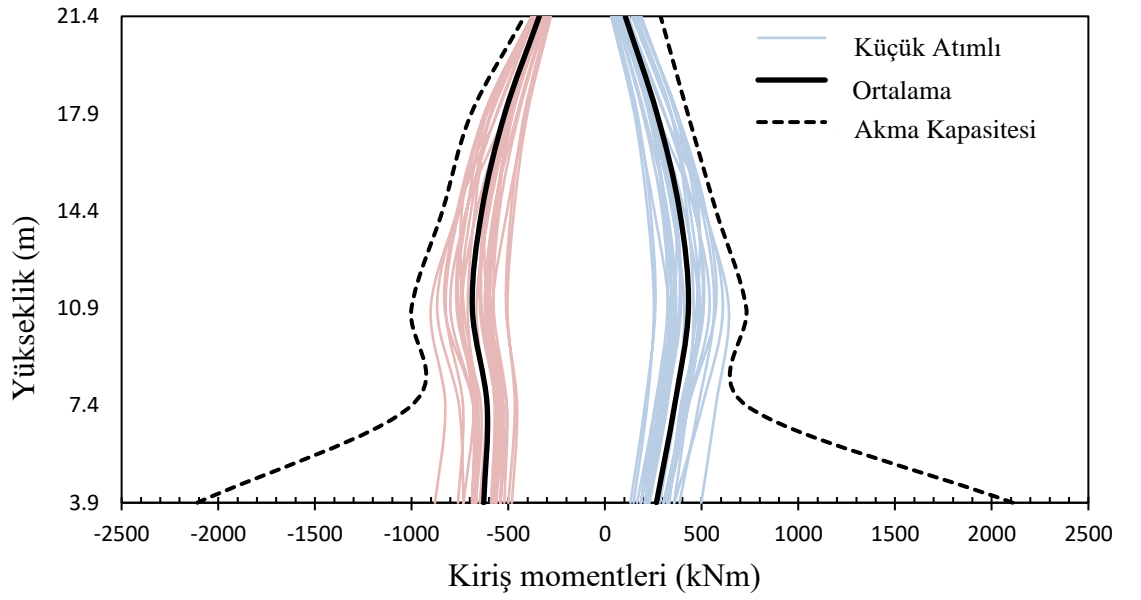
Şekil 4. 37 Küçük atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği.



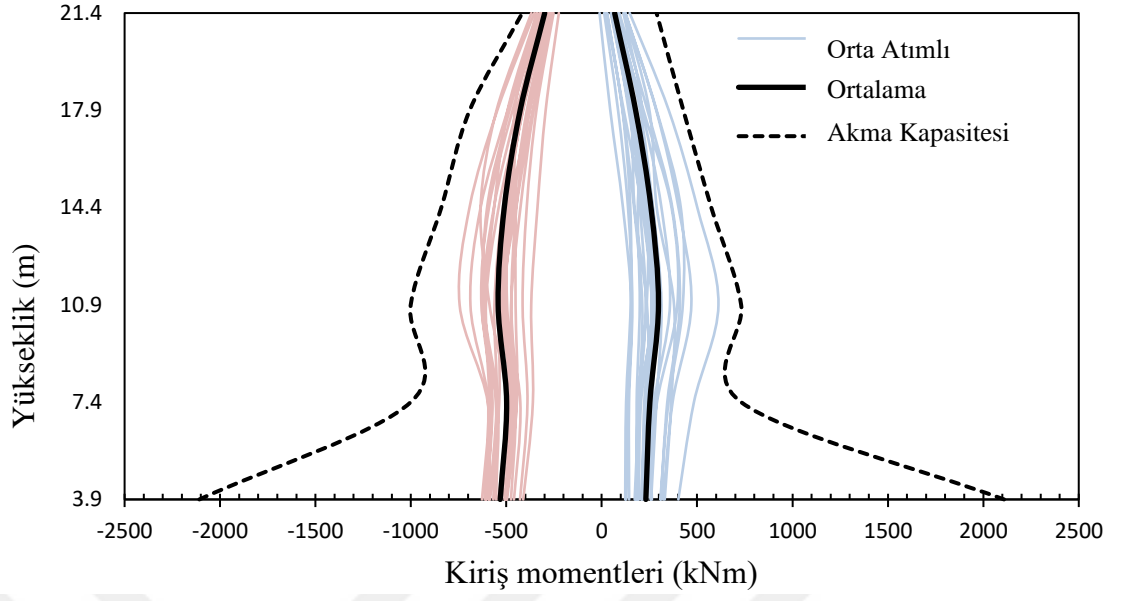
Şekil 4. 38 Orta atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği.



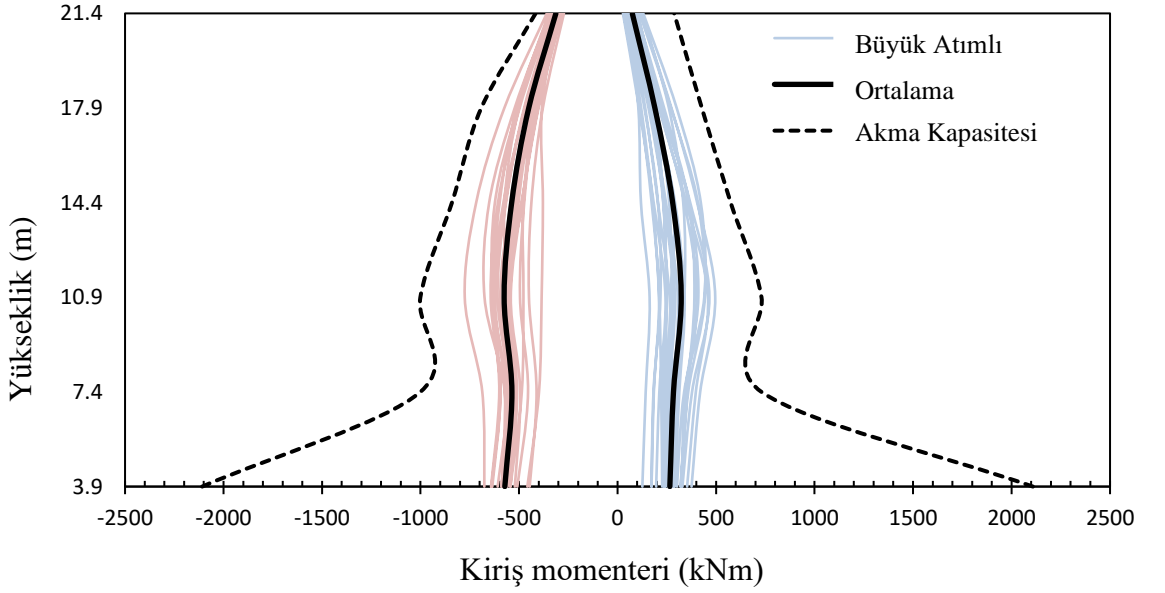
Şekil 4. 39 Büyük atımlı ivme kayıtları C aksı kiriş ortalama moment grafiği.



Şekil 4. 40 Küçük atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği.



Şekil 4. 41 Orta atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği.



Şekil 4. 42 Büyük atımlı ivme kayıtları 3 Aksı kiriş ortalama moment grafiği.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yakın fay yer hareketleri etkisi altındaki sismik yalıtımlı binaların davranışı incelenmiştir. İleri doğrultu etkisi gösteren 72 adet yakın fay yer hareketi küçük, orta ve büyük atım periyotlu olarak üç ana gruba ayrılmış ve bütün yer hareketleri maksimum hız yönüne döndürülerek kullanılmıştır. Maksimum hız yönü atım içeren bileşen, bu yöne dik olan yön ise ikinci yatay bileşen olarak alınmıştır.

Sismik yalıtımlı bir bina yakın fay bölgesinde olduğu varsayılarak modellenmiştir. Yalıtım elemanı deplasman kapasitesi (D_M) maksimum yön etkisi göz önüne alınarak TBDY 2018 (TBDY 2018)'e göre 0.77 m olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım ASCE 7-16 (ASCE, 2016) ile paralellik arz etmektedir. DD-1 deprem düzeyinde efektif periyot (T_M) 3.58 sn olarak elde edilmiştir. Üst ve alt yapı tasarım kuvvetleri ASCE 7-16 (ASCE, 2016)'ya göre sırasıyla 10310 kN ve 14233 kN olarak belirlenmiş ve elastik tasarım mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Hız kaydında atım periyotları 1.79 sn değerine kadar olan yer hareketleri küçük, 1.79 ile 4.475 sn aralığında olan yer hareketleri orta ve 4.475 sn değerinden büyük olan yer hareketleri büyük atım periyotlu olarak üç sınıfa ayrılmıştır. Yer hareketleri TBDY 2018 (TBDY, 2018) ile uyumlu olarak $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ aralıklarında DD-1 düzeyi maksimum yön spektrumuna genlik ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Doğrusal olmayan model üç bileşenli, farklı atım periyotlu yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Yalıtım elemanı alt ve üst sürtünme oranlarının her biri için 72 adet olmak üzere toplam 144 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

Yalıtım elemanı ortalama deplasmanı küçük, orta ve büyük atımlı yer hareketleri için sırasıyla 0.76 m, 0.66 m ve 0.80 m olarak elde edilmiştir. T_p/T_1 oranı büyüdükçe yalıtım elemanı yanal deplasmanlarının artması beklenmektedir. Ancak T_p/T_1 oranının 0.5 değerinin altında olduğu küçük atım

periyotlu yer hareketlerinde, aynı oranın 1.25'den büyük olduğu büyük atım periyotlu yer hareketlerine yakın deplasman elde edilmiştir. Bu farklılık küçük atım periyotlu yer hareketlerinin küçük periyotlarda daha büyük spektral ivme talebi oluşturmasına karşın, yalıtımlı bina ölçeklendirme aralığında daha küçük spektral ivme talebi oluşturması nedeniyle ölçeklendirme katsayılarının daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Büyük ölçeklendirme katsayıları küçük periyotlarda yüksek olan spektral ivme değerlerini daha da büyütmektedir. Üst yapının hakim periyodunun bu şekilde yüksek spektral ivmeli bölgede bulunması nedeniyle ikinci mod etkileri üst yapı taban kesme kuvvetini artırmakta ve bu durum yalıtım elemanı deplasman talebini artırmaktadır. Üç farklı yer hareketinde atım içeren yön diğer yöne oranla ortalama 2 kat daha fazla yalıtım elemanı deplasman talebi oluşturmuştur.

Bu çalışmada ilave dışmerkezlilik düşünülmediği için D_{TM} toplam yalıtım elemanı deplasmanı D_M olarak alınmıştır. Büyük atım periyotlu yer hareketlerinde elde edilen ortalama deplasmanlar yalıtım elemanı deplasman kapasitesini aşmaktadır.

Yalıtım elemanı üst sürtünme oranı kullanılarak efektif periyot 2.94 sn olarak elde edilmiş ve yer hareketleri değişen ölçeklendirme aralığı göz önüne alınarak tekrar ölçeklendirilmiştir. Üst yapı davranışının incelenmesi amacıyla analitik model bu yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Bütün yer hareketlerinde üst yapı elemanları ihmal edilebilecek düzeyde elastik sınırı aşmıştır. Bu durum ASCE 7-16 (ASCE, 2016) üst yapı tasarım kuvvetinin binanın DD-1 deprem düzeyinde elastik sınırlara yakın davranış göstermesini sağladığını ortaya koymaktadır.

Bütün analizlerde üst yapı görelî kat ötelenmeleri TBDY 2018 (TBDY, 2018) hemen kullanım performans sınır değerinin altında elde edilmiştir. Küçük atım periyotlu yer hareketlerinde atım periyodunun üst yapı hakim periyoduna yakın olması nedeniyle görelî kat ötelenmelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Sağlık Bakanlığı** (2013). Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar. *Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü*, Ankara
- TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. Ankara.
- ASCE 7-16** (2016). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. *Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers*. Virginia.
- Jangid, R. S. ve Kelly, J. M.** (2001). Base isolation for near-fault motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 691-707. California.
- Mazza, F. ve Vulcano, A.** (2012). Effects of near-fault ground motions on the nonlinear dynamic response of base-isolated r.c. framed buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 285-302. Rende.
- Pant, D. R. ve Wijeyewickrema, A. C.** (2014). Performance of base-isolated reinforced concrete buildings under bidirectional seismic excitation considering pounding with retaining walls including friction effects. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41, 1709-1716. Tokyo.
- Cimilli, S. ve Tezcan, S. S.** (2002). Seismic Base Isolation. *Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı*, 004/02, İstanbul.

Naeim ve Kelly (1999). Design of Seismic İsolated Structures, İnşaat Mühendisleri Odası, 291s, California .

Gökhan, E. (2009). Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri. *İstanbul Teknik Üniversitesi* (Yüksek Lisans Tezi), 137S, İstanbul.

Reitherman, R. K. (1980). Frank Lloyd Wright's Imperial Hotel: A Seismic Re-Evaluation, *Proceedings Of The 7. World Conference on Earthquake Engineering*, 4, 145-152, Istanbul.

Url-1 Atlantic (2011). How Tokyo's Imperial Hotel Survived a 1923 Earthquake,(<https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/04/how-tokyos-imperial-hotel-survived-a-1923-earthquake/73306/>). Erişim Tarihi: 03.09.2019.

Özdemir, N. B., Akçaer, G. ve Soyluk, A. (2015). Günümüz Mimarisinde Sismik İzolasyon Teknolojisi. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14-16 Ekim, İzmir.

Url-2 Amerika Deprem Güçlendirme Kurumu (2010). “Hayward City Hall”, (<http://www.earthquakeretrofit.org/details.php?id=678>). Erişim Tarihi: 03.09.2019.

Soyluk, A. (2010). Sismik Taban İzolatörü Kullanımının Mimari Tasarıma Etkisi. *Gazi Üniversitesi* (Doktora Lisans Tezi), 370s, Ankara.

Kravchuk, N., Colquhoun, R. ve Porbaha, A. (2008). “Development of a friction pendulum bearing base isolation system for earthquake engineering education”. *American Society For Engineering Education Annual Conference*, California.

- Braga, F., Laterza, M. ve Gigliotti, R.** (2001). “Seismic isolation using slide and rubber bearings: Large amplitude free vibration tests on Rapolla Residence building”. *7th International Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*, 2-5 Ekim, Italy.
- Zhou, F. L.** (2001). “Seismic isolation of civil buildings in The People’s Republic Of China”. *Progress In Structural Engineering And Material*, 3, 268-276, China.
- Martelli, A. ve Forni, M.** (1998). “Seismic isolation of civil buildings in Europe”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, Italy
- Higashino, M. ve Okamoto, S.** (2006). “Response Control And Seismic Isolation Of Buildings”, Routledge, 412sy. , London.
- Erdik, M.** (2007). “Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar”, 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı* , 16-20 Ekim, İstanbul.
- Roussis, P. C., Constantinou, M. C., Erdik, M., Durukal, E. ve Dicleli, M.** (2003). “Assesment of performance of seismic isolation system of Bolu viaduct”, *Journal of Bridge Engineering*, 8, 182-190, Turkey.
- Url-3 Mceer** (2002). “ Seismic Evalution and Retrofit of theAtaturk International Airport terminal building”, Buffalo Üniversitesi, http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/01p01/rpa_pdfs/15constantinou-f.pdf. Erişim Tarihi:09.09.2019
- Urgu, M. İ.** (2016). Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi), 115s , İzmir.

Url-4 Doka Endüstri (2002). Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi,
<https://www.dokaendustri.com.tr/pdf/izolatorler-Kocaeli.pdf>,

03.09.2019

Somerville, P. G., Smith, N. F., Groves, R. W. ve Abrahamson, N. A. (1997). Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity. *Woodward-Clyde Federal Services*, 68, 199-222s, Pasadena.

Bray, J. D. ve Rodrigues-Marek, A. (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 815-828s, California.

Alavi, B. ve Krawinkler, H. (2004). Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33: 687-706, California.

Champion, C. ve Liel, A. (2012). The effect of near-fault directivity on building seismic collapse risk. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, California.

Baker, J. W. ve Cornell, C. A. (2007). Vector-valued intensity measures for pulse-like near-fault ground motions. *Science Direct Engineering Structures*, 12, 534-554, Stanford.

Peer, 2014, Pacific Earthquake Engineering Research Center, *University of California*, California.

Özdemir, Z. ve Fahjan, Y. M. (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında

Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul.

ETABS 2016 (2016). Computers ad Structures, Inc., California.

Krawinkler, H. ve Seneviratna, G. D. P. K. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*, 20, 452-464, California.

Kent, D. C., Park, R. (1971). Flexural members with confined concrete, *Journal of the Structural Division*, Vol.97, 1969-1990.

Mander, J. B., Priestley M. J. N. ve Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114, 1804-1826.

Saatcioğlu, M. ve Razvi, S. R. (1992). Strength and Ductility of Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*, 108, 2703-2723.

Celep (2017). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta Basım, 735s, İstanbul.

Perform 3D Components and Elements (2006). For Perform-3D and Perform-Collapse. Computers and Structures Inc., California.

XTRACT v. 3.0.8. (2007). Cross Section Analysis Program for Structural Engineers, Amerika

Haselton, C. B., Liel, A. B., Taylor-Lange, S. C. ve Deierlein, G. G. (2016). Calibration of Model to Simulate Response of Reinforced Concrete Beam-Columns to Collapse. *ACI Structural Journal*, 113, 97s, California.

Ghodsı, T. ve Ruiz, J. A. F. (2009). Pacific Earthquake Engineering Research / Seismic Safety Commission Tall Building Design Case Study 2. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 19, 197-256, California.

Görgülü, O. ve Taşkın, B. (2015). Numerical simulation of RC infill walls under cyclic loading and calibration with widely used hysteretic models and experiments. *Bull Earthquake Engineering*, İstanbul.

Berry, M. and Eberhard M. (2008). Performance Strategies for Modern Reinforced Concrete Bridge Columns, PEER Report 2007/07, Pacific Earthquake Engineering Research Center, California.

Powell (2007). Detailed example of a tall shear wall building Nonlinear modelling, analysis and performance assessment for earthquake loads. Computers and Structures Inc., Berkeley.

Akkor, S. ve Gülkan, P. (2002). A Critical Examination of Near-Field Accelerograms From the Sea of Marmara Region Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92, 428-447.

Akkor, S. ve Gülkan, P. (2003). A Near-Fault Design Spectrum and Its Drift Limits. *Technical and Educational Website of Iranian Engineers*. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Burak YARAY
Doğum Yeri Sivas, 27.03.1987
ve Tarihi
Medeni Hali Evli
Yabancı Dil İngilizce
İletişim Sularbaşı Mah. 8. Sok. Nafi Yaray
Adresi Apt. No:18 Kat:3 D:4 58040 Sivas
E-posta betagrupgd@gmail.com
Adresi

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Kongre Lisesi, 2004
Lisans Erciyes Üniversitesi, 2009
Yüksek Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Beta Grup Mim. Müh. İnşaat Mühendisi, Gayrimenkul Değerleme Uzmanı,
İnş. Ltd. Şti. 2012

Yayımlar

Ulusal
Uluslararası

Kongreler ve Bildiriler

Ulusal
Uluslararası