

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN DİKKATE ALINDIĞI ORTA
KATLI BETONARME BİNALARDA ÇEKİÇLEMENİN
SİSMİK DAVRANIŞLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

DOKTORA TEZİ

MUHAMMET KAMAL

DENİZLİ, NİSAN - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN DİKKATE ALINDIĞI ORTA
KATLI BETONARME BİNALARDA ÇEKİÇLEMENİN
SİSMİK DAVRANIŞLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

DOKTORA TEZİ

MUHAMMET KAMAL

DENİZLİ, NİSAN - 2021

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

MUHAMMET KAMAL

ÖZET

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN DİKKATE ALINDIĞI ORTA KATLI
BETONARME BİNALARDA ÇEKİÇLEMENİN SİSMİK
DAVRANIŞLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ
DOKTORA TEZİ
MUHAMMET KAMAL
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET İNEL)**

DENİZLİ, NİSAN - 2021

Bu çalışma, çekiçleme ve zemin-yapı-etkileşimi (ZYE) olarak adlandırılan bu iki önemli olgunun birlikte (yapı-zemin-yapı-etkileşimi, YZYE) değerlendirilmesini amaçlamıştır. Ankastre mesnetli modeller YZYE ve ZYE modelleri ile kıyaslanarak zemin etkisinin komşu binalar üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar arasında “5m” ve “0m” olmak üzere iki farklı derz mesafesi seçilerek 30 adet ankastre mesnetli ikili bina modeli, 30 adet YZYE modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, 5 adet ZYE modeli oluşturulmuştur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile uyumlu 22 adet ivme kaydı seçilerek bu modellerin doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanındaki analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ankastre mesnetli ve yeterli derz mesafesine (5m) sahip referans modeller ile kıyaslanmıştır. Sismik çarpışmalar sonucu, ankastre mesnetli 5, 8 ve 10 katlı binalarda %10-21 aralığında talep artışı gözlenirken, YZYE modellerinde bu artış %26-30 aralığına ulaşmaktadır. 13 ve 15 katlı ankastre mesnetli binaların taleplerinde ise sınırlı bir değişim (%3-4) görülürken, YZYE modellerde ise %11-15 aralığında bir artış meydana gelmektedir. Çarpışma etkilerinin görülmediği YZYE ve ZYE modeller ankastre modeller ile kıyaslandığında; 5 ve 8 katlı binaların ZYE modellerindeki talep değişimleri sınırlı iken, YZYE modellerde %19’ a varan artışlar görülebilmektedir. Buna karşılık 10, 13 ve 15 katlı binaların ZYE ve YZYE modellerindeki talep değişimleri benzerlik göstermekte ve %15’e kadar artış meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, yumuşak zeminlerde bulunan ve yetersiz derz mesafesine sahip komşu binalar için en gerçekçi yaklaşımın YZYE model olduğu sonucuna varılmaktadır. Eğer yeterli derz mesafesi mevcut ise; düşük katlı binaların YZYE modelinin, yüksek katlı binalarda ise ZYE veya YZYE modellerinin oluşturulması önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Yapı-zemin-yapı etkileşimi, zemin-yapı etkileşimi, çekiçleme, orta katlı betonarme binalar, doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analiz

ABSTRACT

THE EFFECTS OF POUNDING ON SEISMIC BEHAVIOR OF MID-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS CONSIDERING SOIL-STRUCTURE INTERACTION

PH.D THESIS

MUHAMMET KAMAL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. MEHMET INEL)

DENİZLİ, APRIL 2021

This study aimed to evaluate these two important phenomena, which are called pounding and soil-structure-interaction (SSI), together (structure-soil-structure-interaction, SSSI). The effects of soil on adjacent buildings have been revealed by comparing fixed-base models with SSSI and SSI models. This study considers 5 different reinforced concrete buildings as 5, 8, 10, 13 and 15-storey and two different seismic separation distances as "5m" and "0m" between each pair of buildings. The considered parameters result in 30 fixed base adjacent building, 30 SSSI and 5 SSI models. 22 acceleration records compatible with Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018) were selected and nonlinear time history analyses of the all models were carried out. The results obtained were compared with reference models with fixed base assumption and sufficient gap distance (5m). As a result of seismic collisions, there is an increase in displacement demands in the range of 10-21% for 5, 8 and 10-storey fixed base models, while this increase reaches the range of 26-30% for the SSSI models. A limited change (3-4%) is observed in the demands of the 13 and 15-storey fixed base models, while the increase in the demands of SSSI models is in the range of 11-15%. When the SSI and SSSI models without collision effects are compared with fixed base models; the 5 and 8-storey SSSI models result in up to %19 increase in displacement demands while the demand changes in their SSI models are limited. On the other hand, the demand changes in the SSI and SSSI models of 10-, 13- and 15- storey buildings are similar with an increase of up to 15%. Therefore, it is concluded that the SSSI model is the most realistic approach for adjacent buildings on soft soils and with insufficient seismic gap. If there is a sufficient separation distance; it is recommended to create SSSI models for low-rise buildings and SSI or SSSI models for high-rise buildings.

KEYWORDS: Structure-soil-structure interaction, soil-structure interaction, pounding, mid-rise reinforced concrete buildings, nonlinear time history analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiv
KISALTMA LİSTESİ	xvii
ÖNSÖZ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür Özeti	6
1.2.1 Ankastre Modellerde Çekiçleme Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar	6
1.2.2 Zemin Yapı Etkileşimi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	9
1.2.3 Yapı Zemin Yapı Etkileşimi Üzerine Yapılan Çalışmalar	11
1.2.4 Deprem Parametreleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	14
2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME	17
2.1 Genel	17
2.2 Bina Modelleri.....	17
2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Bina Davranışı	20
2.4 Ankastre Çekiçleme Modelleri ve Link Eleman	23
3. ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME	27
3.1 Zeminin Dinamik Özellikleri	27
3.2 Zemin Yapı Etkileşimi Modelleme Yaklaşımı.....	30
3.2.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntem.....	34
3.2.2 Doğrusal Elastik Olmayan Yaklaşım	36
3.3 Yapı-Zemin-Yapı Etkileşim Modeli.....	37
3.4 Zemin-Yapı Etkileşim Modeli.....	40
4. DEPREM KAYDI SEÇİMİ	42
4.1 Tasarım Spektrumu ve Deprem Kaydı Seçim Kriterleri.....	43
4.1.1 Tasarım İvme Spektrumu	43
4.1.2 İvme Kaydı Seçim Kriterleri.....	45
4.1.3 İvme Kayıt Seçiminde İlave Kriterler	45
4.2 Optimizasyon Problemi.....	46
4.3 Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA).....	47
4.4 Seçilen İvme Kayıtları ve Ölçek Katsayıları.....	49
4.5 Seçilen İvme Kayıtlarının Anakayaya İndirilmesi	51
4.6 Yüzey ile Anakaya Kayıtlarının Karşılaştırılması.....	53
5. YER HAREKETİ PARAMETRELERİ	60
6. ANKASTRE MESNETLİ İKİLİ MODEL ANALİZ SONUÇLARI	64
6.1 Genel.....	64
6.2 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması.....	64
6.3 Çatı Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması.....	69
6.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması	96

7. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANALİZ	
SONUÇLARI	101
7.1 Genel	101
7.2 Çatı Deplasman Talepleri	101
7.3 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması	104
7.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması	107
7.5 Yer Hareketi Parametreleri ile ZYE Modellerinin Talepleri Arasındaki Korelasyon İlişkileri	110
7.6 Talepler Açısından Daha İyi Korelasyonun Elde Edildiği Optimizasyon Çalışması	114
8. YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANALİZ	
SONUÇLARI	119
8.1 Genel	119
8.2 Çatı Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması	120
8.3 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması	134
8.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması	138
9. ZEMİN-YAPI-ETKİLEŞİMİ VE YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANKASTRE MODELLER İLE KİYASLANMASI.	145
9.1 Genel	145
9.2 Çatı Deplasman Talepleri	145
9.3 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması	150
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	157
10.1 Sonuçlar	157
10.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	162
11. KAYNAKLAR	164
12. ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Binaların kalıp planları.....	19
Şekil 2.2: 15 katlı binanın kolon ve giriş kesit değişimi.....	19
Şekil 2.3: Plastik mafsal hipotezi ve betonarme elemanın moment eğrilik diyagramı	20
Şekil 2.4: a) Plastik mafsal tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum	21
Şekil 2.5: a) 10 ve 5 katlı ikili bina modeli b) kat seviyelerinden bağlanan link eleman	24
Şekil 2.6: a) Kelvin model b) kuvvet deformasyon ilişkisi (Muthukumar ve Desroches 2004, 2006).....	25
Şekil 3.1: Zeminin doğrusal olmayan gerilme-deformasyon eğrisi ve kayma deformasyonuna karşılık gelen farklı sekant kayma modülleri (Darendeli 2001).....	27
Şekil 3.2: Çevrimsel yükleme altında eşdeğer kayma modülü (Hosseini ve Pajouh 2012)	28
Şekil 3.3: Çevrimsel yükleme altında kayma modülü ve sönüm oranının tahmini (Darendelli 2001)	29
Şekil 3.4: Doğrusal olmayan zeminin kayma deformasyonuna karşılık gelen a) kayma modülü azalım eğrisi ve b) zeminin sönüm oranı eğrisi.....	30
Şekil 3.5: Sonlu elemanlar için 3 çeşit sınır durumu a) sıfır yer değiştirmelerin yer aldığı elementer sınır (elementary boundary) b) viskoz sönümleyici içeren yerel sınır (local boundary) c) tutarlı sınır (consistent boundary) (Kramer 1996).....	31
Şekil 3.6: 3B sonlu elemanlarda viskoz sınır (Livaoglu ve Dogangun 2007)....	32
Şekil 3.7: Doğrusal olmayan zeminin kayma deformasyonuna karşılık gelen a) kayma modülü azalım eğrisi ve b) zeminin sönüm oranı eğrisi.....	37
Şekil 3.8: 15-10 katlı yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelinin 3 boyutlu görünümü	38
Şekil 3.9: 15-10 katlı yapı-zemin-yapı etkileşim modelinin 3 boyutlu görünümünden bir kesit	39
Şekil 3.10: 15-10 yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelinin RSN1082-H2 deprem kaydı için 15 katlı binadan elde edilen çatı deplasman grafiği.....	40
Şekil 3.11: 3 boyutlu 10 katlı zemin-yapı etkileşim modeli	41
Şekil 4.1: Çalışmada kullanılan binalar için yatay tasarım spektrum grafiği (TBDY-2018)	44
Şekil 4.2: Ölçeksiz 22 ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması (E(T)) ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (Sae(T)) grafiği.....	49
Şekil 4.3: Ölçeklendirilmiş 22 ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması (E(T)) ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (Sae(T)) grafiği	50
Şekil 4.4: 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması (E(T)) ve 1.3 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (1.3*A(T)) grafiği.....	50

Şekil 4.5: RSN1082-H2 deprem kaydının 45 m ve 3 farklı tabakadan oluşan zemin profilindeki ivme grafiği.....	52
Şekil 4.6: RSN1082-H2 deprem kaydının 45 m ve 3 farklı tabakadan oluşan zemin profilindeki spektral ivme grafiği.....	53
Şekil 4.7: Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen ivme grafikleri	55
Şekil 4.8: Seçilen ivme kayıtlarının zemin yüzeyindeki ve anakayadaki PGA değerleri	57
Şekil 4.9: Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen spektral ivme grafikleri	58
Şekil 6.1: 15 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.2: 15 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.3: 15 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.4: 15 ve 13 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 6.5: 13 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 6.6: 13 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 6.7: 13 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.8: 10 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.9: 10 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.10: 8 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.11: 10-5 ikili modeldeki 5 katlı binanın RSN1082-H2 için çatı deplasman grafiği	70
Şekil 6.12: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	71
Şekil 6.13: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	72
Şekil 6.14: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	73
Şekil 6.15: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	74
Şekil 6.16: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	75
Şekil 6.17: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	76
Şekil 6.18: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	77
Şekil 6.19: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	78
Şekil 6.20: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	79

Şekil 6.21: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	80
Şekil 6.22: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	81
Şekil 6.23: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	82
Şekil 6.24: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	83
Şekil 6.25: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	84
Şekil 6.26: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	85
Şekil 6.27: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	86
Şekil 6.28: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	87
Şekil 6.29: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	88
Şekil 6.30: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	89
Şekil 6.31: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları	90
Şekil 6.32: 15 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı	91
Şekil 6.33: 13 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı	91
Şekil 6.34: 10 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı	93
Şekil 6.35: 8 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı.....	93
Şekil 6.36: 5 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı.....	93
Şekil 6.37: Her bir binanın farklı ikili modelleri için hesaplanan deplasman oranlarının Varyasyon Katsayıları.....	94
Şekil 6.38: 5 katlı bina için deplasman büyütme faktörü.....	94
Şekil 6.39: 8 katlı bina için deplasman büyütme faktörü.....	95
Şekil 6.40: 10 katlı bina için deplasman büyütme faktörü.....	96
Şekil 6.41: 15 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	97
Şekil 6.42: 15 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	98
Şekil 6.43: 15 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	98
Şekil 6.44: 15 ve 13 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	98
Şekil 6.45: 13 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	99
Şekil 6.46: 13 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	99

Şekil 6.47: 13 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	99
Şekil 6.48: 10 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	100
Şekil 6.49: 10 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	100
Şekil 6.50: 8 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	100
Şekil 7.1: ZYE modellerinin kat adedine göre deplasman büyütme faktörü..	102
Şekil 7.2: Tüm depremler için ZYE modellerinden elde edilen taleplerin ankastre modellere oranı ve bu oranlar için medyan değerleri	103
Şekil 7.3: a) 15 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	104
Şekil 7.4: a) 13 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	105
Şekil 7.5: a) 10 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	105
Şekil 7.6: a) 8 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	106
Şekil 7.7: 5 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı.....	106
Şekil 7.8: a) 15 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	107
Şekil 7.9: a) 13 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	108
Şekil 7.10: a) 10 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	108
Şekil 7.11: a) 8 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	109
Şekil 7.12: a) 5 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı	109
Şekil 7.13: Tüm bina modellerin ortalama çatı ötelenme oranlarının farklı yer hareketi parametreleri için R^2 değerleri	111
Şekil 7.14: 21 farklı ivme kaydının dinamik analizleri sonucu elde edilen ortalama çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişki.....	112
Şekil 7.15: 21 farklı ivme kaydı ve 5 farklı ZYE modelinin dinamik analizleri sonucu elde edilen çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişki	113
Şekil 7.16: ZYE modelleri için analiz ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması	117

Şekil 8.1: Farklı derz mesafeli 5 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması	123
Şekil 8.2: Farklı derz mesafeli 8 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması	124
Şekil 8.3: Farklı derz mesafeli 10 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması	125
Şekil 8.4: Farklı derz mesafeli 13 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması	126
Şekil 8.5: Farklı derz mesafeli 15 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması	127
Şekil 8.6: Farklı derz mesafeli 5 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı	128
Şekil 8.7: Farklı derz mesafeli 8 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı	129
Şekil 8.8: Farklı derz mesafeli 10 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı	130
Şekil 8.9: Farklı derz mesafeli 13 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı	131
Şekil 8.10: Farklı derz mesafeli 15 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı	132
Şekil 8.11: 15 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	135
Şekil 8.12: 15 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	135
Şekil 8.13: 15 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	136
Şekil 8.14: 15 ve 13 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	136
Şekil 8.15: 13 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	136
Şekil 8.16: 13 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	137
Şekil 8.17: 13 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	137
Şekil 8.18: 10 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	137
Şekil 8.19: 10 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	138
Şekil 8.20: 8 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	138
Şekil 8.21: 15 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	140
Şekil 8.22: 15 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	140
Şekil 8.23: 15 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	141
Şekil 8.24: 15 ve 13 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	141
Şekil 8.25: 13 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması	141

Şekil 8.26: 13 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	142
Şekil 8.27: 13 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	142
Şekil 8.28: 10 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	142
Şekil 8.29: 10 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	143
Şekil 8.30: 8 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması.....	143
Şekil 9.1: 5 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı.	146
Şekil 9.2: 8 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı.	147
Şekil 9.3: 10 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı	148
Şekil 9.4: 13 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı	149
Şekil 9.5: 15 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı	149
Şekil 9.6: 5 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı	152
Şekil 9.7: 8 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı	153
Şekil 9.8: 10 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı.....	153
Şekil 9.9: 13 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı.....	154
Şekil 9.10: 15 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı.....	154

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Binaların tasarımında dikkate alınan değerler	18
Tablo 2.2: Bina yüksekliğince kolon ve giriş boyutlarının değişimi	20
Tablo 2.3: İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları	22
Tablo 2.4: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	23
Tablo 2.5: İkili bina model kombinasyonları	24
Tablo 2.6: Her bir ikili bina modellerindeki link elemana ait viskoz sönüm katsayısı	26
Tablo 3.1: Zemin profiline ait özellikler (Ghandil ve Behnamfar, 2017)	33
Tablo 3.2: Zemin profilinin yataydaki boyutunun değişimi ile 15 katlı modelin çatı deplasman talebi	40
Tablo 4.1: Zemin sınıfları ve V_{s30} değerleri	44
Tablo 4.2: Spektrum şeklini kontrol eden parametreler	44
Tablo 4.3: Seçilen 11 ivme kayıt takımına ait özellikler ve ölçek katsayıları ..	51
Tablo 4.4: Seçilen ivme kayıtlarının zemin yüzeyindeki ve anakayadaki PGA değerleri	57
Tablo 5.1: Yer hareketi parametreleri	60
Tablo 5.2: Herbir deprem kaydı için hesaplanan yer hareketi parametre değerleri	61
Tablo 5.3: Herbir deprem kaydı için hesaplanan yer hareketi parametre değerleri	62
Tablo 6.1: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	71
Tablo 6.2: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	72
Tablo 6.3: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	73
Tablo 6.4: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	74
Tablo 6.5: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	75
Tablo 6.6: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	76
Tablo 6.7: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	77
Tablo 6.8: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	78
Tablo 6.9: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	79
Tablo 6.10: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	80
Tablo 6.11: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	81
Tablo 6.12: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	82

Tablo 6.13: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	83
Tablo 6.14: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	84
Tablo 6.15: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	85
Tablo 6.16: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	86
Tablo 6.17: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	87
Tablo 6.18: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	88
Tablo 6.19: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	89
Tablo 6.20: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri	90
Tablo 6.21: Binaların farklı ikili modellerdeki çarpışmalı durum deplasman taleplerinin çarpışmasız durum deplasman taleplerine oranları.....	92
Tablo 7.1: ZYE modellerinin maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	103
Tablo 7.2: Farklı kat adetlerine sahip ZYE modellerin çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki R^2 değerleri	110
Tablo 7.3: Analiz sonuçları ile normalize edilen 6 farklı parametrenin istatistiksel değerleri	113
Tablo 7.4: E1-E5 ve yer hareketi parametreleri ile elde edilen tahmin sonuçlarının analiz sonuçlarına oranı için istatistiksel değerler...	118
Tablo 8.1: 15 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	123
Tablo 8.2: 15 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	124
Tablo 8.3: 15 ve 10 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm).....	125
Tablo 8.4: 15 ve 13 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm).....	126
Tablo 8.5: 13 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	127
Tablo 8.6: 13 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	128
Tablo 8.7: 13 ve 10 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm).....	129
Tablo 8.8: 10 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	130
Tablo 8.9: 10 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	131
Tablo 8.10: 8 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)	132
Tablo 8.11: YZYE modellerindeki binaların deplasman büyütme faktörleri ve kat adedine (N) bağlı olarak değişen denklemleri.....	133
Tablo 8.12: YZYE modellerindeki binaların maksimum GKÖO büyütme faktörleri ve kat adedine (N) bağlı olarak değişen denklemleri...	144

- Tablo 9.1: Binaların farklı mesnetlenme türleri veya ikili binalar halinde modellenmesi durumunda elde edilen deplasman taleplerinin çarpışmasız ankastre modeldeki deplasman taleplerine oranları . 151
- Tablo 9.2: Binaların farklı mesnetlenme türleri veya ikili binalar halinde modellenmesi durumunda elde edilen GKÖO değerlerinin çarpışmasız ankastre modeldeki GKÖO değerlerine oranları..... 156

SEMBOL LİSTESİ

A_L	: Her bir döngü anında harcanan enerji
A_T	: Üçgen alanı
b_w	: Kirişin gövde genişliği
c_k	: Link elemanının viskoz sönüm katsayısı
C_u	: kohezyon
C_i	: Fourier genliği
CR	: Çaprazlama parametresi
D	: Sönüm oranı
d_b	: Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama) (m)
E	: Elastisite modülü
$E(T)$: İki asal yön için seçilen ivme kayıtları kullanılarak elde edilen bileşke spektrum (g)
e	: Link eleman enerji verimlilik katsayısı
f	: Zemin frekansı (Hz)
F	: Ölçekleme katsayısı
f_{ctm}	: mevcut betonun çekme dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı (MPa)
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
G	: kayma modülü
G_{duvar}	: Duvar yükü
G_e	: Jenerasyon sayısı
g_p	: İkili bina modelleri arasındaki derz mesafesi
G_{sec}	: Sekant kayma modülü
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
G/G_{max}	: Kayma modülü oranı
h_i	: Zemin profilindeki her bir tabakanın kalınlığı (m)
H	: Zemin profil yüksekliği (m)
$h_1(x)$: Bileşke/hedef spektral ivme oranının üst sınırını kontrol eden kısıt fonksiyonu
$h_2(x)$: Bileşke/hedef spektral ivme oranının alt sınırını kontrol eden kısıt fonksiyonu
$h_3(x)$: İvme kaydı havuzundan seçilen kaydın sadece bir kez seçilmesini kontrol eden kısıt fonksiyonu
K_k	: Link eleman yay rijitliği
L_p	: Plastik mafsal boyu (m)
L_s	: Kesme açıklığı (m)
m_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın kütlesi
m_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın kütlesi
M_w	: Deprem büyüklüğü
n	: Hareketli yük azaltma katsayısı
NP	: Popülasyon büyüklüğü
ND	: Değişken sayısı
PK_1	: Bileşke/hedef spektral ivme oranının üst sınırını kontrol eden kısıt fonksiyonu için gereken penaltı katsayısı

PK_2	: Bileşke/hedef spektral ivme oranının alt sınırını kontrol eden kısıt fonksiyonu için gereken penaltı katsayısı
PK_3	: İvme kaydı havuzundan seçilen kaydın sadece bir kez seçilmesini kontrol eden kısıt fonksiyonu için gereken penaltı katsayısı
Q	: Hareketli yük
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
T_{1x}	: Bina hakim titreşim periyodu (s)
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_d	: Yer hareketinin süresi
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
u_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın ilgili kat seviyesindeki deplasman değeri
u_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın ilgili kat seviyesindeki deplasman değeri
V_e	: Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_r	: Anakayanın kayma dalgası hızı
V_s	: Yumuşak zeminin kayma dalgası hızı
V_{s30}	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
V_{si}	: Her bir zemin tabakasına ait kayma dalgası hızı (m/s)
V_y/W	: Sismik dayanım oranı
W	: Bina ağırlığı (kN)
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_c^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\rho_{sh,min}$: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik (m^{-1})

ϕ_y	: Akma eğriliği (m^{-1})
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
\dot{u}_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın hız değeri
\dot{u}_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın hız değeri
ξ	: Link eleman sönüm oranı
τ_c	: Kayma gerilmesi
γ_c	: Kayma şekildeğiştirmesi
ν	: poisson oranı
ρ	: zemin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
x^{r_i}	: Popülasyon içinden seçilen rastgele çözüm vektörü
(v)	: Mutasyon vektörü
$f(x)$: Amaç fonksiyonu
(x)	: Karar değişkenleri vektörü
x_{jmin}^i	: i. çözüm vektöründeki j. değişkene ait alt limit
x_{jmax}^i	: i. çözüm vektöründeki j. değişkene ait üst limit
$x_{j,G}^i$: G. Jenerasyonun i. çözüm vektöründe bulunan j. değişken
$x_{j,G}^{r_1}$: G. Jenerasyonda mutasyon işlemi için rastgele seçilen birinci çözüm vektörü
$x_{j,G}^{r_2}$: G. Jenerasyonda mutasyon işlemi için rastgele seçilen ikinci çözüm vektörü
$x_{j,G}^{r_3}$: G. Jenerasyonda mutasyon işlemi için rastgele seçilen üçüncü çözüm vektörü
$v_{j,G}^i$: G. Jenerasyonda mutasyon işlemi için sonucu elde edilen i. çözüm vektöründeki j. değişken
$u_{j,G}^i$: G+1 jenerasyonda seçim işlemi için sonucu elde edilen i. çözüm vektöründeki j. değişken
$r(0, 1)$: 0 ile 1 arasında seçilen rastgele değerler
$\rho V \dot{u}^2$: cismin enerjisi
α	: empedans oranı
ξ	: sönüm oranı
ρ_r	: Anakayanın yoğunluğu
ρ_s	: Yumuşak zeminin yoğunluğu
λ_0	: İvme, hız veya deplasmanın karelerinin ortalaması

KISALTMA LİSTESİ

1B	: Bir boyutlu
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
A95	: A95 parameter
A_{rms}	: Root Mean Square of Acceleration
ASCE-10	: American Society of Civil Engineers (2010)
ASI	: Acceleration Spectrum Intensity
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CAV	: Cumulative Absolute Velocity
ÇSD	: Çok Serbetlik Dereceli sistem
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
D_{rms}	: Root Mean Square of Displacement
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
EC-8	: Eurocode (2004)
EDA	: Effective Design Acceleration
ELM	: Eşdeğer Doğrusal Metot
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
HI	: Housner Intensity
I_a	: Arias Intensity
I_c	: Characteristic Intensity
KH	: Kontrollü Hasar
NFM	: Yakın Saha Metodu
PGA	: Peak Ground Acceleration
PGD	: Peak Ground Displacement
PGV	: Peak Ground Velocity
SED	: Specific Energy Density
SH	: Sınırlı Hasar
SMA	: Sustained Maximum Acceleration
SMV	: Sustained Maximum Velocity
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
T_m	: Mean Period
T_p	: Predominant Period
TSD	: Tek Serbetlik Dereceli sistem
V_{max}/A_{max}	: Peak Velocity and Acceleration Ratio
V_{rms}	: Root Mean Square of Velocity
VSI	: Velocity Spectrum Intensity
ZYZE	: Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimi
ZTADEO	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan
ZYE	: Zemin-Yapı Etkileşimi

ÖNSÖZ

“Zemin-Yapı Etkileşiminin Dikkate Alındığı Orta Katlı Betonarme Binalarda Çekiçlemenin Sismik Davranışlar Üzerindeki Etkileri” isimli bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmış ve kabul edilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde destek ve katkılarını esirgemeyen, lisansüstü eğitimim sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Mehmet İNEL’ e teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince değerli görüş ve önerilerini eksik etmeyen Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Fuat DEMİR’ e ve Doç. Dr. Fatih CETİŞLİ’ ye, tez jüri üyeleri olarak bu çalışmaya katkıda bulunan Prof. Dr. Recep BİRGÜL’ e ve Dr. Öğr. Üyesi Bayram Tanık ÇAYCI’ ya teşekkür ederim.

Uzun soluklu bir çalışmanın gerçekleştirilmesinde motivasyonumu, kendime olan güvenimi ve inancımı hep üst seviyede tutmamı sağlayan değerli kardeşlerim ve çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Ziya ÇAKICI’ ya, Arş. Gör. Ersin BAHAR’ a, Öğr. Gör. Volkan HELVA’ ya ve İnş. Yük. Müh. Ahmet TANRIKULU’ na şükranlarımı sunarım. Umarım herşey gönlünüzce olur.

Hayatım boyunca maddi manevi her türlü fedakarlığı gösteren ve varlıklarına binlerce kez şükrettiğim annem Gülten KAMAL’a, babam Ahmet KAMAL’a, abilerim Volkan ve Vahdet KAMAL’ a ayrı ayrı teşekkür ederim. Son olarak, bu tez çalışmasında en az benim kadar emeği olduğuna inandığım ve kariyerim boyunca varlığından güç alacağımı bildiğim sevgili eşim Kübra FALAKALI KAMAL’ a şükranlarımı sunuyorum. İyi ki varsın.

1. GİRİŞ

Kent nüfusunun yoğun olduğu metropol şehirlerde, mimari ve ekonomik gerekçelerden dolayı yapılar bitişik nizam olarak ya da yetersiz boşluk oranı (derz mesafesi) ile inşa edilmektedir. Farklı dinamik karakterlere (kat kütleleri ve yapısal rijitlikleri vb.) sahip komşu binaların deprem anında çarpışmaları sonucunda performans düzeyleri ciddi şekilde etkilenebilmektedir. Çekiçleme etkisi olarak da adlandırılan bu yapısal düzensizliğin, geçmişte kuvvetli depremler karşısında ağır yapısal hasarlara veya toptan göçmelere neden olduğu görülmüştür (Bertero ve Collins 1973, Northridge Reconnaissance Team 1996, Kasai ve Maison 1997, Youd ve diğ. 2000, Uzarski ve Arnold 2001). Mexico depremi (1985) sonrasında binaların yaklaşık %15' nin ağır hasar aldığı veya göçtüğü raporlanırken, yapısal hasarların %20-30' unda çekiçleme etkisinin rolünün olduğu belirtilmiştir (Rosenblueth ve Meli 1986, Anagnostopoulos 1995, Valles-Mattox ve Reinborn 1996). Simav depreminden sonra İnel ve diğerleri tarafından yapılan saha incelemelerinde sıralı komşu binaların çarpışması sonucu kalıcı hasarların meydana geldiği gözlenmiştir (İnel ve diğ. 2013, Ozmen ve diğ. 2014). Komşu binaların kat yüksekliklerinin, bina ağırlıklarının, rijitliklerinin veya bina yüksekliklerinin farklı olmasından dolayı, bitişik nizam olarak inşa edilen yapılarda çarpışmalar görülebilir. Bu çarpışmaların aslında, yapıların periyot değerlerinin birbirinden uzaklaşması ile meydana geldiği belirtilmektedir (Maison ve Kasai 1990, Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992, Kose ve Abacıoğlu 2008).

Ülkemizde de kalabalık şehirlerdeki orta katlı binalar, arsa maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bitişik nizam veya yetersiz derz mesafesi ile inşa edilmiştir. Buna örnek olarak Eskişehir ilinde yapılan istatistiksel çalışmaya göre; bitişik binaların sadece %36' sının birbirinden yeterli derz mesafesi ile ayrıldığı gözlenmiştir (Doğan ve Günaydın 2009). Dolayısıyla, konut stokumuzun büyük bir kısmının kuvvetli yer hareketleri karşısında çarpışma olasılığı yüksektir. Yetersiz derz mesafesinin bırakıldığı komşu binalarda, sismik tehlikelerin hafifletilmesi ve çekiçlemenin bina davranışı üzerindeki etkilerinin gerçekçi bir yaklaşım ile belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen yapıların sismik davranışlarında, yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak önemli değişiklikler meydana gelebilmektedir. 19 Eylül 1985 Michoacan (Meksika) depremi, Meksika' nın Pasifik kıyılarında orta düzeyde hasar oluştururken, 350 km uzaklıktaki Mexico City' de 39-50 m kalınlığındaki yumuşak kil tabakasına oturan binalarda büyük hasarlar oluşturmuştur. Kil tabakasında belirlenen pik yer ivmesinin (PGA), kayalık bölgeye oranla 5 kat daha büyük olduğu gözlenmiştir (Kramer 1996). Yumuşak zeminlerdeki zemin büyütmesi ve zemin-yapı etkileşimi nedeniyle görülen periyot uzama etkisi, 5 ile 20 kat arasındaki binalarda ağır hasara veya tamamen göçmeye neden olmuştur. Benzer şekilde 19 Ekim 1989 Loma Prieta depremi, aynı uzaklıkta bulunan iki farklı sahada 2.7 kata varan pik yer ivmesi ile yıkıcı sonuçlar doğurmuştur.

Bu iki önemli olgunun (çekiçleme ve zemin-yapı etkileşimi) birlikte ele alınması ile (yapı-zemin-yapı etkileşimi), betonarme binaların sismik performansı üzerindeki etkilerinin doğru bir şekilde ortaya konması gereklilik arz etmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma üç ana hedef doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak yetersiz derz mesafesine sahip ankastre mesnetli komşu binaların sismik etkiler altındaki çarpışması sonucu, bina davranışlarının detaylı bir şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir. Diğer bir amaç ise, yumuşak zeminler üzerinde yer alan komşu binalarda, zemin-yapı etkileşiminin bina davranışına olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda farklı bina yüksekliğine sahip ankastre mesnetli ve yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modellerinde oluşabilecek çekiçlemenin, yapıların deplasman talepleri ve görelî kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Çarpışma etkilerinin görülmediği YZYE modellerindeki komşu binalar, zemin etkilerinden dolayı da birbirlerini etkileyebilir. Komşu binalar arasında, sadece zemin etkilerini belirleyebilmek için bir bina ve zeminden oluşan zemin-yapı etkileşim (ZYE) modelleri oluşturulmuştur. YZYE ve ZYE modellerinden elde edilen talepler ve görelî kat ötelenmeleri birbirleri ile kıyaslanarak zemin etkilerinin komşu binalar üzerindeki etkileri ortaya konulmak istenmiştir.

Yukarıda yer alan hedeflerin dışında, ZYE modellerindeki binaların deplasman talepleri ile yer hareketi parametreleri arasındaki korelasyon ilişkisi araştırılmıştır. 20 farklı yer hareketi parametresi içerisinde hangi parametrenin çatı ötelenme oranlarını daha iyi tahmin edebileceği sorusuna cevap aranmıştır. Ayrıca, saçılımı daha düşük olan ve yer hareketi parametrelerinden oluşan birleşik bir parametre sunulmuştur. 20 farklı parametreden rasgele 2, 3, 4, 5 ve 6 adet parametre seçilmiş ve bu parametrelerin ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Analiz ile tahmin sonuçları arasındaki hataların bu birleşik parametre ile asgariye indirmek üzere Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmanın önemi, aşağıda yer alan maddeler ile verilmiştir:

➤ Yapıların sismik performansları değerlendirilirken, statik ve dinamik olmak üzere doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Statik itme analizi yöntemi, yapıların kuvvet ve şekil deformasyon kapasitelerinin hesaplanmasında etkili olmasına rağmen, yüksek modların etkinliğini ve depremlerin karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtamamaktadır. Fakat sismik taleplerin belirlenmesinde zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan (ZTADEO) dinamik analiz yöntemi daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, çalışma kapsamında oluşturulan modeller için (ZTADEO) dinamik analiz yöntemi tercih edilecektir.

➤ Mevcut çalışmalarda, bilgisayar donanımlarının yetersiz olmasından dolayı yapılar genel olarak, Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem veya kat hizalarında toplanmış kütle olarak modellenmiştir. Bu çalışmada, basitleştirilmiş bina modellerinin yerine 3 boyutlu (3B) doğrusal elastik olmayan özelliğe sahip bina modelleri kullanılarak, betonarme binaların dinamik davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi sağlanacaktır.

➤ Yetersiz boşluk mesafesine sahip komşu binaların sismik etkiler altında çarpışması sonucu yapı davranışında önemli değişiklikler meydana gelebilmektedir. Kent nüfusunun yoğun olarak yaşadığı bölgelerde, bitişik nizam ya da yetersiz derz ile inşa edilen birçok yapı bulunmaktadır. Bu yapıların sismik performansları, çekiçleme etkisinin ihmal edilerek değerlendirilmesi, önemli bir soru işareti olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, komşu binalar arasında farklı boşluk

mesafeleri bırakılarak, binaların birlikte değerlendirilmeleri sağlanacak ve çekişlemenin bina davranışı üzerindeki etkileri doğru bir şekilde ortaya konacaktır.

➤ Birçok yapının modellenmesi sırasında, zemin etkileri ihmal edilerek, ankastre mesnet kabulü yapılmaktadır. Ancak, yumuşak zeminler üzerinde yer alan yapıların (özellikle bina yüksekliği arttıkça) deplasman talepleri, görelî kat ötelenme oranları vb. dinamik davranışları incelendiğinde, ankastre mesnet varsayımına göre oldukça farklılık göstermektedir. Bu nedenle, zemin-yapı etkileşiminin (ZYE) dikkate alınacağı bu çalışma ile gerçekçi bir modelleme oluşturulmak istenmektedir.

➤ Literatürde, zemin-yapı etkileşimi üzerine yapılan çalışmalarda, analiz yükünün azaltılması nedeniyle basit ayrık modelleme veya (az da olsa) zeminin elastik varsayıldığı doğrudan yöntem yaklaşımları kullanılmaktadır. Zeminde meydana gelen kayma şekil değiştirmelerin % 0.01 ile % 0.1 aralığında olması durumunda, zeminin doğrusal elastik modellenmesinin uygun olmayacağı vurgulanmaktadır (Kaklamanos ve diğ. 2015). Bunun yerine, eşdeğer doğrusal veya doğrusal elastik olmayan zemin modellemelerinin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmada dikkate alınan zemin profilinin doğrusal elastik olmayan özelliğini yansıtılabilmek için, kayma şekil değiştirmelerine bağlı olan kayma modülü ve sönüm oranı azalım ilişkileri (fully nonlinear method) dikkate alınmıştır.

➤ Literatürde, tek/çok serbestlik dereceli sistemlerin (TSD/ÇSD) olası hasar indeksi veya maksimum görelî ötelenmeler ile birçok yer hareketi parametresi arasında farklı bağıntılar sunulmuştur. Mevcut çalışmalarda ankastre mesnet yaklaşımı kullanılarak zemin-yapı etkileşimi ihmal edilmiştir. Halbuki, yer hareketleri ve temel dönmeleri, yumuşak zeminlerdeki orta ve yüksek katlı binaların yatay deplasman taleplerinde ciddi farklılıklar doğurmaktadır. Bu nedenden dolayı, ZYE modellerindeki binaların olası yapısal hasarlarını yansıtan yer hareketi parametreleri araştırılarak literatürdeki boşluğa önemli bir katkı sunulmuştur.

Yukarıda yer alan maddeler ışığında, gerçekçi modeller dikkate alınarak oluşturulan betonarme binaların, zemin-yapı etkileşimi ve çekişleme etkisi altındaki sismik performansları ortaya konmuştur. Oluşturulan YZYE ve ZYE modellerindeki binaların deplasman talepleri ve görelî kat ötelenme oranları ankastre mesnet varsayımının yapıldığı binalar ile kıyaslanmıştır.

Çalışma kapsamında, 3 boyutlu (3B) 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar oluşturulmuştur. Bina modelleri oluşturulurken Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ve ZD zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Betonarme perde duvarların yer almadığı bina modellerinin tabanında, öncelikle ankastre mesnet tanımlanarak bina tasarımları gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, çekiçleme etkilerini görebilmek için doğrusal elastik olmayan link elemanlar ile binalar birbirlerine bağlanarak ikili bina modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili bina modellerinde zemin-yapı etkileşimini (YZE) yansıtabilmek için, temel tabanında katı (solid) elemanlardan oluşan zemin profili tanımlanmıştır. Deprem etkisi altında doğrusal elastik olmayan zemin etkilerini yansıtabilmek için ise şekil değiştirmelere bağlı kayma modülü ve sönüm oranı azalım ilişkileri dikkate alınmıştır.

Oluşturulan bina modellerinin sismik performanslarını doğru bir şekilde ortaya koyabilmek adına, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan dinamik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Dinamik analizler için ZD zemin sınıfını yansıtan ve 180 m/s ile 360 m/s arasında değişen 22 adet ivme kaydı seçilmiştir. TBDY-2018 ile uyumlu olabilmesi için ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirme işleminde Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmıştır. Ankastre mesnet özelliğe sahip yapılar için bu ivme kayıtları doğrudan kullanılmıştır. Fakat 45 m yüksekliğindeki zemin profiline sahip YZYE ve ZYE modelleri için bu ivme kayıtları, DEEPSOIL programı ile anakayadaki karşılıklarına çevrilmiştir.

Çarpışmanın görülmediği 10 adet ankastre mesnetli ve 10 adet YZYE modelleri oluşturulmuştur. Bu ikili modellerin her biri için yetersiz derz mesafesinin temsil edildiği çarpışmalı modeller eklenmiştir (20 adet ankastre mesnetli, 20 adet YZYE modeli). Ayrıca sismik kaynaklı çarpışma sırasında bina dizilimi, bina davranışlarını olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle bina diziliminin değiştirildiği 10'ar adet ikili model daha ilave edilerek 30 adet ankastre mesnetli ve 30 adet YZYE modeli oluşturulmuştur. Ankastre mesnetli modeller için 22 ivme kaydı kullanılarak toplam 660 adet zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. YZYE modellerinde ivme kayıtları anakayaya indirilirken (deconvolution) bir ivme kaydı rezonansa girmiş ve o ivme kaydı bu modeller için kullanılamamıştır. Bu nedenle 30 YZYE modeli için 21 ivme kaydı kullanılarak toplam 630 dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 5 farklı ZYE modeli ve 21

ivme kaydı için 105 adet dinamik analiz ilave edilmiştir. Tez kapsamında toplamda 1395 adet 3B doğrusal elastik olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Tez çalışması ile ilgili literatürde yer alan önemli çalışmalar başlıklar halinde gruplandırılarak aşağıda verilmiştir.

1.2.1 Ankastre Modellerde Çekiçleme Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Muthukumar ve Desroches (2006), tarafından yapılan çalışmada, tek serbestlik dereceli bitişik lineer iki modelde 5 farklı birleşim modeli (stereomechanical, kelvin, hertz, hertzdamp ve linear spring) kullanılarak çarpışmanın sismik davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. El Centro deprem kaydı için 5 adet birleşim modelinin kullanıldığı ikili bitişik binaların deplasman ve ivme taleplerindeki ve darbe kuvvetlerindeki değişimler irdelenmiştir. Ayrıca düşük, orta ve yüksek PGA değerlerine ait toplam 27 deprem kaydı için, enerji kayıplarının dikkate alındığı 3 farklı birleşim modeli (stereomechanical, kelvin, hertzdamp) kullanılarak deplasman ve ivme taleplerindeki artışlar araştırılmıştır.

Jankowski 2008 yılında yaptığı çalışmada, kat seviyeleri ve toplam bina yükseklikleri aynı olan 3B doğrusal olmayan bitişik modelleri El Centro deprem kaydı ile doğrusal olmayan dinamik analize tabi tutarak çarpışmanın yapı davranışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çarpışma modeli oluşturulan ikili bina için boşluk mesafesi, kat kütlesi, yapısal rijitlik ve akma dayanımı gibi parametrelerin değişimi ile deplasman taleplerinin ve kesme kuvvetlerinin duyarlılığı irdelenmiştir.

C.P. Pandelites ve X. Ma Li (1997) tarafından doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile tek serbestlik dereceli modeller kullanılarak çekiçleme etkisinin yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 4 farklı ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmış, yapısal parametreler, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranış kabulleri göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçları

değerlendirmek amacıyla, binaların tepe deplasmanları, ivme tepkileri, link elemanlarda oluşan çarpışma kuvvetleri ve çarpışma sayısı incelenmiştir.

Efraimiadou ve diğ. (2013), bitişik binaların sismik etkiler altındaki davranışını inceleyen detaylı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında farklı bina yüksekliklerine sahip 9 farklı düzlemsel çerçeveli bina çiftinin, 6 farklı deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi gerçekleştirilmiştir. İkili binaların diziliminin incelendiği çalışmada maksimum tepe deplasmanları, kalıcı ötelenme, görelî kat ötelenme oranları, çarpışma kuvveti gibi birçok parametre değerlendirilmiştir. Ayrıca birçok çalışmadan farklı olarak çekiçleme etkisinin bazı durumlarda kalıcı ötelenmeleri sınırlayarak sismik davranışa olumlu katkılar verebileceği vurgulanmıştır.

Anagnostopoulos ve Karamaneas (2008), farklı kat seviyeleri olan 5 katlı perdeli-çerçeveli ikili sistemin sismik kaynaklı çarpışmaları üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir. Belirli bir rijitliği ve sönümü olan birleşim elemanın kullanıldığı ikili model için doğrusal elastik olmayan (nonlinear) dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçek deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı dinamik karakterlerdeki binaların deplasman ve ivme talepleri çarpışmalı ve çarpışmasız durumlar için kıyaslanmıştır. Ayrıca doğrusal elastik olmayan sonlu elemanlar ile modellenen perde duvarlarda gerilmelere bakılarak, çarpışmanın lokal etkileri üzerinde detaylı bir araştırma yapılmıştır. Çarpışan perde duvarların sismik talepleri azaltarak yapının göçmesini önleyebileceği savunulmuştur.

Cimellero ve Garcia (2007) tarafından yapılan deneysel çalışmada 2 ve 4 katlı doğrusal elastik modeller kat seviyelerinden, doğrusal olmayan cihazlar ile birbirlerine bağlanarak çekiçlemenin sismik talepleri üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde ele alınmıştır. Yumuşak kat düzensizliğine sahip 1/5 ölçekli gerçek çelik modeller arasında link elemanların farklı katlarda bağlanması ile 3 farklı çarpışma modeli oluşturulmuştur. Sarsma tablası üzerine yerleştirilen modellerin sismik kaynaklı yapı davranışlarında, 3 kombinasyon arasında kayda değer bir farklılık görülmediği ifade edilmiştir. Ayrıca link elemandaki sönüm katsayısının farklı değerleri için katlar arası ötelenme ve kat ivmeleri üzerinde çalışılmıştır.

Maison ve Kasai tarafından 1990 yılında yapılan araştırmada, çekiçleme etkisinin bina davranışı üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için çok serbestlik dereceli sistemde hareket denkleminin formülasyonu ve çözümü üzerine odaklanılmıştır. Bu kapsamda tek bir kat seviyesinde çarpışan 15 katlı elik bina ile rijit bina doğrusal yay modeli ile bağlanarak ikili çarpışma modeli oluşturulmuştur. Dinamik analizlerin yapıldığı esnek elik bina ereve sistem ile modellenirken, rijit bodur bina ise betonarme perde duvar olarak modele yansıtılmıştır. Çarpışmalı ve çarpışmasız modeller arasında çatı deplasmanındaki sınırlandırılmaya; kat ötelenme, kat kesme ve devrilme momentindeki artışlara vurgu yapılmıştır. Rijitlikleri farklı olan yay modelleri için yapılan analizlerde, daha rijit olan yayın 2 kattan daha fazla çarpışma kuvveti ürettiği belirtilmiştir.

Doğan ve Günaydın (2009) tarafından yapılan çalışmada farklı yüksekliklere sahip modeller, rijit blok ile farklı boşluk oranları için çarpışmaya maruz bırakılmıştır. Çarpışmanın binalara ait yapı elemanları üzerindeki etkileri çalışılmıştır. Sonlu elemanlar ile modellenen 2 katlı ereve binada darbe kuvveti altında gerilme analizleri yapılmıştır. Kat seviyesinde ve kolonun farklı noktalarında çarpışma kuvvetleri uygulanarak elemanda oluşan gerilmeler kıyaslanmıştır. Çarpışma kuvvetlerinin sistem tarafından tamamen snmlenemediğini ve binalar arasında elastik malzeme kullanımı veya betonarme perde duvarların kullanımının etkileri azaltabileceği ifade edilmiştir.

Kamal tarafından 2016 yılında yapılan çalışma kapsamında mevcut bina stokunun yansıtıldığı orta katlı binalarda ekilemenin bina davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan 4 ve 7 katlı modeller, doğrusal yaylar ile aynı kat seviyelerinden bağlanarak 4 farklı ikili bina oluşturulmuştur. Bu binalar arasında 3 farklı boşluk mesafesi bırakılarak deplasman talepleri, görelili kat ötelenme oranları ve hasar dağılımları incelenmiştir. Çarpışma yönünde deplasman taleplerinin sınırlandırıldığı ve serbest yönde arttığı belirtilmiştir. Ayrıca ekilemenin plastik mafsallardaki hasar dağılımında oluşturduğu farklara dikkat çekilmiştir.

1.2.2 Zemin Yapı Etkileşimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ghandil ve Behnamfar (2015), zemin-yapı etkileşim (ZYE) problemini doğrudan metot (direct method) kullanarak 3 farklı zemin tipi (C, D, E), 2 farklı zemin profili (kumlu ve killi zemin) ve 6 farklı bina (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 katlı) üzerinde incelemiştir. Zemin hacmi oluşturulurken geleneksel eşdeğer doğrusal metot (equivalent linear method, ELM) kullanımının, yapı talepleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ortaya konulmak istenmiştir. Bu amaçla zemin profilleri 9 (kumlu zemin) ve 13 (killi zemin) parçaya bölünerek her bir bölümdeki şekil değiştirmeler hesaplanmıştır. Temel veya kazık temellerin etrafında büyük şekil değiştirmelerin görülmesinden dolayı, bu kısımların doğrusal elastik olmayan yöntem ile modellenmesi gerektiği vurgulanmıştır. ELM ile doğrusal elastik olmayan (plastik) modelleme yöntemleri karşılaştırılarak, temelin çevresinde bulunan kısımlar için kayma modülü oranının ikinci kez azaltıldığı yeni bir metot önerilmiştir. Yakın alan metodu (near-field method, NFM) olarak önerilen bu yöntemin ELM yöntemine göre, doğrusal elastik olmayan modellemeyi daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı yüksek yapılarda kat kesme kuvvetlerinin ankastre modellere göre azaldığı, kat deplasmanlarının ise arttığı gözlenmiştir.

Ghandil ve Behnamfar (2017), iki yumuşak zemin profili üzerinde yer alan 5, 10, 15 ve 30 katlı doğrusal elastik olmayan yapıların görece ötelenme oranlarını, kesme kuvvetlerini ve süneklik taleplerini incelemiştir. ELM yöntemi ile oluşturulan zemin-yapı etkileşim modeli sonuçları ile ankastre mesnetli modellerin sonuçları kıyaslanmıştır. Her bir kat seviyesinde yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda ZYE olarak modellenen 15 ve 30 katlı binaların alt katlarındaki ötelenme değerleri ankastre mesnetli modellere oranla oldukça yüksek elde edilmiştir. %120'ye varan bu artışların temel seviyesindeki rijit cisim (rijit body) dönmelerinden kaynaklı oluşan P-Delta etkilerinden dolayı arttığı belirtilmiştir.

Fatahi ve Tabatabaiefar (2013), zemin-yapı etkileşiminin dinamik analizlerinde kullanılan eşdeğer doğrusal yöntem (ELM) ile doğrusal elastik olmayan (fully nonlinear) yöntemleri karşılaştırmışlardır. İki farklı yumuşak zemin tipi üzerinde yer alan 5, 10 ve 15 katlı binalar ankastre mesnet, ELM ve doğrusal

olmayan yöntemler ile modellenmiştir. Dinamik analizler sonucunda binaların yatay deplasmanları, görelî ötelenmeleri ve taban kesme kuvvetleri üzerine tartışılmıştır. ELM yöntemi kullanılarak yapılan bir tasarım süreci ile yumuşak zeminler üzerinde yer alan orta katlı binaların yapısal güvenliğinin yeterince garanti edilemeyeceği vurgulanmıştır.

Tabatabaiefar ve Massumi (2010), 3, 5, 7 ve 10 katlı betonarme binaların 3 farklı kayma dalgası hızına sahip zemin üzerindeki kat kesme kuvvetleri ve yatay ötelenmeleri incelemiştir. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı bu binaların, kayma dalgası hızı (V_s) 375-750 m/s arasında olan zemin üzerindeki etkilerinin ankastre modele göre pek farklılık göstermediği vurgulanmıştır. 175-350 m/s kayma dalgası hızına sahip zeminlerde, 7 kattan daha yüksek binaların; bu hızın 175' ten küçük olduğu zeminlerde ise 3 kattan daha yüksek binaların zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, $V_s/fh < 10$ (f: yapının doğal frekansı, h: yapının toplam yüksekliği) için ZYE modelinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerin yapıldığı bu çalışmada, ankastre modelden elde edilen deplasman değeri basitleştirilmiş bir metot ile büyütülerek ZYE modelinin deplasman değeri hesaplanmıştır.

Saez ve diğ. (2013), elastik olmayan zemin-yapı etkileşim etkilerinin çok katlı çerçeve yapıların sismik performansları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaca ulaşmak için, zeminin düzlem dışı genişliği dikkate alınarak modelleme stratejisi geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ile doğrusal elastik olmayan zemin davranışının bina tepkisi üzerindeki rolünün makul sayısal çözüm ile değerlendirilerek hızlı bir sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Önerilen düzlem-şekil değiştirme (2B) yaklaşımı, 3B model ile kontrol edilmiştir. ZYE etkilerini görebilmek için doymuş ve kuru özelliğe sahip kumlu zemin profilleri üzerine iki farklı çerçeve betonarme bina kurulmuştur. Tamamen doymuş zeminde, gözenek suyu basıncı ile gerilmelerin azalarak büyük zemin deformasyonlarını meydana getirdiği ve elastik olmayan zemin davranış etkilerinin daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. Kuru zeminlerde, hareketin ortalama periyodu zeminin baskın periyoduna yaklaşırsa ve deprem bina üzerinde önemli ölçüde doğrusal olmayan davranışa neden olacak kadar güçlü ise, doğrusal olmayan ZYE modelinin faydalı etkilerinin çok önemli olduğu

belirtirmiştir. Zemin üzerinde tanımlanan binalar için ZYE etkilerinin deplasman talepleri üzerinde genelleştirme yapılmasının son derece zor olduğu vurgulanmıştır.

1.2.3 Yapı Zemin Yapı Etkileşimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kontoni ve diğ. (2018), temel seviyeleri eşit veya farklı olan ikili binalarda zemin-yapı etkileşimini de dikkate alarak yapıların sismik davranışlarını incelemiştir. 2 boyutlu (2B) olarak modellenen 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 katlı binalar arasında, doğrusal yay ve sönümleyiciden oluşan (Kelvin-Voigt) bağlantı elemanı kullanılarak 6 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Binalar arasındaki boşluk mesafesi 0 mm seçilmiştir. SAP2000' de oluşturulan ikili binalarda zemin-yapı etkileşimini yansıtabilmek için, 50x100 m boyutlarındaki zemin profili kabuk (shell) elemanlar ile modellenmiştir. Üst yapı ile zemin arasındaki etkileşim, düşey yönde basınç kapasitesi ve teğet yöndeki sürtünme ile modellenmiştir. El Centro deprem kaydı ile dinamik analizler gerçekleştirilerek, binaların tepe deplasmanları ve ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve momentleri incelenmiştir. Ayrıca binaların temel etrafındaki gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı modellerde, tepe deplasman talepleri, taban kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri ikili binalarda artış göstermiştir. Bu nedenle, bina tasarım ve sismik performans analizlerinde çekiçleme ve zemin-yapı etkileşiminin birlikte dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Fatahi ve diğ. (2018), kazık temeller üzerinde yer alan orta katlı betonarme binalarda zemin-kazık-yapı etkileşimini (SSPSI) dikkate alarak, çarpışma anındaki davranışları incelemiştir. Doğrusal elastik olmayan davranışa sahip 15 katlı 3 bina arasında farklı boşluk mesafeleri bırakılarak üçlü binalar oluşturulmuştur. Avustralya Standardına göre SAP2000' de bina tasarımı yapılmış ve ABAQUS ile zemin-kazık-yapı modeli oluşturulmuştur. Zemin 30 m derinliğinde, 30x200 m plan boyutlarında seçilmiştir. Kazıklarla toprak arasındaki etkileşimi yansıtabilmek için ara yüzey elemanları kullanılmıştır. Binalar arasında 5 farklı boşluk mesafesi bırakılarak Northridge ve Kobe depremleri ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, bina yatay ötelenmeleri, görelî ötelenmeler, kesme kuvvetleri, temel ve kazık ötelenmesi, moment dağılımı ve kazık kesme kuvvetleri incelenmiştir.

Ghandil ve Aldaikh. (2016) tarafından yapılan çalışmada, yumuşak zemin profili üzerinde bulunan simetrik planlı ikili bitişik binaların çarpışma etkileri araştırılmıştır. 5, 10, 15 ve 20 katlı doğrusal elastik olmayan çelik binalar arasında 6 farklı kombinasyon oluşturularak SAP2000' de ikili modeller oluşturulmuştur. Yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) problemini doğru bir şekilde incelemek üzere, komşu binalar arasında doğrusal elastik olmayan çarpışma elemanı (Kelvin-Voigt) ve 3 boyutlu doğrusal elastik olmayan zemin profili sonlu elemanlar ile modellenmiştir. Sismik etkiler altında zemin profilinde görülen doğrusal elastik olmayan özellik, eşdeğer doğrusal yöntem (ELM) kullanılarak yansıtılmıştır. Temel civarlarındaki şekil değiştirmelerin daha yüksek olmasından dolayı bu bölgelerde yakın saha metodu (near-field method, NFM) kullanılmıştır. Zemin boyutları; 101 m (x yönünde) uzunluğunda, 40 m (y yönünde) genişliğinde ve 45 m derinliğindedir. Dinamik analizlerde kullanılan yüzey deprem kayıtları, SHAKE2000 programı ile oluşturulan zemin profilinin yüzeyinden uygulanarak, ana kayadaki ham deprem kayıtları elde edilmiştir. Bu sayede PEER sitesinden alınan deprem kayıtları zemin büyütmelerinden arındırılmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ise, YZYE ve ankastre mesnet modelleri kıyaslanarak, çarpışma etkileri ve minimum çarpışma mesafesi incelenmiştir. Ayrıca, ikili binaların kat kesme kuvvetleri ve hasar indeksleri karşılaştırılmıştır.

Madani ve diğ. (2015), 2 farklı yumuşak zemin üzerinde inşa edilen ve yetersiz boşluk mesafelerine sahip ikili çelik binalar arasında oluşabilecek çekiçleme etkilerini incelemiştir. Bu amaçla 3, 5, 6 ve 12 katlı doğrusal elastik olmayan özelliklere sahip çelik binalar, lineer viskoelastik (Kelvin model) çarpışma elemanları ile kat seviyelerinden bağlanarak 5 farklı ikili model oluşturulmuştur. Zemin-temel ara yüzeyi boyunca doğrusal elastik olmayan yaylar ve sönümleyici elemanlar kullanılarak zemin-yapı etkileşimi dikkate alınabilmektedir. OpenSees' te yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modeli oluşturulurken, Harden vd. tarafından geliştirilen BNWF (beam-on-the-nonlinear-winkler-foundation) modeli kullanılmıştır. Zemini yansıtabilmek için kullanılan yaylarda düşey, yatay ve dönme rijitlikleri tanımlanmış ve yaylı olan düşey yaylar, sürekli temelin dış kısımlarında daha rijit olacak şekilde dikkate alınmıştır. Ayrıca, doğrusal elastik olmayan bu yaylar sadece basınca çalışmaktadır. Analizler sonucunda, YZYE ve ankastre temel

modellerinde, çarpışma kuvvetleri, görelî kat deplasmanları, kat kesme kuvvetleri ve plastik mafsal dönmeleri 7 farklı deprem dikkate alınarak kıyaslanmıştır.

Shakya ve Wijeyewickrema (2009) tarafından yapılan çalışmada, zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı farklı kat seviyelerine sahip ikili betonarme binaların çarpışması durumundaki sismik performanslar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kat adetleri cinsinden 10-9 ve 5-5 ikili modeller SAP2000' de oluşturulmuştur. Temel-yapı etkileşiminde yaylar ve sönümleyiciler tanımlanarak ayrık (discrete) model oluşturulmuştur. Binalar arasındaki çarpışma elemanı olarak doğrusal yay ve sönümleyiciye sahip viskoelastik (Kelvin-Voigt element) model kullanılmıştır. 2' şer adet yakın saha (near-field) ve uzak saha (far-field) deprem kayıtları kullanılarak çarpışma kuvvetleri, görelî kat deplasmanları ve kat kesme kuvvetleri incelenmiştir. Genel olarak, ankastre modellere göre, zemin etkilerinin dikkate alınması ile çarpışma kuvvetleri, görelî kat deplasmanları ve normalize edilmiş kat kesme kuvvetlerinde azalmalar elde edilmiştir. Ayrıca yakın alan depremlerinin yapıların davranışı üzerinde baskın olduğunu ve sismik çarpışmalarda zeminin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Mulliken ve Karaballis (1998), homojen, izotropik ve doğrusal elastik yarı boşluklu zemin ile desteklenen bitişik rijit yüzeysel temeller arasındaki dinamik zemin etkileşimini tahmin edebilmek için etkin bir ayrık model sunmuştur. Bu modelde zemin-temel etkileşiminin dikkate alınabilmesi için, frekanstan bağımsız yaylar, sönümleyiciler ve temel kütlesi kullanılmaktadır. Temellerin zeminle bağlantısı, frekanstan bağımsız rijitlik ve sönüm fonksiyonları ile elde edilmiştir. Ayrıca, tüm temel sisteminin serbestlikleri birbirine bağlanmıştır. Oluşturulan bağlantılı sistemin zaman tanım alanında dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sayesinde, dinamik temel-zemin-temel etkileşimi (TZTE) için önerilen metodolojinin doğru, etkin ve doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin değerlendirilmesinde uygulanabileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca temel-zemin-temel modelinin bir modifikasyonunun zemin-yapı-zemin etkileşiminde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

1.2.4 Deprem Parametreleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yapısal hasar durumu talep ölçüleri (maksimum görelî kat ötelenmesi, çatı ötelenmesi vb.) ile tanımlanırken, sismik tehlike ise şiddet ölçüleri (pik yer ivmesi, hızı, deplasmanı vb.) ile belirlenmektedir (Akkar ve Özen 2005). Performans esaslı deprem mühendisliği araştırmaları için bu talep ve şiddet ölçüleri arasındaki ilişkileri inceleyen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapıların olası hasarları yer hareketi parametreleri ile yansıtılmıştır. Özellikle pik yer ivmesi (Peak Ground Acceleration, PGA) yapı ve deprem mühendisliği araştırmalarında baskın bir parametre olarak öne çıkmıştır. Halbuki bu parametrenin yapısal hasarı yansıtması konusunda bazı endişeler bulunmaktadır (Takizawa and Jennings 1980). Çünkü yapının olası hasarı kaydın süresine, yoğunluğuna, çevrim sayısına, enerji ve frekans içeriğine bağlıdır (Elnashai ve Sarno 2008, Moustafa ve Takewaki 2012).

Performans esaslı deprem mühendisliğinde, talep ve şiddet ölçüleri arasındaki istatistiksel ilişkinin düşük saçılıma sahip olması çok önemlidir. Bu nedenle, yapısal hasarı en iyi yansıtan yer hareketi parametreleri üzerindeki araştırmalar devam etmektedir. Literatüre önemli katkı sunan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Elenas ve Meskouris (2001), 7 katlı betonarme binada, 10 farklı yer hareketi parametresi ile maksimum görelî kat ötelenme oranları ve yapısal hasar indeksi arasındaki korelasyonu incelemiştir. 20 farklı ivme kaydının kullanıldığı bu çalışmada, pik yer hareketi parametrelerinin zayıf bir korelasyona sahip olduğu vurgulanırken spektral ve enerji parametrelerinin daha iyi bir korelasyon değerü sunduğu belirtilmiştir. Nanos ve diğ. (2008), 450 farklı ivme kaydı kullanarak bu çalışmayı genişletmişlerdir. Arias şiddetinin (Ia) güçlü bir ilişki sunmasına karşılık, pik yer ivmesi değerleri için (Peak Ground Acceleration, PGA) zayıf bir korelasyon değerleri elde edilmiştir.

Cao and Ranogh (2014) 3 katlı betonarme binada 23 farklı yer hareketi parametresi ile görelî kat ötelenme oranı ve hasar indeksi arasındaki korelasyonu araştırmışlardır. Fay hattından uzak 4 farklı depremden 1040 ivme kaydı seçilmiştir. Yer hareketi parametrelerinden hız spektrum şiddetinin (Velocity Spectrum Intensity, VSI) en iyi korelasyonu verdiği ve ardından Housner şiddeti (Housner Intensity HI)

ve spektral ivmenin (Spectral Acceleration, Sa) takip ettiği sonucuna varılmıştır. PGA parametresi ise oldukça düşük korelasyon sunmuştur.

Yakut ve Yılmaz (2008), 16 farklı betonarme binada 80 ivme kaydı kullanarak toplam 1280 adet zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirmişlerdir. Periyot aralığı 0.1-2.5 s aralığında değişen binalardaki maksimum göreceli kat ötelenme oranının HI, VSI ve ivme spektrum şiddeti (Acceleration Spectrum Intensity, ASI) parametreleri ile güçlü bir şekilde tahmin edilebildiği belirtilmiştir. 0.2-0.5 s aralığındaki binalarda ise PGA, VSI ve karakteristik şiddetin (Characteristic Intensity, Ic), 0.5-1.1 s aralığında ise VSI, HI ve Sa parametrelerinin en iyi korelasyon değerine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Yukarıdaki çalışmalarda farklı kat adetlerine sahip çok serbestlik dereceli sistemler (ÇSD) kullanılmıştır. Olası yapısal hasarlar ile yer hareketi parametreleri arasındaki korelasyon, Akkar ve Özen (2005) tarafından tek serbestlik dereceli sistemler (TSD) üzerinde de araştırılmıştır. Bu çalışmada TSD sistemlerin deformasyon talepleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. İstasyon mesafesi 23 kilometreden daha düşük ve 5.5-7.6 büyüklüğüne sahip deprem kayıtları kullanılmıştır. Doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda, pik yer hızı (Peak Ground Velocity, PGV) parametresinin özellikle kısa periyot aralığındaki TSD sistemlerde stabil sonuçlar verebileceği belirtilmiştir.

Özmen ve İnel (2016), 1056 adet TSD sistem ve 466 adet ivme kaydı kullanarak yaklaşık yarım milyon dinamik analiz gerçekleştirmişlerdir. Düşük ve orta katlı mevcut konut stokunu temsil eden yapıların çatı ötelenme oranları ile 19 farklı yer hareketi parametresi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 2, 4 ve 7 kattan oluşan 3 farklı kat adedine sahip bina türlerinin ve 4 farklı zemin sınıfının parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hız ile ilişkili parametrelerin, deplasman, ivme ve frekans tipindeki parametrelerden çok daha güçlü bir ilişki sunduğu tespit edilmiştir. En yüksek korelasyon VSI ve PGV parametrelerine ait olduğu, PGA'nın ise çok düşük korelasyon sunduğu belirtilmiştir.

Özmen (2016), yukarıda verilen çalışmayı geliştirerek daha yüksek korelasyona sahip birleşik yer hareketi parametresi önermiştir. Genetik Algoritma kullanılarak 19 farklı parametreden 3 adet birleşik parametre seçilmiş ve ağırlık

katsayıları optimize edilmiştir. Pik yer hızı ve ivme oranı (V_{max}/A_{max}), efektif tasarım ivmesi (Effective Design Acceleration, EDA) ve ortalama periyot (T_m) parametrelerinin yer aldığı bir denklem sunarak %6-28 arasında iyileşme sağlamıştır.

2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME

2.1 Genel

Komşu yapıların farklı kat yüksekliklerine, bina ağırlıklarına, rijitliklerine, bina yüksekliklerine sahip olmasından dolayı, yapılar arasında çarpışmalar beklenebilir. Bu durumların hepsi dikkate alındığında, yapısal çarpışmanın genellikle komşu binalar arasındaki doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Maison ve Kasai 1990, Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992). Bu kapsamda farklı periyot değerlerine sahip ve çarpışma olasılığı muhtemel olan orta katlı binaların yansıtıldığı 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar göz önüne alınmıştır. Doğrusal elastik olmayan özelliğe sahip olan bina modelleri, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) dikkate alınarak 3B kolon-kiriş çerçeve sistemler olarak modellenmiştir.

2.2 Bina Modelleri

Chandler ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmaya göre; 5 ile 15 kat arasında değişen binalar kümesi orta katlı binaları temsil etmektedir. Bu düşünceden yola çıkarak, orta katlı binaları temsil etmesi amacıyla 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar dikkate alınmıştır. Denizli ilinde inşa edilmesi muhtemel olan bu betonarme binaların zemin sınıfı, ZD olarak düşünülmüştür. Kullanım şekli konut olarak seçilen yapılar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (DD-2) tasarım depremi kullanılarak binaların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Binaların tasarım aşamasında gerekli olan veriler Tablo 2.1’ de verilmektedir.

Konut binalarını temsil eden bu modellerde hareketli yük değeri 2 kN/m^2 seçilmiştir (TS498). Üç boyutlu (3B) bina modeli olarak tasarlanan bu yapılara ait tipik kat kalıp planı Şekil 2.1’ de verilmektedir. Çalışmada kullanılan bina modellerinin kolon tipleri Şekil 2.1’ de verilirken, tüm katlar boyunca devam eden kolon boyutları ise Şekil 2.2’ de sunulmaktadır. Her bir katta C1, C2, C3, C4 ve C5

olmak üzere 5 farklı tipte kolon kesitleri seçilmiştir. Bu kesitlerin bina yüksekliği boyunca değişimi Tablo 2.2’ de verilmiştir. Modellerin kat yükseklikleri 3 m seçilirken, kalıp planı boyutları x yönü için 25 m ve y yönü için ise 20 m olarak dikkate alınmıştır.

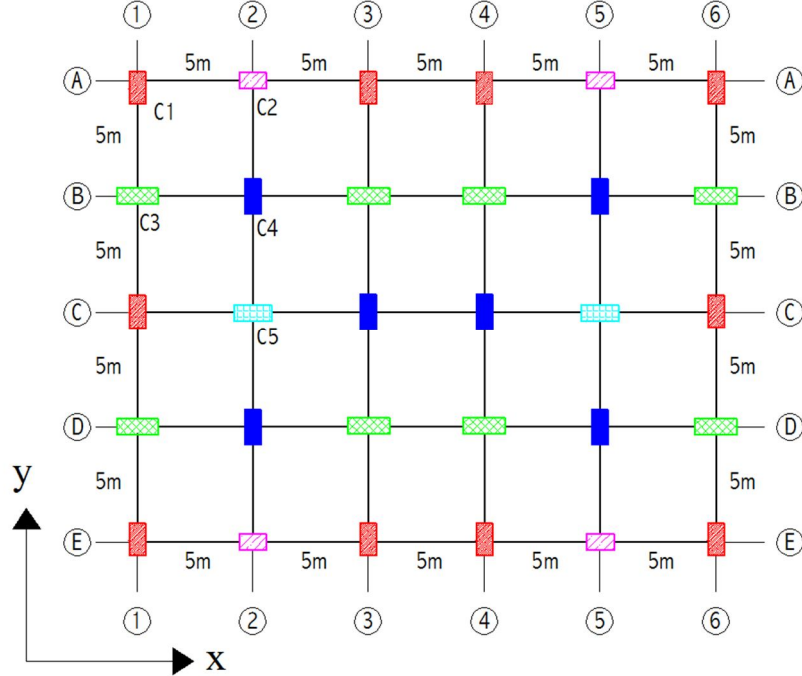
Tablo 2.1: Binaların tasarımında dikkate alınan değerler

Özellik Türü	Özellik	Değerler				
Kat Sayısı		5	8	10	13	15
Model Etiketi		5s	8s	10s	13s	15s
Geometrik Özellikler	X-Boyutu	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m
	Y- Boyutu	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
	Kat Yüksekliği	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m
Malzeme Sınıfı (MPa)	Beton Sınıfı	C35				
	Donatı Sınıfı	S420 (BÇIII)				
Zemin Özellikleri	Zemin Sınıfı	ZD				
Bina Kullanım Sınıfı	BKS	3				
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS	1				
Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	1.15 g				
	S_{D1}	0.521 g				
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS	6	5	4	4	3
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	n	0.3				
Duvar yükü (kN/m)	G_{duvar}	3.25				
Hareketli yük (kN/m²)	Q	2				
Bina Ağırlığı (kN)	W	22404	36733	46286	60926	70678
Dayanım Oranı	V_y/W	0.159	0.103	0.082	0.064	0.058
Periyot (s)	T_{1x}	0.75	1.12	1.39	1.73	1.95

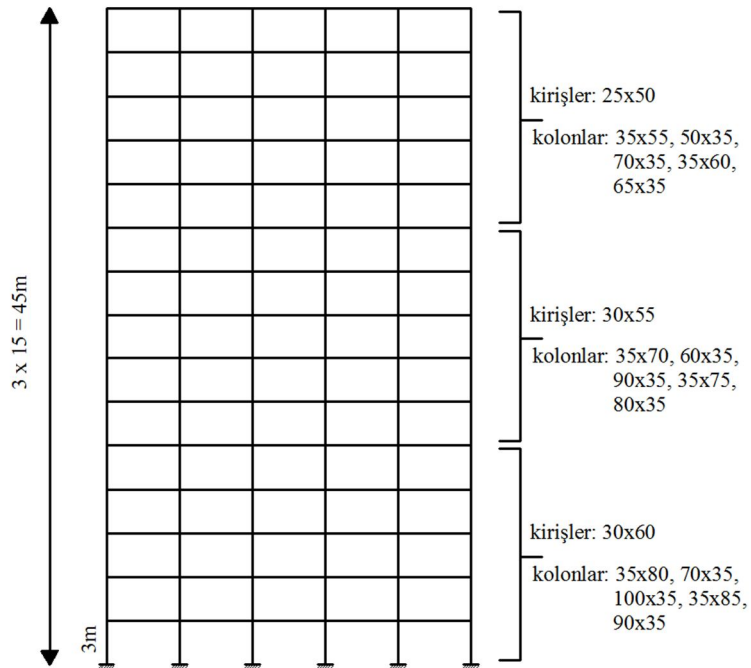
Yüksek süneklik düzeyine göre tasarlanan bina modellerinde perde elemanlar bulunmadığı için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=8$ alınmıştır. Sismik ağırlığın hesabında dikkate alınan hareketli yük azaltma katsayısı (n) ise binanın önemine göre 0.3 seçilmiştir. Beton basınç dayanımı 35 MPa ve çelik akma dayanımı 420 MPa olarak kabul edilmiştir.

TBDY-2018’ e göre, tasarım aşamasında çatlamış kesit rijitliği göz önünde bulundurulmaktadır. Modellerin periyot değerleri hesaplanırken, kolon elemanların etkin kesit rijitliği 0.70I seçilirken, bu değer kiriş elemanlar için 0.35I seçilmiştir. I, çatlamamış kesitin atalet momentini ifade etmektedir. Tasarımları gerçekleştirilen

modellerin x yönündeki baskın periyotları ve sismik ağırlıkları Tablo 2.1' de verilmektedir. Ayrıca statik itme analizleri gerçekleştirilen bina modelleri için taban kesme kuvvetleri elde edilerek dayanım oranları hesaplanmıştır.



Şekil 2.1: Binaların kalıp planları



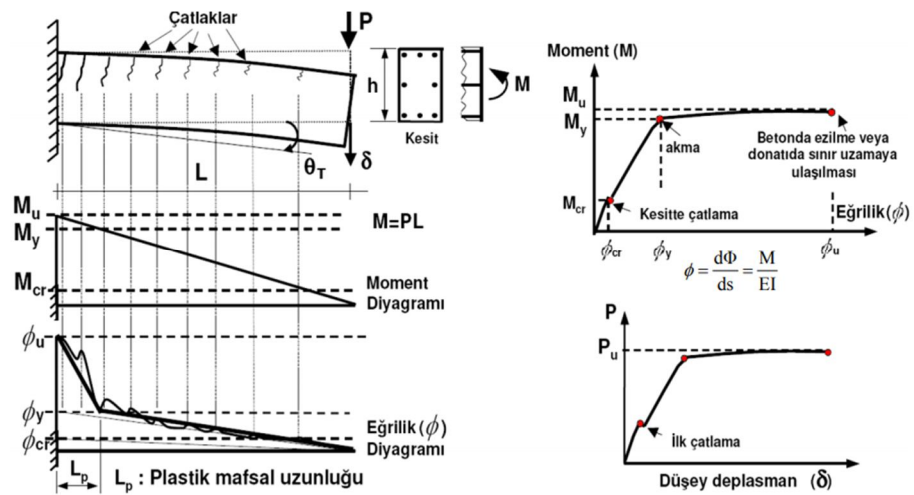
Şekil 2.2: 15 katlı binanın kolon ve kiriş kesit değişimi

Tablo 2.2: Bina yüksekliğince kolon ve kiriş boyutlarının değişimi

Kolon		Kiriş Boyut	15s	13s	10s	8s	5s
Etiket	Boyut		Kat Seviyeleri				
C1	35x80	30x60	1-5. katlar	1-3. katlar	-	-	-
C2	70x35						
C3	100x35						
C4	35x85						
C5	90x35						
C1	35x70	30x55	6-10. katlar	4-8. katlar	1-5. katlar	1-3. katlar	-
C2	60x35						
C3	90x35						
C4	35x75						
C5	80x35						
C1	35x55	25x50	11-15. katlar	9-13. katlar	6-10. katlar	4-8. katlar	1-5. katlar
C2	50x35						
C3	70x35						
C4	35x60						
C5	60x35						

2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Bina Davranışı

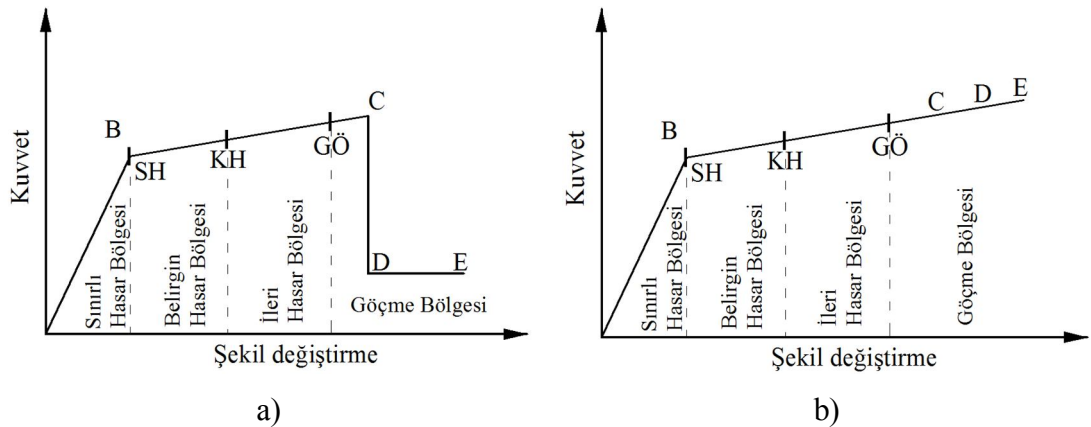
Betonarme elemanların artan yükler altında plastik şekil değiştirmesi ile birlikte doğrusal elastik olmayan davranış görülmektedir. Bu plastik deformasyonlar, yanal etkilerin (deprem kuvvetlerinin) oluşturduğu eğilme etkileri ile zorlanan kolon ve kiriş elemanların uçlarında meydana gelmektedir. Deformasyonların belirli bir kesitte toplandığı ile ilgili yapılan varsayım plastik mafsalları kavramını ortaya çıkarmaktadır (Şekil 2.3).

**Şekil 2.3:** Plastik mafsalları hipotezi ve betonarme elemanın moment eğrilik diyagramı

Doğrusal elastik olmayan davranış, plastik şekil değiştirmelerin görüldüğü kolon ve kiriş uçlarında tanımlanan plastik mafsallar ile SAP2000’ de modellenen binalara yansıtılmıştır. Plastik mafsalların tanımlanabilmesi için her bir elemanın kritik kesitlerinde moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir.

Her bir eleman için yanal donatı miktarı ve beton basınç dayanımı göz önüne alınarak sargılı beton modeline ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Çelik gerilme-şekil değiştirme grafikleri TBDY 2018’ den alınmıştır. Mander sargılı beton ve çelik malzemesine ait gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılarak SEMAp (Özmen ve diğ. 2007; TÜBİTAK 105M024) yazılım programı ile moment-eğrilik değerleri ve hasar sınırları her bir kesit için belirlenmiştir (Mander ve diğ. 1988).

Moment-eğrilik ilişkilerinin belirlendiği eğilme mafsalı hasar sınırları için B, C, D, E ve performans kriterleri olan SH, KH, GÖ noktaları Şekil 2.4.a’ da verilmiştir. “B” noktası, kesitin akma noktasına ulaştığı andır. B noktasından sonra doğrusal ötesi davranış hakim olmaktadır. “B”-“C” aralığında kesit kapasitesini korurken “C” noktasında göçme konumuna ulaşılmaktadır. “C” noktasından sonra FEMA-356 ve ATC-40’ ta öngörüldüğü gibi dayanım değeri, akma dayanımının % 20 değerine düşmektedir (FEMA-356 2000, ATC-40 1996). “C”-“D” aralığında ise düşen kapasite bir süre daha korunur ve “E” noktasında kesit kapasitesini tamamen kaybeder. Tez kapsamında, yapı taleplerini görebilmek adına C noktasında kapasitenin azalmadığı plastik mafsallara tercih edilmiştir Şekil (2.4.b). “E” noktasında kapasitenin tamamen kaybedildiği ve sıfıra ulaştığı varsayılmaktadır.



Şekil 2.4: a) Plastik mafsallarda tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum

SH (Sınırlı Hasar), KH (Kontrollü Hasar), GÖ (Göçmenin Önlenmesi) hasar sınırları için beton ve çelik malzemelerinin birim şekil değiştirmelerine bağlı sınır değerler TBDY-2018’ de belirtildiği üzere bu çalışmada kullanılmıştır. Betonarme bina elemanları için izin verilen şekil değiştirme hasar sınırları Tablo 2.3’ te verilmiştir.

Tablo 2.3: İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları

Nokta	Beton Birim Deformasyonu (ϵ_c)	Çelik Birim Deformasyonu (ϵ_s)
SH	$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$	$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
KH	$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)}$	$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$
GÖ	$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$

ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını göstermektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.1)$$

TBDY-2018’ de, Mander tarafından önerilen sargılı beton modeli kullanılmaktadır. Denklem 2.1’ de yer alan α_{se} , sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir. Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ise $\epsilon_s = 0.4\epsilon_{su}$ olarak hesaplanmaktadır. Burada $\epsilon_{su} = 0.08$, çekme dayanımına karşı gelen birim uzamayı göstermektedir.

Mevcut binalarda şekil değiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin kesme kuvveti oranı $V_e/(b_w d f_{ctm}) < 0.65$ ise yeni binalar için verilen şekil değiştirme üst sınırları geçerlidir. Kesme kuvveti oranı 1.30’ dan büyük ise yeni binalar için hesaplanan şekil değiştirme üst sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılır. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanır.

SAP2000 programında plastik mafsalları tanımlanabilmesi için moment-eğrilik değerlerinden moment-dönme değerleri hesaplanmalıdır.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - \frac{0.5L_p}{L_s} \right) + 4.5\phi_u d_b \right] \quad (2.2)$$

Plastik dönmeler için izin verilen sınır ($\theta_p^{(GÖ)}$), kesite etkiyen aksenal kuvvet ile beton ve donatı çeliği modelleri dikkate alınarak yapılacak olan eğrilik analizi sonucunda denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır. ϕ_u göçme öncesi toplam eğriliği göstermektedir.

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (2.3)$$

Kontrollü Hasar (KH) Performans düzeyi için plastik dönme sınırı, göçme öncesi toplam plastik dönme sınırının yüzde %75' i olarak dikkate alınmaktadır (denklem 2.3). Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi plastik dönme sınırı ise taşıyıcı sistemde plastik mafsal oluşumuna izin verilmediği için akma dönmesine eşit alınmıştır (denklem 2.4).

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (2.4)$$

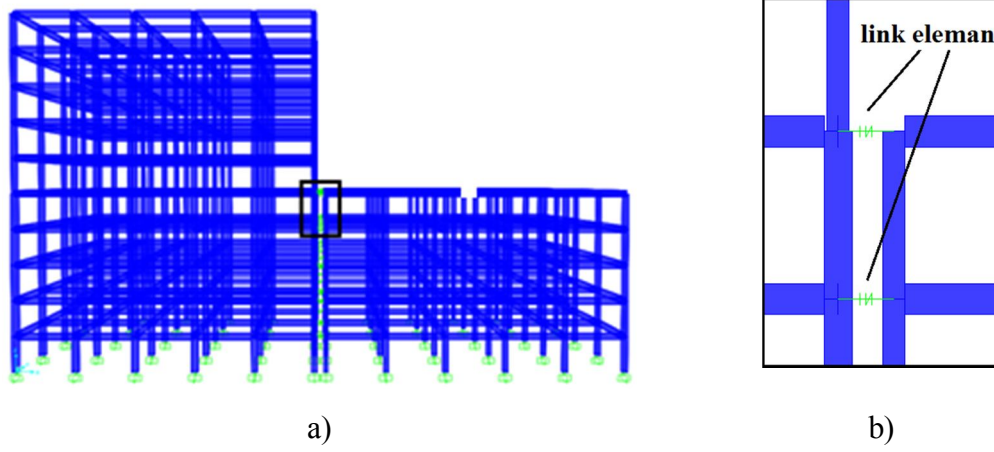
Mevcut binaların değerlendirilmesi sırasında, eğilme etkisindeki betonarme kolon ve kiriş elemanlardaki çatlama kesite ait etkin kesit rijitlikler Tablo 2.4' te verilmiştir.

Tablo 2.4: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00

2.4 Ankastre Çekiçleme Modelleri ve Link Eleman

Çalışma kapsamında 3B doğrusal elastik olmayan 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar kat seviyelerinden birbirlerine bağlanmıştır. Kat seviyeleri aynı olan ikili binalarda çarpışma etkilerini görebilmek adına, binalar arasında 2 farklı boşluk mesafesi (0 ve 5 m) tercih edilmiştir. 20 farklı ikili modele ilave olarak bina dizilimlerinin değiştirilmesi ile birlikte toplamda 30 adet ankastre ikili model oluşturulmuştur (Tablo 2.5). İkili modeller sahip oldukları katsayıları ile isimlendirilmiştir. Örneğin; Şekil 2.5' te verilen 10s-5s ikili bina modeli, 10 ve 5 katlı binalardan oluşan ikili modeli temsil etmektedir.



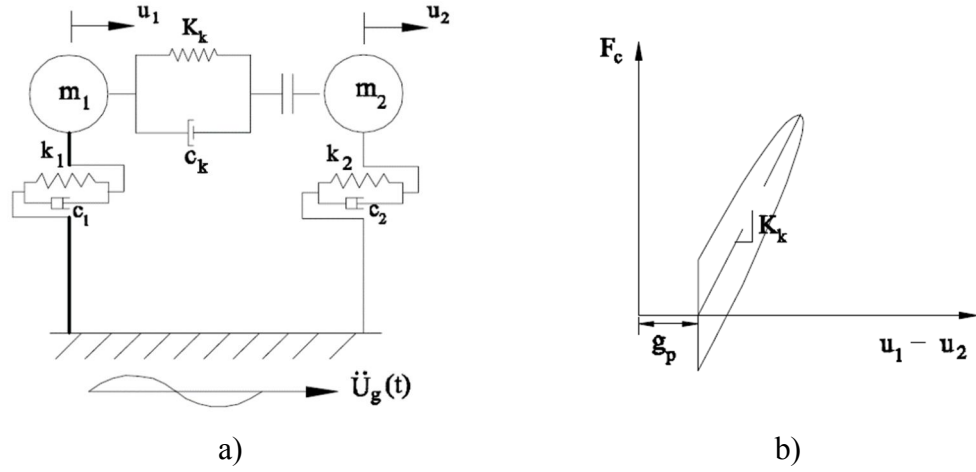
Şekil 2.5: a) 10 ve 5 katlı ikili bina modeli b) kat seviyelerinden bağlanan link eleman

Komşu binalarda, binaların serbest ve çarpışma yönlerinin değiştirilmesi ile talep ve görelî kat ötelenme oranlarında ciddi değişimler görülebilmektedir (Efraimiadou ve diğ. 2013). Bu nedenle oluşturulan ikili modellerde bina dizilimleri de değiştirilerek dikkate alınmıştır. (Örneğin; 5s-10s ve 10s-5s ikili modellerdeki binalar yer değiştirilmiştir.)

Tablo 2.5: İkili bina model kombinasyonları

Kat	5	8	10	13	15
5	-	5s-8s	5s-10s	5s-13s	5s-15s
8	8s-5s	-	8s-10s	8s-13s	8s-15s
10	10s-5s	10s-8s	-	10s-13s	10s-15s
13	13s-5s	13s-8s	13s-10s	-	13s-15s
15	15s-5s	15s-8s	15s-10s	15s-13s	-

Çalışmada yer alan doğrusal elastik olmayan binalar, SAP2000 analiz programı yardımıyla modellenmiştir (CSI SAP2000 v21). Bu modelleri ikili bina haline dönüştürmek için, doğrusal viskoelastik (Kelvin) birleşim modeli kullanılmıştır (Şekil 2.6.a). Bu model, doğrusal yay, viskoz sönümleyici ve binalar arasındaki boşluk mesafesinin tanımlanabildiği gap elemanlarını içermektedir.



Şekil 2.6: a) Kelvin modeli b) kuvvet deformasyon ilişkisi (Muthukumar ve Desroches 2004, 2006)

Kelvin modeli, viskoz sönümleyicinin çarpışma anında gerçekleşen enerji kayıplarını dikkate almasından dolayı literatürde oldukça sık tercih edilmektedir. Visköz sönümleyici ve yay sadece basınç altında (çarpışma anında) çalışarak kuvvet aktarımı gerçekleştirmektedir. Binalar arasındaki talep farkı ($u_1 - u_2$) derz mesafesini (g_p) aştığı durumda, yay ve sönümleyici devre dışı kalarak herhangi bir kuvvet aktarımı oluşmamaktadır (Denklem 2.5).

$$F = \begin{cases} K_k(u_1 - u_2 - g_p) + c_k(\dot{u}_1 - \dot{u}_2) & \text{eğer } (u_1 - u_2) \geq g_p \\ 0 & \text{eğer } (u_1 - u_2) < g_p \end{cases} \quad (2.5)$$

İkili binalar arasındaki çarpışma, kat seviyelerinde meydana gelmektedir. Her iki binada rijit diyaframa sahip olduğu için, çarpışmanın iki rijit cisim arasında gerçekleştiği varsayılır. Bu nedenle yay rijitliği (K_k), çarpışan katların aksel rijitliklerinin toplamından daha büyük olmalıdır (Muthukumar ve Desroches 2004, Mahmoud ve Jankowski 2011). Betondan betona çarpışmanın ele alındığı nümerik simülasyon ve deneysel çalışmalarda yay rijitlikleri yaklaşık $1e10$ - $1e11$ N/m değerleri arasında alınmıştır (Mier ve diğ. 1991, Jankowski 2005, Shakya ve Wijeyewickrema 2009). Bu çalışmada da rijitlik değeri $1e10$ N/m seçilmiştir.

$$c_k = 2\xi \sqrt{K_k \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (2.6)$$

$$\xi = -\frac{\ln(e)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(e))^2}} \quad (2.7)$$

Denklem 2.6 ve 2.7' e göre birleşim elemanının viskoz sönüm katsayısı (c_k), bitişik binaların kütlelerine (m_1 ve m_2), yay rijitliğine ve enerji verimlilik katsayısına (e) bağlıdır. Birçok çalışmada e katsayısı, betondan betona çarpışma için 0.65 alınmıştır (Anagnostopoulos 1988, Azevedo ve Bento 1996, Mouzakis ve Papadrakakis 2004, Jankowski 2006). Bu katsayı için sönüm oranı (ξ) değeri, 0.136 olarak elde edilmiştir. Sönüm oranı, yay rijitliği ve komşu binaların kütlelerine bağlı olarak hesaplanan viskoz sönüm katsayısı her ikili bina modeli için Tablo 2.6' da verilmiştir.

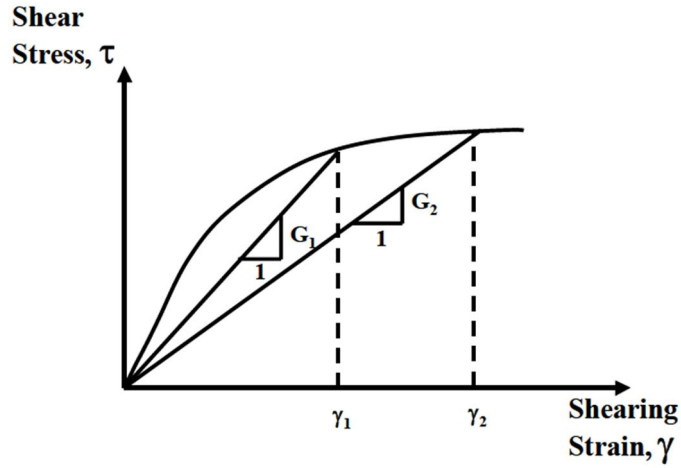
Tablo 2.6: Her bir ikili bina modellerindeki link elemana ait viskoz sönüm katsayısı

Model	15s-13s	15s-10s	15s-8s	15s-5s	13s-10s
c_k (kNs/m)	49645	45855	42565	35573	44454
Model	13s-8s	13s-5s	10s-8s	10s-5s	8s-5s
c_k (kNs/m)	41437	34906	39156	33510	32159

3. ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME

3.1 Zeminin Dinamik Özellikleri

Bir deprem anında yapıların tepkisini belirleyebilmek için, yapı altındaki yer hareketini karakterize etmek gerekir. Bunun için zemin etkilerinin ve özelliklerinin de dikkate alınması önemlidir. Bu özellikler genellikle kayma modülü ve sönüm oranı ile karakterize edilmektedir (Darendeli 2001).



Şekil 3.1: Zeminin doğrusal olmayan gerilme-deformasyon eğrisi ve kayma deformasyonuna karşılık gelen farklı sekant kayma modülleri (Darendeli 2001)

Kayma modülü (G), zeminin kayma rijitliğini ifade etmektedir. Kayma modülünün artan kayma deformasyonu ile arasındaki ilişki Şekil 3.1’ de verilmektedir. Artan kayma deformasyonları altında kayma modülünün değeri azalmaktadır. Küçük kayma deformasyonları için ise zemin doğrusal özellik göstermekte ve maksimum kayma modülü (G_{max}) dikkate alınmaktadır (Şekil 3.2). Dinamik yükler altında oluşan çevrimsel döngülerin (hysteresis loop) uç noktaları genellikle Sekant kayma modülü (G veya G_{sec}) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.2).

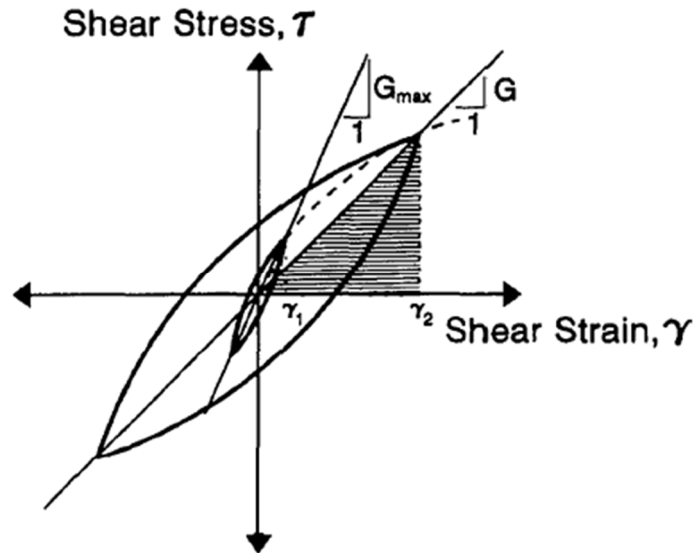
Çevrimsel döngülerin şeklini karakterize eden iki önemli parametre, eğim ve genişliktir. Döngünün eğimi, yükleme sırasında herhangi bir noktada teğet kayma modülü ile tarif edilebilen zeminin rijitliğine bağlıdır. Teğet kayma modülü bir

yükleme döngüsü boyunca değişir. Ancak tüm döngü üzerindeki ortalama değeri, sekant kayma modülü olarak (G) adlandırılır. Bu sekant kayma modülü denklem 3.1 ile hesaplanabilmektedir. τ_c ve γ_c tanımlanan bir noktadaki kayma gerilmesini ve kayma şekil değiştirmesini vermektedir. Böylece çevrimsel döngünün genel eğimi tanımlanır.

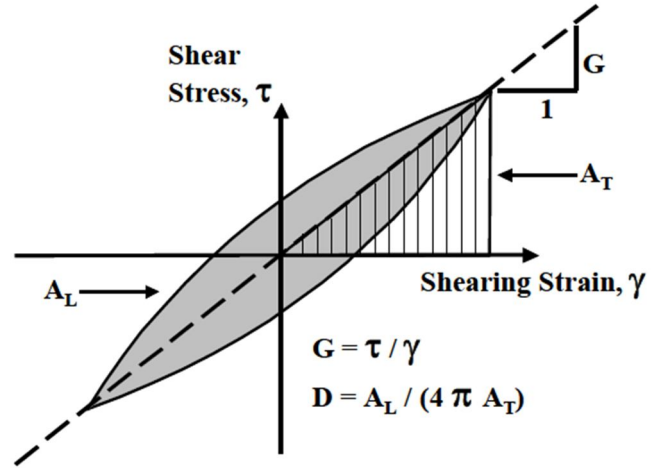
$$G = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (3.1)$$

Çevrimsel döngünün genişliği ise sönüm oranı (D) ile ilişkilidir. Şekil 3.3' te görüldüğü üzere, her bir döngü anında harcanan enerjinin (A_L) maksimum deformasyona karşılık gelen enerjiye ($4\pi A_T$) oranının bir ölçüsü olarak malzeme sönüm oranı tanımlanabilir. Üçgenin alanı (A_T), kayma şekil değiştirmesi ve modülü ile yazılmak istenirse denklem 3.2 elde edilir.

$$D = \frac{A_L}{4\pi A_T} = \frac{1}{2\pi} \frac{A_L}{G\gamma_c^2} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2: Çevrimsel yükleme altında eşdeğer kayma modülü (Hosseini ve Pajouh 2012)



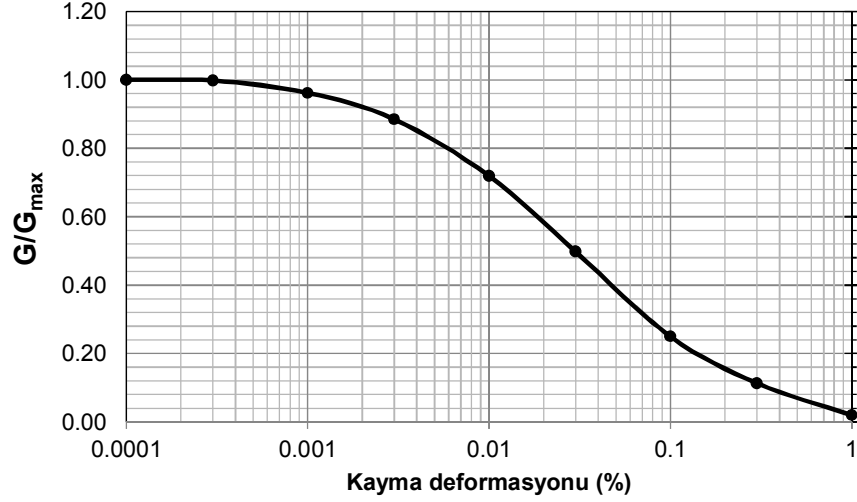
Şekil 3.3: Çevrimsel yüklemeye altında kayma modülü ve sönüm oranının tahmini (Darendelli 2001)

G ve D, genellikle eşdeğer malzeme parametreleri olarak ifade edilir. Belirli bir zemin tepki analizinde, bu parametreler doğrudan zemin davranışını tanımlamak için benimsenirken, doğrusal olmayan analiz için çevrimsel döngünün (histeretik yöntem) belirlenmesi gereklidir.

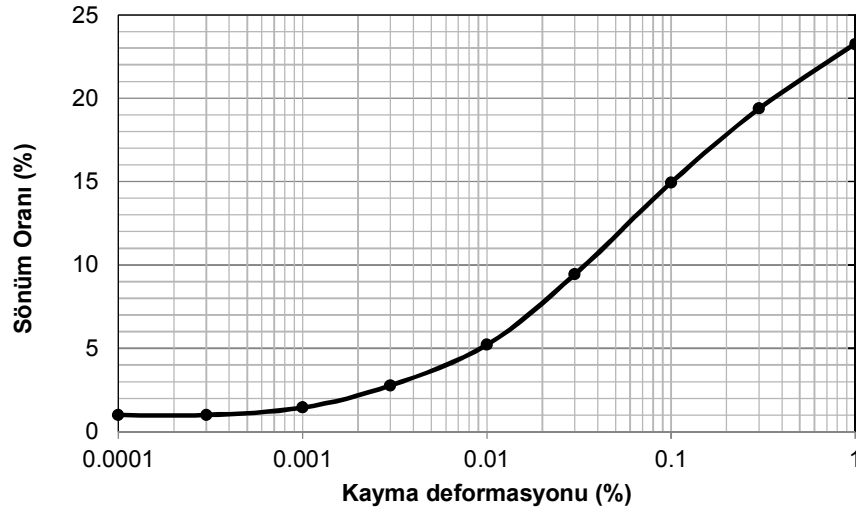
Şekil 3.2’ de görüldüğü üzere, zeminin sekant modülü kayma deformasyonunun genliğine bağlı olarak değişmektedir. Düşük kayma deformasyonları için sekant kayma modülü yüksek iken, artan kayma deformasyonları için bu değer azalmaktadır. Çeşitli çevrimlerin uçlarına karşılık gelen noktalar kümesi, omurga veya iskelet eğrisi (backbone or skeleton curve) olarak adlandırılmaktadır ve başlangıçtaki eğim en büyük kayma modülü (G_{max}) değerini temsil etmektedir. Daha büyük döngüsel deformasyon genliklerinde bu modül G/G_{max} oranında düşmekte ve değeri 1’ den küçük olmaktadır. Bu nedenle, zemin elemanının sertliğinin karakterize edilebilmesi için, hem G_{max} değerinin hem de çevrimsel kayma deformasyon genliği ile değişen modül oranının dikkate alınması gerekmektedir (Tabatabaiefar 2012).

Çevrimsel kayma deformasyonları ile kayma modülü oranı (G/G_{max}) ve sönüm oranı arasındaki ilişki (omurga eğrileri) birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Hardin 1978, Vucetic and Dobry 1991, Sun ve diğ. 1998, Darendeli 2001). Bu çalışmada Vucetic ve Dobry tarafından 1991 yılında geliştirilen omurga eğrisi kullanılmıştır. Maksimum kayma modülü ile normalize edilen kayma modülü ve deformasyon ilişkisi Şekil 3.4.a’ da verilmektedir.

Doğrusal olmayan gerilme-deformasyon eğrisi incelendiğinde (Şekil 3.1), artan kayma deformasyonu ile yutulan enerji ve aynı zamanda sönüm oranı artmaktadır. Bunu daha iyi görebilmek adına Şekil 3.4.b verilmiştir.



a)



b)

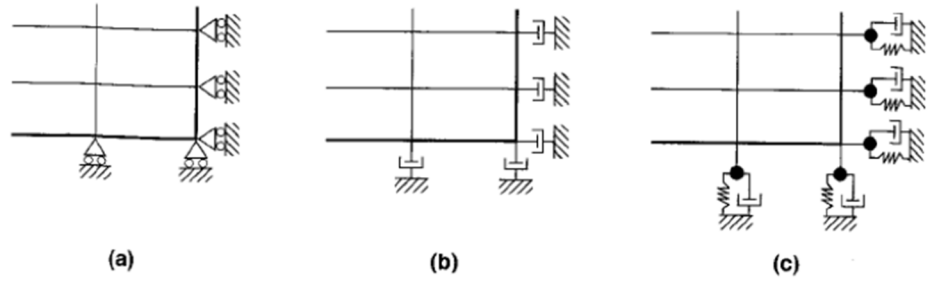
Şekil 3.4: Doğrusal olmayan zeminin kayma deformasyonuna karşılık gelen a) kayma modülü azalım eğrisi ve b) zeminin sönüm oranı eğrisi

3.2 Zemin Yapı Etkileşimi Modelleme Yaklaşımı

Zemin-temel-yapı sisteminde dinamik hareket denklemlerinin analitik yöntemlerle çözülmesi çok karmaşıktır. Zeminin, temelin ve yapının farklı vektörleri ve matrislerini çözebilmek için altyapı yöntemi (substructure method) ve doğrudan

yöntem (direct method) kullanılmaktadır. Süperpozisyon gerektiren altyapı yöntemi uygulayıcı mühendisler ve araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmıştır. Fakat dinamik analizde zemin ve yapının doğrusal elastik olmayan davranışlarının dikkate alınması kolay olmadığı için, süperpozisyon ilkesi elastik zemin ve elastik yapı davranışı gerektirir. Bu nedenle, süperpozisyon ilkesinin gerekmediği doğrudan yöntem ile zemin temel ve yapı eş zamanlı modellenerek daha doğru bir model oluşturulabilir (Borja ve diğ. 1994).

Çalışma kapsamında zemin-yapı etkileşimini (ZYE) yansıtmak için doğrudan yöntem kullanılmıştır. ZYE modelinin tabanında, ana kayayı yansıtan ankastre mesnetler tanımlanmıştır. Ayrıca, dinamik sonlu elemanlar analizinde radyasyon sönümlenmelerinin dikkate alınabilmesi için sınır koşullar tanımlanmalıdır. Bu sınır koşulları, Wolf tarafından 3 grupta incelenmiştir (Wolf 1985). Şekil 3.5.a' da yer alan elementer sınır (elementary boundary) modeli, sınır bölgesinde sıfır deplasman ve sıfır gerilmeyi tanımlar. Kutu etkisi (box effect) ile enerjinin içeride sıkıştırılmasına yol açan bu modelde, zemin-yapı etkileşimi analizinde önemli hatalara yol açabilir. Bu nedenle yansıyan dalgaların etkilerinin sönümlenebilmesi için ilgili bölgeden yeterince uzağa yerleştirilmelidir.



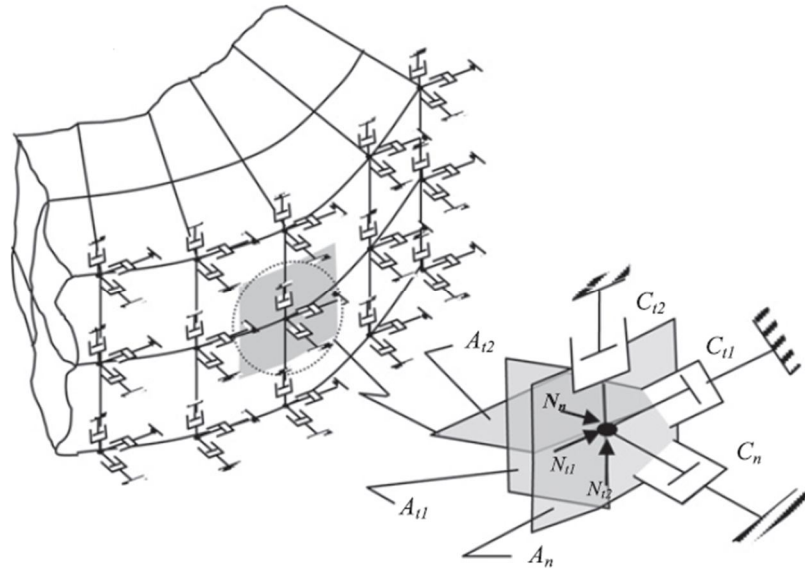
Şekil 3.5: Sonlu elemanlar için 3 çeşit sınır durumu a) sıfır yer değiştirmelerin yer aldığı elementer sınır (elementary boundary) b) viskoz sönümleyici içeren yerel sınır (local boundary) c) tutarlı sınır (consistent boundary) (Kramer 1996)

Şekil 3.5.b' de verilen yerel sınır (local boundary) modelinde, viskoz sönümleyiciler kullanılmaktadır. Dalgalar, sınıra farklı geliş açılarında eriştiklerinden, belirli bir sönüm katsayısına sahip yerel sınır modeli, gelen dalğanın enerjisinin bir kısmını yansıtır. Yüzey dalgalarının bir yerel sınıra erişmesi durumunda, bu dalgaların faz hızları frekansa bağlı olduğundan, enerjinin tümünü emebilmek için frekansa bağlı bir sönümleyici gerekmektedir. Fakat bu modelin

kullanılması durumunda, ilgili bölge ile sınır arasındaki mesafenin arttırılmasıyla yansımaların etkileri azaltılabilir.

Üçüncü sınır koşulu olan tutarlı sınır (consistent boundary) ise tüm geliş açılarında ve frekanslardaki her çeşit cisim dalgası ile yüzey dalgasını sönmüleyebilmektedir. Şekil 3.5c' de, bu davranışı yaklaşık olarak yansıtan yay, kütle ve sönmüleyici topluluğundan oluşan bir toplanmış parametre modeli geliştirilmiştir (Wolf 1991).

Zemin profilinde kullanılan sonlu elemanlar modelinin (finite element modelling), fiziksel boyutlarından dolayı geoteknik alanlarda bazı kısıtlamaları bulunsa da, birçok mühendislik uygulamalarında etkili olarak kullanılmaktadır. Fakat tamamen elastik olmayan 3B sonlu eleman analizi hesaplama yükü açısından hala maliyetlidir. Bu nedenle, çok geniş zemin profili modellemeye alternatif olarak, dinamik zemin-yapı etkileşim probleminin sonlu eleman analizleri için özel yapay (artificial) veya iletici (transmitting) sınırlar önerilmekte ve makul boyutta limitli bir model oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, sadece matematiksel modelde sunulan yapay sınırlara karşı gerçek dışı yansımaları önlemez, aynı zamanda radyasyon etkilerini de dikkate alarak çarpık sonuçları önler.



Şekil 3.6: 3B sonlu elemanlarda viskoz sınır (Livaoglu ve Dogangun 2007)

Lysmer ve Kuhlemeyer, yapay sınır boyunca yansıyan enerjiyi absorbe eden viskoz sönmüleyicilerin uygulanmasını önermektedir (Lysmer ve Kuhlemeyer 1969).

Bu yaklaşımın avantajı, uygulanan sönümleyicilerin frekanstan bağımsız olmasıdır. Ayrıca bu tekniğin kolay uygulanabilir olması ve dilatasyon (dilatation) ve kayma (shear) dalgaları için tatmin edici sonuçlar vermesi, literatürde tercih nedeni olmuştur. Bu viskoz sınır modeli, geliştirilerek birçok çalışmada başarılı şekilde uygulanmıştır. Bu çalışmada, Şekil 3.6' da Livaoglu ve Dogangun tarafından kullanılan viskoz sınır modeli dikkate alınmıştır (Livaoglu ve Dogangun 2007). Bu modelde sönümleyiciler, sınırın normal ve teğetleri doğrultusunda yerleştirilmektedir. Eşdeğer sönüm değerleri (C_n , C_{t1} ve C_{t2}), sınırların birim alanına düşen ρV katsayıları ile tanımlanmaktadır. V ve ρ , sırasıyla zemin sınırındaki kayma dalgasını ve zemin birim hacim ağırlığını ifade etmektedir. Sınırlardaki gerilme kuvvetleri (N_n , N_{t1} ve N_{t2}), viskoz sönümleyicilerde oluşan kuvvetlere eşdeğer olacağı için enerji tamamen emilebilmektedir.

Ghosh ve Wilson (1969), sönümleyicilerin yapının merkezinden 3-4 kat (plandaki yatay temel uzunluğu) ve 2-3 kat (plandaki düşey temel uzunluğu) daha uzak bir mesafede olması durumunda yansıyan dalgaların etkilerinin ihmal edilebileceğini belirtmiştir. Çalışmadaki bina modellerinin temel boyutları x ve y yönünde sırasıyla 25 ve 20 m olarak kullanılmıştır. Zemin boyutları temel boyutuna göre belirleneceği için x ve y yönündeki zemin boyutları, temel boyutlarına ilave olarak x yönünde 30 m y yönünde 10 m arttırılmıştır. Zemin boyutlarının talepler üzerindeki etkisi Yapı-Zemin-Yapı Etkileşim (3.3 Bölüm) bölümünde incelenmiştir.

Çalışma kapsamında dikkate alınan zemin profili 3 tabakadan oluşmakta ve 45 m yüksekliğe sahiptir. ZD zemin sınıfını yansıtan ve killi tabakalardan oluşan bu zemin profiline ait özellikler Tablo 3.1' de verilmektedir. Her bir tabakaya ait kayma dalgası hızı (V_s), ZD zemin sınıfının sınır değerleri (180-360 m/s) arasında değişmektedir. Bu hızlar aynı zamanda TBDY-2018 ile uyumludur. C_u , ν ve ρ , sırasıyla kohezyon, poisson oranı ve birim hacim ağırlığını simgelemektedir.

Tablo 3.1: Zemin profiline ait özellikler (Ghandil ve Behnamfar, 2017)

Tabaka No.	Derinlik (m)	V_s (m/s)	ν	C_u (kPa)	ρ (kN/m ³)
1	0-10	184	0,35	148	18.99
2	10-25	205	0,35	206	21.36
3	25-45	256	0,35	365	24.22

3.2.1 Eşdeğer Doğrusal Yöntem

Seed ve Idriss tarafından 1969 yılında tanımlanan eşdeğer doğrusal yöntem (equivalent linear method, ELM), uygun sönüm ve kayma modülü ile zeminin doğrusal elastik olmayan etkilerini yakalamak için uygulayıcı mühendisler tarafından oldukça sık benimsenmektedir. Eşdeğer doğrusal metodun parametreleri olan başlangıç sönüm (D) ve kayma modülü oranı (G/G_{\max}) belirlenerek lineer analiz gerçekleştirilir. Her bir eleman için elde edilen maksimum kayma deformasyonuna karşılık gelen sekant kayma modülü ve sönüm oranı belirlenir. Elde edilen bu yeni kayma modülü ve sönüm oranı değerleri bir sonraki nümerik analizde kullanılır. Bu iteratif süreç, yapısal zemin özelliklerinde değişim görülmeğe kadar tekrar eder. Böylece, uygun sönüm ve kayma modülü değerlerinin kullanıldığı bu simülasyon, gerçek davranışın mümkün olan en iyi yolu olarak kabul edilir (Fatahi ve Tabatabaiefar, 2013).

Statik kayma modülü olarak isimlendirilen sekant kayma modülü (G), zeminin kayma dalgası hızı (V_s) ve birim hacim ağırlığına (ρ) bağlı olarak Denklem 3.3 ile hesaplanabilmektedir. Hesaplanan kayma modülü bazı yapısal programlarda doğrudan kullanılamamaktadır. Bunun yerine, elastik malzeme tanımlayabilmek için Denklem 3.4' te verilen elastisite modülü (E) kullanılabilir. Bu denklemlerde yer alan g, yer çekimi ivmesini temsil etmektedir.

$$G = V_s^2 \rho / g \quad (3.3)$$

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (3.4)$$

Zemin parçacıkları tarafından enerjinin emilimini ve dalga yayılımı sırasındaki etkileşimini simüle eden zemin sönümü (D), dalganın genliğini azaltır ve üst yapının nasıl bir performans sergileyeceğini etkiler (Nguyen ve diğ. 2017). Das (1983), enerjinin yayılımını temsil etmek için oldukça sık kullanılan mekanizmanın viskoz sönümleme olduğunu ve yayıcı kuvvetlerin parçacık hızının bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Park ve Hashash (2004), bir deprem anında zemindeki enerji kayıplarının doğrusal olmayan değişimleri için Rayleigh sönüm formülü kullanımını incelemiştir. Zemin parametrelerinin uygun seçildiği sürece bu formülasyonun birçok uygulama için kabul edilebilir sonuçlar verebileceği kanısına varılmıştır.

Rayleigh sönüm formülü için iki önemli frekans (periyot) tanımlanması gerekmektedir. Kramer (1996), zemin profilinin doğal frekansını tahmin eden bir denklem önermiştir (denklem 3.5). Birden fazla tabakadan oluşan zemin profilinin zemin hakim periyot hesabı ise denklem 3.6 ile verilmiştir (Aytun 2001). Denklem 3.5’ te yer alan H ve n sırasıyla zemin profil yüksekliğini ve mod sayısını belirtmektedir. Denklem 3.6’ da yer alan h_i ve V_{si} , her bir tabakaya ait yükseklik ve kayma dalgası hızlarını temsil etmektedir.

Bu çalışmada zeminin doğal periyodu belirlenirken denklem 3.6 kullanılmıştır. Zemin profilinin hakim titreşim periyodu, Tablo 3.1’ de verilen zemin özellikleri denklem 3.6’ da dikkate alınarak yaklaşık 0.82 s olarak hesaplanmıştır. Bu periyot değeri statik kayma modülü (düşük şekil değiştirme, G_{max}) için belirlenmiştir. Her iterasyonda elde edilen yeni kayma modülü için kayma dalgası hızı tekrar hesaplanır ve denklem 3.6 ile yeni periyot değeri elde edilir.

$$f = \frac{V_s}{4H} (2n - 1) \quad (3.5)$$

$$T = 4 \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}} \quad (3.6)$$

İkinci önemli frekans için DEEPSOIL’ de önerilen $5f$ ($0.2T$) değeri dikkate alınabilir (Kwok ve diğ. 2007). Bu iki frekans ve maksimum kayma deformasyonuna karşılık gelen sönüm oranı için Rayleigh sönüm parametreleri (kütle ve rijitlik sönüm katsayıları) hesaplanır. Hesaplanan bu parametreler malzeme sönümünü tanımlamak için kullanılır.

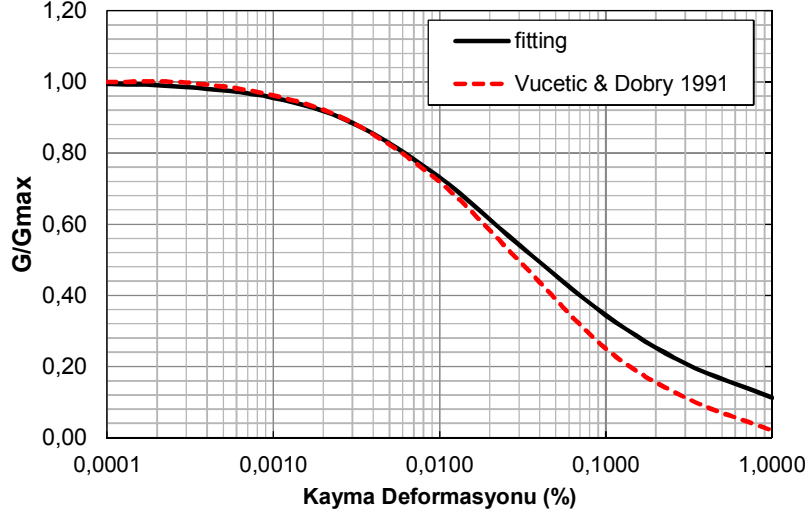
DEEPSOIL, Shake ve ProShake vb. programlar bir boyutlu (1B) zemin hacmi üzerinde dinamik analiz gerçekleştirebilmektedir. Bu programlarda binanın varlığı dikkate alınmamaktadır. Binanın temel kenarlarında, devrilme momentinden dolayı gerilme yığılmaları oluşabilmektedir. Bu gerilmeler nedeniyle kayma deformasyonları oldukça büyük elde edilebilmektedir. Ayrıca ana kayanın ankastre mesnede sahip olmasından dolayı buralarda da kayma deformasyonları yüksektir (Ghandil ve Behnamfar, 2015). Bu nedenlerden dolayı zemin, yapı ile birlikte modellenmeli ve gerçek davranışa yakın bir yaklaşım kullanılmalıdır.

3.2.2 Doğrusal Elastik Olmayan Yaklaşım

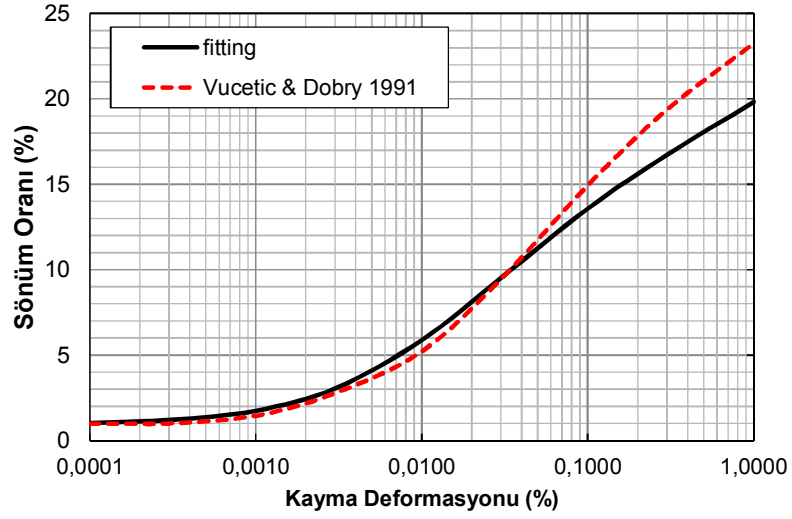
Zemin-yapı etkileşiminin, binaların sismik etkiler altındaki davranışı üzerine birçok araştırmacı tarafından çalışılmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kompleks problemin çözümü için elastik zemin varsayımı yapılarak birçok analitik formülasyonlar geliştirilmiştir (Tabatabaiefar and Massumi 2010, Maheshwari and Sarkar 2011). Kayma dalgası hızının 600 m/s' den küçük olduğu yumuşak zeminlerde, doğrusal elastik olmayan zemin modellemesi ile özellikle çerçeve yapıların sismik tepkilerinde değişimler görülmektedir (Fatahi and Tabatabaiefar 2014, Ghandil and Behnamfar 2015; Scarfone ve diğ. 2020). Ghandil ve Behnamfar (2015), zemini eşdeğer doğrusal elastik metot (ELM) ve doğrusal elastik olmayan yöntem (fully nonlinear) ile modelleyerek yapı taleplerini incelemiştir. D ve E zemin tipi üzerinde yer alan binaların tepe taleplerinde %15' e varan farklılıklar görülmüştür.

Byrne ve diğ. (2006), ELM metodunun doğrusal yaklaşım içermesinden dolayı, zemin yapı etkileşim analizlerinde doğrusal elastik olmayan etkilerin doğrudan yakalanamayacağını vurgulamıştır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin gerçekçi bir yol ile doğrudan yansıtılması için doğrusal olmayan metodun kullanılmasını önermiştir.

Zeminin gerçek davranışının (histeresis eğrilerinin ve enerjinin absorbe edilmesinin) karakterize edilebilmesi için bu çalışmada doğrusal elastik olmayan zemin modeli benimsenmiştir. Şekil değiştirmelere bağlı olarak zemin sönüm ve kayma modülü azalım ilişkileri dikkate alınmıştır. Histeretik sönümün modele uygulanabilmesi amacıyla iskelet eğrileri (backbone curve) kullanılmıştır. Bu çalışmada killi zeminler için Vucetic ve Dobry tarafından 1991 yılında önerilen eğriler göz önüne alınmıştır. Yüksek kayma deformasyonlarındaki sönüm eğrilerinin daha iyi yakalanabilmesi için eğri uydurulması (curve fitting) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Doğrusal elastik olmayan zemin tepki analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için DEEPSOIL programında yer alan geliştirilmiş hiperbolik model kullanılmıştır.



a)



b)

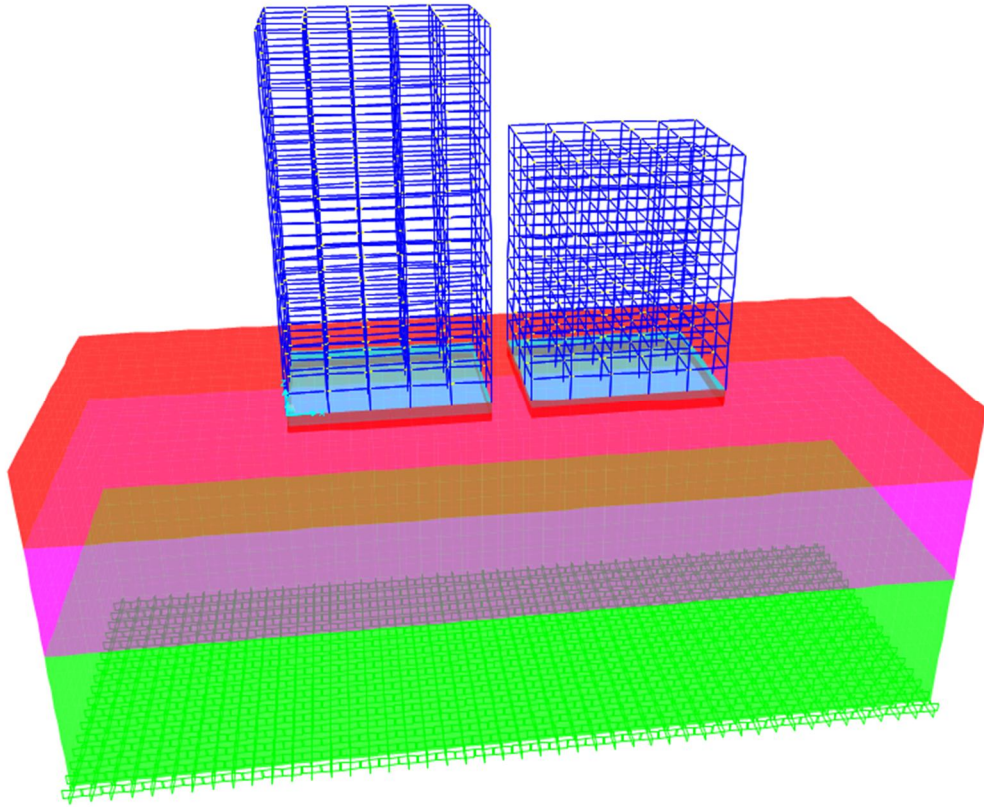
Şekil 3.7: Doğrusal olmayan zeminin kayma deformasyonuna karşılık gelen a) kayma modülü azalım eğrisi ve b) zeminin sönüm oranı eğrisi

3.3 Yapı-Zemin-Yapı Etkileşim Modeli

Çalışmada modellenen betonarme ikili binaların zemin etkilerinin dikkate alındığı 3 boyutlu (3B) yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelleri SAP2000' de oluşturulmuştur. Bu modellerde yüzeysel temellerden biri olan radye temel de modellere yansıtılmıştır (Şekil 3.8). Radye temel kalınlıkları 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binalar için sırasıyla 0.5, 0.75, 1, 1.25 ve 1.25 m olarak seçilmiş ve tasarlanmıştır. Temel ile onu çevreleyen zemin arasında mükemmel bir bağ (perfect bond) olduğu var sayılarak, arayüz (interface) eleman kullanılmamıştır. Böylece yapı ve zemin

arasında yükselme veya kayma şeklinde oluşabilecek göreceli yer değiştirme ihmal edilmiştir (Scarfone ve diğ. 2020).

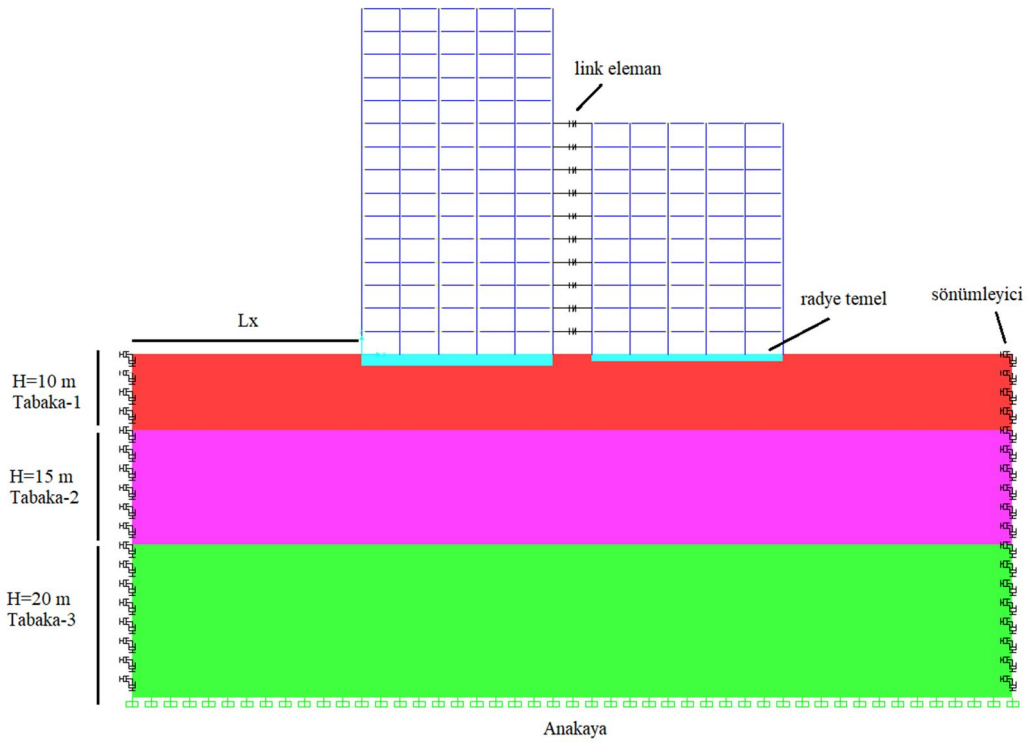
Kocak ve Mengi (2000), dinamik zemin-yapı analizlerinde anakayanın daha gerçeği ve uygun bir sınır koşulu ile simüle edilebilmesi için rijit sınır (rijit boundary) koşulunun kullanılabileceğini vurgulamıştır. Bu sınır koşulu literatürdeki birçok çalışmada kullanılmıştır (Zheng ve Takeda 1995, Dutta ve Roy 2002, Spyrakos ve diğ. 2009, Tabatabaiefar ve Massumi 2010, Fatahi ve Tabatabaiefar 2014, Ghandil ve Behnamfar 2015, Ghandil ve Behnamfar 2017). Bahsedilen geçmiş çalışmalar da dikkate alınarak bu çalışmada, rijit sınır koşulu zemin profilinin taban yüzeyindeki her bir düğüm için tanımlanmıştır (şekil 3.9).



şekil 3.8: 15-10 katlı yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelinin 3 boyutlu görünümü

45 m derinliğe sahip 3 tabakalı zemin üzerinde bulunan 15 ve 10 katlı ikili binaya ait 3 boyutlu model şekil 3.8' de verilmiştir. Zemin tabanındaki (45 m) her düğüme ankastre mesnet tanımlanmıştır. Fakat, anakaya ile zemin profili arasındaki empedans yoğunluk farkının yüksek olması durumunda, rijit sınır varsayımının uygun olmayabileceği de unutulmamalıdır (Pitilakis ve Terzi 2012).

Çalışmada kullanılan zemin profilinin ortalama kayma dalgası hızı (V_s) yaklaşık 228 m/s, frekans değeri (f) ise 1.19 Hz olarak hesaplanmıştır (Ghandil ve Behnamfar 2015). Lachetl ve Bard (2011), anakaya derinliğinin (d) yaklaşık olarak $d=V_s/4f$ ile hesaplanabileceğini belirtmiştir. Bu formüle göre beklenen anakaya derinliği 48 m civarındadır. Bir başka çalışmada Delgado ve diğ. (2000), $d=55f^{1.256}$ ampirik formülünü önermişlerdir. Bu ifadeye göre 44 m derinlik hesaplanmıştır. Yukarıdaki ilgili çalışmalar dikkate alınarak bu çalışmada anakaya derinliği 45 m olarak seçilmiştir.



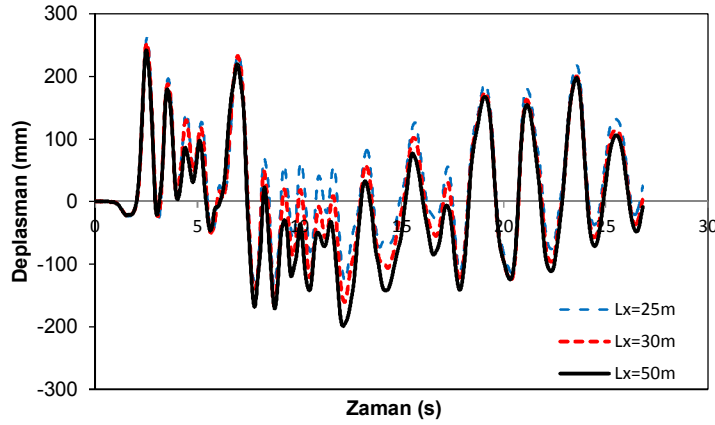
Şekil 3.9: 15-10 katlı yapı-zemin-yapı etkileşim modelinin 3 boyutlu görünümünden bir kesit

Zemin profilinin 3B doğrusal elastik olmayan sonlu elemanlar ile modellenmesi hesaplama yükü açısından hala maliyetlidir. Bu nedenle, zemin profilinin düşey kenarlarında viskoz sönümleyiciler tanımlanarak kabul edilebilir sınırlı bir model oluşturulmuştur.

Ghosh ve Wilson (1969) tarafından önerilen minimum zemin boyutlarının arttırılması sonucu, yapı talebi üzerinde oluşabilecek etkiler incelenmek istenmiştir. Bu amaçla x yönündeki zemin boyutları, ikili modellerin temel uzunluklarına her iki taraftan 25, 30 ve 50 m (L_x) eklenmiştir (Şekil 3.9). Ana kayadaki karşılığına dönüştürülen RSN1082-H2 deprem kaydı (Bölüm 4.5' te detaylı olarak

anlatılacaktır), 15-10 yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelinde uygulanarak çatı deplasman talepleri elde edilmiştir. Çatı deplasman talepleri elde edilirken; zemin ötelenmesi ve temel dönmesine bağlı ötelenme değerleri çıkarılmıştır. Bu modelde çarpışma etkilerinin görülmemesi için yeterli boşluk mesafesi (5 m) bırakılmıştır.

Artan zemin boyutları sonucunda görülen deplasman talepleri Tablo 3.2’ de ve Şekil 3.10’ da verilmiştir. Mutlak değerce maksimum değerler kıyaslandığında, zeminin yataydaki boyutunun 25 m ile 50 m arasında seçilmesi, yapı talebinde %8 değişime neden olmuştur. Talep değişiminin azaldığı andaki boyut olan 30 m seçilerek analiz yüklerinin hafifletilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10: 15-10 yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelinin RSN1082-H2 deprem kaydı için 15 katlı binadan elde edilen çatı deplasman grafiği

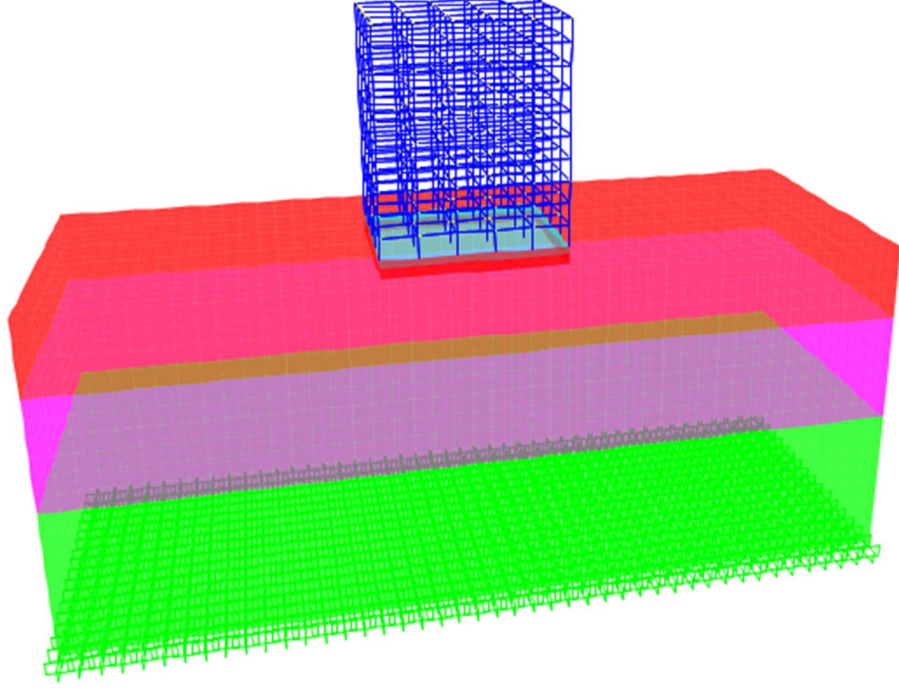
Tablo 3.2: Zemin profilinin yataydaki boyutunun değişimi ile 15 katlı modelin çatı deplasman talebi

	Net çatı ötelenmesi (mm)		
	Lx=25 m	Lx=30 m	Lx=50 m
Maksimum	261.58	253.72	242.04
Minimum	-134.35	-166.14	-199.03
Mutlak	261.58	253.72	242.04
Oran	1.08	1.05	1.00

3.4 Zemin-Yapı Etkileşim Modeli

Bir önceki bölümde, yumuşak zeminler üzerinde yer alan komşu binaların yapı-zemin-yapı etkileşim modelleri ele alınmıştır. Bu bölümde ise sadece bir bina ve zeminden oluşan zemin-yapı etkileşim modeli verilmiştir (Şekil 3.11). 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların her biri killi zemin tabakası üzerine modellenmiştir. Zemin

boyutları, YZYE modelleri ile aynı ölçülerde (x yönünde 110 m, y yönünde 40 m ve zemin derinliği 45 m) seçilmiştir.



Şekil 3.11: 3 boyutlu 10 katlı zemin-yapı etkileşim modeli

4. DEPREM KAYDI SEÇİMİ

Binaların sismik performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizlerde, ivme kayıtlarının seçimi analiz sonuçlarını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, uygun ivme kaydını elde edebilmek için 3 farklı yöntem kullanılmaktadır: tasarım spektrumları ile uyumlu yapay ivme kaydı üretimi, benzetim yolu ile ivme kaydı türetimi ve gerçek depremlerin kullanımı (Abrahamson 1993, Boore 2003, Bommer ve Acevedo 2004).

Yapay ivme kaydı, birçok deprem kaydının ortalaması alınarak tek bir kayıt olarak elde edilmektedir. Gerçek deprem kayıtlarına göre çevrim sayısının fazla olması ile enerji içeriği gerçeklikten uzaklaşmaktadır (Bommer ve Acevedo 2004). Diğer bir seçenek olan benzetim yolunda, sismolojik modeller kullanılarak ivme kayıtları türetilmektedir. Bu yöntem kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerine bağlıdır. Tasarım yönetmeliklerinin dikkate alındığı durumlarda bu bilgiler mevcut olmamaktadır. Gerçek deprem kayıtlarının kullanılması ile yer hareketinin genlik, süre, faz ve frekans içeriğinde sağlıklı bilgiler elde edilmektedir. Bu nedenle gerçek deprem kayıtlarının kullanımı önerilmektedir (Fahjan 2008).

Günümüzde, deprem kayıtlarının yer aldığı veri tabanlarının kolay ulaşılabilir olmasından dolayı, dinamik analiz için gerçek deprem kayıtlarının kullanılması tercih edilmektedir. Deprem kayıtlarının elde edildiği istasyonların zemin özellikleri ve faya olan uzaklıkları değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle belirli bir sahada, deprem tehlikesini yansıtabilecek ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Modern yönetmeliklerde ivme kayıt seçimleri ile ilgili bazı parametrelere yer verilmektedir (EC-8, ASCE/SEI 7-10, TBDY-2018).

Yönetmelik ile uyumlu deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirme işlemleri için optimizasyon teknikleri sıkça kullanılmaktadır (Fahjan 2008, Kayhan 2011). Deprem tasarım yönetmeliklerinde yer alan tepki spektrumları hedef alınarak kısıtlı optimizasyon problemi gibi çözüm yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği' ne (TBDY-2018) ait tasarım ivme spektrumunu sağlayan 11 adet ivme kaydı takımları seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Problemin çözümü için

sezgisel optimizasyon tekniklerinden birisi olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanımı tercih edilmiştir (Storn and Price, 1995).

4.1 Tasarım Spektrumu ve Deprem Kaydı Seçim Kriterleri

4.1.1 Tasarım İvme Spektrumu

2018 yılında Bakanlar Kurulu kararı ile Türk Deprem Tehlikeleri Haritaları tanımlanmıştır. Dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan bu haritalarda, harita spektral ivme katsayıları (S_S, S_1) elde edilebilmektedir. Elde edilen harita spektral ivme katsayıları yerel zemin etki katsayıları (F_S, F_1) kullanılarak tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS}, S_{D1}) dönüştürülebilmektedir (Denklem 4.1).

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Elde edilen tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak, yatay tasarım spektrumu 4 farklı periyot aralığı için belirlenmektedir. Denklem 4.2' de görüldüğü üzere yapı sisteminin titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerleri; T_A ve T_B , sabit ivme bölgesinin alt ve üst limit değeri olan periyot değerlerine, T_L , sabit deplasman bölgesinin başlangıcını tanımlayan periyot değerine bağlı tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_A: \quad S_{ae}(T) &= \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS} \\ T_A \leq T \leq T_B: \quad S_{ae}(T) &= S_{DS} \\ T_B \leq T \leq T_L: \quad S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} \\ T_L \leq T: \quad S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \end{aligned} \quad (4.2)$$

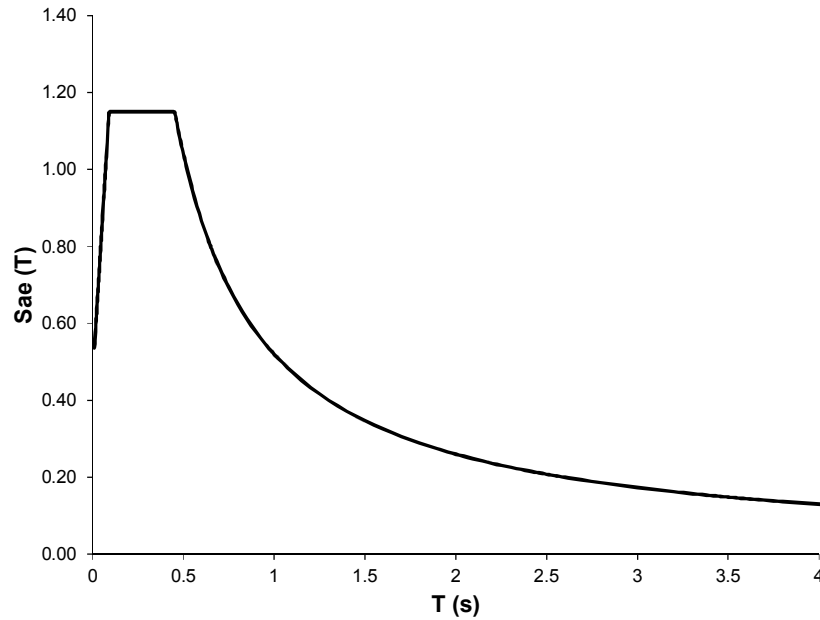
Elastik tasarım spektrumunun şekli ve ordinat değerleri zemin tiplerine göre değişkenlik göstermektedir. ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak sınıflandırılan

zeminlere ait profil tanımları ve kayma dalgası hızları Tablo 4.1’ de verilmiştir. Tablodaki hız değerleri (V_{s30}), zeminin 30 m derinliğindeki ortalama değerleridir.

Tablo 4.1: Zemin sınıfları ve V_{s30} değerleri

Zemin Sınıfı	Tanımlama	V_{s30} (m/s)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760–1500
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760
ZD	Orta sıkı–sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > % 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (cu < 25 kPa) içeren profiller	<180
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler	

Çalışmada kullanılan binalara ait yatay spektrum grafiklerinin çizdirilebilmesi için tasarım spektrumunun şeklini kontrol eden parametreler Tablo 4.2’ de verilmiştir. Bu değerler için elde edilen yatay spektrum grafiği 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve geri dönüş periyodu 475 yıl olan deprem düzeyi (DD-2) referans alınarak Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Çalışmada kullanılan binalar için yatay tasarım spektrum grafiği (TBDY-2018)

Tablo 4.2: Spektrum şeklini kontrol eden parametreler

Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
ZD	1.15	0.521	0.09	0.45

4.1.2 İvme Kaydı Seçim Kriterleri

TBDY-2018' e göre zaman tanım alanında yapılacak üç boyutlu (3B) analizlerde kullanılacak ivme kayıtlarının seçimi için bazı kriterler yer almaktadır:

- a) Deprem kaydı takımlarının sayısı en az 11 olmalıdır
- b) Aynı depremden seçilecek kayıt ve kayıt takımı sayısı 3' ü geçmemelidir.
- c) Seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, %5 sönümlü yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3' ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenleri ölçeklendirilmelidir.
- d) Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılmalıdır.

4.1.3 İvme Kayıt Seçiminde İlave Kriterler

Dinamik analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları için PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) veri tabanı kullanılmıştır. Dünyanın çeşitli bölgelerinden elde edilen deprem kayıtlarının bulunduğu bu veri tabanındaki depremlerin büyüklüğü, faya tipi, kaydın istasyonuna ait zemin özellikleri ve faya olan uzaklıkları değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, ivme kayıt seçiminde aşağıda belirtilen kriterler dikkate alınmıştır:

- Deprem büyüklüğü M_w , 4.5 ile 7.5 arasında seçilmiştir.
- Deprem kayıtlarının elde edildiği istasyonların faya olan uzaklıkları 5 ile 50 km arasındadır.
- Maksimum yer ivme değeri $0.1g$ ve üzeri olan kayıtlar tercih edilmiştir.
- ZD zemin sınıfının dikkate alınacağı bu çalışmada kayma dalgası hızı V_s , 180-360 m/s arasında seçilerek 180 adet ivme kaydı kullanılmıştır.

Dinamik analizlerde her iki asal yön için 11 adet toplamda ise 22 adet ivme kaydı seçilmek istenmiştir. Elde edilen bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ aralığındaki ivme değerleri, tasarım spektrumunda karşılık gelen değerlerine oranı için bir üst sınır verilmemiştir. Bu çalışmada, üst sınır oranı olarak 1.6 değeri alınmıştır.

İvme kayıtlarının ölçeklendirilmesi ile ilgili literatürde bazı çalışmalar yer almaktadır. Doğrusal elastik analizlerde ölçekleme katsayısının üst sınırı olarak 4 değeri verilirken, doğrusal elastik olmayan analizlerde ise 0.5 ve 2.0 arasında kullanılması önerilmiştir. Ayrıca, sınılaşma analizleri için üst sınırın 2 olması önerilmiştir (Vanmarcke 1979). Literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak, bu çalışmada ölçek katsayıları 0.5 ve 2.0 aralığında seçilmiştir.

4.2 Optimizasyon Problemi

Tasarım spektrumu ile uyumlu deprem kaydı seçimi ve ölçeklendirme işleminde, Denklem 4.3' te verilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu denklemde yer alan x , veri tabanından seçilen ivme kaydının numarasını ve bu ivme kaydına ait ölçeklendirme katsayısının saklandığı vektörü ifade etmektedir. Karar değişkenleri olarak ifade edilen bu x vektöründe, seçilecek deprem sayısı ve deprem sayısı kadar da ölçekleme katsayısı yer almaktadır. Örneğin, 11 deprem kaydının yer aldığı bir deprem seti seçilmek istenirse x vektörü 22 adet değişkenden (11 adet deprem kaydı ve 11 adet ölçekleme katsayısı) oluşmaktadır.

$$\min F(x) = f(x) + h_1(x) + h_2(x) + h_3(x) \quad (4.3)$$

Çalışmada hedeflenen tasarım spektrumu $S_{ae}(T)$ ile seçilen kayıtlardan elde edilen bileşke spektrumların ortalaması $E(T)$ arasındaki farkların karelerinin toplamı $f(x)$ fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Hataların karelerinin minimize edildiği $f(x)$ fonksiyonu için, periyot aralığı 0.04 ile 4.00 s ($0.2T_{1x}$ - $1.5T_{1x}$) seçilmiştir (denklem 4.4). Bu periyot değerleri, çalışmada kullanılacak olan 5 ve 15 katlı bina modelleri için uygundur. k , dikkate alınan periyot sayısını ifade etmektedir. Örneğin, PEER veri tabanından elde edilen her bir deprem kaydında, 111 periyot değerine karşılık

gelen ivme değerleri verilmektedir. Tüm periyot değerleri dikkate alınmak istenirse k değeri 111 adet olacaktır.

$$f(x) = \sum_{i=1}^k (E(T_i) - S_e(T_i))^2, \quad i = 1,2,3, \dots, k, \quad 0.04s \leq T_i \leq 4.00s \quad (4.4)$$

Minimizasyon probleminde dikkate alınan kısıtlar $h_1(x)$ ve $h_2(x)$ fonksiyonlarıdır. Seçilen bileşke spektrumların ortalama değeri ile hedef spektrum değeri arasındaki orana bağlı olan bu fonksiyonlar Denklem 4.5 ve 4.6' da yer almaktadır. Koşul sağlanırsa fonksiyon sıfır değerini alırken, sağlanmadığı durumda penaltı katsayısı (PK_i) uygulanır.

$$h_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \min(E(T)/S_{ae}(T)) > 1.3 \\ PK_1 & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.5)$$

Penaltı katsayıları, kısıtlar üzerinde etkili olarak amaç fonksiyonunun minimize edilmesine yardımcı olur. Kısıtların gerekli koşulları sağladığı durumlarda penaltı katsayısı sıfır değerini alırken, koşulların sağlanmadığı durumlarda penaltı katsayısı devreye girer.

$$h_2(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \max(E(T)/S_{ae}(T)) < 1.6 \\ PK_2 & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.6)$$

Son olarak, veri tabanından seçilen ivme kayıtlarının sadece bir kez kullanılması için $h_3(x)$ fonksiyonu dikkate alınmıştır.

$$h_3(x) = \begin{cases} PK_3 & \text{eğer set içinde aynı ivme kaydı seçilmiş ise} \\ 0 & \text{eğer set içinde aynı ivme kaydı hiç seçilmemiş ise} \end{cases} \quad (4.7)$$

4.3 Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), 1995 yılında Storn ve Price tarafından geliştirilen ve genetik algoritmaya dayanan popülasyon tabanlı bir sezgisel optimizasyon tekniğidir. Kolay programlanabilen ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde etkili olan bir algoritmadır. Çözüm aşamasında çaprazlama, mutasyon ve seçim parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametrelerden olan NP, popülasyon

büyükliğini ifade eder ve problemin çözümüne ait karar değişkenlerinin yer aldığı çözüm vektörlerini göstermektedir. Çözüm vektörü, dikkate alınan değişken sayısı (ND) boyutundadır. Karar değişkenlerin alt ve üst limitleri dikkate alınarak çözüm vektörleri rastgele sayılar ile doldurulur (denklem 4.8). Bu çözüm vektörleri NP adet türetilir. Denklem 4.8’ de yer alan G_e , jenerasyon sayısını $r(0,1)$ ise 0 ile 1 arasında seçilen rastgele değeri ifade etmektedir. Sonuç olarak, başlangıç popülasyonu $ND \times NP$ adet ($j \in \{1,2,\dots,ND\}$) $x(i \in \{1,2,\dots,NP\})$ karar değişkeninden oluşur.

$$x_{j,Ge}^i = x_{jmin}^i + r(0,1)(x_{jmax}^i - x_{jmin}^i) \quad (4.8)$$

Her bir çözüm vektörü için amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır. Sonra popülasyon içinden rastgele ve birbirinden farklı 3 adet çözüm vektörü (x^{r1}, x^{r2}, x^{r3}) seçilir. Seçilen iki çözüm vektörünün farkı alınır ve bu fark çözüm vektörü ölçekleme katsayısı (F) ile çarpılır. Elde edilen ölçeklenmiş yeni çözüm vektörü, rastgele seçilen üçüncü çözüm vektörü ile toplanarak mutasyona uğramış çözüm vektörü oluşturulur (Denklem 4.9). Mutasyon vektöründeki (v) karar değişkenlerin alt ve üst limitleri aşıp aşmadığı kontrol edilir.

$$v_{j,Ge}^i = x_{j,Ge}^{r3} + F(x_{j,Ge}^{r1} - x_{j,Ge}^{r2}) \quad (4.9)$$

Popülasyon içindeki her bir çözüm vektörü ile o çözüm değeri için oluşturulan mutasyon vektörü arasında çaprazlama parametresi (CR) kullanılır. Burada 0 ile 1 arasında seçilen rastgele değer CR değerinden küçük ya da eşit olması durumunda, yeni oluşturulacak çözüm vektöründeki (u) karar değişkenin mutasyon vektöründen (v) gelmesi sağlanır (Denklem 4.10). Aksi takdirde mevcut çözüm vektöründeki (x) karar değişkeni dikkate alınır. Ayrıca $j = j_r$ koşulu kullanılarak mutasyon vektöründen en az 1 tane karar değişkeni yeni çözüm vektörüne aktarılır.

$$u_{j,Ge}^i = \begin{cases} v_{j,Ge}^i & \text{if } r_j(0,1) \leq CR \text{ or } j = j_r \\ x_{j,Ge}^i & \text{else} \end{cases} \quad (4.10)$$

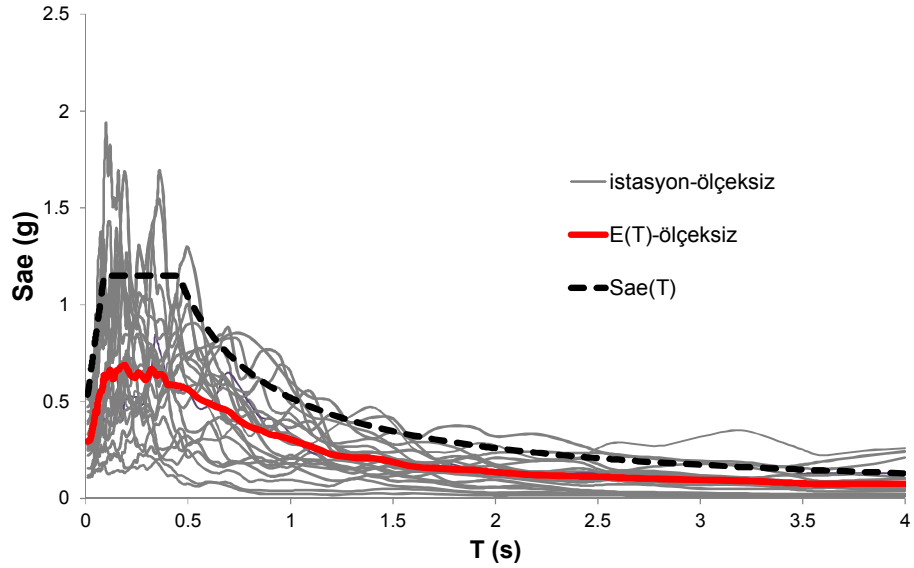
Yeni oluşturulan çözüm vektörüne (u) ait amaç fonksiyonu değeri ile mevcut çözüm vektörü (x) için hesaplanan amaç fonksiyonu değerleri kıyaslanır. En uygun

değere sahip çözüm vektörü seçilerek bir sonraki jenerasyona (iterasyona) aktarılır (Denklem 4.11). Belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritma sonlandırılır.

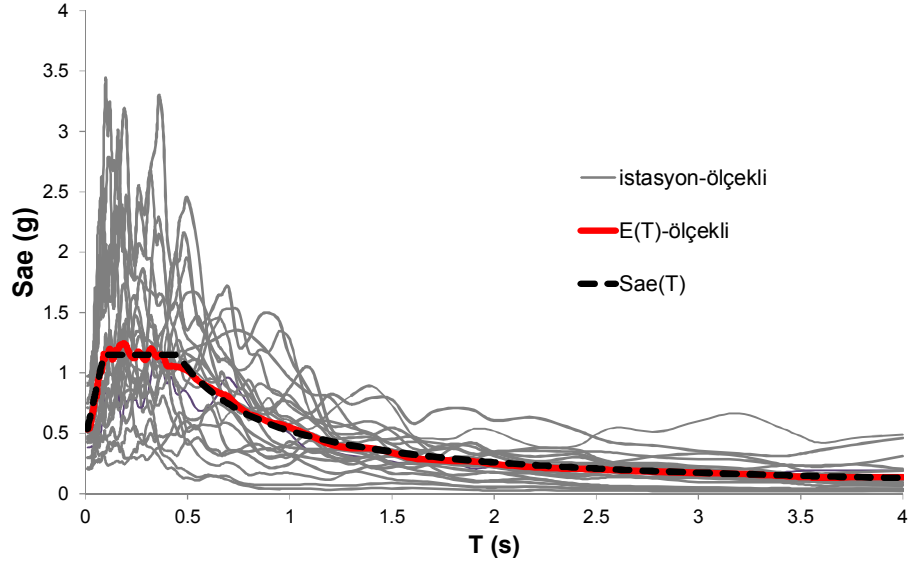
$$x_{Ge+1}^i = \begin{cases} u_{Ge}^i & \text{if } f(u_{Ge}^i) \leq f(x_{Ge}^i) \\ x_{Ge}^i & \text{else} \end{cases} \quad (4.11)$$

4.4 Seçilen İvme Kayıtları ve Ölçek Katsayıları

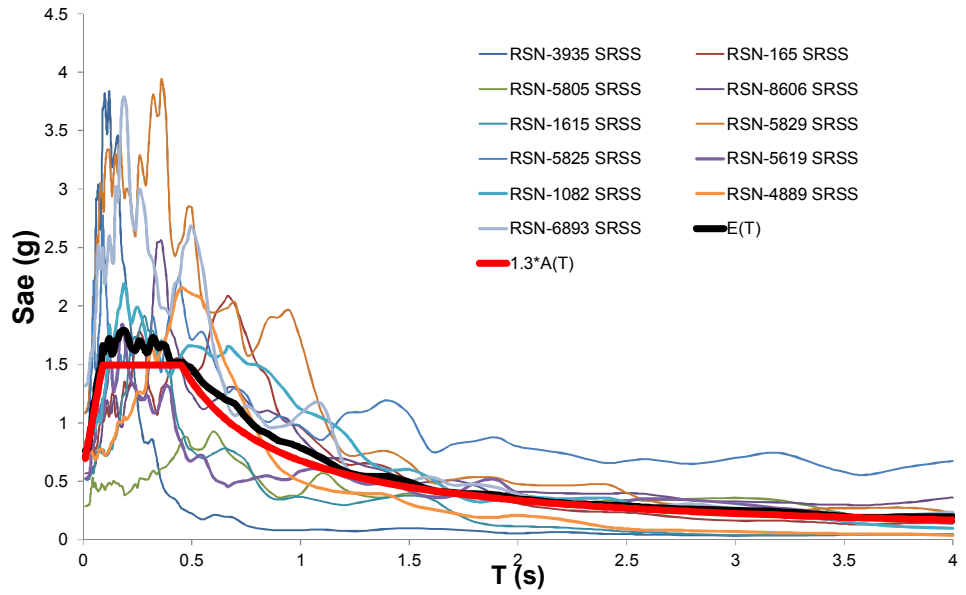
Çalışma kapsamında TBDY-2018' e göre, ZD zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği düşünülen 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binaların zemin yapı etkileşimi altındaki performansları incelenmek istenmektedir. Bu amaçla yönetmelik ile uyumlu 11 deprem kayıt takımından (11x2=22) oluşan deprem seti DGA ile elde edilmiştir.



Şekil 4.2: Ölçeksiz 22 ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması (E(T)) ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (Sae(T)) grafiği



Şekil 4.3: Ölçeklendirilmiş 22 ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması (E(T)) ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (Sae(T)) grafiği



Şekil 4.4: 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması (E(T)) ve 1.3 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (1.3*A(T)) grafiği

Çalışma kapsamında seçilen ölçeksiz ivme kayıtları, ölçeklendirilmiş ivme kayıtları ve ortalamaları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Her bir ivme kaydının iki yatay bileşenine ait spektrumların (H1 ve H2 yönü) kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke kayıt (SRSS) elde edilmiştir. 11 ivme kayıt takımına ait bileşke spektrumlar, bileşke spektrumların ortalaması E(T) ve ZD zemin sınıfı için 1.3 katsayısı ile büyütülen yatay tasarım spektrum eğrileri Şekil 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.3: Seçilen 11 ivme kayıt takımına ait özellikler ve ölçek katsayıları

Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Bileşen	Deprem	Vs30 (m/s)	Ölçek
81	RSN-3935	H1-H2	Tottori, Japan	344	1.7786
52	RSN-165	H1-H2	Imperial Valley-06	242	1.8544
144	RSN-5805	H1-H2	Iwate, Japan	253	1.8600
180	RSN-8606	H1-H2	El Mayor-Cucapah, Mexico	242	1.4823
125	RSN-1615	H1-H2	Duzce, Turkey	338	1.7878
153	RSN-5829	H1-H2	El Mayor-Cucapah, Mexico	242	1.9498
151	RSN-5825	H1-H2	El Mayor-Cucapah, Mexico	242	1.8929
130	RSN-5619	H1-H2	Iwate, Japan	279	1.9229
78	RSN-1082	H1-H2	Northridge-01	321	1.5847
100	RSN-4889	H1-H2	Chuetsu-oki, Japan	315	1.8487
165	RSN-6893	H1-H2	Darfield, New Zealand	344	1.8912

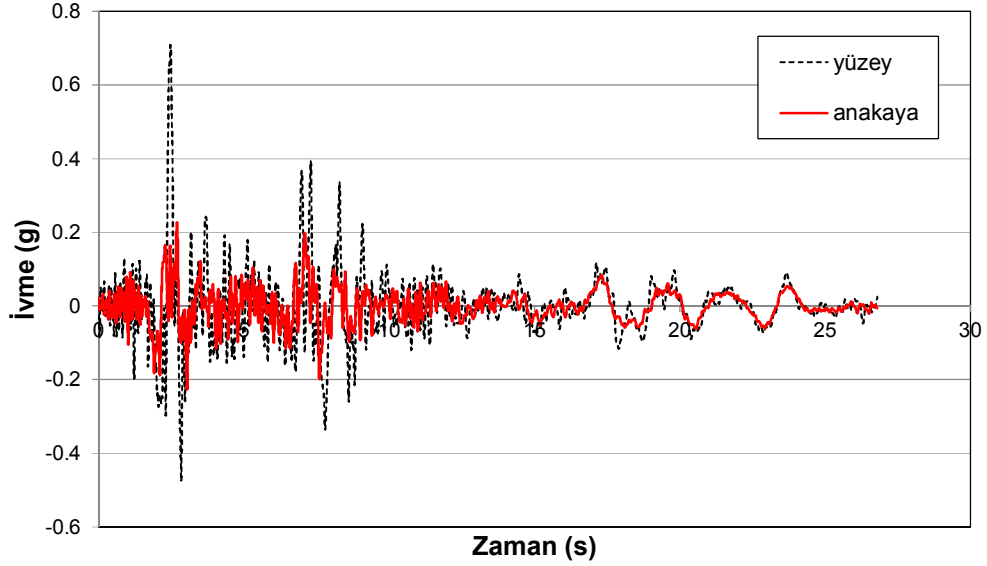
Algoritmada yer alan F ve CR parametreleri sırasıyla 0.4 ve 0.2 olarak seçilmiştir. Algoritmadaki iterasyon sayısı ise 1000 olarak alınmıştır. Seçilen kayıtlara ait özellikler ve ölçek katsayıları Tablo 4.3' te verilmektedir.

4.5 Seçilen İvme Kayıtlarının Anakayaya İndirilmesi

Bir önceki bölümde seçilen deprem kayıtları (PEER) zemin yüzeyinden elde edilmiştir. Zemin-yapı etkileşim modelinde (solid) katı elemanlar yardımıyla tabakalı zemin modeli oluşturulmuştur. Toplam derinliği 45 m olan yumuşak zemin modelinde, anakayadan uygulanan deprem kayıtları büyüyerek yüzeye ulaşacaktır. Bu nedenle, yüzeyden elde edilen deprem kayıtlarının anakayada karşılık gelen kayıtlara dönüştürülmesi (deconvolution) gerekmektedir. Bu dönüşüm için DEEPSOIL programında yer alan eşdeğer lineer metot (Equivalent Linear Method, ELM) kullanılmıştır.

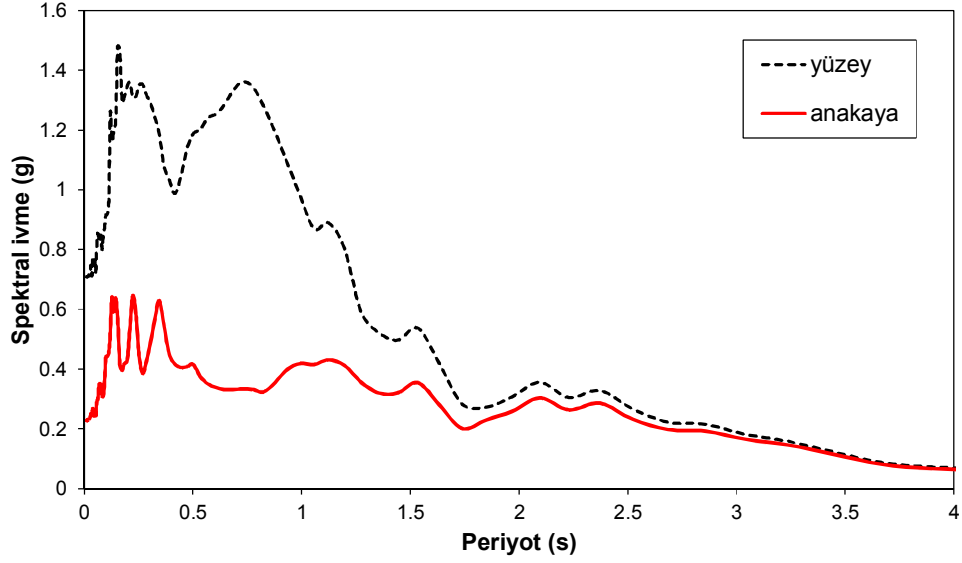
Eşdeğer doğrusal metodun parametreleri olan başlangıç sönüm ve kayma modülü oranları belirlenerek lineer analiz gerçekleştirilir. Her bir eleman için elde edilen maksimum kayma deformasyonuna karşılık gelen sekant kayma modülü ve sönüm oranı Şekil 3.3 kullanılarak elde edilen yeni kayma modülü ve sönüm oranı değerleri bir sonraki nümerik analizde kullanılır. Bu iteratif süreç, zemin özelliklerinde değişim görülmeyene kadar tekrar eder. Böylece, uygun sönüm ve kayma modülü değerlerinin kullanıldığı bu simülasyon, gerçek davranışa yakın olan en iyi çözüm yolu olarak kabul edilir.

Zeminin kayma şekil değiştirmesine bağlı olarak değişen kayma modülü ve sönüm oranları kullanılarak zemin doğrusal elastik olarak modellenebilmektedir. Bu metot, sismik yükler altındaki zeminin doğrusal olmayan etkilerini basit bir şekilde yansıttığı için oldukça popülerdir.



Şekil 4.5: RSN1082-H2 deprem kaydının 45 m ve 3 farklı tabakadan oluşan zemin profilindeki ivme grafiği

Killi ve 3 tabakadan oluşan zemin profiline ait özellikler Tablo 3.1' de verilmektedir. Bu zemin profili 10, 15 ve 20 m derinliğindeki farklı tabakalardan oluşmaktadır. Bu zemin profili Vucetic ve Dobry tarafından 1991 yılında önerilen efektif kayma modülü (G/G_{max}) ve sönüm oranı (D) grafikleri, zemin parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilen eğri uydurması Şekil 3.7' de sunulmaktadır. Bu eğriler kullanılarak yüzey kayıtları DEEPSOIL yardımıyla anakaya üzerindeki kayıtlara dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün yapıldığı RSN1082-H2 kaydına ait ivme grafiği Şekil 4.5' te verilmiştir. Ayrıca dönüştürülen ivme kaydına ait ivme spektrum grafiği Şekil 4.6' da verilmektedir.



Şekil 4.6: RSN1082-H2 deprem kaydının 45 m ve 3 farklı tabakadan oluşan zemin profilindeki spektral ivme grafiği

4.6 Yüzey ile Anakaya Kayıtlarının Karşılaştırılması

Deprem dalgalarının zemin tabakalarında ilerlerken genliklerinde artış meydana gelebilmektedir. Zemin büyütmesi olarak adlandırılan bu genlik artışları, anakaya derinliği, zemin tabaka kalınlıkları ve cinsleri, kayma modülü ve sönüm oranı gibi dinamik özellikleri ve topografik özellikleri gibi yerel zemin koşullarından etkilenmektedir (Şafak 2001).

Zemin yüzeyi hareketlerinin yerel zemin koşullarından etkilenmesi, Kramer (1996) tarafından şöyle açıklanmıştır: Birçok sahada yüzeye yakın zemin malzemelerinin yoğunluğu ve kayma dalgası hızı, daha derindeki malzemelere oranla daha düşüktür. Saçılma ve malzeme sönümleme etkilerinin ihmal edildiği durumda, elastik enerjinin korunması ilkesine göre derinden yüzeye doğru olan enerji akışı ($\rho V_s \dot{u}^2$) sabit olmalıdır. Bu nedenle, dalgalar yüzeye doğru ilerlerken ρ (yoğunluk) ve V_s (kayma dalgası hızı) azaldığı için partikül hızının (\dot{u}^2) artması gerekmektedir. Böylece, anakayadan yumuşak zemin tabakalarına geçen deprem dalgalarının genliği büyümektedir.

Roesset (1977), sismik dalgaların yumuşak zemin tabakaları içinde büyümesini, empedans oranı (α) ve sönüm oranına (ξ) dayanan bir ilişki önermiştir

(denklem 4.12). Empedans oranı, anakaya ile yumuşak zeminin sahip olduğu yoğunluk ve hızlarının değişimini tanımlamaktadır (denklem 4.13). ρ_r ve ρ_s anakaya ve yumuşak zeminin yoğunluğunu, V_r ve V_s ise yine bu zeminlerin kayma dalgası hızlarını temsil etmektedir.

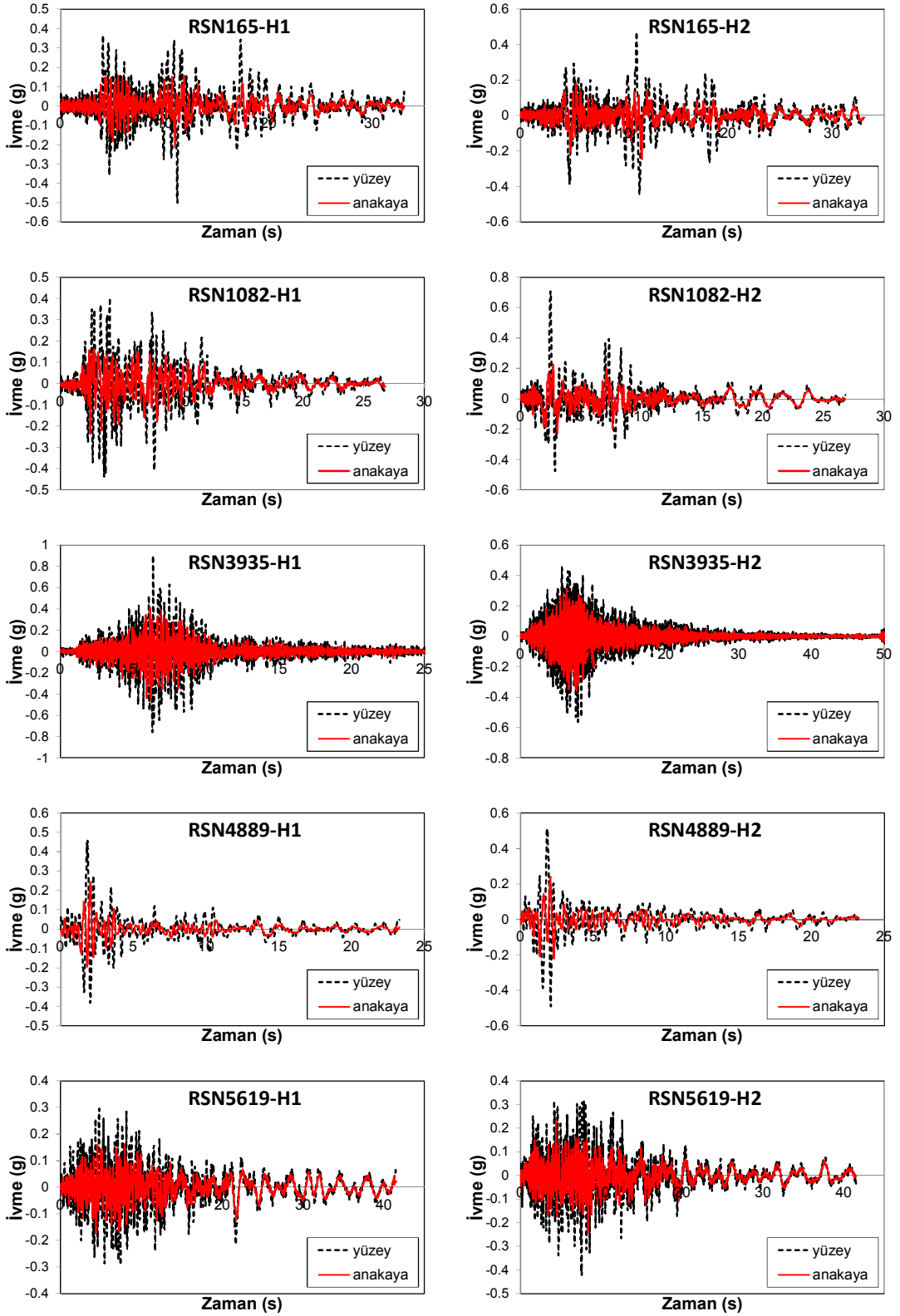
$$B = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha}\right) + \left(\frac{\pi}{2}\right)\xi} \quad (4.12)$$

$$\alpha = \frac{\rho_r V_r}{\rho_s V_s} \quad (4.13)$$

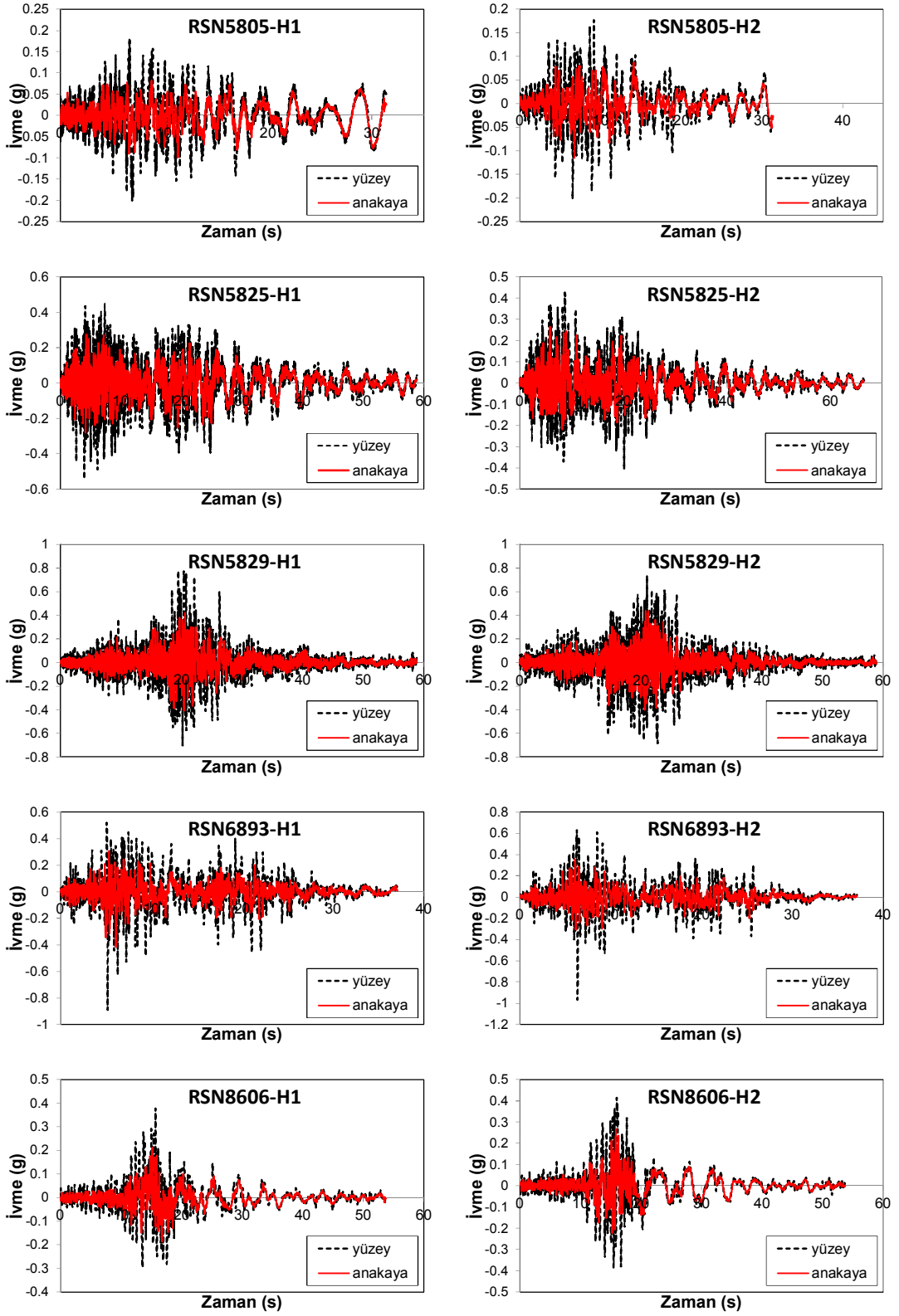
Maksimum zemin büyütmesi, zemin hakim titreşim periyoduna ulaşıldığı anda meydana gelmektedir. Sonsuz büyütmenin görüleceği bu rezonans durumuna ait periyot değeri denklem 3.6' da verilmiştir.

Bu bölümde anakaya ve zemin yüzeyinde elde edilen ivme kayıtlarının zamana bağlı değişimleri (Şekil 4.7) ve spektral ivme grafikleri (Şekil 4.9) verilmiştir. Her bir ivme kaydının zemin yüzeyindeki ve anakayadaki maksimum yer ivmesi değerleri (PGA) Tablo 4.4' te hesaplanmıştır. PGA büyütme katsayıları 21 kayıt için minimum 1.55, maksimum 3.13 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.8). Ortalama PGA büyümesi ise 1.95 olarak belirlenmiştir.

Ankastre modeller için 22 yüzey deprem kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlardan RSN1615-H1 ivme kaydı anakaya indirilirken çok yüksek büyütme görülmüştür. Bu nedenle yapı-zemin-yapı etkileşim modellerinde bu kayıt dikkate alınmamıştır. Farklı bir ivme setinin seçilmesi, zemin büyütme ihtimalini engellemeyecektir. Seçilen yeni setlerdeki yüzey kayıtları anakayadaki karşılıklarına dönüştürülürken daha çok sayıda ivme kaydı ihmal edilebilir. Bu nedenle 21 adet ivme kaydının çalışma kapsamında yeterli olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, ivme kayıtları algoritma kullanılarak seçildiği için bir adet ivme kaydı manuel olarak eklenmek istenmemiştir.



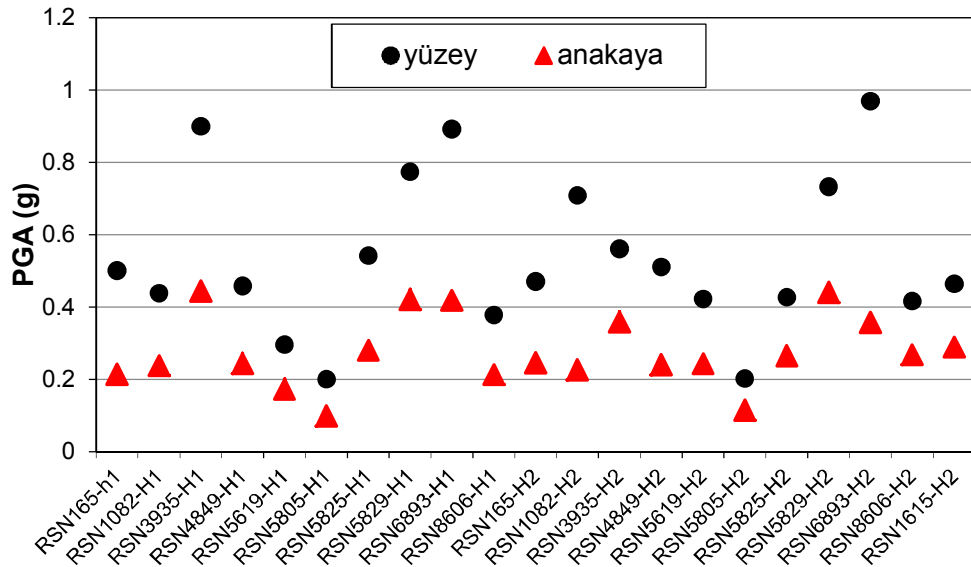
Şekil 4.7: Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen ivme grafikleri



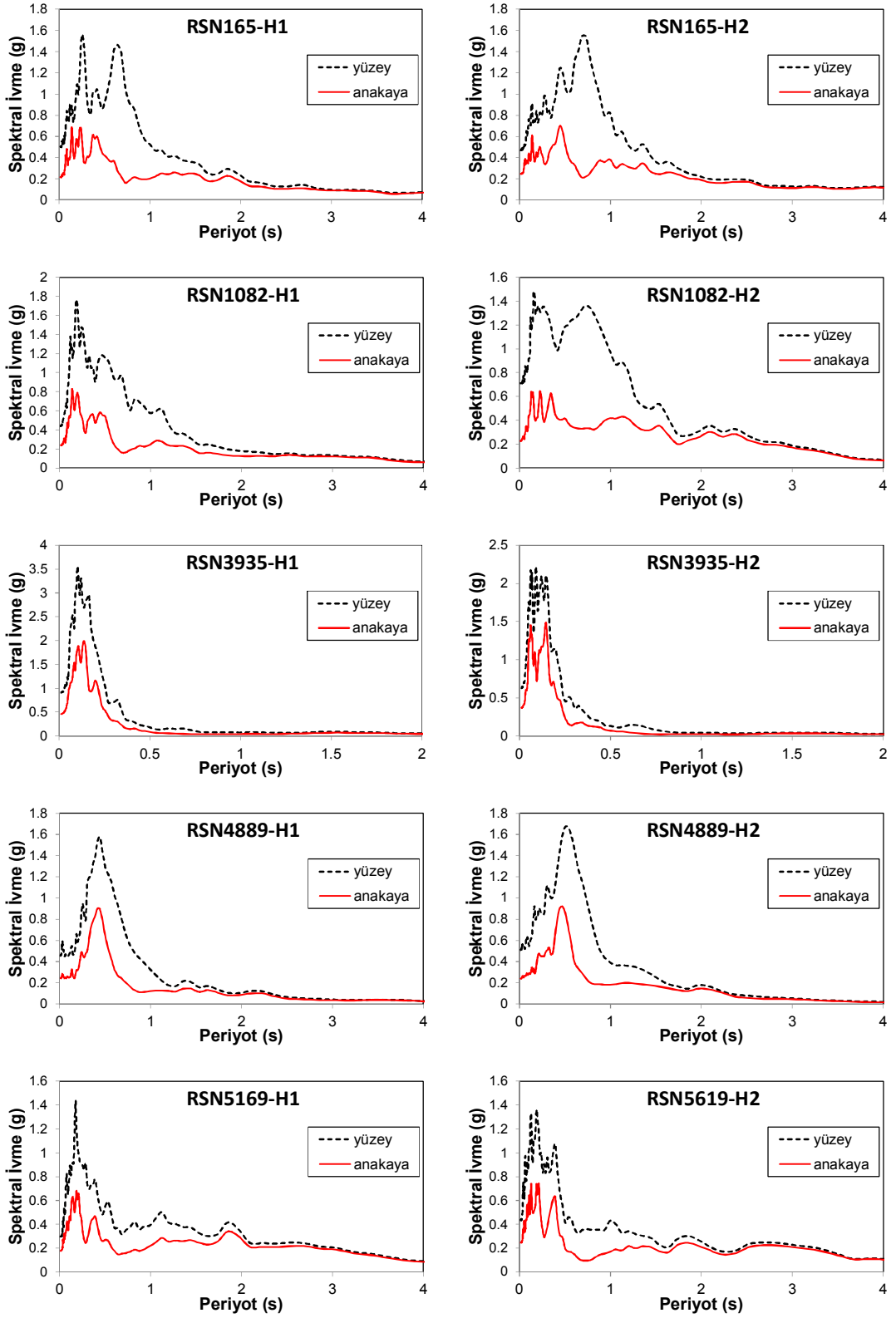
Şekil 4.7 (devam): Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen ivme grafikleri

Tablo 4.4: Seçilen ivme kayıtlarının zemin yüzeyindeki ve anakayadaki PGA değerleri

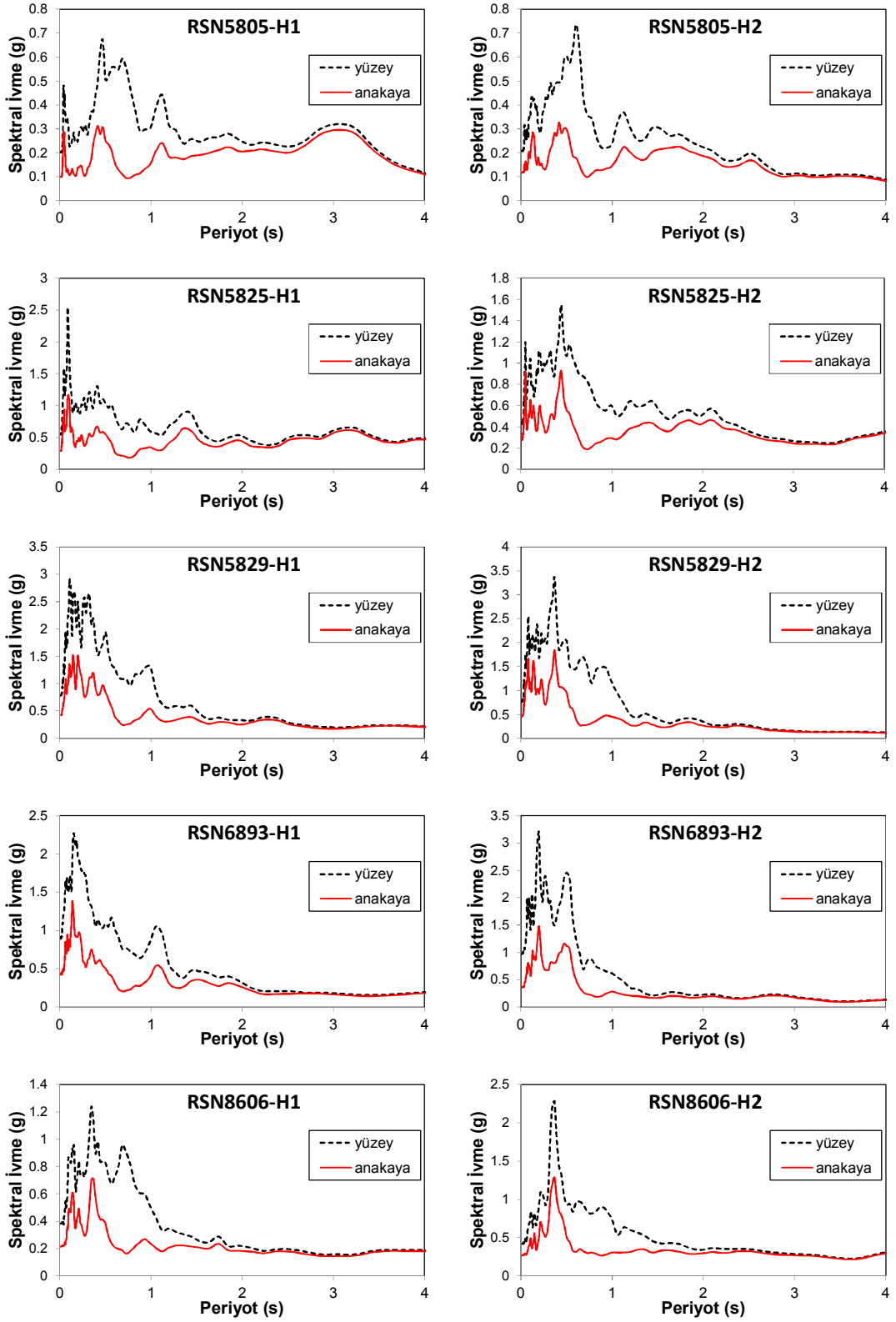
kayıt	PGA yüzey (g)	PGA anakaya (g)	PGA oranı yüzey/anakaya
RSN165-H1	0.501	0.214	2.34
RSN1082-H1	0.438	0.238	1.84
RSN3935-H1	0.899	0.444	2.02
RSN4849-H1	0.458	0.244	1.88
RSN5619-H1	0.296	0.173	1.71
RSN5805-H1	0.200	0.099	2.02
RSN5825-H1	0.542	0.280	1.93
RSN5829-H1	0.774	0.421	1.84
RSN6893-H1	0.892	0.418	2.13
RSN8606-H1	0.378	0.213	1.78
RSN165-H2	0.471	0.246	1.91
RSN1082-H2	0.709	0.227	3.13
RSN3935-H2	0.561	0.359	1.56
RSN4849-H2	0.511	0.241	2.12
RSN5619-H2	0.422	0.243	1.74
RSN5805-H2	0.202	0.115	1.76
RSN5825-H2	0.427	0.266	1.61
RSN5829-H2	0.733	0.441	1.66
RSN6893-H2	0.969	0.357	2.71
RSN8606-H2	0.416	0.268	1.55
RSN1615-H2	0.464	0.289	1.60
Minimum			1.55
Maksimum			3.13
Ortalama			1.95



Şekil 4.8: Seçilen ivme kayıtlarının zemin yüzeyindeki ve anakayadaki PGA değerleri



Şekil 4.9: Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen spektral ivme grafikleri



Şekil 4.9 (devam): Yüzey kayıtlarına ve bu kayıtların zemin profilinin tabanına (anakaya) karşılık gelen spektral ivme grafikleri

5. YER HAREKETİ PARAMETRELERİ

Kuvvetli yer hareketinin karakterize edilebilmesi için birçok parametre önerilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan bazı parametreler Tablo 5.1’ de verilmiştir. Yer hareketi parametreleri 4 grupta sınıflandırılmıştır: hız, frekans, deplasman ve ivme. Toplam 20 parametre ile ilgili kısa bilgiler bu bölümde verilecektir. Parametreler ile ilgili daha detaylı bilgi geoteknik deprem mühendisliği kitaplarında bulunabilir (Örneğin; Kramer tarafından yazılan “Geoteknik Deprem Mühendisliği” kitabı, 1996). Her bir deprem kaydı için Tablo 5.1’ de verilen parametrelerin değerleri, SeismoSignal programı kullanılarak belirlenmiştir. Her bir parametre için hesaplanan değerler Tablo 5.2 ve 5.3’ te verilmiştir.

Tablo 5.1: Yer hareketi parametreleri

Tip	Parametre	Notasyon	Birim
Hız	Root Mean Square of Velocity	V_{rms}	m/s
	Velocity Spectrum Intensity	VSI	m
	Specific Energy Density	SED	m ² /s
	Sustained Maximum Velocity	SMV	m/s
	Peak Ground Velocity	PGV	m/s
	Cumulative Absolute Velocity	CAV	m/s
	Housner Intensity	HI	m
Frek.	Peak Velocity and Acceleration Ratio	V_{max}/A_{max}	s
	Mean Period	T_m	s
	Predominant Period	T_p	s
De	Peak Ground Displacement	PGD	m
	Root Mean Square of Displacement	Drms	m
İvme	Effective Design Acceleration	EDA	g
	Arias Intensity	I_a	m/s
	Characteristic Intensity	I_c	-
	Acceleration Spectrum Intensity	ASI	g*s
	Root Mean Square of Acceleration	Arms	g
	Sustained Maximum Acceleration	SMA	g
	Peak Ground Acceleration	PGA	g
A95 parameter	A95	g	

Pik yer ivmesi (PGA), pik yer hızı (PGV) ve pik yer deplasmanı (PGD) parametreleri, deprem kaydının maksimum değerlerini vermektedir. PGA çok yaygın kullanılan bir parametre olsa da, hareketin frekans içeriği ve süresi hakkında herhangi bir bilgi içermez (Kramer, 1996). PGV, yer hareketinin yüksek frekans

içeriğine daha az duyarlı olduğu için PGA' ya oranla yer hareketinin genliğini daha iyi tanımlamaktadır. Orta frekans aralığındaki etkilere duyarlı olan yapılar için potansiyel hasarı belirlemede PGV üstünlük sağlamaktadır (Trifunac ve Brady, 1975).

Tablo 5.2: Herbir deprem kaydı için hesaplanan yer hareketi parametre değerleri

Deprem	PGA g	PGV m/s	PGD m	V_{max}/A_{max} s	A_{rms} g	V_{rms} m/s	D_{rms} m	I_a m/s	I_c	SED m ² /s
RSN1082-h1	0,44	0,41	0,25	0,10	0,09	0,11	0,13	3,62	0,15	0,30
RSN1082-h2	0,71	0,71	0,99	0,10	0,09	0,15	0,57	3,65	0,15	0,58
RSN1615-h2	0,46	0,33	0,19	0,07	0,11	0,10	0,09	2,99	0,14	0,17
RSN165-h1	0,50	0,45	0,23	0,09	0,09	0,11	0,08	3,98	0,15	0,39
RSN165-h2	0,47	0,58	0,98	0,13	0,09	0,13	0,58	4,05	0,15	0,56
RSN3935-h1	0,90	0,35	0,22	0,04	0,09	0,04	0,08	6,45	0,20	0,09
RSN3935-h2	0,56	0,15	0,32	0,03	0,08	0,02	0,19	4,55	0,15	0,03
RSN4849-h1	0,46	0,44	0,34	0,10	0,07	0,07	0,20	1,55	0,08	0,12
RSN4849-h2	0,51	0,50	0,99	0,10	0,07	0,09	0,57	2,01	0,10	0,20
RSN5619-h1	0,30	0,36	0,92	0,12	0,07	0,12	0,54	2,92	0,11	0,56
RSN5619-h2	0,42	0,34	0,44	0,08	0,07	0,11	0,24	3,36	0,13	0,52
RSN5805-h1	0,20	0,38	0,58	0,19	0,05	0,12	0,26	1,19	0,06	0,46
RSN5805-h2	0,20	0,34	0,14	0,17	0,04	0,08	0,05	0,98	0,05	0,22
RSN5825-h1	0,54	0,80	0,63	0,15	0,10	0,27	0,21	11,26	0,28	4,80
RSN5825-h2	0,43	0,74	0,69	0,18	0,08	0,21	0,25	7,10	0,20	2,98
RSN5829-h1	0,77	1,00	1,39	0,13	0,13	0,20	0,76	15,09	0,36	2,38
RSN5829-h2	0,73	0,77	1,68	0,11	0,14	0,16	0,98	17,72	0,40	1,46
RSN6893-h1	0,89	0,76	0,37	0,09	0,12	0,18	0,12	8,91	0,27	1,16
RSN6893-h2	0,97	0,58	0,61	0,06	0,13	0,20	0,29	10,02	0,29	1,43
RSN8606-h1	0,38	0,82	0,67	0,22	0,06	0,19	0,21	2,65	0,10	1,96
RSN8606-h2	0,42	0,76	0,99	0,19	0,07	0,26	0,33	4,21	0,14	3,51

PGA, PGV ve PGD parametreleri zamana bağlı bir deprem kaydının sadece pik genliği ile tanımlanmaktadır. Bazen yapısal hasar pik genlik ile ilişkili olurken, kimi zaman da yüksek genlikli devirlerin tekrarı ile ilişkilendirilmektedir. SMA ve SMV (Sustained Maximum Acceleration and Velocity), kaydın zamana bağlı değişimindeki üçüncü en büyük (mutlak değerce) ivme veya hız değeri ile tanımlanabilmektedir (Nuttli 1979). EDA (Effective Design Acceleration) ise 8 ile 9 Hz' den büyük ivmeler filtrelenerek geriye kalan pik ivme ile tanımlanmıştır (Benjamin 1988). A95 parametresi toplam Arias şiddetinin %95' ini içeren ivme seviyesi olarak tanımlanmaktadır (Sarma ve Yang 1987).

Baskın periyot (T_p), Fourier genlik spektrumunda en büyük değere sahip titreşim periyodu olarak tanımlanmaktadır. Ortalama periyot (T_m), Rathje ve diğerleri

(1998) tarafından denklem 5.1 ile tanımlanmıştır. Bu denklemde yer alan C_i fourier genliğini, f_i ise 0.25 ile 20 Hz aralığındaki ayrık fourier dönüşüm frekanslarını temsil etmektedir. Pik hız ve pik ivme oranı (V_{max}/A_{max}) hareketin frekans içeriği olarak varsayılmaktadır.

Tablo 5.3: Herbir deprem kaydı için hesaplanan yer hareketi parametre değerleri

Deprem	CAV m/s	ASI g*s	VSI m	SMA g	SMV m/s	EDA g	A95 g	Tp s	Tm s	HI m
RSN1082-h1	15,69	0,49	1,92	0,40	0,37	0,42	0,42	0,18	0,51	1,67
RSN1082-h2	15,23	0,48	2,74	0,39	0,40	0,70	0,70	0,16	0,77	2,63
RSN1615-h2	12,40	0,51	1,41	0,31	0,28	0,46	0,46	0,28	0,41	1,20
RSN165-h1	19,85	0,41	1,94	0,36	0,34	0,49	0,49	0,26	0,57	1,78
RSN165-h2	19,94	0,37	2,20	0,39	0,43	0,47	0,46	0,68	0,71	2,11
RSN3935-h1	21,53	0,47	0,73	0,63	0,24	0,81	0,89	0,10	0,12	0,46
RSN3935-h2	20,43	0,27	0,39	0,51	0,14	0,49	0,55	0,12	0,10	0,27
RSN4849-h1	8,67	0,41	1,44	0,14	0,17	0,44	0,45	0,44	0,53	1,16
RSN4849-h2	10,12	0,42	1,92	0,39	0,26	0,50	0,50	0,52	0,59	1,51
RSN5619-h1	19,94	0,32	1,66	0,29	0,30	0,30	0,29	0,18	0,64	1,67
RSN5619-h2	20,03	0,37	1,42	0,33	0,29	0,44	0,41	0,12	0,57	1,39
RSN5805-h1	11,91	0,15	1,39	0,18	0,30	0,19	0,19	0,46	1,18	1,40
RSN5805-h2	10,35	0,18	1,25	0,18	0,22	0,19	0,20	0,60	0,86	1,25
RSN5825-h1	50,09	0,44	2,81	0,45	0,77	0,50	0,51	0,10	0,79	2,80
RSN5825-h2	37,70	0,42	2,79	0,37	0,61	0,41	0,42	0,44	0,81	2,75
RSN5829-h1	46,43	0,86	3,06	0,75	0,78	0,80	0,76	0,12	0,39	2,85
RSN5829-h2	51,70	0,89	3,22	0,66	0,63	0,70	0,70	0,36	0,41	2,85
RSN6893-h1	30,91	0,61	2,44	0,53	0,53	0,95	0,88	0,18	0,45	2,28
RSN6893-h2	31,71	0,83	2,13	0,57	0,56	0,96	0,95	0,20	0,42	1,94
RSN8606-h1	18,86	0,35	1,70	0,29	0,61	0,38	0,37	0,34	0,65	1,58
RSN8606-h2	23,74	0,50	2,56	0,38	0,70	0,41	0,41	0,36	0,77	2,45

A_{rms} , V_{rms} ve D_{rms} (Root Mean Square) deprem kaydının genliği ve frekans içeriğini kapsayan parametre olup denklem 5.2 ile tanımlanmaktadır. T_d , hareketin süresini, λ_0 ise ivme, hız veya deplasmanın karelerinin ortalamasını temsil etmektedir.

$$T_m = \frac{\sum C_i / f_i^2}{\sum C_i^2} \quad (5.1)$$

$$A_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [f(t)]^2 dt} = \sqrt{\lambda_0} \quad (5.2)$$

Arias tarafından 1970 yılında önerilen Arias şiddeti (I_a), kaydın süresi yerine tüm süre entegre edildiği için, hareketin süresini bulmak için kullanılan yöntemden farklıdır (denklem 5.3).

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad (5.3)$$

Karakteristik şiddet (I_c), maksimum deformasyonlar ve absorbe edilmiş histeretik enerjiden kaynaklanan yapısal hasarın indeksi ile doğrusal bir ilişki sunmaktadır. Denklem 5.4' te verilen parametre ise birimsizdir. Kümülatif mutlak hız (CAV), basitçe mutlak akselerogramın altında kalan alan olarak ifade edilebilir (denklem 5.5).

$$I_c = a_{rms}^{1.5} T_d^{0.5} \quad (5.4)$$

$$CAV = \int_0^{T_d} |a(t)| dt \quad (5.5)$$

Birçok yapının 0.1 ile 2.5 s aralığında periyoda sahip olmasından dolayı, bu periyot aralığındaki yapıların potansiyel tepkileri için Housner şiddeti (HI) önerilmiştir (Housner 1952). Denklem 5.6' da yer alan ifade psödo-hız tepki spektrumunun altındaki alanı temsil etmektedir. Bu parametre ile genlik ve frekans içeriği hakkında önemli özellikler elde edilebilmektedir.

$$HI = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi, T) dT \quad (5.6)$$

İvme ve hız spektrum şiddeti (ASI, VSI) Von Thun ve diğ. tarafından 1988 yılında önerilmiştir. Bu parametreler, ilgili periyot aralığındaki ivme spektrumunun altında kalan alanı ifade etmektedir (denklem 5.7 ve 5.8).

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a(\xi = 0.05, T) dT \quad (5.7)$$

$$VSI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(\xi = 0.05, T) dT \quad (5.8)$$

6. ANKASTRE MESNETLİ İKİLİ MODEL ANALİZ SONUÇLARI

6.1 Genel

Bu bölümde ankastre mesnede sahip komşu binalar arasındaki çekişleme etkisinin binaların sismik performansları üzerindeki etkileri incelenecektir. Bu amaçla, aynı kat yüksekliğine sahip 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme bina modelleri, kat seviyelerinden bağlanarak 10 adet ankastre mesnetli ikili bina modelleri oluşturulmuştur. Her bir ikili model için 0 ve 5 m derz mesafeleri ve iki farklı dizilim sıralaması dikkate alınarak toplam 30 adet ikili modele ait analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

İkili modellerin zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirebilmek için 22 ivme kaydından oluşan bir deprem seti kullanılmıştır. Yapıların ZD zemin sınıfı üzerinde olduğu düşünülerek TBDY-2018 ile uyumlu ivme kayıtları kullanılmıştır. 30 adet ikili model ve 22 adet ivme kaydı kullanılarak toplam 660 adet 3B zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda komşu binaların her bir kat ve çatı deplasman talepleri ve görel kat ötelenme oranları ele alınmıştır. Grafiklerde yer alan isimlendirmelerde, kat adedi, mesnetlenme türü ve derz mesafesini yansıtan ifadeler kullanılmıştır. Örneğin; 15s-10s-Ank-0m ifadesi, aralarında 0 m derz mesafesi bulunan, ankastre mesnetli 15 ve 10 katlı ikili modeli temsil etmektedir. Altı çizili olan ifadeler ise grafiklerde dikkate alınan binayı simgelemektedir.

6.2 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması

Ankastre modellerde çekişleme etkisinin tüm katlardaki etkilerini görebilmek adına her bir kattaki maksimum deplasman değerleri elde edilmiştir. Tüm depremler

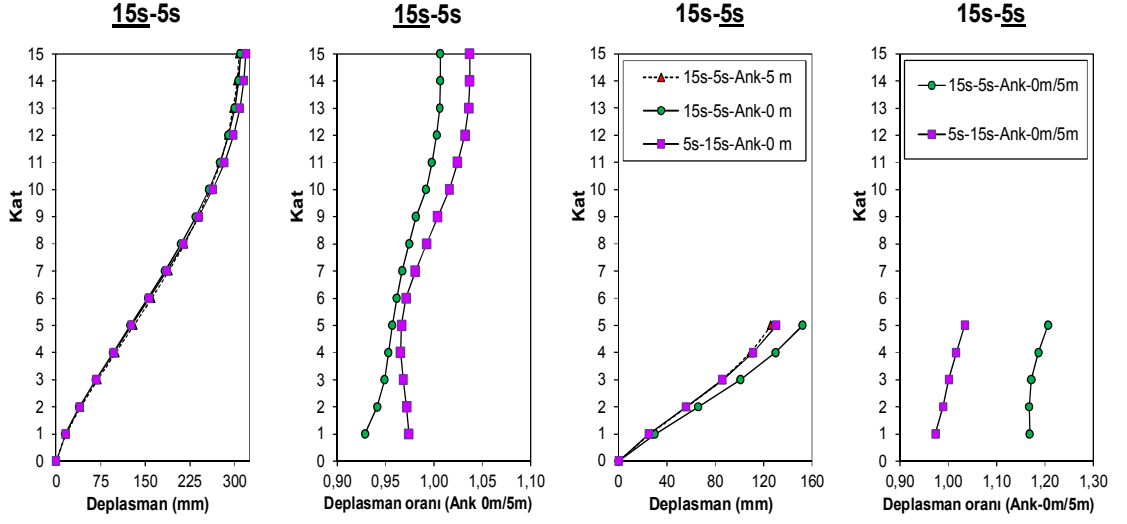
için elde edilen bu maksimum taleplerin ortalaması alınmıştır. Çarpışmanın görüldüğü (0 m boşluk mesafesine sahip ikili modeller) modellerin talepleri, çarpışmanın görülmediği (5 m boşluk mesafesine sahip ikili modeller) modellere oranlanmıştır. 10 adet çarpışmasız ikili modellerin ortalama kat deplasman talepleri, çarpışmanın görüldüğü 20 model ile kıyaslanarak Şekil 6.1-6.10' da verilmiştir.

15 katlı binanın deplasman profilleri incelendiğinde, özellikle 5 ve 8 katlı binalar ile çarpışması sonucu alt katlardaki (çarpışmanın görüleceği katlarda) deplasman talepleri azalmaktadır (Şekil 6.1-6.2). Bu durum, bina yüksekliği az olan binaların mesnet görevi üstlenmesi ile açıklanabilir. Üst katlarda sınırlı düzeyde artışın görülmesi ise kamçı etkisi (whiplash effect) ile ilişkilendirilebilir. 15 katlı binanın 10 ve 13 katlı binalar ile çarpışması durumunda deplasman profilinde önemli bir değişiklik görülmemektedir (Şekil 6.3-6.4). Ayrıca bina diziliminin değiştirilmesi, bina ağırlığı fazla olan 15 katlı model üzerinde ciddi bir etkiye sahip değildir.

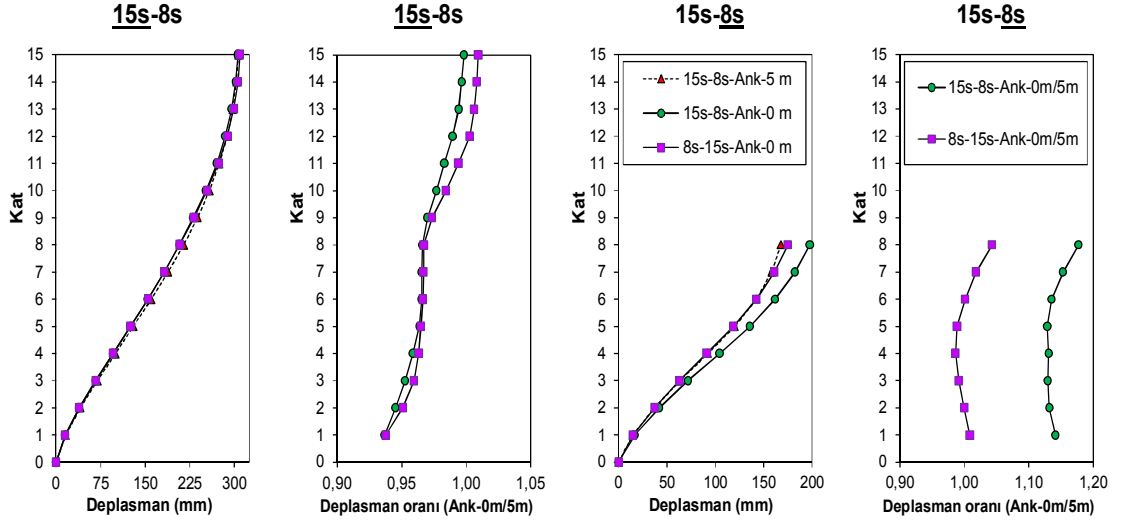
Bina yüksekliğinin ve ağırlığının en düşük olduğu 5 katlı modelin deplasman profili, 15 ve 13 katlı binalar ile yetersiz derz mesafesi nedeniyle çarpışması sonucu yaklaşık %20 civarında artmaktadır (Şekil 6.1, 6.5). 10 katlı bina ile çarpışma sonucunda %10 artış görülürken, 8 katlı bina ise %5 artışa neden olmaktadır (Şekil 6.8, 6.10). Buna karşılık, 5 katlı modelde bina dizilimine bağlı olarak çekiçleme etkileri deplasman profilinde sınırlandırmalara da neden olabilmektedir (Şekil 6.1, 6.5, 6.8 ve 6.10).

8 katlı modelin deplasman profili, 15 ve 13 katlı binalar ile çarpışmadan dolayı yaklaşık %18' lere varan artış göstermektedir (Şekil 6.2, 6.6). 10 ve 5 katlı binalar ile olan etkileşimi sonucunda %3-5 arasında bir artış görülmektedir (Şekil 6.9, 6.10).

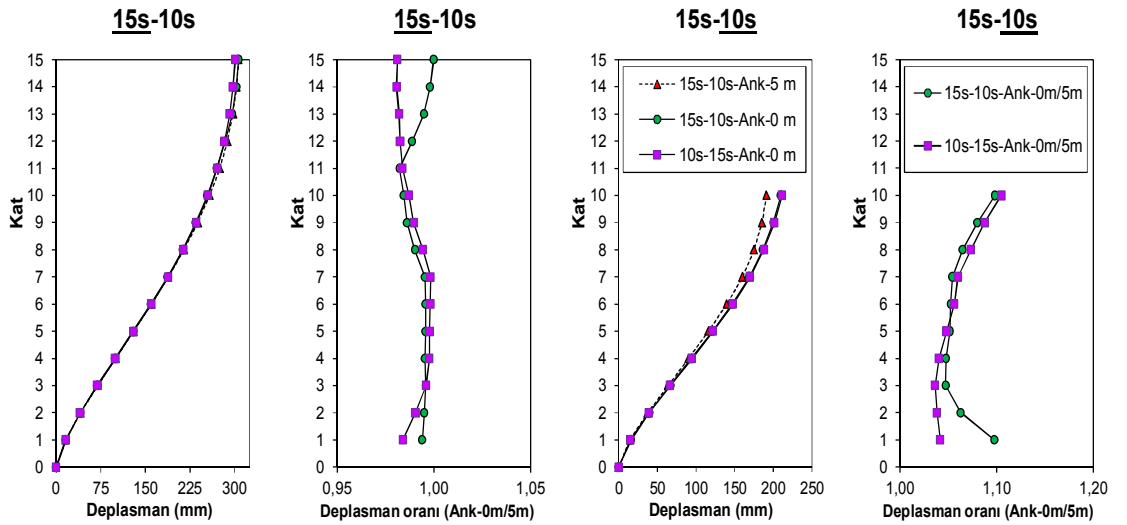
10 katlı modelin deplasman profilinde, 15 ve 13 katlı model ile çarpışma sonucu %10 civarında artış görülürken, 8 ve 5 katlı modeller %5 civarında artışa neden olmaktadır.



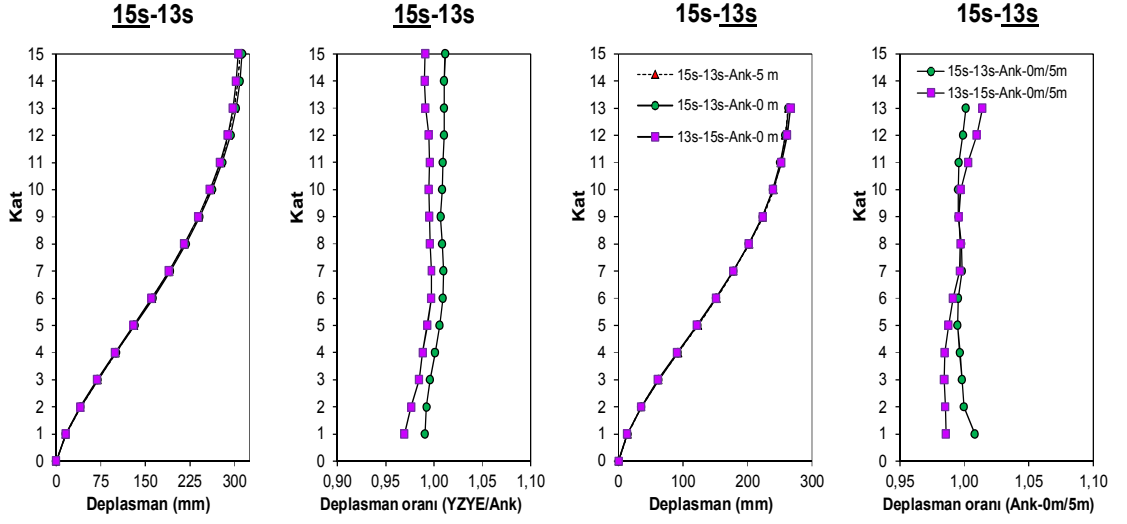
Şekil 6.1: 15 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



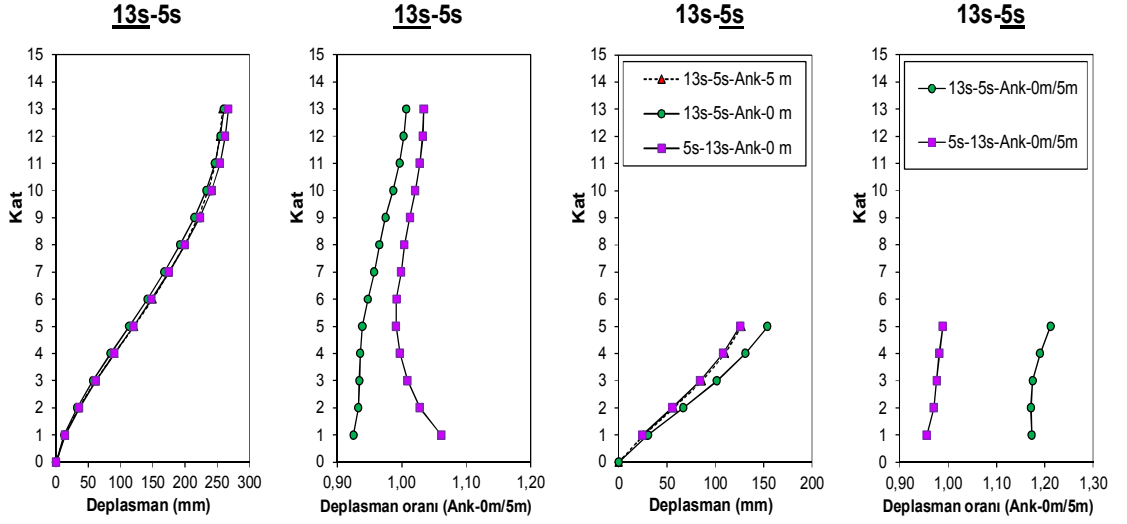
Şekil 6.2: 15 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



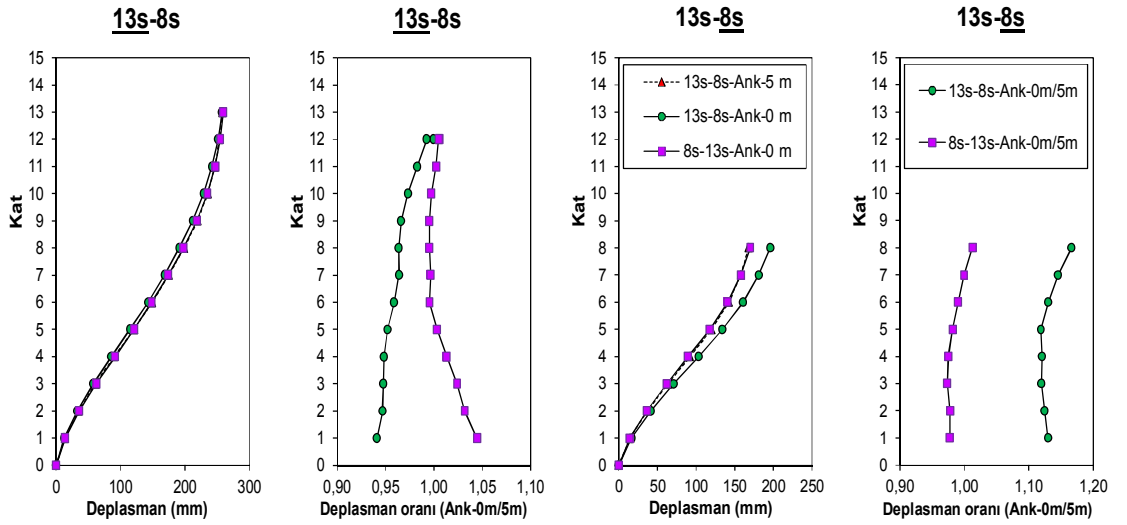
Şekil 6.3: 15 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



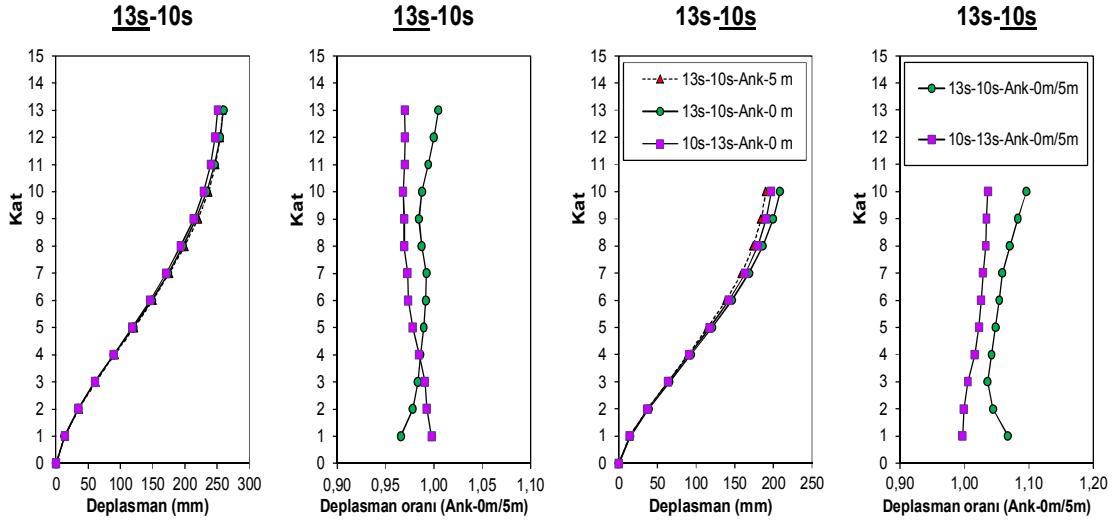
Şekil 6.4: 15 ve 13 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



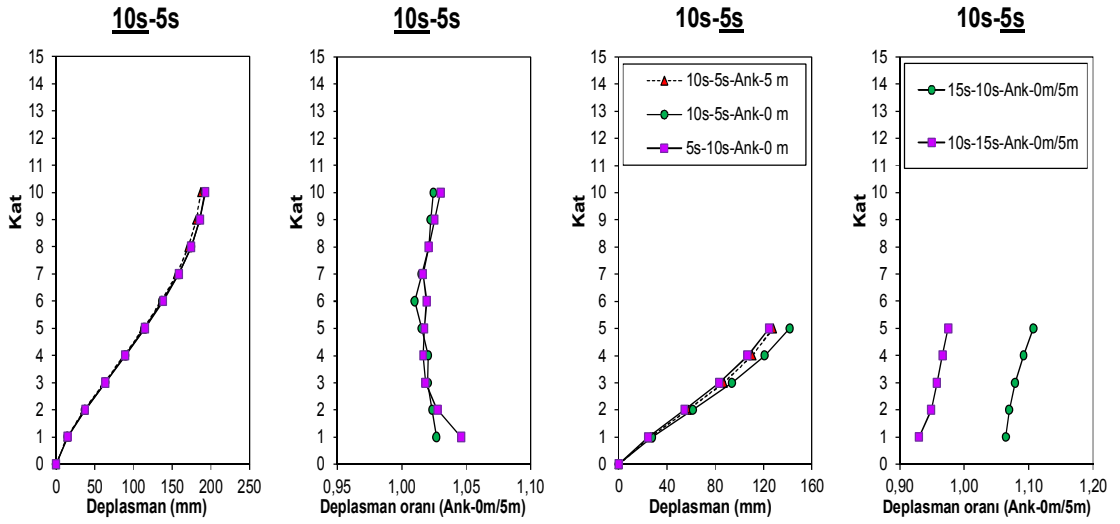
Şekil 6.5: 13 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



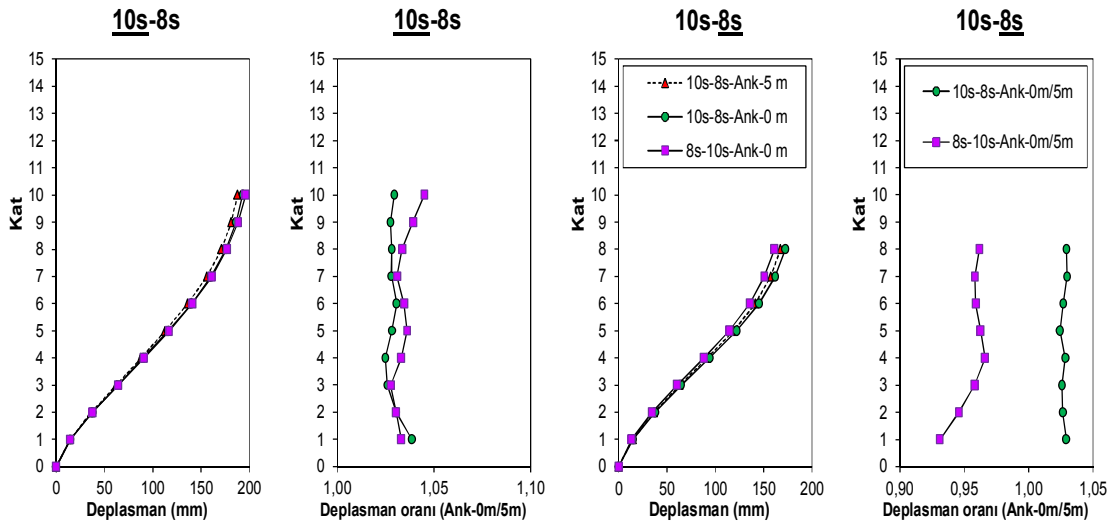
Şekil 6.6: 13 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



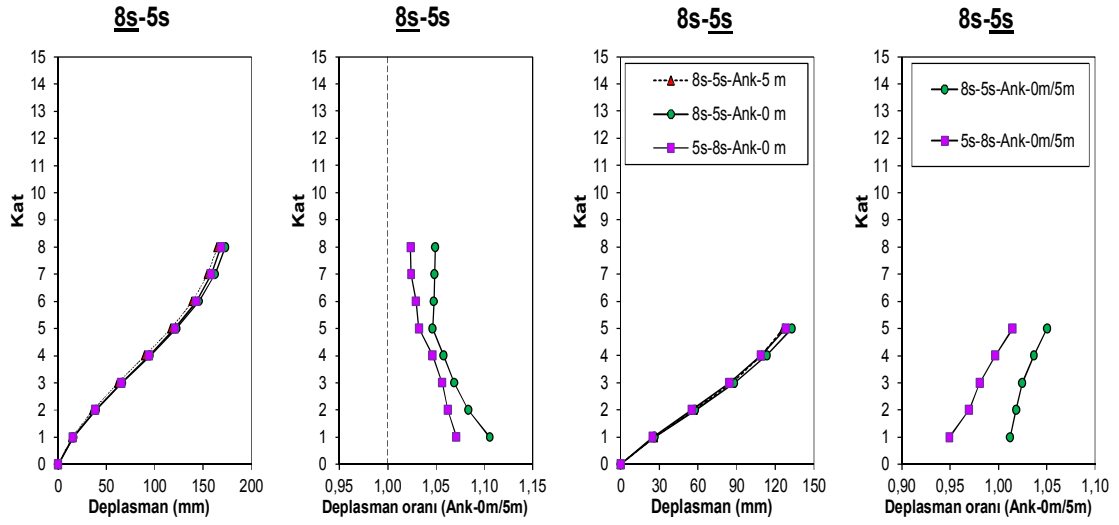
Şekil 6.7: 13 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.8: 10 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.9: 10 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



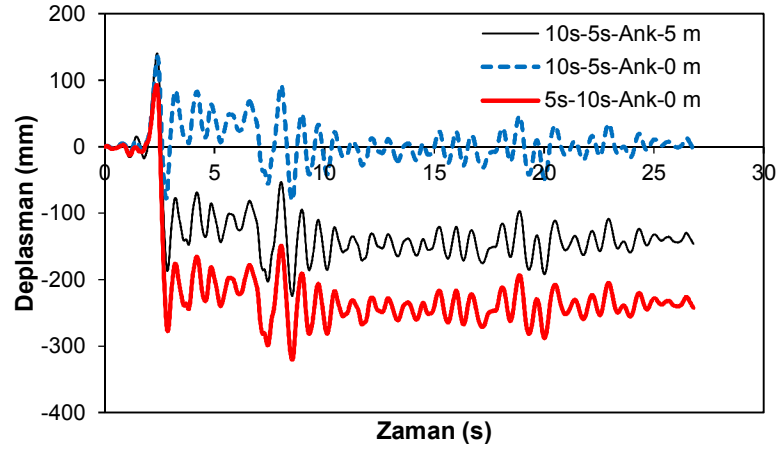
Şekil 6.10: 8 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması

6.3 Çatı Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması

Ankastre modellerde çekiçleme etkisinin çatı ötelenmeleri üzerindeki etkilerini görebilmek adına çarpışmalı ve çarpışmasız modellerin maksimum çatı deplasman değerleri elde edilmiştir. Tüm depremler için elde edilen bu maksimum talepler ve bu depremlerin ortalaması, ikili modeldeki her bina için Tablo 6.1-6.20’ de verilmiştir. Çarpışmanın görüldüğü (0 m boşluk mesafesine sahip ikili modeller) modellerin talepleri, çarpışmanın görülmediği (5 m boşluk mesafesine sahip ikili modeller) modellerin talepleri ile normalize edilmiştir.

Bina diziliminin ve çekiçlemenin yapıların talepleri üzerindeki etkilerini daha net anlayabilmek adına 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın zamana bağlı çatı deplasman grafiği Şekil 6.11’ de verilmiştir. 5s-10s-Ank-0m ikili modelin ivme kaydının yaklaşık 3. saniyesinde çarpışması sonucu 5 katlı modelin talebinin arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca kalıcı deformasyon değeri ciddi oranda değişmektedir. Bu ikili modele karşılık, 10s-5s-Ank-0m ikili modelinde ise 5 katlı modelin talebinde azalma görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere, çekiçleme etkilerinin incelendiği bu çalışmada bina dizilimi dikkate alınarak gerçekçi yapısal davranışlar ortaya konulmak istenmiştir.

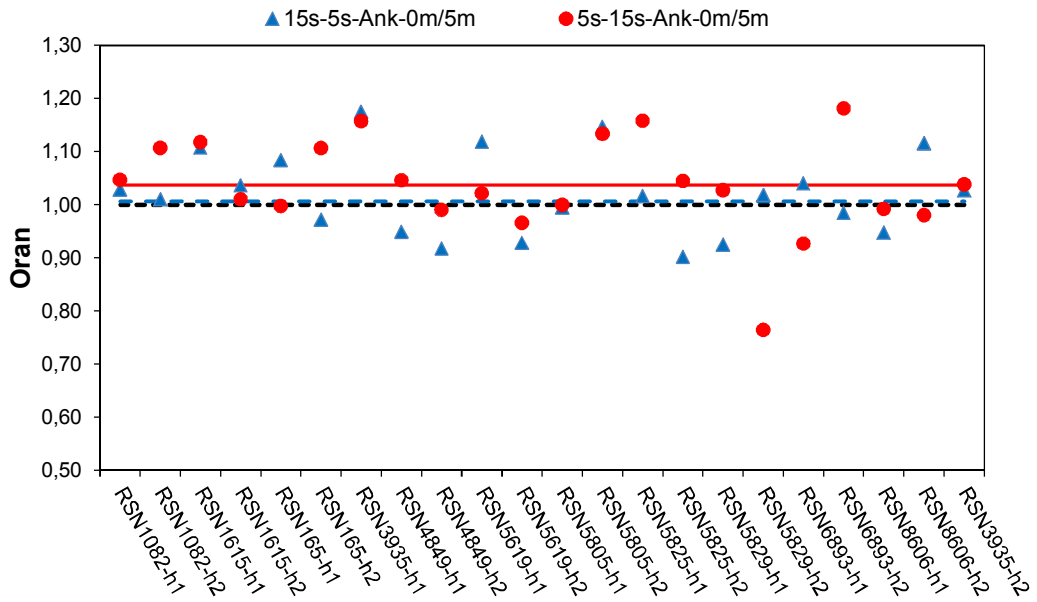
Her bir deprem kaydı için hesaplanan normalize talepler, Şekil 6.12-6.31' de verilmiştir. Ayrıca çarpışmalı durumdaki ortalama deplasman değerlerin, çarpışmasız durumdaki ortalama değere oranı Şekil 6.12-6.31' de çizdirilmiştir.



Şekil 6.11: 10-5 ikili modeldeki 5 katlı binanın RSN1082-H2 için çatı deplasman grafiği

Tablo 6.1: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

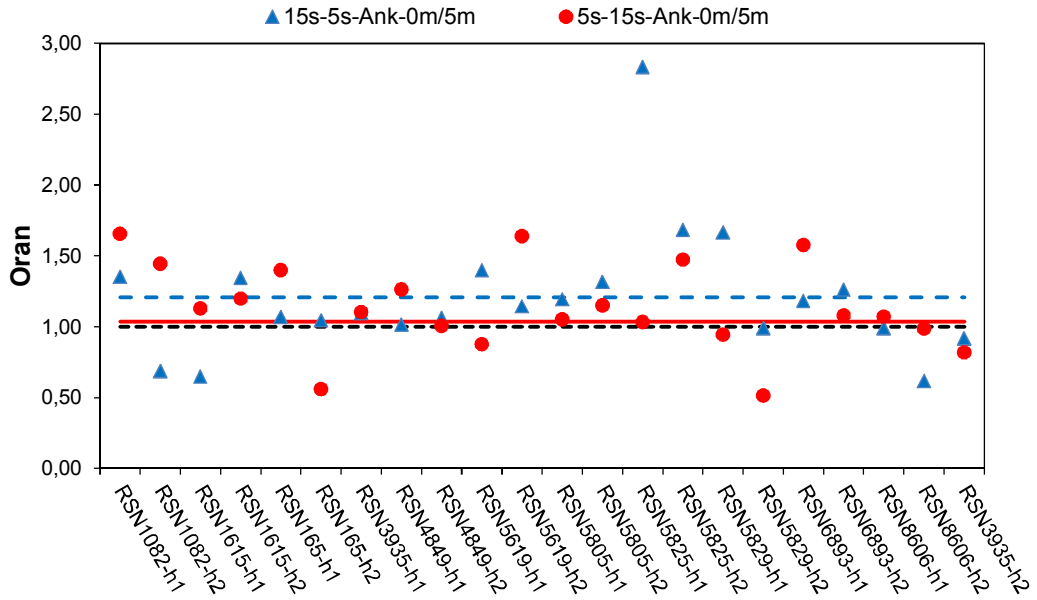
İvme Kaydı	15s-5s	15s-5s	5s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	263,35	270,87	275,65	1,03	1,05
RSN1082-h2	258,30	260,85	285,92	1,01	1,11
RSN1615-h1	78,75	87,19	88,01	1,11	1,12
RSN1615-h2	147,40	152,73	148,89	1,04	1,01
RSN165-h1	252,71	273,87	252,05	1,08	1,00
RSN165-h2	267,49	259,94	295,96	0,97	1,11
RSN3935-h1	66,26	77,83	76,68	1,17	1,16
RSN4849-h1	148,53	141,00	155,39	0,95	1,05
RSN4849-h2	192,89	177,05	191,03	0,92	0,99
RSN5619-h1	370,77	414,72	378,79	1,12	1,02
RSN5619-h2	262,07	243,30	253,12	0,93	0,97
RSN5805-h1	252,58	251,31	252,50	0,99	1,00
RSN5805-h2	162,61	186,40	184,34	1,15	1,13
RSN5825-h1	1116,17	1134,56	1292,77	1,02	1,16
RSN5825-h2	613,58	553,35	641,02	0,90	1,04
RSN5829-h1	497,13	459,85	510,64	0,92	1,03
RSN5829-h2	322,03	327,86	246,09	1,02	0,76
RSN6893-h1	431,67	448,99	400,13	1,04	0,93
RSN6893-h2	201,21	198,16	237,70	0,98	1,18
RSN8606-h1	402,20	381,02	398,96	0,95	0,99
RSN8606-h2	425,70	474,91	417,42	1,12	0,98
RSN3935-h2	37,95	38,97	39,41	1,03	1,04
Ortalama	307,79	309,76	319,20		
Minimum	37,95	38,97	39,41		
Maksimum	1116,17	1134,56	1292,77		



Şekil 6.12: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.2: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

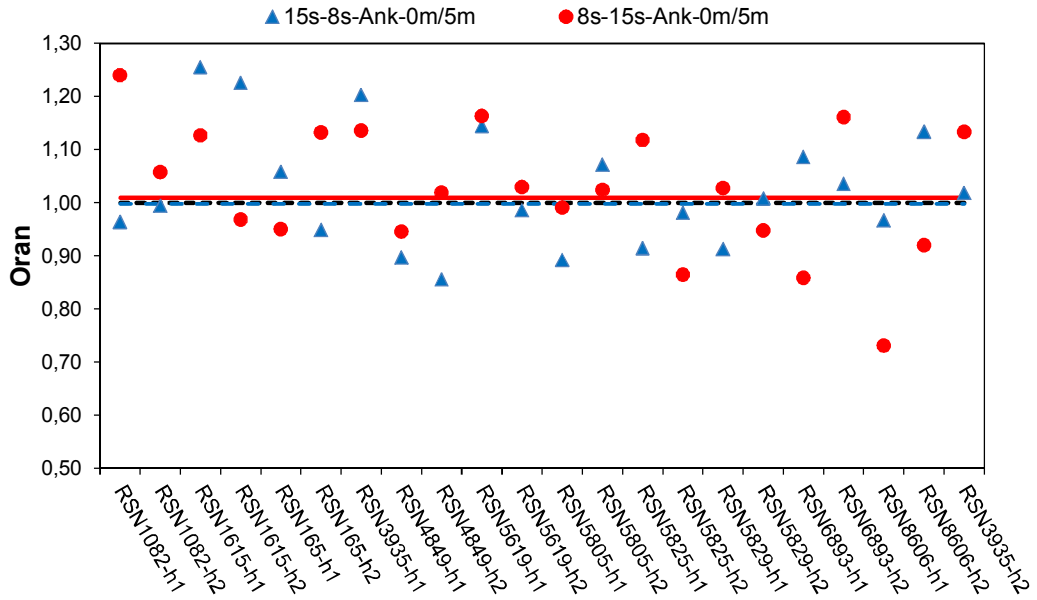
İvme Kaydı	15s-5s	15s-5s	5s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	83,42	112,68	138,05	1,35	1,65
RSN1082-h2	217,78	149,44	314,48	0,69	1,44
RSN1615-h1	36,61	23,75	41,32	0,65	1,13
RSN1615-h2	72,82	97,95	87,29	1,35	1,20
RSN165-h1	101,65	108,69	142,26	1,07	1,40
RSN165-h2	260,55	272,07	145,87	1,04	0,56
RSN3935-h1	18,11	19,81	19,98	1,09	1,10
RSN4849-h1	74,97	75,98	94,62	1,01	1,26
RSN4849-h2	119,31	126,60	120,00	1,06	1,01
RSN5619-h1	81,04	113,33	71,00	1,40	0,88
RSN5619-h2	54,32	62,14	89,02	1,14	1,64
RSN5805-h1	57,11	68,17	60,06	1,19	1,05
RSN5805-h2	46,27	60,88	53,23	1,32	1,15
RSN5825-h1	159,46	451,79	164,64	2,83	1,03
RSN5825-h2	145,34	244,75	214,09	1,68	1,47
RSN5829-h1	229,99	382,77	217,27	1,66	0,94
RSN5829-h2	419,01	414,18	215,83	0,99	0,52
RSN6893-h1	126,85	150,05	200,01	1,18	1,58
RSN6893-h2	118,46	149,29	127,75	1,26	1,08
RSN8606-h1	115,30	114,04	123,54	0,99	1,07
RSN8606-h2	222,30	137,00	219,07	0,62	0,99
RSN3935-h2	16,77	15,36	13,74	0,92	0,82
Ortalama	126,25	152,31	130,60		
Minimum	16,77	15,36	13,74		
Maksimum	419,01	451,79	314,48		



Şekil 6.13: 15 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.3: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

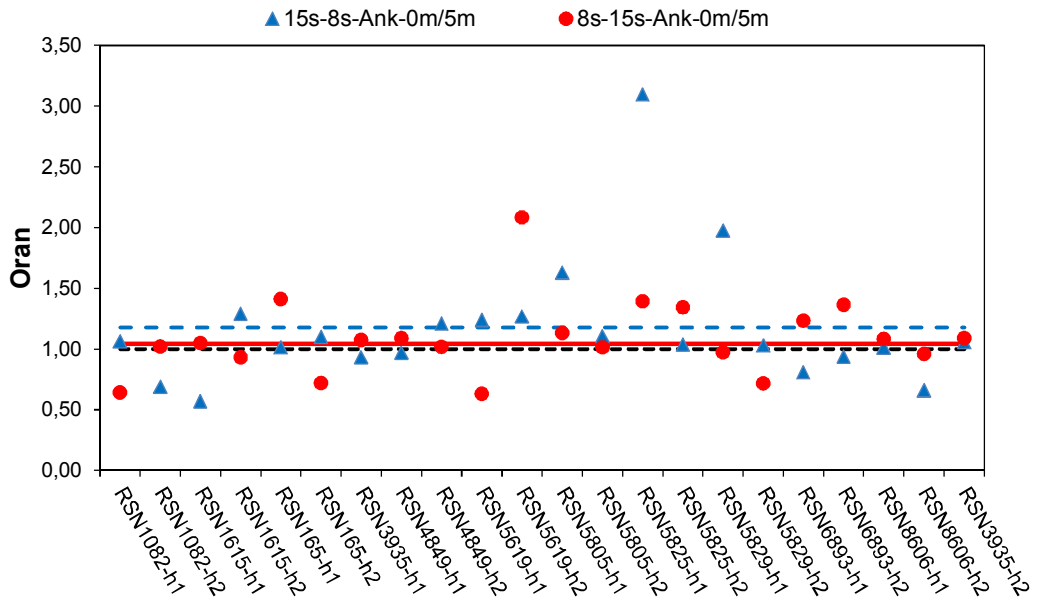
İvme Kaydı	15s-8s	15s-8s	8s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	261,51	252,06	324,29	0,96	1,24
RSN1082-h2	257,64	256,13	272,55	0,99	1,06
RSN1615-h1	78,30	98,26	88,24	1,25	1,13
RSN1615-h2	147,51	180,73	142,88	1,23	0,97
RSN165-h1	252,82	267,51	240,24	1,06	0,95
RSN165-h2	267,44	253,74	302,84	0,95	1,13
RSN3935-h1	66,02	79,39	74,97	1,20	1,14
RSN4849-h1	148,26	132,93	140,22	0,90	0,95
RSN4849-h2	191,81	164,09	195,42	0,86	1,02
RSN5619-h1	370,67	424,12	431,13	1,14	1,16
RSN5619-h2	260,48	256,80	268,09	0,99	1,03
RSN5805-h1	251,67	224,63	249,37	0,89	0,99
RSN5805-h2	160,84	172,29	164,70	1,07	1,02
RSN5825-h1	1113,27	1017,79	1244,97	0,91	1,12
RSN5825-h2	608,31	596,69	525,85	0,98	0,86
RSN5829-h1	495,93	452,60	509,57	0,91	1,03
RSN5829-h2	319,71	322,25	302,96	1,01	0,95
RSN6893-h1	426,87	463,61	366,51	1,09	0,86
RSN6893-h2	201,91	209,08	234,43	1,04	1,16
RSN8606-h1	398,92	385,71	291,61	0,97	0,73
RSN8606-h2	425,90	482,87	391,83	1,13	0,92
RSN3935-h2	37,67	38,35	42,69	1,02	1,13
Ortalama	306,52	305,98	309,33		
Minimum	37,67	38,35	42,69		
Maksimum	1113,27	1017,79	1244,97		



Şekil 6.14: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.4: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

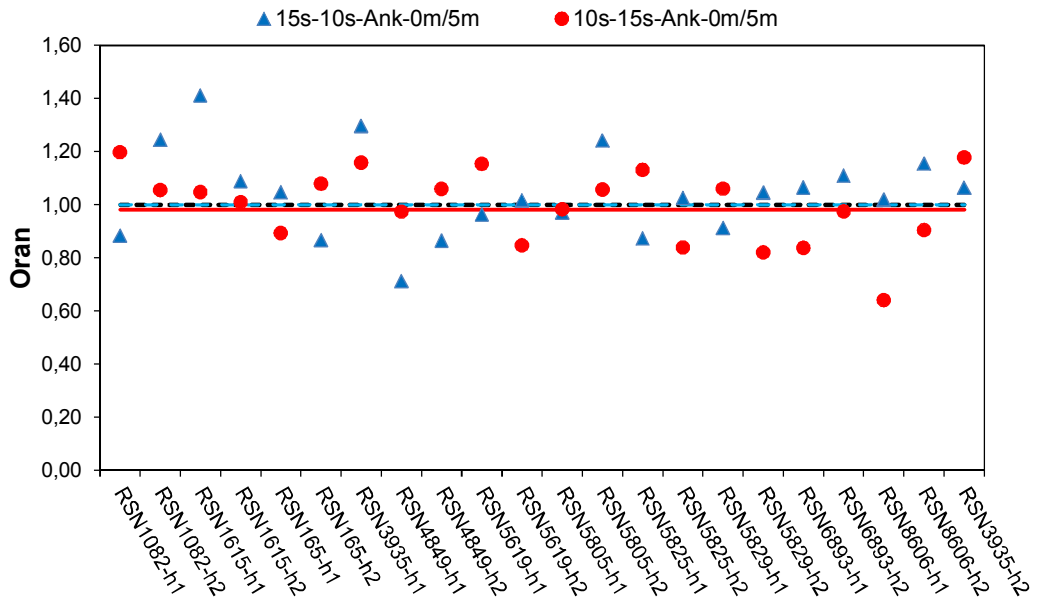
İvme Kaydı	15s-8s	15s-8s	8s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	163,62	173,88	104,98	1,06	0,64
RSN1082-h2	296,44	204,25	302,15	0,69	1,02
RSN1615-h1	61,22	34,79	64,21	0,57	1,05
RSN1615-h2	111,30	143,53	103,61	1,29	0,93
RSN165-h1	120,46	122,06	169,95	1,01	1,41
RSN165-h2	181,11	198,81	130,15	1,10	0,72
RSN3935-h1	33,37	31,03	35,82	0,93	1,07
RSN4849-h1	89,23	86,32	97,08	0,97	1,09
RSN4849-h2	119,56	144,40	121,55	1,21	1,02
RSN5619-h1	233,09	288,72	146,80	1,24	0,63
RSN5619-h2	87,15	110,47	181,50	1,27	2,08
RSN5805-h1	92,65	150,87	104,89	1,63	1,13
RSN5805-h2	115,29	127,39	116,75	1,10	1,01
RSN5825-h1	222,28	687,94	309,38	3,09	1,39
RSN5825-h2	250,48	259,33	336,74	1,04	1,34
RSN5829-h1	244,35	482,23	237,41	1,97	0,97
RSN5829-h2	332,44	342,03	238,50	1,03	0,72
RSN6893-h1	215,84	174,17	266,02	0,81	1,23
RSN6893-h2	171,72	160,82	234,20	0,94	1,36
RSN8606-h1	159,24	160,92	172,45	1,01	1,08
RSN8606-h2	377,82	248,91	361,95	0,66	0,96
RSN3935-h2	17,83	18,83	19,42	1,06	1,09
Ortalama	168,02	197,80	175,25		
Minimum	17,83	18,83	19,42		
Maksimum	377,82	687,94	361,95		



Şekil 6.15: 15 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.5: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

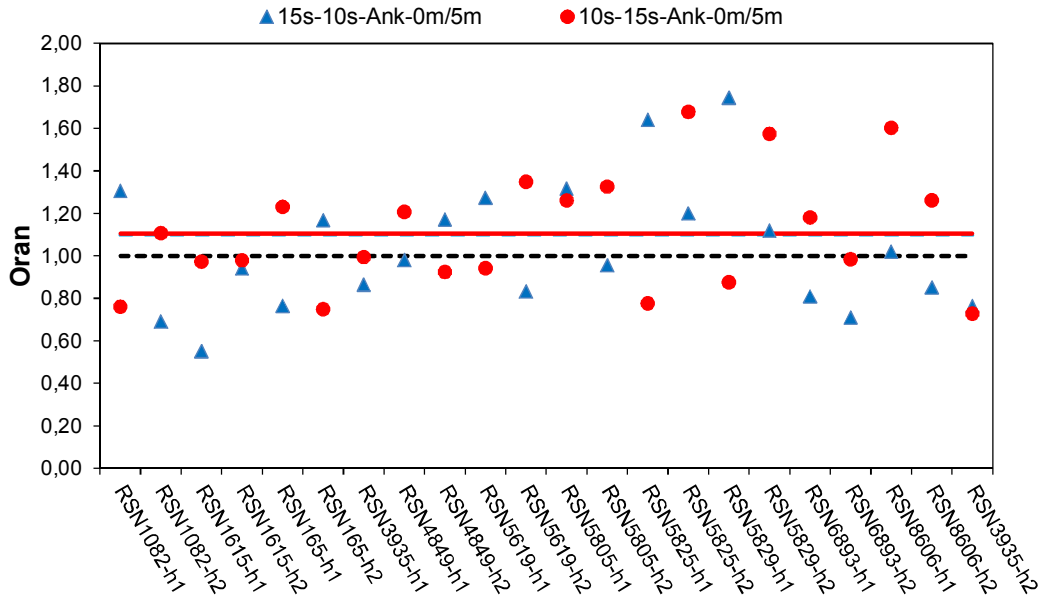
İvme Kaydı	15s-10s	15s-10s	10s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	262,47	231,83	314,36	0,88	1,20
RSN1082-h2	257,86	320,65	272,02	1,24	1,05
RSN1615-h1	78,50	110,81	82,19	1,41	1,05
RSN1615-h2	147,26	160,31	148,63	1,09	1,01
RSN165-h1	252,54	264,29	225,46	1,05	0,89
RSN165-h2	267,39	231,71	288,64	0,87	1,08
RSN3935-h1	66,10	85,65	76,56	1,30	1,16
RSN4849-h1	148,15	105,54	144,30	0,71	0,97
RSN4849-h2	192,27	166,23	203,76	0,86	1,06
RSN5619-h1	370,59	357,01	427,63	0,96	1,15
RSN5619-h2	261,15	265,56	221,06	1,02	0,85
RSN5805-h1	251,85	244,26	247,50	0,97	0,98
RSN5805-h2	161,63	200,68	170,85	1,24	1,06
RSN5825-h1	1112,96	971,75	1258,44	0,87	1,13
RSN5825-h2	610,06	626,16	511,89	1,03	0,84
RSN5829-h1	495,85	452,49	525,81	0,91	1,06
RSN5829-h2	320,48	335,18	262,70	1,05	0,82
RSN6893-h1	429,33	457,15	359,38	1,06	0,84
RSN6893-h2	201,12	223,10	196,06	1,11	0,97
RSN8606-h1	400,18	407,84	256,36	1,02	0,64
RSN8606-h2	425,02	490,76	384,40	1,15	0,90
RSN3935-h2	37,74	40,16	44,45	1,06	1,18
Ortalama	306,84	306,78	301,02		
Minimum	37,74	40,16	44,45		
Maksimum	1112,96	971,75	1258,44		



Şekil 6.16: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.6: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

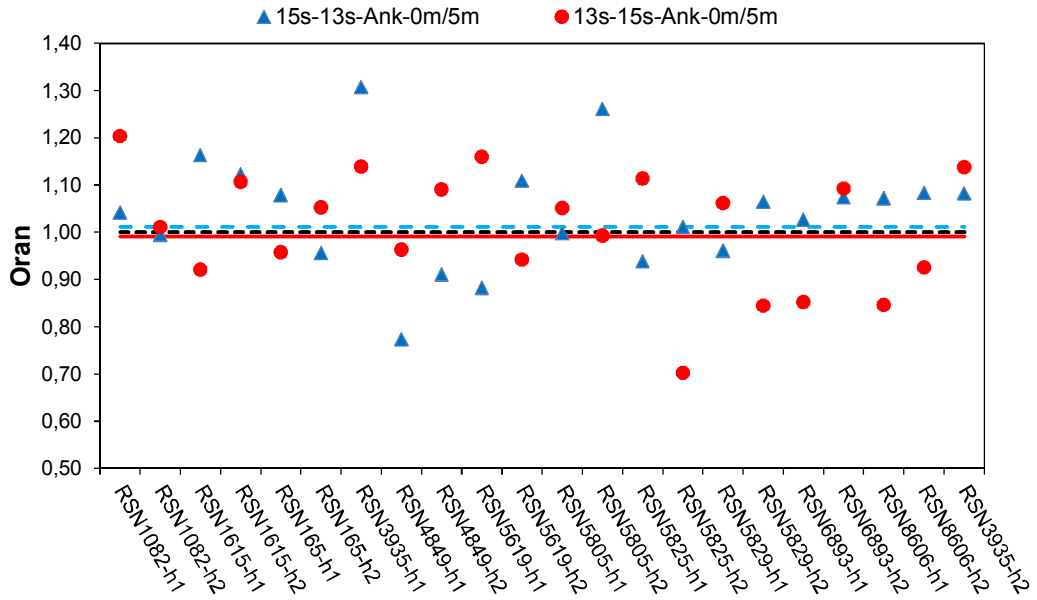
İvme Kaydı	15s-10s	15s-10s	10s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	181,56	237,00	138,06	1,31	0,76
RSN1082-h2	316,54	218,57	350,23	0,69	1,11
RSN1615-h1	88,55	48,82	86,11	0,55	0,97
RSN1615-h2	133,60	125,61	130,79	0,94	0,98
RSN165-h1	188,63	144,19	232,05	0,76	1,23
RSN165-h2	188,03	219,54	140,77	1,17	0,75
RSN3935-h1	45,83	39,62	45,56	0,86	0,99
RSN4849-h1	95,78	93,85	115,54	0,98	1,21
RSN4849-h2	125,75	147,31	116,19	1,17	0,92
RSN5619-h1	259,27	330,05	244,03	1,27	0,94
RSN5619-h2	145,60	121,19	196,30	0,83	1,35
RSN5805-h1	114,69	150,87	144,48	1,32	1,26
RSN5805-h2	136,18	130,09	180,53	0,96	1,33
RSN5825-h1	501,72	822,61	389,24	1,64	0,78
RSN5825-h2	256,24	307,26	429,80	1,20	1,68
RSN5829-h1	265,50	462,85	232,36	1,74	0,88
RSN5829-h2	189,76	212,31	298,43	1,12	1,57
RSN6893-h1	260,42	210,87	307,48	0,81	1,18
RSN6893-h2	220,04	156,09	216,38	0,71	0,98
RSN8606-h1	144,28	147,15	231,22	1,02	1,60
RSN8606-h2	314,97	268,15	397,04	0,85	1,26
RSN3935-h2	33,41	25,50	24,32	0,76	0,73
Ortalama	191,20	209,98	211,22		
Minimum	33,41	25,50	24,32		
Maksimum	501,72	822,61	429,80		



Şekil 6.17: 15 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.7: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

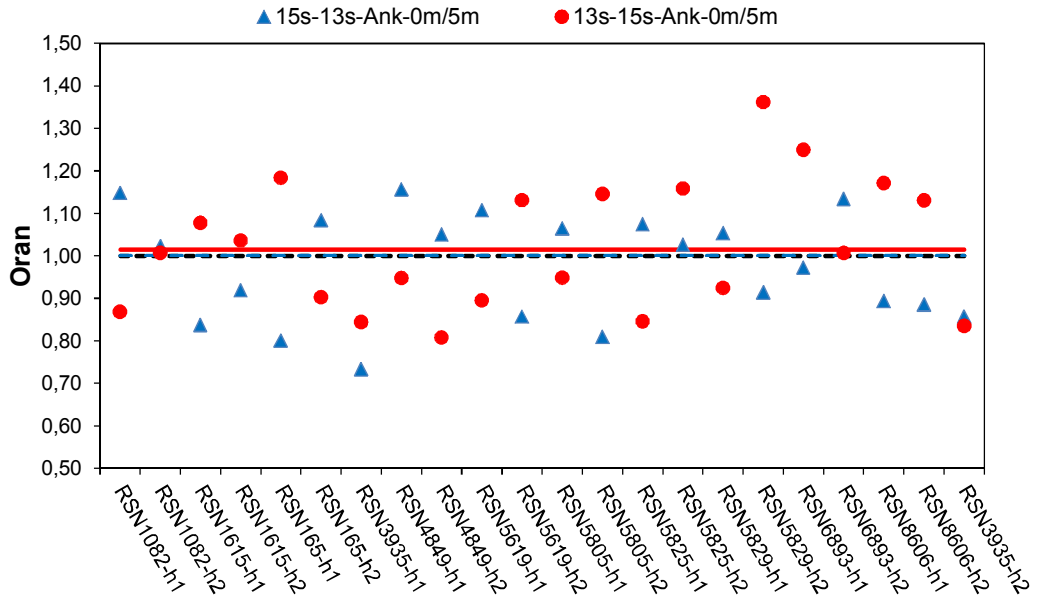
İvme Kaydı	<u>15s-13s</u>	<u>15s-13s</u>	<u>13s-15s</u>	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank-0m	Ank-0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	262,37	273,33	315,82	1,04	1,20
RSN1082-h2	258,70	257,36	261,54	0,99	1,01
RSN1615-h1	78,70	91,53	72,48	1,16	0,92
RSN1615-h2	148,62	166,88	164,48	1,12	1,11
RSN165-h1	254,12	274,14	243,31	1,08	0,96
RSN165-h2	267,83	256,06	281,96	0,96	1,05
RSN3935-h1	66,44	86,85	75,66	1,31	1,14
RSN4849-h1	149,87	115,87	144,36	0,77	0,96
RSN4849-h2	192,91	175,68	210,39	0,91	1,09
RSN5619-h1	371,50	327,72	430,77	0,88	1,16
RSN5619-h2	262,16	290,88	246,96	1,11	0,94
RSN5805-h1	253,84	253,36	266,84	1,00	1,05
RSN5805-h2	162,38	204,70	161,20	1,26	0,99
RSN5825-h1	1125,23	1055,91	1253,32	0,94	1,11
RSN5825-h2	616,62	623,43	432,82	1,01	0,70
RSN5829-h1	500,55	480,90	531,34	0,96	1,06
RSN5829-h2	323,45	344,27	273,10	1,06	0,84
RSN6893-h1	429,47	440,98	366,00	1,03	0,85
RSN6893-h2	204,09	219,24	222,97	1,07	1,09
RSN8606-h1	403,01	431,95	340,86	1,07	0,85
RSN8606-h2	430,34	466,10	398,34	1,08	0,93
RSN3935-h2	38,23	41,37	43,49	1,08	1,14
Ortalama	309,11	312,66	306,27		
Minimum	38,23	41,37	43,49		
Maksimum	1125,23	1055,91	1253,32		



Şekil 6.18: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 15 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.8: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

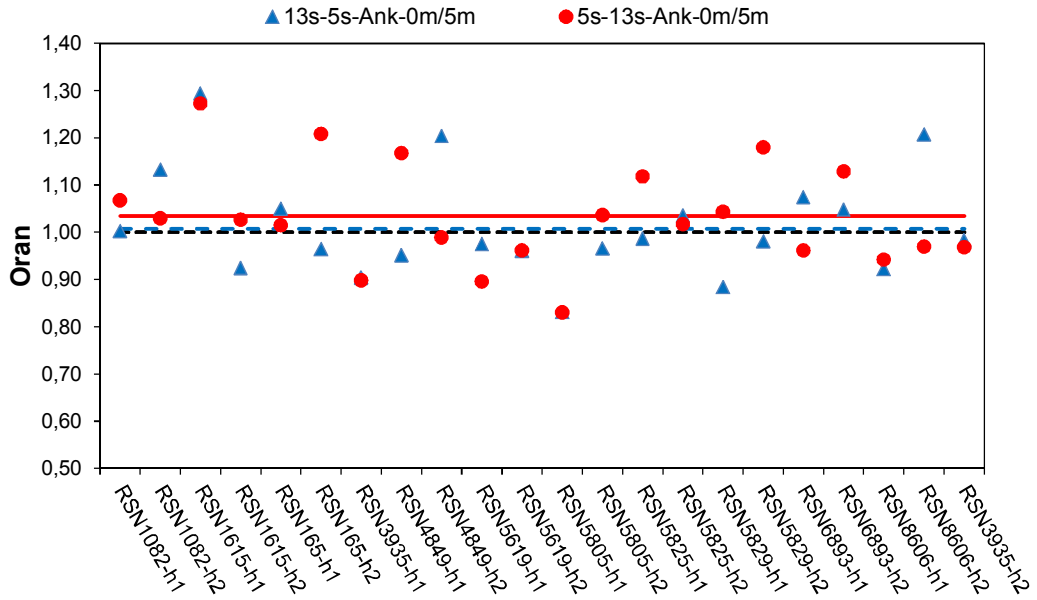
İvme Kaydı	15s-13s	15s-13s	13s-15s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank-0m	Ank-0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	280,61	322,03	243,64	1,15	0,87
RSN1082-h2	241,43	246,95	243,11	1,02	1,01
RSN1615-h1	77,56	64,92	83,56	0,84	1,08
RSN1615-h2	174,85	160,65	181,19	0,92	1,04
RSN165-h1	221,00	176,96	261,55	0,80	1,18
RSN165-h2	228,06	247,14	205,91	1,08	0,90
RSN3935-h1	83,68	61,34	70,62	0,73	0,84
RSN4849-h1	101,43	117,30	96,13	1,16	0,95
RSN4849-h2	162,94	171,12	131,58	1,05	0,81
RSN5619-h1	374,80	414,94	335,52	1,11	0,90
RSN5619-h2	215,17	184,41	243,37	0,86	1,13
RSN5805-h1	206,53	219,91	195,95	1,06	0,95
RSN5805-h2	173,13	140,13	198,34	0,81	1,15
RSN5825-h1	963,30	1034,61	814,62	1,07	0,85
RSN5825-h2	367,73	377,19	425,99	1,03	1,16
RSN5829-h1	453,74	478,03	419,44	1,05	0,92
RSN5829-h2	234,29	214,11	318,98	0,91	1,36
RSN6893-h1	313,11	304,46	391,29	0,97	1,25
RSN6893-h2	192,30	217,98	193,55	1,13	1,01
RSN8606-h1	287,41	256,84	336,68	0,89	1,17
RSN8606-h2	394,63	349,36	446,13	0,89	1,13
RSN3935-h2	42,80	36,69	35,74	0,86	0,84
Ortalama	263,20	263,50	266,95		
Minimum	42,80	36,69	35,74		
Maksimum	963,30	1034,61	814,62		



Şekil 6.19: 15 ve 13 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.9: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

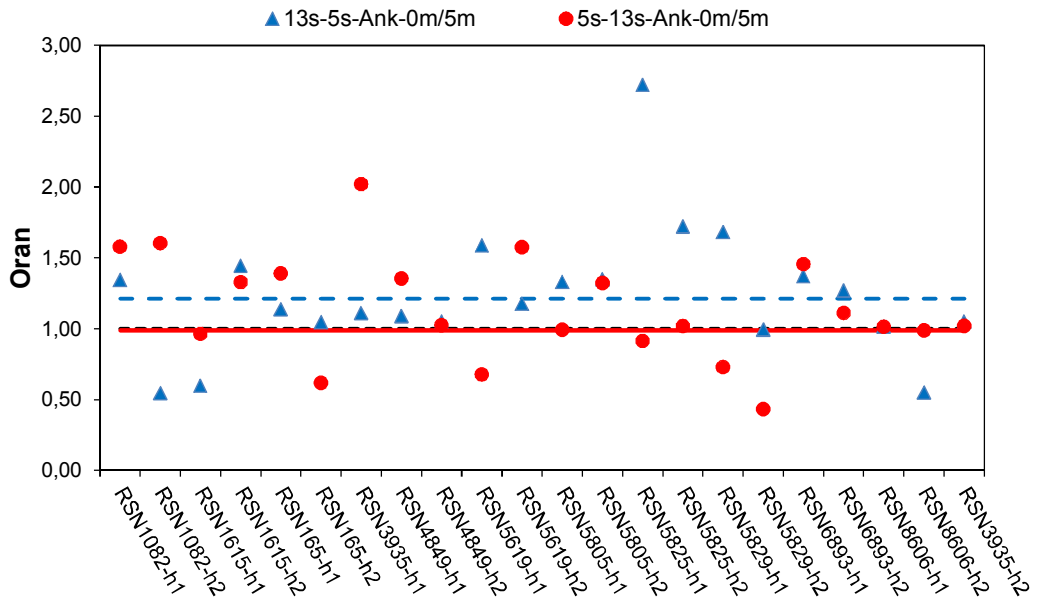
İvme Kaydı	13s-5s	13s-5s	5s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	277,37	278,07	296,08	1,00	1,07
RSN1082-h2	239,21	270,88	246,24	1,13	1,03
RSN1615-h1	75,88	98,17	96,58	1,29	1,27
RSN1615-h2	174,01	160,80	178,58	0,92	1,03
RSN165-h1	219,73	230,63	223,06	1,05	1,02
RSN165-h2	227,22	219,05	274,48	0,96	1,21
RSN3935-h1	80,41	72,66	72,20	0,90	0,90
RSN4849-h1	100,34	95,42	117,16	0,95	1,17
RSN4849-h2	158,00	190,13	156,23	1,20	0,99
RSN5619-h1	367,05	357,86	328,73	0,97	0,90
RSN5619-h2	212,46	204,11	204,28	0,96	0,96
RSN5805-h1	201,33	167,34	167,15	0,83	0,83
RSN5805-h2	171,82	165,94	178,02	0,97	1,04
RSN5825-h1	939,24	926,53	1050,42	0,99	1,12
RSN5825-h2	362,00	374,84	368,04	1,04	1,02
RSN5829-h1	448,03	395,88	467,45	0,88	1,04
RSN5829-h2	229,32	224,84	270,47	0,98	1,18
RSN6893-h1	302,94	325,39	291,19	1,07	0,96
RSN6893-h2	188,72	197,77	213,02	1,05	1,13
RSN8606-h1	280,70	258,77	264,44	0,92	0,94
RSN8606-h2	390,32	471,11	378,36	1,21	0,97
RSN3935-h2	41,15	40,44	39,85	0,98	0,97
Ortalama	258,51	260,30	267,36		
Minimum	41,15	40,44	39,85		
Maksimum	939,24	926,53	1050,42		



Şekil 6.20: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.10: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

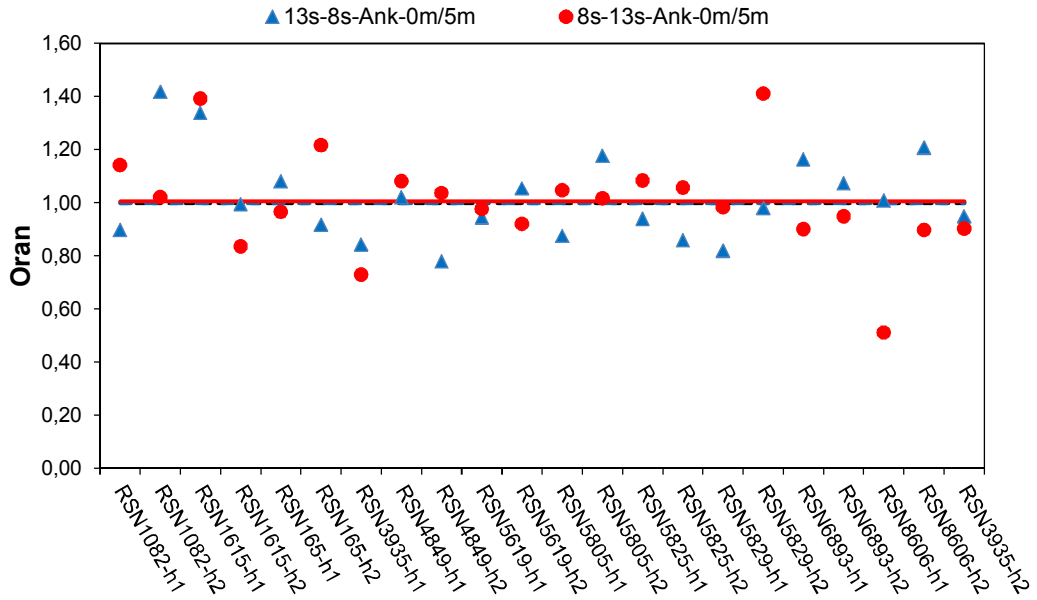
İvme Kaydı	13s-5s	13s-5s	5s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank-0m	Ank-0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	85,08	114,20	134,25	1,34	1,58
RSN1082-h2	220,28	120,17	353,16	0,55	1,60
RSN1615-h1	36,91	22,00	35,54	0,60	0,96
RSN1615-h2	73,12	105,58	97,10	1,44	1,33
RSN165-h1	103,58	117,86	143,95	1,14	1,39
RSN165-h2	263,49	275,48	162,82	1,05	0,62
RSN3935-h1	18,10	20,10	36,57	1,11	2,02
RSN4849-h1	75,34	82,00	101,98	1,09	1,35
RSN4849-h2	119,28	125,19	122,19	1,05	1,02
RSN5619-h1	81,39	129,16	55,13	1,59	0,68
RSN5619-h2	54,69	64,32	86,09	1,18	1,57
RSN5805-h1	57,06	75,88	56,63	1,33	0,99
RSN5805-h2	46,30	62,39	61,24	1,35	1,32
RSN5825-h1	158,23	430,46	144,57	2,72	0,91
RSN5825-h2	147,10	253,25	149,78	1,72	1,02
RSN5829-h1	230,95	388,16	168,21	1,68	0,73
RSN5829-h2	422,05	419,76	182,53	0,99	0,43
RSN6893-h1	126,56	173,39	184,31	1,37	1,46
RSN6893-h2	118,67	150,60	131,82	1,27	1,11
RSN8606-h1	116,63	118,46	118,13	1,02	1,01
RSN8606-h2	225,77	124,16	223,04	0,55	0,99
RSN3935-h2	16,85	17,70	17,18	1,05	1,02
Ortalama	127,16	154,10	125,74		
Minimum	16,85	17,70	17,18		
Maksimum	422,05	430,46	353,16		



Şekil 6.21: 13 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.11: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

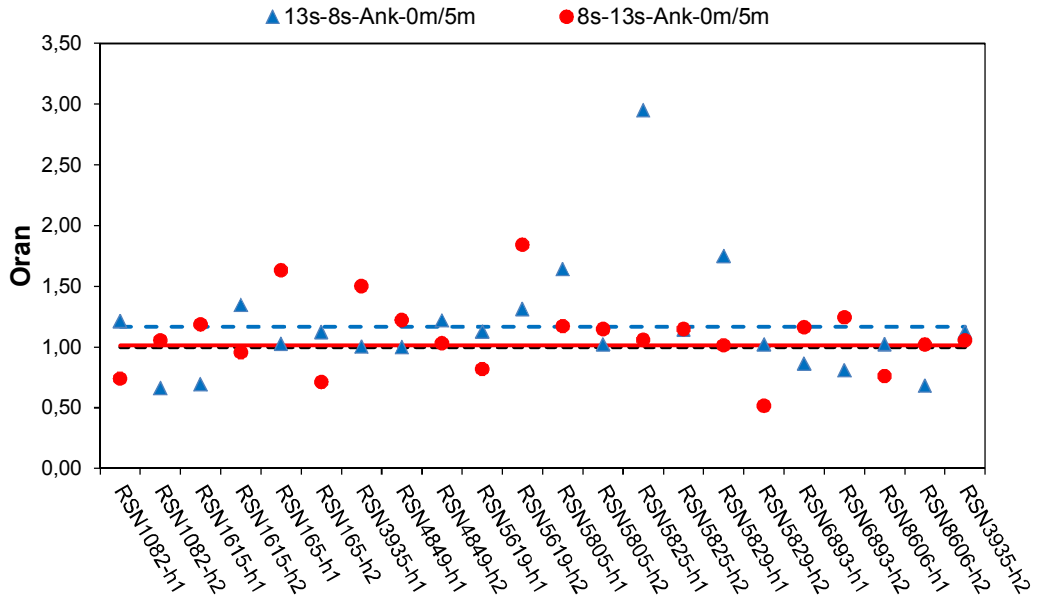
İvme Kaydı	13s-8s	13s-8s	8s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	277,00	248,44	316,37	0,90	1,14
RSN1082-h2	239,08	338,76	244,08	1,42	1,02
RSN1615-h1	75,65	101,17	105,27	1,34	1,39
RSN1615-h2	174,41	173,47	145,74	0,99	0,84
RSN165-h1	219,62	237,14	212,07	1,08	0,97
RSN165-h2	228,33	209,41	277,69	0,92	1,22
RSN3935-h1	79,85	67,28	58,24	0,84	0,73
RSN4849-h1	99,98	102,01	108,06	1,02	1,08
RSN4849-h2	157,13	122,45	162,79	0,78	1,04
RSN5619-h1	364,98	344,74	356,22	0,94	0,98
RSN5619-h2	211,89	223,32	195,07	1,05	0,92
RSN5805-h1	200,33	175,38	209,72	0,88	1,05
RSN5805-h2	171,82	202,07	174,66	1,18	1,02
RSN5825-h1	935,57	879,18	1013,91	0,94	1,08
RSN5825-h2	361,17	310,29	381,84	0,86	1,06
RSN5829-h1	448,52	367,45	440,91	0,82	0,98
RSN5829-h2	228,24	223,58	321,94	0,98	1,41
RSN6893-h1	299,36	348,37	269,72	1,16	0,90
RSN6893-h2	187,62	201,40	178,03	1,07	0,95
RSN8606-h1	279,22	281,58	142,71	1,01	0,51
RSN8606-h2	390,66	471,47	350,53	1,21	0,90
RSN3935-h2	40,83	38,75	36,83	0,95	0,90
Ortalama	257,78	257,62	259,20		
Minimum	40,83	38,75	36,83		
Maksimum	935,57	879,18	1013,91		



Şekil 6.22: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.12: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

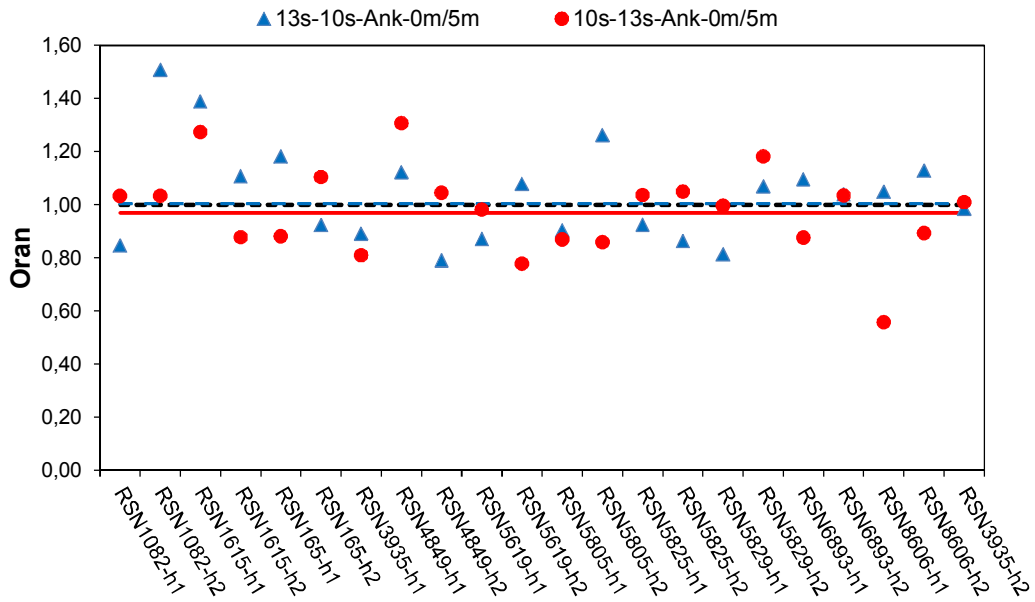
İvme Kaydı	13s-8s	13s-8s	8s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	164,56	199,52	121,69	1,21	0,74
RSN1082-h2	298,54	197,42	314,78	0,66	1,05
RSN1615-h1	61,07	42,27	72,44	0,69	1,19
RSN1615-h2	110,59	148,74	105,71	1,34	0,96
RSN165-h1	119,83	123,05	195,32	1,03	1,63
RSN165-h2	179,89	201,97	128,07	1,12	0,71
RSN3935-h1	33,23	33,31	49,89	1,00	1,50
RSN4849-h1	88,88	88,68	108,64	1,00	1,22
RSN4849-h2	119,42	145,39	123,10	1,22	1,03
RSN5619-h1	233,35	262,53	190,90	1,13	0,82
RSN5619-h2	86,80	113,90	159,87	1,31	1,84
RSN5805-h1	91,17	149,55	106,83	1,64	1,17
RSN5805-h2	113,77	116,11	130,41	1,02	1,15
RSN5825-h1	225,92	665,99	238,92	2,95	1,06
RSN5825-h2	251,14	286,76	287,81	1,14	1,15
RSN5829-h1	248,09	434,13	251,32	1,75	1,01
RSN5829-h2	329,74	336,57	170,22	1,02	0,52
RSN6893-h1	214,14	184,95	248,83	0,86	1,16
RSN6893-h2	172,34	139,09	214,46	0,81	1,24
RSN8606-h1	160,56	164,21	122,12	1,02	0,76
RSN8606-h2	374,88	255,40	381,69	0,68	1,02
RSN3935-h2	17,85	20,02	18,83	1,12	1,05
Ortalama	167,99	195,89	170,08		
Minimum	17,85	20,02	18,83		
Maksimum	374,88	665,99	381,69		



Şekil 6.23: 13 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.13: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

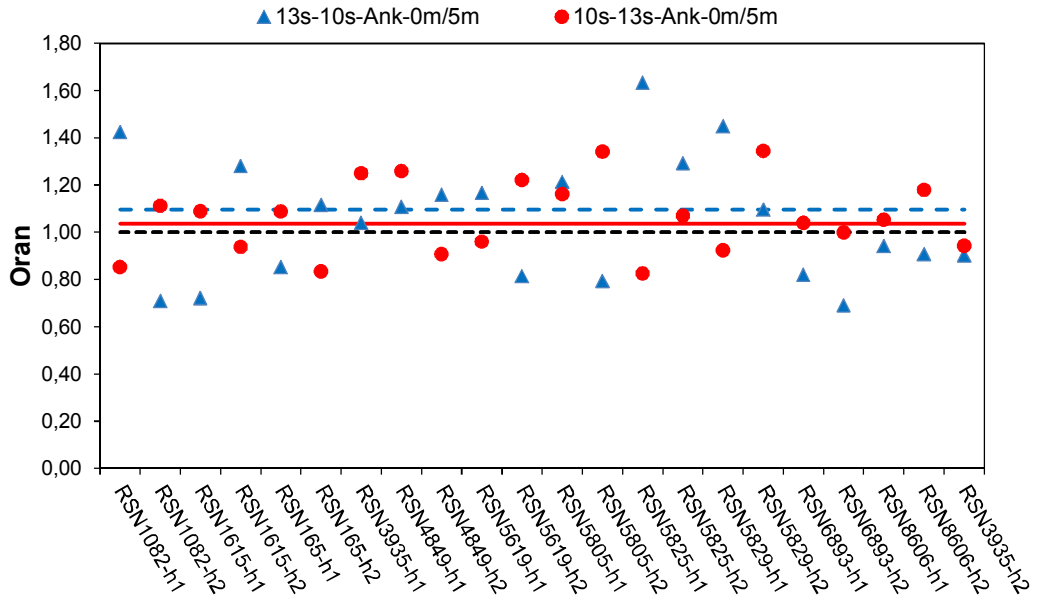
İvme Kaydı	13s-10s	13s-10s	10s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	277,52	234,65	286,75	0,85	1,03
RSN1082-h2	239,30	360,70	247,41	1,51	1,03
RSN1615-h1	75,96	105,45	96,71	1,39	1,27
RSN1615-h2	174,08	192,71	152,74	1,11	0,88
RSN165-h1	219,79	259,63	193,55	1,18	0,88
RSN165-h2	227,21	209,72	250,90	0,92	1,10
RSN3935-h1	80,55	71,71	65,21	0,89	0,81
RSN4849-h1	100,41	112,64	131,20	1,12	1,31
RSN4849-h2	158,22	124,98	165,37	0,79	1,05
RSN5619-h1	367,34	319,83	360,52	0,87	0,98
RSN5619-h2	212,57	229,20	165,41	1,08	0,78
RSN5805-h1	201,56	182,04	175,13	0,90	0,87
RSN5805-h2	171,89	216,89	147,66	1,26	0,86
RSN5825-h1	940,35	869,55	974,68	0,92	1,04
RSN5825-h2	362,26	312,67	380,19	0,86	1,05
RSN5829-h1	448,35	364,80	446,65	0,81	1,00
RSN5829-h2	229,53	245,31	271,14	1,07	1,18
RSN6893-h1	303,29	332,27	265,64	1,10	0,88
RSN6893-h2	188,85	196,14	195,46	1,04	1,04
RSN8606-h1	280,97	294,66	156,72	1,05	0,56
RSN8606-h2	390,58	440,78	348,86	1,13	0,89
RSN3935-h2	41,22	40,59	41,63	0,98	1,01
Ortalama	258,72	259,86	250,89		
Minimum	41,22	40,59	41,63		
Maksimum	940,35	869,55	974,68		



Şekil 6.24: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 13 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.14: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

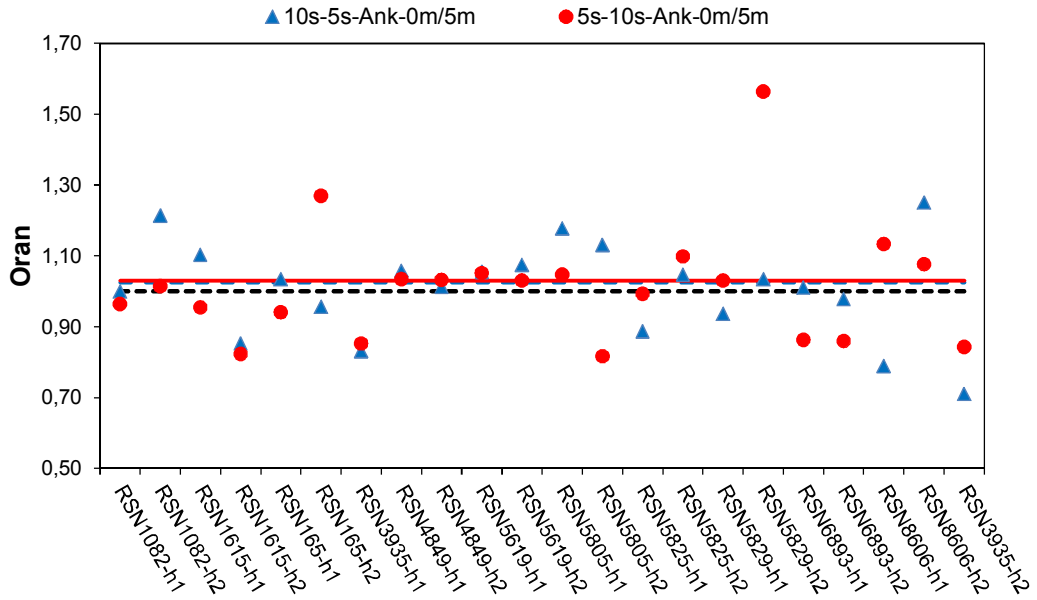
İvme Kaydı	13s-10s	13s-10s	10s-13s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank-0m	Ank-0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	180,32	256,64	153,60	1,42	0,85
RSN1082-h2	317,50	224,76	353,14	0,71	1,11
RSN1615-h1	88,74	63,95	96,64	0,72	1,09
RSN1615-h2	131,41	168,13	123,31	1,28	0,94
RSN165-h1	186,49	158,83	202,77	0,85	1,09
RSN165-h2	190,13	212,21	158,58	1,12	0,83
RSN3935-h1	45,66	47,47	57,09	1,04	1,25
RSN4849-h1	94,29	104,40	118,67	1,11	1,26
RSN4849-h2	125,35	145,16	113,71	1,16	0,91
RSN5619-h1	257,94	300,65	247,67	1,17	0,96
RSN5619-h2	143,33	116,68	174,96	0,81	1,22
RSN5805-h1	113,26	137,40	131,50	1,21	1,16
RSN5805-h2	135,41	107,42	181,68	0,79	1,34
RSN5825-h1	494,34	807,21	407,89	1,63	0,83
RSN5825-h2	255,22	329,88	273,15	1,29	1,07
RSN5829-h1	265,84	385,15	245,60	1,45	0,92
RSN5829-h2	191,47	209,71	257,47	1,10	1,34
RSN6893-h1	258,69	211,91	268,81	0,82	1,04
RSN6893-h2	222,37	153,50	222,17	0,69	1,00
RSN8606-h1	143,34	134,85	150,87	0,94	1,05
RSN8606-h2	313,86	284,67	370,11	0,91	1,18
RSN3935-h2	32,87	29,63	31,00	0,90	0,94
Ortalama	190,36	208,65	197,29		
Minimum	32,87	29,63	31,00		
Maksimum	494,34	807,21	407,89		



Şekil 6.25: 13 ve 10 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.15: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

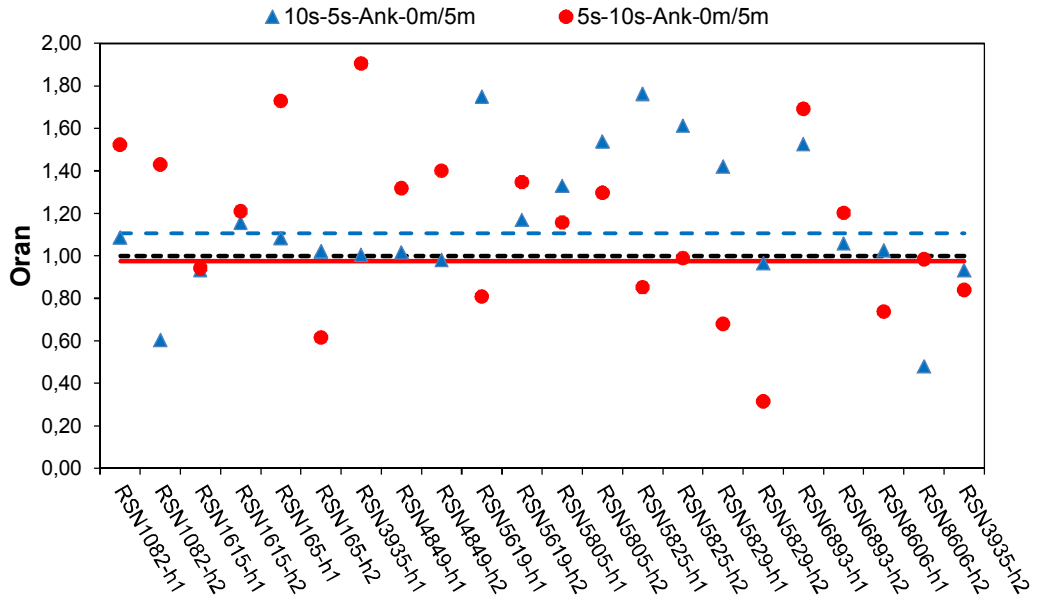
İvme Kaydı	10s-5s	10s-5s	5s-10s	b/a	c/a
	ankastre-5m	ankastre-0m	ankastre-0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	175,54	175,39	169,22	1,00	0,96
RSN1082-h2	318,07	385,90	322,51	1,21	1,01
RSN1615-h1	89,91	99,18	85,77	1,10	0,95
RSN1615-h2	124,56	106,23	102,54	0,85	0,82
RSN165-h1	181,78	187,98	171,00	1,03	0,94
RSN165-h2	194,75	186,22	247,27	0,96	1,27
RSN3935-h1	45,01	37,38	38,37	0,83	0,85
RSN4849-h1	90,77	95,99	93,85	1,06	1,03
RSN4849-h2	123,66	125,22	127,65	1,01	1,03
RSN5619-h1	253,30	267,13	266,30	1,05	1,05
RSN5619-h2	138,29	148,57	142,46	1,07	1,03
RSN5805-h1	109,88	129,40	115,01	1,18	1,05
RSN5805-h2	133,21	150,60	108,75	1,13	0,82
RSN5825-h1	473,71	420,05	470,35	0,89	0,99
RSN5825-h2	250,54	262,30	275,16	1,05	1,10
RSN5829-h1	265,76	248,74	273,75	0,94	1,03
RSN5829-h2	196,59	203,24	307,36	1,03	1,56
RSN6893-h1	250,42	252,94	216,10	1,01	0,86
RSN6893-h2	225,02	220,06	193,45	0,98	0,86
RSN8606-h1	141,11	111,32	159,93	0,79	1,13
RSN8606-h2	311,50	389,53	335,40	1,25	1,08
RSN3935-h2	31,27	22,20	26,35	0,71	0,84
Ortalama	187,48	192,07	193,12		
Minimum	31,27	22,20	26,35		
Maksimum	473,71	420,05	470,35		



Şekil 6.26: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

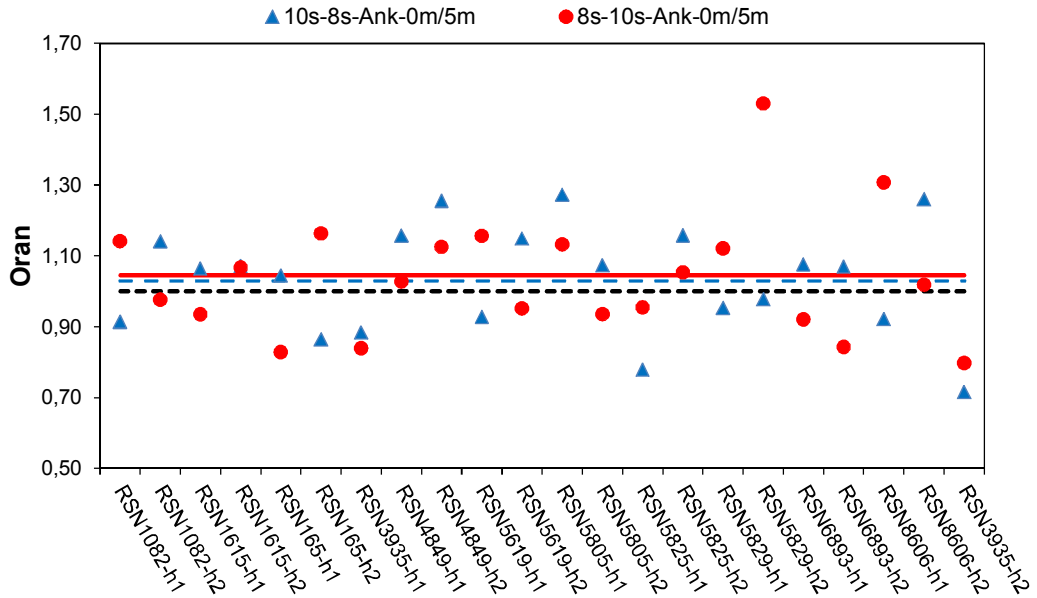
Tablo 6.16: 10 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

İvme Kaydı	10s-5s	10s-5s	5s-10s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	88,20	95,85	134,32	1,09	1,52
RSN1082-h2	224,34	135,43	320,59	0,60	1,43
RSN1615-h1	37,10	34,63	34,96	0,93	0,94
RSN1615-h2	73,61	85,10	89,01	1,16	1,21
RSN165-h1	106,51	115,39	184,11	1,08	1,73
RSN165-h2	265,58	271,10	163,49	1,02	0,62
RSN3935-h1	17,91	17,98	34,10	1,00	1,90
RSN4849-h1	75,82	76,96	99,91	1,02	1,32
RSN4849-h2	118,73	116,34	166,26	0,98	1,40
RSN5619-h1	81,63	142,75	65,99	1,75	0,81
RSN5619-h2	55,42	64,79	74,65	1,17	1,35
RSN5805-h1	56,82	75,53	65,75	1,33	1,16
RSN5805-h2	46,19	71,05	59,91	1,54	1,30
RSN5825-h1	155,00	273,18	132,06	1,76	0,85
RSN5825-h2	149,34	240,63	147,70	1,61	0,99
RSN5829-h1	231,16	328,10	157,03	1,42	0,68
RSN5829-h2	422,87	408,32	133,24	0,97	0,32
RSN6893-h1	124,32	189,51	210,20	1,52	1,69
RSN6893-h2	118,65	125,49	142,60	1,06	1,20
RSN8606-h1	117,62	120,62	86,72	1,03	0,74
RSN8606-h2	229,58	110,09	226,07	0,48	0,98
RSN3935-h2	16,77	15,64	14,09	0,93	0,84
Ortalama	127,87	141,57	124,67		
Minimum	16,77	15,64	14,09		
Maksimum	422,87	408,32	320,59		



Tablo 6.17: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

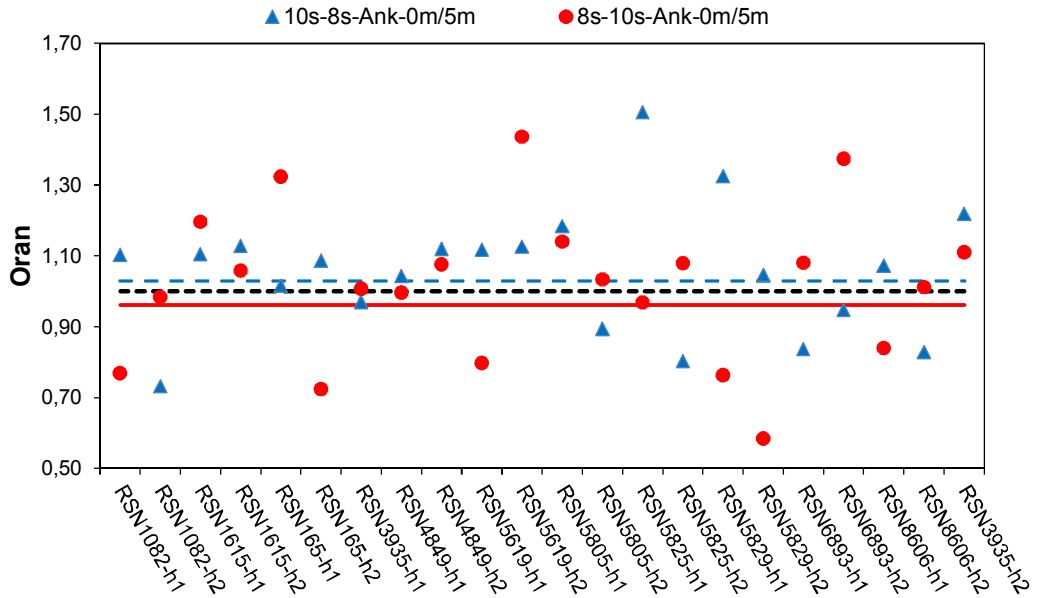
İvme Kaydı	10s-8s	10s-8s	8s-10s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	176,16	160,91	201,10	0,91	1,14
RSN1082-h2	318,07	362,86	310,41	1,14	0,98
RSN1615-h1	89,91	95,68	84,03	1,06	0,93
RSN1615-h2	124,56	133,41	132,86	1,07	1,07
RSN165-h1	181,78	189,81	150,53	1,04	0,83
RSN165-h2	194,75	168,35	226,60	0,86	1,16
RSN3935-h1	45,01	39,77	37,76	0,88	0,84
RSN4849-h1	90,77	104,99	93,24	1,16	1,03
RSN4849-h2	123,66	155,21	139,15	1,26	1,13
RSN5619-h1	253,30	235,06	292,84	0,93	1,16
RSN5619-h2	138,29	158,89	131,63	1,15	0,95
RSN5805-h1	109,88	139,89	124,47	1,27	1,13
RSN5805-h2	133,21	142,97	124,59	1,07	0,94
RSN5825-h1	473,71	368,75	452,13	0,78	0,95
RSN5825-h2	250,54	290,00	263,88	1,16	1,05
RSN5829-h1	265,76	253,26	297,84	0,95	1,12
RSN5829-h2	196,59	192,12	300,76	0,98	1,53
RSN6893-h1	250,42	269,42	230,61	1,08	0,92
RSN6893-h2	225,02	240,63	189,69	1,07	0,84
RSN8606-h1	141,11	129,98	184,47	0,92	1,31
RSN8606-h2	311,50	392,46	317,37	1,26	1,02
RSN3935-h2	31,27	22,37	24,93	0,72	0,80
Ortalama	187,51	193,04	195,95		
Minimum	31,27	22,37	24,93		
Maksimum	473,71	392,46	452,13		



Şekil 6.28: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 10 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.18: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

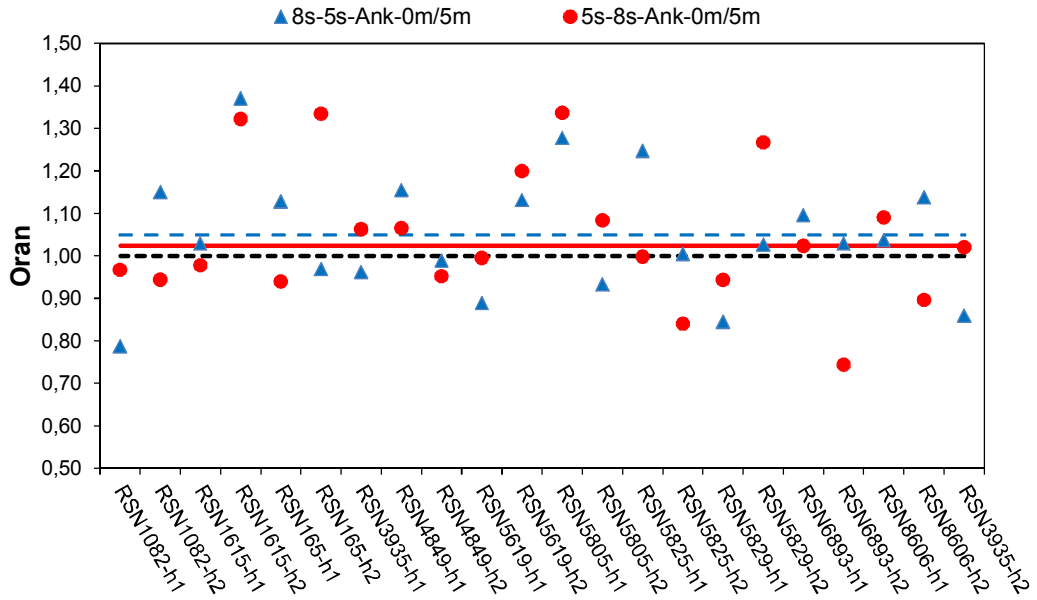
İvme Kaydı	10s-8s	10s-8s	8s-10s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	165,42	182,28	127,17	1,10	0,77
RSN1082-h2	300,26	219,66	295,39	0,73	0,98
RSN1615-h1	60,61	66,97	72,50	1,10	1,20
RSN1615-h2	109,32	123,31	115,73	1,13	1,06
RSN165-h1	118,23	120,05	156,47	1,02	1,32
RSN165-h2	177,58	192,85	128,59	1,09	0,72
RSN3935-h1	32,83	31,82	33,06	0,97	1,01
RSN4849-h1	88,17	91,92	87,84	1,04	1,00
RSN4849-h2	118,65	132,83	127,66	1,12	1,08
RSN5619-h1	232,91	260,35	185,66	1,12	0,80
RSN5619-h2	85,89	96,78	123,37	1,13	1,44
RSN5805-h1	89,39	105,87	101,91	1,18	1,14
RSN5805-h2	110,69	98,94	114,35	0,89	1,03
RSN5825-h1	232,26	349,54	224,97	1,50	0,97
RSN5825-h2	251,73	202,18	271,68	0,80	1,08
RSN5829-h1	255,07	337,88	194,66	1,32	0,76
RSN5829-h2	324,34	339,20	189,39	1,05	0,58
RSN6893-h1	210,70	176,26	227,58	0,84	1,08
RSN6893-h2	173,06	164,03	237,71	0,95	1,37
RSN8606-h1	160,72	172,31	134,94	1,07	0,84
RSN8606-h2	368,43	305,04	372,75	0,83	1,01
RSN3935-h2	17,84	21,73	19,80	1,22	1,11
Ortalama	167,46	172,35	161,05		
Minimum	17,84	21,73	19,80		
Maksimum	368,43	349,54	372,75		



Şekil 6.29: 10 ve 8 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Tablo 6.19: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

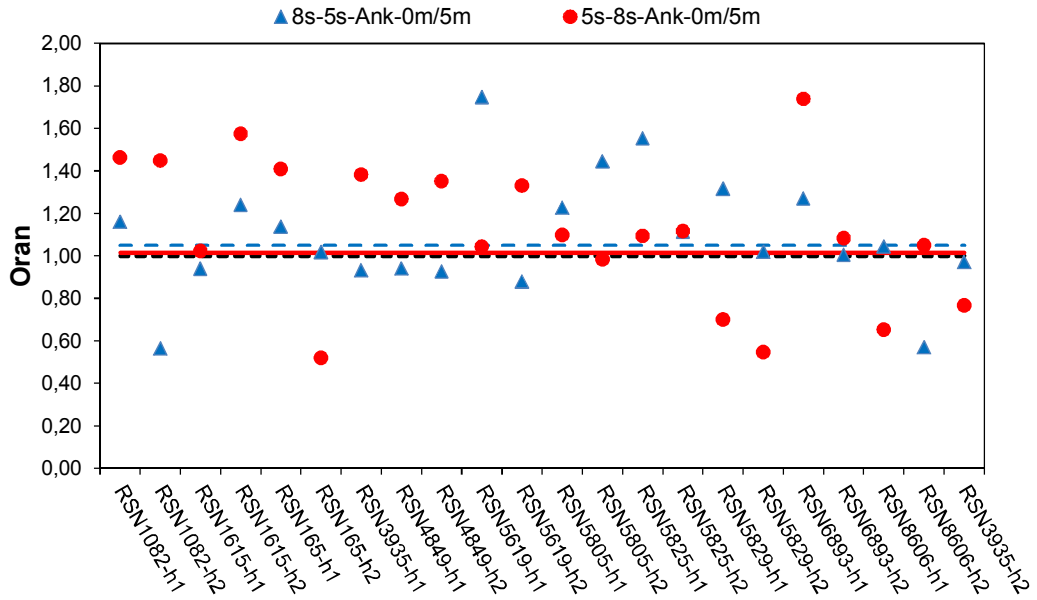
İvme Kaydı	8s-5s	8s-5s	5s-8s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	164,34	129,39	158,89	0,79	0,97
RSN1082-h2	298,52	343,32	281,80	1,15	0,94
RSN1615-h1	59,41	61,12	58,09	1,03	0,98
RSN1615-h2	107,17	146,86	141,70	1,37	1,32
RSN165-h1	115,10	129,83	108,16	1,13	0,94
RSN165-h2	173,41	167,92	231,37	0,97	1,33
RSN3935-h1	32,39	31,14	34,41	0,96	1,06
RSN4849-h1	86,79	100,20	92,43	1,15	1,06
RSN4849-h2	116,41	115,12	110,80	0,99	0,95
RSN5619-h1	229,64	204,06	228,45	0,89	0,99
RSN5619-h2	84,11	95,13	100,87	1,13	1,20
RSN5805-h1	88,09	112,53	117,74	1,28	1,34
RSN5805-h2	105,13	98,07	113,89	0,93	1,08
RSN5825-h1	237,78	296,46	237,31	1,25	1,00
RSN5825-h2	247,10	248,23	207,67	1,00	0,84
RSN5829-h1	262,45	221,75	247,66	0,84	0,94
RSN5829-h2	314,85	323,15	398,80	1,03	1,27
RSN6893-h1	203,34	222,80	208,08	1,10	1,02
RSN6893-h2	172,14	177,17	128,03	1,03	0,74
RSN8606-h1	156,17	161,91	170,30	1,04	1,09
RSN8606-h2	354,19	402,80	317,34	1,14	0,90
RSN3935-h2	17,66	15,17	18,01	0,86	1,02
Ortalama	164,83	172,91	168,72		
Minimum	17,66	15,17	18,01		
Maksimum	354,19	402,80	398,80		



Şekil 6.30: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 8 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

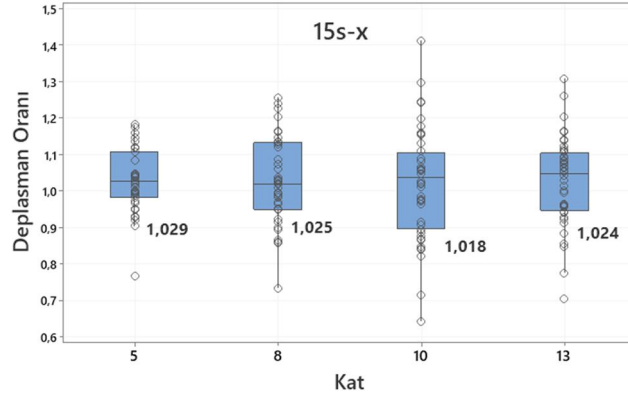
Tablo 6.20: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talepleri

İvme Kaydı	8s-5s	8s-5s	5s-8s	b/a	c/a
	Ank-5m	Ank -0m	Ank -0m		
	a (mm)	b (mm)	c (mm)		
RSN1082-h1	88,33	102,53	129,24	1,16	1,46
RSN1082-h2	227,47	128,36	329,53	0,56	1,45
RSN1615-h1	36,51	34,28	37,37	0,94	1,02
RSN1615-h2	73,33	90,89	115,48	1,24	1,57
RSN165-h1	108,02	122,87	152,19	1,14	1,41
RSN165-h2	261,29	265,88	135,94	1,02	0,52
RSN3935-h1	17,57	16,38	24,29	0,93	1,38
RSN4849-h1	75,87	71,37	96,15	0,94	1,27
RSN4849-h2	117,14	108,57	158,32	0,93	1,35
RSN5619-h1	80,93	141,38	84,44	1,75	1,04
RSN5619-h2	56,26	49,47	74,85	0,88	1,33
RSN5805-h1	56,18	68,90	61,68	1,23	1,10
RSN5805-h2	45,57	65,82	44,83	1,44	0,98
RSN5825-h1	148,60	230,72	162,52	1,55	1,09
RSN5825-h2	148,09	164,98	165,32	1,11	1,12
RSN5829-h1	226,42	297,93	158,53	1,32	0,70
RSN5829-h2	415,26	422,93	227,04	1,02	0,55
RSN6893-h1	119,63	151,92	207,94	1,27	1,74
RSN6893-h2	117,67	118,27	127,49	1,01	1,08
RSN8606-h1	115,86	121,01	75,62	1,04	0,65
RSN8606-h2	228,63	130,19	240,09	0,57	1,05
RSN3935-h2	16,32	15,84	12,51	0,97	0,77
Ortalama	126,41	132,75	128,24		
Minimum	16,32	15,84	12,51		
Maksimum	415,26	422,93	329,53		



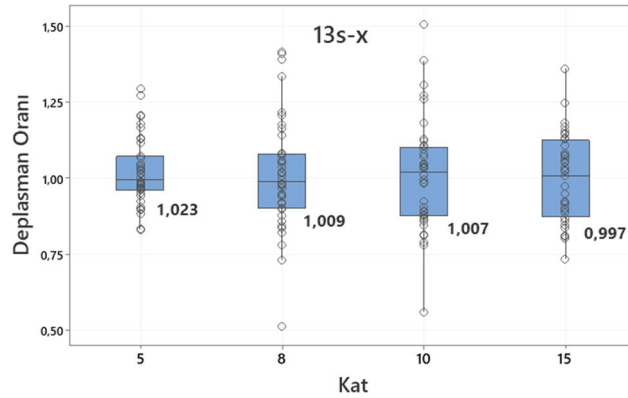
Şekil 6.31: 8 ve 5 katlı ikili modeldeki 5 katlı binanın maksimum çatı deplasman talep oranları

Gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda 20 adet çarpışmalı (derz mesafesi 0 m) modellerden elde edilen deplasman talepleri çarpışmasız durumdaki (derz mesafesi 5 m) taleplere oranlanarak Şekil 6.32-6.36’ da verilmiştir. Bu şekillerde yer alan grafikler ilgili binanın diğer kat adedine sahip binalar ile olan çekişleme etkilerini sunmaktadır. Örneğin; 15s-x başlığı, 15 katlı binanın 5, 8, 10 ve 13 katlı binalar (x) ile oluşturulan ikili modellerini temsil etmektedir.



Şekil 6.32: 15 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı

Kutu grafiklerde her bir deprem için hesaplanan deplasman oranlarının ortalama değerleri verilmiştir. Çekişleme etkisi ile talep oranlarında azalma veya artışlar görülebilmektedir. 22 depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak olumlu ya da olumsuz etkilerin meydana gelebileceği görülmektedir.

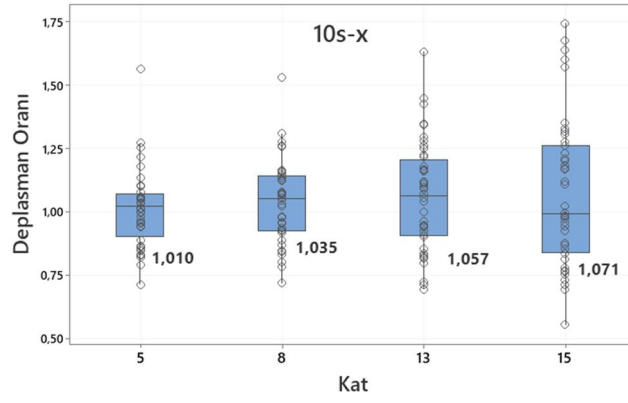


Şekil 6.33: 13 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı

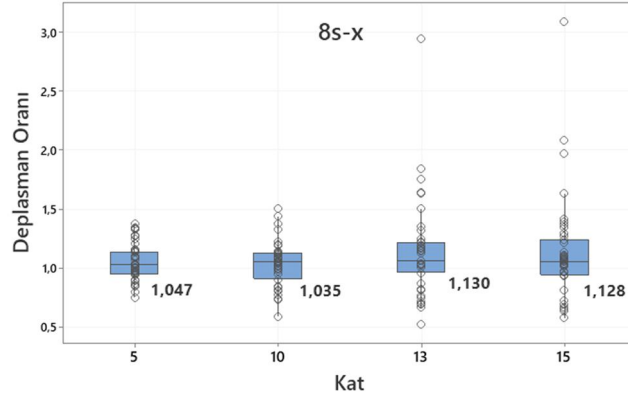
Çarpışmalı durumdaki deplasman talebinin çarpışmasız durumda elde edilen deplasman talebine oranlanması ile hesaplanan maksimum, minimum, standart sapma ve varyasyon katsayı değerleri Tablo 6.21’ de verilmiştir. İtalik ve altı çizili olan ifadeler ikili modelde dikkate alınan binanın deplasman oranını temsil etmektedir. Standart sapmanın ortalama etrafındaki saçılımını gösteren varyasyon katsayılarının ikili modeller üzerindeki etkileri Şekil 6.37’ de verilmiştir. Bina ağırlığının artmasıyla birlikte deplasman oranlarının saçılımı azalmaktadır. 15 ve 13 katlı binaların kendinden daha hafif yapılar ile komşu olarak sismik kaynaklı çarpışması durumunda, taleplerdeki saçılım daha sınırlıdır. Hafif olan 5 ve 8 katlı binaların deplasman oranlarının saçılımı ise, komşu binanın kat adedinden etkilenecek artmaktadır.

Tablo 6.21: Binaların farklı ikili modellerdeki çarpışmalı durum deplasman taleplerinin çarpışmasız durum deplasman taleplerine oranları

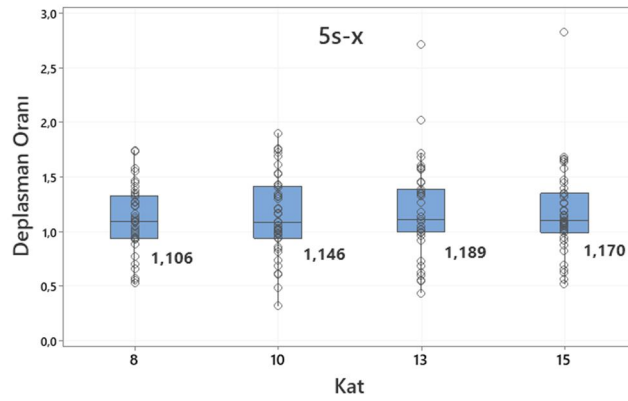
15s	<u>15s-5s</u>	<u>15s-8s</u>	<u>15s-10s</u>	<u>15s-13s</u>
Maksimum	1.181	1.255	1.412	1.307
Minimum	0.764	0.731	0.641	0.702
Ortalama	1.029	1.025	1.018	1.024
Standart Sapma	0.084	0.114	0.150	0.121
Varyasyon Katsayısı	0.082	0.112	0.148	0.118
13s	<u>13s-5s</u>	<u>13s-8s</u>	<u>13s-10s</u>	<u>13s-15s</u>
Maksimum	1.294	1.417	1.507	1.361
Minimum	0.830	0.511	0.558	0.733
Ortalama	1.023	1.009	1.007	0.997
Standart Sapma	0.109	0.176	0.175	0.140
Varyasyon Katsayısı	0.107	0.174	0.173	0.140
10s	<u>10s-5s</u>	<u>10s-8s</u>	<u>10s-13s</u>	<u>10s-15s</u>
Maksimum	1.563	1.530	1.633	1.743
Minimum	0.710	0.715	0.690	0.551
Ortalama	1.010	1.035	1.057	1.071
Standart Sapma	0.148	0.158	0.211	0.288
Varyasyon Katsayısı	0.147	0.153	0.200	0.269
8s	<u>8s-5s</u>	<u>8s-10s</u>	<u>8s-13s</u>	<u>8s-15s</u>
Maksimum	1.370	1.505	2.948	3.095
Minimum	0.744	0.584	0.516	0.568
Ortalama	1.047	1.035	1.130	1.128
Standart Sapma	0.149	0.192	0.395	0.427
Varyasyon Katsayısı	0.143	0.185	0.349	0.379
5s	<u>5s-8s</u>	<u>5s-10s</u>	<u>5s-13s</u>	<u>5s-15s</u>
Maksimum	1.747	1.904	2.720	2.833
Minimum	0.520	0.315	0.432	0.515
Ortalama	1.106	1.146	1.189	1.170
Standart Sapma	0.300	0.359	0.415	0.383
Varyasyon Katsayısı	0.272	0.314	0.349	0.328



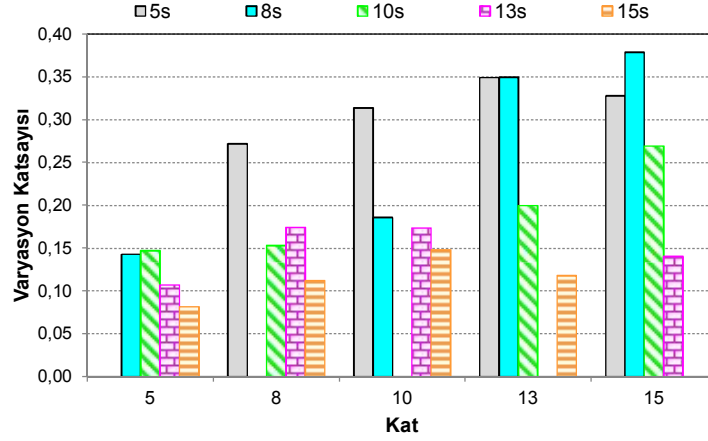
Şekil 6.34: 10 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı



Şekil 6.35: 8 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı

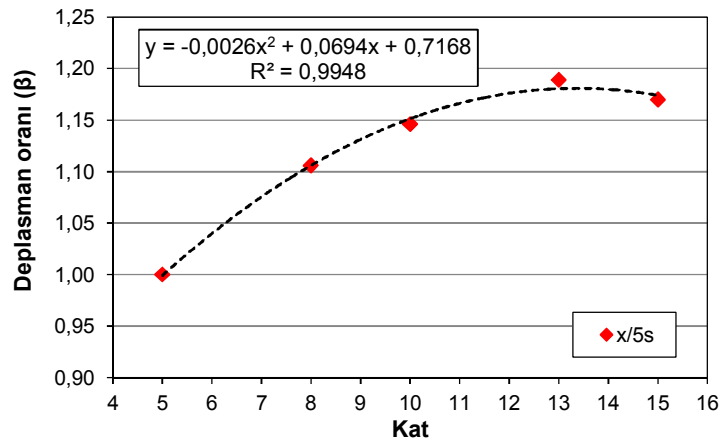


Şekil 6.36: 5 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile çarpışması sonucu elde edilen deplasman talebinin çarpışmasız duruma oranı



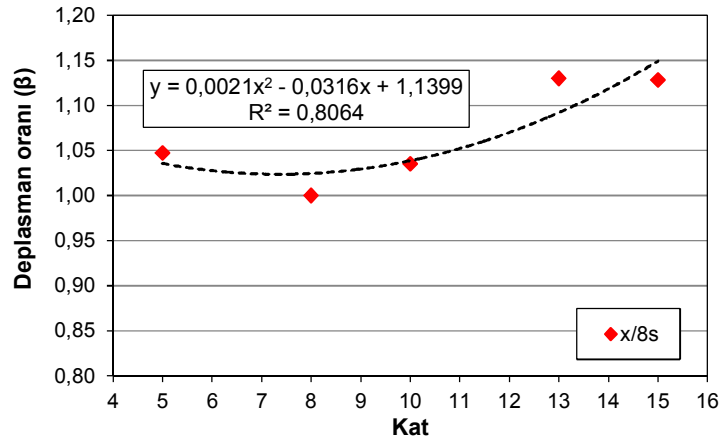
Şekil 6.37: Her bir binanın farklı ikili modelleri için hesaplanan deplasman oranlarının Varyasyon Katsayıları

Her bir binanın farklı kat adedine sahip binalar ile etkileşimi sonucu taleplerindeki değişimi görebilmek için, ortalama deplasman oranları (β) Şekil 6.38-6.40’ da verilmiştir. β , aynı zamanda çarpışma etkisi nedeni ile deplasman büyütme faktörü olarak isimlendirilmiştir. 5 katlı bina modelinin 8, 10, 13 ve 15 katlı binalar ile çarpışması sonucu çatı seviyesi ortalama deplasman talebi sırasıyla %10.6, %14.6, %18.9 ve %17 oranında artış göstermektedir. Bu bina modelinin daha ağır yapılar ile çarpışmasından dolayı talepler ciddi oranda değişmektedir. Şekil 6.38’ de, 5 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile ikili model oluşturulması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.9948 olan bu eğri, Denklem 6.1 ile tanımlanmıştır. N, komşu bina kat adedini temsil etmektedir. Bu çalışmada kullanılan ve aynı kat adedine sahip ikili modellerde (5s-5s gibi) herhangi bir çarpışma beklenmediği için talep oranları 1 olarak belirlenmiştir.



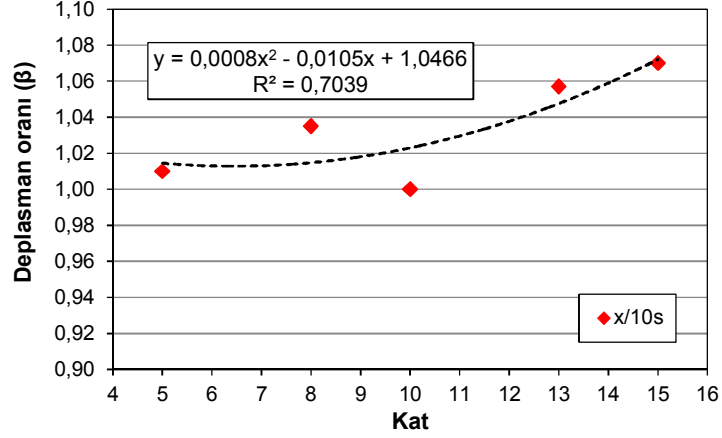
Şekil 6.38: 5 katlı bina için deplasman büyütme faktörü

8 katlı bina modelinin de çarpışmalardan etkilendiği görülmektedir. 5, 10, 13 ve 15 katlı binalar ile çarpışması sonucu ortalama çatı seviyesi deplasman talebi sırasıyla %4.7, %3.5, %13 ve %12.8 oranında artış göstermektedir. İkili modeldeki binaların kat adetlerinin birbirine yaklaşması ile talep değişimleri önemsiz olurken, uzaklaşması durumunda talep artışları kayda değer olmaktadır. Şekil 6.39’ da, 8 katlı binanın farklı kat adetlerine sahip binalar ile ikili model oluşturulması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.8064 olan bu eğri, Denklem 6.2 ile tanımlanmıştır.



Şekil 6.39: 8 katlı bina için deplasman büyütme faktörü

15 ve 13 katlı bina modellerin kendinden daha hafif binalar ile çarpışması talepler üzerinde maksimum %3 oranında artış göstererek sınırlı bir değişim elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan bina modelleri arasında kat adedi bakımından ortalamayı temsil eden 10 katlı bina ise, 5, 8, 13 ve 15 katlı binalar ile çarpışması sonucu maksimum çatı talebi sırasıyla %1, %3.5, %5.7 ve %7.1 artış göstermektedir. Benzer eğilim olarak, kendinden daha hafif yapılar ile çarpışmanın, 10 katlı binanın talepleri üzerinde sınırlı bir etki oluştururken, kendinden daha ağır yapılar ile çarpışması sonucu %7 civarında bir talep artışına neden olabilmektedir. Şekil 6.40’ ta, 10 katlı binanın farklı kat adetlerine sahip binalar ile ikili model oluşturulması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.7039 olan bu eğri, Denklem 6.3 ile tanımlanmıştır.



Şekil 6.40: 10 katlı bina için deplasman büyütme faktörü

$$\beta_{ank-5s} = -0.0026N^2 + 0.0694N + 0.7168 \quad (6.1)$$

$$\beta_{ank-8s} = 0.0021N^2 + 0.0316N + 1.1399 \quad (6.2)$$

$$\beta_{ank-10s} = 0.0008N^2 + 0.0105N + 1.0466 \quad (6.3)$$

6.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması

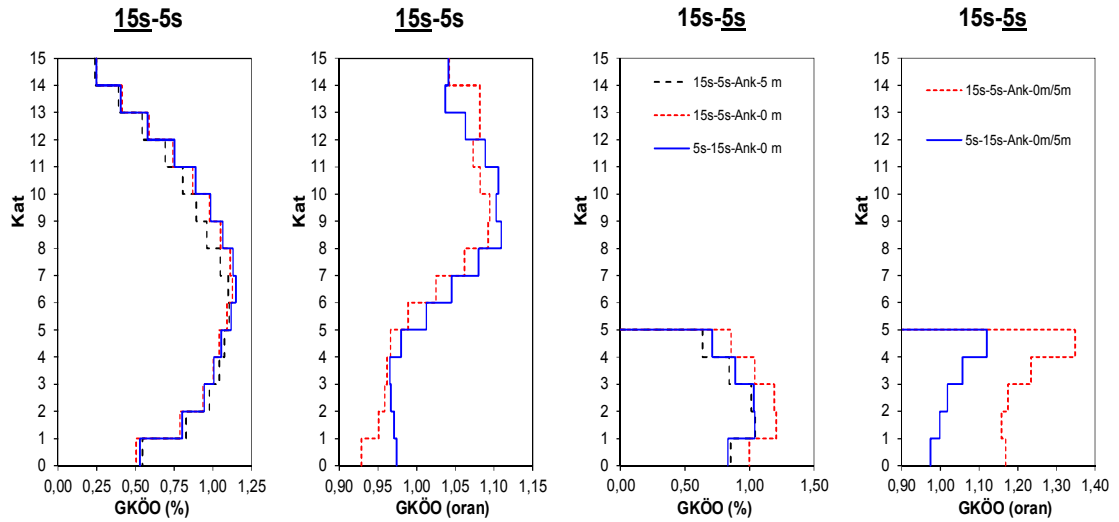
Çalışmada kullanılan ankastre ikili modellerin görelî kat ötelenme oranları (GKÖÖ) incelenmiştir. 22 farklı ivme kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda, ivme kaydının her bir adımı için hesaplanan GKÖÖ değerlerinin maksimumları belirlenmiştir. 22 deprem kaydı için elde edilen maksimum GKÖÖ değerlerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Çarpışmalı modellerden hesaplanan ortalama GKÖÖ değerleri çarpışmasız modellere oranlanarak Şekil 6.41-6.50' de verilmiştir.

15 katlı bina modeline ait GKÖÖ değerleri incelendiğinde; kısa binanın yükseklik seviyesine kadar (çekiçlemenin görülebileceği yükseklik) ciddi bir değişim görülmemektedir. Buna karşılık 15 katlı binanın 13, 10, 8 ve 5 katlı binalarla çarpışması sonucu 15 katlı binanın kısa binanın yüksekliğinden sonraki katlarında oluşan maksimum artışlar; sırasıyla %5, %7, %10 ve %10 şeklinde gözlenmiştir. Bu durum, kısa binanın mesnet görevi görmesi ile alt katlarda sınırlandırmaya, üst katlarda ise kamçı etkisi ile artışa neden olması ile açıklanabilir. Benzer davranışlar 13 katlı bina modelinde de görülmektedir.

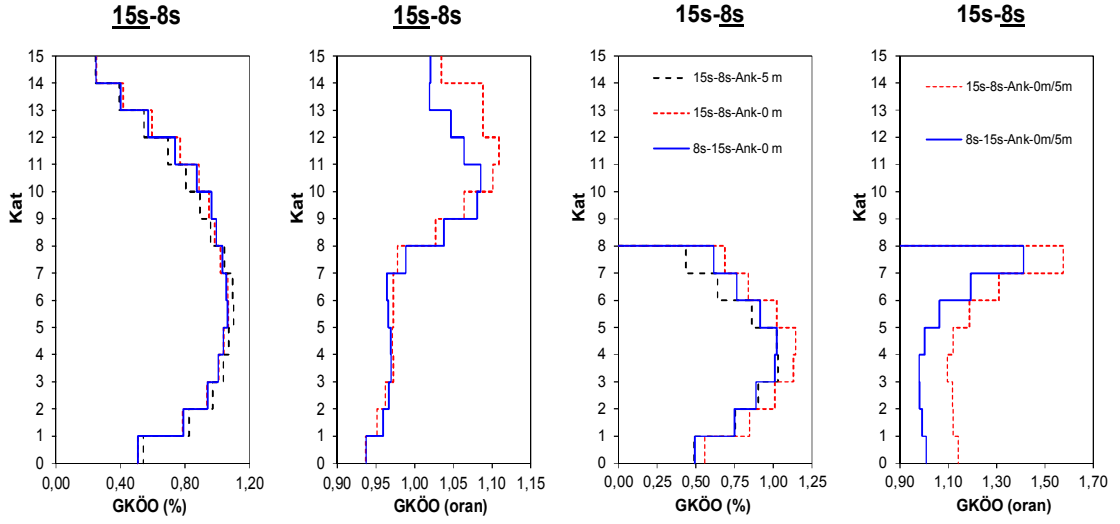
10 katlı bina modelinin 15 ve 13 katlı binalar ile çarpışması sonucu 10 katlı binanın GKÖO değerleri, alt katlarda sınırlı bir artış gösterirken üst katlarında ise sırası ile %60 ve %40' a varan artış göstermektedir. Benzer şekilde 10 katlı bina modelinin 8 ve 5 katlı modeller ile çarpışması sonucu 10 katlı binanın çarpışmanın olduğu katın altındaki katlarda sırası ile %3 ve %5, üstündeki katlarında ise sırası ile %12 ve %8' e varan artışlar görülmektedir. Benzer davranışlar 8 katlı modelde de meydana gelmektedir.

5 katlı binanın 15, 13, 10 ve 8 katlı modeller ile çarpışması ile GKÖO değerleri sırasıyla %35, %35, %20 ve %14 artmaktadır. Bina yüksekliği en düşük olan bu modelin kendinden daha ağır yapılar ile çarpışması, ciddi etkiler oluşturmaktadır.

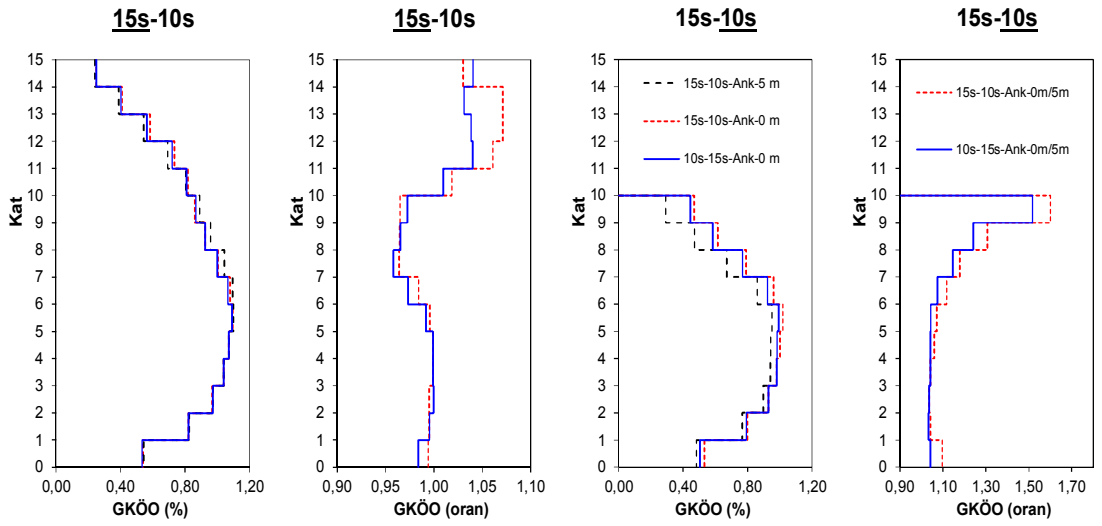
Çalışma kapsamında oluşturulan ikili modeller ile ilgili genel bir değerlendirme yapıldığında, ikili modellerdeki kısa binaların GKÖO değerlerinde ciddi bir artış görülmektedir. Buna karşılık yüksek olan binaların çarpışmanın olduğu katın altındaki katlarında sınırlı değişimler meydana gelirken, üst katlarında ise kamçı etkisi ile kayda değer artışlar görülebilmektedir.



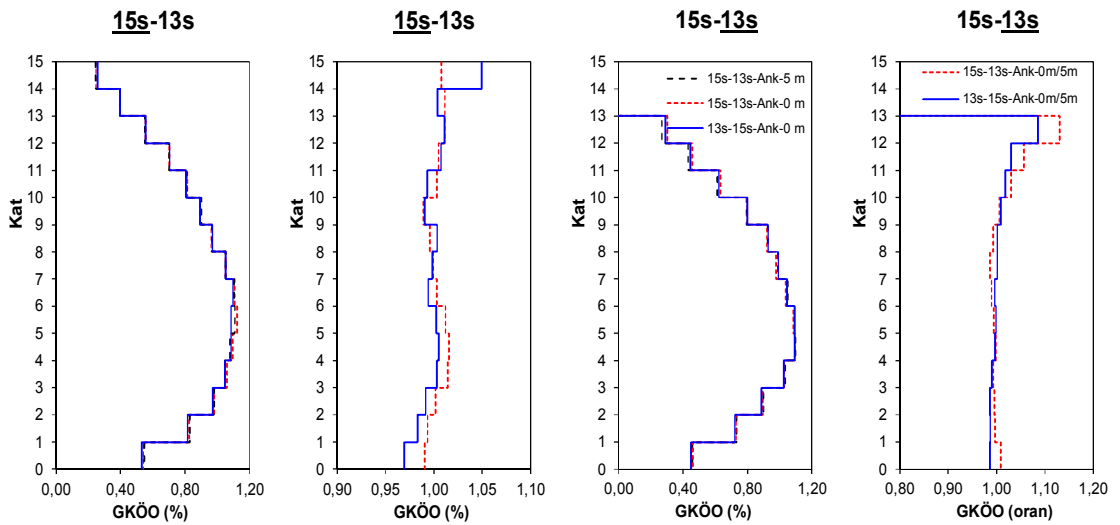
Şekil 6.41: 15 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



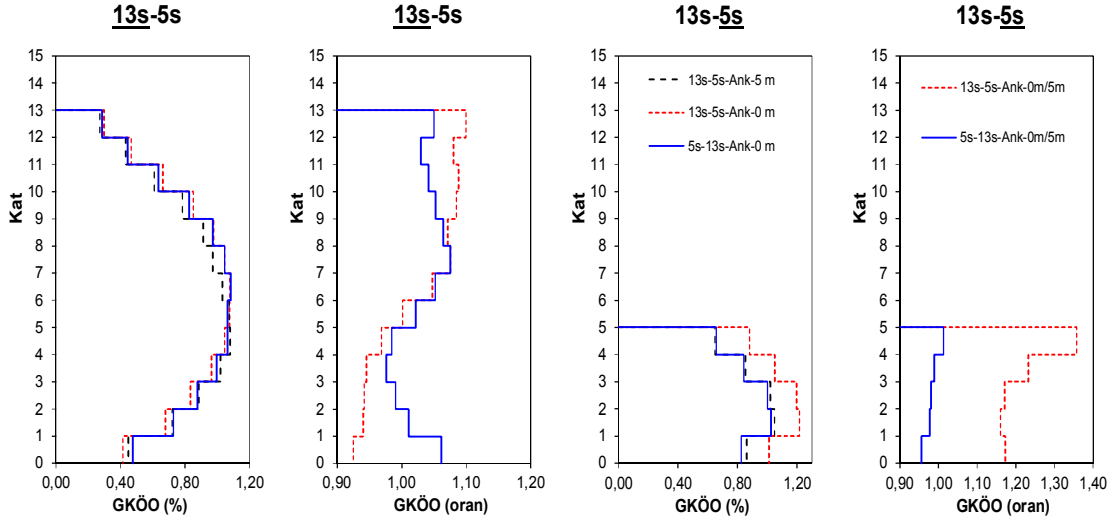
Şekil 6.42: 15 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



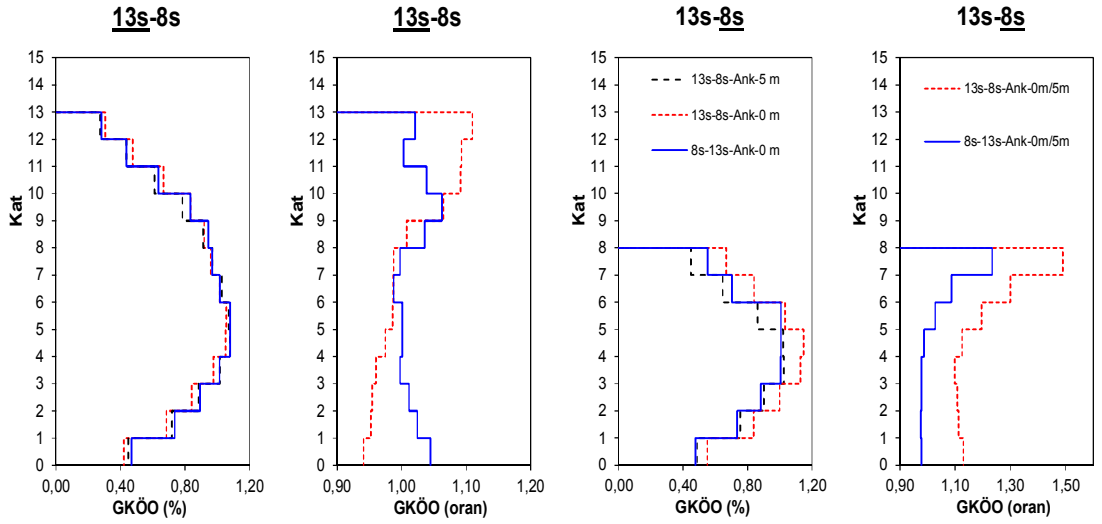
Şekil 6.43: 15 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



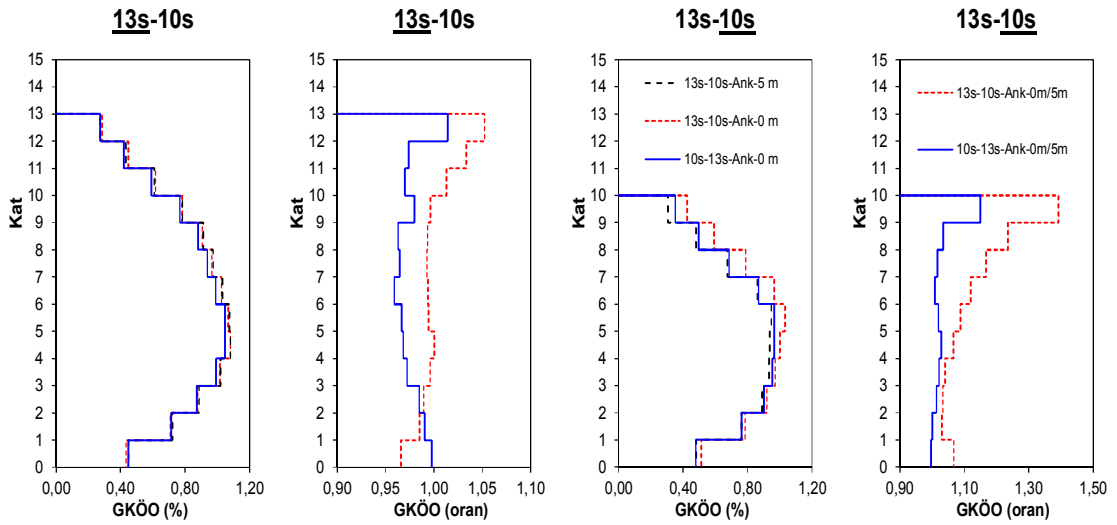
Şekil 6.44: 15 ve 13 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



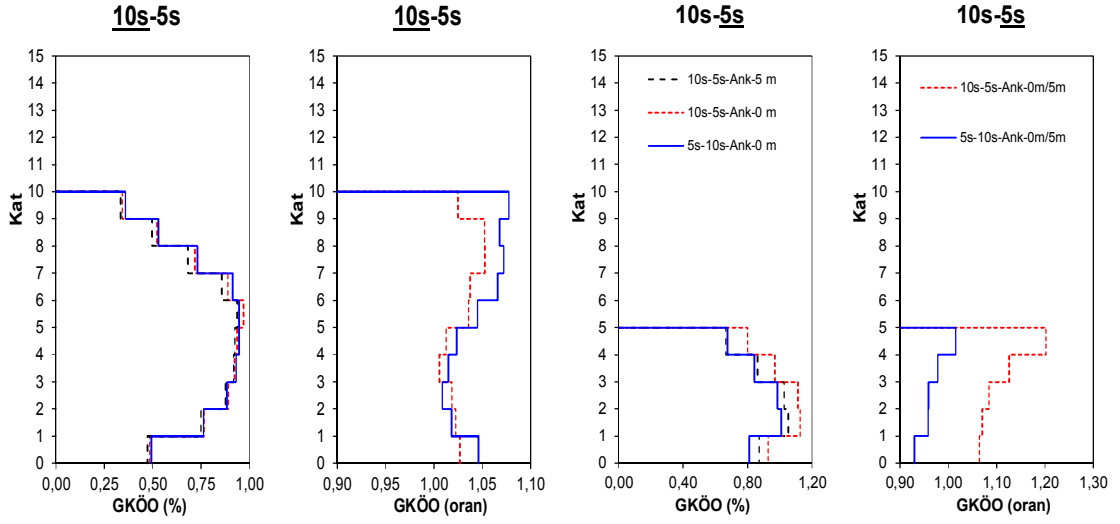
Şekil 6.45: 13 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



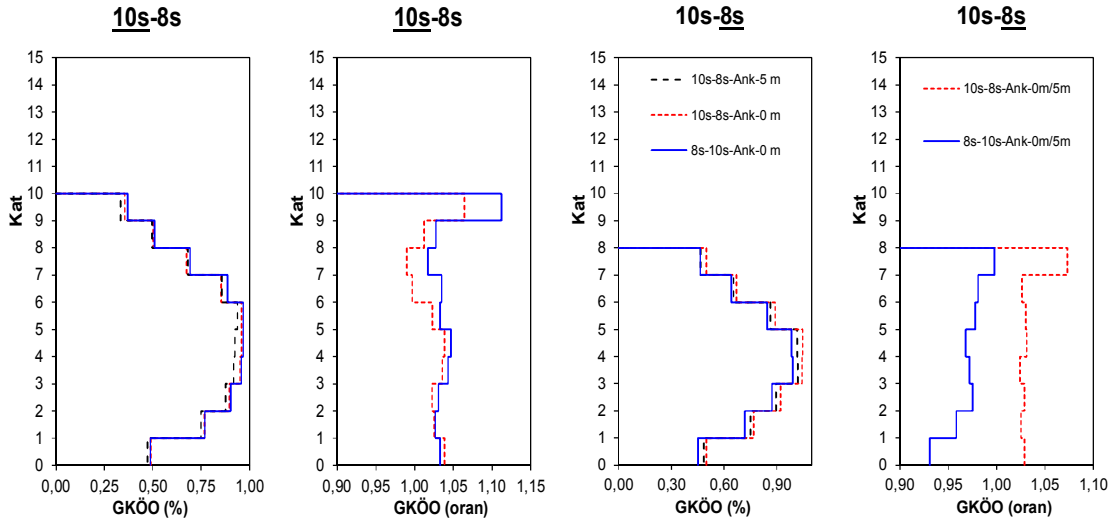
Şekil 6.46: 13 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



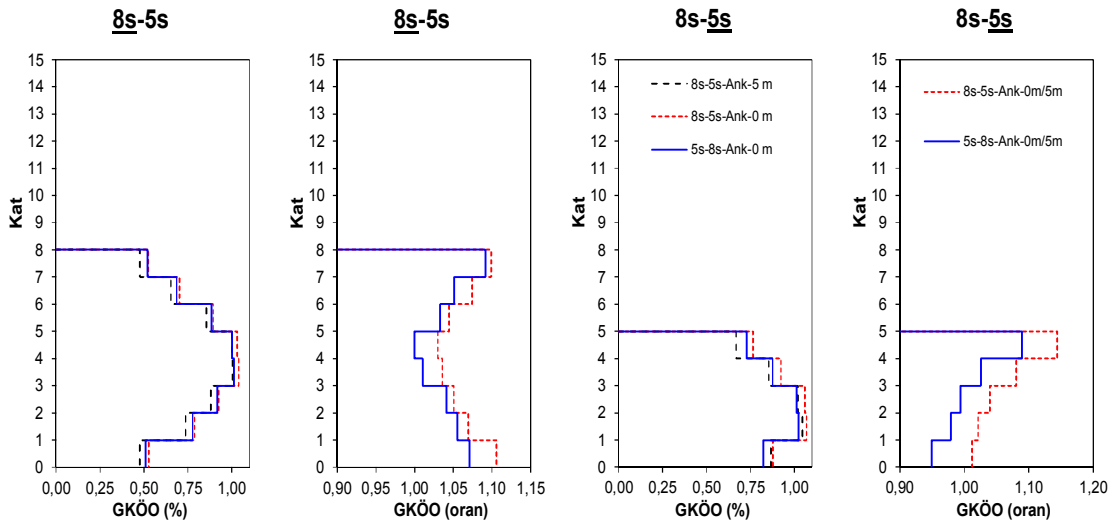
Şekil 6.47: 13 ve 10 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.48: 10 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.49: 10 ve 8 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.50: 8 ve 5 katlı Ank-0m modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması

7. ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANALİZ SONUÇLARI

7.1 Genel

Çalışma kapsamında, yumuşak zemin üzerinde bulunduğu düşünülen 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binaların altında 45 metrelik zemin profili tanımlanmıştır. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı bu modelleme yaklaşımı ile temel dönmeleri ve yer ötelenmesi modellere yansıtılmıştır. Ayrıca tamamen doğrusal elastik olmayan özelliğe sahip (fully nonlinear method) zemin modeli oluşturularak daha gerçekçi bir ZYE modelleme tekniği benimsenmiştir.

Doğrusal elastik olmayan ZYE modellerinin dinamik analizlerini gerçekleştirebilmek için 21 ivme kaydından oluşan bir deprem seti kullanılmıştır. 5 farklı ZYE modeli için toplam 105 adet 3B zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

7.2 Çatı Deplasman Talepleri

Dinamik analizler sonucunda binaların temel seviyesindeki ve çatı katındaki deplasman talepleri elde edilmiştir. Temel dönmesi ve zemin ötelenmesinden kaynaklanan talepler toplam bina yer değiştirmesinden çıkarılarak, yapının talebi hesaplanmıştır. ZYE modellerinin her bir deprem için elde edilen çatı deplasman talepleri Tablo 7.1’ de verilmiştir.

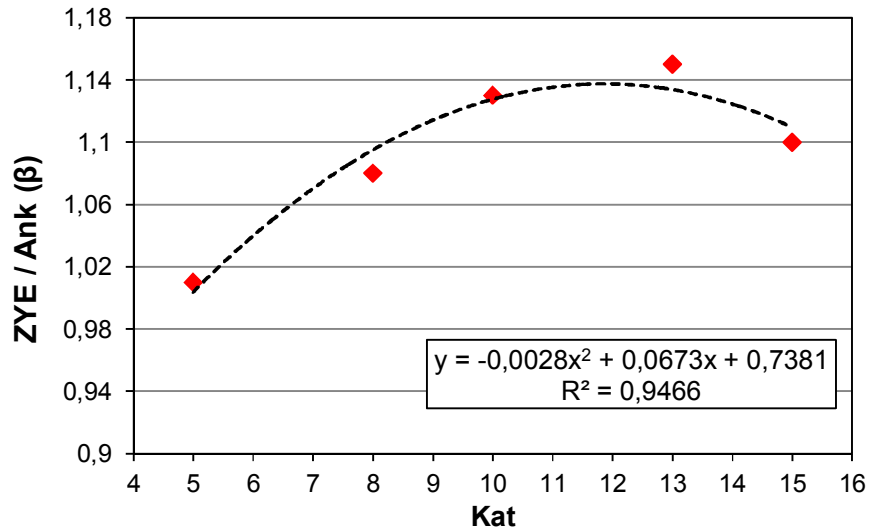
21 ivme kaydı için bina deplasman taleplerinin ortalaması hesaplanmıştır. ZYE modellerine ait bu ortalama talepler ankastre modeller ile kıyaslanarak deplasman büyütme faktörleri belirlenmiştir. 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların deplasman büyütme faktörleri sırasıyla 1.01, 1.08, 1.13, 1.14 ve 1.10 olarak elde edilmiştir. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı 5 katlı binada, ortalama deplasmanlardaki artış ihmal edilebilecek seviyelerdedir. Buna karşılık bina

yüksekliğinin artması ile birlikte yumuşak zeminlerdeki binaların taleplerinde yaklaşık %14' ü bulan artışlar görülebilmektedir. Şekil 7.1' de, farklı kat adedine sahip binalarda zemin etkilerinin dikkate alınması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.9466 olan bu eğri, Denklem 7.1 ile tanımlanmıştır. N, komşu bina kat adedini temsil etmektedir.

$$\beta_{ZYE} = -0.0028N^2 + 0.0673N + 0.7381 \quad (7.1)$$

Şekil 7.2' de verilen kutu grafikte her bir deprem için hesaplanan deplasman oranları (ZYE/Ank) verilmiştir. 21 depremin karakteristik özelliklerine bağlı olarak zemin-yapı etkileşimi ile talep oranlarında azalma veya artışlar görülebilmektedir. Özellikle 5 katlı binanın talep oranlarının saçılımı daha belirgindir. Diğer binalarda ise saçılımın daha düşük olduğu görülebilmektedir.

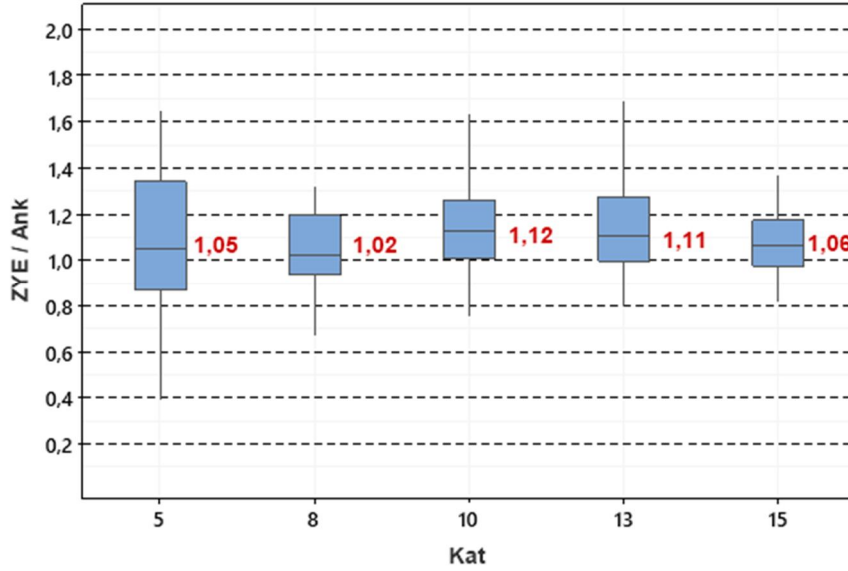
Talep oranlarının medyan değerleri grafik üzerinde verilmiştir. Tüm binaların medyan değerleri 1' in üzerinde elde edilmiştir. Medyan değerlerinin 1' in üzerinde olması, verilerin %50' sinden fazlasının artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Böylece, yumuşak zeminlerde yer alan binaların zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda, birçok deprem için talep artışı gözlenme olasılığı yüksektir.



Şekil 7.1: ZYE modellerinin kat adedine göre deplasman büyütme faktörü

Tablo 7.1: ZYE modellerinin maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

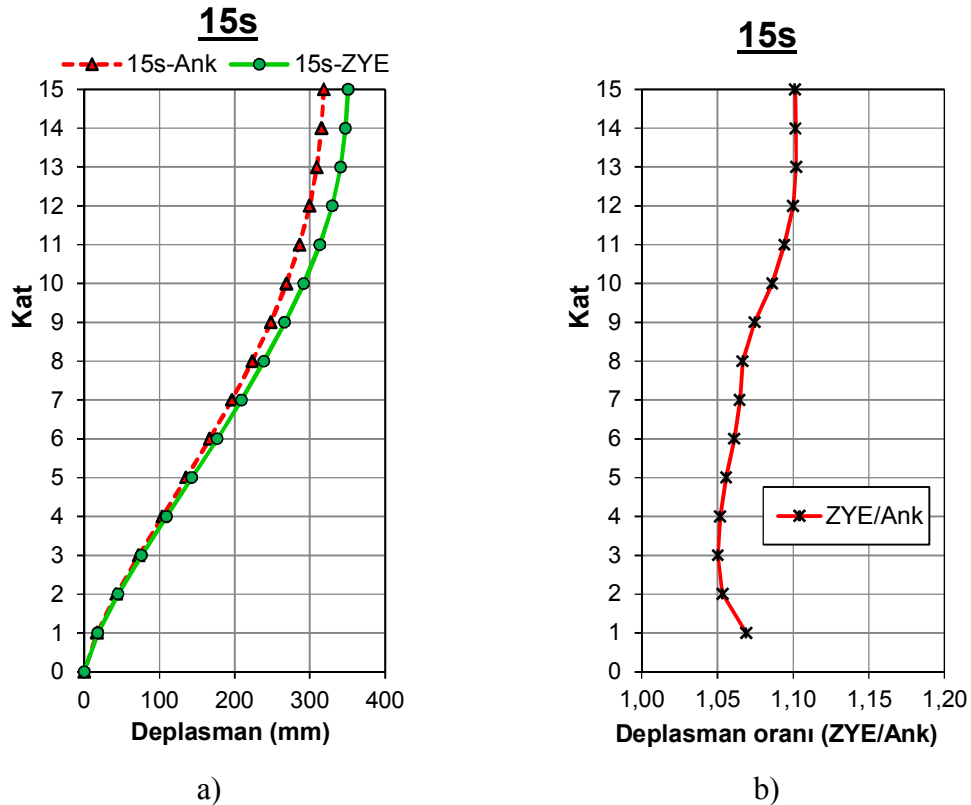
İvme Kaydı	5s	8s	10s	13s	15s
RSN1082-h1	119,76	215,99	229,40	251,19	298,10
RSN1082-h2	216,51	256,45	291,09	245,17	250,57
RSN1615-h2	50,35	133,77	152,41	137,71	120,10
RSN165-h1	114,07	132,87	141,37	242,93	236,55
RSN165-h2	252,60	326,24	308,24	291,31	365,61
RSN3935-h1	15,63	32,29	51,53	83,65	67,45
RSN4849-h1	65,04	62,52	100,46	161,75	165,24
RSN4849-h2	79,65	113,67	158,45	132,93	192,56
RSN5619-h1	121,72	234,81	259,87	384,90	400,61
RSN5619-h2	79,37	107,58	157,97	266,96	256,07
RSN5805-h1	54,09	103,58	142,92	229,36	244,93
RSN5805-h2	57,03	106,98	203,22	167,89	179,15
RSN5825-h1	223,89	375,99	508,19	879,63	1091,73
RSN5825-h2	156,88	296,96	301,97	461,44	800,72
RSN5829-h1	305,76	208,15	279,27	501,27	528,75
RSN5829-h2	165,96	221,20	247,11	386,47	328,14
RSN6893-h1	204,45	204,85	275,41	399,00	520,17
RSN6893-h2	119,73	175,69	166,32	235,17	245,88
RSN8606-h1	140,73	182,40	181,14	290,64	459,10
RSN8606-h2	243,28	413,26	468,03	588,65	582,12
RSN3935-h2	9,53	18,00	33,10	41,51	36,93
Ortalama (ZYE)	133,14	186,82	221,78	303,79	350,98
Ortalama (Ank)	132,19	173,11	196,09	266,46	318,70
Oran (ZYE/Ank)	1,01	1,08	1,13	1,14	1,10

**Şekil 7.2:** Tüm depremler için ZYE modellerinden elde edilen taleplerin ankastre modellere oranı ve bu oranlar için medyan değerleri

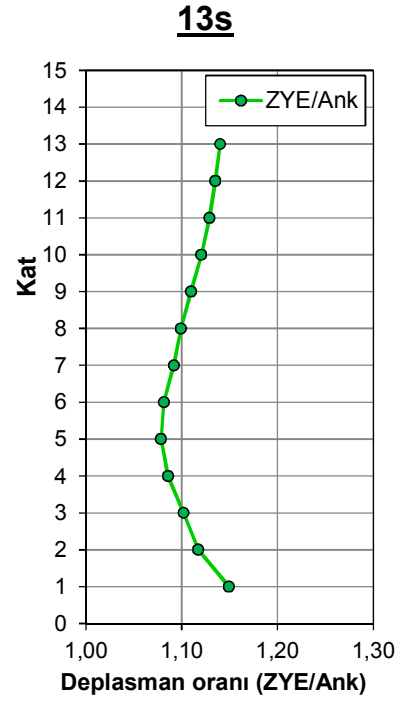
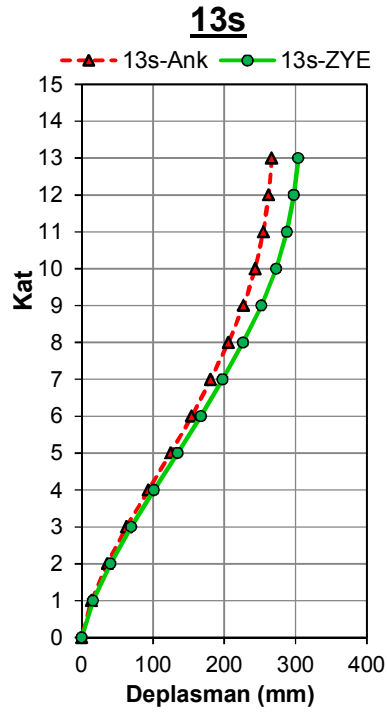
7.3 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması

Dinamik analizler sonucunda, her bir binanın ZYE ve ankastre modelleri için ortalama kat deplasman talepleri elde edilmiştir. Katlar arası taleplerin dağılımını gösteren deplasman profilleri Şekil 7.3a-7.7a' da verilmiştir. 5 katlı binada farklı mesnet yaklaşımlarının kullanılması deplasman profili üzerinde ciddi bir değişime neden olmamıştır (Şekil 7.7.a). Diğer binalarda ise zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı durumlarda, deplasman profilleri yüksek mod etkileri ile birlikte üst katlara doğru artış göstermektedir.

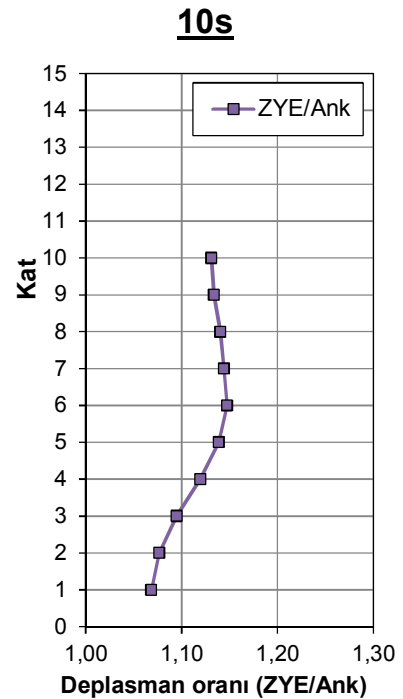
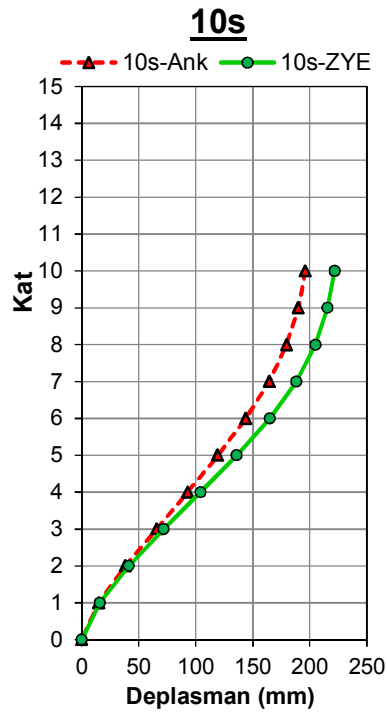
ZYE modellerindeki ortalama deplasman profilleri ankastre modellere oranlanarak Şekil 7.3b-7.7b' de verilmiştir. ZYE yaklaşımının dikkate alındığı tüm binaların alt katlarındaki talep artışları göze çarpmaktadır. Zemin ötelenmesi ve temel dönmelerinden dolayı oluşan bu artışlar; 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların zemin katında sırasıyla %7, %20, %7, %15 ve %7 olarak hesaplanmıştır.



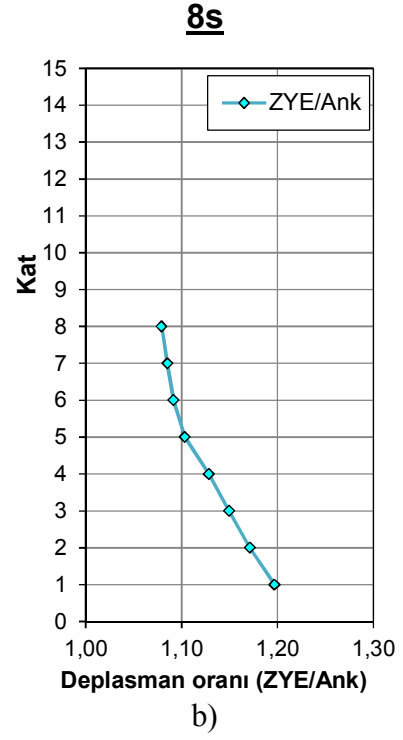
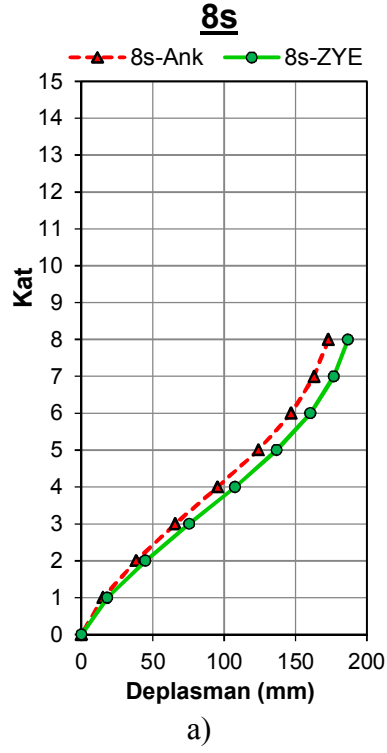
Şekil 7.3: a) 15 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı



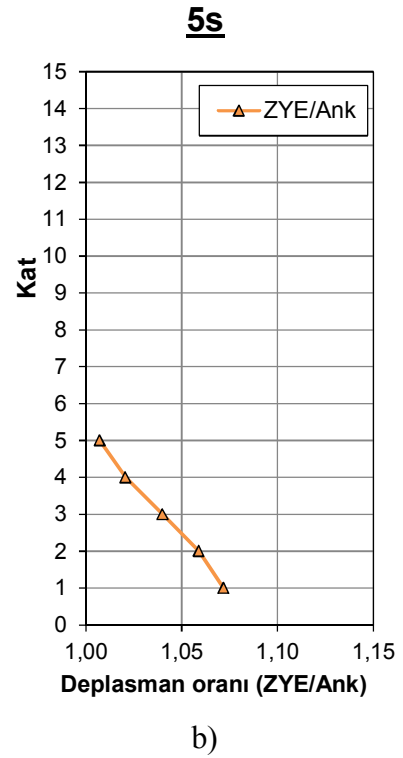
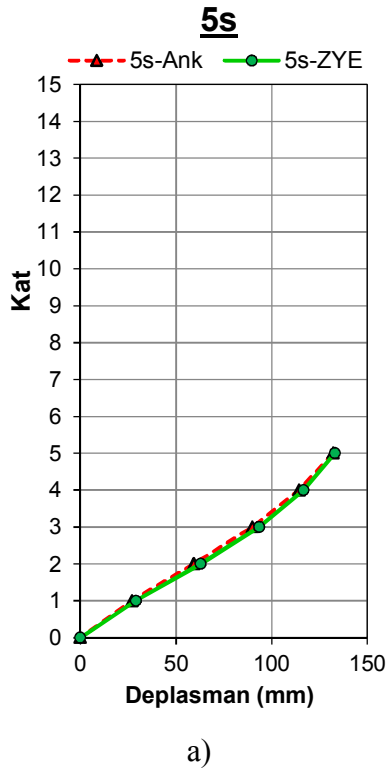
Şekil 7.4: a) 13 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı



Şekil 7.5: a) 10 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı



Şekil 7.6: a) 8 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı

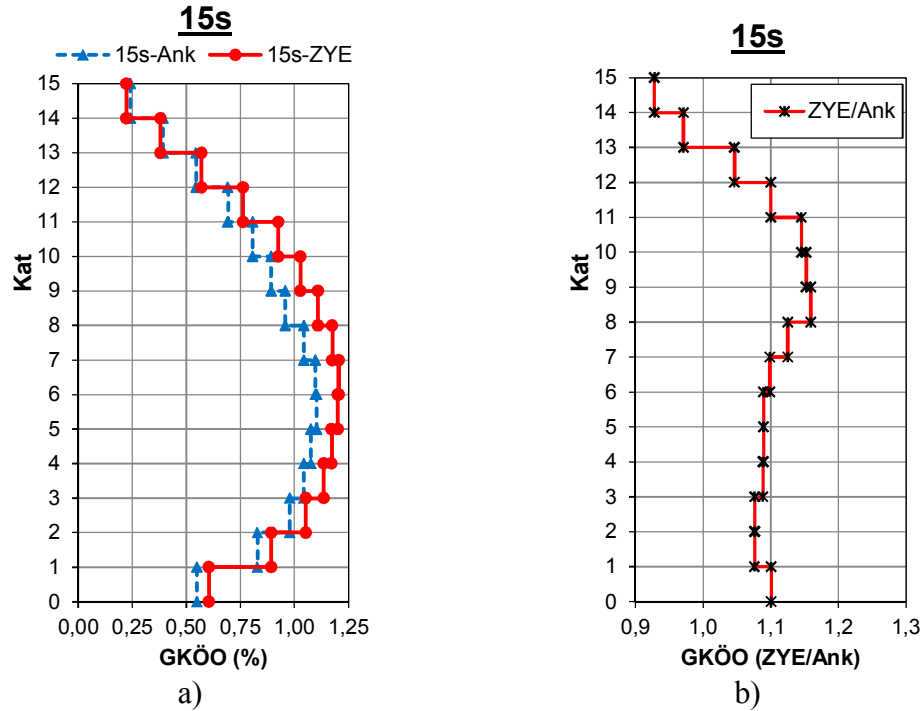


Şekil 7.7: 5 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama deplasman profillerinin karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı

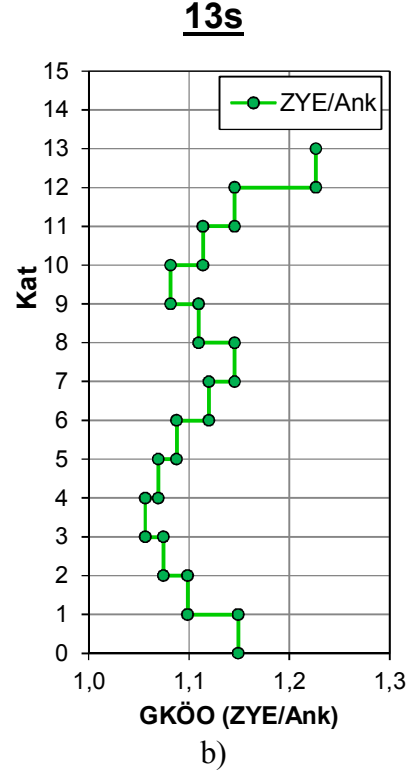
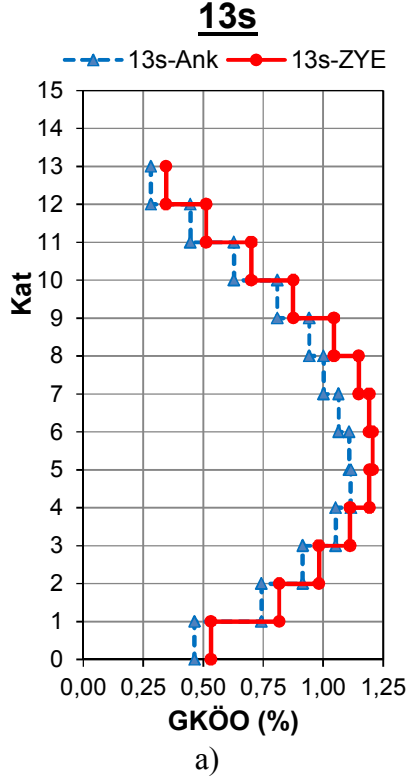
7.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması

Bu bölümde, çalışmada kullanılan ZYE modellerin görelî kat ötelenme oranları (GKÖ) incelenmiştir. 21 farklı ivme kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda, ivme kaydının her bir adımı için hesaplanan GKÖ değerlerinin maksimumları belirlenmiştir. 21 deprem kaydı için elde edilen maksimum GKÖ değerlerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır. ZYE modelleri için hesaplanan ortalama GKÖ değerleri ankastre modeller ile kıyaslanarak Şekil 7.8-7.12' de verilmiştir.

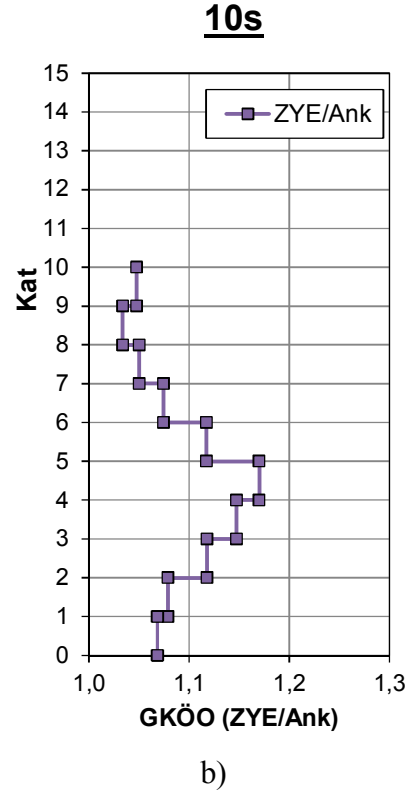
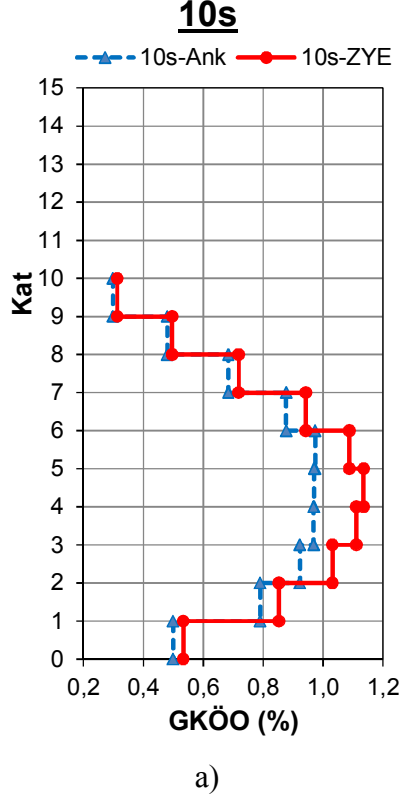
15 katlı binanın GKÖ değerleri alt katlarda %10, orta katlarında ise %16' ya varan artışlar gösterirken üst katlarında %7' ye varan azalmalar göstermektedir. Zemin ötelenmesi ve temel dönmelerinden dolayı alt katlarda görülen bu artış eğilimi, tüm bina modellerinde görülmektedir. 13, 10, 8 ve 5 katlı binaların zemin seviyesindeki artışlar sırasıyla; %15, %7, %20 ve %7 olarak elde edilmiştir. 5 ve 8 katlı binalar dışındaki binalarda GKÖ profili bina yüksekliği boyunca değişkendir. Ancak 5 ve 8 katlı binalarda GKÖ artışının üst katlara doğru düzgün bir şekilde azalması dikkat çekicidir. 5 katlı binada üst katlara doğru ankastre modele oranla daha az GKÖ elde edilmiştir.



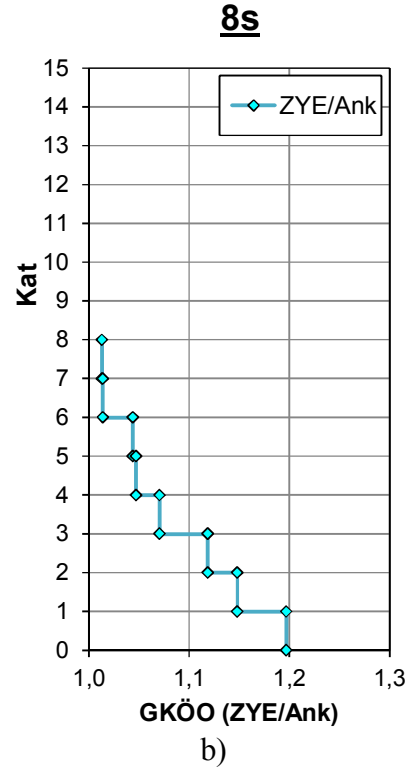
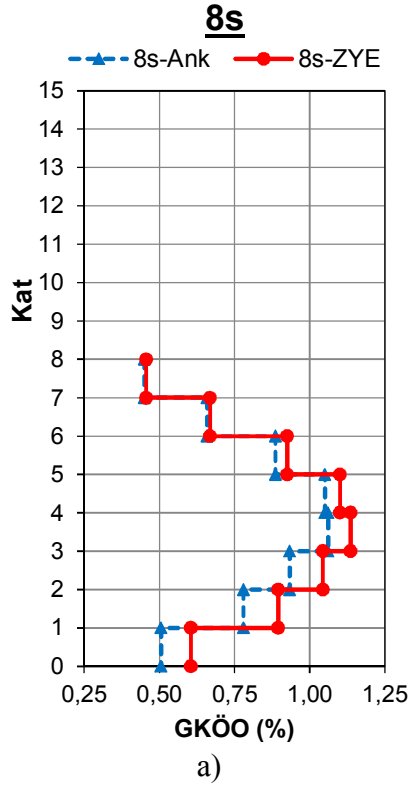
Şekil 7.8: a) 15 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görelî kat ötelenme oranlarının (GKÖ) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı



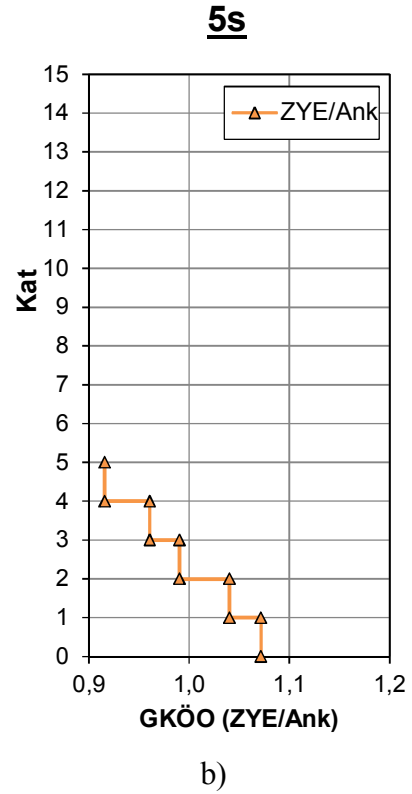
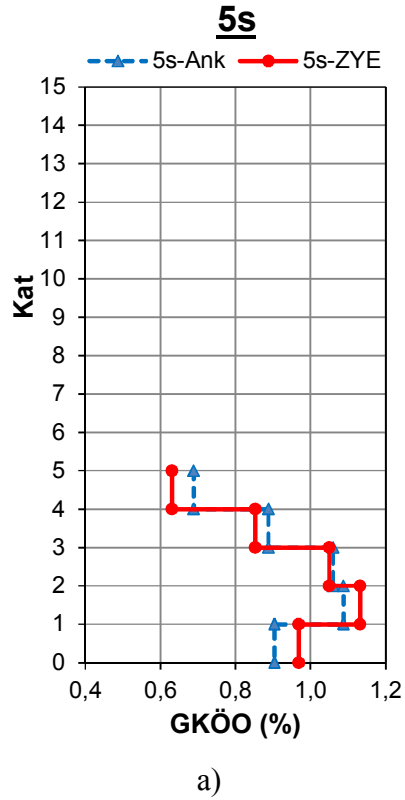
Şekil 7.9: a) 13 katlı binanın ZYE ve ankastr modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastr modellere oranı



Şekil 7.10: a) 10 katlı binanın ZYE ve ankastr modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖO) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastr modellere oranı



Şekil 7.11: a) 8 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖ) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı



Şekil 7.12: a) 5 katlı binanın ZYE ve ankastre modellerindeki ortalama görel kat ötelenme oranlarının (GKÖ) karşılaştırılması b) ZYE modellerinin ankastre modellere oranı

7.5 Yer Hareketi Parametreleri ile ZYE Modellerinin Talepleri Arasındaki Korelasyon İlişkileri

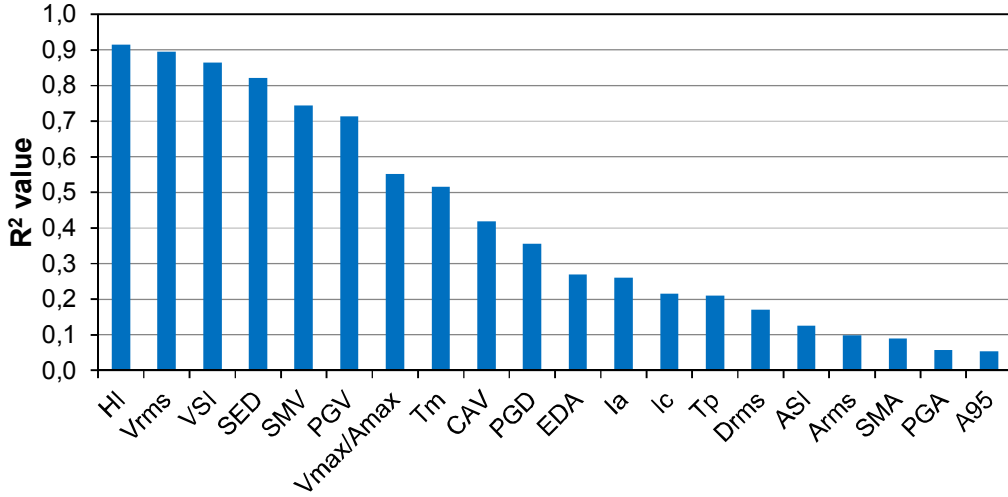
Önceki bölümlerde bahsedilen 5 farklı ZYE modeli için 21 farklı ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen deplasman talepleri bina yüksekliğine oranlanarak çatı ötelenme oranları hesaplanmıştır. Her bir bina modeli için 21 adet oran elde edilmiş ve bu oranların 20 farklı yer hareketi parametreleri (YHP) arasındaki korelasyon değerleri belirlenerek Tablo 7.2’ de verilmiştir. Ayrıca, her bir kayıt için tüm binaların çatı ötelenme oranlarının ortalaması hesaplanarak korelasyon değerleri sunulmuştur. Böylece, farklı bina yüksekliklerine sahip binaların değerlendirilmesinde bina yüksekliğinin etkisinin azaltılması sağlanmıştır (Özmen ve İnel 2016, Özmen 2016). Zemin profilinin yüzeyine karşılık gelen her bir ivme kaydının YHP değerleri SeismoSignal programı kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 7.2: Farklı kat adetlerine sahip ZYE modellerin çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki R^2 değerleri

Tip	Parametre	Birim	15s	13s	10s	8s	5s	Ort.
Hız	HI	m	0.798	0.81	0.856	0.874	0.923	0.914
	Vrms	m/s	0.865	0.861	0.814	0.846	0.823	0.895
	VSI	m	0.741	0.755	0.795	0.826	0.902	0.864
	SED	m ² /s	0.865	0.872	0.712	0.728	0.718	0.821
	SMV	m/s	0.716	0.737	0.612	0.670	0.684	0.744
	PGV	m/s	0.679	0.652	0.590	0.610	0.765	0.713
	CAV	m/s	0.448	0.515	0.267	0.260	0.348	0.418
Frek.	Vmax/Amx	s	0.594	0.517	0.555	0.503	0.448	0.551
	Tm	s	0.490	0.430	0.560	0.521	0.439	0.515
	Tp	s	0.012	0.031	0.035	0.043	0.026	0.210
Dep.	PGD	m	0.283	0.288	0.294	0.378	0.464	0.356
	Drms	m	0.118	0.130	0.132	0.185	0.306	0.170
İvme	EDA	g	0.009	0.012	0.013	0.033	0.120	0.270
	Ia	m/s	0.272	0.297	0.143	0.151	0.289	0.260
	Ic	-	0.185	0.227	0.118	0.148	0.275	0.216
	ASI	g*s	0.066	0.106	0.070	0.128	0.248	0.126
	Arms	g	0.03	0.062	0.053	0.087	0.199	0.099
	SMA	g	0.058	0.059	0.079	0.152	0.16	0.089
	PGA	g	0.036	0.034	0.043	0.062	0.128	0.057
	A95	g	0.034	0.031	0.042	0.061	0.124	0.053

Tablo 7.2' de verilen yer hareketi parametreleri ivme, hız, deplasman ve frekans tipleri olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Her bir gruptaki parametreler en yüksek R^2 değerinden en küçüğe doğru sıralanmıştır. Bina modellerinin potansiyel hasarının tahmininde, hız grubuna ait parametrelerin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Buna karşılık, ivme ve deplasman gruplarındaki parametrelerin korelasyonu oldukça zayıftır.

Tüm bina modellerinin ortalaması dikkate alınacak olursa; hız parametrelerinden HI, 0.914 R^2 değeri ile en güçlü korelasyona sahip olan parametredir. Yine hız grubundaki V_{rms} , VSI, SED, SMV ve PGV parametreleri oldukça güçlü korelasyon sunmaktadır. Bina modelleri ayrı ayrı incelenecek olursa, HI parametresinin R^2 değeri 0.923 olarak elde edilmiştir.

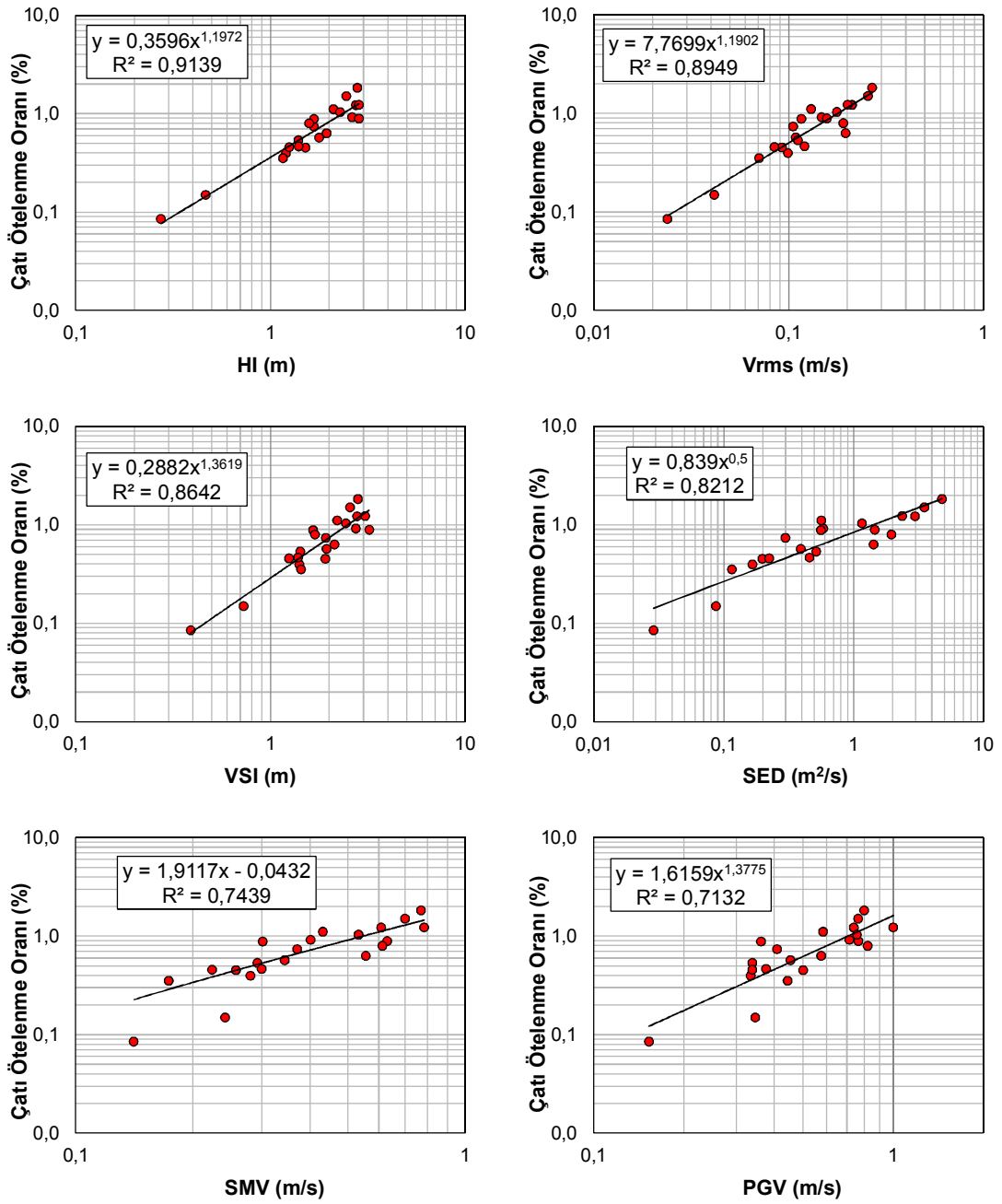


Şekil 7.13: Tüm bina modellerin ortalama çatı ötelenme oranlarının farklı yer hareketi parametreleri için R^2 değerleri

Farklı yer hareketi parametrelerine karşılık gelen R^2 değerleri Şekil 7.13' te verilmiştir. HI, V_{rms} , VSI, SED, SMV ve PGV parametrelerinin değerleri 0.70' ten büyüktür. En düşük korelasyon değeri A95 parametresine aittir.

Ortalama çatı ötelenme oranı ile yer hareketi parametreleri arasındaki korelasyon değeri yüksek olan 6 parametreye ait analiz sonuçları Şekil 7.14' te verilmiştir. Parametrelerin R^2 değerlerinin hesaplanması aşamasında üssel veya doğrusal bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bu iki farklı ilişki durumları için HI, V_{rms} , VSI, SED ve PGV parametreleri üssel bir ilişkiye sahip iken, SMV ise doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Ayrıca tüm binalar için elde edilen 105 adet çatı ötelenme oranı

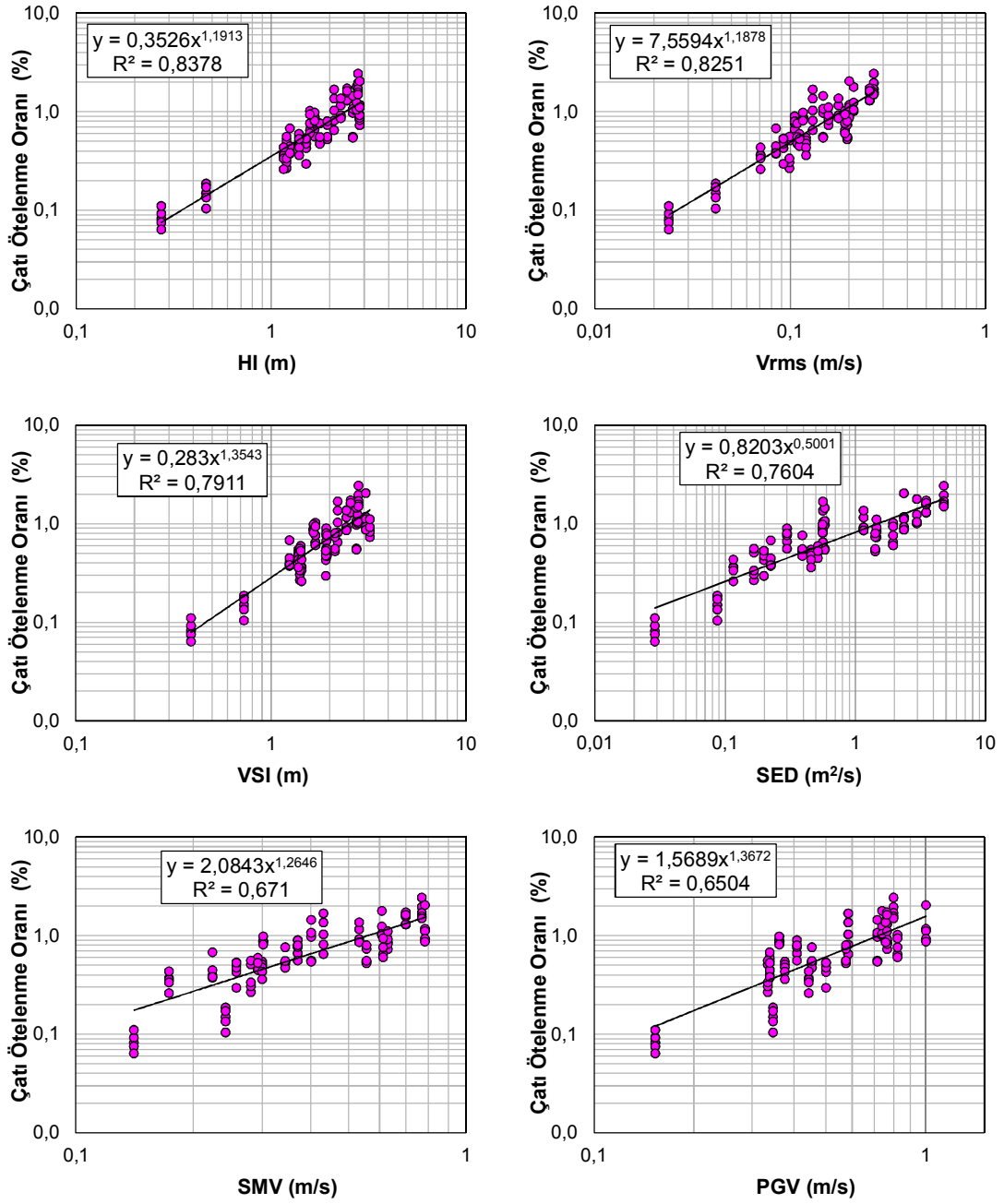
ile yer hareketi parametre ilişkileri Şekil 7.15' te sunulmuştur. Bu grafikler için üssel bir ilişki daha yüksek korelasyon değeri sunmuştur.



Şekil 7.14: 21 farklı ivme kaydının dinamik analizleri sonucu elde edilen ortalama çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişki

Şekil 7.13' te verilen denklemler ile hesaplanan tahmini çatı ötelenme oranları dinamik analiz sonuçları ile normalize edilmiştir. Bu oranlara ait ortalama, varyasyon katsayısı, maksimum ve minimum değerler Tablo 7.3' te yer almaktadır. Ortalama üzerindeki saçılımı temsil eden varyasyon katsayısı, HI parametresi için en

düşük değere sahiptir. Bu altı parametreden saçılımı en yüksek olan ise SMV parametresidir.



Şekil 7.15: 21 farklı ivme kaydı ve 5 farklı ZYE modelinin dinamik analizleri sonucu elde edilen çatı ötellenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişki

Tablo 7.3: Analiz sonuçları ile normalize edilen 6 farklı parametrenin istatistiksel değerleri

	HI	V _{rms}	VSI	SED	PGV	SMV
Maksimum	1.42	1.77	1.68	1.59	2.52	2.81
Minimum	0.67	0.62	0.57	0.64	0.45	0.61
Ortalama	1.02	1.03	1.04	1.05	1.08	1.17
Varyasyon Katsayısı	0.21	0.24	0.26	0.31	0.41	0.48

7.6 Talepler Açısından Daha İyi Korelasyonun Elde Edildiği Optimizasyon Çalışması

Bir önceki bölümde, sadece bir yer hareketi parametresi ile potansiyel hasar arasındaki korelasyon ilişkisi incelenmiştir. Bu bölümde ise potansiyel hasarı daha iyi yansıtabilen ve birden fazla parametrenin birlikte kullanıldığı birleşik parametre araştırılmıştır. 20 farklı parametre arasından seçilen çoklu parametrenin daha iyi korelasyon verip vermediği incelenmiştir. Bu çoklu parametrenin seçimi ve ağırlık katsayılarının belirlenmesi karmaşık bir problem olup, kısıtların yer aldığı optimizasyon problemi gibi düşünülerek ele alınmıştır. Analiz sonuçları ve birleşik parametrelerden elde edilen tahmini deplasmanlar arasındaki hataların karelerinin minimize edilmesi amaçlanarak daha iyi korelasyona sahip yeni bir denklem araştırılmıştır. Optimizasyon probleminin çözümünde sezgisel algoritmalarından Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmıştır.

Yer hareketi parametreleri ile çatı ötelenme oranlarının tahmin edilebilmesi için DGA' da matematiksel bir ifade bulunması gerekmektedir. Çoklu parametre için oldukça fazla seçenek olmasına rağmen kullanılabilir bir denklem elde etmek için parametre sayısının belirli limitler içerisinde tutulması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, 2, 3, 4, 5 ve 6 adet parametre ve bu parametrelerin ağırlık katsayılarını içeren 5 farklı denklem kullanılmıştır. Kullanımının basit ve sade olmasından dolayı doğrusal denklem formu tercih edilmiştir (Denklem 7.2-7.6). Denklem 7.2-7.6' da verilen x_i terimleri, yer hareketi parametrelerinin ağırlık katsayılarını ifade etmektedir. Bu değişkenler negatif veya pozitif değerler alabilmektedir. P_i , yirmi parametreden rastgele seçilen parametreleri temsil etmektedir. Denklem formlarında bu parametreler değişken terimi (x_i) gibi gözükmemesine rağmen, bu ifadeler tamsayı içeren değişkenlerdir.

$$E_1 = x_1 + x_2P_1 + x_3P_2 \quad (7.2)$$

$$E_2 = x_1 + x_2P_1 + x_3P_2 + x_4P_3 \quad (7.3)$$

$$E_3 = x_1 + x_2P_1 + x_3P_2 + x_4P_3 + x_5P_4 \quad (7.4)$$

$$E_4 = x_1 + x_2P_1 + x_3P_2 + x_4P_3 + x_5P_4 + x_6P_5 \quad (7.5)$$

$$E_5 = x_1 + x_2P_1 + x_3P_2 + x_4P_3 + x_5P_4 + x_6P_5 + x_7P_6 \quad (7.6)$$

Karar değişkenleri ve denklem formları belirlendikten sonra, amaç fonksiyonunun tanımlanması gerekmektedir. E₁-E₅ denklemleri ile analiz sonuçları arasındaki hataların minimum seviyede olması, daha güçlü bir ilişkiyi ortaya koyacaktır. Bu yüzden, amaç fonksiyonu Denklem 7.7 ile tanımlanmıştır. Amaç fonksiyonu, hataların karelerinin toplamının ortalamasını minimize etmeye çalışmaktadır. e_i her bir parametre için analiz ve tahmin değerleri arasındaki hataları simgelemektedir. n ise ivme kayıt sayısını vermektedir.

$$\min f(x) = \frac{\sum_1^n (e_i)^2}{n} + h_1(x) + h_2(x) \quad (7.7)$$

Denklem 7.7’ de verilen h₁(x) ve h₂(x) ifadeleri penaltı fonksiyonlarını ifade etmektedir. Seçilen bir parametrenin E₁-E₅ denklemlerinde sadece bir kez kullanılabilmesi amacıyla, h₁(x) fonksiyonu dikkate alınmıştır (Denklem 7.8). Ayrıca, E₁-E₅ denklemleri ile elde edilen çatı ötelenme oranlarının pozitif değere sahip olabilmesi için h₂(x) denklemi kullanılmıştır (Denklem 7.9). Bu penaltı fonksiyonları amaç fonksiyonunun etkili bir şekilde minimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Kısıt koşulları sağlandığı zaman penaltı fonksiyonları sıfır “0” değerini almaktadır. Koşulların sağlanamadığı durumda ise penaltı fonksiyonları aktif rol almaktadır (Kamal ve İnel 2019). Penaltı fonksiyonlarında, ayrı ayrı penaltı katsayısı (PC_i) uygulanmıştır.

$$h_1(x) = \begin{cases} PC_1 & \text{aynı parametre birden fazla seçilirse} \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad (7.8)$$

Diferansiyel Gelişim Algoritmasının popülasyon büyüklüğü (NP), mutasyon oranı (CR) ve ölçek faktörü (F) parametrelerinin sonuçlar üzerindeki duyarlılığı incelenmiştir. 3 farklı NP ve F ile 7 farklı CR değeri için toplam 63 (3x3x7) farklı grup oluşturulmuştur. Her bir grup için 10 kez analiz gerçekleştirilmiştir. Beş denklem formu için toplam 3150 analiz sonucuna ulaşılmıştır. Her bir analiz için toplam 1000 adım iterasyon belirlenmiştir. Tüm analizler sonucunda, E₃ denkleminin kullanımı ile birlikte en iyi R² değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır.

$$h_2(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } E_1, E_2 > 0 \\ PC_2 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (7.9)$$

Optimizasyon analizleri sonucunda, E₁-E₅ denklemlerindeki parametreler ve ağırlık katsayıları Denklem 7.10 ve 7.14' te verilmiştir. E₃ denkleminde en iyi korelasyonu veren birleşik parametre olarak I_a, SED, T_m ve HI parametreleri seçilmiştir. HI, SED, T_m ve I_a parametreleri ayrı ayrı tek başlarına dikkate alınsaydı, R² değerleri sırasıyla 0.91, 0.82, 0.52 ve 0.27 olarak elde edilmişti. Fakat bu parametrelerin E₃ denkleminde birleşik olarak kullanılması ile birlikte R² değeri 0.95 hesaplanmıştır. E₁, E₂, E₄ ve E₅ denklemleri için R² değerleri sırasıyla 0.94, 0.94, 0.93 ve 0.90 olarak hesaplanmıştır. E₁-E₅ denklemlerindeki parametreler yer ivmesi (g), saniye (s) ve metre (m) birimleri olarak kullanılmıştır.

$$E_1 = 0.034 + 0.1751 (SED) + 0.298 (HI) \quad (7.10)$$

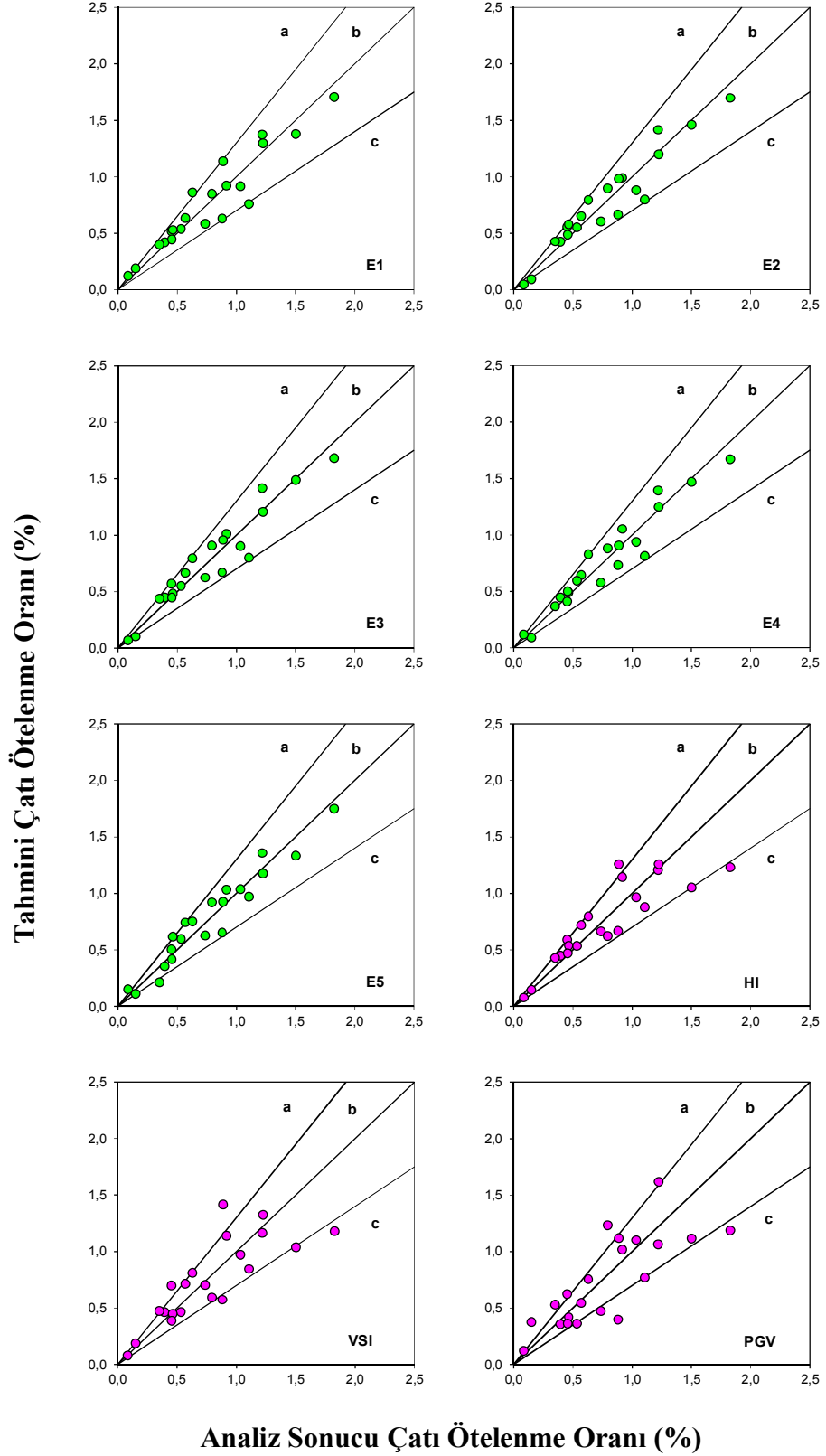
$$E_2 = 0.0275 - 0.0175 (I_a) + 0.1853 (SED) + 0.3495 (HI) \quad (7.11)$$

$$E_3 = 0.096 + 0.1922 (SED) + 0.3991 (HI) - 0.0269 (I_a) - 0.193 (T_m) \quad (7.12)$$

$$E_4 = 0.306 + 0.1946 (SED) + 1.118 (HI) - 0.329 (T_m) - 0.695 (VSI) - 0.00957 (CAV) \quad (7.13)$$

$$E_5 = 0.248 - 2.8 \left(\frac{V_{max}}{A_{max}} \right) + 1.56 (V_{rms}) - 1.414 (ASI) + 0.183 (VSI) + 1.506 (SMV) + 0.16 (HI) \quad (7.14)$$

E₁-E₅ denklemleri ve yer hareketi parametreleri kullanılarak tahmin edilen çatı ötelenme oranları ile analiz sonuçları arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Tahmin sonuçlarının analiz sonuçlarına oranı için istatistiksel değerler Tablo 7.4' te verilmiştir. Burada, önerilen denklemler ile en yüksek R² değerine sahip olan hız parametreleri kıyaslanmıştır. E₃ denkleminin performansı diğer tüm yer hareketi parametreleri ve önerilen diğer denklemlerden üstündür. Maksimum ve minimum değerler arasındaki farklar dikkat çekicidir. En iyi ortalama değerini E₂ denklemi sunarken, en kötüsünü ise SMV parametresi vermektedir. Ancak en az saçılıma E₃ sahiptir. Her bir parametre ve denklem için elde edilen Varyasyon Katsayıları (CoV), E₃ ile normalize edilmiştir. E₁ ve E₄ %6 fark ile E₃' e en yakın denklemlerdir. Ayrıca HI %24' ten daha az bir saçılım ile diğer parametrelerden daha iyi sonuç vermiştir. Görüldüğü üzere; 4 parametrenin kullanıldığı E₃ yerine iki parametreye ihtiyaç duyulan E₁' in kullanımı da makul sonuçlar verebilmekte ve kullanımı daha pratiktir.



Şekil 7.16: ZYE modelleri için analiz ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Yaygın parametrelerden VSI, PGV ve HI parametreleri ve E₁-E₅ denklemleri için elde edilen tahmini çatı ötelenme oranlarına karşılık analiz sonuçları değerleri

Şekil 7.16’ da çizdirilmiştir. Tahmin ile analiz sonuçlarının oranını temsil eden 3 farklı doğru çizdirilmiştir. b çizgisi tahmin ile analiz sonuçlarının eşleştiğini gösteren doğrudur (Tahmin/Analiz=1). a ve c çizgileri ise sırasıyla Tahmin/Analiz=1.3 ve Tahmin/Analiz=0.7 doğrularını temsil etmektedir. Bu a ve c doğruları, tahmin ile analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında saçılımı daha net ve temiz bir şekilde görmeyi sağlamaktadır. Sekiz farklı grafik incelendiğinde, önerilen denklemlere ait tahmin değerleri a ve c doğruları içerisinde yer almakta b doğrusuna daha yakın değerler sunmaktadır. Bu doğruların dışında en fazla tahmin değeri sunan parametre PGV olarak gözlenmiştir.

Tablo 7.4: E1-E5 ve yer hareketi parametreleri ile elde edilen tahmin sonuçlarının analiz sonuçlarına oranı için istatistiksel değerler

		Minimum	Maksimum	Ortalama	R ²	CoV	CoV (E _{i&P_i})/(E ₃)
Önerilen Denklemler	E₃	0.68	1.26	1.01	0.95	0.17	1.00
	E₁	0.69	1.43	1.05	0.94	0.18	1.06
	E₂	0.58	1.26	1.00	0.94	0.20	1.18
	E₄	0.61	1.40	1.02	0.93	0.18	1.06
	E₅	0.60	1.78	1.03	0.90	0.24	1.41
Parametre	HI	0.67	1.43	1.02	0.91	0.21	1.24
	Vrms	0.62	1.77	1.03	0.89	0.24	1.41
	VSI	0.65	1.59	1.04	0.86	0.26	1.53
	SED	0.57	1.68	1.05	0.82	0.31	1.82
	PGV	0.45	2.52	1.08	0.74	0.41	2.41
	SMV	0.61	2.81	1.17	0.71	0.48	2.82

8. YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANALİZ SONUÇLARI

8.1 Genel

Bu bölümde zemin-yapı-etkileşiminin dikkate alındığı komşu binalar arasındaki çekişleme etkisinin binaların sismik performansları üzerindeki etkileri incelenecektir. Bu amaçla, aynı kat yüksekliğine sahip 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme bina modelleri, kat seviyelerinden bağlanarak 10 adet yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modelleri oluşturulmuştur. İkili modeller arasında 0 ve 5 m derz mesafesi bırakılarak model sayısı 20' ye yükseltilmiştir. Buna ilave olarak bina diziliminin yapı performansına etkilerini irdeleyebilmek adına, komşu binaların dizilimi değiştirilerek toplam 30 adet YZYE modeli oluşturulmuştur.

İkili modellerin zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirebilmek için, 22 ivme kaydından oluşan bir deprem seti seçilmiştir. Seçilen yüzeysel ivme kayıtlarının 45 m derinlikte yer alan anakayadaki karşılıkları (deconvolution) DEEPSOIL programı ile hesaplanmıştır. Bu işlem sırasında RSN1615-H1 ivme kaydı rezonansa uğramış ve bu kayıt YZYE modellerinde kullanılmamıştır. 30 adet ikili model ve 21 adet ivme kaydı kullanılarak toplam 630 adet 3B zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda komşu binaların her bir kat ve çatı deplasman talepleri ve görelî kat ötelenme oranları ele alınmıştır. Grafiklerde yer alan isimlendirmelerde, kat adedi, mesnetlenme türü ve derz mesafesini yansıtan ifadeler kullanılmıştır. Örneğin; 15s-10s-YZYE-0m ifadesi, aralarında 0 m derz mesafesi bulunan, yapı-zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı 15 ve 10 katlı ikili modeli temsil etmektedir. Altı çizili olan ifadeler ise grafiklerde dikkate alınan binayı simgelemektedir.

8.2 Çatı Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması

Dinamik analizler sonucunda binaların temel seviyesindeki ve çatı katındaki deplasman talepleri elde edilmiştir. Temel dönmesi ve zemin ötelenme talep değerleri, toplam bina talebinden çıkarılarak, yapının talebi hesaplanmıştır. YZYE modellerinin her bir deprem için elde edilen çatı deplasman talepleri ve Ank-5m modellerine ait ortalama deplasman talepleri Tablo 8.1-8.10' da verilmiştir. YZYE modellerinde RSN1615-H1 ivme kaydı kullanılmadığı için ortalama talepler 21 ivme kaydı için hesaplanmıştır. Bu durum göz önünde bulundurularak ankastre modellerde de ortalama talepler 21 ivme kaydı için tekrar hesaplanmış ve Tablo 8.1-8.10' da verilmiştir. Bölüm 6' da Ankastre modeller için verilen ortalama taleplerin 22 ivme kaydına ait olduğu unutulmamalıdır.

Her bir deprem için YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman talepleri ankastre mesnetli modellere oranlanarak Şekil 8.1-8.5' te verilmiştir. Yeterli derz mesafesini temsil eden modeller YZYE-5m olarak isimlendirilmiştir. Bina dizilimleri değiştirilerek iki farklı YZYE-0m modeli oluşturulduğu için bu iki model YZYE-0m-a ve YZYE-0m-b olarak etiketlenmiştir. Grafiklerde YZYE modellerindeki binalar kat adetleri ile gösterilmiştir. İkili binadaki diğer binalar ise "x" olarak belirtilmiştir. Örneğin "x-5s" grafiği, 5 katlı binanın 8, 10, 13 ve 15 katlı binalar ile olan etkileşimi sonucu deplasman oranlarını göstermektedir.

Şekil 8.1-8.5 incelendiğinde, YZYE modellerindeki binaların yüksekliği arttıkça deplasman oranı saçılımı azalmaktadır. Buna karşılık bina yüksekliğinin azaldığı 5 ve 8 katlı binalarda ise saçılım artmaktadır. Ayrıca yetersiz derz mesafesinin bulunduğu durumlarda (YZYE-0m) saçılımlar daha da belirgin hale gelmektedir. Tüm YZYE modelleri için ortalama deplasman talepleri elde edilmiştir. Bu ortalama deplasman taleplerinin ankastre modellere oranı (β) Şekil 8.6-8.10' da verilmiştir. Bu grafiklerdeki YZYE-0m eğrileri çizdirilirken, YZYE-0m-a ve YZYE-0m-b modelleri için elde edilen ortalama deplasman değerlerinin maksimumu dikkate alınmıştır.

Çarpışma etkisinin görülmediği fakat zemin etkileşiminin görüldüğü YZYE-5m modellerindeki ortalama deplasman büyütme faktörleri (β) her bina için Şekil 8.6-8.10' da verilmektedir. 5 katlı bina modelinin 8, 10, 13 ve 15 katlı binalar ile

zemin etkileşimine girmesi sonucu ortalama çatı deplasman talebi sırasıyla %11, %13, %19 ve %14 artış göstermektedir. Bu bina modelinin daha ağır yapılar ile sadece zemin etkileşimi sonucu talepler ciddi oranda değişmektedir. Şekil 8.6' da, 5 katlı binanın farklı kat adedine sahip binalar ile ikili model oluşturulması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.706 olan bu eğri, Denklem 8.1 ile tanımlanmıştır. N, komşu bina kat adedini temsil etmektedir. Bu binanın hem zemin etkileşimi hem de yetersiz derz mesafesi olması durumunda (YZYE-0m), çatı deplasman talebi sırasıyla %15 (8 katlı), %21 (10 katlı), %30 (13 katlı) ve %29 (15 katlı) artış göstermektedir. Bu değerler için Şekil 8.6' da talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.965 olan bu eğri, Denklem 8.2 ile tanımlanmıştır. Görüldüğü üzere YZYE-0m için 5 katlı binanın talepleri ciddi bir şekilde artmaktadır.

$$\beta_{YZYE-5m-5s} = -0,004N^2 + 0,0977N + 0,5736 \quad (8.1)$$

$$\beta_{YZYE-0m-5s} = -0,003N^2 + 0,1N + 0,567 \quad (8.2)$$

8 katlı binada çarpışma etkisi görülmesi dahi zemin etkilerinden dolayı talep değerleri artmaktadır. 5, 10, 13 ve 15 katlı binalar ile sadece zemin etkileşimi sonucu (YZYE-5m) ortalama çatı deplasman talebi sırasıyla %11, %13, %15 ve %16 artış göstermektedir. Çarpışma etkilerinin görülmemesi nedeniyle 8 katlı binanın komşu binalardan etkilenmesi benzer sonuçlar (%11-16) vermektedir. Şekil 8.7' de, 8 katlı binanın farklı kat adetlerine sahip binalar ile ikili model oluşturulması durumundaki talep artış eğrisi verilmektedir. R^2 değeri 0.934 olan bu eğri, Denklem 8.3 ile tanımlanmıştır.

8 katlı binanın YZYE-0m modellerindeki talep artışları 5, 10, 13 ve 15 katlı bina için sırasıyla %22, %15, %26 ve %28' dir. Şekil 8.7' de bu binaya ait talep artış eğrisi verilmiştir. R^2 değeri 0.784 olan bu eğri, Denklem 8.4 ile tanımlanmıştır. Yine, 8 katlı binanın YZYE-0m modellerindeki talepleri YZYE-5m modellerinden yüksektir.

$$\beta_{YZYE-5m-8s} = 0,0045N + 1,09 \quad (8.3)$$

$$\beta_{YZYE-0m-8s} = 0,003N^2 - 0,058N + 1,419 \quad (8.4)$$

10 katlı binada çarpışma etkisi görülmesi dahi zemin etkilerinden dolayı talep değerleri; 5, 8, 13 ve 15 katlı binalar için sırasıyla %13, %13, %15 ve %15 artış göstermektedir. Çarpışma etkilerinin görülmemesi nedeniyle 10 katlı binanın komşu binalardan etkilenmesi benzer sonuçlar (%13-15) vermektedir. YZYE-0m modellerindeki talep artışları ise 5, 8, 13 ve 15 katlı bina için sırasıyla %18, %16, %20 ve %26' dır. Şekil 8.8' de bu binaya ait artış talep eğrisi verilmiştir. R² değeri 0.784 olan bu eğri, Denklem 8.5 ile tanımlanmıştır.

$$\beta_{YZYE-0m-10s} = 0,003N^2 + 0,045N + 1,34 \quad (8.5)$$

13 katlı binada çarpışma etkisi görülmesi dahi zemin etkilerinden dolayı talep değerleri; 5, 8, 10 ve 15 katlı binalarla mesafeli ikili olarak modellenmesi durumunda sırasıyla %9, %8, %7 ve %6 artış göstermektedir. Bu artışların (%6-9) benzer olmasından dolayı, çarpışmanın görülmediği durumda 13 katlı binanın komşu binaların kat adedinden pek etkilenmediği söylenebilir. YZYE-0m modellerinde, zemin ve çarpışma etkisi ile talep artışları 5, 8, 10 ve 15 katlı bina komşulukları için sırasıyla %11, %8, %4 ve %9' dur. Şekil 8.9' da bu binaya ait artış talep eğrisi verilmiştir. R² değeri 0.817 olan bu eğri, Denklem 8.6 ile tanımlanmıştır.

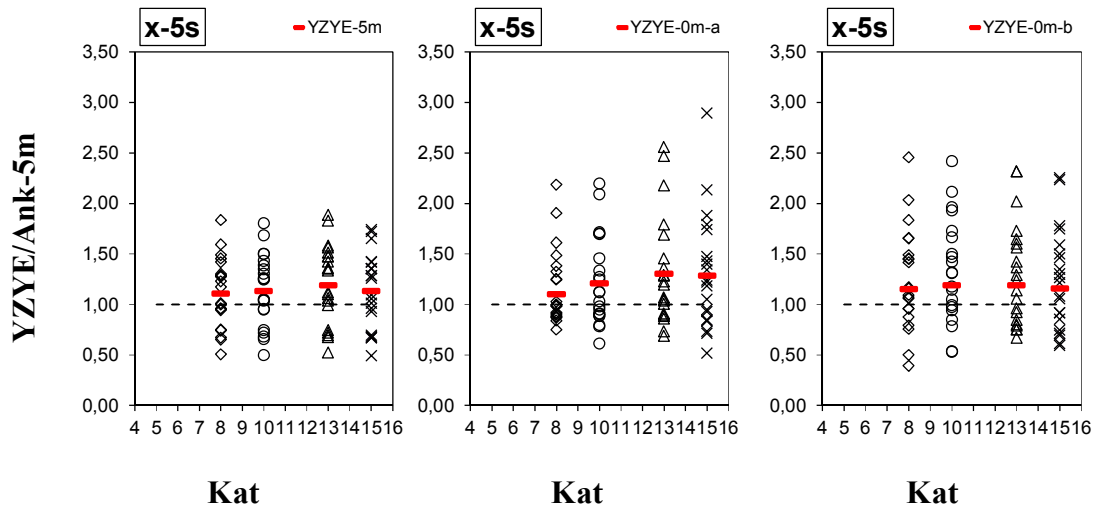
$$\beta_{YZYE-0m-13s} = 0,002N^2 - 0,042N + 1,275 \quad (8.6)$$

15 katlı binanın 5, 8, 10 ve 13 katlı binalarla yeterli derz mesafesi ile birlikte ikili olarak modellenmesi durumunda, zemin etkilerinden dolayı deplasman talepleri sırasıyla %11, %10, %10 ve %10 artış göstermektedir. Çarpışma etkilerinin görülmemesi durumunda zemin etkisi nedeni ile 15 katlı binanın komşu binalardan etkilenmesinin kat sayısından bağımsız olarak %10 civarında artış şeklinde olduğu ifade edilebilir. 15 katlı binanın YZYE-0m modellerinde zemin ve çarpışmanın etkisi ile talep artışları 5, 8, 10 ve 13 katlı binalar ile komşulukları durumunda sırasıyla %14, %15, %9 ve %10 şeklindedir. Şekil 8.10' da bu binaya ait artış talep eğrisi verilmiştir. R² değeri 0.619 olan bu eğri, Denklem 8.7 ile tanımlanmıştır.

$$\beta_{YZYE-0m-15s} = -0,012N + 1,201 \quad (8.7)$$

Tablo 8.1: 15 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

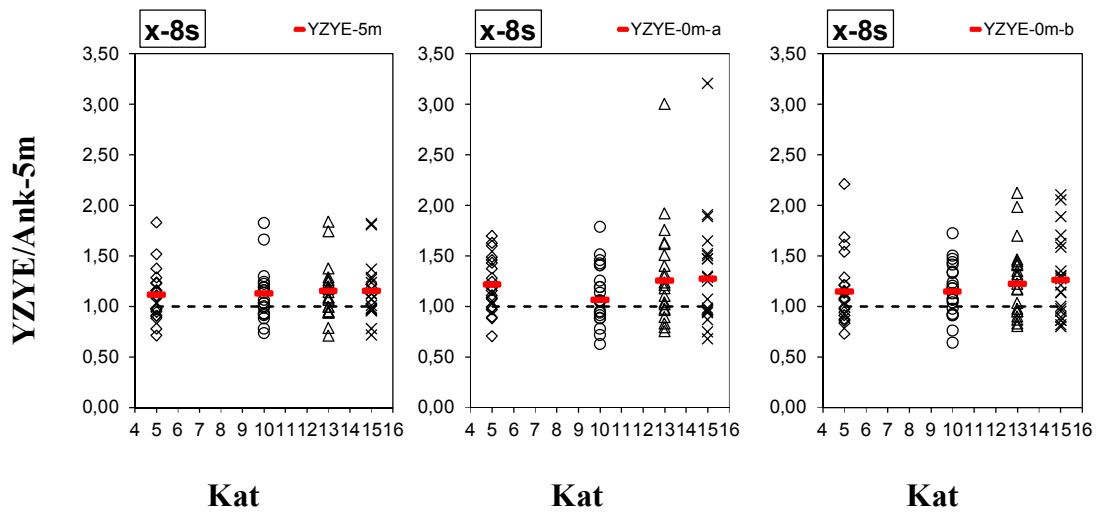
İvme Kaydı	15s			5s		
	15s-5s- YZYE-5m	15s-5s- YZYE-0m	5s-15s- YZYE-0m	15s-5s- YZYE-5m	15s-5s- YZYE-0m	5s-15s- YZYE-0m
	a		b	a		b
RSN1082-h1	294,41	293,90	331,56	137,59	145,13	186,45
RSN1082-h2	254,16	255,48	256,97	238,53	258,18	275,23
RSN1615-h2	113,39	124,00	135,40	50,46	60,68	54,39
RSN165-h1	228,14	236,70	251,95	137,73	182,20	137,15
RSN165-h2	399,93	390,45	420,98	263,69	273,00	155,45
RSN3935-h1	67,28	67,68	68,11	12,41	17,22	19,58
RSN4849-h1	162,55	158,57	169,18	69,87	63,68	68,78
RSN4849-h2	200,47	201,75	194,83	79,65	85,47	85,06
RSN5619-h1	410,22	454,17	435,85	139,69	152,32	74,57
RSN5619-h2	268,90	229,09	267,58	77,13	77,61	96,60
RSN5805-h1	252,57	245,07	284,17	60,30	76,52	69,50
RSN5805-h2	170,14	165,22	158,36	62,68	43,04	49,03
RSN5825-h1	1101,35	1126,22	1259,10	216,04	461,76	253,03
RSN5825-h2	762,98	749,07	753,34	182,78	309,79	254,49
RSN5829-h1	493,02	424,62	478,66	294,62	338,97	195,75
RSN5829-h2	348,28	361,49	315,93	280,16	353,31	256,44
RSN6893-h1	507,09	584,15	514,13	220,85	157,26	286,01
RSN6893-h2	274,81	281,67	330,50	114,27	165,51	154,01
RSN8606-h1	488,61	513,95	446,10	147,90	140,61	173,26
RSN8606-h2	560,50	629,85	549,60	316,52	162,84	324,54
RSN3935-h2	36,75	34,24	36,20	8,31	8,67	11,68
Ortalama (YZYE)	352,17	358,44	364,69	148,15	168,28	151,48
Ortalama (Ank-5m)		318,70			130,52	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,11	1,12	1,14	1,14	1,29	1,16



Şekil 8.1: Farklı derz mesafeli 5 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması

Tablo 8.2: 15 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

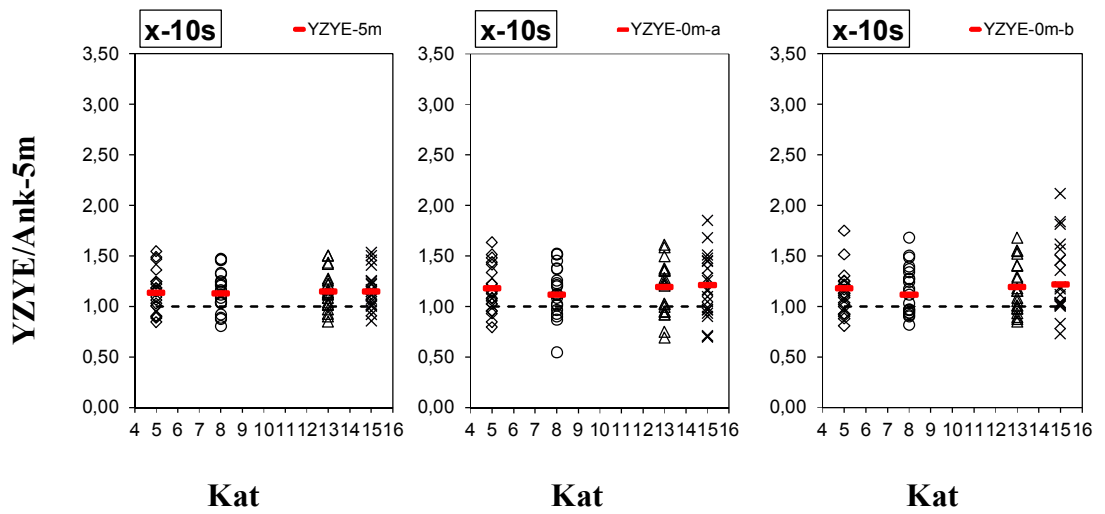
İvme Kaydı	15s			8s		
	15s-8s- YZYE-5m	15s-8s- YZYE-0m	8s-15s- YZYE-0m	15s-8s- YZYE-5m	15s-8s- YZYE-0m	8s-15s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	286,91	287,47	367,45	210,26	270,04	130,99
RSN1082-h2	254,71	276,07	258,30	288,80	278,93	296,95
RSN1615-h2	124,17	161,44	140,21	125,75	143,19	95,98
RSN165-h1	220,49	241,99	183,13	152,95	182,99	190,75
RSN165-h2	381,70	368,10	427,51	328,93	345,46	234,30
RSN3935-h1	67,84	78,20	73,24	31,86	32,08	40,37
RSN4849-h1	166,13	115,60	163,70	69,41	115,65	77,10
RSN4849-h2	215,81	164,98	206,07	120,18	175,95	113,64
RSN5619-h1	396,99	460,24	466,66	249,09	291,08	190,01
RSN5619-h2	254,22	304,70	244,21	97,57	130,88	183,45
RSN5805-h1	245,88	237,04	293,95	108,10	174,82	121,11
RSN5805-h2	172,40	239,94	199,00	111,91	110,78	155,72
RSN5825-h1	1076,45	1004,06	1134,76	401,67	711,86	455,73
RSN5825-h2	781,31	881,30	662,88	342,32	241,35	426,22
RSN5829-h1	503,79	410,62	526,73	233,29	359,59	238,10
RSN5829-h2	337,72	380,43	398,64	237,99	226,21	296,15
RSN6893-h1	514,26	505,31	450,78	251,67	231,29	408,20
RSN6893-h2	264,23	312,83	236,24	212,09	169,06	218,93
RSN8606-h1	461,15	489,48	372,23	170,26	149,13	257,97
RSN8606-h2	587,30	686,89	552,77	443,74	281,22	429,87
RSN3935-h2	35,26	36,19	37,57	17,52	15,53	20,23
Ortalama (YZYE)	349,94	363,95	352,19	200,25	220,81	218,18
Ortalama (Ank-5m)		317,39			173,11	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,10	1,15	1,11	1,16	1,28	1,26



Şekil 8.2: Farklı derz mesafeli 8 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması

Tablo 8.3: 15 ve 10 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

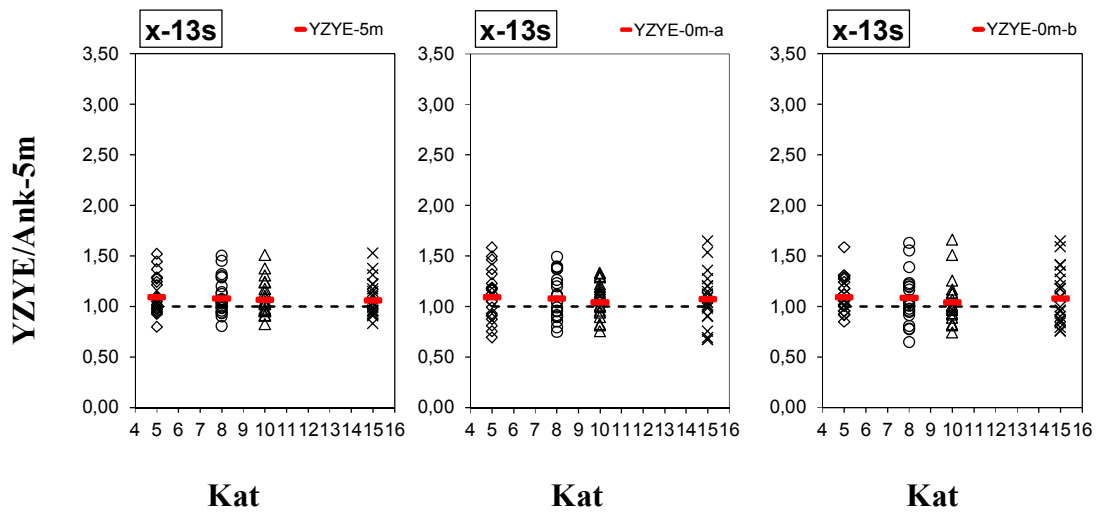
İvme Kaydı	15s			10s		
	15s-10s- YZYE-5m	15s-10s- YZYE-0m	10s-15s- YZYE-0m	15s-10s- YZYE-5m	15s-10s- YZYE-0m	10s-15s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	286,83	223,40	353,33	221,21	232,79	150,64
RSN1082-h2	253,72	285,49	258,96	290,37	224,35	317,83
RSN1615-h2	120,77	125,12	140,25	155,71	167,81	133,69
RSN165-h1	220,51	254,81	182,18	161,32	206,63	196,10
RSN165-h2	384,29	334,16	424,10	282,60	347,95	224,68
RSN3935-h1	66,16	78,89	73,95	52,53	41,37	47,42
RSN4849-h1	164,96	110,08	164,41	107,16	138,50	107,12
RSN4849-h2	204,83	155,42	226,49	157,54	172,81	147,07
RSN5619-h1	395,79	408,74	472,22	271,20	376,19	264,29
RSN5619-h2	260,27	274,70	250,37	163,60	136,22	234,93
RSN5805-h1	239,85	271,45	275,43	143,01	169,90	155,49
RSN5805-h2	176,13	220,02	170,83	209,27	131,04	198,53
RSN5825-h1	1078,12	947,19	1181,70	555,44	843,97	511,10
RSN5825-h2	769,59	803,58	554,24	315,37	295,54	463,56
RSN5829-h1	490,38	414,61	498,11	265,66	401,00	273,96
RSN5829-h2	350,41	384,69	318,28	275,98	221,93	349,12
RSN6893-h1	506,00	492,81	397,27	263,21	252,65	379,19
RSN6893-h2	267,37	299,19	217,76	210,32	154,26	226,88
RSN8606-h1	467,96	488,84	350,84	154,91	142,82	305,22
RSN8606-h2	571,88	662,85	534,65	443,56	329,36	492,55
RSN3935-h2	36,01	38,41	41,70	34,22	23,40	24,31
Ortalama (YZYE)	348,18	346,40	337,48	225,44	238,60	247,79
Ortalama (Ank-5m)		317,71			196,09	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,10	1,09	1,06	1,15	1,22	1,26



Şekil 8.3: Farklı derz mesafeli 10 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması

Tablo 8.4: 15 ve 13 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

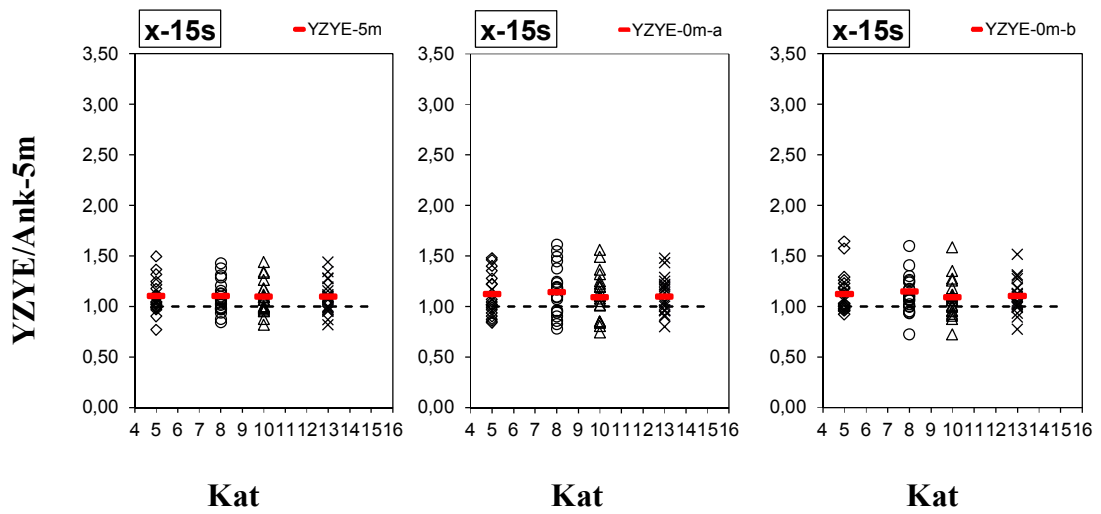
İvme Kaydı	15s			13s		
	15s-13s- YZYE-5m	15s-13s- YZYE-0m	13s-15s- YZYE-0m	15s-13s- YZYE-5m	15s-13s- YZYE-0m	13s-15s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	292,36	273,42	344,14	277,99	307,06	234,85
RSN1082-h2	254,65	259,71	258,13	239,82	245,56	240,29
RSN1615-h2	121,79	142,43	132,96	145,22	118,08	151,90
RSN165-h1	220,62	267,12	196,81	226,55	152,49	261,13
RSN165-h2	385,87	326,27	404,98	298,47	375,76	274,72
RSN3935-h1	66,49	75,34	68,12	80,18	56,12	66,06
RSN4849-h1	165,04	145,12	177,84	139,16	156,08	110,64
RSN4849-h2	204,86	154,22	214,96	156,31	221,29	146,19
RSN5619-h1	400,62	359,29	473,13	390,15	449,17	355,78
RSN5619-h2	261,21	310,32	244,43	252,69	195,32	272,33
RSN5805-h1	242,18	258,86	284,42	236,61	263,43	198,75
RSN5805-h2	178,04	189,26	191,74	160,09	156,47	189,70
RSN5825-h1	1093,91	1015,03	1232,54	887,26	1001,64	732,52
RSN5825-h2	786,95	794,08	616,37	403,04	398,68	606,28
RSN5829-h1	493,19	456,67	526,44	412,15	456,04	389,14
RSN5829-h2	350,94	391,25	336,27	357,50	230,64	372,22
RSN6893-h1	511,38	513,42	437,76	382,13	376,66	440,33
RSN6893-h2	260,98	292,22	229,87	183,91	220,32	225,84
RSN8606-h1	464,48	503,59	408,49	321,44	299,10	405,09
RSN8606-h2	578,77	634,53	558,95	481,19	442,88	530,33
RSN3935-h2	36,45	36,70	37,81	40,27	32,32	32,35
Ortalama (YZYE)	350,99	352,33	351,25	289,15	293,10	296,97
Ortalama (Ank-5m)		320,08			272,04	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,10	1,10	1,10	1,06	1,08	1,09



Şekil 8.4: Farklı derz mesafeli 13 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması

Tablo 8.5: 13 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

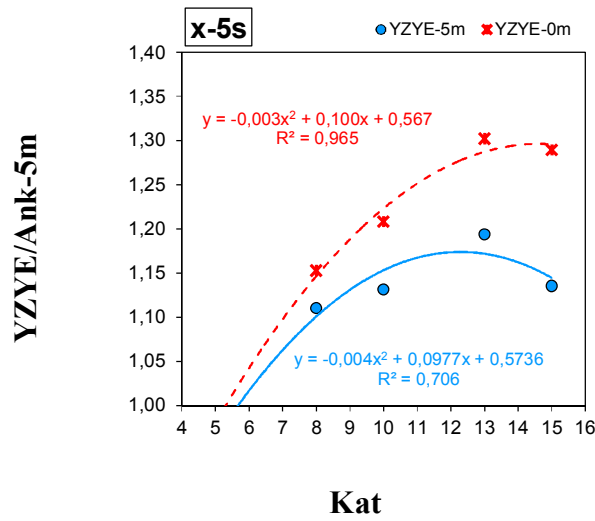
İvme Kaydı	13s			5s		
	13s-5s- YZYE-5m	13s-5s- YZYE-0m	5s-13s- YZYE-0m	13s-5s- YZYE-5m	13s-5s- YZYE-0m	5s-13s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	263,59	251,86	325,99	133,30	143,45	196,89
RSN1082-h2	250,54	327,34	240,32	242,37	283,27	301,00
RSN1615-h2	138,94	120,72	147,46	51,05	77,92	61,82
RSN165-h1	242,13	270,10	245,55	147,12	185,74	162,30
RSN165-h2	310,65	300,63	360,35	261,43	274,11	197,69
RSN3935-h1	80,66	79,79	76,64	13,51	16,43	29,03
RSN4849-h1	144,92	146,91	129,32	78,42	66,71	79,62
RSN4849-h2	160,81	128,35	150,80	85,63	82,31	95,75
RSN5619-h1	399,13	431,39	393,27	148,73	177,10	78,00
RSN5619-h2	264,17	252,44	250,32	80,58	70,66	110,59
RSN5805-h1	244,07	212,15	183,99	63,98	70,18	52,75
RSN5805-h2	169,28	202,01	192,32	68,22	46,69	59,90
RSN5825-h1	881,92	821,21	990,01	250,47	404,48	273,21
RSN5825-h2	389,77	407,90	385,37	196,29	363,32	242,23
RSN5829-h1	413,92	337,37	412,37	314,75	336,45	263,18
RSN5829-h2	348,23	212,84	291,41	285,90	379,20	282,67
RSN6893-h1	386,31	479,48	375,48	239,19	151,63	293,52
RSN6893-h2	182,58	197,54	245,67	126,06	161,41	146,93
RSN8606-h1	301,85	326,42	286,11	158,01	122,78	165,76
RSN8606-h2	502,77	583,98	509,96	341,24	165,69	178,01
RSN3935-h2	39,96	37,46	41,14	8,78	14,52	12,65
Ortalama (YZYE)	291,25	291,80	296,85	156,91	171,14	156,36
Ortalama (Ank-5m)		267,21			131,45	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,09	1,09	1,11	1,19	1,30	1,19



Şekil 8.5: Farklı derz mesafeli 15 katlı YZYE modelleri ile Ank-5m modelinin karşılaştırılması

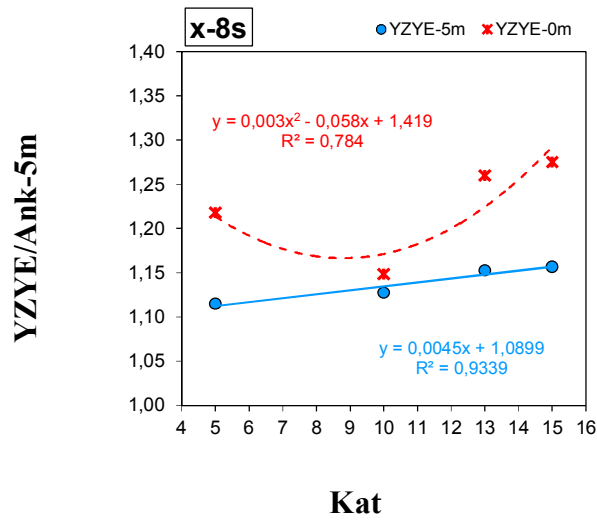
Tablo 8.6: 13 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

İvme Kaydı	13s			8s		
	13s-8s- YZYE-5m	13s-8s- YZYE-0m	8s-13s- YZYE-0m	13s-8s- YZYE-5m	13s-8s- YZYE-0m	8s-13s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	259,68	236,11	341,12	207,50	267,76	156,27
RSN1082-h2	245,76	331,71	240,02	279,99	248,19	291,04
RSN1615-h2	140,44	139,05	134,65	126,38	155,06	91,54
RSN165-h1	230,36	230,41	177,36	153,85	193,23	175,68
RSN165-h2	301,08	288,37	371,00	330,59	345,15	232,11
RSN3935-h1	79,16	72,92	62,34	31,36	32,09	43,76
RSN4849-h1	144,77	119,56	155,41	69,57	107,73	79,83
RSN4849-h2	163,07	192,86	191,51	119,03	157,97	123,04
RSN5619-h1	388,68	380,16	368,61	248,89	301,66	202,00
RSN5619-h2	254,41	233,20	219,18	94,76	130,79	184,37
RSN5805-h1	225,15	190,99	195,37	109,05	160,22	129,55
RSN5805-h2	168,75	236,06	206,03	113,00	101,73	159,79
RSN5825-h1	844,50	836,66	855,47	393,87	678,08	447,93
RSN5825-h2	411,47	495,71	377,99	345,75	260,31	426,46
RSN5829-h1	419,31	334,68	423,41	233,10	306,71	236,46
RSN5829-h2	342,71	205,67	316,40	234,98	249,27	266,49
RSN6893-h1	384,96	418,06	356,80	250,59	218,80	309,64
RSN6893-h2	188,67	185,55	199,65	213,86	189,85	210,63
RSN8606-h1	299,16	311,88	180,96	173,06	156,44	216,84
RSN8606-h2	507,28	583,44	454,32	443,66	297,82	438,47
RSN3935-h2	39,06	39,21	39,01	17,02	21,00	20,83
Ortalama (YZYE)	287,54	288,68	279,36	199,52	218,09	211,56
Ortalama (Ank-5m)		266,46			173,08	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,08	1,08	1,05	1,15	1,26	1,22

**Şekil 8.6:** Farklı derz mesafeli 5 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı

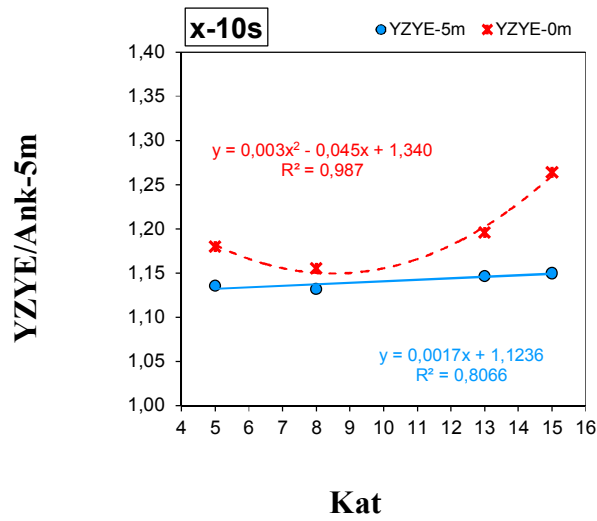
Tablo 8.7: 13 ve 10 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

İvme Kaydı	13s			10s		
	13s-10s- YZYE-5m	13s-10s- YZYE-0m	10s-13s- YZYE-0m	13s-10s- YZYE-5m	13s-10s- YZYE-0m	10s-13s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	266,44	225,33	315,53	219,80	248,26	182,23
RSN1082-h2	243,41	311,77	240,58	285,85	220,10	312,77
RSN1615-h2	143,48	163,63	142,47	153,62	168,09	111,62
RSN165-h1	228,82	246,64	201,59	157,84	178,08	181,37
RSN165-h2	296,91	276,54	342,48	285,79	306,25	242,00
RSN3935-h1	77,22	80,60	66,31	52,01	45,60	58,98
RSN4849-h1	137,81	107,74	166,77	105,97	141,18	102,34
RSN4849-h2	162,32	167,64	157,76	157,28	152,47	144,25
RSN5619-h1	385,67	351,66	368,58	267,84	349,44	270,66
RSN5619-h2	249,48	253,29	173,02	162,76	135,13	201,92
RSN5805-h1	229,90	200,45	193,98	144,56	153,60	158,44
RSN5805-h2	163,97	227,52	152,99	203,59	101,15	206,02
RSN5825-h1	854,36	778,56	919,77	552,81	784,64	431,44
RSN5825-h2	398,44	423,19	364,18	312,56	347,45	294,39
RSN5829-h1	408,51	338,63	416,68	257,77	332,72	267,87
RSN5829-h2	346,85	205,49	288,17	271,91	231,13	321,79
RSN6893-h1	377,59	389,92	342,28	262,59	238,33	304,85
RSN6893-h2	184,66	208,70	220,46	206,60	204,49	198,61
RSN8606-h1	306,85	320,58	208,05	155,29	146,23	222,32
RSN8606-h2	482,82	520,55	443,73	449,52	383,42	484,91
RSN3935-h2	39,08	41,55	43,85	33,65	33,76	30,49
Ortalama (YZYE)	284,98	278,09	274,73	223,79	233,41	225,20
Ortalama (Ank-5m)		267,42			195,19	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,07	1,04	1,03	1,15	1,20	1,15

**Şekil 8.7:** Farklı derz mesafeli 8 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı

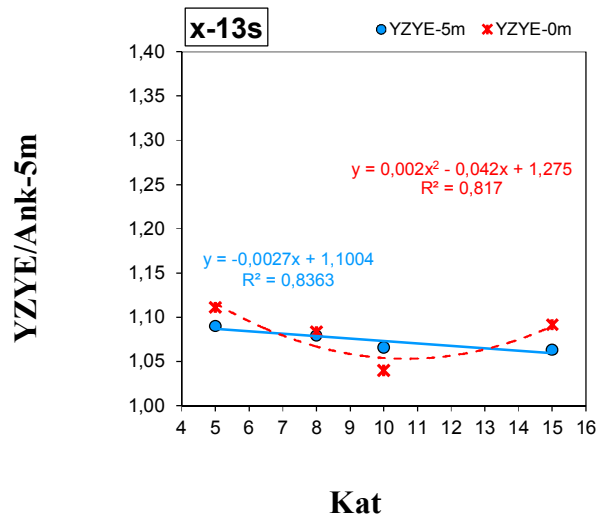
Tablo 8.8: 10 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

İvme Kaydı	10s			5s		
	10s-5s- YZYE-5m	10s-5s- YZYE-0m	5s-10s- YZYE-0m	10s-5s- YZYE-5m	10s-5s- YZYE-0m	5s-10s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	218,29	180,28	228,69	132,60	151,15	170,20
RSN1082-h2	287,60	388,64	293,70	233,97	251,43	294,39
RSN1615-h2	146,92	143,31	149,39	54,91	66,51	57,78
RSN165-h1	153,67	153,66	201,18	134,30	180,41	125,02
RSN165-h2	289,69	288,93	340,06	252,35	260,14	142,49
RSN3935-h1	51,56	42,86	36,36	12,90	20,15	26,84
RSN4849-h1	105,10	96,14	102,72	72,34	60,31	79,43
RSN4849-h2	153,56	178,09	154,33	80,76	72,91	100,73
RSN5619-h1	269,32	259,69	285,21	137,52	170,78	79,37
RSN5619-h2	159,80	169,43	168,28	76,90	70,54	108,72
RSN5805-h1	134,10	124,08	113,66	58,76	50,44	65,07
RSN5805-h2	205,79	201,99	155,55	62,31	47,63	97,64
RSN5825-h1	517,37	440,83	515,23	232,31	263,92	267,54
RSN5825-h2	295,33	271,64	314,22	186,86	328,08	212,17
RSN5829-h1	237,88	304,12	233,77	301,57	337,06	229,88
RSN5829-h2	267,84	278,14	238,64	278,00	375,17	225,07
RSN6893-h1	257,84	335,13	249,78	223,99	154,98	300,27
RSN6893-h2	199,54	215,53	207,69	124,80	158,20	174,53
RSN8606-h1	141,53	151,95	143,65	146,33	111,93	154,44
RSN8606-h2	457,51	510,02	471,37	328,64	209,38	381,60
RSN3935-h2	31,38	24,93	28,25	8,35	13,12	15,80
Ortalama (YZYE)	218,17	226,64	220,56	149,55	159,73	157,57
Ortalama (Ank-5m)		192,13			130,69	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,14	1,18	1,15	1,13	1,21	1,19

**Şekil 8.8:** Farklı derz mesafeli 10 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı

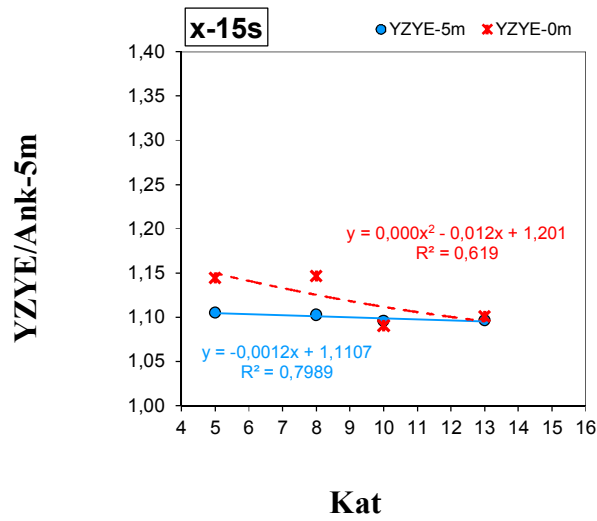
Tablo 8.9: 10 ve 8 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

İvme Kaydı	10s			8s		
	10s-8s- YZYE-5m	10s-8s- YZYE-0m	8s-10s- YZYE-0m	10s-8s- YZYE-5m	10s-8s- YZYE-0m	8s-10s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	218,24	216,24	245,09	202,28	232,94	186,71
RSN1082-h2	282,55	345,67	289,82	274,63	188,04	273,49
RSN1615-h2	150,20	139,05	184,85	124,10	137,02	99,85
RSN165-h1	146,00	157,49	176,43	147,04	168,49	125,79
RSN165-h2	286,02	295,00	326,91	324,39	317,42	267,04
RSN3935-h1	52,26	45,54	40,44	30,57	28,91	32,12
RSN4849-h1	101,06	108,96	112,70	68,68	100,22	81,51
RSN4849-h2	154,40	188,06	156,94	117,07	113,12	140,07
RSN5619-h1	261,44	234,80	290,62	240,73	277,08	177,11
RSN5619-h2	159,01	174,00	132,84	91,58	125,07	121,61
RSN5805-h1	145,07	159,68	150,20	105,87	106,43	119,01
RSN5805-h2	193,66	201,87	156,39	111,08	117,48	148,74
RSN5825-h1	513,38	457,52	488,66	386,34	351,78	400,61
RSN5825-h2	305,13	345,03	319,55	326,30	230,14	362,57
RSN5829-h1	243,71	296,50	247,92	236,52	198,15	265,53
RSN5829-h2	261,59	270,06	262,86	239,04	233,04	208,42
RSN6893-h1	260,96	280,74	241,06	244,30	197,10	259,69
RSN6893-h2	196,25	230,33	183,90	206,41	181,43	254,56
RSN8606-h1	147,04	170,62	156,92	165,84	142,12	172,26
RSN8606-h2	456,53	169,60	467,98	426,72	390,18	444,18
RSN3935-h2	32,35	28,19	29,32	15,76	25,12	21,05
Ortalama (YZYE)	217,47	215,00	221,97	194,54	183,87	198,19
Ortalama (Ank-5m)		192,16			172,55	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,13	1,12	1,16	1,13	1,07	1,15

**Şekil 8.9:** Farklı derz mesafeli 13 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı

Tablo 8.10: 8 ve 5 katlı YZYE modeldeki binaların maksimum çatı deplasman talepleri (mm)

İvme Kaydı	8s			5s		
	8s-5s- YZYE-5m	8s-5s- YZYE-0m	5s-8s- YZYE-0m	8s-5s- YZYE-5m	8s-5s- YZYE-0m	5s-8s- YZYE-0m
	a	b		a	b	
RSN1082-h1	201,79	190,12	211,12	128,36	168,28	146,18
RSN1082-h2	270,09	354,79	255,29	227,28	200,30	263,25
RSN1615-h2	117,66	106,55	100,89	54,44	67,47	55,51
RSN165-h1	158,23	168,08	185,51	126,70	173,97	94,48
RSN165-h2	317,39	294,06	383,34	250,83	256,34	131,07
RSN3935-h1	30,59	31,82	34,40	13,20	18,04	20,58
RSN4849-h1	67,46	76,51	78,95	71,61	57,02	72,87
RSN4849-h2	114,09	126,32	97,05	78,67	106,27	125,21
RSN5619-h1	248,26	254,04	244,74	128,84	176,90	77,47
RSN5619-h2	93,19	120,34	101,70	73,14	74,56	103,20
RSN5805-h1	101,77	131,14	135,54	56,87	83,39	59,57
RSN5805-h2	102,95	134,63	103,62	58,59	40,82	67,89
RSN5825-h1	360,49	386,55	400,72	221,30	147,88	302,15
RSN5825-h2	317,70	339,57	283,91	188,39	204,75	214,41
RSN5829-h1	231,98	254,25	190,78	290,36	281,91	247,46
RSN5829-h2	223,85	222,22	275,66	271,59	360,64	162,51
RSN6893-h1	235,16	324,74	246,42	219,44	149,65	293,70
RSN6893-h2	212,63	203,69	195,17	112,24	117,57	166,66
RSN8606-h1	151,44	167,79	179,83	142,26	101,78	168,58
RSN8606-h2	403,77	440,80	383,67	324,54	225,35	377,98
RSN3935-h2	16,02	15,75	17,21	8,26	13,70	12,92
Ortalama (YZYE)	189,36	206,85	195,50	145,09	144,12	150,65
Ortalama (Ank-5m)		169,85			130,69	
Oran (YZYE/Ank-5m)	1,11	1,22	1,15	1,11	1,10	1,15

**Şekil 8.10:** Farklı derz mesafeli 15 katlı YZYE modellerinin ortalama talep değerlerinin Ank-5m modele oranı

YZYE etkisinin dikkate alınması durumunda çarpışma olması ve olmaması durumunda oluşan çatı deplasman taleplerinin özeti Tablo 8.11’de verilmiş olup genel bir değerlendirme yapılacak olursa;

- YZYE-5m veya YZYE-0m modellerindeki tüm binalarda ortalama deplasman talepleri Ank-5m modellerinden daha yüksek elde edilmiştir. Bu durum iki bina arasında 5 m ve daha az mesafe olması durumunda zeminin modellenmesi gerektiğinin göstergesidir.
- YZYE-5m modellerindeki talep artışlarının 10, 13 ve 15 katlı binalar için komşu binaların kat sayısından bağımsız ve yaklaşık olarak sabit olduğu gözlenmiştir. 10, 13 ve 15 katlı binalar için YZYE modeli etkisi nedeni oluşan talep artış değerleri sırasıyla %15, %9 ve %10 olarak belirlenmiştir.
- 13 ve 15 katlı binalar için YZYE-0m modellerindeki talep artışları YZYE-5m modellerine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Çalışma kapsamında bina yüksekliği en yüksek olan bu binalar için YZYE modellerindeki derz aralığı, talepler üzerinde ciddi değişimlere neden olmamaktadır.
- 5 ve 8 katlı binalarda çarpışmanın görülmediği YZYE-5m modellerinde talepler, komşu binalardan dolayı %10’ un üzerinde artmıştır. Bu artışlar komşu binanın kat adedine bağlı olarak değişmektedir.
- 5 ve 8 katlı binalarda çarpışmanın görüldüğü YZYE-0m modellerindeki talepler, hem zemin-yapı etkileşiminden hem de çekiçleme etkilerinden dolayı %30’ a varan artışlar göstermektedir.

Tablo 8.11: YZYE modellerindeki binaların deplasman büyütme faktörleri ve kat adedine (N) bağlı olarak değişen denklemleri

Model	Bina	Deplasman Büyütme Faktörü (β)					β denklemi
		5	8	10	13	15	
YZYE-5m	5s	-	1,11	1,13	1,19	1,14	$-0,004N^2 + 0,0977N + 0,5736$ $0,0045N + 1,09$
	8s	1,11	-	1,13	1,15	1,16	
	10s	1,13	1,13	-	1,15	1,15	-
	13s	1,09	1,08	1,07	-	1,06	-
	15s	1,11	1,10	1,10	1,10	-	-
YZYE-0m	5s	-	1,15	1,21	1,30	1,29	$-0,003N^2 + 0,1N + 0,567$ $0,003N^2 - 0,058N + 1,419$
	8s	1,22	-	1,15	1,26	1,28	
	10s	1,18	1,16	-	1,20	1,26	$0,003N^2 + 0,045N + 1,34$
	13s	1,11	1,08	1,04	-	1,09	$0,002N^2 - 0,042N + 1,275$
	15s	1,14	1,15	1,09	1,10	-	$-0,012N + 1,201$

8.3 Kat Deplasman Taleplerinin Kıyaslanması

YZYE modellerinde zemin ve çekişleme etkilerinin tüm katlardaki etkilerini görebilmek için her bir kattaki maksimum deplasman değerleri elde edilmiştir. Tüm depremler için elde edilen bu maksimum taleplerin ortalaması her bir katta hesaplanmıştır. Hesaplanan bu kat deplasmanları, deplasman profili olarak Şekil 8.11-8.20 grafikleri oluşturulmuştur. YZYE-5m ve YZYE-0m modellerinin deplasman profilleri, çarpışmanın görüldüğü Ank-5m modeller (Referans) ile kıyaslanmıştır. Ayrıca deplasman profil farklarını daha net görebilmek adına YZYE modellerinin kat talepleri Ank-5m modellerine oranlanmıştır.

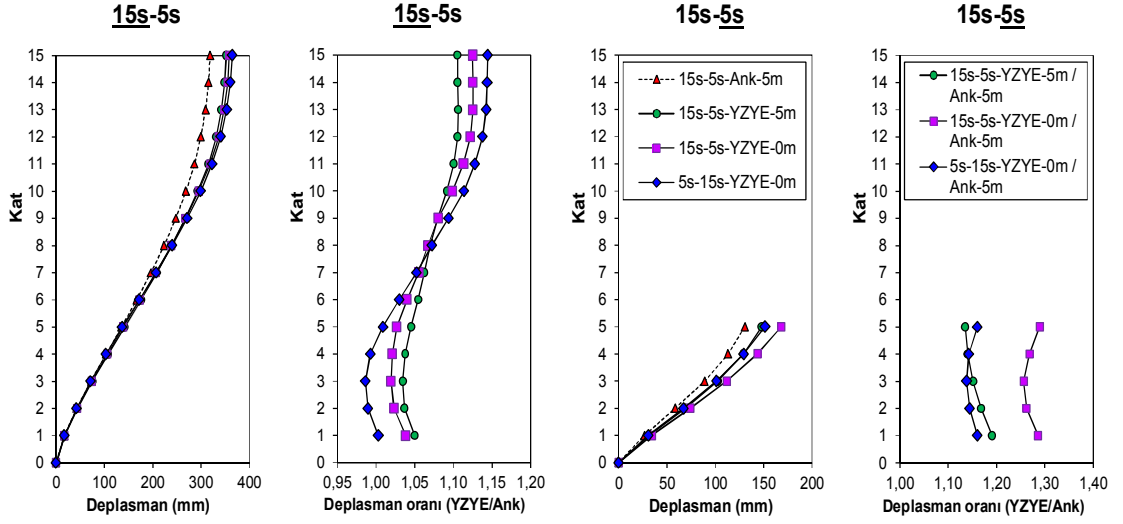
15 katlı binanın deplasman profilleri incelendiğinde (Şekil 8.11-8.14), üst katlardaki talep artışı daha belirgin olarak göze çarpmaktadır. Alt katlarda, yumuşak zeminden dolayı görülen temel dönmeleri deplasman taleplerini arttırsa da, yüksek mod etkilerinin baskın olduğu üst katlardaki artışlar daha belirgindir. Çekişlemenin görüldüğü YZYE-0m modellerinde ise yine alt katlarda komşu binanın mesnet görevi oluşturması, deplasman profilini etkilemektedir. Üst katlarda artışın diğer bir nedeni, kamçı etkisi (whiplash effect) ile ilişkilendirilebilir. Benzer davranış 13 katlı binada da net bir şekilde görülebilmektedir (Şekil 8.14-8.17). Üst katlardaki talep artışları daha dikkat çekici iken, alt katlarda çekişleme etkileri ve temel dönmelerine bağlı olarak sınırlı artışlar meydana gelmektedir. 10 katlı binanın da deplasman profili 15 ve 13 katlı binalara benzemektedir (Şekil 8.13, 8.17-8.19). Üst katlarda yoğunlaşan talep artışları çekişleme etkilerinden daha çok etkilenmektedir.

Daha hafif yapılar olan 8 ve 5 katlı binaların YZYE-5m modellerindeki talep artışları alt katlarda yoğunlaşmaktadır. Temel dönmelerinden daha çok etkilenen bu binalara çarpışma etkilerinin de eklenmesi ile birlikte (YZYE-0m) tüm katlarda talep artışları çok net bir biçimde görülmektedir.

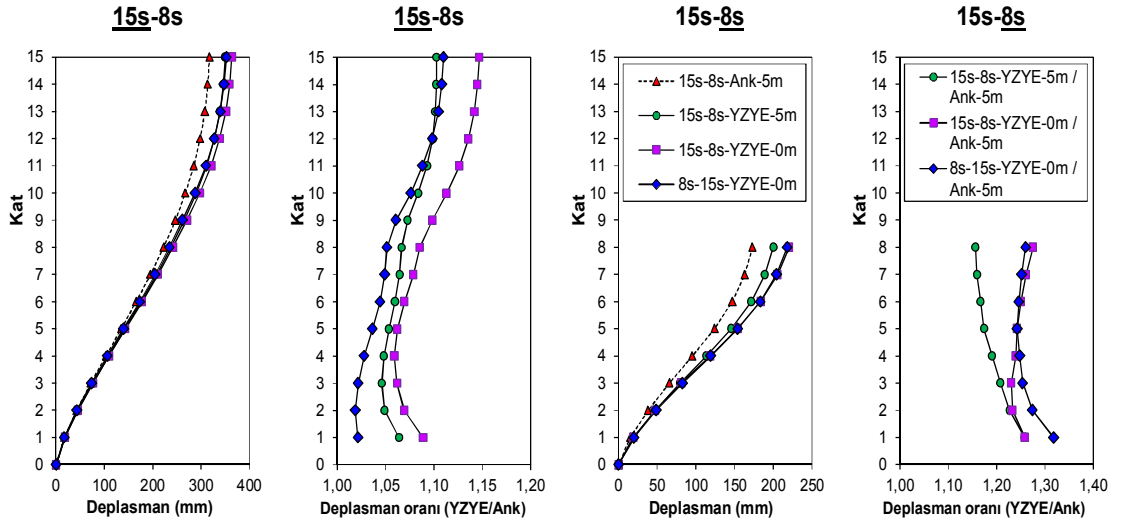
Sonuç olarak;

- 15, 13 ve 10 katlı binalar deplasman profilleri açısından YZYE-5m ve YZYE-0m modellerinde benzer davranış sergilemektedir. Üst katlardaki deplasman artışları daha belirgindir.

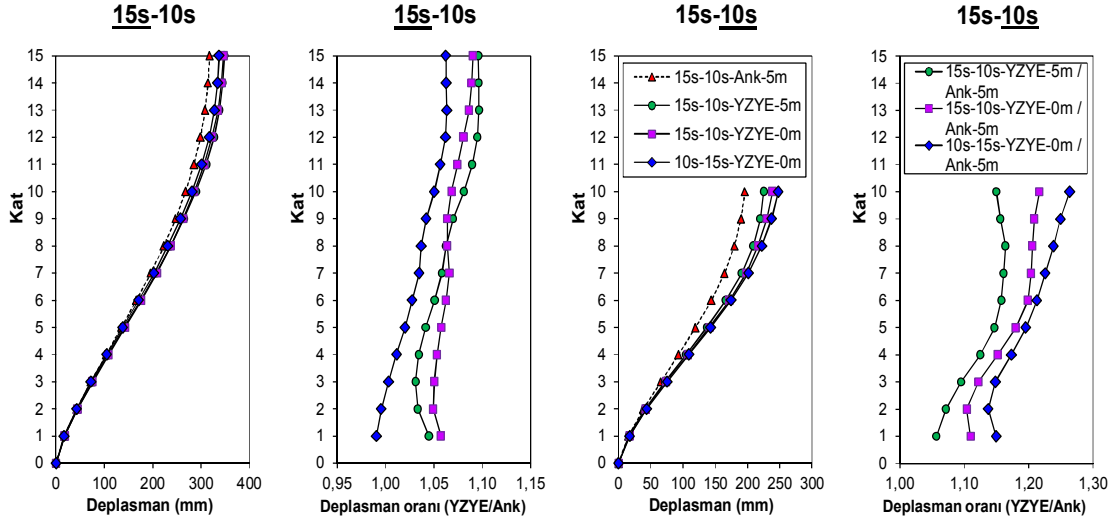
- 8 ve 5 katlı binaların deplasman profilleri ise YZYE-5m ve YZYE-0m modellerinde benzer davranış sergilemektedir. Alt katlardaki deplasman artışları YZYE-5m modellerinde daha belirgin iken, çekiçleme etkileri ile birlikte YZYE-0m modellerinde tüm katlarda deplasman artışları benzer değerlere ulaşmaktadır.



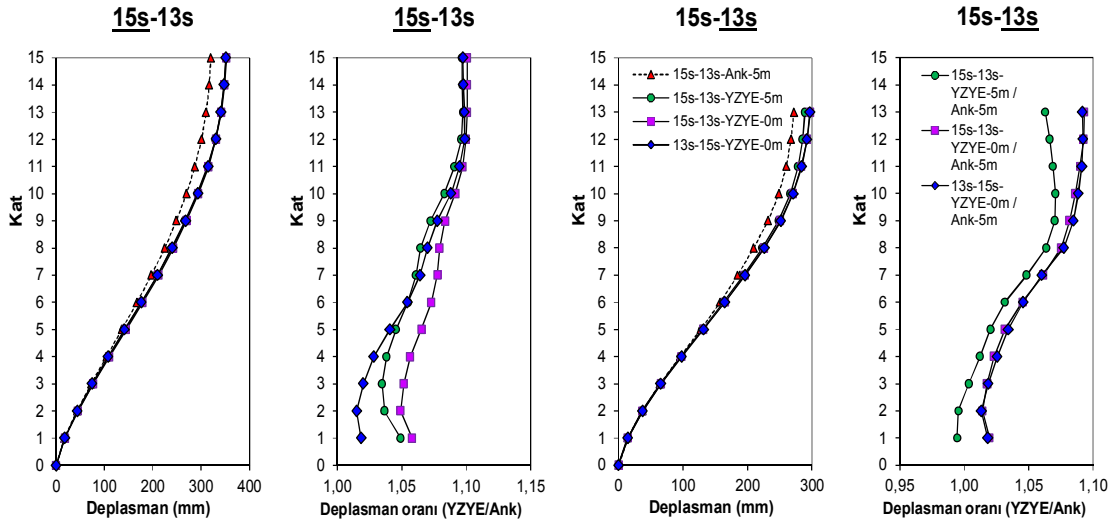
Şekil 8.11: 15 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



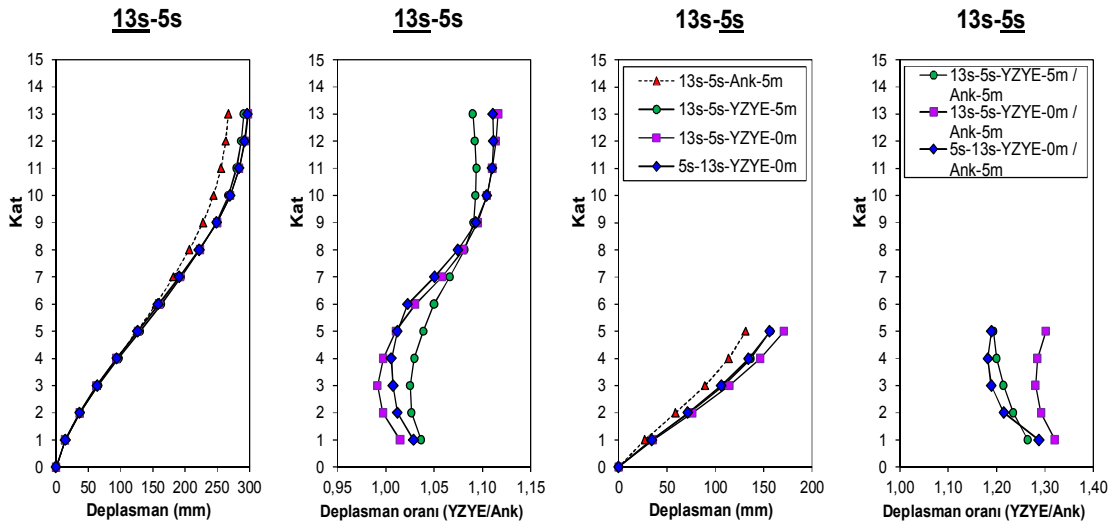
Şekil 8.12: 15 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



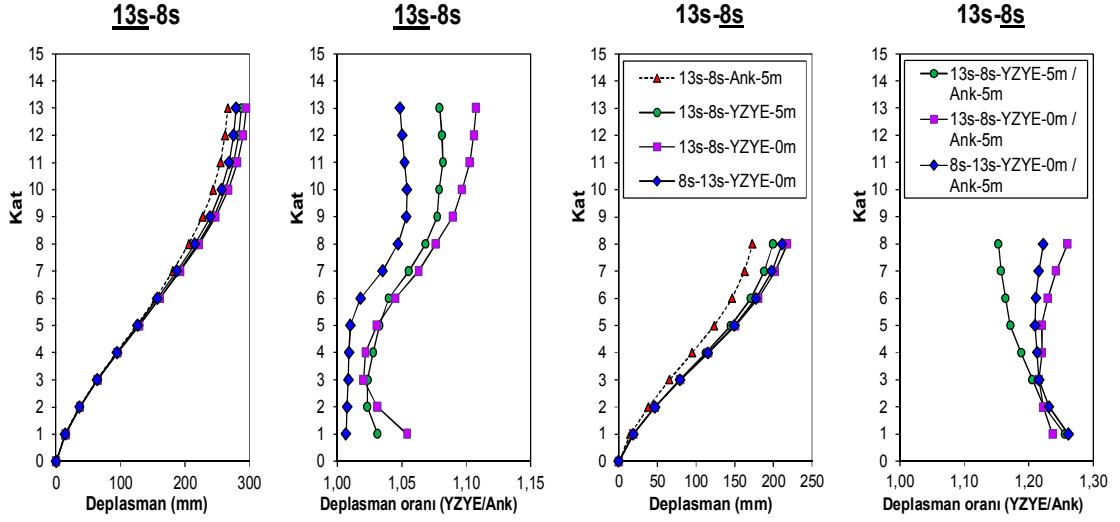
Şekil 8.13: 15 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



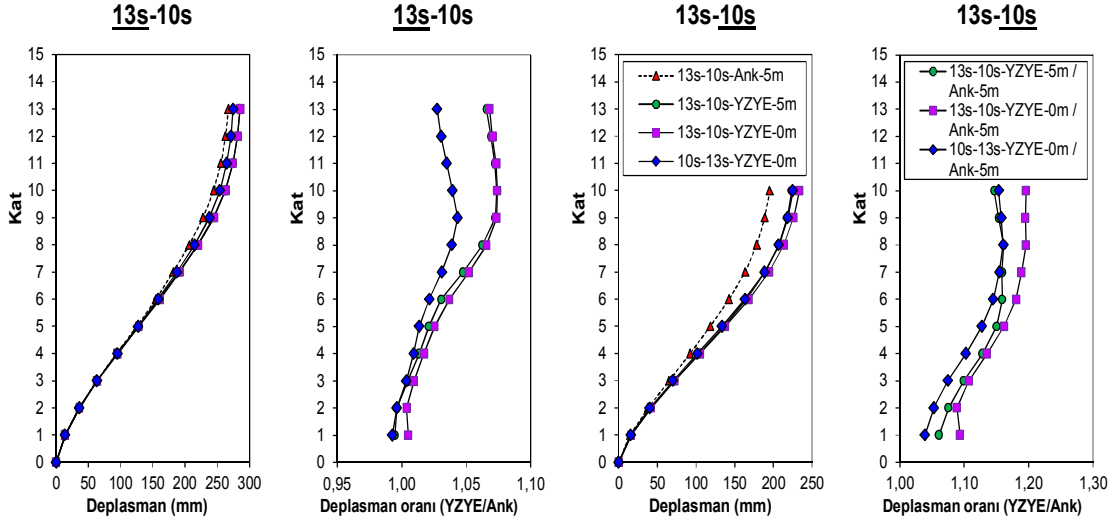
Şekil 8.14: 15 ve 13 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



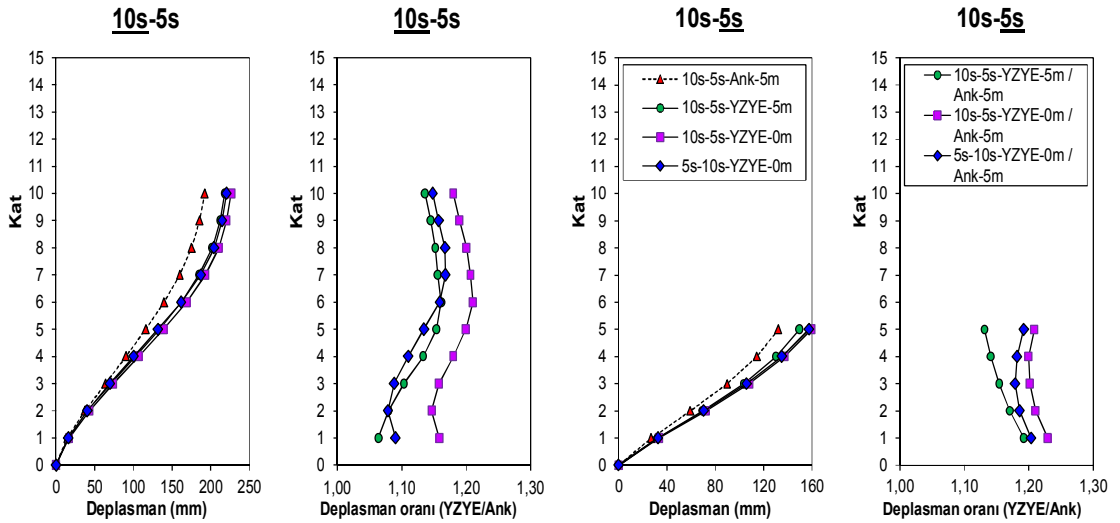
Şekil 8.15: 13 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



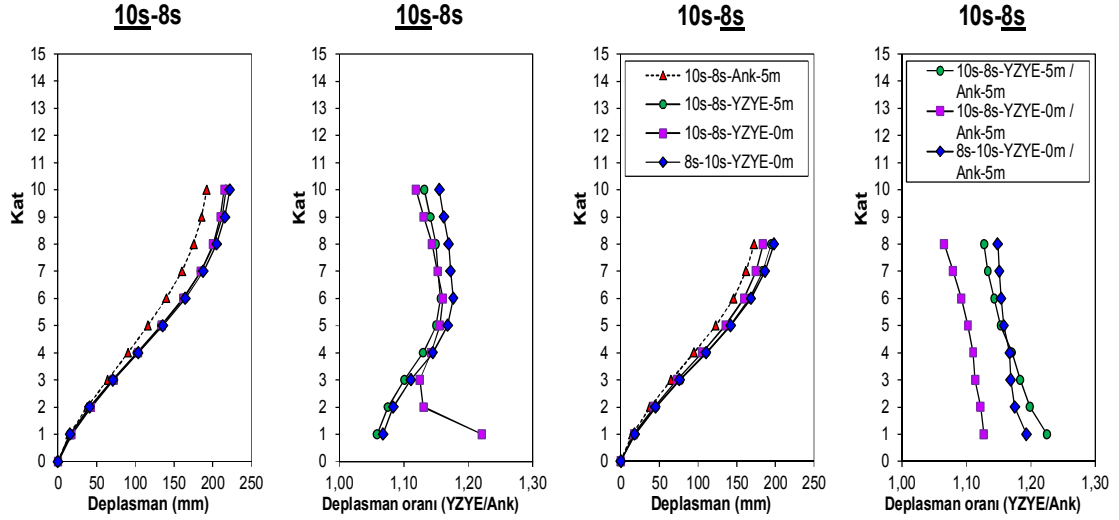
Şekil 8.16: 13 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



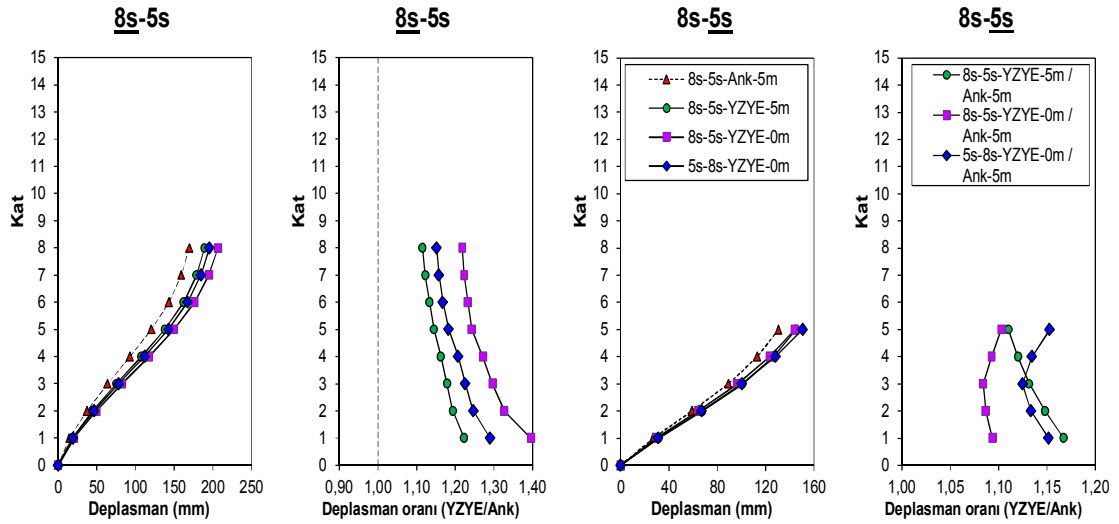
Şekil 8.17: 13 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.18: 10 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.19: 10 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.20: 8 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması

8.4 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması

Bu kısımda, YZYE ikili modellerin görelî kat ötelenme oranları (GKÖÖ) incelenmiştir. 21 farklı ivme kaydı ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda, ivme kaydının her bir adımı için hesaplanan GKÖÖ değerlerinin maksimumları belirlenmiştir. 21 deprem kaydı için elde edilen maksimum GKÖÖ taleplerinin ortalama değerleri hesaplanmıştır. YZYE-5m ve YZYE-0m modellerinden hesaplanan ortalama GKÖÖ değerleri çarpışmasız ankastre modellere (Ank-5m) oranlanarak Şekil 8.21-8.30' da verilmiştir.

Şekil 8.21-8.24' te verilen 15 katlı YZYE-5m modeline ait GKÖO değerleri incelendiğinde; Ank-5m modeline göre alt katlarda yaklaşık %5 civarında bir talep artışı görülürken, ara katlara doğru bu artış %10 seviyelerine ulaşmaktadır. Üst katlarda ise %10' a varan azalmalar göze çarpmaktadır. YZYE-0m modellerinde ise bina dizilimine bağlı olarak çarpışma etkileri değişebilmektedir. GKÖO açısından en kritik olan değerler incelendiğinde; alt katlardaki sınırlı değişim (%5) korunurken, özellikle 5 ve 8 katlı kısa binalar ile çarpışma durumunda ara katlardaki artış %20 seviyelerine ulaşmaktadır. Kısa binanın mesnet oluşturması ile görülen bu davranış, kamçı etkisi (whiplash effect) olarak açıklanmaktadır. 10 ve 13 katlı binalar ile oluşturulan YZYE modellerindeki 15 katlı binanın GKÖO değerleri, derz mesafesinden pek etkilenmemektedir.

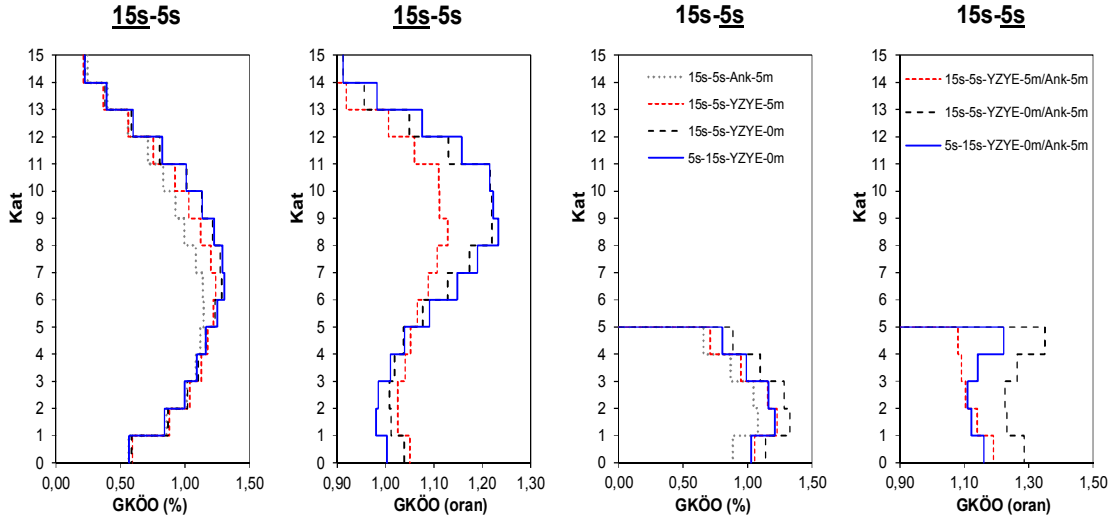
13 katlı binanın YZYE-5m ve YZYE-0m modellerindeki GKÖO grafikleri (Şekil 8.24-8.27) incelendiğinde; 15 katlı ile oldukça benzer davranış göstermektedir. Alt katlarda sınırlı, ara katlarda belirgin artışlara karşılık üst katlarda azalmalar göze çarpmaktadır.

10 katlı YZYE-5m modellerine ait GKÖO grafikleri (Şekil 8.23, 8.27-8.29) incelendiğinde; 15 ve 13 katlı binalara benzer davranış izlenmektedir. Yine alt katlarda görülen %5 gibi sınırlı artış, ara katlarda %15 seviyelerine ulaşırken, üst katlara doğru %10' un üzerinde azalmalar görülmektedir. YZYE-0 modellerinde 10 katlı bina, kendisinden daha hafif olan 8 ve 5 katlı binaların çarpması ile GKÖO değerleri %20 civarında değişim göstermektedir. Buna karşılık daha ağır yapılar olan 15 ve 13 katlı binaların çarpması sonucu, üst katlarda %60 ve %20' ye varan artışlar meydana gelmektedir.

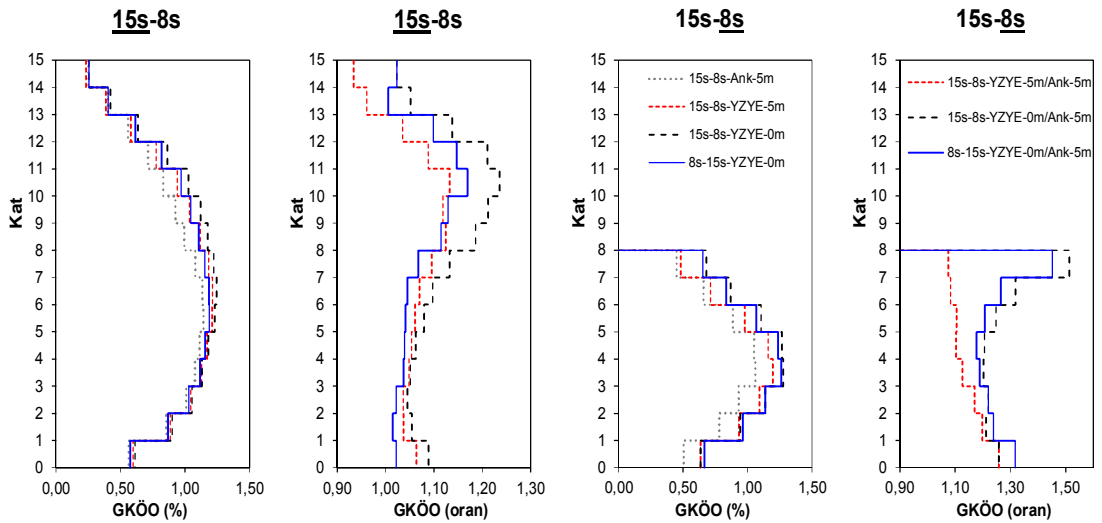
8 katlı YZYE-5m modellerine ait Şekil 8.22, 8.26, 8.29-8.30'da verilen GKÖO grafikleri incelendiğinde; 15, 13 ve 10 katlı binaların davranışından uzaklaştığı görülmektedir. En belirgin artışlar (%20 ve üzeri), ara katlar yerine alt katlarda görülmektedir. Zemin kattan üst katlara doğru azalan bir eğilim göze çarpmaktadır. Bu GKÖO ne kadar azalsa da, 15 ve 13 katlı binaların kullanıldığı YZYE modellerinde %8 ve %5 civarında artış etkisi göstermektedir. YZYE-0m modellerinde kullanılan 8 katlı bina 15 ve 13 katlı binalardan etkilenerek üst katlardaki GKÖO değerleri %50 civarında artmıştır. 10 ve 5 katlı ile oluşturulan

YZYE-0m modellerinde ise YZYE-5m modellerindeki davranışlara benzer olup GKÖO değerleri daha da artmıştır.

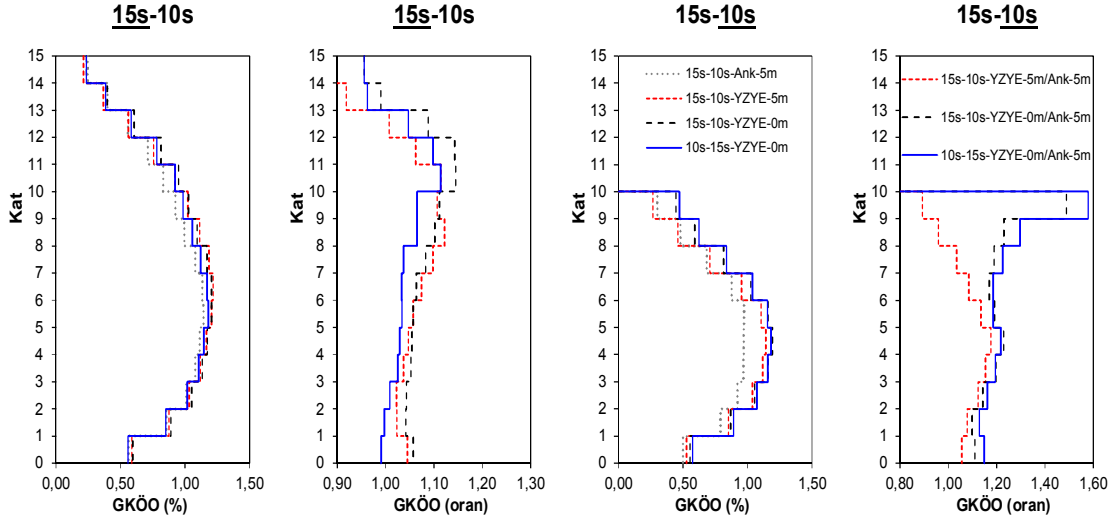
5 katlı YZYE-5m modellerine ait Şekil 8.21, 8.25, 8.28-8.30'da verilen GKÖO grafikleri incelendiğinde; 8 katlı binanın davranışına benzediği görülmektedir. En belirgin artışlar (%15-25), alt katlardadır. 8 katlı binada olduğu gibi, zemin kattan üst katlara doğru azalan bir eğilim göze çarpmaktadır. Bu GKÖO ne kadar azalsa da, tüm modeller dikkate alınca %5 civarında artış etkisi göstermektedir. YZYE-0m modellerinde kullanılan 5 katlı bina çarpışmalardan etkilenecek üst katlardaki GKÖO değerleri %40' a varan artış göstermiştir. YZYE-0m modelleri, YZYE-5m modellerine göre çok daha belirgin artışlar sunmaktadır.



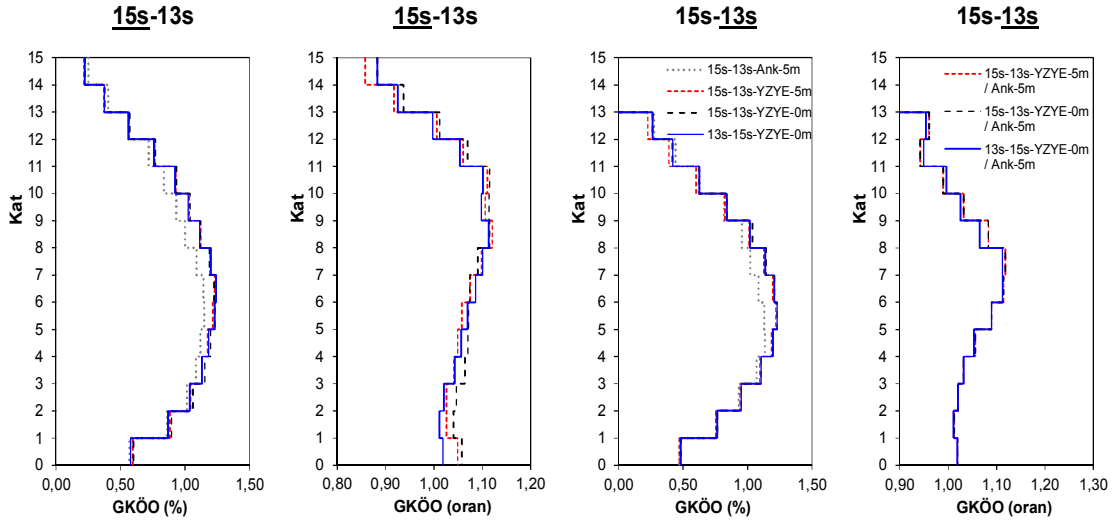
Şekil 8.21: 15 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



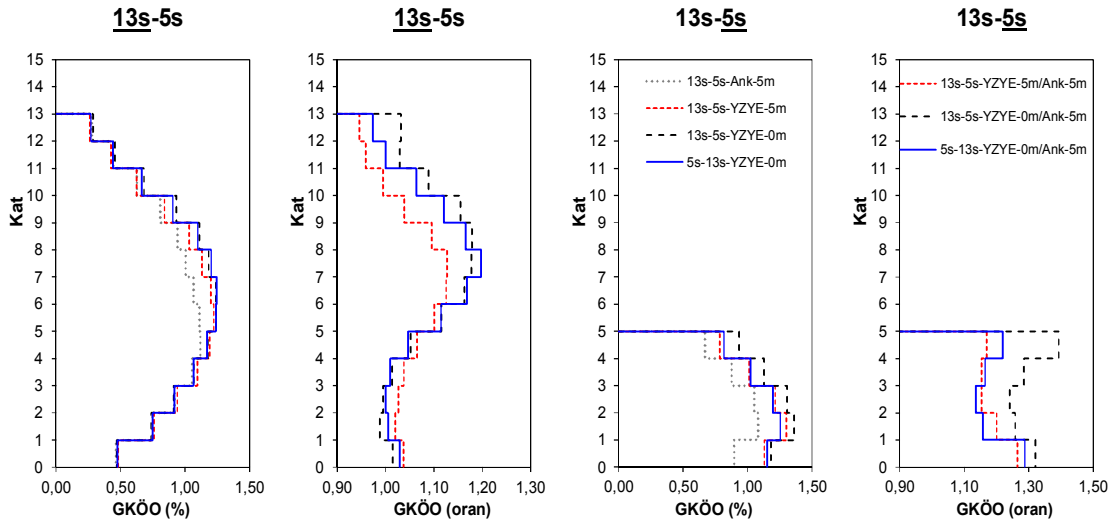
Şekil 8.22: 15 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



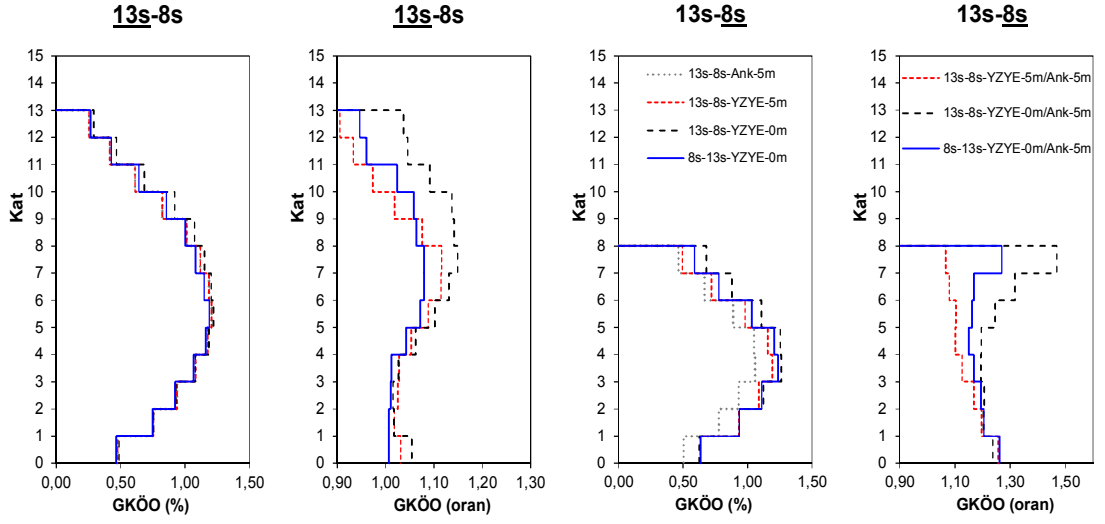
Şekil 8.23: 15 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



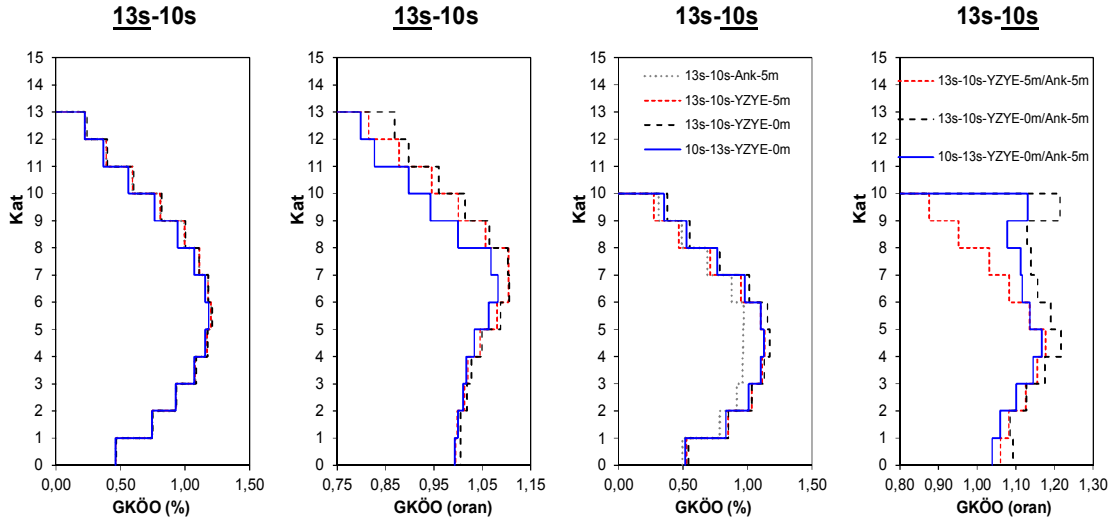
Şekil 8.24: 15 ve 13 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



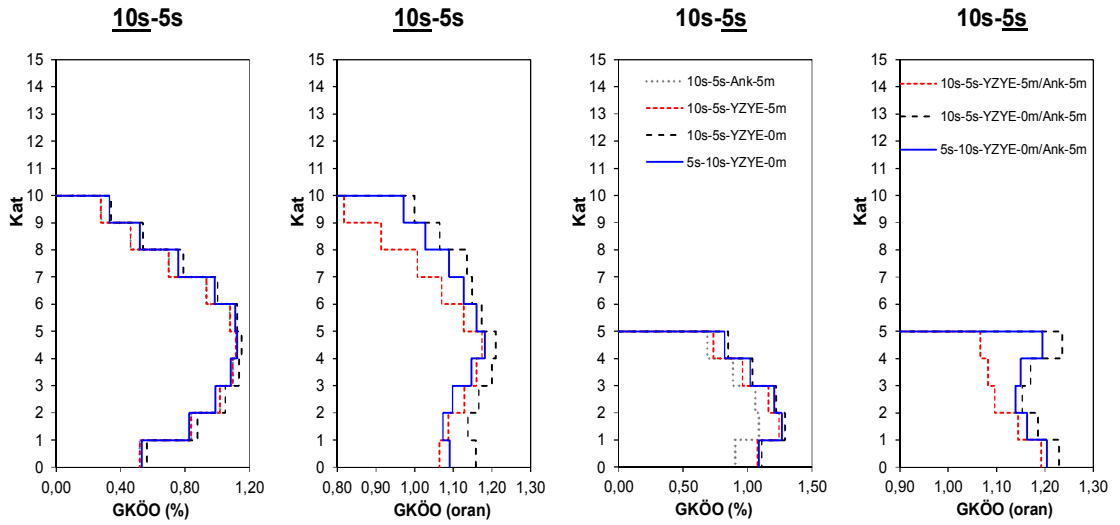
Şekil 8.25: 13 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



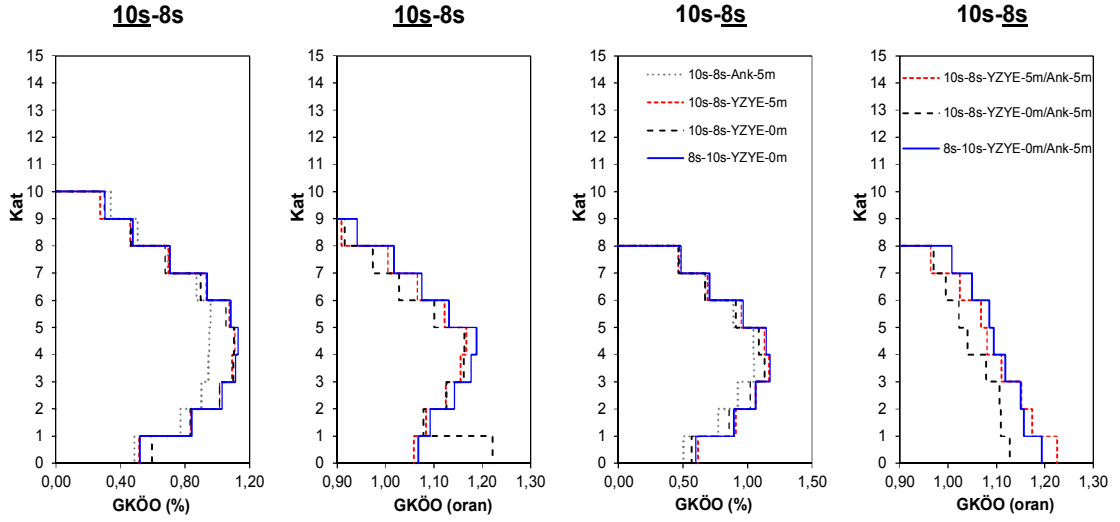
Şekil 8.26: 13 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



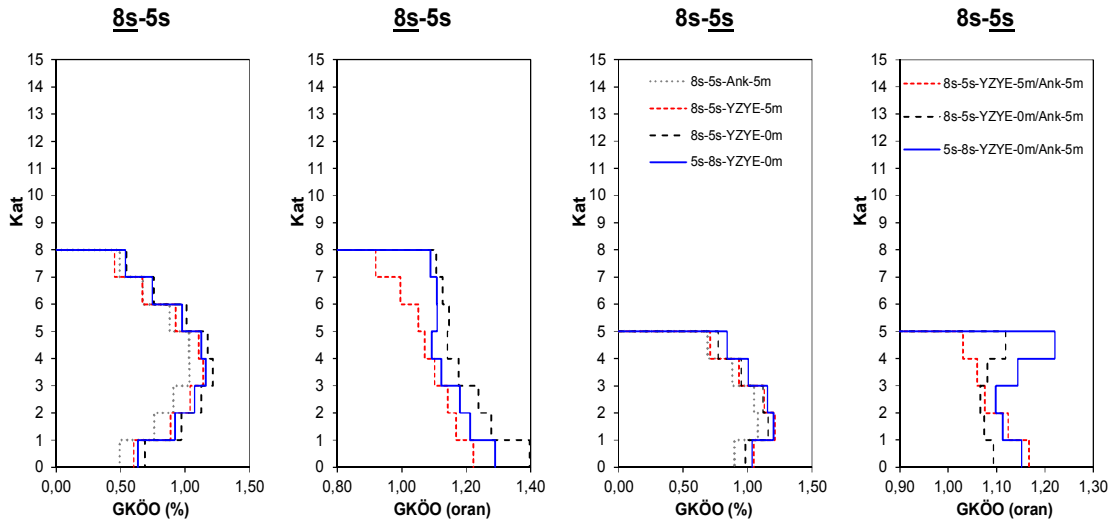
Şekil 8.27: 13 ve 10 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.28: 10 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.29: 10 ve 8 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 8.30: 8 ve 5 katlı YZYE modellerin Ank-5m modelleri ile karşılaştırılması

YZYE ile Ank-5m modelleri için elde edilen GKÖO sonuçları Şekil 8.21-8.30 ve Tablo 8.12 genel olarak değerlendirildiğinde;

- YZYE-5m modellerindeki 10, 13 ve 15 katlı binaların her bir kattaki GKÖO grafikleri incelendiğinde benzer bir davranış sergilediği görülmektedir. Ank-5m modellerine göre; alt katlarda sınırlı (+%5), ara katlarda ise daha belirgin (+%10-15) talep artışları meydana gelirken; üst katlarda talepler azalmaktadır.
- YZYE-5m modellerindeki 5 ve 8 katlı binaların her bir kattaki GKÖO grafikleri incelendiğinde benzer bir davranış sergilediği görülmektedir. Ank-

5m modellerine göre; alt katlarda belirgin talep artışları (+%15-25) elde edilirken; üst katlara doğru taleplerde azalma eğilimi bulunmaktadır.

- ZYZE-0m modellerindeki 10, 13 ve 15 katlı binalar, kısa (5 ve 8 katlı) binalar ile çarpışmaları durumunda kamçı etkisinden dolayı üst katlardaki GKÖO değerlerinde artış görülebilmektedir. Ayrıca 10 katlı binanın kendinden daha yüksek olan 13 ve 15 katlı binalar ile çarpışması sonucu üst katlarındaki artışlar %60 seviyelerine ulaşmaktadır.
- ZYZE-0m modellerindeki 5 ve 8 katlı binaların çarpışmalardan etkilenmesi sonucu GKÖO taleplerindeki artışlar %-50 mertebelerine ulaşmaktadır.
- Çalışmada dikkate alınan binaların kat bazındaki davranışları ortaya koyulduktan sonra, tüm katlar arasındaki maksimum GKÖO değerleri hesaplanmıştır. Her bir ZYZE modelindeki binalar için hesaplanan bu değerler, Ank-5m modellerine oranlanarak Tablo 8.12’ de verilmiştir. Bu oranlar, GKÖO Büyütme Faktörü (β) olarak isimlendirilmiş ve bazı binalar için büyütme faktörlerinin denklemleri verilmiştir.
- Tablo 8.12’ de görüldüğü üzere; ZYZE-5m ve ZYZE-0m modellerindeki tüm binalardaki maksimum GKÖO değerleri Ank-5m modellerinden daha yüksek elde edilmiştir. ZYZE-5m modellerinde %5-18 aralığında bir artış gözlenirken, ZYZE-0m modellerinde ise %5-%24 aralığında bir belirlenmiştir.
- Büyütme faktörü denklemleri 5 ve 8 katlı binaları için verilmiştir. 10, 13 ve 15 katlı binaların komşu binadan etkilenmeleri benzer sonuçlar verdiği için büyütme faktörleri verilmemiştir.

Tablo 8.12: ZYZE modellerindeki binaların maksimum GKÖO büyütme faktörleri ve kat adedine (N) bağlı olarak değişen denklemleri

Model	Bina	GKÖO Büyütme Faktörü (β)					β denklemi
		5	8	10	13	15	
YZYE-5m	5s	-	1,10	1,12	1,18	1,12	$-0,004N^2 + 0,099N + 0,562$ $0,0037N + 1,059$
	8s	1,08	-	1,09	1,11	1,11	
	10s	1,13	1,13	-	1,14	1,14	-
	13s	1,07	1,06	1,05	-	1,05	-
	15s	1,08	1,08	1,08	1,08	-	-
YZYE-0m	5s	-	1,10	1,16	1,24	1,22	$-0,0043N^2 + 0,116N + 0,436$ $0,0044N^2 - 0,081N + 1,443$
	8s	1,16	-	1,05	1,19	1,20	
	10s	1,17	1,16	-	1,17	1,18	-
	13s	1,09	1,07	1,06	-	1,05	-
	15s	1,13	1,10	1,07	1,09	-	-

9. ZEMİN-YAPI-ETKİLEŞİMİ VE YAPI-ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİNİN ANKASTRE MODELLER İLE KIYASLANMASI

9.1 Genel

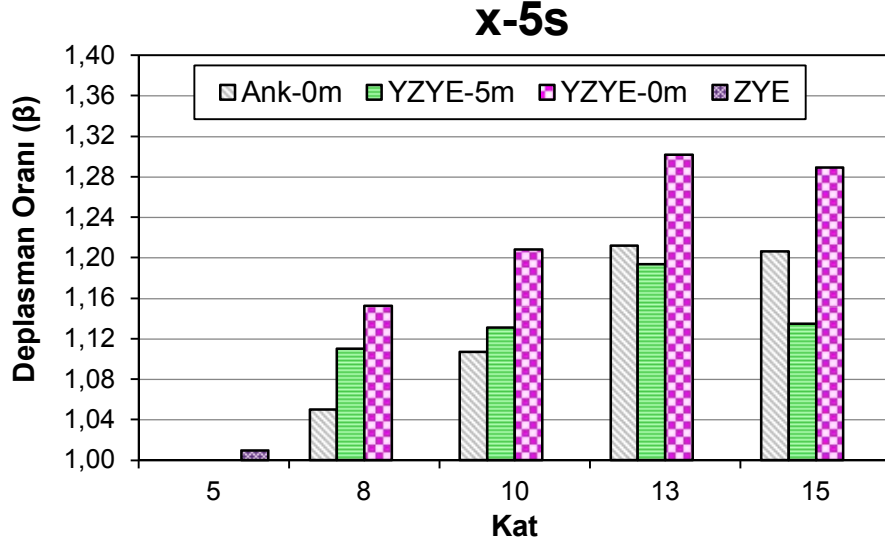
Bu bölümde çarpışmanın görüldüğü ankastre modeller ile ZYE ve YZYE modeller, çarpışmanın görülmediği ankastre mesnete sahip modeller ile karşılaştırılmak istenmiştir. Kıyasalama yapılırken önceki bölümlerde elde edilen kat deplasman, GKÖO ve çatı deplasman talep değerleri kullanılmıştır.

9.2 Çatı Deplasman Talepleri

Farklı kat adetlerine sahip binaların farklı modelleme yaklaşımları için elde edilen çatı seviyesindeki deplasman talepleri kıyaslamalı olarak bu bölümde sunulmuştur. Referans olarak ankastre mesnetli ve aralarında 5 m derz mesafesi bulunan modeller dikkate alınmıştır. Bu modellerde herhangi bir çarpışma ve zemin-yapı etkileşimi bulunmamaktadır. Diğer ZYE, YZYE ve derz mesafesi 0 m olan ankastre modeller bu referans modeller ile kıyaslanarak talep değişimleri incelenmiştir.

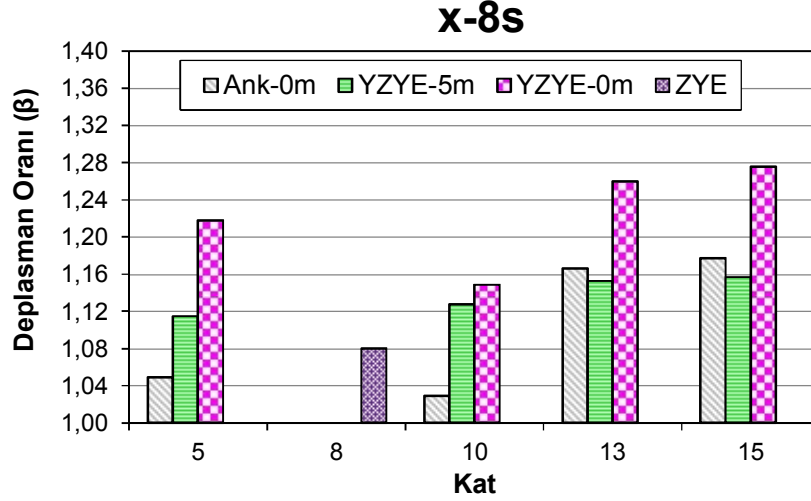
21 farklı ivme kaydı kullanılarak dinamik analizleri gerçekleştirilen tüm bina modellerinin ortalama deplasman talepleri hesaplanmıştır. Bu deplasman talepleri Ank-5m olan modellere oranlanarak Tablo 9.1 ve Şekil 9.1-9.5' te verilmiştir. 5 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapılması ile (Ank-0m) komşu binanın kat adedine bağlı olarak %22' ye varan talep artışı görülmektedir. Komşu binanın kat adedinin artması ile hafif olan 5 katlı bina üzerinde ciddi çekiçleme etkileri oluşmaktadır. Aynı binada zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin birlikte dikkate alınması (YZYE-0 m) ile komşu binanın kat adedine bağlı olarak %30' a varan talep artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %19' a varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa talepte ciddi bir

değişim (%1 artış) görülmemektedir. Yumuşak zeminler üzerinde bulunan 5 katlı binada zemin-yapı etkileşiminin modele yansıtılması ve yanındaki komşu binanın dikkate alınması ile birlikte %30 talep artışı görülebilmektedir. Doğru modellemenin talepleri değiştireceği unutulmamalıdır.



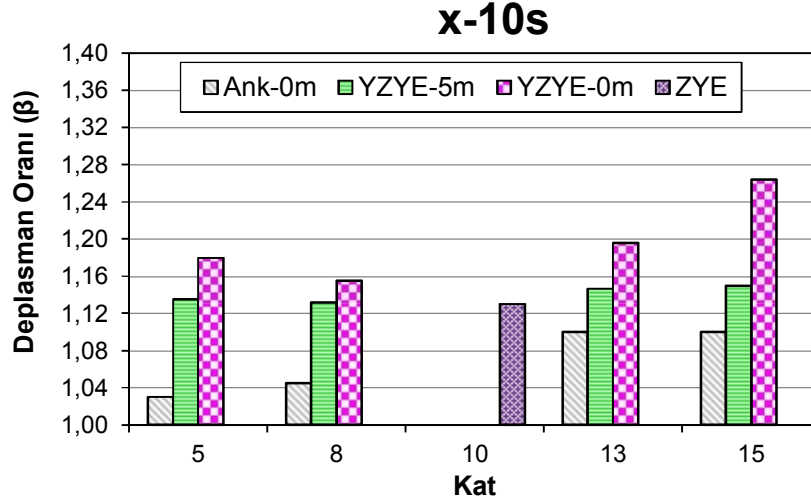
Şekil 9.1: 5 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip ZYYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı

8 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekiçleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan çatı katı deplasman talepleri komşu binanın kat adedine bağlı olarak %19' a varan artışlar göstermiştir. Komşu binalar arasındaki bina ağırlığının değişmesi, 8 katlı bina üzerinde ciddi çekiçleme etkileri oluşturmaktadır. Zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin dikkate alınması (ZYYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %28' e varan talep artışı meydana gelmektedir. Çekiçleme etkisinin olmadığı ZYYE-5 m olan modellerde ise %16' ya varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa talepte %8 artış görülmektedir. Bu binada zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması 5 katlı binaya göre daha çok önem arz etmektedir. Yumuşak zeminler üzerinde bulunan 8 katlı binada zemin-yapı etkileşiminin modele yansıtılması ve yanındaki komşu binanın dikkate alınması ile birlikte %28 talep artışı görülebilmektedir. Çekiçleme etkisi nedeni ile ZYYE-0 m modelleri bina deplasman talebini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 9.2: 8 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı

10 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekişleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan çatı katı deplasman talepleri komşu binanın kat adedine bağlı olarak %11' e varan artışlar göstermektedir. Komşu binalar arasındaki bina ağırlığının değişmesi, 10 katlı bina üzerinde farklı çekişleme etkileri oluşturabilmektedir. Ancak ankastre kabulünün yapıldığı 10 katlı bina modeli 5 ve 8 katlı bina modellerine oranla çekişlemeden daha az (%3-5) etkilenmiştir. Zemin-yapı etkileşimi ve çekişleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %26' ya varan talep artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %15' e varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa talepte %13 artış görülmektedir. Bina yüksekliğinin arttığı bu binada zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önemli hale gelmiştir. Yumuşak zeminler üzerinde bulunan 10 katlı binada zemin-yapı etkileşiminin modele yansıtılması ve yanındaki komşu binanın dikkate alınması ile birlikte %26 talep artışı görülebilmektedir. Çekişleme etkisi nedeniyle YZYE-0 m modelleri bina deplasman talebini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır.

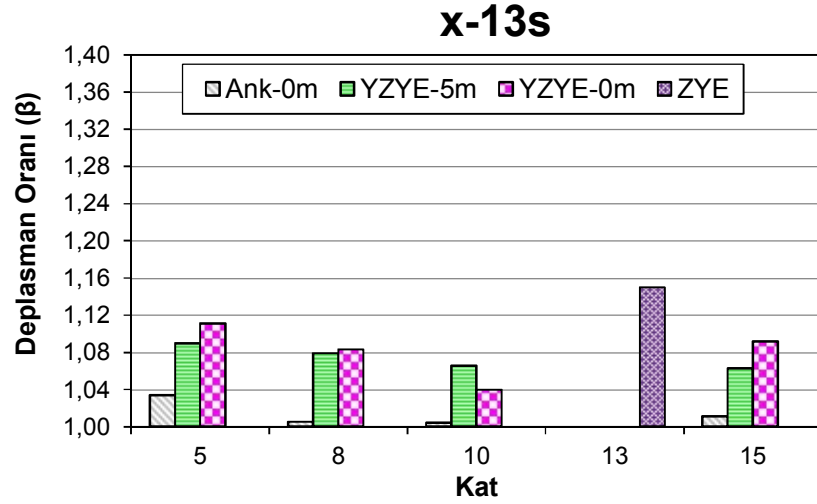


Şekil 9.3: 10 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı

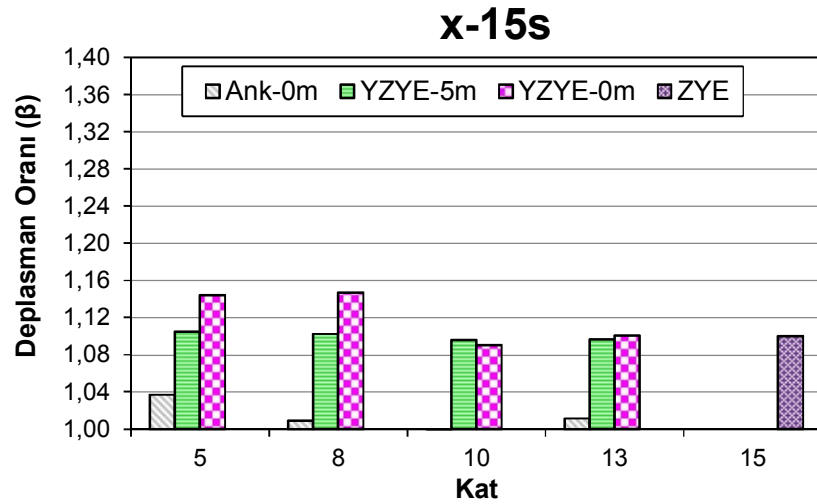
13 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekişleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan çatı katı deplasman taleplerindeki artışlar oldukça sınırlı olup %3 seviyelerindedir. Bina modelinin ağırlığının artması ile birlikte çekişleme etkileri sınırlı düzeyde (%0-3) kalmakta ve komşu binanın kat adedinden etkilenmemektedir. Zemin-yapı etkileşimi ve çekişleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %11' e varan talep artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde de benzer düzeyde (%9) artışlar olup çekişleme etkisinin olmadığı görülmektedir. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa talepte %14 artış görülmektedir. Bina yüksekliğinin arttığı bu binada zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önemlidir. 13 katlı bina modellerinde ZYE modeli bina deplasman talebini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır.

15 katlı binanın ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekişleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan çatı katı deplasman taleplerindeki artışlar da 13 katlı bina modelinde olduğu gibi oldukça sınırlı olup %4 seviyelerindedir. Bina modelinin ağırlığının artması ile birlikte çekişleme etkileri hem sınırlı düzeyde kalmakta hem de komşu binanın kat adedi talepler üzerinde ciddi bir etki oluşturmamaktadır. Zemin-yapı etkileşimi ve çekişleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %15' e varan talep artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %11' e varan artış

bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa talepte %10 artış görülmektedir. Çekişleme etkisi nedeni ile YZYE-0m modeli bina deplasman talebini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır. 15 katlı binada karmaşık ve ikili bina modeli gerektiren YZYE-5m modelleri yerine ZYE modelleri kullanmanın yeterli olabileceği düşünülmektedir. Eğer taleplerdeki %5' lik değişimin ihmal edilebilir seviyede olduğu düşünülürse, ZYE modelleri YZYE-0m modelleri yerine tercih edilebilir.



Şekil 9.4: 13 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı



Şekil 9.5: 15 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen çatı deplasman taleplerin ankastre ankastre modele oranı

Çekişleme etkisi dikkate alınan ankastre, çekişleme etkisi olmayan YZYE, çekişleme etkisi dikkate alınan YZYE ve binanın tek modellenmesi ile sadece zemin etkisinin dikkate alındığı ZYE modellerinden elde edilen çatı katı deplasman talepleri genel olarak değerlendirildiğinde;

- 5, 8, 10 ve 15 katlı binaların en yüksek deplasman oranı (β) genellikle YZYE-0m modelleri ile elde edilmiştir. 13 katlı binada ZYE modellerinin deplasman oranları YZYE-0m modellerinden %3 farkla daha yüksek elde edilmiştir.
- 10 ve 15 katlı binalarda ZYE ve YZYE-5m model yaklaşımları benzer sonuçlar vermiştir. Çarpışmanın beklenmediği durumlarda, 10 ve 15 katlı binaların ZYE modelleri oluşturulmasının yeterli olabileceği düşünülmektedir. 13 katlı binada ise ZYE modelleri YZYE-5m modellerinden %5 farkla daha yüksek deplasman talebi sunmuştur.
- Eğer %5'lik talep farkının ihmal edilebilir seviyelerde olduğu kabul edilirse, çarpışma etkilerinin beklenmediği 10 ve üzeri katlı binaların ZYE modellerinin oluşturulması yeterli olabilir.
- 5 ve 8 katlı binalarda çekişleme etkileri görülmesi bile YZYE-5m modellerinin oluşturulması ZYE modellerinden daha kritik sonuçlar meydana getirmiştir.
- Tüm binalarda YZYE-0m modelleri Ank-0m modellerinden daha yüksek deplasman oranı (β) değeri vermiştir. Yumuşak zemin üzerinde yer alan ve çarpışma ihtimali bulunan bitişik binalarda ankastre modeller yerine YZYE modelinin oluşturulması önem arz etmektedir.

Farklı kat adetlerine sahip binaların, farklı mesnetlenme türü veya ikili modelleme yaklaşımları ile birlikte deplasman talepleri oldukça değişkenlik göstermektedir (Tablo 9.1).

9.3 Görelî Kat Ötelenme Oranlarının Kıyaslanması

Görelî kat ötelenmeleri ile ilgili değerlendirme yapılırken referans olarak ankastre mesnetli ve aralarında 5 m derz mesafesi bulunan modeller dikkate

alınmıştır. Bu modellerde herhangi bir çarpışma ve zemin-yapı etkileşimi bulunmamaktadır. Diğer çarpışma etkisi dikkate alınan ankastre (Ank-0m), ZYE ve YZYE modeller bu referans modeller ile kıyaslanarak GKÖO değişimleri incelenmiştir.

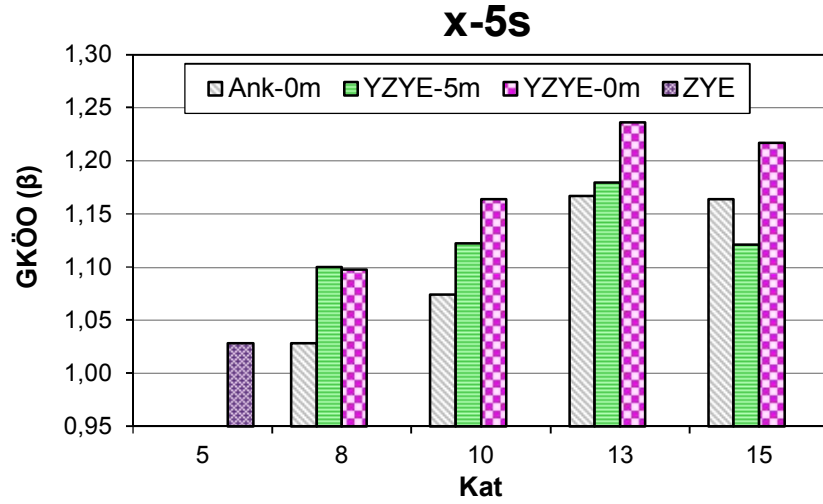
Tablo 9.1: Binaların farklı mesnetlenme türleri veya ikili binalar halinde modellenmesi durumunda elde edilen deplasman taleplerinin çarpışmasız ankastre modeldeki deplasman taleplerine oranları

Model	Kat	Ank-0m	YZYE-5m	YZYE-0m	ZYE
5s	5	-	-	-	1,01
	8	1,05	1,11	1,15	-
	10	1,11	1,13	1,21	-
	13	1,22	1,19	1,30	-
	15	1,21	1,14	1,29	-
8s	5	1,05	1,11	1,22	-
	8	-	-	-	1,08
	10	1,03	1,13	1,15	-
	13	1,17	1,15	1,26	-
	15	1,19	1,16	1,28	-
10s	5	1,03	1,14	1,18	-
	8	1,05	1,13	1,16	-
	10	-	-	-	1,13
	13	1,10	1,15	1,20	-
	15	1,11	1,15	1,26	-
13s	5	1,03	1,09	1,11	-
	8	1,00	1,08	1,08	-
	10	1,00	1,07	1,04	-
	13	-	-	-	1,14
	15	1,01	1,06	1,09	-
15s	5	1,04	1,11	1,14	-
	8	1,01	1,10	1,15	-
	10	0,99	1,10	1,09	-
	13	1,01	1,10	1,10	-
	15	-	-	-	1,10

21 farklı ivme kaydı kullanılarak dinamik analizleri gerçekleştirilen tüm bina modellerinin maksimum GKÖO değerleri hesaplanmıştır. Her bir bina modeli için hesaplanan maksimum GKÖO değerlerinin ortalaması alınıp, Ank-5m olan modellere oranlanarak Tablo 9.2 ve Şekil 9.6-9.10' da verilmiştir.

Şekil 9.6 incelendiğinde; 5 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekiçleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan GKÖO değerlerindeki komşu binanın kat adedine bağlı olarak %17' ye varan talep artışı görülmektedir. Komşu binanın kat adedinin artması, hafif olan 5 katlı bina üzerinde

ciddi çekiçleme etkileri oluşturmaktadır. 5 katlı binada zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin birlikte dikkate alınması (YZYE-0 m) ile komşu binanın kat adedine bağlı olarak %24' e varan GKÖO artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %18' e varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa GKÖO değerinde ciddi bir değişim (%3 artış) görülmemektedir.

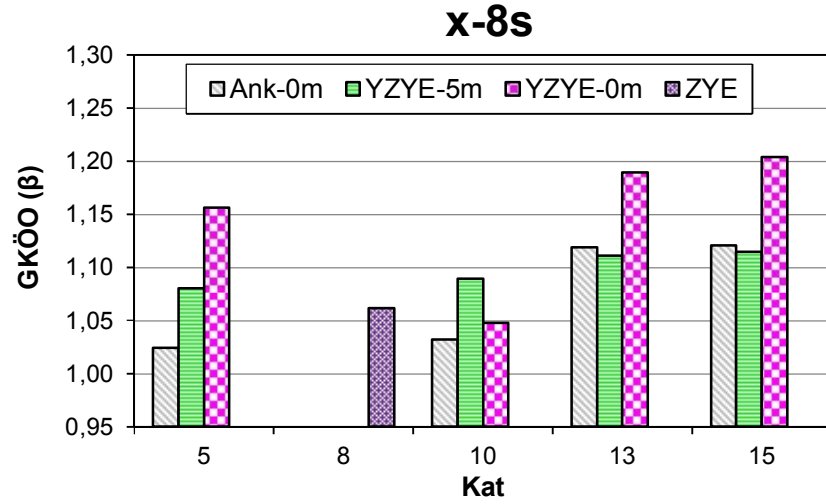


Şekil 9.6: 5 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı

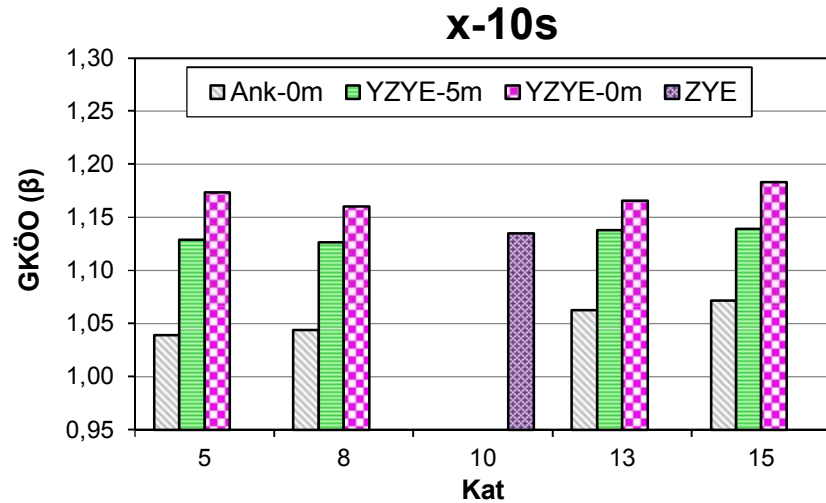
8 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapıldığı modellerde çekiçleme etkisi (Ank-0m) nedeni ile oluşan ve komşu binanın kat adedine bağlı olarak %12' e varan GKÖO artışı Şekil 9.7' de görülmektedir. Komşu binalar arasındaki bina ağırlığının değişmesi, 8 katlı binada da ciddi çekiçleme etkileri oluşturmaktadır. Zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %20' e varan GKÖO artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %11' e varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa GKÖO değerinde %6 artış görülmektedir. YZYE-0 m modelleri GKÖO değerlerini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır.

10 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapılması durumunda oluşan çekiçleme etkisi(Ank-0m) komşu binanın kat adedine bağlı olarak %7' ye varan GKÖO artışına neden olmaktadır (Şekil 9.8). Komşu binalar arasındaki bina ağırlığının değişmesi, 10 katlı bina üzerinde sınırlı bir etki oluşturmaktadır. Zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte

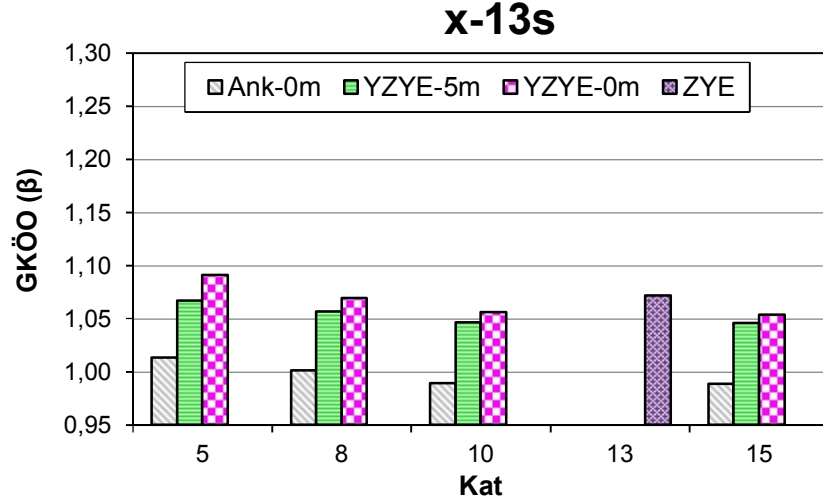
komşu binanın kat adedine bağlı olarak %18' e varan GKÖO artışı meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise komşu binadan etkilenmeksizin %14 civarında artış gözlenmiştir. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırsa %13 artış görülmektedir. Bina yüksekliğinin arttığı bu binada zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önemli hale gelmiştir. Yumuşak zeminler üzerinde bulunan 10 katlı binada zemin-yapı etkileşiminin modele yansıtılması ve yanındaki komşu binanın dikkate alınması gerektiği net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 9.7: 8 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı

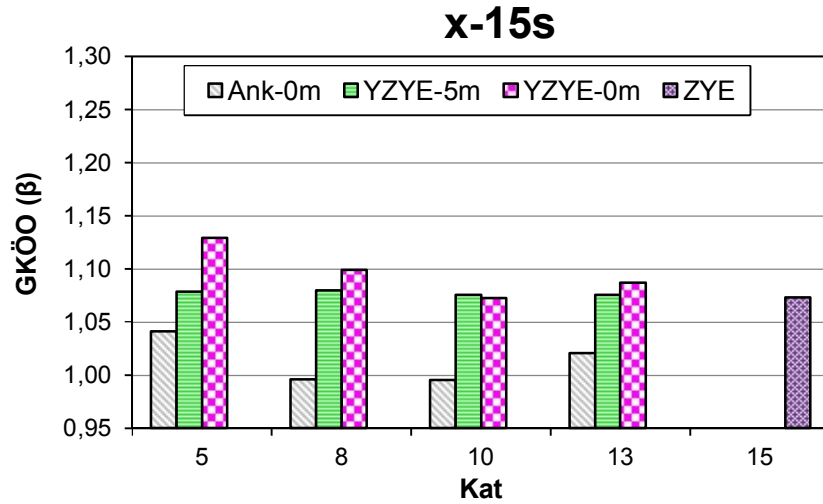


Şekil 9.8: 10 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı



Şekil 9.9: 13 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı

13 katlı binada ankastre mesnet varsayımının yapılması ile (Ank-0m) GKÖO değerinde neredeyse bir değişim görülmemektedir. Bina modelinin ağırlığının artması ile birlikte çekiçleme etkileri sınırlı düzeyde kalmakta ve komşu binanın kat adedinden etkilenmemektedir. Zemin-yapı etkileşimi ve çekiçleme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte komşu binanın kat adedine bağlı olarak %9' a varan artış meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde ise %7' ye varan artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınır ise talepte %7 artış görülmektedir. Bina yüksekliğinin arttığı bu binada zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önemlidir.



Şekil 9.10: 15 katlı binanın ZYE ve farklı katlara sahip YZYE modellerinden elde edilen maksimum GKÖO değerlerinin ankastre ankastre modele oranı

15 katlı binanın ankastre mesnetli modellerinde (Ank-0m) GKÖO değışimi 13 katlı bina gibi sınırlıdır. Bu binada çekileme etkileri hem sınırlı düzeyde kalmakta hem de komşu binanın kat adedi talepler üzerinde ciddi bir etki oluşturmamaktadır. Zemin-yapı etkileşimi ve çekileme etkilerinin dikkate alınması (YZYE-0 m) ile birlikte taleplerde %13' e varan artış meydana gelmektedir. YZYE-5 m olan modellerde komşu binanın kat adedinden etkilenmeyerek ise %8 artış bulunmaktadır. Eğer sadece ZYE modeli dikkate alınırse talepte %7 artış görölmektedir. YZYE-0m modeli GKÖO değerini etkileyen en kritik modeller olarak göze çarpmaktadır.

Çekileme etkisi dikkate alınan ankastre, çekileme etkisi olmayan YZYE, çekileme etkisi dikkate alınan YZYE ve binanın tek modellenmesi ile sadece zemin etkisinin dikkate alındığı ZYE modellerinden elde edilen GKÖO talepleri genel olarak ele alındığında;

- 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların en yüksek GKÖO (β) değeri genellikle YZYE-0m modelleri ile elde edilmiştir.
- 10, 13 ve 15 katlı binalarda ZYE ve YZYE-5m model yaklaşımları benzer sonuçlar vermiştir. Çarpışmanın beklenmediği durumlarda, 10 ve üzeri katlı binaların YZYE modelleri yerine sadece ZYE modelleri oluşturulmasının yeterli olabileceği görölmektedir.
- 5 ve 8 katlı binalarda çekileme etkileri görölmese bile YZYE-5m modellerinin oluşturulması ZYE modellerinden daha kritik sonuçlar meydana getirmiştir.
- Tüm binalarda YZYE-0m modelleri Ank-0m modellerinden daha yüksek GKÖO (β) değeri vermiştir. Yumuşak zemin üzerinde yer alan bitişik binalarda YZYE modelinin oluşturulması önemlidir.

Farklı kat adetlerine sahip binaların, farklı mesnetlenme türü veya ikili modelleme yaklaşımları ile birlikte GKÖO değerleri oldukça değışkenlik göstermektedir (Tablo 9.2).

Tablo 9.2: Binaların farklı mesnetlenme türleri veya ikili binalar halinde modellenmesi durumunda elde edilen GKÖO değerlerinin çarpışmasız ankastre modeldeki GKÖO değerlerine oranları

Model	Kat	Ank-0m	YZYE-5m	YZYE-0m	ZYE
5s	5	-	-	-	1,03
	8	1,03	1,10	1,10	-
	10	1,07	1,12	1,16	-
	13	1,17	1,18	1,24	-
	15	1,16	1,12	1,22	-
8s	5	1,02	1,08	1,16	-
	8	-	-	-	1,06
	10	1,03	1,09	1,05	-
	13	1,12	1,11	1,19	-
	15	1,12	1,11	1,20	-
10s	5	1,04	1,13	1,17	-
	8	1,04	1,13	1,16	-
	10	-	-	-	1,13
	13	1,06	1,14	1,17	-
	15	1,07	1,14	1,18	-
13s	5	1,01	1,07	1,09	-
	8	1,00	1,06	1,07	-
	10	0,99	1,05	1,06	-
	13	-	-	-	1,07
	15	0,99	1,05	1,05	-
15s	5	1,04	1,08	1,13	-
	8	1,00	1,08	1,10	-
	10	1,00	1,08	1,07	-
	13	1,02	1,08	1,09	-
	15	-	-	-	1,07

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, yumuşak zemin üzerinde yer alan orta katlı betonarme binalarda zemin-yapı etkileşimi ve ankastre mesnet yaklaşımlarının sismik davranışlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Zemin-yapı etkileşim modelleri için kolon ve kiriş yapısal elemanlar, doğrusal elastik olmayan davranışı yansıtacak şekilde modellere yansıtılmıştır. Yapı ile zemin arasında bulunan radye temel de modellerde dikkate alınmıştır. Zemin, üç boyutlu sonlu elemanlar yardımı ile modellenmiştir. Doğrusal elastik olmayan zemin davranış (fully nonlinear) için Mohr-Columb modeli ile uyumlu kayma modülü–kayma deformasyonu ($G/G_{\max}-\gamma$) ve sönüm oranı-kayma deformasyonu ($D-\gamma$) azalım ilişkileri kullanılmıştır. Sismik etkiler altındaki zemin ve yapı davranışının gerçekçi bir şekilde ortaya konulabilmesi amacıyla, nümerik analizlerde doğrudan metot (direct metot) benimsenmiştir. Sınırlı bir zemin modeli oluşturabilmek ve zemin sınırlarındaki yansıyan dalgaların önlenmesi için normal ve kayma gerilmeleri doğrultusunda enerjiyi absorbe eden viskoz sönümleyiciler tanımlanmıştır. Anakaya derinliği 45 m olan zemin profilinin tabanında ise ankastre mesnet tanımlanmıştır.

Üç amaç doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikli olarak yetersiz derz mesafesine sahip ankastre mesnetli komşu binaların sismik etkiler altındaki çarpışması sonucu, bina davranışlarının detaylı bir şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir. İkinci bir amaç doğrultusunda ise, yumuşak zeminler üzerinde yer alan komşu binalarda, zemin-yapı etkileşiminin bina davranışına olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda farklı bina yüksekliğine sahip ankastre mesnetli ve yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modellerinde oluşabilecek çekiçlemenin, yapıların deplasman talepleri ve görelî kat ötelenme oranları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Çarpışma etkilerinin görülmediği YZYE modellerindeki komşu binalar, zemin etkilerinden dolayı da birbirlerini etkileyebilir. Komşu binalar arasında, sadece zemin etkilerini belirleyebilmek için bir bina ve zeminden oluşan

zemin-yapı etkileşim (ZYE) modelleri oluşturulmuştur. Üçüncü amaç doğrultusunda, YZYE ve ZYE modellerinden elde edilen talepler ve görelî kat ötelenmeleri birbirleri ile kıyaslanarak zemin etkilerinin komşu binalar üzerindeki etkileri ortaya konulmak istenmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre ZD zemin sınıfı üzerinde yer alan 15, 13, 10, 8 ve 5 katlı betonarme bina modelleri tasarlanmıştır. Bu binalar kat seviyelerinden link elemanlar ile bağlanarak 10 adet ikili model oluşturulmuştur. Her ikili model için için ankastre ve zemin yapı etkileşimi yaklaşımları dikkate alınmış ve her yaklaşım türü için de iki farklı derz mesafesi incelenmiştir. Böylelikle 40 adet ikili model oluşturulmuştur.. Çekişleme etkilerinin görüldüğü ikili modeller arasında 0 m, görülmediği modellerde ise 5 m boşluk mesafesi seçilmiştir. Ayrıca bina diziliminin çekişleme üzerindeki etkilerini görebilmek adına, ankastre ve yapı-zemin-yapı etkileşim (YZYE) modellerindeki binaların yerleri değiştirilerek 20 adet ikili model daha çalışmaya eklenmiştir. Toplamda, 30 adet ankastre mesnete sahip ikili model ve 30 adet YZYE modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere ilave olarak sadece zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı 5 farklı bina için ZYE modelleri de eklenmiştir.

Zaman tanım alanında dinamik analizlerde kullanılmak üzere TBDY-2018 ile uyumlu 22 adet ivme kaydı Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ile seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. 30 adet ankastre mesnetli ikili model için 22 adet ivme kaydı kullanılarak 660 adet üç boyutlu (3B) dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Ankastre modellerde kullanılan bu yüzeysel kayıtlar, ZYE ve YZYE modellerinde kullanılabilir hale getirilmek üzere DEEPSOIL programı yardımı ile zemin profilinin tabanındaki (anakayadaki) karşılıklarına çevrilmiştir. Dekonvolüsyon (deconvolution) olarak adlandırılan bu işlem sırasında 1 adet ivme kaydının rezonansa girmesinden dolayı ZYE ve YZYE modellerinde 21 adet ivme kaydı kullanılmıştır. 30 adet YZYE modeli için 21 adet ivme kaydı kullanılarak 630 adet ve 5 adet ZYE modeli için 105 adet 3B dinamik analiz gerçekleştirilmiştir.

Oldukça yoğun emek ve iş gücü gerektiren bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular başlıklar halinde özetlenmiştir. Birinci başlıkta ankastre mesnetli ikili modellerin, ikinci başlıkta YZYE modellerin, üçüncü başlıkta ZYE modellerin ve

dördüncü başlıkta ise bu 3 farklı mesnetlenme ve modelleme türlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Ankastre mesnetli çekiçleme bina modelleri için elde edilen sonuçların çarpışmasız modeller ile karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

- Komşu binaların sismik etkiler altında çarpışması sonucunda, bina yüksekliği (aynı zamanda yapı ağırlığı) fazla olan binanın deplasman taleplerinde sınırlı bir değişim görülmektedir. Özellikle ankastre mesnetli 15 ve 13 katlı modellerin kendinden daha hafif yapılar ile çarpışması durumunda, bu modellerin çatı taleplerinde %3-4'lük bir artış gözlemlenmiştir.
- Daha hafif yapılar olarak dikkate alınan 10, 8 ve 5 katlı bina modelleri kendilerinden daha ağır yapılar ile çarpışmaları durumunda, çatı taleplerinde sırasıyla %10, %18 ve %21'e varan artışlar gözlemlenmiştir.
- Komşu binaların bina yüksekliklerinin birbirine yaklaşması durumunda, çekiçleme etkisi ile taleplerdeki değişim sınırlı kalabilmektedir. Bina yükseklikleri arasındaki farkın artması durumunda ise çarpışma sonucu taleplerde daha ciddi artışlar görülmüştür.
- Çarpışmalı durum için dinamik analizlerden elde edilen talepler, çarpışmasız durumlara oranlanarak ortalama talep oranları hesaplanmıştır. Sismik kaynaklı çarpışmalar sonucu, komşu binaların kat adetlerine bağlı talep değişim eğrileri elde edilmiştir. 5, 8 ve 10 katlı binaların diğer kat adetlerine sahip yapılar ile çarpışması durumundaki deplasman büyütme faktörlerini (β) öngörmek üzere denklem önerilmiştir.
- Bina ağırlığının artmasıyla birlikte deplasman oranlarının saçılımı azalmaktadır. 15 ve 13 katlı binaların kendinden daha hafif yapılar ile sismik kaynaklı çarpışması durumunda, taleplerdeki saçılımı daha sınırlıdır. Hafif olan 5 ve 8 katlı binaların deplasman oranlarının saçılımı ise, komşu binanın kat adedinden etkilenecek artmaktadır.
- Çekiçleme etkilerinin dikkate alındığı ikili modellerde binaların dizilimleri deplasman taleplerini oldukça etkilemektedir. Örneğin; 5 ve 13 katlı binalar arasında kurulan ikili modellerde bina dizilimine bağlı olarak, 5 katlı binanın çatı deplasman talebi (5s-13s-ank-0m modeli) %1 azalırken ve 13s-5s-ank-0m modelinde ise %22 artış göstermektedir.

- Komşu binaların sismik kaynaklı çarpışmaları talepler anlamında birbirlerini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Çarpışmanın görüldüğü katlardaki deplasman profili incelendiğinde, taleplerde azalma ile karşılaşılabilir.
- İkili modellerdeki kısa binaların üst katlarındaki GKÖO değerleri %60' a varan artış göstermektedir. Buna karşılık yüksek olan binaların alt katlarında sınırlı değişimler meydana gelirken, üst katlarında ise kamçı etkisi ile %10' a varan artışlar görülebilmektedir.

YZYE bina modelleri için elde edilen sonuçların çarpışmasız ankastre modeller ile karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

- YZYE-5m veya YZYE-0m modellerindeki tüm binalarda ortalama deplasman talepleri Ank-5m modellerinden daha yüksek elde edilmiştir. Deplasman büyütme faktörleri 1' den büyüktür.
- YZYE-5m modellerindeki 10, 13 ve 15 katlı binalar, komşu binalardan sırasıyla %15, %9 ve %10 civarında etkilenmiştir. Fakat bu binalara ait taleplerin komşu binanın kat adedinden pek etkilenmediği, sabit bir talep oranına sahip oldukları gözlemlenmiştir.
- YZYE-5m modellerindeki 5 ve 8 katlı binalarda talepler, komşu binalardan dolayı %10' un üzerinde artmıştır. Bu artışlar komşu binanın kat adedine göre farklılık göstererek %16-19 seviyelerine kadar ulaşabilmektedir.
- YZYE-0m modellerindeki 13 ve 15 katlı binalara ait analizler YZYE-5m modellerinin analizlerine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Çalışma kapsamında bina yüksekliği en fazla olan bu binalar için YZYE modellerindeki derz aralığı, talepler üzerinde ciddi değişimlere neden olmamaktadır.
- Yine 5 ve 8 katlı binaların YZYE-0m modellerindeki talepleri, hem zemin-yapı etkileşiminden hem de çekiçleme etkilerinden dolayı %28-30' a varan artışlar gösterebilmektedir.
- YZYE modellerinde; 15, 13 ve 10 katlı binaların üst katlarındaki talep artışları alt katlara oranla daha belirgindir. Alt katlarda, yumuşak zeminden dolayı görülen temel dönmelerinin deplasman taleplerini arttırdığı gözlemlenmiş olsa da, yüksek mod etkilerinin baskın olduğu üst katlardaki artışlar daha net görülmektedir.

ZYE bina modelleri için elde edilen sonuçların çarpışmasız ankastre modeller ile karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

- ZYE modellerinde; 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların deplasman büyütme faktörleri sırasıyla 1.01, 1.08, 1.13, 1.14, 1.10 olarak elde edilmiştir. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı 5 katlı binada, ortalama deplasmanlardaki artış ihmal edilebilecek düzeydedir. Buna karşılık bina yüksekliğinin artması ile birlikte yumuşak zeminlerdeki binaların taleplerinde yaklaşık %14' ü bulan ciddi artışlar görülebilmektedir.
- Çalışmanın bir kısmında ZYE modellerindeki binaların çatı ötelenme oranları ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Binaların hasar potansiyellerinin belirlenmesinde hız ile ilişkili parametrelerin oldukça iyi korelasyon değerleri sunduğu görülmüştür. Buna karşılık ivme ve deplasman ile ilişkili parametrelerin ise oldukça zayıf bir korelasyon sunduğu belirlenmiştir.
- Yirmi farklı yer hareketi parametresi içerisinde en iyi korelasyon değeri HI parametresine aittir. Oldukça yaygın olarak kullanılan VSI ve PGV parametrelerinin de makul sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak, bu çalışma ile literatürde yer alan birçok çalışmada da vurgulandığı gibi pik yer ivmesinin (PGA) çok düşük bir korelasyona sahip olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çalışma kapsamında daha yüksek korelasyona ve daha düşük bir saçılıma sahip olan bir denklem önerilmiştir. Farklı parametrelerin birleştirilmesi ile oluşturulan bu denklemin kullanımı ile birlikte saçılım %24 iyileştirilmiştir.

YZYE, ZYE ve ankastre mesnetli bina modelleri için elde edilen sonuçların çarpışmasız ankastre modeller ile karşılaştırılması aşağıda özetlenmiştir.

- 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaların en yüksek deplasman büyütme faktörü oranı (β) genellikle (13 katlı binanın ZYE modeli dışında) YZYE-0m modelleri ile elde edilmiştir.
- 10, 13 ve 15 katlı binalarda ZYE ve YZYE-5m model yaklaşımları benzer sonuçlar vermiştir. Çarpışmanın beklenmediği durumlarda, 10 ve üzeri katlı binaların ZYE modelleri oluşturulmasının yeterli olabileceği görülmüştür.

- 5 ve 8 katlı binalarda çekiçleme etkileri görülmesi bile YZYE-5m modellerinin oluşturulmasının ZYE modellerine kıyasla daha kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur.
- Tüm binalarda YZYE-0m modelleri Ank-0m modellerinden daha yüksek deplasman oranı (β) değeri vermiştir. Yumuşak zemin üzerinde yer alan ve çarpışma ihtimali bulunan bitişik binalarda ankastre modeller yerine YZYE modelinin oluşturulmasının önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Yumuşak zeminlerde bulunan yapıların davranışları ankastre mesnet varsayımından oldukça uzaklaşmaktadır. Ayrıca yumuşak zeminlerdeki komşu binaların birbirlerini etkilemesinden dolayı, binaların tek başına değerlendirilmemesi gerekmektedir. Buna ilave olarak yapılar arasında yetersiz derz mesafesinin bulunması, sismik davranış açısından da önemli değişikliklere neden olabilmektedir.

Sonuç olarak, yumuşak zemin üzerindeki ikili binaların arasında yeterli derz mesafesinin bulunması (ve bu derz mesafesinin 5 m ve daha az olması) durumunda, 8 kata kadar olan binalar için komşu bina ve zemin etkileri dikkate alınarak YZYE modelleri oluşturulmalıdır. Aynı derz mesafesi şartlarının sağlandığı 8 kattan daha yüksek binalar için analiz yükü düşünülerek ZYE modellerinin oluşturulmasının yeterli olabileceği değerlendirilmiştir. İkili binalar arasındaki derz mesafesi yetersiz ise 15 katlı binalara kadar komşu binaların etkilerini de dikkate alabilmek için YZYE modellerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Yumuşak zeminler üzerinde yer alan komşu binalar arasındaki mesafenin 5 m ve daha az olması durumları için ankastre mesnet varsayımının dikkate alınması yapısal güvenliği tehlikeye atacaktır.

10.2 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, yumuşak zemini temsil etmesi amacıyla ZD zemin sınıfı tercih edilmiştir. Üç farklı tabaka ve toplam 45 m yüksekliğe sahip killi zemin profili, YZYE ve ZYE sistemlerinde kullanılmıştır. Farklı zemin yüksekliklerinin veya özelliklerinin yapıların sismik davranışlara olan etkileri incelenebilir. ZB, ZC ve ZE zemin sınıflarının ZYE ve YZYE sistemlerine olan etkileri araştırılabilir. Zemin hacmi, analiz yükünü ciddi düzeyde arttırdığı için iki boyutlu modeller tercih edilebilir.

Çalışmada orta katlı binaları temsil eden 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı betonarme binalar dikkate alınmıştır. Yumuşak zeminlerdeki temel dönmeleri ve zemin ötelenmesi orta ve yüksek katlı binaların sismik davranışlarını önemli düzeyde değiştirmektedir. Bu nedenle, yüksek katlı binaların davranışlarının ele alınması gerekmektedir. Yapı yüksekliğinin artması ile birlikte taşıyıcı sistem çelik elemanlardan oluşabilmektedir. Ayrıca, yüksek yapıların tasarım aşamasında derin temeller tercih edilmektedir. Derin temelli çelik yapıların kazık-zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak sismik davranışlar ortaya konabilir.

Tez kapsamında ikili bina modelleri arasındaki etkileşim araştırılmıştır. Bina sayısı artırılarak sıralı binaların YZYE etkilerine bakılabilir. Ayrıca komşu binalar arasındaki farklı derz mesafelerinin etkileri incelenebilir.

11. KAYNAKLAR

Abrahamson, N.A., Non-stationary spectral matching program RSPMATCH, User Manual, (1993).

Akkar, S. and Ozen, O., “Effect of peak ground velocity on deformation demands for SDOF systems”, *Earthquake Eng Struct Dyn*, 34 (13), 1551-1571, (2005).

Anagnostopoulos, S., “Earthquake induced pounding: State of the art”. In: Proceedings of the 10th European conference on earthquake engineering, 897-905, (1995).

Anagnostopoulos, S.A., “Pounding of buildings in series during earthquakes”. *Earthq Eng Struct Dyn*, 16 (3), 443-456, (1988).

Anagnostopoulos S.A. and Karamaneas C.E., “Use of collision shear walls to minimize seismic separation and to protect adjacent buildings from collapse due to earthquake-induced pounding”, *Earthquake Eng Struct Dyn*, 37, 1371-1388, (2008).

Anagnostopoulos, S.A. and Spiliopoulos, K.V. “An investigation of earthquake induced pounding between adjacent buildings”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 21, 289–302, (1992).

Arias, A., “A measure of earthquake intensity” in R.J. Hansen, ed. Seismic Design for Nuclear Power Plants, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 438-843, (1970).

ASCE7-10, Minimum design loads for buildings and other structures. In: ASCE/SEI standard 7-10. American Society of Civil Engineers, Reston, (2010).

ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Applied Technology Council, California, (1996).

Aytun, A., Olası deprem hasarını en aza indirmek amacıyla yapıların “doğal” salınım periyodlarının yerin “baskın” periyodundan uzak kılınması, Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, (2001).

Azevedo, J. and Bento, R., “Equivalent viscous damping for modeling inelastic impacts in earthquake pounding problems”. Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, 1063, (1996).

Benjamin, J.R. and Associates, A criterion for determining exceedence of the Operating Basis Earthquake, EPRI Report NP-5930, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, (1988).

Bertero, V.V. and Collins, R.G., “Investigation of the failures of the Olive View stair-towers during the San Fernando earthquake and their implications on seismic design”, Report No. EERC 73-26, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, (1973).

Bommer, J.J. and Acevedo, A.B., “The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis”, *J Earthquake Eng*, Special Issue, 8 (1), 43-91, (2004).

Boore, D.M., “Simulation of ground-motion using the stochastic method” *Pure Appl Geophys*, 160, 635-76, (2003).

Borja, R.I., Wu, W.H., Amies, A.P. and Smith, H.A., “Nonlinear Lateral, Rocking and Torsional Vibration of Rigid Foundations”, *J Geotech Eng-ASCE*, 120 (3), 491-513, (1994).

Byrne, P.M., Naesgaard, E and Seid-Karbasi, M., “Analysis and design of earth structures to resist seismic soil liquefaction”, Proc., 59th Canadian Geotechnical Conf. and 7th Joint CGS/IAH-CNC Ground-water Specialty Conf., Canadian Geotechnical Society, Richmond BC, Canada, (2006).

Cao, V.V. and Ronagh, H.R., “Correlation between seismic parameters of far-fault motions and damage indices of low-rise reinforced concrete frames”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 66, 102-112, (2014).

Chandler, R., Clancy, J., Dixon, D., Goody, J. and Wooding, G., *Building type basics for housing*, Wiley, Hoboken, NJ, (2010).

Cimellaro G.P. and Garcia, D.L., “Seismic Response of Adjacent Buildings Connected by Nonlinear Viscous Dampers”, *Structural Engineering Research Frontiers*, 1-12, (2007).

Darendeli, M.B., “Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves”, PhD Thesis, The University at Austin, Texas, (2001).

Das, B.M., *Fundamental of Soil Dynamic*, Elsevier Science Publishing Co., Inc. ISBN 0-444-00705-9, (1983).

DEEPSOIL Version 7.0, Nonlinear and Equivalent Linear Seismic Site Response of One-Dimensional Soil Columns, University of Illinois at Urbana-Champaign, (2019).

Delgado, J., Lopez Casado, C., Estevez, A., Giner, J., Cuenca, A., Molina, S. “Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool”, *J Appl Geophys*, 45 (1), 19–32, (2000).

Doğan, M. and Günaydın, A., “Pounding of Adjacent RC Buildings During Seismic Loads”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22, 129-145, (2009).

Dutta, C.H. and Roy, R., “A Critical Review on Idealization and Modelling for Interaction Among Soil–Foundation–Structure System”, *Comput Struct*, 80 (3), 1579-1594, (2002).

Efraimiadou, S., Hatzigeorgiou, G.D. and Beskos, D.E., “Structural Pounding Between Adjacent Buildings Subjected to Strong Ground Motions. Part II:

The Effect of Multiple Earthquake”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 42, 1529-1545, (2013).

Elenas, A. and Meskouris, K., “Correlation study between seismic acceleration parameters and damage indices of structures”, *Eng Struct*, 23 (6), 698-704, (2001).

Elnashai, A. and Sarno, L.D., *Fundamentals of Earthquake Engineering*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK, (2008).

Eurocode 8, *Design of structures for earthquake resistance: general rules seismic actions and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels, (2004).

Fahjan, Y.M., “Selection and scaling of real earthquake accelerograms to fit the Turkish Design Spectra”. *Teknik Dergi*, 19 (3), 4423–4444, (2008).

Fatahi, B. and Tabatabaiefar, H.R., “Fully Nonlinear versus Equivalent Linear Computation Method for Seismic Analysis of Midrise Buildings on Soft Soils”, *Int J Geomech ASCE*, (2013).

Fatahi, B., Nguyen, Q.V., Xu, R. and Sun W. “Three-Dimensional Response of Neighboring Buildings Sitting on Pile Foundations to Seismic Pounding” *Int J Geomech ASCE*, 18 (4), (2018).

FEMA-356, *Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, (2000).

Ghandil, M. and Aldaikh, H., “Damage-based seismic planar pounding analysis of adjacent symmetric buildings considering inelastic structure–soil–structure interaction”, *Earthquake Eng Struct Dyn*, 46 (7), 1141-1159, (2013).

Ghandil, M. and Behnamfar, F., “The near-field method for dynamic analysis of structures on soft soils including inelastic soil–structure interaction”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 75, 1-17, (2015).

Ghandil, M. and Behnamfar, F., “Ductility demands of MRF structures on soft soils considering soil-structure interaction”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 92, 203-214, (2017).

Ghosh, S. and Wilson, E.L., Analysis of Axi-symmetric Structures under Arbitrary Loading, EERC Report No. 69-10, University of California, Berkeley, (1969).

Hardin, B.O., “The nature of stress-strain behaviour for soils”, Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division specialty conference, June 19-21, Pasadena, CA, 3-90, (1978).

Hosseini, S.M.M. and Pajouh, M.A., “Comparative study on the equivalent linear and the fully nonlinear site response analysis approaches”, *Arab J Geosci*, 5, 587-597, (2012).

Housner G., “Spectrum intensities of strong motion earthquakes”, In: Proceeding of the symposium on earthquake and blast effects on structures in Los Angeles, California, 20–36, (1952).

Inel, M., Ozmen, H.B. and Akyol, E., “Observations on the building damages after 19 May 2011 Simav (Turkey) earthquake”. *Bull Earthquake Eng*, 11, 255–283, (2013).

Jankowski, R., “Earthquake-induced pounding between equal height buildings with substantially different dynamic properties”, *Eng Struct*, 30, 2818-2829, (2008).

Jankowski, R., “Non linear viscoelastic modelling of earthquake induced structural pounding”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 34 (6), 595-611, (2005).

Jankowski, R., “Pounding force response spectrum under earthquake excitation”. *Eng Struct*, 28 (8), 1149-1161, (2006).

Kaklamanos, J., Baise, L. G., Thompson, E.M. and Dorfmann, L. “Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response

models at six KiK-net validation sites”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 69, 207–219, (2015).

Kamal, M., “Mevcut Bitişik İkili Binalardaki Çekiçlemenin Sismik Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *PAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2016).

Kasai, K., Maison, B.F., “Building pounding damage during the 1989 Loma Prieta earthquake”, *Eng Struct*, 19, 195–207, (1997).

Kayhan, A.H., Korkmaz, K.A. and Irfanoglu, A., “Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 31, 941–953, (2011).

Kocak, S. and Mengi, Y. “A Simple Soil-structure Interaction Model”, *Appl Math Model*, 24 (8-9), 607-635, (2000),

Kontoni, D.P.N. and Farghaly, A.A., “Seismic Response of Adjacent Unequal Buildings Subjected to Double Pounding Considering Soil-Structure Interaction” *Computation*, 6 (1), 10 (2018).

Kose, M.M., Abacioglu, M.A. “Dynamic Interactions of Adjacent Structures in Different Geometries“. *KSU Journal of Science and Engineering*, 11 (2), 45-51, (2008).

Kramer, S.L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall civil engineering and engineering mechanics series, ISBN 0-13-374943-6, (1996).

Kwok, A.O.L., Stewart, J.P., Hashash, Y.M., Matasovic, N., Pyke, R., Wang, Z. and Yang, Z., “Use of exact solutions of wave propagation problems to guide implementation of nonlinear seismic ground response analysis procedures” *J Geotech Eng-ASCE*, 133 (11), 1385-1398, (2007).

Lachetl, C. and Bard, P.Y. “Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura’s technique”, *J Phys Earth*, 42(5), 377–397, (2011).

Livaoglu, R. and Dogangun A., “Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid–structure–soil interaction”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 27, 855–63, (2007).

Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R.L., 'Finite Dynamic Model for Infinite Media', *J Eng Mech Div-ASCE*, 95 (6), 859-877, (1969).

Madani, B., Behnamfar, F., Riahi, H.T., “Dynamic response of structures subjected to pounding and structure–soil–structure interaction”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 78,46-60 (2015).

Maheshwari, B.K. and Sarkar, R., “Seismic Behavior of Soil-Pile-Structure Interaction in Liquefiable Soils: Parametric Study”, *Int J Geomech*, 11 (4), 336-347, (2011).

Mahmoud, S. and Jankowski, R., “Modified linear viscoelastic model of earthquake-induced structural pounding”, *Transactions of Civil and Environmental Engineering*, 35, 51-62, (2011).

Maison, B.F. and Kasai, K. “Analysis for type of structural pounding”, *J Struct Eng ASCE*, 116 (4), 957-977, (1990).

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., “Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, *J Struct Eng, ASCE*, 114 (8),1804-1826, (1988).

Mier, J.G., Pruijssers, A., Reinhardt, H.W. and Monnier, T., “Load Time Response of Colliding Concrete Bodies”. *J Struct Eng, ASCE*, 117 (2), 354-374, (1991).

Moustafa, A. and Takewaki, I., “Characterization of earthquake ground motion of multiple sequences”, *Earthq Struct*, 3(5), 629-647, (2012).

Mouzakis, H.P. and Papadrakakis, M., “Three dimensional nonlinear building pounding with friction during earthquakes”. *J Earthq Eng*, 8 (1), 107-132, (2004).

Mulliken, J.S. and Karabalis, D., “Discrete Model for Dynamic Through-the-Soil Coupling of 3-D Foundations and Structures”, *Earthquake Eng Struct Dyn*, 27, 687-710 (1998).

Muthukumar, S., Desroches, R., “Evaluation of impact models for seismic pounding”. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, 235, August 1-6, (2004).

Muthukumar, S., DesRoches, R., “A Hertz Contact Model with Non-Linear Damping For Pounding Simulation”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 35, 811-828, (2006).

Nanos, N., Elenas, A. and Ponterosso, P. “Correlation of different strong motion duration parameters and damage indicators of reinforced concrete structures”, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, (2008).

Nguyen, Q. V., Fatahi, B. and Hokmabadi, A. S., “Influence of size and load-bearing mechanism of piles on seismic performance of buildings considering soil–pile–structure interaction”, *Int J Geomech*, 17 (7), 04017007, (2017).

Northridge Reconnaissance Team, “Northridge Earthquake of January 17, 1994”, Reconnaissance Report, EERI 25-47, Oakland, California, (1996).

Nuttli, O.W., The relation of sustained maximum ground Acceleration and velocity to earthquake intensity and magnitude, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 16, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 74, (1979).

Ozmen, H.B., Inel, M., Akyol, E., Cayci, B.T., Un, H., “Evaluations on the relation of RC building damages with structural parameters after May 19, 2011 Simav (Turkey) earthquake”. *Nat Hazards*, 71, 63–84, (2014).

Ozmen, H.B., “Developing hybrid parameters for measuring damage potential of earthquake records: case for RC building stock”, *Bull Earthquake Eng*, 15, 3083-3101, (2016).

Ozmen, H.B. and Inel, M. “Damage potential of earthquake records for RC building stock”, *Earthquakes and Structures*, 10 (6), 1315-1330, (2016).

Pantelides, C.P., Ma, X., “Linear and Nonlinear Pounding of Structural Systems”, *Comput Struct*, 1 (Vol.66), 79-92, (1997).

Park, D. and Hashash, Y.M.A, “Soil damping formulation in nonlinear time domain site response analysis”, *J Earthquake Eng*, 8, (2), 249-274, (2004).

PEER-Database. <http://nisee.berkeley.edu/spl/> (2011).

Pitilakis, K. and Terzi, V. “Experimental and theoretical SFSI studies in a model structure in Euroseistest”, Chapter 7 at the book *Special Topics in Advances in Earthquake Geotechnical Engineering*, Book Series: Geotech Geol Earthq Eng, (2012).

Rathje, E.M., Abrahamson, N.A. and Bray, J.D., “Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions”, *J Geotech Geoenviron*, 124(2), 150-159, (1998).

Roesset, J.M., “Soil Amplification in Earthquakes, Numerical Methods in Geotechnical Engineering”, C.S. Desai And J.T. Christian, Eds., McGraw Hill, New York, Chapter 19, 639-682, ISBN 0-07-016542-4, (1977).

Rosenblueth, E., Meli, R., “The 1985 Earthquake: Causes and Effects in Mexico City”, *Concrete International*, 8 (5), 23-34, (1986).

Saez, E., Caballero, F.L. and Razavi, A.M.F., “Inelastic dynamic soil–structure interaction effects on moment-resisting frame buildings”, *Eng Struct*; 51, 166-177, (2013).

SAP2000 CSI., *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*, Berkeley, USA, (2013).

Sarma, S.K. and Yang, K.S., “An evaluation of strong motion records and a new parameter A95”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 15, 119-132, (1987).

Scarfone, R., Morigi M. and Conti R., “Assessment of dynamic soil-structure interaction effects for tall buildings: A 3D numerical approach”. *Soil Dyn Earthq Eng*, 128, 105864, (2020).

Seed, H.B., and Idriss, I.M., “Influence of Soil Conditions on Ground Motion During Earthquakes”, *Journal of the Soil mechanics and foundations Division, ASCE*, 95 (2), 99-137, (1969).

SeismoSignal, Earthquake Engineering Software Solutions. Chalkida, Greece. <http://www.seismosoft.com>, (2011).

Semap, Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı; Tubitak Proje No: 105M024, (2008).

SHAKE2000, A computer program for the 1-D analysis of geo-technical earthquake engineering problems, (2006).

Shakya, K. and Wijeyewickrema, A.C., “Mid-Column Pounding of Multi-Story Reinforced Concrete Buildings Considering Soil Effects”, *Advances in Structural Engineering*, 12 (1), (2009).

Storn, R. and Price, K., “Differential Evolution- A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces”. Tech Rep TR-95-012, 1–12, (1995).

Sun, J.I., Golesorkhi, R. and Seed, B., “Dynamic Module and Damping Ratios for Cohesive Soils”, Earthquake Engineering Research Centre, Report No. UCB/EERC-88/15, University of California, Berkeley, (1998).

Spyrakos, C.C., Maniatakis, Ch.A. and Koutromanos, I.A. “Soil-Structure Interaction Effects on Base-isolated Buildings Founded on Soil Stratum”, *Eng Struct*, 31 (3), 729-737, (2009).

Şafak, E., “Local site effects and dynamic soil behavior”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 21, 453-458, (2001).

Tabatabaiefar, H.R. and Massumi A., “A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil–structure interaction”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 30, 1259-1267, (2010).

Tabatabaiefar, S.H.R., “Determining Seismic Response of Mid-rise Building Frames Considering Dynamic Soil-Structure Interaction”, PhD Thesis, University of Technology Sydney, Sydney, (2012).

Takizawa, H. and Jennings, P.C., “Collapse of a model for ductile reinforced concrete frames under extreme earthquake motions”, *Earthq Eng Struct*, 8 (2), 117-144, (1980).

TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye, (2018).

Trifunac, M.D. and Brady, A.G., “On the correlation of seismic intensity with peaks of recorded strong motion”, *Bulletin of Seismological Society of America*, 65, 139-162, (1975).

Türk Standardı-TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (1997).

Uzarski, J. and Arnold, C., “Chi-Chi, Taiwan, earthquake of September 21, 1999”, Reconnaissance report, Publ. No. 01-02, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, (2001).

Valles-Mattox, R., Reinhorn, A., “Evaluation, prevention and mitigation of pounding effects in building structures”. In: Proceedings of the 11th World conference on earthquake engineering, 26, (1996).

Vanmarcke, E.H., Representation of earthquake ground motion: scaled accelerograms and equivalent response spectra. State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United States. Report 14. Miscellaneous paper S-73-1, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, (1979).

Von Thun, J.L., Rochim, L.H., Scott, G.A. and Wilson, J.A. “Earthquake ground motions for design and analysis of dams”, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II - Recent Advances in Ground- Motion Evaluation*, Geotechnical Special Publication, 20, 463-481, (1988).

Vucetic, M. and Dobry, R., “Effects of Soil Plasticity on Cyclic Response”, *J Geotech Eng-ASCE*, 117 (1), 89-107, (1991).

Wolf, J.P., , *Dynamic Soil Structure Interaction*, Prentice Hall Co, New Jersey, (1985).

Wolf, J.P., “Consistent lumped-parameter models for unbounded soil: physical representation”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 20 (1), 11-32, (1991).

Yakut, A. and Yilmaz, H., “Correlation of deformation demands with ground motion intensity”, *J Struct Eng, ASCE*, 134 (12), 1818-1828, (2008).

Youd, T.L., Bardet, J.P., Bray, J.D., ”Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999”, Reconnaissance report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, (2000).

Zheng, J. and Takeda, T. “Effects of Soil-Structure Interaction on Seismic Response of PC Cable-stayed Bridge”, *Soil Dyn Earthq Eng*, 14(6), 427–437, (1995).