

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

**DÜŞÜK VE ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALARDA ZEMİN
SINIFI VE LOKASYONUN YETERLİ DERZ MESAFESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VERDANUR KOŞAR AVCI

DENİZLİ, NİSAN - 2024

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



**DÜŞÜK VE ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALARDA ZEMİN
SINIFI VE LOKASYONUN YETERLİ DERZ MESAFESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VERDANUR KOŞAR AVCI

DENİZLİ, NİSAN - 2024

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.

VERDANUR KOŞAR AVCI

ÖZET

DÜŞÜK VE ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİNALARDA ZEMİN SINIFI VE LOKASYONUN YETERLİ DERZ MESAFESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

VERDANUR KOŞAR AVCI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET İNEL)

DENİZLİ, NİSAN - 2024

Çalışma 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre tasarlanmış 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı bitişik betonarme binalar arasında meydana gelen deprem etkileşimini önlemek için gerekli olan minimum derz mesafelerini araştırmıştır. Oluşturulan 56 farklı ikili bina modelinin üç farklı sismik lokasyon ve üç farklı zemin tipi üzerinde inşa edildiği varsayılmıştır. TBDY-2018 ile uyumlu 11 farklı deprem kaydı çifti (22 kayıt), üç farklı zemin tipi (ZC, ZD ve ZE) ve üç farklı lokasyon (Denizli, Kocaeli ve Adana) kullanılarak toplamda 11088 adet doğrusal elastik olmayan dinamik analiz yapılarak gerekli deprem derz mesafeleri elde edilmiştir. Elde edilen derz mesafeleri TBDY-2018 tarafından önerilen yöntemle kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçları göz önüne alındığında, farklı zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için sadece bina yüksekliğine dayanan derz mesafe hesabının yetersiz sonuçlar verdiği görülmüştür. Bitişik nizamlı binalar arasındaki gereken deprem derz mesafelerini tahmin etmek için çalışma kapsamında dört farklı basit yaklaşım önerilmiştir. Statik analiz gerekmeden bina yüksekliği, periyot oranı, lokasyon ve zemin tipi parametrelerine bağlı olarak derz mesafesi önerilen yaklaşımlarla kolay ve kullanışlı bir şekilde hesaplanabilir hale getirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Düşük ve Orta Katlı Binalar, Betonarme Binalar, Doğrusal Olmayan Analiz, Zaman Tanım Alanında Analiz, Çekiçleme, Sismik Derz Mesafesi

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL TYPES AND SEISMIC LOCATIONS ON SEPARATION DISTANCES BETWEEN LOW-AND MID-RISE ADJACENT BUILDINGS

MSC THESIS

VERDANUR KOŞAR AVCI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CİVİL MÜHÜRERİNG

(SUPERVISOR:PROF. DR. MEHMET İNEL)

DENİZLİ, APRIL 2024

This study investigates the minimum separation distance required to prevent collision between adjacent reinforced concrete buildings of 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 floors designed according to the 2018 Turkish Earthquake Code (TEC-2018). It was assumed that the 56 different binary building models were built on three different seismic locations and three different soil types. 11 different earthquake record pairs (22 records) compatible with TBEC-2018 for 9 different soil type and location combination (ZC, ZD and ZE soil types and Denizli, Kocaeli and Adana locations) were used to perform a total of 11088 nonlinear dynamic analyses to obtain the required separation distance. The obtained distances were compared to the distance required using TEC-2018. The outcomes indicate that the separation distance calculated based on the building height is not adequate for different soil types and seismic locations. Four different simple approaches were proposed within the scope of this study to estimate the required seismic separation distance between adjacent buildings. Depending on the building height, period ratio of adjacent buildings, location and soil type parameters, the separation distance can be calculated easily and conveniently using the suggested approaches without the need for static analysis.

KEYWORDS: Low and Medium-Rise Buildings, Reinforced Concrete Buildings, Nonlinear Analysis, Time Domain Analysis, Hammering

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xi
KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	3
1.2 Literatür Özeti	4
1.3 Tezin Organizasyonu.....	7
2. YAPISAL MODELLEME.....	8
2.1 Genel	8
2.2 Bina Modellerinin Özellikleri.....	8
2.3 Link Eleman Özellikleri	13
2.4 Doğrusal Elastik Olmayan Yapı Davranışı	16
2.4.1 Davranış Biçimleri.....	16
2.4.2 Plastik Mafsalları	17
2.4.3 Moment-Eğrilik İlişkisi.....	17
3. DEPREM İVME KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖZELLİKLERİ.....	21
3.1 Genel	21
3.2 Tasarım İvme Spektrumu	22
3.2.1 TBDY-2018'e göre İvme Kaydı Seçim Kriterleri	23
3.3 Seçilen İvme Kayıtlarının Özellikleri.....	24
4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA DİNAMİK ANALİZLER VE SONUÇLARI.....	29
4.1 Giriş ve Organizasyon	29
4.2 Analiz Parametreleri.....	30
4.3 İkili Betonarme Bina Modelleri ve Özellikleri.....	30
4.4 Literatürde Minimum Deprem Derz Mesafesinin Hesaplanması.....	33
4.5 Analiz Sonuçları ve Derz Mesafesinin Hesaplanmasına Yönelik Yaklaşımlar	38
4.5.1 1. Yöntem.....	39
4.5.2 2. Yöntem.....	46
4.5.3 3. Yöntem.....	57
4.5.4 4. Yöntem.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
6. KAYNAKLAR.....	75
7. EKLER.....	81
EK A Tezde Kullanılan İvme Kayıtları.....	81
EK B. Seçilen İvme Kayıt Takımlarına ait Yatay Spektrum Grafikleri.....	85
EK C. m katsayıları ve Bina Periyotları Arasındaki İlişki	98
8. ÖZGEÇMİŞ.....	103

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Deprem Sonucunda Çekişleme Etkisinden Dolayı Meydana Gelen Yapı Hasarı (Kahramanmaraş, 2023).....	1
Şekil 1.2: 2023 Kahramanmaraş Depremi Sonucunda Çekişlemeden Kaynaklı Köprülerde Oluşan Hasar (Değerlendirme Raporu, 2023)2	
Şekil 1.3: Çekişleme Etkisi.....	2
Şekil 2.1: Kare kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model s).....	10
Şekil 2.2: Dikdörtgen kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model r).....	11
Şekil 2.3: a) 10-5 katlı 3B ikili modeller b) Link elemanın kat hizalarından birbirlerine bağlanma şekli.....	14
Şekil 2.4: a) Kelvin Modeli b) Kuvvet-şekil değiştirme grafiği (Muthukumar ve Desroches 2004, 2006).....	14
Şekil 2.5: Plastik mafsals hipotezi.....	16
Şekil 2.6: Doğrusal olmayan davranış	17
Şekil 2.7: a) Kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin meydana gelmediği durum	18
Şekil 3.1: Tüm sismik lokasyonlar için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu	24
Şekil 3.2: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	27
Şekil 3.3: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	27
Şekil 3.4: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	28
Şekil 3.5: Denizli lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrum ve 22 adet ivme kayıtlarının ortalama spektrumları	28
Şekil 4.1: Tezin Organizasyon Şeması	29
Şekil 4.2: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)	40
Şekil 4.3: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)	40
Şekil 4.4: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)	41
Şekil 4.5: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	41
Şekil 4.6: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	42

Şekil 4.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	42
Şekil 4.8: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	43
Şekil 4.9: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	43
Şekil 4.10: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	44
Şekil 4.11: Farklı zemin tipleri ve lokasyonlar için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki	46
Şekil 4.12: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)	47
Şekil 4.13: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	48
Şekil 4.14: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	48
Şekil 4.15: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	49
Şekil 4.16: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	49
Şekil 4.17: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	50
Şekil 4.18: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	50
Şekil 4.19: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	51
Şekil 4.20: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	51
Şekil 4.21: Farklı zemin tipleri ve lokasyonlar için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki	53
Şekil 4.22: Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	58
Şekil 4.23: Adana lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	58
Şekil 4.24: Kocaeli lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	59
Şekil 4.25: Adana lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	59
Şekil 4.26: Kocaeli lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	60
Şekil 4.27: Adana lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı	60
Şekil 4.28: Denizli lokasyonu referans alınarak elde edilen toplu C katsayıları	61
Şekil 4.29: Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	65
Şekil 4.30: Adana lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	66
Şekil 4.31: Kocaeli lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	66

Şekil 4.32: Adana lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	67
Şekil 4.33: Kocaeli lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	67
Şekil 4.34: Adana lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı	68
Şekil B.1: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	85
Şekil B.2: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	86
Şekil B.3: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	86
Şekil B.4: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	87
Şekil B.5: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	87
Şekil B.6: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	88
Şekil B.7: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	88
Şekil B.8: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	89
Şekil B.9: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	89
Şekil B.10: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	90
Şekil B.11: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	90
Şekil B.12: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	91
Şekil B.13: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	91
Şekil B.14: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	92

Şekil B.15: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	92
Şekil B.16: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	93
Şekil B.17: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	93
Şekil B.18: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	94
Şekil B.19: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	94
Şekil B.20: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	95
Şekil B.21: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	95
Şekil B.22: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	96
Şekil B.23: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği	96
Şekil B.24: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği	97
Şekil B.25: Kocaeli lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu	97
Şekil C.1: Adana lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu	98
Şekil C.2: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)	98
Şekil C.3: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)	99
Şekil C.4: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)	99
Şekil C.5: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	100
Şekil C.6: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	100
Şekil C.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	101
Şekil C.8: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	101
Şekil C.9: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	102

Şekil C.10: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/ T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki	102
---	-----

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Orta ve düşük katlı betonarme binaların yapısal özellik değerleri ...	9
Tablo 2.2: Kolon boyutları cm cinsinden, enine ve boyuna donatılar	12
Tablo 2.3: Kat yüksekliğine göre giriş ve kolon boyutları değişimi.....	13
Tablo 2.4: Kat yüksekliğine göre giriş ve kolon boyutları değişimi.....	18
Tablo 2.5: Hasar Sınırlarına göre plastik dönme sınırlarının elde edilmesi.....	19
Tablo 2.6: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	20
Tablo 3.1: Zemin sınıflarına ait değişen V_{s30} değerleri.....	23
Tablo 3.2: Denizli sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler.....	25
Tablo 3.3: Kocaeli sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler.....	25
Tablo 3.4: Adana sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler.....	25
Tablo 3.5: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	26
Tablo 4.1: Kare kolonlu ikili model kombinasyon isimlendirilmesi (s model).....	31
Tablo 4.2: Dikdörtgen kolonlu ikili model kombinasyon isimlendirilmesi (r model).....	31
Tablo 4.3: Kare ve dikdörtgen kesitli binaların yapısal özellik değerleri	31
Tablo 4.4: Model-s ve Model-r için oluşturulan 56 farklı bina çifti modelleri	32
Tablo 4.5: Denizli lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.	54
Tablo 4.6: Kocaeli lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.	55
Tablo 4.7: Adana lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.	56
Tablo 4.8: Denizli sismik lokasyonu referans alınarak Kocaeli lokasyonu için elde edilen C katsayıları ve ortalama derz mesafesi	62
Tablo 4.9: Denizli sismik lokasyonu referans alınarak Adana lokasyonu için elde edilen C katsayıları ve ortalama derz mesafesi	63
Tablo 4.10: Denizli lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları	69
Tablo 4.11: Kocaeli lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları	70
Tablo 4.12: Adana lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları	71
Tablo A.1: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	81
Tablo A.2: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	82
Tablo A.3: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	82

Tablo A.4: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	83
Tablo A.5: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	83
Tablo A.6: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	84
Tablo A.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen deprem ivme kayıt takımına ait özellikler.....	84
Tablo A.8: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler	85

SEMBOL LİSTESİ

b_w	: Kirişin gövde genişliği
c_k	: Link elemanının viskoz sönüm katsayısı
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_{ywe}	: Enine donatısının ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
G_{duvar}	: Duvar yükü
g_p	: İkili bina modelleri arasındaki derz mesafesi
K_k	: Link eleman yay rijitliği
L_p	: Plastik mafsallık boyu (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
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 yer değiştirme 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_{s30}	: Üst 30 metredeki ortalama 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 şekil değiştirmesi
$\epsilon_c^{(KH)}$: 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 şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi 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
d_{ABS}	: ABS tarafından önerilen derz mesafesi
d_{TBDY}	: TBDY-2018 tarafından önerilen derz mesafesi
d_{SRSS}	: Yer değiştirmelerinin karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplanan derz mesafesi
δ_{Mi}	: Bitişik binaların elastik olmayan yer değiştirmesi
δ_{max}	: Maksimum elastik olmayan yer değiştirme
I	: Önem faktörü
C_d	: Yer değiştirme amplifikasyon faktörü
$d_{ASCE7-10}$: ASCE-10 tarafından önerilen derz mesafesi
d_{EC-8}	: EC-8 tarafından önerilen derz mesafesi
δ_{el}	: Elastik deplasman
ξ_1	: Bina çiftlerinden ilk binanın sönüm oranı
ξ_2	: Bina çiftlerinden ikinci binanın sönüm oranı
ξ_{eff}	: Efektif sönüm oranı
T_{eff}	: Efektif periyot
T_{eff}	: Efektif periyot
μ	: Düktilite oranı
T_0	: Başlangıç periyodu
ξ_0	: Başlangıç sönüm oranı
ρ	: DDC yönteminde korelasyon katsayısı
H	: Bina yüksekliği
H_{max}	: İkili bina modellerinde uzun binanın yüksekliği
H_{min}	: İkili bina modellerinde kısa binanın yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

3B	: Üç boyutlu
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
KH	: Kontrollü Hasar
PGA	: Peak Ground Acceleration
PGD	: Peak Ground Displacement
PGV	: Peak Ground Velocity
SH	: Sınırlı Hasar
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
EC-8	: Eurocode (2004)
ASCE-10	: American Society of Civil Engineers (2010)
ABS	: Absolute Sums
SRSS	: square roots of the sum of the squares
UBC-88	: Uniform Building Code-1988
UBC-97	: Uniform Building Code-1997
DDC	: Double Difference Combination method
RC	: Betonarme Bina

ÖNSÖZ

Lisansüstü dönemim boyunca destek ve katkılarını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübeleriyle bana öncülük yaparak yol gösteren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet İNEL'e teşekkürlerimi sunmaktan mutluluk duyuyorum.

Lisansüstü dönemim boyunca bana yardımcı dokunan ve tez sürecimi birlikte yürüttüğüm, bu süreçte beni yalnız bırakmayan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammet KAMAL ve kıymetli ailesine anlayışlarından dolayı teşekkür ederim.

Akademik olarak nasıl yol alabileceğim konusunda bana öncülük eden pozitif yönde destekleyerek emeklerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Bayram Tanık ÇAYCI ve İnş.Yük. Müh. Gökhan ÖZCAN'a çok teşekkür ederim.

Lisansüstü dönemimde bana mesleki açıdan kattıkları ve iyi günümde kötü günümde yanımda olarak ablalık yapan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi. Esra ÖZER'e teşekkür ederim.

Lisansüstü yolculuğumda bana eşlik eden, üzüntülerimi ve sevinçlerimi paylaştığım İnş. Yük. Müh. Güler GÜVENSOY ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Gölgelerini her daim hissettiğim, tüm koşullarda maddi ve manevi yanımda olan, beni sorgusuz suhalsiz destekleyen, canım annem Sema KOŞAR ve biricik babam Muammer KOŞAR'a teşekkür ederim. İyi ki benim annem babamsınız.

Abladan çok bana annelik yapan, yol gösteren, lisansüstü süresince yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli ablam Aydanur KOŞAR ÇELİK ve eniştem Barış ÇELİK'e teşekkürler. Hayatımdaki varlığı boyunca yüzümü güldüren, oyun arkadaşım benim canım yeğenim Ali Deniz ÇELİK'e şükranlarımı sunarım.

Benden hiçbir desteğini esirgemeyen, şartlar ne olursa olsun yanımda olan, bu tez çalışmasında göstermiş olduğu fedakarlıklarla en az benim kadar emek harcayan varlığına binlerce kez şükrettiğim canım eşim Mehmet Ali AVCI'ya anlayışı ve yanımda olduğu için sonsuz teşekkür ederim. İyi ki yanımdasın.

21 Şubat'ta hayatını kaybeden abim, hayattaki idolüm, şansım, gururum canım dayım Av. Arb. Volkan AKSU anısına... Hep benimlesin...

1. GİRİŞ

Metropol şehirlerdeki nüfusun yoğun olduğu bölgelerde arazi kullanımının kısıtlı olması ve ekonomik nedenlerden kaynaklı yapılar bitişik nizamlı olarak inşa edilmektedir. Güçlü sismik hareketler sonucunda kat kütlesi ve yapısal rijitlik gibi farklı özellikleri bulunan komşu yapılarda yer hareketleri sonucu oluşan çarpışmalar neticesinde binalar ciddi düzeyde hasar almaktadır. Geçmişte meydana gelen büyük depremlerde çekiçleme etkisi sonucunda yapıların ağır hasar aldığı hatta çökmelere neden olduğu bilinmektedir (Benuska 1990, Youd vd. 2000).

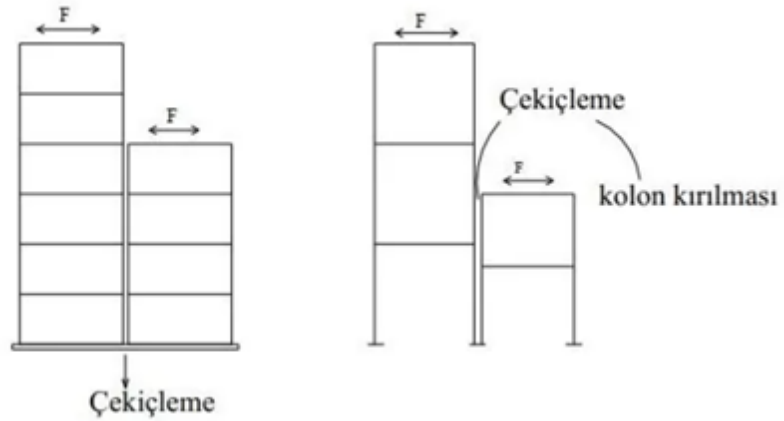
Depremden sonra elde edilen gözlemler sonucunda, bitişik nizamlı binalarda veya aynı yapıda meydana gelen derzlerin ayrılmış farklı bölümlerinde çarpışma meydana geldiği görülmüştür. Deprem sırasında bitişik nizamlı binaların çarpışması “çekiçleme” olarak tanımlanır. Çekiçleme etkisinden kaynaklı yapılarda ağır hasar veya toptan göçme meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Şekil 1.1-Şekil 1.3’te 2023 Kahramanmaraş depremi sonucunda yapıda meydana gelen hasar gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Deprem Sonucunda Çekiçleme Etkisinden Dolayı Meydana Gelen Yapı Hasarı (Kahramanmaraş, 2023)



Şekil 1.2: 2023 Kahramanmaraş Depremi Sonucunda Çekişmeden Kaynaklı Köprülerde Oluşan Hasar (Değerlendirme Raporu, 2023)



Şekil 1.3: Çekişme Etkisi

Olumsuz zemin özellikleri ve yetersiz derz mesafesi ile inşa edilen bitişik nizamlı binalarda hasarın çekişme etkisi sonucunda oluştuğu belirlenmiştir. Deprem sırasında meydana gelen çekişme etkisi sonucunda yapılarda ciddi düzeyde hasar meydana geldiği ve binada bulunan tesisatların kullanılamaz durumda olmasına neden olduğu görülmektedir.

Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehir merkezlerimizde komşu binalar arasında derz mesafesinin bırakılmadığı ya da yeterli olmadığı çokça rastlanılan bir durumdur. Bundan dolayı ülkemizde bulunan mevcut bitişik nizamlı binalar olası sismik hareketler sonucunda çekiçleme etkisi riski barındırmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, düşük ve orta katlı yapıların sismik çarpışmalarının önlenmesi için gerekli derz mesafelerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların deprem etkilerine karşı dayanıklılığının artırılması hedeflenmektedir. Bitişik binalar arasındaki minimum derz mesafesi, binaların birbirleriyle çarpışmasını engellemek için önemlidir. Çarpışmanın önlenmesi sayesinde deprem sonrası oluşacak hasarların minimum seviyeye inmesi ve can ve mal kayıplarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Komşu binalar arasındaki gerekli derz mesafelerinin belirlenmesinde mevcut deprem yönetmelikleri ve literatürde önerilen yöntemler sınırlı ve yetersiz kalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda farklı zemin tipi ve sismik bölgelerin gerekli derz mesafeleri üzerindeki etkileri kısmen ele alınmasına rağmen göz ardı edilmiştir. Bu çalışma, farklı zemin tiplerinde ve sismik bölgeler üzerinde yer alan komşu binalar arasındaki gerekli derz mesafelerinin belirlenmesini hedeflemektedir. Bu kapsamda, 3 farklı zemin tipi, 3 farklı sismik lokasyon, 3 ile 10 kat arasında değişen 56 farklı (3B, üç boyutlu) ikili bina modelleri oluşturulmuştur. Bu ikili bina modelleri arasındaki gerekli derz mesafelerinin belirlenmesi için doğrusal elastik olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir zemin tipi ve sismik lokasyon için TBDY-2018 ile uyumlu 22 adet (11 çift) gerçek deprem ivme kayıtları seçilmiştir. Üç farklı zemin tipi ve 3 farklı lokasyon için 198 (22x9) adet ivme kaydı kullanılarak toplam 11088 (198x56) adet üç boyutlu doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen gerekli derz mesafelerinin tahmini için analiz gerektirmeyen basitleştirilmiş bir yaklaşım önerilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Bu çalışmanın temel amacı ülkemizin sismik açıdan aktif bölgelerindeki binaların özelliklerini temsil ettiği varsayılan bina modellerinin sismik açıdan gereksinimleri belirlemektir. Bu çalışmada, Türk Bina ve Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) uygun 11 çiftten oluşan farklı ivme kayıtları kullanılarak iki farklı düzlemden oluşan bina çiftleri doğrusal ve elastik olmayan zaman tanım alanında analiz edilerek bina modellerinin dayanımını artırmayı hedeflemiştir. Çalışma 3,4,5,6,7,8,9 ve 10 katlı 3 boyutlu (3B) bina modelleri kullanılarak çatı katında oluşan maksimum deplasman verileri elde edilerek 3 farklı zemin tipi (ZC, ZD, ZE) ve 3 farklı lokasyon (Denizli, Adana, Kocaeli) için yapısal gereksinimlerin belirlenmesine katkı sunmak amacıyla yapılmıştır.

Gerçekleştirilecek tezin kapsamında literatürde yer alan çalışmalar;

Jankowski, araştırmasında çarpışmaların bina davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek için El Centro sismik kayıtlarını kullanarak aynı kat seviyesine ve toplam bina yüksekliğine sahip 3 boyutlu modellere doğrusal olmayan dinamik analiz uygulayarak yapı davranışlarını incelemiştir. İkili olarak oluşturduğu çarpma modelleri oluşturarak binalar için deplasman gereksinimleri ve kesme kuvveti hassasiyetlerini; açıklık, zemin kütlesi, yapısal sertlik ve akma dayanımı gibi değişen parametrelerle araştırmıştır. (Jankowski 2008)

Bertero (1986), 1985 Mexico City depreminden sonra meydana gelen hasarların çoğunun çekiçleme etkisinden kaynaklandığını yapmış olduğu gözlemler sonucunda söylemektedir. Bu nedenle Mexico City depreminin çekiçleme etkisi üzerinde büyük bir risk olduğu önemini vurgulamıştır. Çekiçleme etkisinin binaların derz ile ayrılan kısımlarında veya aralarında yetersiz boşluk bulunan yapılar arasında görüldüğünü çalışmasında söylemiştir.

Raheem, yaptığı çalışmada 8 ve 13 katlı 3 boyutlu modelleri doğrusal ve doğrusal olmayan birleştirme elamanları kullanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu analizlerde 9 farklı ivme kaydı kullanarak oluşan çarpışmaların ivme ve yer değiştirme taleplerini inceleyerek kesme kuvveti üzerinde oluşacak etkilerini gözlemlemiştir. Aynı

zamanda doğrusal ve doğrusal olmayan birleşim elemanları kullanarak yapılarda oluşabilecek etkileri de araştırmıştır (Raheem 2006).

İnel ve Özmen (2006), ATC-40 ve FEMA-356 yönetmeliklerine göre plastik mafsallı tipleri kullanıcı tarafından tanımlanarak otomatik olarak programa atamış ve statik itme analizi yapmıştır. Çalışmada analizler sonucu yapıların dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Otomatik olarak atanan mafsallar ile yapılan analiz sonuçları irdelendiğinde deplasman kapasitesinin normalden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Cimellero ve Garcia, yapmış oldukları deneysel çalışmada, iki katlı doğrusal elastik modeller, doğrusal olmayan bir cihaz kullanılarak yerden birbirine bağlanmış ve çekiçlemenin sismik gereksinimlere etkisi kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Yumuşak zemin düzensizliklerine sahip gerçek çelik 1:5 ölçekli modelleri arasına farklı zeminlerdeki bağlantı elemanları bağlanarak üç farklı çarpışma modeli oluşturulmuştur. Sarsma masasına yerleştirilen modelin sismik yapısal davranışında üç kombinasyon arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca konnektördeki sönüm katsayısının farklı değerleri için katlar arası ötelenme ve yer ivmesi incelenmiştir (Cimellero ve Garcia 2007).

İnel ve diğ. (2014), bitişik nizamlı orta katlı konut tipi yapılar arası yetersiz mesafe bulunan betonarme binalarda olası sismik hareketler sonucunda meydana gelebilecek çarpışmaları araştırmıştır. Ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğunu temsil eden 4 katlı ve 7 katlı yapılar oluşturularak 1975 Deprem Yönetmeliği ve 1998 Deprem Yönetmeliği ile uyumlu modeller kullanılmıştır. Oluşturdukları modeller arasında 2 cm boşluk bırakmış ve 4 adet ivme kaydı kullanarak doğrusal ve elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapmışlardır. Analiz sonuçlarını çarpışmanın meydana gelmediğini varsaydıkları modellerle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanan yapılarda rijitlik daha az olduğundan çarpışmalardan daha çok etkilendiğini vurgulamışlardır.

Muthukumar ve DesRoches (2006), çekiçleme etkisini aralarında yetersiz boşluk oranı bulunan bitişik yapılarda oluşturdukları ikili modeller arasına farklı bağlantı elemanı (yay) sonuçları kıyaslamışlardır. Bağlantı elemanı olarak kuvvet

tabanlı yay modeli, Kelvin, Hertz ve temeli Hertz yasasına bağlı olan doğrusal ötesi histerezis sönümleyici Hertzdamp modelini; 8 adet deprem kaydı kullanarak lineer analiz yapmışlardır. Sonuç olarak Hertzdamp yay modelinde PGA seviyelerinin yüksek olması nedeniyle meydana gelen enerji kayıplarından dolayı daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Kamal ve İnel (2022), yaptıkları çalışmada deprem etkilerine karşı dayanıklılığı artırmak ve olası hasarları minimize etmek için 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı betonarme binaları ikili modeller oluşturarak TBDY-2018 ile uyumlu 11 çift deprem kaydı ile doğrusal ve elastik olmayan dinamik analiz yapmışlardır. Bitişik betonarme binalar arasında gerekli derz mesafesinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada bina yüksekliğine bağlı analiz gerektirmeyen yöntemler önermişlerdir.

Anagnostopoulus ve Karamaneas (2008), 5 katlı perdeli-çerçevesel farklı kat seviyeleri olan ikili sistemin sismik etkilerden kaynaklanan çekileme etkileri üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir.

Kamal (2016), 4 ve 7 katlı 3 boyutlu betonarme binalar oluşturularak; yapılar arası bağlantı elemanı olarak doğrusal yaylar; kat seviyelerinden bağlanarak 4 farklı ikili bina kombinasyonları modellenmiştir. İkili modeller arasında 3 farklı boşluk mesafesi oluşturularak deplasman talepleri, görel kat ötelenme oranları ve oluşan hasar dağılımları araştırılmıştır. Çekiçlemenin plastik mafsallardaki hasar dağılımında oluşturduğu farkları dikkate almıştır. Çalışma sonucunda deplasman taleplerinin sınırlandırıldığı ve serbest yönde arttığı gözlemlenmiştir. Mevcut bina stoğunu göz önüne alarak orta katlı binalarda çekilemenin yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

SEONC (Structural Engineers Association of Northern California) Araştırma Komitesi (Ağustos 1970), 1967 Venezuela depremi sonucunda kısmi olarak göçen Charaima Binasının deprem sırasındaki davranışını matematiksel olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile çalışarak rapor hazırlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre zaman tanım aralığında yapı taleplerinin en büyük yer ivmesi (PGA) dışında diğer deprem parametreleri ve depremin karakteristik özelliklerine göre değişkenlik gösterdiği vurgulanmıştır.

1.3 Tezin Organizasyonu

Bu çalışmanın;

1. bölümünde çalışmayla ilgili genel bilgiler, tezin amacı, kapsamı açıklanarak literatüre ait özet kısmı oluşturulmuştur.

2. bölümde tez için oluşturulan binaların yapısal özellikleri ve bitişik nizamlı modellerin özelliklerine yer verilmiştir.

3. bölümde TBDY-2018'e uygun şekilde seçilmiş 11 çift deprem kaydının özellikleri yer almaktadır.

4. bölümde doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi ile yapılmış analizlerin sonuçları neticesinde meydana gelen verilerin bir bölümü sunulmuştur.

5. bölümde tezde kullanılan depremlerin gerçek ivme kayıtları sonucu edilen 11088 adet dinamik analiz sonuçları verilmiştir.

6. bölüm tezin son kısmında, yapılan doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları genel olarak değerlendirilerek daha sonra yapılacak çalışmalar için öneride bulunulmuştur.

2. YAPISAL MODELLEME

2.1 Genel

Ülkemizde bulunan mevcut bitişik nizamlı yapıların çoğunun yetersiz boşluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle sismik tehlike ve komşu binalar arasında meydana gelebilecek çarpışmaların araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bitişik nizamlı yapılarda bina yüksekliği, ağırlığı ve rijitliği gibi yapısal özelliklerin farklı olması nedeniyle komşu binalar arasında çarpışmalar meydana gelebilmektedir. Yapısal özelliklerin farklılığı göz önüne alındığında çarpışmaların çoğunun doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklar sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır (Maison ve Kasai 1990, Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992). Bu tez kapsamında çarpışma olasılığının gerçekleşmesi mümkün olan düşük ve orta yükseklikteki yapıların modellendiği 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı betonarme konut tipi yapılar oluşturularak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'ne uygun 3B kolon-kiriş çerçeve sistemleri doğrusal elastik olmayan özelliklerle oluşturulmuştur.

2.2 Bina Modellerinin Özellikleri

Tez çalışmasında ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğu incelenerek yapı stoğunu temsil edebilecek bina modelleri kullanılmıştır. Düşük katlı binaları 3 ve 4 katlı, orta katlı binaları 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı bina modelleri Chandler ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi kabul edilmiştir.

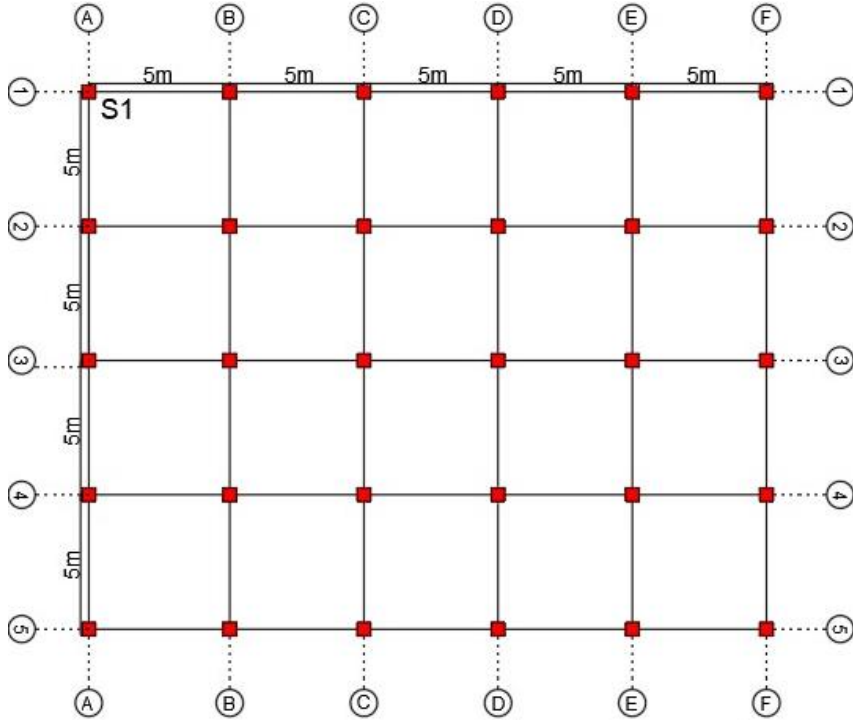
Çalışma kapsamında 3 ile 10 kat arasında değişen düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların Denizli ili ve ZD zemin sınıfı üzerinde yer aldığı varsayılmıştır. Farklı kat adetlerine sahip bu yapılar tasarım depremi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (buna karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek depremler) yer hareketini niteleyen (DD2) tasarım depremine göre tasarlanmıştır (TBDY-2018). Ayrıca tasarlanan bu yapıların Denizli, Adana ve Kocaeli olmak üzere 3 farklı şehirden ayrı lokasyonlarda yaygın olarak görülebilecek ZC, ZD ve ZE zemin

sınıfları üzerinde mevcut bina olarak inşa edildiği düşünülmüştür. Kullanılan bina modellerinde kolonlar kare kesitli ve dikdörtgen kesitli olmak üzere iki farklı grupta modellenmiştir. Kare kesitli kolonlara sahip modeller “s” ile belirtilirken, dikdörtgen kesitlerin kullanıldığı modellerde ise “r” ile isimlendirme yapılmıştır. Kullanılacak betonarme binaların tasarımı için gerekli olan yapı özellikleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de gösterilmiştir. X yönünde kalıp planı 25 m, Y yönünde ise 20 m’dir. Tasarlanan modellere ait kolon boyutları Tablo 2.2’de, tipik kalıp planı ve kolon türleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de sunulmaktadır.

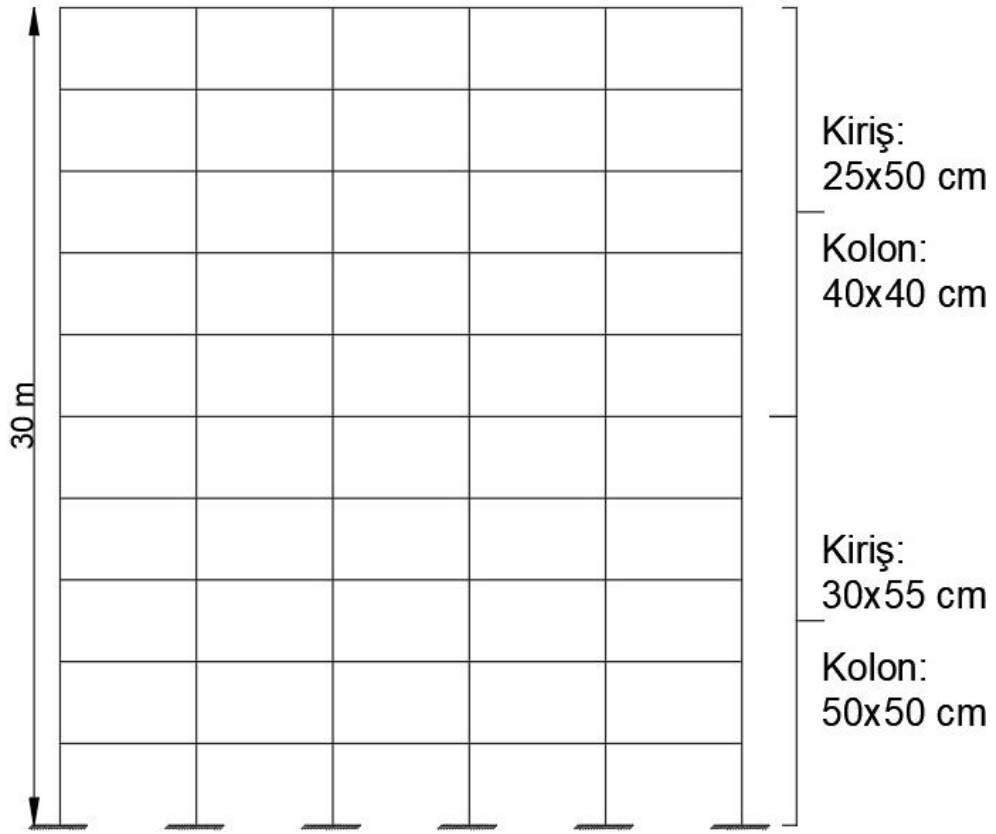
Düşük ve orta katlı betonarme yapıları temsil eden modeller üç boyutlu olarak (3B) tasarlanmıştır. Tasarlanan modellerde hareketli yük değeri (n) 2 kN/m^2 olarak seçilmiştir (TS498). Modellerde her katta S1, S2, S3, S4, S5 ve S6 olacak şekilde 6 farklı tipte kolon kesitleri kullanılmıştır. Modellerde kat yükseklikleri 3 m olarak tasarlanmıştır (Tablo 2.1). Kare ve dikdörtgen kesitli modellerde farklı boyutlarda kolon ve kiriş kullanılmıştır. Kolon tiplerine göre değişen yapısal özellikler Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’te belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Orta ve düşük katlı betonarme binaların yapısal özellik değerleri

Özellik Türü	Özellik	Değerler							
		3s-3r	4s-4r	5s-5r	6s-6r	7s-7r	8s-8r	9s-9r	10s-10r
Kat Sayısı	-	3s	4s	5s	6s	7s	8s	9s	10s
Model Etiketi	-	3s	4s	5s	6s	7s	8s	9s	10s
Yapısal Geometrik Özellikler	X-Boyutu	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m
	Y- Boyutu	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
	Kat Yüksekliği	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m
Malzeme Sınıfı (Mpa)	Beton Sınıfı	C35							
	Donatı Sınıfı	S420 (BÇIII)							
Zemin Özellikleri	Zemin Sınıfı	ZC-ZD-ZE							
Bina Kullanım Sınıfı	BKS	3							
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS	1							
Spektral İvme Katsayısı	SDS	1.15 g							
	SD1	0.521 g							
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS	7	6	6	5	5	5	5	4
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	n	0.3							
Duvar yükü (kN/m)	Gduvar	3.25							
Hareketli yük (kN/m ²)	Q	2							

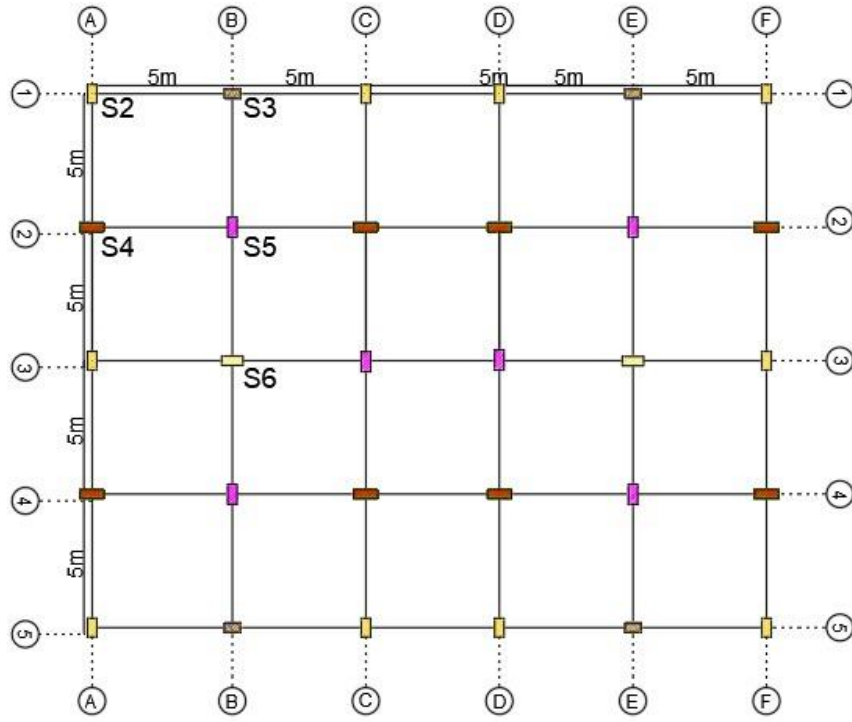


(a)

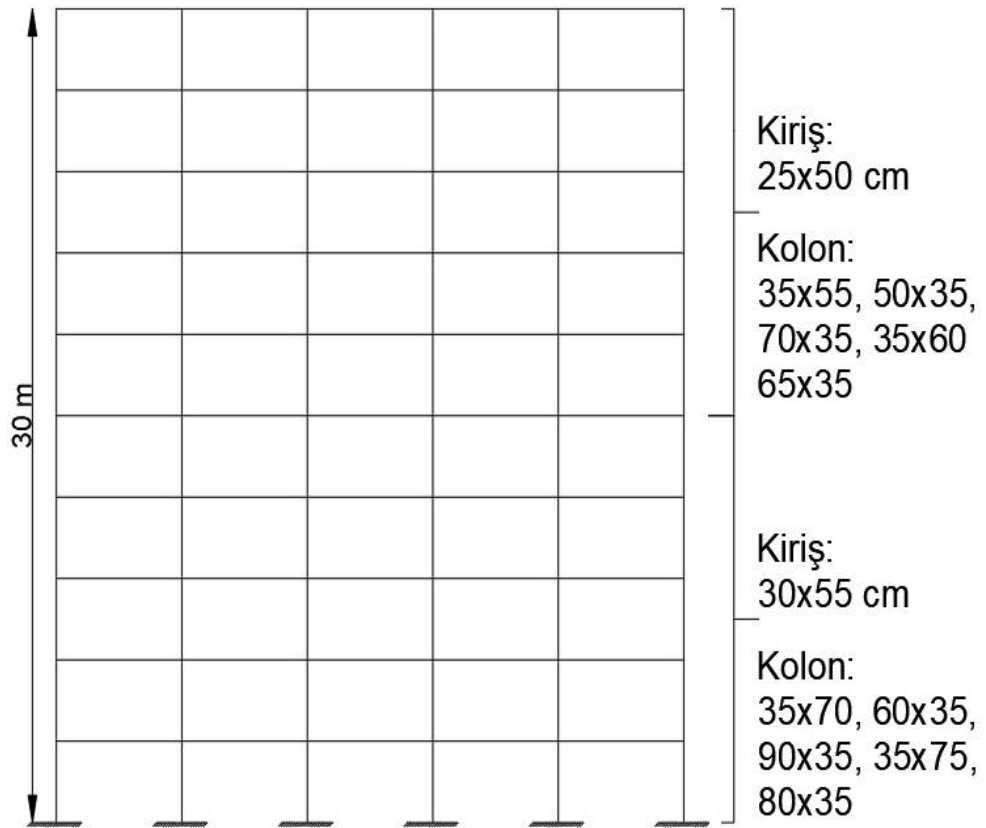


(b)

Şekil 2.1: Kare kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model s)



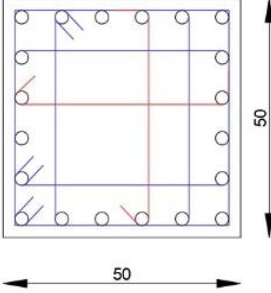
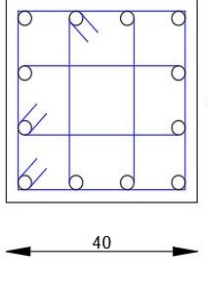
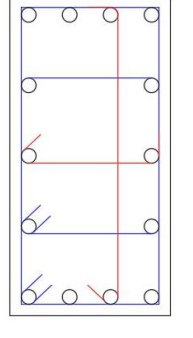
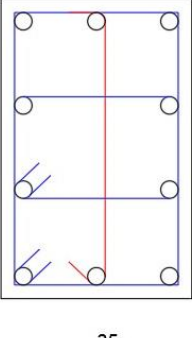
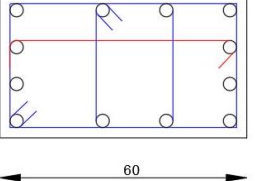
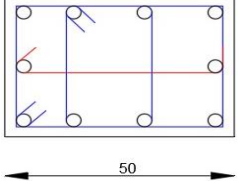
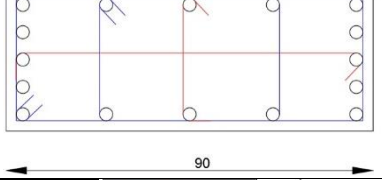
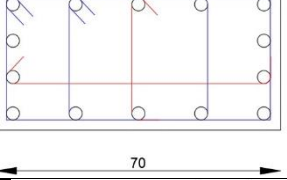
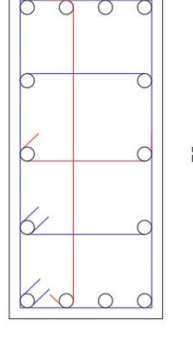
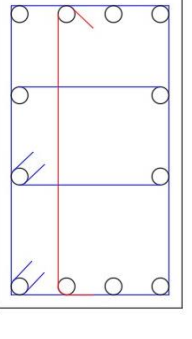
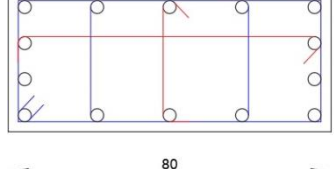
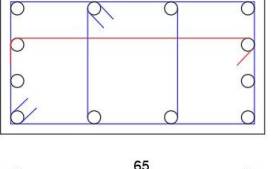
(a)



(b)

Şekil 2.2: Dikdörtgen kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model r)

Tablo 2.2: Kolon boyutları cm cinsinden, enine ve boyuna donatılar

S1	 <p>Boyuna Donatı: 20Ø14 Etriye: Ø8/15/6</p>	 <p>Boyuna Donatı: 12Ø14 Etriye: Ø8/15/8</p>
S2	 <p>Boyuna Donatı: 14Ø16 Etriye: Ø8/9</p>	 <p>Boyuna Donatı: 10Ø16 Etriye: Ø8/17/9</p>
S3	 <p>Boyuna Donatı: 12Ø16 Etriye: Ø8/17/5</p>	 <p>Boyuna Donatı: 10Ø16 Etriye: Ø8/17/9</p>
S4	 <p>Boyuna Donatı: 16Ø16 Etriye: Ø8/7</p>	 <p>Boyuna Donatı: 14Ø16 Etriye: Ø8/9</p>
S5	 <p>Boyuna Donatı: 14Ø16 Etriye: Ø8/5</p>	 <p>Boyuna Donatı: 12Ø16 Etriye: Ø8/17/5</p>
S6	 <p>Boyuna Donatı: 14Ø16 Etriye: Ø8/5</p>	 <p>Boyuna Donatı: 12Ø16 Etriye: Ø8/16/5</p>

Tablo 2.3: Kat yüksekliğine göre kiriş ve kolon boyutları değişimi

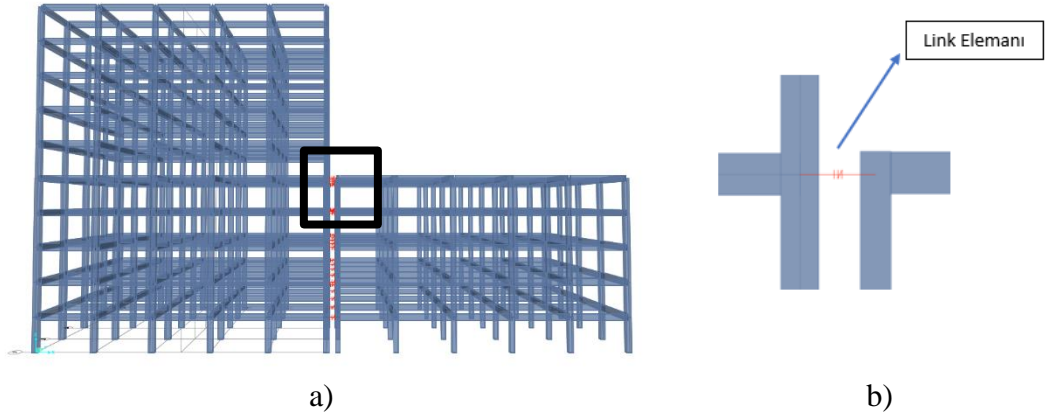
Kiriş Boyut	Kolon		10s & 10r	9s & 9r	8s & 8r	7s & 7r	6s & 6r	5s & 5r	4s & 4r	3s & 3r
	İsmlendirme	Boyut (cm)	Kat Seviyeleri							
30x55	S1	50x50	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar	1-2. katlar	1. kat	-	-	-
	S2	35x70								
	S3	60x35								
	S4	90x35								
	S5	35x75								
	S6	35x80								
25X50	S1	40x40	6-10. katlar	5-9. katlar	4-8. katlar	3-7. katlar	2-6. katlar	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar
	S2	35x55								
	S3	35x50								
	S4	35x70								
	S5	35x60								
	S6	35x65								

Düşük ve orta katlı binaların belirlenmesi, deprem etkilerine karşı dayanıklılığın incelenmesi için yapılmıştır. Bu belirlemede, genellikle düşük ve orta katlı binaların deprem etkilerine karşı tepki verme şekilleri ve bu tür binaların deprem riski altında olma olasılıkları göz önünde bulundurulmuştur. Denizli, Adana ve Kocaeli lokasyonlarında yaygın olarak bulunan yapı tipleri de dikkate alınmıştır. Bu lokasyonlar düşük ve orta katlı binaların seçilmesinde etkili olmuştur.

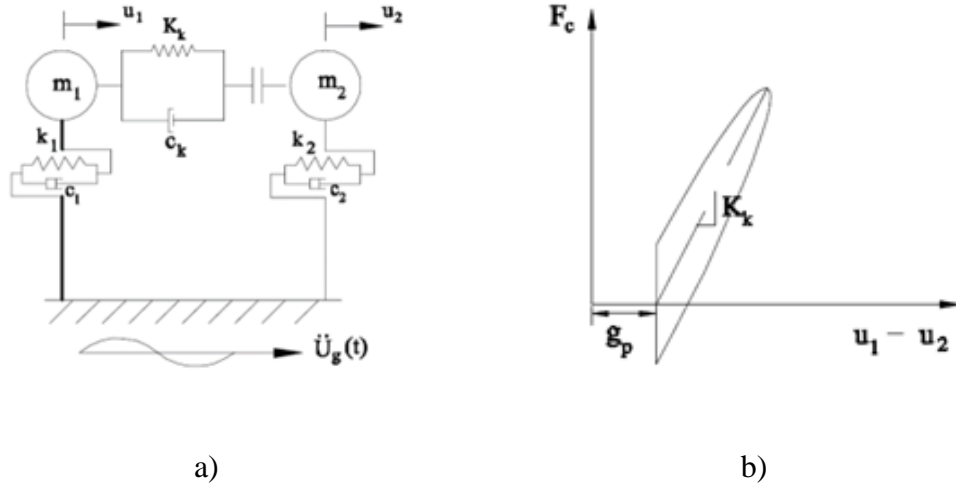
2.3 Link Eleman Özellikleri

Bu tez kapsamında 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı 3B doğrusal elastik olmayan betonarme yapılar kat hizalarından birbirlerine link (gap) elemanlarla bağlanmıştır. Binalar arasında 100 cm boşluk mesafesi tercih edilmiştir. 3B bina modelleri ve link (gap) elemanları SAP2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 2.3'te örnek model üzerinde link elemanın ikili modellere bağlanması gösterilmiştir.

Tez kapsamında kullanılan ikili modeller doğrusal viskoelastik (Kelvin) birleşim modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.4). Oluşturulan bu modellerde viskoz sönümleyici doğrusal yay sayesinde derz mesafesi gap elemanları ile tanımlanmıştır.



Şekil 2.3: a) 10-5 katlı 3B ikili modeller b) Link elemanın kat hizalarından birbirlerine bağlanma şekli



Şekil 2.4: a) Kelvin Modeli b) Kuvvet-şekil değiştirme grafiği (Muthukumar ve Desroches 2004, 2006)

Kelvin modeli, viskoelastik malzemelerin davranışını modellemek için kullanılan bir matematiksel modeldir. Bu model, bir yay ve bir sönümleyici elemanın seri bağlanmasıyla oluşur. Yay elemanı, malzemenin elastik davranışını temsil ederken, sönümleyici eleman ise malzemenin viskoz davranışını temsil eder. Bu elemanlar, birlikte malzemenin zamanla değişen davranışını modellemek için kullanılır. Bu yay modeli literatürde yapılan çalışmalarda çarpışma sırasında enerji kayıplarını dikkate alması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Viskoz sönümleyici ve yay çarpışma sırasında yalnızca basınç kuvvetleri altında etki ederek oluşan kuvvet aktarımını sağlamaktadır.

$$F = \begin{cases} K_k(u_1 - u_2 - g_p) + c_k(\dot{u}_1 - \dot{u}_2) & \text{eğer } (u_1 - u_2) \geq g_p \\ 0 & \text{eğer } (u_1 - u_2) < g_p \end{cases} \quad (2.1)$$

K_k : Yay rijitliği

F: yayda oluşan çarpışma kuvveti

g_p : derz mesafesi

$u_1 - u_2$: iki bina modeli arasındaki deplasman farkı

Çekiçleme modellerinde deprem sırasında meydana gelen çarpışma kat seviyelerinde oluşmaktadır. Bina modellerinde rijit diyafram kullanıldığı için çarpışmanın iki rijit yapı arasında meydana geldiği düşünülmektedir. Bundan dolayı K_k (yay rijitliği) çarpışma meydana gelen katlarda aksenal rijitlikten daha fazla olmalıdır (Muthukumar ve Desroches 2004, Mahmoud ve Jankowski 2011). Betonarme yapılarda çarpışmaların meydana geldiği deneysel ve analitik çalışmalarda yay rijitliği (K_k) yaklaşık $1e10$ - $1e11$ N/m olarak kabul edilmiştir. (Mier ve diğ. 1991, Jankowski 2005, Shakya ve Wijeyewickrema 2009). Bu çalışma kapsamında yayın rijitlik değeri $1e10$ N/m olarak alınmıştır.

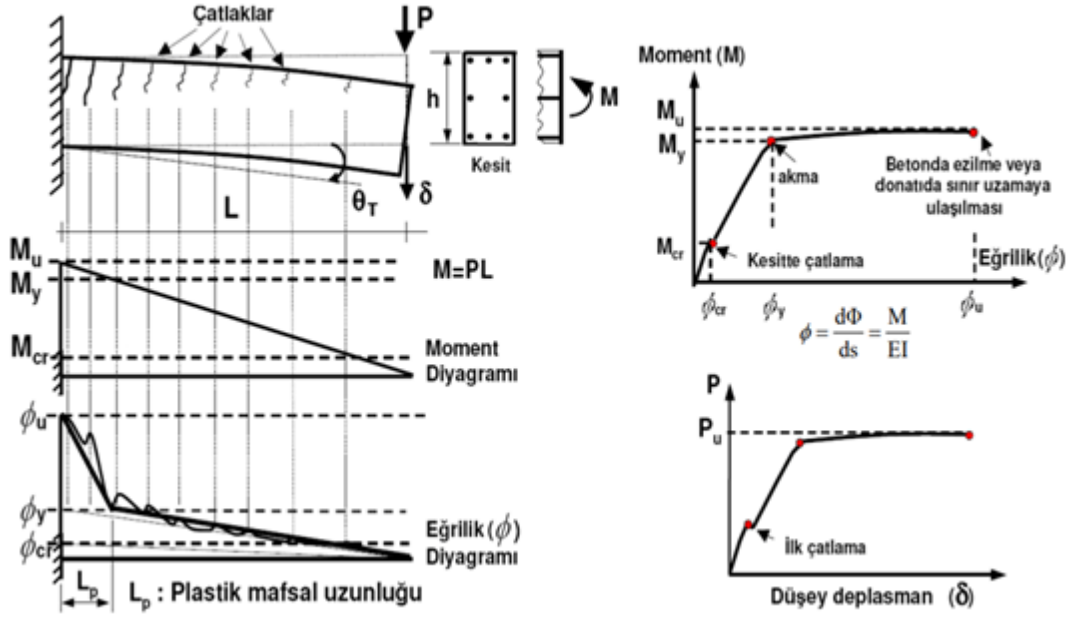
$$c_k = 2\xi \sqrt{K_k \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (2.2)$$

$$\xi = -\frac{\ln(e)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(e))^2}} \quad (2.3)$$

Viskoz sönüm katsayısı (c_k) (Denklem 2.2 ve 2.7), Komşu binaların kütleleri (m_1 ve m_2), enerji verimlilik katsayısı olan e değerine ve rijitliğe bağlıdır. Literatürde bulunan çalışmalarda e katsayısı (enerji verimlilik katsayısı) 0.65 olarak alınmıştır (Anagnostopoulos 1988, Azevedo ve Bento 1996, Mouzakis ve Papadrakakis 2004, Jankowski 2006). Bu kabullerle sönüm oranı (ξ) değeri 0.136 olarak hesaplanmıştır. Viskoz sönüm katsayısı çekiçleme modeli için yay rijitliği, sönüm oranı ve bina kütlelerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

2.4 Doğrusal Elastik Olmayan Yapı Davranışı

Artan yükler altında betonarme yapı elemanlarında meydana gelen plastik şekil değiştirme doğrusal elastik olmayan davranışa neden olmaktadır. Bu nedenle zorlanan kolon ve kiriş elemanlarının uç kısımlarında plastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Oluşan plastik deformasyonların belirli bir kesitte toplanması varsayımı Şekil.2.5'te gösterildiği gibi plastik mafsal hipotezini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.5: Plastik mafsal hipotezi

2.4.1 Davranış Biçimleri

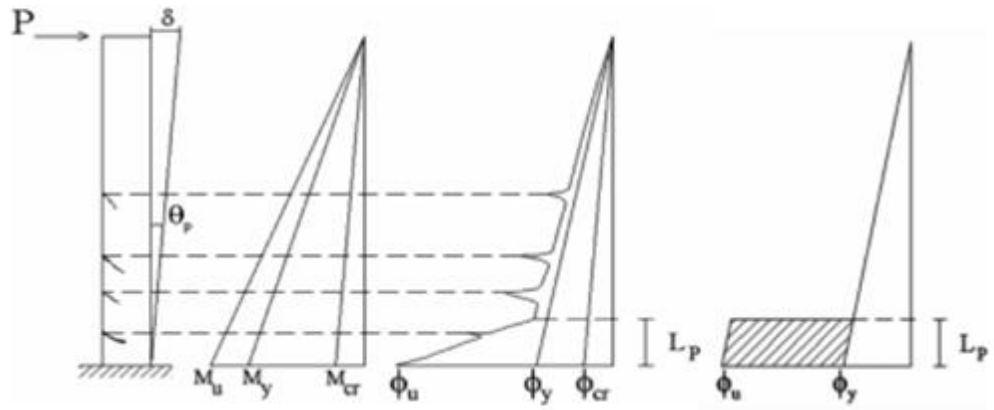
Yükleme yapıldığında şekil değiştirmeyen (stabil kalan) davranış rijit davranış (katı) olarak adlandırılır. Yapıların deprem sırasında meydana gelen yüklerin azaltılması için sünek davranış göstermesi gerekir. Bu nedenle yapılarda ideal rijitlik oluşması istenilen bir durum değildir. Yapıyı taşıyacak kadar rijit davranması tasarım için yeterlidir.

Yükleme altında şekil değişikliği gösteren ancak yüklenme sona erdikten sonra dayanım kaybına uğramayarak yüklenmeden önceki haline geri dönen davranış biçimi elastik davranış olarak adlandırılmaktadır.

Yüklemeye altında şekil değışikliği gösteren ve yüklemeye sona erdikten sonra dayanım kaybına uğrayarak yüklemeyden önceki haline geri dönenemeyen kalıcı şekil değıştirmeye uğrayan davranış plastik davranış biçimidir.

2.4.2 Plastik Mafsal

Deprem kuvveti etkisiyle betonarme elamanlar, eğilme momentini belirli kapasiteye kadar taşırlar. Yük artışı ile kesitin çekme bölgesi akma bölgesini geçer ve plastik şekil değıştirmeye neden olur. Plastik şekil değıştirme kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde meydana gelir (Şekil 2.5). Kritik kesitlerde plastik mafsal hipotezine göre eğilme davranışını moment-eğrilik diyagramları ifade eder.



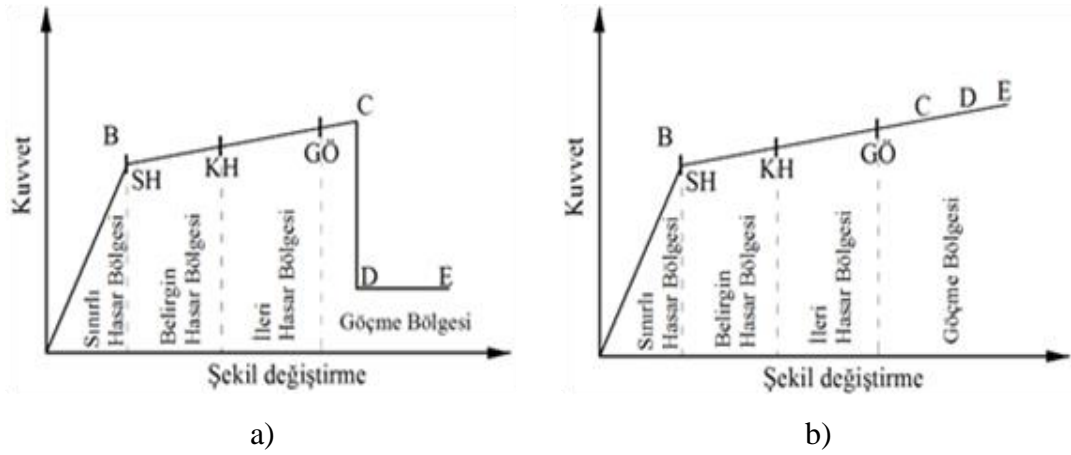
Şekil 2.6: Doğrusal olmayan davranış

2.4.3 Moment-Eğrilik İlişkisi

Moment-eğrilik diyagramları plastik mafsalların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aksenal yük ve eğilme altında kesitlerde meydana gelen davranışlar moment-eğrilik diyagramı sayesinde tanımlanabilir. Betonarme elemanların dönme kapasitesi ve dayanımlarının belirlenmesinde katkısı büyüktür.

Tez kapsamında kolon ve kirişlerde meydana gelen plastik şekil değıştirmelerin görülmesi için eleman uçlarına plastik mafsal tanımlanarak SAP2000'de modelleme yapılmış olup doğrusal elastik olmayan davranış incelenmiştir.

Şekil 2.6’da eğilme mafsalı hasar sınırları için B, C, D, E noktaları tanımlanmıştır. Performans kriterleri olan SH (Sınırlı Hasar), KH (Kontrollü Hasar), GÖ (Göçmenin Önlenmesi) noktaları verilmiştir. B noktası kesitin akma sınırına ulaştığı anı temsil etmektedir. Kesitin akma noktasına ulaştıktan sonra doğrusal ötesi davranış gösterdiği bilinmektedir. B-C noktaları arasında kesit kapasitesi korunurken C noktasından sonra dayanım değeri FEMA-356 ve ATC-40’ta belirtildiği gibi %20 değerine düştüğü varsayılmaktadır (FEMA-356 2000, ATC-40 1996). C-D noktaları arasında %20 değerine düşen kapasite bir süre korunarak E noktasında kesit kapasitesini tamamen kaybeder.



Şekil 2.7: a) Kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin meydana gelmediği durum

Hasar sınırları (SH-KH-GÖ) TBDY-2018’e uygun olarak birim şekil değiştirmelere bağlı olarak çalışmada kullanılmıştır. TBDY-2018’e göre betonarme elemanlarda izin verilen hasar sınırları Tablo 2.4’te verilmiştir. Mander tarafından önerilen sargılı beton modeli TBDY-2018’de kullanılmıştır.

Tablo 2.4: Kat yüksekliğine göre kiriş ve kolon boyutları değişimi

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	$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh, \min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.4)$$

ω_{we} : etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı

α_{se} : sargı donatısı etkinlik katsayısı

$\rho_{sh,min}$: dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultudaki en küçük hacimsel enine donatı oranı

f_{ywe} : enine donatının ortalama akma dayanımı

$$\varepsilon_s = 0.4\varepsilon_{su} \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_{su} = 0.08 \quad (2.6)$$

Denklem 2.5'te ε_s , donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi ve Denklem 2.6'da ε_{su} , çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı göstermektedir.

Şekil değiştirme hesabında kesme kuvveti oranı mevcut yapılarda $v_e/(b_w d f_{ctm}) < 0.65$ olarak hesaplanırken yeni yapılarda bu oran şekil değiştirme üst sınırları alınarak belirlenir. Yeni binalarda kesme kuvveti oranı 1.30'dan büyük olduğu durumlarda hesaplanan şekil değiştirme sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılmaktadır.

Plastik mafsalların SAP200 programına tanımlanması için moment-dönme değerleri elde edilmelidir. Hasar sınırlarına göre elde edilen plastik dönme sınır (θ_p) bağıntıları Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5: Hasar Sınırlarına göre plastik dönme sınırlarının elde edilmesi

Hasar Sınırları	Plastik Dönme Sınırları
Sınırlı Hasar (SH)	$\theta_p^{(SH)} = 0$
Kontrollü Hasar (KH)	$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)}$
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - \frac{0.5L_p}{L_s} \right) + 4.5\phi_u d_b \right]$

Eğilme etkisindeki binalarda meydana gelen çatlama kesitlere ait rijitlikler Tablo 2.6'de gösterilmektedir.

Tablo 2.6: Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

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

3. DEPREM İVME KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Genel

Deprem ivme kaydı seçimi, yapısal analizlerde oldukça önemlidir. Doğru ivme kaydı seçimi, yapıların gerçek davranışlarını daha doğru bir şekilde modellememize ve deprem hasarlarını daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. İvme kaydı seçerken dikkate alınması gereken bazı önemli faktörler şunlardır:

1. Bölgesel özellikler: Deprem ivme kaydı seçerken, bölgenin deprem tehlikesi seviyesi, yerel zemin koşulları ve deprem kaynakları gibi faktörleri dikkate almak önemlidir.

2. Deprem kaydı özellikleri: Deprem ivme kaydının büyüklüğü, süresi, frekans içeriği ve kaynağı gibi özellikleri, yapısal analizlerde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, seçilen ivme kaydının yapısal özelliklerle uyumlu olması önemlidir.

3. Deprem ivme kaydı kalitesi: Seçilen ivme kaydının kalitesi, doğruluğu ve güvenilirliği de önemlidir. Bu nedenle, güvenilir kaynaklardan elde edilen ivme kayıtlarının kullanılması önerilir.

4. Yapısal özellikler: Yapının boyutu, şekli, malzeme özellikleri ve yapısal sistemleri, seçilen ivme kaydının uygunluğunu etkileyebilir. Bu nedenle, yapısal özelliklerin dikkate alınması önemlidir.

5. Analiz yöntemi: Seçilen ivme kaydı, kullanılan analiz yöntemine uygun olmalıdır. Örneğin, lineer elastik analizlerde kullanılan ivme kaydı, non-lineer analizlerde kullanılamayabilir. Sonuç olarak, doğru ivme kaydı seçimi, yapısal analizlerde doğruluğu artırarak deprem hasarlarını daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Doğrusal elastik olmayan analiz türünde ivme kayıt seçimi, sismik performansın belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaların sonuçlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Uygun ivme kaydının seçilmesi için 3 farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; gerçek depremlerin kullanımı, benzetim yolu ile ivme kaydı türetimi ve tasarım spektrumları ile uyumlu yapay ivme kaydı üretimi (Abrahamson 1993, Boore 2003, Bommer ve Acevedo 2004).

Optimizasyon teknikleri kullanılarak yönetmelik ile uyumlu deprem kayıtlarının seçilmesi sıkça görülmektedir (Fahjan 2008, Kayhan 2011). Tez kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) yer alan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu 11 adet ivme kaydı çifti, sezgisel optimizasyon türü olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir (Storn and Price, 1995).

3.2 Tasarım İvme Spektrumu

2018 yılında bakanlar kurulu tarafından Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritası oluşturulması kararı alınmıştır. Deprem yer hareketlerine göre dört adet yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) tanımlanarak bu harita oluşturulmuştur. Denklem 3.1'de belirtilen $S_S - S_1$ spektral ivme katsayıları, $F_S - F_1$ yerel zemin etki katsayıları kullanılarak tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} değerleri elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak T_A , T_B olmak üzere yapı sisteminin titreşim periyoduna ait ivme değerleri, T_L alt ve üst limit periyot değeri belirlenmektedir (Denklem 3.2).

TBDY-2018' e göre zemin sınıfları ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak ayrılmıştır. Zemin sınıflarına göre elastik tasarım spektrumunun şekli ve ordinat değerleri

farklılık göstermektedir. Tablo 3.1’de zemin sınıfına göre değişkenlik gösteren 30 m derinlikteki ortalama hız (V_{s30}) değerleri verilmiştir.

$$\begin{aligned}
0 \leq T \leq T_A & : & S_{ae}(T) &= \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS} \\
T_A \leq T \leq T_B & : & S_{ae}(T) &= S_{DS} \\
T_B \leq T \leq T_L & : & S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} \\
T_L \leq T & : & S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Tablo 3.1: Zemin sınıflarına ait değişen 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	

3.2.1 TBDY-2018’e göre İvme Kaydı Seçim Kriterleri

3 boyutlu (3B) bina modelleri için deprem ivme kaydı seçiminde TBDY-2018’de belirtilen koşullar aşağıda gösterildiği gibidir:

1. Deprem kaydı takımlarının sayısı en az 11 adet olacak şekilde belirlenmelidir.
2. Aynı depremden seçilen kayıt çifti 3’ü geçmemelidir.
3. Belirlenen deprem kayıtları çiftinin iki yatay bileşenine ait olan spektrum kareleri toplamının karekökü (SRSS) alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmelidir.
4. Seçilen kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalaması $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, %5 sönümlü yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3’ ten daha

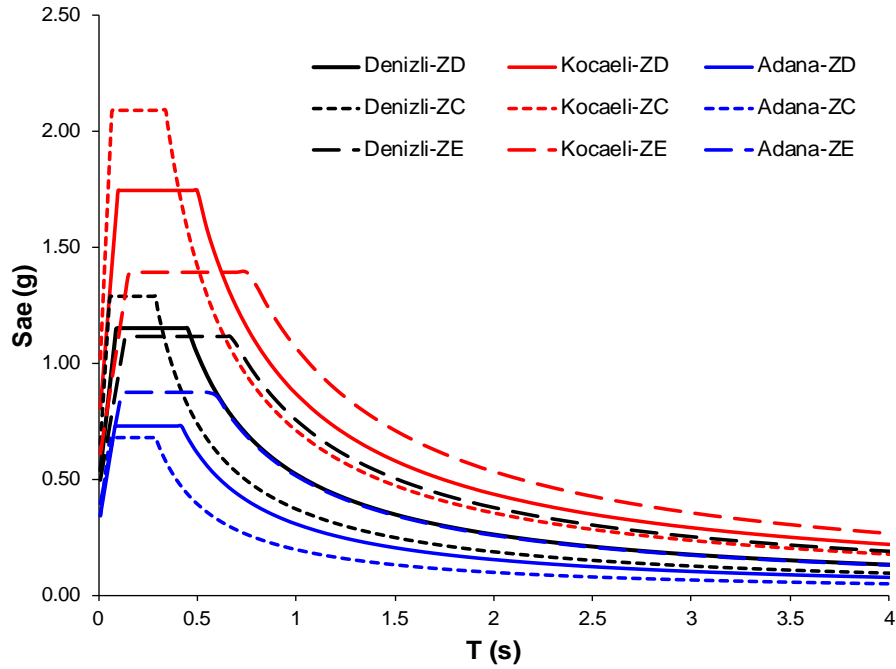
küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenleri ölçeklendirilmelidir.

5. İki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi için aynı ölçek katsayıları kullanılmalıdır.

3.3 Seçilen İvme Kayıtlarının Özellikleri

Çalışmada, 3 farklı zemin tipi ve 3 farklı sismik lokasyon dikkate alınmıştır. Her bir lokasyon ve zemin tipi ile uyumlu 22 adet, toplamda 198 adet gerçek deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Gerçek ivme kayıtlarının verilerine PEER web sitesinden ulaşılmıştır (PEER 2011). Çalışma da PEER web sitesinden alınan TBDY-2018 ile uyumlu DD-2 seyrek depremleri temsil eden kayıtlar Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan binaların, Denizli, Adana ve Kocaeli sismik lokasyonlarında bulunduğu varsayılmıştır. Ayrıca, bu binaların farklı zemin tiplerinde olabileceği göz önünde bulundurularak toplam dokuz farklı hedef tasarım spektrumu dikkate alınmıştır.



Şekil 3.1: Tüm sismik lokasyonlar için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu

Tasarım spektrumunun şeklini kontrol eden parametreler, tez kapsamında kullanılan farklı zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için Tablo 3.2-3.4' te verilmiş olup, ivme spektrumu grafikleri ise Şekil 3.1' de çizdirilmiştir. S_{DS} ve S_{D1} , kısa ve bir saniyelik periyotlara sahip tasarım spektral ivme katsayılarını temsil ederken, T_A ve T_B yatay elastik ivme spektrumunun karakteristik periyotlarıdır. TBDY-2018'de verilen tasarım spektrumunun şekli ve tanımı ile karakteristik periyotları T_A ve T_B , ASCE 7-16'da T_0 ve T_s değerlerine karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada gerçek yer hareketleri, doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler için kullanılmıştır. Tüm lokasyon ve zemin sınıfları için seçilen deprem kayıtlarının özellikleri ve ölçek faktörleri Tablo 3.5 ve EK-A' da verilmiştir. Bu bölümde, Denizli ili ZC zemin sınıfı için seçilen deprem kayıtları ve özellikleri Tablo 3.5' te verilmiştir.

Tablo 3.2: Denizli sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler

Denizli				
Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
ZC	1.29	0.37	0.06	0.29
ZD	1.15	0.52	0.09	0.45
ZE	1.12	0.76	0.14	0.68

Tablo 3.3: Kocaeli sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler

Kocaeli				
Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
ZC	2.09	0.71	0.07	0.34
ZD	1.74	0.87	0.10	0.50
ZE	1.40	1.07	0.15	0.77

Tablo 3.4: Adana sismik lokasyonu spektrum şeklini kontrol eden parametreler

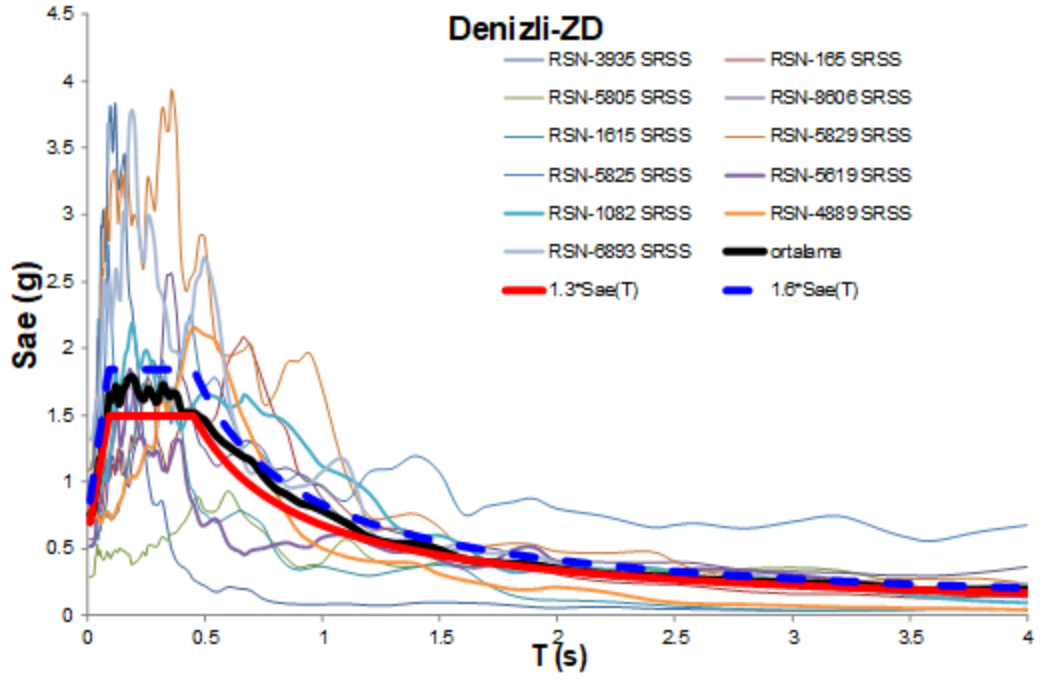
Adana				
Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
ZC	0.68	0.20	0.06	0.29
ZD	0.73	0.31	0.08	0.42
ZE	0.87	0.51	0.12	0.59

Tüm lokasyonlar ve zemin sınıfları için her bir ivme kaydının iki yatay bileşenine ait spektrumların (H1 ve H2 yönü) kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke spektrum (SRSS) elde edilmiştir. Elde edilen bileşke spektrumlar, bileşke spektrumların ortalaması ve TBDY-2018'e göre 1.3 katsayısı ile büyütülen yatay tasarım spektrum eğrileri Şekil 3.2 ve EK-A' da verilmiştir. Bu bölümde, Denizli ZD

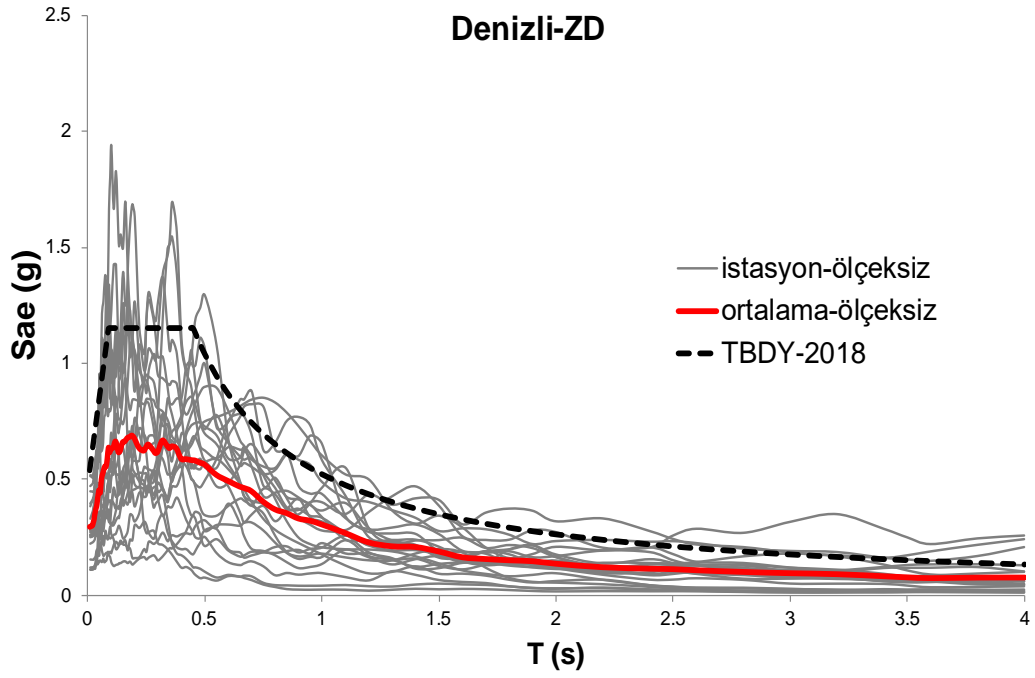
zemin sınıfı için seçilen 22 adet ivme kaydının spektrum grafikleri Şekil 3.3' te verilmiştir. Bu ivme kayıtlarının ölçeklendirilmiş spektrum grafikleri ise Şekil 3.4' te verilmiştir. Diğer lokasyon ve zemin sınıfları için elde edilen ölçekli ve ölçeksiz spektrum grafikleri EK-A' da verilmiştir. Ayrıca Denizli ili farklı zemin sınıflarına ait ölçeklendirilmiş 22 adet ivme kaydının ortalama spektrum grafikleri ve hedef spektrumları Şekil 3.5' te sunulmuştur.

Tablo 3.5: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

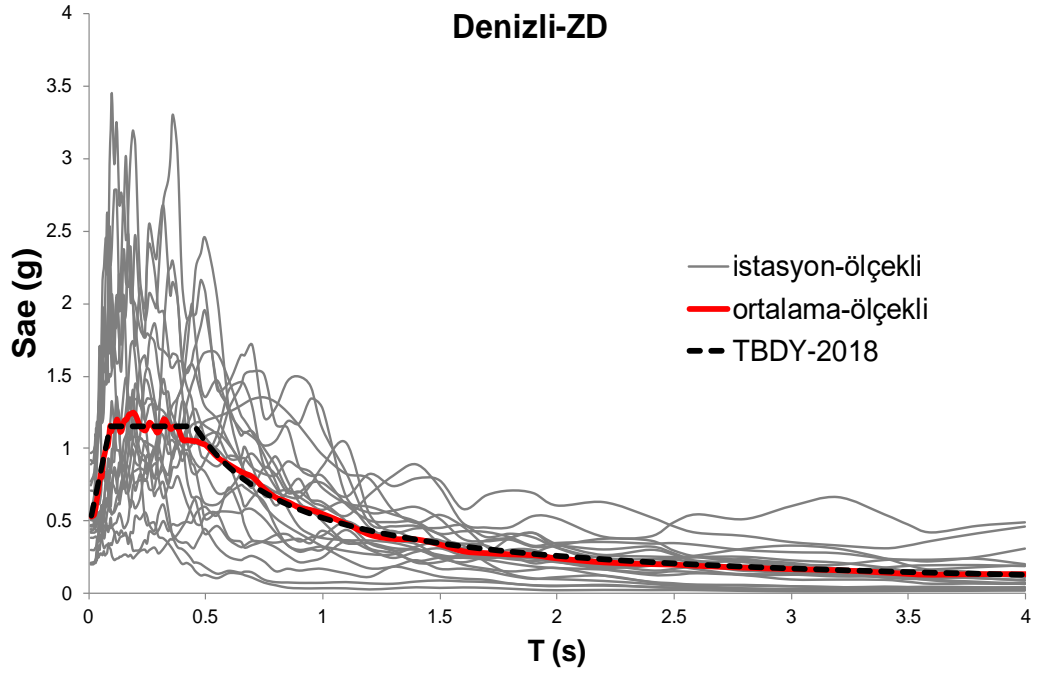
Denizli ZD					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
81	RSN-3935	Tottori, Japan	SMN003	344	1.779
52	RSN-165	Imperial Valley-06	Chihuahua	242	1.854
144	RSN-5805	Iwate, Japan	Yokote City -Nobita	253	1.860
180	RSN-8606	El Mayor-Cucapah,Mexico	Westside Elementary School	242	1.482
125	RSN-1615	Duzce, Turkey	Lamont 1062	338	1.788
153	RSN-5829	El Mayor-Cucapah, Mexico	RIITO	242	1.950
151	RSN-5825	El Mayor-Cucapah, Mexico	Cerro Prieto Geotherma	242	1.893
130	RSN-5619	Iwate, Japan	IWT011	279	1.923
78	RSN-1082	Northridge-01	Sun Valley - Roscoe Blvd	321	1.585
100	RSN-4889	Chuetsu-oki, Japan	Joetsu Otemachi	315	1.849
165	RSN-6893	Darfield, New Zealand	DFHS	344	1.891



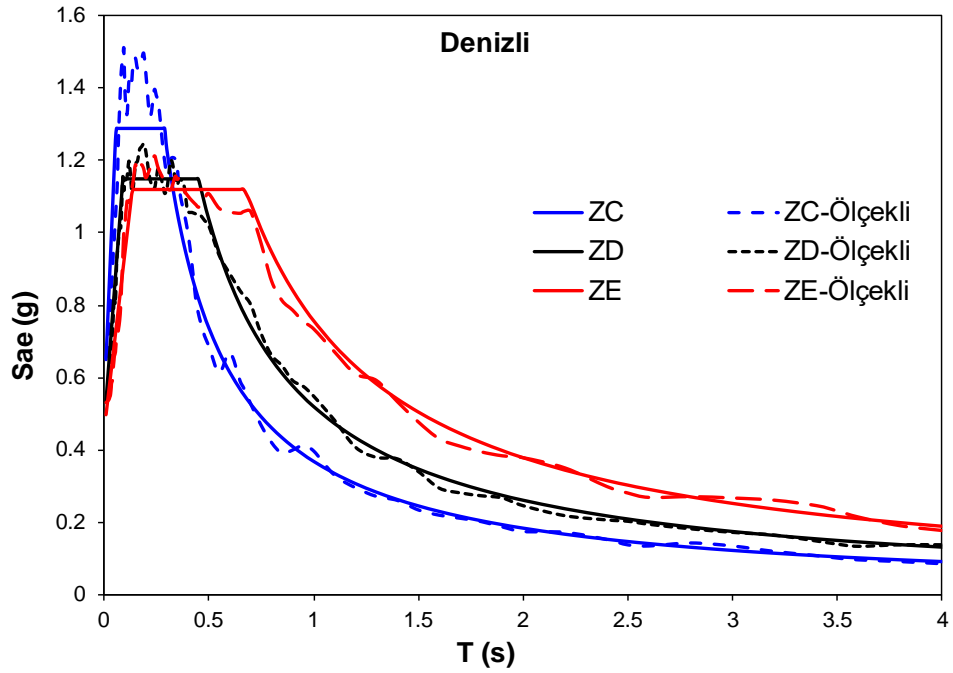
Şekil 3.2: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



Şekil 3.3: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



Şekil 3.4: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



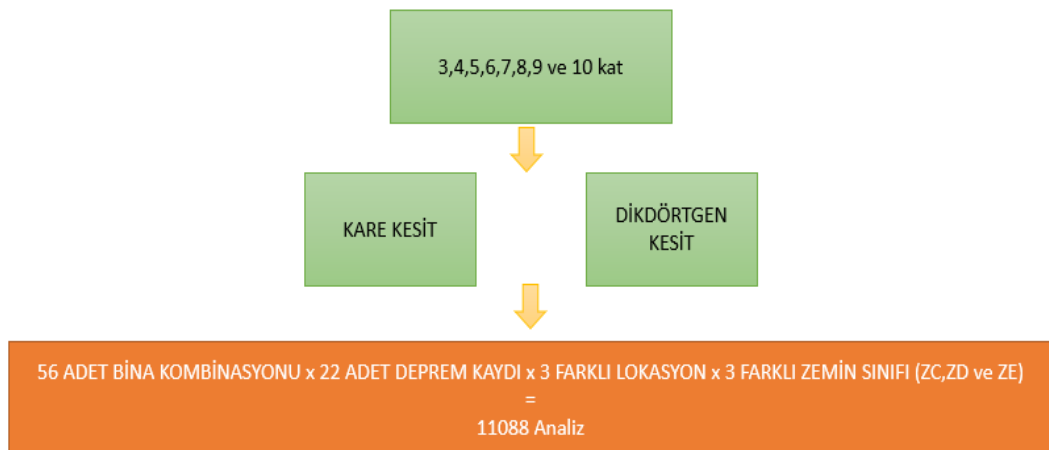
Şekil 3.5: Denizli lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrum ve 22 adet ivme kayıtlarının ortalama spektrumları

4. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA DİNAMİK ANALİZLER VE SONUÇLARI

4.1 Giriş ve Organizasyon

Tez kapsamında, düşük ve orta yükseklikteki betonarme binalar için 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı modeller her birinden 2' şer adet olmak üzere model oluşturulmuştur. ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları üzerinde yer alan ve kullanım amacı konut olan bu binaların DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Denizli, Kocaeli ve Adana lokasyonları kullanılarak TBDY-2018' e göre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aynı kat adedine sahip birbirinden farklı 2 bina tipi dikkate alınmıştır. Tasarımda süreklilik şartlarını sağlayan kapasite tasarım ilkeleri benimsenerek modeller oluşturulmuştur.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerde, TBDY-2018 ile uyumlu PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database) veri tabanından elde edilen gerçek depremler Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak her bir zemin sınıfı ve lokasyon için 11 adet ivme kaydı çifti seçilmiştir. Tezin organizasyon şeması Şekil.4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Tezin Organizasyon Şeması

Bu tez, bitişik betonarme binalar arasındaki minimum deprem derz mesafesinin belirlenmesi için farklı analiz yöntemlerini araştırmak ve bu yöntemlerin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

4.2 Analiz Parametreleri

İkili çekişleme etkisi için kullanılan bina çiftleri uluslararası kabul gören SAP2000 yapısal analiz programında modellenmiştir. Bina serbest titreşim periyotları doğrusal elastik olmayan analiz öncesinde modal analiz yapılarak elde edilmiştir. Dinamik analiz için farklı kat yüksekliğine sahip binalardan oluşan ikili modellerde doğal titreşim periyotları dikkate alınarak rijitlik ve kütle ile orantılı olan sönüm katsayıları belirlenmiştir. $\gamma=0.5$ (Gama) ve $\beta=0.25$ (Beta) Newmark Ortalama İvme Metodu yöntemi kullanılarak seçilmiştir.

4.3 İkili Betonarme Bina Modelleri ve Özellikleri

Bitişik betonarme binaların dinamik özellikleri ve periyotları, binaların deprem etkilerine karşı tepki verme şekillerini belirleyen önemli faktörlerdir. Bu özellikler, binaların boyutları, yapı malzemeleri, yapısal düzeni ve zemin koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Yapılara ait geometrik özelliklere ikinci bölümde bahsedilmiştir

İkili bina kombinasyonlarında 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı yapılar oluşturularak binaların bulunduğu il ve zemin tiplerinin her biri için toplam 56 adet ankastre mesnetli modeller kullanılmıştır. İkili kombinasyonlar kat sayılarına göre Tablo 4.1-4.2' de belirtildiği gibi adlandırılmıştır. Tablo 4.1 ve 4.2' de verilen ikili binaların şematik gösterimi ise Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Kare kolonlu ikili model kombinasyon isimlendirilmesi (s model)

Kat	3	4	5	6	7	8	9
4	4s-3s	-	-	-	-	-	-
5	5s-3s	5s-4s	-	-	-	-	-
6	6s-3s	6s-4s	6s-5s	-	-	-	-
7	7s-3s	7s-4s	7s-5s	7s-6s	-	-	-
8	8s-3s	8s-4s	8s-5s	8s-6s	8s-7s	-	-
9	9s-3s	9s-4s	9s-5s	9s-6s	9s-7s	9s-8s	-
10	10s-3s	10s-4s	10s-5s	10s-6s	10s-7s	10s-8s	10s-9s

Tablo 4.2: Dikdörtgen kolonlu ikili model kombinasyon isimlendirilmesi (r model)

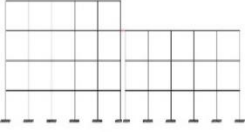
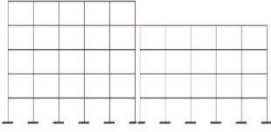
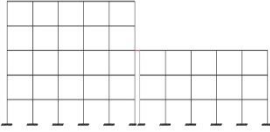
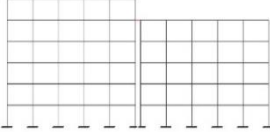
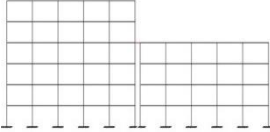
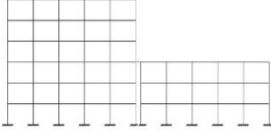
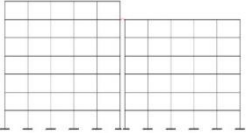
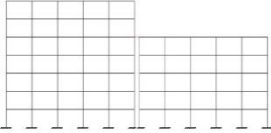
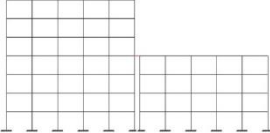
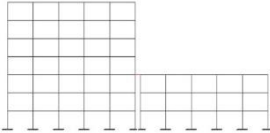
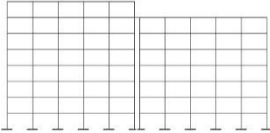
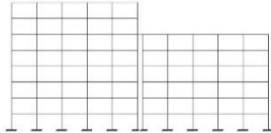
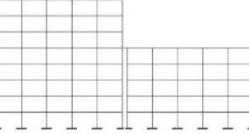
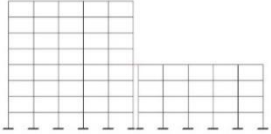
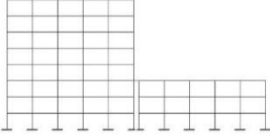
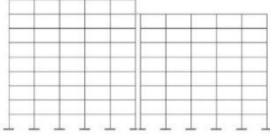
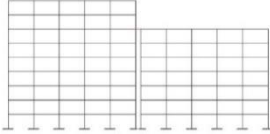
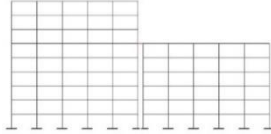
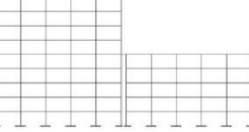
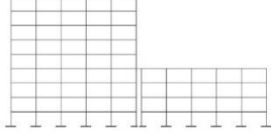
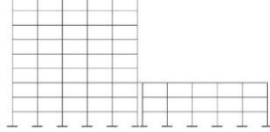
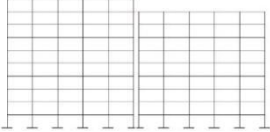
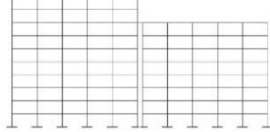
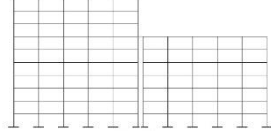
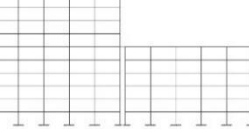
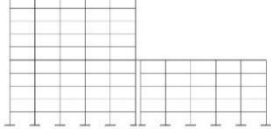
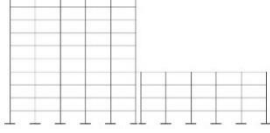
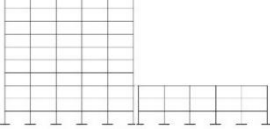
Kat	3	4	5	6	7	8	9
4	4r-3r	-	-	-	-	-	-
5	5r-3r	5r-4r	-	-	-	-	-
6	6r-3r	6r-4r	6r-5r	-	-	-	-
7	7r-3r	7r-4r	7r-5r	7r-6r	-	-	-
8	8r-3r	8r-4r	8r-5r	8r-6r	8r-7r	-	-
9	9r-3r	9r-4r	9r-5r	9r-6r	9r-7r	9r-8r	-
10	10r-3r	10r-4r	10r-5r	10r-6r	10r-7r	10r-8r	10r-9r

Oluşturulan bina modellerine ait dinamik özellikleri temsil etmesi amacıyla binaların x yönündeki hakim titreşim periyotları (T_{1x}), bina sismik ağırlıkları (W) ve dayanım oranları (V_y/W) Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Kare ve dikdörtgen kesitli binaların yapısal özellik değerleri

Model	Kat Sayısı	Periyot (s)	Bina Ağırlığı (kN)	Dayanım Oranı
	n	T_{1x}	W	V_y/W
3s	3	0.49	12.997	0.239
3r	3	0.43	13.076	0.280
4s	4	0.66	17.521	0.180
4r	4	0.59	17.641	0.208
5s	5	0.83	22.045	0.143
5r	5	0.75	22.207	0.167
6s	6	0.94	26.798	0.131
6r	6	0.86	26.937	0.149
7s	7	1.07	31.633	0.117
7r	7	0.99	31.713	0.132
8s	8	1.19	36.467	0.103
8r	8	1.12	36.489	0.116
9s	9	1.32	41.302	0.091
9r	9	1.26	41.266	0.103
10s	10	1.45	46.136	0.081
10r	10	1.39	46.042	0.093

Tablo 4.4: Model-s ve Model-r için oluşturulan 56 farklı bina çifti modelleri

					
4s-3s & 4r-3r	5s-4s & 5r-4r	5s-3s & 5r-3r	6s-5s & 6r-5r	6s-4s & 6r-4r	6s-3s & 6r-3r
					
7s-6s & 7r-6r	7s-5s & 7r-5r	7s-4s & 7r-4r	7s-3s & 7r-3r	8s-7s & 8r-7r	8s-6s & 8r-6r
					
8s-5s & 8r-5r	8s-4s & 8r-4r	8r-3r & 8r-3r	9s-8s & 9r-8r	9s-7s & 9r-7r	9s-6s & 9r-6r
					
9s-5s & 9r-5r	9s-4s & 9r-4r	9s-3s & 9r-3r	10s-9s & 10r-9r	10s-8s & 10r-8r	10s-7s & 10r-7r
					
10s-6s & 10r-6r	10s-5s & 10r-5r	10s-4s & 10r-4r	10s-3s & 10r-3r		

4.4 Literatürde Minimum Deprem Derz Mesafesinin Hesaplanması

Minimum deprem derz mesafeleri, bitişik betonarme binaların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını belirlemek için önemli bir faktördür. Bu mesafeler, binaların dinamik özellikleri, deprem kayıtlarının özellikleri ve yapısal düzeni gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Farklı yöntemler kullanılarak hesaplanan minimum deprem ayrılma mesafeleri arasında Eurocode-8, ASCE 7-16, TBDY-2018, ABS, SRSS ve DDC gibi farklı yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca, tezde iki farklı basit yaklaşım da önerilmiştir. Bu yaklaşımlar, binaların dinamik özelliklerine ve deprem kayıtlarının özelliklerine göre farklı sonuçlar verebilir. Minimum deprem ayrılma mesafelerinin doğru bir şekilde hesaplanması, binaların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını artırabilir ve hasar riskini azaltabilir.

Komşu binaların güçlü zemin hareketlerine karşı etkileşimlerini önlemek için mutlak toplam (ABS) yöntemi kullanılır. Mutlak toplam yöntemi, komşu binaların tepe yer değiştirmelerinin mutlak toplamını (Denklem 4.1) gereken deprem boşluğu mesafesi olarak hesaplar. Bu yaklaşım UBC-88'de benimsenmiştir. Komşu binaların tepe yer değiştirmesinin meydana gelme olasılığı oldukça düşük olduğundan, deprem derz mesafesinin mutlak toplam değeri üst sınır değeri olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, Anagnostopoulos (1988), binaların tepe yer değiştirmelerinin karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplanan bir yöntem önermiştir (SRSS) (Denklem 4.2).

$$d_{ABS} = |u_1 + |u_2| \quad (4.1)$$

$$d_{SRSS} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (4.2)$$

ASCE7-16'da gereken derz mesafesi, SRSS yönteminde (Denklem 4.2) elastik olmayan yer değiştirmeler kullanılarak hesaplanır. δ_{M1} , δ_{M2} bitişik binaların elastik olmayan yer değiştirmelerini ifade eder. Her binanın elastik olmayan yer değiştirmesi, yer değiştirme amplifikasyon faktörü ($C_d = 5.5$), maksimum elastik yer

değiştirmesi (δ_{max}) ve önem faktörü ($I = 1$) kullanılarak gereken derz mesafesi hesaplanır (Denklem 4.3 ve Denklem 4.4).

$$d_{ASCE7-10} = \sqrt{\delta_{M1}^2 + \delta_{M2}^2} \quad (4.3)$$

$$\delta_M = C_d \delta_{max} / I \quad (4.4)$$

Eurocode 8'de (EC-8), binaların çarpışma seviyesindeki maksimum yatay yer değiştirmeleri kullanılarak mutlak toplam (ABS) ve karelerin toplamının karekökü (SRSS) yöntemleriyle minimum deprem boşluğu tanımlanmıştır. Bir binanın potansiyel çarpışma katındaki maksimum deprem yer değiştirmesi (δ), deplasman davranış faktörü (q) kez lineer analizden elde edilen elastik deplasman (δ_{el}) ile hesaplanır (Denklem 4.5). Binalar için deplasman davranış faktörü 5.85 olarak alınmıştır. Elastik deplasmanı hesaplarırken, çatlamış kesit rijitliği kolon ve kiriş elemanları için $0.5EI$ olarak alınmıştır. Denklem 4.6'da verilen ABS değerleri son derece yüksek ve üst sınır değerleri olduğundan Denklem 4.7'de verilen SRSS değerleri tartışılmıştır.

$$\delta = q \delta_{el} \quad (4.5)$$

$$d_{EC-8-a} = |\delta_1| + |\delta_2| \quad (4.6)$$

$$d_{EC-8-b} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad (4.7)$$

Jeng ve diğerleri (1992) tarafından önerilen DDC yöntemi, elastik yapılar üzerinde etkili bir şekilde kullanılmıştır (Denklem 4.8). Bu yöntemi elastik olmayan yapılar için kullanabilmek adına, Kasai ve diğerleri (1997) tarafından Denklem 4.8'te verilen korelasyon katsayısı değiştirilmiştir. Binaların periyot (T_1, T_2) ve sönüm (ξ_1, ξ_2) değerlerinin korelasyon katsayısındaki yerine, Denklem 4.10 ve Denklem 4.11 'da verilen etkin sönüm (ξ_{eff}) ve periyot (T_{eff}) değerleri dikkate alınmıştır. T_1 , daha yüksek periyot değerine sahip binayı temsil ederken, T_2 daha küçük periyot değerine

sahip binayı temsil etmektedir. μ , T_0 , ξ_0 ise sırasıyla düktilite oranı, başlangıç periyodu ve başlangıç sönüm değerlerini temsil etmektedir.

$$d_{DDC} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2\rho u_1 u_2} \quad (4.8)$$

$$\rho = \frac{8x\sqrt{\xi_1 x \xi_2 x} \left(\xi_1 + \xi_2 x \frac{T_1}{T_2} \right) x \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{1.5}}{\left[1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 \right]^2 + 4x\xi_1 x \xi_2 x \left[1 + \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 \right] x \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 4x(\xi_1^2 + \xi_2^2) x \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2} \quad (4.9)$$

$$T_{eff} = T_0 x (1 + 0.09x(\mu - 1)) \quad (4.10)$$

$$\xi_{eff} = \xi_0 + 0.084x(\mu - 1)^{1.3} \quad (4.11)$$

Kamal ve İnel (2022a) gerekli derz mesafesinin belirlenmesi için yapmış oldukları çalışmada α ve m katsayılarına ve binaların periyot oranlarına dayalı iki farklı yöntem önermişlerdir. TBDY-2018’ de yer alan α katsayısı, binaların taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve bina önem katsayısına (I) bağlı ve sabit bir değer ($\alpha=0.25R/I$) olarak sunulmuştur. Kamal ve İnel bu katsayının binaların periyot oranlarına bağlı olarak yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Gerekli derz mesafesinin belirlenebilmesi için önerilen yaklaşım, lineer analizden elde edilen elastik yer değiştirmeler (u_1 , u_2) ve α katsayısına bağlı olarak Denklem 4.12a-4.12b’ de verilmiştir. Bu denklemler ile önerilen yaklaşım TBDY-2018, ASCE7-16 ve EC-8 ile kıyaslanmıştır. Önerilen denklemin, TBDY-2018 ve diğer yönetmelik gereksinimine kıyasla gerekli deprem derz mesafesinin önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtilmişlerdir.

$$d_{proposed-1a} = \alpha_{1a} \sqrt{u_1^2 + u_2^2}; \alpha_{1a} = -5(T_1/T_2)^{-3.5} + 5.13; \alpha_{1a} \geq 1.5 \quad (4.12a)$$

$$d_{proposed-1b} = \alpha_{1b} \sqrt{u_1^2 + u_2^2}; \alpha_{1a} = \begin{cases} 5 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) - 3.5; & \frac{T_1}{T_2} \leq 1.6 \\ 0.5 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 3.7; & \frac{T_1}{T_2} > 1.6 \end{cases} \quad (4.12b)$$

Önerdikleri ikinci yöntem, binaların elastik olmayan spektral yer değiştirmelerine (δ_1, δ_2) ve bina periyot oranlarına (T_1/T_2) dayanmaktadır. Dinamik analizlerden elde edilen ortalama boşluk mesafeleri, elastik olmayan spektral yer değiştirmelerin karelerinin toplamının kareköküne oranlanmıştır. Bu oran m katsayısı olarak adlandırılmış ve bu katsayı için iki farklı denklem (Denklem 4.13a-4.13b) önerilmiştir.

$$d_{proposed-2a} = m_{2a} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}; m_{2a} = -0.76(T_1/T_2)^{-3.44} + 0.81 \quad (4.13a)$$

$$d_{proposed-2b} = m_{2b} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}; m_{2b} = \begin{cases} 0.75 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) - 0.5; & \frac{T_1}{T_2} \leq 1.6 \\ 0.075 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 0.58; & \frac{T_1}{T_2} > 1.6 \end{cases} \quad (4.13b)$$

Kamal ve İnel (2022b) yapmış oldukları çalışmada daha önce önermiş oldukları basitleştirilmiş yaklaşımı ZC ve ZE zemin sınıflarını ekleyerek genişletmişlerdir. Bu yaklaşım bitişik binaların periyotları ve spektral yer değiştirme taleplerini (S_d) gerektirmektedir. Çarpışmanın meydana geldiği kat seviyesindeki yatay yer değiştirme talebi δ_i (Denklem 4.14), S_d kullanılarak Denklem 4.15' te gösterildiği gibi elde edilir. S_a , T , φ_i ve PF_i , sırasıyla spektral ivme, baskın periyot, normalize edilmiş kat yer değiştirmeleri ve modal katkı çarpanına ifade etmektedir. Denklem 4.13a ile önerilen yaklaşım, farklı zemin tipleri (ZC, ZD, ZE) için C1 katsayısı önerilerek yeni bir denklem geliştirilmiştir (Denklem 4.16).

$$\delta_i = \varphi_i PF_i S_{d,i} \quad (4.14)$$

$$S_d = S_a T^2 / 4\pi^2 \quad (4.15)$$

$$d = C_1 m \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}; \begin{cases} C_1 = 1.15(T_1/T_2)^{0.14} & ; \text{ ZC} \\ C_1 = 1 & ; \text{ ZD} \\ C_1 = 0.75(T_1/T_2)^{0.44} & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.16)$$

Kamal (2022c) derz mesafesi ile ilgili yaptığı diğer bir çalışmasında Denizli ili; ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için dinamik analizler yapmıştır. 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 ve 3 katlı ikili bina çiftlerini kullanarak yapmış olduğu doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu elde ettiği derz mesafesini TBDY-2018, DDC metodu ve EC-8 yönetmelikleri ile karşılaştırarak iki yöntem önerilmiştir.

İlk yöntemde doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları elde edilen ortalama derz mesafeleri, TBDY-2018’ de bina yüksekliği ile belirlenen gerekli derz mesafesine (d_{TBDY}) oranlanarak n katsayısı önerilmiştir. Bu oranlar arasındaki ilişkiyi bulmak amacıyla birçok fonksiyon denemiş ve üstel fonksiyonların daha güçlü ilişki oluşturduğunu tespit etmiştir. Bu üstel fonksiyon Denklem 4.17’de verilmiştir.

$$d_{TBDY-R} = (n)^{-1} d_{TBDY} \quad (4.17)$$

$$n = \begin{cases} 1.87(T_1/T_2)^{-7.81} + 0.5 & ; \text{ ZC} \\ 1.59(T_1/T_2)^{-8.48} + 0.46 & ; \text{ ZD} \\ 1.54(T_1/T_2)^{-8} + 0.33 & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.18)$$

İkinci önerdiği yöntemde Kamal bina yüksekliği ve hesaplanan ortalama derz mesafesi arasındaki ilişkiyi irdelenmiştir. Ortalama derz mesafeleri kat adedi yüksek olan bina yüksekliğine (H_{max}) ve kat adedi düşük olan bina yüksekliğine (H_{min}) oranlanmıştır. Gerekli derz mesafesi ile H_{max} ve H_{min} arasındaki ilişki irdelenmiştir. H_{min} değeri ile belirlenen derz mesafelerinin daha güçlü bir ilişki ortaya koyduğu görülmüştür. Bunun sonucunda binaların periyot oranlarına ve H_{min} değerlerine bağlı olan k katsayısı önerilmiştir (Denklem 4.19).

$$d = kH_{min} \quad (4.19)$$

$$\text{Denizli ili için } k = \begin{cases} -0.92(T_1/T_2)^{-3.34} + 0.93 & ; \text{ ZC} \\ -(T_1/T_2)^{-4.59} + 0.95 & ; \text{ ZD} \\ -1.49(T_1/T_2)^{-2.95} + 1.46 & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.20)$$

Bu tez kapsamında Kamal ve İnel (2022a, 2022b ve 2022c) tarafından önerilen α , m, n ve k katsayıları, 56 adet ikili bina, 3 farklı lokasyon (Denizli, Kocaeli ve Adana) ve 3 farklı zemin sınıfı (ZC, ZD ve ZE) için genişletilerek irdelenmiştir.

4.5 Analiz Sonuçları ve Derz Mesafesinin Hesaplanmasına Yönelik Yaklaşımlar

Bu çalışma, depremden kaynaklanan yapısal çarpışmayı önlemek için gerekli derz mesafesini araştırmaktadır. 56 adet bitişik nizamlı bina çifti için 198 ivme kaydı kullanılarak toplam (198x56) 11088 adet doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonucunda, ikili bina modelleri arasında gereken minimum boşluk mesafeleri (d), zaman tanım alanında yapılan dinamik analizler sonucunda deprem etkileri altında kat seviyesindeki deplasmanları temsil eden $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ kullanılarak Denklem 4.21 ile hesaplanmıştır.

$$d = \max|u_1(t) - u_2(t)| \quad (4.21)$$

Her zemin tipi ve ikili yapı modelleri için doğrusal olmayan analizlerden elde edilen ortalama derz mesafeleri (d_{ort}) Tablo 4.25te verilmiştir.

TBDY-2018'e göre minimum deprem derz mesafesi iki farklı yöntem ile hesaplanır. İlk yöntem lineer analiz gerektiren yöntemdir. Her bir kat için komşu binalarda elde edilen elastik yer değiştirmelerin (azaltılmış) karelerinin toplamının karekökü (SRSS) ile α katsayısının çarpımından az olmayacaktır. α katsayısının değeri kat seviyeleri eşit ise $0.25R/I$, değilse $0.5R/I$ alınacaktır (R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı; I: Bina önem katsayısı, Denklem 4.22a)

İkinci yöntem ise herhangi bir analiz gerektirmeden bina yüksekliğine bağlı gerekli derz mesafesinin hesaplandığı yöntemdir. Bu yöntemde göre 6 m yüksekliğe kadar derz mesafesi en az 3 cm olacaktır ve bu değere 6 m' den sonraki her 3 m' lik yükseklik için en az 1 cm eklenecektir (Denklem 4.22b).

$$d_{TBDY-a} = \alpha \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (4.22a)$$

$$d_{TBDY-b} = \begin{cases} 3 & (cm) \quad eğer \quad H < 6m \\ \frac{H-6}{3} + 3 & (cm) \quad eğer \quad H \geq 6m \end{cases} \quad (4.22b)$$

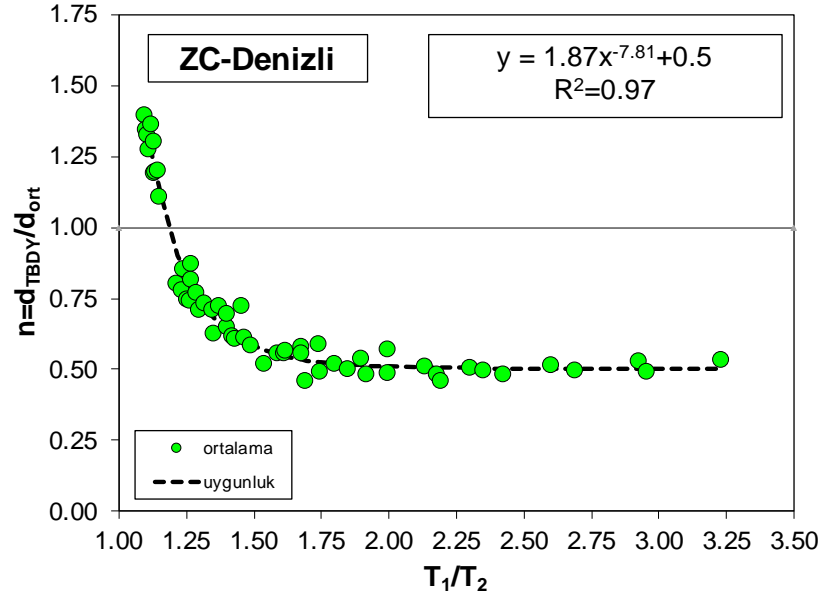
Yapılan tez çalışmasında 4 farklı yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler m , α , n ve k katsayılarıdır.

4.5.1 1. Yöntem

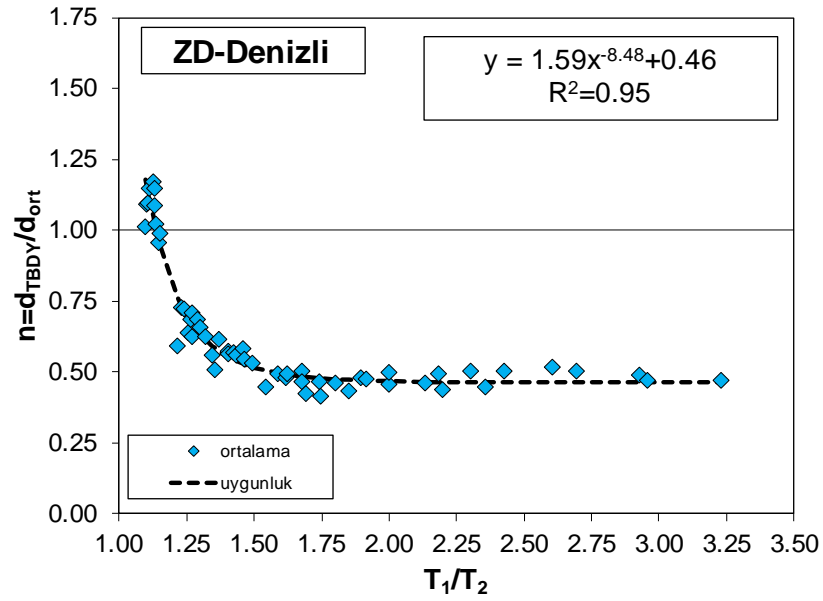
Kamal'ın 2022c'de yapmış olduğu çalışmada önerilen n katsayısı 3 farklı sismik lokasyon için bu yöntemde hesaplanmıştır (Denklem 4.15). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) tarafından hesaplanan derz mesafeleri (d_{TBDY}) (Denklem 4.21) her zemin tipi (ZC, ZD ve ZE) ve 3 farklı sismik lokasyon (Denizli, Kocaeli ve Adana) için analiz sonuçlarından hesaplanan ortalama derz mesafelerine (d_{ort}) bölünerek (d_{TBDY}/d_{ort}) katsayılar elde edildi. Elde edilen oranlar n katsayısı olarak adlandırılmıştır ve Tablo 4.2'de elde edilen oranlar verilmektedir.

Bulunan oranlar ve bina periyot oranları arasında ilişki olduğu literatürde yapılan diğer çalışmalarda göz önüne alınarak tez kapsamında irdelenmiştir. Bunun sonucunda periyot oranlarıyla n katsayısı arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. İlk binaya ait periyot (uzun olan bina) T_1 ve ikinci binaya ait periyot (kısa olan bina) T_2 olarak isimlendirilerek bina periyotları oranlanmıştır.

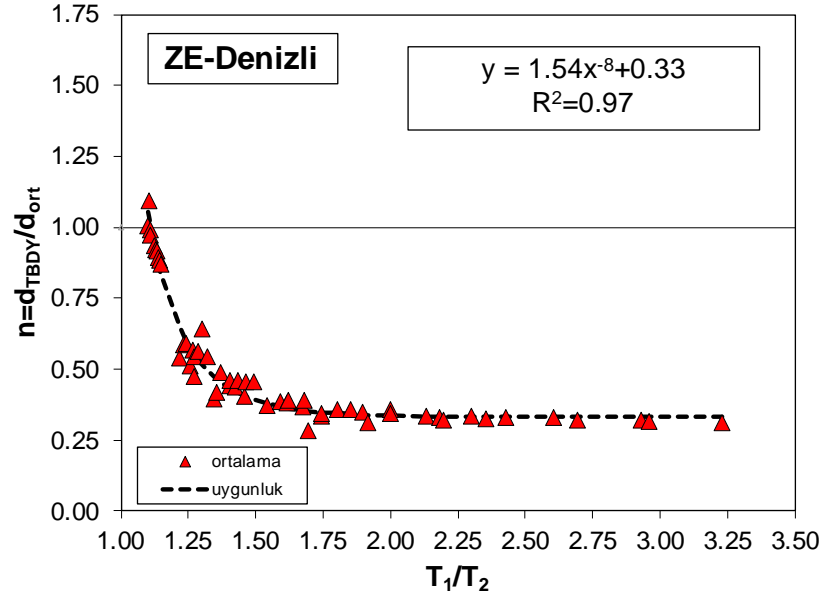
n katsayısı değerleri Denizli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.45 ile 1.39 arasında, ZD tipi için 0.41 ile 1.17 arasında ve ZE zemin tipi için 0.28 ile 1.09 arasında; Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.25 ile 0.90 arasında, ZD tipi için 0.12 ile 0.78 arasında ve ZE zemin tipi için 0.14 ile 0.76 arasında; Adana lokasyonu ZC zemin tipi için 0.86 ile 2.08 arasında, ZD tipi için 0.66 ile 1.57 arasında ve ZE zemin tipi için 0.30 ile 1.20 arasında değişmektedir (Şekil 4.2-4.10).



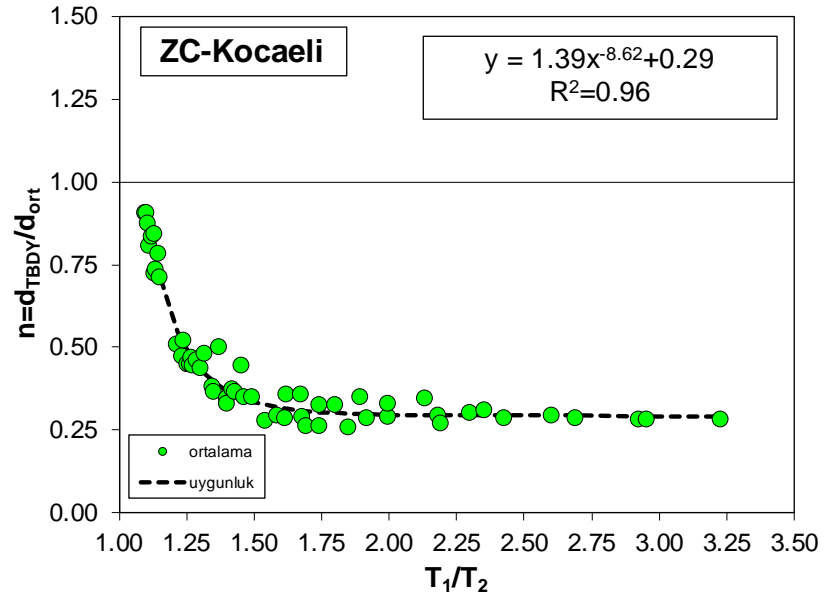
Şekil 4.2: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



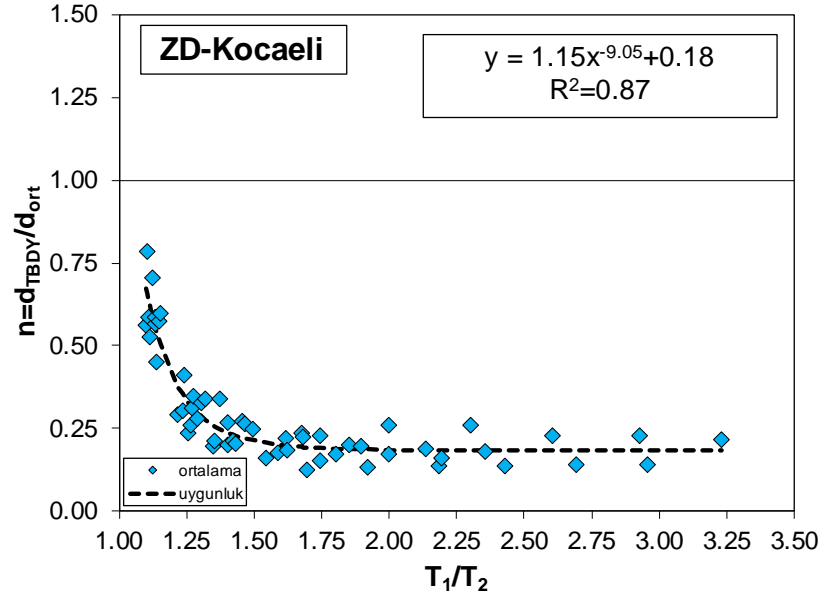
Şekil 4.3: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



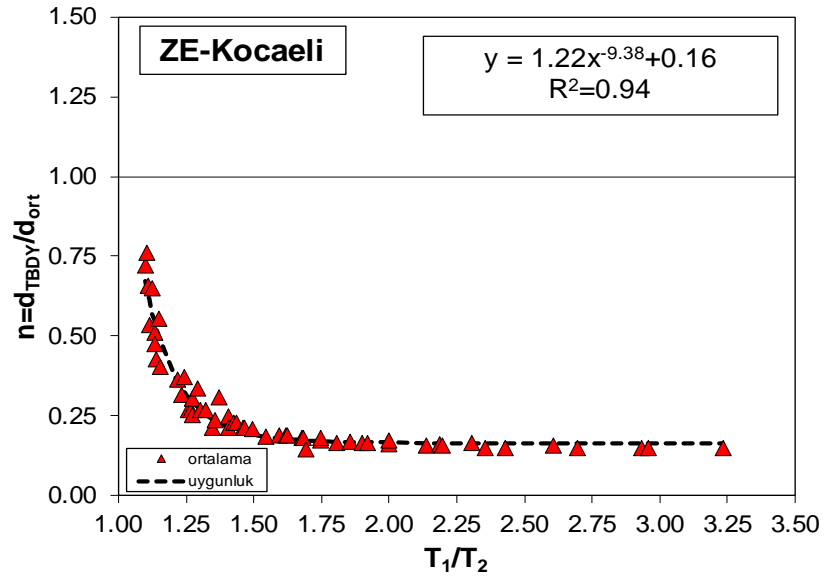
Şekil 4.4: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1 / T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



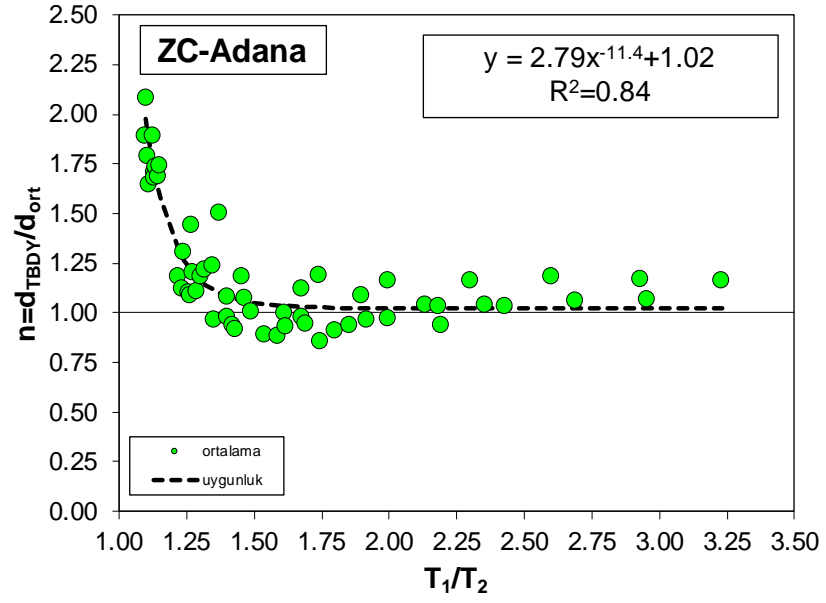
Şekil 4.5: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1 / T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki



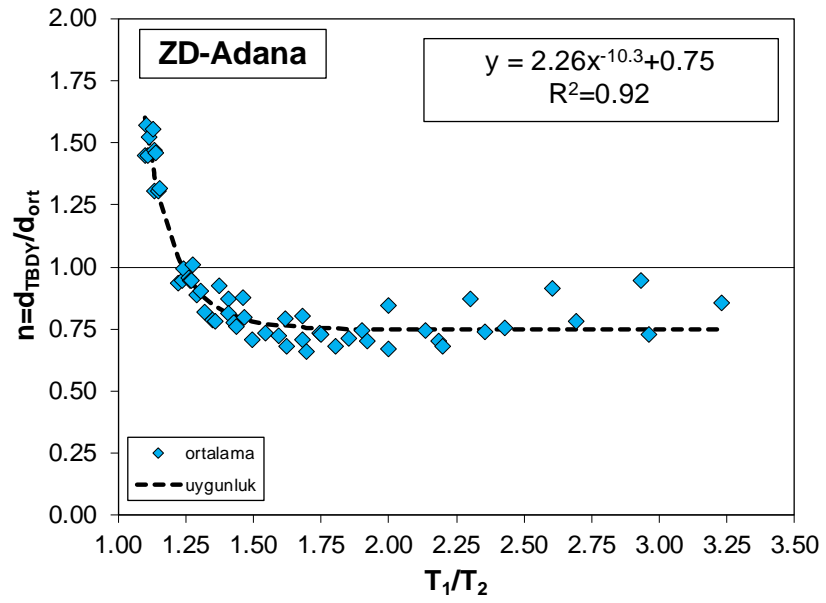
Şekil 4.6: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki



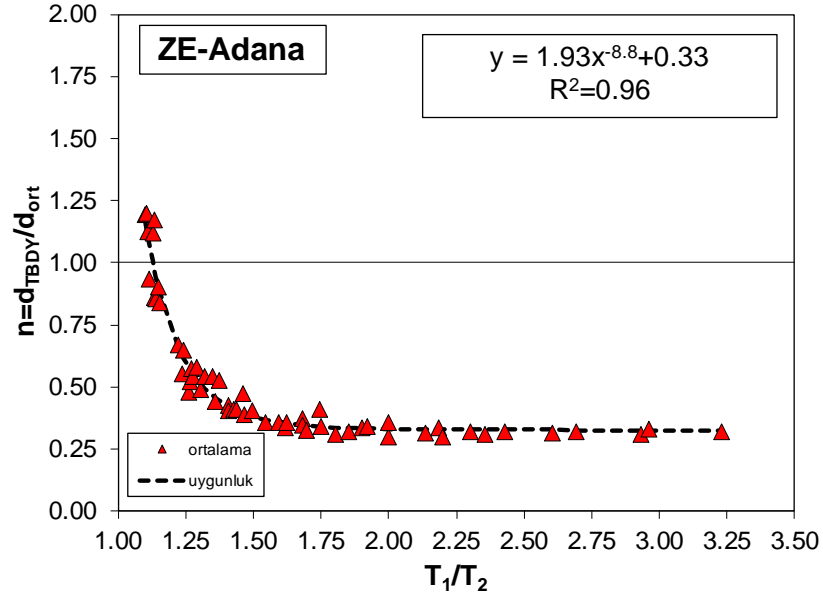
Şekil 4.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.8: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.9: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.10: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki

Bu sonuçlar, özellikle farklı periyot oranlarına sahip bina çiftleri için TBDY-2018 'in doğru tahmin sağlamadığını açıkça göstermektedir. Tüm zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için n katsayısı ile bina çiftlerinin T_1/T_2 oranı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Periyot oranı arttıkça (özellikle $T_1/T_2 \geq 1,25$ için), Denizli, Kocaeli, Adana sismik lokasyonlarında TBDY-2018 tarafından önerilen boşluk mesafeleri tüm zemin tipleri için oldukça yetersiz olduğu görülmektedir.

Adana sismik lokasyonu ZC zemin sınıfı için TBDY-2018'de belirtilen derz mesafesi önerilen yöntemle kıyaslandığında makul sonuçlar verse de görüldüğü üzere zemin sertliği azaldıkça TBDY-2018'de önerilen derz mesafesi tüm sismik lokasyonlar için yetersiz kalmıştır.

Sonuç olarak TBDY-2018'de belirtilen hesap yöntemi ile elde edilen derz mesafesinin yetersiz olduğu n katsayısı sayesinde gösterilmiştir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12)

n katsayısı ile periyot oranı arasındaki ilişki irdelendiğinde üstel fonksiyonla temsil edilebileceği açıkça görülmüştür. Bu hesaplanan eğrilerin R^2 değerleri önemli ölçüde yüksektir. Bu değerler sırasıyla Denizli lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için sırasıyla 0.97, 0.95 ve 0.97'dir. Kocaeli lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE

zemin tipleri için sırasıyla 0.96, 0.87 ve 0.94'tür. Adana lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için ise sırasıyla 0.84, 0.92 ve 0.96'dır.

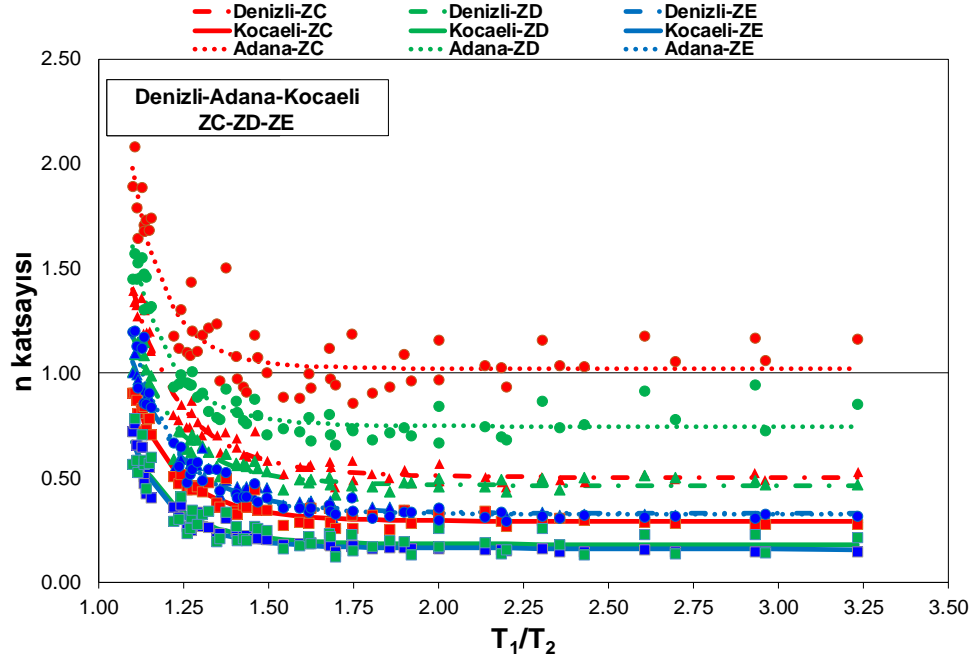
TBDY-2018, T_1/T_2 oranı bire yakın olan bina çiftlerinde yeterli derz mesafeleri sunarken, periyot oranının artması ile birçok zemin sınıfı ve lokasyon için yetersiz derz mesafeleri önermektedir. Özellikle, sismik aktivitenin yüksek olduğu Denizli ve Kocaeli lokasyonlarının tüm zemin sınıflarında yetersizlikler görülmektedir. Bu çalışmada önerilen n katsayıları kullanılarak, TBDY-2018 tarafından önerilen yaklaşım etkili bir şekilde kullanılabilir hale getirilmiştir. Farklı zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için revize edilmiş yeni eşitlikler (d_{TBDY-R}) (Denklem 4.23-4.26) elde edilmiştir. Her zemin tipi ve sismik lokasyonlar için analiz sonuçlarından hesaplanan ortalama boşluk mesafelerine (d_{ort}) bölünen ve önerilen boşluk mesafeleri Tablo 4.5-4.7'de verilmiştir.

$$d_{TBDY-R} = (n)^{-1}d_{TBDY} \quad (4.23)$$

$$\text{Denizli lokasyonu için } n = \begin{cases} 1.87(T_1/T_2)^{-7.81} + 0.5 & ; ZC \\ 1.59(T_1/T_2)^{-8.48} + 0.46 & ; ZD \\ 1.54(T_1/T_2)^{-8} + 0.33 & ; ZE \end{cases} \quad (4.24)$$

$$\text{Kocaeli lokasyonu için } n = \begin{cases} 1.39(T_1/T_2)^{-8.62} + 0.29 & ; ZC \\ 1.15(T_1/T_2)^{-9.05} + 0.18 & ; ZD \\ 1.22(T_1/T_2)^{-9.38} + 0.16 & ; ZE \end{cases} \quad (4.25)$$

$$\text{Adana lokasyonu için } n = \begin{cases} 2.79(T_1/T_2)^{-11.4} + 1.02 & ; ZC \\ 2.26(T_1/T_2)^{-10.3} + 0.75 & ; ZD \\ 1.93(T_1/T_2)^{-8.8} + 0.33 & ; ZE \end{cases} \quad (4.26)$$

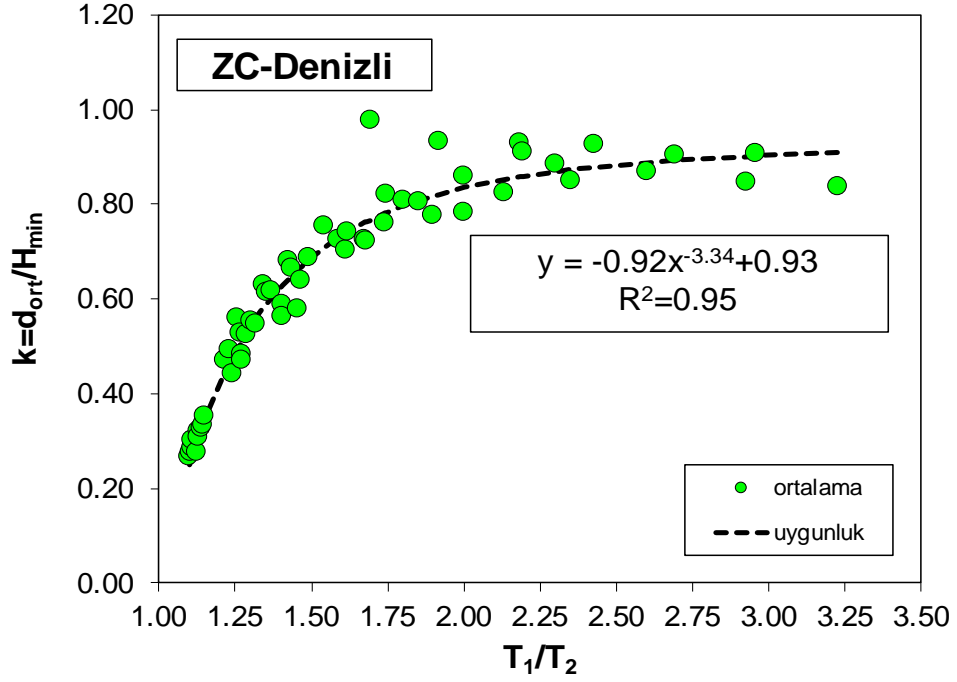


Şekil 4.11: Farklı zemin tipleri ve lokasyonlar için T1/T2 oranı ve n katsayısı arasındaki ilişki

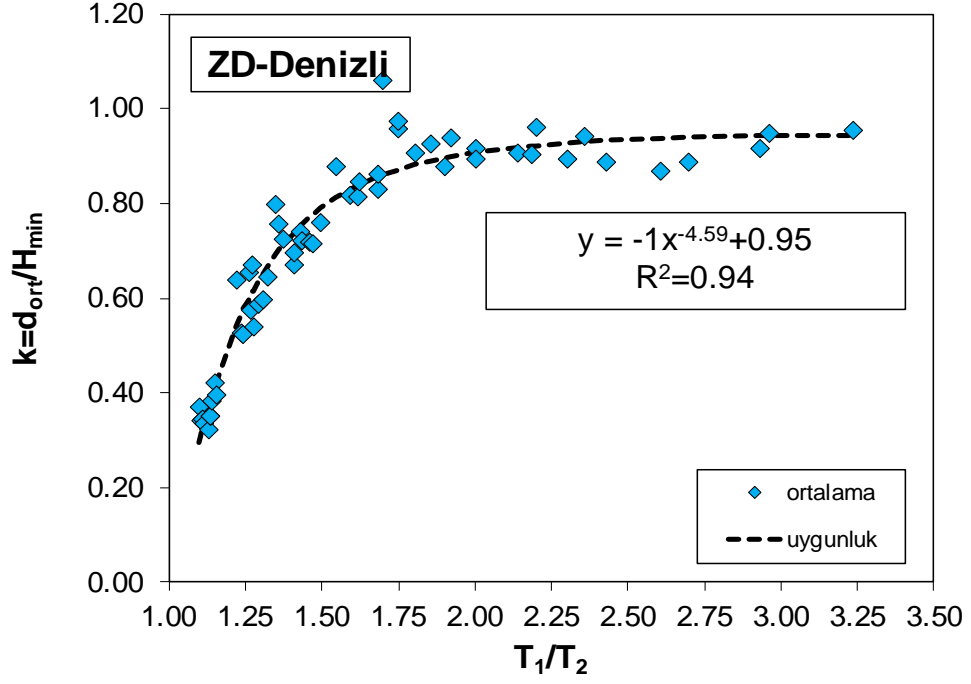
4.5.2 2. Yöntem

Kamal (2022c)' de yapmış olduğu çalışmada önerdiği k katsayısı 3 farklı sismik lokasyon ve 3 farklı zemin tipi için bu yöntemde hesaplanmıştır (Denklem 4.18). Bazı uluslararası yönetmeliklerde, deprem derz mesafeleri daha kısa veya daha uzun binanın yüksekliğine veya bitişik binaların yüksekliklerinin toplamına bağlı olarak belirlenmektedir. Örneğin, Avustralya koduna göre, derz mesafesi daha yüksek binanın toplam yüksekliğinin %1 olarak hesaplanır. ASCE/41-17, derz mesafesinin daha kısa binanın yüksekliğinin %4'ünden az olmaması gerektiğini belirtmektedir. Bu farklı yönetmeliklerin önerileri ışığında, bu çalışma, zaman tanım alanında yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerden hesaplanan minimum derz mesafeleri ile bina yüksekliği arasındaki ilişki bu yöntemde irdelenmiş ve kısa binaların yüksekliğiyle analiz sonucunda elde edilen ortalama derz mesafesi arasında bağlantı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, analiz sonuçları daha kısa binaların yüksekliği ile normalize edilmiştir. Aynı işlem daha yüksek binalar için yapılmıştır. Ancak kısa olan bina yüksekliği ile elde edilen oranlar arasında daha güçlü bir bağlantı olduğu görülmüştür. Elde edilen oranlar $k (d_{ort}/H_{min})$ katsayısı olarak adlandırılmıştır ve Tablo 4.4-4.6'da verilmiştir.

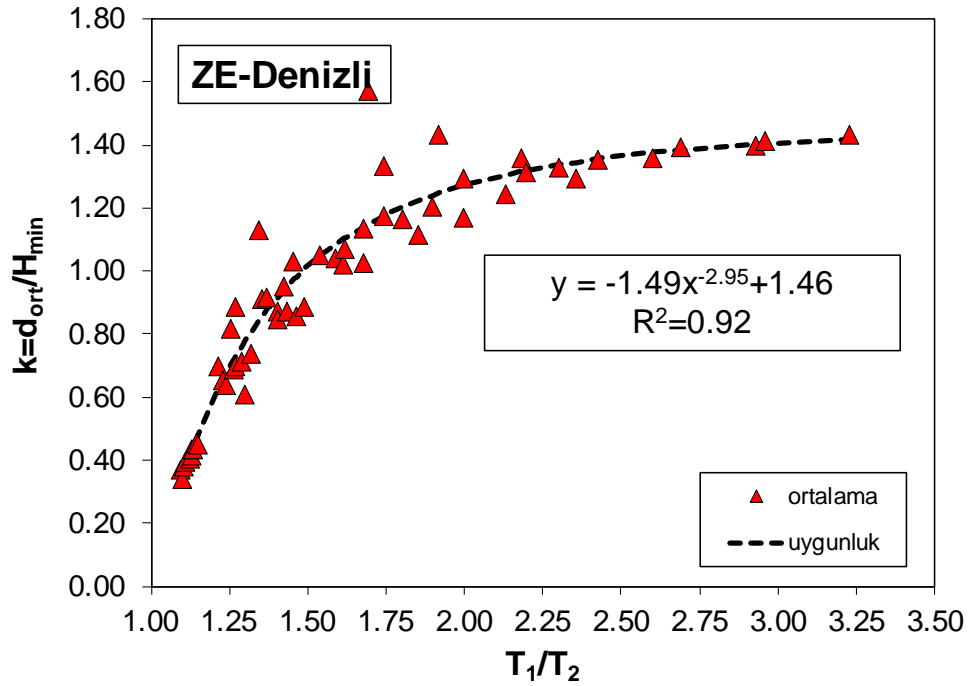
k katsayısı değerleri Denizli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.27 ile 0.98 arasında, ZD tipi için 0.32 ile 1.06 arasında ve ZE zemin tipi için 0.34 ile 1.57 arasında; Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.41 ile 1.71 arasında, ZD tipi için 0.47 ile 3.61 arasında ve ZE zemin tipi için 0.49 ile 3.07 arasında; Adana lokasyonu ZC zemin tipi için 0.18 ile 0.47 arasında, ZD tipi için 0.24 ile 0.68 arasında ve ZE zemin tipi için ise 0.31 ile 1.45 arasında değişmektedir (Şekil 4.12-4.20).



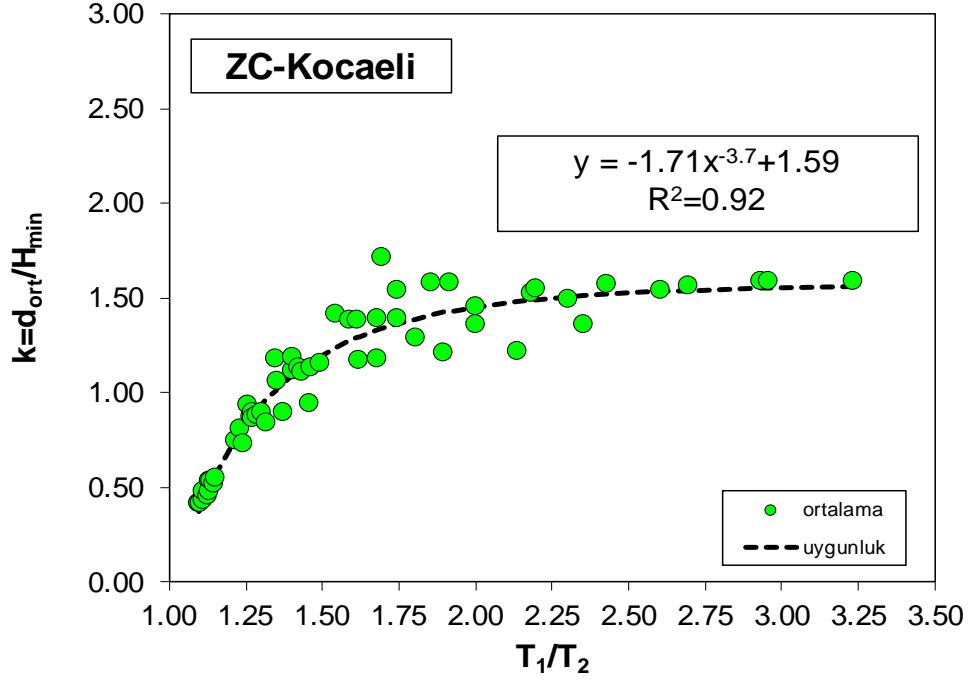
Şekil 4.12: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



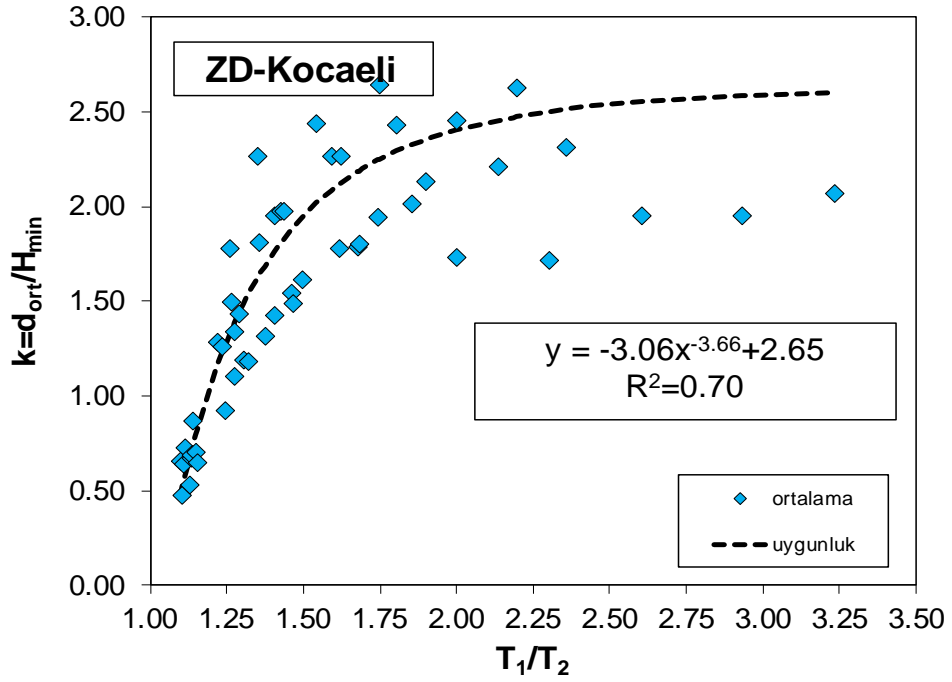
Şekil 4.13: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



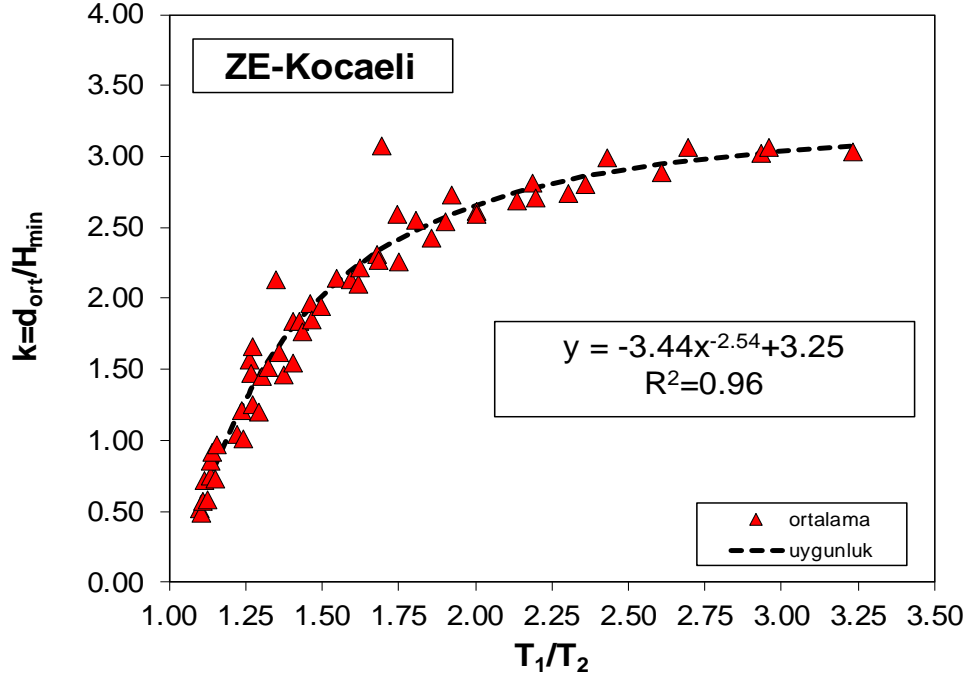
Şekil 4.14: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022c)



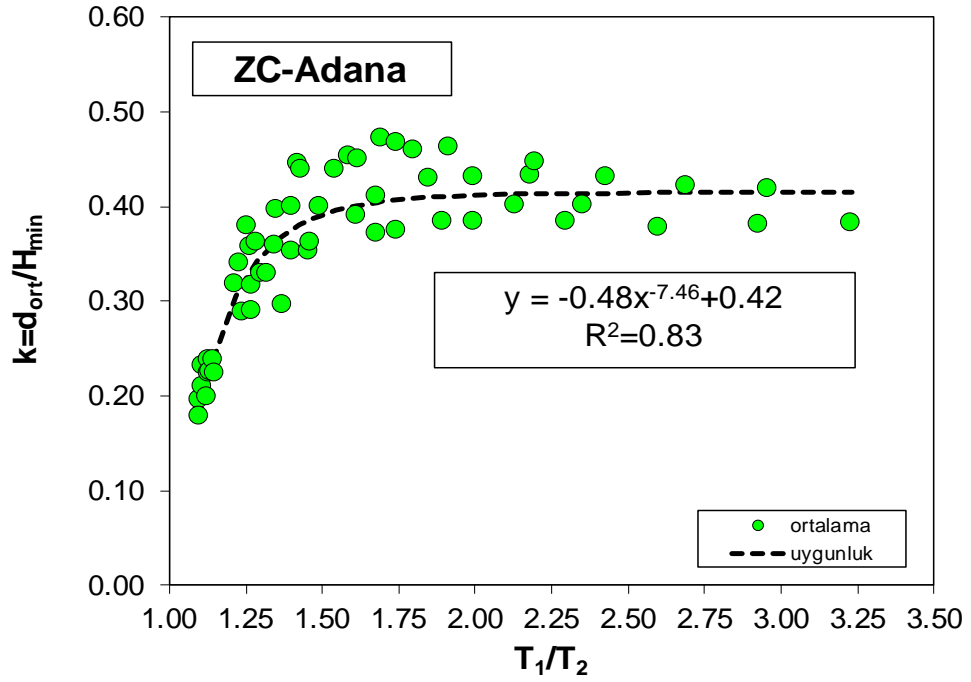
Şekil 4.15: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki



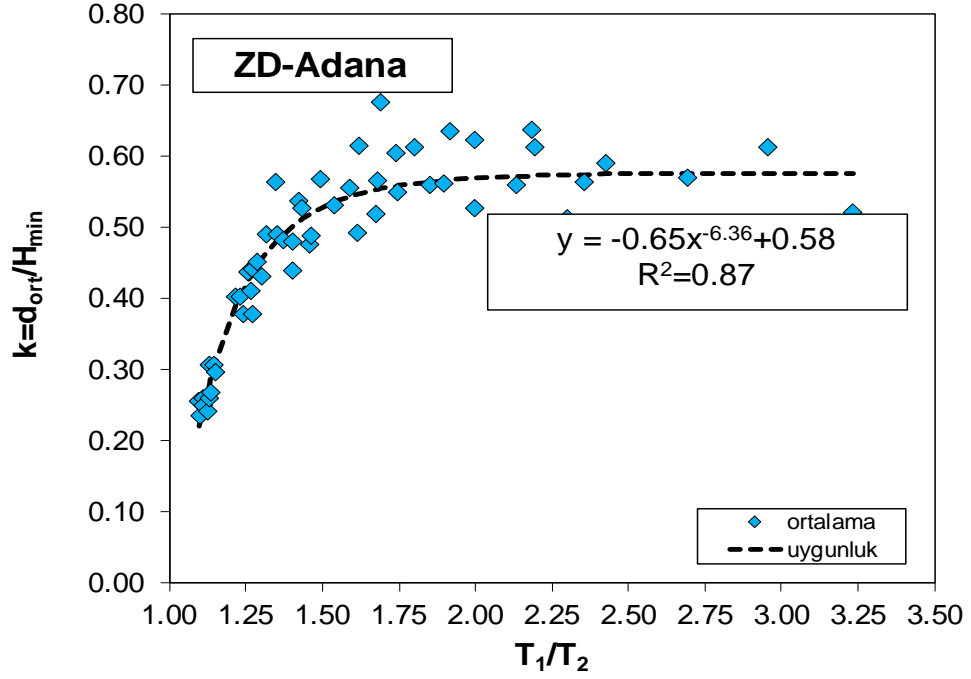
Şekil 4.16: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki



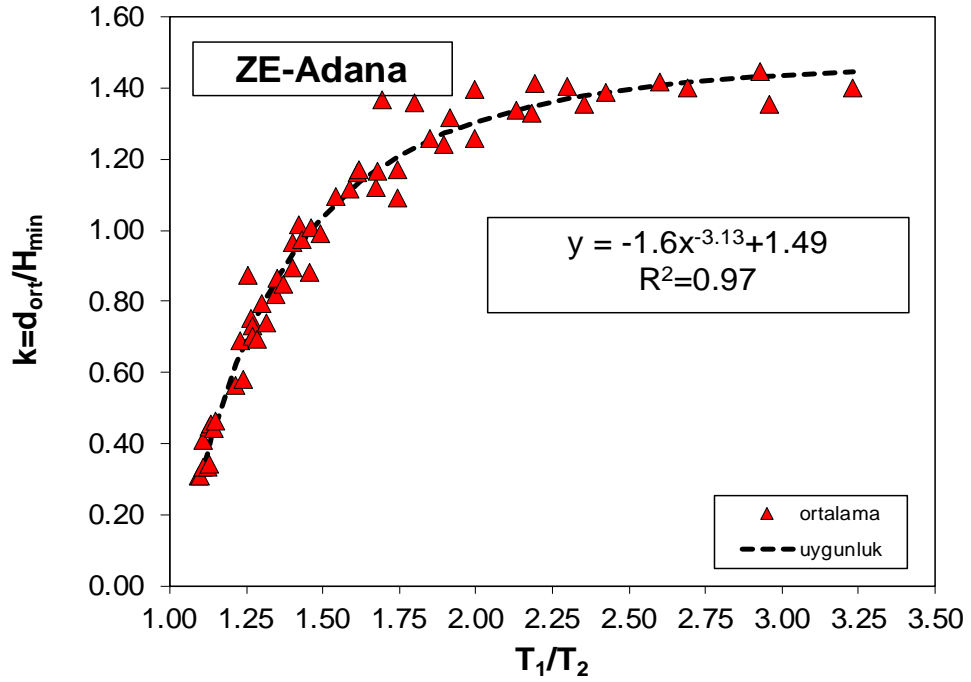
Şekil 4.17: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1 / T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.18: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1 / T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.19: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.20: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki

k katsayısı ile bina çiftlerinin T_1/T_2 oranları arasındaki ilişki Şekil 4.11-4.19'da gösterilmiştir. Katsayı değerleri için daha iyi bir eğri aramak için birçok fonksiyon oluşturuldu. Oluşturulan fonksiyonlar arasında k katsayıları için en iyi eğriler üstel ve döndürme fonksiyonları tarafından sağlanmaktadır. Bu hesaplanan

eğrilerin R^2 değerleri önemli ölçüde yüksektir. Bu değerler sırasıyla Denizli lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için sırasıyla 0.95, 0.94 ve 0.92'dir. Kocaeli lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için sırasıyla 0.92, 0.70 ve 0.96'dır. Adana lokasyonu ve ZC, ZD ve ZE zemin tipleri için ise sırasıyla 0.83, 0.87 ve 0.97'dir. Gereken derz mesafeleri ile daha kısa bina yüksekliği arasındaki ilişkinin yüksek olduğu açıktır. Bu nedenle, bu çalışma yeni bir denklem önermektedir (Denklem 4.27).

Önerilen denklem, sadece daha kısa binanın yüksekliği (H_{min}) ve bitişik binaların T_1/T_2 oranları gerektirir. H_{min} birim olarak metre cinsinden verilirse, hesaplanan aralık mesafesi (d) cm cinsinden olacaktır.

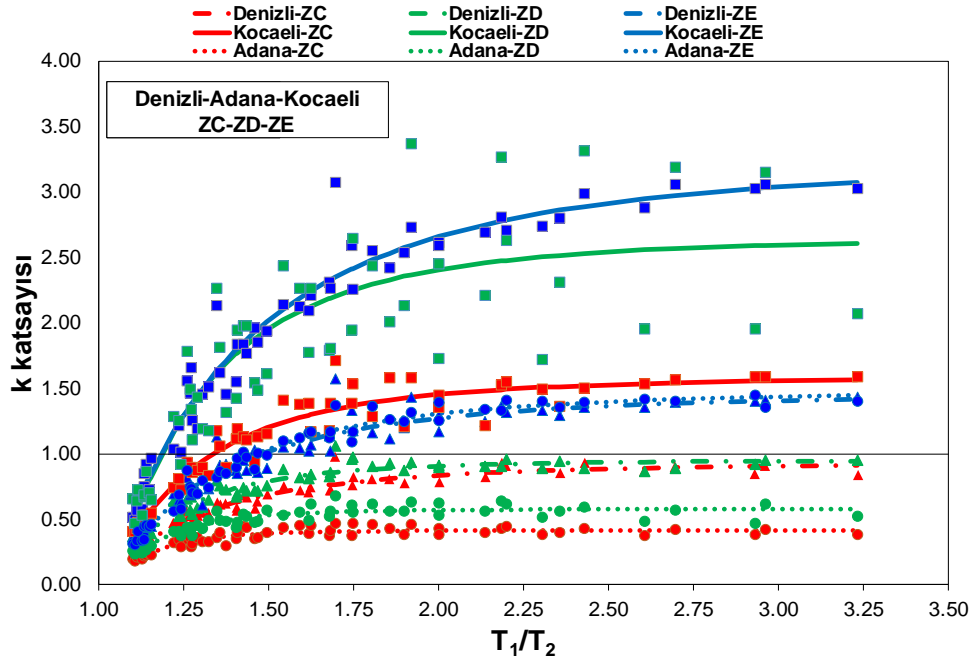
$$d = kH_{min} \quad (4.27)$$

$$\text{Denizli lokasyonu için } k = \begin{cases} -0.92(T_1/T_2)^{-3.34} + 0.93 & ; ZC \\ -(T_1/T_2)^{-4.59} + 0.95 & ; ZD \\ -1.49(T_1/T_2)^{-2.95} + 1.46 & ; ZE \end{cases} \quad (4.28)$$

$$\text{Kocaeli lokasyonu için } k = \begin{cases} -1.71(T_1/T_2)^{-3.7} + 1.59 & ; ZC \\ -3.06(T_1/T_2)^{-3.66} + 2.65 & ; ZD \\ -3.44(T_1/T_2)^{-2.54} + 3.25 & ; ZE \end{cases} \quad (4.29)$$

$$\text{Adana lokasyonu için } k = \begin{cases} -0.48(T_1/T_2)^{-7.46} + 0.42 & ; ZC \\ -0.65(T_1/T_2)^{-6.36} + 0.58 & ; ZD \\ -1.6(T_1/T_2)^{-3.13} + 1.49 & ; ZE \end{cases} \quad (4.30)$$

Tüm zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için elde edilen k katsayılarına ait eğriler Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21: Farklı zemin tipleri ve lokasyonlar için T1/T2 oranı ve k katsayısı arasındaki ilişki

Tablo 4.5: Denizli lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.

Model	T ₁ /T ₂	DENİZLİ								
		ZC			ZD			ZE		
		dort (cm)	d _{TBDY} /d _{ort} (n)	d/H _{min} (k)	dort (cm)	d _{TBDY} /dort (n)	d/H _{min} (k)	dort (cm)	d _{TBDY} /dort (n)	d/H _{min} (k)
4s-3s	1.35	5.67	0.71	0.63	7.18	0.56	0.80	10.19	0.39	0.80
5s-3s	1.69	8.80	0.45	0.98	9.52	0.42	1.06	14.12	0.28	1.06
5s-4s	1.26	6.73	0.74	0.56	7.85	0.64	0.65	9.80	0.51	0.65
6s-3s	1.92	8.38	0.48	0.93	8.42	0.48	0.94	12.87	0.31	0.94
6s-4s	1.42	8.16	0.61	0.68	8.86	0.56	0.74	11.44	0.44	0.74
6s-5s	1.13	4.62	1.30	0.31	5.23	1.15	0.35	6.55	0.92	0.35
7s-3s	2.18	8.36	0.48	0.93	8.12	0.49	0.90	12.24	0.33	0.90
7s-4s	1.62	8.89	0.56	0.74	10.13	0.49	0.84	12.83	0.39	0.84
7s-5s	1.29	7.85	0.76	0.52	8.81	0.68	0.59	10.70	0.56	0.59
7s-6s	1.14	5.86	1.19	0.33	6.88	1.02	0.38	7.86	0.89	0.38
8s-3s	2.43	8.34	0.48	0.93	7.96	0.50	0.88	12.20	0.33	0.88
8s-4s	1.80	9.68	0.52	0.81	10.87	0.46	0.91	13.95	0.36	0.91
8s-5s	1.43	9.97	0.60	0.66	10.79	0.56	0.72	13.10	0.46	0.72
8s-6s	1.27	9.46	0.74	0.53	10.28	0.68	0.57	12.35	0.57	0.57
8s-7s	1.11	6.29	1.27	0.30	6.98	1.15	0.33	8.25	0.97	0.33
9s-3s	2.69	8.12	0.49	0.90	7.96	0.50	0.88	12.52	0.32	0.88
9s-4s	2.00	10.30	0.49	0.86	10.96	0.46	0.91	14.04	0.36	0.91
9s-5s	1.59	10.85	0.55	0.72	12.25	0.49	0.82	15.60	0.38	0.82
9s-6s	1.40	10.14	0.69	0.56	12.49	0.56	0.69	15.25	0.46	0.69
9s-7s	1.23	10.32	0.78	0.49	11.05	0.72	0.53	13.67	0.59	0.53
9s-8s	1.11	6.80	1.32	0.28	8.22	1.10	0.34	9.08	0.99	0.34
10s-3s	2.96	8.16	0.49	0.91	8.52	0.47	0.95	12.70	0.31	0.95
10s-4s	2.20	10.93	0.46	0.91	11.50	0.43	0.96	15.78	0.32	0.96
10s-5s	1.75	12.31	0.49	0.82	14.57	0.41	0.97	17.61	0.34	0.97
10s-6s	1.54	13.55	0.52	0.75	15.80	0.44	0.88	18.94	0.37	0.88
10s-7s	1.36	12.87	0.62	0.61	15.83	0.51	0.75	19.16	0.42	0.75
10s-8s	1.22	11.27	0.80	0.47	15.29	0.59	0.64	16.70	0.54	0.64
10s-9s	1.10	7.18	1.39	0.27	9.92	1.01	0.37	9.98	1.00	0.37
4r-3r	1.37	5.56	0.72	0.62	6.51	0.61	0.72	8.25	0.48	0.92
5r-3r	1.74	6.85	0.58	0.76	8.62	0.46	0.96	12.00	0.33	1.33
5r-4r	1.27	5.77	0.87	0.48	8.03	0.62	0.67	10.63	0.47	0.89
6r-3r	2.00	7.05	0.57	0.78	8.04	0.50	0.89	11.66	0.34	1.30
6r-4r	1.46	6.93	0.72	0.58	8.61	0.58	0.72	12.35	0.40	1.03
6r-5r	1.15	5.00	1.20	0.33	6.29	0.95	0.42	6.81	0.88	0.45
7r-3r	2.30	7.96	0.50	0.88	8.02	0.50	0.89	11.96	0.33	1.33
7r-4r	1.68	8.69	0.58	0.72	9.94	0.50	0.83	13.64	0.37	1.14
7r-5r	1.32	8.21	0.73	0.55	9.66	0.62	0.64	11.04	0.54	0.74
7r-6r	1.15	6.33	1.11	0.35	7.08	0.99	0.39	8.08	0.87	0.45
8r-3r	2.60	7.81	0.51	0.87	7.80	0.51	0.87	12.22	0.33	1.36
8r-4r	1.90	9.32	0.54	0.78	10.50	0.48	0.87	14.43	0.35	1.20
8r-5r	1.49	10.32	0.58	0.69	11.35	0.53	0.76	13.27	0.45	0.88
8r-6r	1.30	9.94	0.70	0.55	10.72	0.65	0.60	10.92	0.64	0.61
8r-7r	1.13	6.74	1.19	0.32	7.37	1.09	0.35	8.69	0.92	0.41
9r-3r	2.93	7.61	0.53	0.85	8.24	0.49	0.92	12.60	0.32	1.40
9r-4r	2.14	9.90	0.51	0.82	10.86	0.46	0.91	14.93	0.33	1.24
9r-5r	1.68	10.84	0.55	0.72	12.89	0.47	0.86	15.35	0.39	1.02
9r-6r	1.47	11.51	0.61	0.64	12.84	0.55	0.71	15.41	0.45	0.86
9r-7r	1.27	9.85	0.81	0.47	11.32	0.71	0.54	14.70	0.54	0.70
9r-8r	1.13	6.62	1.36	0.28	7.71	1.17	0.32	9.66	0.93	0.40
10r-3r	3.23	7.54	0.53	0.84	8.57	0.47	0.95	12.90	0.31	1.43
10r-4r	2.36	10.19	0.49	0.85	11.28	0.44	0.94	15.55	0.32	1.30
10r-5r	1.85	12.07	0.50	0.80	13.87	0.43	0.92	16.74	0.36	1.12
10r-6r	1.62	12.67	0.55	0.70	14.63	0.48	0.81	18.37	0.38	1.02
10r-7r	1.40	12.36	0.65	0.59	14.02	0.57	0.67	18.26	0.44	0.87
10r-8r	1.24	10.60	0.85	0.44	12.53	0.72	0.52	15.31	0.59	0.64
10r-9r	1.10	7.46	1.34	0.28	9.17	1.09	0.34	9.15	1.09	0.34
Ort.		8.8	0.72	0.64	10.0	0.63	0.72	12.8	0.50	0.95
Maks.		13.6	1.39	0.98	15.8	1.17	1.06	19.2	1.09	1.57
Min.		4.6	0.45	0.27	5.2	0.41	0.32	6.5	0.28	0.34
CoV		0.24	0.39	0.32	0.26	0.35	0.29	0.24	0.44	0.36

Tablo 4.6: Kocaeli lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.

KOCAELİ										
Model	T_1/T_2	ZC			ZD			ZE		
		dort (cm)	d_{TBDY}/d_{ort} (n)	d/H_{min} (k)	dort (cm)	d_{TBDY}/d_{ort} (n)	d/H_{min} (k)	dort (cm)	d_{TBDY}/d_{ort} (n)	d/H_{min} (k)
4s-3s	1.35	10.57	0.38	1.17	20.38	0.20	2.26	19.17	0.21	2.13
5s-3s	1.69	15.42	0.26	1.71	32.48	0.12	3.61	27.62	0.14	3.07
5s-4s	1.26	11.23	0.45	0.94	21.34	0.23	1.78	18.71	0.27	1.56
6s-3s	1.92	14.19	0.28	1.58	30.34	0.13	3.37	24.59	0.16	2.73
6s-4s	1.42	13.54	0.37	1.13	23.68	0.21	1.97	22.07	0.23	1.84
6s-5s	1.13	7.14	0.84	0.48	10.25	0.59	0.68	12.72	0.47	0.85
7s-3s	2.18	13.74	0.29	1.53	29.43	0.14	3.27	25.26	0.16	2.81
7s-4s	1.62	14.04	0.36	1.17	27.18	0.18	2.26	26.52	0.19	2.21
7s-5s	1.29	13.10	0.46	0.87	21.50	0.28	1.43	17.89	0.34	1.19
7s-6s	1.14	9.56	0.73	0.53	15.60	0.45	0.87	16.50	0.42	0.92
8s-3s	2.43	64.82	0.30	1.50	29.80	0.13	3.31	26.91	0.15	2.99
8s-4s	1.80	15.43	0.32	1.29	29.18	0.17	2.43	30.61	0.16	2.55
8s-5s	1.43	16.55	0.36	1.10	29.62	0.20	1.97	26.46	0.23	1.76
8s-6s	1.27	15.69	0.45	0.87	26.93	0.26	1.50	26.37	0.27	1.47
8s-7s	1.11	9.93	0.81	0.47	15.26	0.52	0.73	15.05	0.53	0.72
9s-3s	2.69	14.05	0.28	1.56	28.71	0.14	3.19	27.53	0.15	3.06
9s-4s	2.00	17.39	0.29	1.45	29.41	0.17	2.45	31.40	0.16	2.62
9s-5s	1.59	20.70	0.29	1.38	33.97	0.18	2.26	31.89	0.19	2.13
9s-6s	1.40	21.38	0.33	1.19	35.06	0.20	1.95	33.00	0.21	1.83
9s-7s	1.23	16.99	0.47	0.81	26.38	0.30	1.26	25.47	0.31	1.21
9s-8s	1.11	10.31	0.87	0.43	15.34	0.59	0.64	13.69	0.66	0.57
10s-3s	2.96	14.28	0.28	1.59	28.37	0.14	3.15	27.54	0.15	3.06
10s-4s	2.20	18.60	0.27	1.55	31.54	0.16	2.63	32.49	0.15	2.71
10s-5s	1.75	23.05	0.26	1.54	39.67	0.15	2.64	33.80	0.18	2.25
10s-6s	1.54	25.40	0.28	1.41	43.83	0.16	2.43	38.46	0.18	2.14
10s-7s	1.36	22.18	0.36	1.06	38.03	0.21	1.81	34.03	0.24	1.62
10s-8s	1.22	17.78	0.51	0.74	30.87	0.29	1.29	24.87	0.36	1.04
10s-9s	1.10	11.05	0.90	0.41	17.76	0.56	0.66	13.92	0.72	0.52
4r-3r	1.37	8.07	0.50	0.90	11.86	0.34	1.32	13.11	0.31	1.46
5r-3r	1.74	12.47	0.32	1.39	17.48	0.23	1.94	23.33	0.17	2.59
5r-4r	1.27	10.75	0.47	0.90	16.06	0.31	1.34	19.92	0.25	1.66
6r-3r	2.00	12.19	0.33	1.35	15.56	0.26	1.73	23.33	0.17	2.59
6r-4r	1.46	11.28	0.44	0.94	18.46	0.27	1.54	23.56	0.21	1.96
6r-5r	1.15	7.68	0.78	0.51	10.50	0.57	0.70	10.88	0.55	0.73
7r-3r	2.30	13.45	0.30	1.49	15.45	0.26	1.72	24.63	0.16	2.74
7r-4r	1.68	14.10	0.35	1.17	21.44	0.23	1.79	27.69	0.18	2.31
7r-5r	1.32	12.52	0.48	0.83	17.66	0.34	1.18	22.63	0.27	1.51
7r-6r	1.15	9.89	0.71	0.55	11.69	0.60	0.65	17.35	0.40	0.96
8r-3r	2.60	13.82	0.29	1.54	17.55	0.23	1.95	25.92	0.15	2.88
8r-4r	1.90	14.48	0.35	1.21	25.58	0.20	2.13	30.45	0.16	2.54
8r-5r	1.49	17.27	0.35	1.15	24.21	0.25	1.61	29.10	0.21	1.94
8r-6r	1.30	16.09	0.43	0.89	21.43	0.33	1.19	26.17	0.27	1.45
8r-7r	1.13	11.09	0.72	0.53	14.13	0.57	0.67	15.75	0.51	0.75
9r-3r	2.93	14.27	0.28	1.59	17.58	0.23	1.95	27.20	0.15	3.02
9r-4r	2.14	14.56	0.34	1.21	26.52	0.19	2.21	32.28	0.15	2.69
9r-5r	1.68	20.78	0.29	1.39	27.08	0.22	1.81	33.94	0.18	2.26
9r-6r	1.47	20.29	0.35	1.13	26.81	0.26	1.49	33.29	0.21	1.85
9r-7r	1.27	18.04	0.44	0.86	23.18	0.35	1.10	26.36	0.30	1.26
9r-8r	1.13	10.80	0.83	0.45	12.77	0.71	0.53	13.90	0.65	0.58
10r-3r	3.23	14.27	0.28	1.59	18.64	0.21	2.07	27.26	0.15	3.03
10r-4r	2.36	16.33	0.31	1.36	27.76	0.18	2.31	33.58	0.15	2.80
10r-5r	1.85	23.66	0.25	1.58	30.15	0.20	2.01	36.34	0.17	2.42
10r-6r	1.62	24.89	0.28	1.38	31.94	0.22	1.77	37.74	0.19	2.10
10r-7r	1.40	23.40	0.34	1.11	29.93	0.27	1.43	32.47	0.25	1.55
10r-8r	1.24	17.45	0.52	0.73	22.05	0.41	0.92	24.25	0.37	1.01
10r-9r	1.10	11.05	0.90	0.41	12.75	0.78	0.47	13.18	0.76	0.49
Ort.		15.9	0.43	1.10	23.7	0.29	1.77	25.2	0.27	1.90
Maks.		64.8	0.90	1.71	43.8	0.78	3.61	38.5	0.76	3.07
Min.		7.1	0.25	0.41	10.2	0.12	0.47	10.9	0.14	0.49
CoV		0.50	0.44	0.35	0.33	0.54	0.44	0.28	0.58	0.41

Tablo 4.7: Adana lokasyonu farklı zemin tipleri için TBDY-2018 gerekliliklerinin ve önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.

ADANA										
Model	T_1/T_2	ZC			ZD			ZE		
		dort (cm)	d_{TBDY}/d_{ort} (n)	d/H_{min} (k)	dort (cm)	$d_{TBDY}/dort$ (n)	d/H_{min} (k)	dort (cm)	$d_{TBDY}/dort$ (n)	d/H_{min} (k)
4s-3s	1.35	3.23	1.24	0.36	5.08	0.79	0.56	7.38	0.54	0.82
5s-3s	1.69	4.24	0.94	0.47	6.08	0.66	0.68	12.30	0.33	1.37
5s-4s	1.26	4.56	1.10	0.38	5.25	0.95	0.44	10.48	0.48	0.87
6s-3s	1.92	4.16	0.96	0.46	5.71	0.70	0.63	11.86	0.34	1.32
6s-4s	1.42	5.35	0.93	0.45	6.45	0.77	0.54	12.19	0.41	1.02
6s-5s	1.13	3.58	1.68	0.24	4.60	1.31	0.31	5.13	1.17	0.34
7s-3s	2.18	3.89	1.03	0.43	5.73	0.70	0.64	11.97	0.33	1.33
7s-4s	1.62	5.39	0.93	0.45	7.37	0.68	0.61	14.02	0.36	1.17
7s-5s	1.29	5.43	1.10	0.36	6.76	0.89	0.45	10.41	0.58	0.69
7s-6s	1.14	4.04	1.73	0.22	4.81	1.46	0.27	8.20	0.85	0.46
8s-3s	2.43	3.88	1.03	0.43	5.31	0.75	0.59	12.51	0.32	1.39
8s-4s	1.80	5.52	0.91	0.46	7.35	0.68	0.61	16.32	0.31	1.36
8s-5s	1.43	6.59	0.91	0.44	7.90	0.76	0.53	14.62	0.41	0.97
8s-6s	1.27	6.44	1.09	0.36	7.41	0.95	0.41	13.51	0.52	0.75
8s-7s	1.11	4.86	1.64	0.23	5.24	1.53	0.25	8.59	0.93	0.41
9s-3s	2.69	3.79	1.06	0.42	5.13	0.78	0.57	12.62	0.32	1.40
9s-4s	2.00	5.17	0.97	0.43	7.48	0.67	0.62	16.75	0.30	1.40
9s-5s	1.59	6.80	0.88	0.45	8.33	0.72	0.56	16.76	0.36	1.12
9s-6s	1.40	7.20	0.97	0.40	8.63	0.81	0.48	17.39	0.40	0.97
9s-7s	1.23	7.15	1.12	0.34	8.45	0.95	0.40	14.47	0.55	0.69
9s-8s	1.11	5.04	1.79	0.21	6.22	1.45	0.26	7.99	1.13	0.33
10s-3s	2.96	3.77	1.06	0.42	5.52	0.72	0.61	12.18	0.33	1.35
10s-4s	2.20	5.37	0.93	0.45	7.35	0.68	0.61	16.95	0.30	1.41
10s-5s	1.75	7.01	0.86	0.47	8.25	0.73	0.55	17.57	0.34	1.17
10s-6s	1.54	7.90	0.89	0.44	9.55	0.73	0.53	19.71	0.36	1.10
10s-7s	1.36	8.32	0.96	0.40	10.28	0.78	0.49	18.18	0.44	0.87
10s-8s	1.22	7.63	1.18	0.32	9.66	0.93	0.40	13.48	0.67	0.56
10s-9s	1.10	5.29	1.89	0.20	6.90	1.45	0.26	8.36	1.20	0.31
4r-3r	1.37	2.66	1.50	0.30	4.33	0.92	0.48	7.63	0.52	0.85
5r-3r	1.74	3.37	1.19	0.37	5.44	0.73	0.60	9.84	0.41	1.09
5r-4r	1.27	3.48	1.44	0.29	5.29	0.95	0.44	8.76	0.57	0.73
6r-3r	2.00	3.46	1.16	0.38	4.74	0.84	0.53	11.31	0.35	1.26
6r-4r	1.46	4.24	1.18	0.35	5.71	0.88	0.48	10.56	0.47	0.88
6r-5r	1.15	3.57	1.68	0.24	4.59	1.31	0.31	6.64	0.90	0.44
7r-3r	2.30	3.45	1.16	0.38	4.61	0.87	0.51	12.64	0.32	1.40
7r-4r	1.68	4.46	1.12	0.37	6.23	0.80	0.52	13.45	0.37	1.12
7r-5r	1.32	4.94	1.22	0.33	7.35	0.82	0.49	11.09	0.54	0.74
7r-6r	1.15	4.02	1.74	0.22	5.31	1.32	0.30	8.36	0.84	0.46
8r-3r	2.60	3.39	1.18	0.38	4.37	0.92	0.49	12.75	0.31	1.42
8r-4r	1.90	4.60	1.09	0.38	6.74	0.74	0.56	14.91	0.34	1.24
8r-5r	1.49	5.99	1.00	0.40	8.52	0.70	0.57	14.87	0.40	0.99
8r-6r	1.30	5.92	1.18	0.33	7.75	0.90	0.43	14.32	0.49	0.80
8r-7r	1.13	4.69	1.71	0.22	5.44	1.47	0.26	9.33	0.86	0.44
9r-3r	2.93	3.43	1.17	0.38	4.24	0.94	0.47	13.01	0.31	1.45
9r-4r	2.14	4.82	1.04	0.40	6.72	0.74	0.56	16.05	0.31	1.34
9r-5r	1.68	6.16	0.97	0.41	8.48	0.71	0.57	17.49	0.34	1.17
9r-6r	1.47	6.53	1.07	0.36	8.77	0.80	0.49	18.13	0.39	1.01
9r-7r	1.27	6.65	1.20	0.32	7.94	1.01	0.38	14.76	0.54	0.70
9r-8r	1.13	4.77	1.89	0.20	5.80	1.55	0.24	8.03	1.12	0.33
10r-3r	3.23	3.45	1.16	0.38	4.69	0.85	0.52	12.60	0.32	1.40
10r-4r	2.36	4.82	1.04	0.40	6.76	0.74	0.56	16.27	0.31	1.36
10r-5r	1.85	6.44	0.93	0.43	8.41	0.71	0.56	18.89	0.32	1.26
10r-6r	1.62	7.03	1.00	0.39	8.86	0.79	0.49	20.89	0.34	1.16
10r-7r	1.40	7.42	1.08	0.35	9.22	0.87	0.44	18.81	0.43	0.90
10r-8r	1.24	6.91	1.30	0.29	9.06	0.99	0.38	13.90	0.65	0.58
10r-9r	1.10	4.80	2.08	0.18	6.37	1.57	0.24	8.32	1.20	0.31
Ort.		5.1	1.20	0.36	6.7	0.92	0.48	13.0	0.51	0.96
Maks.		8.3	2.08	0.47	10.3	1.57	0.68	20.9	1.20	1.45
Min.		2.7	0.86	0.18	4.2	0.66	0.24	5.1	0.30	0.31
CoV		0.28	0.25	0.22	0.24	0.29	0.25	0.29	0.51	0.38

4.5.3 3. Yöntem

Adana ve Kocaeli lokasyonlarına ait ZC, ZD ve ZE için elde edilen k katsayıları, Kamal (2022c) tarafından elde edilen Denizli lokasyonu ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için elde edilen k katsayıları ile normalize edilmiştir ($k_{Adana-ZD}/k_{Denizli-ZD}$, $k_{Kocaeli-ZD}/k_{Denizli-ZD}$, $k_{Adana-ZC}/k_{Denizli-ZC}$, $k_{Kocaeli-ZC}/k_{Denizli-ZC}$, $k_{Adana-ZE}/k_{Denizli-ZE}$, $k_{Kocaeli-ZE}/k_{Denizli-ZE}$). Elde edilen bu oranlar Şekil 4.22-4.27’ de verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde, farklı lokasyonlar için belirlenen k katsayılarının birbirleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişki, üstel fonksiyonlar ile temsil edilmiş ve C katsayısı olarak Denklem 4.33 ve 4.34 ile tanımlanmıştır. C katsayısı için elde edilen eğrilerin R^2 değerleri ZC zemin tipi; Adana ve Kocaeli sismik lokasyonları için 0,98 ve 0,99, ZD zemin tipi; Adana ve Kocaeli için 0,99 ve 0,99, ZE zemin tipi; Adana ve Kocaeli sismik lokasyonları için 0,99 ve 0,99’dur.

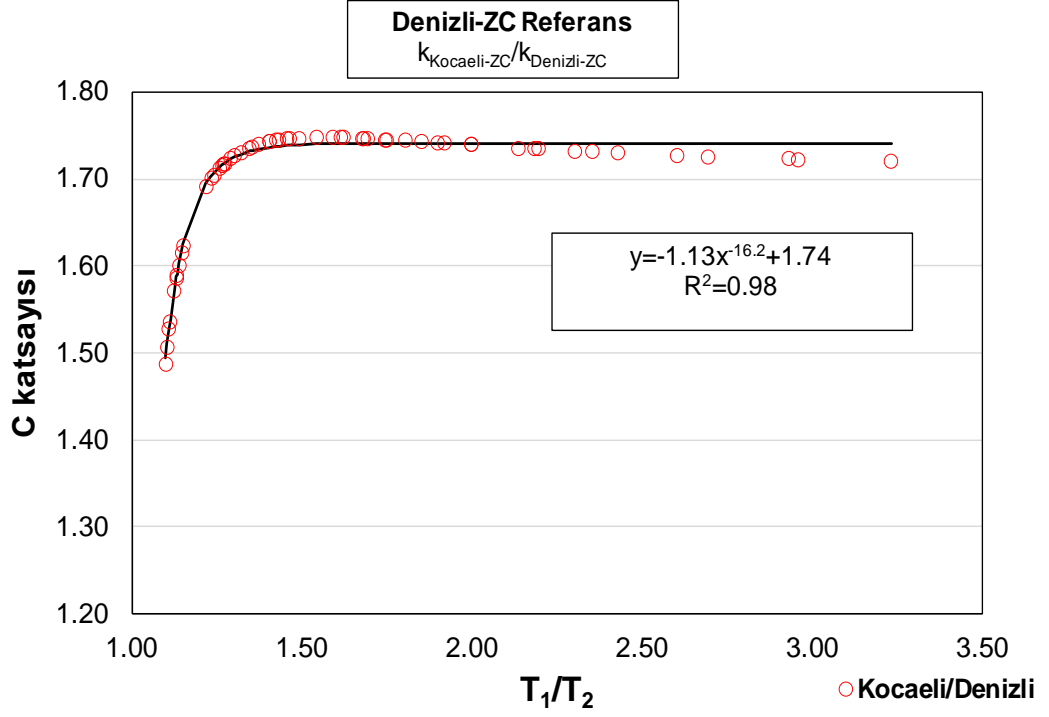
Sonuç olarak, daha önce Kamal (2022c) tarafından Denklem 4.27 ve Denklem 4.28 ile önerilen yaklaşım, Denklem 4.31’ de yer alan ifade ile genişletilmiştir. Denizli lokasyonunun tüm zemin sınıfları için ise C katsayısı “1” değerine eşitlenmiş ve Denklem 4.32 ile tanımlanmıştır.

$$d = CkH_{min} \quad (4.31)$$

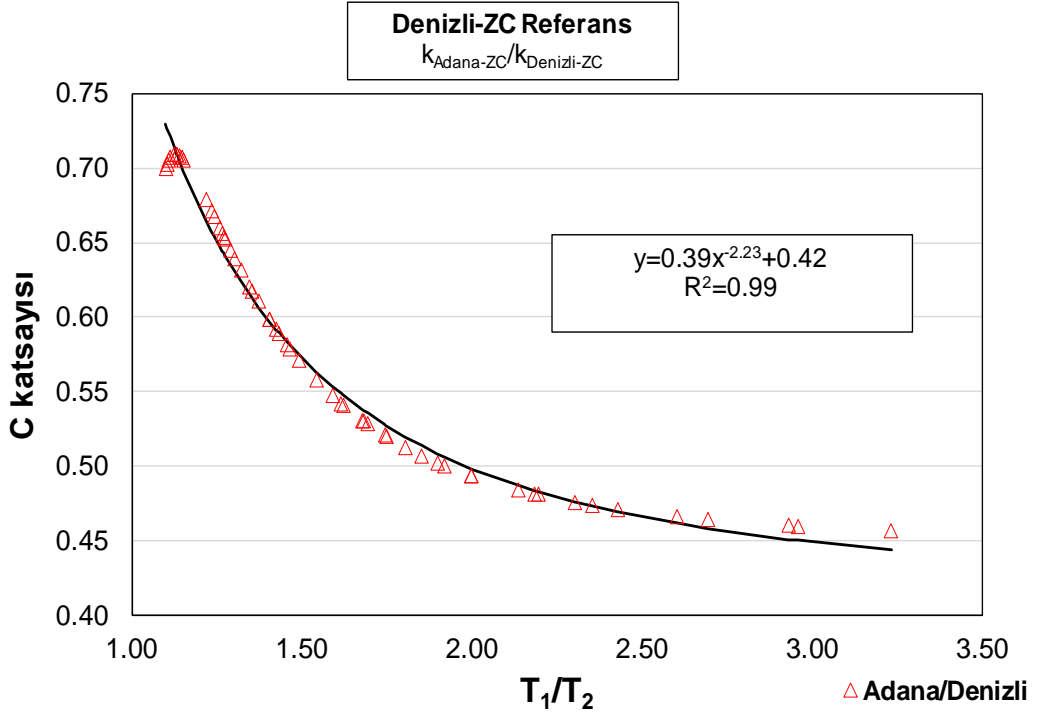
$$\text{Denizli lokasyonu için } C = \begin{cases} 1 & ; & ZC \\ 1 & ; & ZD \\ 1 & ; & ZE \end{cases} \quad (4.32)$$

$$\text{Kocaeli lokasyonu için } C = \begin{cases} -1.13(T_1/T_2)^{-16.2} + 1.74 & ; & ZC \\ -1.58(T_1/T_2)^{-4.76} + 2.2 & ; & ZD \\ -0.74(T_1/T_2)^{-4.07} + 2.14 & ; & ZE \end{cases} \quad (4.33)$$

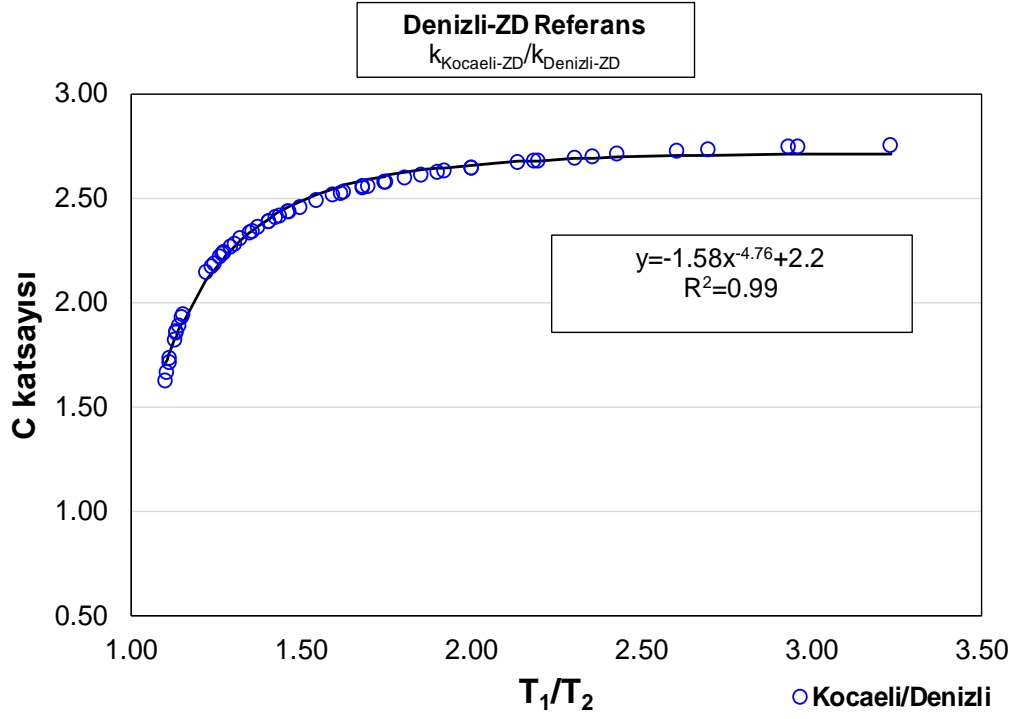
$$\text{Adana lokasyonu için } C = \begin{cases} 0.39(T_1/T_2)^{-2.23} + 0.42 & ; & ZC \\ 0.21(T_1/T_2)^{-2.56} + 0.59 & ; & ZD \\ -0.47(T_1/T_2)^{-11.9} + 1.03 & ; & ZE \end{cases} \quad (4.34)$$



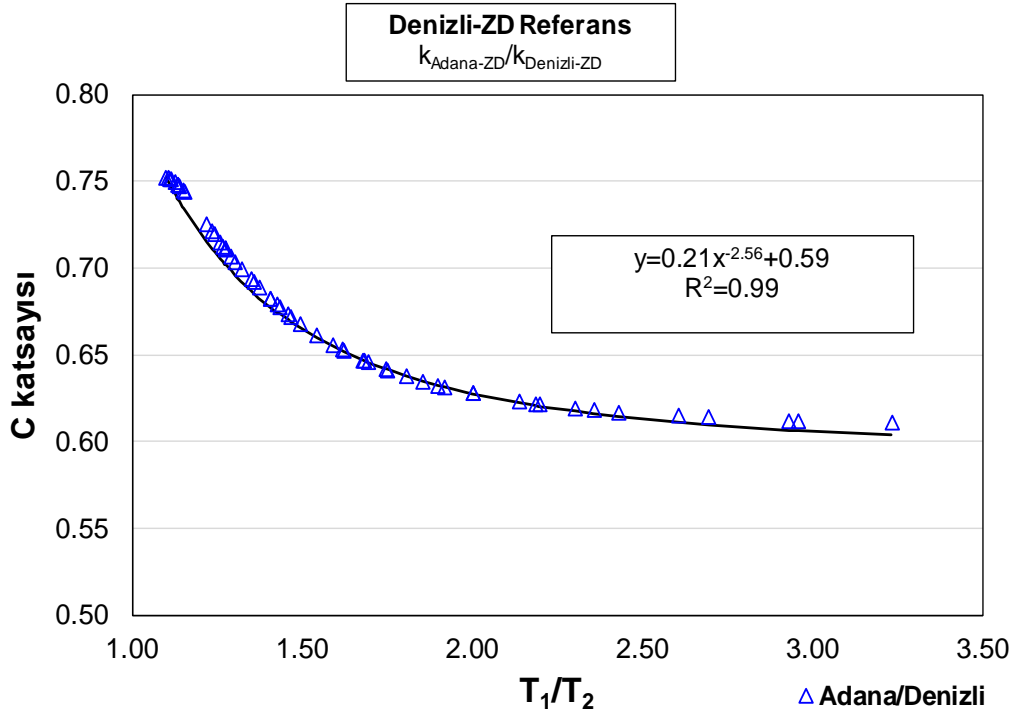
Şekil 4.22: Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



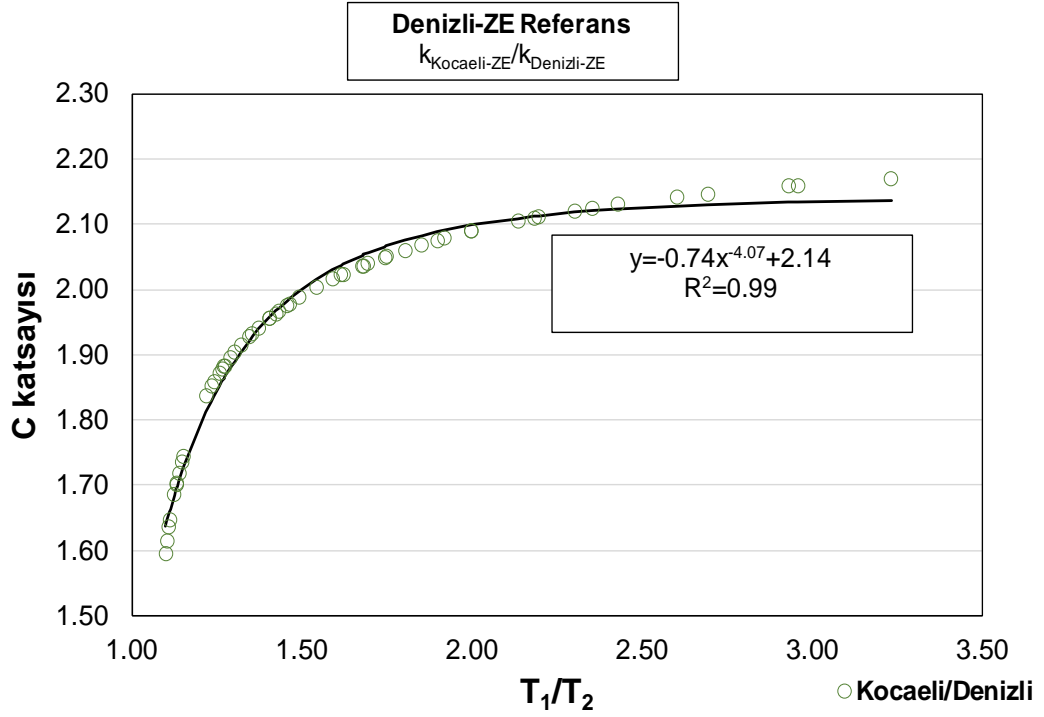
Şekil 4.23: Adana lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



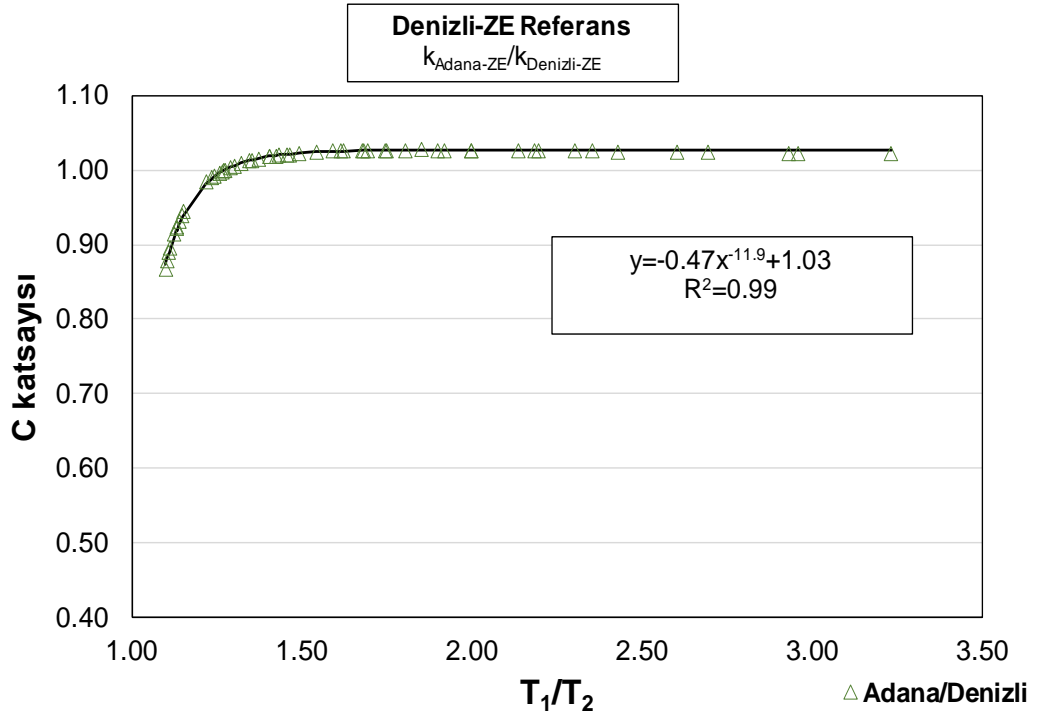
Şekil 4.24: Kocaeli lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



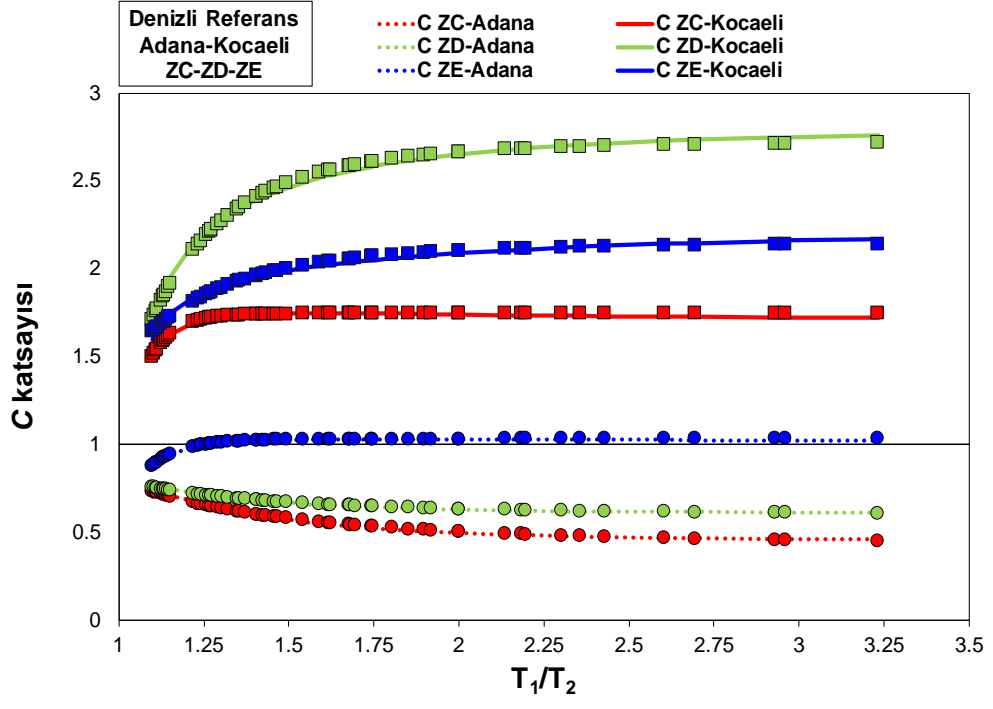
Şekil 4.25: Adana lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.26: Kocaeli lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.27: Adana lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.28: Denizli lokasyonu referans alınarak elde edilen toplu C katsayıları

Tablo 4.8: Denizli sismik lokasyonu referans alınarak Kocaeli lokasyonu için elde edilen *C* katsayıları ve ortalama derz mesafesi

Model	T1/T2	Kocaeli					
		ZC		ZD		ZE	
		dort (cm)	<i>C</i>	dort (cm)	<i>C</i>	dort (cm)	<i>C</i>
4s-3s	1.35	10.57	1.74	20.38	2.34	19.17	1.93
5s-3s	1.69	15.42	1.75	32.48	2.56	27.62	2.04
5s-4s	1.26	11.23	1.71	21.34	2.22	18.71	1.87
6s-3s	1.92	14.19	1.74	30.34	2.63	24.59	2.08
6s-4s	1.42	13.54	1.74	23.68	2.41	22.07	1.96
6s-5s	1.13	7.14	1.59	10.25	1.86	12.72	1.70
7s-3s	2.18	13.74	1.73	29.43	2.68	25.26	2.11
7s-4s	1.62	14.04	1.75	27.18	2.53	26.52	2.02
7s-5s	1.29	13.10	1.72	21.50	2.27	17.89	1.89
7s-6s	1.14	9.56	1.60	15.60	1.89	16.50	1.72
8s-3s	2.43	64.82	1.73	29.80	2.71	26.91	2.13
8s-4s	1.80	15.43	1.74	29.18	2.60	30.61	2.06
8s-5s	1.43	16.55	1.74	29.62	2.42	26.46	1.97
8s-6s	1.27	15.69	1.72	26.93	2.23	26.37	1.88
8s-7s	1.11	9.93	1.54	15.26	1.74	15.05	1.65
9s-3s	2.69	14.05	1.73	28.71	2.73	27.53	2.15
9s-4s	2.00	17.39	1.74	29.41	2.65	31.40	2.09
9s-5s	1.59	20.70	1.75	33.97	2.52	31.89	2.02
9s-6s	1.40	21.38	1.74	35.06	2.39	33.00	1.96
9s-7s	1.23	16.99	1.70	26.38	2.18	25.47	1.85
9s-8s	1.11	10.31	1.53	15.34	1.72	13.69	1.64
10s-3s	2.96	14.28	1.72	28.37	2.75	27.54	2.16
10s-4s	2.20	18.60	1.73	31.54	2.68	32.49	2.11
10s-5s	1.75	23.05	1.75	39.67	2.58	33.80	2.05
10s-6s	1.54	25.40	1.75	43.83	2.49	38.46	2.00
10s-7s	1.36	22.18	1.74	38.03	2.35	34.03	1.93
10s-8s	1.22	17.78	1.69	30.87	2.15	24.87	1.84
10s-9s	1.10	11.05	1.49	17.76	1.63	13.92	1.60
4r-3r	1.37	8.07	1.74	11.86	2.36	13.11	1.94
5r-3r	1.74	12.47	1.75	17.48	2.58	23.33	2.05
5r-4r	1.27	10.75	1.72	16.06	2.24	19.92	1.88
6r-3r	2.00	12.19	1.74	15.56	2.65	23.33	2.09
6r-4r	1.46	11.28	1.75	18.46	2.44	23.56	1.98
6r-5r	1.15	7.68	1.62	10.50	1.93	10.88	1.74
7r-3r	2.30	13.45	1.73	15.45	2.70	24.63	2.12
7r-4r	1.68	14.10	1.75	21.44	2.56	27.69	2.04
7r-5r	1.32	12.52	1.73	17.66	2.31	22.63	1.91
7r-6r	1.15	9.89	1.62	11.69	1.95	17.35	1.74
8r-3r	2.60	13.82	1.73	17.55	2.73	25.92	2.14
8r-4r	1.90	14.48	1.74	25.58	2.63	30.45	2.08
8r-5r	1.49	17.27	1.75	24.21	2.46	29.10	1.99
8r-6r	1.30	16.09	1.73	21.43	2.29	26.17	1.90
8r-7r	1.13	11.09	1.59	14.13	1.86	15.75	1.70
9r-3r	2.93	14.27	1.72	17.58	2.75	27.20	2.16
9r-4r	2.14	14.56	1.74	26.52	2.68	32.28	2.10
9r-5r	1.68	20.78	1.75	27.08	2.56	33.94	2.04
9r-6r	1.47	20.29	1.75	26.81	2.44	33.29	1.98
9r-7r	1.27	18.04	1.72	23.18	2.24	26.36	1.88
9r-8r	1.13	10.80	1.57	12.77	1.82	13.90	1.68
10r-3r	3.23	14.27	1.72	18.64	2.76	27.26	2.17
10r-4r	2.36	16.33	1.73	27.76	2.70	33.58	2.12
10r-5r	1.85	23.66	1.74	30.15	2.62	36.34	2.07
10r-6r	1.62	24.89	1.75	31.94	2.53	37.74	2.02
10r-7r	1.40	23.40	1.74	29.93	2.39	32.47	1.96
10r-8r	1.24	17.45	1.70	22.05	2.19	24.25	1.86
10r-9r	1.10	11.05	1.51	12.75	1.67	13.18	1.61
Ort.		15.9	1.70	23.7	2.37	25.2	1.95
Maks.		64.8	1.75	43.8	2.76	38.5	2.17
Min.		7.1	1.49	10.2	1.63	10.9	1.60
CoV		0.50	0.04	0.33	0.13	0.28	0.08

Tablo 4.9: Denizli sismik lokasyonu referans alınarak Adana lokasyonu için elde edilen *C* katsayıları ve ortalama derz mesafesi

Model	T1/T2	Adana					
		ZC		ZD		ZE	
		dort (cm)	<i>C</i>	dort (cm)	<i>C</i>	dort (cm)	<i>C</i>
4s-3s	1.35	3.23	0.62	5.08	0.69	7.38	1.01
5s-3s	1.69	4.24	0.53	6.08	0.65	12.30	1.03
5s-4s	1.26	4.56	0.66	5.25	0.71	10.48	1.00
6s-3s	1.92	4.16	0.50	5.71	0.63	11.86	1.03
6s-4s	1.42	5.35	0.59	6.45	0.68	12.19	1.02
6s-5s	1.13	3.58	0.71	4.60	0.75	5.13	0.92
7s-3s	2.18	3.89	0.48	5.73	0.62	11.97	1.03
7s-4s	1.62	5.39	0.54	7.37	0.65	14.02	1.03
7s-5s	1.29	5.43	0.65	6.76	0.71	10.41	1.00
7s-6s	1.14	4.04	0.71	4.81	0.75	8.20	0.93
8s-3s	2.43	3.88	0.47	5.31	0.62	12.51	1.02
8s-4s	1.80	5.52	0.51	7.35	0.64	16.32	1.03
8s-5s	1.43	6.59	0.59	7.90	0.68	14.62	1.02
8s-6s	1.27	6.44	0.66	7.41	0.71	13.51	1.00
8s-7s	1.11	4.86	0.71	5.24	0.75	8.59	0.89
9s-3s	2.69	3.79	0.46	5.13	0.61	12.62	1.02
9s-4s	2.00	5.17	0.49	7.48	0.63	16.75	1.03
9s-5s	1.59	6.80	0.55	8.33	0.66	16.76	1.03
9s-6s	1.40	7.20	0.60	8.63	0.68	17.39	1.02
9s-7s	1.23	7.15	0.67	8.45	0.72	14.47	0.99
9s-8s	1.11	5.04	0.71	6.22	0.75	7.99	0.89
10s-3s	2.96	3.77	0.46	5.52	0.61	12.18	1.02
10s-4s	2.20	5.37	0.48	7.35	0.62	16.95	1.03
10s-5s	1.75	7.01	0.52	8.25	0.64	17.57	1.03
10s-6s	1.54	7.90	0.56	9.55	0.66	19.71	1.02
10s-7s	1.36	8.32	0.62	10.28	0.69	18.18	1.01
10s-8s	1.22	7.63	0.68	9.66	0.73	13.48	0.98
10s-9s	1.10	5.29	0.70	6.90	0.75	8.36	0.87
4r-3r	1.37	2.66	0.61	4.33	0.69	7.63	1.01
5r-3r	1.74	3.37	0.52	5.44	0.64	9.84	1.03
5r-4r	1.27	3.48	0.65	5.29	0.71	8.76	1.00
6r-3r	2.00	3.46	0.49	4.74	0.63	11.31	1.03
6r-4r	1.46	4.24	0.58	5.71	0.67	10.56	1.02
6r-5r	1.15	3.57	0.71	4.59	0.74	6.64	0.94
7r-3r	2.30	3.45	0.48	4.61	0.62	12.64	1.03
7r-4r	1.68	4.46	0.53	6.23	0.65	13.45	1.03
7r-5r	1.32	4.94	0.63	7.35	0.70	11.09	1.01
7r-6r	1.15	4.02	0.71	5.31	0.74	8.36	0.94
8r-3r	2.60	3.39	0.47	4.37	0.61	12.75	1.02
8r-4r	1.90	4.60	0.50	6.74	0.63	14.91	1.03
8r-5r	1.49	5.99	0.57	8.52	0.67	14.87	1.02
8r-6r	1.30	5.92	0.64	7.75	0.70	14.32	1.01
8r-7r	1.13	4.69	0.71	5.44	0.75	9.33	0.92
9r-3r	2.93	3.43	0.46	4.24	0.61	13.01	1.02
9r-4r	2.14	4.82	0.48	6.72	0.62	16.05	1.03
9r-5r	1.68	6.16	0.53	8.48	0.65	17.49	1.03
9r-6r	1.47	6.53	0.58	8.77	0.67	18.13	1.02
9r-7r	1.27	6.65	0.65	7.94	0.71	14.76	1.00
9r-8r	1.13	4.77	0.71	5.80	0.75	8.03	0.91
10r-3r	3.23	3.45	0.46	4.69	0.61	12.60	1.02
10r-4r	2.36	4.82	0.47	6.76	0.62	16.27	1.03
10r-5r	1.85	6.44	0.51	8.41	0.63	18.89	1.03
10r-6r	1.62	7.03	0.54	8.86	0.65	20.89	1.03
10r-7r	1.40	7.42	0.60	9.22	0.68	18.81	1.02
10r-8r	1.24	6.91	0.67	9.06	0.72	13.90	0.99
10r-9r	1.10	4.80	0.70	6.37	0.75	8.32	0.88
Ort.		5.1	0.58	6.7	0.68	13.0	1.00
Maks.		8.3	0.71	10.3	0.75	20.9	1.03
Min.		2.7	0.46	4.2	0.61	5.1	0.87
CoV		0.28	0.15	0.24	0.07	0.29	0.04

4.5.4 4. Yöntem

Kamal ve İnel (2022b), Denizli lokasyonu ve ZD zemin sınıfı üzerinde yer alan komşu binaların derz mesafelerinin belirlenmesi için Denklem 13a' da yer alan yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Daha sonra, Kamal ve İnel (2022b), Denizli lokasyonunun ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için Denklem 4.35 ile tanımlanan bir başka yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada, önerilen bu yaklaşımların farklı sismik lokasyon ve zemin sınıfları için etkinliği araştırılmak istenmiştir. Bu nedenle, Kamal ve İnel' in dikkate aldığı lokasyonun dışında, Kocaeli ve Adana lokasyonları ve bu lokasyonlara ait ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları ele alınmıştır. Denizli ZC ve ZE zemin sınıflarına ait m katsayıları, Denizli ZD zemin sınıfına ait m katsayıları ile normalize edildiğinde C_1 katsayıları (denklem 4.36) elde edilmiştir (Kamal ve İnel 2022b). Adana ve Kocaeli lokasyonlarının zemin sınıflarına ait m katsayıları, Denizli lokasyonunun aynı zemin sınıflarına ait m katsayıları ile normalize edilmiş ve Şekil 4.29-4.34' te verilmiştir. Bu oranların yer aldığı grafikler incelendiğinde, farklı sismik lokasyonların m katsayıları arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişki, C_2 katsayıları olarak tanımlanmıştır (Denklem 4.38-4.40). Sonuç olarak, Kamal ve İnel (2022b) tarafından önerilen Denklem 4.35, C_2 katsayıları kullanılarak Denklem 4.37 olarak geliştirilmiştir.

$$d = C_1 m \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad (4.35)$$

$$C_1 = \begin{cases} 1.15(T_1/T_2)^{0.14} & ; \text{ ZC} \\ 1 & ; \text{ ZD} \\ 0.75(T_1/T_2)^{0.44} & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.36)$$

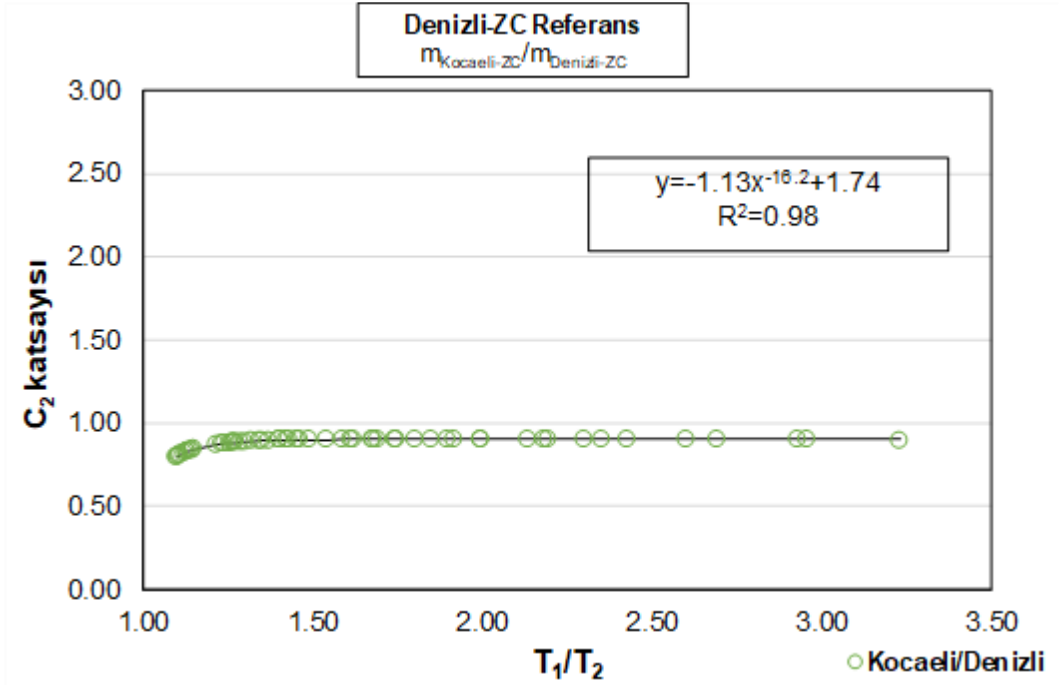
$$d = C_2 C_1 m \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad (4.37)$$

$$\text{Denizli lokasyonu için } C_2 = \begin{cases} 1 & ; \text{ ZC} \\ 1 & ; \text{ ZD} \\ 1 & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.38)$$

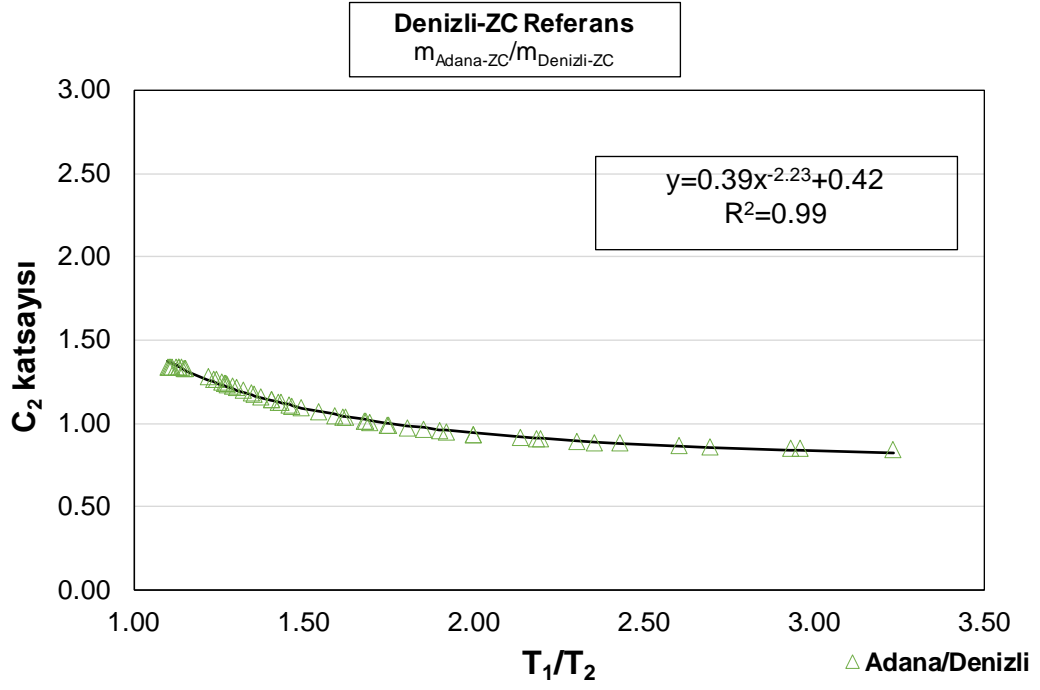
$$\text{Kocaeli lokasyonu için } C_2 = \begin{cases} -1.13(T_1/T_2)^{-16.2} + 1.74 & ; \text{ ZC} \\ -1.58(T_1/T_2)^{-4.76} + 2.20 & ; \text{ ZD} \\ -0.74(T_1/T_2)^{-4.07} + 2.14 & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.39)$$

$$\text{Adana lokasyonu için } C_2 = \begin{cases} 0.39(T_1/T_2)^{-2.23} + 0.42 & ; \text{ ZC} \\ 0.21(T_1/T_2)^{-2.56} + 0.59 & ; \text{ ZD} \\ -0.47(T_1/T_2)^{-11.9} + 1.03 & ; \text{ ZE} \end{cases} \quad (4.40)$$

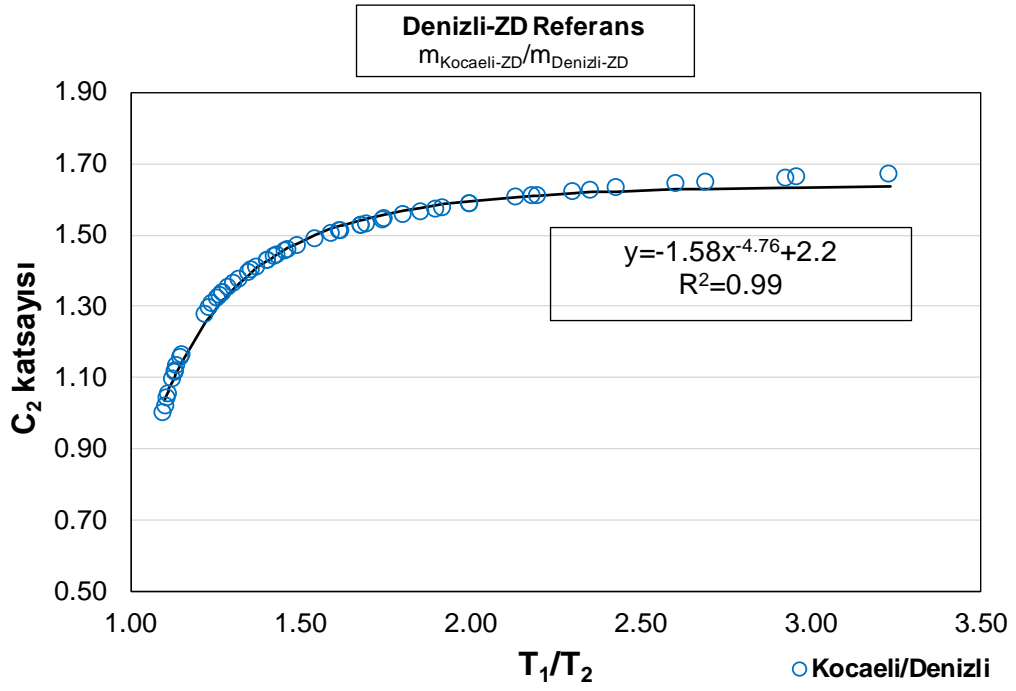
m katsayısı değerleri Denizli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.31 ile 1.07 arasında, ZD tipi için 0.26 ile 0.80 arasında ve ZE zemin tipi için 0.98 ile 0.21 arasında; Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için 0.24 ile 0.96 arasında, ZD tipi için 0.26 ile 1.33 arasında ve ZE zemin tipi için 0.24 ile 1.57 arasında; Adana lokasyonu ZC zemin tipi için 0.41 ile 0.90 arasında, ZD tipi için 0.32 ile 0.80 arasında ve ZE zemin tipi için ise 0.28 ile 1.37 arasında değişmektedir.



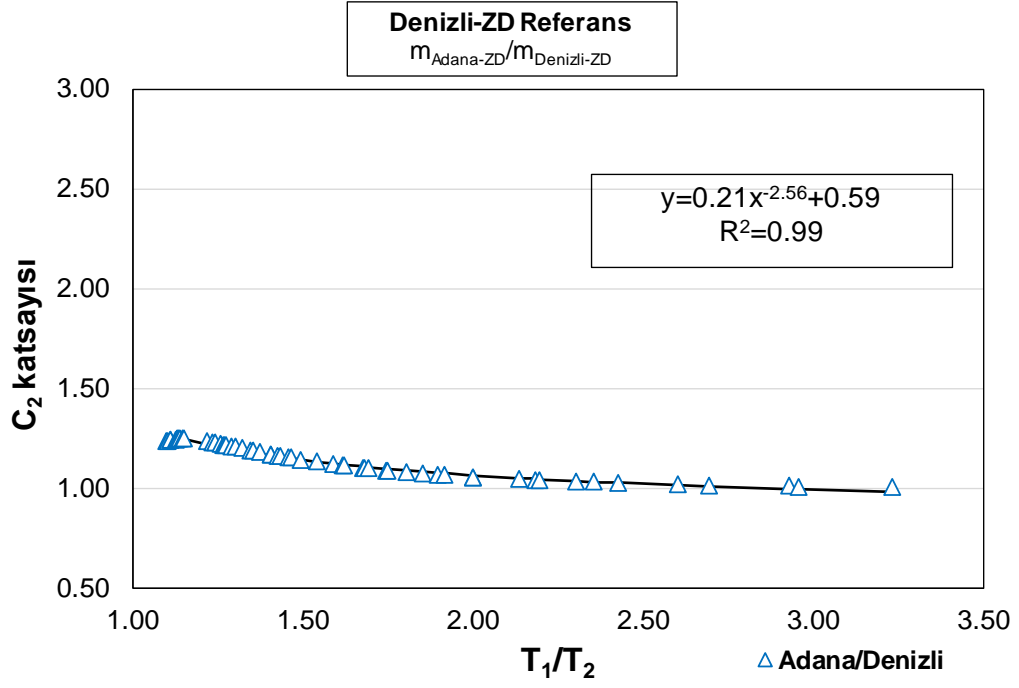
Şekil 4.29: Kocaeli lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C₂ katsayıları ve bina periyotları oranı



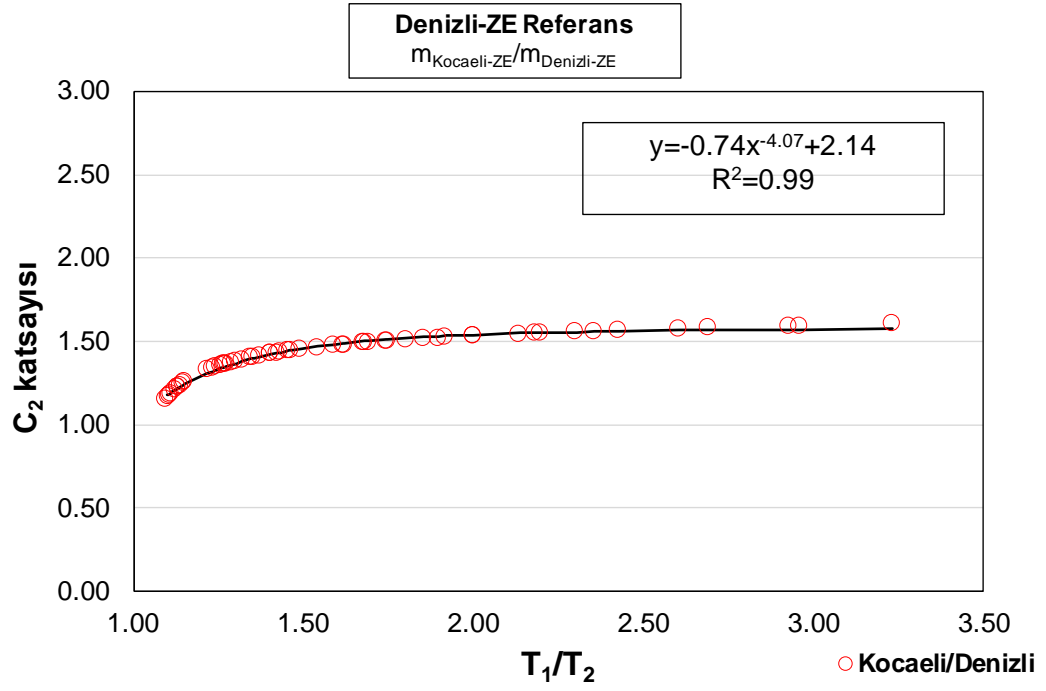
Şekil 4.30: Adana lokasyonu ZC zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı



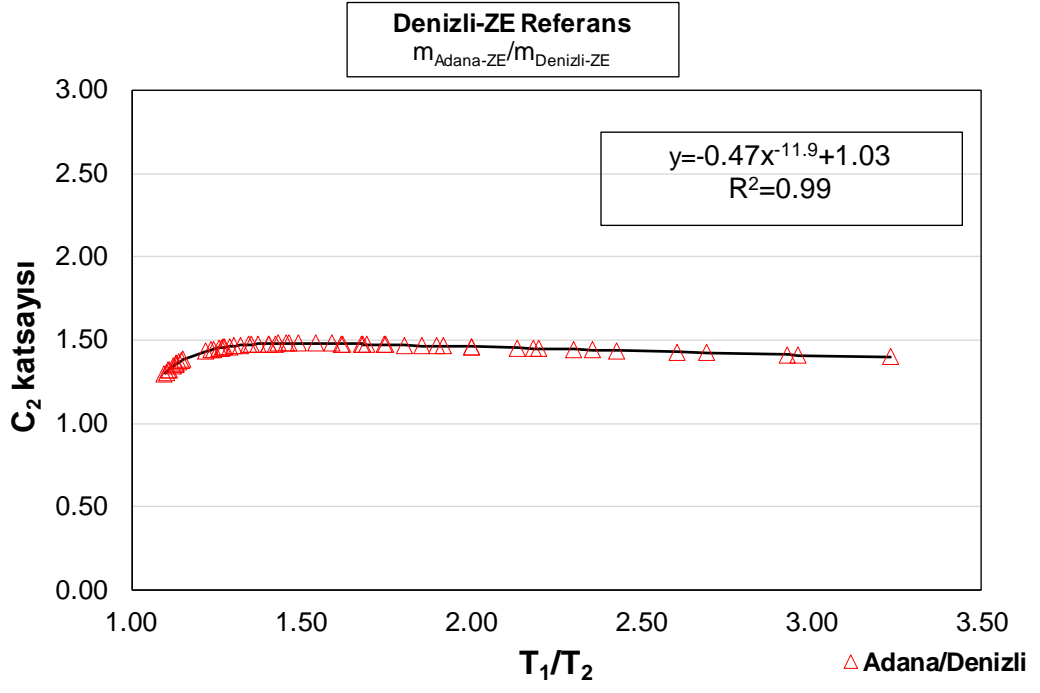
Şekil 4.31: Kocaeli lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.32: Adana lokasyonu ZD zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.33: Kocaeli lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı



Şekil 4.34: Adana lokasyonu ZE zemin tipi için elde edilen C_2 katsayıları ve bina periyotları oranı

Tablo 4.10: Denizli lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları

Model	T1/T2	Denizli					
		ZC		ZD		ZE	
		dort (cm)	m	dort (cm)	m	dort (cm)	m
4s-3s	1.35	3.23	0.64	5.08	0.54	7.38	0.45
5s-3s	1.69	4.24	0.86	6.08	0.69	12.30	0.66
5s-4s	1.26	4.56	0.55	5.25	0.46	10.48	0.38
6s-3s	1.92	4.16	0.93	5.71	0.73	11.86	0.74
6s-4s	1.42	5.35	0.71	6.45	0.58	12.19	0.51
6s-5s	1.13	3.58	0.37	4.60	0.31	5.13	0.25
7s-3s	2.18	3.89	0.99	5.73	0.76	11.97	0.82
7s-4s	1.62	5.39	0.83	7.37	0.67	14.02	0.62
7s-5s	1.29	5.43	0.59	6.76	0.49	10.41	0.41
7s-6s	1.14	4.04	0.38	4.81	0.32	8.20	0.26
8s-3s	2.43	3.88	1.02	5.31	0.77	12.51	0.87
8s-4s	1.80	5.52	0.90	7.35	0.71	16.32	0.70
8s-5s	1.43	6.59	0.72	7.90	0.59	14.62	0.52
8s-6s	1.27	6.44	0.56	7.41	0.47	13.51	0.39
8s-7s	1.11	4.86	0.33	5.24	0.28	8.59	0.23
9s-3s	2.69	3.79	1.04	5.13	0.78	12.62	0.92
9s-4s	2.00	5.17	0.95	7.48	0.74	16.75	0.77
9s-5s	1.59	6.80	0.81	8.33	0.66	16.76	0.61
9s-6s	1.40	7.20	0.69	8.63	0.57	17.39	0.50
9s-7s	1.23	7.15	0.52	8.45	0.44	14.47	0.36
9s-8s	1.11	5.04	0.33	6.22	0.28	7.99	0.23
10s-3s	2.96	3.77	1.06	5.52	0.79	12.18	0.95
10s-4s	2.20	5.37	0.99	7.35	0.76	16.95	0.82
10s-5s	1.75	7.01	0.88	8.25	0.70	17.57	0.68
10s-6s	1.54	7.90	0.79	9.55	0.64	19.71	0.58
10s-7s	1.36	8.32	0.65	10.28	0.54	18.18	0.46
10s-8s	1.22	7.63	0.50	9.66	0.42	13.48	0.34
10s-9s	1.10	5.29	0.31	6.90	0.26	8.36	0.21
4r-3r	1.37	2.66	0.67	4.33	0.55	7.63	0.47
5r-3r	1.74	3.37	0.88	5.44	0.70	9.84	0.68
5r-4r	1.27	3.48	0.57	5.29	0.48	8.76	0.39
6r-3r	2.00	3.46	0.95	4.74	0.74	11.31	0.77
6r-4r	1.46	4.24	0.73	5.71	0.60	10.56	0.53
6r-5r	1.15	3.57	0.39	4.59	0.34	6.64	0.27
7r-3r	2.30	3.45	1.00	4.61	0.77	12.64	0.85
7r-4r	1.68	4.46	0.85	6.23	0.68	13.45	0.65
7r-5r	1.32	4.94	0.62	7.35	0.52	11.09	0.43
7r-6r	1.15	4.02	0.40	5.31	0.34	8.36	0.27
8r-3r	2.60	3.39	1.04	4.37	0.78	12.75	0.90
8r-4r	1.90	4.60	0.93	6.74	0.73	14.91	0.74
8r-5r	1.49	5.99	0.76	8.52	0.62	14.87	0.55
8r-6r	1.30	5.92	0.60	7.75	0.50	14.32	0.42
8r-7r	1.13	4.69	0.37	5.44	0.31	9.33	0.25
9r-3r	2.93	3.43	1.06	4.24	0.79	13.01	0.95
9r-4r	2.14	4.82	0.98	6.72	0.75	16.05	0.81
9r-5r	1.68	6.16	0.85	8.48	0.68	17.49	0.65
9r-6r	1.47	6.53	0.74	8.77	0.61	18.13	0.54
9r-7r	1.27	6.65	0.57	7.94	0.48	14.76	0.39
9r-8r	1.13	4.77	0.36	5.80	0.30	8.03	0.24
10r-3r	3.23	3.45	1.07	4.69	0.80	12.60	0.98
10r-4r	2.36	4.82	1.01	6.76	0.77	16.27	0.86
10r-5r	1.85	6.44	0.91	8.41	0.72	18.89	0.72
10r-6r	1.62	7.03	0.82	8.86	0.66	20.89	0.62
10r-7r	1.40	7.42	0.69	9.22	0.57	18.81	0.50
10r-8r	1.24	6.91	0.53	9.06	0.45	13.90	0.37
10r-9r	1.10	4.80	0.32	6.37	0.27	8.32	0.22
Ort.		5.1	0.72	6.7	0.58	13.0	0.56
Maks.		8.3	1.07	10.3	0.80	20.9	0.98
Min.		2.7	0.31	4.2	0.26	5.1	0.21
CoV		0.28	0.32	0.24	0.29	0.29	0.40

Tablo 4.11: Kocaeli lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları

Kocaeli							
Model	T1/T2	ZC		ZD		ZE	
		dort (cm)	m	dort (cm)	m	dort (cm)	m
4s-3s	1.35	3.23	0.57	5.08	0.75	7.38	0.64
5s-3s	1.69	4.24	0.77	6.08	1.05	12.30	0.98
5s-4s	1.26	4.56	0.48	5.25	0.61	10.48	0.52
6s-3s	1.92	4.16	0.84	5.71	1.15	11.86	1.13
6s-4s	1.42	5.35	0.64	6.45	0.84	12.19	0.73
6s-5s	1.13	3.58	0.31	4.60	0.35	5.13	0.31
7s-3s	2.18	3.89	0.89	5.73	1.22	11.97	1.26
7s-4s	1.62	5.39	0.75	7.37	1.01	14.02	0.92
7s-5s	1.29	5.43	0.52	6.76	0.67	10.41	0.56
7s-6s	1.14	4.04	0.32	4.81	0.37	8.20	0.32
8s-3s	2.43	3.88	0.91	5.31	1.26	12.51	1.36
8s-4s	1.80	5.52	0.81	7.35	1.10	16.32	1.06
8s-5s	1.43	6.59	0.64	7.90	0.85	14.62	0.74
8s-6s	1.27	6.44	0.49	7.41	0.63	13.51	0.53
8s-7s	1.11	4.86	0.27	5.24	0.30	8.59	0.27
9s-3s	2.69	3.79	0.93	5.13	1.29	12.62	1.44
9s-4s	2.00	5.17	0.86	7.48	1.17	16.75	1.18
9s-5s	1.59	6.80	0.73	8.33	0.98	16.76	0.89
9s-6s	1.40	7.20	0.62	8.63	0.82	17.39	0.71
9s-7s	1.23	7.15	0.45	8.45	0.57	14.47	0.48
9s-8s	1.11	5.04	0.26	6.22	0.29	7.99	0.27
10s-3s	2.96	3.77	0.95	5.52	1.31	12.18	1.51
10s-4s	2.20	5.37	0.89	7.35	1.22	16.95	1.27
10s-5s	1.75	7.01	0.79	8.25	1.08	17.57	1.02
10s-6s	1.54	7.90	0.71	9.55	0.95	19.71	0.85
10s-7s	1.36	8.32	0.58	10.28	0.76	18.18	0.65
10s-8s	1.22	7.63	0.43	9.66	0.54	13.48	0.46
10s-9s	1.10	5.29	0.24	6.90	0.26	8.36	0.24
4r-3r	1.37	2.66	0.60	4.33	0.78	7.63	0.67
5r-3r	1.74	3.37	0.79	5.44	1.08	9.84	1.02
5r-4r	1.27	3.48	0.50	5.29	0.64	8.76	0.53
6r-3r	2.00	3.46	0.86	4.74	1.17	11.31	1.18
6r-4r	1.46	4.24	0.66	5.71	0.87	10.56	0.77
6r-5r	1.15	3.57	0.33	4.59	0.39	6.64	0.34
7r-3r	2.30	3.45	0.90	4.61	1.24	12.64	1.31
7r-4r	1.68	4.46	0.77	6.23	1.04	13.45	0.97
7r-5r	1.32	4.94	0.55	7.35	0.71	11.09	0.60
7r-6r	1.15	4.02	0.34	5.31	0.40	8.36	0.34
8r-3r	2.60	3.39	0.93	4.37	1.28	12.75	1.42
8r-4r	1.90	4.60	0.84	6.74	1.14	14.91	1.12
8r-5r	1.49	5.99	0.68	8.52	0.91	14.87	0.80
8r-6r	1.30	5.92	0.53	7.75	0.69	14.32	0.58
8r-7r	1.13	4.69	0.30	5.44	0.35	9.33	0.31
9r-3r	2.93	3.43	0.95	4.24	1.31	13.01	1.50
9r-4r	2.14	4.82	0.88	6.72	1.21	16.05	1.24
9r-5r	1.68	6.16	0.77	8.48	1.04	17.49	0.97
9r-6r	1.47	6.53	0.66	8.77	0.88	18.13	0.77
9r-7r	1.27	6.65	0.50	7.94	0.64	14.76	0.54
9r-8r	1.13	4.77	0.29	5.80	0.33	8.03	0.30
10r-3r	3.23	3.45	0.96	4.69	1.33	12.60	1.57
10r-4r	2.36	4.82	0.91	6.76	1.25	16.27	1.33
10r-5r	1.85	6.44	0.82	8.41	1.12	18.89	1.09
10r-6r	1.62	7.03	0.74	8.86	1.00	20.89	0.92
10r-7r	1.40	7.42	0.62	9.22	0.82	18.81	0.71
10r-8r	1.24	6.91	0.46	9.06	0.58	13.90	0.49
10r-9r	1.10	4.80	0.25	6.37	0.27	8.32	0.25
Ort.		5.1	0.64	6.7	0.85	13.0	0.82
Maks.		8.3	0.96	10.3	1.33	20.9	1.57
Min.		2.7	0.24	4.2	0.26	5.1	0.24
CoV		0.28	0.34	0.24	0.38	0.29	0.47

Tablo 4.12: Adana lokasyonu tüm zemin sınıfları için elde edilen m katsayıları

Adana							
Model	T1/T2	ZC		ZD		ZE	
		dort (cm)	m	dort (cm)	m	dort (cm)	m
4s-3s	1.35	3.23	0.76	5.08	0.64	7.38	0.67
5s-3s	1.69	4.24	0.87	6.08	0.75	12.30	0.97
5s-4s	1.26	4.56	0.69	5.25	0.57	10.48	0.55
6s-3s	1.92	4.16	0.88	5.71	0.78	11.86	1.09
6s-4s	1.42	5.35	0.80	6.45	0.68	12.19	0.75
6s-5s	1.13	3.58	0.49	4.60	0.39	5.13	0.34
7s-3s	2.18	3.89	0.89	5.73	0.79	11.97	1.18
7s-4s	1.62	5.39	0.85	7.37	0.74	14.02	0.92
7s-5s	1.29	5.43	0.72	6.76	0.60	10.41	0.60
7s-6s	1.14	4.04	0.51	4.81	0.40	8.20	0.35
8s-3s	2.43	3.88	0.90	5.31	0.79	12.51	1.25
8s-4s	1.80	5.52	0.88	7.35	0.77	16.32	1.03
8s-5s	1.43	6.59	0.80	7.90	0.68	14.62	0.76
8s-6s	1.27	6.44	0.69	7.41	0.57	13.51	0.56
8s-7s	1.11	4.86	0.45	5.24	0.35	8.59	0.30
9s-3s	2.69	3.79	0.90	5.13	0.80	12.62	1.30
9s-4s	2.00	5.17	0.89	7.48	0.78	16.75	1.12
9s-5s	1.59	6.80	0.85	8.33	0.73	16.76	0.90
9s-6s	1.40	7.20	0.79	8.63	0.67	17.39	0.73
9s-7s	1.23	7.15	0.66	8.45	0.54	14.47	0.52
9s-8s	1.11	5.04	0.44	6.22	0.34	7.99	0.30
10s-3s	2.96	3.77	0.90	5.52	0.80	12.18	1.34
10s-4s	2.20	5.37	0.89	7.35	0.79	16.95	1.19
10s-5s	1.75	7.01	0.87	8.25	0.76	17.57	1.00
10s-6s	1.54	7.90	0.84	9.55	0.72	19.71	0.86
10s-7s	1.36	8.32	0.76	10.28	0.64	18.18	0.68
10s-8s	1.22	7.63	0.64	9.66	0.52	13.48	0.49
10s-9s	1.10	5.29	0.41	6.90	0.32	8.36	0.28
4r-3r	1.37	2.66	0.77	4.33	0.65	7.63	0.70
5r-3r	1.74	3.37	0.87	5.44	0.76	9.84	1.00
5r-4r	1.27	3.48	0.70	5.29	0.58	8.76	0.57
6r-3r	2.00	3.46	0.89	4.74	0.78	11.31	1.12
6r-4r	1.46	4.24	0.81	5.71	0.69	10.56	0.79
6r-5r	1.15	3.57	0.52	4.59	0.42	6.64	0.37
7r-3r	2.30	3.45	0.89	4.61	0.79	12.64	1.22
7r-4r	1.68	4.46	0.86	6.23	0.75	13.45	0.96
7r-5r	1.32	4.94	0.74	7.35	0.62	11.09	0.64
7r-6r	1.15	4.02	0.53	5.31	0.43	8.36	0.38
8r-3r	2.60	3.39	0.90	4.37	0.80	12.75	1.29
8r-4r	1.90	4.60	0.88	6.74	0.77	14.91	1.08
8r-5r	1.49	5.99	0.82	8.52	0.71	14.87	0.82
8r-6r	1.30	5.92	0.73	7.75	0.61	14.32	0.61
8r-7r	1.13	4.69	0.49	5.44	0.39	9.33	0.34
9r-3r	2.93	3.43	0.90	4.24	0.80	13.01	1.34
9r-4r	2.14	4.82	0.89	6.72	0.79	16.05	1.17
9r-5r	1.68	6.16	0.86	8.48	0.75	17.49	0.96
9r-6r	1.47	6.53	0.82	8.77	0.70	18.13	0.79
9r-7r	1.27	6.65	0.70	7.94	0.58	14.76	0.57
9r-8r	1.13	4.77	0.48	5.80	0.38	8.03	0.33
10r-3r	3.23	3.45	0.90	4.69	0.80	12.60	1.37
10r-4r	2.36	4.82	0.90	6.76	0.79	16.27	1.23
10r-5r	1.85	6.44	0.88	8.41	0.77	18.89	1.06
10r-6r	1.62	7.03	0.85	8.86	0.74	20.89	0.92
10r-7r	1.40	7.42	0.79	9.22	0.67	18.81	0.73
10r-8r	1.24	6.91	0.67	9.06	0.55	13.90	0.53
10r-9r	1.10	4.80	0.42	6.37	0.33	8.32	0.29
Ort.		5.1	0.76	6.7	0.65	13.0	0.81
Maks.		8.3	0.90	10.3	0.80	20.9	1.37
Min.		2.7	0.41	4.2	0.32	5.1	0.28
CoV		0.28	0.20	0.24	0.23	0.29	0.40

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı bitişik betonarme binalar arasında meydana gelen deprem etkileşimini önlemek için gerekli olan minimum derz mesafelerini araştırmıştır. Oluşturulan 56 farklı ikili bina modelinin üç farklı sismik lokasyon ve üç farklı zemin tipi üzerinde inşa edildiği varsayılmıştır. Bu sismik lokasyon ve zemin tipleri için toplam 9 hedef tasarım spektrumu belirlenmiştir. Her bir hedef spektrum ile uyumlu 22 ve toplamda (9x22) 198 gerçek yer ivme kaydı seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. 56 ikili bina modelinin seçilen 198 ivme kaydı için 11088 adet zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen gerekli deprem derz mesafeleri, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) gereksinimleriyle karşılaştırılmış ve 4 farklı yöntem geliştirilmiştir.

Geliştirilen yöntemlerin ilki, literatürde Kamal (2022c) tarafından önerilen n katsayısıdır. Farklı zemin sınıfları için ele alınan n katsayısı, farklı sismik lokasyonlar ve zemin sınıfları için de ele alınmıştır. Bu katsayı, dinamik analizler sonucu belirlenen gerekli derz mesafelerin TBDY-2018 gereksinimleri ile normalize edilmesini temsil etmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, TBDY-2018 yönetmeliğinin komşu binaların periyot oranlarına ve bina yüksekliklerine bağlı olarak yetersiz derz mesafeleri sunduğu belirlenmiştir. Yönetmelikte sunulan yaklaşım revize edilerek yeni bir denklem geliştirilmiştir.

İkinci geliştirilen yöntemde ise Kamal'ın (2022c) önerdiği Denizli ili ZC, ZD ve ZE sınıfları için kat yüksekliğine bağlı k katsayısı bu tez kapsamında Kocaeli ve Adana illerini de kapsayarak geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde kat yüksekliği bilinen bitişik nizamlı binaların daha kısa binanın yüksekliğine bağlı olarak herhangi bir analiz gerektirmeden derz mesafesinin farklı lokasyonlar ve zemin tipleri için hesaplanması amaçlanmıştır.

Üçüncü yöntem kapsamında ikinci yöntemde elde edilen k katsayıları Denizli ili referans alınarak Kocaeli ve Adana lokasyonları için zemin tiplerine göre normalize edilmiştir. Elde edilen oranlara C katsayısı adı verilerek aralarındaki ilişki

irdelenmiştir. Aralarındaki ilişkiden yüksek korelasyonlu denklemler elde edilerek ikinci yöntemde elde edilen denklem farklı lokasyonlara göre geliştirilmiştir. Bu yeni yöntemde lokasyonlar için kullanılan C katsayısı ikinci yöntemde önerilen ana denklem için oluşturulmuş düzeltme katsayısıdır.

Dördüncü yöntemde, Kamal ve Inel (2022b) tarafından Denizli lokasyonunun farklı zemin sınıfları için önerilen m katsayıları Kocaeli ve Adana lokasyonlarının ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için tekrar göz önüne alınarak geliştirilmiştir. m katsayıları Denizli lokasyonu referans alınarak diğer lokasyon ve zemin sınıfları için normalize edilmiş ve elde edilen oranlara C_2 katsayısı adı verilmiştir. Bu oranlar arasında yüksek korelasyonlu bağıntılar bulunarak Kamal ve İnel'in önerdiği denklem farklı lokasyonlar ve zemin tipleri için revize edilerek geliştirilmiştir. Bu sayede önerilen formülün farklı lokasyonlar içinde kullanılması amaçlanmıştır.

Elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Bitişik binaların periyotları birbirine yakın olduğunda (T_1/T_2 yaklaşık 1 ise), TBDY-2018 Denizli ve Adana lokasyonlarının tüm zemin tipleri için yeterli tahminler sunmaktadır. Bu lokasyon ve zemin tiplerinde yer alan bitişik binaların periyot oranı değerlerinin artması ile birlikte TBDY-2018 gereksinimleri yeterli derz mesafeleri sunmamaktadır. Fakat Adana lokasyonu ZC zemin tipi için tüm periyot oranlarında elde edilen derz mesafeleri, TBDY-2018' in yeterli derz mesafesi sunduğunu ortaya koymuştur.
- Kocaeli sismik lokasyonunun tüm zemin sınıfları için elde edilen derz mesafeleri, TBDY-2018 ile elde edilen derz mesafesinin bitişik binaların tüm periyot oranlarından bağımsız olarak yetersiz olduğunu göstermektedir.
- TBDY-2018' de sismik derz mesafesi hesabı için bina yüksekliğine bağlı olarak bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışma sonuçları göz önüne alındığında, farklı zemin tipleri ve sismik lokasyonlar için sadece bina yüksekliğine dayanan derz mesafe hesabının yeterli veya yetersiz sonuçlar sunduğu görülmüştür. Bu nedenle, derz mesafesi hesabında zemin tipi, sismik lokasyon ve bitişik binaların periyot oranlarının bir parametre olarak dikkate alınması gerekmektedir.

- Bu nedenle, sismik derz mesafesi için farklı parametreleri dikkate alan ve herhangi bir statik analiz gerektirmeyen basit ve kullanışlı yaklaşımlar bu çalışmada geliştirilmiştir.

Sonuçlar, TBDY-2018 gerekliliklerinin bitişik binaların periyot oranlarına göre yeterli veya yetersiz derz mesafeleri sunduğunu göstermektedir. Buna ilave olarak, farklı sismik lokasyonların ve zemin tiplerinin üzerinde yer alan bitişik binalardaki gerekli derz mesafesi ihtiyaçları farklılık sunabilmektedir. Bu nedenle, derz mesafesi hesabında sismik lokasyon, zemin sınıfı ve bitişik binaların periyot oranlarının parametre olarak ele alınması önemlidir. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımların farklı sismik lokasyon ve zemin tiplerinde yer alan komşu betonarme binaların yapısal çarpışmalarını önlemek için etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

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).

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).

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).

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).

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– 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).283, (2013).

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

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).

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).

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

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

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).

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).

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).

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).

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

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

Van J, K. Kasai, B.F. Masion, “A spectral difference method to estimate building separations to avoid pounding”, *Earthq. Spectra* 8, 201-223, (1992)

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

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

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

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

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

UBC88, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, (1988).

Kamal, M. and Inel, M., “A new equation for prediction of seismic gap between adjacent buildings located on different soil types”, *Journal of Building Engineering*, 57, 2352-7102, 104784, (2022).

Kamal, “Code-based new approaches for determining the minimum required separation gap”, *Structures*, 46, 750-764, (2022).

Kamal, M. and Inel, M., "Simplified approaches for estimation of required seismic separation distance between adjacent reinforced concrete buildings", *Engineering Structures*, 252, 0141-0296,113610, (2022).

EKLER

7. EKLER

EK A Tezde Kullanılan İvme Kayıtları

Tablo A.1: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Kocaeli ZC					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
102	RSN-4850	Chuetsu-oki, Japan	Yoshikawaku Joetsu City	562	3.597
136	RSN-353	Coalinga-01	Parkfield - Gold Hill 4W	421	3.353
56	RSN-6915	Darfield, New Zealand	Heathcote Valley Primary School	422	4.000
51	RSN-5813	Iwate, Japan	Mizusawaku Interior O ganecho	413	3.380
50	RSN-5810	Iwate, Japan	Machimukai Town	655	3.944
106	RSN-4858	Chuetsu-oki, Japan	Tokamachi Chitosecho	640	3.978
75	RSN-3871	Tottori, Japan	HRS002	458	2.883
54	RSN-5819	Iwate, Japan	Ichinoseki Maikawa	640	3.870
63	RSN-942	Northridge-01	Alhambra - Fremont School	550	3.974
118	RSN-5265	Chuetsu-oki, Japan	NIG019	372	3.953
73	RSN-1083	Northridge-01	Sunland - Mt Gleason Ave	402	2.936

Tablo A.2: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Adana ZC					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
11	RSN-740	Loma Prieta	Anderson Dam (L Abut)	489	0.823
17	RSN-807	Loma Prieta	Sunol - Forest Fire Station	401	3.915
190	RSN-4037	Bam, Iran	Abaragh	412	2.711
191	RSN-4054	Bam, Iran	Mohammad Abad-e-Madkoon	575	3.194
32	RSN-5662	Iwate, Japan	MYG003	482	3.393
142	RSN-935	Big Bear-01	Snow Creek	524	4.000
36	RSN-5681	Iwate, Japan	MYGH06	593	0.971
170	RSN-3472	Chi-Chi, Taiwan-06	TCU076	615	1.681
134	RSN-347	Coalinga-01	Parkfield - Fault Zone 9	372	0.969
53	RSN-5818	Iwate, Japan	Kurihara City	512	1.270
174	RSN-3489	Chi-Chi, Taiwan-06	TCU102	714	1.814

Tablo A.3: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Denizli ZC					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
77	RSN-3884	Tottori Japan	HRS021	409	3.954
106	RSN-4858	Chuetsu-oki Japan	Tokamachi Chitosecho	640	3.061
60	RSN-70	San Fernando	Lake Hughes	425	3.852
76	RSN-3874	Tottori_ Japan	HRS005	466	1.782
110	RSN-4870	Chuetsu-oki Japan	Horinouchi Uonuma City	561	4.000
84	RSN-3947	Tottori Japan	SMNH01	446	2.440
36	RSN-5681	Iwate Japan	MYGH06	593	1.375
190	RSN-4037	Bam Iran	Abaragh	412	3.396
51	RSN-5813	Iwate Japan	Mizusawaku Interior Oganecho	413	2.925
21	RSN-5494	Iwate Japan	AKTH18	431	1.076
16	RSN-791	Loma Prieta	SAGO South Surface	609	1.926

Tablo A.4: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Kocaeli ZD					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
135	RSN-5780	Iwate, Japan	Iwadeyama	346	3.000
151	RSN-5825	El Mayor-Cucapah, Mexico	Cerro Prieto Geothermal	242	2.657
157	RSN-5837	El Mayor-Cucapah, Mexico	El Centro-Imperial & Ross	229	2.873
132	RSN-5652	Iwate, Japan	IWTH20	289	2.187
116	RSN-880	Landers	Mission Creek Fault	355	2.911
169	RSN-6923	Darfield, New Zealand	Kaiapoi North School	255	3.000
153	RSN-5829	El Mayor-Cucapah, Mexico	RIITO	242	2.690
96	RSN-4879	Chuetsu-oki, Japan	Yan Sakuramachi City	266	2.837
125	RSN-1615	Duzce, Turkey	Lamont 1062	338	2.678
165	RSN-6893	Darfield, New Zealand	DFHS	344	2.910
144	RSN-5805	Iwate, Japan	Yokote City - Nobita	253	2.865

Tablo A.5: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Adana ZD					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
95	RSN-4878	Chuetsu-oki, Japan	Yahiko Village Yahagi	223	1.624
153	RSN-5829	El Mayor-Cucapah	RIITO	242	0.861
151	RSN-5825	El Mayor-Cucapah	Cerro Prieto Geothermal	242	1.451
81	RSN-3935	Tottori, Japan	SMN003	344	1.691
99	RSN-4883	Chuetsu-oki, Japan	Niigata Nishi Kaba District	255	2.000
71	RSN-1002	Northridge-01	LA - S. Vermont Ave	302	0.850
1	RSN-562	Chalfant Valley-04	Bishop - LADWP South St	303	1.534
169	RSN-6923	Darfield, New Zealand	Kaiapoi North School	255	1.888
70	RSN-1000	Northridge-01	LA - Pico & Sentous	305	1.978
165	RSN-6893	Darfield, New Zealand	DFHS	344	1.341
11	RSN-613	Whittier Narrows-01	Covina - W Badillo	325	1.041

Tablo A.6: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Denizli ZE					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
1	RSN-178	Imperial Valley-06	El Centro Array	163	3.692
7	RSN-729	Superstition Hills-02	Imperial Valley Wildlife	179	4.000
6	RSN-718	Superstition Hills-01	Imperial Valley Wildlife	179	3.951
2	RSN-201	Imperial Valley-07	El Centro Array	163	2.578
34	RSN-8123	New Zealand	Christchurch Resthaven	141	2.408
27	RSN-5271	Chuetsu-oki Japan	NIG025	135	3.740
32	RSN-5989	El Mayor- Mexico	El Centro Array	163	2.839
17	RSN-3962	Tottori Japan	TTR005	169	2.122
19	RSN-4201	Niigata Japan	NIG011	150	2.789
31	RSN-5749	Iwate Japan	YMT006	131	2.067
28	RSN-5471	Iwate Japan	AKT016	158	1.705

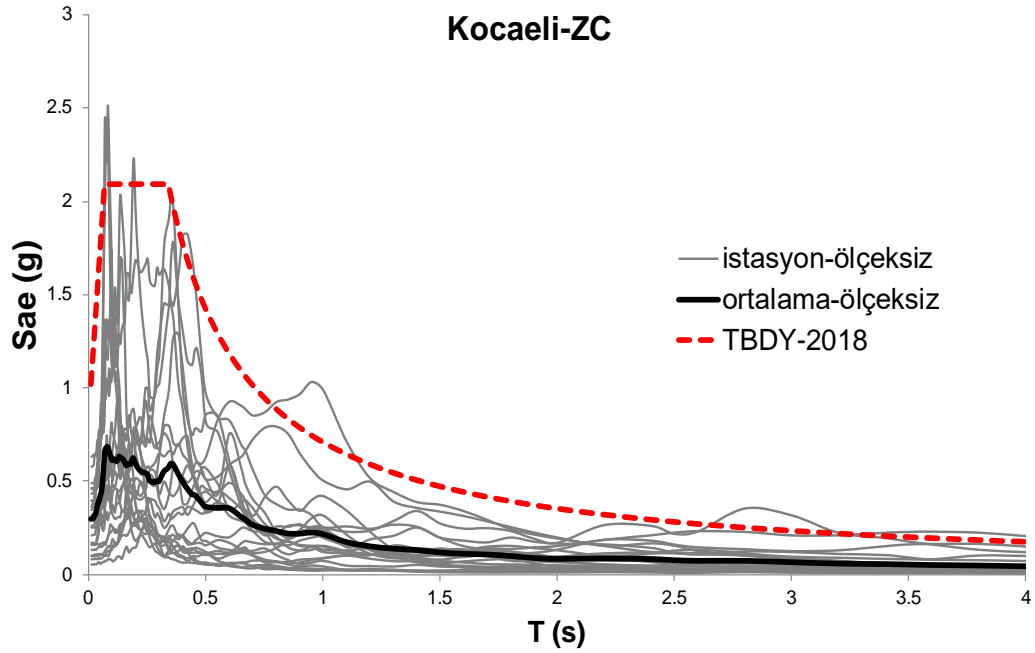
Tablo A.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Kocaeli ZE					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
19	RSN-4201	Niigata, Japan	NIG011	150	3.413
27	RSN-5271	Chuetsu-oki, Japan	NIG025	135	3.327
23	RSN-5256	Chuetsu-oki, Japan	NIG010	173	3.484
6	RSN-718	Superstition Hills-01	Imperial Valley Wildlife	179	3.421
34	RSN-8123	New Zealand	Christchurch Resthaven	141	4.000
3	RSN-326	Coalinga-01	Parkfield - Cholame 2WA	173	3.102
24	RSN-5257	Chuetsu-oki, Japan	NIG011	150	1.890
7	RSN-729	Superstition Hills-02	Imperial Valley Wildlife	179	4.000
1	RSN-178	Imperial Valley-06	El Centro Array #3	163	3.908
16	RSN-3934	Tottori, Japan	SMN002	139	3.697
33	RSN-6959	Darfield, New Zealand	Christchurch Resthaven	141	3.708

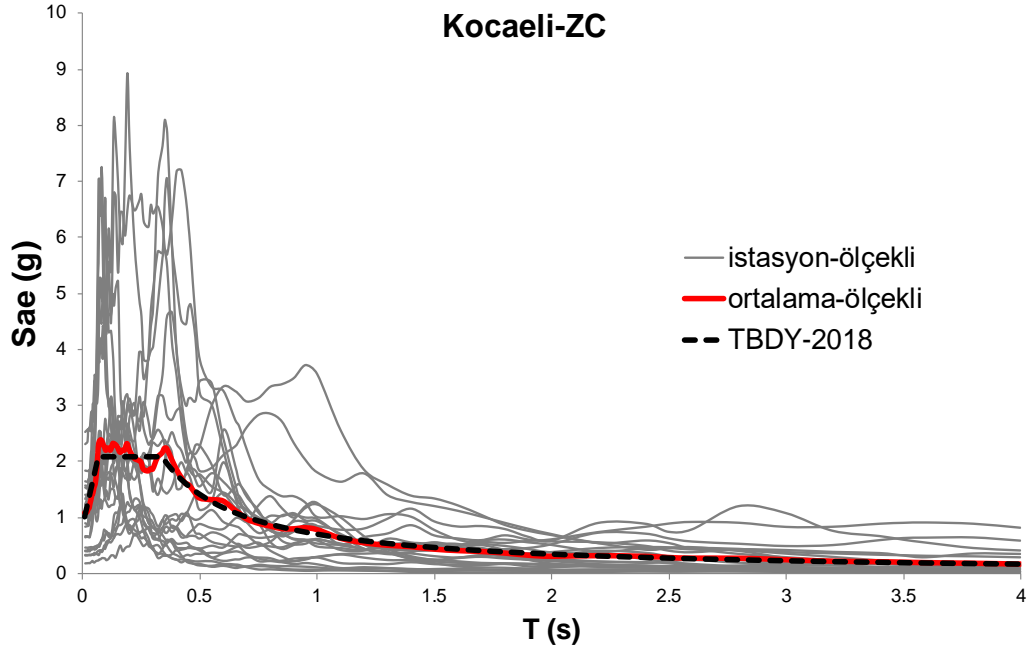
Tablo A.8: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için seçilen 11 deprem ivme kayıt takımına ait özellikler

Adana ZE					
Kayıt No.	PEER Kayıt No.	Deprem	İstasyon	Vs30 (m/s)	Ölçek
22	RSN-4215	Niigata, Japan	NIG025	135	3.425
6	RSN-718	Superstition Hills-01	Imperial Valley Wildlife	179	4.000
30	RSN-5666	Iwate, Japan	MYG007	167	4.000
7	RSN-729	Superstition Hills-02	Imperial Valley Wildlife	179	2.502
24	RSN-5257	Chuetsu-oki, Japan	NIG011	150	1.132
16	RSN-3934	Tottori, Japan	SMN002	139	0.250
1	RSN-178	Imperial Valley-06	El Centro Array	163	3.168
34	RSN-8123	New Zealand	Christchurch Resthaven	141	1.412
26	RSN-5260	Chuetsu-oki, Japan	NIG014	128	2.000
2	RSN-201	Imperial Valley-07	El Centro Array	163	0.718
17	RSN-3962	Tottori, Japan	TTR005	169	2.932

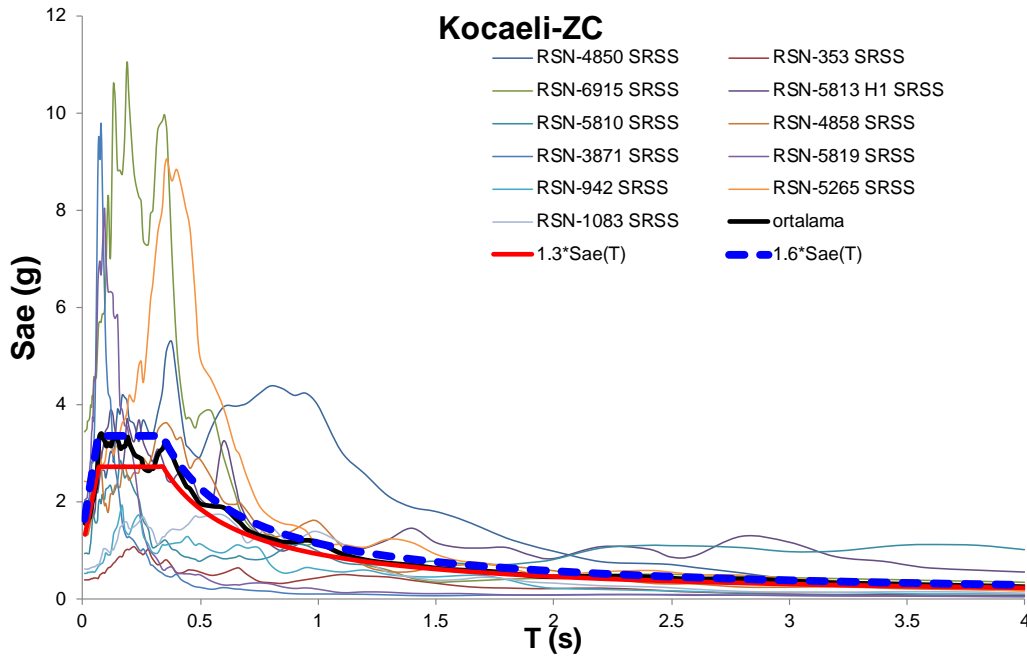
EK B. Seçilen İvme Kayıt Takımlarına ait Yatay Spektrum Grafikleri



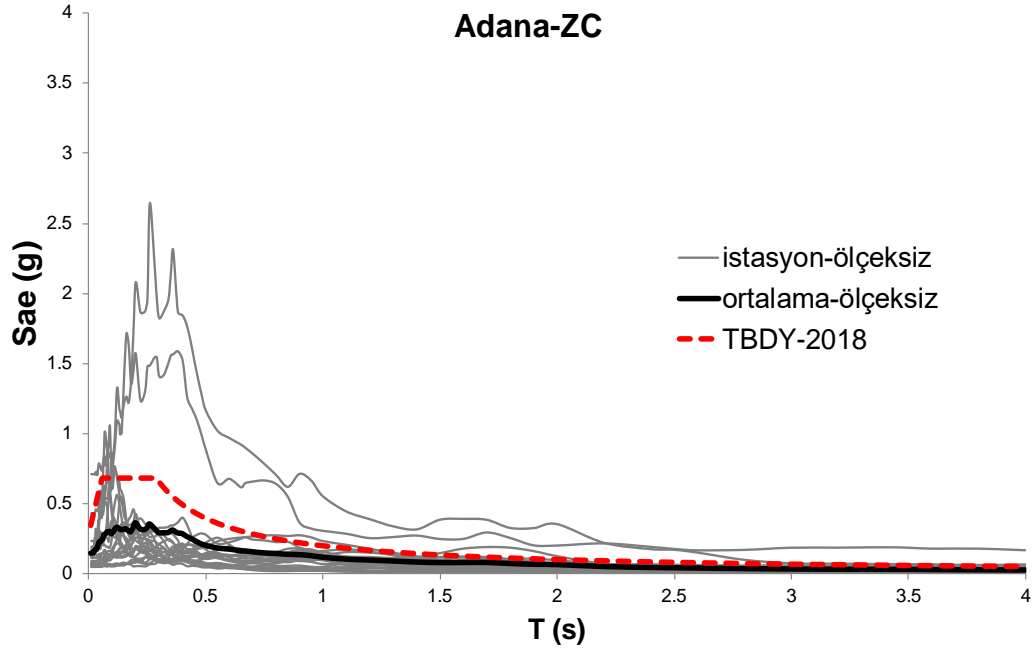
Şekil B.1: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



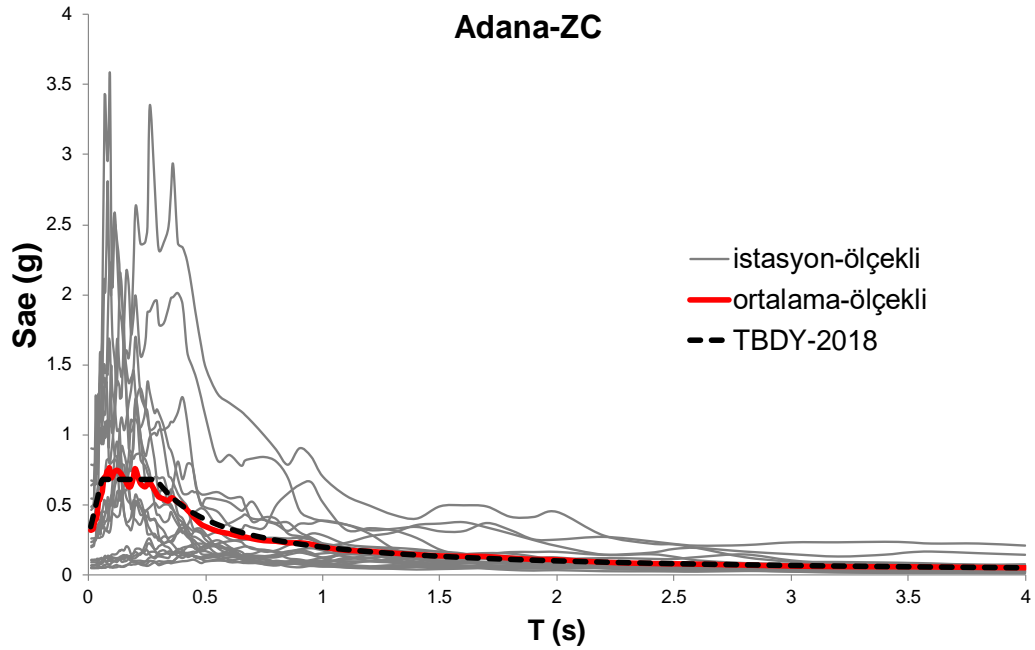
Şekil B.2: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



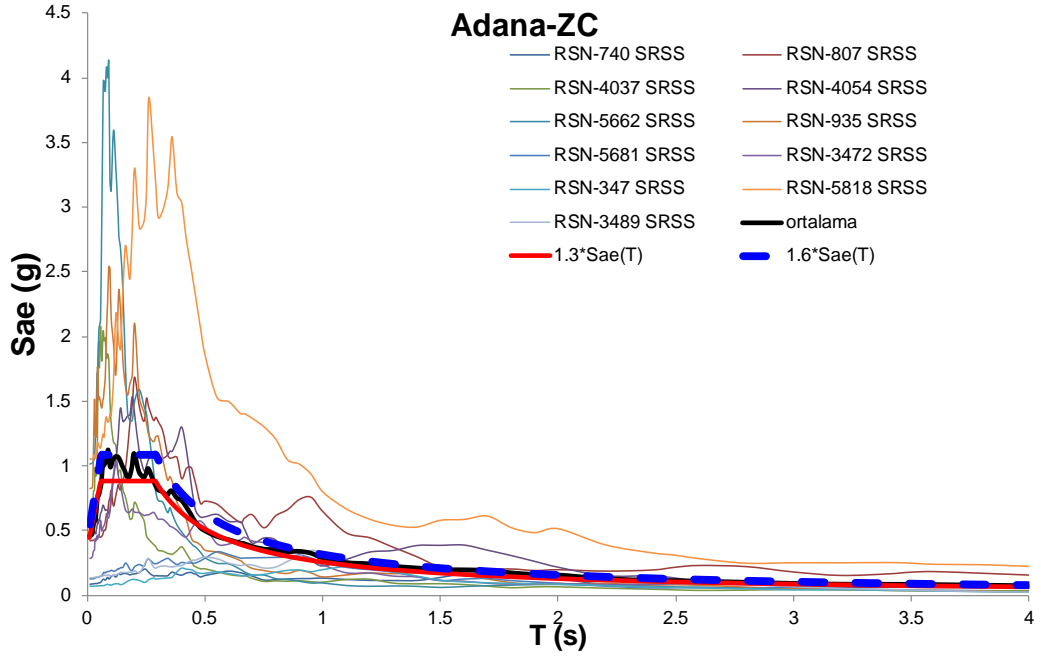
Şekil B.3: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



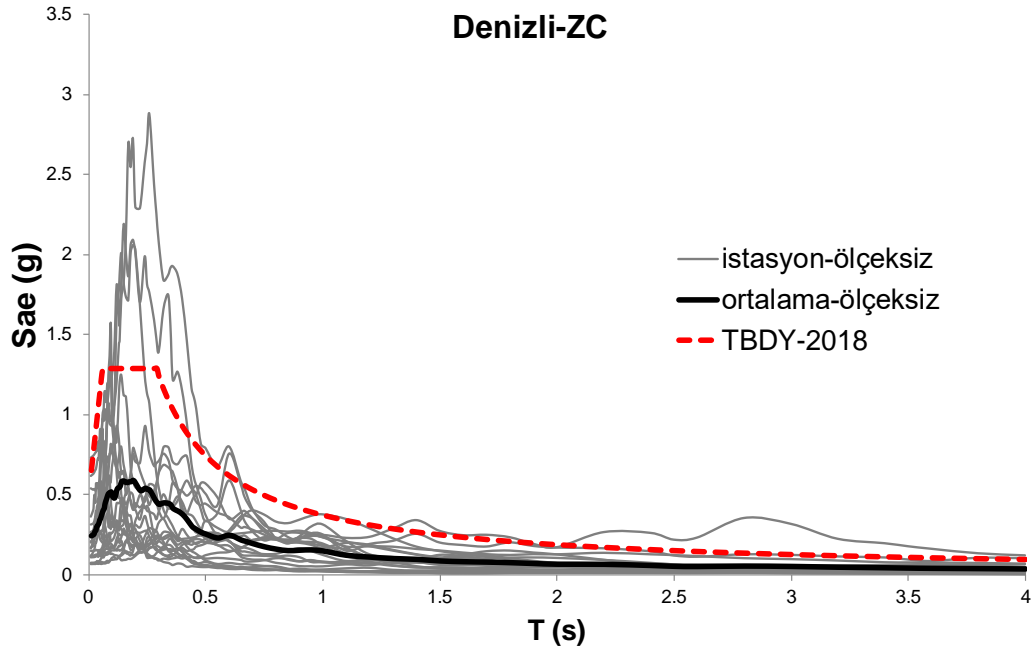
Şekil B.4: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



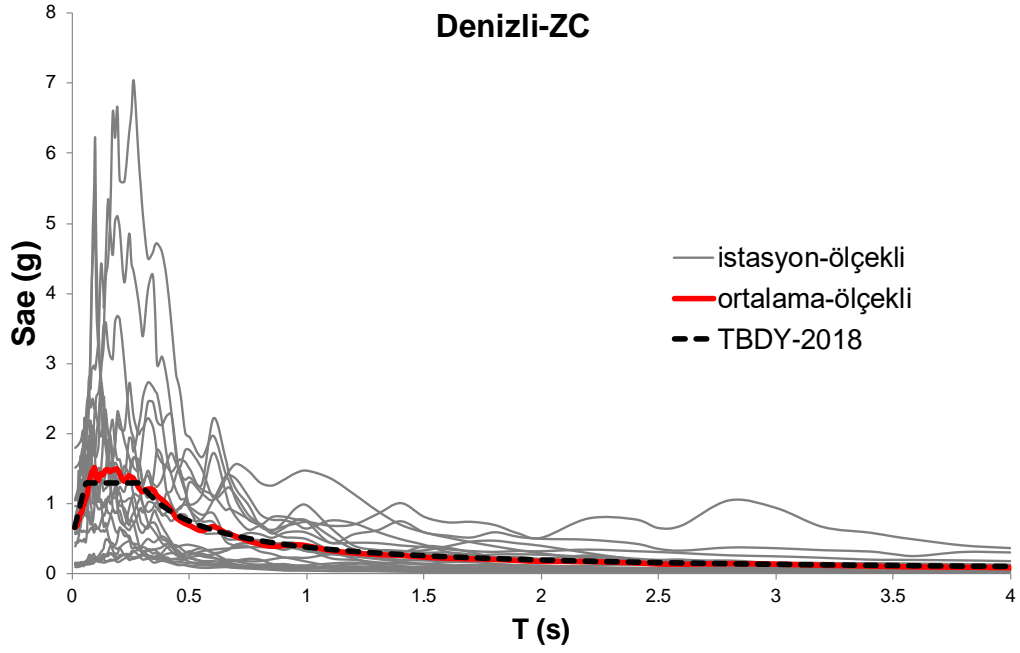
Şekil B.5: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



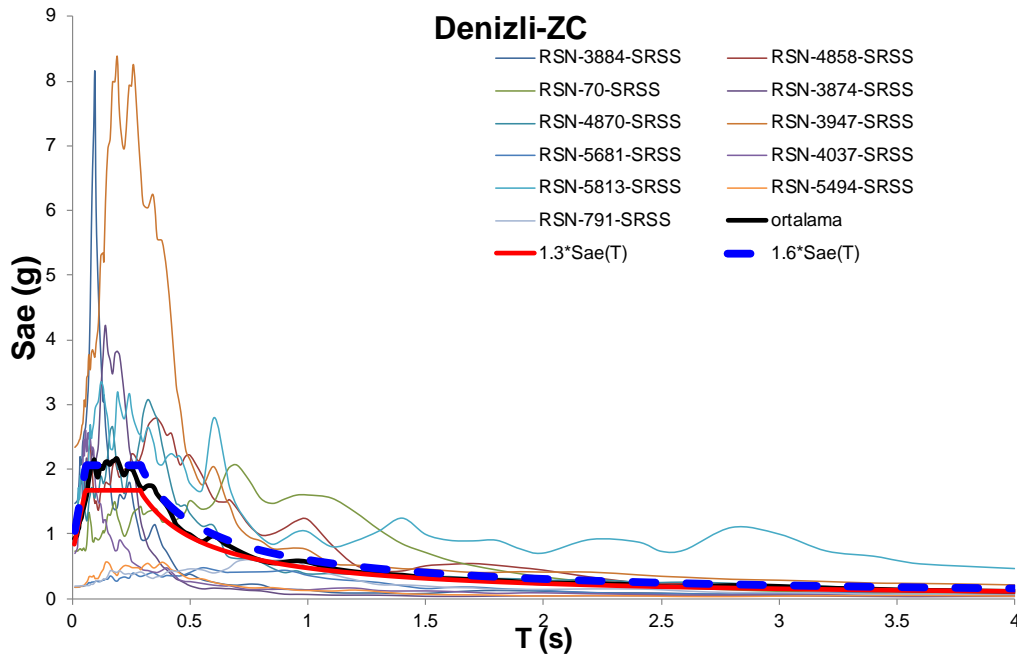
Şekil B.6: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



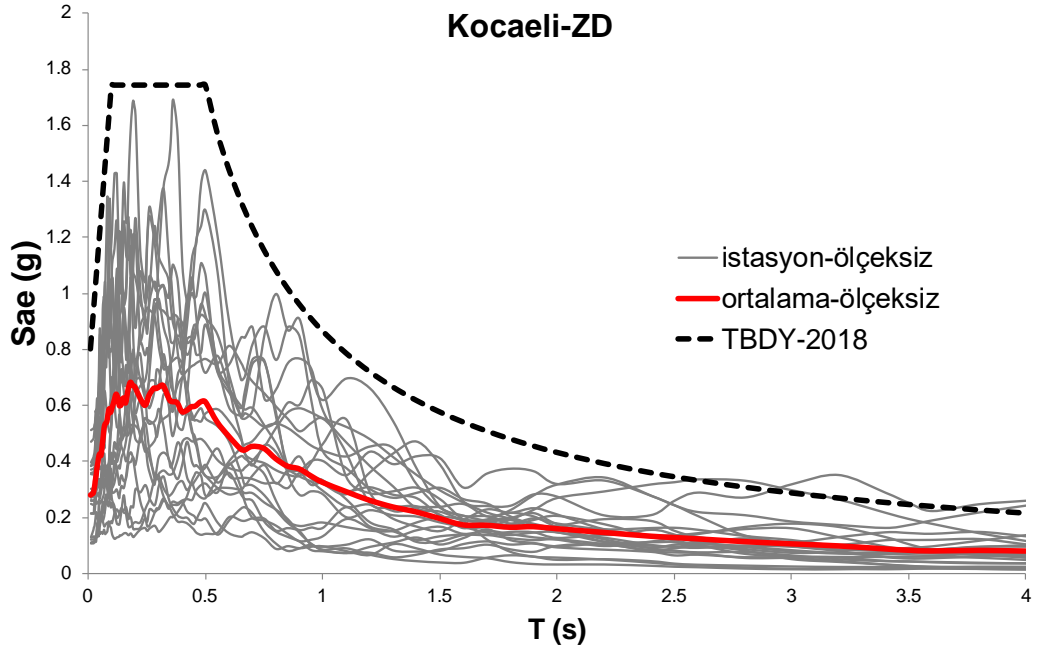
Şekil B.7: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBODY-2018) grafiği



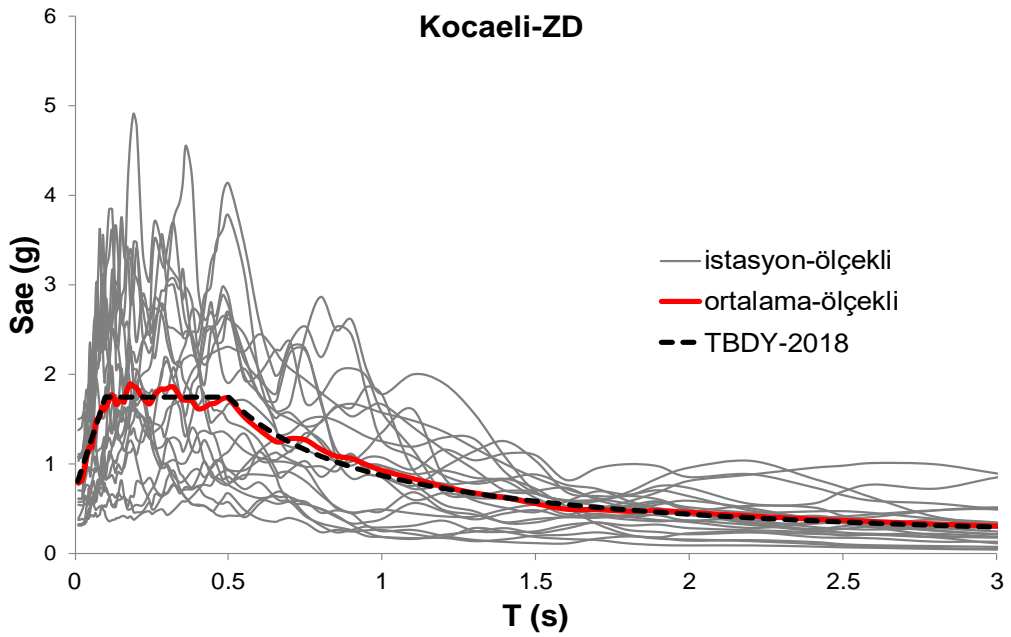
Şekil B.8: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



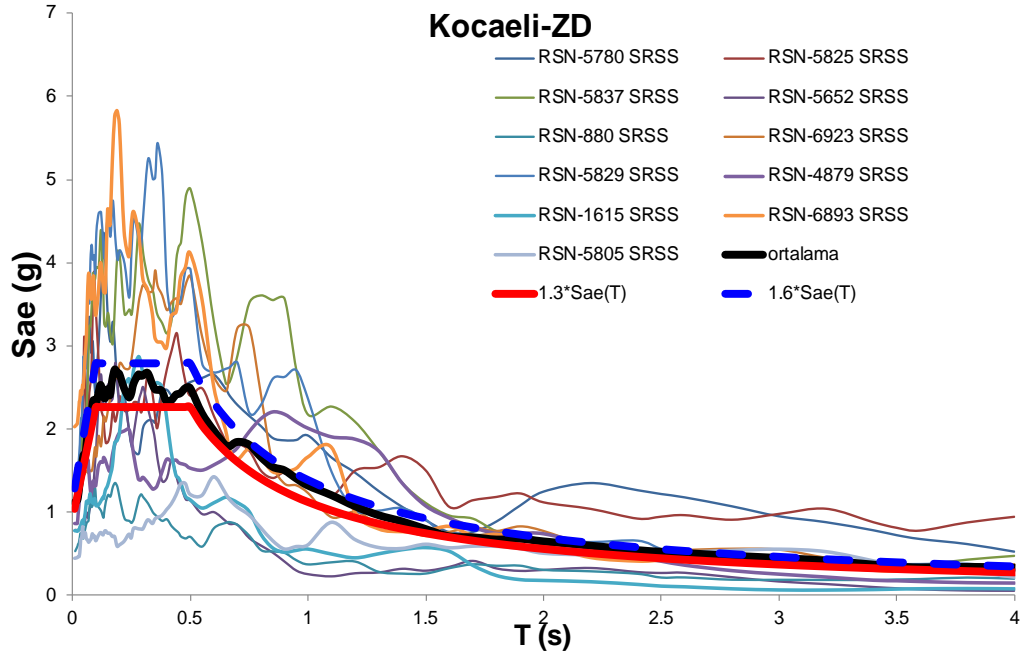
Şekil B.9: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZC zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



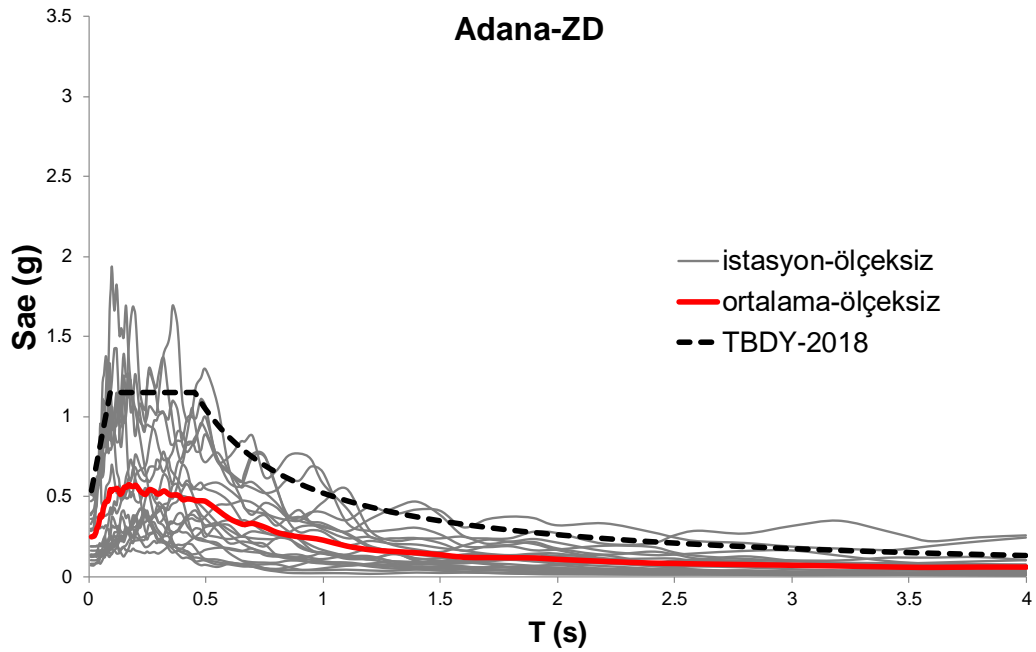
Şekil B.10: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



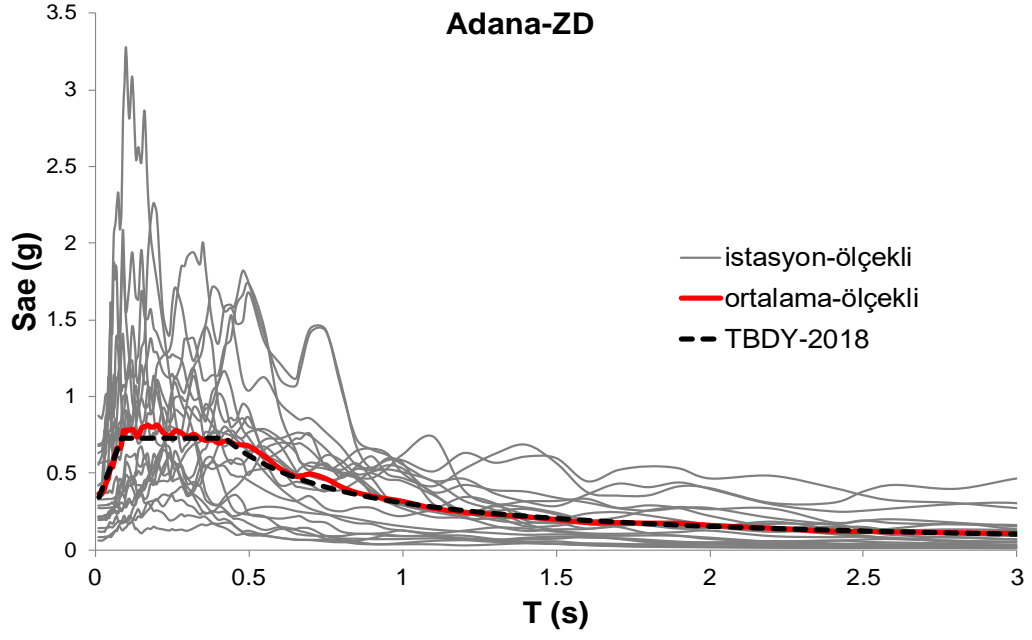
Şekil B.11: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



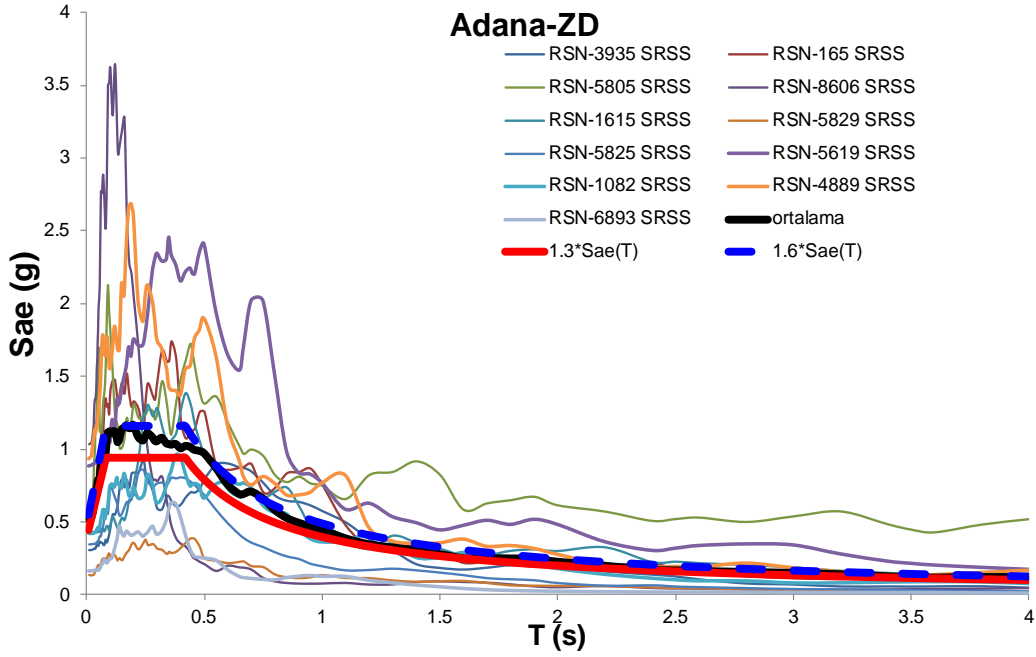
Şekil B.12: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



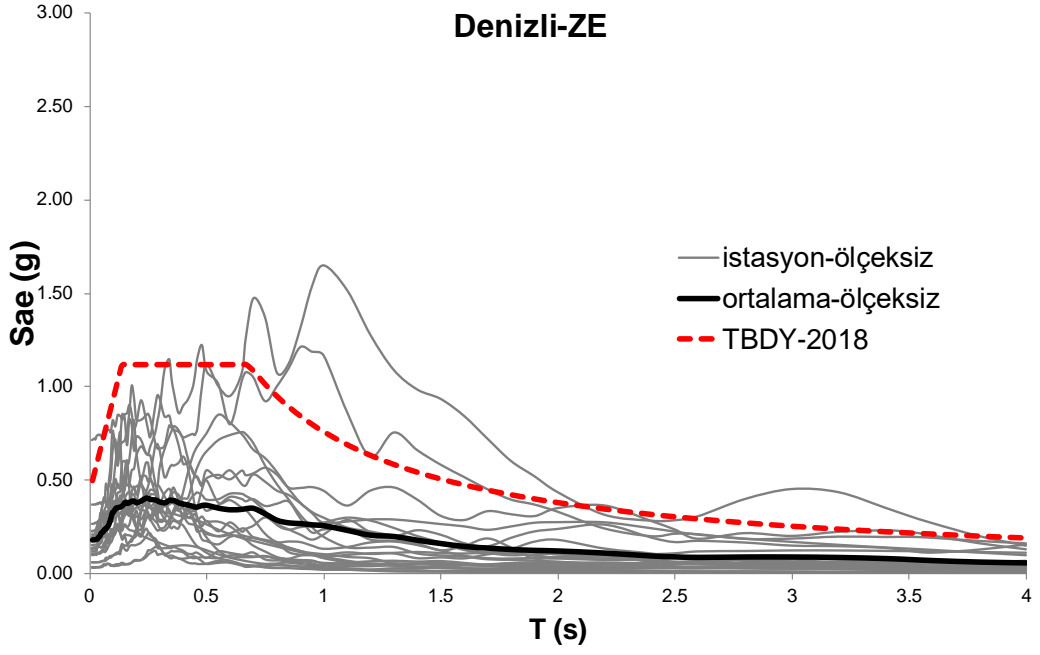
Şekil B.13: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



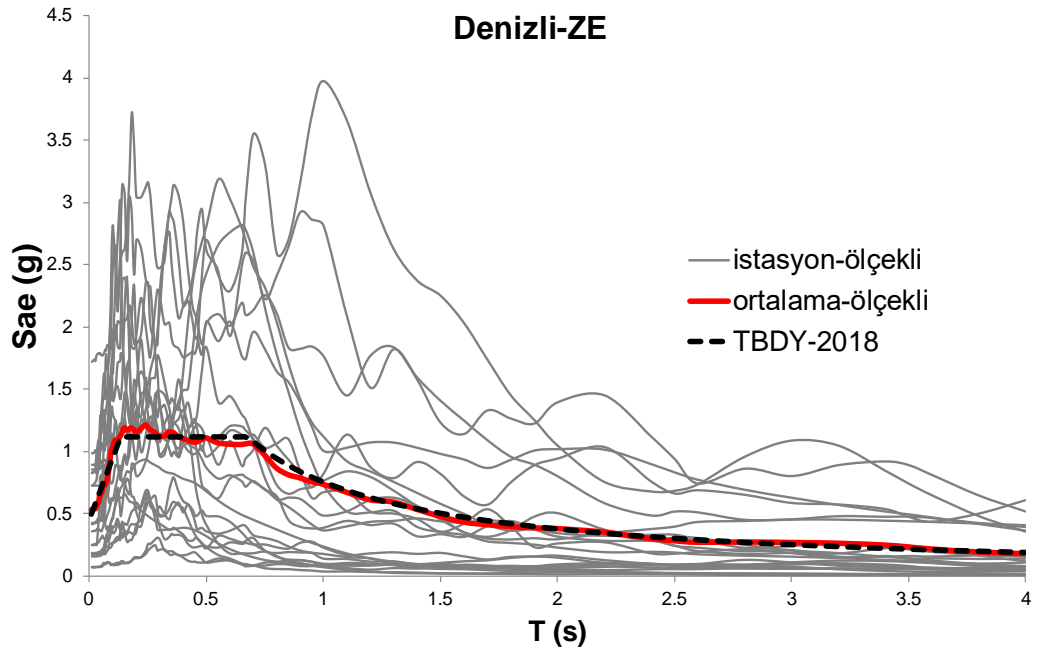
Şekil B.14: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



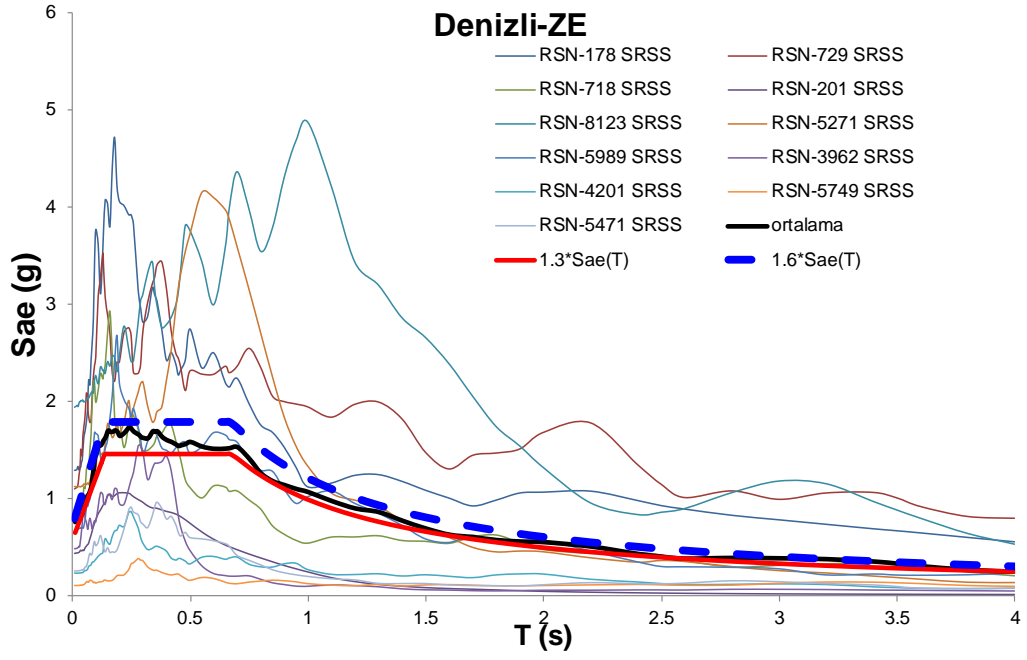
Şekil B.15: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZD zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



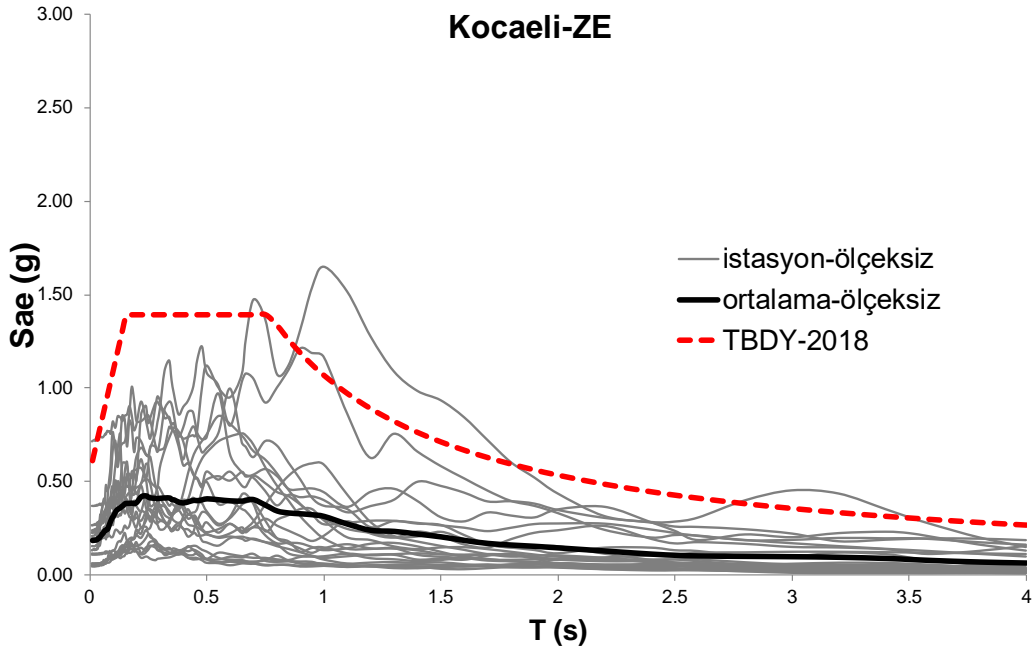
Şekil B.16: Denizli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



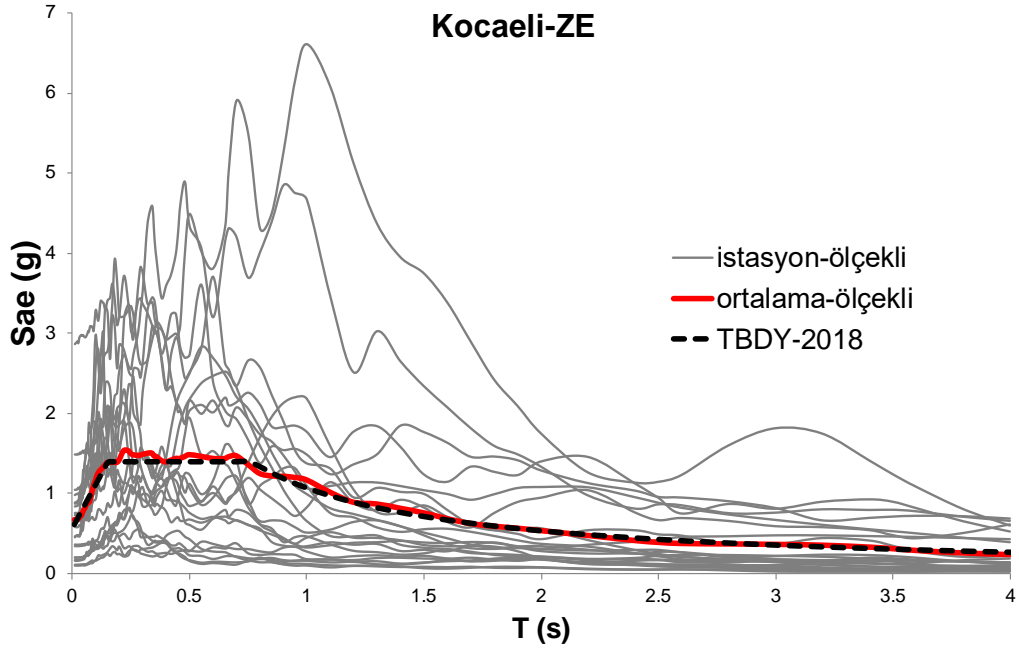
Şekil B.17: Denizli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



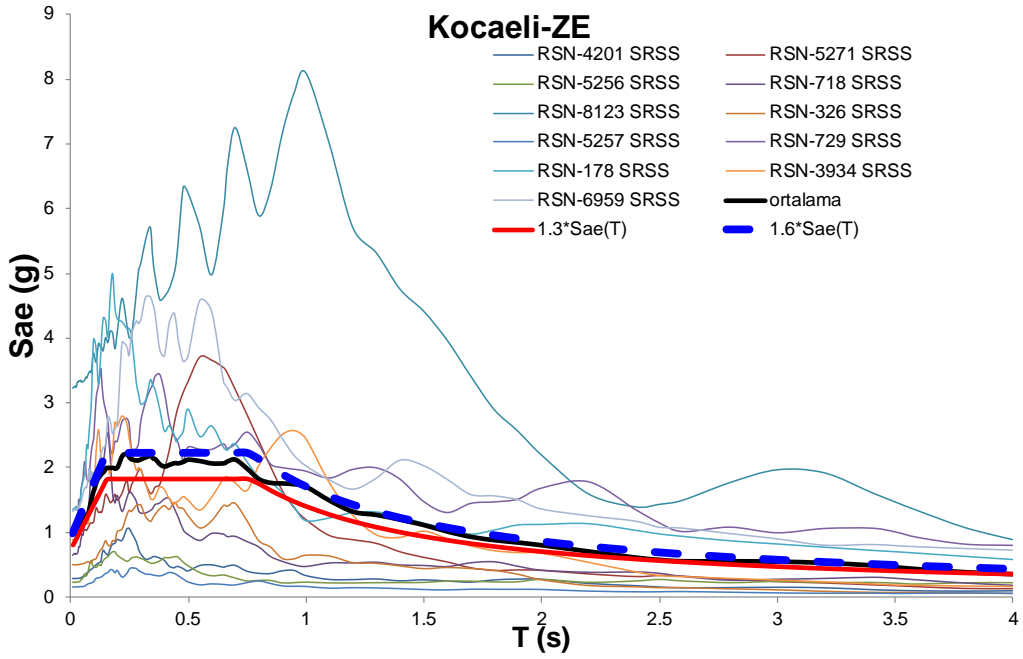
Şekil B.18: Denizli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



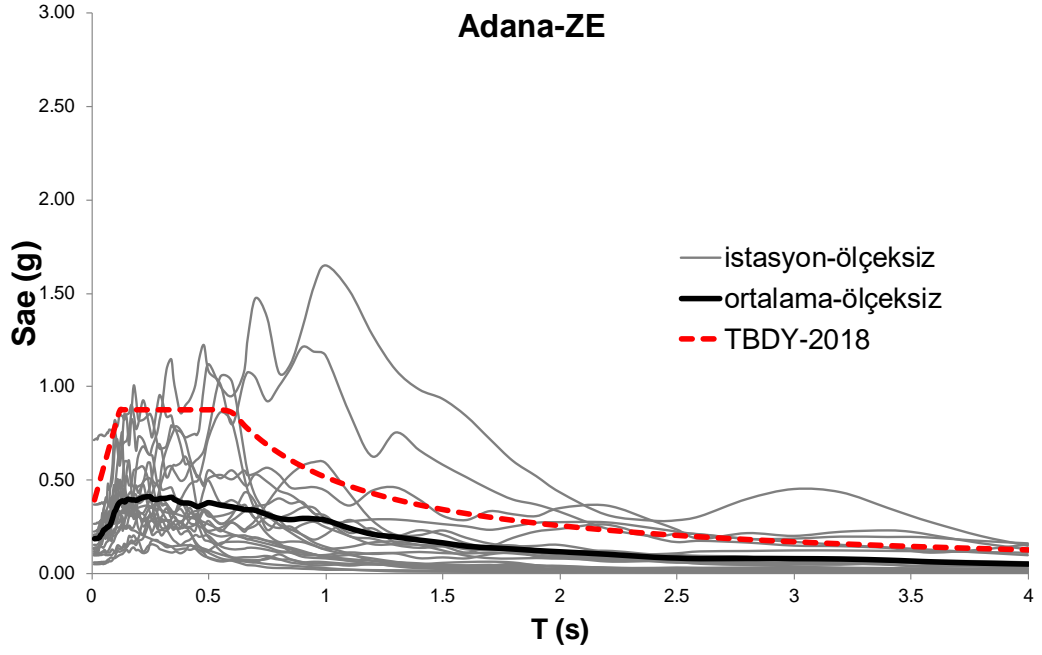
Şekil B.19: Kocaeli lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBDY-2018) grafiği



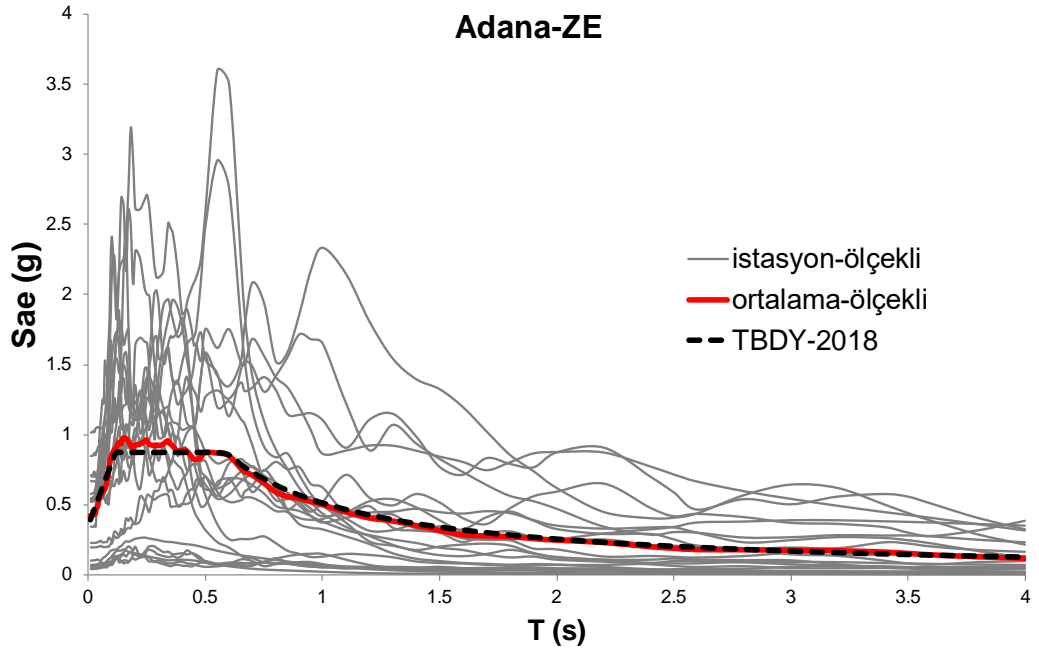
Şekil B.20: Kocaeli lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TBODY-2018) grafiği



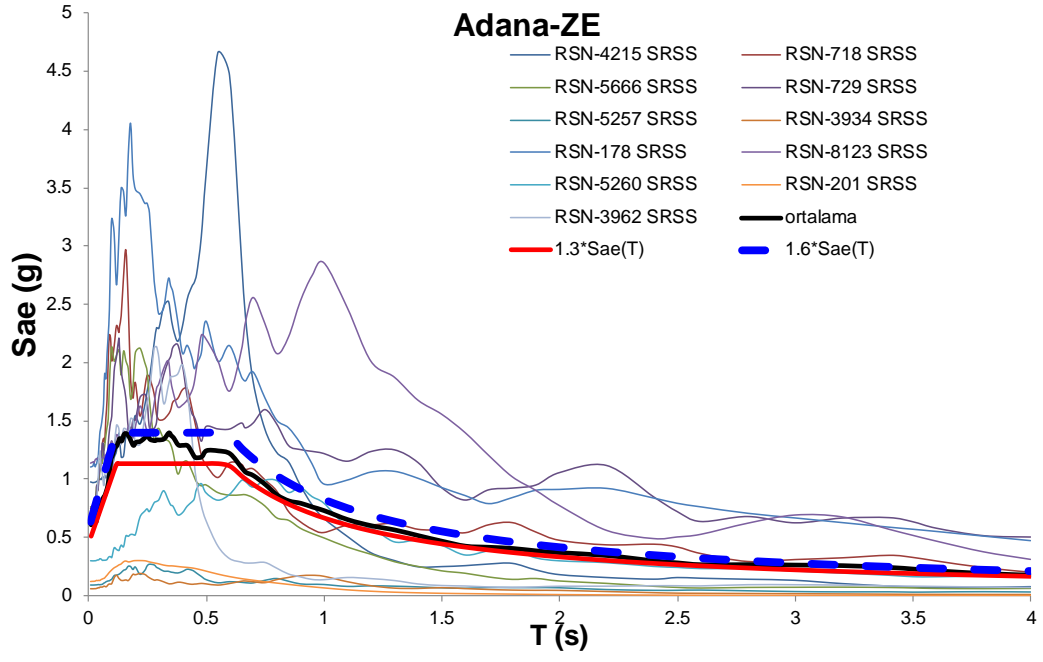
Şekil B.21: Kocaeli lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği



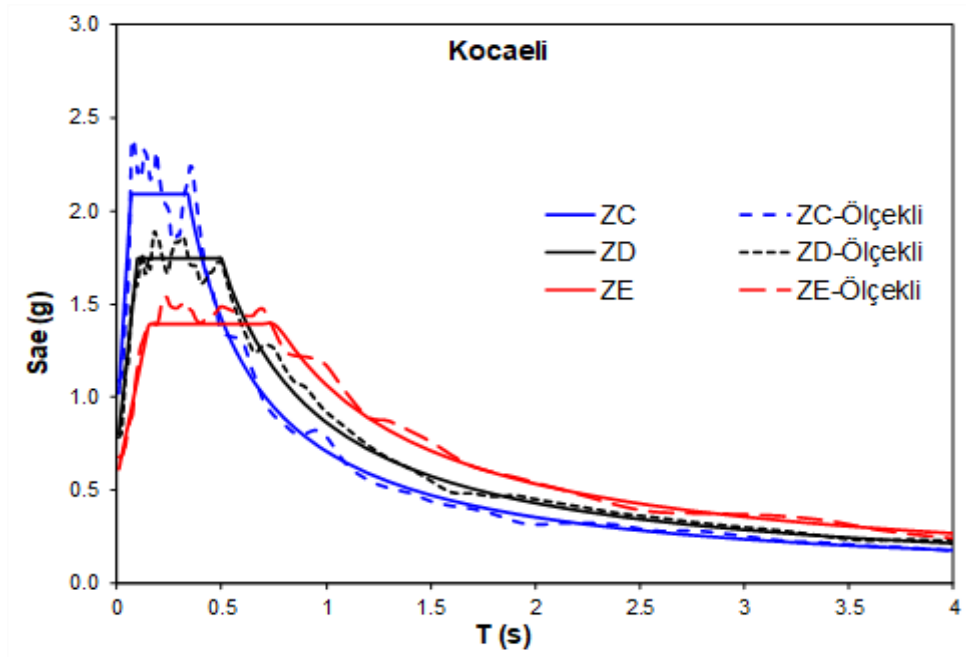
Şekil B.22: Adana lokasyonu için ölçeksiz 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TB DY-2018) grafiği



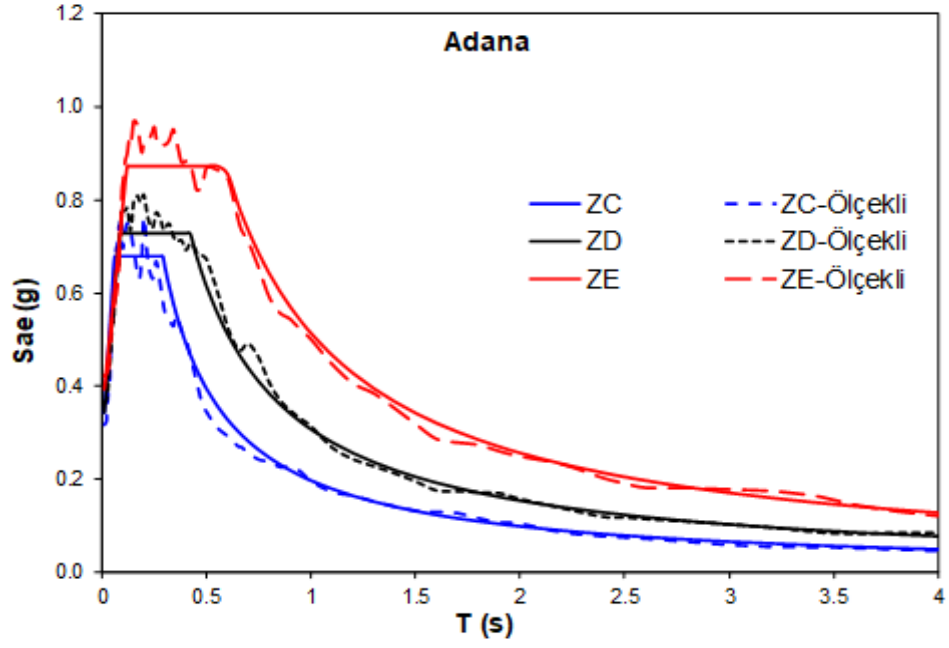
Şekil B.23: Adana lokasyonu için ölçekli 22 deprem ivme kaydına ait ivme spektrumları, spektrumların ortalaması ve ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum (TB DY-2018) grafiği



Şekil B.24: Adana lokasyonuna ait 11 ivme kaydı takımına ait bileşke spektrumların ortalaması, 1.3 ve 1.6 katsayısı ile çarpılan ZE zemin sınıfına ait yatay tasarım spektrum grafiği

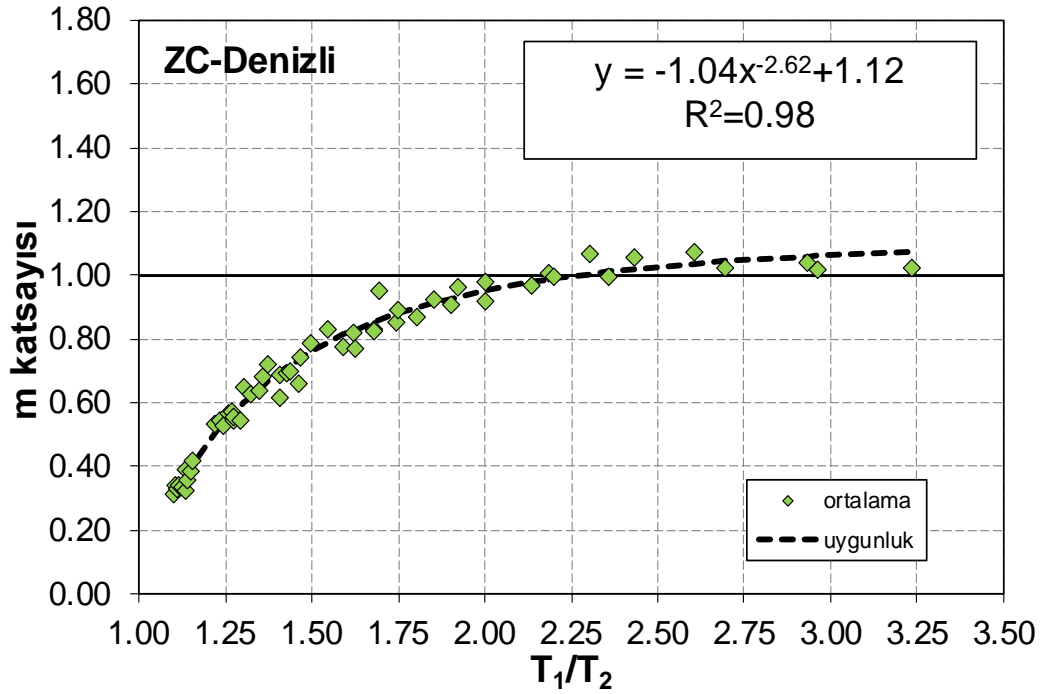


Şekil B.25: Kocaeli lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu

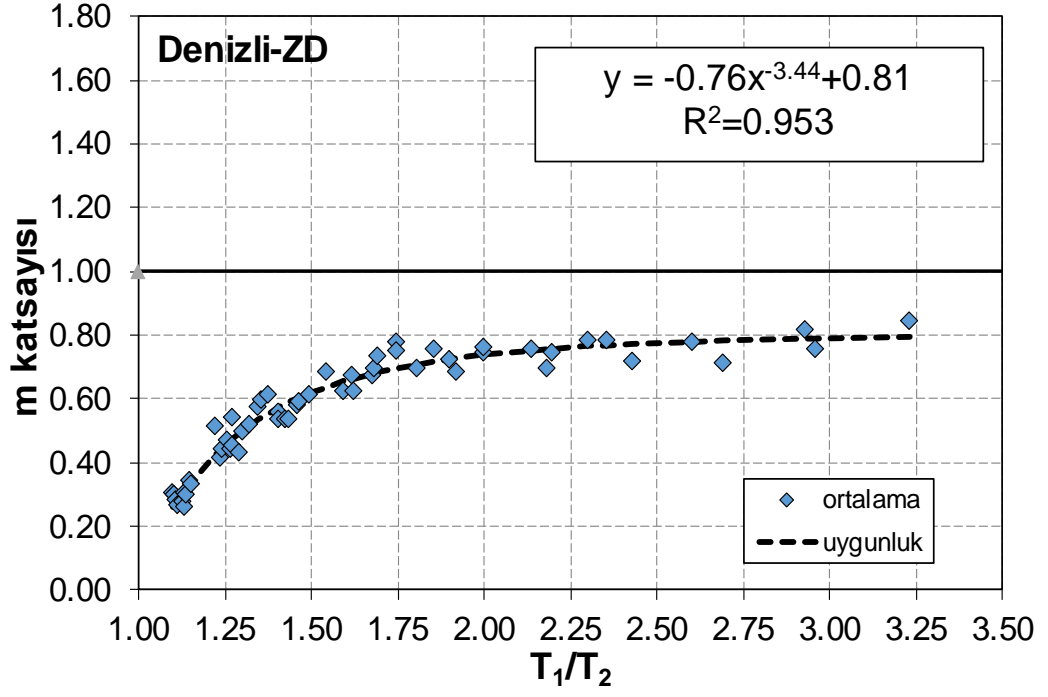


Şekil C.1: Adana lokasyonu için farklı zemin tiplerine ait ölçekli hedef spektrumu

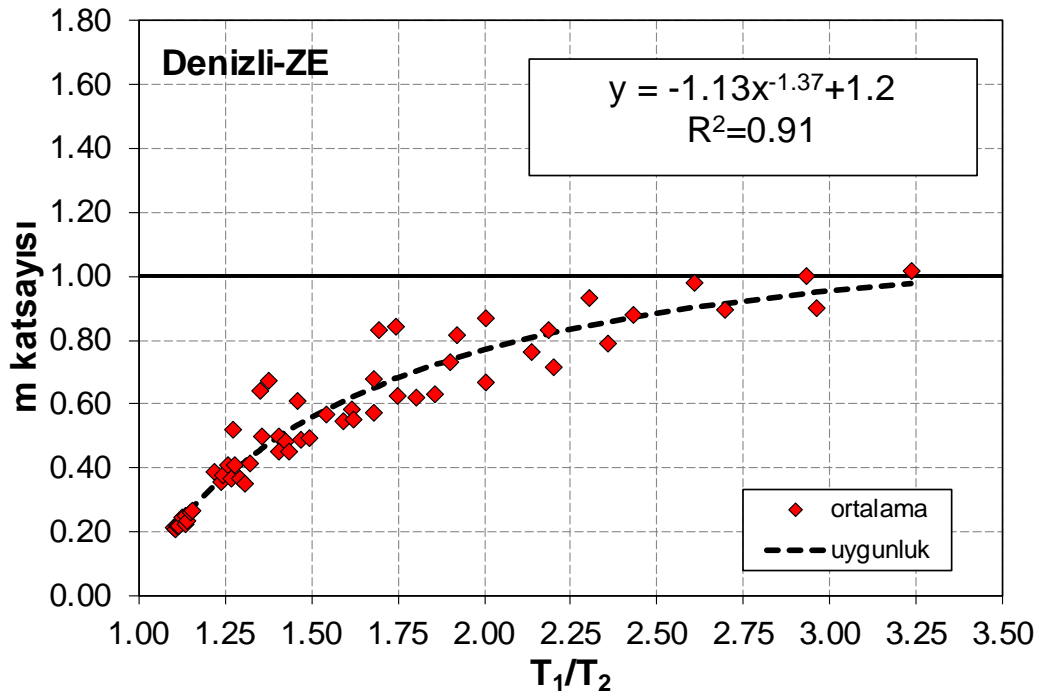
EK C. m katsayıları ve Bina Periyotları Arasındaki İlişki



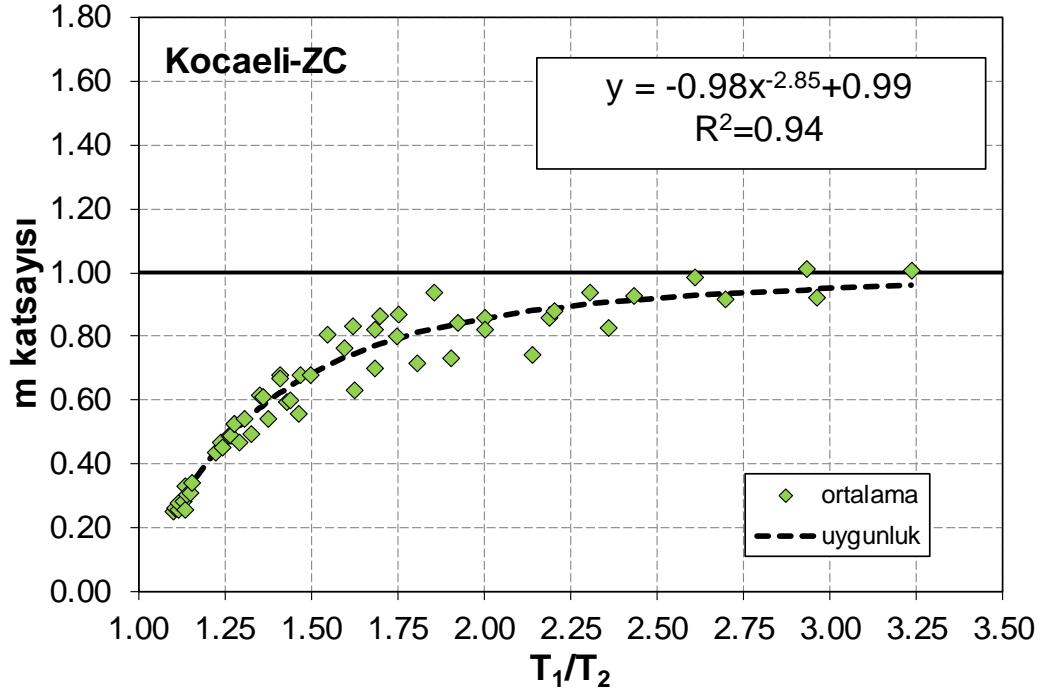
Şekil C.2: Denizli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)



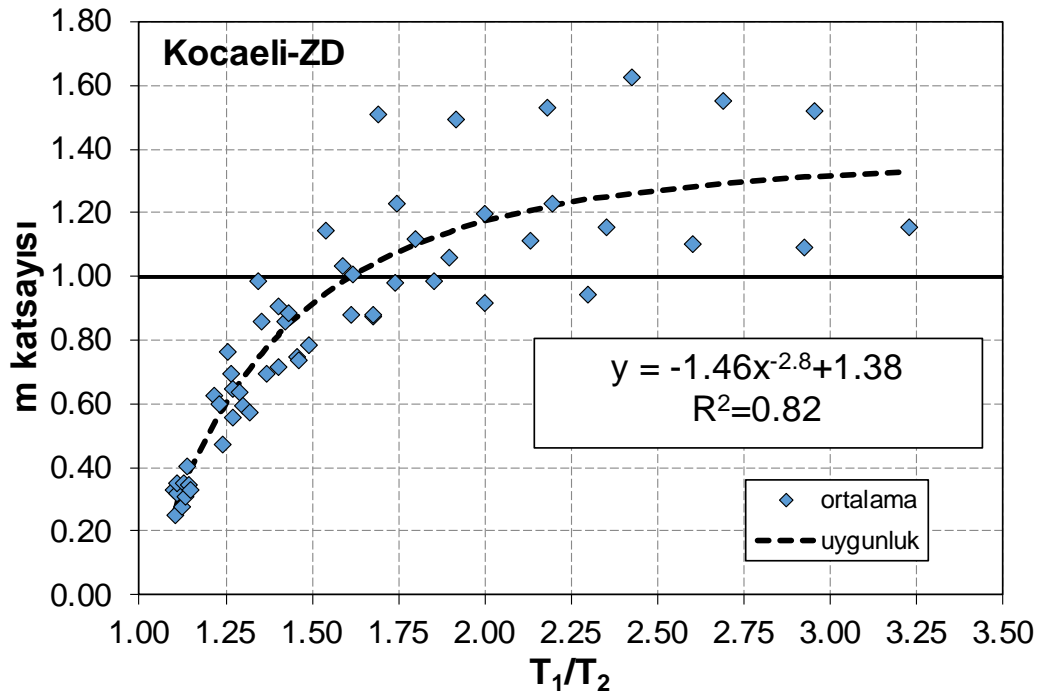
Şekil C.3: Denizli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)



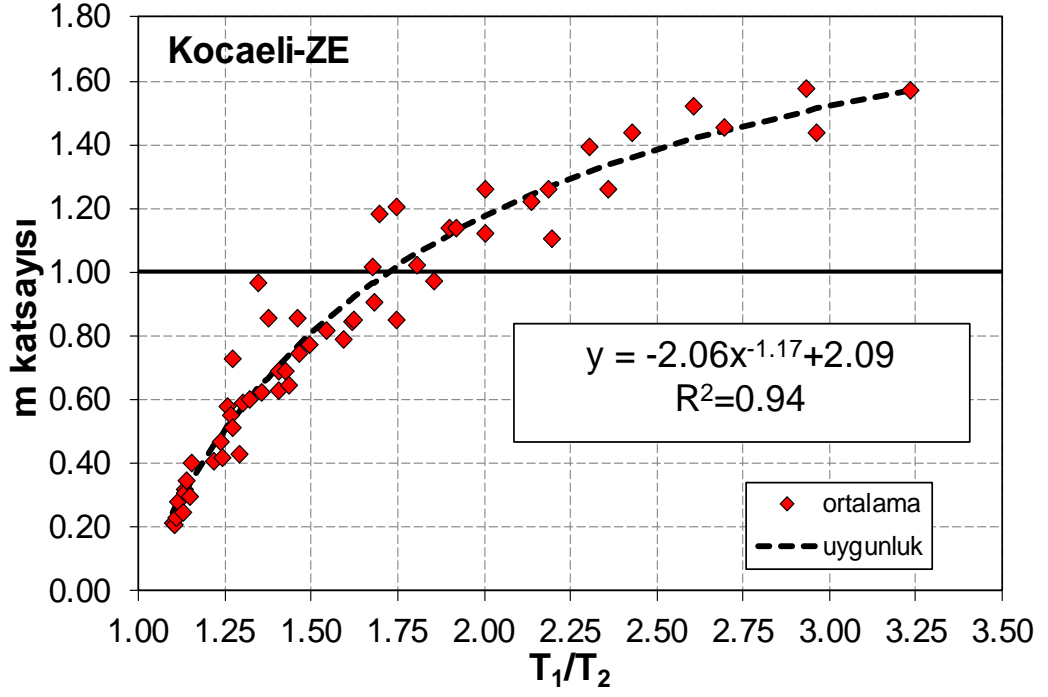
Şekil C.4: Denizli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki (Kamal 2022b)



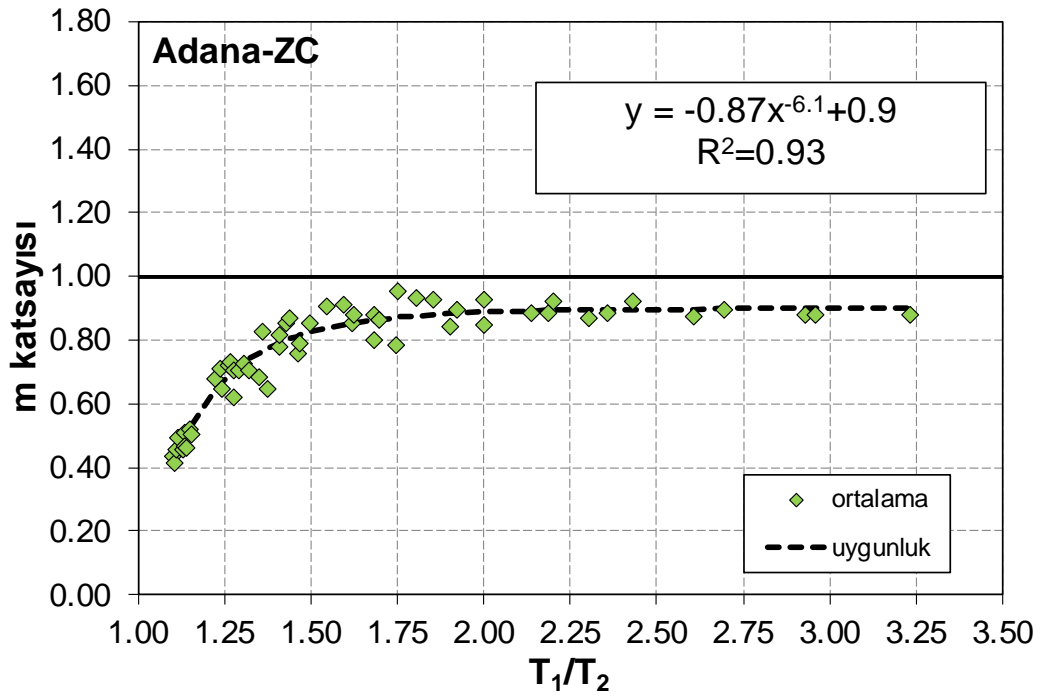
Şekil C.5: Kocaeli lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki



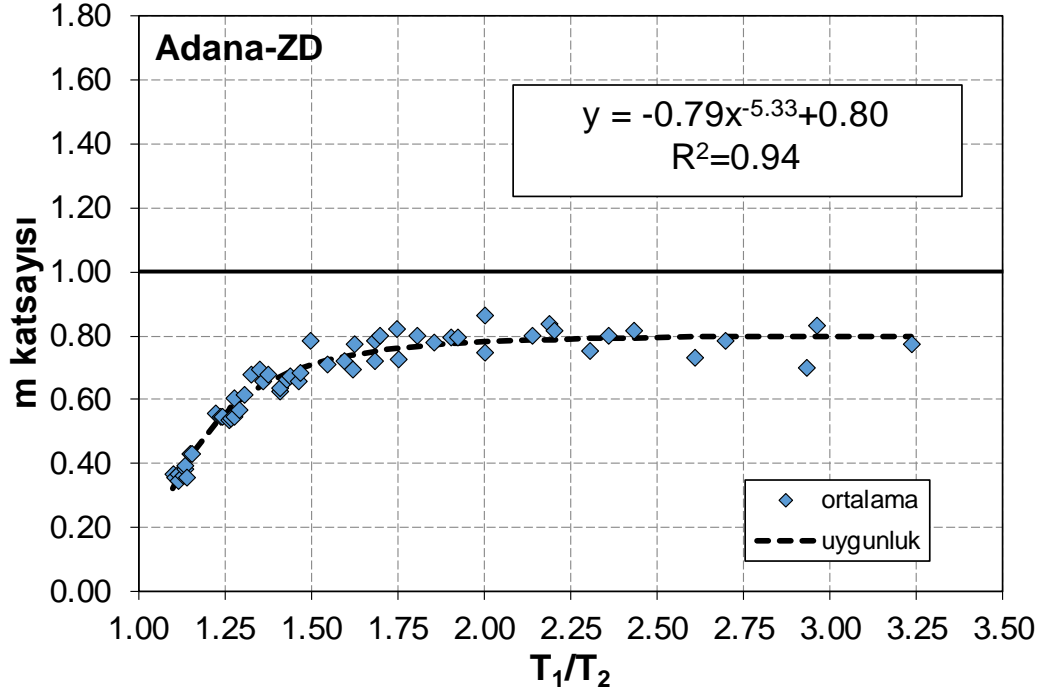
Şekil C.6: Kocaeli lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki



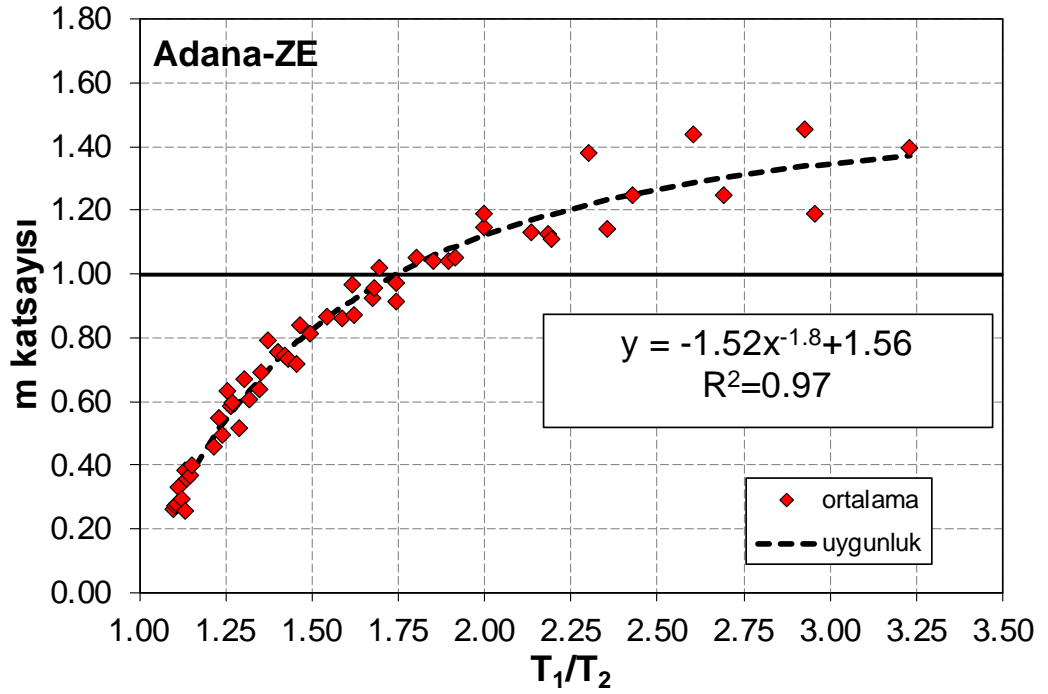
Şekil C.7: Kocaeli lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki



Şekil C.8: Adana lokasyonu ZC zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki



Şekil C.9: Adana lokasyonu ZD zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki



Şekil C.10: Adana lokasyonu ZE zemin sınıfı için T_1/T_2 oranı ve m katsayısı arasındaki ilişki