

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK BİNALARDA
DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÇOPUROĞLU

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

EYLÜL 2019

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK BİNALARDA
DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ali ÇOPUROĞLU
802161202**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER

EYLÜL 2019

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802161202 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali ÇOPUROĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YÜKSEK BİNALARDA DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Üfuk YAZGAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Burcu GÜLDÜR ERKAL
Hacettepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **02 Eylül 2019**



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında farklı yöntemler kullanılarak farklı deprem yönetmeliklerine göre düşey yer hareketinin hesabı yapılmış, yüksek binalarda düşey yer hareketinin etkisi araştırılmıştır.

Öncelikle tez konusu seçiminde ve çalışmalarımnda tecrübelerini aktaran ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DEĞER'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca Doç. Dr. Ufuk YAZGAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Burcu GÜLDÜR ERKAL'a değerli görüşleri için teşekkür ederim. Bu zorlu tez sürecinde bana sürekli destek veren arkadaşlarım İbrahim KAVAN, Zübeyir KAZAN, Furkan VATAN'a ve tüm eğitim hayatım boyunca sürekli yanımda olan, maddi manevi destek veren aileme minnettarım.

Eylül 2019

Ali Çopuroğlu
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Tezin Kapsamı.....	3
1.3 Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	4
2. FARKLI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ	13
2.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007).....	13
2.2 Uniform Building Code (1997).....	13
2.3 Eurocode 8 (2004).....	14
2.4 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018).....	16
2.5 American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16).....	18
3. YAPISAL MODEL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER.....	21
3.1 Analizi Yapılacak Binanın Seçimi	21
3.2 Analizi Yapılacak Binanın Perform 3D Modeli.....	21
3.3 Model özellikleri	23
3.3.1 Perdelerin modellenmesi.....	26
3.3.2 Bağ kiriş modellemesi	28
3.3.3 Çerçeve elemanlarının modellenmesi.....	29
3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi	30
3.4.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre deprem kayıt seçimi .	30
3.4.2 Analiz için deprem kayıtları ve seçimi	32
3.5 Doğrusal Olmayan Analizlerin Yapılması.....	38
3.5.1 Taban kesme kuvvetleri:.....	39
3.5.2 Göreli kat öteleme oranları ve kat deplasmanları.....	42
3.5.3 Perde eksenel yükleri.....	55
3.5.4 Kolonlarda eksenel yük	57
4. FARKLI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE DÜŞEY YER HAREKETİNİN HESABI.....	63
4.1 Kat Öteleme Oranları.....	67
4.2 Taban Kesme Kuvveti	70
5. SONUÇLAR.....	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	81



KISALTMALAR

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
ASCE	: American Society of Civil Engineers (Amerikan İnşaat Mühendisliği Birliği)
FEMA	: Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC8	: Eurocode 8
UBC	: Uniform Building Code
PEER	: Pasific Earthquake Engineering Research Center
LATBSDC	: Los Angeles Tall Building Structural Design Council
PEER-TBI	: Pasific Earthquake Engineering Research Center Tall Building Initiative
PEER/ATC	: Pasific Earthquake Engineering Research Center Applied Technology Council
IBC	: International Building Code
MCE	: Maximum Considered Earthquake
SLE	: Service Level
ASTM	: American Society for Testing and Materials



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Düşey elastik tepki spektrumu oluşturmak için önerilen değerler.	15
Tablo 2.2: Kısa periyot bölgesi zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).	17
Tablo 2.3: Düşey katsayı değeri C_v (ASCE 7-16, 2016).	19
Tablo 3.1: Rayleigh sönümleme parametreleri.	22
Tablo 3.2: Yapı periyot özeti.	25
Tablo 3.3: Kütle katılım oranları.	25
Tablo 3.4: SLE43 deprem takımları özellikleri.	35
Tablo 3.5: SLE 43 depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları.	35
Tablo 3.6: DBE deprem takımları özellikleri.	36
Tablo 3.7: DBE depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları.	36
Tablo 3.8: MCE deprem takımları özellikleri.	37
Tablo 3.9: MCE depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları.	37
Tablo 3.10: SLE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	40
Tablo 3.11: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	41
Tablo 3.12: MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	42
Tablo 4.1: TBDY Ed hesabında için kullanılacak SDS değerleri.	64
Tablo 4.2: ASCE 7-16 Ed hesabında kullanılacak SDS değerleri.	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Düşey elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018).	17
Şekil 2.2: Düşey spektral ivme spektrumu (ASCE 7 -16).	20
Şekil 3.1: Rayleigh sönümlenme eğrisi (Perform 3D).	22
Şekil 3.2: Bina üç boyutlu modeli (Perform 3D).	23
Şekil 3.3: Düşey mod şekli (Perform 3D).	26
Şekil 3.4: Beton gerilme-şekil değiştirme bağıntıları (Tuna, 2012).	27
Şekil 3.5: İn elastik çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Tuna, 2012).	27
Şekil 3.6: Perdelerde kesme şekil değiştirme-gerilme bağıntıları (Tuna, 2012).	28
Şekil 3.7: Kayma mafsallı iskelet eğrisi.	29
Şekil 3.8: Moment-dönme mafsallı iskelet eğrisi.	29
Şekil 3.9: Kolon aksenal yük-moment grafikleri, (a), (b).	30
Şekil 3.10: Binanın bulunduğu bölgedeki fay hatları (Moehle ve diğ., 2011).	33
Şekil 3.11: Deprem takımlarında kullanılan fay çeşitleri (Demirbağ, 2006).	38
Şekil 3.12: SLE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	39
Şekil 3.13: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	40
Şekil 3.14: MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	41
Şekil 3.15: SLE deprem düzeyi görel kat öteleme oranları (H1 yönü).	43
Şekil 3.16: DBE deprem düzeyi görel kat öteleme oranları (H1 Yönü).	44
Şekil 3.17: MCE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H1 Yönü).	45
Şekil 3.18: SLE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).	46
Şekil 3.19: : DBE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).	46
Şekil 3.20: SLE deprem düzeyi yatay bileşen görel kat ötelemeleri oranları.	46
Şekil 3.21: MCE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).	47
Şekil 3.22: SLE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).	48
Şekil 3.23: DBE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).	49
Şekil 3.24: MCE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).	49
Şekil 3.25: SLE deprem düzeyi kat deplasmanları (H2 Yönü).	50
Şekil 3.26: DBE deprem düzeyi kat deplasmanı (H2 Yönü).	51
Şekil 3.27: MCE deprem düzeyi kat deplasmanı (H2 Yönü).	51
Şekil 3.28: DBE deprem düzeyi kat deplasmanları.	52
Şekil 3.29: MCE deprem düzeyi kat deplasmanları.	53
Şekil 3.30: MCE deprem düzeyi kat deplasmanları.	53
Şekil 3.31: SLE deprem düzeyi kat deplasmanları.	54
Şekil 3.32: MCE deprem düzeyi perde aksenal kuvveti.	55
Şekil 3.33: DBE deprem düzeyi perde aksenal kuvveti.	56
Şekil 3.34: SLE deprem düzeyi perde aksenal kuvveti.	56
Şekil 3.35: MCE deprem düzeyi köşe kolon aksenal kuvvet.	57
Şekil 3.36: DBE deprem düzeyi köşe kolon aksenal kuvvet.	58
Şekil 3.37: SLE deprem düzeyi köşe kolon aksenal kuvvet.	58
Şekil 3.38: MCE deprem düzeyi iç kolon aksenal kuvvet.	59
Şekil 3.39: DBE düzeyi iç kolon aksenal kuvvet.	59
Şekil 3.40: SLE deprem düzeyi iç kolon aksenal kuvvet.	60

Şekil 3.41: SLE deprem düzeyi kolon eksenel kuvvet-zaman grafiği.	61
Şekil 3.42: DBE deprem düzeyi kolon eksenel kuvvet-zaman grafiği.	61
Şekil 3.43: MCE deprem düzeyi kolon eksenel kuvvet-zaman grafiği.	62
Şekil 4.1: TBDY 2018' göre deprem düzeyleri düşey elastik spektrumları.	65
Şekil 4.2: Düşey tasarım spektrumu.	66
Şekil 4.3: Eurocode 8 düşey elastik pseudo-ivme spektrumu.	66
Şekil 4.4: SLE deprem düzeyi kat öteleme oranları.	67
Şekil 4.5: MCE deprem düzeyi kat öteleme oranları.	68
Şekil 4.6: DBE deprem düzeyi kat öteleme oranları.	69
Şekil 4.7: SLE deprem düzeyi kat öteleme oranları.	70
Şekil 4.8: MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	71
Şekil 4.9: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.	72



YÜKSEK BİNALARDA DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ

ÖZET

Depremler iki yatay ve bir düşey bileşenden oluşmaktadır. Fakat düşey yer bileşeninin etkisi, yatay yer bileşenlerinin etkisinden daha az dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi, genellikle düşey yer hareketi değerinin yatay bileşen değerinden daha küçük olmasıdır. Diğer bir sebep ise yapıların düşeyde daha rijit olmasıdır. Deprem yönetmeliklerinin bir kısmı düşey yer bileşenlerini hesaplara dahil etmeyip, yalnızca yatay bileşenleri dikkate almaktadır. Düşey yer hareketinin etkisini çeşitli varsayımlarla hesaplara katan deprem yönetmelikleri de mevcuttur. Türkiye’de Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik düşey yer bileşeninin etkisini tamamen ihmal ederken, ASCE 7, ASCE 41 ve Eurocode 8 gibi yönetmelikler düşey yer bileşenlerinin etkisini çeşitli koşullarla hesaplara katmışlardır. ASCE7-10’un güncel versiyonu olan ASCE 7-16 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği içerisinde düşey bileşen hesabı için düşey elastik tasarım spektrumu bulunmaktadır.

Farklı deprem yönetmelikleri incelenerek, depremin düşey bileşeninin hesaplara katılım şekilleri gösterilmiştir. Tasarım ve deprem hesabında kullanılacak olan spektrumların farklı yönetmeliklere göre oluşturulması incelenmiştir.

Araştırma içerisinde kullanılan bina, Los Angeles, ABD’de bulunduğu varsayılarak tasarlanmıştır. Bina çekirdek perde ve betonarme çerçeveden oluşan dual sisteme sahiptir. Yapı zemin altında 4 bodrum kat ve 42 normal kattan oluşmaktadır. Normal kat yüksekliği 2.97 m’dir.

Bina kütlesi her katta o katın kütle merkezine etki edecek şekilde modellenmiştir. Yapının kule kısmında katlar rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Bodrum katlardaki döşemelerde sonlu ağ yöntemi kullanılmıştır. Zemin etkisi ihmal edilerek rijit temel tanımlanmıştır. İkinci mertebeye etkileri göz önüne alınmıştır. Yapıda Rayleigh sönümlenme modeli kullanılmıştır.

Yapının tasarımı, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council tasarım ilkeleri kullanılarak iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, servis deprem düzeyine yükler uygulanarak, yapısal elemanların elastik sınırlar içerisinde kalmasına göre tasarım boyutlandırılması yapılmıştır. İkinci aşamada ise yüksek şiddetli deprem düzeyinde, elemanların göçme öncesi şartları sağlamalarına göre tasarım yapılmıştır.

Yapıda perdelerin modellenmesinde fiber elemanlar kullanılmıştır. Betonda Mander modeli göz önüne alınmıştır. Bağ kirişleri elastik çubuk olarak idealleştirilip, ortasında kayma mafsalı olduğu düşünülmüştür. Kiriş ve kolon gibi çerçeve

elemanlar elastik çubuk olarak idealleştirilmişlerdir. Elastik çubukların uçlarında dönme mafsalları tanımlanmıştır. Etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.

3 farklı deprem düzeyi için deprem kayıtları seçilmiştir. Bu deprem düzeyleri SLE, DBE ve MCE'dir. Bu deprem kayıtlarına ait magnitüd, faya olan mesafe, maksimum ivme değerleri gösterilmiştir.

Perform 3D programı kullanılarak doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde depremin düşey bileşeninin etkisi araştırılmıştır. Analizlerde taban kesme kuvvetleri, görelî kat öteleme oranları, kat deplasmanları, perde eksenel kuvvetleri ve kolonlardaki eksenel yükler incelenmiştir.

Depremin düşey bileşeninin taban kesme kuvvetleri üzerinde etkisinin az olduğu görülmüştür. Görelî kat öteleme oranlarında düşey yer hareketinin etkisiyle belirgin değişimler meydana gelmemiştir. Düşey yer hareketinin etkisinin, kat deplasmanlarına az etki ettiği görülmüştür. Kat deplasmanı hesaplamalarında depremin yalnızca yatay yer bileşeninin kullanılabileceği belirtilmiştir. Düşey yer hareketinin etkisiyle perdelerin eksenel yüklerinde artışlar meydana gelmiştir. Kolonlarda farklı deprem düzeylerinde, düşey yer hareketinin etkisiyle eksenel yüklerde artışlar meydana gelmiştir.

Farklı deprem yönetmeliklerine göre düşey yer hareketinin hesaplamaları yapıp, taban kesme kuvveti ve kat öteleme oranlarına göre karşılaştırmaları yapılmıştır. SLE deprem düzeyinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre oluşturulan spektrumun yaklaşık hesap yöntemleri ve zaman tanım alanında yapılmış analizlerin sonuçlarına göre daha küçük kat ötelemesine sahip olduğu görülmüştür. DBE deprem düzeyinde Eurocode 8 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre oluşturulmuş spektrumların benzerlik gösterdiği görülmüştür. MCE deprem düzeyinde ASCE, TBDY spektrumları ve zaman tanım alanında yapılmış analiz sonuçları benzerlik göstermiştir. SLE ve DBE deprem düzeyinde taban kesme kuvvetlerinde yaklaşık yöntem ve zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları benzerlik göstermiştir. MCE deprem düzeyinde ise ASCE ve TBDY değerlerinin, yaklaşık hesap ve zaman tanım alanında analiz sonuçlarına göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Tezin birinci bölümünde tezin amacı, tezin kapsamı ve konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar açıklanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde Deprem Bölgelerinde yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Uniform Building Code, Eurocode 8, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve ASCE 7-16'ya göre düşey yer hareketinin etkisi gösterilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde tez kapsamında üzerinde çalışılan binaya ait modellemeler ve kabuller açıklanmıştır. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi gösterilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerle taban kesme kuvvetleri, görelî kat öteleme oranları ve kat deplasmanları, perde eksenel yükleri, kolon eksenel yükleri bulunmuştur.

Dördüncü bölümde farklı deprem yönetmeliklerine göre düşey yer hareketinin hesabı yapılmıştır. Farklı deprem yönetmeliklerine göre kat öteleme oranları ve taban kesme kuvvetleri gösterilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde analizlerden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.





EFFECTS OF VERTICAL GROUND MOTIONS ON TALL BUILDINGS

SUMMARY

Earthquakes occur in three dimensions: two horizontal and one vertical. But the effects of vertical ground motions on buildings have been less of concern than the effects of horizontal ground motion. This is often essentially due to the misbelief that both the amplitude of the vertical ground motion is smaller than the horizontal ground motion which the building is stiffer within the vertical direction than within the horizontal direction. Building codes around the world, in concert with this general conviction, have given less consideration to the impacts of vertical ground motions in buildings. The vertical component of the earthquake is not taken into account either by little emphasis by some earthquake codes or by design guidelines. Turkish code DBYBHY (2007), which was used until 2018 in Turkey, the effect of the vertical components of the earthquake was ignored.

Although the results of the recent studies indicate that the vertical impact of the earthquake is great effect, the vertical component of the earthquake is neglected besides the horizontal component. In this thesis, it has been studied on whether vertical earthquake loads should be included in the analysis and how analytical models should be influenced by various methods.

In the study which investigated the vertical effect in high-rise reinforced concrete buildings, it was also stated how different codes take into account vertical component of earthquake. For the different earthquake hazard levels, which are designed according to the performance based design principle, only the horizontal component of ground motion effect and the horizontal ground motion effects together with the vertical ground motion are taken into consideration and compared.

By examining the different earthquake codes, how vertical component of the earthquake is taken into account are shown. It is explained that the spectra to be used in the design and earthquake calculations are shaped according to codes.

The building used in the thesis was designed assuming that it was located in Los Angeles, USA. The dual system building had 42 stories above the ground and 4 stories below the ground. Building has typical story height of 2.97 m. The building has dual system consisting of core wall and special moment frame.

The mass was lumped at the center of mass of each floor above ground level. Above the ground, the floors are defined as rigid diaphragms. Finite element mesh is used in the floors below the ground.

Rigid foundation is defined by neglecting the ground effect. P-Delta effects are considered. Rayleigh damping model was used in the structure.

Building was designed using LATBSDC guidelines for two performance levels: serviceability and collapse prevention. Building initially designed for serviceability level forces then was revised to comply with MCE level forces.

Nonlinear vertical fiber elements representing the expected behavior of the concrete and steel were used to model the core wall. The concrete stress-strain relationship was based on the modified Mander model for confined concrete. The coupling beams were defined as elastic beam elements with a nonlinear displacement shear hinge at the mid-span of the beam. The moment frame beams were defined as elastic beam elements with nonlinear rotation hinges with rigid end zones at each end. The moment frame columns were defined as elastic column elements with plastic hinges with rigid end zones at each end.

Earthquake records were selected for 3 different earthquake levels. These earthquake levels are SLE, DBE and MCE. Magnitude, distance to fault and maximum acceleration values of these earthquake records and mechanism of fault are shown. Nonlinear analysis were performed using Perform 3D. In these analysis, the effect of the vertical component of the earthquake was investigated. In the analysis, base shear forces, relative displacement ratios, floor displacements, core wall axial forces and axial loads in the columns were examined.

It was observed that the vertical component of the earthquake had little effect on the shear forces. There were no significant changes in the relative displacement ratios due to the effect of vertical ground motion. The effect of vertical ground motion on floor displacements was found to be low. It is stated that only horizontal ground motion of the earthquake can be used in floor displacement calculations. With the effect of vertical ground motion, axial loads of the core walls increased. Axial loads increased due to the effect of vertical ground motion at different earthquake levels in the columns.

In the first part of the thesis, the aim of the thesis, the scope of the thesis and the previous studies about the subject are explained.

In the second part of the thesis, the effect of vertical ground motion according to DBYBHY, Uniform Building Code, Eurocode 8, TBDY and ASCE 7-16 is shown.

In the third part of the thesis, the modeling and assumptions of the building in thesis are explained. The selection of earthquake records to be used in the analysis is shown. Base shear forces, relative displacement rates and floor displacements, core axial loads, column axial loads were found by nonlinear analysis.

In the fourth section, vertical ground motion is calculated according to different earthquake codes. Floor displacement rates and base shear forces according to different earthquake codes are shown.

The results obtained from the analysis were reviewed in the fifth chapter of the thesis.

1. GİRİŞ

Depremler iki yatay ve bir düşey bileşenden oluşmaktadır. Deprem analizi yapılan binalarda genellikle bu üç bileşenden yalnızca iki yatay bileşen kullanılır. Düşey yer bileşeni göz ardı edilmektedir. Depremi düşey yer bileşeninin göz ardı edilmesinde iki temel sebep bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, genellikle düşey yer bileşeninin yatay yer bileşenlerine göre daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. İkinci neden ise tasarlanmış ve uygulanmış olan projelerin, düşey yüklere dayanımda yeterince güvenli tarafta kaldığı düşüncesidir. Fakat ortaya çıkan çalışmalar ve yeni gelişmeler, özellikle de yerel zemin koşulları ve faya uzaklıklar da hesaba katıldığında bu durumun doğru bir yaklaşım olmadığını göstermektedir (Bozorgnia ve Campbell, 2004).

Bozorgnia ve Campbell (2004) en büyük düşey yer hareketi bileşeninin en büyük yatay yer hareketine bölünmesiyle ortaya çıkan düşey/yatay oranının (V/H) etki alanının kaynağa uzaklığıyla, yerel zemin koşullarıyla, doğal periyotlarla kuvvetli bir bağlantısı olduğunu, fay mekaniği, deprem büyüklüğü, sediment derinliği ile ilişkisinin daha az olduğunu çalışmasında ortaya koymuştur.

Günümüzde hala yürürlükte olan sismik tasarım şartlarının bulunduğu yönetmeliklerin bazıları depremin düşey bileşeninin tespitini yatay bileşenine göre oranlayarak yapmaktadır (ASCE 41, FEMA 356 2000). Ülkemizde 2018 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) olarak değişmeden önce yürürlükte olan 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te (DBYBHY) olduğu gibi bazı yönetmeliklerde depremin düşey bileşeni ile ilgili duruma karşı alınması gereken bir önlem veya tasarım esası bulunmayıp, planda ve düşeyde düzensizlik durumları belirlenmiş ve bu düzensizliklerin yapıda olmaması gerektiği belirtilmiştir. Yer hareketlerinin sadece birbirine dik iki yatay deprem hareketinden oluştuğu göz önüne alınarak tasarımlar yapılması uygun görülmüştür. 2018 yılında yürürlüğe

girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde depremin düşey yer bileşenin etkisi geniş açıklıklı kirişlerde, konsollarda, düzensiz yapılarda hesaba katılmıştır. Benzer şekilde ASCE 41 (2013) konsollarda, öngerilmeli elemanlarda düşey yer bileşenini dikkate almaktadır. Eurocode 8 (EC8) yatay veya yataya yakın konsol elemanlarda, yatay veya yataya yakın ön gerilmeli elemanlarda, kolon taşıyan kirişlerde, deprem taban yalıtımlı yapılarda ve geniş açıklıklı yapısal elemanlarda düşey yer bileşeninin etkisinin hesaplara katılmasını gerekli kılmıştır.

Depremin düşey bileşeninin etkisinin hesabı için yatay yer hareketinin $2/3$ 'ü varsayımı pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır (Newmark, 1973). Fakat bu varsayım yakın fay ve büyük depremler için kesin bir sonuç vermemektedir (Friedland, Power ve Mayes, 1997). Bozorgnia ve Campbell yaptıkları çalışma sonucunda düşey /yatay (V/H) oranı $2/3$ yaklaşımının uzun periyotlu yapılarda düşey yer hareketinin etkisinin istenilen sonucu vermediğini göstermişlerdir (Bozorgnia ve Campbell, 2016). Düşey/yatay oranı (V/H) $2/3$ kabulü tüm periyot aralıkları için doğru sonuçları vermemesine rağmen, Amerika'da bazı yönetmeliklerde bu kabulün kullanımına devam edilmektedir (FEMA 356, 2000). Uniform Building Code (UBC, 97) düşey/yatay oranının (V/H) yakın mesafelerde kaynağa olan uzaklıkla ilgili olduğunu belirtip aktif faylara yakın sahalara özel düşey davranış spektrumu kullanılmasını önermiştir.

Tarihte yaşanmış olan yıkıcı 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1995 Kobe, 1999 Chi-Chi ve 1999 Marmara depremlerinde de görüldüğü üzere depremin düşey bileşeninin etkisinin yatay bileşenleri kadar etkiye sahip olduğu ve hatta daha yıkıcı etkilere sahip olabildiği gözlenmiştir (Shrestha, 2009). Bu nedenle depremin düşey etkileri son zamanlarda yapılan araştırmalarda önem kazanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Depremler dünya çapında çok sık meydana gelen ve zaman zaman çok yıkıcı etkilere sahip olan doğal afetlerdendir. İçerisinde Türkiye'nin de bulunduğu Amerika, Japonya, Yeni Zelanda, Şili gibi bir çok ülke yüzyıllardır deprem kaynaklı sorunlar yaşamışlardır. Depremlerin kaçınılmaz olması nedeniyle, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanması sürdürülebilirlik açısından ve

tehlike seviyesini azaltmak için oldukça önemlidir. Bu sebeple, dünyada yürürlükte olan yönetmelikler sismik tasarım için bazı kurallar getirmişlerdir. Fakat bu kurallar yönetmelikten yönetmeliğe, ülkeden ülkeye çeşitlilikler göstermektedir. Yönetmelikler arasındaki en büyük farklar yer hareketlerinin yapılara uygulanış şeklidir.

Çoğu yönetmelik ve sismik tasarım kılavuzu, yapıların tasarımında depremin iki yatay bileşenini göz önüne almayı gerekli kılmaktadır. Düşey bileşenlerin oranlanarak hesaba katıldığı gibi, tamamen göz ardı edildiği yönetmelikler de bulunmaktadır. Bunun temel sebebi depremin yatay bileşeninin düşey bileşene göre daha büyük şiddete sahip olmasıdır. Başka bir sebep ise, yapıların düşey yönde daha rijit olmasından dolayı daha az taleplerinin olmasıdır. Daha önce yapılmış araştırmalarda görüldüğü üzere bir çok yıkıcı depremin düşey bileşenlerinin etkisinin özellikle de yakın fay etkisiyle birleştiğinde göz ardı edilemez olduğu kanıtlanmıştır.

Bu çalışma, düşey deprem yüklerinin analizlere dahil edilip edilmemesi gerektiğini değerlendirmeyi ve analitik modellere düşey yer hareketleri uygulayan farklı yöntemleri incelemeyi amaçlamaktadır. Literatür taramasında gösterildiği gibi, bazı araştırmacılar bu konuya farklı açılardan yaklaşmışlardır. Fakat yine de betonarme yüksek binalarda depremin düşey etkisi hakkında büyük bir bilgi eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma bu boşluğu ele alacak ve yüksek binaların sismik performansına ilişkin incelenen 42 katlı betonarme çekirdek perde ve çerçevesiz (dual sistem) yüksek bir binadaki düşey yer hareketlerinin etkilerine odaklanacaktır.

Bu araştırmanın bulguları, deprem mühendislerine düşey ivmeler göz önüne alındığında davranışların ve tepkilerin nasıl değiştiğini göstererek daha güvenilir tasarımlar elde etmeleri için bir fikir verecektir.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu araştırma:

- Yer hareketlerinin düşey bileşenlerinin dünyada geçerli olan yönetmeliklere ait uygulamalarının karşılaştırılması,

- 42 katlı betonarme yüksek binanın düşey yer hareketlerinin etkisi dahil edildiğinde ve dahil edilmediğindeki yapıdaki etkilerinin karşılaştırılması,
- Düşey yer hareketlerinin hesaba katıldığında yapısal elemanlarda meydana gelen kuvvet değişimlerin belirlenmesi,
- Farklı yöntemler uygulanarak deprem yönetmeliklerine göre düşey yer hareketinin hesaplamaları,
- Analizlere düşey yer hareketinin etkisinin dahil edilmesi gerekliliğinin irdelenmesini kapsamaktadır.

1.3 Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Loma Prieta 1989, Northridge 1994, Kobe 1995, Chi-Chi 1999, Marmara 1999 gibi depremlerde düşey yer bileşenin etkisinin yüksek olması sebebiyle depremin düşey yer bileşenin göz ardı edilebilir olduğuna inanan düşünceleri değiştirdi. Bu konuda en kapsamlı araştırmalardan biri olan Papazoglou ve Elnashai (1996), en büyük düşey yer bileşeni ivmesinin en büyük yatay yer ivmesine oranı olarak belirlenen V/H oranının 1.79 olarak kaydedilmiş olan Northridge depreminde, en yüksek düşey yer hareketinin ivmesinin 1.18g değerine çıktığı gözlenmiş olup, bu deprem Amerika'nın batı kıyısının en hasar veren depremlerinden biri olarak kayıtlara geçmiştir. Merkez üssüne yaklaşık 7 km uzaklıkta bulunan 7 katlı otel binasında meydana gelen yapısal hasarlar araştırılmıştır. Bu yapıda betonarme çerçeve 0.47 g yatay ve zeminde 0.30 g düşey yer hareketin maruz kalıp birçok kolonda yapısal hasar meydana gelmiştir. Kolonların önemli bir kısmının kesme kırılmasına maruz kaldığı görülmüştür. Bu yapıda betonarme çerçevenin yapının ilk modunda düşey yönde olduğunu gösterilmiştir ve yapıda burulma gözlenmemiştir. Yapıda burulma gözlenmemesi sebebiyle oluşan kolon hasarlarının düşey yer bileşeninden meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Kaydedilmiş düşey yer hareketleri ve gözlenen hasarlar bakımından Northridge depremine benzer özellikler gösteren Kobe 1995 depremi, fay kırılma bölgesi boyunca kaydedilen düşey/yatay oranı (V/H) ve merkez üssüne

olan mesafeler boyunca (>45 km) kaydedilen düşey yer hareketleri bakımından çok iyi bir örnektir.

Kalamata depremi, Yunanistan'da meydana gelmiş 5.7 büyüklüğünde merkez üssüne 9 km'den az mesafede 7 km derinlikte gerçekleşmiş bir depremdir. Özellikleri itibariyle sığ-yakın fay olarak belirtilebilen bu depremde düşey/yatay oranı (V/H) 0.81 ile 1.26 arasında değişen yüksek değerlere sahiptir. Saha kayıtları, fark edilir derecede olan yapısal hasarların düşey yer hareketinden kaynaklandığını göstermiştir. Betonarme kaidelerin ortasında gerilme kırılmasından oluşması muhtemel çatlakları da içeren yapısal hasarlar bulunmuştur. Çok sayıda kesme-basınç kırılmasından etkilenmiş kolon ve perde duvarlar bulunmasına rağmen, beklenenin aksine eğilme kırılması görülmemiştir.

Iyengar ve Shinozuka (1972), orta yükseklikteki binaların kendi ağırlıkları altındaki ve düşey yer hareketleri etkisindeki davranışlarını araştırmışlardır. Modelleri konsol olarak tasarlanmıştır. Çalışmalarındaki öncelikli bulguları düşey ivmelerin ve ağırlıkların yapının maksimum davranış değerini düşürebileceği gibi artırabileceğini de göstermiştir. Bu farkın oldukça önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Çerçeve sistemli yapılarda, düşey yer bileşeni kirişlerin davranışlarında daha etkili olabilmektedir.

Iyengar ve Sahia (1977), konsol yapılarda düşey yer hareketinin etkisini belirlemek için modal süperpozisyon kullanmışlardır. Kulelerin tasarımında ve analizinde düşey yer hareketlerinin hesaba katılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Ambraseys ve Simpson (1996), düşey ivme spektrumu geliştirmişlerdir. Bu spektrumu, deprem büyüklüğüne, fay kaynağına olan uzaklığına ve zemin özelliklerine göre elde etmişlerdir.

Antoniou (1997), Eurocode 8'e (2004) göre yüksek süneklik sınıfında olan, tasarım ivmesi 0.3 g olan 8 katlı betonarme binanın analizini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda tepe deplasman ve katlar arası ötelemede düşey ivmenin etkisinin olmadığını, sonuçların yalnızca yatay ivmeler göz önüne alınarak yapıldığında aynı sonucu verdiğini belirtmiştir. Fakat kolonların eksenel yükündeki büyük artış, gerilme kuvvetinin artmasına sebep olmuştur.

Düşey yer hareketi sebebiyle aksenal yüklerde meydana gelen bu artış kolonlarda kesme kırılmalarının meydana gelmesine sebebiyet verebileceğini göstermiştir.

Munshi ve Ghosh (1998), 12 katlı betonarme binanın deprem altında doğrusal olmayan davranışı üzerine çalışmışlardır. Yapı düşeyde ve yatayda hareketlenme göstermiştir. Düşey yer hareketi dahil edildiğinde maksimum deformasyonda küçük bir artış gözlenmiştir. Bu çalışmada perde-çerçeve sistemlerin düşey ivmelere karşı çok hassas olmadığı sonucuna varılmıştır.

Bozorgnia ve Campbell (2000), yaptıkları araştırmalarının sonunda kısa periyotta en büyük düşey ivmenin yatay ivmeye oranını (V/H) Holocene zemin sınıfında elde etmiş olup, kısa mesafe ve kısa periyotlarda değerin 0.1 sn periyot için 1.5 ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Uzun periyotta en büyük V/H oranını sert kaya zeminde görmüş olup, bu zeminde değerin 0.7'ye ulaştığını gözlemlemişlerdir. Bu verilerle 2/3 yaklaşımının kısa periyotlarda, özellikle konsolide olmayan zeminlerde güvenilir olmadığını, uzun periyotlarda kullanılabilir olabileceğini fakat iyileştirilmeler yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Colnier ve Elnashai (2001), 4 katlı betonarme bir yapıda düşey ve yatay ivmelerin davranışını basitleştirilmiş bir kombinasyonla araştırmışlardır. Bu çalışmanın öncelikli amacı, yapının düşey periyodunda düşey ve yatay hareketlerin maksimum ivmeleri ve çeşitli düşey ivmenin yatay ivmeye oranları birleştirilerek yer hareketlerinin etkisini değerlendirmektir. Yatay ve düşey yer hareketinin genliğinin ikisinin de yapının düşey periyodunda etkisinin büyük olduğu gözlenmiştir.

Collier ve Elnashai (2001), depreme dayanıklı yapı tasarımında genellikle ihmal edildiğini söyledikleri düşey yer hareketinin son zamanlarda kaydedilmiş yakın kaynak etkili kayıtlardaki artışla ve saha içi gözlemleriyle birlikte dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında düşey yer bileşeninin önemini değerlendirmek için hesaplamalara ne zaman dahil edilmesi gerektiğini gösteren önermelerde bulunmuşlardır.

Button ve Cronin (2002), farklı şekil ve geometrilere sahip, 6.5-7.5 büyüklükleri arasında değişen depremlerle, çeşitli zemin sınıfları ve faya farklı

mesafe değişkenlerini kullanarak köprülerdeki düşey yer hareketinin etkisini araştırmışlardır. Düşey yer bileşeninin dahil edildiği ve edilmediği durumları kıyaslamışlardır. Faya yakın mesafedeki köprülerde düşey yer hareketinin etkisinin önemini vurgulamışlardır.

Shakib ve Fuladgar (2003), kayıcı mesnetli 2 boyutlu tek katlı bir yapıyı modelleyerek, düşey yer hareketinden etkilenen saf sürtünmeli tabandan izole edilmiş asimetrik yapının davranışını incelemiştir. Bu çalışmaya dayanarak, saf sürtünme tabanının yanal davranışı izole edildiğinde, düşey yer hareketinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Ayrıca yapı yatay ve düşey yer bileşenine aynı anda maruz kaldığında, yapının burulma davranışı, orta dereceli eksantriklik aralığında gözle görülür şekilde artmış olduğunu belirtmişlerdir.

Kalkan ve Gülkan (2004), 1999 yılında meydana gelen ve yıkıcı etkileri olan iki depremden sonra Kuzey Amerika ve Avrupa için geliştirilmiş olan yer hareketlerinin ampirik modellerini Türkiye’de sismik çalışmalarda kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar ve tahminlerin birbirlerinden çok farklı sonuçlar ortaya koyması sebebiyle, 1976 ile 2002 yılları arasında 47 ulusal depremden alınan 100 düşey yer hareketi kaydını bir araya getirerek, Türkiye’de yer hareketleri azalım ilişkilerini geliştirmek amacıyla kullanmışlardır. Büyüklük, kaynağa olan uzaklık ve yerel zemin koşullarına bakılarak maksimum düşey ivme tahmini yapılabilmesi için bilgi kümesi oluşturmuşlardır. Çalışma düşey/yatay oranının (V/H) spektral periyotlar ile güçlü; jeoloji, büyüklük ve mesafeyle daha zayıf bağının olduğunu ortaya koymuştur. Düşey yer bileşeninin yatay yer bileşenine oranı olan V/H değeri, kısa periyotlarda yani yüksek frekanslarda, yumuşak zemin sınıflarında kısa mesafede 0.9 değerine ulaştığı gözlenmiştir. En geniş uzun periyotlu spektral oranlar kaya zeminlerde oluşarak 0.5 değerini aştığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlarla birlikte düşey yer hareketinin yatay her hareketine olan oranı (V/H), 2/3 olarak kabul etmenin doğru yaklaşım olmadığını belirtmişlerdir.

Bozorgnia ve Campbell (2004), düşey yer hareketinin karakteristik özellikleri üzerine yaptıkları araştırmasında, M_w büyüklükleri 4.7 ile 7.7 arasında değişen dünya genelinde 36 farklı depremin 443 yakın kaynak ivme ölçerlerinden

alınmış sonuçları kullanarak %5 sönüm oranına sahip tepki spektrumlarından V/H oranlarının maksimum ivmeleri için yer hareketi modeli üretmişlerdir. Tüm kayıtlar, aktif tektonik bölgelerin sığ kırıklarının 60 km yakınındaki kırılma bölgelerinde yer almaktadır. V/H oranının doğal periyot, büyüklük, yerel zemin koşulları ve faya olan mesafe ile daha fazla, fay mekaniği ve derinlikle daha az ilgili olduğunu çalışmalarında ortaya koymuşlardır.

Elgamel ve He (2004), farklı deprem takımlarını kullanarak köşe periyotlarını, deprem azaltma katsayılarını, sönüm katsayılarını incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada düşey kayıtların 8 Hz ve daha yüksek frekansa sahip olduklarını gözlemlemiş ve bunun sismik tehlike analizi için önemli bir potansiyel olduğunu belirtmişlerdir. Yakın mesafe kaynakları için köşe periyotlarının 0.05 ve 0.15 olmasını, uzak mesafe için 0.05 ve 0.20 olmasını önermişlerdir.

Jalali ve Mansouri (2005), çelik moment çerçeve sistemlerle yaptıkları çalışmada yakın fay etkisindeki bölgelerde eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvvetinde artışlar meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda düşey yer hareketinin yatay yer hareketine oranını (V/H) da inceleyen ekip, oranın değerinin 0.3'ü geçmesi halinde önemli etkiler doğuracağını belirtmişlerdir.

Mwafy ve Elnashai (2006), 3 farklı betonarme çerçevesel grupta çalışma yapmışlardır. Bu gruplar, 12 katlı düzenli çerçeve, 8 katlı perde-çerçeve sistemli ve 8 katlı düzensiz yapılarıdır. Her bir yapı 4 farklı tasarım seviyesine sahiptir. Araştırma, toplamda incelenen 12 yapıdan oluşmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda düşey yer hareketlerinin yüksek binalarda alçak binalara göre daha etkili olduğu gözlenmiştir. Depremin düşey yükü hesaba katıldığında kolonlardaki eksenel yük artışının yanı sıra, eğrilik sünekliliği talebinin %45 seviyelerinden %60 seviyelerine yükseldiğini belirtmişlerdir.

Vamvatsikos ve Zeri (2008), 5 katlı bir yapı üzerinde düşey yer hareketlerinin dahil olduğu ve olmadığı kombinasyonları kullanarak sismik performansını değerlendirmişler, yönetmeliklerde kabulü yapılan kombinasyonların doğruluklarını araştırmışlardır.

Kim ve Elnashai (2008), deneysel ve analitik çalışmalarına istinaden betonarme yapıların yatay ve düşey deprem yer hareketlerinin birlikte olduğu

birleşik etkiden, yalnızca yatay yer hareketinin etkili olduğuna göre daha fazla hasara maruz kaldığını göstermişlerdir. Tasarımlarda düşey yer hareketinin etkisinin göz önüne alınmaması, oluşacak yük talebinin gereğinden az alınmasına, kapasitenin fazla olduğunun düşünülmesine ve bunların sonucu olarak da yapının güvenliğine tehlike oluşturacak durumlar oluşmasına neden olabilir. Bu sebeple, düşey yer hareketlerinin aktif fay hatları yakınlarında, yapıların kapasite ve tasarım aşamalarında dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Varevac ve Draganic (2010), düşey yer hareketinin etkisini geniş açıklıklı betonarme kirişler üzerinde incelemişlerdir. T ve dikdörtgen kesitten oluşan numunelerle 5, 10, 15, 20 m açıklıklara sahip basit mesnetli kirişler üzerinde düşey yer hareketinin etkisi altında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda EN 1998'e göre 20 m'nin altında olan açıklıklarda düşey yer hareketi ihmal edilebilir olmasına rağmen, düşey yer hareketinin etkisinin 20m'den fazla açıklıklarda etkili olduğunu belirtmişler ve hesaplarda faya uzaklığına bakılmaksızın dikkat edilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Kadid ve diğ. (2010), betonarme yapılarda düşey ve yatay deprem ivmelerinin sismik etkilerini araştırmışlardır. Araştırmayı yaparken rijit, yarı rijit ve esnek yapıları kullanarak nonlineer olarak toplu kütle ve yayılı kütle modelleriyle analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Kat ötelenmelerinde ve taban kesmelerinde büyük etkiler ortaya çıkmadığını, kolonlarda eksenel yükte artışlar meydana geldiğini ve kirişlerde düşey yer değiştirmelerin etkilendiğini belirtmişlerdir.

Di Sarno ve Elnashai (2011), 2009 yılında meydana gelen L'Aquila (İtalya) depremini baz alarak, betonarme kolonlarda yatay ve düşey yer hareketlerinin etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda eksenel yüklerin kolonlarda yatay ve düşey yer hareketlerinin birlikte etki etmesi sonucunda bariz artışlar gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gülerce ve Abrahamson (2011), çalışmalarında düşey/yatay (V/H) ivme oranları için yer hareketi denklem tahminlerine yer verirken, aynı zamanda yatay yer hareketi bileşeninin olasılıksal sismik tehlike analiz sonuçlarıyla bağlantılı düşey tasarım spektumları oluşturma yöntemlerini araştırmışlardır.

Kim ve Elnashai (2011), betonarme köprü ayaklarındaki düşey yer hareketinin etkisini araştırmışlardır. Northridge depreminde hasar görmüş bir köprü ve karayolları konsept köprü tasarımını incelemiştir. Farklı düşey yer hareketinin, yatay yer hareketine oranına (V/H) sahip yer hareketlerinin etkileri gösterilmiş ve yalnızca yatay yer hareketlerinin etkidiği duruma karşılaştırmalarını yapmışlardır. Düşey yer hareketinin eklenmesinin tüm seviyelerde ve bileşenlerde etkisinin olduğunu gözlemlemiştir. Bu yüzden düşey yer hareketinin özellikle dahil edilmesini engelleyecek zorluk olmadığı sürece analiz ve tasarım için yapıya dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. Aynı çalışma içerisinde yatay yer sarsıntılarını meydana getiren S dalgaları ile düşey yer hareketini meydana getiren P dalgalarının birbirinden farklı olduğunu da ortaya koymuşlardır. P dalgalarının boyunun S dalgalarından daha kısa olduğunu, o yüzden de daha yüksek frekans içeriğine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Alanjari ve Asgarian (2012), moment çerçevesi sistemlerin düşey yer hareketi etkisi altında sismik performanslarını değerlendirmişlerdir. 15 deprem kaydıyla, FEMA 350 yönetmeliğine göre analizleri yapmışlardır ve depremin elastik tepki aralığında düşey yer hareketinin büyük etkileri olmadığını, nonlinear davranış bölgesinde daha belirgin farklılıkların ortaya çıktığını gözlemlemiştir.

Lee ve Bradley (2013), Yeni Zelanda'da bulunan Canterbury bölgesinin düşey yer hareketi açısından değerlendirmesini yaparken, Yeni Zelanda Yönetmeliği ve Yer Hareketi Denklem Tahminleri arasındaki farkları incelemiştir. Yeni Zelanda yönetmeliğinin kısa periyot ve yakın fay etkisinde yeterli olmadığını, deprem tahminlerinin de geliştirilmesinin gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

Dana ve diğ. (2014), depremin düşey yer hareketinin yaygın yönetmeliklerde hesaplara oransal katılma şekillerini ve nonlinear dinamik analizler ile hesaplanmasını kıyaslamıştır.

Eren ve Beyen (2015), yatay olarak etkililmiş elastik tasarım ivme spektrumu ile düşey yer hareketinin tipik betonarme binaya etkisini araştırmışlardır. 2007 Deprem yönetmeliğinin lineer tasarımda güvenli tarafta kaldığını, fakat düşey

yer hareketinin etkisinin kolonlarda aksel yüklerde artış meydana getirmelerinden dolayı farklı hasar dağılımları gözlemlemişlerdir.

Baş ve Sevinç (2015), çok katlı betonarme bina üzerindeki çalışmalarının sonucunda en üst kat yatay yer değiştirme ve burkulma açısı değerlerinde değişim oluşmadığını belirtmişlerdir. Devrilme momentindeki artışın, yapının elemanlarında hasar seviyelerini değiştireceğini ve bu sebeple performansın düşeceğini öngörmüşlerdir. Mevcut binalarda ve yeni yapılacak binalarda düşey yer hareketinin etkisinin göz önüne alınması gerektiğini düşünmüşlerdir.

Harrington ve Abbie (2016), düşey yer hareketi sebebiyle yapıdaki yıkılma parametrelerini ölçmüşlerdir. Düşey yer hareketinden en fazla etkilenen elemanları belirlemek ve eleman seviyesinde yapısal göçmelerde yatay ve düşey yer hareketinin etkilerini araştırmak için çalışma yapmışlardır. İki farklı dinamik analiz numunelerinden elde ettikleri sonuçlara göre tüm yapısal elemanların düşey yer hareketinden etkilendiğini, fakat yer hareketinden en fazla etkilenen elemanın konsollar olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşey yer hareketinin Amerika bina tasarım şartnamelerinde belirtilenden daha fazla etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Birçok araştırmacı depremin düşey yer hareketini çeşitli açılardan ele almıştır. Kalkan ve Gulkan (2004), Bozorgnia ve Campbell (2004), Ambraseys ve Douglas (2003a), Yang ve Lee düşey yer hareketi spektrumu ve yer hareketi tahmin denklemleri üzerine çalışmışlardır. Button ve diğerleri (2002), Kunnah ve diğerleri (2008) ve Lee ve Mosalam (2014) düşey yer hareketlerinin köprüler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Öte yandan yer hareketlerinin düşey bileşenin etkileri Andersın ve Bertero (1973), Lin ve Shih (1982), Hall ve diğerleri (1995) ve Ambraseys ve Douglas (2003b) tarafından araştırılmıştır. Fakat bu araştırmalar çelik çerçeve sistemler ve/veya orta yükseklikteki veya alçak binalar için yapılmış olup, yüksek binalar için yapılmış çalışmalar sınırlıdır. Kadid ve diğerleri (2010) düşey sismik yüklerin yüksek binalarda az katlı binalara göre daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmada, saha gözlemleri ve analitik sonuçlar neticesinde basınç kırılması veya gerilme kırılması gibi kırılma türleri düşey ivmeler altında daha kritik olduğu ortaya çıkmıştır (Papazoglou and Elnashai,

1996). Bu kırılma türleri şüphesiz yüksek binalar gibi basınç taleplerinin fazla olduğu yapılarda çok önemlidir. Betonarme binalarda, kolonların kesme ve eğilme kapasitesi kolonun basınç kuvvetlerinin düşmesi sonucu düşer ve bu durum kolon duktilitesini düşürebilir (Shrestha, 2009). Betonarme yüksek binalar hakkında sayılı çalışmalardan biri düşey konsolları içerir (Iyengar and Shinozuka, 1972). 8 ve 12 katlı diğer araştırmalar Kadid ve diğerleri (2010) ve Javeed ve diğerleri (1997) tarafından yapılmıştır.



2. FARKLI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE DÜŞEY YER HAREKETİNİN ETKİSİ

2.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)

Ülkemizde daha önce kullanılmış ve 2018 itibariyle değişmiş olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBY, 2007) içerisinde depremin düşey bileşeni hesaba katılmamaktadır. Fakat yapısal tasarımda bazı sınırlandırma ve kısıtlamalar uygulanması zorunlu görülerek depremin düşey etkisinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Yönetmelikte düzensizlik türleri olarak tanımlanmış bölümdeki düzensizliklerden, Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği olarak adlandırılan B3 türü düzensizlik durumu, yeni yapılacak yapılarda bulunmaması istenmiştir. B3 türü düzensizliğini meydana getirecek durumlar aşağıda belirtilmiştir.

- Kolonların, binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve deprem ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.
- Üst kattaki perdenin, alt katta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Perdelerin, binanın her hangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez. (DBYHY 2007-2.3.2.4)

2.2 Uniform Building Code (1997)

Düşey yer hareketinin etkisi Uniform Building Code (1997) içerisinde, yapıdaki düşey yüke bağlı bir katsayı olarak ele alınmıştır. Uniform Building Code (1997) için deprem etkisindeki yük kombinasyonu:

$$1.2D + 0.5L \pm 1.0E$$

$$0.9D \pm 1.0E$$

Bu kombinasyonların betonarme yapılar için artırılması 1.1 ile çarpılarak yapılmaktadır. Burada D düşey yükü, L hareketli yükü, E deprem yükünü ifade etmektedir.

Deprem yükünün hesabı için kullanılan denklem aşağıdaki gibi olup yatay ve düşey bileşenden gelen yükleri ayırmaktadır.

$$E = \rho * E_h + E_v$$

$$E_v = 0.5 * C_a * I * D$$

Denklemlerde E_v düşey bileşeni, E_h yatay bileşeni, ρ fazlalık katsayısını, C_a deprem bölgesi ve zemin sınıfına bağlı katsayıyı, I bina önem katsayısını göstermektedir (UBC, 1997).

2.3 Eurocode 8 (2004)

Eurocode 8 (2004), yüzeyde belirli bir noktada meydana gelen deprem hareketinin etkisini elastik yer ivmesi tepki spektrumuyla belirlemektedir. Oluşturulan tepki spektrumunun genel şekli iki farklı deprem seviyesi için de aynıdır. Bu iki farklı deprem seviyesinden birincisi hafif şiddette deprem oluşması durumunda yapının kullanım sınırlarını korumasıdır. Diğer deprem seviyesi ise şiddetli göçmenin engellenmesidir. Eurocode 8'de düşey deprem bileşeninin elastik spektrumunun oluşturulması aşağıdaki denklemler yardımıyla yapılmaktadır.

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (n \cdot 3,0 - 1) \right] \quad 0 < T \leq T_B$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \quad T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot n \cdot 3,0 \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad T_D \leq T \leq 4s$$

Düşey spektrumların şekillerini oluşturmak için gerekli T_B, T_C, T_D ve a_{vg} değerleri Milli EK'ten (National Annex) alınabilir. Önerilen spektrum tipleri: Type 1 ve Type 2'dir.

Yatay deprem etkisi tanımlaması yaparken, yüzey dalgaları büyüklüğü 5.5'ten büyük değilse Type 2 kullanılmalıdır. Tablo 2.1'de düşey spektrum oluşturulurken A, B, C, D ve E zemin sınıfları için önerilen değerler gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Düşey elastik tepki spektrumu oluşturmak için önerilen değerler.

Spektrum	a_{vg}/a_g	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
Type 1	0,90	0,05	0,15	1,00
Type 2	0,45	0,05	0,15	1,00

Depremin düşey bileşenin hesaba katılması için Eurocode 8 (2004) çeşitli şartlar istemektedir. Düşey ivme 0.25 g'den büyük olması durumunda aşağıda sıralanan özelliklere sahip yapılarda etkisinin ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

- Açıklıkları 20m veya fazla olan yatay veya yataya yakın yapısal elemanlarda ;
- 5 m'den fazla uzunluğa sahip yatay veya yataya yakın konsol yapı elemanlarında ;
- Yatay veya yataya yakın ön gerilmeli elemanlarda ;
- Kolonları taşıyan kirişlerde ;
- Taban deprem yalıtımlı yapılarda ele alınmasını uygun görmüştür.

Düşey yer hareketinin etkilerinin ölçümü için yapılan analizlerde, yukarıda belirtilen maddeleri içeren elemanların düşey bileşenleri göz önüne alınırken komşu elemanların da rijitliği hesaba katılmalıdır. Ayrıca düşey yer hareketinin etkisi hesaba katılırken yalnızca yukarıda belirtilen durumlara sahip elemanlar ve doğrudan bağlantılı elemanlar veya alt yapıları göz önüne alınmalıdır.

Depremin üç yönü için yük kombinasyonlarına katılımları şu şekildedir :

$$Ed_x + 0.3 Ed_y + 0.3 Ed_z$$

$$Ed_y + 0.3 Ed_x + 0.3 Ed_z$$

$$Ed_z + 0.3 Ed_x + 0.3 Ed_y$$

Bu kombinasyonlarda Ed_x , Ed_y , Ed_z sırasıyla X yönlü, Y yönlü ve Düşey yönlü deprem yüklerini ifade etmektedirler (Eurocode 8, 2004).

2.4 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) binaların deprem etkisi altında deprem yüklerinin belirlenebilmesi amacıyla standart yer hareketi spektrumları oluşturulmuştur. Daha önceki yönetmeliklerde yalnızca yatay elastik spektrumu oluşturulurken, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) hem yatay hem de düşey elastik tasarım spektrumları oluşturulmaktadır. Düşey elastik spektrumu, yönetmelikte DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak sınıflandırılmış olan deprem hareketi düzeylerinden herhangi biri göz önüne alınarak yatay yer hareketi için tanımlanmış olan kısa periyot spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yer çekimi ivmesi cinsinden aşağıda verilmiş denklemlere göre tanımlanmaktadır.

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

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

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

$$T_{AD} = T_A/3 ; \quad T_{BD} = T_B/3 ; \quad T_{LD} = T_L/2$$

Denklemlerde yer alan $S_{aeD}(T)$ düşey elastik tasarım spektral ivmelerini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, T doğal titreşim periyodunu, T_{AD} ve T_{BD} köşe periyotlarını, T_{LD} uzun periyodu temsil etmektedir.

Düşey elastik tasarım spektral ivmelerinin hesaplanabilmesi için gerekli kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, harita spektral ivme katsayısı S_S ile kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_S 'in çarpımıyla elde edilir.

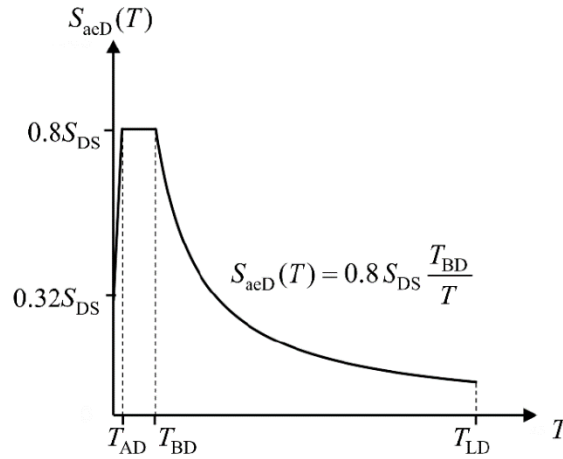
$$S_{DS} = S_S F_S$$

Yerel zemin etki katsayısı F_S değerleri, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 2.2'de verilmiştir. Ara değerler için enterpolasyon yapılabilir.

Tablo 2.2: Kısa periyot bölgesi zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı (F_s)					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
ZB	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
ZC	1,30	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20
ZD	1,60	1,40	1,20	1,10	1,00	1,00
ZE	2,40	1,70	1,30	1,10	0,90	0,80
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s , Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır. Denklemlerin uygulanması sonucu oluşan düşey elastik tasarım spektrumu Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Düşey elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018).

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre, Deprem Tasarım Sınıfı olarak tanımlanan sınıflandırma içerisinde 1, 1a, 2 ve 2a'ya karşılık gelen ve aşağıda belirtilmiş elemanları bulunduran binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak, yalnızca bu elemanlar için yine yönetmelikte tanımlanmış olan düşey ivme spektrumuna göre Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı yöntemiyle yapılması istenmektedir. Bu hesap yapılırken Düşey Deprem Etkisi olarak tanımlanan $E_d^{(z)}$ 'nin hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınması uygun görülmüştür.

- Açıklıkların yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,

- Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,
- Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Belirtilen elemanların dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve yapılan tanımın dışında kalan binalarda Düşey Deprem Etkisi olarak tanımlanan $E_d^{(Z)}$, özel hesap yapılmaksızın aşağıda gösterildiği gibi yaklaşık olarak yapılacaktır.

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

Yaklaşık olarak yapılan bu hesapta G sabit yük etkisini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisinin yük kombinasyonları aşağıda belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} G + Q + 0.2 S + E_d^{(H)} + 0.3 E_d^{(Z)} \\ 0.9 G + H + E_d^{(H)} - 0.3 E_d^{(Z)} \end{aligned}$$

Burada Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H zemin etkisini tanımlamaktadır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

2.5 American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16)

ASCE 7-16 (2016) yürürlüğe girmeden önceki versiyonları (ASCE 7-05, ASCE 7-10) depreme dayanıklı yapı tasarımında depremin düşey bileşenini ele alırken uygun rehberliği sağlamamaktaydı. Bu yönetmelikler öncesinde düşey bileşenin hesabında yatay bileşenin büyüklüğünün 2/3'ü kabulü yapılmaktaydı. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde hesapta kullanılan bu basit yaklaşımın bir çok koşulda geçerli olmadığı görülmüştür (Bozorgnia ve Campbell, 2004). Bunların ana nedenleri, kısa periyot bölgesinde (yüksek frekans aralığında) düşey yer bileşeninin yatay yer bileşeninden daha büyük etkiye sahip olduğu ve bu etkinin zemin kötüleştikçe artması ve düşey yer hareketinin yatay yer bileşeninden daha hızlı yayılması ve bu aradaki farkın depreme olan mesafe azaldıkça artmasıdır (Bozorgnia ve Campbell, 2004). Bunlar göz önüne alındığında periyot, yerel zemin koşulları ve faya uzaklık etkileri sebebiyle 2/3

yaklaşımının düşey yer bileşeninin etkisini belirlemede doğru olmadığı düşünülmüştür.

ASCE 7-16'da (2016) yatay tepki spektrumun yanı sıra düşey tepki spektrumu da oluşturulmuştur. ASCE 7-16'da oluşturulan MCE_R tasarım düşey tepki spektrumu, NEHRP 2009 şartnamesinde oluşturulan düşey spektrumun değiştirilmiş halidir.

MCE_R spektrumu için düşey spektral ivme değerleri, S_{aMV} aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$S_{aMV} = 0.3 C_v S_{MS} \quad T_V \leq 0.025 \text{ s}$$

$$S_{aMV} = 20 C_v S_{MS} (T_V - 0.025) + 0.3 C_v S_{MS} \quad 0.025 \leq T_V \leq 0.05 \text{ s}$$

$$S_{aMV} = 0.8 C_v S_{MS} \quad 0.05 \leq T_V \leq 0.15 \text{ s}$$

$$S_{aMV} = 0.8 C_v S_{MS} \left(0.15/T_V\right)^{0.75} \quad 0.15 \leq T_V \leq 2 \text{ s}$$

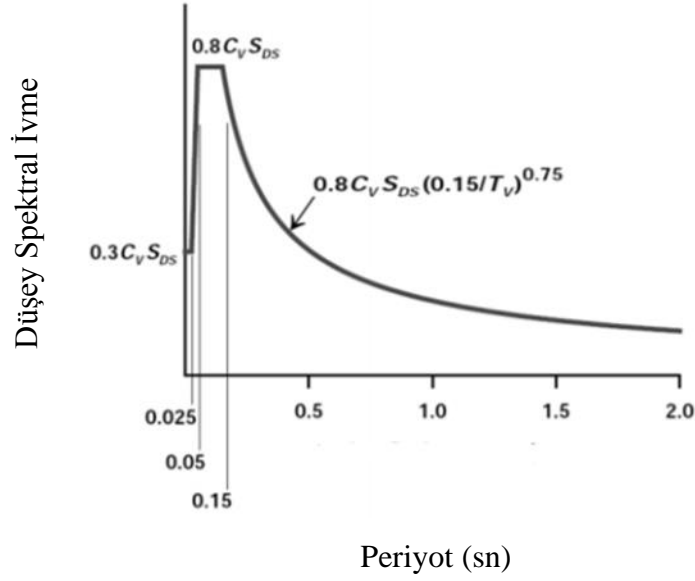
Denklemlerde kısa periyot değerine bağlı katsayı, C_v , Tablo 2.3'de gösterilmiş, S_{MS} değeri kısa periyot MCE_R spektral tepki ivmesi değerini ve T_V düşey titreşim periyodunu ifade etmektedir.

Tablo 2.3: Düşey katsayı değeri C_v (ASCE 7-16, 2016).

Kısa Periyot Bölgesi MCE_R Değeri	Zemin Sınıfı A, B	Zemin Sınıfı C	Zemin Sınıfı D, E, F
$S_s \geq 2.0$	0,90	1,30	1,50
$S_s = 1.0$	0,90	1,10	1,30
$S_s = 0.6$	0,90	1,00	1,10
$S_s = 0.3$	0,80	0,80	0,90
$S_s \leq 0.2$	0,70	0,70	0,70

ASCE 7-16'da (2016) Düşey Tasarım Tepki Spektrumu olarak tanımlanmış olan bir diğer spektrumun hesabında düşey tepki spektral ivmesi, S_{av} , MCE_R düşey tepki spektral ivme değerinin 2/3 üne oranlanarak oluşturulmaktadır.

Oluşturulmuş deprem spektrumu Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Düşey spektral ivme spektrumu (ASCE 7 -16).

ASCE 7-16 (2016) deprem yönetmeliğinde deprem etkisi hesaplanırken düşey deprem etkisi yaklaşık olarak aşağıda verilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

Düşey Deprem Yüğü E_v ,

$$E_v = 0.2 * S_{DS} * D$$

Hesaplanan düşey deprem yük taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilmesi esas alınmak üzere kombinasyonlarla hesaba katılmıştır.

Deprem hesabına katılımda kullanılan yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir:

$$1.2D + E_v + E_H + L + 0.2 * S$$

$$0.9D - E_v + E_H$$

Bu kombinasyonlarda S kar yükünü, L hareketli yükü, D ölü yükü, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_{av} düşey spektral ivme katsayısını göstermektedir (ASCE 7-16, 2016).

3. YAPISAL MODEL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER

3.1 Analizi Yapılacak Binanın Seçimi

Araştırma içerisinde kullanılacak bina, PEER tarafından Yüksek Binaların Sismik Performansını Araştırma (Moehle ve diğ, 2011) çalışması kapsamında kullanılmıştır. Binaların tasarımı ABD’de bilinen bir mühendislik firması olan Englekirk Partners Inc. tarafından gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan bina, Los Angeles, ABD’de bulunduğu varsayılarak tasarlanmış, 42 katlı çekirdek perde ve betonarme çerçevesi (dual sistem) sistemden oluşan yapıdır. Bina, Los Angeles Yüksek Bina Yapısal Tasarım Konseyi (Los Angeles Tall Building Structural Design Council, LATBSDC) tarafından 2008 yılında yayınlanan Yüksek Binalar için Alternatif Tasarım Yaklaşımı (An Alternative Design Approach for Tall Buildings) adlı performans esaslı tasarım kılavuzuna uygun olacak şekilde, servis depremi ve göz önüne alınan en büyük deprem altında ayrı ayrı incelenerek tanımlanan kriterleri sağlanarak projelendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

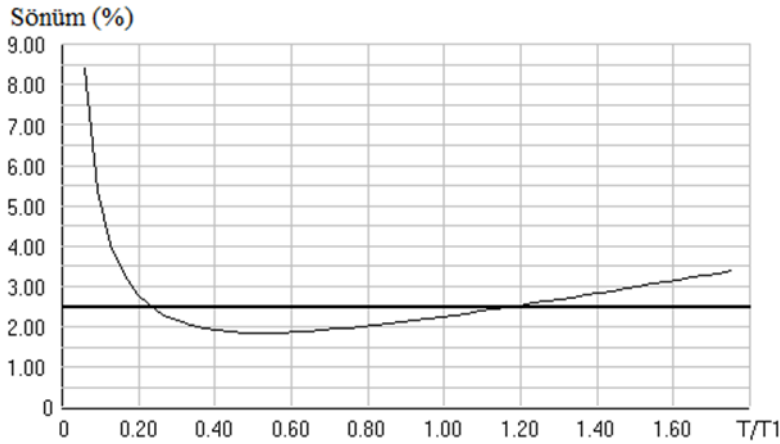
3.2 Analizi Yapılacak Binanın Perform 3D Modeli

Yapının taşıyıcı sistemlerinin modellenmesi doğrusal olmayan (nonlinear) şekilde ve üç boyutlu olarak Perform 3D (CSI, 2015) yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Perform 3D programı deprem mühendisliği hesapları için geliştirilmiş olan ileri düzeyde nonlinear hesap yapmaya yarayan programdır. Yüksek binaların doğrusal olmayan analizlerinde kullanılabilmesi sebebiyle bu tezde Perform 3D programı kullanılmıştır. Bina kütlesi her bir kat için o katta kütle merkezine etki ettirilmiştir. Yapının kule kısmında katlar rijit diyafram olacak şekilde modellenmesi yapılmıştır. Rijit diyafram kabulünde döşemeler kendi düzlemleri içerisinde sonsuz rijit kabul edilmektedirler. Bu kabul ile düzlem içi gerilmeler ve düzleme paralel şekil değiştirmeler ihmal edilmiştir. Dolayısıyla her kattaki düşey taşıyıcı elemanların yatay düzlemdeki göreceli yer değiştirmeleri göz ardı edilmiştir. Düşey yükler altında da döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı hesaplamalarda göz önüne alınmıştır. Bodrum katlarındaki döşemelerde modelleme yapılırken sonlu ağ

elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Binanın temeli yapının zeminden etkilenmediği varsayımıyla ihmal edilerek temel rijit olarak tanımlanmıştır. İkinci merteye etkileri olarak tanımlanan P- Δ etkileri göz önüne alınmıştır. Doğrusal olmayan analizler için Rayleigh sönümleme modeli kullanılmıştır. Sönüm oranı $0.2T_1$ ve $1.0T_1$ periyotlarında $\xi = 0.025$ olarak tanımlanmıştır (PEER/ATC-72, 2010). Şekil 3.1’de Rayleigh modeline göre sönümleme eğrisi görülmektedir. Rayleigh sönümleme eğrisi binanın hakim periyoduna bağlı olarak 1 sn ve 5 sn’deki kritik sönüm oranlarına göre oluşturulmuştur. T_1 binanın hakim periyodudur. Tablo 3.1’de Rayleigh sönümleme eğrisi için Perform 3D’ye tanımlanan parametreler gösterilmektedir. Sönümleme eğrisi oluşturulurken gerekli olan α ve β sabitleri Perform 3D programı tarafından oluşturulmuştur. Bu sabitler $\alpha=0.052327$ ve $\beta=0.0066357$ olarak hesaplanmıştır.

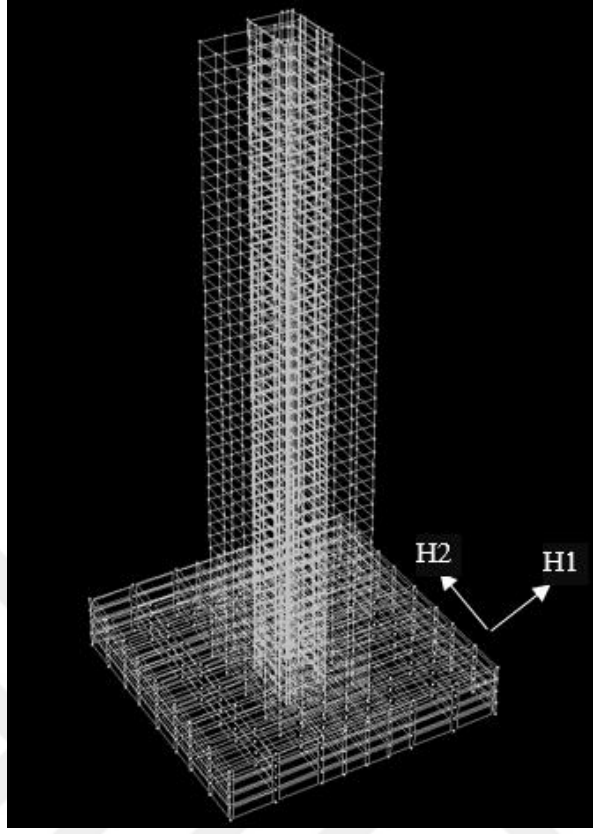
Tablo 3.1: Rayleigh sönümleme parametreleri.

T/T_1	Sönüm
0.234	0.025
1.17	0.025



Şekil 3.1: Rayleigh sönümleme eğrisi (Perform 3D).

. Şekil 3.2 binanın üç boyutlu modelini göstermektedir. Şekilde H1 doğu-batı ve H2 kuzey-güney doğrultularını temsil etmektedir.



Şekil 3.2: Bina üç boyutlu modeli (Perform 3D).

3.3 Model özellikleri

Bina 42 katlı, çekirdek-çerçeve bir yüksek binadır. Normal kat yüksekliği 2.97 m (10.5 ft) 'dir. Yapının zemin seviyesinin altında perdelerle çevrili dört bodrum kat mevcuttur.

Yapının taşıyıcı sistemi dual sistem olarak adlandırılan, yatay yük taşıyıcı sisteminin yapının ortasında birbirine bağlantıları bağ kirişleri sayesinde olan L şeklindeki perdelerin meydana getirdiği çekirdek perde ve binayı çevreleyen betonarme çerçeve sistemden oluşmaktadır.

Yapının tasarımı, performansa dayalı hesap yöntemi için tasarım ilkeleri göz önüne alınarak yapılmıştır. 2008 yılında Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council tarafından Amerika'da yayınlanan tasarım ilkelerine dayandırılarak tasarım yapılmıştır. Bu ilkelere göre iki aşamada binanın tasarımı yapılmıştır (LATBSDC, 2008).

Tasarımın birinci aşamasında tekrarlanma periyodu ortalama 25 yıl olan elastik tepki spektrumu yardımıyla 'Service Level' olarak adlandırılan servis deprem düzeyi için yatay yükler uygulanmış olup, yapısal elemanların elastik sınırlar içerisinde kalmasına göre tasarım boyutlandırmaları yapılmıştır.

Tasarımın ikinci kısmında ise Perform 3D (CSI, 2015) programıyla model analitik olarak programa aktarılmıştır. LATBSDC'de (2008) 'Maximum Considered Earthquake (MCE)' olarak gösterilen, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de Deprem Yer Hareketi Düzeyi 1 (DD-1) olarak ifade edilmiş, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan çok seyrek olarak görülecek deprem olarak nitelendirilen, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak tanımlanmış DD-1'e denk gelen spektrum deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır.

'Collapse Level' olarak adlandırılan yüksek şiddetli deprem düzeyi etkisi altında elemanların göçme öncesi şartları sağlayıp sağlamadıkları kontrolü yapılmıştır. Dikkat edilen hususlar:

- Eğilme etkisi altında çerçeve kiriş ve kolonlarının nonlineer sünec ,
- Kesme etkisi altında çerçevedeki kiriş ve kolonların lineer ve gevrek şekilde davranış göstermesi beklenir.
- Bağ kirişlerinin kesme etkisi altındaki davranışının doğrusal olmayan sünec davranış göstermesi beklenmektedir.

Yapının göçme öncesi durumu için boyutlandırıldıktan sonraki oluşan durumda tasarım detayları :

Karakteristik beton dayanımı :

- 20. kat altında 55.2 MPa (8000 psi)
- 20-30. kat arasında 41.4 MPa (6000 psi)

Perde duvar kalınlıkları:

- 20. kata kadar 61 cm (24'')
- 20-30. kat arası 46 cm (18'')
- 30. kat üzerinde 41 cm (16'') olmuştur.

- Bağ kirişler 76 cm derinliğe sahiptir. Bu bağ kirişler yapıda yüklerin aktarımını sağlamanın yanı sıra çekirdek perdeler arasındaki kapı geçişlerine de yaramaktadır. Kesme donatıları ~4φ29 ve ~6φ32 arasında değişmektedir.
- Kirişler 76cm x 91cm kesitinde 41.4 MPa dayanımında tasarlanmıştır. Kolonlar için bu boyutlar 91cm x 91cm ve 117cm x 117cm arasında 69 MPa ile 41.4 MPa arasında değişen dayanımlara sahiptirler. Yapıda nervürlü donatı kullanılmıştır. Donatıların karakteristik akma dayanımları 414 MPa'dır. Donatı çubukları ASTM A706 Grade 60 olacak şekilde kullanılmıştır.
- Tasarlanan bu yapıda modal analizler yapıldığında yapı doğal periyodunun 1. mod için H1 Doğu-Batı doğrultusunda 4.28 saniye olduğu görülmüştür. Yapının 2. modu H2 yönünde Kuzey-Güney doğrultusunda 3.89 saniye olarak ölçülmüştür (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: Yapı periyot özeti.

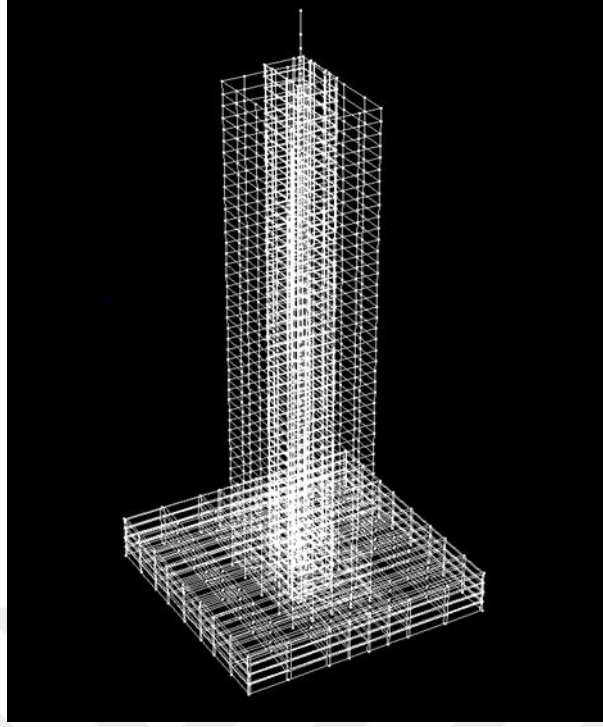
Mod	Periyot (sn)	Yön
1	4.28	H1
2	3.89	H2
3	2.39	Burulma

Yapılan analizler sonucunda binanın periyotlarıyla birlikte kütle katılım oranları Tablo 3.3'de görülebilir.

Tablo 3.3: Kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (sn)	H1	H2
1	4.28	70.75%	0.02%
2	3.89	0.01%	70.95%
3	2.39	2,00E-07	6,00E-05

Yapının hakim düşey periyodu 4. modda oluşmuştur. Bu moddaki periyot değeri 1.467 sn olarak ölçülmüştür. Düşey titreşim modunun hakim olduğu periyoda ait mod şekli Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



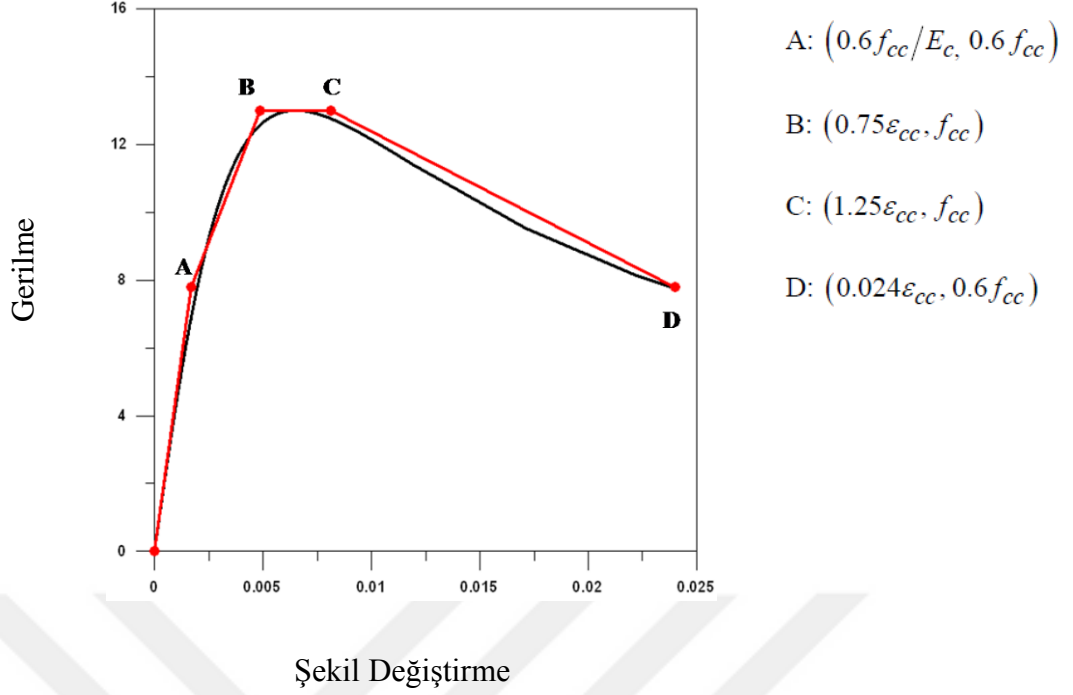
Şekil 3.3: Düşey mod şekli (Perform 3D).

3.3.1 Perdelerin modellenmesi

Farklı ve karışık geometri elemanlardan oluşan çekirdek perdelerin modellemelerinde kesitte ve boy üzerinde belli bir dağılıma sahip olmadığından yayılı plastisite yaklaşımı ile modellenmesi daha doğru olmaktadır. Yayılı plastisite yaklaşımıyla modellenen perde elemanlarda deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışları uygun şekilde gözlenip elde edilen sonuçlarda iç kuvvet ve deformasyonlar daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu yüzden perdeler yayılı plastisite yaklaşımıyla modellenmiş ve fiber elemanlar kullanılmıştır.

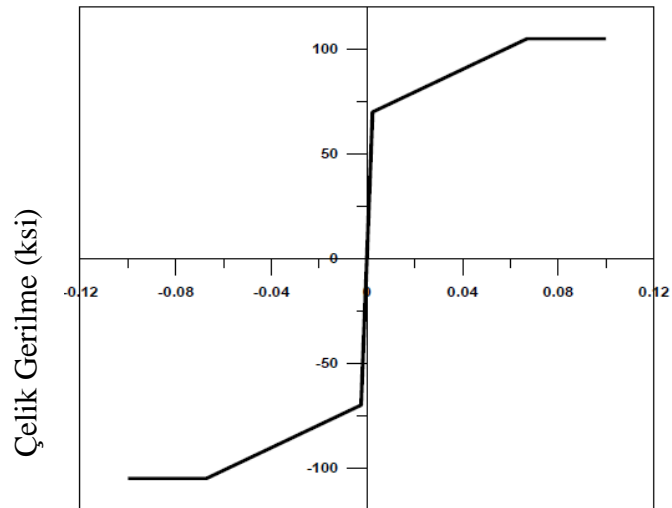
Ortalama dayanıma karşılık gelecek sargılı beton ve donatı çelikleri kullanılmıştır. Bu ortalama değerlerin karşılığı betonda $f_{ce}=1.3 f_{ck}$ olarak ele alınmıştır. Donatı için dayanım denklemi $f_{ye}=1.17 f_{yk}$ olarak hesaplanmıştır.

Betonun çekme davranışı modele katılmamıştır. Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.4'te gösterildiği üzere Mander modeline göre yapılmıştır (Mander ve diğ., 1988). Pas payı perdeler için ihmal edilmiş olup kesit kısa genişlik ölçüt alınarak hesaplanmıştır. Sargısız beton model içerisinde tanımlanmamıştır.



Şekil 3.4: Beton gerilme-şekil değiştirme bağıntıları (Tuna, 2012).

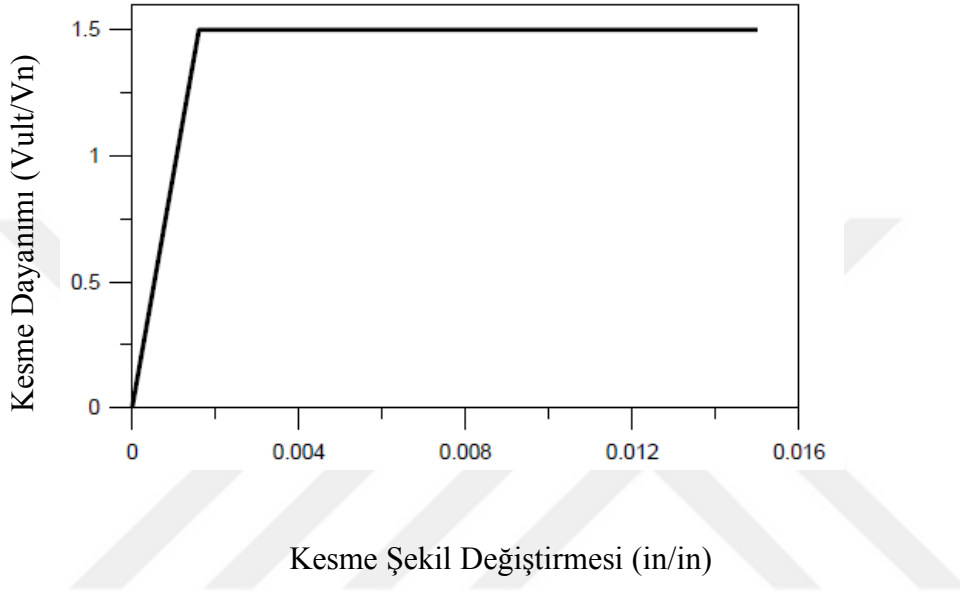
Donatılar için A706 çelik malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Donatı çeliği üç doğrulu olarak modellenip, çeliğin kopma noktası olan birim şekil değiştirmesinin 0.05'e eşit olduğu noktada dayanım sifira kadar azaltılmıştır (Şekil 3.5). Akma dayanımı grafikte de görüldüğü üzere yaklaşık 480 MPa (70 ksi) ve kopma dayanımı yaklaşık 720 MPa (105 ksi)'dir.



Çelik Şekil Değişirme (in/in)

Şekil 3.5: İnelastik çelik gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (Tuna, 2012).

Perdelerdeki kesme özellikleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Perde kesme özellikleri PEER/ATC-72'ye (2010) göre tasarlanmış olup ortalama kayma dayanımı ACI 318'de (2008) belirtilmiş dayanımın 1.5 katı alınarak modellenmesi tamamlanmıştır. V_{ult} ortalama kayma dayanımını, V_n ACI 318'e (2008) göre kesme dayanımını temsil etmektedir. G olarak gösterilen kayma modülü, elastik modülün yüzde 20 si olarak hesaba katılmıştır ($0.2 E_c$).

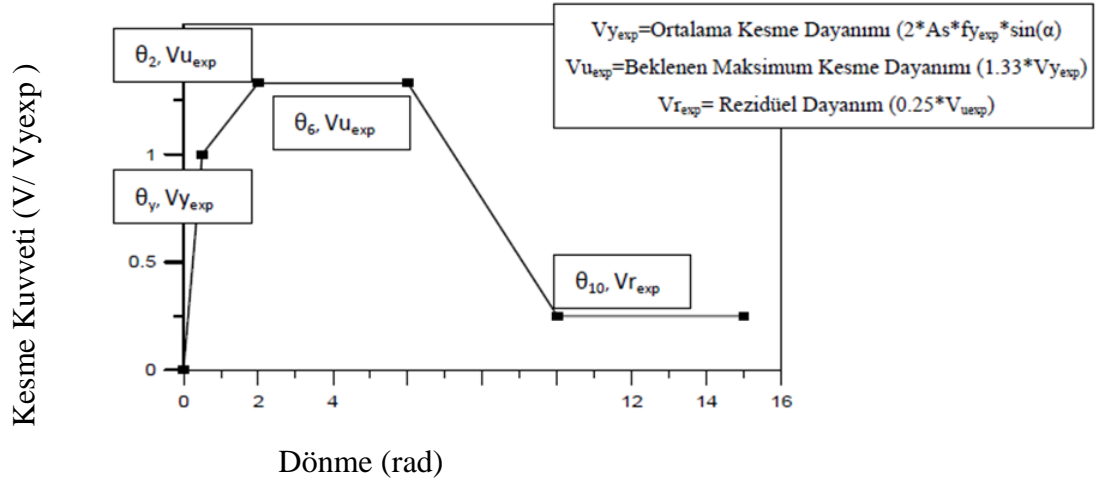


Şekil 3.6: Perdelerde kesme şekil değiştirme-gerilme bağıntıları (Tuna, 2012).

3.3.2 Bağ kiriş modellemesi

Bağ kirişleri Naish ve diğ. (2010) tarafından önerilmiş değerlere uyularak, tam ortalarında doğrusal olmayan kayma mafsalları kullanılmış ve elastik çubuk olarak idealleştirilmişlerdir. Bu kayma mafsalları sayesinde bağ kirişlerindeki dönme davranışı belirlenmiştir. Çatlamış kesite ait etkin rijitlikleri ($EI_{eff} = 0.2EI_g$) kullanılmıştır.

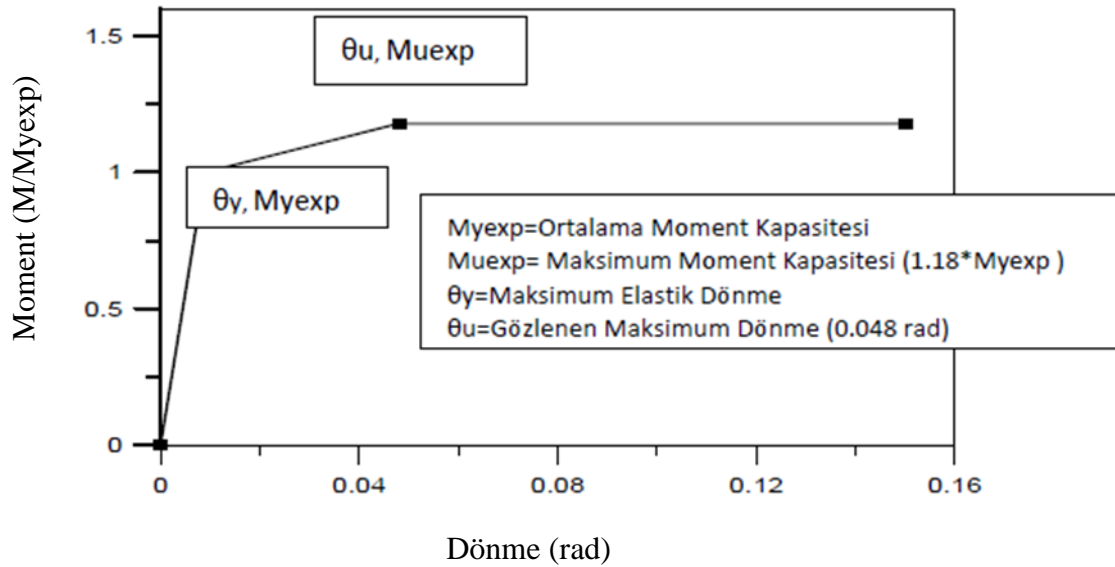
Şekil 3.7'de kesme dayanımı ve dönme ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Kayma mafsalı iskelet eğrisi.

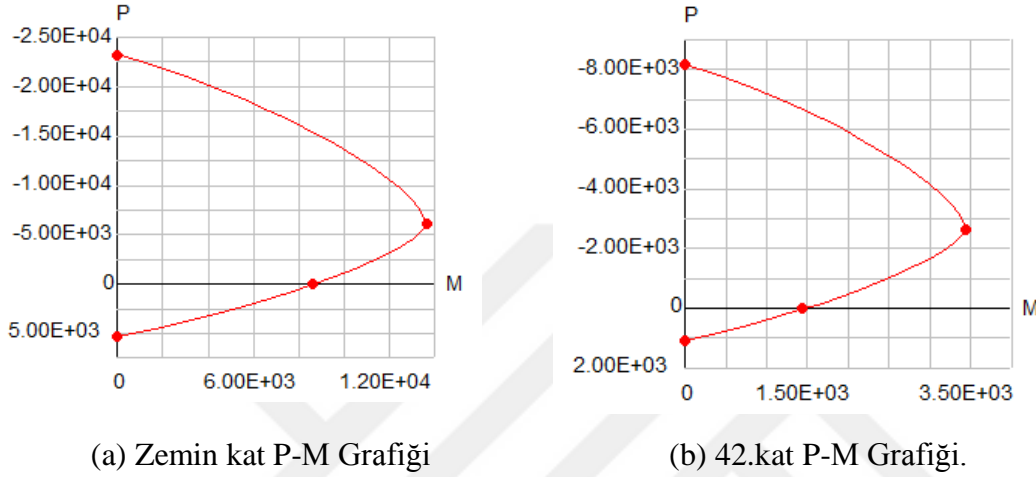
3.3.3 Çerçeve elemanlarının modellenmesi

Çerçeve elemanlardan kirişler, elastik çubuk olarak idealleştirilmişlerdir. Elastik çubukların uç noktalarında doğrusal olmayan dönme mafsalları tanımlanmıştır. Kirişler için etkin eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Kirişlerin etkin eğilme rijitliği, $EI_{eff} = 0.35EI_g$ olarak ASCE 41'e (2016) göre kabulü yapılmıştır. Nonlineer moment-dönme mafsalları Popov ve diğ. (1972) tarafından yapılan araştırmalara göre alınmıştır. Çubuk elemanların nonlineer histeretik bağıntılarında iskelet eğrileri tri-linear olarak, döngüsel azalmaları dahil edip dayanım kayıplarını ihmal ederek ele alınmıştır. Şekil 3.8'da kiriş için moment-dönme mafsal iskelet eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Moment-dönme mafsalı iskelet eğrisi.

Çerçeve elemanlarından kolonlar da kirişler gibi çubuk olarak idealize edilmişlerdir. Etkin eğilme rijitlikleri $EI_{eff} = 0.7EI_g$ olacak şekilde hesaplara katılmıştır. Plastik mafsallar kolonların aksenal yük moment diyagramları yardımıyla tanımlanmışlardır. Zarf eğrileri elastoplastik ve histeretik davranış altında rijitlik azalması ve dayanım azalmasının etkileri ihmal edilmiştir. Kolonlara ait Güney Doğu yönünde bulunan 42.kat ve zemin kata ait Kolon Aksenal Yük-Moment etkileşim diyagramları Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Kolon aksenal yük-moment grafikleri, (a), (b).

3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi

3.4.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre deprem kayıt seçimi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) zaman tanım alanında tüm boyutlarda (bir,iki ve üç boyutlu) deprem hesaplamalarında gerekli yer hareketleri için kullanılacak kayıtların seçimi ve bunların basit ölçeklendirme yöntemiyle veya spektral uyumu sağlanacak şekilde dönüşümlerinin yapılması için gerekli kurallar belirtilmiştir. Bu kurallar:

- Zaman tanım alanında deprem hesabı yaparken, göz önüne alınan deprem düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay kaynağı mekanizmaları, yerel zemin koşulları ve faya olan uzaklık göz önünde bulundurularak seçimler yapılmalıdır.
- Yapının bulunduğu bölgede tasarımda belirlenen ve esas olarak alınan deprem yer hareketi düzeyiyle uyumlu geçmişteki deprem kayıtlarına öncelik verilmelidir.

- Depremlerin büyüklük ve fay uzaklığı gibi sahaya özel deprem tehlikesinde en fazla katkı sağlayan bilgilerin belirlenmesinde deprem tehlikesi ayırıştırma işleminden faydalanılabilir.
- İstenilen düzeyde veya sayıda deprem kaydının seçimi tamamlanamadığında, zaman tanım alanında benzeştirilmiş deprem kayıtları kullanılabilir. Bu kayıtların kullanılabilmesi ve doğru performansları vermesi için yapının bulunduğu bölgedeki sismik kaynaklar, dalga yayılımları ve yerel zemin sınıfı özelliklerine dikkat edilmelidir. Benzeştirmede kullanılan modeldeki parametrelerin o bölgede daha önce görülmüş depremlerde kaydedilen deprem kayıtları ile benzer oldukları belirtilmelidir. (TBDY, 2018)

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme yönteminin kullanılması yönetmelikte bir ve iki boyutlu hesaplarda ve üç boyutlu hesaplarda seçilen deprem kayıtları için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

a. Bir ve iki boyutlu hesaplarda:

Kayıtların tamamının spektrumlarının ortalaması $0.2 T_p$ ve $1.5 T_p$ periyotları arasındaki genliklerin, tanımlanmış olan tasarım spektrumunda aynı aralıktaki genliklerinden daha küçük olmaması koşuluyla genliklerin ölçeklendirilmesi yapılmalıdır.

b. Üç boyutlu hesaplarda:

Seçilen deprem kayıt takımının iki yatay bileşen spektrumunun kareleri toplamının karekökü alınmasıyla bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtların bileşke spektrumlarının ortalaması $0.2T_p$ ve $1.5 T_p$ arasındaki genliklerinin, tanımlanmış olan tasarım spektrumlarının aynı aralıktaki değerlere oranının 1.3'ten daha küçük olmaması koşuluyla ölçeklendirilmesi yapılmalıdır.

Her iki yatay bileşen ölçeği aynı katsayıyla yapılmalıdır.

Koşullandırılmış ortalama spektrumlardan yararlanılarak analiz sonuçlarında daha az saçılma sağlayacak şekilde ölçeklendirme yoluna mevcut deprem verileri ve bina özelliklerinin gerekli olması durumunda ve sahaya özel deprem spektrumu belirlenmesi koşuluyla gidilebilir.

Spektral uyum sağlanacak şekilde yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinde, dönüştürülmüş yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamalarının tüm periyotlarda tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmaması koşuluyla zemin analizlerinde veya zaman tanım alanında yapılacak diğer hesaplarda kullanılabilir. (TBDY, 2018)

3.4.2 Analiz için deprem kayıtları ve seçimi

Bu çalışmada deprem kayıtlarının seçimlerinde uygulanan işlemler PEER'in raporunda belirtilen düzen kayıtların seçiminde dikkate alınmıştır (Moehle ve diğ., 2011). Deprem düzeyleri SLE43, DBE ve MCE olarak adlandırılan yapının servis ömürlerinde meydana gelme olasılığının fazla olduğu fakat şiddetinin düşük olduğu yer hareketleri olduğu gibi meydana gelme olasılığının düşük fakat şiddetinin yüksek olduğu deprem düzeylerini de içermek üzere 3 farklı düzeyden oluşmaktadır.

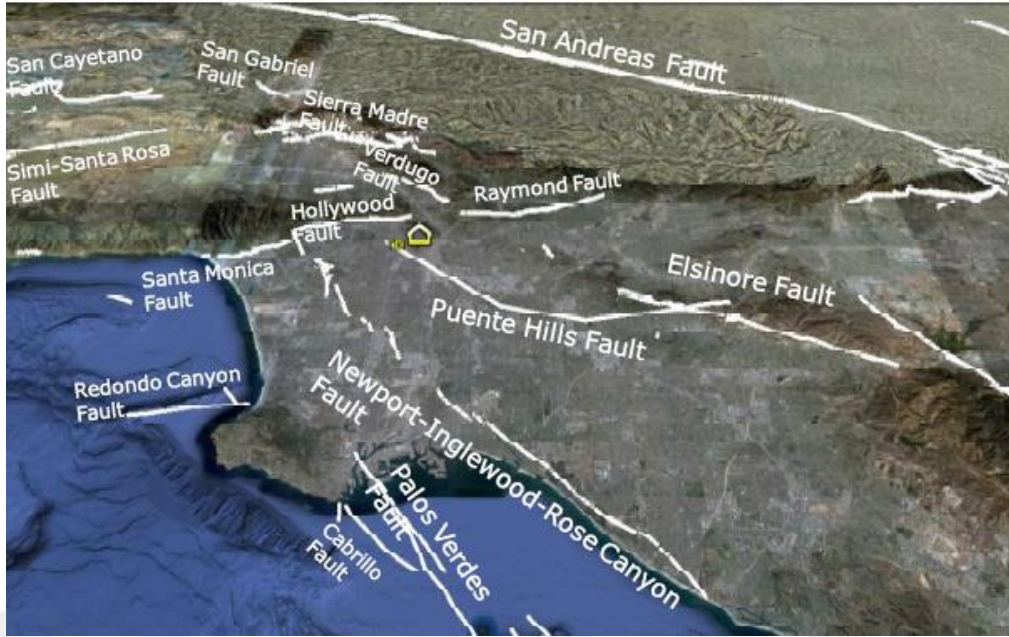
SLE43: 30 yılda aşılma olasılığı %70 olan, tekrarlanma sıklığı (dönüş periyodu) 43 yıla denk gelen deprem düzeyidir.

DBE: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan, tekrarlanma sıklığı (dönüş periyodu) 475 yıla denk gelen deprem düzeyidir.

MCE:50 yılda aşılma olasılığı %2 olan, tekrarlanma sıklığı (dönüş periyodu) 2475 yıla denk gelen deprem düzeyidir.

Bu deprem düzeyleri Türkiye'deki deprem yönetmeliklerinde olan düzeylerle karşılaştırıldığında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre SLE43 düzeyi DD-4 Deprem Düzeyine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan tekrarlanma periyodu 43 yıla tekabül eden deprem yer hareketi düzeyine, DBE düzeyi DD-2 Deprem Düzeyine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tekrarlanma periyodu 475 yıla tekabül eden deprem düzeyine, MCE ise DD-1 Deprem Düzeyine 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketine düzeyine karşılık gelmektedir.

Analizleri yapılan bina -118.25 boylamında, 34.05 enleminde bulunmaktadır. Binanın bulunduğu zemin sınıfı C olarak belirlenmiştir. En üst 30 m zemin için ortalama kayma hızı (V_{s30}) 360m/sn'dir. Bölge Puente Hills fayına 1.5 km, Hollywood fayına 7.3 km, Raymaound fayına 8.8 km, Santa Monica fayına 11.5 km, Elsinore fayına 24.5 km, Sierra Madree fay sistemine 40 km ve San Andreas fayına 56 km uzaklıkta bulunmaktadır. Bu fayların arasında bulunan yapı, yakın-fay ve uzak-fay etkilerini en iyi şekilde gösterebilmektedir. Binanın bulunduğu bölge Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10: Binanın bulunduğu bölgedeki fay hatları (Moehle ve diğ., 2011).

Her bir deprem düzeyi için, 15 takım yer hareketi seçilmiştir. Bu takımların içerisinde, iki adet yatay ve bir adet düşey kayıtlar bulunmaktadır. Seçilen kayıtlar uygun deprem düzeyine ait olan hedef spektrum için yaklaşık olarak ölçeklendirilmiş ve uygun hale getirilmiştir.

Yer hareketleri Next Generation Attenuation (NGA) veri tabanından elde edilmiştir. Bu kayıtlar öncü ve artçı depremleri içermemektedir. Yer hareketlerinin seçiminde ve hedef spektruma uygun ölçeklendirilmesinde Moehle ve diğ. (2011) tarafından uygulanan işlemler :

1. Seçimlerde maksimum kayma dalgası hızı 180 ile 1200 m/s olan ve faya uzaklığı maksimum 100 km olan kayıtlar olmasına özen gösterilmiştir. Yapının bulunduğu bölgenin depremselliğini ve zemin koşullarını en iyi şekilde yansıtması için bu etkenler göz önüne alınmıştır. Yüksek bina performans değerlendirilmelerinde gerekli olduğundan, seçilen kayıtların Lowpass filtrelerinde 0.1 Hz frekansından az olmasına dikkat edilmiştir.
2. Bir kaydın her bir bileşeni için davranış spektrumları, %5 kritik sönüm oranına sahip Tek Serbestlik Dereceli Sistemine göre oluşturulmuştur. Spektrum ortalamaları alındıktan sonra tek spektrum haline getirilmiştir.
3. Geometrik ortalama spektrumu ve hedef spektrum arasındaki en küçük hata olarak tanımlanan ölçeklendirme faktörü hesaplanmıştır. Kabul edilebilir maksimum ölçeklendirme faktörü 5.0 olarak belirlenmiştir. Hataları

belirleyebilmek için 0.5 saniye ile 10 saniye arasındaki periyotlarda (0.1 saniye aralıkla) spektral ordinatlar göz önüne alınmıştır. Uzun periyotlarda hatalar daha iyi eşleşme sağlaması için ağırlıklandırılmışlardır. 0.5 ve 3 saniye arasındaki hatalar %10, 3 ve 7 saniye aralığındaki periyotlar %60 ve 7 ve 10 saniye aralığındaki periyotlar %30 ağırlıklandırılmıştır.

4. Ölçeklendirilmiş kayıtlar toplam hatalarına göre sıralanmıştır, en az hataya sahip 15 kayıt aynı deprem düzeyinde 2 den fazla olmamak üzere seçilmişlerdir.
5. Yapılan çalışmaların sonuçları referans alınarak saniye başı örnekleme sayısının düşürülmesinin büyük etki göstermemesine dayanarak, saniye başı örnekleme sayısı analiz sürelerini kısaltmak amacıyla orijinal örnekleme oranından saniyede 25 örnekleme oranına düşürülerek kullanılmıştır.

Seçim kriterlerine uyularak seçilmiş kayıtlar ve özellikleri tablolarda gösterilmiştir. (Tablo 3.4-3.9). Bu özellikler tablolarda:

- Deprem düzeyi isimleri (SLE, DBE, MCE),
- Sınıflandırıldığı deprem düzeyi ile birlikte analizler için verilmiş numaralar (1,2,3,...,14,15),
- Deprem isimleri,
- Deprem ivmelerinin kaydedildiği istasyonlar,
- Deprem büyüklükleri (M),
- Faya olan mesafe (R),
- Doğu-batı doğrultusunda kaydedilmiş en büyük ivme değeri (H1),
- Kuzey-güney doğrultusunda kaydedilmiş en büyük ivme değeri (H2),
- Düşey yönde kaydedilmiş en büyük ivme değeri (V),
- Fay mekanizmaları gösterilmiştir.

SLE deprem düzeyi için faya uzaklığı 0 ile 100 km arasında değişen kayıtlar kullanılmıştır. Bu deprem takımlarının fay mekanizmaları ters, ters oblik ve doğrultu atımlı şeklindedir. Deprem takımlarında moment magnitüdüleri 6.53 ile 7.9 arasında değişen büyüklüklere sahip deprem kayıtları seçilmiştir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da SLE deprem düzeyi için seçilmiş deprem takımlarına ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 3.4: SLE43 deprem takımları özellikleri.

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M(M _w)	R(km)
SLE 1		Chi-Chi, Taiwan	TAP020	7.62	98.98
SLE 2		Loma Prieta	Dumbarton Bridge West End FF	6.93	35.31
SLE 3		Chi-Chi, Taiwan	ILA013	7.62	81.71
SLE 4		Hector Mine	North Palm Springs Fire Sta #36	7.13	61.84
SLE 5		Denali, Alaska	R109 (temp)	7.9	42.99
SLE 6		Hector Mine	Mecca - CVWD Yard	7.13	91.96
SLE 7		Landers	Amboy	7.28	69.21
SLE 8		Cape Mendocino	Fortuna - Fortuna Blvd	7.01	15.97
SLE 9		Denali, Alaska	TAPS Pump Station #10	7.9	0.18
SLE 10		Imperial Valley-06	Delta	6.53	22.03
SLE 11		Landers	Desert Hot Springs	7.28	21.78
SLE 12		Kobe, Japan	OSAJ	6.9	21.35
SLE 13		Kocaeli, Turkey	Bursa Tofas	7.51	60.43
SLE 14		Kobe, Japan	Fukushima	6.9	17.85
SLE 15		Loma Prieta	So. San Francisco, Sierra Pt.	6.93	63.03

Tablo 3.5: SLE 43 depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	H1	H2	V	Fay Mekanizması
SLE 1		Chi-Chi, Taiwan	0.08	0.08	0.03	Ters Oblik
SLE 2		Loma Prieta	0.12	0.12	0.06	Ters Oblik
SLE 3		Chi-Chi, Taiwan	0.11	0.10	0.04	Ters Oblik
SLE 4		Hector Mine	0.10	0.09	0.06	Doğrultu Atımlı
SLE 5		Denali, Alaska	0.14	0.26	0.05	Doğrultu Atımlı
SLE 6		Hector Mine	0.11	0.09	0.04	Doğrultu Atımlı
SLE 7		Landers	0.10	0.12	0.09	Doğrultu Atımlı
SLE 8		Cape Mendocino	0.09	0.09	0.05	Ters Oblik
SLE 9		Denali, Alaska	0.07	0.06	0.24	Doğrultu Atımlı
SLE 10		Imperial Valley-06	0.11	0.14	0.14	Doğrultu Atımlı
SLE 11		Landers	0.26	0.23	0.17	Doğrultu Atımlı
SLE 12		Kobe, Japan	0.08	0.07	0.07	Doğrultu Atımlı
SLE 13		Kocaeli, Turkey	0.08	0.09	0.05	Doğrultu Atımlı
SLE 14		Kobe, Japan	0.09	0.11	0.20	Ters Oblik
SLE 15		Loma Prieta	0.14	0.25	0.03	Ters Oblik

DBE deprem düzeyi için faya uzaklığı 0-95 km arasında değişen kayıtlar kullanılmıştır. Bu deprem takımlarının fay mekanizmaları ters, ters oblik ve doğrultu atımlı şeklindedir. Deprem takımlarının moment magnitüdüleri 6.53 ile 7.9 arasında değişen büyüklüklere sahiptir. Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de DBE deprem takımlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6: DBE deprem takımları özellikleri.

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M(M _w)	R(km)
DBE 1		Chi-Chi, Taiwan	CHY067	7.62	83.56
DBE 2		Chi-Chi, Taiwan	TAP026	7.62	95.85
DBE 3		Landers	Barstow	7.28	34.86
DBE 4		Hector Mine	Mecca - CVWD Yard	7.13	91.96
DBE 5		Kocaeli, Turkey	Bursa Tofas	7.51	60.43
DBE 6		Landers	Yermo Fire Station	7.28	23.62
DBE 7		Kocaeli, Turkey	Zeytinburnu	7.51	51.98
DBE 8		Denali, Alaska	TAPS Pump Station #10	7.9	0.18
DBE 9		Imperial Valley-06	Delta	6.53	22.03
DBE 10		Cape Mendocino	Fortuna - Fortuna Blvd	7.01	15.97
DBE 11		St Elias, Alaska	Yakutat	7.54	80
DBE 12		Tabas, Iran	Tabas	7.35	1.79
DBE 13		Hector Mine	Mentone Fire Station #9	7.13	91.15
DBE 14		Duzce, Turkey	Duzce	7.14	0
DBE 15		Loma Prieta	Dumbarton Bridge West End FF	6.93	35.31

Tablo 3.7: DBE depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları.

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	H1	H2	V	Fay Mekanizması
DBE 1		Chi-Chi, Taiwan	0.22	0.23	0.02	Ters Oblik
DBE 2		Chi-Chi, Taiwan	0.30	0.32	0.05	Ters Oblik
DBE 3		Landers	0.30	0.29	0.07	Doğrultu Atımlı
DBE 4		Hector Mine	0.38	0.31	0.04	Doğrultu Atımlı
DBE 5		Kocaeli, Turkey	0.28	0.29	0.05	Doğrultu Atımlı
DBE 6		Landers	0.32	0.21	0.14	Doğrultu Atımlı
DBE 7		Kocaeli, Turkey	0.37	0.41	0.05	Doğrultu Atımlı
DBE 8		Denali, Alaska	0.23	0.22	0.24	Doğrultu Atımlı
DBE 9		Imperial Valley-06	0.36	0.48	0.14	Doğrultu Atımlı
DBE 10		Cape Mendocino	0.30	0.30	0.05	Ters
DBE 11		St Elias, Alaska	0.11	0.08	0.03	Ters
DBE 12		Tabas, Iran	0.44	0.52	0.64	Ters
DBE 13		Hector Mine	0.20	0.24	0.03	Doğrultu Atımlı
DBE 14		Duzce, Turkey	0.23	0.34	0.35	Doğrultu Atımlı
DBE 15		Loma Prieta	0.39	0.42	0.06	Ters Oblik

MCE deprem düzeyi için faya uzaklığı 0 ile 99 km arasında değişen kayıtlar kullanılmıştır. . Bu deprem takımlarının fay mekanizmaları ters, ters oblik ve doğrultu atımlı şeklindedir. Deprem takımlarının moment magnitüdüleri 6.53 ile 7.9 arasında değişen büyüklüklere sahiptir. Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da MCE deprem takımlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.8: MCE deprem takımları özellikleri.

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	Kayıt İstasyonu	M(M _w)	R(km)
MCE 1		Chi-Chi, Taiwan	TAP052	7.62	98.51
MCE 2		Chi-Chi, Taiwan	TCU067	7.62	0.64
MCE 3		Landers	Barstow	7.28	34.86
MCE 4		Landers	Yermo Fire Station	7.28	23.62
MCE 5		Kocaeli, Turkey	Bursa Tofas	7.51	60.43
MCE 6		Denali, Alaska	TAPS Pump Station #10	7.90	0.18
MCE 7		Kocaeli, Turkey	Hava Alani	7.51	58.33
MCE 8		Imperial Valley-06	Delta	6.53	22.03
MCE 9		Hector Mine	Indio - Riverside Co Fair Grnds	7.13	74.00
MCE 10		Cape Mendocino	Fortuna - Fortuna Blvd	7.01	15.97
MCE 11		St Elias, Alaska	Yakutat	7.54	80.00
MCE 12		Tabas, Iran	Tabas	7.35	1.79
MCE 13		Duzce, Turkey	Duzce	7.14	0.00
MCE 14		Loma Prieta	Dumbarton Bridge West End FF	6.93	35.31
MCE 15		Duzce, Turkey	Mudurnu	7.14	34.30

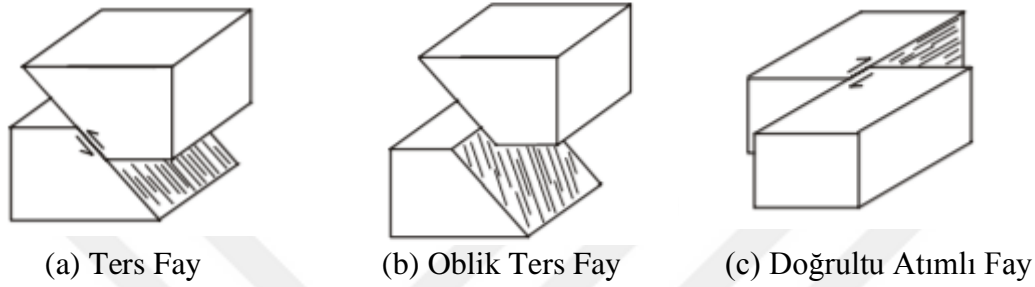
Tablo 3.9: MCE depremleri maks. ivme değerleri ve fay mekanizmaları.

Deprem Düzeyi	No	Deprem İsmi	H1	H2	V	Fay Mekanizması
MCE 1		Chi-Chi, Taiwan	0.25	0.49	0.04	Ters Oblik
MCE 2		Chi-Chi, Taiwan	0.61	0.43	0.24	Ters Oblik
MCE 3		Landers	0.41	0.41	0.07	Doğrultu Atımlı
MCE 4		Landers	0.45	0.29	0.14	Doğrultu Atımlı
MCE 5		Kocaeli, Turkey	0.38	0.40	0.05	Doğrultu Atımlı
MCE 6		Denali, Alaska	0.31	0.30	0.24	Doğrultu Atımlı
MCE 7		Kocaeli, Turkey	0.33	0.29	0.05	Doğrultu Atımlı
MCE 8		Imperial Valley-06	0.51	0.67	0.14	Doğrultu Atımlı
MCE 9		Hector Mine	0.30	0.45	0.05	Doğrultu Atımlı
MCE 10		Cape Mendocino	0.41	0.42	0.05	Ters
MCE 11		St Elias, Alaska	0.15	0.11	0.03	Ters
MCE 12		Tabas, Iran	0.62	0.72	0.64	Ters
MCE 13		Duzce, Turkey	0.32	0.47	0.35	Doğrultu Atımlı
MCE 14		Loma Prieta	0.54	0.58	0.06	Ters Oblik
MCE 15		Duzce, Turkey	0.60	0.28	0.06	Doğrultu Atımlı

SLE, DBE ve MCE deprem düzeylerinde seçilmiş olan deprem kayıtları ters, ters oblik ve doğrultu atımlı fay mekanizmalarına sahiptir. Bu fay mekanizmalarının tanımları aşağıda belirtilmiştir.

- Ters Fay : Bu faylarda tavan bloğu, taban bloğuna göre yukarı yönlü hareket yapmaktadır.

- Doğrultu Atımlı Fay : Fay blokları birbirlerine göre fayın doğrultusu boyunca hareket etmektedirler. Karşıdaki bloğun sağa hareket etmesiyle oluşan faylara sağ yön doğrultu atımlı fay, sola hareketiyle meydana gelen faylara sol yönlü doğrultu atımlı fay oluşmaktadır.
- Ters Oblik Fay : Fay doğrultusunun ve eğiminin bileşkesi şeklinde hareket etmesiyle meydana gelmiş faylara denir. Bu faylara ait şekiller Şekil 3.11(a),(b),(c) 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Deprem takımlarında kullanılan fay çeşitleri (Demirbağ, 2006).

3.5 Doğrusal Olmayan Analizlerin Yapılması

Yüksek binalarda düşey yer hareketinin etkisinin belirlenebilmesi için özellikleri verilen binanın Perform 3D (CSI, 2015) programı kullanılarak kurulan modeli üzerinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Doğrusal olmayan analizler yapılmadan önce modelin doğruluğunu anlayabilmek amacıyla modal analiz gerçekleştirilmiştir. Yapı modelinin kontrolü sağlandıktan sonra tekrar periyotları sırasıyla 43, 475 ve 2475 yıl olan SLE-43, DBE ve MCE deprem düzeyleri için açıklanan şekilde seçilmiş olan deprem kayıtları programda tanımlanarak öncelikle yalnızca yatay bileşenlerin olduğu analizler gerçekleştirilmiştir. Yatay yer hareketlerinin analizlerinin tamamlanmasının ardından, düşey yer hareketleri de programa tanımlandıktan sonra yatay ve düşey bileşenlerin birlikte olduğu analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda her bir deprem düzeyi için, köşe ve iç kolonlardaki eksenel kuvvet değişimleri, perdeler için eğilme moment değişimleri, görelî kat ötelenmeleri ve taban kesme kuvvetindeki değişimler elde edilmiştir.

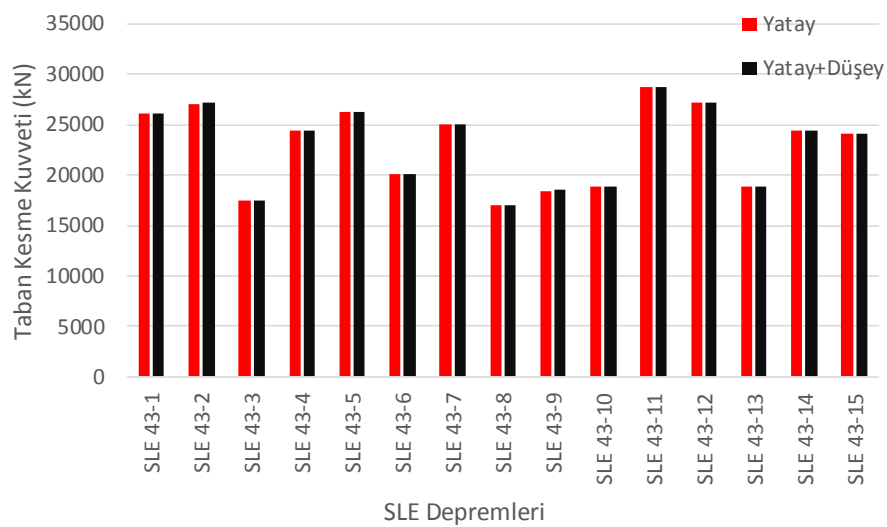
3.5.1 Taban kesme kuvvetleri:

SLE-43, DBE ve MCE deprem düzeyleri için yapılmış analiz sonuçlarına göre taban kesme kuvvetleri şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.12-3.14). Tablolar farklı deprem düzeyleri için seçilmiş deprem kayıtlarının yalnızca yatay bileşeniyle yapılmış ve yatayla birlikte düşey yer hareketinin dahil edildiği analizden elde edilmiş taban kesme kuvveti değerlerini göstermektedir. (Tablo 3.10-3.12).

Yapılan analizler sonucunda düşey yer hareketinin taban kesme kuvvetine etkisi belirgin düzeyde olmadığı gözlenmiştir. SLE deprem düzeyi için yapılmış analizlerde, MCE ve DBE deprem düzeyleri için yapılmış analiz sonuçlarına göre düşey yer bileşeninin etkisi daha az olmuştur. SLE deprem düzeyi için düşey yer bileşeni taban kesme kuvvetinde %0.04'lük artış meydana getirmiştir (Tablo 3.10).

DBE deprem düzeyi için yapılmış analizlerin sonucunda düşey yer hareketinin taban kesme kuvvetine etkisinin az olduğu görülmüştür. DBE deprem düzeyi için taban kesme kuvvetinde %8'lik artış meydana getiren analiz sonucu olmasına rağmen DBE deprem düzeyi depremleri için taban kesme kuvvetine ortalama etkisi yalnızca %0.42 dir (Tablo 3.11).

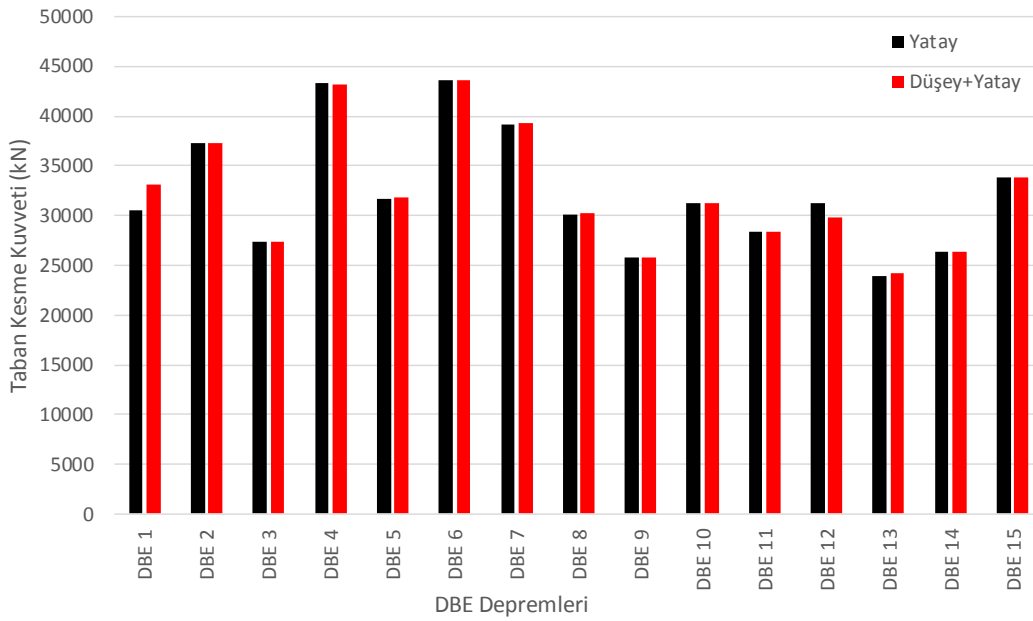
Şekil 3.14'te MCE deprem düzeyi için yatay yer hareketi ve yatay yer hareketi ile birlikte düşey yer hareketinin etkimesi sonucu oluşan taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. MCE deprem düzeyi için düşey yer hareketinin taban kesme kuvvetine etkisi Tablo 3.11'de ortalama %0.11'lik bir artış şeklinde olmuştur.



Şekil 3.12: SLE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

Tablo 3.10: SLE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

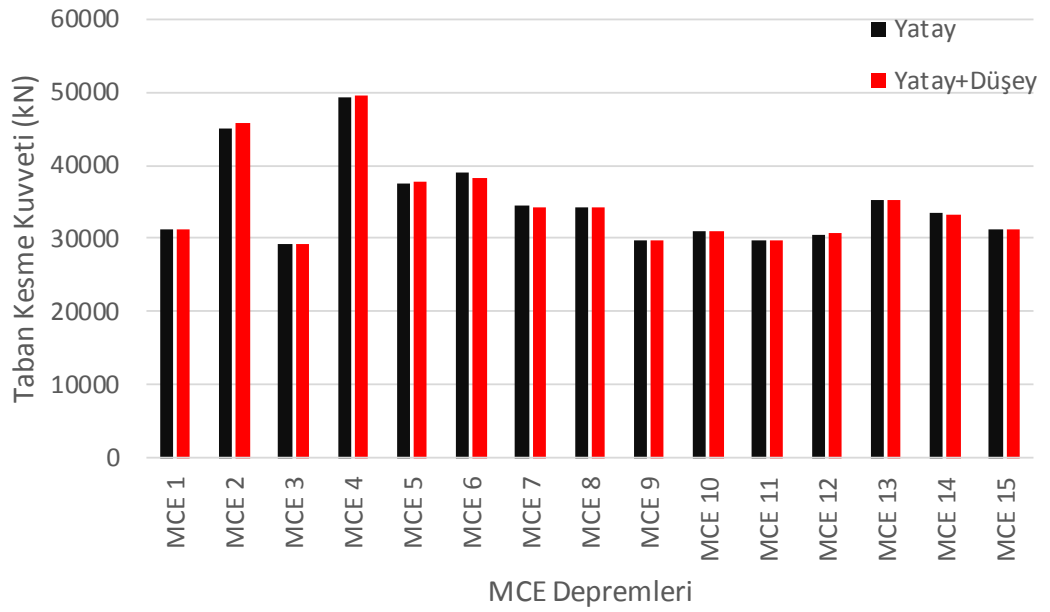
Deprem Düzeyi	Yatay (kN)	Yatay+Düşey (kN)	Fark	Ortalama
SLE 43-1	26144.7	26145.4	0.00	0.04
SLE 43-2	27020.5	27159.0	0.51	
SLE 43-3	17541.0	17537.2	-0.02	
SLE 43-4	24395.6	24371.6	-0.10	
SLE 43-5	26194.8	26208.7	0.05	
SLE 43-6	20081.3	20081.4	0.00	
SLE 43-7	24979.1	24965.2	-0.06	
SLE 43-8	17035.1	17053.4	0.11	
SLE 43-9	18418.3	18504.3	0.47	
SLE 43-10	18930.3	18846.5	-0.44	
SLE 43-11	28722.9	28699.1	-0.08	
SLE 43-12	27164.8	27176.3	0.04	
SLE 43-13	18927.4	18935.2	0.04	
SLE 43-14	24389.5	24379.0	-0.04	
SLE 43-15	24145.0	24161.3	0.07	



Şekil 3.13: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

Tablo 3.11: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

Deprem Düzeyi	Yatay (kN)	Yatay+Düşey (kN)	Fark	Ortalama
DBE 1	30505.78	33154.33	8.68	0.42
DBE 2	37274.13	37284.88	0.03	
DBE 3	27392.14	27421.92	0.11	
DBE 4	43278.08	43260.78	-0.04	
DBE 5	31722.49	31794.49	0.23	
DBE 6	43643.62	43658.88	0.03	
DBE 7	39170.41	39239.03	0.18	
DBE 8	30107.31	30269.15	0.54	
DBE 9	25843.41	25860.84	0.07	
DBE 10	31210.79	31222.79	0.04	
DBE 11	28375.21	28383.16	0.03	
DBE 12	31241.98	29846.27	-4.47	
DBE 13	23962.04	24146.78	0.77	
DBE 14	26426.18	26398.90	-0.10	
DBE 15	33827.08	33874.91	0.14	



Şekil 3.14: MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

Tablo 3.12: MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

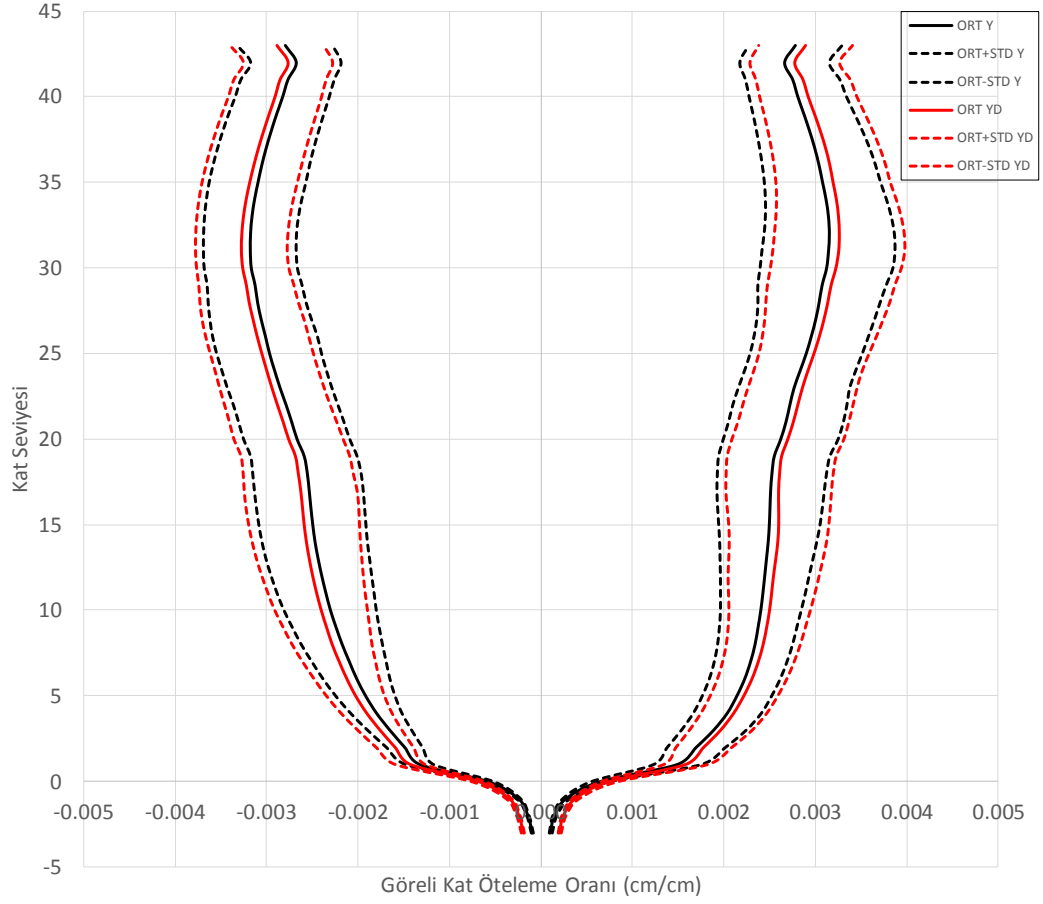
Deprem Düzeyi	Yatay (kN)	Yatay+Düşey (kN)	Fark	Ortalama
MCE 1	31220.98	31128.21	-0.27	0.11
MCE 2	44959.69	45890.61	2.07	
MCE 3	29141.52	29160.26	0.06	
MCE 4	49395.70	49602.63	0.42	
MCE 5	37510.39	37857.39	0.93	
MCE 6	39105.67	38224.93	-1.14	
MCE 7	34535.02	34255.54	-0.81	
MCE 8	34326.92	34356.97	0.09	
MCE 9	29720.57	29726.74	0.02	
MCE 10	30870.78	30903.43	0.11	
MCE 11	29619.79	29622.70	0.01	
MCE 12	30562.09	30625.97	0.21	
MCE 13	35230.30	35180.61	-0.06	
MCE 14	33374.53	33370.74	-0.01	
MCE 15	31175.09	31177.68	0.01	

3.5.2 Göreli kat öteleme oranları ve kat deplasmanları

Düşey yer hareketinin göreli kat öteleme oranı ve kat deplasmanlarına etkisini incelemek için farklı deprem düzeylerinde yalnızca yatay yer hareketi ve yatayla birlikte düşey yer hareketinin olduğu analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde binanın H1 (doğu-batı doğrultusu) ve H2 (kuzey-güney doğrultusu) için göreli kat öteleme oranları ve kat deplasmanları incelenmiştir.

Şekillerde SLE, DBE ve MCE deprem düzeyleri için sadece yatay bileşen (Y) ve yatay yer hareketiyle birlikte düşey yer hareketinin etkili olduğu (YD) analizlerin binanın H1 yönü için ortalama göreli kat öteleme oranları ve standart sapma sonuçları gösterilmiştir (Şekil 3.15-3.17).

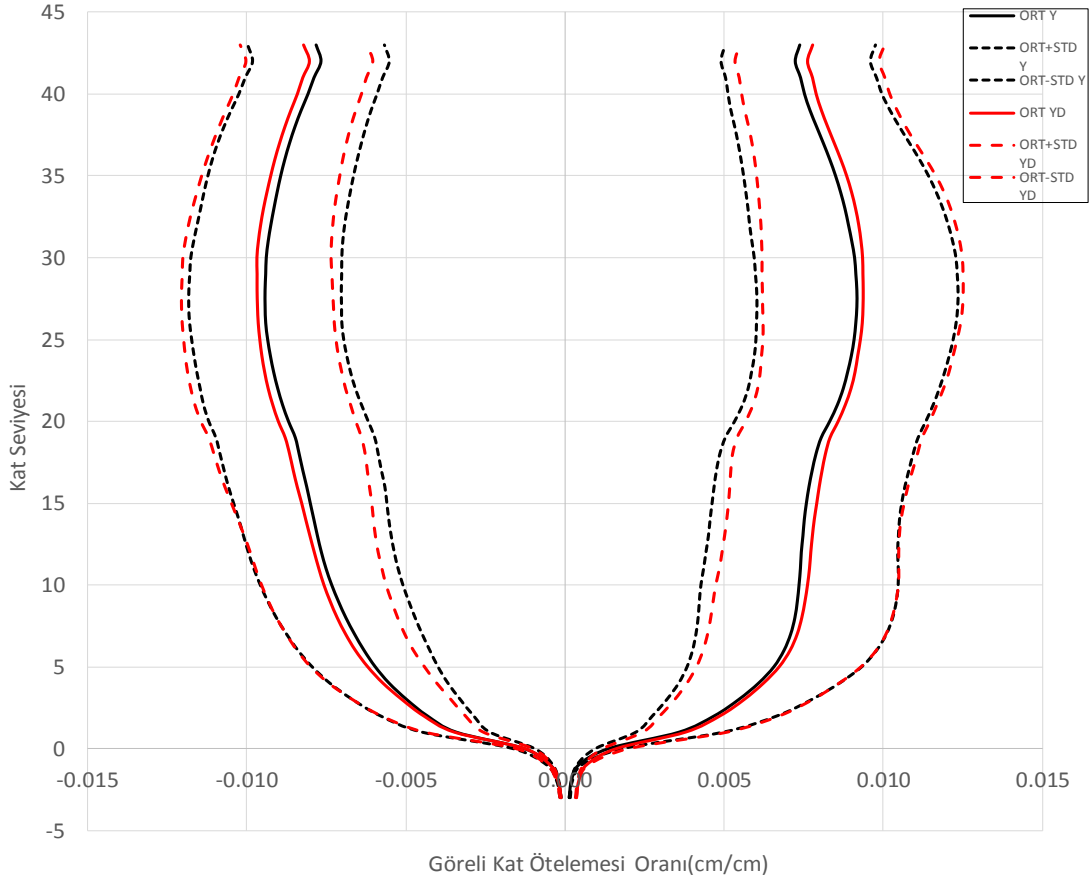
Şekil 3.15’de kırmızı düz çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, kırmızı kesikli çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapmasını temsil etmektedir. Siyah düz çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, siyah kesikli çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapma değerini ifade etmektedir.



Şekil 3.15: SLE deprem düzeyi görel kat öteleme oranları (H1 yönü).

SLE deprem düzeyine ait depremlerin yalnızca yatay bileşeniyle yapılmış analiz sonuçlarında en büyük öteleme oranı yaklaşık 0.031'dir. Düşey yer hareketinin analize dahil edilmesiyle bu oran yaklaşık 0.033 olarak görülmektedir (Şekil 3.15). Düşey yer hareketinin SLE deprem düzeyi için etkisi olmasına rağmen analiz sonuçlarında belirgin fark oluşturmamıştır.

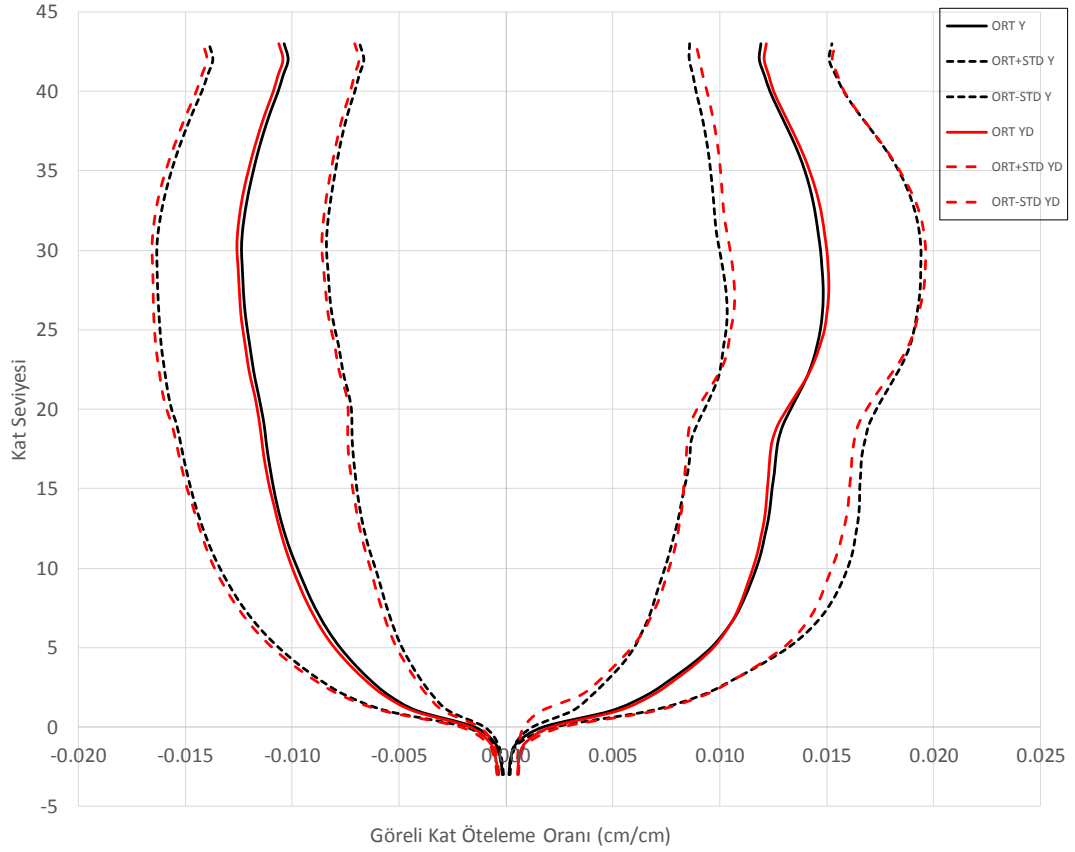
DBE deprem düzeyi için yapılmış analiz sonucu Şekil 3.16'de gösterilmiştir



Şekil 3.16: DBE deprem düzeyi görel kat öteleme oranları (H1 Yönü).

Yatay yer hareketiyle yapılmış analize göre ortalama görel kat ötelemesi oranı en büyük değeri 0.0056'dır. Yatay ve düşey yer hareketleriyle yapılan analiz sonucunda ortalama görel kat ötelemesi oranının en büyük değeri 0.0058 olmuştur. Düşey yer hareketinin etkisi DBE düzeyinde de etkisi olmasına rağmen belirgin fark oluşturmadığı gözlenmiştir.

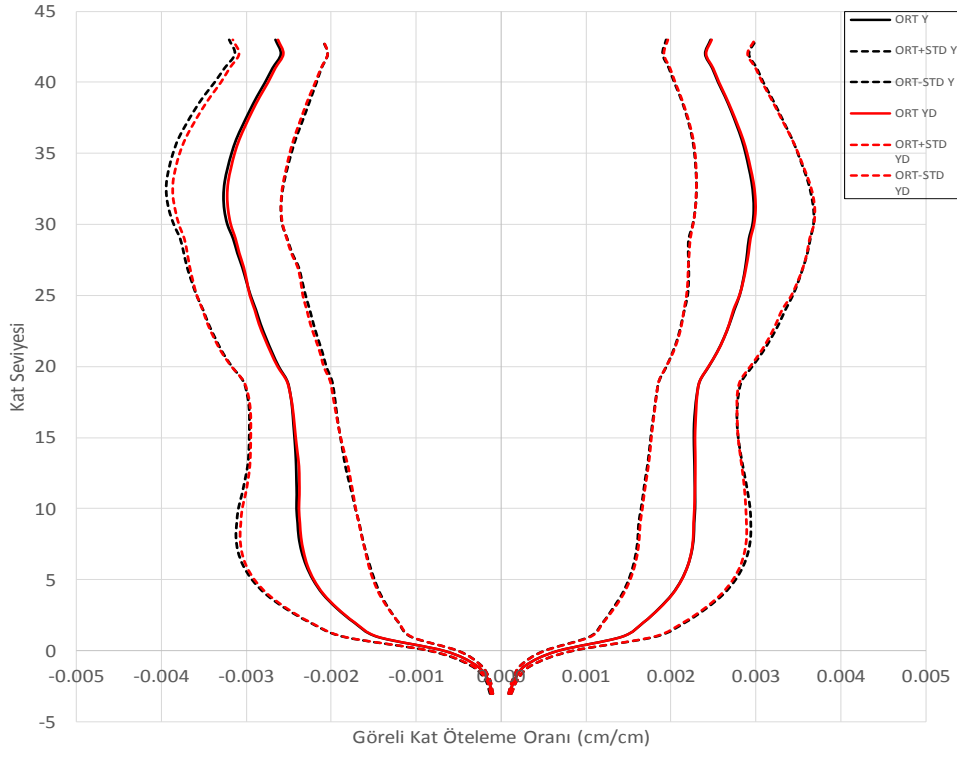
Düşey yer hareketinin MCE deprem düzeyi için ortalama görel kat ötelemesi oranına etkisi Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



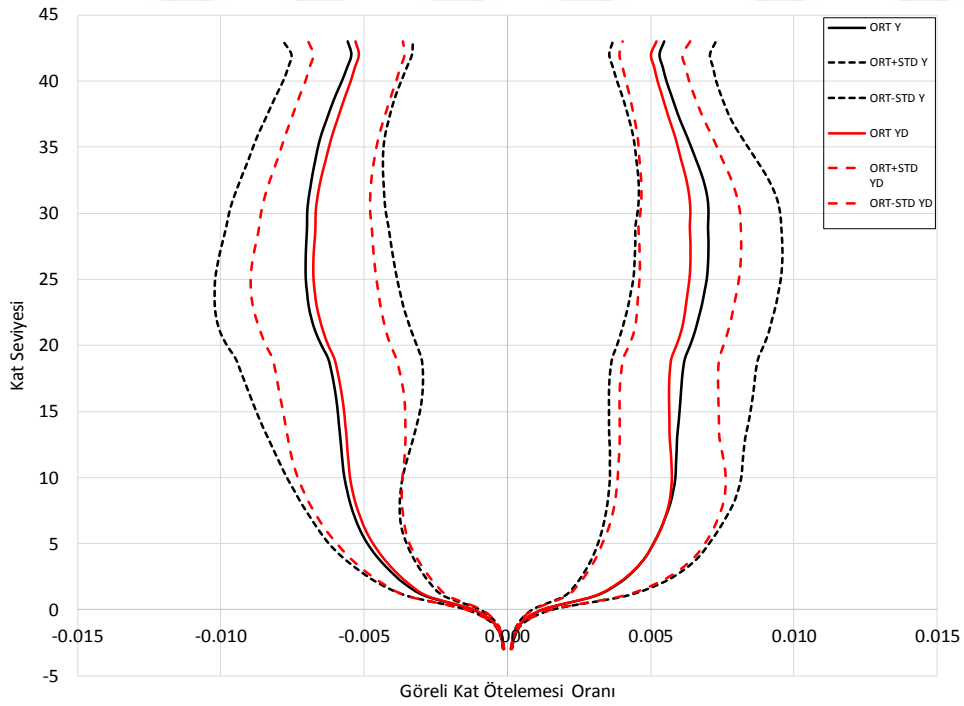
Şekil 3.17: MCE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H1 Yönü).

Şekil 3.17'e göre düşey yer bileşeninin MCE deprem düzeyinde kat ötelemesi oranında etkisinin fazla olmadığı görülmektedir.

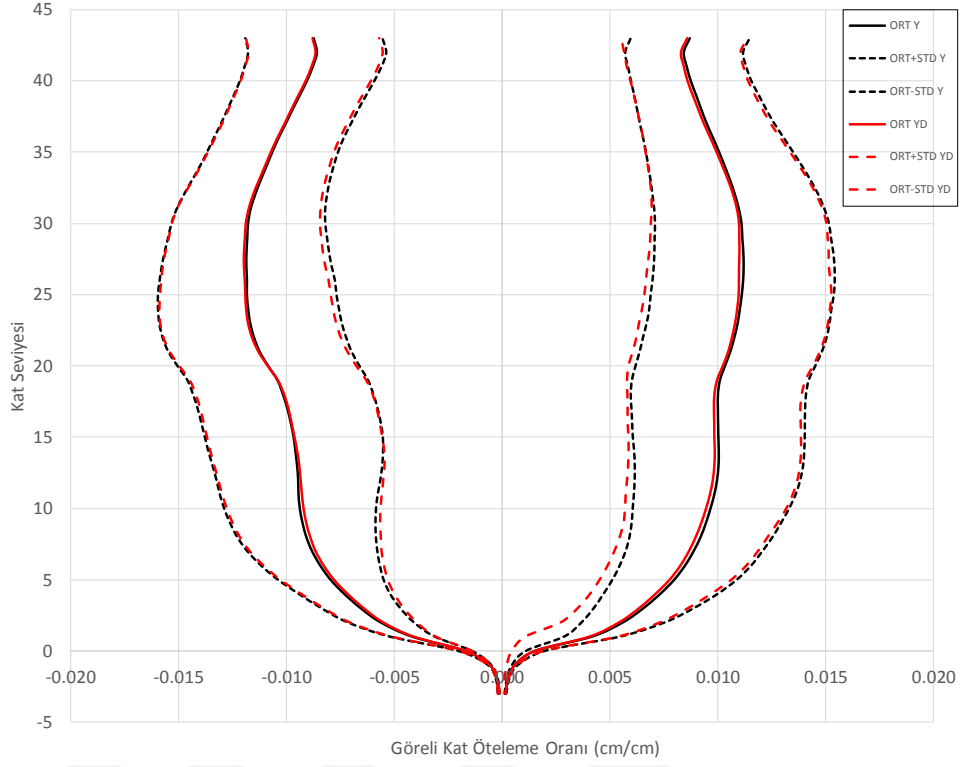
H2 (kuzey-güney doğrultusu) yönü için görel kat öteleme oranlarına ait şekiller verilmiştir (Şekil 3.18-3.20). Şekillerde kırmızı düz çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, kırmızı kesikli çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapmasını temsil etmektedir. Siyah düz çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, siyah kesikli çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapma değerini ifade etmektedir.



Şekil 3.18: SLE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).



Şekil 3.19: : DBE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).



Şekil 3.21: MCE deprem düzeyi görel kat öteleme oranı (H2 Yönü).

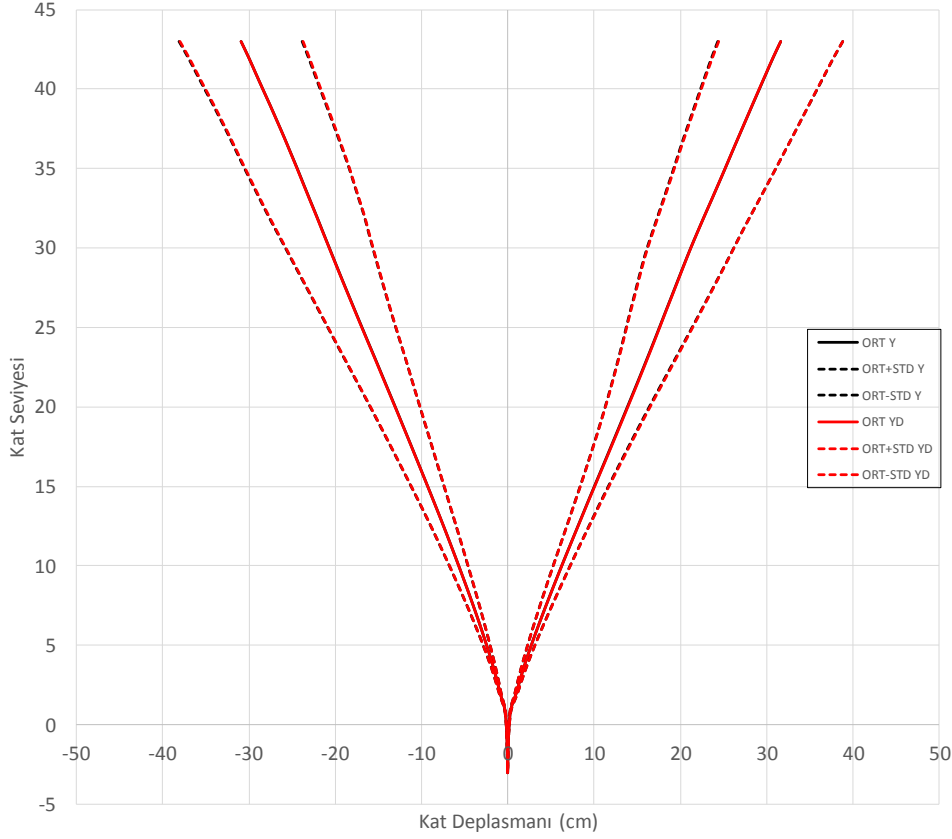
Şekil 3.18’de SLE deprem düzeyi için yatay yer hareketiyle düşey yer hareketinin birlikte olduğu analiz sonucu yalnız yatay yer bileşeniyle olan analiz sonucuna çok yakın olduğu görülmektedir. SLE deprem düzeyi için görel kat öteleme oranında düşey yer hareketinin etkisi çok azdır.

Şekil 3.19’a göre yatay yer bileşeninin etkisindeki analiz yatay ve düşey yer hareketinin birlikte olduğu analizlerden daha fazla görel kat öteleme oranına sahip olduğu, düşey yer hareketinin görel kat öteleme oranını artırmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 3.21’de MCE deprem düzeyinde düşey yer hareketinin etkisindeki analiz sonuçlarının yatay yer hareketinin etkisindeki analiz sonuçlarıyla yaklaşık olarak aynı olduğu gösterilmiştir.

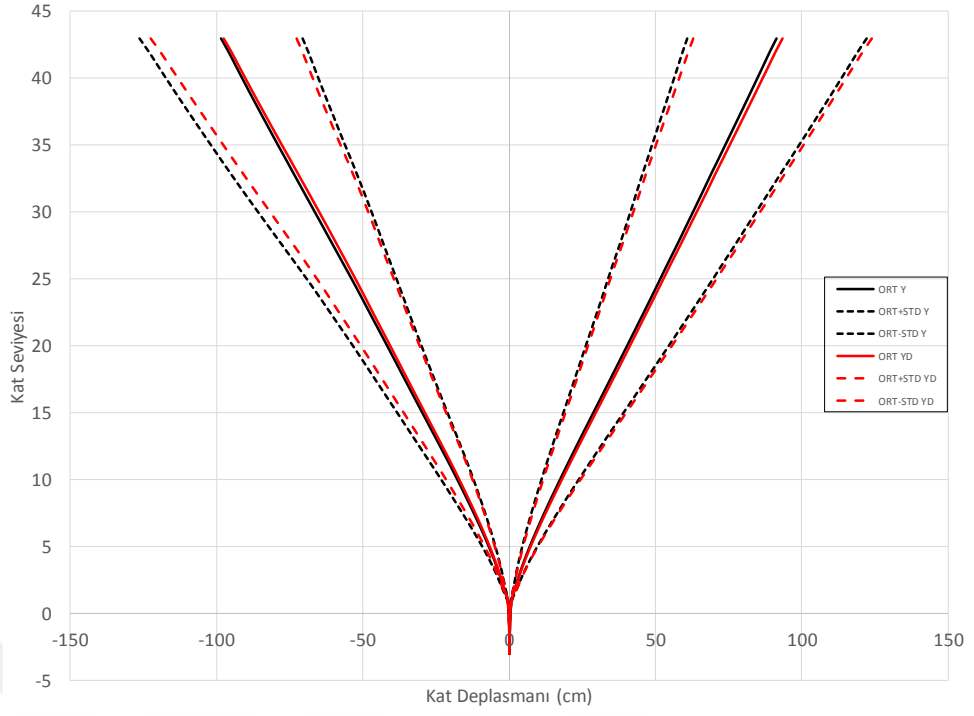
Analizlerde kat deplasmanları da incelenmiştir. Kat deplasmanlarının karşılaştırıldığı bina H1 ve H2 yönü için Şekil 3.22 ile Şekil 3.27 arasında verilmiştir. Şekillerde görel kat öteleme grafiklerinde olduğu gibi kırmızı düz çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, kırmızı kesikli çizgiler yatay ve düşey yer hareketinin birlikte etki ettiği analiz sonuçlarının

ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapmasını temsil etmektedir. Siyah düz çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalamasını, siyah kesikli çizgiler yalnızca yatay yer hareketinin etki ettiği analiz sonuçlarının ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapma değerini ifade etmektedir.



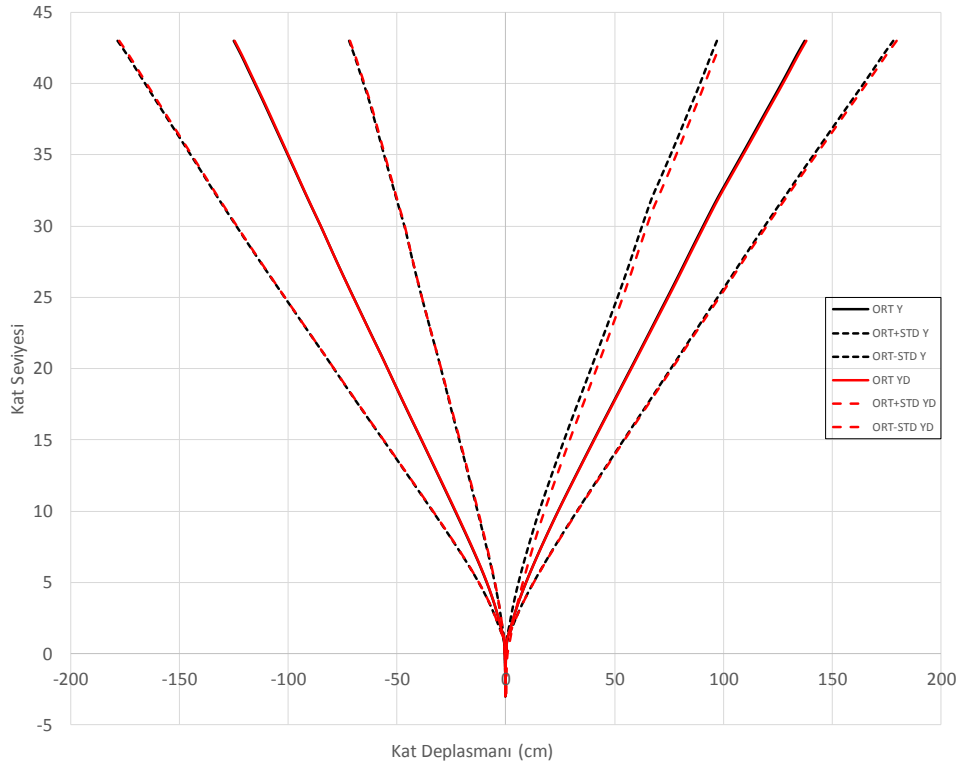
Şekil 3.22: SLE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).

Şekil 3.22'ye göre SLE deprem düzeyi için yatay bileşenle yapılmış analiz sonuçlarının düşey yer hareketinin etkisinin dahil edilmesiyle kat deplasmanlarında değişim olmadığı görülmüştür. SLE deprem düzeyi için kat deplasman hesaplarında yatay yer hareketinin etkisi düşey yer hareketinin etkisiz olması sebebiyle hesaplamalarda tek başına alınabilir.



Şekil 3.23: DBE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).

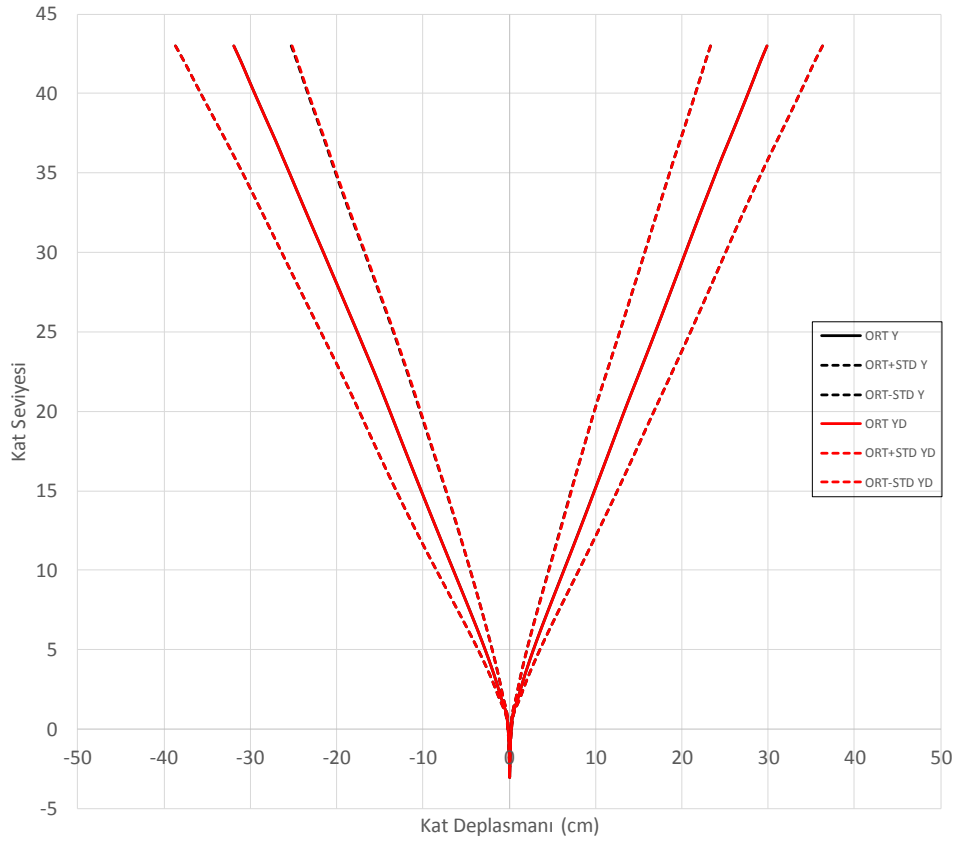
DBE deprem düzeyi için yapılmış analizlere göre kat deplasmanlarına düşey yer hareketinin etkisini gösteren Şekil 3.23'e göre düşey yer bileşeninin kat deplasmanlarında yaklaşık %2'lik artış meydana getirdiği görülmektedir.



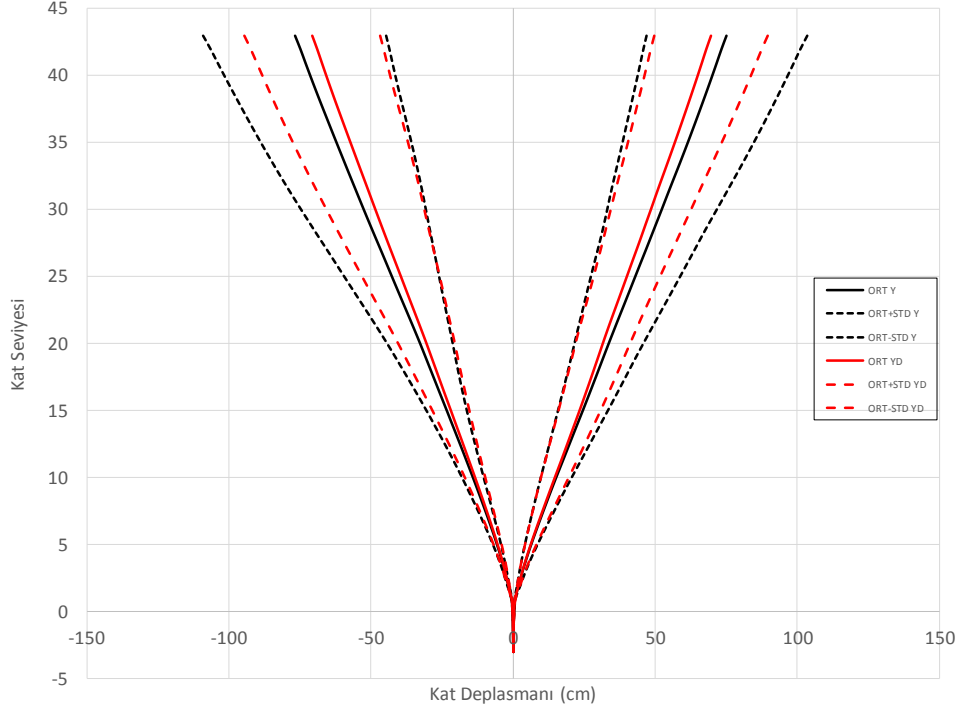
Şekil 3.24: MCE deprem düzeyi kat deplasmanı (H1 Yönü).

Şekil 3.24'te MCE deprem düzeyi için kat deplasman değerlerinin sadece yatay bileşen ve yatayla birlikte düşey yer hareketi ile yapılmış analizlerin karşılaştırılması verilmiştir. Grafiğe göre sadece yatay bileşenle yapılmış analizin düşey ve yatayın birlikte yapıldığı analizle arasında farkın çok az olduğu görülmektedir.

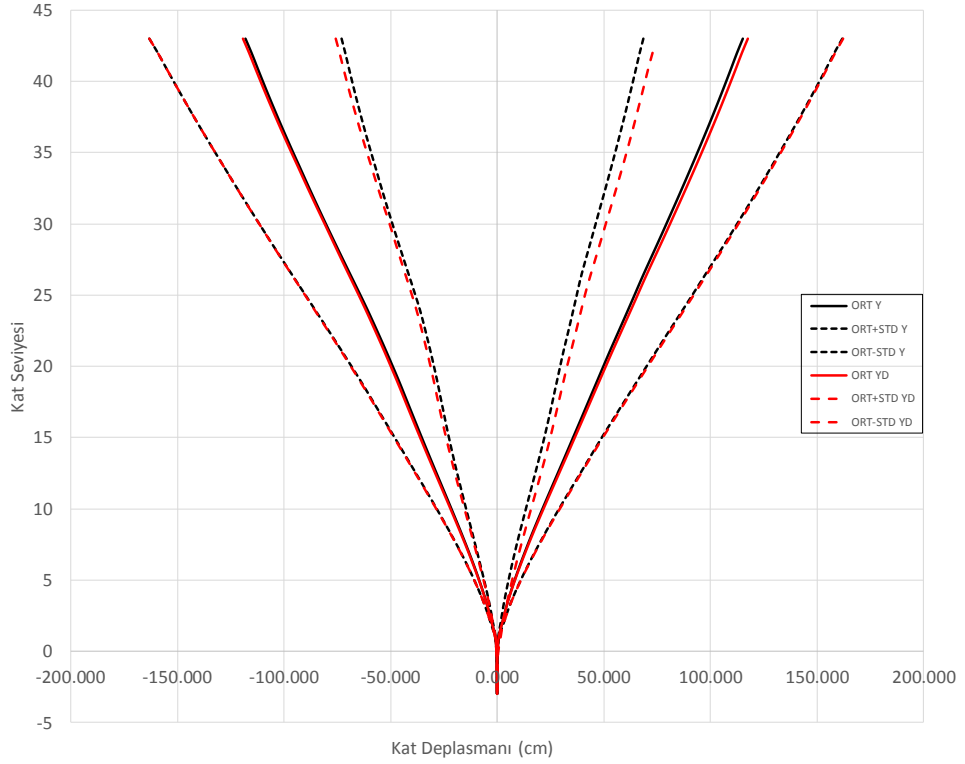
H2 yönü için elde SLE deprem düzeyinde düşey bileşenin yatay bileşenle olan analizinde fark gözlenmemiştir (Şekil 3.25). DBE deprem düzeyinde farkların olduğu ve düşey yer hareketinin kat deplasmanlarını artırmadığı, yatay yer hareketiyle yapılmış analiz sonuçlarının %5 daha fazla deplasman yaptığı gözlenmiştir (Şekil 3.26). MCE deprem düzeyi için düşey yer hareketinin kat deplasmanına etkisinin az olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 3.27).



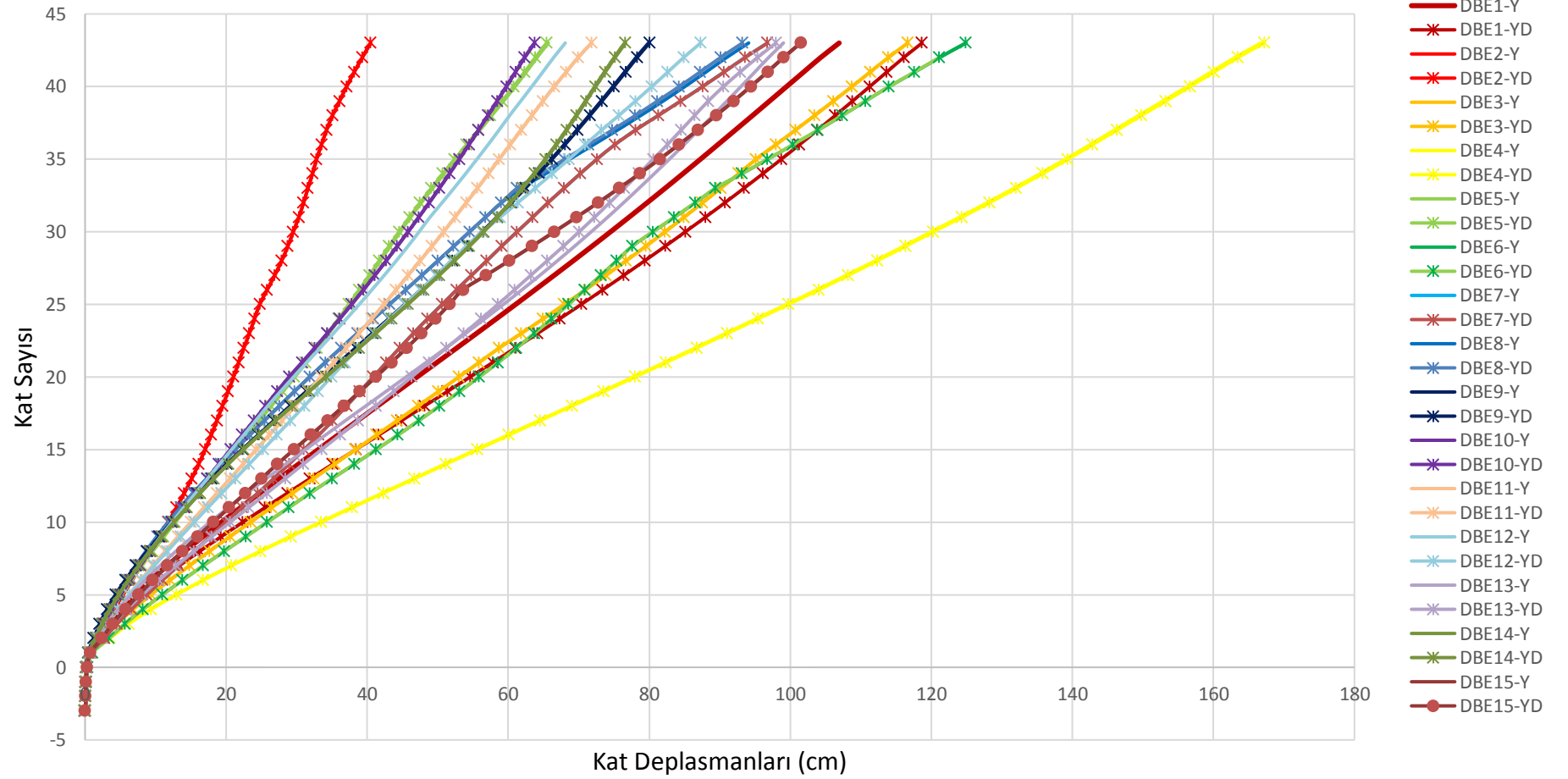
Şekil 3.25: SLE deprem düzeyi kat deplasmanları (H2 Yönü).



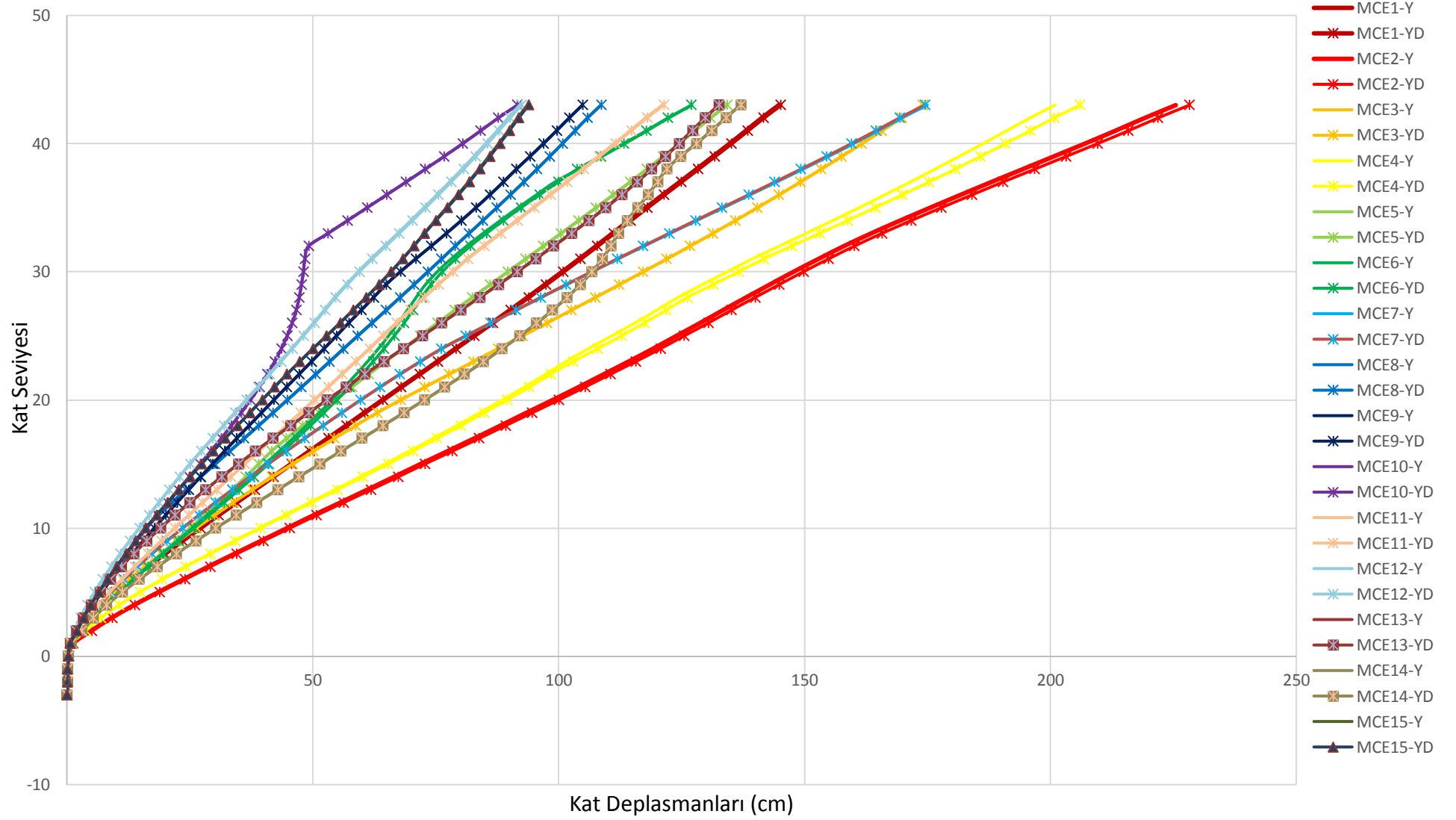
Şekil 3.26: DBE deprem düzeyi kat deplasmanı (H2 Yönü).



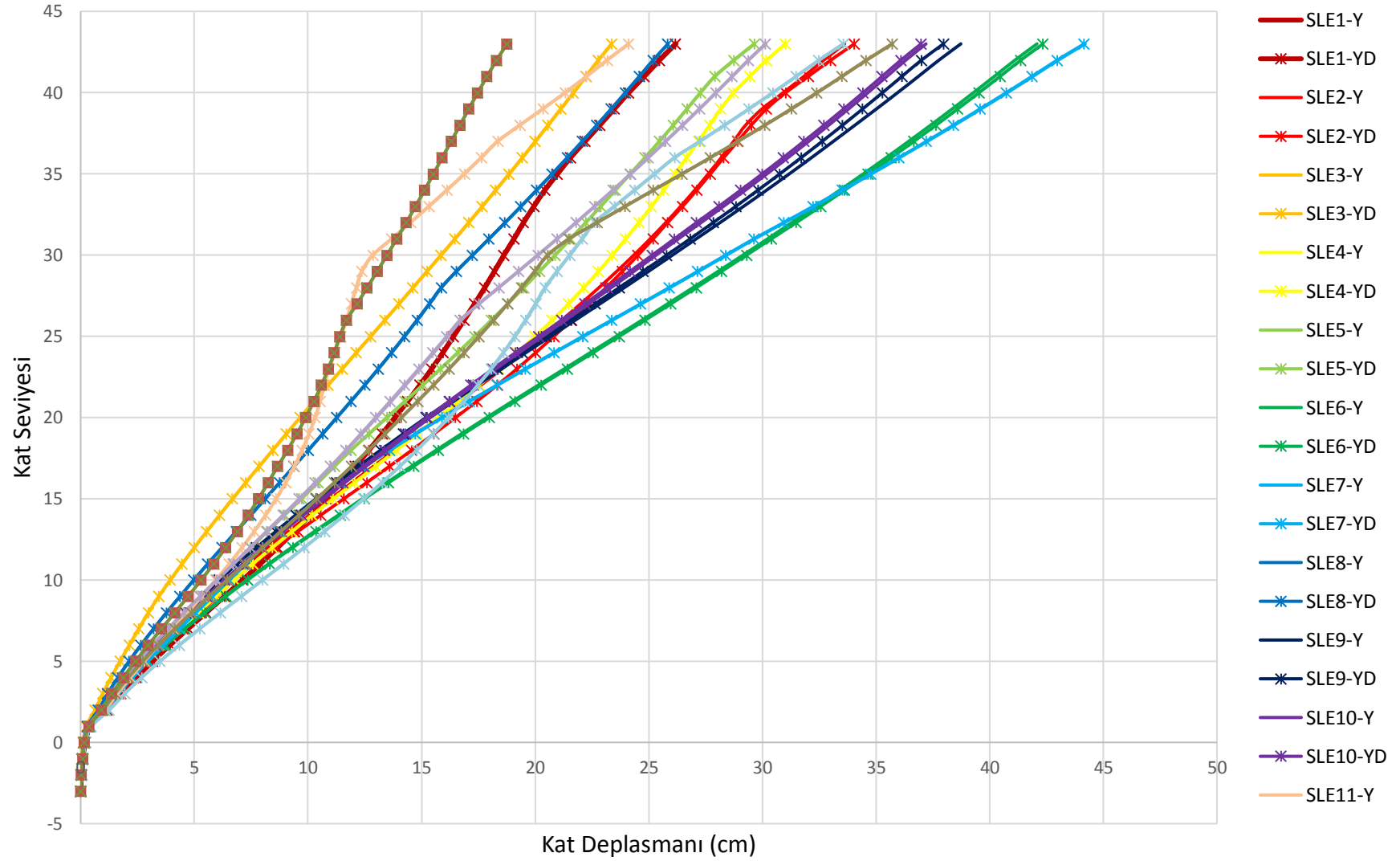
Şekil 3.27: MCE deprem düzeyi kat deplasmanı (H2 Yönü).



Şekil 3.28: DBE deprem düzeyi kat deplasmanları.



Şekil 3.29: MCE deprem düzeyi kat deplasmanları.



Şekil 3.31: SLE deprem düzeyi kat deplasmanları.

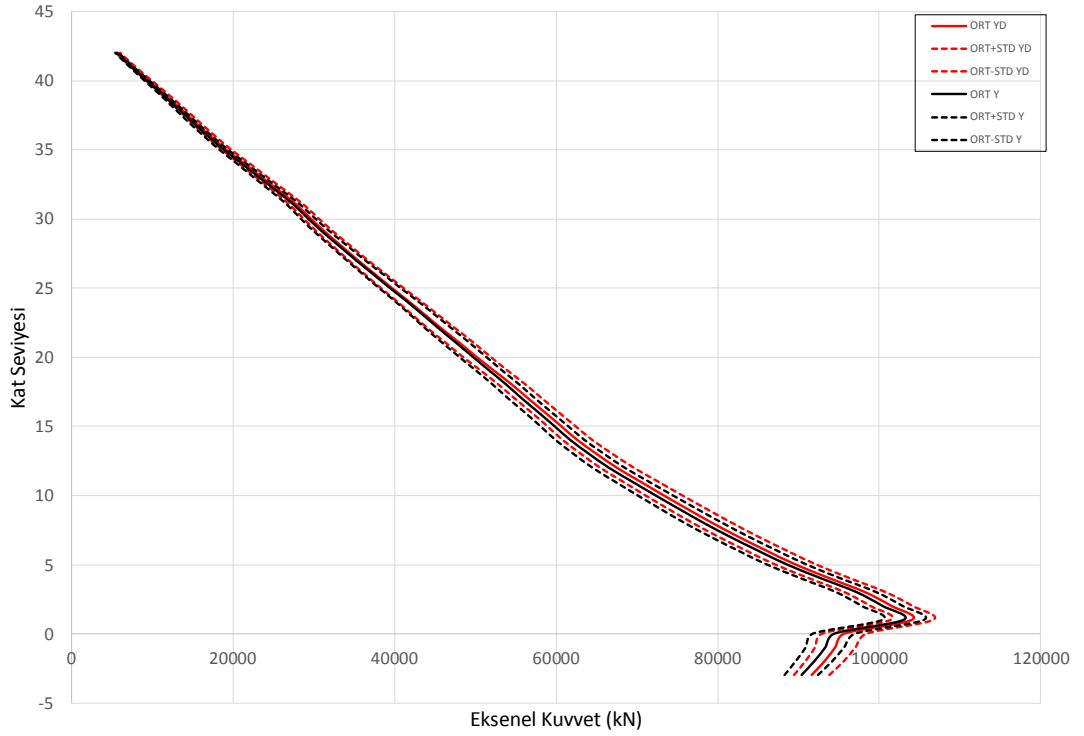
3.5.3 Perde eksenel yükleri

Analizler kapsamında düşey yer hareketi sebebiyle perdelerdeki eksenel yük değişimleri de incelenmiştir (Şekil 3.32-3.34). Grafiklerde siyah düz çizgi yatay yer hareketiyle olan analizi (Y), kırmızı düz çizgi yatayla birlikte düşey yer hareketinin de hesaba katıldığı analizi (YD), kesik çizgiler ortalama+standart sapma ve ortalama-standart sapma değerlerini göstermektedir.

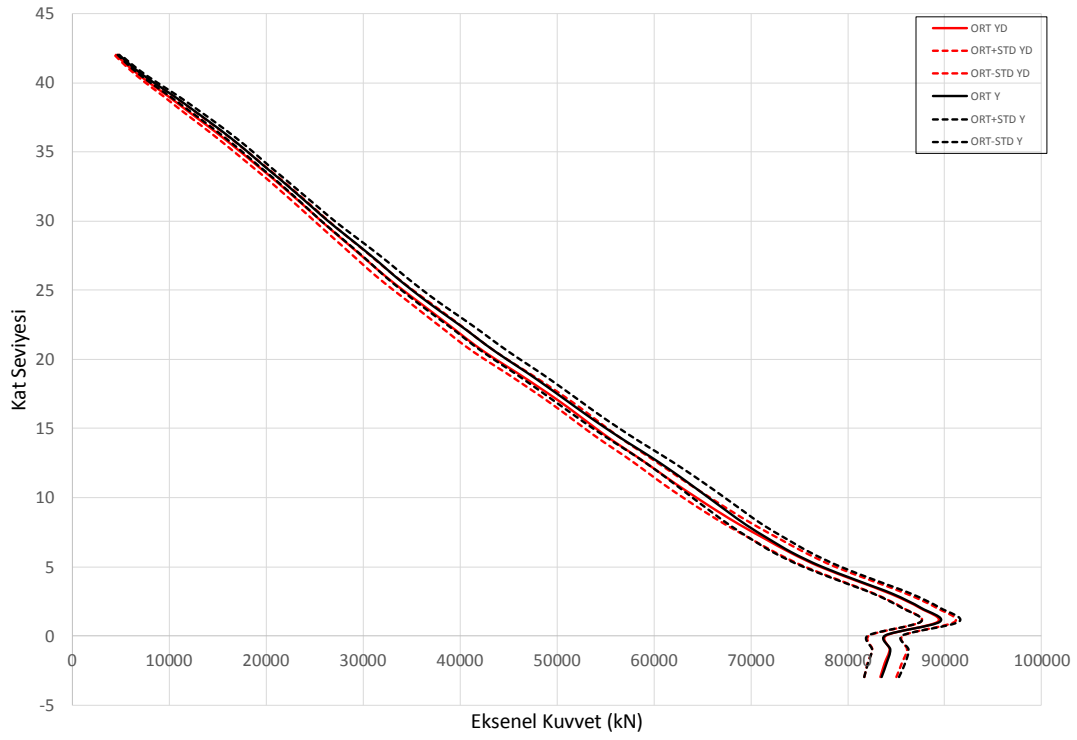
Şekil 3.32’de MCE deprem düzeyine göre analizde düşey yer hareketinin analize katılmasıyla perde eksenel kuvvetinde yaklaşık %3’lük artış meydana gelmiştir.

Şekil 3.33’de DBE deprem düzeyine göre analizde düşey yer hareketinin analize dahil edilmesi perde eksenel kuvvetinde değişiklik meydana getirmemiştir.

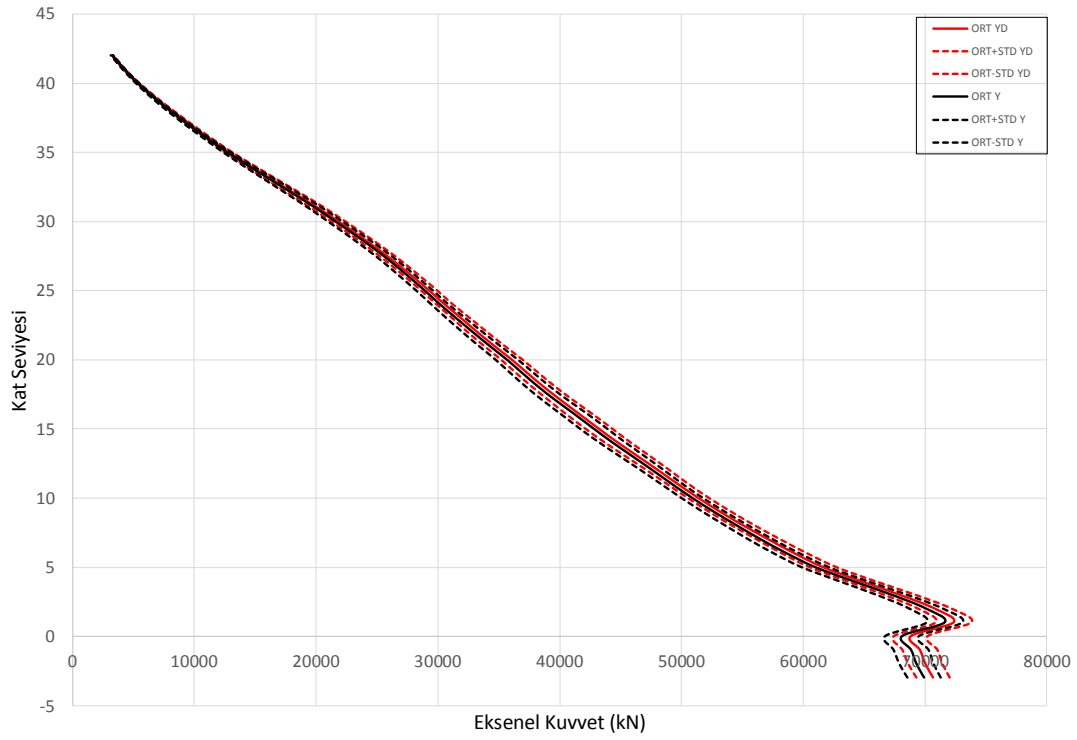
Şekil 3.34’de SLE deprem düzeyine göre analizde düşey yer hareketinin yatay yer bileşeniyle analize dahil olması sonrasında yaklaşık %2’lik eksenel kuvvet artışı meydana gelmiştir.



Şekil 3.32: MCE deprem düzeyi perde eksenel kuvveti.



Şekil 3.33: DBE deprem düzeyi perde eksenel kuvveti.



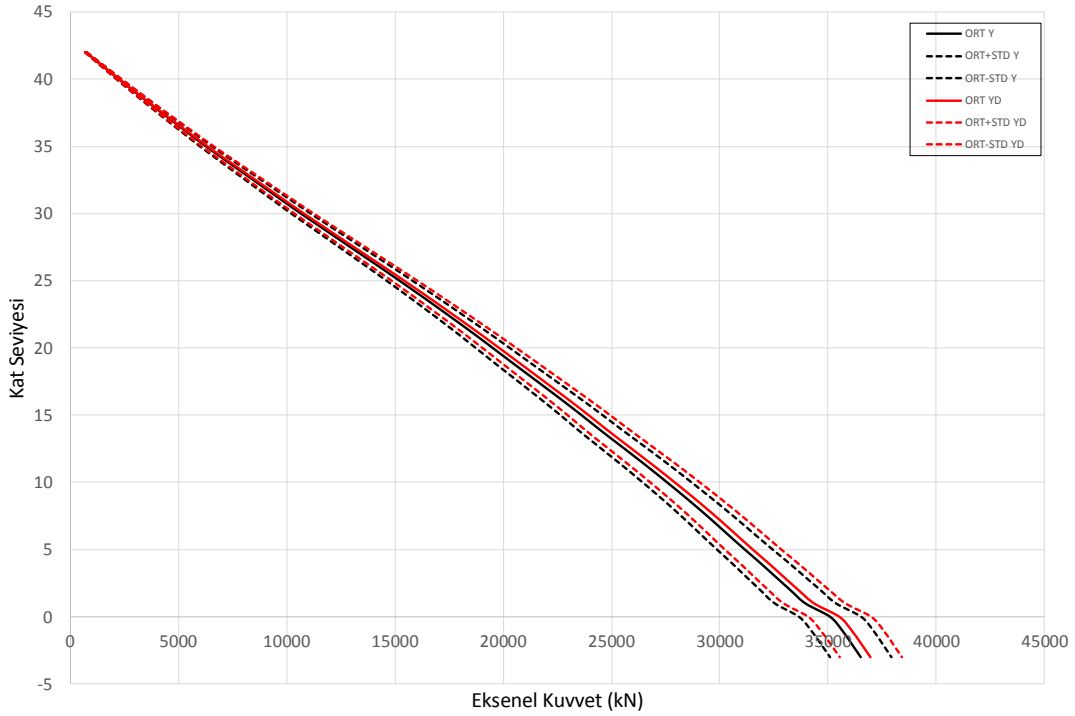
Şekil 3.34: SLE deprem düzeyi perde eksenel kuvveti.

3.5.4 Kolonlarda eksenel yük

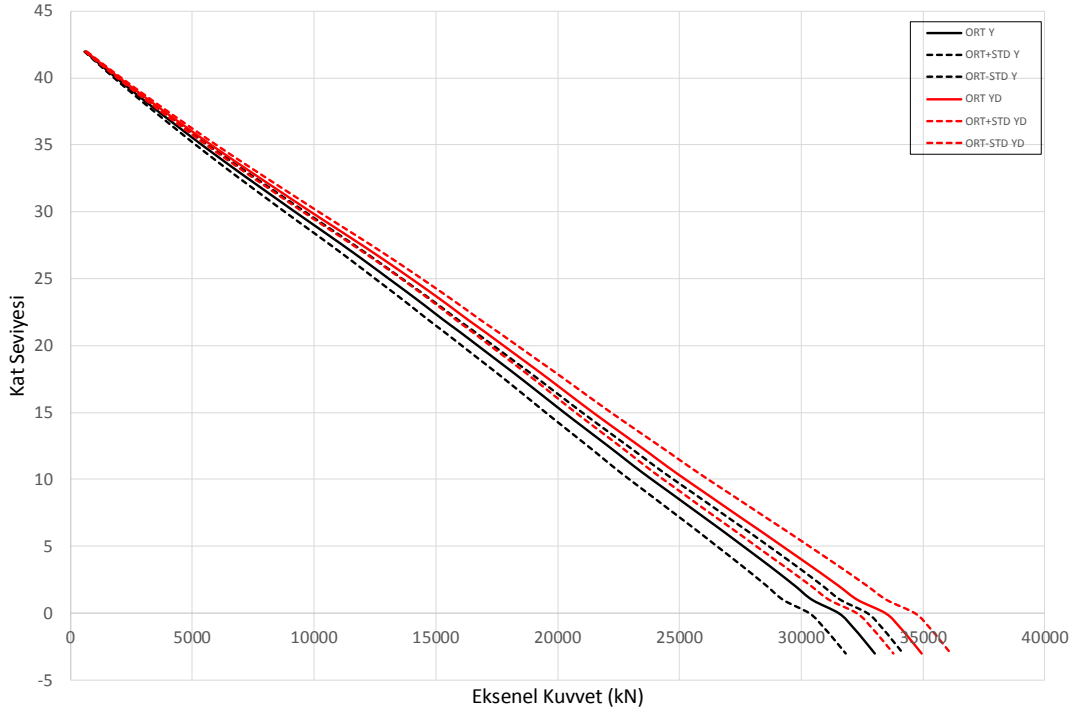
Düşey yer hareketinin analize dahil edilmesi sonrasında kolonların eksenel kuvvetlerinde meydana gelecek değişimler incelenmiştir. Binada bulunan köşe ve iç kolonlarda oluşacak değişimler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Köşe Kolonlar:

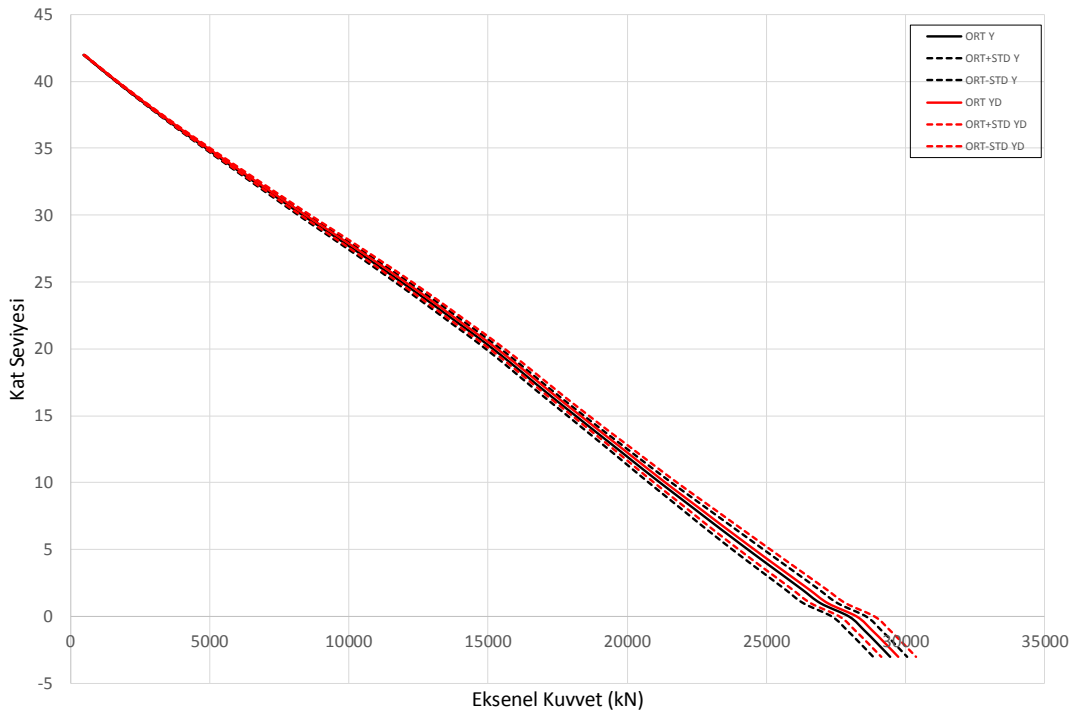
Köşe kolonların farklı deprem düzeylerinde yapılmış analizlerinin eksenel yük değişimlerini gösteren sonuçları grafiklerde verilmiştir (Şekil 3.35-3.37). Grafiklerde siyah düz çizgi sadece yatay yer hareketiyle yapılan analizi gösterirken, kırmızı düz çizgi yatay ve düşey yer hareketinin birlikte olduğu analizi temsil etmektedir. Köşe kolonlar düşey yer hareketinden etkilenmişlerdir. Şekil 3.35'te MCE deprem düzeyinde yapılmış analizlerde köşe kolonun eksenel kuvvetinde yaklaşık %7 artış meydana gelmiştir. Şekil 3.35'te DBE deprem düzeyinde ortalama eksenel kuvvette yaklaşık %11 artış gözlenmiştir. SLE deprem düzeyinde de eksenel kuvvette artış gözlenmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.35: MCE deprem düzeyi köşe kolon eksenel kuvvet.



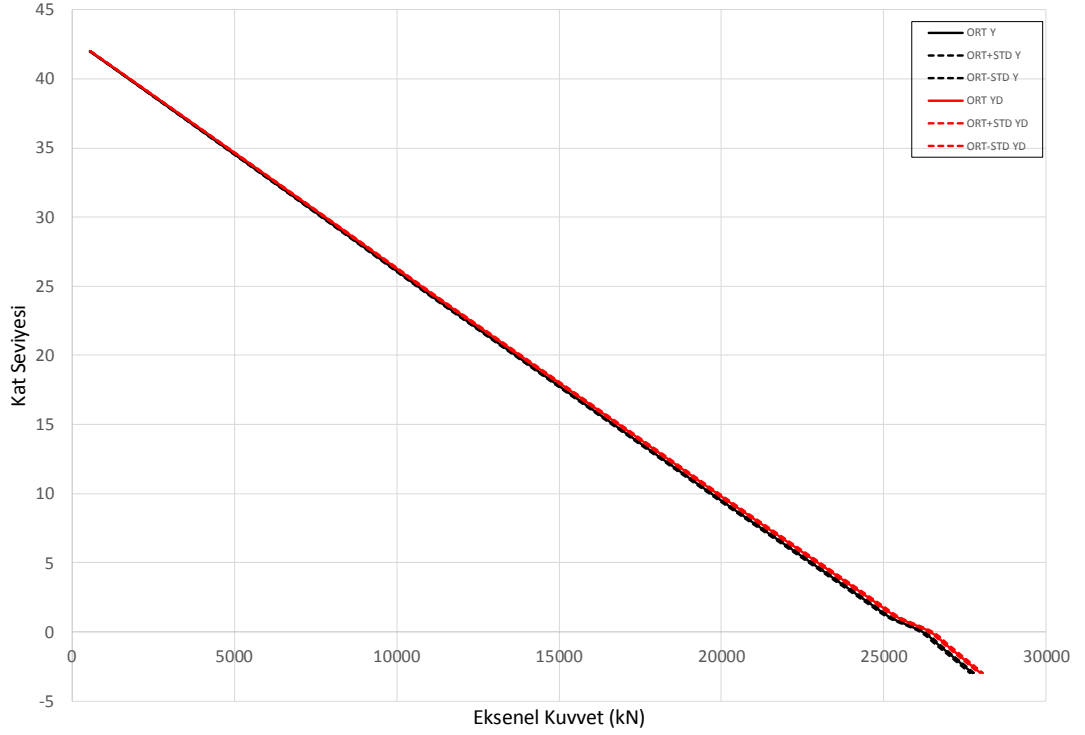
Şekil 3.36: DBE deprem düzeyi köşe kolon eksenel kuvvet.



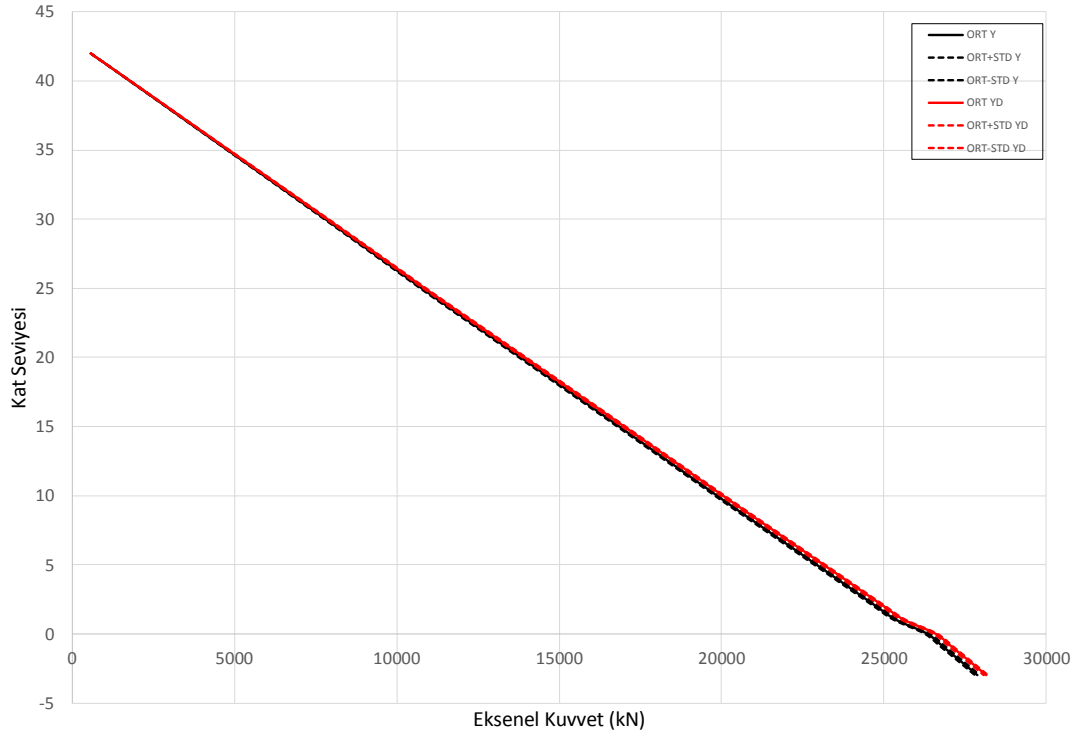
Şekil 3.37: SLE deprem düzeyi köşe kolon eksenel kuvvet.

İç Kolonlar:

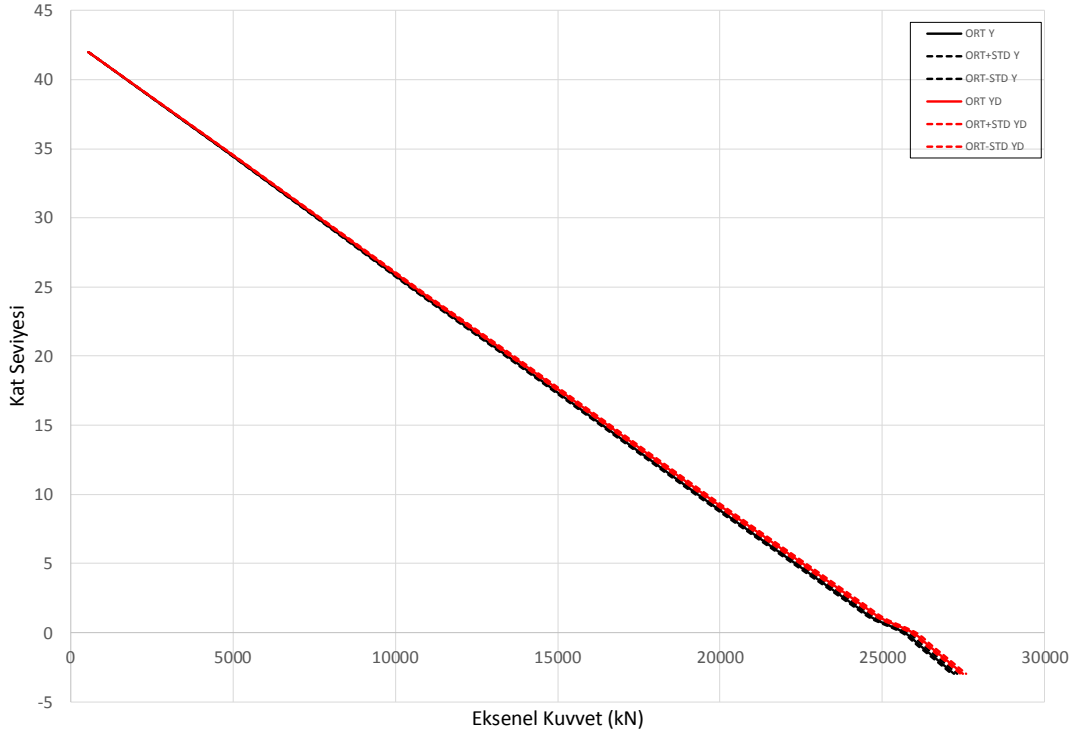
Düşey yer hareketi altında iç kolonlarda meydana gelmiş eksenel kuvvet değişimlerini gösteren grafikler aşağıda verilmiştir. (Şekil 3.38-3.40).



Şekil 3.38: MCE deprem düzeyi iç kolon eksenel kuvvet.



Şekil 3.39: DBE düzeyi iç kolon eksenel kuvvet.

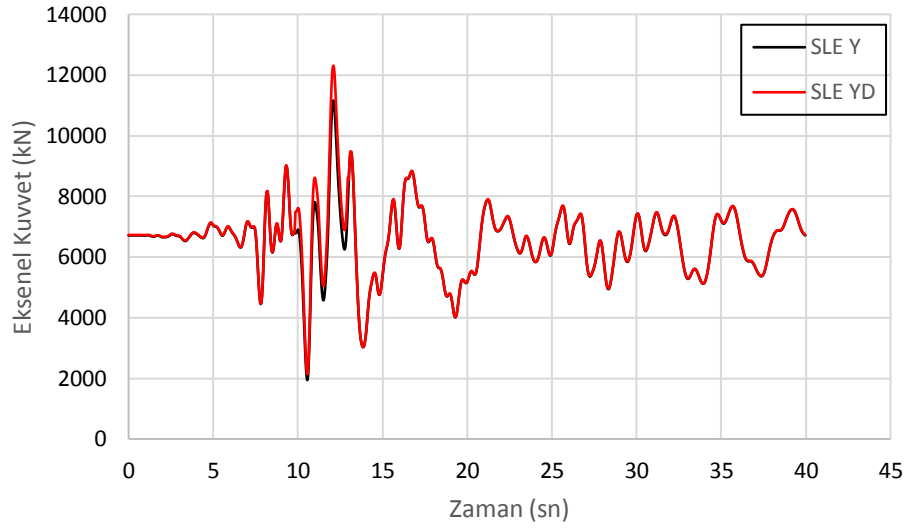


Şekil 3.40: SLE deprem düzeyi iç kolon eksenel kuvvet.

MCE, DBE ve SLE deprem düzeyleri için zaman tanım alanında yapılmış yalnızca yatay bileşenin etki ettiği ve yatay bileşenle birlikte düşey bileşenin etki ettiği analiz sonuçlarına göre iç kolonların eksenel kuvvetlerinde etkili artışlar meydana gelmemiştir. Farklı deprem düzlemleri için eksenel kuvvet değerleri benzerlik göstermektedir. Düşey bileşenin de dahil edildiği analiz yönteminden elde edilen sonuçlar, yalnızca yatay bileşenle elde edilmiş analiz sonuçlarından farklılık göstermemiştir.

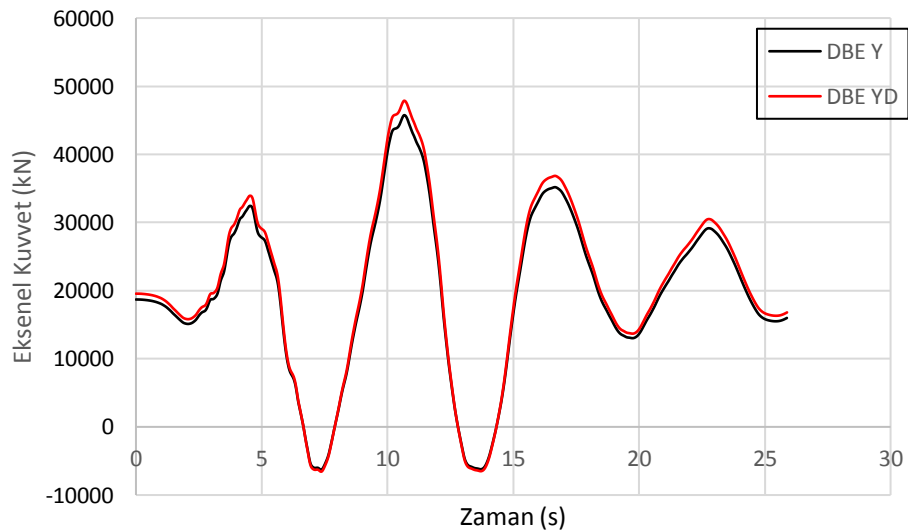
SLE, DBE ve MCE deprem düzeyleri için yapılan analizlere göre zemin kat köşe kolonuna ait eksenel kuvvet-zaman grafikleri şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.41-3.43). Şekillerde siyah çizgiler, uygulanan deprem düzeyinde depremin yalnızca yatay bileşenin dahil olduğu analizlere ait sonuçları göstermektedir. Kırmızı çizgiler ise uygulanan deprem düzeyinde depremin yatay bileşeni ve düşey bileşenin birlikte analizlere dahil edildiği sonuçları temsil etmektedir. SLE deprem düzeyi için SLE 15 numaralı Loma Prieta isimli, 6.93 magnitüde sahip, faydan 63 km uzaklıkta bulunan depreme ait deprem kayıtlarıyla analizi yapılmıştır. DBE deprem düzeyi için DBE 14 numaralı Duzce, Turkey isimli, 7.14 magnitüde sahip fay üzerinde bulunan depreme ait kayıtlarla analiz yapılmıştır. MCE deprem düzeyi için, MCE 12

numaralı, Tabas, Iran isimli 7.35 magnitüde sahip faya yaklaşık 2 km uzaklıktaki deprem kayıtlarıyla analizleri yapılmıştır.



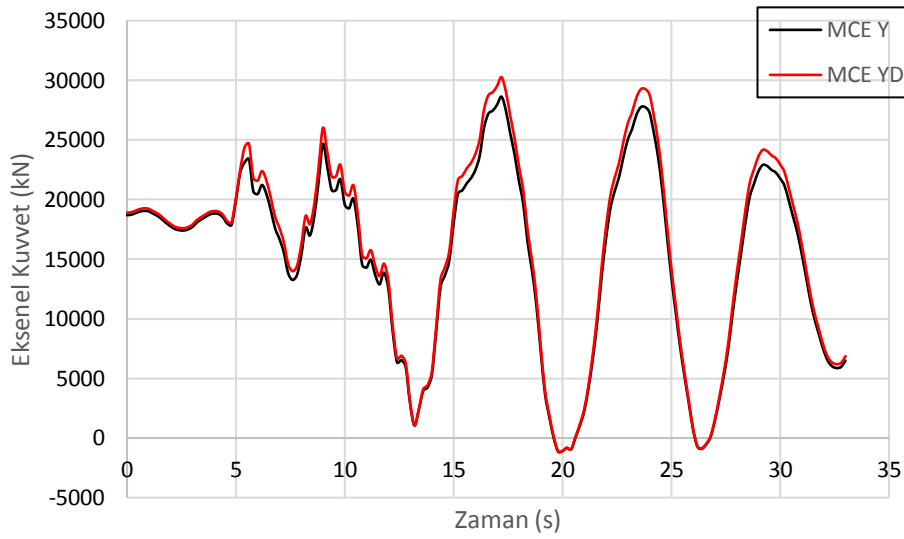
Şekil 3.41: SLE deprem düzeyi kolon eksenel kuvvet-zaman grafiği.

SLE deprem düzeyinde yapılmış olan analizde depremin yalnızca yatay bileşeninin dahil edildiği durumda eksenel kuvvetteki maksimum değer yaklaşık 11800 kN olarak ölçülmüştür. Depremin yatay bileşeni ile birlikte düşey bileşeninin de dahil edildiği analizde SLE deprem düzeyi için bu deprem kaydında maksimum değer yaklaşık 12300 kN olarak elde edilmiştir. SLE deprem düzeyinde kolonların eksenel kuvvetlerinde düşey yer bileşeninin etkisi yaklaşık %4 olduğu gözlenmiştir. Depremin yatay ve düşey bileşeninin birlikte etki ettiği durumda, SLE deprem düzeyi için kolonun eksenel kuvvetinde artış meydana gelmiştir (Şekil 3.41).



Şekil 3.42: DBE deprem düzeyi kolon eksenel kuvvet-zaman grafiği.

Zemin kat kolonunda DBE deprem düzeyinde yapılmış olan analizde, depremin yalnızca yatay bileşenin etkisi durumunda maksimum aksel kuvvet değeri yaklaşık 45000 kN olarak elde edilmiştir. Depremin yatay bileşeniyle birlikte düşey bileşenin de dahil edildiği analiz sonuçlarında ise maksimum aksel kuvvet değeri yaklaşık 48000 kN ölçülmüştür. Analizi yapılan Düzce deprem kaydına göre, yalnızca yatay bileşenle ölçülen aksel kuvvet ile düşey ve yatay bileşenin birlikte olduğu analizdeki maksimum aksel kuvvet değeri arasında yaklaşık %5'lik fark olduğu gözlenmiştir. DBE deprem düzeyi için, SLE deprem düzeyinde olduğu gibi depremin düşey bileşeni kolonun aksel kuvvetinde artış meydana getirmiştir.



Şekil 3.43: MCE deprem düzeyi kolon aksel kuvvet-zaman grafiği.

MCE deprem düzeyinde, depremin yalnızca yatay bileşeniyle yapılan analizde maksimum aksel kuvvet 28000 kN olarak ölçülürken, düşey ve yatay bileşenin birlikte olduğu analizde maksimum değer 31000 kN olarak ölçülmüştür. MCE deprem düzeyi için depremin düşey bileşeni kolonlarda yaklaşık %7'lik artış meydana getirdiği görülmektedir (Şekil 3.43).

4. FARKLI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE DÜŞEY YER HAREKETİNİN HESABI

Bu bölümde farklı yönetmeliklere göre düşey yer hareketinin hesapları farklı yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemler ve yöntemlerin açıklamaları verilmiştir.

Farklı yönetmeliklere göre düşey yer hareketinin hesapları,

- a. Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yalnızca yatay bileşene ait deprem kayıtları kullanılarak (ZTA YATAY),
- b. Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtlar kullanılarak (ZTA YATAY+DÜŞEY),
- c. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre $E_d \approx (2/3) S_{DS} G$ denklemi ile düşey yer bileşeninin etkisi hesaba katılarak (TBDY 2/3 SDS),
- d. ASCE 7-16 Yönetmeliğine göre $E_v = 0.2 S_{DS} D$ denklemi ile düşey yer bileşeninin etkisi hesaba katılarak (ASCE 02SDS),
- e. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre düşey tasarım spektrumuna göre hesaba katılarak (TBDY SPEKTRUM),
- f. ASCE 7-16 Yönetmeliğine göre düşey tasarım spektrumuna göre hesaba katılarak (ASCE SPEKTRUM),
- g. Eurocode 8 Yönetmeliğine göre düşey tasarım spektrumuna göre hesaba katılarak (EUROCODE),
- h. Belirlenmiş deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin 2/3'ünün düşey yer ivmesi kabulü (065VH) yapıp yapıya etki ettirilmesi ile yapılmıştır.

Bu analizler sonucunda bina taban kesme kuvvetleri ve kat öteleme oranları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda taban kesme ve öteleme oranlarının yer aldığı şekiller aşağıda verilmiştir. Şekillerde kullanılan kısaltmalar yöntemlerin açıklamalarında parantez içerisinde belirtilmiştir.

Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle elde edilmiş yatay bileşene ait analiz sonuçlarının kullanıldığı yöntem, farklı yöntemlerle düşey yer hareketinin hesabında düşey hareketin dahil edilmediği durumun kıyaslanabilmesi için dahil edilmiştir. Bu

yöntemde 3. Bölüm’de yapılmış olan düşey yer bileşeninin dahil edilmediği zaman tanım alanında analiz sonuçları kullanılmıştır.

Binanın gerçek davranışına en yakın sonucu veren zaman tanım alanında hesap yöntemiyle düşey ve yatay bileşenlerin birlikte etki ettiği analiz sonuçları Bölüm 3’den alınarak farklı yöntemlere göre düşey yer hareketinin kıyaslamalarında kullanılmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (2018) belirli şartlarda özel hesap yapılmadan yaklaşık olarak verilmiş denklemle E_d hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde $E_d \approx (2/3) S_{DS} G$ denklemine göre yaklaşık E_d değeri bulunmuştur.

Denklemden E_d düşey deprem etkisini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, G sabit yük etkisini göstermektedir. S_{DS} katsayısı, harita spektral ivme katsayısı ve yerel zemin etki katsayısına bağlı katsayıdır. Analizi yapılacak binanın bulunduğu bölgenin koşulları göz önüne alınıp, Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak MCE, DBE ve SLE deprem düzeyleri için kabul edilmiş S_{DS} değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: TBDY Ed hesabında için kullanılacak SDS değerleri.

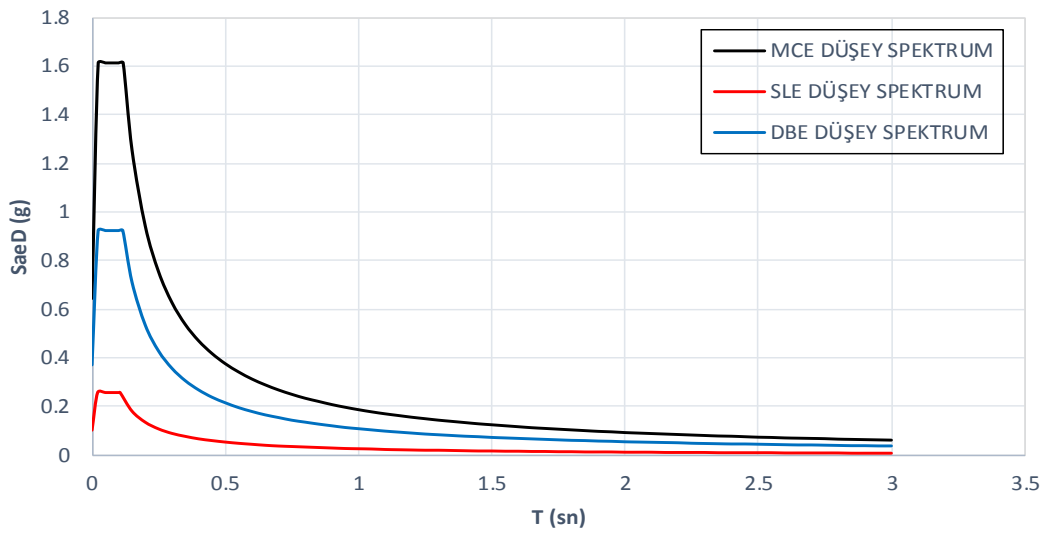
	S_{DS}
SLE	0.317
MCE	2.015
DBE	1.156

Amerikan şartnamesi olan ASCE 7-16’ya göre düşey deprem etkisinin hesabı için $E_v = 0.2 S_{DS} D$ denkleminin kullanıldığı yöntem de bu tez kapsamında incelenmiştir. Denklemden S_{DS} kısa periyot spektral ivme katsayısını, D ise sabit yük etkisini göstermektedir. ASCE 7-16’ya göre binanın bulunduğu bölgenin enlem ve boylam bilgilerinden yararlanılarak, S_{DS} katsayısı Maksimum Deprem Spektrumu (MCE_R) ve Tasarım Spektrumu (Design Response Spectrum) için belirlenmiştir.(Tablo 4.2)

Tablo 4.2: ASCE 7-16 Ed hesabında kullanılacak SDS değerleri.

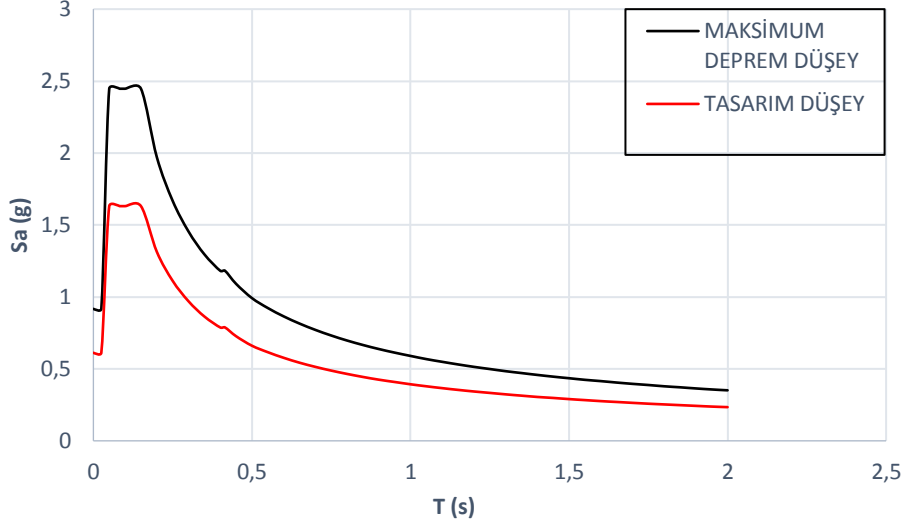
	S_{DS}
MCE_R	2.364
DBE	1.576

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) tanımlanmış olan düşey elastik tasarım spektrumu kullanılarak düşey yer hareketinin deprem yönetmeliğine göre hesabı incelenmiştir. Düşey spektrum oluşturulurken yatay yer hareketi için tanımlanmış olan tasarım spektral ivme katsayısı ve doğal titreşim periyoduna bağlı olan yönetmelikte verilmiş denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler kullanılırken S_{DS} değerleri farklı deprem düzeyleri için Tablo 4.1 de görüldüğü şekilde alınmıştır. Farklı deprem düzeyleri için oluşturulan düşey tasarım spektrumları Şekil 4.1'de görülmektedir.



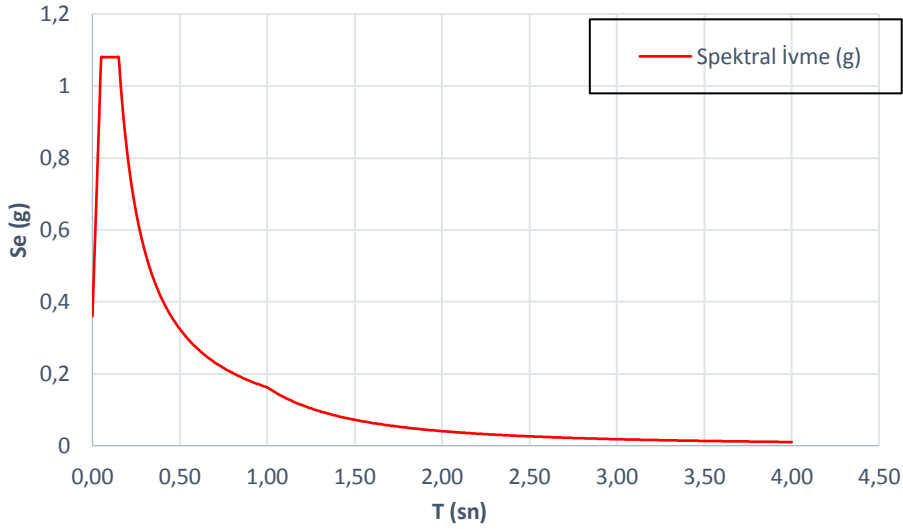
Şekil 4.1: TBDY 2018' göre deprem düzeyleri düşey elastik spektrumları.

Düşey yer hareketinin farklı yönetmeliklere göre yöntemlerle hesabı kapsamında, ASCE 7-16 deprem yönetmeliğine göre düşey tasarım spektrumuna göre hesabı yapılmıştır. Bu hesap yapılırken binanın bulunduğu konuma göre elde edilmiş harita spektral ivme katsayıları ve doğal titreşim periyodu kullanılarak düşey spektrumlar oluşturulmuştur. Binanın bulunduğu konunun enlem ve boylam bilgilerinden yararlanılarak Maksimum Deprem olarak gösterilen “Risk-Targeted Maximum Earthquake” için S_{DS} katsayıları elde edilmiştir. Maksimum Deprem için elde edilen S_{MS} katsayısı 2/3 ile çarpılarak Tasarım Spektral İvmeleri bulunmaktadır (ASCE 7-16). Bu değerler daha önce Tablo 4.2'de gösterilmiştir. ASCE 7-16'ya göre oluşturulmuş düşey spektrumlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Düşey tasarım spektrumu.

Başka bir yöntem olarak da Eurocode 8'e göre oluşturulmuş düşey spektrum incelenmiştir. Düşey spektrum oluşturulurken "Type 1" olarak adlandırılan yüksek tehlike sınıfı seçilmiştir. Etkin yer ivmesi kat sayısı a_{gR} , 0.4 belirlenmiştir. Yapının sönüm oranı %5, önem katsayısı 1 ve zemin sınıfı C seçilerek düşey spektrum oluşturulmuştur. Oluşturulan spektrum şekil 4.3'te gösterilmiştir.

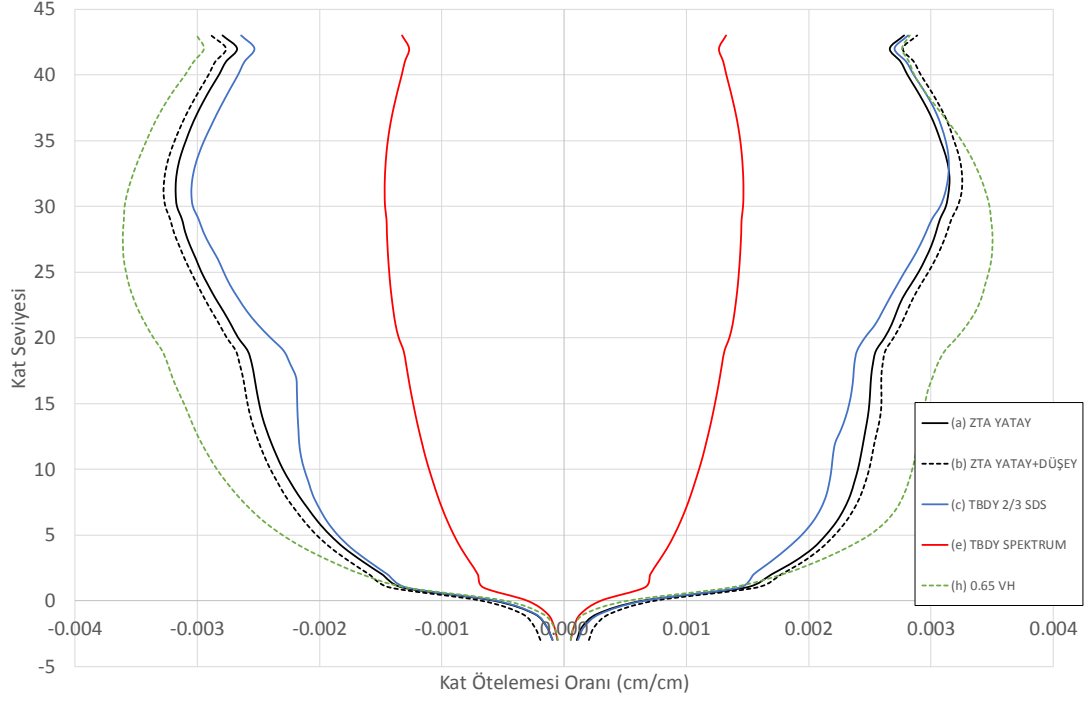


Şekil 4.3: Eurocode 8 düşey elastik pseudo-ivme spektrumu.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapla yatay yer hareketinin 2/3'ünü düşey yer ivmesi kabul edilen bu yöntemle yapılan analiz sonuçları da farklı deprem yönetmeliklerine göre düşey yer hareketinin hesabı bölümünde yer almaktadır.

4.1 Kat Öteleme Oranları

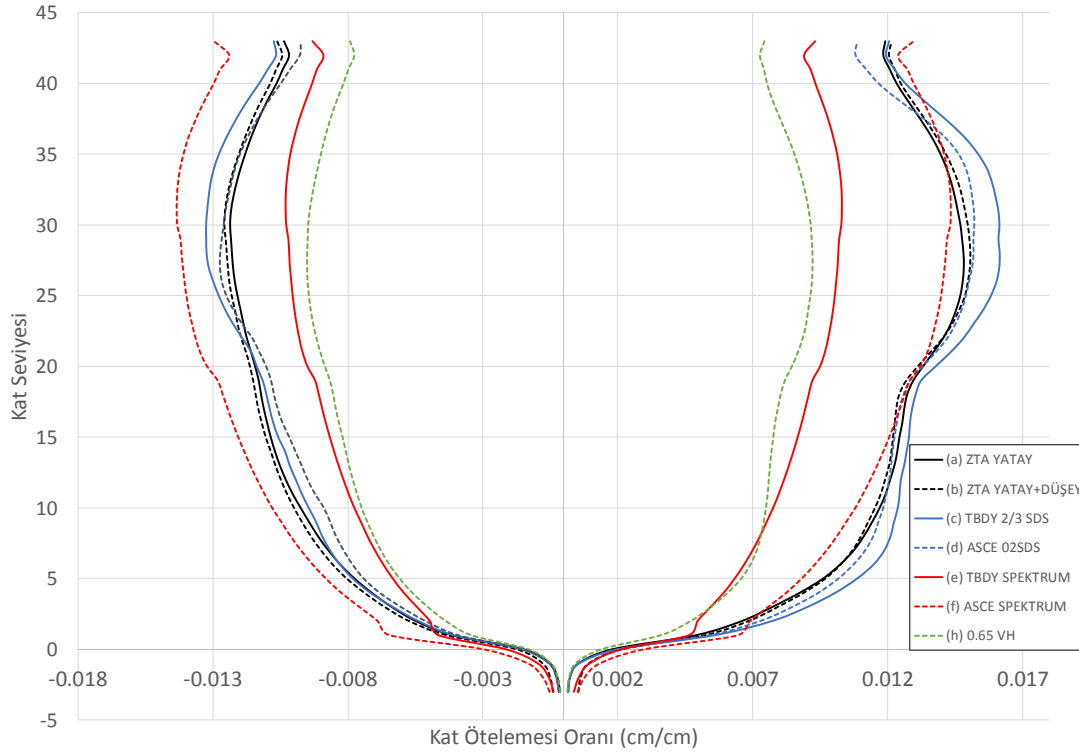
Farklı yöntemlerle yapılan analizlere göre kat öteleme oranları SLE, DBE ve MCE deprem düzeyleri için bulunmuştur. Şekil 4.4'te SLE deprem düzeyi için yapılmış analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.4: SLE deprem düzeyi kat öteleme oranları.

SLE deprem düzeyinin için bulunan sonuçlara göre (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin $2/3$ 'ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntemin analiz sonucunun maksimum kat ötelemesi oranının 0.0035 olduğu görülmektedir. Bu yöntem bu deprem düzeyinde uygulanmış olan depremler içerisinde en yüksek kat ötelemesi oranına sahip yöntemdir. (b) Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntem, (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre $(2/3) S_{DS}$ yaklaşık hesabıyla yapılan yöntemden ve (a) Zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yalnızca yatay bileşene ait deprem kayıtlarıyla yapılmış yöntemden daha fazla kat öteleme oranına sahiptir. Uygulanan yöntemler arasında (e) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği düşey spektrum ile hesap yöntemine göre yapılmış analiz sonucunda kat ötelemesi oranı yalnızca diğer

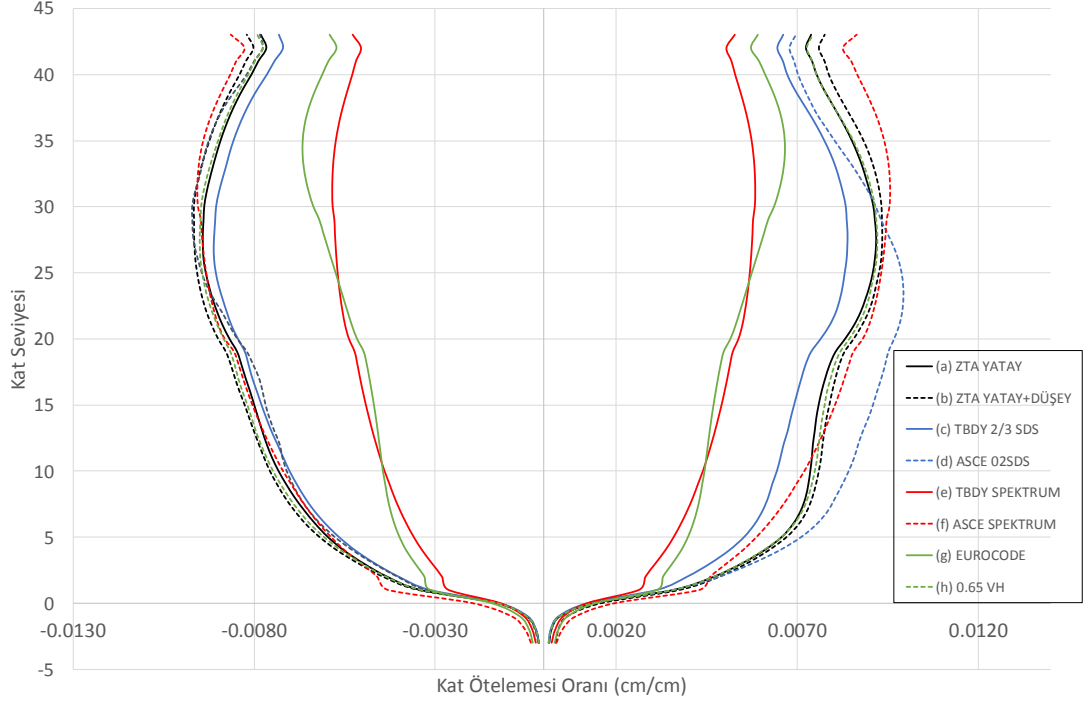
yöntemlere göre daha küçük sonuç verip, maksimum kat öteleme oranı yaklaşık 0.0015 seviyesindedir.(Şekil 4.4)



Şekil 4.5: MCE deprem düzeyi kat öteleme oranları.

Şekil 4.5'te MCE deprem düzeyi için farklı yöntemlerle farklı deprem yönetmeliklerine göre yapılmış analizlerin kat öteleme oranı sonuçları görülmektedir. Bu şekle göre, (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre $(2/3) S_{DS}$ yaklaşımıyla düşey bileşen hesabıyla yapılan analiz en fazla kat öteleme oranına sahip olan yöntemdir. Yönteme ait maksimum kat öteleme oranı 0.0016 olarak hesaplanmıştır. (d) ASCE 7-16 da belirtildiği üzere $0.2 S_{DS}$ yaklaşımı ile hesabı yapılan düşey bileşenle yapılmış analiz yöntemi (b) zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntem ile benzer davranış göstermiştir. (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin $2/3$ 'ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntemin kat öteleme oranlarının diğer yöntemlere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yöntemler arasında en az kat ötelemesine sahip olan bu yöntemde, maksimum kat öteleme oranı 0.008'dir. (e) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde tanımlanmış olan düşey spektruma göre yapılan hesap yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre maksimum kat öteleme oranı 0.009 olarak belirlenmiştir. (f) ASCE 7-16'da yer alan kriterlere göre

oluşturulmuş düşey spektrum ile yapılan analizde (b) düşey ve yatay bileşenlerin birlikte kullanıldığı analiz yöntemine benzer davranış göstermiştir.

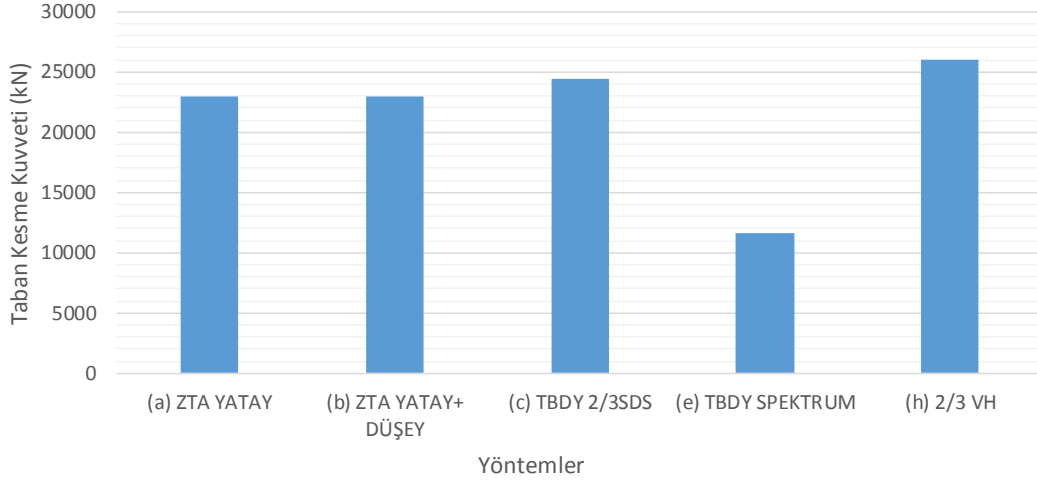


Şekil 4.6: DBE deprem düzeyi kat öteleme oranları.

DBE deprem düzeyine göre farklı yöntemlerle farklı deprem yönetmeliklerine göre yapılmış analiz sonuçları Şekil 4.6’da verilmiştir. (d) ASCE 7-16 da belirtildiği üzere $0.2 S_{DS}$ yaklaşımı ile hesabı yapılan düşey bileşenle yapılmış analiz yöntemi DBE deprem düzeyinde 0.01 maksimum kat ötelemesine sahiptir. (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin $2/3$ ’ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntem bu deprem düzeyinde (a) ve (b) yöntemlerine yakın değerler göstermektedir. (f) ASCE 7-16’ya göre oluşturulmuş olan düşey spektrumla yapılmış yöntemde yapının üst katlarında göstermiş olduğu kat öteleme oranı seviyesi diğer yöntemlere göre daha fazla olmuştur. (e) Türkiye Deprem Yönetmeliği’ne göre oluşturulmuş düşey spektrum ile yapılan analiz (g) Eurocode 8 Yönetmeliğine göre oluşturulmuş analizle paralellik gösterirken, bu iki yöntem diğer yöntemlere göre daha küçük kat ötelemesi oranına sahiptir.

4.2 Taban Kesme Kuvveti

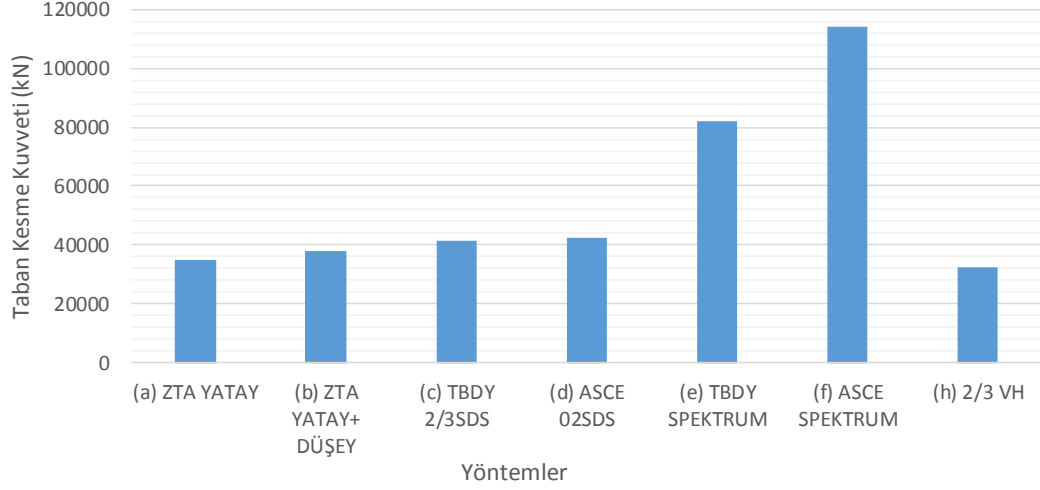
Kat öteleme oranlarının karşılaştırılmasında kullanılan analiz yöntemleri taban kesme kuvveti karşılaştırmaları için de geçerlidir. Taban kesme kuvvetlerinin yönetmeliklerde istenildiği şekillerde yapılmış çeşitli yöntemlere göre analiz sonuçları farklı deprem düzeyleri için şekillerde gösterilmiştir (Şekil 4.7-4.9)



Şekil 4.7: SLE deprem düzeyi kat öteleme oranları.

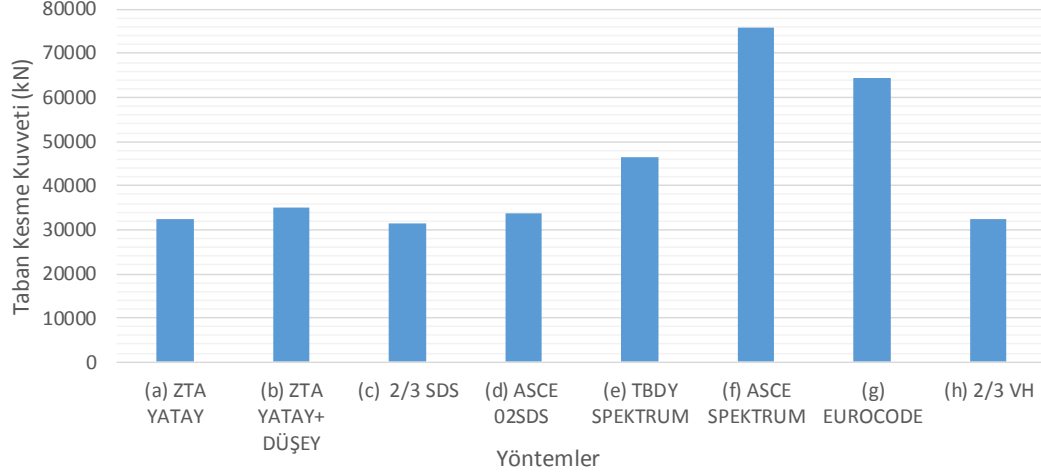


SLE deprem düzeyinde yapılmış Taban Kesme Kuvveti analizlerinin sonuçları Şekil 4.7'de gösterilmiştir. (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin 2/3'ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntem, yöntemler arasındaki en büyük taban kesme kuvvetine sahiptir. (e) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre oluşturulmuş olan düşey spektrumla yapılmış analiz sonucunda ölçülen taban kesme kuvveti diğerlerinden daha küçüktür. (a) zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntem ile (b) zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntemin taban kesme kuvveti sonuçları birbirlerine yakınlık göstermektedir. (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre (2/3) S_{DS} yaklaşık hesabıyla yapılan yöntemde gözlenen kesme kuvveti (b) yönteminden fazladır.



Şekil 4.8:MCE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

MCE deprem düzeyi için yapılan yöntem ve taban kesme kuvvetleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. (f) ASCE 7-16 deprem yönetmeliğine göre oluşturulmuş spektrumla yapılan analiz yöntemi ve (e) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre oluşturulmuş spektrumla yapılmış analiz yönteminde azaltılmamış taban kesme değerleri görülmektedir. (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin 2/3’ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntem değeri diğer yöntemlere göre oldukça az taban kesme kuvvetine sahiptir. (a) zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntem, (b) zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yatay bileşenle birlikte düşey yer hareketine ait kayıtların kullanıldığı yöntem, (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre $(2/3) S_{DS}$ yaklaşık hesabıyla yapılan yöntem ve (d) ASCE 7-16 da belirtildiği üzere $(0.2) S_{DS}$ yaklaşımı ile hesabı yapılan düşey bileşenle yapılmış analiz yöntemlerinin taban kesme kuvvet değerleri birbirlerine yakınlık göstermektedir.



Şekil 4.9: DBE deprem düzeyi taban kesme kuvvetleri.

Şekil 4.9’da DBE deprem düzeyi için yapılmış yöntemlerin sonuçlarına ait tabana kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Spektrum analizleriyle azaltılmamış olarak verilen taban kesme kuvvetleri diğer yöntemlere göre yüksek taban kesme kuvveti sonuçları göstermektedirler. (f) ASCE 7-16 deprem yönetmeliğine göre oluşturulmuş spektrumla yapılan analiz yöntemi yaklaşık yöntemlerden ve diğer deprem yönetmeliklerine göre düşey spektruma göre oluşturulmuş yöntemlerden daha fazla taban kesme kuvveti büyüklüğü göstermiştir. Diğer yöntemlerden daha az kesme kuvvetine sahip (h) deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin 2/3’ünün düşey yer ivmesi kabulüyle yapılan yöntem ve (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre $(2/3) S_{DS}$ yaklaşık hesap yöntemi yakın taban kesme kuvveti değerleri göstermişlerdir. (g) Eurocode 8’e göre belirtilmiş düşey spektrum kullanılarak yapılan analiz sonucu ASCE 7-16’nın spektrumuyla yapılan analizden sonra en büyük taban kesme kuvvetine sahip yöntem olmuştur.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında düşey yer hareketinin yüksek bir binada, taban kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat deplasmanları, perde eksenel kuvvetleri ve kolon eksenel yükleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca deprem yönetmeliklerinde istenildiği şekilde düşey yer hareketinin hesabı yapılarak, taban kesme kuvveti ve kat öteleme oranları arasındaki farklar incelenmiştir. Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizler için farklı deprem düzeyleri tanımlanmış ve bu deprem düzeylerine uygun olarak seçimi yapılmış deprem kayıtlarının yatay ve düşey bileşenleri kullanılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Düşey yer hareketinin etkisiyle taban kesme kuvveti SLE deprem düzeyi için ortalama %0.04, MCE için %0.11 ve DBE deprem düzeyi için %0.42 artış göstermiştir. Düşey yer hareketinin etkisi deprem kayıtları içinde farklılık gösterse de ortalaması göz önüne alındığında düşey yer hareketinin taban kesme kuvveti üzerinde etkisinin az olduğu söylenebilir.
- Binanın H1 (doğu-batı) yönü için yapılmış analizler sonucunda hesaplanan görelî kat ötelemeleri oranları SLE deprem düzeyi için yalnızca yatay bileşenin dahil olduğu analizde 0.0031, yatay ve düşey yer bileşenlerinin birlikte dahil olduğu analizde 0.0033 olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde DBE deprem düzeyi için yatay sonucu 0.0056 iken düşey yer hareketiyle birlikte 0.0058, MCE için iki değer yaklaşık olarak aynı bulunmuştur.
- H1 yönünde oluşan kat deplasmanları incelendiğinde SLE deprem düzeyi için düşey yer ivmesi dahil olduğunda yaklaşık aynı olduğu, DBE deprem seviyesinde düşey yer hareketi dahil olduğunda %2 lik deplasman farkının oluştuğu, MCE deprem düzeyinde iki analiz için de benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.
- H2 (kuzey-güney) doğrultusunda ise SLE ve MCE deprem düzeyleri için belirgin farklar oluşmamıştır. DBE deprem düzeyi için yalnızca yatay bileşen için öteleme oranı 0.0054 iken, düşeyle birlikte maksimum öteleme oranı 0.0052 seviyesinde gözlenmiştir.

- H2 yönünde kat deplasmanlarına bakıldığında düşey yer hareketi analize dahil edildiğinde DBE deprem düzeyinde yalnızca yatay bileşenin etki ettiği sonuçların %5 daha fazla deplasmana sahip olduğu gözlenmiştir.
- Perde eksenel kuvveti MCE düzeyinde düşey yer hareketinin etkisiyle %3 artış göstermiştir. Düşey yer hareketinin eklenmesiyle DBE düzeyi için artış göstermeyen perde eksenel kuvvetinde SLE deprem düzeyinde %2'lik artış meydana gelmiştir.
- Düşey yer bileşeninin kolonlardaki etkisi iç ve köşe kolonlarda incelenmiştir. İç kolonlarda düşey yer hareketinin etkisi fark göstermezken, köşe kolonlarda MCE deprem düzeyinde %7, DBE deprem düzeyinde %11 ve SLE deprem düzeyinde yaklaşık %5'lik artış meydana gelmiştir.
- Farklı yöntemler uygulanarak farklı deprem yönetmeliklerine göre bulunan taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, DBE deprem düzeyi için ASCE 7-16'ya göre düşey spektruma göre yapılan hesapta elde edilen taban kesme kuvveti değeri yaklaşık 75000 kN olarak ölçülmüştür. Eurocode 8'e göre düşey spektruma göre yapılan hesap ile ölçülen taban kesme kuvveti 65000 kN'dur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre spektruma göre hesapta elde edilen taban kesme kuvveti değeri 48000kN'dur. Azaltılmamış olarak gösterilen bu taban kesme kuvvetleri diğer yöntemlerde elde edilmiş kuvvetlerden yüksektir.
- MCE için ASCE 7-16'ya göre düşey spektruma göre yapılan hesapta elde edilen taban kesme kuvveti değeri yaklaşık 115000 kN, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre spektruma göre hesapta elde edilen taban kesme kuvveti değeri 80000 kN'dur.
- (h) Belirlenmiş deprem kayıtlarının yatay ivmelerinin 2/3'ünün düşey yer ivmesi olarak kabul edilen yöntemle yapılan analizlerin taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, MCE deprem düzeyinde (b) yatay ve düşey bileşenin birlikte dahil olduğu zaman tanım alanında yapılan analize göre daha az taban kesme kuvveti oluştuğu gözlenmiştir. DBE düzeyi için bu durum, yaklaşık aynı değeri verirken, SLE düzeyi yapıda diğer yöntemlerden fazla taban kesme kuvveti oluştuğu gözlenmiştir. Aynı yöntemler için kat ötelemesi kontrolleri yapıldığında DBE düzeyi için (h) ve (b) yaklaşık aynı

ölçülmüştür. MCE deprem düzeyi için (h) 0.008 iken, (b) 0.015 değerine sahiptir.

- (c) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de belirtilmiş olan $(2/3) S_{DS}$ yaklaşık hesabıyla yapılan analizlerde DBE deprem düzeyinde (b) yatay ve düşey bileşenin birlikte dahil olduğu zaman tanım alanında yapılan analize göre %5 daha az, MCE deprem düzeyi için %15 daha fazla, SLE deprem düzeyi için yaklaşık %7 daha fazla taban kesme kuvvetine sahiptir. Aynı yöntemler için kat ötelemesi kontrolleri yapıldığında DBE düzeyi için (c) 0.009 iken, (b) 0.01 ölçülmüştür. MCE deprem düzeyi için (c) 0.016 iken, (b) 0.015 değerine sahiptir.
- (d) ASCE7-16’da belirtilmiş olan $(0.2) S_{DS}$ yaklaşık hesabıyla yapılan analizlerde, MCE deprem düzeyinde düzeyinde (b) yatay ve düşey bileşenin birlikte dahil olduğu zaman tanım alanında yapılan analize göre %20 daha fazla taban kesme kuvvetine sahipken, DBE deprem düzeyinde % 10 daha az kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. Aynı yöntemler için kat ötelemesi kontrolleri yapıldığında DBE düzeyi için (d) 0.009 iken, (b) 0.01 ölçülmüştür. MCE deprem düzeyi için (c) ve (b) 0.015 değerine sahiptir.



KAYNAKLAR

- Ambraseys, N., and Douglas, J.** (2003a). Near-field horizontal and vertical earthquake ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23.1 1-18.
- Ambraseys, N., and Douglas, J.** (2003b). Effect of Vertical Ground Motions on Horizontal Response of Structures. *International Journal of Structural Stability and Dynamics* 3 (2): 227-265.
- Anderson, James C. and Bertero V. V.** (1973) Effects of gravity loads and vertical ground acceleration on the seismic response of multistory frames. Memorias, V World Conference on Earthquake Engineering.
- Antoniou, S.** (1997). Shear Assessment of R/C Structures Under Combined Earthquake Loading. *MSc Dissertation, ESEE, Imperial College.*
- ASCE/SEI 41-17.** (2017) Seismic Rehabilitation Standards Committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings.
- ASCE/SEI 7.** (2016) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers.
- Button, M., Colman, J. C., Mayes, R. L.** (2002) Effect of vertical motions on seismic response of highway bridges. *Journal Structural Engineering* 128.12 :1551-1564
- Bozorgnia, Y. And Campbell, K. W.** (2004). The Vertical-To-Horizontal Response Spectral Ratio and Tentative Procedures for Developing Simplified V/H and Vertical Design Spectra. *Journal of Earthquake Engineering* 8 (4): 175-207.
- Bozorgnia, Y. And Campbell, K. W.** (2016). Ground Motion Model for the Vertical-to-Horizontal (V/H) Ratios of PGA, PGV, and Response Spectra. *Earthquake Spectra* 32 (2): 979-1004.
- Commission of the European Communities.** (1993). *Eurocode 8: Earthquake Resistant Design of Structures, CEN/TC250/SC8 |Part 1.1: Seismic actions and general requirements for structures.*

- CEN.** (2005a). *Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules*. EN 1998-1, Bruxelles, Belgium: European Committee for Standardization.
- Collier, C. J. & Elnashai, A. S.** (2001). A Procedure for Combining Vertical and Horizontal Seismic Action Effects. *Journal of Earthquake Engineering* 5 (4): 521-539.
- CSI Perform 3D V7.** (2015). Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures. Berkeley, CA: Computer and Structures, Inc.
- Deger, Z. T. & Yang T. Y.** (2015). Seismic Performance of Reinforced Concrete Core Wall Buildings With and Without Moment-Resisting Frames. *Structural Design of Tall and Special Buildings* 24 (7): 477-490.
- FEMA-356.** (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency.
- Friedland, I., Power, M. And, R.** (1997). Proceedings of the FHWA/NCEER Workshop on the National Representatino of Seismic Ground Motion For New and Existing Highway Facilities." *Technical Report NCEER-97-0010*.
- IBC-2000.** (2000). *International Building Code*. Virginia: International Code Council, Falls Church.
- Iyengar, R. N., And Shinozuka, M.** (1972). Effect of Self-Weight and Vertical Accelerations on the Seismic Behaviour of Tall Structures During Earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1 (1): 69-78.
- Iyengar, R. N., And Sahia, T. K.** (1977). "Effect of Vertical Ground Motion on the Response of Cantilever Structures. *Proc. Sixth World Conf. on Earthquake Engineering* 1166-1177.
- Kalkan, E. and Gulkan, P.** (2004) Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey. *Earthquake Spectra* 20.3: 853-882
- Kim, S. J., Halub, C. J., Elnashai, A. S.** (2010) Analytical asessment of the vertical earthquake motion on RC bridge piers. *Journal of Structural Engineering*. 137(2), 252-260

- LATBSDC.** (2008). An Alternative Procedure For Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council.
- Lee, H. & Mosalam, K. M.** (2014) Seismic evaluation of the shear behaviour in reinforced concrete bridge columns including effect of vertical accelerations. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 43.3: 317-337
- Lin, Y. K. Shih, T.** (1982) Vertical seismic load effect on building response. *Journal of the Engineering Mechanics Division* 108.2 :331-343.
- Mander, J. B., Priestley M. J. & Park, R.** (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering* 114 (8): 1804–1826.
- Moehle, J., Bozorgnia, Y., Jayaram,N., Jones, P., Rahnama,M., Shome,N., Tuna, Z., Wallace, J., Yang, T. & Zareian, F.** (2011). *Case Studies of the Seismic Performance of Tall Buildings Designed by Alternative Means.* Report 2011/05, Pacific Earthquake Engineering: University of California: Berkeley.mos
- Munshi, J. A., & Ghosh, S. K.** (1998). Analyses of Seismic Performance of a Code-Designed Reinforced Concrete Building. *Journal of Engineering Structures* 20 (7): 606-618.
- Mwafy, A. M., & Elnashai, A. S.** (2006). Vulnerability of Code-Compliant RC Buildings under Multi-Axial Earthquake Loading. *4th International Conference on Earthquake Engineering,* Taipei,Taiwan. Paper No. 115.
- Naish, D.** (2010). *Testing and Modeling of Reinforced Concrete Coupling Beams.* Ph.D. Dissertation., University of California, Los Angeles.
- Newmark, N. M.** (1973). A Study of Vertical and Horizontal Spectra. Report WASH-1255. Washington, D.C.: U.S. Atomic Energy Commission, Directorate of Licensing.

Pacific Earthquake Engineering Research Center. (2010). *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*. Report PEER-2010/05, Pacific Earthquake Engineering Research Center: University of California: Berkeley, CA.

Papazoglou, A. & Elnashai, A. S. (1996). Analytical and Field Evidence of The Damaging Effect of Vertical Earthquake Ground Motion. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 25 (10):1109-1137.

Shakib, H. And Fuladgar, A. (2003). Effect of Vertical Component of Earthquake on the Response of Pure-Friction Base-Isolated Asymmetric Buildings. *Journal of Engineering Structures* 25 (14): 1841-1850.

Shrestha, B. (2009) Vertical ground motions and its effect of engineering structures: a state-of-art review. *Proceeding of International Seminar on Hazard management for Sustainable Development in Kathmandu, Nepal*.

Tuna, Z. (2012). *Seismic performance, modeling, and failure assessment of reinforced concrete shear wall buildings*. Ph.D. Dissertation, University of California, Los Angeles. 67

UBC-97. (1997). *Uniform Building Code*. Whittier, California: International Conference of Building Officials.

Yönetmeliği, T. D. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Ali ÇOPUROĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 14.03.1993 Kayseri
E-posta : copuroglu16@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **İlkokul** : 2007, ODTÜ GVO Kayseri
- **Lise** : 2011, Kayseri Fen Lisesi
- **Lisans** : 2016, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği