

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

**FARKLI İVME KAYDI SEÇİM STRATEJİLERİNİN ZAMAN  
TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İLE  
ELDE EDİLEN ÖTELENME TALEPLERİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2020**

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



**FARKLI İVME KAYDI SEÇİM STRATEJİLERİNİN ZAMAN  
TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İLE  
ELDE EDİLEN ÖTELENME TALEPLERİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2020**

**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.**



Ahmet DEMİR

## ÖZET

### FARKLI İVME KAYDI SEÇİM STRATEJİLERİNİN ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İLE ELDE EDİLEN ÖTELENME TALEPLERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ  
AHMET DEMİR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ALİ HAYDAR KAYHAN)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2020

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, deprem etkisindeki yapıların davranışını incelemek amacıyla kullanılabilir en etkin analiz yöntemidir. Deprem yer hareketi etkisindeki yapıların zaman tanım alanında analizleri için hem yapısal modellerin hazırlanması hem de yer hareketinin temsil edilmesi gerekmektedir. Analizde kullanılacak yer hareketi kaydı ise analiz sonuçlarını ve bunlara bağlı olarak yapılacak tasarım ya da performans değerlendirmesini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden, bir yapının bulunduğu bölgenin depremselliği ve yapının üzerinde bulunduğu yerel zemin koşulları ile uyumlu olacak şekilde yer hareketi kayıtlarının seçilmesi, olası bir depremde o yapının göstereceği tepkiyi daha az hata ile tahmin edebilmek için gereklidir.

Bu çalışmada, farklı ivme kaydı seçim stratejilerinin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilecek yapısal tepkilerin merkezi eğilimi ve saçılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı periyot ve yatay dayanım oranına sahip 36 farklı tek serbestlik dereceli (TSD) sistem ile farklı kat sayılarına sahip 6 betonarme binanın analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ele alınan ivme kaydı seçim stratejileri, hem ivme kaydı setine ait ortalama spektrumun hem de sette yer alan kayıtlara ait bireysel spektrumların, ilgili hedef spektrum ile uyumunu farklı düzeylerde ele almaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan ivme kaydı seçim koşulları ile yatay elastik tasarım spektrumu, seçim stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla dikkate alınmıştır. Hedef spektrum olarak ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları ile uyumlu yatay elastik tasarım spektrumları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Analizler ile TSD sistemlerde maksimum ötelenme talepleri ve betonarme binalarda maksimum ötelenme oranı ile maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri her bir strateji için ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu, taleplerin ortalaması ve saçılımı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle ivme kaydı setlerindeki kayıtların spektrumlarına ait spektral saçılımlar ile ivme kayıtlarından elde edilen taleplerin saçılımları karşılaştırılmıştır. Ayrıca ötelenme talepleri dikkate alınarak tek yönlü varyans analizi ve örnekleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Ek olarak her bir strateji için medyan ötelenme talepleri ile ortalama ötelenme talepleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak TSD sistem ve betonarme binalar için ötelenme taleplerine ait hasar görülebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** İvme Kaydı Seçimi, Tek Serbestlik Dereceli Sistemler, Betonarme Binalar, Doğrusal Olmayan Analiz, İstatistiksel Değerlendirme



## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF DIFFERENT GROUND MOTION RECORD SELECTION STRATEGIES ON THE DISPLACEMENT DEMANDS OBTAINED BY NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS**

**PH.D THESIS**

**AHMET DEMIR**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. ALI HAYDAR KAYHAN)**

**DENİZLİ, JUNE 2020**

Nonlinear time history analysis is the most effective analysis method that can be used to investigate the behavior of structures under earthquake motions. Structures which are under the nonlinear time history analysis, structural models should be prepared and appropriate ground motion record sets should be represented. Ground motion records used for time history analysis directly affect the response parameters that would be considered for seismic design or evaluation of structures. Thus, selection of ground motion records based on the seismicity of the region and the local soil conditions that a structure located is important for accurate estimation of the seismic behavior of that structure in a possible earthquake.

In this study, the effect of the different ground motion record selection strategies on the central tendency and scattering of structural responses to obtained from nonlinear time history analysis was investigated. For this purpose, nonlinear time history analyzes of 36 different single degree of freedom systems (SDOF) with different period and lateral strength ratio and 6 different 3D reinforced concrete (RC) buildings with different floor was carried out. Ground motion record selection strategies used in the study are including both the compliance of the average spectra with the target spectrum and the compliance of each individual ground motion record with the target spectrum. ZB, ZC and ZD local soil classes were taken into consideration for analyses. Four different ground motion record sets for each strategy, SDOF systems and RC buildings were used.

Maximum displacement demands for SDOF systems and maximum displacement and interstory drift ratio demands for RC buildings were obtained separately for each strategy. Then mean of the demands and the scattering of the demands around the mean were statistically evaluated for each strategy. The first of the statistical evaluation, the spectral scattering obtained from the ground motion record sets was compared with the scattering of the displacement demands obtained from these sets. In addition, one-way analysis of variance and sampling distribution were carried out considering the displacement demands. Then, median displacement demands for each strategy and ground motion record sets were obtained and compared with mean displacement demands. Finally, the fragility curves of the displacement demands for TSD systems and RC buildings were obtained.

**KEYWORDS: Ground Motion Record Selection, Single Degree of Freedom Systems, Reinforced Concrete Buildings, Nonlinear Analysis, Statistical Evaluation**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemin Tanımı .....	2
1.2 Tezin Amacı .....	4
1.3 Literatür Çalışmaları.....	5
1.4 Kapsam ve Yöntem .....	13
1.5 Tezin Organizasyonu.....	15
<b>2. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ ...</b>	<b>17</b>
2.1 Yapısal Analiz Yöntemleri .....	17
2.1.1 Doğrusal Statik Analiz.....	18
2.1.2 Doğrusal Dinamik Analiz .....	18
2.1.3 Doğrusal Olmayan Statik Analiz .....	19
2.1.4 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz .....	20
2.2 Doğrusal Olmayan Davranış .....	20
2.2.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri.....	22
2.2.2 Donatı Çeliği Modeli .....	24
2.3 Doğrusal Olmayan Modelleme .....	25
2.3.1 Plastik Mafsal .....	26
2.3.2 Eğriliğin İdealleştirilmesi .....	27
2.4 TBDY’de Doğrusal Olmayan Modelleme.....	28
2.4.1 Yapı Elemanlarında Kesit Hasar Bölgeleri ve Hasar Sınırları ....	28
2.4.2 Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	29
2.4.3 Betonarme Elemanların Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri.....	30
2.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz.....	31
2.5.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler.....	32
2.5.2 Düzlem Çerçevesel .....	34
2.5.3 Üç Boyutlu (Uzay) Çerçevesel .....	36
<b>3. ANALİZ İÇİN KULLANILACAK MODELLER</b> .....	<b>38</b>
3.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler .....	38
3.2 Betonarme Bina Modelleri ve Tasarım Bilgileri.....	39
3.3 Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Analiz Modelleri.....	43
<b>4. ANALİZLER İÇİN KULLANILAN İVME SETLERİ</b> .....	<b>51</b>
4.1 TBDY Tasarım İvme Spektrumları .....	51
4.2 Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı ve İvme Kaydı Kataloğu.....	55
4.3 TBDY İle Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Koşulları .....	60
4.4 İvme Kaydı Seçim Stratejileri .....	60
4.5 İvme Kaydı Seçim Probleminin Formülasyonu .....	62
4.6 Armoni Araştırması Optimizasyon Algoritması .....	65
4.6.1 Problemin Tanımı ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması.....	66

4.6.2	Armoni Belleğinin Oluşturulması.....	66
4.6.3	Yeni Armoni Vektörünün Oluşturulması .....	67
4.6.4	Armoni Belleğinin Güncellenmesi .....	68
4.6.5	Durma Koşulunun Kontrolü .....	68
4.7	Çalışmada Kullanılan İvme Setleri.....	69
4.7.1	İvme Kaydı Setleri .....	70
4.7.2	İvme Kaydı Takımı Setleri .....	74
4.8	Ortalama ve Bireysel Spektrumların Hedef Spektrumlarla Uyumunun Değerlendirilmesi .....	79
4.9	İvme Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı .....	87
4.9.1	İvme Kaydı Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı .....	88
4.9.2	İvme Takımı Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı .....	96
<b>5.</b>	<b>ANALİZ SONUÇLARI .....</b>	<b>104</b>
5.1	TSD Sistemlerin Analiz Sonuçları .....	104
5.1.1	Maksimum Ötelenme Taleplerinin Ortalaması.....	104
5.1.1	Maksimum Ötelenme Taleplerinin Saçılımı.....	108
5.2	Betonarme Binaların Analiz Sonuçları.....	115
5.2.1	Maksimum Ötelenme Oranı Taleplerinin Ortalaması .....	115
5.2.2	Maksimum Ötelenme Oranı Taleplerinin Saçılımı.....	119
5.2.3	Maksimum Göreli Kat Ötelenmesi Oranı Taleplerinin Ortalaması.....	123
5.2.4	Maksimum Göreli Kat Ötelenmesi Oranı Taleplerinin Saçılımı .....	129
<b>6.</b>	<b>ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>135</b>
6.1	Giriş .....	135
6.2	Spektral Değerlerin Saçılımı ile Ötelenme Taleplerinin Saçılımının İlişkisi.....	136
6.3	Varyans Analizi (ANOVA).....	141
6.4	Ortalama ve Medyan Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması.....	146
6.5	Ötelenme Taleplerinin Ortalaması için Güven Aralığı .....	149
6.5.1	TSD Sistemler İçin Ortalamanın Güven Aralığı.....	151
6.5.2	Betonarme Binalar İçin Ortalamanın Güven Aralığı.....	152
6.6	Ötelenme Talepleri İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri .....	155
6.6.1	Normal ve lognormal dağılım fonksiyonları .....	158
6.6.2	Hasar Görebilirlik Eğrileri .....	160
6.6.2.1	Maksimum ötelenme talepleri için hasar görebilirlik eğrileri .....	161
6.6.2.2	Maksimum ötelenme oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri .....	165
6.6.2.3	Maksimum göreli kat ötelenmesi oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri .....	169
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>174</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>182</b>
<b>9.</b>	<b>EKLER.....</b>	<b>191</b>
9.1	EK A.....	191
9.2	EK B .....	192
<b>10.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>200</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Tipik bir kapasite eğrisi .....	19
Şekil 2.2: İdealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkileri .....	22
Şekil 2.3: TBDY’de beton için önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi.....	22
Şekil 2.4: Donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi .....	24
Şekil 2.5: Sürekli kirişte plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsallık kabulü .....	26
Şekil 2.6: Betonarme bir konsolun eğrilik diyagramının idealleştirilmesi .....	27
Şekil 2.7: TBDY’ye göre kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri .....	29
Şekil 2.8: Kolon ve kirişlere atanan plastik mafsalların yeri .....	30
Şekil 2.9: TSD sistemin matematiksel modeli .....	33
Şekil 2.10: Üç serbestlik dereceli kayma çerçevesi .....	35
Şekil 2.11: Tek katlı üç boyutlu çerçeve.....	36
Şekil 3.1: Elastik-Mükemmel Plastik çevrimsel model .....	39
Şekil 3.2: Betonarme binaların tipik kalıp planı .....	40
Şekil 3.3: 5 katlı binanın üç boyutlu analiz modeli.....	40
Şekil 3.4: Kirişlerin üzerindeki duvar yerleşiminin tipik gösterimi.....	41
Şekil 3.5: Betonarme binalarda tipik kolon donatı düzenleri.....	42
Şekil 3.6: 7 katlı betonarme binanın üç boyutlu analiz modeli.....	43
Şekil 3.7: 3 katlı bina kolonu Tip1 kesitinin X-TRACT görüntüsü.....	44
Şekil 3.8: Sargılı ve sargısız beton modellerinin programa tanıtılması .....	44
Şekil 3.9: Çelik modelinin programa tanıtılması .....	45
Şekil 3.10: Tip1 kolonu için farklı derecedeki açılara ait $P-M_3$ diyagramı .....	45
Şekil 3.11: Tip1 kolonu için farklı derecedeki açılara ait $P-M_2$ diyagramı .....	46
Şekil 3.12: Tip1 kolonuna ait $P-M_2-M_3$ diyagramının tanıtılması ( $0^\circ$ ) .....	46
Şekil 3.13: Tip1 kolonuna ait $P-M_2-M_3$ diyagramının tanıtılması ( $90^\circ$ ) .....	47
Şekil 3.14: Kiriş eğilme ( $M_3$ ) mafsallığının tanımlanması.....	48
Şekil 3.15: Betonarme binalara ait kapasite eğrileri .....	49
Şekil 3.16: Betonarme binalara ait kapasite eğrilerinin birimsiz hali .....	49
Şekil 4.1: DD-1 deprem düzeyi için maksimum yer ivmesi değerleri ( $g$ ) .....	52
Şekil 4.2: DD-2 deprem düzeyi için maksimum yer ivmesi değerleri ( $g$ ) .....	52
Şekil 4.3: DD-2 deprem düzeyi için $S_S$ değerleri .....	54
Şekil 4.4: DD-2 deprem düzeyi için $S_I$ değerleri .....	55
Şekil 4.5: Çalışmada dikkate alınan yatay elastik tasarım spektrumları .....	55
Şekil 4.6: ZB zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $M_w-R$ grafiği .....	57
Şekil 4.7: ZC zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $M_w-R$ grafiği .....	58
Şekil 4.8: ZD zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $M_w-R$ grafiği .....	58
Şekil 4.9: ZB zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $PGA-M_w$ ilişkisi.....	59
Şekil 4.10: ZC zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $PGA-M_w$ ilişkisi.....	59
Şekil 4.11: ZD zemin sınıfına ait ivme kataloğu için $PGA-M_w$ ilişkisi.....	59
Şekil 4.12: Stratejiler için ivme spektrumlarına ait alt ve üst limitler .....	61
Şekil 4.13: Spektral uyum probleminin grafiksel gösterimi .....	63
Şekil 4.14: Armoni araştırması optimizasyon algoritmasının akış şeması .....	69
Şekil 4.15: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=0.6s$ , ZB, ST1).....	72
Şekil 4.16: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=0.6s$ , ZB, ST2).....	72
Şekil 4.17: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3a).....	72
Şekil 4.18: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3b).....	73

Şekil 4.19: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3c).....	73
Şekil 4.20: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4a).....	73
Şekil 4.21: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4b) .....	74
Şekil 4.22: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4c).....	74
Şekil 4.23: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (5 katlı, ZB, ST1) .....	77
Şekil 4.24: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (5 katlı, ZB, ST2) .....	77
Şekil 4.25: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3a) .....	77
Şekil 4.26: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3b) .....	78
Şekil 4.27: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3c) .....	78
Şekil 4.28: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4a) .....	78
Şekil 4.29: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4b) .....	79
Şekil 4.30: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4c). .....	79
Şekil 4.31: $T=1.2s$ için ivme kaydı setlerine ait $\delta$ , $MSE$ ve $MRE$ (ZC) .....	83
Şekil 4.32: TSD sistemler için stratejilere ait $\mu_{\delta}$ , $\mu_{MSE}$ ve $\mu_{MRE}$ değerleri.....	85
Şekil 4.33: Binalar için stratejilere ait $\mu_{\delta}$ , $\mu_{MSE}$ ve $\mu_{MRE}$ değerleri.....	86
Şekil 4.34: $T=0.6s$ için ivme kaydı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZB).....	89
Şekil 4.35: $T=1.0s$ için ivme kaydı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZC).....	91
Şekil 4.36: $T=1.6s$ için ivme kaydı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZD).....	92
Şekil 4.37: Stratejiler için farklı periyotlara ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZB) .....	94
Şekil 4.38: Tüm stratejiler için $1.0T$ değerine ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZB) .....	95
Şekil 4.39: Tüm stratejiler için $1.0T$ ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZC) .....	95
Şekil 4.40: Tüm stratejiler için $1.0T$ ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZD).....	96
Şekil 4.41: 3 katlı bina için ivme takımı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZB) .....	97
Şekil 4.42: 6 katlı bina için ivme takımı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZC) .....	98
Şekil 4.43: 9 katlı bina için ivme takımı setlerine ait $CoV(S_a)$ değerleri (ZD).....	99
Şekil 4.44: Tüm stratejiler için tüm binalara ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZB) .....	101
Şekil 4.45: Binalar için $1.0T$ değerine ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZB) .....	102
Şekil 4.46: Binalar için $1.0T$ değerine ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZC) .....	102
Şekil 4.47: Binalar için $1.0T$ değerine ait $\mu_{CoV(S_a)}$ değerleri (ZD).....	103
Şekil 5.1: İvme kaydı setleri için $m_{(\Delta)}$ talepleri ( $T=0.6s$ , $F_y/W=0.19$ , ZB) .....	105
Şekil 5.2: $T=0.6s$ olan TSD sistemler için ivme kaydı setlerine ait $m_{(\Delta)}$ talepleri (ZB) .....	106
Şekil 5.3: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{m(\Delta)}$ talepleri (ZB) .....	107
Şekil 5.4: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{m(\Delta)}$ talepleri (ZC) .....	108
Şekil 5.5: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{m(\Delta)}$ talepleri (ZD).....	109
Şekil 5.6: İvme kaydı setlerine ait $CoV_{(\Delta)}$ değerleri ( $T=0.6s$ , ZB) .....	110
Şekil 5.7: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{CoV_{(\Delta)}}$ değerleri (ZB) .....	111
Şekil 5.8: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{CoV_{(\Delta)}}$ değerleri (ZC) .....	113
Şekil 5.9: TSD sistemler ve stratejiler için $\mu_{CoV_{(\Delta)}}$ değerleri (ZD).....	114
Şekil 5.10: Üç katlı betonarme bina için $m_{(\Delta H)}$ talepleri (ZB) .....	116
Şekil 5.11: Tüm binalar için elde edilen $m_{(\Delta H)}$ talepleri (ZB) .....	117
Şekil 5.12: Betonarme binalar için $\mu_{m(\Delta H)}$ talepleri (ZB).....	118
Şekil 5.13: Betonarme binalar için $\mu_{m(\Delta H)}$ talepleri (ZC).....	118
Şekil 5.14: Betonarme binalar için $\mu_{m(\Delta H)}$ talepleri (ZD) .....	119
Şekil 5.15: Üç katlı bina için $CoV_{(\Delta H)}$ değerleri (ZB).....	120

Şekil 5.16: Betonarme binalar için $CoV_{(\Delta H)}$ değerleri (ZB).....	121
Şekil 5.17: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\Delta H)}$ değerleri (ZB).....	122
Şekil 5.18: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\Delta H)}$ değerleri (ZC).....	122
Şekil 5.19: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\Delta H)}$ değerleri (ZD) .....	123
Şekil 5.20: Üç katlı bina için $m_{(\delta h)}$ değerleri (ZB).....	124
Şekil 5.21: Tüm binalar için $\mu_{m(\delta h)}$ değerleri (ZB).....	126
Şekil 5.22: Tüm binalar için $\mu_{m(\delta h)}$ değerleri (ZC) .....	127
Şekil 5.23: Tüm binalar için $\mu_{m(\delta h)}$ değerleri (ZD) .....	128
Şekil 5.24: Üç katlı bina için $CoV_{(\delta h)}$ değerleri (ZB) .....	130
Şekil 5.25: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\delta h)}$ değerleri (ZB).....	131
Şekil 5.26: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\delta h)}$ değerleri (ZC).....	133
Şekil 5.27: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\delta h)}$ değerleri (ZD) .....	134
Şekil 6.1: TSD sistemler için $\mu_{CoV(\Delta)}$ ile $\mu_{CoV(Sa)}$ değerlerinin ilişkisi (ZB).....	137
Şekil 6.2: TSD sistemler için $\mu_{CoV(\Delta)}$ ile $\mu_{CoV(Sa)}$ değerlerinin ilişkisi (ZC).....	138
Şekil 6.3: TSD sistemler için $\mu_{CoV(\Delta)}$ ile $\mu_{CoV(Sa)}$ değerlerinin ilişkisi (ZD) ....	139
Şekil 6.4: Betonarme binalar için $\mu_{CoV(\Delta H)}$ ile $\mu_{CoV(Sa)}$ değerlerinin ilişkisi ....	140
Şekil 6.5: TSD sistemler için varyans analizi sonuçları.....	144
Şekil 6.6: Betonarme binalar için varyans analizi sonuçları .....	145
Şekil 6.7: TSD sistemlerde $F_y/W=0.10$ için $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$ oranı.....	147
Şekil 6.8: TSD sistemlerde $F_y/W=0.25$ için $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$ oranı.....	148
Şekil 6.9: Betonarme binalar için $\mu_{m(\Delta H)}/\theta_{(\Delta H)}$ oranı .....	149
Şekil 6.10: TSD sistemler için ötelenme taleplerine ait güven aralığı örnekleri (ZB).....	151
Şekil 6.11: Betonarme binalar için ötelenme oranı taleplerine ait güven aralığı örnekleri .....	154
Şekil 6.12: 3 katlı binada sınır değerlerin aşılma oranları (ZC, ST3c) .....	158
Şekil 6.13: Olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrisi.....	159
Şekil 6.14: TSD sistemlerde $T=0.6s$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZB).....	162
Şekil 6.15: TSD sistemlerde $T=1.6s$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZB).....	163
Şekil 6.16: TSD sistemlerde $T=0.6s$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZD).....	164
Şekil 6.17: TSD sistemlerde $T=1.6s$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZD).....	165
Şekil 6.18: $\Delta_{mak}/H$ için hasar görebilirlik eğrileri (3 katlı bina).....	166
Şekil 6.19: $\Delta_{mak}/H$ için hasar görebilirlik eğrileri (7 katlı bina).....	167
Şekil 6.20: $\Delta_{mak}/H$ için hasar görebilirlik eğrileri (12 katlı bina).....	168
Şekil 6.21: 3, 5 ve 6 katlı binalarda $\delta_{mak}/h$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZB) .....	170
Şekil 6.22: 7, 9 ve 12 katlı binalarda $\delta_{mak}/h$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZB) .....	171
Şekil 6.23: 3, 5 ve 6 katlı binalarda $\delta_{mak}/h$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZD).....	172
Şekil 6.24: 7, 9 ve 12 katlı binalarda $\delta_{mak}/h$ için hasar görebilirlik eğrileri (ZD).....	173

# TABLO LİSTESİ

## Sayfa

Tablo 2.1: Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.....	18
Tablo 2.2: Kesit hasar bölgeleri için şekil değiştirmelerin üst sınırı.....	30
Tablo 2.3: Kesit hasar bölgeleri için plastik dönmelerin üst sınırı .....	30
Tablo 3.1: Tasarım sonucu belirlenen kolon boyuna donatı düzeni tipleri.....	42
Tablo 3.2: Betonarme binaların modal analiz bilgileri .....	48
Tablo 4.1: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ( $F_S$ ) .....	53
Tablo 4.2: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları ( $F_I$ ).....	53
Tablo 4.3: TBDY'ye göre yerel zemin sınıfı tanımları.....	56
Tablo 4.4: Çalışmada kullanılan ivme kaydı takımlarının sayısı.....	57
Tablo 4.5: İvme seçimi stratejileri için dikkate alınan spektral uyum .....	62
Tablo 4.6: TSD sistem için örnek ivme kaydı setleri ( $T=0.6s$ , Zemin ZB) .....	70
Tablo 4.7: 5 katlı bina için örnek ivme kaydı takımı setleri (Zemin ZB) .....	75
Tablo 4.8: $T=1.2s$ için ZC ile uyumlu ivme kaydı setlerine ait $\delta$ değerleri (ST1, ST2).....	81
Tablo 6.1: Tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi tablosu.....	143
Tablo 6.2: Tek yönlü varyans analizi parametreleri.....	143
Tablo 6.3: $T=0.6s$ olan TSD sistem için ötelenme taleplerine ait güven aralıkları (İlk kısım) .....	152
Tablo 6.4: $T=0.6s$ olan TSD sistem için ötelenme taleplerine ait güven aralıkları (İkinci kısım).....	153
Tablo 6.5: Betonarme binalarda ötelenme oranı taleplerine ait güven aralıkları (İlk kısım) .....	154
Tablo 6.6: Betonarme binalarda ötelenme oranı taleplerine ait güven aralıkları (İkinci kısım).....	155
Tablo 6.7: 3 Katlı binada sınır seviyelerinin aşılmama oranları (ZC Zemin, ST3c) .....	157
Tablo 6.8: Örnek TSD sistemler için ötelenme taleplerinin dağılım parametreleri.....	161
Ek A1: Varyans analizi $F$ tablosu .....	191
Ek B1: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZB) .....	192
Ek B2: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZB) .....	193
Ek B3: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZC) .....	194
Ek B4: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZC) .....	195
Ek B5: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZD).....	196
Ek B6: TSD sistemlerde $\Delta_{mak}$ için lognormal dağılım parametreleri (ZD).....	197
Ek B7: 3B binalarda $\Delta_{mak}/H$ ve $\delta_{mak}/h$ için lognormal dağılım parametreleri.....	198
Ek B8: 3B binalarda $\Delta_{mak}/H$ ve $\delta_{mak}/h$ için lognormal dağılım parametreleri.....	199

## SEMBOL LİSTESİ

$a_i$	: Bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$\alpha_{se}$	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
$A$	: Güven aralığının alt sınırı
$A_{sh}$	: Göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alansal oranı
$A_s$	: Boyuna donatı alanı
$b_o$	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
$b_k$	: Dik doğrultudaki çekirdek boyutu
$b_w$	: Ton ayarlama için seçilen bant genişliği
$B_{ALT}$	: 1.0T periyot değerinde veya ilgili periyot aralığında bireysel spektrumun hedef spektruma oranının alt sınırı
$B_{ÜST}$	: 1.0T periyot değerinde veya ilgili periyot aralığında bireysel spektrumun hedef spektruma oranının üst sınırı
$c$	: Sönüm katsayısı
$C_{cr}$	: Kritik sönüm katsayısı
$CoV$	: Varyasyon katsayısı
$CoV(Sa)$	: Herhangi bir periyot değerinde sete ait spektral ivme değerlerinin set için hesaplanan varyasyon katsayısı
$CoV(\Delta)$	: Maksimum yatay ötelenme taleplerinin set için hesaplanan varyasyon katsayısı
$CoV(\Delta/H)$	: Maksimum yatay ötelenme oranı taleplerinin set için hesaplanan varyasyon katsayısı
$CoV(\delta_h)$	: Maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerinin set için hesaplanan varyasyon katsayısı
$(c_u)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı
$d_{bl}$	: Boyuna donatı çapı
$D_{rms}$	: Dikkate alınan spektrumun hedef spektruma göre sapması
$E_c$	: Betonun elastisite modülü
$E_s$	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$E(T)$	: İvme setine ait ortalama spektrumu
$f_{cc}$	: Sargılı betonun basınç dayanımı
$f_{co}$	: Sargısız betonun basınç dayanımı
$f_e$	: Etkili sargılama basıncı
$f_{ce}$	: Betonun ortalama basınç dayanımı
$f_{ck}$	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
$f_{yk}$	: Çeliğin karakteristik çekme dayanımı
$f_{yw}$	: Enine donatının akma dayanımı
$f_{ywe}$	: Enine donatının ortalama akma dayanımı
$f_y$	: Donatının akma dayanımı
$F_y/W$	: Yatay dayanım oranı
$F_y$	: TSD sistemlerde yatay yük kapasitesi
$F_s$	: Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F_I$	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F$	: Varyans analizinde, hipotez testi için kullanılan değer
$F_{cr}$	: Varyans analizinde $F$ dağılım tablosundan okunan kritik değer



$g$	: Yer çekimi ivmesi ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ )
$g(\mathbf{x})$	: Optimizasyon probleminde kullanılan ceza fonksiyonları
$G_{(XG, YG)}$	: Kat diyaframının ağırlık merkezi
$G$	: Binaya etkiyen sabit yayılı yükler
$HM$	: Armoni belleği
$HMS$	: Armoni belleği kapasitesi
$HMCR$	: Armoni belleğini dikkate alma oranı
$J$	: Kat kütesinin düşey eksen etrafındaki atalet momenti
$k$	: Rijitlik
$k_e$	: Sargılama etkinlik katsayısı oranı
$k_o$	: Başlangıç rijitliği
$L_p$	: Plastik mafsal boyu
$L_o$	: Plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası uzaklık
$m$	: Kütle
$m_{(\Delta)}$	: Maksimum yatay ötelenme taleplerinin set için hesaplanan ortalaması
$m_{(\Delta/H)}$	: Maksimum yatay ötelenme oranı taleplerinin set için hesaplanan Ortalaması
$m_{(\delta h)}$	: Maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin set için hesaplanan ortalaması
$M$	: Kat kütesi
$M_y$	: Akma moment
$M_u$	: Nihai moment
$M_w$	: Moment büyüklüğü
$MRE$	: Ortalama görelî fark
$MSE$	: Farkların karelerinin ortalaması
$(N_{60})_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
$N$	: Optimizasyon probleminde karar değişkeni sayısı
$n$	: Örneklem büyüklüğü
$O_{üst}$	: İlgili periyot aralığı için ortalama spektrumun hedef spektruma oranının üst sınırı
$PAR$	: Ton ayarlama oranı
$PF_1$	: Birinci mode ait katkı çarpanı
$PGA$	: Maksimum yer ivmesi
$PI$	: Plastisite indisi
$Q$	: Binaya etkiyen hareketli yayılı yükler
$R$	: Deprem kayıtların kaydedildiği istasyonların faya olan uzaklıkları
$R_{(XG, YG)}$	: Sistemin rijitlik merkezi
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
$S_s$	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
$S_1$	: 1.0 Saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{DS}$	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{D1}$	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{bir}$	: Bireysel spektrumlara ait spektral ivme değerleri
$S_{hed}$	: Hedef spektruma ait spektral ivme değerleri
$s$	: Boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki uzaklığı
$s^2$	: Örneklemeye ait varyans
$s_O^2$	: Örnekler içi (set içi) varyans
$s_M^2$	: Örnekler arası (setler arası) varyans
$T$	: Doğal titreşim periyodu

$T_A, T_B$	: Yatay tasarım spektrumunun köşe periyotları
$T_L$	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
$U$	: Güven aralığının üst sınırı
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalga hızı ( $m/s$ )
$W$	: Deprem hesabına esas ağırlık
$w$	: Doğal su içeriği
$x$	: Optimizasyon probleminin karar değişkenleri
$x_{i,min}$	: Optimizasyon probleminde karar değişkeninin alt sınırı
$x_{i,mak}$	: Optimizasyon probleminde karar değişkeninin üst sınırı
$x_g(t)$	: Mesnet hareketi
$x_r(t)$	: Kütlenin mesnete göre yer değiştirmesi
$x_t(t)$	: Kütlenin toplam yer değiştirmesi
$X_{mak}$	: Çevrimsel modelin maksimum deplasmanı
$X_y$	: Çevrimsel modelin akma deplasmanı
$X$	: Normal dağılıma uyan değişken
$z$	: Standart değişken
$\alpha$	: Anlamlılık düzeyi
$\alpha_1$	: Birinci moda ait kütle katılım oranı
$\delta$	: Spektral sapma (spektral uyumluluk için bir sayısal ölçüt)
$\delta$	: Göreli kat ötelenmesi talebi
$\delta_{mak}$	: Maksimum göreli kat ötelenmesi talebi
$\delta_{mak}/h$	: Maksimum göreli kat ötelenmesi oranı talebi
$\Delta$	: Ötelenme talebi
$\Delta_y$	: Elastik deplasman
$\Delta_p$	: Plastik deplasman
$\Delta_{mak}$	: Maksimum ötelenme talebi
$\Delta_{mak}/H$	: Maksimum ötelenme oranı talebi
$\epsilon_{cu}$	: Sargılı beton için en büyük birim şekil değiştirme
$\epsilon_{co}$	: Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme
$\epsilon_c$	: Betonun basınç birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_s$	: Çeliğin birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{sy}$	: Donatı çeliği için akma birim uzaması
$\epsilon_{sh}$	: Pekleşmenin başladığı andaki birim uzama
$\epsilon_{su}$	: Kopma birim uzaması
$\xi$	: Sönüm oranı
$\phi_y$	: Akma anındaki eğrilik
$\phi_u$	: Nihai eğrilik
$\mu_x$	: Normal dağılıma uyan $X$ değişkeninin ortalaması
$\mu_{CoV}(S_a)$	: 4 setten elde edilen herhangi bir periyot değerine ait spektral ivme değerlerinin varyasyon katsayısının ortalaması
$\mu_m(\Delta)$	: 4 setten elde edilen $m_\Delta$ değerlerinin ortalaması
$\mu_{CoV}(\Delta)$	: 4 setten elde edilen $CoV(\Delta)$ değerlerinin ortalaması
$\mu_m(\Delta/H)$	: 4 setten elde edilen $m_{(\Delta/H)}$ değerlerinin ortalaması
$\mu_{CoV}(\Delta/H)$	: 4 setten elde edilen $CoV(\Delta/H)$ değerlerinin ortalaması
$\mu_m(\delta/h)$	: 4 setten elde edilen $m_{(\delta/h)}$ değerlerinin ortalaması
$\mu_{CoV}(\delta/h)$	: 4 setten elde edilen $CoV(\delta/h)$ değerlerinin ortalaması
$\rho_x$	: $X$ doğrultusunda enine donatıların hacimsel oranı

$\rho_y$	: Y doğrultusunda enine donatıların hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$	: Dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
$\sigma_{sy}$	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
$\sigma_{su}$	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
$\sigma_x$	: Normal dağılıma uyan X değişkeninin standart sapması
$\theta_y$	: Akma dönmesi
$\theta_p$	: Plastik dönme
$\theta(\Delta)$	: TSD sistemlerde medyan ötelenme talebi
$\theta(\Delta/H)$	: Betonarme binalarda medyan ötelenme oranı talebi
$\omega_{we}$	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
$\omega_d$	: Dairesel frekans

## KISALTMALAR

<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineering
<b>BYS</b>	: Bina Yükseklik Sınıfı
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>DD-1</b>	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
<b>DD-2</b>	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
<b>DD-3</b>	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
<b>DD-4</b>	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi
<b>DTS</b>	: Deprem Tasarım Sınıfı
<b>ESMD</b>	: European Strong-Motion Database
<b>EMP</b>	: Elastik-Mükemmel Plastik Model
<b>EUROCODE</b>	: European Standards
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency
<b>GÖ</b>	: Göçme Öncesi Hasar
<b>KAF</b>	: Kuzey Anadolu Fayı
<b>KH</b>	: Kontrollü Hasar
<b>PEER</b>	: The Pacific Earthquake Engineering Research Center
<b>RESORCE</b>	: Reference Database for Seismic Ground-Motion Prediction in Europe
<b>SEAOC</b>	: The Structural Engineers Association of California
<b>SH</b>	: Sınırlı Hasar
<b>ST</b>	: Strateji
<b>TBDY</b>	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
<b>TSD</b>	: Tek Serbestlik Dereceli

## ÖNSÖZ

Birlikte çalıştığım süre boyunca akademik ve insani düşüncelerine önem verdiğim, bu tezin hazırlanmasında ve akademik çalışmalarında yardımlarıyla yanımda olan danışman hocam Prof. Dr. Ali Haydar Kayhan'a teşekkürü her zaman borç bilirim.

Doktora tezi boyunca değerli görüş ve önerilerini eksik etmeyen Prof. Dr. Şevket Murat Şenel'e ve Doç. Dr. Mehmet Palancı'ya, ayrıca katkılarından dolayı diğer jüri üyeleri Doç. Dr. Ramazan Özçelik ve Dr. Öğr. Üyesi Bayram Tanık Çaycı'ya da teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda hissettiğim anneme, her gün konuştuğum babama ve aileme, üniversite yıllarında tanıştığım ve hayatıma renk katan eşim Ümüt Sakine Demir'e tez boyunca yanımda olduğu için teşekkür ediyorum. Son olarak bana hayatımda tahmin edemeyeceğim mutluluklar yaşatan kızım Asya'ya varlığıyla kattığı anlamdan dolayı teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

Geçmişte yaşanan büyük depremler yoğun yerleşim alanlarını ve endüstriyel bölgeleri de etkilemiş, çok büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Bu depremler, yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirini zorladıkları levha sınırlarındaki dar kuşaklarda oluşmaktadır. Türkiye’de, sismik açıdan aktif bir bölge olan Alpin Kuşağı üzerinde yer alan Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Batı Anadolu Fay Zonu gibi diri faylar bulunmaktadır. Nitekim 1999 Marmara depreminde resmi kayıtlara göre 17,480 kişi hayatını kaybetmiş 213,843 konut ve 30,540 işyeri hasar görmüştür (Sünbül ve diğ. 2007).

Depremlerin engellenmesi mümkün değildir. Ancak teknolojik gelişmelerle beraber, geçmiş depremlerden elde edilen bilgiler ışığında alınacak önlemlerle depremlerden meydana gelecek can ve mal kayıplarını azaltmak mümkündür. Depremi tanımak, yapıların depreme tepkisini irdelemek, depremden kaynaklı yapısal hasarları teorik ve deneysel olarak incelemek ve araştırmak, deprem mühendisliğinin önemli konularındandır.

Elde edilen sonuçlar gerek depreme dayanıklı yapı tasarımı gerekse mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesi konusundaki bilgilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, geçmiş depremlerden alınan dersler ve araştırma bulguları ile dünyadaki deprem yönetmelikleri devamlı olarak geliştirilmektedir. Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan yönetmelikler, bu alandaki gelişmelere paralel olarak yenilenmektedir. Bu kapsamda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) yerine 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Son yıllarda, depreme dayanıklı yapıların tasarımı ya da mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesi amacıyla performansa dayalı yaklaşım ön plana çıkmıştır. Bu yaklaşımda amaç, yapılarda meydana gelecek sismik hasarın daha gerçekçi olarak belirlenebilmesidir. Performansa dayalı yaklaşım ile ilgili ilk

belgelerden olan SEAOC Vision 2000’de (SEAOC 1995) tanımlanan tasarım veya değerlendirme yaklaşımlarından birisi de deplasmana dayalı tasarımdır. Buna göre, mevcut ya da yeni yapılacak bir binanın deprem performansını değerlendirmek için maksimum çatı ötelenmesi, maksimum görelî kat ötelenmesi ve süneklik talebi ile ilgili kavramlar kullanılmaya başlanmıştır.

Görüldüğü gibi, maksimum çatı ötelenmesi, maksimum görelî kat ötelenmesi veya süneklik talepleri performansa dayalı yaklaşımda ele alınan önemli parametreler olup bu taleplerin gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi gerekir. Bu taleplerin tahmini için en gerçekçi yöntem zaman tanım alanında analizdir. Zaman tanım alanında analizler, malzemenin davranış kabulüne göre doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan şekilde yapılabilmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik analizde, deprem anında meydana gelebilecek doğrusal olmayan davranış yani plastik mafsall oluşumu, plastik mafsalların binadaki dağılımı, yapıda oluşabilecek hasar mekanizması gibi konularda bilgi almak mümkün değildir. Bu bilgiler ancak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilebilmektedir (Katsanos ve diğ. 2010). Bu yüzden, modern yönetmeliklerde özellikle yüksek yapıların, düzensiz yapıların, önemli sanayi yapılarının vb. tasarımı veya performansının değerlendirilmesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz önerilmektedir.

## **1.1 Problemin Tanımı**

Deprem yer hareketi etkisindeki yapıların zaman tanım alanında analizleri için hem yapısal modellerin hazırlanması hem de yer hareketinin temsil edilmesi gerekmektedir. Analizde kullanılacak yer hareketi kaydı ise analiz sonuçlarını yani yapısal tepkileri ve bunlara bağılı olarak yapılacak tasarım ya da performans değerlendirmesini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, bir yapının bulunduğu bölgenin depremselliği ve yapının üzerinde bulunduğu yerel zemin koşulları ile uyumlu olacak şekilde yer hareketi kayıtlarının seçilmesi, olası bir depremde o yapının göstereceği davranışı daha az hata ile tahmin edebilmek için gereklidir (Fahjan 2008). Genel olarak zaman tanım alanında kullanılacak ivme kayıtları, tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak, sismik kaynak ve dalga yayılımı özellikleri

dikkate alınarak benzetim yolu ile veya gerçek depremlerden elde edilmektedir (Abrahamson 1993; Boore 2003; Bommer ve Acevedo 2004).

İvme kaydı seçimi, büyüklük ve uzaklık parametreleri kullanılarak (Bommer ve Acevedo 2004), bu parametrelere zemin özellikleri, yer hareketi süresi gibi parametreler eklenerek (Bommer ve Scott 2000; Iervolino ve Cornell 2005) yapılabilmektedir. Ayrıca, yer hareketi şiddet ölçüleri kullanılarak (Giovenale ve diğ. 2004), probabilistik sismik tehlike analizi yapılarak elde edilen spektruma uygun (Baker 2011) veya yönetmelikte tanımlanan hedef spektrumu ile uyumlu (Iervolino ve diğ. 2010; Kayhan ve diğ. 2011) ivme kaydı seçimleri yapılabilmektedir.

TBDY'nin de aralarında bulunduğu modern deprem yönetmeliklerinde zaman tanım alanında analizler ile ilgili tanımlamalar bulunmaktadır. Bu tanımlamalar bazı küçük farklılıklarla beraber benzerlik göstermektedir (FEMA-356 2000; Eurocode-8 2004; ASCE 7-05 2006; GB 2010). Bu yönetmeliklerde, gerçek, yapay veya benzetim yolu ile elde edilmiş ivme kayıtlarının zaman tanım alanında analizler için kullanılması öngörülmekte ve kullanılan kayıtlara ait ivme spektrumlarının ortalamasının belirli bir periyot aralığında tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olması istenmektedir. Ancak bu yönetmeliklerde, analizlerde kullanılan ivme kaydı seti içindeki her bir ivme kaydına ait ivme spektrumu ile tasarım ivme spektrumu (hedef spektrum) arasında bir uyum gözetilmemektedir. Bu durumda, analiz için kullanılan kayıtlara ait bireysel ivme spektrumlarının tasarım ivme spektrumu ile uyumu veya spektral ivme değerlerinin saçılımı kontrol edilmemektedir. Buna bağlı olarak, yönetmelikler ile uyumlu ivme kaydı setleri ile zaman tanım alanında analizler yapıldığında elde edilen yapısal tepkilerin saçılımının da yüksek olduğu gözlenmektedir (Kayhan ve Demir 2016; Araujo ve diğ. 2016; Katsanos ve Sextos 2017; Palanci ve diğ. 2018).

Zaman tanım alanında analizler ile elde edilen yapısal tepkilerin saçılımının değerlendirildiği çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Cantagallo ve diğ. 2012; Cantagallo ve diğ. 2014; Seifried ve Baker 2016; Samanta ve Huang 2017). Bu çalışmalarda genel olarak yapısal tepkilerin azaltılması için ivme kaydı seçiminde yapının birinci periyoduna veya farklı periyotlara ait spektral değerlerin saçılımının azaltılması, ivme kayıtlarına ait farklı şiddet ölçülerinin seçim için dikkate alınması, her bir ivme kaydının spektrumunun hedef spektrumla veya ortalama spektrumla



uyumunun ele alınması, hedef spektrum ile birebir uyum ile elde edilmiş yapay ivme kayıtlarının kullanılması gibi yöntemler ele alınmıştır.

TBDY'ye göre zaman tanım alanında analizler için kullanılacak ivme kaydı (bir ve iki boyutlu analizler için) veya ivme kaydı takımı (üç boyutlu analizler için) sayısı en az 11'dir. Kullanılan ivme kayıtlarına ait ortalama ivme spektrumunun  $0.2T$ - $1.5T$  periyot aralığında ( $T$ , bina hakim titreşim periyodu) tasarım ivme spektrumu (hedef spektrum) ile uyumlu olması istenmektedir. Buna göre, bir veya iki boyutlu hesap için kullanılan ivme kayıtlarına ait ivme spektrumlarının ortalaması dikkate alınan periyot aralığında hedef spektrumundan daha düşük olmamalıdır. Üç boyutlu hesap için ise kullanılan ivme kaydı takımlarına ait bileşke yatay spektrumların ortalaması dikkate alınan periyot aralığında hedef spektrumunun 1.3 katından daha düşük olmamalıdır. Görüldüğü gibi ortalama spektrum değerlerine ait bir alt sınır hedef spektruma bağlı olarak tanımlanmış fakat ortalama spektrum ile ilgili herhangi bir üst sınırdan söz edilmemiştir. Ayrıca, zaman tanım analizinde kullanılacak ivme kayıtları veya ivme kaydı takımlarına ait spektrumlar ile hedef spektrum arasında herhangi bir uyumdan bahsedilmemiştir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, farklı ivme kaydı seçimi stratejilerinin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilecek yapısal tepkilerin merkezi eğilimi ve saçılımı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, gerek analizler için kullanılacak ivme kayıtlarına veya ivme kaydı takımlarına ait ortalama ivme spektrumunun, gerekse her bir ivme kaydı veya ivme kaydı takımına ait ivme spektrumunun, tasarım ivme spektrumları ile uyumunun artırılmasına yönelik farklı stratejiler ele alınmıştır. Yapısal tepkilerin değerlendirilmesi için farklı titreşim periyodu ve yatay dayanım oranına sahip tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler ile üç boyutlu betonarme bina modelleri ele alınmıştır. Farklı stratejiler ile elde edilen ivme kaydı ve ivme kaydı takımı setleri ile zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler ile TSD sistemler için elde edilen maksimum ötelenme talepleri ile üç boyutlu bina modelleri için elde edilen maksimum ötelenme oranı ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

### 1.3 Literatür Çalışmaları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi ve/veya yapısal tepkilerin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Miranda (1999), çok katlı yapıların yatay ötelenme taleplerinin tahmin edilebilmesi için bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntem, maksimum ötelenme talebi ve maksimum görelî kat ötelenmesi talebinin hızlı bir şekilde tahminine olanak sağlamaktadır. Çalışma amacı doğrultusunda ele alınan düzlem çelik çerçeve için, önerilen yaklaşık yöntem ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Gupta ve Krawinkler (2000), çerçeve sistemlerin maksimum ötelenme ve maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral deplasman talebine bağlı olarak tahmin edilebilmesi için bir yöntem önermiştir. Çalışma amacı doğrultusunda çelik çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılmış ve ötelenme değerleri elde edilmiştir.

Riddel ve diğ. (2002), TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi için üç farklı çevrimsel davranış modeli (elastoplastik, bi-linear ve rijitlik azalması) kullanmıştır. Analizler için iki farklı ivme setinde toplam 95 ivme kaydı seçilmiştir. Çalışmada, elde edilen ötelenme taleplerinin ortalaması üzerinde kullanılan çevrimsel modelin dikkate değer bir etkisi olmadığı, elastoplastik model ile ötelenme taleplerinin güvenli yönde kalınacak şekilde tahmin edilebileceği ifade edilmiştir.

Garcia ve Miranda (2006), çok katlı ve düzenli çerçevelerde kalıcı ötelenme talebinin büyüklüğü ve düşey doğrultuda ötelenme dağılımının değerlendirilmesi amacıyla detaylı bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla, tek açıklıklı ve 12 katlı tipik bir çerçeve ele alınmış ve analizler için farklı seviyelerde ölçeklendirilmiş 40 ivme kaydı kullanılmıştır. Çalışmada, yer hareketi şiddeti, kat sayısı, titreşim periyodu, çerçeve mekanizması, sistem dayanımı, çevrimsel davranış gibi parametrelerin ortalama kalıcı ötelenme talebi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Mollaioli ve Bruno (2008), tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiştir. Çok serbestlik dereceli sistemler düzlem çerçeveler ile temsil edilmiştir. Analizler için, boş sahada ya da iki kattan fazla yüksekliğe sahip olmayan binalarda bulunan kayıt istasyonlarında kaydedilen, 43 depreme ait toplam 868 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Analiz sonuçları üzerinde deprem büyüklüğü, kayıt istasyonu-deprem kaynağı mesafesi, yerel zemin durumu, süneklik, çevrimsel davranış parametrelerinin etkisi değerlendirilmiştir.

Hatzigeorgiou ve Beskos (2009), ardışık depremlerin etkisi altında kalan bir yapıda doğrusal olmayan ötelenme talebinin tahmin edilebilmesi için ampirik bir denklem önermiştir. Çalışma amacı doğrultusunda, maksimum ötelenme talepleri, TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri ile elde edilmiştir. Analizler için 4 farklı zemin sınıfına ait 112 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Titreşim periyodu, dayanım azaltma faktörü, zemin etkisi, akma sonrası rijitlik ve sönüm parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

Ghaffarzadeh ve diğ. (2013) 4, 8 ve 12 katlı betonarme düzlem çerçevelerin İran Deprem Yönetmeliği'ne göre (BHRC 2005) tasarımlarını yapmış ve bu çerçevelerin doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Dinamik analizler için İran Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde frekans tanım alanında ölçeklendirilen sekiz gerçek ivme kaydı kullanılmıştır.

İnel ve diğ. (2013), Türkiye'deki mevcut bina stoğunun bir kısmını oluşturan 2, 4 ve 7 katlı betonarme binaları temsil eden üç boyutlu analiz modelleri ile bu binaların eşdeğer TSD modelleri için zaman tanım alanında analizler ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerini kıyaslamışlardır. 19 gerçek ivme kaydı ve 24 üç boyutlu bina kullanılarak yapılan bu çalışma sonucunda, üç boyutlu modeller için elde edilenlere kıyasla eşdeğer TSD modeller için elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin %20-40 oranında daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Demir (2016) yüksek lisans tezinde, TSD sistemlerde ve düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme taleplerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla, DBYBHY'de tanımlanan Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfının her biri için 4 farklı ivme kaydı seti kullanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre DBYBHY ile uyumlu farklı ivme kaydı

setleri kullanıldığında farklı ötelenme taleplerinin elde edileceği görülmüştür. Ayrıca bir setteki kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin o sete ait ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılımının çok yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Naeim ve diğ. (2004), genetik algoritma kullanarak hedef spektrum ile uyumlu ortalama spektruma sahip ivme kaydı setleri oluşturmuştur. Çalışma kapsamında 1496 adet ivme kaydı takımı kullanılmış ve 7'li ivme kaydı setleri üretilmiştir.

Baker ve Cornell (2005), yapıların olasılıksal tepkilerinin tahmini için spektral ivme ( $S_a$ ) ve epsilon ( $\epsilon$ ) parametrelerini kullanmıştır. Epsilon değeri belli bir periyot değerinde her bir ivme kaydına ait spektral ivme değerinin hedef spektruma olan uzaklığını temsil etmektedir. Çalışmanın sonucuna göre, ötelenme tehlike eğrisi hesaplanırken epsilon parametresinin dikkate alınmaması daha güvenilir yönde kalan tahminlere yol açmaktadır. Ayrıca, ivme kaydı seçiminin uygun epsilon değerlerine göre yapılması ve daha sonra spektral ivme değerlerinin dikkate alınması ile yapısal tepkinin daha doğru tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

DBYBHY ile uyumlu ivme kaydı seçimi ile ilgili ilk çalışma Fahjan (2008) tarafından yapılmıştır. Deprem büyüklüğü, faylanma tipi ve zemin koşulları dikkate alınarak yapılan ön seçim sonrasında, DBYBHY'de tanımlanan yerel zemin sınıflarının her biri için 10 ivme kaydından oluşan ivme kaydı setleri elde edilmiştir. İvme kaydı setleri frekans tanım alanında ölçeklendirme yaklaşımı ile oluşturulmuştur. İvme kaydı setlerinde uyum 0.01s ile 5.00s arasında dikkate alınmıştır.

Hancock ve diğ. (2008), doğrusal olmayan dinamik analiz için kaç adet ivme kaydı kullanılması gerektiğini araştırdıkları çalışmada, 5 farklı ivme kaydı seçimi yöntemi kullanarak, sonuçları maksimum ötelenme, sönümlenen enerji, Park ve Ang (1985) hasar indeksi üzerinden değerlendirmiştir. Çalışmada farklı ivme kaydı seçimi için, ortalamanın hedef spektrumla uyumu, başlangıç periyodu dikkate alınarak ölçeklendirme, kaydın ve ortalamanın hedef spektrumla uyumu, dalgacık kullanılarak ivme kaydının spektrumla uyumunun sağlanması, dalgacık kullanılarak ivme kaydının farklı sönüm oranları için hedef spektrumla uyumu yöntemleri üzerinde durulmuştur. Başlangıç periyodu dikkate alınarak ölçeklendirme ve dalgacık kullanılarak hedef spektrumla uyumun ele alındığı yöntemler için gerekli ivme kaydı sayısının daha

düşük olduğu, ölçeklendirme katsayısının ötelenme talepleri üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı sonuçları ifade edilmiştir.

Iervolino ve diğ. (2010), Eurocode-8 ile uyumlu ivme kaydı setleri oluşturan REXEL adlı bilgisayar programı geliştirmiştir. Programda kayıtların seçileceği depremin maksimum ve minimum büyüklükleri ile faya olan mesafe ön seçim kriteri olarak kullanılabilir. Program, iki boyutlu analiz için 7 adet ivme kaydından oluşan, üç boyutlu analiz için 7 adet ivme kaydı takımından oluşan setler oluşturabilmektedir.

Katsanos ve diğ. (2010), ivme kaydı seçimi için 2010 yılına kadar yapılan akademik çalışmalar ile ilgili bir literatür araştırması yapmıştır. Çalışmada literatürde var olan; hedef spektrum ile uyumlu ivme kaydı seçimi, ivme kaydı özelliklerine dayalı ivme kaydı seçimi, yönetmelik kriterlerine dayalı ivme kaydı seçimi gibi konulardan oluşan çalışmalar ile ilgili geniş bilgi verilmiştir.

Kayhan ve diğ. (2011), Eurocode-8 ile uyumlu ivme kaydı setleri elde ettikleri çalışmada 7 ivme kaydından oluşan ivme setleri için toplam 352 ivme kaydı arasından seçim yapmıştır. Çalışma kapsamında ivme kaydı setleri oluşturulurken armoni araştırması algoritması kullanılmıştır. Zaman tanım alanında ölçekleme için ölçek katsayısı 0.5-2.0 arasında seçilmiştir. Eurocode-8'de tanımlanan zemin sınıflarının her biri için ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarından oluşan 5 ayrı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre armoni araştırma algoritması kullanılarak Eurocode-8 ile uyumlu ivme kaydı setleri oluşturulabilmektedir. Kayhan (2012), başka bir çalışmada ise armoni araştırması yöntemini kullanarak DBYBHY ile uyumlu ivme kaydı setleri de üretilebileceğini göstermiştir.

Katsanos ve Sextos (2013), analiz edilen yapıya özgü ivme kaydı seçimi yapan bir yazılım geliştirme amacı taşıyan çalışmalarında Eurocode-8'de yer alan ivme kaydı seçim koşullarını da dikkate alan ISSARS adlı bir program geliştirmiştir. Programda, ivme kaydı seçimi 4 adımda yapılmaktadır. Bunlar; başlangıç ivme kaydı seçimi, optimizasyon kullanılarak ortalamanın spektrum ile uygun hale getirilmesi, dikkate alınan yapının performans analizi ve istenilen kriterlere uygun olarak bazı kayıtların setten çıkarılmasıdır.

Baker (2011), kayıtların spektral şekli ve  $\varepsilon$  parametresi (yer hareketi kaydının spektral değeri ile yer hareketi tahmin değerinin arasındaki farkın logaritması) arasındaki ilişkiyi incelemiş bunun sonucunda koşullu ivme spektrumunu (CMS) önermiştir. Yapının birinci periyoduna ait hedef spektral değerle ivme spektrumlarını koşullandıran bu yöntemde diğer periyotlardaki spektral korelasyon da dikkate alınıp ortalama spektral değerler hesaplanmaktadır.

Jayaram ve diğ. (2011), koşullu ortalama spektrumun standart sapma değerlerini de dikkate alarak hedef spektrum olarak koşullu spektrum (CS) önermiştir. Çalışmada kullanılan koşullu ortalama spektrumun hem ortalaması hem de ortalama ve varyansı dikkate alınarak, bu iki farklı yaklaşım karşılaştırılmıştır. Çalışmada 40 adet benzeştirilmiş ivme kaydı kullanılmış ve hedef spektrum için koşullu ortalama spektrum seçilmiştir. Çalışma sonuçlarını değerlendirmek için TSD sistemler ile 4 ve 20 katlı betonarme çerçeve sistemler dikkate alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, TSD sistemlerde ve betonarme çerçevelerde medyan tepkiler her iki metot için benzer çıkarken, ortalama ve saçılım ise, ortalamanın yanında varyans da dikkate alındığında daha büyük çıkmaktadır.

Cantagallo ve diğ. (2012), 7 farklı şiddet ölçüsü ve 2 farklı ivme kaydı seti kullanarak yapısal tepkilerdeki saçılımı görelî kat ötelenmesi üzerinden incelemiştir. Çalışmada 50 yılda aşılma olasılığı % 10 ve % 50 olan depremlere göre kayıtlar seçilmiş ve maksimum yer ivmesi (*PGA*), maksimum yer hızı (*PGV*), Housner şiddeti (*HI*) (Housner 1952), ivme spektrum şiddeti (*ASI*) (Thun ve diğ. 1998), elastik periyoda ait spektral ivme ( $S_a(T)$ ), elemanların çatladıkları andaki periyoda ait spektral ivme ( $S_a(T_c)$ ) ve doğrusal olmayan periyoda ait spektral ivme ( $S_a(T^*)$ ) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre en düşük saçılım ( $S_a(T_c)$ ) ve ( $S_a(T^*)$ ) için elde edilmiştir.

Zhai ve diğ. (2013), 5 ve 11 katlı iki betonarme çerçeve sistem ve farklı zeminlerde kaydedilen 958 yer hareketi kaydı dikkate alarak yaptıkları çalışmada, korelasyon analizleri yaparak ivme kayıtlarının hasar potansiyelini belirlemek için en iyi iki şiddet ölçüm parametresinin maksimum yer hızı ve spektral ivme olduğunu belirtmiştir.

Han ve diğ. (2014) ivme kaydı seçimi için yeni bir seçim yöntemi geliştirmiş elde ettikleri sonuçları literatürde var olan iki farklı teknik ile elde edilen sonuçlarla

karşılaştırmıştır. Çalışmada, hedef spektrum ile en iyi uyum gösteren 200 farklı set, bu 200 ivme setinden hedef spektrum ile en iyi uyumu gösteren ilk 20 set ve bu 20 setin içinden hedef spektrum ile en iyi uyumu gösteren 10 adet set ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonucuna göre, yer hareketi seçilirken hedef spektrumun ortalaması ve standart sapması ile birlikte farklı periyotlardaki korelasyon katsayılarının da birlikte düşünülmesi önerilmiştir.

Cantagallo ve diğ. (2014), basitten komplekse doğru 10 farklı betonarme bina ve 2 farklı ivme kaydı seçim kriteri dikkate almış, görelî kat ötelenmesi parametresini dikkate alarak sonuçları değerlendirmiştir. Çalışmada, tek katlı ve tek açıklıklı betonarme binadan, 5 katlı, planda düzensiz betonarme binaya kadar değişen 10 farklı bina modeli incelenmiştir. Binalar daha düzensiz olduğunda ötelenme taleplerindeki saçılımın daha büyük olacağı sonucu elde edilmiştir.

Zengin ve Akkar (2016), doğrusal olmayan yapısal tepkinin tahmininde kullanılacak yer hareketi kayıtlarının seçimi için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen yöntemde ivme kaydı setleri hedef spektral talepteki standart sapma değerine göre oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen yöntemin etkinliğini araştırmak için TSD sistemlerin analiz sonuçları kullanılmıştır. Sonuçlara göre, önerilen ivme kaydı seçimine göre oluşturulacak setlerden elde edilecek medyan elastik deplasman %10 hata payı için en az 25 deprem kaydı ile koşullu ortalama spektrumu kullanılırsa en az 15 ivme kaydı ile tahmin edilebilmektedir. Ayrıca yönetmeliklerde önerilen 7 deprem kaydı kullanılmasının, yapıların tasarım ve performans değerlendirmesinde önemli düzeyde belirsizlik yaratacağı belirtilmiştir.

Ha ve Han (2016), yönetmelikle uyumlu spektrum, koşullu ivme spektrum ve senaryo bazlı tepki spektrumuna göre ivme kaydı seçimi için ortalama, standart sapma ve korelasyonu dikkate alınabilececek basit bir yöntem önermiştir. Çalışmada önerilen yöntem, 20 katlı betonarme çerçeve sistemin analiz sonuçları kullanarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, korelasyonun dikkate alındığı ve alınmadığı durumlarda maksimum görelî ötelenmelerinin varyansında büyük farklılıklar gözlenmiştir.

Araujo ve diğ. (2016) farklı yönetmeliklerin (Eurocode-8 2004, ASCE 41-13 2014, Yeni Zelanda Yönetmeliği NZS 1170-5 2004) ivme kaydı seçimi yaklaşımlarını,

binaların talep esaslı değerlendirmesini dikkate alarak değerlendirmiştir. Çalışmada, 5 katlı çelik çerçeve sistemlerin analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Yönetmeliklerle uyumlu setlerden elde edilen ortalama talepler ile 105 kayıttan elde edilen talepler karşılaştırılmış, ayrıca taleplerin saçılımı incelenmiştir.

Kayhan ve Demir (2016), DBYBHY ile uyumlu farklı ivme kaydı setleri kullanarak, 3, 5 ve 7 katlı betonarme düzlem çerçeveler için elde edilen yapısal ötelenme taleplerini incelemiştir. Çalışmada, aynı hedef spektrumla uyumlu setlerden elde edilen ötelenme talepleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını da araştırılmıştır. Sonuçlara göre, DBYBHY ile uyumlu farklı ivme kayıtları kullanıldığında farklı ötelenme talepleri elde edilmektedir. Ayrıca, yönetmelik ile uyumlu ivme kayıtlarından elde edilen ötelenme taleplerindeki saçılımın yüksek olduğu çalışmanın sonuçlarından biridir.

Seifried ve Baker (2016), hedef spektruma uygun ve altı farklı saçılıma sahip yapay ivme kaydı setleri oluşturmuştur. TSD sistemler ve iki boyutlu çerçeve sistem kullanılarak, oluşturulan setlerden elde edilen ötelenme talepleri ve saçılımları değerlendirilmiştir. Yapay ivme kayıtlarının elde edilmesi için RSPMatch2009 (Atik ve Abrahamson 2010) programı kullanılmıştır.

Macedo ve Castro (2017), ivme kaydı seçimi için SelEQ adlı bilgisayar programı geliştirmiştir. Yazılım, yaygın olarak kullanılan yönetmeliklerle uyumlu ivme kaydı seçimi ve koşullu ivme spektrumları ile uyumlu ivme kaydı seçimi yapabilmektedir. İvme kaydı seçiminde armoni araştırması optimizasyon tekniği kullanılmıştır. İvme kaydı setlerinin oluşturulması sismolojik karakteristik, ön seçim ve ivme kaydı setlerinin elde edilmesi basamaklarından oluşmaktadır. Program ayrıca Avrupa'nın tüm bölgeleri için koşullu ivme spektrumunu oluşturmak amacı ile probabilistik sismik tehlike analizi de yapmaktadır.

Samanta ve Huang (2017), farklı ölçeklendirme yöntemlerinin yüksek yapılardaki tepkilerin dağılımına etkisini araştırmıştır. Çalışmada 34 katlı betonarme-çelik kompozit çerçeve sistemi kullanılmıştır. Çalışmada ivme kaydı çiftlerinin geometrik-ortalamasının ölçeklendirilmesi, her bir yer hareketinin ortalama spektrumla eşleştirilmesi, hedef spektral ivme ile birinci mod tabanlı ölçeklendirme, maksimum-minimum yön spektrumlarının ölçeklendirilmesi ve yüksek modların



katkısını incelemek için spektrumla eşleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, maksimum kat ivmeleri, ortalama kat spektral ivme değerleri ve maksimum görece kat ötelenmelerinin medyan değerleri ele alınmıştır.

Baker ve Lee (2018), Jayaram ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmayı geliştirmiştir. Çalışmada kullanılan ivme kaydı seçimi yaklaşımı dört aşamadan oluşmaktadır. Hedef spektrumu oluşturmak, aday ivme kayıtlarını belirleme, ivme kayıtlarını her birinin hedef spektrumu ile uyumunun kontrolü ve uyuma göre ivme kayıtlarının seçilmesi. Çalışma kapsamında, ivme kaydı kataloğu da geliştirilmiş 599 depremden kaydedilen 21539 adet ivme kaydı kullanılmıştır.

Kayhan ve diğ. (2018), DBYHBY ile uyumlu ivme kaydı setleri kullanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin eğilimini ve saçılımını incelenmiştir. Çalışmada, farklı periyot ve yatay dayanım oranına sahip TSD sistemlerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Dikkate alınan her bir yerel zemin sınıfı için 30 farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Her bir TSD sistem için tek yönlü varyans analizi ve %90 güven aralığı ile örnekleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Mergos ve Sextos (2019), ivme kaydı seçiminde ortalama spektrum ile hedef spektrumun uyumuna ek olarak  $M_w$ ,  $R$ ,  $PGA$ , ivme kaydı süresi ve  $V_{S30}$  gibi parametreleri de dikkate alarak ivme kaydı seti elde etmeyi amaçlamıştır. Çalışmada ivme kaydı kataloğu için ESMD veri tabanından (Ambraseys ve diğ. 2004)  $M_w > 5.5$ ,  $R > 10$ , maksimum yer ivmesi  $PGA > 0.02g$  ve B zemin sınıfı kriterleri ile 104 ivme kaydı takımı yani 208 ivme kaydı kullanılmıştır.

Moschen ve diğ. (2019), çok amaçlı optimizasyon tekniği kullanarak ivme kaydı setleri elde etmiştir. İlk adımda ivme kayıtları  $M_w$ ,  $R$ ,  $V_{S30}$  ve fay mekanizması gibi özelliklere göre seçilmiştir. İkinci adımda iki farklı amaç fonksiyonu (medyan spektrumun hedef spektruma uyumu ve belirli bir periyot aralığında saçılımın sabit olması) minimize edilmek üzere formülize edilmiştir. Bu iki fonksiyon arasında ağırlık çarpanının bulunmaması yöntemin önemli bulgularındandır. Elde edilen ivme kaydı setlerinin ele alınan yapıdan bağımsız kullanılabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada, set içerisindeki tüm ivme kayıtlarına aynı ölçeklendirme katsayısı kullanılmıştır.

Çalışmada 87 ivme kaydı takımına ait 174 ivme kaydı kullanılmıştır. İvme kayıtları için kullanılan ölçeklendirme katsayısı en fazla 5.0, en az 0.2 alınmıştır.

#### 1.4 Kapsam ve Yöntem

Modern deprem yönetmeliklerinde doğrusal olmayan analizler için kullanılacak ivme kayıtlarına veya ivme kaydı takımlarına ait ortalama spektrum ile tasarımda dikkate alınması gereken hedef spektrumu arasında belirli bir periyot aralığında uyum gözetilmektedir. Ancak, kullanılacak her bir ivme kaydına ait ivme spektrumu ile hedef spektrum arasında herhangi bir uyum gözetilmemektedir.

Tez çalışması, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyuma ek olarak, her bir ivme kaydına ait ivme spektrumu ile hedef spektrum arasındaki uyumun dikkate alınmasını öngören farklı seçim stratejilerinin, zaman tanım alanında analizlerden elde edilen sonuçlara etkisini değerlendirme amacını taşımaktadır. Bu stratejiler, bireysel ivme spektrumları ile hedef spektrum arasındaki uyumu belirli bir periyot değeri için veya belirli bir periyot aralığında ayrı ayrı ele almaktadır. İlgili periyotlar için kayıtlara ait spektral değerler ile hedef spektruma ait spektral değer arasındaki uyumu temsil edecek sayısal ölçütler için üç farklı düzeyde kısıt (nispeten daha esnekten daha katıya doğru) tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında, zaman tanım alanında analizler için kullanılacak ivme kaydı ve ivme kaydı takımı setleri TBDY’de yer alan hususlar dikkate alınarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, setleri elde etmek için, TBDY’deki hususları da dikkate alan farklı seçim stratejileri kullanılmıştır.

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda, TSD sistemler ve üç boyutlu betonarme yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler, farklı seçim stratejileri kullanılarak elde edilen ivme setleri kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmada, titreşim periyodu 0.6s ile 1.6s arasında (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6) değişen TSD sistemler ele alınmıştır. TSD sistemlerin yatay yük kapasitelerinin ( $F_y$ ), deprem hesabına esas ağırlığına ( $W$ ) oranı, yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) olarak

tanımlanmaktadır. Her bir doğal titreşim periyodu için 0.10 ile 0.25 arasında değişen (0.10, 0.13, 0.16, 0.19, 0.22, 0.25) yatay dayanım oranları ele alınmıştır. Analizlerde, sönüm oranı  $\xi=0.05$  seçilmiştir. Özetle, altı farklı titreşim periyodu ve altı farklı yatay dayanım oranı ile toplamda 36 adet TSD sistem dikkate alınmıştır. TSD sistemlerin analizi için Bispec (Bispec Professional 2.03) programı kullanılmıştır.

Tez çalışmasında dikkate alınan betonarme binalar 3, 5, 6, 7, 9 ve 12 katlı olarak seçilmiştir. Kolon ve kirişlerden oluşan binalar eşit mesafeye sahip 4 açıklıktan oluşmaktadır. Tüm binalarda zemin kat yüksekliği 350 cm, diğer katların yüksekliği ise 300 cm alınmıştır. Betonarme binalar, TS-500 (2000) ve DBYBHY dikkate alınarak süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmış binalardır. Binaların tasarımı için Sta4CAD programı (Amasralı 2000) kullanılmıştır. Tasarım sonucunda kolon-kiriş elemanların boyutları, boyuna ve enine donatı düzenleri belirlenip, binaların doğrusal olmayan analiz modelleri hazırlanmıştır. Binaların doğrusal olmayan modellerin oluşturulması ve doğrusal olmayan analizler için SAP2000 (CSI 2000) yapısal analiz programı kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılacak ivme kaydı setleri, Denizli merkez bölgesinde (Enlem: 37.7734, Boylam: 28.0867) bulunan bir konum için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi (DD-2 yer hareketi düzeyi) temsil eden tasarım ivme spektrumları (hedef spektrum) ile uyumlu olacak şekilde elde edilmiştir. Yerel zemin sınıfları ZB, ZC ve ZD için tanımlanmış hedef spektrumlar ayrı ayrı dikkate alınmıştır. TSD sistemlerde 8 farklı strateji, 3 farklı yerel zemin sınıfı ve 6 farklı periyot değeri için  $8 \times 3 \times 6 \times 4 = 576$  adet ivme kaydı seti (her bir strateji, yerel zemin sınıfı ve periyot değeri için 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir) kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı setinde 11 ivme kaydı bulunmaktadır. Üç boyutlu binaların doğrusal olmayan analizlerinde ise 576 adet ivme kaydı takımı seti kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı takımı setinde 11 adet ivme kaydı takımı bulunmaktadır. İvme kaydı setleri için kayıtlar Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı (Ambraseys ve diğ. 2004), Resorce (Akkar ve diğ. 2014) ve PEER kuvvetli yer hareketi veri tabanından (Ancheta ve diğ. 2014) seçilmiştir.

Tez çalışmasında ele alınacak yapısal tepki parametreleri TSD sistemler için maksimum ötelenme talebi, üç boyutlu betonarme binalar için maksimum ötelenme oranı talebi ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı talebidir.

Farklı stratejilere ait ivme setlerinde yer alan kayıt ve kayıt takımlarına ait spektral değerlerin saçılımları incelenmiş, böylece özellikle bireysel ivme spektrumu ile hedef spektrum arasındaki farklı düzeylerde uyumun, spektral değerlerin saçılımı üzerindeki etkisi sayısal olarak değerlendirilmiştir.

Daha sonra ivme setlerindeki kayıtlardan veya kayıt takımlarından elde edilen ötelenme taleplerinin merkezi eğilimi (ortalaması) ve saçılımı kullanılarak, hem farklı stratejilerin bu parametreler üzerindeki etkisi değerlendirilmiş hem de aynı strateji ile elde edilen farklı setler için bu parametrelerin değişimi incelenmiştir.

Ek olarak, setlerde yer alan ivme kayıtları ve ivme kaydı takımlarına ait spektral değerlerin saçılımı ile bu setlerdeki ivme kayıtlarından ve kayıt takımlarından elde edilen ötelenme taleplerinin saçılımı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Farklı ivme kaydı veya ivme kaydı takımı setlerinden elde edilen ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları dikkate alınarak, ötelenme ve ötelenme oranı talepleri için örnekleme dağılımı yapılmış ve talepler için %90 güven düzeyi ile güven aralıkları tahmin edilmiştir.

Ötelenme taleplerinin eğiliminin ölçüsü olarak literatürde kullanılan bir diğer parametre de medyanıdır. Ötelenme ve ötelenme oranı talepleri için setlere ait medyan değeri hesaplanmış ve setlere ait ortalama değeri ile karşılaştırılmıştır.

Ötelenme taleplerine ait ortalama ve saçılım değerlerinin, hasar görebilirlik eğrilerine etkisi açısından ivme seçim stratejileri ele alınmıştır.

## **1.5 Tezin Organizasyonu**

Tezin birinci bölümünde, tezin amacı, kapsamı ve kullanılan yöntem açıklanmıştır. Ayrıca tez çalışması ile ilgili detaylı bir literatür araştırması yapılmış, tez çalışmasında ele alınan konu ile ilgili problem tanımlanmıştır.

İkinci bölümde yapısal analiz yöntemleri, doğrusal olmayan davranış, yönetmelikte yer alan doğrusal olmayan modelleme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışması kapsamında kullanılan TSD sistemler ile ilgili bilgiler ile üç boyutlu betonarme binaların tasarımı ve doğrusal olmayan analiz modelleri ile ilgili bilgiler yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, TBDY’de yer alan zaman tanım alanında analizler için kullanılacak ivme kaydı seçimi koşulları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, tez kapsamında geliştirilen ivme seçim stratejileri, bu stratejiler kullanılarak elde edilen ivme kaydı ve ivme kaydı takımı setleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ek olarak, farklı stratejiler ile elde edilen ivme setlerinde yer alan kayıt ve kayıt takımlarına ait spektral değerlerin saçılımları incelenmiştir. Ayrıca, bir ivme seti için, hem sete ortalama spektrumun hem de setteki kayıtlara ait bireysel spektrumların ilgili hedef spektrum ile uyumu, literatürde yer alan bazı sayısal ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde TSD sistemlerin ve üç boyutlu betonarme binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları verilmiştir. Bu kapsamda, TSD sistemler için elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin eğilimi ve saçılımı, üç boyutlu betonarme binalar için maksimum ötelenme oranı ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin eğilimi ve saçılımı detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde, beş farklı başlıkta analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Spektral değerlerin saçılımı ile ötelenme taleplerinin saçılımları karşılaştırılmış, farklı setlerden elde edilen ötelenme talepleri arasındaki fark varyans analizi ile değerlendirilmiş, setlere ait ortalama ötelenme talepleri ile medyan ötelenme talepleri kıyaslanmıştır. Ayrıca, ötelenme taleplerine ait güven aralığı tahminleri yapılmış ve ötelenme taleplerine ait ortalama ve saçılım değerlerinin hasar görübilirlik eğrilerine etkisi incelenmiştir.

Yedinci bölümde, tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenerek ifade edilmiş ve spektral uyumlu ivme kaydı seçimi için bazı öneriler sunulmuştur.

## 2. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

Bu bölümde, yapıların analiz yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, doğrusal olmayan modelleme ile tek serbestlik dereceli ve üç boyutlu yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Yapıların ekonomik ömrü boyunca meydana gelecek depremlerde hiç hasar almaması hedefi ile tasarım yapmak ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Bu yüzden bina tasarımı yapılırken, şiddetli depremlerde yapının hasar görmesine yani doğrusal olmayan davranışa bilerek izin verilir. Ancak hasarın sınırlı düzeyde kalması istenir.

### 2.1 Yapısal Analiz Yöntemleri

Yapısal analiz yöntemleri, yapısal modelde dikkate alınan malzeme davranışına göre doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan olarak ikiye ayrılır. Eğer malzemenin doğrusal elastik davrandığı kabul edilirse, analiz de doğrusal elastik analiz olur. Malzemenin doğrusal ötesi davranışı da dikkate alınır ise doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiş olur. Yapıya etkileyen yüklerin durumuna göre analizler statik ve dinamik analiz olarak sınıflandırılır. Statik yöntemlerde yapıya etkileyen yükler başlangıçta belli olup zamanla değişmemektedir. Dinamik analizde ise yük zamanla değişmektedir. O halde, malzeme davranışına ve yük etkisine göre dört farklı analiz yöntemi söz konusudur. Bunlardan birincisi, malzemenin doğrusal elastik ve yükün sabit kabul edildiği doğrusal statik analizdir. Malzemenin doğrusal elastik ama yükün zamanla değiştiği kabul edilen yöntem ise doğrusal dinamik analizdir. Diğer iki yöntem ise doğrusal olmayan statik ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleridir. Doğrusal statik yöntem TB DY’de yer alan eşdeğer deprem yükü yöntemi, doğrusal dinamik yöntem ise yine TB DY’de yer alan mod birleştirme yöntemi örnek verilebilir. Doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemlere ise sırası ile statik itme analizi (pushover analysis) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz örnek olarak verilebilir.

### 2.1.1 Doğrusal Statik Analiz

Doğrusal statik analiz yöntemi genellikle yönetmeliklerde yer alan, anlaşılması kolay ve diğer analiz yöntemlerine göre uygulaması basit bir analiz yöntemidir. Bu yöntemde malzeme davranışı doğrusal ve yapıya etkiyen yükler sabit kabul edilir. Ayrıca, yapının birbirine dik doğrultularındaki birinci modlarının, deprem etkisinde ilgili doğrultudaki davranışı temsil edebildiği kabul edilir. Bu sebeple, bu kabulün geçerli olmadığı binalar için kullanılması uygun olmaz. TBDY'ye göre, yöntemin kullanılabilmesi için binalar Tablo 2.1'de verilmiştir. Tablo 2.1'de DTS yönetmelikte tanımlanan deprem tasarım sınıfını, BYS bina yükseklik sınıfını ifade etmektedir.

Tablo 2.1: Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq 4$	BYS $\geq 5$
Diğer tüm binalar	BYS $\geq 5$	BYS $\geq 6$

Bu yöntemin kullanılması için gerekli hesap adımları ve diğer tanımlamalar da TBDY'de yer almaktadır. Tablo 2.1'den görüldüğü gibi yöntem nispeten daha düşük yükseklikteki binalara uygulanmaktadır. Dolayısıyla, BYS, yöntemin kullanılabilmesi için bir kriter olarak dikkate alınmaktadır.

### 2.1.2 Doğrusal Dinamik Analiz

Yapıya ömrü boyunca yapının kendi ağırlığı ile birlikte deprem yükü, rüzgâr yükü gibi zamanla değişebilen yükler etkimektedir. Yapıda kullanılan malzemenin doğrusal olduğu ve yapıya etkiyen yüklerin zamanla değiştiği kabul edilen analiz yöntemi doğrusal dinamik analizdir. TBDY'de tanımlanan doğrusal dinamik analiz yöntemleri, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında mod toplama yöntemidir.

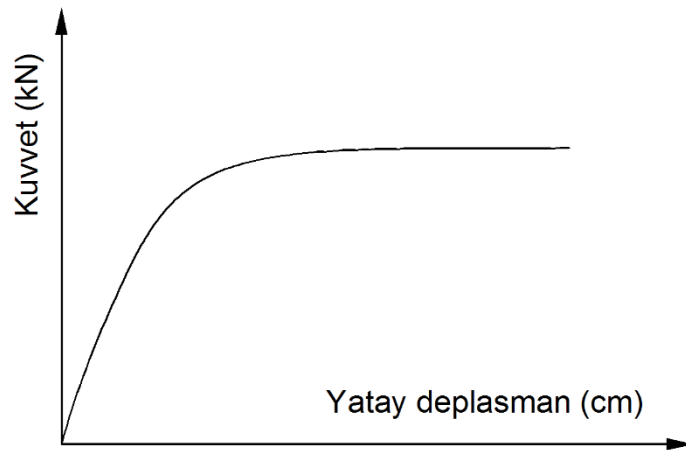
Mod birleştirme yönteminde, elastik taşıyıcı sistemin her bir titreşim modu için elemanlarda maksimum kesit tesirleri ayrı ayrı elde edilir ve daha sonra birleştirilir.

Böylece eşdeğer deprem yükünden farklı olarak birden fazla mod dikkate alınmış olur. Göz önüne alınan deprem doğrultularının her biri için hesaba katılması gereken mod sayısı TBDY’de tanımlanmıştır.

Zaman tanım alanında mod toplama yönteminde deprem eş zamanlı olarak birbirine dik iki yatay doğrultuda etkilendiğinden, her bir titreşim moduna ait modal davranış büyüklükleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemi ile hesaplanmaktadır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan eşzamanlı modal davranış büyüklükleri daha sonra zaman tanım alanında doğrudan toplanarak tasarıma esas en büyük değerler elde edilir. Zaman tanım alanında mod toplama yöntemi ile mod katkıları doğrudan toplandığından mod birleştirme kurallarının uygulanmasına gerek yoktur.

### 2.1.3 Doğrusal Olmayan Statik Analiz

Bu yöntemde taşıyıcı sistem elemanlarını oluşturan malzemelerin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak statik itme analizi yapılır. Statik itme analizinde Şekil 2.1’de gösterildiği gibi yapının taban kesme kuvveti ile çatı yatay deplasman ilişkisini gösteren kapasite eğrileri elde edilir. Görüldüğü gibi düşük çatı deplasmanı (düşük deprem etkisi) için bina doğrusal elastik davranırken, çatı yatay ötelenmesi arttıkça bina davranışı doğrusal olmaktan çıkmakta, doğrusal olmayan davranış görülmektedir. Şekil 2.1’e bakılarak binanın yatay yük taşıma kapasitesi ve yatay deplasman kapasitesi belirlenebilir.



Şekil 2.1: Tipik bir kapasite eğrisi



Şekil 2.1'deki kapasite eğrisinin elde edilmesi için yapıya genellikle birinci mod şekline uygun olarak adım adım arttırılan yatay yük uygulanmakta ve her bir adımda elemanlara ait iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler kaydedilmektedir. Ayrıca, yapı elemanlarındaki değişimler analiz modeline yansıtılmaktadır. TBDY'de tanımlanan tek modlu itme analizi, bu yöntemle örnektir. Tek modlu itme yönteminin uygulanabilmesi için BYS'nin 5 veya daha fazla olması, burulma düzensizliği katsayısının 1.4'ten küçük olması ve birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvvetinin etkin kütesinin toplam bina kütesine oranının en az 0.70 olması gerekir.

#### **2.1.4 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz**

Deprem etkisinde, karmaşık yapısal tepkilerin en gerçekçi biçimde elde edildiği analiz yöntemi doğrusal olmayan dinamik analiz (zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz) yöntemidir. Bu yöntemde, yapıya zamanla değişen deprem yer hareketi etkiltilmekte, yapının yer hareketine tepkisi zamana bağlı olarak elde edilmektedir. Yani yöntem, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşılık gelmektedir. Zaman tanım alanında analiz için TBDY'ye göre bir ve iki boyutlu sistemlerin analizinde 11 adet ivme kaydı, üç boyutlu yapıların analizinde ise 11 adet ivme kaydı takımı kullanılması gereklidir. TBDY'de, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi tüm binalar için şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında kullanılmaktadır. Yöntemin, TBDY Bölüm 13 kapsamına giren yüksek binalar için kullanılması zorunludur.

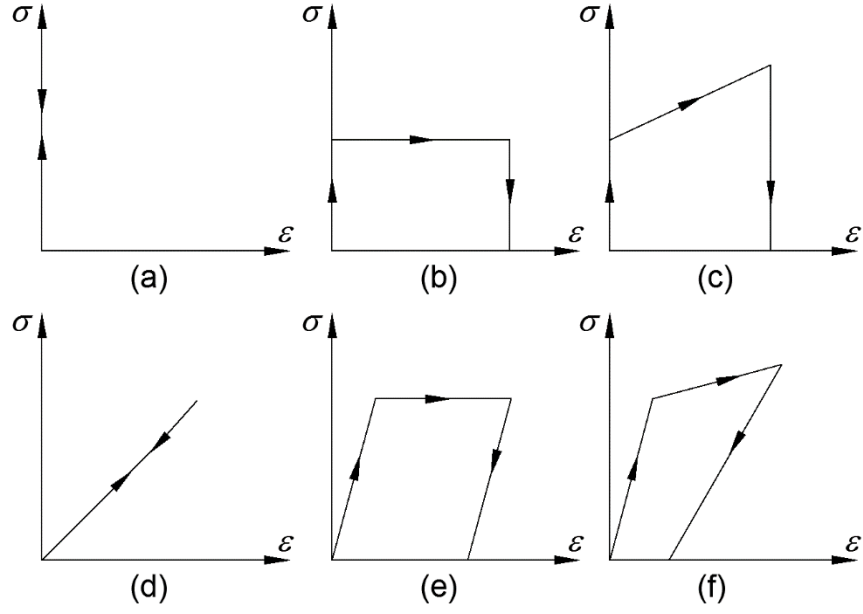
#### **2.2 Doğrusal Olmayan Davranış**

Yapı elemanları için kullanılan malzemeler, yapının ekonomik ömrü boyunca gelen statik veya dinamik yükler altında şekil değiştirmeye uğramaktadır. Şekil değiştirmeler doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayan şekil değiştirmeler de meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan analizlerde, malzemenin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin bilinmesi ve analiz modeline yansıtılması gerekmektedir.

Mühendislik alanında kullanılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusal olmadığı gibi birbirlerinden farklıdır. Malzemenin bütün özelliklerini dikkate alarak doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme diyagramlarını elde etmek oldukça zordur. Bu nedenle, malzemelerin belirli özellikleri dikkate alınarak gerçeğe yakın seviyelerde sonuç verebilmesi için gerilme-şekil değiştirme diyagramlarında idealleştirmeler yapılır. Şekil 2.2'de, malzemenin tek eksenli gerilme halinde yapılmış bazı idealleştirmeler verilmiştir (Bakioğlu, 2001).

Şekil 2.2a'da verilen idealleştirilmiş malzemede herhangi bir gerilme altında doğrusal veya doğrusal olmayan şekil değiştirme gözlenmez. Şekil 2.2b'de verilen malzemede akma gerilmesine kadar herhangi bir şekil değiştirme gözlenmez iken, akma gerilmesinden sonra gerilmede herhangi bir artış gözlenmeksizin plastik şekil değiştirme başlar. Gerilme azaldığında ise plastik şekil değiştirmeler kalıcı olur. Şekil 2.2c'de verilen davranışın 2.2b'den tek farkı akma gerilmesinden sonra dayanım artışı gözlenmesidir. Şekil 2.2d'de gösterilen davranış elastik davranıştır. Bu davranış modelinde herhangi bir plastik deformasyon oluşmaz. Yük altında şekil değiştirmeler meydana gelirken yük kaldırıldığında kalıcı şekil değiştirme gözlenmez. Şekil 2.2e'de verilen malzeme ise akma gerilmesine kadar elastik davranış gösterirken akma gerilmesinden sonra plastik deformasyona uğrar. Görüldüğü gibi plastik deformasyon esnasında dayanımda bir değişim olmaz. Şekil 2.2f'de ise akma gerilmesinden sonra gerilmede artış gözlenir. Ayrıca, başlangıç rijitliği ile yükleme boşaltıldıktan sonraki rijitlik birbirine eşit değildir.

Betonarme binaların doğrusal olmayan davranışını belirlerken öncelikle yapıyı oluşturan elamanlarda kullanılan malzemelerin (beton+çelik) doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının belirlenmesi gerekir. Çeliğin gerilme - şekil değiştirme diyagramı betona göre daha kolay belirlenebilir. Ayrıca betonun gerilme - şekil değiştirme eğrisi, dayanıma, yükleme hızına, tekrarlı yüklere vb. bağlı olarak farklılık gösterir. Bu yüzden beton için elde edilecek gerilme-şekil değiştirme eğrisi önem taşımaktadır (Kent ve Park 1969, Mander ve diğ. 1988, Sheikh ve Uzumeri 1982).

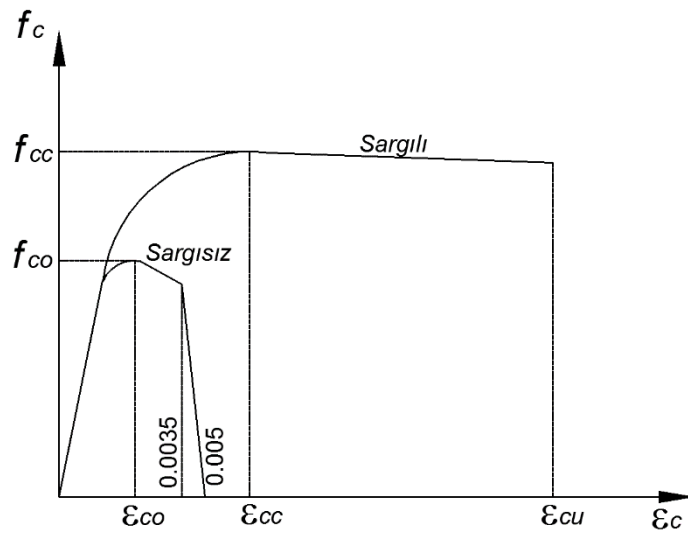


Şekil 2.2: İdealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

TBDY'ye göre doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için beton ve donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile ilgili tanımlamalar yer almaktadır.

### 2.2.1 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

Betonun yatay donatılarla sarılmış çekirdek bölgesi ve sargısız kabuk kısmı için TBDY'de belirtilen sargılı ve sargısız beton modelleri kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: TBDY'de beton için önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sargı etkisi ile hem dayanımda hem de süneklikte artış meydana geleceği varsayılmaktadır. Sargılı betonda maksimum birim şekil değiştirme  $\varepsilon_{cu}$  iken, sargısız betonda ise 0.005 alınmaktadır. Sargılı beton modeli için önerilen denklemler aşağıda gösterilmiştir (Denklem 2.1-Denklem 2.12).

Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  $f_c$ , basınç birim şekil değiştirmesi  $f_{cc}$ ,  $x$  ve  $r$ 'nin fonksiyonu olarak Denklem 2.1'de verilmiştir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'deki sargılı beton basınç dayanımı olan  $f_{cc}$  ile sargısız beton dayanımı  $f_{co}$  arasındaki ilişki Denklem 2.2 ve Denklem 2.3'te verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2.2)$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'teki  $f_e$  etkili sargılama basıncını göstermektedir. Bu değer dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (2.4)$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.5)$$

Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te  $f_{yw}$  enine donatının akma dayanımını,  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  ilgili doğrultudaki enine donatıların hacimsel oranını,  $k_e$  ise Denklem 2.6'da tanımlanan sargılama etkinlik katsayısı oranını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'daki  $a_i$  kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı,  $A_s$  boyuna donatı alanını,  $s$  boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki uzaklığı,  $b_o$  ve  $h_o$  ise göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını ifade etmektedir. Denklem 2.1'deki normalize edilmiş beton birim

şekil değiştirmesi  $x$  ile  $r$  değişkenine ilişkin denklemler Denklem 2.7 ile Denklem 2.12 arasında verilmiştir. Denklem 2.7 ile Denklem 2.12’de gösterilen  $E_c$  betonun elastisite modülünü göstermektedir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (2.9)$$

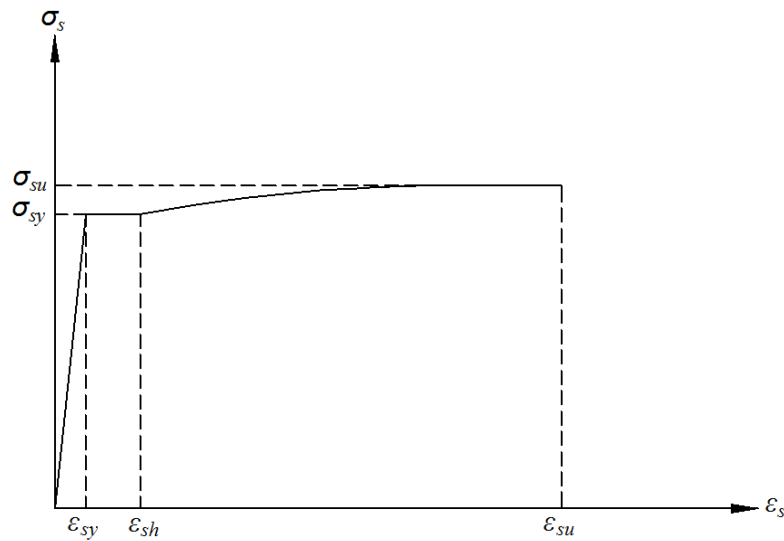
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.10)$$

$$E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \quad [\text{Mpa}] \quad (2.11)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.12)$$

### 2.2.2 Donatı eliği Modeli

TBDY’de doğrusal olmayan analiz modelleri için kullanılmak üzere donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlayan bağıntılar Ek 5A.2’de verilmiştir. şekil 2.4’te betonarme donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir.



şekil 2.4: Donatı eliğine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s=200,000$  MPa'dır. Tez kapsamında dikkate alınan betonarme bina modelleri için seçilen donatı çeliği S420 kalitesindedir. S420 donatı çeliği için TBDY'de akma birim uzaması  $\varepsilon_{sy}=0.0021$ , pekleşmenin başladığı andaki birim uzama  $\varepsilon_{sh}=0.008$  ve kopma birim uzaması  $\varepsilon_{su}=0.08$  olarak önerilmiştir. Akma dayanımı  $\sigma_{sy}=420$  MPa ve kopma dayanımı  $\sigma_{su}=550$  MPa alınmıştır.

Betonarme donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Denklem 2.13-Denklem 2.15).

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (2.13)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (2.14)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (2.15)$$

### 2.3 Doğrusal Olmayan Modelleme

Doğrusal olmayan modelleme yapılabilmesi için yapıya ait taşıyıcı sistemin geometrisi, malzeme özellikleri, taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, kiriş, perde) boyutu ve yapıya etkileyen yükler ile beraber elemanların boyuna ve enine donatı bilgilerinin bilinmesi gerekir.

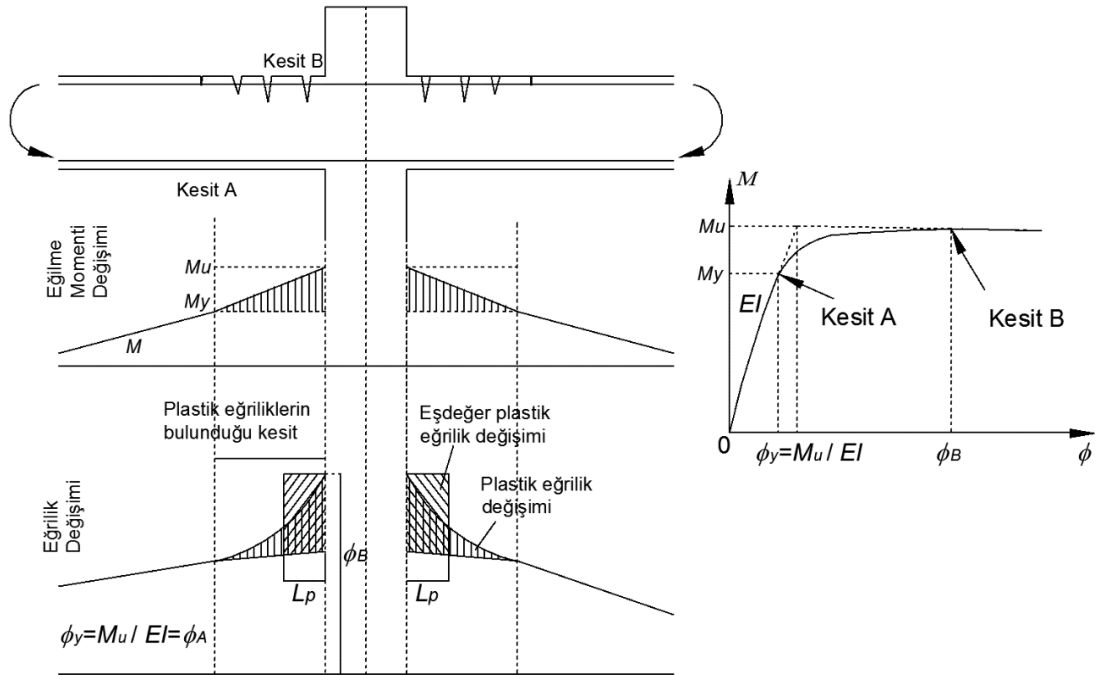
Bina taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş ve perdelerde doğrusal olmayan davranış modeli olarak yayılı plastik davranış modeli veya yığılı plastik davranış modeli kullanılmaktadır. Yayılı plastik davranış modeli, sonlu uzunluktaki uç bölgeler (plastik mafsallık bölgeleri) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri göz önüne almaktadır. Yığılı plastik davranışta ise iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki uç bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır.

Plastik mafsallık özellikleri elemanlarda oluşacak kesit tesirleri ve deformasyonlara göre belirlenmektedir. Betonarme kirişler eğilmeye çalışan elemanlar olduğu için bu tür elemanlarda eğilme mafsallığı tanımlanmaktadır. Eksenel yükün ve eğilmenin etkin olduğu kolonlarda ise eğilmenin ve eksenel yükün bir arada

kullanıldığı plastik mafsallar tanımlanmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesme ve aksenal yük için de kesme mafsalı ve aksenal yük mafsalı kullanılması gerekmektedir.

### 2.3.1 Plastik Mafsal

Taşıyıcı sistem elemanlarının yük-deformasyon ilişkilerini kullanarak plastik mafsal bilgileri tanımlanmaktadır. Basit eğilme altındaki kirişlerin şekil değiştirmeleri kiriş eksenini boyunca değişmektedir. Şekil 2.5'te birbirine bağlı iki kirişin, düşey yük etkisi altında mesnet bölgesindeki eğilme momenti ve eğrilik değişimi verilmektedir (Celep 2014).



Şekil 2.5: Sürekli kirişte plastik eğrilik değişimi ve plastik mafsal kabulü

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi A kesitinde moment  $M_y$  değerine ulaşmış ve akma eğriliği,  $\phi_y$ , meydana gelmiştir. Momentin daha küçük olduğu bölgelerde yani mesnetten uzaklaştıkça kesitlerde elastik eğrilik moment değerleri ile orantılı olarak  $\phi = M/EI$  şeklinde oluşmaktadır. Kolon yüzüne daha yakın bölgelerde ise plastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Göreli dönme, A ve B kesiti arasındaki eğriliklerin toplamıdır ve eğrilik değişimindeki taralı alandır. Görüldüğü gibi bu dönme, plastik ve elastik dönmelerin tamamını oluşturur. Şekil 2.5'te  $L_p$  ile gösterilen

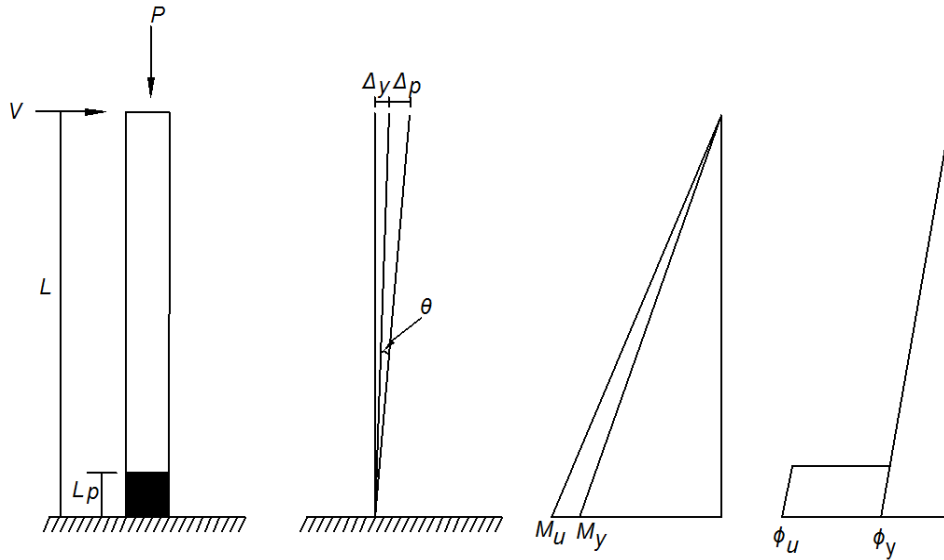
kısım plastik mafsalsal bölgesi olarak kabul edilir. Kiriş mesnetinde moment değişiminin sivrilik oluşturması plastik mafsalsal boyunun kısalmasına sebep olmaktadır. Kiriş ortasında meydana gelen maksimum moment değişimi az olduğundan plastik mafsalsal uzunluğu da daha fazladır.

Plastik mafsalsal boyu  $L_p$ , moment eğrilik bağıntısı, momentin eleman boyunca değişimi, elemanın kesit yüksekliği, boyuna ve enine donatı, elemanın en kesit boyutu ve kesite etki eden normal kuvvet düzeyi gibi farklı parametrelere bağlıdır. Örneğin  $L_p$  için Denklem 2.16 ile verilen bağıntıyı Priestley ve diğ. (1996) önermiştir. Denklemde de görüldüğü gibi plastik mafsalsal boyu donatının akma dayanımına ( $f_{ye}$ ), boyuna donatı çapına ( $d_{bl}$ ) ve plastik mafsalsal momentin sıfır olduğu noktaya uzaklığına ( $L_0$ ) bağlıdır.

$$L_p = 0.08L_0 + 0.022f_{ye}d_{bl} \geq 0.044f_{ye}d_{bl} \quad (\text{MPa, mm}) \quad (2.16)$$

### 2.3.2 Eğriliğin İdealleştirilmesi

Şekil 2.6'da düşey ve yatay yüklere maruz betonarme bir konsol kolonun idealleştirilmiş moment-eğrilik diyagramları görülmektedir.



Şekil 2.6: Betonarme bir konsolun eğrilik diyagramının idealleştirilmesi

Şekil 2.6'ya göre plastik mafsalsal bölgesine kadar eğriliğin doğrusal değiştiği ve plastik mafsalsal bölgesinde ise Şekil 2.5'deki gibi eğrilik değerlerinin arttığı



görülmektedir. Doğrusal olmayan analizler için kullanılacak plastik mafsal davranışında moment-dönme ilişkisi tanımlanmaktadır. Mafsal bilgileri için dönme değerleri moment alan yöntemi ile hesaplanabilir (Denklem 2.17 - Denklem 2.20). Denklemlerde verilen  $\theta_y$  ve  $\theta_p$  sırası ile akma dönmesini ve plastik dönmeyi,  $\Delta_y$  ve  $\Delta_p$  ise sırası ile akma deplasmanını ve plastik deplasmanı göstermektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L}{2} \quad (2.17)$$

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (2.18)$$

$$\Delta_y = \theta_y \left( \frac{2L}{3} \right) \quad (2.19)$$

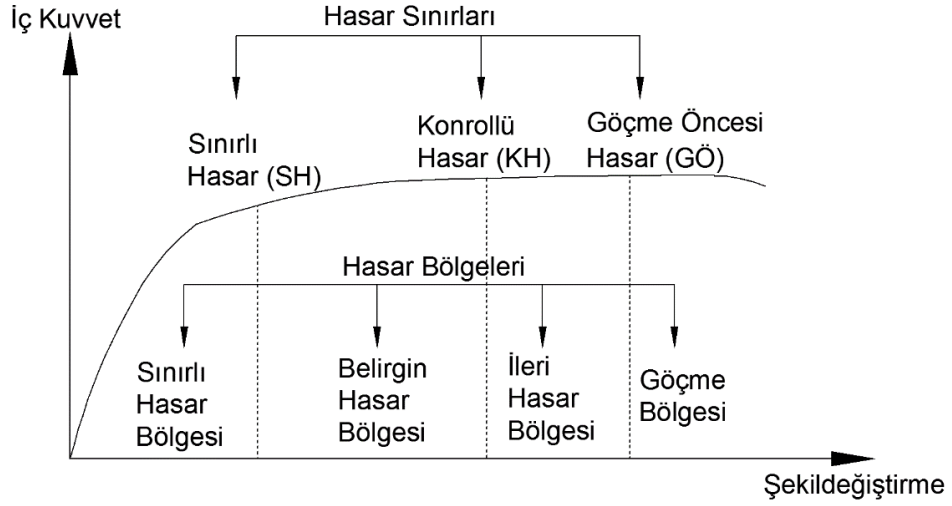
$$\Delta_p = \theta_p \left( L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2.20)$$

## 2.4 TBDY’de Doğrusal Olmayan Modelleme

### 2.4.1 Yapı Elemanlarında Kesit Hasar Bölgeleri ve Hasar Sınırları

TBDY’de sünek elemanlar için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) bölgeleri ile bu bölgelere ait sınırlar tanımlanmıştır. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi sınırlı hasar için kesitte sınırlı miktarda elastik olmayan davranış olması beklenir. Kontrollü hasar sınırı için, elastik olmayan davranış kesit tarafından güvenle taşınabilecek durumdadır. Göçme öncesi sınırında ise kesitte ileri düzeyde elastik olmayan davranış tanımlanmaktadır.

Doğrusal olmayan statik veya dinamik analizler ile her bir elemanın ilgili kritik kesitlerinde bulunan iç kuvvetler-şekil değiştirmeler, hasar bölgelerine ait sınır değerlerle karşılaştırılır ve kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenmektedir. Örneğin herhangi bir kiriş için sağ kesit sınırlı hasar bölgesinde ve sol kesit belirgin hasar bölgesinde ise eleman belirgin hasar bölgesindedir.



Şekil 2.7: TBDY'ye göre kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

#### 2.4.2 Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

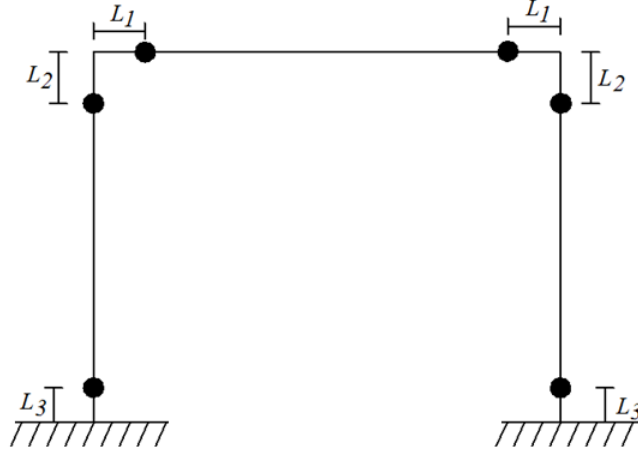
TBDY'de çubuk sonlu eleman olarak modellenebilen kolon ve kirişlerin doğrusal olmayan davranışı için yayılı veya yığılı plastik mafsal modeli kullanılabilir. Tez çalışmasında, yığılı plastik mafsal modeli kullanılmıştır.

Yığılı plastik mafsal boyu, TBDY 5.3.1.2'de belirttiği gibi, eğilmeye çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınacaktır (Denklem 2.21).

$$L_p = 0.5h \quad (2.21)$$

Yığılı plastik mafsal kabulünde, plastik mafsalın TBDY 5.3.1.4'e göre, plastik mafsal boyunun yani plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasında noktasal olarak bulunması gerekmektedir. Tez çalışmasında, plastik mafsallar, plastik mafsal bölgesinin ortasında tanımlanmıştır (Denklem 2.22). Şekil 2.8'de basit bir çerçevede plastik mafsalların tanımlandığı yerler gösterilmiştir.

$$L_1 = L_2 = L_3 = 0.5L_p \quad (2.22)$$



Şekil 2.8: Kolon ve kirişlere atanan plastik mafsalların yeri

### 2.4.3 Betonarme Elemanların Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri

TBDY'ye göre, kesit hasar bölgelerine ait sınır değerler, beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmeleri için tanımlanmış sınır değerlere ve izin verilen plastik dönmelere bağlı olarak tanımlanmıştır (Tablo 2.2 ve Tablo 2.3).

**Tablo 2.2:** Kesit hasar bölgeleri için şekil değiştirmelerin üst sınırı

Hasar Sınırı	Beton	Donatı çeliği
Sınırlı Hasar (SH)	$\varepsilon_c^{SH}=0.0025$	$\varepsilon_s^{SH}=0.0075$
Kontrollü Hasar (KH)	$\varepsilon_c^{KH}=0.75\varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{KH}=0.75\varepsilon_s^{(GÖ)}$
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\varepsilon_c^{GÖ}=0.0035+0.04\sqrt{\omega_{we}}\leq 0.018$	$\varepsilon_s^{GÖ}=0.4\varepsilon_{su}$

**Tablo 2.3:** Kesit hasar bölgeleri için plastik dönmelerin üst sınırı

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

Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilen kesit hasar sınırlarına ait sınır değerlerden hangisi önce aşıyorsa o andaki eğrilik, hasar bölgesi için sınır değer kabul edilmektedir. Tablo 2.2'de  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını,  $\varepsilon_c$  beton

birim kısalmasını,  $\varepsilon_s$  çeliğin birim şekil değiştirmesini göstermektedir. Tablo 2.3'te ise  $\theta_p$  plastik dönme sınırını,  $\phi_u$  göçme öncesi toplam eğriliği,  $\phi_y$  akma eğriliğini,  $L_p$  plastik mafsalsal boyunu,  $L_s$  kesme açıklığını ve  $d_b$  boyuna donatının çapını göstermektedir.

Tablo 2.2'de verilen  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı Denklem 2.23 ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.23'te yer alan  $\alpha_{se}$  sargı donatısı etkinlik katsayısını,  $\rho_{sh,min}$  dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hesaplanan hacimsel enine donatı oranından küçük olanı,  $f_{ywe}$  enine donatının ortalama akma dayanımını ve  $f_{ce}$  betonun ortalama basınç dayanımını göstermektedir.

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.23)$$

Dikdörtgen kesitli betonarme taşıyıcı elemanlarında  $\alpha_{se}$  Denklem 2.24 ile göz önüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı,  $\rho_{sh}$ , Denklem 2.25 ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.24'te  $s$  enine donatı aralığını,  $b_o$  ve  $h_o$  sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını,  $a_i$  bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \quad (2.24)$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (2.25)$$

Denklem 2.25'te  $A_{sh}$  göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alansal oranını,  $b_k$  dik doğrultudaki çekirdek boyutunu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) göstermektedir.

## 2.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Daha önceden de belirtildiği gibi malzemenin doğrusal olmayan davranışını ve yapıya gelen yüklerin zamana bağlı değişimini göz önüne alan analiz yöntemi zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizdir. Bu yöntem, deprem etkisindeki yapıların tepki parametrelerini gerçekçi bir biçimde tahmin etmek için en etkin analiz yöntemidir. Bu yöntemde, yapıya etkiyen zamana bağlı deprem yüklerini de içeren

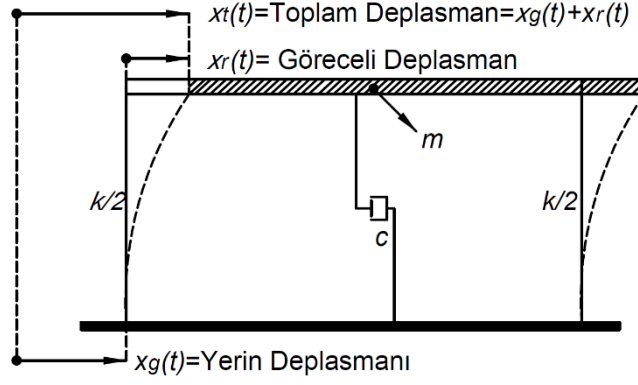
yapısal sistemin hareket denklemi adım adım çözülmektedir. Her bir adımda sistemde meydana gelen ötelenmeler, dönmeler ve her bir elemanda oluşan iç kuvvetler hesaplanmaktadır. Belirtmek gerekir ki, bu yöntemin yapısal tepkileri tahmin etmedeki etkinliği yapısal modelin doğru bir şekilde oluşturulmasına ve deprem yer hareketinin uygun bir şekilde seçilmesine bağlıdır.

Analizde kullanılacak yapısal modeller TSD ve çok serbestlik dereceli sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. TSD sistemin hareket halindeki konumunu belirlemek için tek bir parametre yeterlidir. Üç boyutlu binalara ait yapısal tepki parametrelerinin elde edilmesi ise binaları temsil eden çok serbestlik dereceli sistemlerin göz önüne alınması ile mümkündür. Çok serbestlik dereceli sistemler düzlem çerçeve modelleri veya üç boyutlu çerçeve modelleri şeklinde hazırlanabilir.

### 2.5.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Herhangi bir sistemin yer değiştirmiş konumlarını başlangıç konumlarına göre belirlemek için gerekli olan parametre sayısına serbestlik derecesi denilmektedir. Bu yüzden konumu tek bir parametre ile belirlenen sistemlere TSD sistemler denir. TSD sistemin davranışını, mesnet şartları ve hareket denkleminde başlangıçta kabul edilen şartlar (sönüm, zorlanmış veya serbest titreşim vb.) belirlemektedir. Şekil 2.9'da TSD sistemlerin matematiksel modeli verilmiştir. Şekil 2.9'da rijit döşemeye sahip, elastiklik özelliğinin kolonda ve kütlelerin rijit döşemede toplandığı sönümlü TSD sistem görülmektedir. Hareket denklemi ise sönüm ve rijitlik ile kuvvete dengesine bağlı olarak Denklem 2.26'da verilmiştir.

Şekil 2.9'da gösterilen  $x_g(t)$  mesnet hareketini,  $x_r(t)$  kütlelerin mesnete göre göreceli yer değiştirmesini ve  $x_i(t)$  ise toplam yer değiştirmeyi göstermektedir. Denklem 2.26'da  $m$  rijit kütle,  $k$  rijitliği,  $c$  sönüm katsayısını göstermektedir. Denklemde sağda bulunan  $-m\ddot{x}_g(t)$  terimi ise titreşime sebep olan dış kuvveti yani yer hareketi ivmesinin kütle ile çarpımını göstermektedir.



Şekil 2.9: TSD sistemin matematiksel modeli

Sönüm yapıda meydana gelen titreşiminin azalmasında rol oynamaktadır. Sönüm için verilecek örnekler, titreşim halindeki bir çelik yapıda birleşim noktalarında oluşan sürtünme veya betonarme binalarda oluşan betondaki çatlamalardır.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t) \quad (2.26)$$

Denklem 2.27'de kritik sönüm katsayısı verilmiştir. Sönümlü sistemler için periyot hesabında kullanılacak formül Denklem 2.28'de gösterilmiştir. Denklem 2.28'de  $\omega_d$  sistemin dairesel (açısal) frekansdır.

$$C_{cr} = 2\sqrt{mk} \quad (2.27)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_d} \quad (2.28)$$

TSD sistemlerde analizlerde kullanılacak sönüm oranı Denklem 2.29'da verilmiştir.

$$\zeta = \frac{c}{C_{cr}} \quad (2.29)$$

Denklem 2.30'da verilen Duhamel İntegrali, TSD sistemlerin hareket denklemini çözümünde kullanılmaktadır. Duhamel integralinde sisteme uygulanan kuvveti bir dizi sonsuz-kısa süreli itki olarak temsil etmektedir (Chopra 1995).

$$x(t) = -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin\omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2.30)$$

Tez çalışmasında, TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde sayısal integrasyon yöntemi kullanılmıştır. İntegrasyon için Newmark yöntemi kullanılmıştır (Newmark 1959). Bu yöntem adım adım integrasyonun genelleştirilmiş şeklidir. Bu yöntemde yaklaşıklık derecesi zaman adımına bağlı değişmektedir. Genellikle  $\Delta t \leq T/10$  şeklinde bir adım seçimi yeterli yaklaşıklıkta sonuç verdiği için tercih edilmektedir.

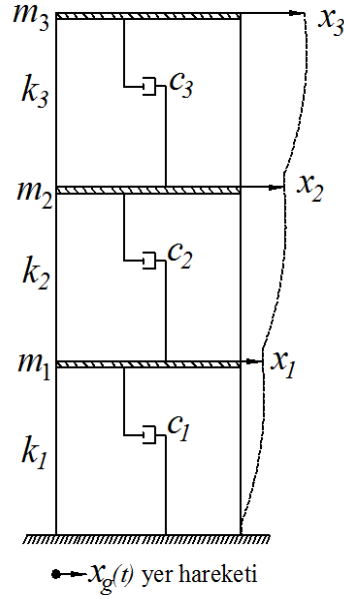
### 2.5.2 Düzlem Çerçeveler

Düzlem çerçeveler, belirli bir düzlemde yer alan kolon/perde ve kirişlerden meydana gelen çok serbestlik dereceli sistemlerdir. Binaların düzlem çerçevelerde temsil edildiği durumlarda çoğu kez, yapının her bir kattaki kütesinin kat seviyelerinde toplandığı kabul edilir. Temel seviyesinde ankastre mesnetin bulunması da düzlem çerçeveler için kullanılan diğer bir kabuldür.

Düzenli binaların, birden fazla düzlem çerçeveden oluştuğu ve bu çerçevelerin birbirine hem paralel hem de dik doğrultuda olduğu kabul edilebilmektedir. Bu çerçeveler, deprem etkisi altında birbirleriyle etkileşim halinde yatay ötelenme yapmaktadırlar. Her bir düzlem çerçevenin rijitlikleri birbirine yakın ise sistemde bulunan her bir çerçevenin kendi düzlemi içerisinde ötelenmeler yaptığı ve yatay-düşey yükleri taşıdığı kabul edilebilir. Herhangi bir kolonun yatay rijitliğine sistemde bulunan bütün elemanlar etki etse de, kolonlara doğrudan bağlanan kirişlerin kolon rijitliğine etkisi diğer elemanlara göre daha fazladır. Düzlem çerçeve kolonlarında oluşan eğilme momentleri kesme kuvvetlerine bağlı olduğundan kolon uçlarında oluşan görelî ötelenme değerleri, hem kolonun yatay ötelenme rijitliğine hem de kesme kuvvetine bağlıdır. Bu tür düzlem çerçeveler, kesme kuvveti etkili olduğu için kayma çerçevesi olarak da bilinmektedir (Celep ve Kumbasar 2004).

Kayma çerçevesinde serbestlik derecesi birkaç kabul ile düşürülebilmektedir. Bu kabuller, döşeme sisteminin rijit olduğu ve kolon uçlarında herhangi bir dönmenin olmadığıdır. Bu kabuller sonucunda yapı serbestlik derecesi ile kat sayısı birbirlerine eşit olmaktadır. Daha ayrıntılı bir çözüm için kolon uçlarındaki dönmelerin de dikkate alınması ile kat sayısına düğüm noktalarının sayısını eklemekle serbestlik derecesi elde edilmektedir. Şekil 2.10'da üç katlı bir kayma çerçevesi görülmektedir. Kolon

uçlarındaki dönmenin olmadığı kabulü ile üç katlı kayma çerçevesi üç serbestlik dereceli sistemdir.



Şekil 2.10: Üç serbestlik dereceli kayma çerçevesi

Şekil 2.10’da verilen kayma çerçevesine ait hareket denklemi Denklem 2.31’de verildiği şekli ile her kata ait dinamik denge yazılarak elde edilmektedir. Kayma çerçevesine ait hareket denkleminde kullanılan kütle, sönüm ve rijitlik matrisi sırasıyla Denklem 2.32, 2.33 ve 2.34’te verilmiştir.

$$[m]\{\ddot{x}(t)\}+[c]\{\dot{x}(t)\}+[k]\{x(t)\}=-[m]\{\ddot{x}_g(t)\} \quad (2.31)$$

$$[m]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

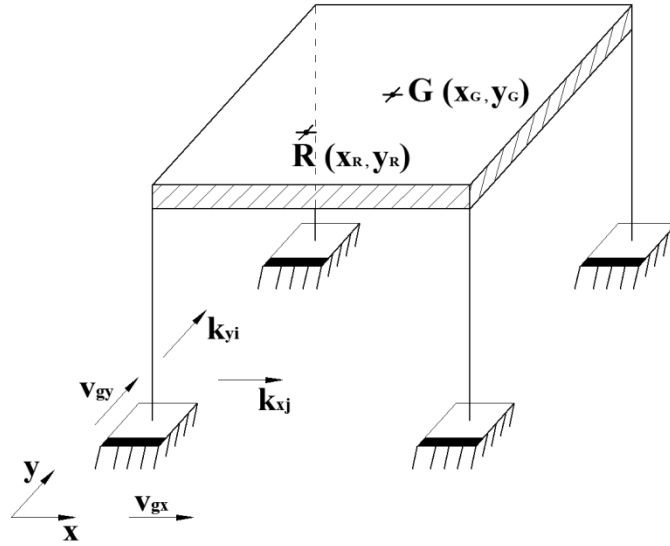
$$[c]=\begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$[k]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$



### 2.5.3 Üç Boyutlu (Uzay) Çerçeveler

Bina türü yapıların daha detaylı olarak analizi için üç boyutlu olarak modellenmesi gerekir. Örneğin, burulma etkisinde olan bir yapının düzlem çerçeve yerine üç boyutlu olarak modellenmesi, burulma etkisinin de dikkate alınmasına olanak sağlayacaktır. Üç boyutlu çerçevelerde de kayma çerçevesi ile ilgili kabuller yapmak mümkündür. Bu durumda, her bir kata ait kütlelerin kat seviyelerinde toplandığı kabulü ile her bir kat için iki doğrultuda yerdeğiştirme ve dönme olmak üzere üç adet serbestlik derecesi dikkate alınarak analiz yapılır (Celep ve Kumbasar 2004). Şekil 2.11’de tek katlı sönümsüz üç boyutlu çerçeve görülmektedir.



Şekil 2.11: Tek katlı üç boyutlu çerçeve

Şekil 2.11’de  $R(x_G, y_G)$  ve  $G(x_G, y_G)$  sırasıyla sistemin rijitlik merkezini ve ağırlık merkezini göstermektedir. Şekil 2.11’de verilen çerçeveye ait hareket denklemleri Denklem 2.35’te verilmiştir. Denklemlerde görülen  $M$  kat kütlelerini,  $J$  katın kütlelerinin düşey eksen etrafındaki atalet momentini,  $k$  ise kata ait rijitliği göstermektedir. Denklem 2.35’te bulunan kütle ve rijitlik matrisleri ile yük vektörü sırası ile Denklem 2.36, 2.37 ve 2.38’de verilmiştir.

$$[m]\{\ddot{x}(t)\} + [k]\{x(t)\} = -p(t) \quad (2.35)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} M & 0 & -M(y_G - y_R) \\ 0 & M & M(x_G - x_R) \\ -M(y_G - y_R) & M(x_G - x_R) & J + M(x_G - x_R)^2 + M(y_G - y_R)^2 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$[k] = \sum_{j=1}^4 \begin{bmatrix} k_{xj} & 0 & -k_{xj}(y_j - y_R) \\ 0 & k_{yj} & k_{yj}(x_j - x_R) \\ -k_{xj}(y_j - y_R) & k_{yj}(x_j - x_R) & k_{yj}(x_j - x_R)^2 + k_{xj}(y_j - y_R)^2 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$[p] = \begin{bmatrix} -M\ddot{u}_{gx} \\ -M\ddot{u}_{gy} \\ -M(x_G - x_R)\ddot{u}_{gy} + M(y_G - y_R)\ddot{u}_{gx} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

### 3. ANALİZ İÇİN KULLANILACAK MODELLER

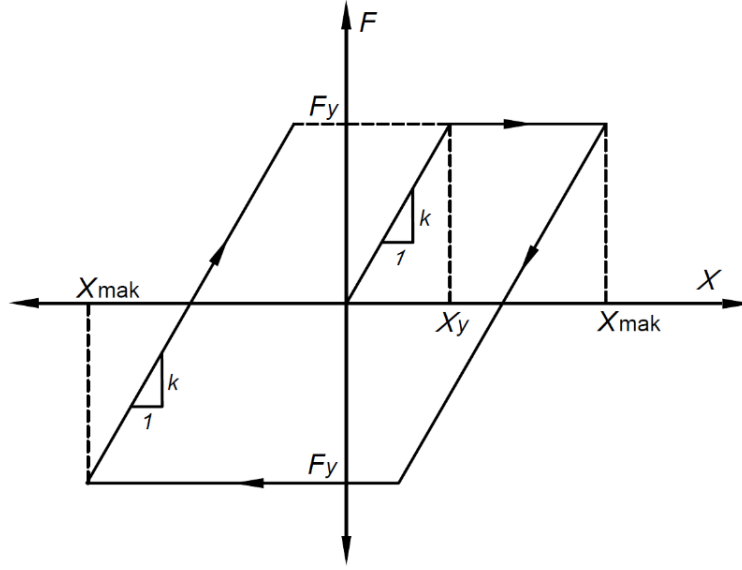
Bu bölümde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için kullanılan TSD sistemler ve üç boyutlu betonarme binalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

#### 3.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

TSD sistemler, altı farklı doğal titreşim periyoduna ( $T$ ) sahip olacak (0.60s, 0.80s, 1.00s, 1.20s, 1.40s ve 1.60s) şekilde seçilmiştir. Herhangi bir TSD sistemin yatay yük kapasitesinin ( $F_y$ ) deprem hesabına esas ağırlığına ( $W$ ) oranı, yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) olarak tanımlanmaktadır. Her bir doğal titreşim periyodu için 0.10 ile 0.25 arasında değişen (0.10, 0.13, 0.16, 0.19, 0.22, 0.25) yatay dayanım oranına sahip TSD sistemler dikkate alınmıştır. Altı farklı titreşim periyodu ve altı farklı yatay dayanım oranı için toplam 36 adet TSD sistem kullanılmıştır.

TSD sistemlerin doğrusal olmayan davranışının analizlerde dikkate alınabilmesi için Elastik Mükemmel Plastik (EMP) çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır. EMP modeli, genellikle referans davranış modeli olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de EMP modele ait çevrimsel davranış için yük-deplasman ilişkisi ( $F-X$ ) görülmektedir. Görüldüğü gibi elastik davranışın sonunda akma dayanımına ( $F_y$ ) ulaşılmakta ve akma noktasından ( $X_y, F_y$ ) sonra dayanımda bir artış olmaksızın plastik deplasmanlar meydana gelmektedir. Yük boşalması esnasında ise, elastik şekil değiştirmeler geri dönerken plastik şekil değiştirmeler kalmaktadır. Yükleme ve yük boşalması esnasında rijitlikte ( $k_o$ ) bir değişme oluşmamaktadır (Celep 2008).

TSD sistemlerin doğrusal olmayan dinamik analizleri için sönüm oranı  $\xi=0.05$  seçilmiştir.



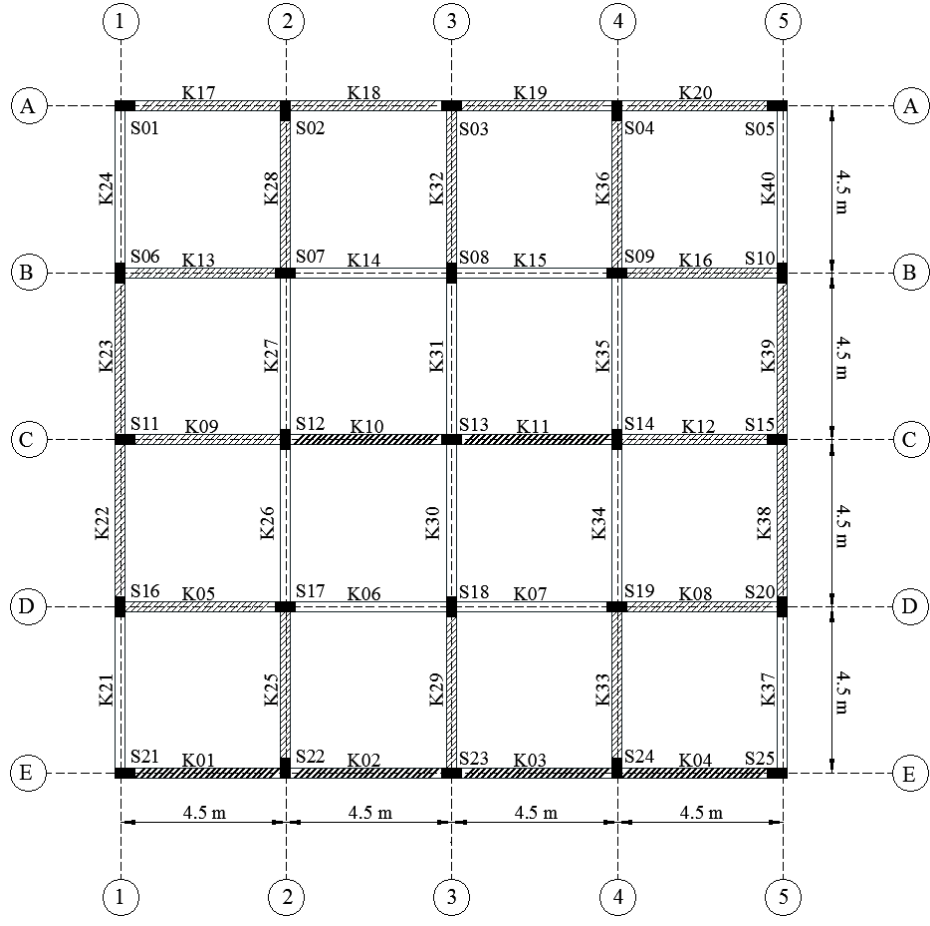
Şekil 3.1: Elastik-Mükemmel Plastik çevrimsel model

### 3.2 Betonarme Bina Modelleri ve Tasarım Bilgileri

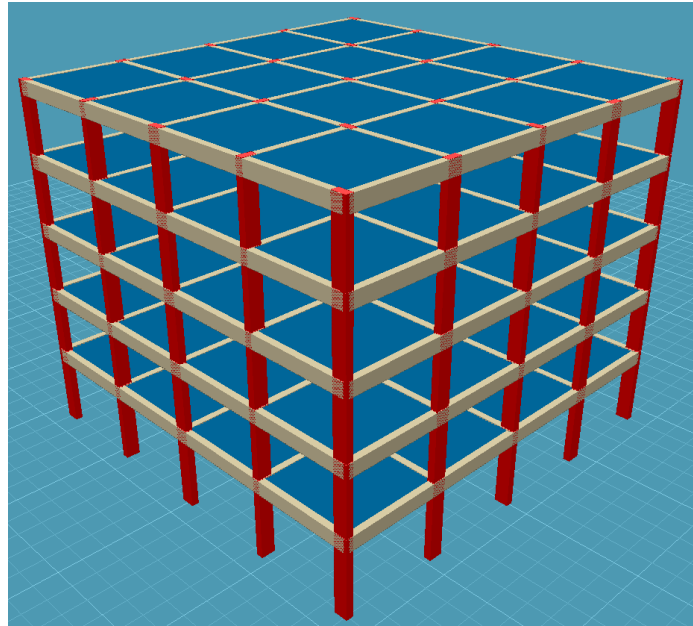
Tez çalışmasında 3, 5, 6, 7, 9 ve 12 katlı betonarme binalar dikkate alınmıştır. Şekil 3.2’de dikkate alınan binaların tümü için kullanılan tipik kalıp planı verilmiştir. Betonarme binalar DBYBHY ve TS500 (TS500 2000) hükümleri dikkate alınarak, süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemler olarak tasarlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelleri ise TBDY’ye göre hazırlanmıştır.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kolon isimleri “S” harfi ile kiriş isimleri ise “K” harfi ile isimlendirilmiştir. Her katta, kat numarası harfin arkasına eklenerek eleman etiketler oluşturulmuştur. Örneğin, üçüncü kattaki 02 nolu kolonun etiketi S302’dir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi binalar planda her iki doğrultuda simetrik olup, plan boyutları 18.00m’dir. Tüm binalarda ilk kat 3.50m diğer katlar 3.00m yüksekliğe sahiptir.

Betonarme binaların tasarımı için STA4-CAD V.13.1 (Amasralı 2000) paket programı kullanılmıştır. Tasarımda beton sınıfı C25 ( $f_{ck}=25$  MPa) ve donatı sınıfı S420 ( $f_{yk}=420$  MPa) alınmıştır. Şekil 3.3’te beş katlı binaya ait üç boyutlu model örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.2: Betonarme binaların tipik kalıp planı

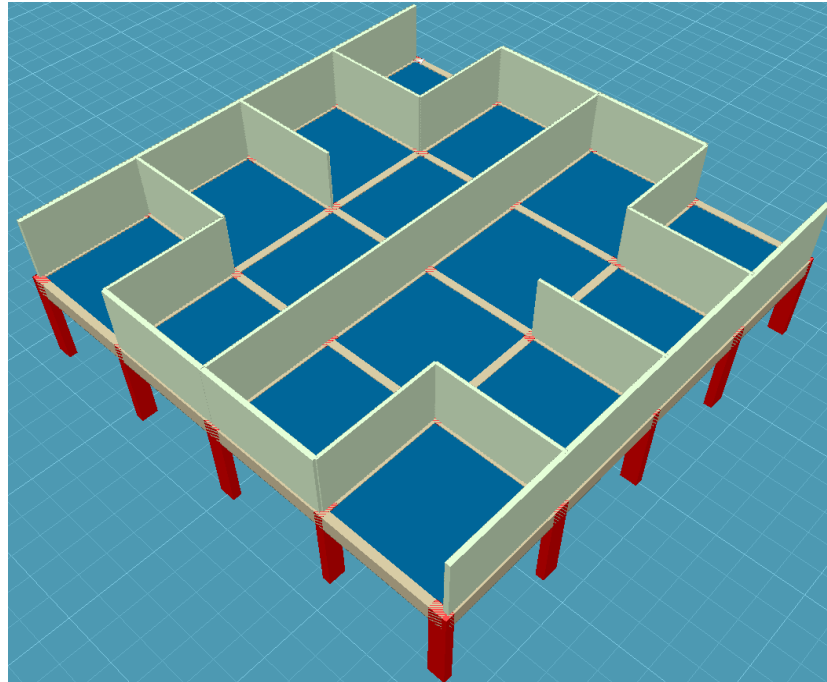


Şekil 3.3: 5 katlı binanın üç boyutlu analiz modeli

Binaların tamamında kiriş enkesit boyutları 30x60cm iken, kolon enkesit boyutları 3, 5 ve 6 katlı binalarda 30x60cm; 7, 9 ve 12 katlı binalarda ise 40x70cm alınmıştır.

Döşeme kalınlıkları tüm binalarda 12cm seçilmiştir. Döşemelerde; son katlarda 0.150 ton/m<sup>2</sup> kaplama yükü ve 0.150 ton/m<sup>2</sup> hareketli yük, diğer katlarda ise 0.212 ton/m<sup>2</sup> kaplama yükü ve 0.200 ton/m<sup>2</sup> hareketli yük dikkate alınmıştır.

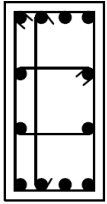
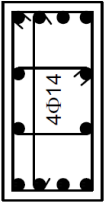
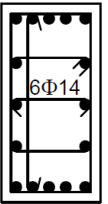
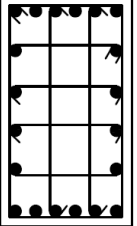
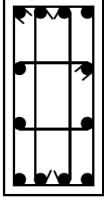
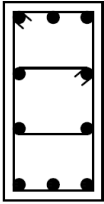
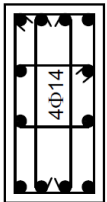
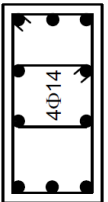
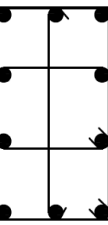
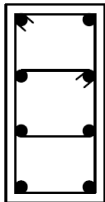
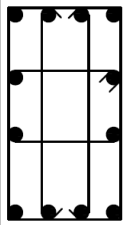
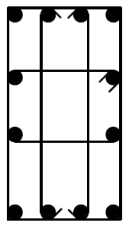
Binalarda; en üst kat hariç diğer katlarda, dış akslarda bulunan K01, K02, K03, K04, K17, K18, K19, K20, K22, K23, K38 ve K39 nolu kirişlerde 0.780 ton/m dolgu duvar yükü dikkate alınmıştır. Ayrıca iç akslarda bulunan K05, K08, K09, K10, K11, K12, K13, K16, K25, K28, K29, K32, K33 ve K36 nolu kirişlerde 0.600 ton/m dolgu duvar yükü tanımlanmıştır. En üst katta, K01, K02, K03, K04, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K24, K37, K38, K39 ve K40 nolu kirişlerde 0.320 ton/m dolgu duvar yükü dikkate alınmıştır. Şekil 3.4'te, en üst kat dışındaki katlarda analiz modelinde tanımlanan duvar yüklerinin tipik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.4: Kirişlerin üzerindeki duvar yerleşiminin tipik gösterimi

Kullanım amacı konut olarak seçilen binaların, birinci derece deprem bölgesinde ve Z3 sınıfını zemin üzerinde olduğu kabul edilmiştir.

Tasarım sonucunda binaların kolon donatı düzenleri Şekil 3.5'te verilen 12 farklı tipte elde edilmiştir. Kolonların yanal donatısı 3, 5 ve 7 katlı binalarda  $\phi 8/10/15$ , diğer binalarda  $\phi 10/10/15$ 'tir. Kirişlerde yanal donatı  $\phi 8/10/20$ 'dir. Tablo 3.1'de hangi kolonların hangi tip boyuna donatı düzenine sahip olduğu verilmiştir.

TİP 1 12 $\phi 14$ 	TİP 2 4 $\phi 16$ 4 $\phi 14$ 4 $\phi 16$ 	TİP 3 5 $\phi 16$ 6 $\phi 14$ 5 $\phi 16$ 	TİP 4 20 $\phi 14$ 	TİP 5 12 $\phi 18$ 	TİP 6 10 $\phi 18$ 
TİP 7 4 $\phi 18$ 4 $\phi 14$ 4 $\phi 18$ 	TİP 8 3 $\phi 18$ 4 $\phi 14$ 3 $\phi 18$ 	TİP 9 10 $\phi 20$ 	TİP 10 8 $\phi 18$ 	TİP 11 12 $\phi 22$ 	TİP 12 12 $\phi 20$ 

Şekil 3.5: Betonarme binalarda tipik kolon donatı düzenleri

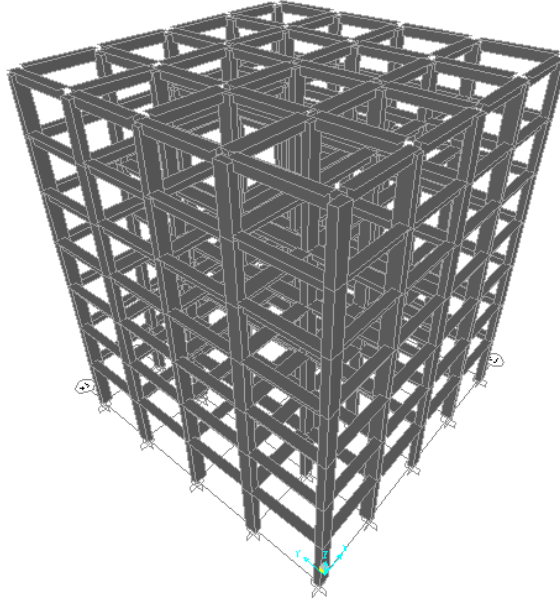
Tablo 3.1: Tasarım sonucu belirlenen kolon boyuna donatı düzeni tipleri

Bina	Katlar	Kolonlar	Tip
3 Katlı	Tüm Katlar	Tüm Kolonlar	1
5 Katlı	Tüm Katlar	S07, S09, S11, S13, S15, S17, S19, S08, S12, S14, S18	1
		S01, S05, S21, S25, S02, S04, S22, S24	2
		S03, S23, S06, S10, S16, S20	3
6 Katlı	Zemin Kat	S01, S05, S21, S25, S16, S10	5
		S06, S20	7
		S03, S07, S09, S11, S15, S17, S19, S23, S02, S22, S04	6
		S22, S08, S12, S14, S18, S13	8
	Diğer Katlar	S04 ve S22 dışındaki tüm kolonlar	10
		S04, S22	6
7 Katlı	Tüm Katlar	Tüm Kolonlar	4
9 Katlı	Zemin Kat	S05 ve S21 dışındaki tüm kolonlar	9
		S05, S21	12
	Diğer Katlar	Tüm Kolonlar	9
12 Katlı	Zemin Kat	S05 ve S21 dışındaki tüm kolonlar	9
		S05, S21	11
	Diğer Katlar	Tüm Kolonlar	9

### 3.3 Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Analiz Modelleri

Tasarım bilgileri de dikkate alınarak betonarme binaların, zaman tanım alanında analiz için doğrusal olmayan analiz modelleri oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan analiz modellerinin oluşturulmasında SAP2000 paket programı kullanılmıştır. Şekil 3.6’da yedi katlı binaya ait üç boyutlu modelin görünümü örnek olarak verilmiştir.

Doğrusal olmayan modellerde döşeme tanımlanmamış ancak kat seviyelerinde rijit diyafram tanımı yapılmıştır. Mevcut döşemelerden kaynaklanan sabit ve hareketli yükler ilgili kirişlere çizgisel yayılı yük olarak etkilmiştir. Duvar yükleri de kirişlere düzgün yayılı çizgisel yük olarak atanmıştır.



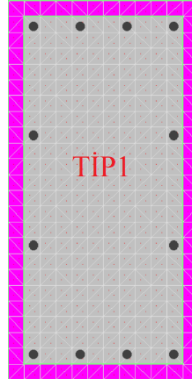
Şekil 3.6: 7 katlı betonarme binanın üç boyutlu analiz modeli

Taşıyıcı sistem elemanlarının eğilme davranışı için etkin kesit rijitliği çarpanları atanmıştır. TBDY’ye göre, etkin kesit rijitliği çarpanı kirişlerde 0.35 ve kolonlarda 0.70’dir. TBDY’de belirtildiği gibi, plastik mafsalsal boyu, elemanın çalışan doğrultudaki kesit yüksekliğinin yarısına eşit alınmıştır ( $L_p=0.5h$ ).

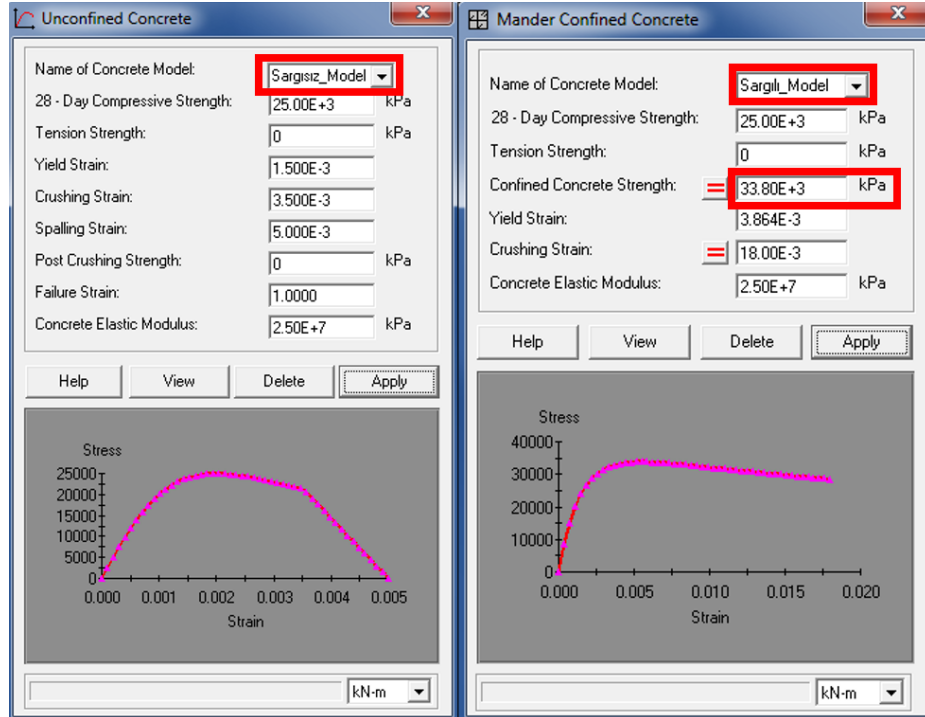
Kolonlar hem eğilme hem de aksenal kuvvet etkisindeki yapı elemanlarıdır. Bu sebeple, kolonlarda aksenal kuvvet ( $P$ ) ile birlikte hem  $M_2$  momenti hem de  $M_3$  momentini birlikte dikkate alan  $PMM$  tipi mafsalsal tanımlanmıştır.  $PMM$  mafsalsal



tanımlanırken moment eğrilik bağıntısının iki boyutlu etkileşim bağıntıları birleştirilerek üç boyutlu moment eğrilik diyagramı elde edilmiştir. Etkileşim yüzeyleri 0-15-30-45-60-75-90 derecelik açılar için ele alınıp X-TRACT programı (XTRACT v3.0.9) ile hesaplar yapılmış ve üç boyutlu moment eğrilik diyagramları elde edilmiştir. Bunun için öncelikle, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kolon boyutları ve donatı düzeni hesaplarda kullanılmak üzere programa tanıtılmıştır. Beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için Mander modeli (Mander ve diğ. 1988) kullanılmış ve bu modele ait parametreler TBDY Ek 5.A.1 bölümünde verildiği gibi tanıtılmıştır.

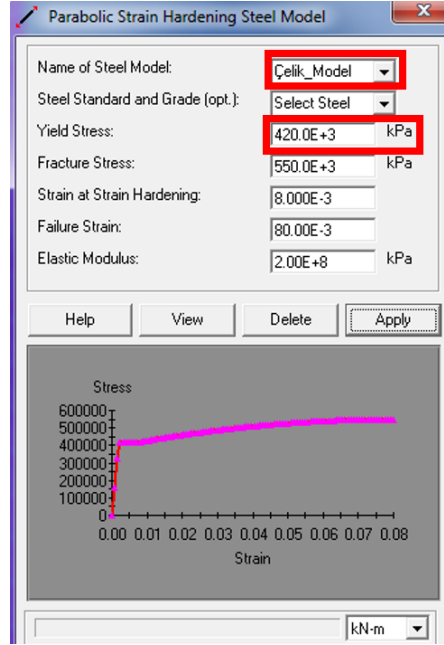


Şekil 3.7: 3 katlı bina kolonu Tip1 kesitinin X-TRACT görüntüsü



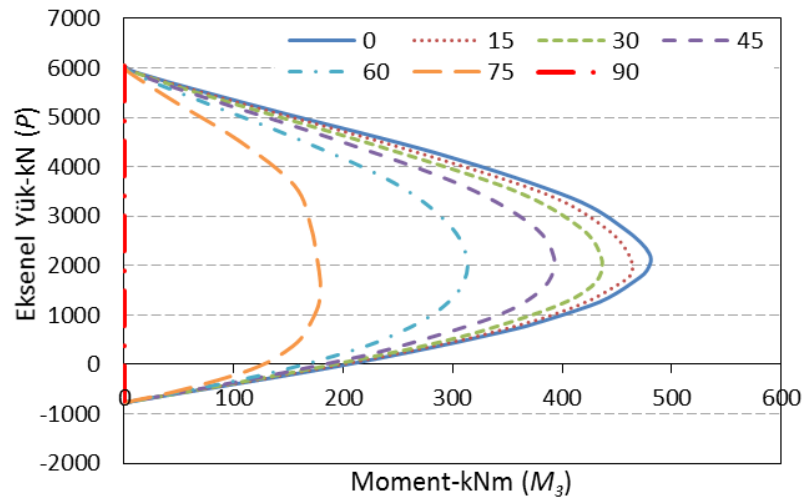
Şekil 3.8: Sargılı ve sargısız beton modellerinin programa tanıtılması

C25 sınıfı beton için sargısız ve sargılı beton özellikleri programa Şekil 3.8’de görüldüğü gibi tanıtılmıştır. Donatı özellikleri ise Şekil 3.9’da görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Şekil 3.9’da kullanılan donatı özellikleri için TBDY 5A.2’de S420 sınıfı donatı için verilen bilgiler dikkate alınmıştır.



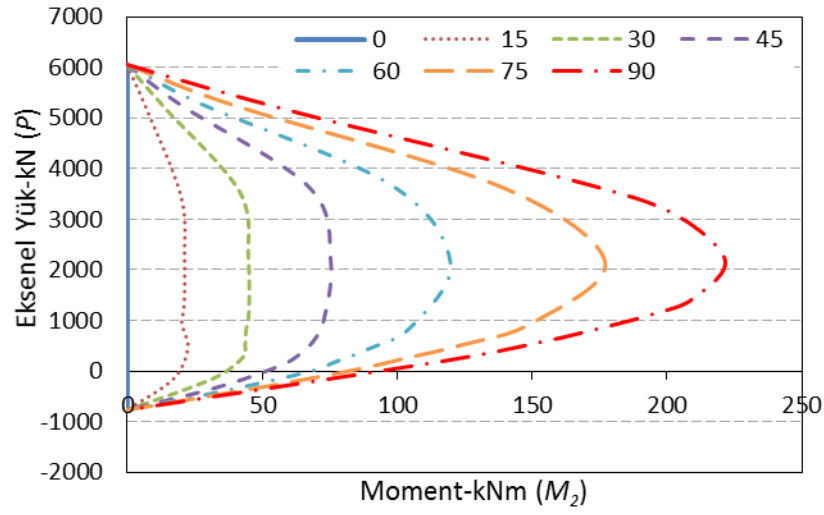
Şekil 3.9: Çelik modelinin programa tanıtılması

X-TRACT programı ile Tip1 kolon donatı düzeni için farklı etkileşim yüzeyleri dikkate alınarak elde edilen  $P-M_3$  ilişkileri Şekil 3.10’da örnek olarak verilmiştir. Aynı tip kolon donatı düzeni için etkileşim yüzeyleri dikkate alınarak elde edilen  $P-M_2$  ilişkileri ise Şekil 3.11’de verilmiştir.

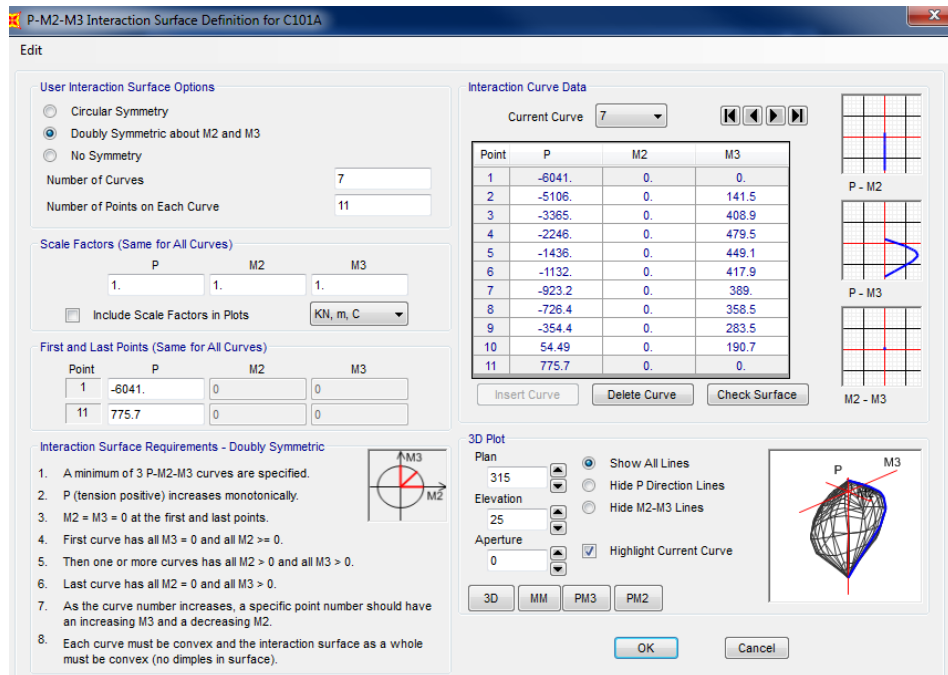


Şekil 3.10: Tip1 kolonu için farklı derecedeki açılara ait  $P-M_3$  diyagramı

Şekil 3.10'da, sıfır derece etkileşim yüzeyi için  $M_3$  moment kapasitesi maksimum iken doksan derece etkileşim yüzeyi için kapasitenin sıfır olduğu görülmektedir. Şekil 3.11'de ise,  $P$ - $M_3$  diyagramının tersine, sıfır derece etkileşim yüzeyi için  $M_2$  moment kapasitesi sıfır iken doksan derece etkileşim yüzeyi için kapasite maksimumdur. Kolon için maksimum moment kapasitelerinden  $M_3$ 'ün,  $M_2$ 'den daha büyük olmasının sebebi, kolon boyutuna bağlı olarak, bu moment kapasitesi için etkili kolon boyutunun daha fazla olmasıdır

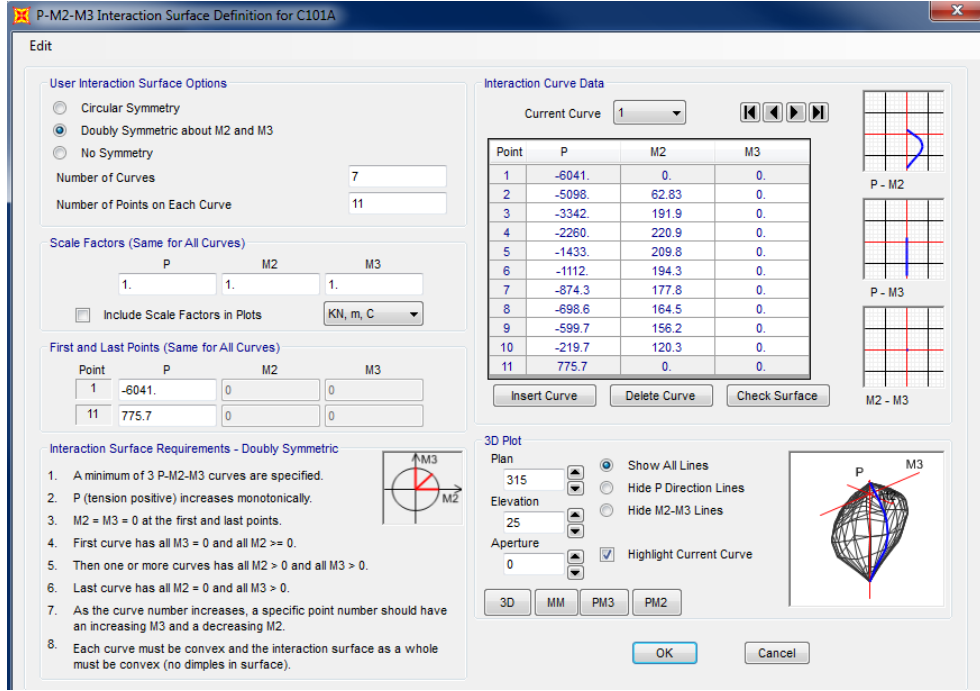


Şekil 3.11: Tip1 kolonu için farklı derecedeki açılara ait  $P$ - $M_2$  diyagramı



Şekil 3.12: Tip1 kolonuna ait  $P$ - $M_2$ - $M_3$  diyagramının tanıtılması ( $0^\circ$ )

Kolonlara ait moment eğrilik analizleri ile ilgili sonuçlar kullanılarak, Sap2000 programında *PMM* mafsalları tanımlanmıştır. Tip1 kolonuna ait *PMM* mafsalı için,  $0^\circ$  ve  $90^\circ$  etkileşim yüzeylerine ait örnek tanımlama pencereleri, sırası ile Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir.

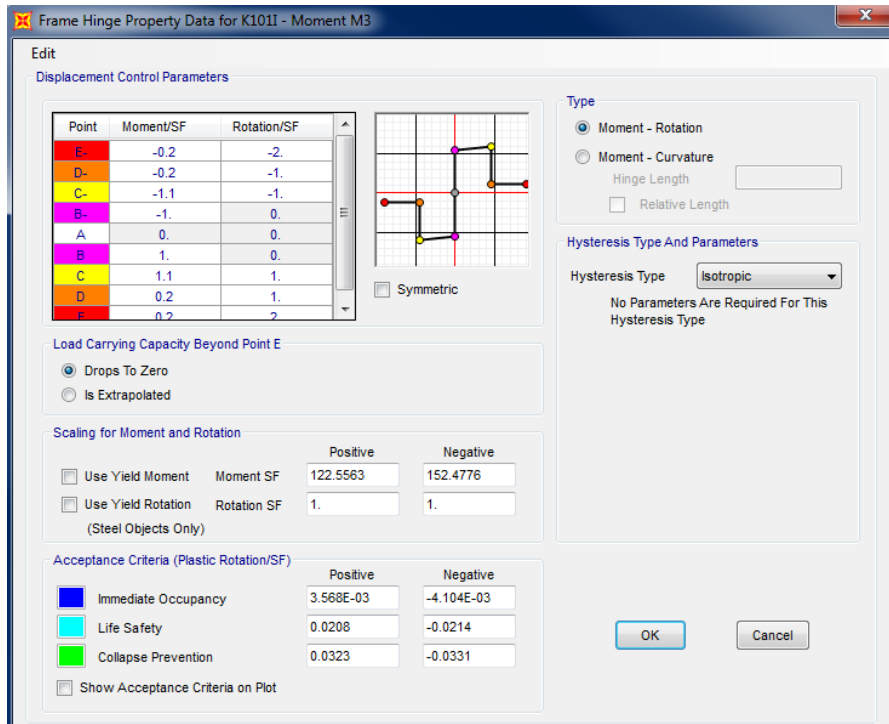


Kirişlerde aksenal kuvvet seviyesi düşük olduğundan, eğilme moment davranışına karşılık gelen  $M_3$  mafsalları kullanılmıştır. Şekil 3.14'te, K101 kirişinin sol ucuna ait  $M_3$  mafsalı tanımlama penceresi görülmektedir. Görüldüğü gibi K101 kirişinin sol ucunun alt ve üst donatıları farklı olduğundan moment-eğrilik analizlerinden bulunan moment kapasiteleri de farklıdır.

Betonarme binalar süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda, tüm kolon, kiriş ve birleşimlerin kesme güvenliği sağlanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Bu nedenle kolonlarda sadece *PMM* mafsalları, kirişlerde ise sadece eğilme mafsalları tanımlanmıştır.

Doğrusal olmayan modelleri hazırlanan betonarme binalar için statik itme analizi yapılmış ve hem  $X$  yönü için hem de  $Y$  yönü için kapasite eğrileri elde edilmiştir. Statik itme analizi için başlangıç koşulu olarak  $G+0.3Q$  yüklemesini

dikkate alan doğrusal olmayan düşey analiz kullanılmıştır. Ayrıca statik itme analizi için yatay yük deseni olarak binaların birinci mod şekilleri dikkate alınmıştır.



Şekil 3.14: Kiriş eğilme ( $M_3$ ) mafsalının tanımlanması

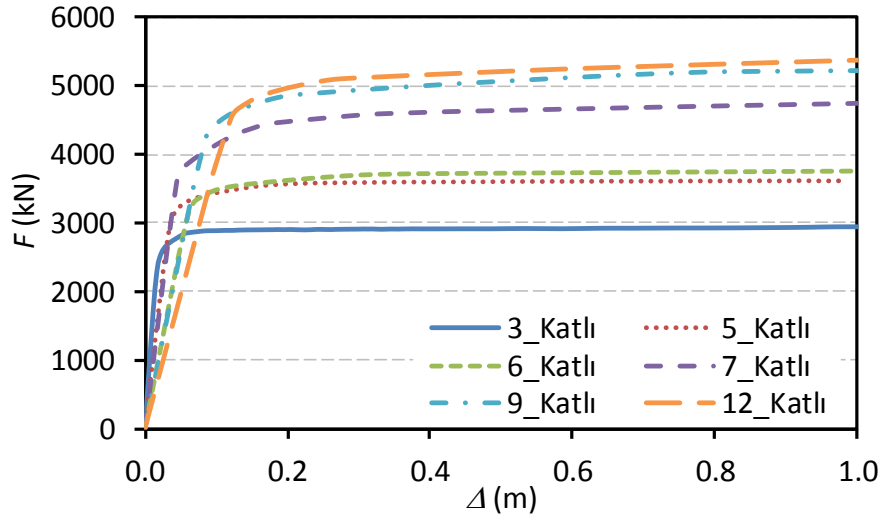
Tablo 3.2’de, betonarme binalara ait, etkin kesit rijitlikleri dikkate alınarak hesaplanan doğal titreşim periyodu ( $T$ ), toplam yükseklik ( $H$ ), deprem hesabına esas ağırlık ( $W$ ), birinci moda ait kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) ve modal katkı çarpanı ( $PF_1$ ) değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2: Betonarme binaların modal analiz bilgileri

Bina	$H$ (m)	$T$ (s)	$W$ (kN)	$\alpha_1$	$PF_1$
3 katlı	9.5	0.44	9776.20	0.90	1.26
5 katlı	15.5	0.72	16789.90	0.87	1.27
6 katlı	18.5	0.94	20045.60	0.86	1.28
7 katlı	21.5	0.84	24892.60	0.84	1.29
9 katlı	27.5	1.26	33633.00	0.82	1.29
12 katlı	36.5	1.70	45176.10	0.82	1.30

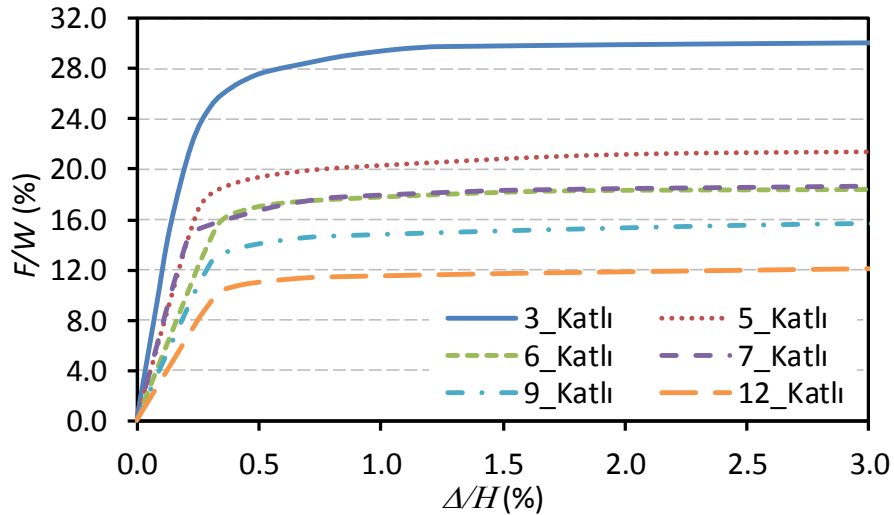
Şekil 3.15’te binalara ait kapasite eğrileri verilmiştir. Binalar, birbirine dik iki doğrultuda birbiri ile eşdeğer taşıyıcı sisteme sahip olduğu için sadece bir doğrultu için kapasite eğrileri verilmiştir. Kapasite eğrisinde, düşey eksen tabanda oluşacak toplam kesme kuvvetini ( $F$ ), yatay eksen çatı deplasmanını ( $\Delta$ ) göstermektedir. TBDY’de, yapı elemanları için farklı hasar seviyelerine (sınırlı hasar, kontrollü hasar ve

göçmenin önlenmesi) ait sınır durumlar verilmiş ancak elemanların moment taşıma kapasitelerinin sona erdiği sınır durumlar verilmemiştir. Bu sebeple, yapı elemanlarına ait mafsallarda moment taşıma kapasitesi düşmemektedir. Buna bağlı olarak, bina kapasite eğrilerinde düşme görülmemesinin nedeni de yapı elemanlarının moment kapasitesinin düşmesidir.



Şekil 3.15: Betonarme binalara ait kapasite eğrileri

Şekil 3.15'e göre, binaların yatay yük taşıma kapasiteleri 3 katlıdan 12 katlıya doğru sırasıyla 3000kN, 3600kN, 3750kN, 4750kN, 5200kN ve 5250kN civarındadır.



Şekil 3.16: Betonarme binalara ait kapasite eğrilerinin birimsiz hali

Farklı binalara ait kapasite eğrilerini birbiri ile karşılaştırmak için kapasite eğrileri birimsiz olarak verilebilmektedir. Şekil 3.16'da, kapasite eğrisinin düşey

ekseni birimsiz yatay yük oranını ( $F/W$ ) yani itme analizi esnasında tabanda oluşacak toplam kesme kuvvetinin sismik ağırlığa oranını, düşey eksen ise itme analizi esnasında elde edilen çatı deplasmanının bina yüksekliğine bölünmesi ile elde edilen birimsiz global ötelenme oranını ( $\Delta/H$ ) göstermektedir. Betonarme binaların yatay yük taşıma kapasiteleri 3 katlıdan 12 katlıya doğru sırasıyla %30, %21, %18, %18, %15 ve %12 civarındadır.

## 4. ANALİZLER İÇİN KULLANILAN İVME SETLERİ

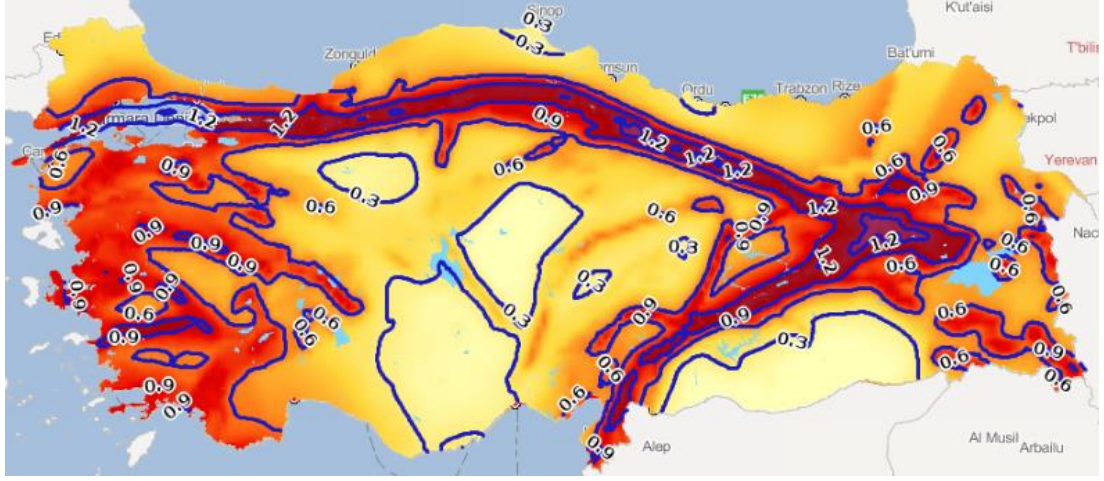
Bu bölümde, TBDY’de tanımlanan tasarım ivme spektrumu ve zaman tanım alanında analiz için ivme kaydı seçim koşulları verilmiştir. Ek olarak, çalışmada kullanılan ivme kaydı seçim stratejileri, ivme kaydı veri tabanı ve ivme kayıtlarına ait kataloglar ile ivme kaydı ve ivme kaydı takımı setleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, TSD sistemlerin analizi için kullanılan ivme kaydı setlerinin ve üç boyutlu binaların analizinde kullanılan ivme kaydı takımı setlerinin ilgili hedef spektrumlarla uyumu, literatürde yer alan bazı uyumluluk ölçütleri kullanılarak incelenmiştir.

### 4.1 TBDY Tasarım İvme Spektrumları

TBDY’de tanımlanan dört deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları ile tanımlanmıştır. (<https://tdth.afad.gov.tr/>). DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak adlandırılan deprem düzeyleri sırası ile çok seyrek, seyrek, sık ve servis deprem yer hareketlerini temsil etmektedir ve spektral büyüklüklerin belirli bir zaman içerisinde farklı aşılma olasılıkları ile tanımlanmaktadır. Örneğin 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan DD-1 göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD-2 ise standart tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve %68 olan yer hareketi ise DD-3 ve DD-4 olarak adlandırılmaktadır.

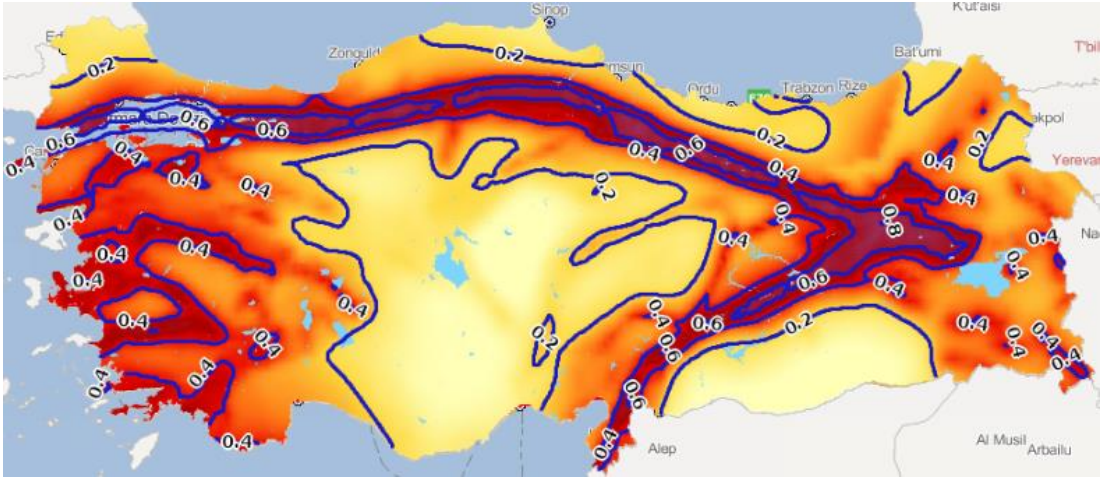
Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye genelinde maksimum yer ivmesi ( $g$ ) değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi maksimum yer ivmesi DD-1 deprem düzeyi için Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı boyunca  $0.9g-1.2g$  arasında, Ege Bölgesi için  $0.6g-0.9g$  arasındadır. DD-2 deprem düzeyi için maksimum yer ivmesi ise KAF boyunca  $0.4g-0.6g$  arasında, Ege Bölgesinde  $0.4g$  civarındadır (Şekil 4.2). Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’den de görüldüğü gibi minimum yer ivmesi değerleri her iki deprem düzeyi için de İç Anadolu Bölgesi’nde bulunmaktadır.





Şekil 4.1: DD-1 deprem düzeyi için maksimum yer ivmesi değerleri (g)

TBDY’de tasarım ivme spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.2: DD-2 deprem düzeyi için maksimum yer ivmesi değerleri (g)

Harita spektral ivme katsayıları, birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelmektedir. Bu katsayılar, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu ( $V_s$ )<sub>30</sub>=760 m/s esas alınarak, %5 sönüm oranı için Türkiye Deprem Tehlike Haritalarında verilen harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır. Bu katsayılar kısa periyot bölgesi için  $S_s$  ve 1.0 saniye periyot için  $S_I$  olarak ifade edilmiştir. Harita kullanılarak, Türkiye’de herhangi bir enlem ve boylamda bulunan

bir konum için göz önüne alınan deprem düzeyine bağlı olarak  $S_S$  ve  $S_I$  değerleri okunabilmektedir.

Harita spektral ivme katsayıları, Denklem 4.1 kullanılarak tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürülmektedir. Denklem 4.1’de  $S_{DS}$  kısa periyot bölgesi ve  $S_{DI}$  1.0 saniye periyot için spektral ivme katsayılarını ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{DI} &= S_I F_I \end{aligned} \quad (4.1)$$

$F_S$  ve  $F_I$  ise yerel zemin etki katsayıları olup yerel zemin sınıfına ve harita spektral ivme katsayılarına bağlı olarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ( $F_S$ )

Yerel Zemin Sınıfı	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZB	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ZC	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
ZD	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
ZE	2.40	1.70	1.30	1.10	0.90	0.80
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 4.2: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları ( $F_I$ )

Yerel Zemin Sınıfı	$S_I \leq 0.10$	$S_I = 0.20$	$S_I = 0.30$	$S_I = 0.40$	$S_I = 0.50$	$S_I \geq 0.60$
ZA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZB	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ZC	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40
ZD	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.70
ZE	4.20	3.30	2.80	2.40	2.20	2.00
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

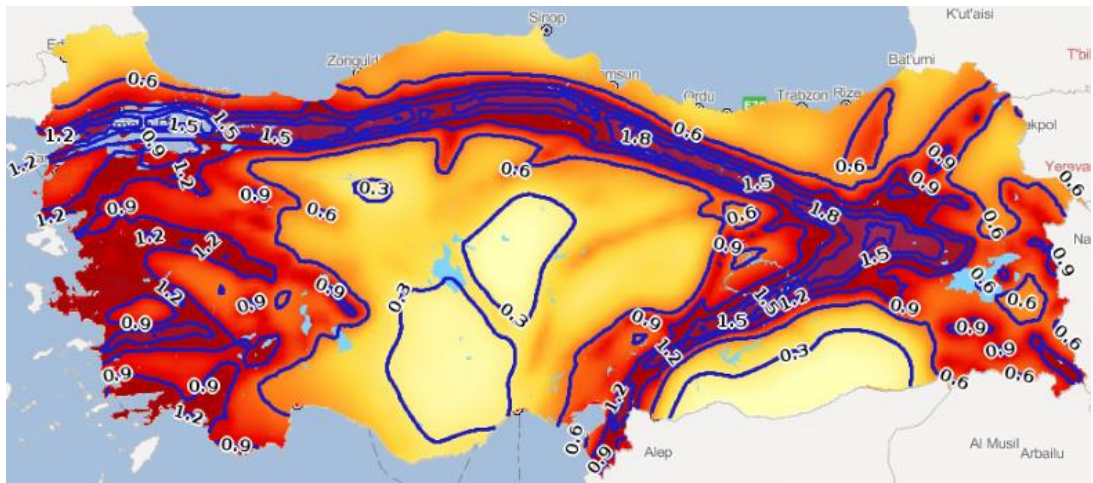
Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden Denklem 4.2’de verildiği şekilde tanımlanmıştır.

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

Denklem 4.2’de  $T_A$  ve  $T_B$ , yatay tasarım spektrumunun köşe periyotlarıdır ve Denklem 4.3’te görüldüğü gibi  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ ’e bağlı olarak tanımlanmıştır. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L=6s$  olarak tanımlanmıştır.

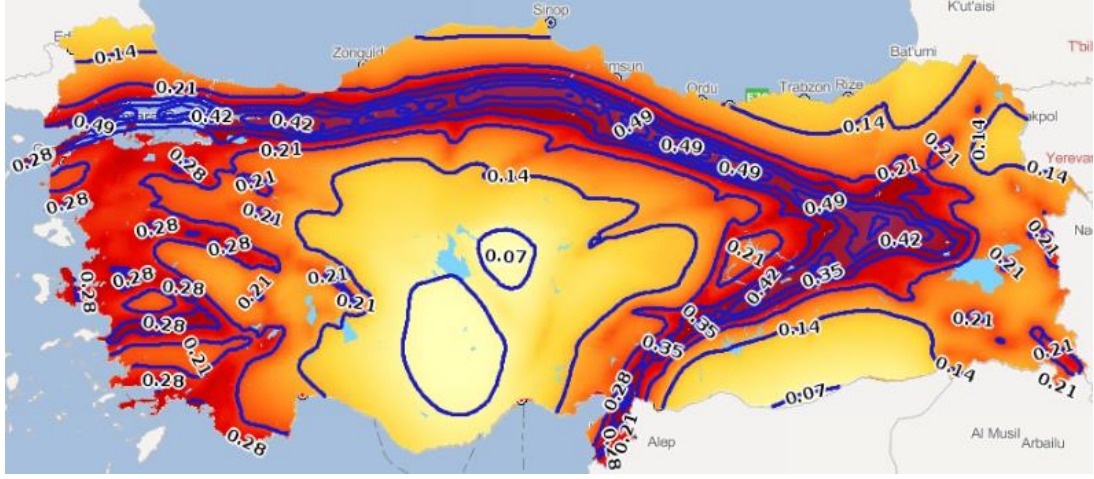
$$\begin{aligned}
T_A &= 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
T_B &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Tez çalışmasında, spektrum uyumlu ivme kaydı seçimi için DD-2 deprem düzeyi dikkate alınmıştır. Yatay ivme spektrumlarının tanımlanmasında, Denizli ili sınırları içerisinde bulunan Denizli Belediyesi’nin bulunduğu konum (Enlem: 37.7734, Boylam: 29.0867) örnek olarak seçilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ten de görüleceği gibi Ege Bölgesi’nde  $S_S$  değerleri 0.9-1.2 arasında  $S_I$  değerleri ise 0.21-0.28 arasında değişmektedir. Bu çalışmada ele alınan konum için  $S_S=1.129$  ve  $S_I=0.260$  değerleri alınmıştır.

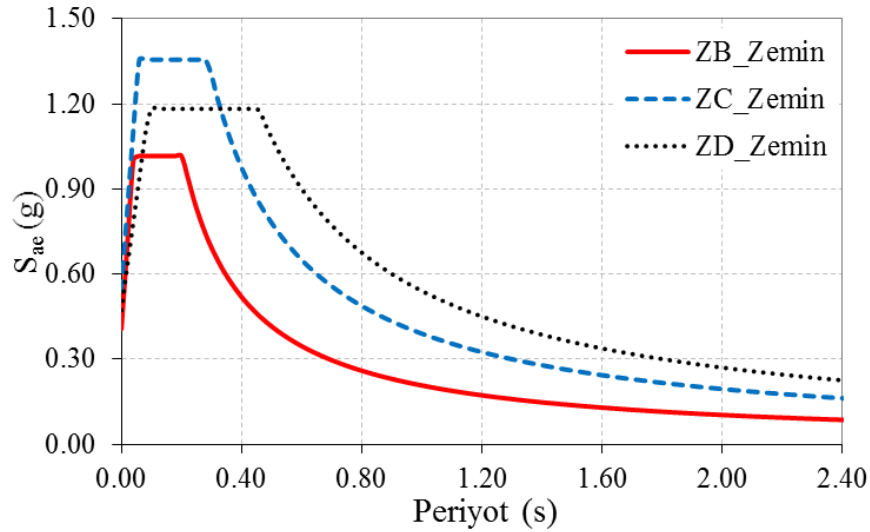


Şekil 4.3: DD-2 deprem düzeyi için  $S_S$  değerleri

Bu çalışmada, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ZB, ZC ve ZD yerel zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrumları, hedef spektrum olarak seçilmiştir. Çalışmada ele alınan hedef spektrumlar Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4: DD-2 deprem düzeyi için  $S_i$  değerleri



Şekil 4.5: Çalışmada dikkate alınan yatay elastik tasarım spektrumları

## 4.2 Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı ve İvme Kaydı Kataloğu

Gerçek ivme kayıtlarının bulunduğu sayısal veri tabanlarında, depremin büyüklüğü, fay tipi, yerel zemin sınıfı, kayıt istasyonunun deprem kaynağına olan mesafesi, maksimum yer hareketi ivmesi gibi özellikler her bir ivme kaydına göre değişkenlik göstermektedir. Tez çalışmasında, ivme kaydı seçiminde, kayıtların

istasyonlarının faya olan mesafeleri, deprem büyüklüğü ve kayma dalga hızı ile ilgili kriterler dikkate alınmıştır.

TBDY'ye göre ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE olarak tanımlanan yerel zemin sınıflarının özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: TBDY'ye göre yerel zemin sınıfı tanımları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	$(V_s)_{30}$ (m/s)	$(N_{60})_{30}$ (darbe/ 30 cm)	$(c_u)_{30}$ (kpa)
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	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $20 > PI$ ve $\% 40 > w$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kpa) içeren profiller	$\leq 180$	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler			

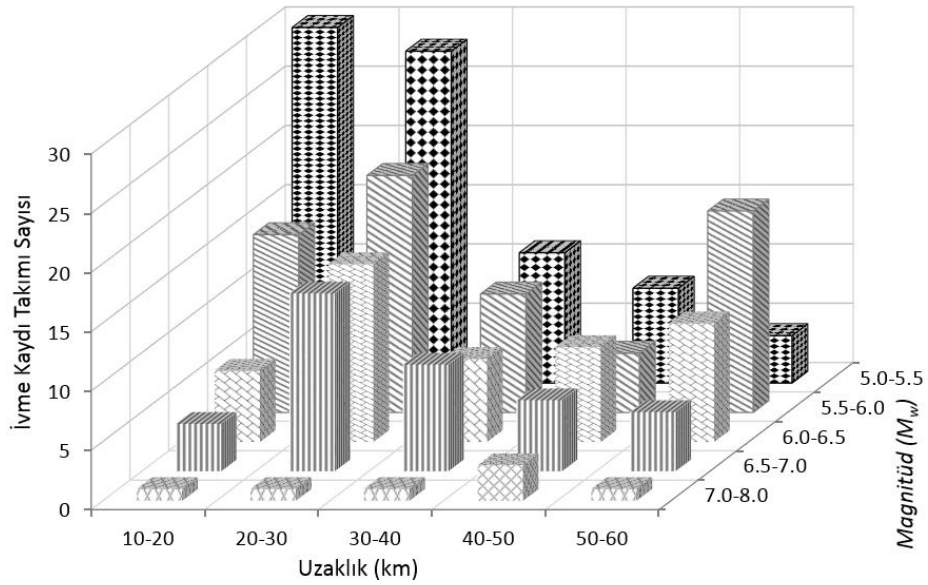
Tez çalışmasında kullanılan ivme kayıtları Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanından (ESMD) (Ambraseys ve diğ. 2004), Resorce veri tabanından (Akkar ve diğ. 2014) ve PEER kuvvetli yer hareketi veri tabanından (Ancheta ve diğ. 2014) alınmıştır. Her bir zemin sınıfı için bu veri tabanlarında yer alan ivme kayıtlarından ayrı ayrı katalog oluşturulmuştur. Örneğin ZB ile ilgili katalogda sadece bu zemin sınıfı ile uyumlu zeminlerde kaydedilen kayıtlar yer almış, ZB zemin sınıfı ile uyumlu ivme kaydı ve ivme kaydı takımı setleri bu katalogdan seçim yapılarak oluşturulmuştur. Kataloglar için yukarıda bahsedilen veri tabanlarından kayıtların elde edildiği depremin büyüklüğü  $M_w > 5.0$  ve kayıtların kaydedildiği istasyonların faya olan uzaklıkları ( $R$ ) 10-60 km arasında olan kayıtlar kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan ivme kaydı takımı sayısı ve veri tabanı Tablo 4.4'te gösterilmiştir.



Tablo 4.4: Çalışmada kullanılan ivme kaydı takımlarının sayısı

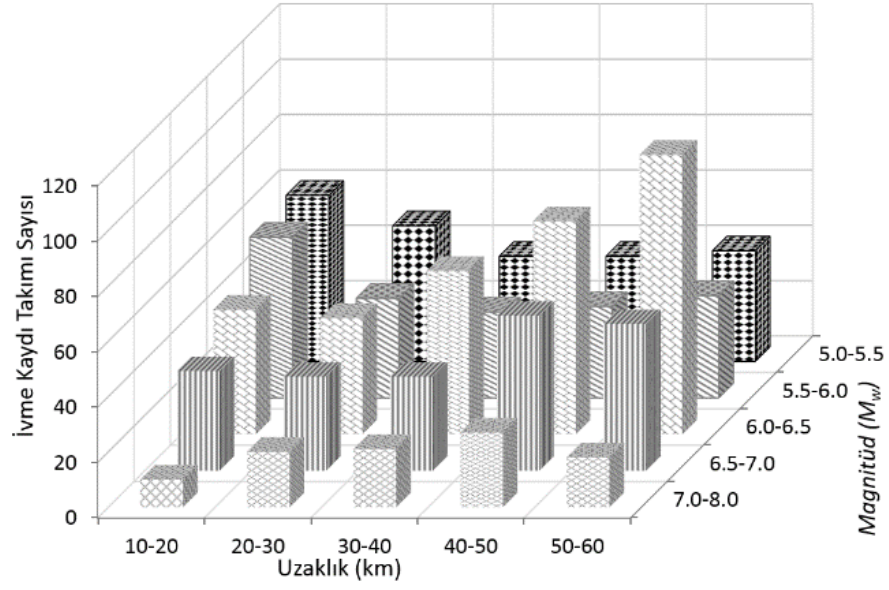
Yerel Zemin Sınıfı	PEER	EMSD	RESORCE	Toplam
ZB	34	186	20	240
ZC	1053	-	-	1053
ZD	782	-	-	782

Tablo 4.4’te görüldüğü gibi ZB zemin sınıfı için ivme kaydı takımları üç veri tabanından alınmış, ZC ve ZD zemin sınıfları için sadece PEER veri tabanından ivme kaydı takımları kullanılmıştır. Kataloglarda, ZB zemin sınıfı için 240 ivme takımı yani 480 yatay ivme kaydı bileşeni, ZC zemin sınıfı için 1053 ivme takımı yani 2106 yatay bileşen ve ZD zemin sınıfı için 782 ivme takımı yani 1564 yatay bileşen bulunmaktadır. ZB, ZC ve ZD ivme kaydı takımlarına ait deprem büyüklüğü ( $M_w$ ) ve depremin kaydedildiği istasyonların faya olan mesafeleri ( $R$ ) arasındaki ilişki Şekil 4.6- Şekil 4.8’de verilmiştir.



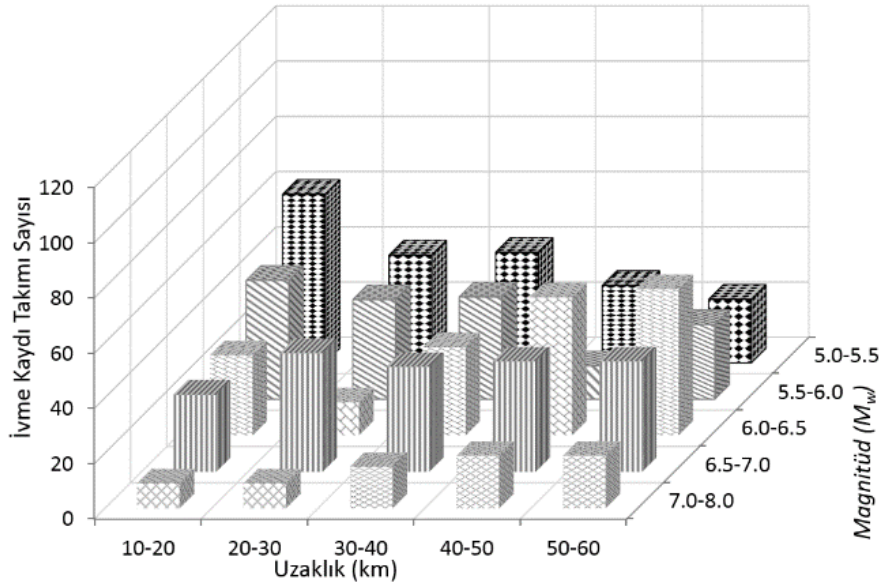
Şekil 4.6: ZB zemin sınıfına ait ivme katalogu için  $M_w$ - $R$  grafiği

Şekil 4.6 – Şekil 4.8’e göre, ivme kaydı takımlarının ait olduğu depremlerin büyüklüğü 5.0-7.0 arasında ve kaydedildikleri istasyonların faya olan mesafeleri 10-40 km arasında yoğunlaşmaktadır. Bu durumun tüm zemin sınıfları için geçerli olduğu görülmektedir. En az ivme kaydı takımı, deprem büyüklüğünün 7.0-8.0 arasında olduğu sınıflarda bulunmaktadır.

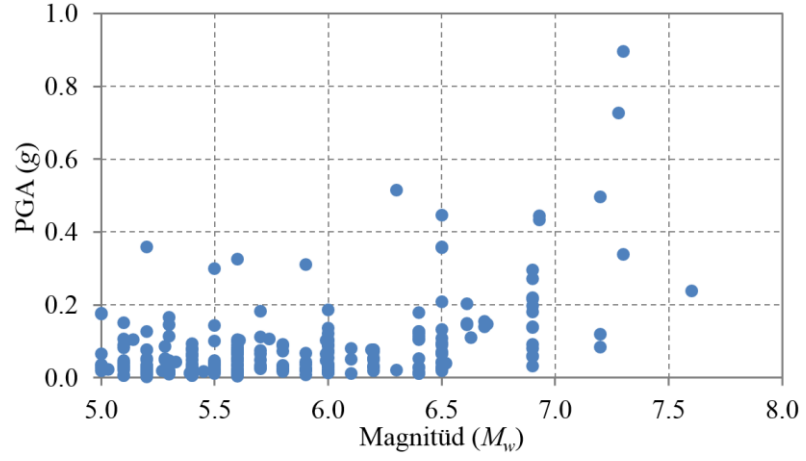


Şekil 4.7: ZC zemin sınıfına ait ivme kataloğu için  $M_w$ -R grafiği

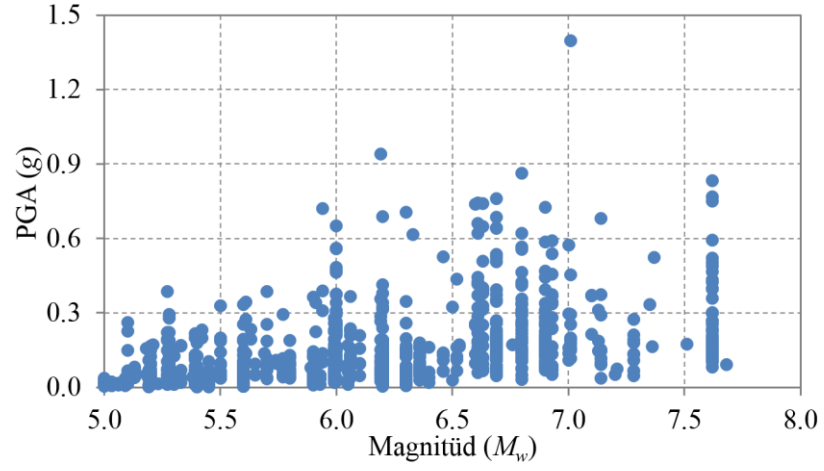
Şekil 4.9 - Şekil 4.11’de yerel zemin sınıfları için maksimum yer ivmesi ( $PGA$ ) ile deprem büyüklüğünün ilişkisi görülmektedir. ZB ve ZD zemin sınıflarında kullanılan ivme kaydı takımları için  $PGA$   $1.0g$ ’den daha düşük iken ZC zemin sınıfında  $1.0g$ ’den büyük  $PGA$  değerine sahip sadece bir ivme kaydı takımı bulunmaktadır.



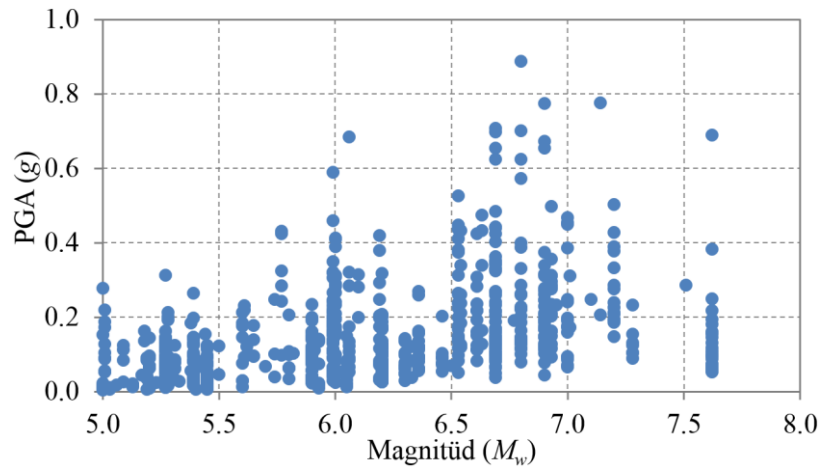
Şekil 4.8: ZD zemin sınıfına ait ivme kataloğu için  $M_w$ -R grafiği



Şekil 4.9: ZB zemin sınıfına ait ivme kataloğu için  $PGA-M_w$  ilişkisi



Şekil 4.10: ZC zemin sınıfına ait ivme kataloğu için  $PGA-M_w$  ilişkisi



Şekil 4.11: ZD zemin sınıfına ait ivme kataloğu için  $PGA-M_w$  ilişkisi



### 4.3 TBDY İle Uyumlu Zaman Tanım Alanında Analiz Koşulları

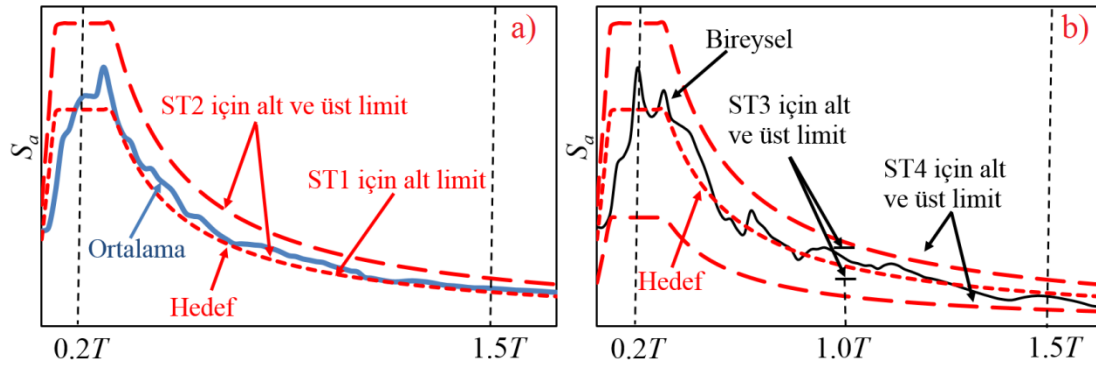
TBDY'ye göre, bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Ayrıca, seçilen ivme kayıtlarının aşağıda belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacaktır.
- Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.
- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen kayıtlara ait spektrumların ortalamasının  $0.2T$  ve  $1.5T$  ( $T$ , binanın hakim doğal titreşim periyodu) arasındaki genliklerinin, TBDY 2.3.5 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.
- Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke yatay spektrumların ortalamasının  $0.2T$  ve  $1.5T$  arasındaki genliklerinin, TBDY 2.3.5 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.

### 4.4 İvme Kaydı Seçim Stratejileri

TBDY'de yer alan koşullara ilave bazı koşullar dikkate alınarak farklı ivme kaydı seçimi stratejileri oluşturulmuştur. Bu stratejiler, TBDY'de ifade edilen setteki ivme kayıtlarına veya ivme kaydı takımlarına ait spektrumların ortalamasının hedef spektrum ile uyumunun yanı sıra, sette yer alan bireysel kayıtlara ait spektrumların da hedef spektrum ile uyumunu gözetmektedir. Bireysel kayıtların hedef spektrum ile uyumu ise belirli bir periyot değeri için veya belirli bir periyot aralığı için ayrı ayrı ele alınmaktadır. Aşağıda açıklanan sekiz strateji çalışmada dikkate alınmıştır.

Şekil 4.12a'da görüldüğü gibi ilk iki stratejide (ST1, ST2), sadece ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum ele alınmaktadır. TBDY'ye göre, ortalama spektruma ait spektral ivme değerlerinin hedef spektruma ait spektral ivme değerlerine oranı ilgili periyot aralığı için belirli bir değerden (ortalama spektrumun hedef spektruma oranı  $0.2T-1.5T$  aralığında 1.0'den büyük olmalı) daha düşük olmamalıdır. Ancak bu oran için herhangi bir üst sınır tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, ST1 ve ST2 stratejilerinde ilgili oran için hem alt hem de üst sınır kullanılmıştır. ST1 için bu orana ait alt sınır 1.0 iken üst sınır 2.0, ST2 için bu orana ait alt sınır 1.0 iken üst sınır 1.20 alınmıştır. Yani ST2 stratejisi ortalama ile hedef spektrum arasında ST1 stratejisinden daha iyi bir uyum göstermektedir.



Şekil 4.12: Stratejiler için ivme spektrumlarına ait alt ve üst limitler

ST3 ve ST4 stratejilerinde Şekil 4.12b'de görüldüğü gibi, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyuma ilave olarak set içerisinde bulunan bireysel ivme kayıtlarının her biri ile hedef spektrum arasındaki uyum da ele alınmıştır. Ortalama ile hedef spektrum arasındaki uyum için bu stratejilerde ST2 kullanılacaktır. Yani, ST3 ve ST4 stratejilerinde, ST2'ye ilave kriterler kullanılmaktadır. ST3 stratejisinde, ivme kayıtlarına ait spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum belirli bir periyot değeri için (yapının birinci doğal titreşim periyodu,  $T$ ) ele alınmaktadır. ST4 stratejisinde ise ivme kayıtlarına ait spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum belirli bir periyot aralığı için ( $0.2T-1.5T$ ) dikkate alınmaktadır. ST3 ve ST4 stratejileri, bireysel kayıtlara ait spektrumlar ile hedef spektrum arasında öngörülen uyumun düzeyine bağlı olarak kendi içlerinde a, b ve c gibi üç sınıfa ayrılmıştır. Yani bu sınıflar, bireysel spektrumların hedef spektruma oranı için farklı düzeyde alt sınır - üst sınır aralığını temsil etmektedir. Tablo 4.5'te, bu çalışmada ele alınan tüm stratejiler için ilgili periyot ile spektrumların birbirine oranı için dikkate alınan alt ve üst sınırlar verilmiştir.

Tablo 4.5: İvme seçimi stratejileri için dikkate alınan spektral uyum

Strateji	Hedef ile uyum için dikkate alınan spektrum	Periyot	a	b	c
ST1	Ortalama spektrum	$0.2T-1.5T$	1.00-2.00		
ST2	Ortalama spektrum	$0.2T-1.5T$	1.00-1.20		
ST3	Ortalama spektrum	$0.2T-1.5T$	1.00-1.20		
	Kayıtların her biri	$T$	0.50-2.00	0.80-1.25	0.90-1.10
ST4	Ortalama spektrum	$0.2T-1.5T$	1.00-1.20		
	Kayıtların her biri	$0.2T-1.5T$	0.25-4.00	0.33-3.00	0.50-2.00

Tablo 4.5'e göre, ST3a stratejisinde,  $T$  için her bir kayda ait spektral ivme değerinin hedef spektruma ait spektral ivme değerine oranının 0.50-2.00 arasında kalması istenmektedir. ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe bu oran için kullanılan alt ve üst sınır aralığı azalmaktadır. Örneğin, ST3c stratejisinde bu oranın 0.90-1.10 arasında kalması istenmektedir. Benzer yaklaşım ST4a, ST4b ve ST4c stratejileri için de kullanılmıştır. ST4a'da set içerisinde bulunan her bir ivme kaydının  $0.2T-1.5T$  aralığında hedef spektruma oranının alt sınırı 0.25 iken üst sınırı 4.00 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar ST4b'de 0.33-3.00 ve ST4c'de ise 0.50-2.00 olarak seçilmiştir.

#### 4.5 İvme Kaydı Seçim Probleminin Formülasyonu

Belirli bir hedef spektrum ile uyumlu ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. İvme kaydı seçimine ait koşullar optimizasyon problemlerinin kısıtları olarak tanımlanır. Tez çalışmasında, ivme kaydı seçimi bir kısıtlı optimizasyon problemi olarak ele alınmış, problemin çözümü için armoni araştırması optimizasyon algoritmasına dayanan (Geem ve diğ. 2001) bir çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan yaklaşım ile ilgili hedef spektrumlarla uyum ve gözönüne alınan ilave tüm koşullar sağlanacak şekilde ivme kaydı veya ivme kaydı takımı setleri elde edilmiştir.

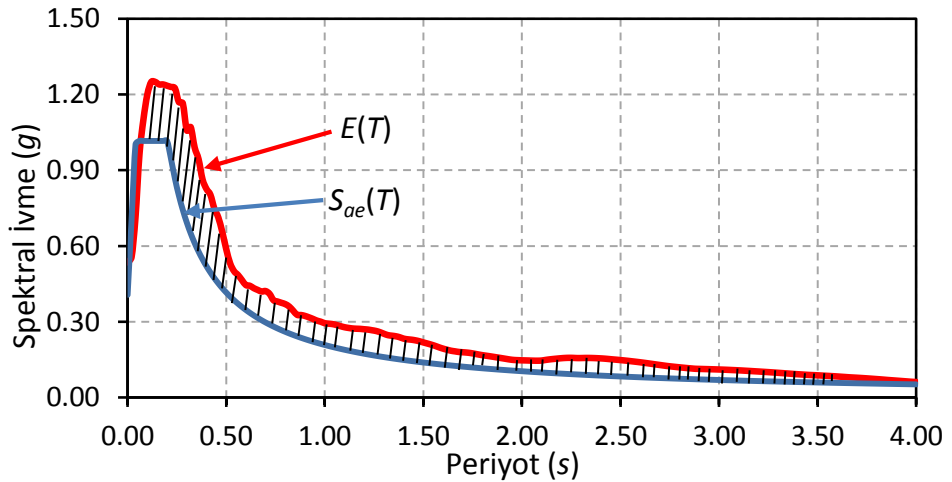
İvme kaydı seçimi ve ölçeklendirilmesi problemi, Denklem 4.4 ile verilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesi şeklinde bir optimizasyon problemi olarak formülize edilmiştir (Kayhan, 2012).

$$F(\mathbf{x})=f_1(\mathbf{x})+g_1(\mathbf{x})+g_2(\mathbf{x})+g_3(\mathbf{x})+g_4(\mathbf{x})+g_5(\mathbf{x}) \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te  $\mathbf{x}$ , optimizasyon probleminin karar değişkenlerinin, yani setteki ivme kaydı veya takımının etiketi ile her bir kayda veya kayıt takımına uygulanacak ölçeklendirme katsayısının saklandığı vektördür. Örneğin, TBDY'ye göre iki boyutlu analizler için 11 adet ivme kaydından oluşan bir ivme kaydı seti kullanılması gerektiğinden,  $\mathbf{x}$  vektöründe 11 adet ivme kaydı ve 11 adet ivme kaydına ait ölçeklendirme katsayısı saklanır. Vektörün boyutu da 22 olur.  $f_1(\mathbf{x})$ , hedef spektrum  $S_{ae}(T)$  ile seçilen ve ölçeklendirilen ivme kayıtlarına veya kayıt takımlarına ait ortalama spektrum  $E(T)$  arasındaki farkların karelerinin toplamı olarak ifade edilmiştir (Denklem 4.5).  $g_1(\mathbf{x})$ ,  $g_2(\mathbf{x})$ ,  $g_3(\mathbf{x})$ ,  $g_4(\mathbf{x})$  ve  $g_5(\mathbf{x})$  ise çalışmada dikkate alınan ivme kaydı seçimi ile ilgili diğer koşulların optimizasyon probleminde ele alınabilmesi için kullanılan ceza (penaltı) fonksiyonlarıdır.

$$f_1(\mathbf{x})=\sum_{i=1}^m(E(T_i)-S_{ae}(T_i))^2 \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (4.5)$$

$f_1(\mathbf{x})$ , ortalama spektrum ile hedef spektrum arasında uyumun sağlanması için öngörülen periyot aralığında hesaplanmaktadır. Bu amaçla, ilgili periyot aralığı küçük bir  $\Delta T$  değeri dikkate alınarak  $m$  adet ayrık periyot değerine bölünür. Her bir ayrık periyot değerine karşılık gelen  $E(T)$  ile  $S_{ae}(T)$  değerleri arasındaki farkın karelerinin minimize edilmesi Şekil 4.13'te verilen alanın minimize edilmesi şeklinde grafik olarak temsil edilebilir.



Şekil 4.13: Spektral uyum probleminin grafiksel gösterimi

Tez çalışması kapsamında kullanılan kısıtlardan biri,  $0.2T$  ile  $1.5T$  aralığında ortalama spektrumun hedef spektruma oranının alt sınırının 1.0 olmasıdır. TBDY’de yer alan bu kısıt, Denklem 4.6’daki ceza fonksiyonunda ele alınmıştır. Bu oran için TBDY’de bir üst sınır tanımlanmamıştır ancak tez çalışmasında bir üst sınır dikkate alınmıştır. Denklem 4.6’da görüldüğü gibi ortalama spektrum ile hedef spektrum arasında üst sınır ( $O_{\text{ÜST}}$ ) da dikkate alınmıştır. Üst sınır, ST1 stratejisi için 2.0, diğer stratejiler için 1.2 alınmıştır (Tablo 4.5).

$$g_1(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1.0 - \min(E(T_i)/S_{ae}(T_i)) & \min(E(T_i)/S_{ae}(T_i)) < 1.0 \text{ ise} \\ \max(E(T_i)/S_{ae}(T_i)) - O_{\text{ÜST}} & \max(E(T_i)/S_{ae}(T_i)) > O_{\text{ÜST}} \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.6)$$

Tez çalışmasında kullanılan ikinci kısıta ait ceza fonksiyonu Denklem 4.7’de verilmiştir. Bu kısıt, ST3 stratejisini temsil etmektedir. ST3 stratejisinde, ST2 stratejisinde gözetilen ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyuma ek olarak, yapının birinci doğal titreşim periyodu için her bir kayda ait bireysel ivme spektrumuna ait spektral ivme değeri  $BS(IT)$  ile hedef spektruma ait spektral ivme değeri  $S_{ae}(IT)$  arasındaki uyum gözetilmektedir. Denklem 4.7’de  $B_{\text{ÜST}}$  ve  $B_{\text{ALT}}$ ,  $BS(IT)/S_{ae}(IT)$  oranının üst ve alt sınırlarını temsil etmektedir. Örneğin, ST3a stratejisinde  $1.0T$  için  $B_{\text{ÜST}}=2.0$  ve  $B_{\text{ALT}}=0.50$  iken ST3c stratejisinde  $1.0T$  için  $B_{\text{ÜST}}=1.10$  ve  $B_{\text{ALT}}=0.90$ ’dır (Tablo 4.5).

$$g_2(\mathbf{x}) = \begin{cases} \max(BS(IT)/S_{ae}(IT)) - B_{\text{ÜST}} & \max(BS(IT)/S_{ae}(IT)) > B_{\text{ÜST}} \text{ ise} \\ B_{\text{ALT}} - \min(BS(IT)/S_{ae}(IT)) & \min(BS(IT)/S_{ae}(IT)) < B_{\text{ALT}} \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.7)$$

ST4 stratejisine ait koşullara bağlı olarak ifade edilen ceza fonksiyonu Denklem 4.8’de verilmiştir. ST4 stratejisinde, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasında  $0.2T-1.5T$  aralığında gözetilen uyuma ek olarak, aynı periyot aralığında her bir kaydın bireysel ivme spektrumuna ait spektral ivme değerleri  $BS(T)$  ile hedef spektruma ait spektral ivme değerleri  $S_{ae}(T)$  arasındaki uyum gözetilmektedir. Denklem 4.8’de  $B_{\text{ÜST}}$  ve  $B_{\text{ALT}}$ , ilgili periyot aralığında  $BS(T)/S_{ae}(T)$  oranının üst ve alt sınırlarını temsil etmektedir. Örneğin, ST4a stratejisinde  $B_{\text{ÜST}}=4.0$  ve  $B_{\text{ALT}}=0.25$  iken ST4c stratejisinde  $B_{\text{ÜST}}=2.0$  ve  $B_{\text{ALT}}=0.5$ ’tir (Tablo 4.5).

$$g_3(\mathbf{x}) = \begin{cases} B_{ALT} - \min(BS(T)/S_{ae}(T)) & \min(BS(T)/S_{ae}(T)) < B_{ALT} \text{ ise} \\ \max(BS(T)/S_{ae}(T)) - B_{ÜST} & \max(BS(T)/S_{ae}(T)) > B_{ÜST} \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.8)$$

Çalışmada dikkate alınan diğer bir kısıt ise TSD sistemler için seçilen ivme kaydı setlerinin herhangi birinde, bir ivme kaydı takımının sadece bir bileşenin bulunmasıdır. Bu kısıta bağlı ceza fonksiyonu Denklem 4.9'da verilmiştir. Bu kısıt ile set içerisindeki ivme kaydı çeşitliliğin artırılması amaçlanmıştır.

$$g_4(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{set içerisinde aynı takıma ait birden fazla kayıt seçilmiş ise} \\ 0 & \text{set içerisinde aynı takıma ait bir kayıt seçilmiş ise} \end{cases} \quad (4.9)$$

Çalışmada dikkate alınan son kısıt ise bir ivme setinde aynı depreme ait kayıt veya kayıt takımı sayısının en fazla üç olması gereği ile ilgilidir. Bu koşul TBDY'de yer almaktadır. Bu koşula ait ceza fonksiyonu Denklem 4.10'da verilmiştir.

$$g_5(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{aynı depremden üçten fazla ivme kaydı seçilmiş ise} \\ 0 & \text{aynı depremden üç veya daha az ivme kaydı seçilmiş ise} \end{cases} \quad (4.10)$$

#### 4.6 Armoni Araştırması Optimizasyon Algoritması

Armoni araştırması optimizasyon algoritması ilk olarak Geem ve diğ. (2001) tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma, bir orkestrada yer alan müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodiyi elde etmesi prensibine dayanmaktadır. Armoni araştırması hem sürekli hem de ayrık değişkenler için kullanılabilen, karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü tanımlanmasına gerek bulunmamaktadır. Ayrıca popülasyon tabanlı bir algoritma olarak birden çok yönde global optimumu arama imkanına sahip olduğu için lokal optimum çözümlerden kurtulabilmektedir. Bir orkestrada en iyi armoniye müzisyenlerin çaldıkları notaların zamanla uyumunun artması ile yaklaşıırken, optimizasyon problemlerinde ise en iyi çözüme, amaç fonksiyonunun iterasyonlar boyunca değişen değerleri ile yaklaşılmaktadır. Armoni araştırması optimizasyon algoritması ile çözüm 5 adımda yapılmaktadır.

#### 4.6.1 Problemin Tanımı ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması

İlk adımda Denklem 4.4'te verilen  $F(\mathbf{x})$  fonksiyonu tanımlanır. Bu tanımlama ile ilgili ifade Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$\min F(\mathbf{x}) \quad x_i \in [x_{i,min} \dots x_{i,mak}] \quad i=1,2,3, \dots, N \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'de verilen  $x_{i,min}$  ve  $x_{i,mak}$  sırasıyla karar değişkenlerinin alt ve üst sınırlarını,  $N$  ise karar değişkeni sayısını göstermektedir. Armoni araştırması tekniğinde çözüm sürecinde kullanılan ve süreci kontrol eden parametreler armoni belleği kapasitesi ( $HMS$ ), armoni belleğini dikkate alma oranı ( $HMCR$ ) ve ton ayarlama oranıdır ( $PAR$ ). Bu parametreler ve çözüm için yapılacak iterasyonların maksimum sayısı da bu adımda tanımlanmaktadır. Literatürde  $HMCR$  ve  $PAR$  için sırasıyla 0.70-0.95 ve 0.20-0.50 arasındaki değerlerin ve armoni belleği kapasitesi  $HMS$  için 10-50 arasındaki değerlerin seçilmesi önerilmektedir (Lee ve diğ. 2005). Maksimum iterasyon sayısı 80,000 olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, iterasyonlar başladıktan sonra dikkate alınan tüm kısıtlar sağlanacak şekilde bir ivme setinin elde edilmesi durumunda, maksimum iterasyon sayısına ulaşılmaya bile iterasyonların durdurulması koşulu tanımlanmıştır.

#### 4.6.2 Armoni Belleğinin Oluşturulması

Armoni belleğinin ( $HM$ ) oluşturulması adımı, verilen çözüm uzayı içerisinde karar değişkenleri için rastgele değerler üretilmektedir. Karar değişkenleri kullanılarak amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Böylece armoni belleği Denklem 4.12'deki gibi doldurulmaktadır.

$$\mathbf{HM} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 & F(\mathbf{x}^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 & F(\mathbf{x}^2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_1^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} & F(\mathbf{x}^{HMS-1}) \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} & F(\mathbf{x}^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Armoni belleğinin satır sayısı armoni belleği kapasitesi ( $HMS$ ) ile belirlenmektedir.  $HMS$  ile armoni belleğindeki aday ivme seti sayısının (popülasyon

büyüklüğü) kaç olacağı belirlenmektedir. *HMS*, armoni belleğindeki armoni vektörü sayısı olarak da ifade edilebilir. Denklem 4.12'deki sütun sayısı ise karar değişkenlerin sayısına (*N*) bir eklenerek (*N*+1) belirlenmektedir. Denklem 4.12'de görüldüğü belleğin her bir satırı yani her bir armoni vektörü için *N*+1 sütununda vektöre ait amaç fonksiyonun değeri, diğer sütunlarda (1'den *N*'e kadar) ise vektöre ait amaç fonksiyonu değerinin hesaplanmasında kullanılan karar değişkeni değerleri bulunmaktadır.

### 4.6.3 Yeni Armoni Vektörünün Oluşturulması

Bu adımda, armoni bellekte yer almaya aday yeni armoni vektörüne ait her bir karar değişkeninin değeri, armoni belleğinin kullanılması, rastgele seçim ve ton ayarlama olmak üzere üç kurala bağlı olarak ayrı ayrı üretilmektedir. Yeni oluşturulacak armoni vektöründeki karar değişkeni değerlerinin armoni belleğinden seçilip seçilmeyeceği bu çalışmada 0.70 ile 0.95 arasında seçilen, armoni belleğini dikkate alma oranına (*HMCR*) bağlı olarak belirlenmektedir.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in [x'_i \dots x_i^{HMS}] & \text{HMCR olasılığı ile} \\ x'_i \in [x_{i,\min} \dots x_{i,\max}] & (1-HMCR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad i=1,2,3,\dots, N \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'te verilen *HMCR* olasılığı karar değişkeninin armoni belleğinden (**HM**) seçilme olasılığı iken, *1-HMCR* ise karar değişkenlerinin çözüm uzayından rastgele oluşturulması olasılığını ifade etmektedir. Armoni belleği içerisinde seçilen karar değişkeni değerinin ton ayarlama işlemine girip girmeyeceği ise ton ayarlama oranı (*PAR*) oranı ile belirlenmektedir. *PAR* oranı bu çalışmada 0.20 ile 0.50 arasında alınmıştır.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \mp Rand(0,1)*bw & \text{PAR olasılığı ile} \\ x'_i & (1-PAR) \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad i=1,2,3,\dots, N \quad (4.14)$$

Denklem 4.14'de verilen *PAR*, armoni belleğinden seçilen karar değişkeninin ton ayarlama işleminden geçme olasılığı iken (*1-PAR*) ise ton ayarlama işleminden geçmeme yani karar değişkeni değerinin armoni bellekten seçildiği şekilde



kullanılması olasılığıdır. Denklem 4.14'te gösterilen  $b_w$  ise ton ayarlama için seçilen bant genişliğidir.  $Rand(0,1)$ , 0 ile 1 arasında değişen üniform rastgele sayıdır.

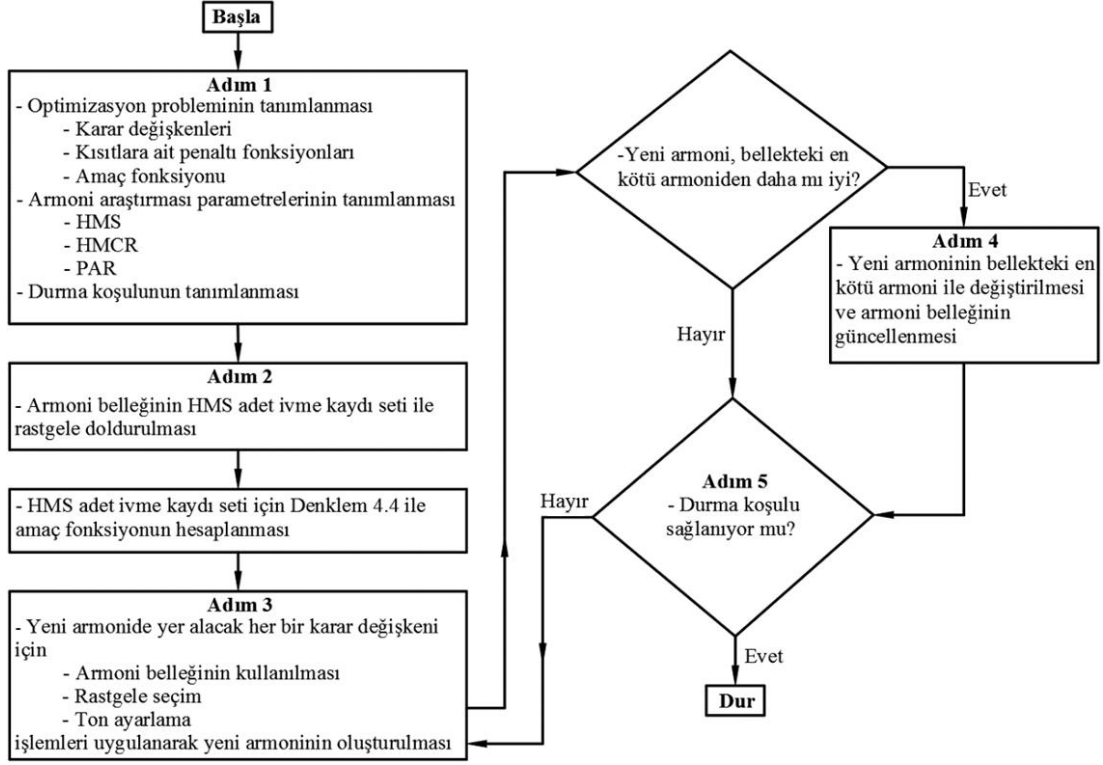
#### **4.6.4 Armoni Belleğinin Güncellenmesi**

Armoni belleğinin güncellenmesi adımı, yeni oluşturulan armoni vektörü ile bellekte bulunan en kötü armoni vektörü, amaç fonksiyonu değerleri kullanılarak karşılaştırılır. En kötü armoni vektörü, minimizasyon problemi için armoni belleğindeki en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip armoni vektörüdür. Eğer yeni oluşturulan armoni vektörü bellekteki en kötü armoni vektöründen daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine sahip ise en kötü armoni vektörü armoni belleğinden çıkarılıp yerine yeni oluşturulan vektör atanır. Böylece armoni belleği iterasyonlar boyunca güncellenir.

#### **4.6.5 Durma Koşulunun Kontrolü**

Bu adımda, birinci adımda tanımlanan iterasyonların durma koşulu kontrol edilir. Durma koşulu sağlanıncaya kadar 4.6.3 ile 4.6.4 ile tanımlanan adımlar tekrar eder. Durma koşulu sağlandığında, iterasyonlar durdurulur ve o anda armoni belleğinde bulunan en iyi armoni vektörü, optimizasyon probleminin çözümü olarak kabul edilir.

Yukarıda adımları belirtilen armoni araştırması optimizasyon algoritması ile ilgili akış şeması Şekil 4.14'te verilmiştir. Algoritma, ivme kaydı seçimine yönelik olarak çalışma kapsamında ele alınan stratejiler dikkate alınarak kullanılmıştır. Hazırlanan çözüm algoritması, Excel makrosu olarak (Microsoft 1995) kodlanmıştır.



Şekil 4.14: Armoni araştırması optimizasyon algoritmasının akış şeması

#### 4.7 Çalışmada Kullanılan İvme Setleri

Çalışmada dikkate alınan TSD sistemler ve üç boyutlu betonarme binaların analizinde kullanılmak üzere, her bir yerel zemin sınıfı ve her bir strateji için 4 farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Hem TSD sistemler hem de betonarme binalar için, ZB zemin sınıfına ait 192, ZC zemin sınıfına ait 192 ve ZD zemin sınıfına ait 192, toplam  $576 \times 2 = 1152$  ivme seti elde edilmiştir. Her bir ivme setinde 11 ivme kaydı veya 11 ivme kaydı takımı bulunmaktadır. 1152 ivme kaydı setinin tamamı ile ilgili bilgilerin tez içerisinde verilmesi çok büyük bir yer tutacaktır. Bu sebeple, elde edilen setlere örnek olarak ZB zemin sınıfı ve  $T=0.6s$  periyotlu TSD sistem için ilk sete ait ivme kaydı seti ile beş katlı bina için ilk sete ait ivme kaydı takımı seti bu bölümde verilmiştir. Okuyucular isterse yazar ile temasa geçerek diğer ivme kaydı setleri hakkında bilgilere ulaşabilirler. ZC ve ZD zemin sınıflarına ait ivme kaydı setleri ve ivme kaydı takımı setleri için, kayıtlara uygulanacak ölçek katsayısı 0.5-2.0 arasında seçilmiştir. ZB zemin sınıfına ait katalogda nispeten daha az sayıda ivme kaydı takımı bulunmaktadır. Bu sebeple, bu zemin sınıfına ait setler için kayıtlara uygulanacak ölçek katsayısı 0.25-4.00 arasında seçilmiştir.

#### 4.7.1 İvme Kaydı Setleri

Ele alınan her bir yerel zemin sınıfı, her bir strateji ve her bir TSD sistem periyodu için 4 farklı ivme kaydı seti, toplamda 576 farklı ivme seti elde edilmiştir. Her bir ivme setinde 11 ivme kaydı bulunmaktadır. Tablo 4.6'da,  $T=0.6s$  periyoda sahip TSD sistem için ZB zemin sınıfı ile uyumlu ilk setlerde yer alan ivme kayıtları ve ölçeklendirme katsayıları örnek olarak verilmiştir.

Tablo 4.6'da setlerde yer alan ivme kayıtları için ölçeklendirme katsayısının 0.25 ile 4.00 arasında olduğu görülmektedir. En yüksek ölçeklendirme faktörü ST3c stratejisine ait setteki 246Y nolu ivme kaydına aittir: 3.997. En düşük ölçeklendirme katsayısı ise ST1 stratejisine ait setteki 5618X nolu ivme kaydına aittir: 0.705.

Tablo 4.6: TSD sistem için örnek ivme kaydı setleri ( $T=0.6s$ , Zemin ZB)

ST1		ST2		ST3a		ST3b	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
6500Y	1.901	5680Y	1.576	649X	1.904	981Y	1.551
5618X	0.705	6115X	1.691	55X	0.877	4679X	3.582
4675Y	1.581	7156X	1.812	5618X	1.764	234X	3.767
852Y	1.134	5618X	1.819	949Y	1.638	3954Y	2.436
5038Y	1.624	765Y	0.927	4678X	1.607	246Y	3.853
642Y	1.620	196X	0.989	182X	1.450	6327X	3.831
196X	1.840	4675Y	1.254	879Y	1.101	5819X	3.815
641Y	1.583	9071X	1.957	766Y	1.989	7156X	2.655
6327X	1.935	1011X	1.990	3446X	1.916	146Y	3.964
5270X	1.365	6277X	1.393	7187Y	1.387	649X	3.845
1228Y	1.792	1795X	1.999	7156X	1.547	128X	3.976
ST3c		ST4a		ST4b		ST4c	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
5618X	1.348	5618X	1.917	7187Y	0.859	7187X	0.799
7156X	2.899	3446X	1.383	7156Y	1.999	17036X	3.788
642Y	1.918	80X	1.959	1011X	1.532	246Y	3.898
6327X	3.229	879Y	1.871	182X	1.627	846Y	3.611
246Y	3.997	428X	1.299	649Y	1.996	6336X	3.972
766Y	1.563	7142X	0.867	290Y	1.182	146Y	3.911
846Y	3.437	1091Y	1.334	149X	1.872	5819Y	2.711
146Y	3.443	6277X	0.716	766Y	1.995	1011X	3.220
649Y	2.225	6115X	1.724	55X	1.053	9071X	3.239
6342X	3.771	649Y	1.837	3446X	1.971	6115X	2.552
428X	3.865	355Y	1.192	5618X	1.246	763Y	3.918

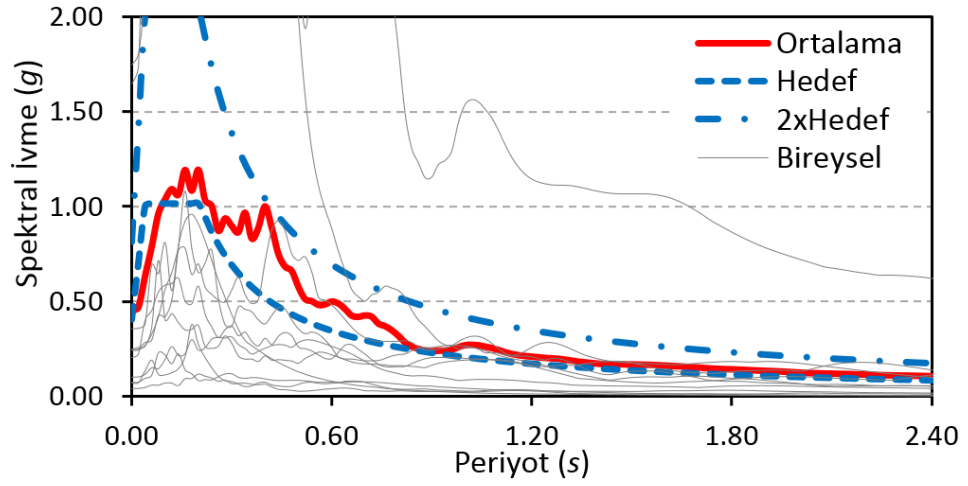
Dikkate alınan başka bir kısıt, ivme kaydı takımının iki yatay bileşeninin de aynı sette yer almaması idi. Tablo 4.6'daki setlerde bu koşulun da sağlandığı

görülebilmektedir. Örneğin, 6500Y nolu ivme kaydı ST1 stratejisine ait ivme setinde bulunmakta ancak 6500X nolu ivme kaydı aynı sette bulunmamaktadır. Öte yandan, katalogta bulunan ivme kayıtlarının farklı setlerde farklı ölçek katsayıları ile buldukları da görülmektedir. Örneğin, ST1 stratejisine ait sette bulunan 4675Y nolu kayıt ST2 stratejisine ait sette de yer almaktadır.

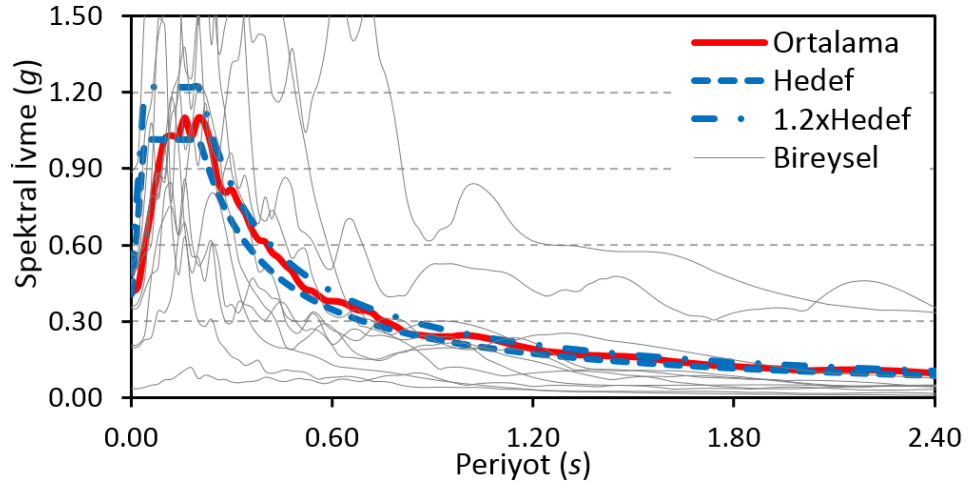
İvme kaydı setlerinde yer alan ivme kayıtlarına ait spektrumlar, sete ait ortalama spektrum ve ilgili hedef spektrum örnekleri Şekil 4.15 – Şekil 4.22’de verilmiştir.  $T=0.6s$  periyoda sahip TSD sistemler için ZB zemin sınıfı ile uyumlu olarak ST1 ve ST2 ile elde edilen set örnekleri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.  $T=1.0s$  periyoda sahip TSD sistemler için ZC zemin sınıfı ile uyumlu olarak ST3a, ST3b ve ST3c ile elde edilen set örnekleri Şekil 4.17 – Şekil 4.19’da verilmiştir.  $T=1.6s$  periyoda sahip TSD sistemler için ZD ile uyumlu olarak ST4a, ST4b ve ST4c ile elde edilen set örnekleri ise Şekil 4.20 – Şekil 4.22’de verilmiştir.

Şekil 4.15 - Şekil 4.22’de, ortalama ifadesi ivme kaydı setinde bulunan 11 adet bireysel spektrumun ortalamasını, hedef ifadesi setin ilgili olduğu hedef spektrumu belirtmektedir. Bireysel terimi ile de ivme kaydı seti içerisindeki 11 ivme kaydına ait bireysel spektrum ifade edilmektedir.  $2xHedef$  veya  $1.2xHedef$  terimleri ile bu çalışmada ortalama spektrum için kullanılan üst sınırları ifade etmektedir.

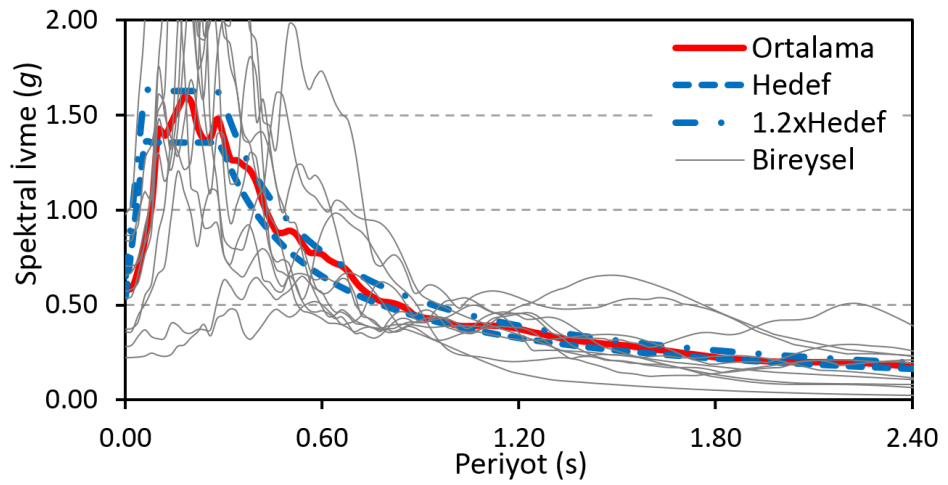
Hatırlanacağı üzere ST1 stratejisi için, ilgili periyot aralığında ortalama spektrumun hedef spektruma oranı en az 1.0 ve en çok 2.0 olmalı idi. ST2 stratejisinde ise bu oran en az 1.0 ve en çok 1.2 olmalı idi. Şekillerde görüldüğü gibi, ortalama spektrum ile ilgili bu alt ve üst sınır koşulları sağlanmaktadır. ST3 stratejisi için, ST2’de kullanılan ortalama spektrum ile ilgili uyum koşulunun yanı sıra, setteki bireysel spektrumların da hedef spektrum ile uyumu gözetilmekte idi. Bu uyum için TSD sistemin periyodu ele alınmaktadır (Tablo 4.5). Verilen örnek setler  $T=1.0s$  olan TSD sistem için elde edilmiştir. Dolayısıyla, bu koşul  $T=1.0s$  için dikkate alınmıştır. ST4 stratejisi için, ST2’de kullanılan ortalama spektrum ile ilgili uyum koşulunun yanı sıra, setteki bireysel spektrumların da hedef spektrum ile uyumu, bu kez belirli bir periyot aralığında gözetilmekte idi (Tablo 4.5). Verilen örnek setler  $T=1.0s$  olan TSD sistem için elde edilmiştir. Dolayısıyla, bu koşul 0.2s-1.5s periyot aralığı için dikkate alınmıştır. Şekillerden görüleceği gibi bireysel spektrumlar ile ilgili tüm koşullar sağlanacak şekilde de ivme kaydı setleri elde edilmiştir.



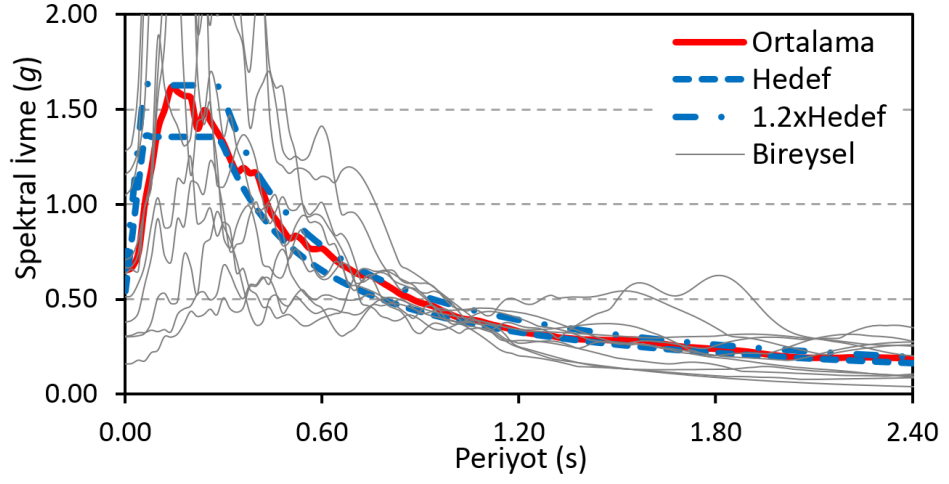
Şekil 4.15: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=0.6s$ , ZB, ST1)



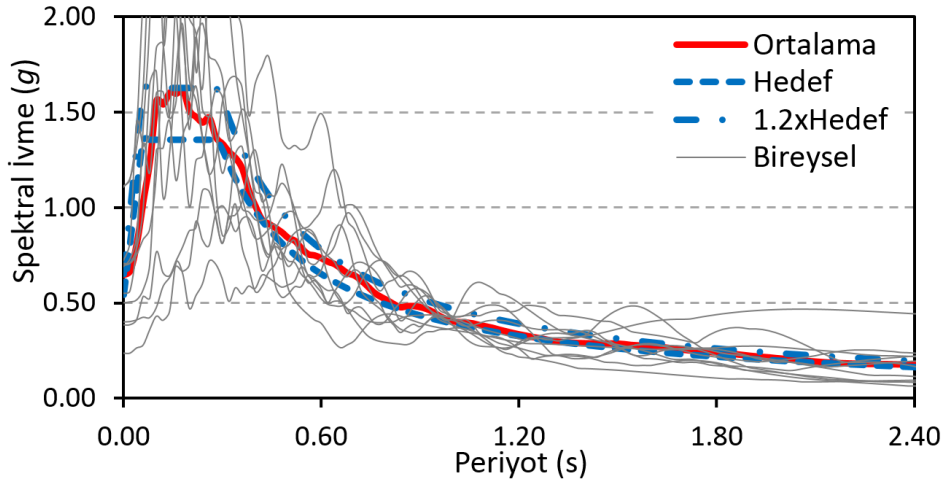
Şekil 4.16: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=0.6s$ , ZB, ST2)



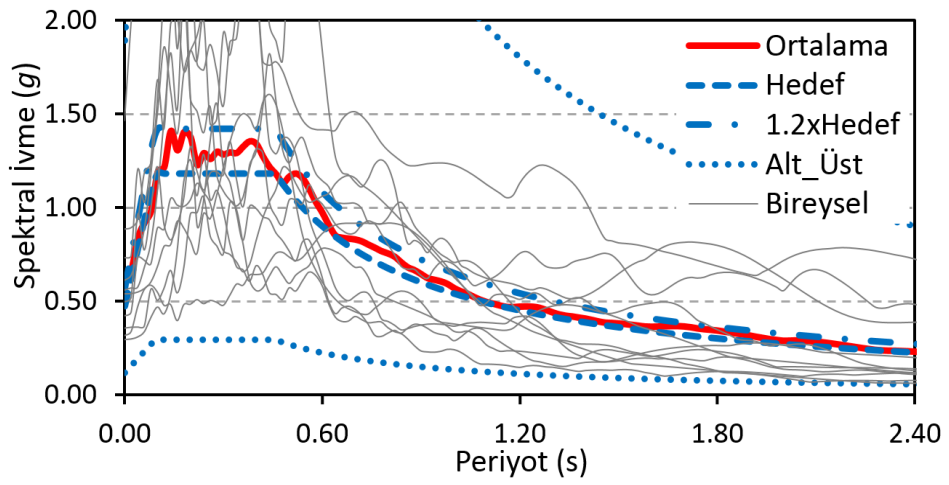
Şekil 4.17: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3a)



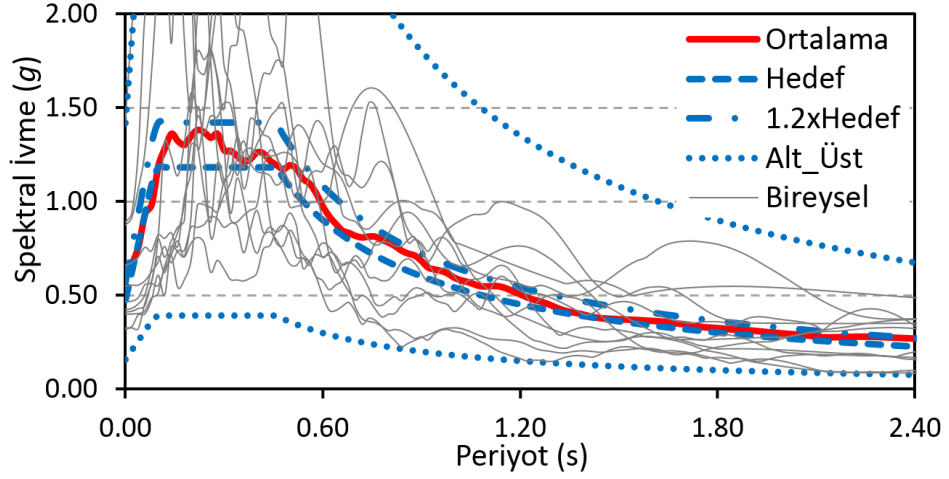
Şekil 4.18: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3b)



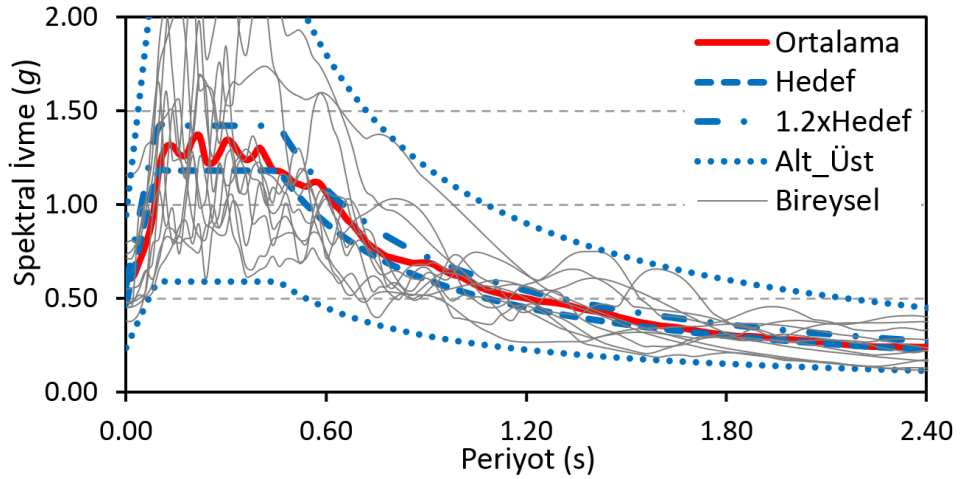
Şekil 4.19: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.0s$ , ZC, ST3c)



Şekil 4.20: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4a)



Şekil 4.21: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4b)



Şekil 4.22: Örnek ivme kaydı setine ait spektrumlar ( $T=1.6s$ , ZD, ST4c)

#### 4.7.2 İvme Kaydı Takımı Setleri

Betonarme binaların analizlerinde kullanılmak üzere, ele alınan her bir yerel zemin sınıfı, her bir strateji ve her bir bina için 4 farklı ivme kaydı takımı seti, toplamda 576 farklı ivme kaydı takımı seti elde edilmiştir. Her bir ivme setinde 11 ivme kaydı takımı bulunmaktadır.

Tablo 4.7’de beş katlı bina için ZB sınıfı zemin ile uyumlu olarak elde edilen ivme kaydı takımı setlerinden birer örnek verilmiştir. İvme kaydı takımında yer alan iki bileşen için de aynı ölçek katsayısı kullanılacaktır. Bu sebeple, bileşen ismi değil kayıt takımı ismi tabloda yer almaktadır. Tablodan görüldüğü gibi, ivme kaydı takımı setleri için de ölçek katsayısı 0.25-4.00 arasındadır. Tablodaki örnek setler içerisinde

en yüksek ölçek katsayısına (3.996) sahip ivme kaydı takımı ST3a ile elde edilen sette yer alan 763 nolu ivme takımı iken ST3b ile elde edilen sette yer alan 7187 nolu ivme kaydı takımı en düşük ölçek katsayısına (0.865) sahiptir.

Tablo 4.7: 5 katlı bina için örnek ivme kaydı takımı setleri (Zemin ZB)

ST1		ST2		ST3a		ST3b	
Takım	Ölçek	Takım	Ölçek	Takım	Ölçek	Takım	Ölçek
366	3.300	6336	3.994	1091	1.973	4675	2.242
358	3.957	2753	3.291	6341	3.025	3925	3.525
6265	3.943	5089	3.723	6331	3.781	661	3.958
9071	2.374	7142	2.200	5655	2.675	949	2.844
193	1.908	6265	3.815	363	2.662	2025	2.138
169	2.300	292	2.800	763	3.996	6336	3.950
6333	3.601	852	3.698	146	3.638	149	2.401
5618	2.831	6115	2.248	173	3.160	146	3.721
649	3.902	455	2.060	766	3.348	649	2.273
2025	3.457	6326	3.148	7156	3.755	7187	0.865
182	3.715	146	3.943	5819	1.490	3446	2.728
ST3c		ST4a		ST4b		ST4c	
Takım	Ölçek	Takım	Ölçek	Takım	Ölçek	Takım	Ölçek
234	3.351	6115	1.823	5618	1.939	649	2.072
146	3.251	287	1.377	351	1.801	367	3.936
6115	3.710	9071	1.997	649	1.568	6115	2.687
3925	3.154	6326	1.835	16955	2.847	766	2.314
7156	2.702	670	1.929	80	2.811	6342	3.210
642	2.804	290	1.760	5680	3.921	642	3.712
149	2.252	7142	1.238	5819	2.686	246	3.661
6336	3.579	766	1.934	1243	1.100	2025	1.820
649	1.923	149	1.193	4675	1.698	146	3.588
292	3.492	5819	1.328	763	3.339	6278	3.979
5618	0.999	7156	1.994	1917	3.634	17036	3.919

ZB, ZC ve ZD sınıfı zeminlerle uyumlu olarak farklı stratejiler kullanılarak elde edilen ivme kaydı takımı setlerine ait spektrum örnekleri Şekil 4.23 – Şekil 4.30’da verilmiştir. Her bir zemin sınıfı için farklı kat sayısına sahip betonarme bina için elde edilen ivme kaydı takımı örnekleri verilmiştir. Hatırlatmak gerekir ki, aslında çalışmada dikkate alınan bir binanın analizinde kullanılmak üzere farklı her bir zemin sınıfı ve her bir strateji için dörder ivme kaydı takımı seti elde edilmiştir.

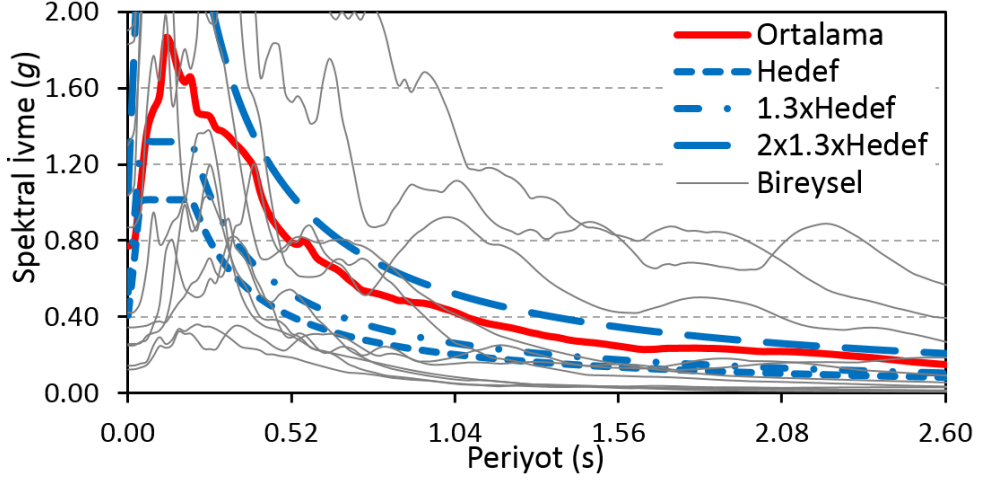
5 katlı binanın ( $T=0.72s$ ) analizinde kullanılmak üzere ZB ile uyumlu olarak ST1 ve ST2 ile elde edilen ivme kaydı takımı setlerinden örnekler Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te verilmiştir. Şekillerin her birinde, farklı bir strateji ile elde edilen bir ivme kaydı takımı seti yer almaktadır. 7 katlı binanın ( $T=0.84s$ ) analizinde kullanılmak üzere ZC ile uyumlu olarak ST3a, ST3b ve ST3c ile elde edilen ivme kaydı takımı



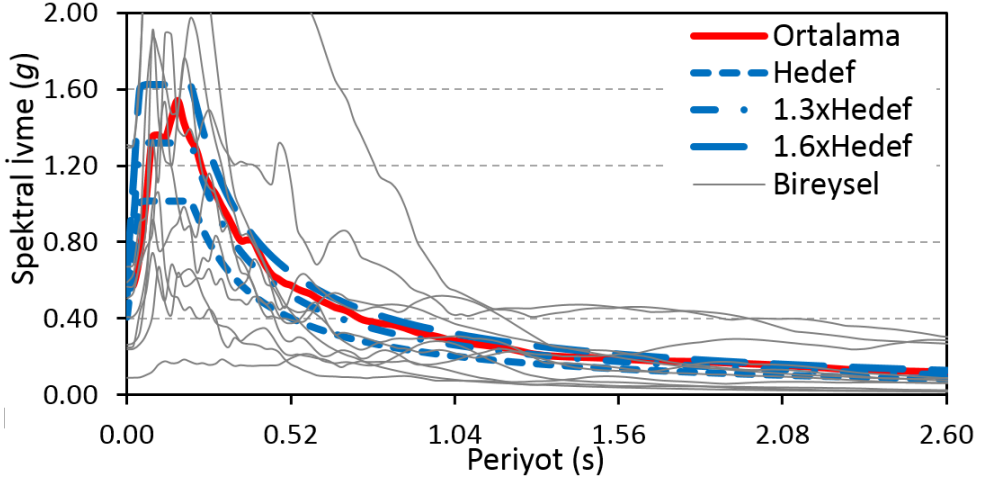
setlerinden örnekler Şekil 4.25 – Şekil 4.27’de verilmiştir. 9 katlı binanın ( $T=1.26s$ ) analizinde kullanılmak üzere ZD ile uyumlu olarak ST4a, ST4b ve ST4c ile elde edilen ivme takımı setlerinden örnekler ise Şekil 4.28 – Şekil 4.30’da sunulmuştur.

Üç boyutlu yapılar için ivme kaydı takımı setleri oluştururken öncelikle her bir ivme kaydı takımının iki yatay bileşenine ( $X$  ve  $Y$ ) ait ivme spektrumlarının kareleri toplamının karekökleri alınarak bileşke yatay spektrumlar elde edilmiştir. Bu yüzden Şekil 4.23 – Şekil 4.30 arasındaki şekillerde bireysel terimi, ivme kaydı takımlarına ait bileşke yatay spektrumları ifade etmektedir.  $1.3xHedef$ ,  $1.6xHedef$  ve  $2x1.3xHedef$  terimleri ise bileşke yatay spektrumların ortalaması için kullanılan sınırları ifade etmektedir. Bilindiği gibi, ortalama bileşke spektrum için TBDY’ye göre alt sınır hedef spektrumun 1.3 katıdır. Üst sınır olarak da ST1 stratejisi için alt sınırın 2.0 katı dikkate alınmıştır. ST2 stratejisi için üst sınır ise alt sınırın 1.2 katıdır. Buna göre ortalama spektrum için  $1.3xHedef$  alt sınırı,  $2x1.3xHedef$  ST1’e ait üst sınırı,  $1.6xHedef$  ise ST2’ye ait üst sınırı temsil etmektedir. Ortalama spektrum ST2 stratejisine ait alt ve üst sınırlar, ST3 ve ST4 stratejilerinde de kullanılmaktadır. Şekillerden görülebileceği üzere, ortalama spektrum ile ilgili alt ve üst sınır koşulları tüm setler için sağlanmaktadır.

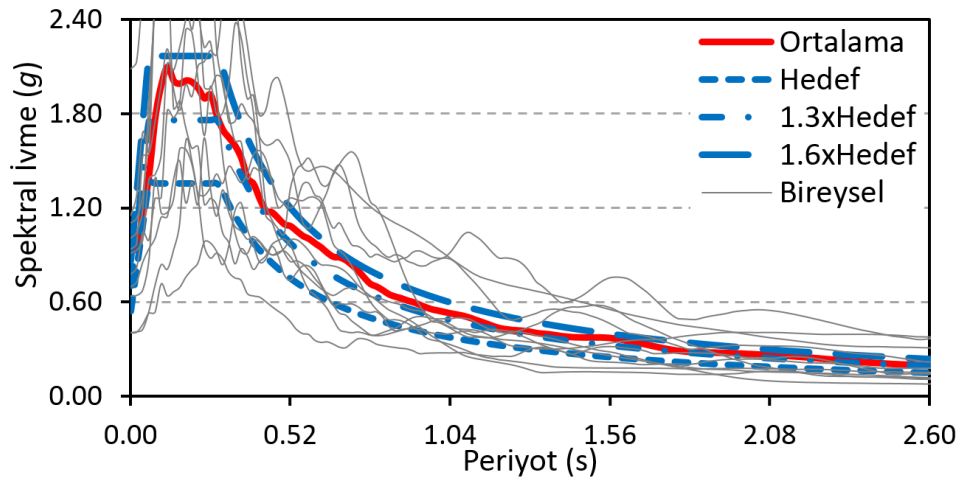
ST3 stratejisi için, ST2’de kullanılan ortalama spektrum ile ilgili uyum koşulunun yanı sıra, setteki bireysel bileşke yatay spektrumların da hedef spektrum ile uyumu gözetilmekte idi. Bu uyum için betonarme binanın periyodu dikkate alınmaktadır. Örneğin Tablo 4.5’te verildiği gibi, ST3a stratejisinde bileşke yatay spektrumlar için üst sınır, ortalama spektrum için kullanılan alt sınırın iki katı ( $2x1.3xHedef$ ) iken alt sınır ise ortalama spektrum için kullanılan alt sınırın yarısıdır ( $0.5x1.3xHedef$ ). ST4 stratejisi için, ST2’de kullanılan ortalama spektrum ile ilgili uyum koşulunun yanı sıra, setteki bireysel bileşke yatay spektrumların da hedef spektrum ile uyumu, bu kez belirli bir periyot aralığında gözetilmekte idi. Örneğin ST4c stratejisinde bileşke yatay spektrumlar için üst sınır, ortalama spektrum için kullanılan alt sınırın iki katı ( $2x1.3xHedef$ ) iken alt sınır ise ortalama spektrum için kullanılan alt sınırın yarısıdır ( $0.5x1.3xHedef$ ). ST4 ile ilgili koşullar, her bir binanın periyoduna bağlı olarak 0.2s-1.5s periyot aralığı için dikkate alınmıştır. Şekillerden görüleceği gibi bireysel bileşke yatay spektrumlar ile ilgili tüm koşullar sağlanacak şekilde de ivme kaydı setleri elde edilmiştir.



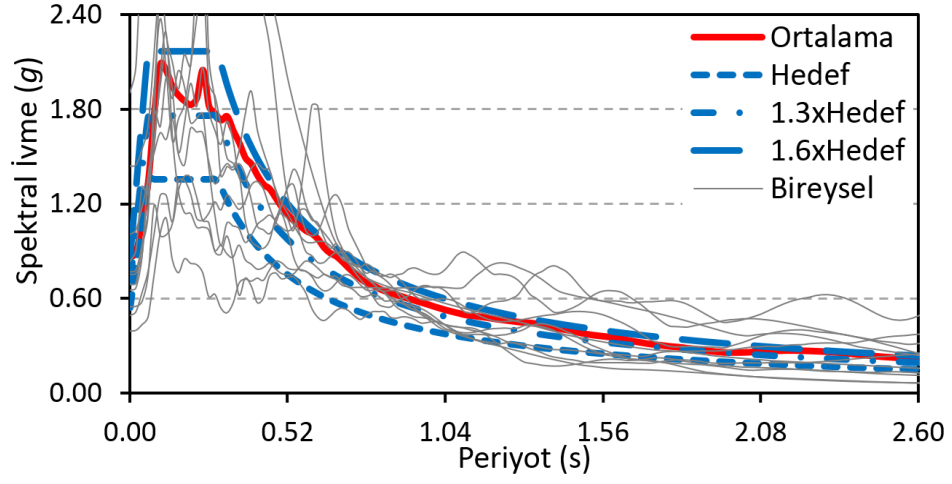
Şekil 4.23: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (5 katlı, ZB, ST1)



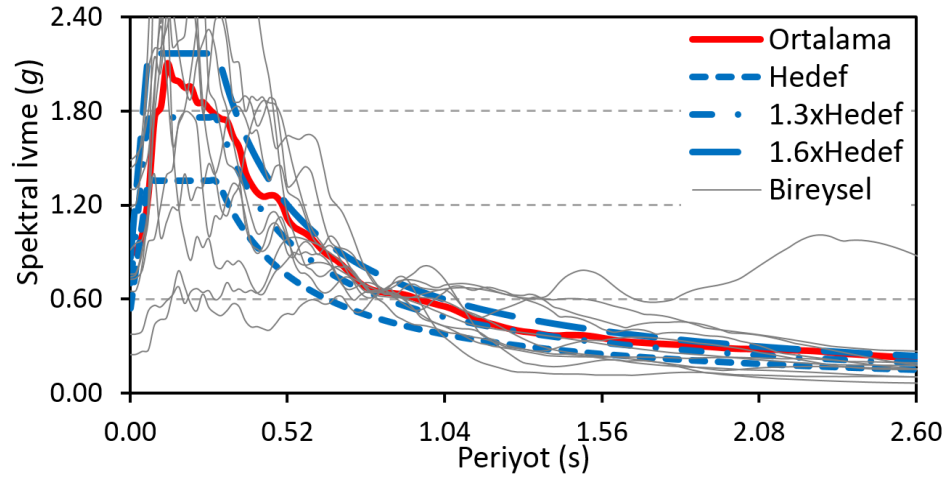
Şekil 4.24: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (5 katlı, ZB, ST2)



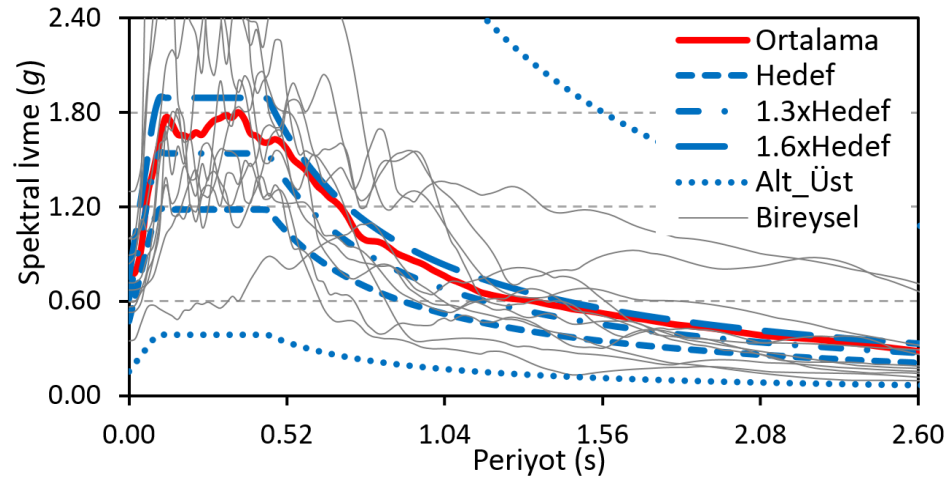
Şekil 4.25: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3a)



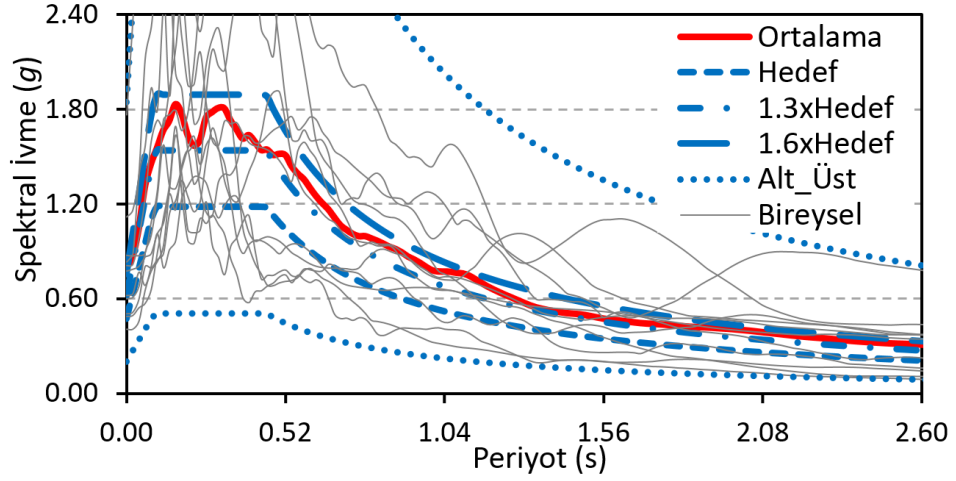
Şekil 4.26: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3b)



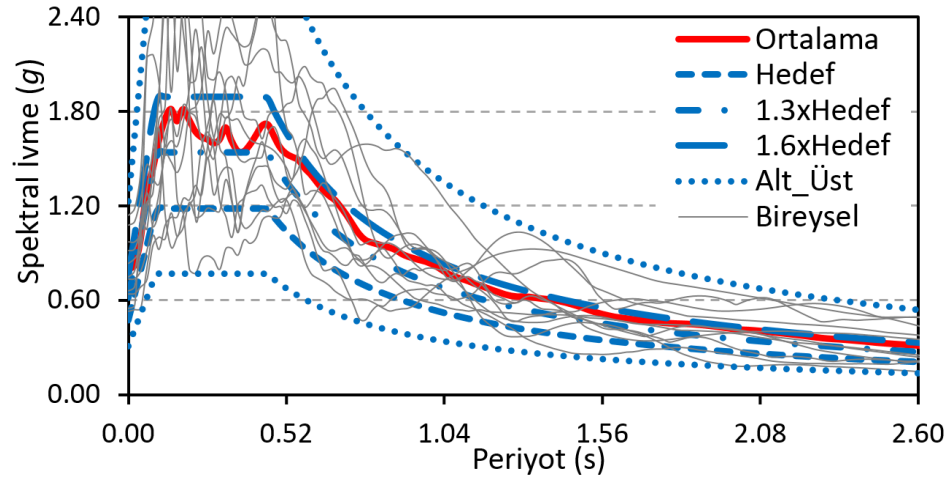
Şekil 4.27: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (7 katlı, ZC, ST3c)



Şekil 4.28: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4a)



Şekil 4.29: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4b)



Şekil 4.30: Örnek ivme takımı setine ait spektrumlar (9 katlı, ZD, ST4c).

#### 4.8 Ortalama ve Bireysel Spektrumların Hedef Spektrumlarla Uyumunun Değerlendirilmesi

Deprem yönetmelikleri ile uyumlu olarak elde edilen ivme kaydı setleri için ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumun sayısal ölçütü olarak literatürde kullanılan bazı parametreler şunlardır; Ambraseys vd. (2004) tarafından önerilen  $D_{rms}$ , Iervolino vd. (2010) tarafından önerilen  $\delta$  (spektral sapma), Naeim vd. (2004) tarafından önerilen  $MSE$  (farkların karelerinin ortalaması) ve Fahjan (2008) tarafından kullanılan  $MRE$  (ortalama görelî fark). Tez kapsamında elde edilen ivme setleri için hedef spektrum ile uyumun sayısal olarak değerlendirilmesi amacıyla  $\delta$ ,  $MSE$  ve  $MRE$  parametreleri kullanılmıştır. Literatürde bu parametreler her ne kadar

ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumun ölçütü olarak kullanılsa da, tez çalışmasında bu parametreler bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyumun değerlendirilmesi için de kullanılmıştır.

Denklem 4.15 - 4.17'de  $\delta$ ,  $MSE$  ve  $MRE$  parametrelerine ait denklemler verilmiştir. Denklem 4.15a - 4.17a ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumun, Denklem 4.15b - 4.17b ise bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyumun ölçüsü olarak kullanılmıştır. Denklemlerde,  $0.2T-1.5T$  aralığı dikkate alınmıştır.

Denklemlerde,  $E(T)$  ivme setine ait ortalama spektrum değerlerini temsil ederken,  $S_{\text{bir}}(T)$  bireysel spektrumlara ait spektral ivme değerlerini göstermektedir.  $S_{\text{hed}}(T)$  ise hedef spektruma ait spektral ivme değerlerini göstermektedir.

$$\delta_{\text{ort}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{E(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i)}{S_{\text{hed}}(T_i)} \right)^2} \quad 4.15a$$

$$\delta_{\text{bir}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{S_{\text{bir}}(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i)}{S_{\text{hed}}(T_i)} \right)^2} \quad 4.15b$$

$$MSE_{\text{ort}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (E(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i))^2 \quad 4.16a$$

$$MSE_{\text{bir}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (S_{\text{bir}}(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i))^2 \quad 4.16b$$

$$MRE_{\text{ort}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left| \left( \frac{E(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i)}{S_{\text{hed}}(T_i)} \right) \right| \quad 4.17a$$

$$MRE_{\text{bir}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left| \left( \frac{S_{\text{bir}}(T_i) - S_{\text{hed}}(T_i)}{S_{\text{hed}}(T_i)} \right) \right| \quad 4.17b$$

Tez kapsamında elde edilen ivme kaydı setleri ve ivme kaydı takımı setlerine ait  $\delta$ ,  $MSE$  ve  $MRE$  değerleri hem set içerisindeki bireysel spektrumlar için hem de sete ait ortalama spektrumlar için elde edilmiştir.

Tablo 4.8’de, ZC sınıfı zemin ile uyumlu olarak  $T=1.2s$  olan TSD sistem için ST1 ve ST2 stratejileri ile elde edilen ivme kaydı setlerine ait  $\delta$  değerleri örnek olarak verilmiştir. Bir set içerisinde yer alan 11 kayıt için hesaplanan  $\delta$  değerlerinin ortalaması KayOrt ile sete ait ortalama spektrum için hesaplanan  $\delta$  değeri ise SetOrt ile ifade edilmiştir. Örneğin, ST1 stratejisi için ilk sette yer alan kayıtlara ait  $\delta$  değerleri 3.412, 0.852, 0.979, 0.546, 0.703, 2.674, 3.921, 0.413, 0.407, 0.666 ve 0.569 olarak elde edilmiştir. Bu setteki kayıtlara ait  $\delta$  değerlerinin ortalaması 1.377 olarak elde edilmiştir. Sete ait ortalama spektrum için ise  $\delta=0.514$  olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, belirli bir strateji için, herhangi bir set içindeki kayıtlara ait  $\delta$  değerleri rastgele olarak değişmektedir. Aynı strateji ile elde edilen dört farklı sete için ortalama spektrum ile ilgili  $\delta$  değerleri de rastgele olarak değişmektedir. Örneğin, ST1 ile uyumlu dört set için ortalama spektruma ait  $\delta$  değerleri (SetOrt) 0.514, 0.517, 0.484 ve 0.477’dir. Bu dört set için kayıtlara ait  $\delta$  değerlerinin ortalamaları (KayOrt) ise 1.377, 1.284, 1.125, 1.118 olarak hesaplanır.

Tablo 4.8:  $T=1.2s$  için ZC ile uyumlu ivme kaydı setlerine ait  $\delta$  değerleri (ST1, ST2)

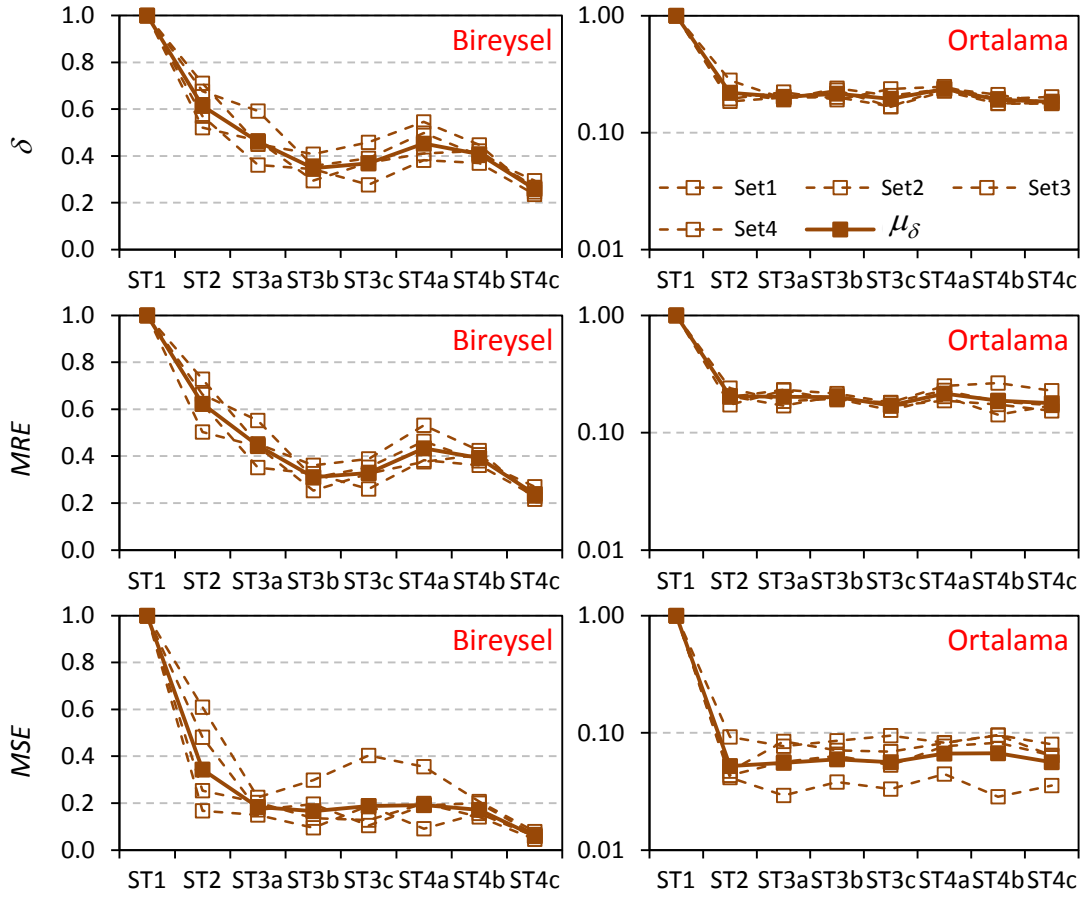
Kayıt	ST1				ST2			
	Set1	Set2	Set3	Set4	Set1	Set2	Set3	Set4
Kay1	3.412	0.820	0.584	0.747	0.658	0.252	0.656	3.016
Kay2	0.852	0.858	0.414	0.336	0.851	0.837	0.610	0.857
Kay3	0.979	0.550	0.811	0.810	0.489	1.142	0.492	0.474
Kay4	0.546	0.507	0.595	2.221	0.859	0.352	1.016	0.634
Kay5	0.703	0.364	1.851	0.571	0.713	0.444	2.086	0.695
Kay6	2.674	6.223	1.650	0.858	1.792	0.672	0.494	0.401
Kay7	3.921	1.358	1.253	0.587	0.822	0.712	0.732	0.531
Kay8	0.413	0.590	0.750	0.511	0.526	0.677	1.239	0.435
Kay9	0.407	0.567	3.431	0.408	0.501	0.539	0.310	0.342
Kay10	0.666	0.332	0.377	2.551	0.610	1.351	0.493	0.603
Kay11	0.569	1.961	0.661	2.695	0.816	0.392	0.256	0.747
KayOrt	1.377	1.284	1.125	1.118	0.785	0.670	0.762	0.794
SetOrt	0.514	0.517	0.484	0.477	0.095	0.113	0.136	0.093

Tablo 4.8’e göre, ST2 stratejisi ile elde edilen ait ivme kaydı setleri için hesaplanan KayOrt değerleri, ST1 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setleri için hesaplanana göre daha düşüktür. Buna göre, ST2 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setinde yer alan ivme kayıtlarına ait bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumu, ST1 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setlerine göre daha yüksektir.

Benzer değerlendirme ivme kaydı setlerine ait ortalama spektrum açısından da yapılabilir. Tablo 4.8'e göre ST2 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setleri için hesaplanan SetOrt değerleri, ST1 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setleri için hesaplanana göre daha düşüktür. Buna göre, ST2 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setlerinin ortalama spektrumunun hedef spektrum ile uyumu da, ST1 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setlerine göre daha yüksektir.

Farklı stratejiler için elde edilen ivme setlerinin hedef spektrum ile uyumunun karşılaştırılması amacıyla, her bir set için setteki kayıtlara ait bireysel spektrumlar için hesaplanan  $\delta$  değerlerinin ortalaması (KayOrt) ile ortalama spektrum için  $\delta$  değeri (SetOrt) hesaplanmıştır. Sonra, her bir strateji ile elde edilen dört sete ait KayOrt ve SetOrt değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır. Örneğin Tablo 4.8'e göre, ST1 için diğer stratejiler ile karşılaştırma amacıyla kullanılacak değer, bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumu açısından 1.377, 1.284, 1,125, 1.118 değerlerinin ortalaması olan 1.226 değeri ve sete ait ortalama spektrumun hedef spektrum ile uyumu açısından ise 0.514, 0.517, 0.484 ve 0.477 değerlerinin ortalaması olan 0.498 değeridir. *MSE* ve *MRE* için de benzer hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle, her bir set için setteki bireysel ivme spektrumları ve sete ait ortalama spektrum ayrı ayrı dikkate alınarak bu parametrelerin değerleri bulunmuştur (*MSE* ve *MRE* için ayrı ayrı KayOrt ve SetOrt). Daha sonra, her bir strateji ile elde edilen dört sete ait KayOrt ve SetOrt değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır.

Şekil 4.31'de,  $T=1.2s$  olan TSD sistem için ZC ile uyumlu olarak tüm stratejiler ile elde edilen ivme kaydı setlerine ait KayOrt ve SetOrt değerleri ile bunların ortalamaları  $\delta$ , *MSE* ve *MRE* için ayrı ayrı verilmiştir. Diğer stratejilere ait setler için hesaplanan parametre değerleri ST1 için hesaplanan parametre değerlerine göre normalize edilerek gösterilmiştir. Şekilde, ivme kaydı setleri için hesaplanan  $\delta$ , *MSE* ve *MRE* değerleri çizgili grafikte, bu parametrelerin dört adet ivme kaydı seti için elde edilen değerlerinin ortalaması ( $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MRE}$  ve  $\mu_{MSE}$ ) düz çizgili grafikte gösterilmiştir. Sol tarafta bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumu ile ilgili değerler, sağ tarafta ise ortalama spektrumun hedef spektrum ile uyumu ile ilgili değerler verilmiştir.



Şekil 4.31:  $T=1.2s$  için ivme kaydı setlerine ait  $\delta$ ,  $MSE$  ve  $MRE$  (ZC)

Görüldüğü gibi diğer stratejiler ile elde edilen ivme kaydı setleri, ST1 stratejisine göre hem bireysel spektrumlar hem de ortalama spektrumlar açısından hedef spektrum ile daha uyumludur. Bu durum  $\delta$ ,  $MSE$  ve  $MRE$  parametrelerinin üçü için de geçerlidir. Çünkü her üç parametrenin değeri de, diğer stratejiler için ST1 stratejisine göre normalize edildiğinde 1.0'den daha düşüktür.

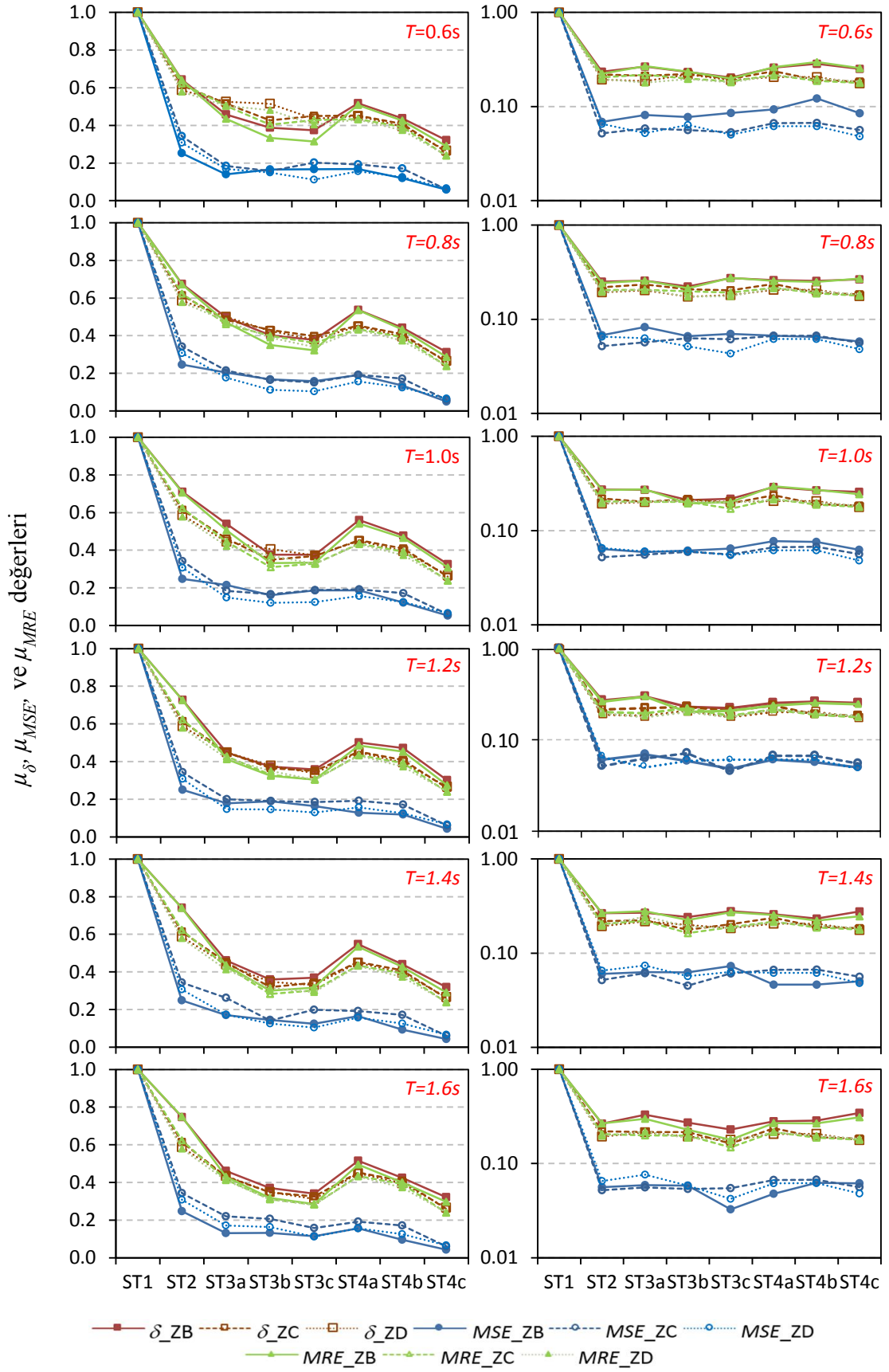
Örneğin, bireysel spektrumlar için  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MRE}$  ve  $\mu_{MSE}$  değerleri ST2 stratejisinde sırasıyla 0.614, 0.624 ve 0.343 olarak elde edilmiştir. ST3 stratejisi için ST2'ye göre de daha düşük parametre değerleri gözlenmekle birlikte, ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MSE}$  ve  $\mu_{MRE}$  değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmemiştir. Bunun nedeni ST3 stratejisinde bireysel spektrumların sadece  $1.0T$  anındaki uyumunun dikkate alınmasıdır. ST4 stratejisinde ise ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MSE}$  ve  $\mu_{MRE}$  değerlerinde azalma meydana gelmiştir. ST4 stratejisinde bireysel spektrumların uyumu  $0.2T$  ile  $1.5T$  aralığında dikkate alındığı için, bu strateji ile elde edilen setler için bireysel spektrumların hedef spektruma uyumunu temsil eden parametre değerleri daha düşüktür.



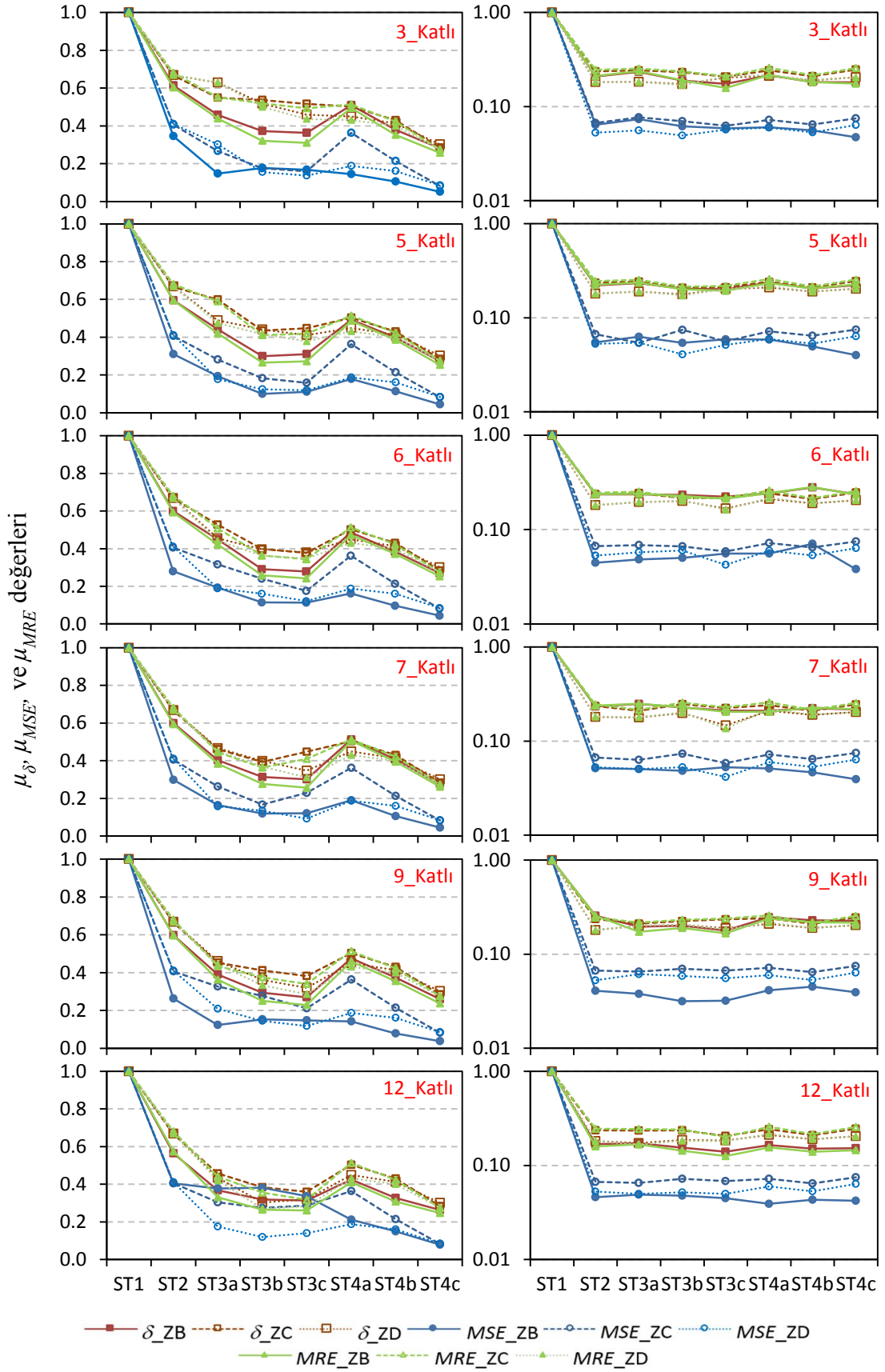
Şekil 4.31’de sağ tarafta görüldüğü gibi ST2 stratejisinde ortalama spektrumların hedef spektruma uyumunu temsil eden  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MRE}$  ve  $\mu_{MSE}$  değerleri sırasıyla 0.219, 0.205 ve 0.052 olarak elde edilmiştir. ST2 stratejisi ile ST3 ve ST4 stratejilerine ait setler için bu parametrelerin değerleri birbirlerine yakın elde edilmiştir. ST1 dışındaki stratejiler için ivme kaydı setleri oluşturulurken ortalama spektrumun hedef spektruma oranı için alt sınır 1.00 ve üst sınır ise 1.20 alınmıştır. Buna bağlı olarak, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumu temsil eden parametre değerleri, ortalama spektrumun hedef spektruma oranı için aynı alt ve üst sınırları gözetken (ST1 dışındaki) stratejiler için birbirlerine yakın elde edilmiştir.

Şekil 4.32’de tüm TSD sistemler ve zemin sınıfları için stratejilere ait  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MSE}$  ve  $\mu_{MRE}$  değerleri verilmiştir. Bu şekilde sol tarafta bireysel spektrumların uyumu ile sağ tarafta ise ortalama spektrumun uyumu ile ilgili parametre değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde periyodun değişiminden bu parametre değerlerinin belirgin veya anlamlı olarak etkilenmediği görülmüştür. Örneğin ZB zemin sınıfı için bireysel spektrumlar ile ilgili değerler ele alındığında, ST3a stratejisine ait  $\mu_\delta$  değerleri,  $T=0.6s$ ’den  $T=1.6s$ ’ye doğru değiştiğinde, sırasıyla 0.498, 0.538, 0.588, 0.487, 0.503 ve 0.512 olarak elde edilmiştir. Ortalama spektrumlar ile ilgili değerler ele alındığında ise aynı zemin sınıfı, strateji ve periyot değerleri için  $\mu_\delta$  değerleri 0.114, 0.104, 0.108, 0.115, 0.101 ve 0.124 olarak bulunmuştur.

Periyoda benzer şekilde, Şekil 4.32’ye göre, zemin sınıfının değişiminin parametreler üzerindeki etkisinin de sınırlı olduğu söylenebilir. Zira üç parametre değeri için de geçerli olmak üzere, herhangi bir periyot değeri veya strateji için zemin sınıfı değiştiğinde, bir parametre değeri anlamlı bir şekilde değişmemektedir.



Şekil 4.32: TSD sistemler için stratejilere ait  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MSE}$  ve  $\mu_{MRE}$  değerleri



Şekil 4.33: Binalar için stratejilere ait  $\mu_\delta$ ,  $\mu_{MSE}$  ve  $\mu_{MRE}$  değerleri

Şekil 4.33'te tez kapsamında ele alınan üç boyutlu binalar ve zemin sınıfları için, ivme seçim stratejilerine ait  $\mu\delta$ ,  $\mu MSE$  ve  $\mu MRE$  değerleri verilmiştir. Bu şekilde de sol tarafta bireysel bileşke yatay spektrumların uyumu ile sağ tarafta ise ortalama spektrumun uyumu ile ilgili parametre değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi ST1 dışındaki tüm stratejiler için, ST1'e göre daha düşük parametre değerleri yani daha iyi spektral uyum söz konusudur. Bu durum hem bireysel hem de ortalama spektrumlar için geçerlidir. Özellikle ST3 ve ST4 için, betonarme binanın kat sayısının ve dolayısıyla periyodun değişiminden bu parametre değerlerinin belirgin veya anlamlı olarak etkilenmediği görülmektedir.

Şekil 4.33'e göre, bireysel spektrumlara ait parametre değerleri, ST3 stratejisi için ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe bazen azalmakta bazen de artmaktadır. ST4 stratejisi için ise, ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe bireysel spektrumlara ait parametre değerlerinde azalma gözlenmektedir. Bu durum daha öncede belirtildiği gibi ST3 ve ST4 stratejileri için hedef spektrum ile uyumda belirli bir periyot veya belirli bir periyot aralığının kullanılması ile ilgilidir. Ortalama spektrumlar ile ilgili uyumu temsil eden parametre değerleri incelendiğinde, ST1 dışındaki stratejiler için birbirine yakın değerler elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 beraber incelendiğinde, ST1 dışındaki stratejilerin ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum açısından birbirine yakın sonuçlara sahip olduğu söylenebilir. Zira, tekrar belirtmekte fayda var ki, bu stratejiler ortalama spektrumun hedef spektruma oranının alt ve üst sınırları açısından benzer kriterlere sahiptir. Bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum açısından bakıldığında, beklendiği gibi bu konuda tanımlanmış kriterlere sahip ST3 ve ST4 stratejileri daha etkindir. Bu stratejiler kendi içlerinde değerlendirildiğinde uyum açısından daha katı kısıtlara sahip ST3c ve ST4c stratejileri için uyumun ölçüsü olan parametrelerin değerinin daha da düştüğü görülmüştür.

#### **4.9 İvme Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı**

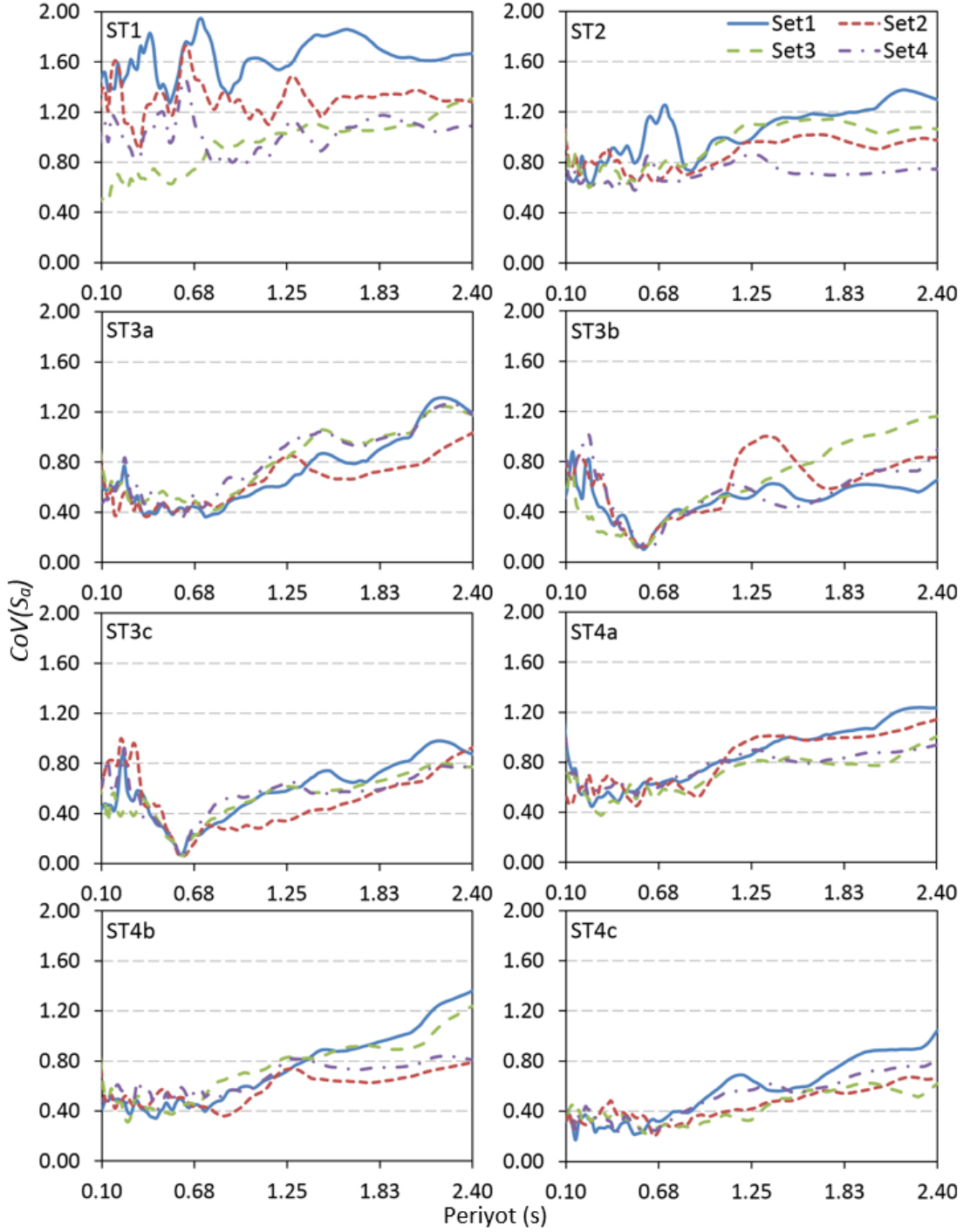
İvme kaydı seçimi için kullanılan farklı stratejilerin etkinliğinin değerlendirilmesi için başka bir karşılaştırma da, ivme kaydı setlerinde yer alan kayıtlara ait spektral değerlerin sete ait ortalama spektrum etrafındaki saçılımı ile ivme

kaydı takımı setlerinde yer alan kayıt takımlarına ait spektral değerlerin sete ait ortalama spektrum etrafındaki saçılımı kullanılarak yapılmıştır.

#### 4.9.1 İvme Kaydı Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı

Tüm ivme kaydı setleri için, herhangi bir setteki kayıtların bireysel ivme spektrumlarına ait spektral değerlerin ortalaması, standart sapması ve varyasyon katsayısı,  $CoV(S_a)$ , hesaplanmıştır. Şekil 4.34'te,  $T=0.6s$  olan TSD sistem için ZB sınıfı zemin ile uyumlu setlere ait  $CoV(S_a)$  değerlerinin 0.10s-2.40s periyod aralığındaki değişimi örnek olarak verilmiştir. İlave iki örnek olarak, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da sırası ile  $T=1.0s$  olan TSD sistem için ZC sınıfı zemin ile uyumlu ve  $T=1.6s$  olan TSD sistem için ZD sınıfı zemin ile uyumlu setlere ait  $CoV(S_a)$  değerlerinin periyoda bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 4.34'e göre, aynı strateji ile uyumlu farklı setler için farklı  $CoV(S_a)$  değerlerinin elde edildiği gözlenmektedir. Ayrıca,  $T=0.6s$  olan TSD sistem için en yüksek  $CoV(S_a)$  değerleri ST1 ile elde edilen ivme kaydı setleri için elde edilmiştir. Yani, ivme kayıtlarına ait spektral değerlerin ortalama spektrum etrafındaki saçılımının en yüksek olduğu setler ST1 stratejisi ile elde edilenlerdir. Bu strateji ile elde edilen ivme kaydı setleri için  $CoV(S_a)$  değerleri 0.487 ile 1.946 arasında değişmektedir. Örneğin,  $T=0.6s$  için ST1 ile elde edilen dört sete ait  $CoV(S_a)$  değerleri 1.685, 1.657, 0.682 ve 1.429'dur.



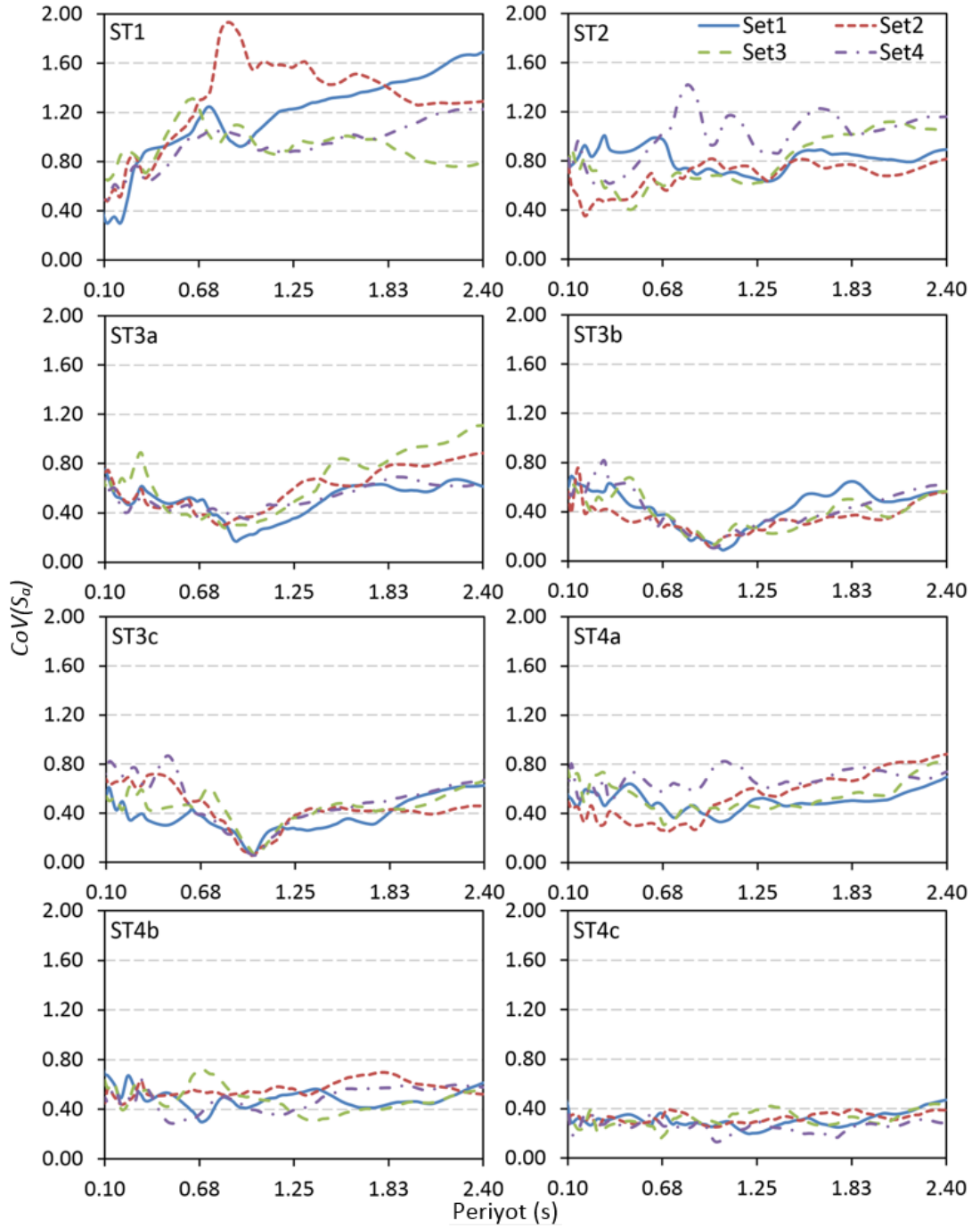
Şekil 4.34:  $T=0.6s$  için ivme kaydı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZB)

Şekil 4.34'e göre, ST2 ile elde edilen setler için  $CoV(S_a)$  değerleri ise 0.577 ile 1.248 arasında değişmektedir. Bu strateji için de spektral değerlerin saçılımının yüksek olduğu söylenebilir. ST3 stratejisinde bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum için TSD sistemin periyodu ele alındığından, özellikle bu periyot değeri (Şekil 4.34 için  $T=0.6s$ ) ve buna yakın periyot değerleri için  $CoV(S_a)$  değerlerinin düşük olduğu gözlenmektedir. ST3a'dan ST3c'ye doğru gidildikçe her bir

bireysel spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyuma ait kısıt daha da katılaştığından  $T=0.6s$ 'deki  $CoV(S_a)$  değerleri daha da düşmektedir. ST3c stratejisi ile elde edilen setler için  $T=0.6s$ 'deki  $CoV(S_a)$  değerleri 0.069, 0.064, 0.064 ve 0.040 olarak hesaplanmıştır. ST4 stratejisi ile ilgili setler için de spektral değerlerin saçılımı düşüktür. ST4 için, bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum  $0.2T-1.5T$  arasında (Şekil 4.34 için 0.12s-0.90s) kontrol edilmekte idi. Bu sebeple, ST4 stratejisi için bu periyot aralığı boyunca düşük  $CoV(S_a)$  eğilimi gözlenmektedir. ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe, elde edilen setler için hesaplanan  $CoV(S_a)$  değerleri daha da azalmaktadır. Örneğin, ST4c stratejisi ile ilgili setlerde  $CoV(S_a)$  değerleri ilgili periyot aralığında 0.45 veya daha düşüktür.

Şekil 4.35'te ZC zemin sınıfı ve  $T=1.0s$  olan TSD sistem için elde edilen setlere ait  $CoV(S_a)$  değerleri verilmiştir. Bu zemin sınıfı için de en yüksek saçılım ST1 ile elde edilen setlere aittir. ST2 ile elde edilen setlere ait  $CoV(S_a)$  değerleri ST1 stratejisine göre daha düşük olmakla birlikte 0.6 ile 1.2 arasındadır. Yani, bu strateji için de spektral değerlere ait saçılımın yüksek olduğu söylenebilir. Bireysel spektrumların da hedef spektrum ile uyumunu dikkate alan ST3 ve ST4 stratejileri ile elde edilen setler için saçılımın düştüğü görülmektedir. ST3 ile ilgili setler için  $T=1.0s$  değerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri oldukça düşüktür. Örneğin, ST3c ile ilgili setler için 0.10'un da altındadır. Bu periyottan uzaklaştıkça ST3 ile ilgili setlere ait spektral saçılım da artmaktadır. Öte yandan ST4 ile elde edilen setlerde düşük saçılım eğilimi 0.2s-1.5s aralığında gözlenmektedir. ST4c ile ilgili setler için bu periyot aralığındaki  $CoV(S_a)$  değerleri 0.40'ın altındadır.

Şekil 4.36'da ZD zemin sınıfı ve  $T=1.6s$  olan TSD sistem için elde edilen setlere ait  $CoV(S_a)$  değerleri verilmiştir. Spektral ivme değerlerine ait en yüksek saçılım yine ST1 ile elde edilen setlere aittir. ST3 ve ST4 stratejileri ile elde edilen setlere ait saçılım ise bu zemin sınıfı için de belirgin olarak düşüktür. Örneğin, ST3c ile ilgili setler için  $T=1.6s$ 'de  $CoV(S_a)$  değerleri 0.052, 0.054, 0.055 ve 0.065'tir. ST4 ile elde edilen setlerde 0.32s-2.40s aralığında düşük saçılım gözlenmektedir. ST4c ile ilgili setler için bu periyot aralığındaki  $CoV(S_a)$  değerleri 0.40'ın altındadır.

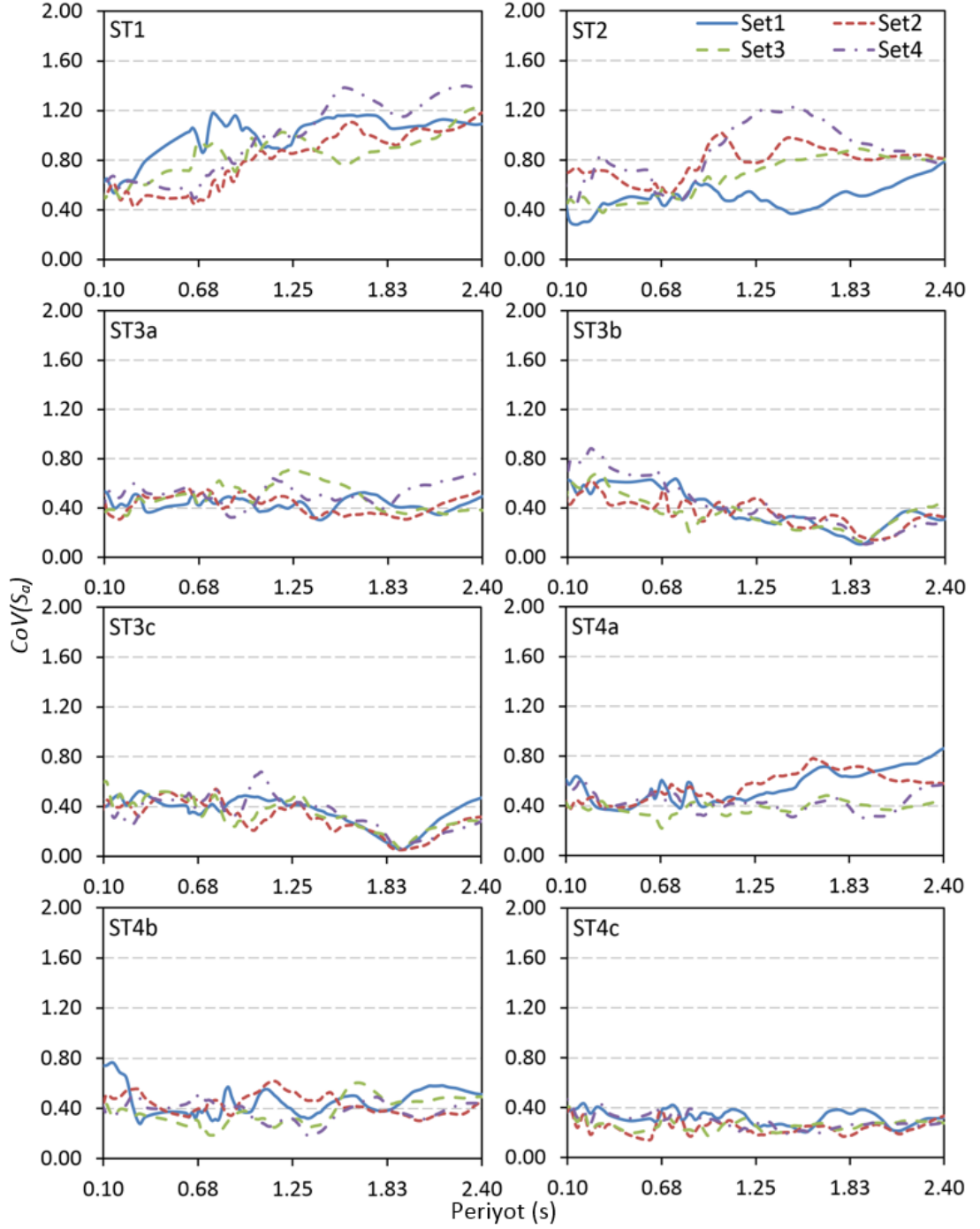


Şekil 4.35:  $T=1.0s$  için ivme kaydı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZC)

Şekil 4.37’de TSD sistemlere ait periyot değerleri için (0.6s, 0.8s, 1.0s, 1.2s, 1.4s ve 1.6s) ayrı ayrı olmak üzere, ZB sınıfı zemin ile uyumlu dört set için hesaplanan  $CoV(S_a)$  değerlerinin ortalaması,  $\mu_{CoV(S_a)}$ , verilmiştir.  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri, farklı her bir TSD sistem periyodu için  $0.2T$ ,  $0.6T$ ,  $1.0T$  ve  $1.5T$  anında hesaplanmıştır. Böylece farklı stratejiler ile elde edilen setlere ait saçılımın hem TSD sistem periyodu hem de sistem periyodundan daha farklı periyot değerleri için karşılaştırılması amaçlanmıştır.



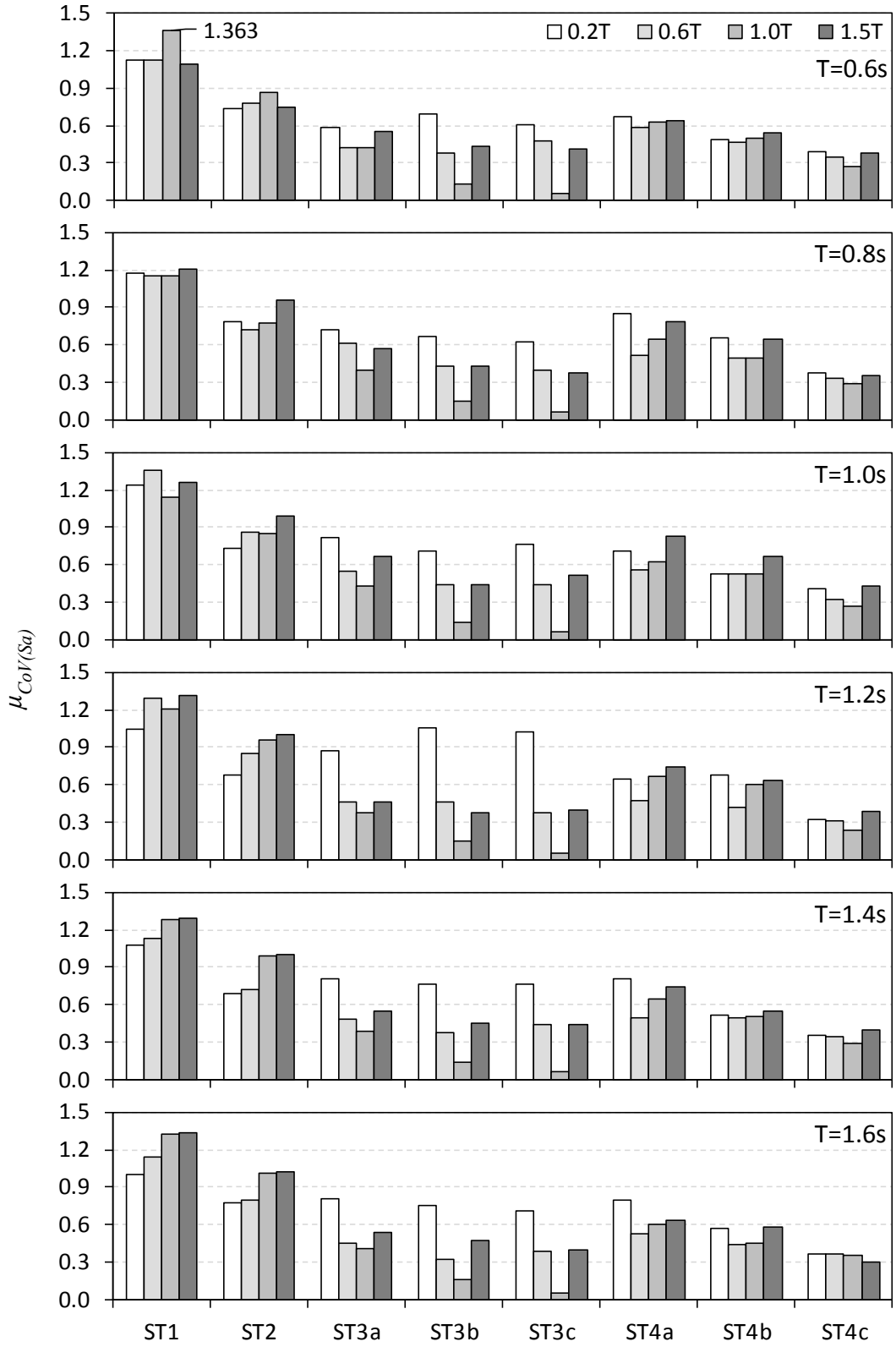
Örneğin Şekil 4.37’de  $T=0.6s$  periyoda sahip TSD sistem için elde edilen setlere ait 0.12s, 0.36s, 0.6s ve 0.9s’deki  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri verilmiştir. ST1 strateji ile ilgili dört set için  $T=0.6s$ ’deki  $CoV(S_a)$  değerleri 1.685, 1.657, 0.682 ve 1.429 olup, bu dört değerın ortalaması  $\mu_{CoV(S_a)}=1.363$  olur. Diğer periyotlar ve stratejiler için de  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri benzer şekilde hesaplanmıştır.



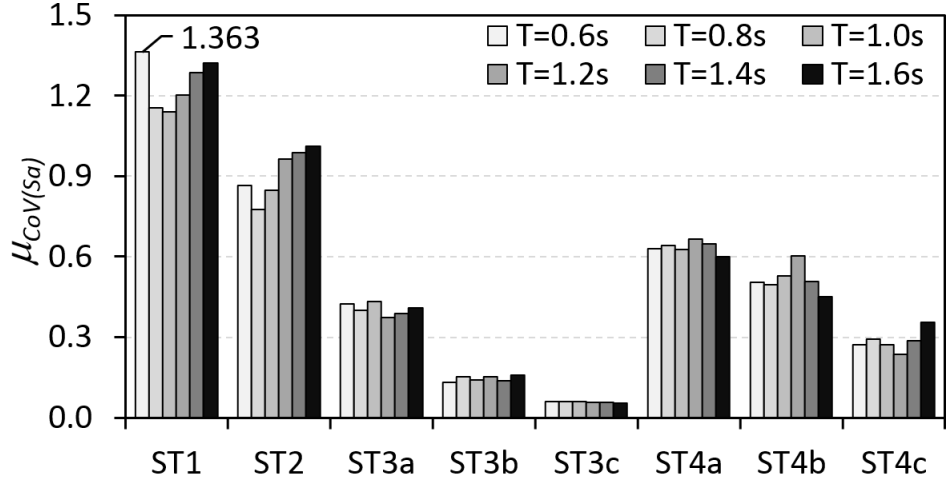
Şekil 4.36:  $T=1.6s$  için ivme kaydı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZD)

Şekil 4.37'ye göre, ZB sınıfı zemin ele alındığında, tüm TSD sistemler için geçerli olmak üzere en yüksek spektral saçılım, ST1 stratejisi ile elde edilen ivme kaydı setlerine aittir. ST3a stratejisinden ST3c stratejisine doğru gidildikçe  $1.0T$  anındaki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri düşmektedir. Örneğin  $T=0.6s$ 'de ST3a'da  $1.0T$  anındaki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değeri 0.424 iken ST3b ve ST3c için bu değer sırası ile 0.131 ve 0.059 olarak hesaplanmıştır. ST3 stratejisi için TSD sistemin periyodundan uzaklaşıldıkça  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri artmaktadır. Örneğin  $T=0.6s$  için ST3c stratejisinde  $1.0T$  anında 0.059 olan  $\mu_{CoV(Sa)}$  değeri  $0.2T$ ,  $0.6T$  ve  $1.5T$  anında sırası ile 0.610, 0.481 ve 0.412 olarak hesaplanmıştır. ST4 için ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe de saçılımın düştüğü gözlenmektedir. Öte yandan, ST4 stratejisi için farklı periyot değerleri için ( $0.2T$ ,  $0.6T$ ,  $1.0T$  ve  $1.5T$ ) birbirine yakın  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri elde edilmiştir. Örneğin  $T=0.6s$  için ST4a stratejisine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri  $0.2T$  için 0.672 iken  $0.6T$ ,  $1.0T$  ve  $1.5T$  için sırasıyla 0.581, 0.628 ve 0.635 olarak hesaplanmıştır. ST4c stratejisine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise 0.12s, 0.36s, 0.6s ve 0.9s'de sırasıyla 0.393, 0.350, 0.271 ve 0.377 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, ST4 ile belirli bir periyot aralığı için kontrol edilebilen bir saçılım elde edilebileceğini ifade etmektedir. Burada, stratejilerle ilgili olarak özetlenen saçılım sonuçları, diğer TSD sistem periyotları için de geçerlidir.

Şekil 4.38'de, ZB sınıfı zemin için Şekil 4.37'de verilen  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri içerisinde  $1.0T$  için hesaplananlar grafik olarak verilmiştir. Böylece, doğrudan TSD sistem periyodu için hesaplanan  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri kullanılarak stratejilerin, spektral değerlerin saçılımı üzerindeki etkinliği değerlendirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 için en düşük  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise ST3c için elde edilmiştir. ST3c dikkate alındığında, TSD sistemlerin 0.6s'den 1.6s'ye değişen periyotları için  $1.0T$  anındaki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri sırası ile 0.059, 0.060, 0.060, 0.056, 0.058 ve 0.053 olarak hesaplanmıştır. ST4c dikkate alındığında ise  $1.0T$  anında  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri sırasıyla 0.271, 0.292, 0.272, 0.236, 0.287 ve 0.356 olarak elde edilmiştir. ST3c ve ST4c için hesaplanan  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri, ST2 için 1.0 civarında, ST1 için 1.2 civarında olan  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ile kıyaslandığında, belirgin olarak düşüktür. ST3a'dan ST3c'ye ve ST4a'dan ST4'ye gidildikçe  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri düşmektedir. Öte yandan periyodun değişiminin  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı da görülmektedir.

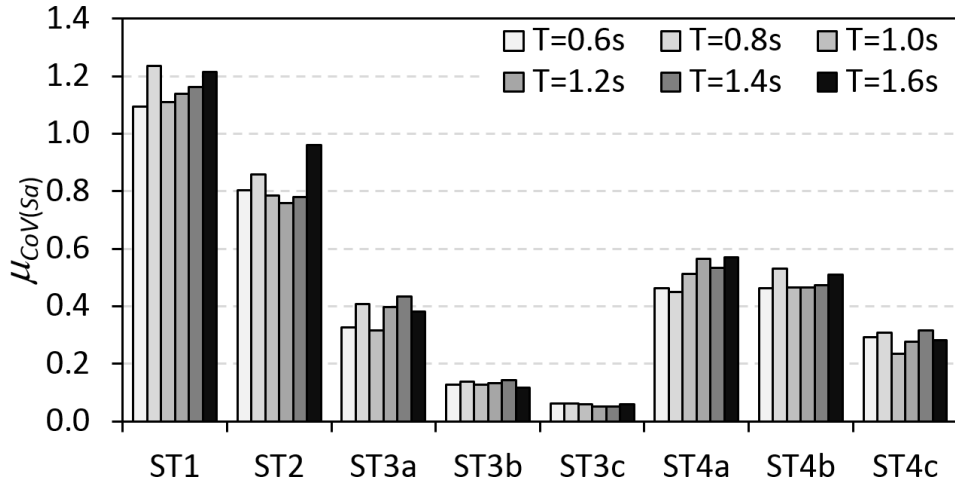


Şekil 4.37: Stratejiler için farklı periyotlara ait  $\mu_{CoV}(S_a)$  değerleri (ZB)



Şekil 4.38: Tüm stratejiler için 1.0T değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri (ZB)

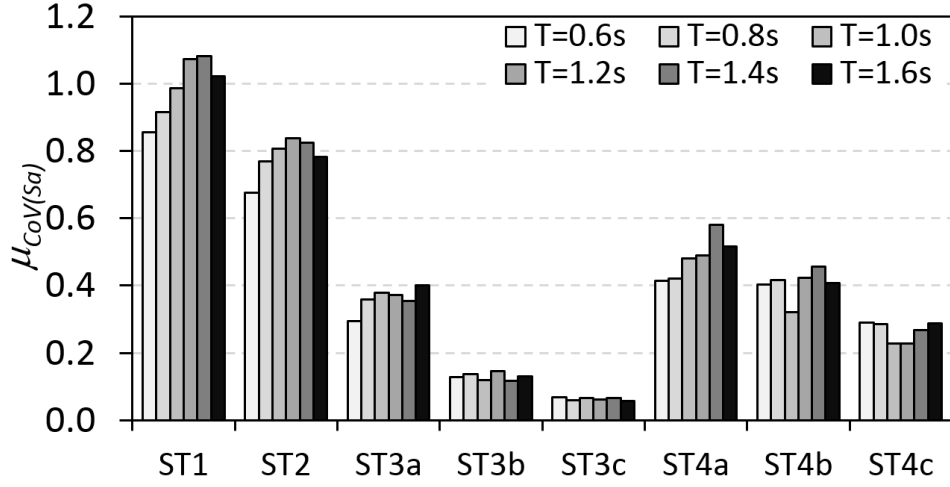
Şekil 4.39’da, ZC sınıfı zemin dikkate alınarak TSD sistemlerin periyotları için 1.0T değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, ZC zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 için en düşük  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise ST3c için elde edilmiştir. ST3c dikkate alındığında, TSD sistemlerin 0.6s’den 1.6s’ye değişen periyotları için 1.0T anındaki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri 0.07’nin altındadır. ST4c dikkate alındığında ise  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri, tüm periyotlar için 0.30 civarındadır. Bu zemin sınıfı için hesaplanan  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri, ST1 için 1.10 civarında, ST2 için 0.80 civarındadır.



Şekil 4.39: Tüm stratejiler için 1.0T ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri (ZC)

Şekil 4.40’ta, ZD sınıfı zemin dikkate alınarak TSD sistemlerin periyotları için 1.0T değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri verilmiştir. ZD zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 için en düşük  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise ST3c için elde edilmiştir. ST3c dikkate alındığında, TSD sistemlerin 0.6s’den 1.6s’ye değişen periyotları için

1.0T anındaki  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri 0.07'nin altındadır. ST4c dikkate alındığında ise  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri, tüm periyotlar için yine 0.30 civarındadır.

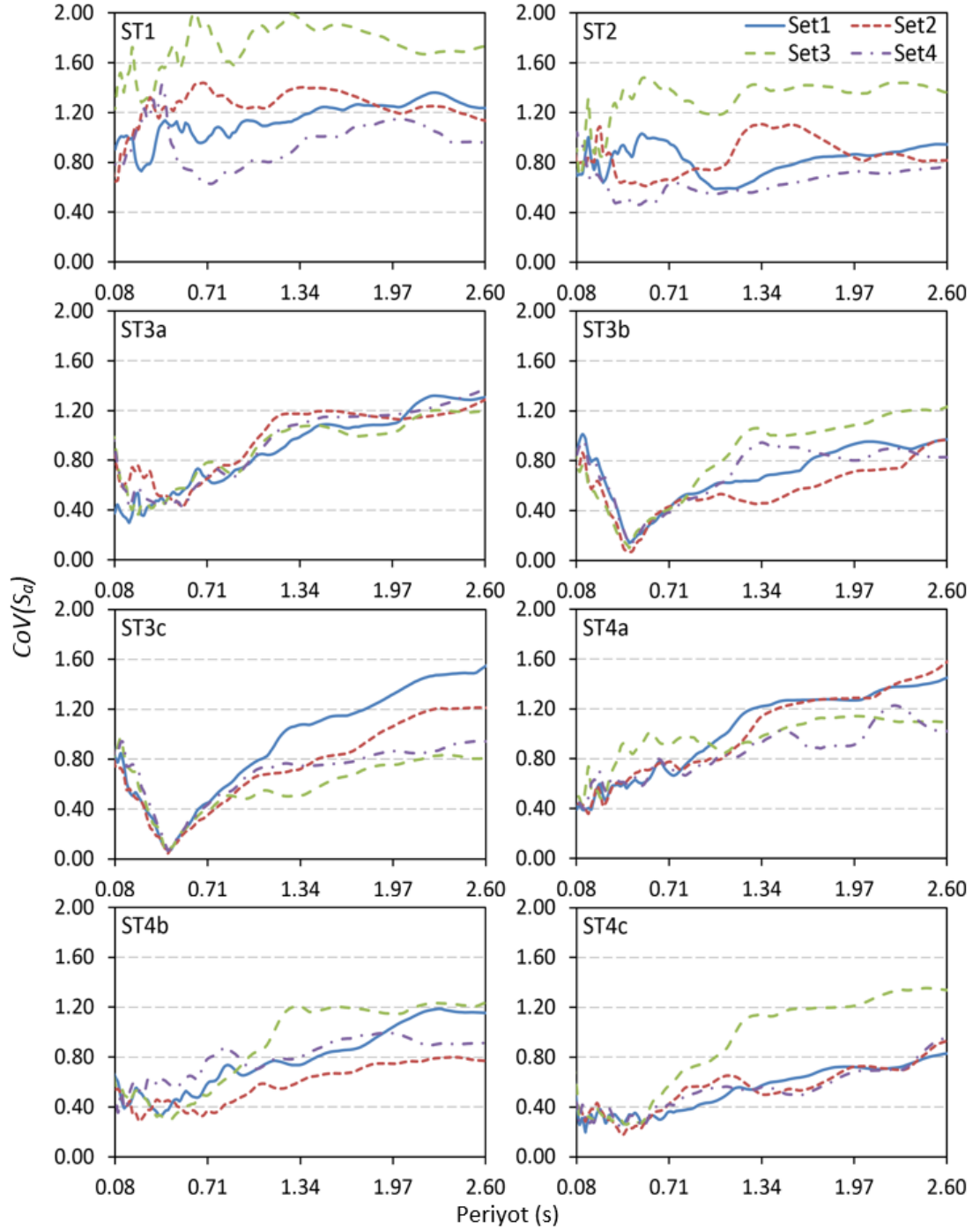


Şekil 4.40: Tüm stratejiler için 1.0T ait  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri (ZD)

#### 4.9.2 İvme Takımı Setlerinde Spektral İvme Değerlerinin Saçılımı

İvme takımı setleri için, herhangi bir setteki kayıt takımlarına ait bileşke yatay spektrumların ortalaması ve varyasyon katsayısı,  $CoV(S_a)$ , hesaplanmıştır.

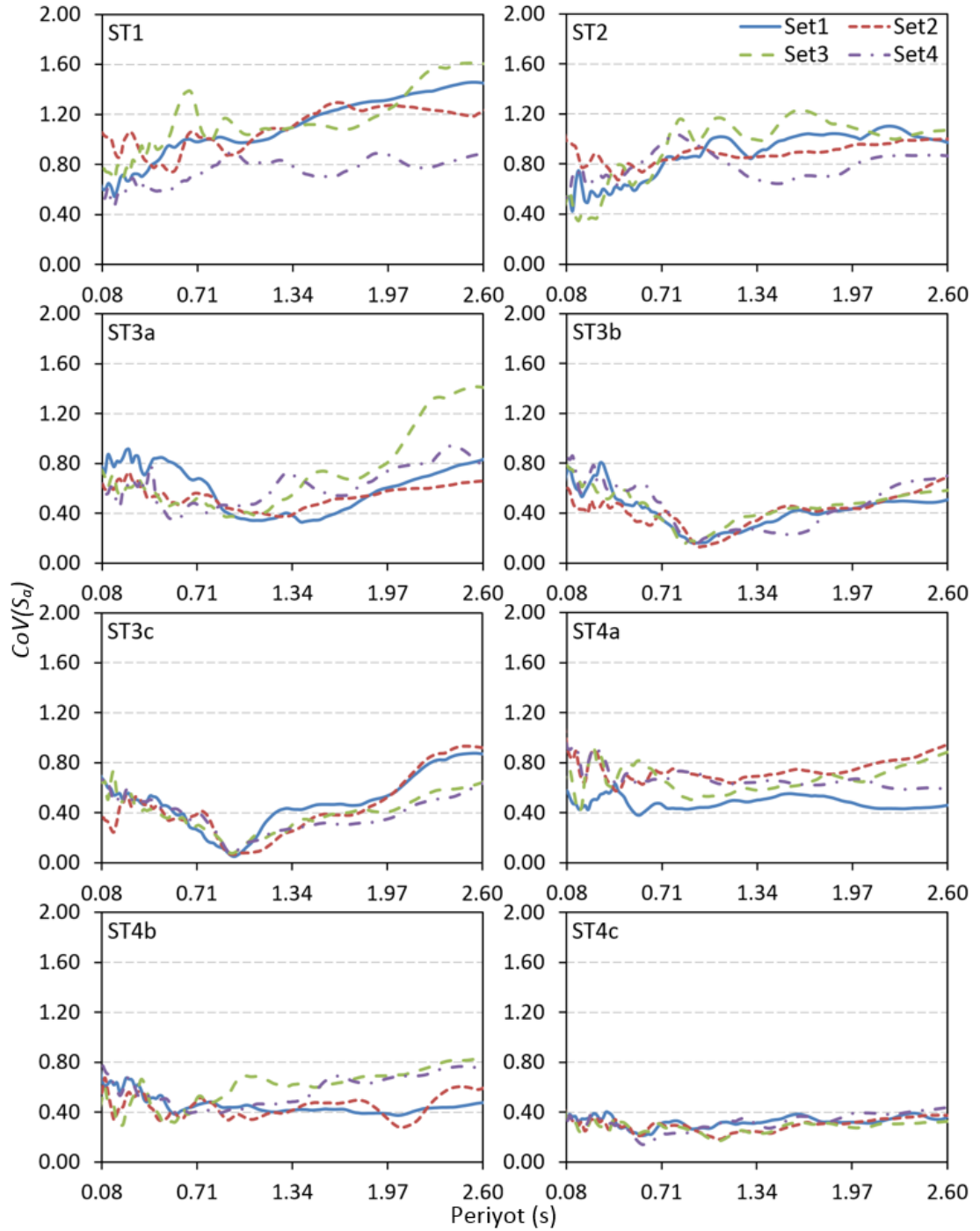
Şekil 4.41'de, üç katlı betonarme bina için ZB sınıfı zemin ile uyumlu kayıt takımı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerlerinin değişimi örnek olarak verilmiştir. İlave iki örnek olarak, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te sırası ile altı katlı bina için ZC sınıfı zemin ile uyumlu ve dokuz katlı bina için ZD sınıfı zemin ile uyumlu setlere ait  $CoV(S_a)$  değerlerinin periyoda bağlı değişimi verilmiştir. Şekile göre, aynı strateji ile uyumlu farklı ivme kaydı takımı setleri için de farklı  $CoV(S_a)$  değerlerinin elde edildiği gözlenmektedir. Üç katlı betonarme bina için en yüksek  $CoV(S_a)$  değerleri ST1 ve ST2 ile elde edilen ivme kaydı takımı setleri için elde edilmiştir. ST1 ile elde edilen ivme kaydı takımı setleri için  $CoV(S_a)$  değerleri 0.646 ile 2.003 arasında değişmektedir. Örneğin, üç katlı binanın periyodu olan  $T=0.44s$  için ST1 ile elde edilen dört sete ait  $CoV(S_a)$  değerleri 1.113, 1.232, 1.641 ve 1.112'dir. ST2 ile elde edilen setler için  $CoV(S_a)$  değerleri ise 0.498-1.333 arasında değişmektedir.



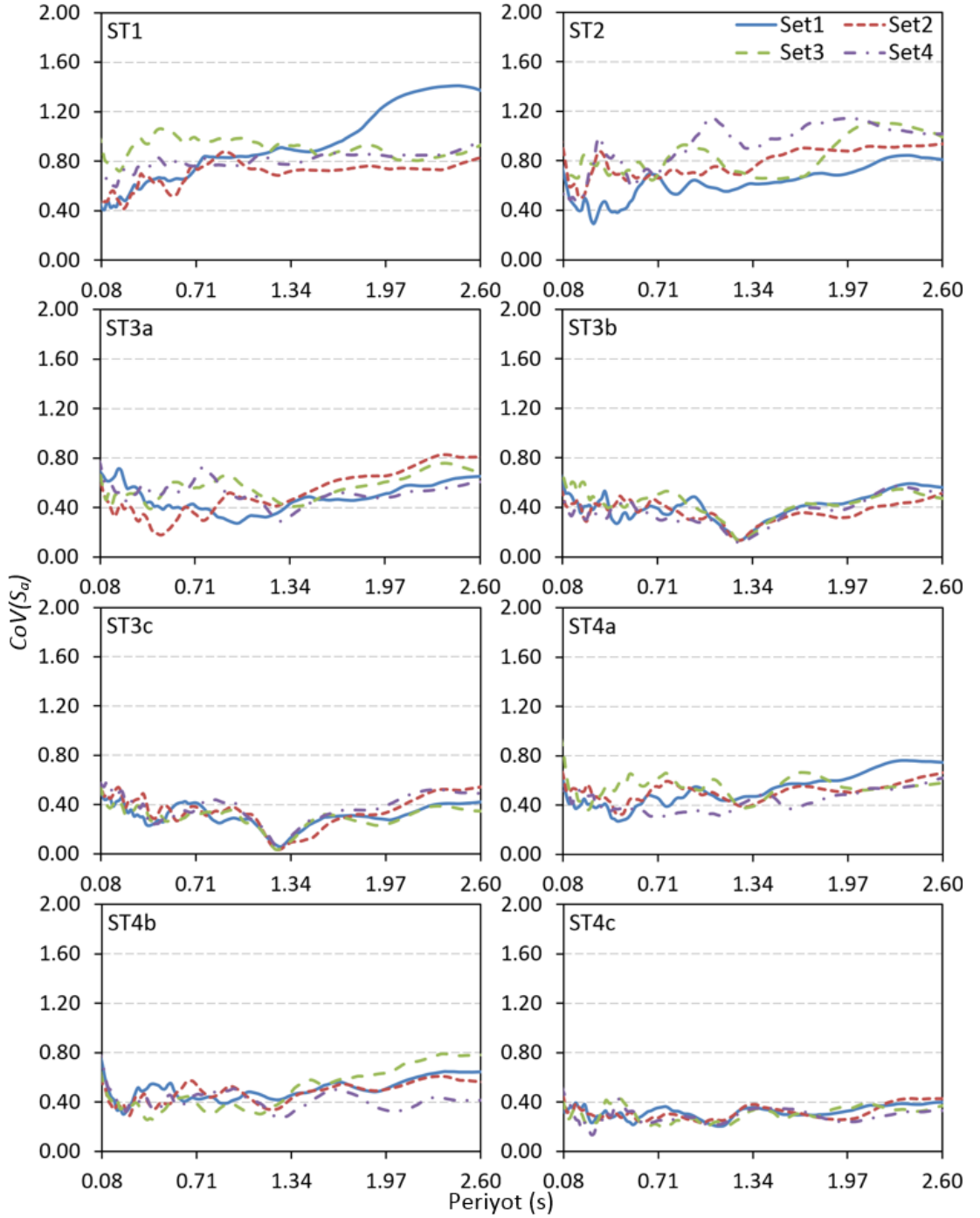
Şekil 4.41: 3 katlı bina için ivme takımı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZB)

ST3 stratejisinde bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum için binanın periyodu ele alındığından, Şekil 4.41'e göre, özellikle bu periyot değeri ve buna yakın periyot değerleri için  $CoV(S_a)$  değerlerinin düşük olduğu gözlenmektedir. ST3a'dan ST3c'ye doğru gidildikçe  $CoV(S_a)$  değerleri daha da düşmektedir. Örneğin, ST3c stratejisi ile elde edilen setler için  $T=0.44s$ 'deki  $CoV(S_a)$  değerleri 0.068, 0.043, 0.054 ve 0.065 olarak hesaplanmıştır. ST4 için, bireysel bileşke yatay spektrumlar ile

hedef spektrum arasındaki uyum  $0.2T-1.5T$  arasında (üç katlı bina için 0.088s ile 0.660s arasında) kontrol edilmekte idi. Bu sebeple, ST4 stratejisi için bu periyot aralığı boyunca düşük  $CoV(S_a)$  eğilimi gözlenmektedir. ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe, elde edilen setler için hesaplanan  $CoV(S_a)$  değerleri daha da azalmaktadır.



Şekil 4.42: 6 katlı bina için ivme takımı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZC)



Şekil 4.43: 9 katlı bina için ivme takımı setlerine ait  $CoV(S_a)$  değerleri (ZD)

Şekil 4.42'ye göre, ZC zemin sınıfı için de en yüksek  $CoV(S_a)$  değerleri ST1 ve ST2 için, en düşük  $CoV(S_a)$  değerleri ise  $1.0T$  anında ST3c için  $0.2T-1.5T$  aralığında ST4c için elde edilmiştir. ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe  $1.0T$  anında ve ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe  $0.2T-1.5T$  aralığında  $CoV(S_a)$  değerleri daha da azalmaktadır. Örneğin, ST3a için  $CoV(S_a)$  değerleri Set1'den Set4'e doğru sırasıyla 0.385, 0.436,

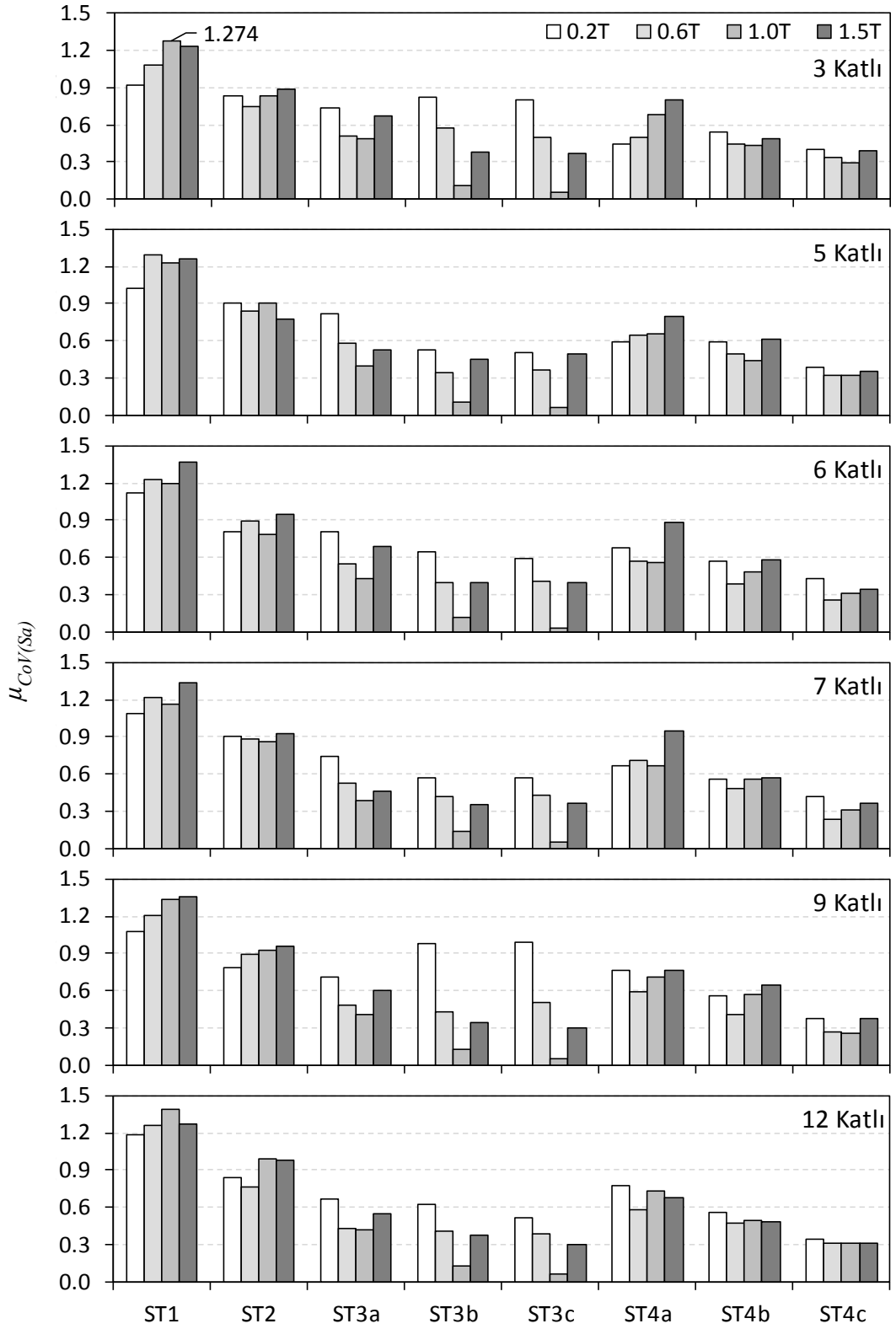


0.378 ve 0.471 olarak hesaplanmış iken ST3c için bu değerler 0.057, 0.066, 0.074 ve 0.070 olarak elde edilmiştir.

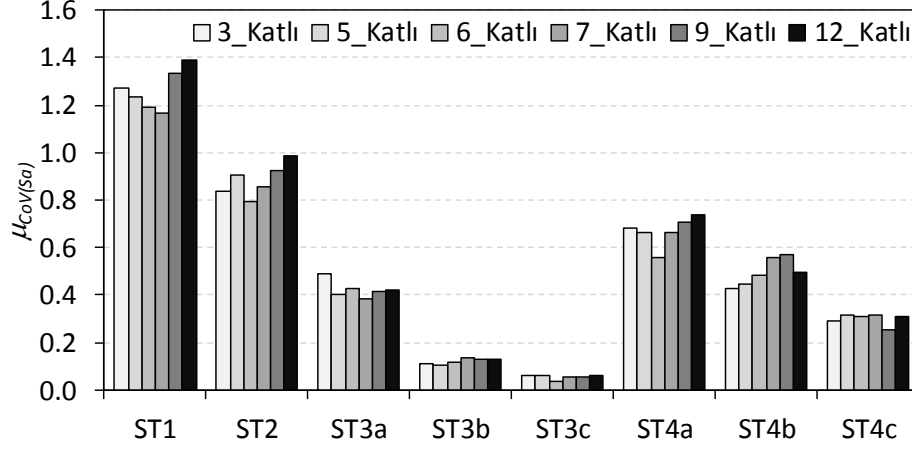
Şekil 4.43 incelendiğinde, ZD zemin sınıfı için de en yüksek  $CoV(S_a)$  değerlerinin ST1 ve ST2 stratejileri için elde edildiği görülebilir. Ayrıca, bu zemin sınıfı için de en düşük  $CoV(S_a)$  değerleri  $1.0T$  anında ( $T=1.26s$ ) ST3c stratejisi için (0.10'un altında) ve  $0.2T-1.5T$  aralığında ST4c stratejisi için (0.40'ın altında) elde edilmiştir.  $CoV(S_a)$  değerleri, ST1 stratejisi için 0.40-1.40 arasında değişirken ST2 stratejisi için 0.40-1.20 arasında değişmektedir.

Şekil 4.44'te betonarme binalara ait periyot değerleri için ayrı ayrı olmak üzere, ZB sınıfı zemin ile uyumlu dört set için hesaplanan  $CoV(S_a)$  değerlerinin ortalaması,  $\mu_{CoV(S_a)}$ , verilmiştir.  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri, farklı her bir betonarme bina periyodu için  $0.2T$ ,  $0.6T$ ,  $1.0T$  ve  $1.5T$  anında hesaplanmıştır. Böylece farklı stratejiler ile elde edilen setlere ait saçılımın hem bina sistem periyodu hem de bina periyodundan daha farklı periyot değerleri için karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Şekil 4.44'te görüldüğü gibi, tüm binalar için geçerli olmak üzere, en yüksek  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri ST1 için hesaplanmıştır. Örneğin üç katlı binanın periyodu olan  $T=0.44s$  için ST1 stratejisine ait  $\mu_{CoV(S_a)}=1.274$  olarak hesaplanmıştır. ST3a stratejisinden ST3c stratejisine doğru gidildikçe  $1.0T$  anındaki  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri düşmektedir. Örneğin, ST3c stratejisi için hesaplanan  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri üç katlı binadan oniki katlı binaya doğru 0.057, 0.062, 0.034, 0.052, 0.052 ve 0.062 olarak elde edilmiştir. ST3 stratejisi için binanın periyodundan uzaklaşıldıkça  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri artmaktadır. ST4 için de, ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe saçılımın düştüğü gözlenmektedir. Öte yandan, ST4 stratejisi için farklı periyot değerleri için ( $0.2T$ ,  $0.6T$ ,  $1.0T$  ve  $1.5T$ ) birbirine yakın  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerleri elde edilmiştir. Yani, ST4 ile belirli bir periyot aralığı için kontrol edilebilen bir saçılım elde edilebilmektedir.

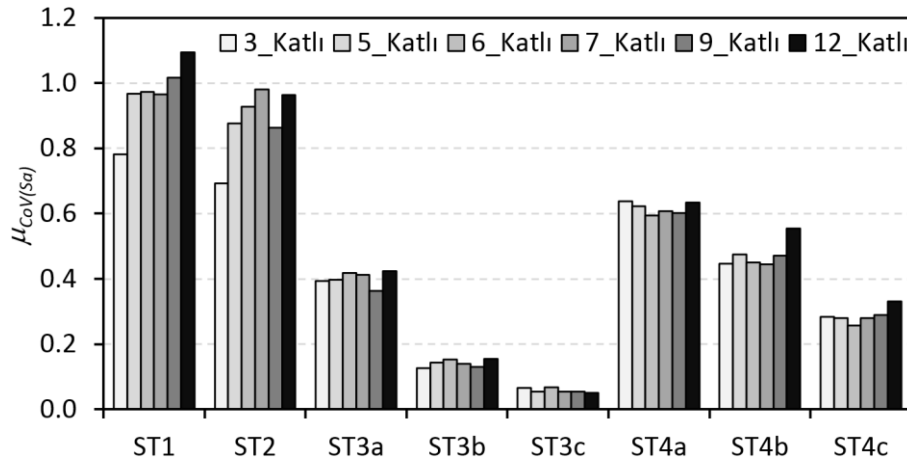


Şekil 4.44: Tüm stratejiler için tüm binalara ait  $\mu_{CoV}(Sa)$  değerleri (ZB)



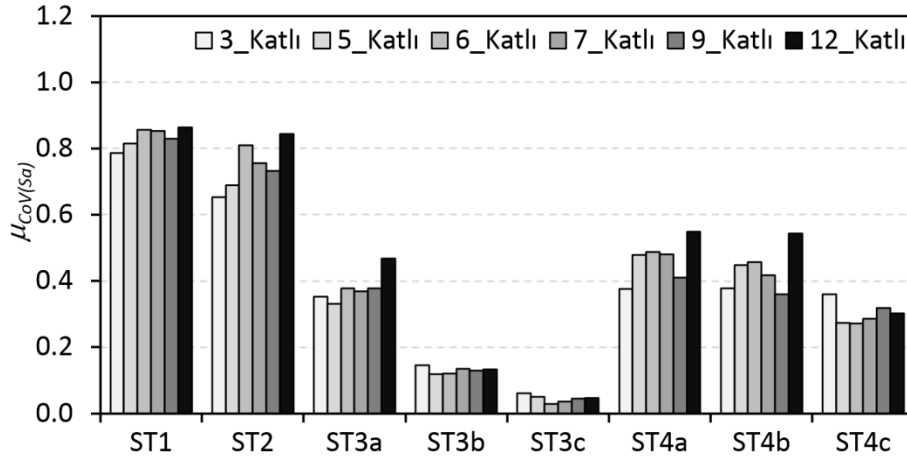
Şekil 4.45: Binalar için  $1.0T$  değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri (ZB)

Şekil 4.45'te ZB zemin sınıfı ve tüm binalar için  $1.0T$ 'deki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değeri görülmektedir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi en yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 ve ST2 stratejilerine aittir. En düşük saçılım değerleri ise ST3c için elde edilmiştir. ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri azalmaktadır. ST3c için binalara ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri 0.10'un altındadır. ST4 stratejisinde de ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe elde edilen  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri azalmaktadır. Örneğin, ST4c stratejisinden elde edilen  $\mu_{CoV(Sa)}$  değeri 3 katlıdan 12 katlıya doğru sırasıyla 0.291, 0.316, 0.311, 0.316, 0.251 ve 0.308 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi bu strateji için kat sayısından bağımsız olarak 0.30 civarında  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri elde edilmektedir. Stratejilere ait saçılımın kat yüksekliğinden belirgin olarak etkilenmediği de görülmektedir.



Şekil 4.46: Binalar için  $1.0T$  değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri (ZC)

Şekil 4.46’da ZC zemin sınıfı ve tüm binalar için  $1.0T^2$ deki  $\mu_{CoV(Sa)}$  değeri görülmektedir. En yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 stratejisi için (1.0 civarında) en düşük  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise ST3c stratejisi için (0.10’un altında) elde edilmektedir. Örneğin, ST1 stratejisi için  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri 3 katlı binadan 12 katlıya binaya doğru sırasıyla 0.781, 0.967, 0.973, 0.966, 1.015 ve 1.093 olarak elde edilmiştir. ST4c stratejisi için binalara ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri 0.30 civarındadır.



Şekil 4.47: Binalar için  $1.0T$  değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri (ZD)

Şekil 4.47’de, ZD sınıfı zemin dikkate alınarak binaların periyotları için  $1.0T$  değerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, ZD zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ST1 için en düşük  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ise ST3c için elde edilmiştir. ST3c stratejisi için binalara ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri 0.10’un altındadır. ST4c dikkate alındığında ise  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri, tüm periyotlar için 0.30 civarındadır.

## 5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada sekiz farklı seçim stratejisi ve üç yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır. Her bir seçim stratejisi ve zemin sınıfı için 4 farklı ivme seti kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı setinde 11 ivme kaydı, her bir ivme kaydı takımı setinde 11 ivme kaydı takımı bulunmaktadır. Toplamda 36 farklı TSD sistem için 38,016 adet, 6 farklı betonarme bina için 12,672 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

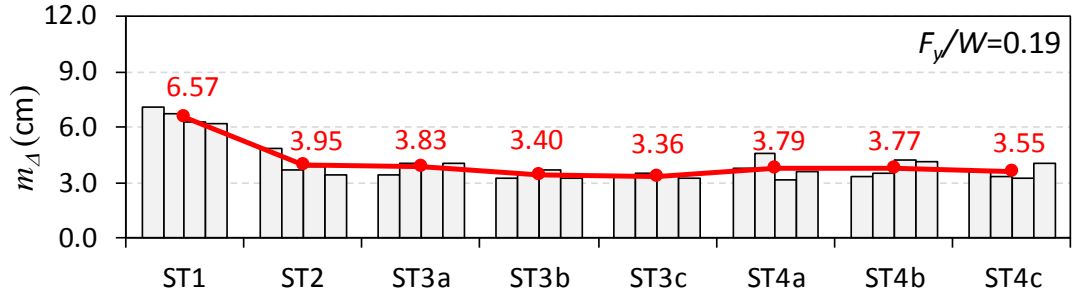
Zaman tanım alanında analizler ile TSD sistemler için her bir ivme kaydına ait maksimum ötelenme talebi ( $\Delta_{mak}$ ), üç boyutlu binalarda ise her bir ivme kaydı takımı için maksimum ötelenme (çatı ötelenmesi) ve maksimum görelî kat ötelenmesi talepleri hesaplanmıştır. Daha sonra, betonarme binalar için her bir ivme kaydı takımına ait maksimum ötelenme oranı talebi ( $\Delta_{mak}/H$ ) ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talebi ( $\delta_{mak}/h$ ) bulunmuştur.

TSD sistemler ele alındığında, her bir ivme kaydı seti için, sette yer alan 11 ivme kaydından elde edilen  $\Delta_{mak}$  değerlerinin ortalaması  $m_{(\Delta)}$  ve varyasyon katsayısı  $CoV_{(\Delta)}$  hesaplanmıştır. Betonarme yapılar ele alındığında, her bir ivme kaydı takımı seti için, sette yer alan 11 ivme kaydı takımından elde edilen  $\Delta_{mak}/H$  değerlerinin ortalaması  $m_{(\Delta/H)}$  ve varyasyon katsayısı  $CoV_{(\Delta/H)}$  hesaplanmıştır. Betonarme binalar için ayrıca, her bir ivme kaydı takımı seti için, maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin ortalaması  $m_{(\delta/h)}$  ve varyasyon katsayısı  $CoV_{(\delta/h)}$  hesaplanmıştır.

### 5.1 TSD Sistemlerin Analiz Sonuçları

#### 5.1.1 Maksimum Ötelenme Taleplerinin Ortalaması

Bu kısımda, TSD sistemler için ivme kaydı setleri ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin sete ait ortalaması değerlendirilmiştir.

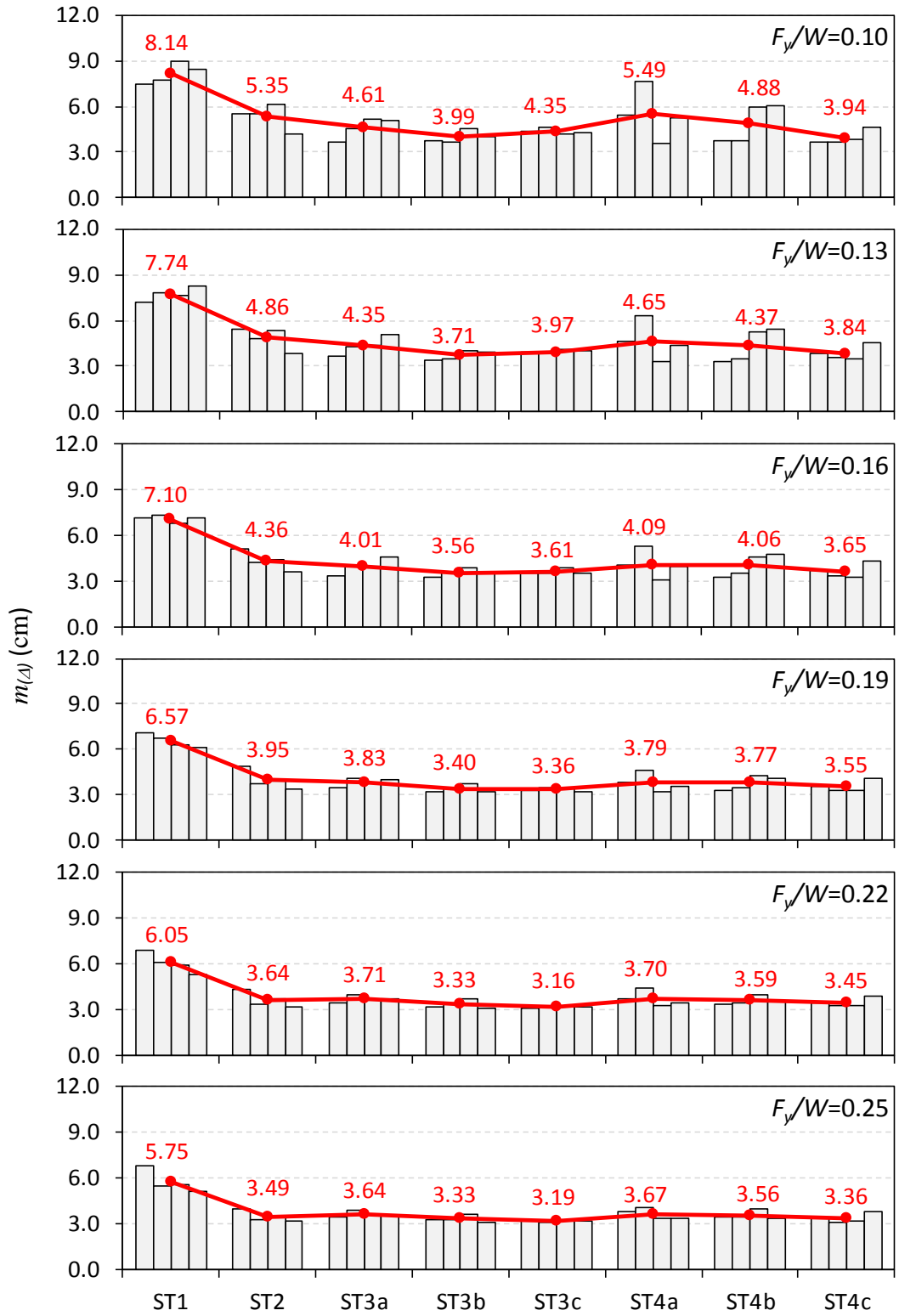


Şekil 5.1: İvme kaydı setleri için  $m_{(A)}$  talepleri ( $T=0.6s$ ,  $F_y/W=0.19$ , ZB)

Şekil 5.1’de ZB zemin sınıfı dikkate alındığında, örnek olarak seçilen  $T=0.6s$  periyoda ve  $F_y/W=0.19$  yatay dayanım oranına sahip TSD sistemin analiz sonuçları kullanılarak ivme kaydı setleri için hesaplanan  $m_{(A)}$  değerleri verilmiştir. Şekilde çubuk grafikler her bir ivme kaydı seti için  $m_{(A)}$  değerlerini, dairesel noktalar ise ilgili stratejiye ait dört set için hesaplanan  $m_{(A)}$  değerlerinin ortalamasını,  $\mu_{m(A)}$ , göstermektedir. Görüldüğü gibi, aynı strateji ile elde edilen dört farklı ivme kaydı setinin her biri için elde edilen  $m_{(A)}$  değerleri farklıdır. Örneğin ST3a stratejisinde birinci setten elde edilen  $m_{(A)}$  değerleri 3.42cm iken diğer setler için 4.08cm, 3.78cm ve 4.03cm olarak elde edilmiştir. Bu dört değerlerin ortalaması ise  $\mu_{m(A)}=3.83cm$ ’dir.

Şekil 5.1’e göre, ST1 stratejisi için elde edilen  $m_{(A)}$  talepleri daha büyüktür. Buna bağlı olarak, bu strateji için hesaplanan  $\mu_{m(A)}=6.87cm$  değeri de en yüksek değerdir. Bilindiği gibi ST1 stratejisinde sete ait ortalama spektrumun hedef spektruma oranı için üst sınır 2.0 iken, diğer stratejiler için bu üst sınır 1.2’dir. Ayrıca ST1 dahil tüm stratejiler için bu oranın alt sınırı da 1.0’dir. Sete ait ortalama spektrum için ortak üst sınıra sahip diğer stratejilerle uyumlu setlerden elde edilen  $m_{(A)}$  taleplerinin ve dolayısıyla  $\mu_{m(A)}$  değerlerinin birbirine yakın seviyede olduğu görülmektedir. ST1 dışındaki stratejiler için  $\mu_{m(A)}$  değerleri ST2’den ST4c’ye doğru sırası ile 3.95, 3.83, 3.40, 3.36, 3.79, 3.77 ve 3.55cm olarak hesaplanmıştır.

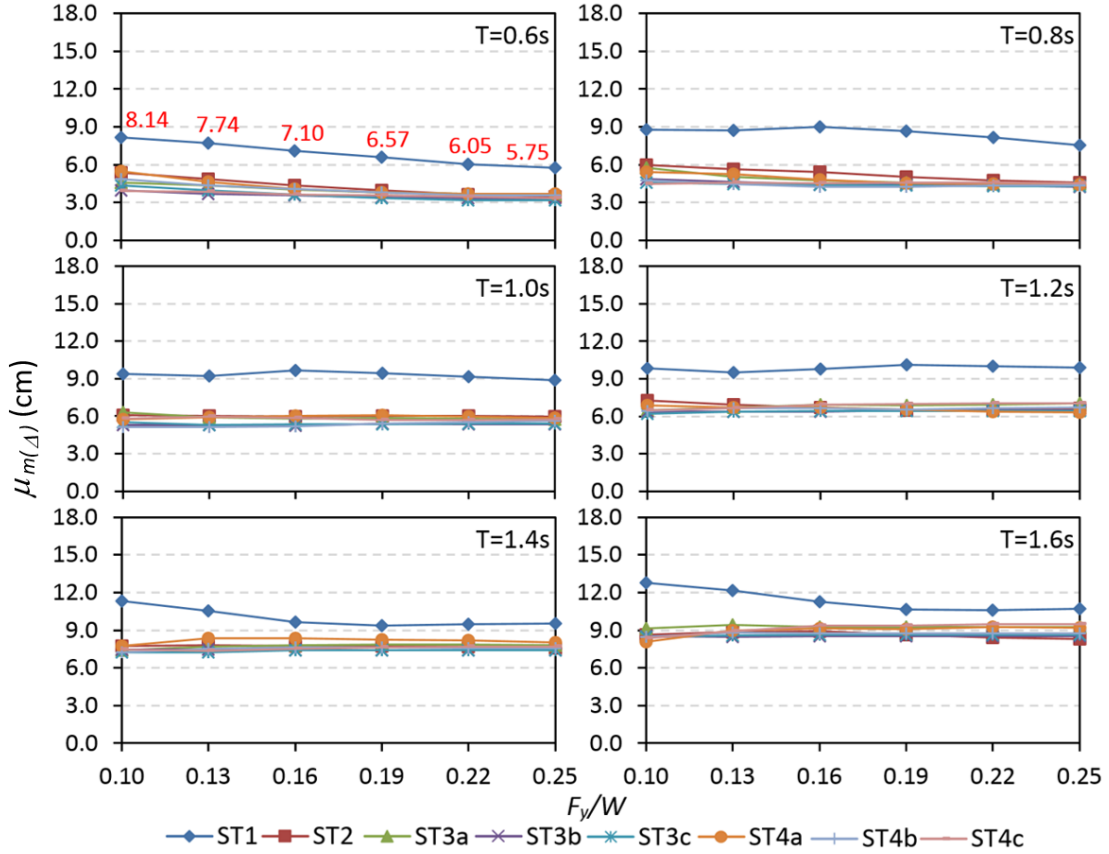
Şekil 5.2’de ZB zemin sınıfı dikkate alındığında,  $T=0.6s$  periyot ve tüm  $F_y/W$  değerleri için ivme kaydı setlerine ait  $m_{(A)}$  değerleri ve bu değerlerin ortalaması olan  $\mu_{m(A)}$  değerleri verilmiştir. Şekle göre, ST1 stratejisi ile ilgili setler için daha büyük  $m_{(A)}$  değerleri elde edilmesi durumu tüm  $F_y/W$  değerleri için geçerlidir. Ayrıca, diğer stratejiler ile uyumlu setlerden elde edilen  $m_{(A)}$  değerlerinin ve buna bağlı olarak  $\mu_{m(A)}$  değerlerinin birbirine yakın olması durumu da tüm  $F_y/W$  değerleri için geçerlidir.



Şekil 5.2:  $T=0.6s$  olan TSD sistemler için ivme kaydı setlerine ait  $m_{(\Delta)}$  talepleri (ZB)

ZB zemin sınıfı ve tüm TSD sistemler için, her bir stratejiye ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri, Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekilde  $T=0.6s$  için verilen değerler, Şekil 5.2'de detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi tüm TSD sistemler için ST1'e ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri diğer stratejilere göre daha büyüktür. ST1 hariç diğer stratejilerde elde edilen

$\mu_{m(\Delta)}$  değerleri birbirine yakındır. Bu durum tüm TSD sistemler için geçerlidir. Beklenildiği gibi TSD sistemin periyodu arttığında  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri de artmaktadır. Periyot arttığında, yatay dayanım oranının  $\mu_{m(\Delta)}$  üzerindeki etkisi azalmaktadır.



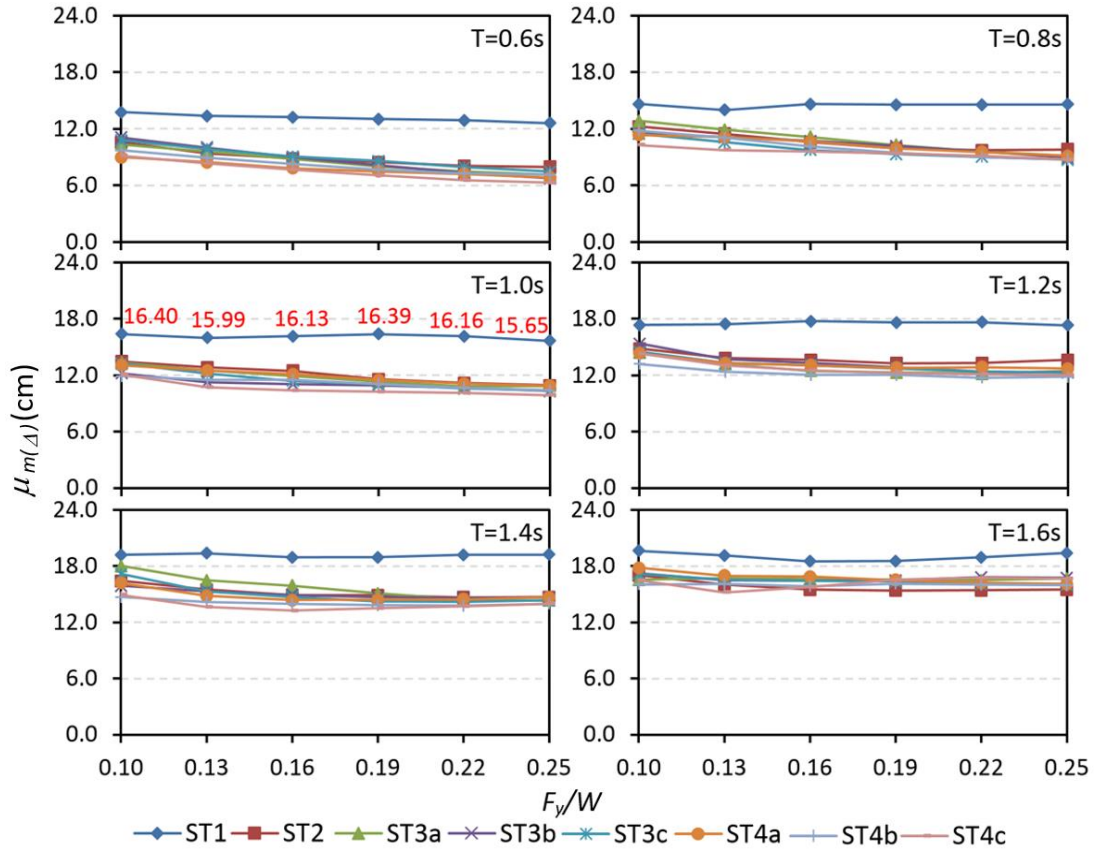
Şekil 5.3: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{m(\Delta)}$  talepleri (ZB)

Şekil 5.4'te, ZC sınıfı zemin ve tüm TSD sistemler için, her bir stratejiye ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri verilmiştir. ZC zemin sınıfı için elde edilen  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri, Şekil 5.3'te verilen ZB zemin sınıfı için elde edilen  $\mu_{m(\Delta)}$  değerlerinden daha büyüktür. ZC sınıfı zemin için de  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri açısından ST1 stratejisi diğer stratejilerden ayrılmaktadır. Örneğin  $T=1.6s$  ve  $F_y/W=0.25$  olan TSD sistemde ST1 için elde edilen  $\mu_{m(\Delta)}$  değeri 19.42cm iken ST2'den ST4c'ye doğru  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri ise 15.50, 16.69, 16.74, 15.99, 16.10, 15.96 ve 16.66cm olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.5'te, ZD sınıfı zemin ve tüm TSD sistemler için, her bir stratejiye ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri verilmiştir. ZD zemin sınıfı için elde edilen  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri, diğer iki zemin sınıfına göre daha büyüktür. Bu zemin sınıfı için de  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri açısından ST1 stratejisi diğer stratejilerden ayrılmaktadır. Diğer zemin sınıfları için elde edilen



sonuca benzer şekilde, bu zemin sınıfı için de ST1 dışındaki stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri birbirine daha yakındır.



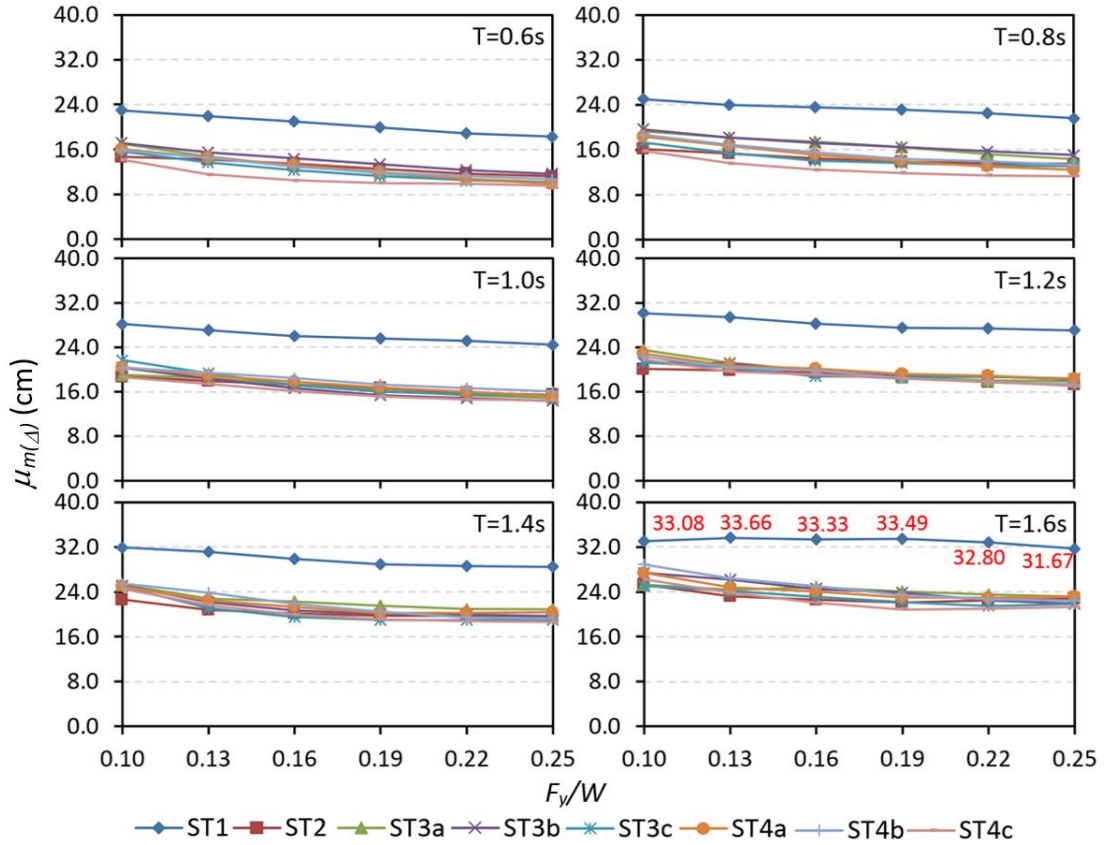
Şekil 5.4: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{m(\Delta)}$  talepleri (ZC)

### 5.1.1 Maksimum Ötelenme Taleplerinin Saçılımı

Bu kısımda tüm TSD sistemler ve zemin sınıfları için, ivme kaydı setlerine ait  $CoV_{(\Delta)}$  değerleri kullanılarak, maksimum ötelenme taleplerinin saçılımı değerlendirilmiştir.

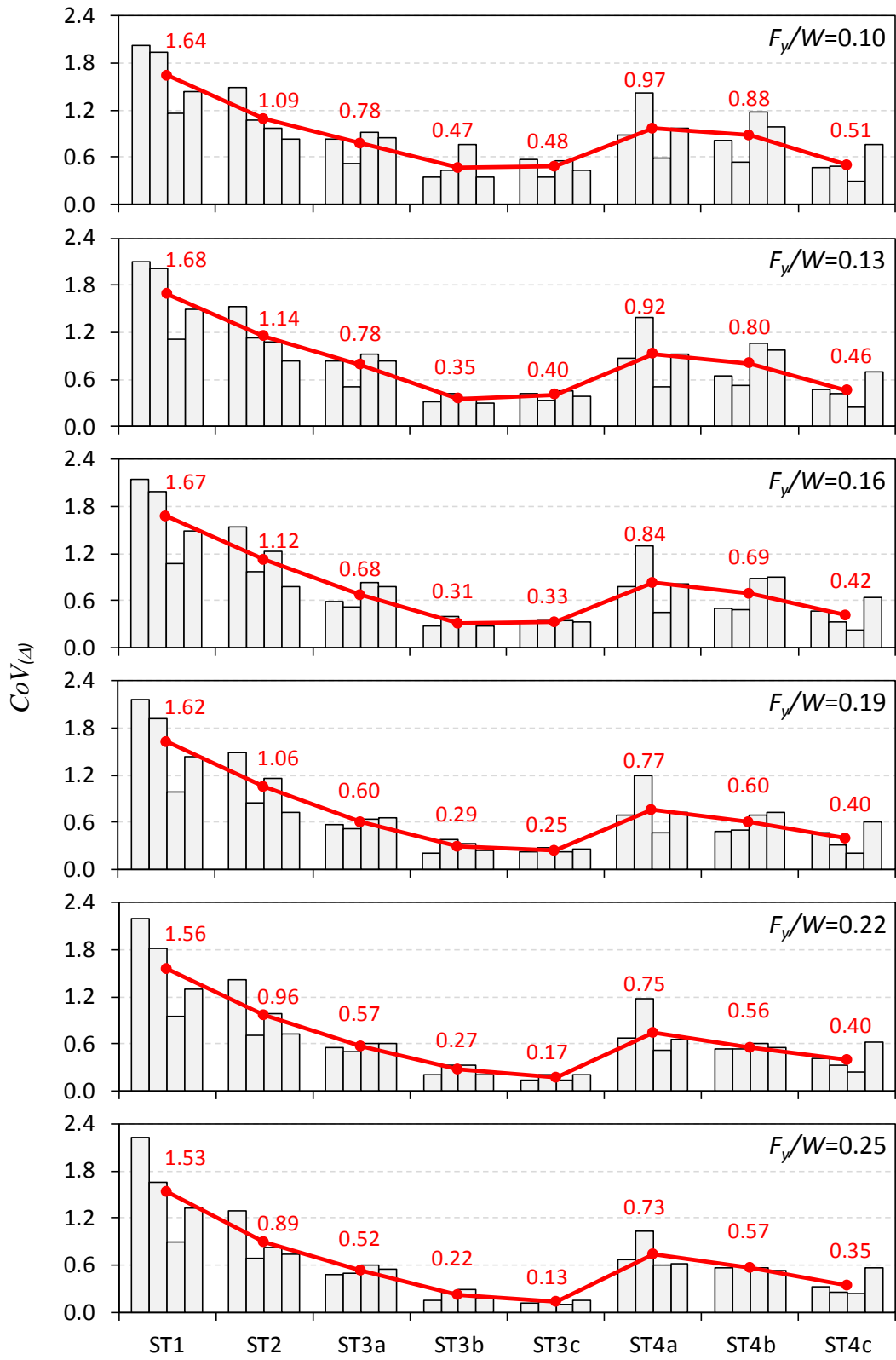
Şekil 5.6'da, ZB zemin sınıfı ve periyodu  $T=0.6s$  olan TSD sistemler için ivme kaydı setlerine ait  $CoV_{(\Delta)}$  değerleri örnek olarak verilmiştir. Her bir TSD sistem ve strateji için dört farklı sete ait  $CoV_{(\Delta)}$  değerleri çubuk grafikler ile bu dört değerlerin ortalaması olan  $\mu_{CoV_{(\Delta)}}$  değerleri ise dairesel noktalar ile temsil edilmiştir. Aynı TSD sistem ve strateji için dört farklı sete ait  $CoV_{(\Delta)}$  değerleri farklılık göstermektedir. Örneğin,  $T=0.6s$  ve  $F_y/W=0.1$  iken ST1 stratejisine ait dört set için  $CoV_{(\Delta)}$  değerleri

2.02, 1.94, 1.16 ve 1.44 olarak bulunmuş ve bu dört setin ortalaması alınarak ST1'e ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değeri 1.64 olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi, en büyük  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri ST1 için, en düşük  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri ise ST3b, ST3c ve ST4c için elde edilmiştir.  $T=0.6s$  ve  $F_y/W=0.1$  iken ST3c için dört sete ait  $CoV(\Delta)$  değerleri 0.57, 0.35, 0.55 ve 0.43 olarak,  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değeri 0.48 olarak hesaplanmıştır. Aynı TSD sistem için ST4c stratejisine ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değeri ise 0.51 olarak hesaplanmıştır.

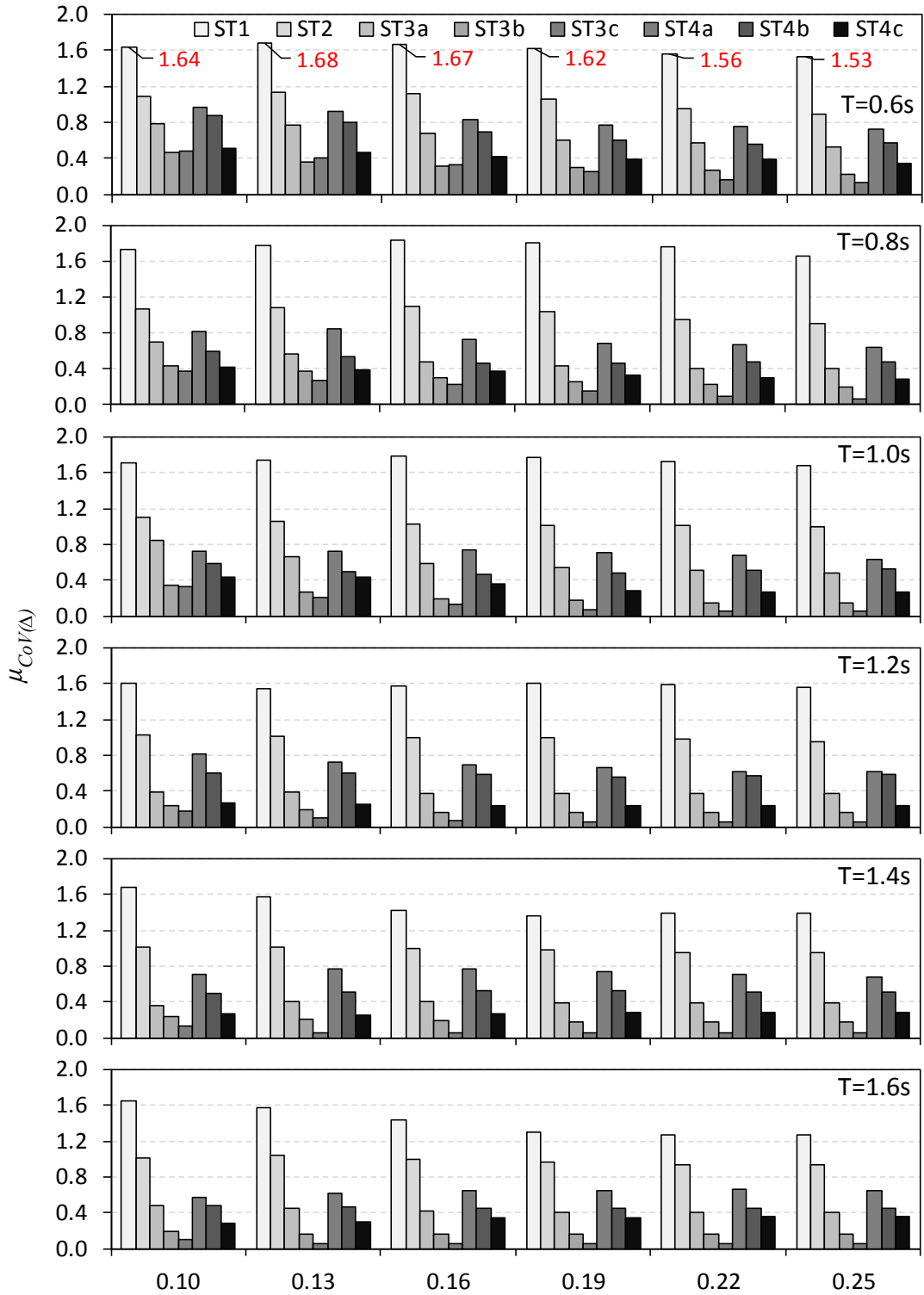


Şekil 5.5: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{m(\Delta)}$  talepleri (ZD)

Şekil 5.6'ya göre,  $F_y/W$  oranının ST1 stratejisi için elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerine etkisi, diğer stratejilerde oranla daha düşüktür. Yani  $F_y/W$  arttıkça  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinde görülen azalma, ST1 için nispeten daha düşüktür. Örneğin ST1 stratejisinde  $F_y/W=0.1$  iken  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değeri 1.64,  $F_y/W=0.25$  iken  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değeri 1.53'tür. ST3c stratejisinde ise  $F_y/W=0.1$  ve  $F_y/W=0.25$  için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri sırası ile 0.48 ve 0.13 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi,  $F_y/W$  değişiminden ST3c için elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri daha fazla etkilenmektedir. ST3c ile ST4c stratejileri karşılaştırıldığında, ST3c stratejisinden elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6: İvme kaydı setlerine ait  $CoV_{(A)}$  değerleri ( $T=0.6s$ , ZB)

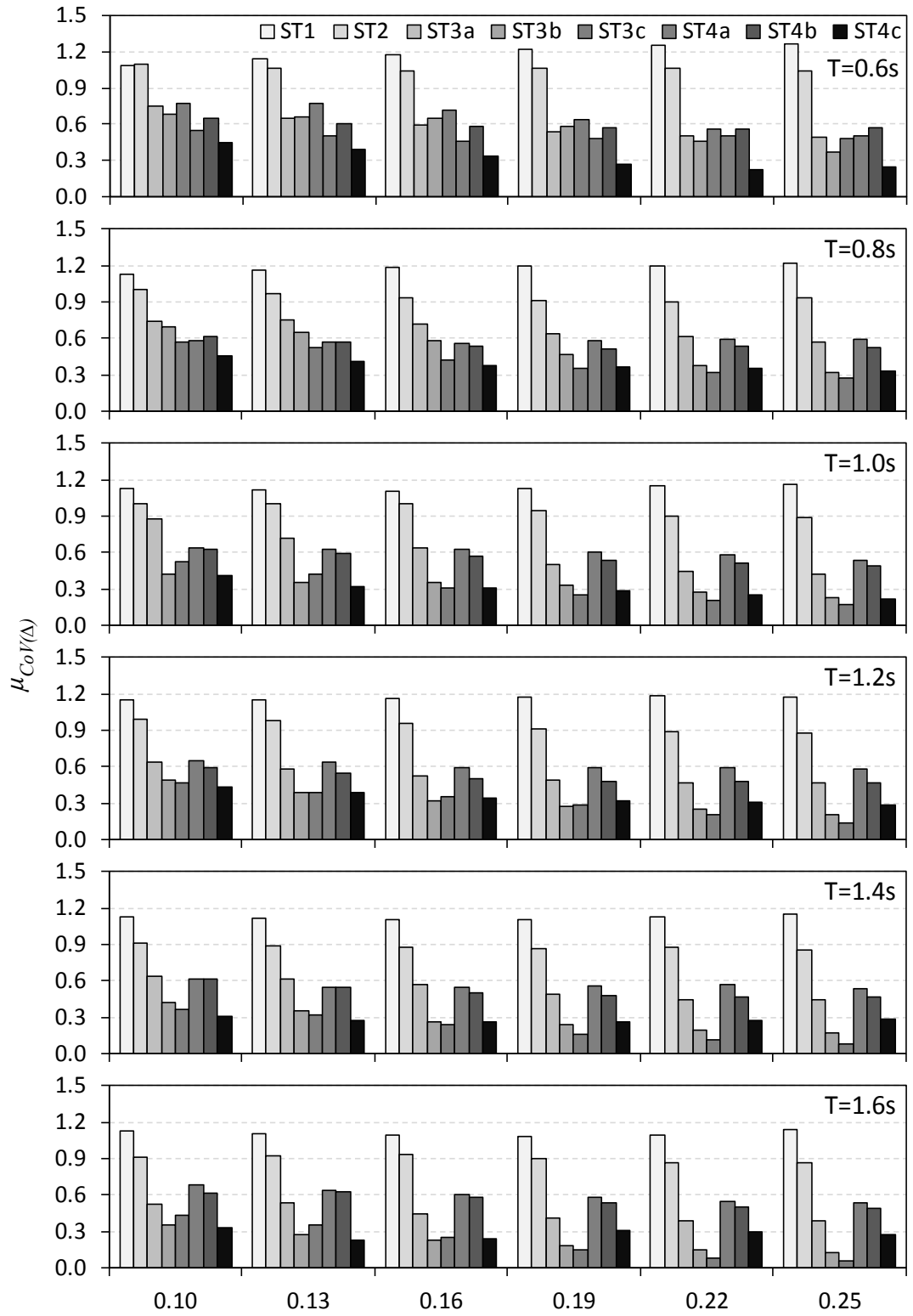


Şekil 5.7: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri (ZB)

Şekil 5.7’de ZB sınıfı zemin için tüm TSD sistemler ve stratejilere ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, tüm periyot ve  $F_y/W$  değerleri için ST1 stratejisine ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri diğer stratejilere göre daha yüksektir. Bunun anlamı, ötelenme taleplerindeki saçılımın ST1 için en yüksek olmasıdır. Şekil 5.7’ye göre,

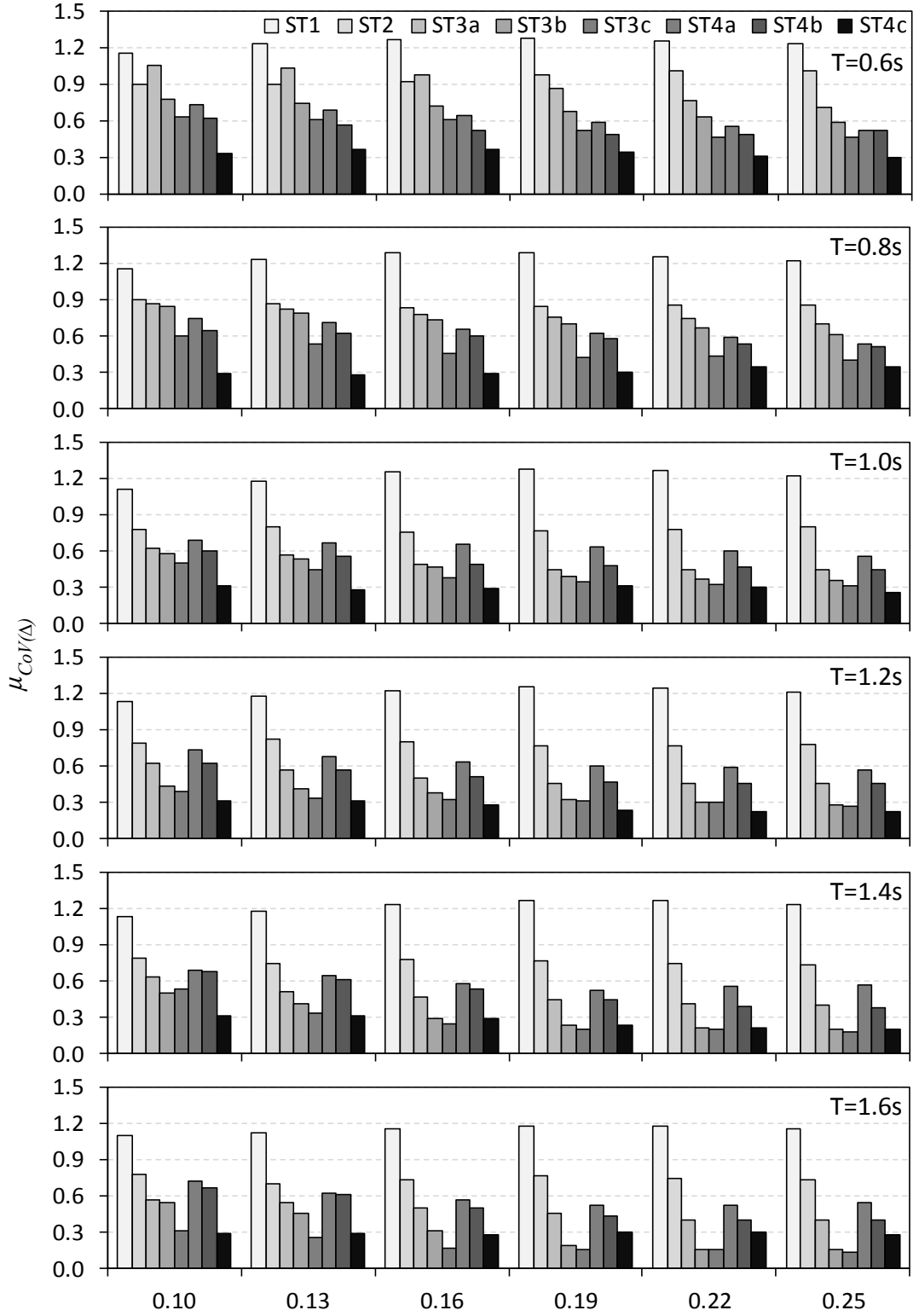
periyot değerinin artmasıyla  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinde azalma meydana geldiği söylenebilir. Bu azalma, ST1 için en düşük seviyededir. Periyodun etkisi ST3 için daha da belirgin olup ST3c için en yüksek seviyededir. ST4 için de periyodun artması ile  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinde bir azalma söz konusudur ama bu azalma ST3 için gözlenen kadar belirgin değildir. ST4 stratejileri için periyodun değişiminden çok fazla etkilenmeyen bir saçılım elde edildiğini ve bu saçılımın ST1 ve ST2 için elde edilenlere göre çok düşük olduğunu söylemek gerekir. ST4c'ye ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri tüm TSD'ler için 0.30 civarındadır. Öte yandan,  $F_y/W$  oranındaki değişimin  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri üzerindeki etkisi periyodun etkisi kadar belirgin değildir. Yine de  $F_y/W$  oranındaki artışın az da olsa  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinde azalmaya sebep olduğu söylenebilir.

Şekil 5.8'de ZC sınıfı zemin için tüm TSD sistemler ve stratejilere ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, ZC zemin sınıfı için de, tüm periyot ve  $F_y/W$  değerleri için ST1 stratejisine ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri diğer stratejilere göre daha yüksektir. ST2 için elde edilen saçılım ST1'e göre daha düşüktür ve ST3 ve ST4 için saçılım iyice düşmektedir. ST3c ve ST4c stratejileri için genel olarak en düşük  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri elde edildiği gözlenmektedir.  $F_y/W$ 'nin daha düşük değerleri için ST4c'den elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri ST3c'den elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerine göre daha düşük iken  $F_y/W$  arttıkça ST3c'den elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Yani,  $F_y/W$ 'nin değişimi ST3c için ST4c'ye göre  $\mu_{CoV(\Delta)}$  üzerinde daha etkili olmaktadır. Bu durum tüm periyot değerleri için geçerlidir. Örneğin  $T=1.6s$  için ST3c'ye ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri,  $F_y/W$ 'nin 0.1'den 0.25'e doğru değişen değerleri için sırasıyla 0.43, 0.35, 0.25, 0.15, 0.08 ve 0.06 olarak elde edilmiş iken ST4c için bu değerler 0.33, 0.22, 0.23, 0.31, 0.29 ve 0.27 olarak elde edilmiştir. Diğer yandan,  $F_y/W$ 'nin aynı değeri için periyot arttığında  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerindeki azalma, ST3 stratejileri için belirgin iken, ST4 stratejileri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Örneğin  $F_y/W=0.19$  için, ST3c'ye ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri  $T=0.6s$ 'den  $T=1.6s$ 'ye doğru sırasıyla 0.64, 0.36, 0.25, 0.28, 0.16 ve 0.15 olarak elde edilmiştir. Bu değerler ST4c için sırasıyla 0.27, 0.36, 0.29, 0.32, 0.26 ve 0.31 olarak elde edilmiştir. Kısaca, ST4c için periyot ve  $F_y/W$ 'den çok etkilenmeyen 0.30 civarında  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri elde edildiği söylenebilir.



Şekil 5.8: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri (ZC)

Şekil 5.9'da ZD sınıfı zemin için tüm TSD sistemler ve stratejilere ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri verilmiştir.



Şekil 5.9: TSD sistemler ve stratejiler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri (ZD)

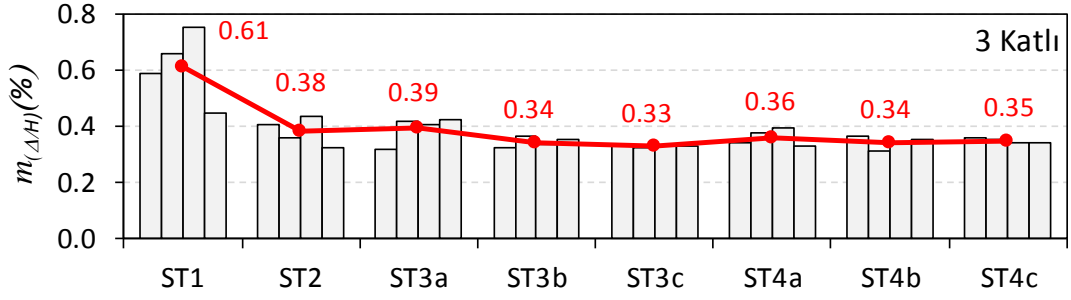
Şekil 5.9'a göre, ZD zemin sınıfı için de, tüm periyot ve  $F_y/W$  değerleri için ST1 stratejisine ait  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri diğer stratejilere göre daha yüksektir. Ayrıca, yine ST3c ve ST4c stratejileri için en düşük  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri elde edildiği gözlenmektedir. ST3 stratejileri için hem periyottaki artış hem de  $F_y/W$  oranındaki artış,  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinin belirgin olarak azalmasına sebep olmaktadır. Örneğin,  $T=1.0s$  iken  $F_y/W$  oranı 0.1'den 0.25'e değiştiğinde ST3c için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri sırasıyla 0.53, 0.44, 0.39, 0.35, 0.33 ve 0.31 olmaktadır. Ya da  $F_y/W=0.25$  iken periyot 0.6s'den 1.6s'ye doğru ST3c için elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri sırasıyla 0.52, 0.40, 0.31, 0.27, 0.19 ve 0.14 olarak hesaplanmaktadır. ST4 stratejileri için periyodun ve  $F_y/W$  oranındaki değişimin  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri üzerindeki etkisi ST3 stratejileri kadar belirgin değildir. ST4c stratejisi için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinin 0.30 civarında olduğu söylenebilir.

## 5.2 Betonarme Binaların Analiz Sonuçları

### 5.2.1 Maksimum Ötelenme Oranı Taleplerinin Ortalaması

Bu kısımda, betonarme binalar için ivme kaydı takımı setlerinden elde edilen maksimum ötelenme oranı taleplerinin ortalaması ele alınmıştır. Bölüm 4'de de bahsedildiği gibi üç boyutlu binaların doğrusal olmayan analizi için kullanılan her bir ivme kaydı setinde 11 ivme kaydı takımı yani 22 ivme kaydı bileşeni bulunmaktadır. İvme kaydı takımlarının birbirine dik iki yatay bileşeni, binaların (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmiş ve daha sonra bileşenlerin etki doğrultuları  $90^\circ$  döndürülerek analizler tekrarlanmıştır. Böylece bir ivme kaydı takımı için, betonarme binanın analizi ile 22 adet maksimum ötelenme ( $\Delta_{mak}$ ) değeri elde edilmiştir.  $\Delta_{mak}$  değerleri bina yüksekliklerine bölünerek maksimum ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ) talepleri elde edilmiştir. Son olarak, 22 adet  $\Delta_{mak}/H$  değerlerinin ortalaması alınarak her bir set için ortalama maksimum ötelenme oranı talepleri  $m_{(\Delta/H)}$  elde edilmiştir. Bu işlemler, tüm betonarme binalar, zemin sınıfları ve stratejiler için tekrarlanmıştır.

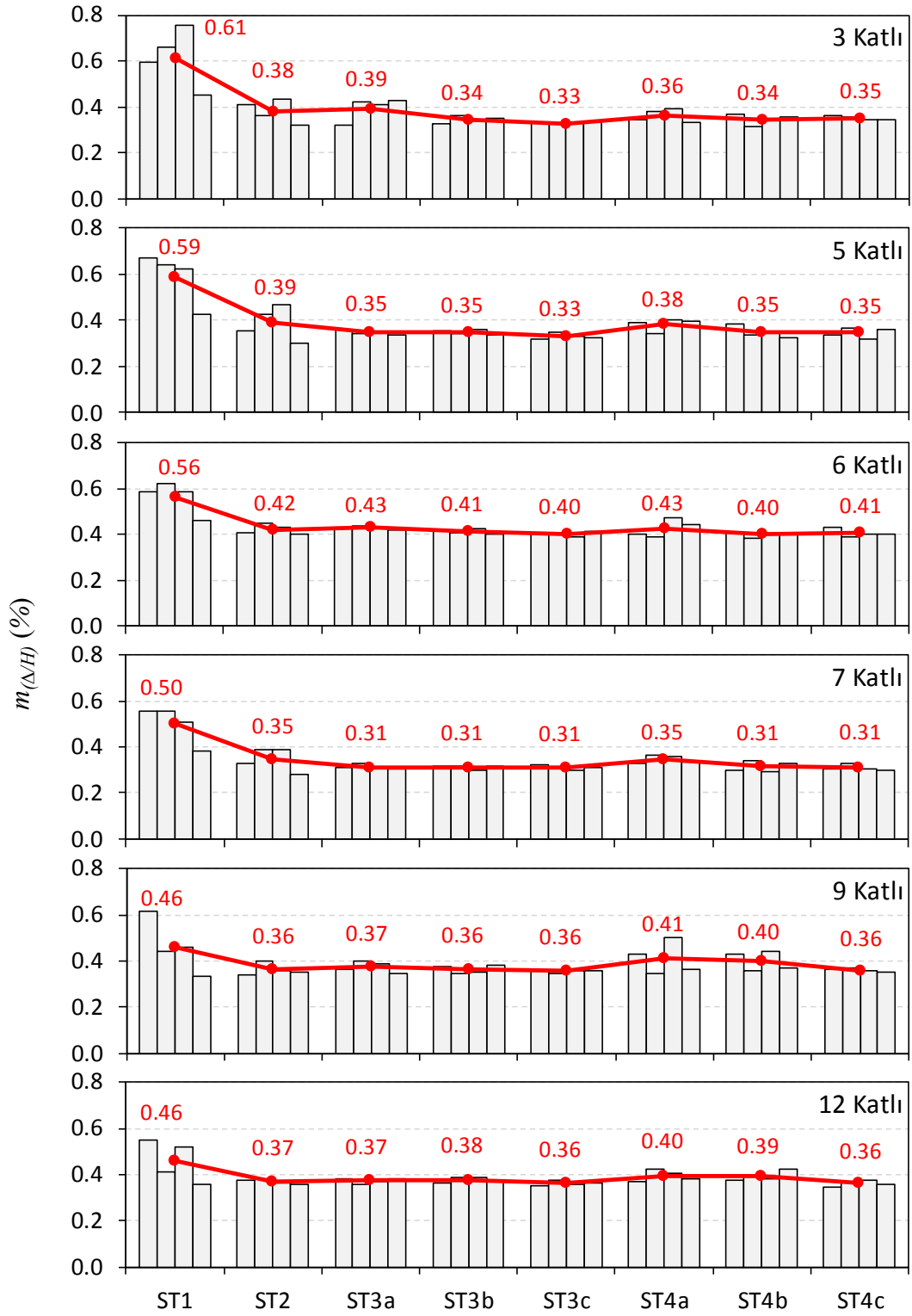




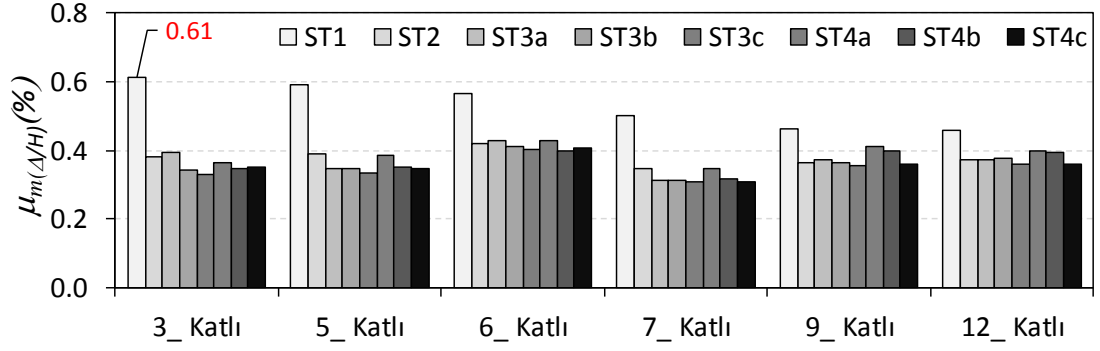
Şekil 5.10: Üç katlı betonarme bina için  $m_{(\Delta H)}$  talepleri (ZB)

Şekil 5.10'da ZB zemin sınıfı ve üç katlı betonarme bina ele alınarak elde edilen  $m_{(\Delta H)}$  talepleri örnek olarak verilmiştir. Şekilde görülen çubuk grafikler ivme kaydı takımı setlerinin her biri için elde edilen  $m_{(\Delta H)}$  taleplerini, dairesel noktalar ise aynı strateji ile uyumlu dört sete ait  $m_{(\Delta H)}$  taleplerinin ortalamasını,  $\mu_{m(\Delta H)}$ , göstermektedir. Görüldüğü gibi, aynı strateji ile elde edilen farklı setler için farklı  $m_{(\Delta H)}$  talepleri elde edilmektedir. Örneğin, ST1 için dört farklı ivme kaydı setine ait  $m_{(\Delta H)}$  talepleri sırasıyla %0.59, %0.66, %0.76 ve %0.45'tir. Bu stratejiye ait  $\mu_{m(\Delta H)}$  ise %0.61 bulunur. ST1 için elde edilen  $\mu_{m(\Delta H)}$  talepleri diğer stratejilere göre daha büyüktür. Diğer stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta H)}$  talepleri ise birbirlerine yakındır ve %0.33-%0.39 arasında değişmektedir. ST1 dışındaki stratejiler için ivme kaydı takımlarına ait bileşke yatay spektrumların ortalamasının hedef spektruma oranı için aynı alt sınır ve üst sınır kullanılmıştır. Bu durum, bu stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta H)}$  taleplerinin birbirine yakın çıkmasının sebebidir. Bu sonuç, ST3 ve ST4 ile dikkate alınan bireysel spektrumların hedef spektruma oranı ile ilgili kısıtların ise  $\mu_{m(\Delta H)}$  talepleri üzerinde etkisinin olmadığını da göstermektedir.

Şekil 5.11'de ZB zemin sınıfı ele alınarak ivme kaydı takımı setlerinden elde edilen  $m_{(\Delta H)}$  talepleri tüm binalar için gösterilmiştir. Diğer binalar için elde edilen sonuçların da, Şekil 5.10'da verilen üç katlı bina ile ilgili sonuçlara benzer olduğu görülmektedir. Örneğin, herhangi bir strateji ile uyumlu dört farklı sete ait  $m_{(\Delta H)}$  taleplerinin farklılık göstermesi, tüm binalar için geçerlidir. Ek olarak, ST1 için setlere ait ortalama ötelenme talebi çok yüksek iken, diğer stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta H)}$  talepleri ise birbirlerine yakındır.

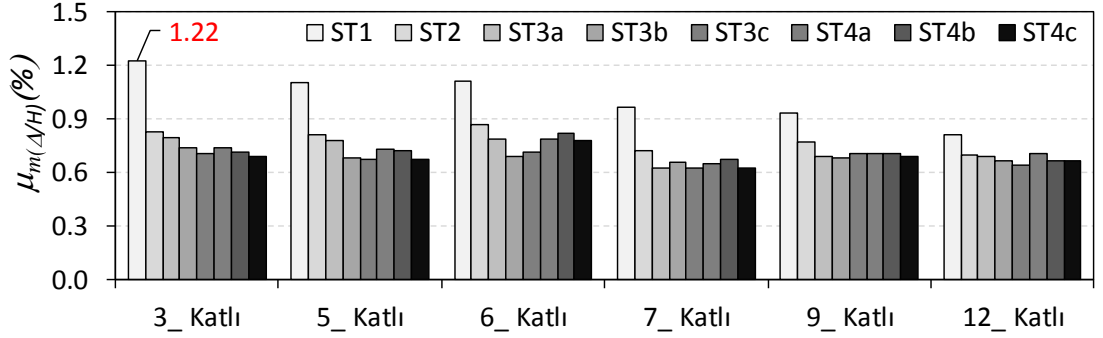


Şekil 5.11: Tüm binalar için elde edilen  $m_{(\Delta/H)}$  talepleri (ZB)



Şekil 5.12: Betonarme binalar için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  talepleri (ZB)

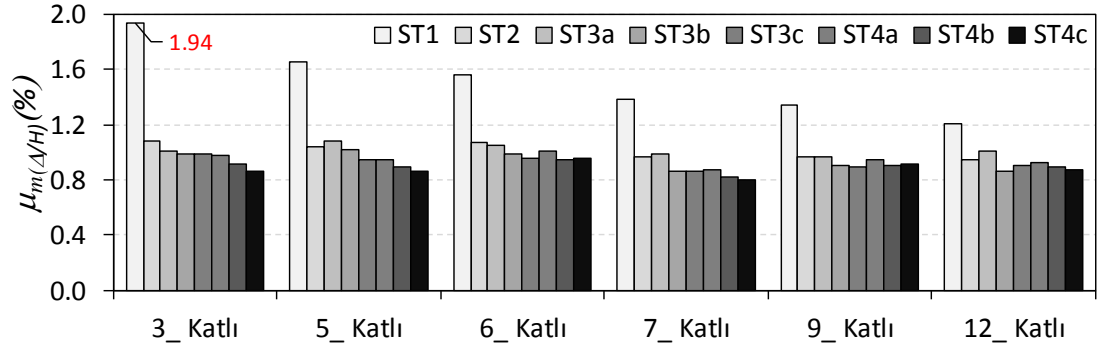
ZB sınıfı zemin için elde edilen  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri kullanılarak, Şekil 5.12’de verilen şekli ile stratejilerin talepler üzerindeki etkisi daha kolay gözlenebilir. Şekil 5.12’de gösterilen değerler, Şekil 5.11’de dairesel nokta ile gösterilen değerlerdir.  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri açısından ST1 stratejisi diğerlerinden ayrılmakta iken diğer stratejilere ait değerler birbirine yakındır. Bu durum tüm binalar için geçerlidir. Şekle göre başka bir sonuç da, ST1 dışındaki tüm stratejiler için geçerli olmak üzere, bina kat sayısının artışı ile  $\mu_{m(\Delta/H)}$  talepleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamasıdır. ST1 dışındaki stratejiler için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  taleplerinin birbirinden biraz farklı olsa da 0.40 civarında olduğu ve bunun tüm binalar için geçerli olduğu söylenebilir.



Şekil 5.13: Betonarme binalar için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  talepleri (ZC)

ZC sınıfı zemin için tüm binalara ve stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri, Şekil 5.13’te verilmiştir.  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri açısından ST1 stratejisi yine diğerlerinden ayrılmaktadır. Öte yandan bina kat sayısı arttıkça bu stratejiye ait  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri azalmaktadır. Örneğin  $\mu_{m(\Delta/H)}$  üç katlı ve oniki katlı bina için sırası ile %1.22 ve %0.80’dir. ST1 dışındaki stratejiler için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri birbirine daha yakındır Zemin sınıfının ZB’den ZC’ye değişmesi ile  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerlerinin arttığı da gözlenmektedir.

ST1 dışındaki stratejiler için ZC zemin sınıfına ait  $\mu_{m(\Delta/H)}$  taleplerinin 0.65-0.80 aralığında değiştiği söylenebilir.



Şekil 5.14: Betonarme binalar için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  talepleri (ZD)

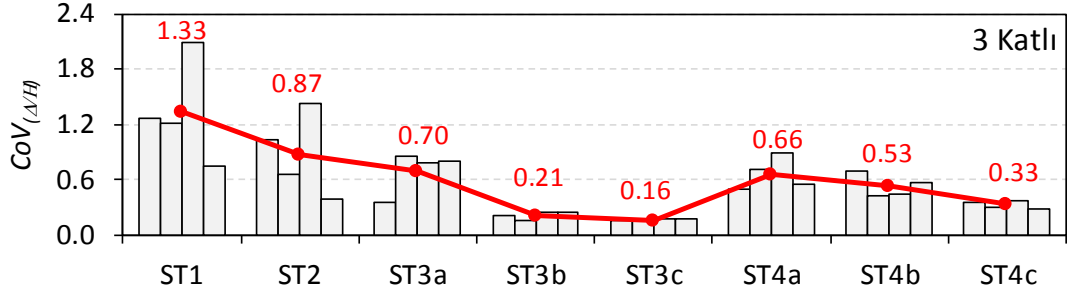
Şekil 5.14'te, ZD sınıfı zemin için hesaplanan  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri görülmektedir. ZD için de, beklendiği gibi, ST1'e ait  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri diğer stratejilere göre daha yüksektir. Bina kat sayısı arttıkça ST1'e ait  $\mu_{m(\Delta/H)}$  değerleri ZD dikkate alındığında da azalmaktadır. Örneğin bu strateji için  $\mu_{m(\Delta/H)}$ , üç katlı, yedi katlı ve oniki katlı bina için sırası ile %1.94, %1.40 ve %1.21'dir. Zemin sınıfı ZD olduğunda, ST1 dışındaki stratejiler için  $\mu_{m(\Delta/H)}$  taleplerinin 0.90-1.10 aralığında olduğu söylenebilir.

## 5.2.2 Maksimum Ötelenme Oranı Taleplerinin Saçılımı

Bu kısımda, ivme kaydı takımı setinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ) taleplerinin, sete ait ortalama ötelenme talebi  $m_{(\Delta/H)}$  etrafındaki saçılımı ele alınmıştır. Saçılımı temsil eden parametre olarak varyasyon katsayısı,  $CoV_{(\Delta/H)}$ , her bir betonarme bina ve ivme kaydı takımı seti için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Şekil 5.15'te ZB zemin sınıfı ve üç katlı bina için  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri örnek olarak verilmiştir. Şekilde çubuk grafikler ile her bir sete ait  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri, dairesel noktalar ile her bir stratejiye ait dört ivme setinden elde edilen  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerlerinin ortalaması,  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$ , temsil edilmektedir. Şekle göre, ST1 ve ST2 için ötelenme taleplerinin saçılımı setten sete belirgin farklılık göstermektedir. Bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumunu gözetken diğer stratejiler için hem saçılım

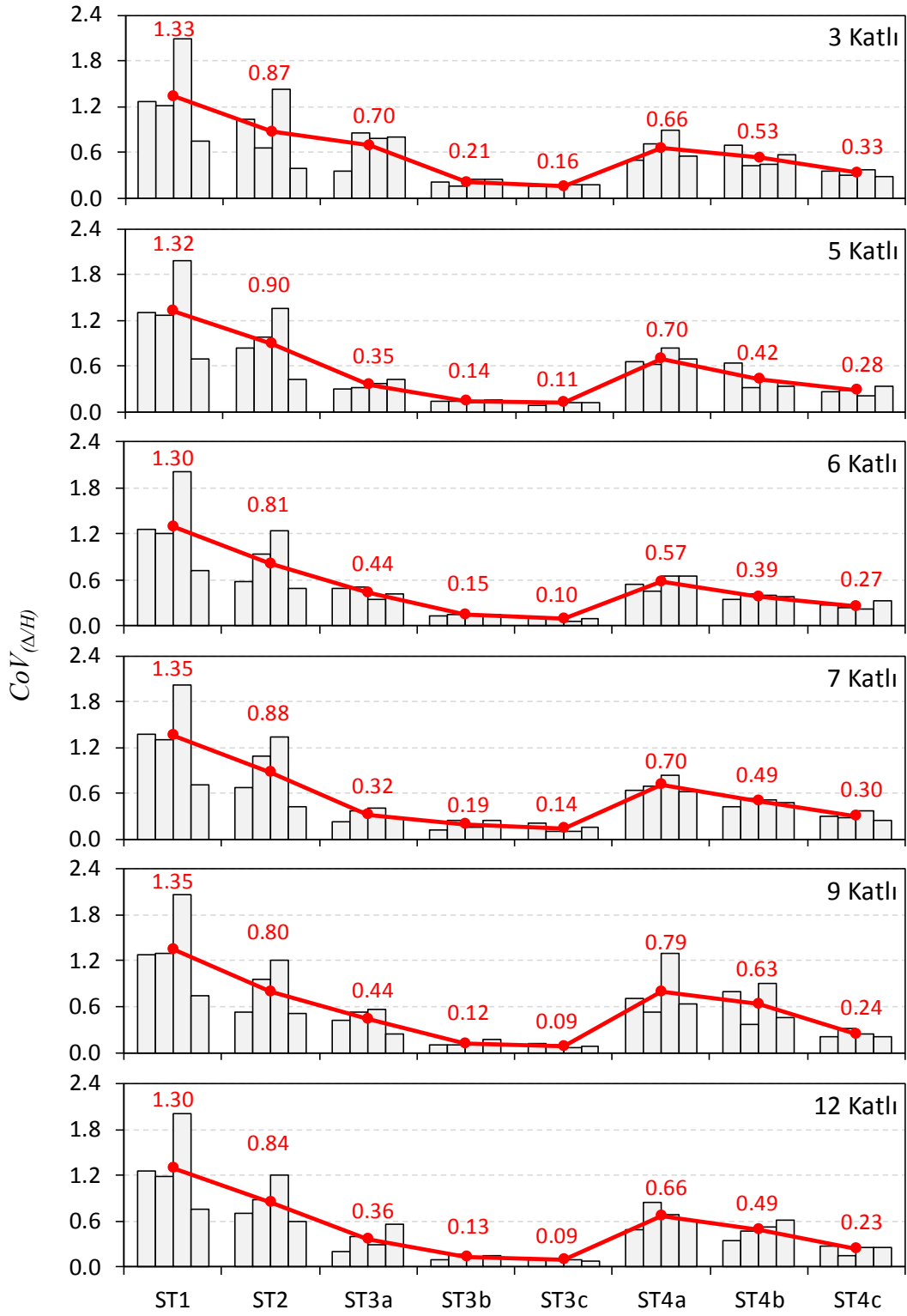
düşmekte hem de saçılımın sette sete değişimi azalmaktadır. Örneğin, ST3c için dört sete ait  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri 0.16, 0.15, 0.17 ve 0.18 iken, ST4c için dört sete ait  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri 0.35, 0.31, 0.37 ve 0.28 olarak hesaplanmıştır. ST3c ve ST4c stratejileri için  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  ise sırası ile 0.16 ve 0.33 olmaktadır.



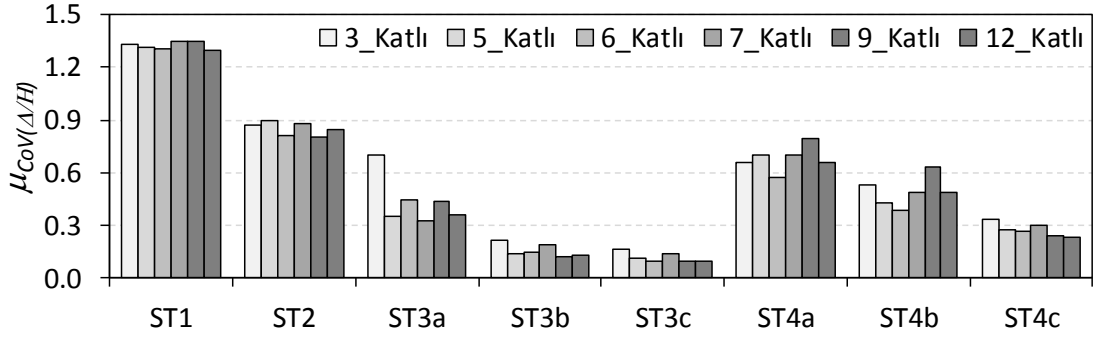
Şekil 5.15: Üç katlı bina için  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri (ZB)

Şekil 5.16'da ZB zemin sınıfı ile uyumlu setlere ait  $CoV_{(\Delta/H)}$ , tüm binalar için verilmiştir. Görüldüğü gibi en yüksek saçılım sırası ile ST1 ve ST2 stratejileri için elde edilirken, ST3 ve ST4 için saçılım belirgin olarak düşmektedir. Hem ST3a'dan ST3c'ye, hem de ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe saçılım daha da azalmaktadır. En düşük saçılıma sahip stratejiler ST3b, ST3c ve ST4c'dir. Bu durum tüm binalar için geçerlidir. Kat sayısının artması ile özellikle ST3c için saçılım azalmaktadır. Örneğin üç katlı bina için ST3c'ye ait  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  0.16 iken oniki katlı bina için bu değer 0.09'dur. ST1 için 1.0'in üzerindeki ve ST2 için 0.8'in üzerindeki değerlerle kıyaslandığında ST3c ve ST4c için hesaplanan  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  değerleri, bireysel spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumun dikkate alınmasının, ötelenme taleplerinin saçılımının nasıl düşürdüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil 5.17'de ZB zemin sınıfı için tüm binalara ait  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  değerleri verilmiştir. Bu şekilde, daha açık biçimde yine görüldüğü gibi, ötelenme taleplerine ait saçılım ST1 ve ST2 için oldukça yüksek iken, diğer stratejiler için azalmaktadır. ST3a'dan ST3c'ye ve ST4a'dan ST4c'ye doğru gidildikçe de  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  değerleri azalmaktadır. En düşük saçılım ST3b, ST3c ve ST4c için gözlenmektedir. ST3c için 0.20'nin altında olan  $\mu_{CoV_{(\Delta/H)}}$  değerleri, ST4c için kat sayısından bağımsız olarak 0.30 civarındadır.

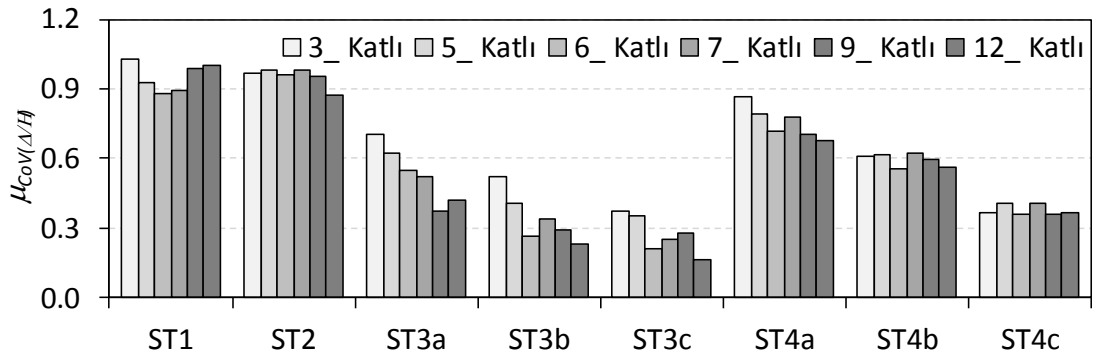


Şekil 5.16: Betonarme binalar için  $CoV_{(\Delta/H)}$  değerleri (ZB)



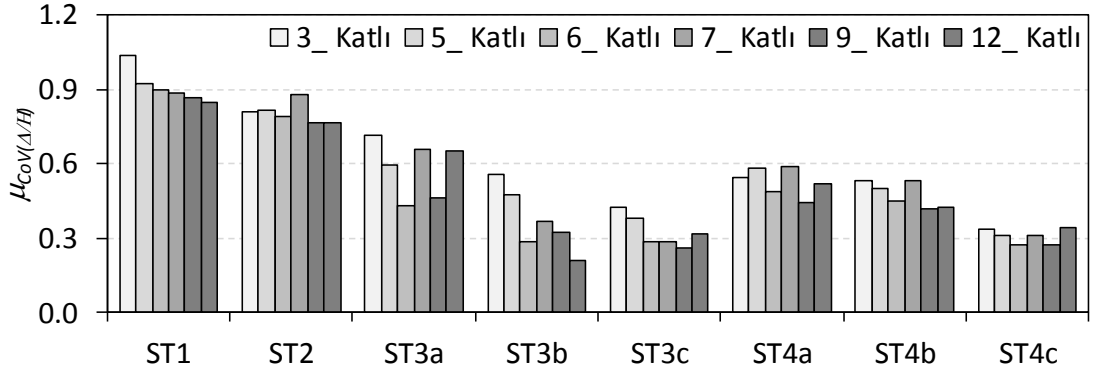
Şekil 5.17: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri (ZB)

Şekil 5.18’de ZC zemin sınıfı için binalara ve stratejilere ait  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri verilmiştir. Bu zemin için ST1 ve ST2’ye ait  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri birbirine yakındır ve tüm binalar düşünüldüğünde 0.90 civarındadır. Diğer stratejiler için yine daha düşük saçılım söz konusudur. Bu zemin sınıfı için de, tüm binalar için geçerli olmak üzere, ST3a’dan ST3c’ye ve ST4a’dan ST4c’ye doğru gidildikçe  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri azalmaktadır. ST4c için kat sayısından etkilenmeyen  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri 0.40 civarındadır. ST3c için kat sayısı arttıkça saçılımın 0.40’tan 0.20’ye doğru azaldığı söylenebilir.



Şekil 5.18: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri (ZC)

Şekil 5.19’da ZD zemin sınıfı için  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri verilmiştir. Diğer iki zemin sınıfı için olduğu gibi bu zemin sınıfı için de ST1 ve ST2 en yüksek saçılıma sahiptir. Benzer şekilde, tüm binalar için geçerli olmak üzere, ST3a’dan ST3c’ye ve ST4a’dan ST4c’ye doğru gidildikçe  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri azalmaktadır. ST4c için kat sayısından etkilenmeyen  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri 0.30 civarındadır.



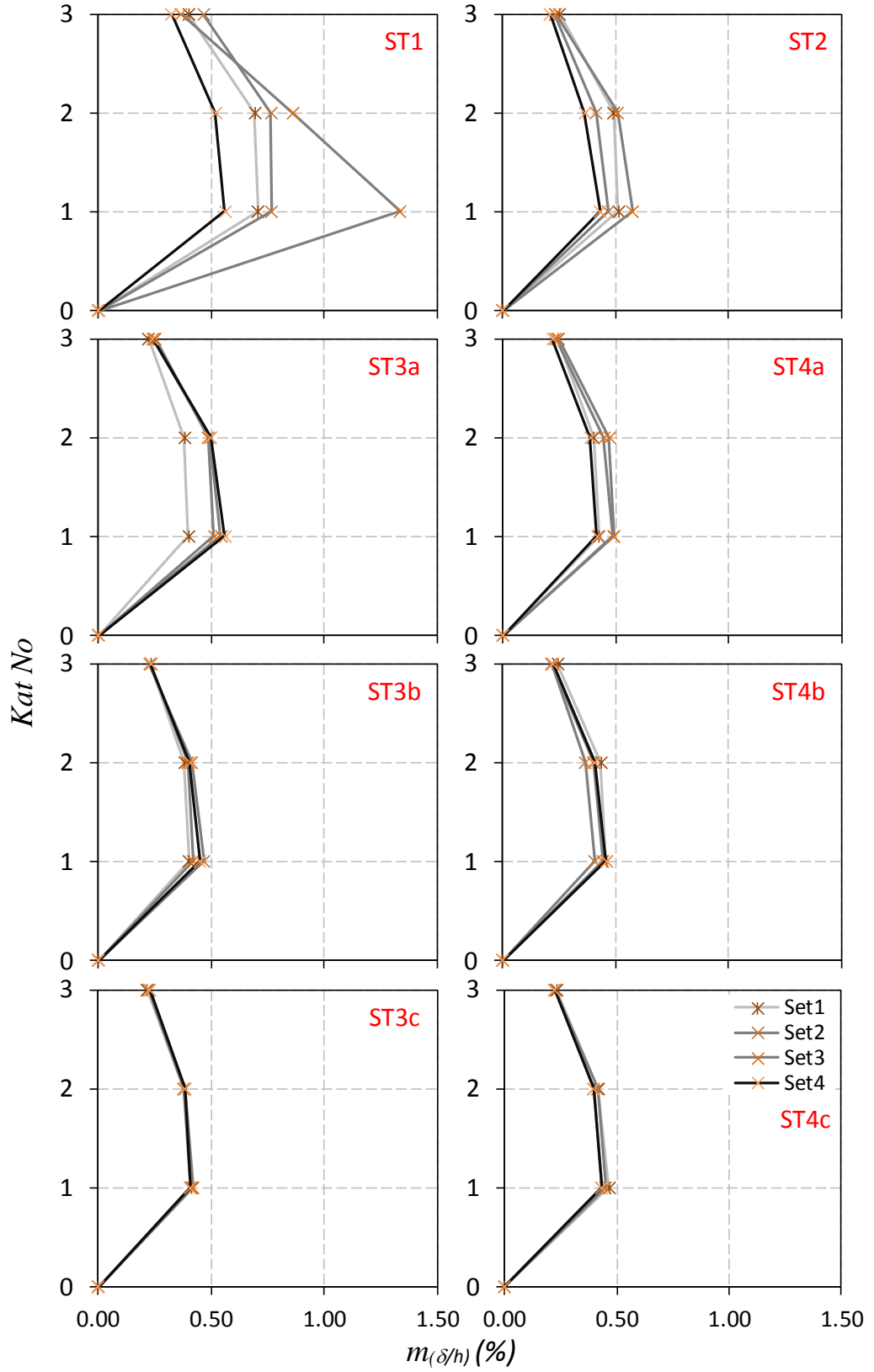
Şekil 5.19: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri (ZD)

### 5.2.3 Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi Oranı Taleplerinin Ortalaması

Bu kısımda, ivme kaydı takımı setinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum görelî kat ötelenmesi oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) taleplerinin, sete ait ortalama görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $m_{(\delta h)}$ ) etrafındaki saçılımı ele alınmıştır. Saçılımı temsil eden parametre olarak varyasyon katsayısı,  $CoV_{(\delta h)}$ , betonarme binaların her bir katı ve her bir ivme kaydı takımı seti için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Şekil 5.20’de, ZB zemin sınıfı ele alındığında üç katlı betonarme binanın katları için ivme kaydı takımı setlerine ait  $m_{(\delta h)}$  talepleri örnek olarak verilmiştir. Bu binada, en büyük görelî kat ötelenmesi taleplerinin birinci katta meydana geldiği görülmektedir. Bu durum tüm stratejiler için geçerlidir. ST1 için hem ötelenme talepleri hem de bu taleplerin saçılımı diğer stratejilere göre daha yüksektir. ST1’e ait dört set için elde edilen  $m_{(\delta h)}$  değerleri birinci katta %0.71, %0.77, %1.34 ve %0.56’dır. Diğer stratejilere ait talepler ise birbirine nispeten daha yakındır. Öte yandan, özellikle ST3c ve ST4c için farklı setlerden elde edilen taleplerin birbirlerine yakın olduğu şekilde kolayca görülmektedir. Örneğin, ST3c’e ait dört set için birinci katta  $m_{(\delta h)}$  değerleri %0.41, %0.41, %0.42 ve %0.41 iken ST4c için aynı katta bu değerler %0.47, %0.45, %0.43, %0.43 olarak elde edilmiştir. Bir katta, herhangi bir stratejiye ait dört set için hesaplanan  $m_{(\delta h)}$  değerlerinin ortalaması da, o strateji için dikkate alınacak  $\mu_{m(\delta h)}$  olarak hesaplanmıştır. Örneğin ST1, ST3c ve ST4c için birinci katta  $\mu_{m(\delta h)}$  değerleri sırası ile %0.85, %0.41 ve %0.45’tir.



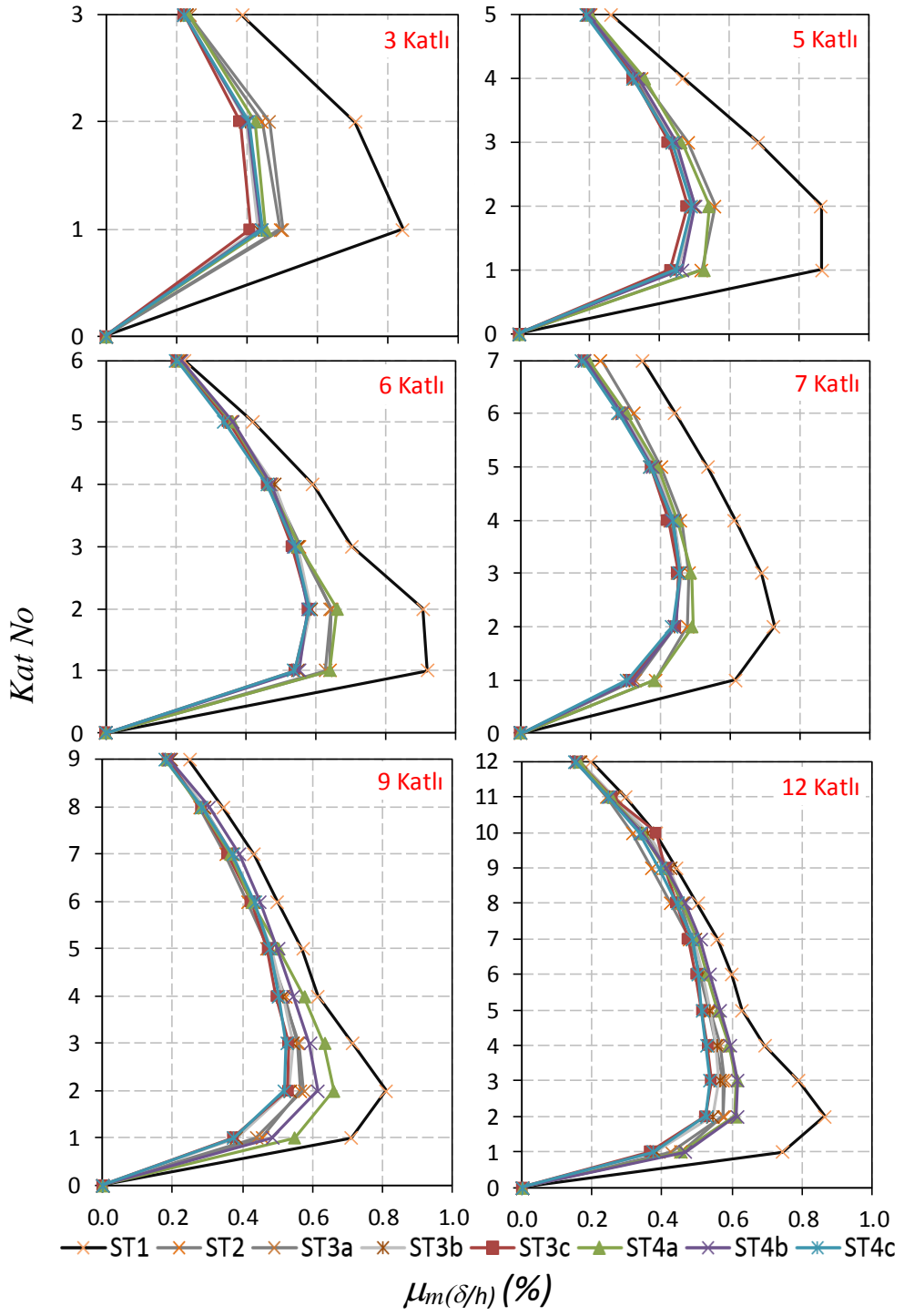


Şekil 5.20: Üç katlı bina için  $m_{(\delta/h)}$  değerleri (ZB)

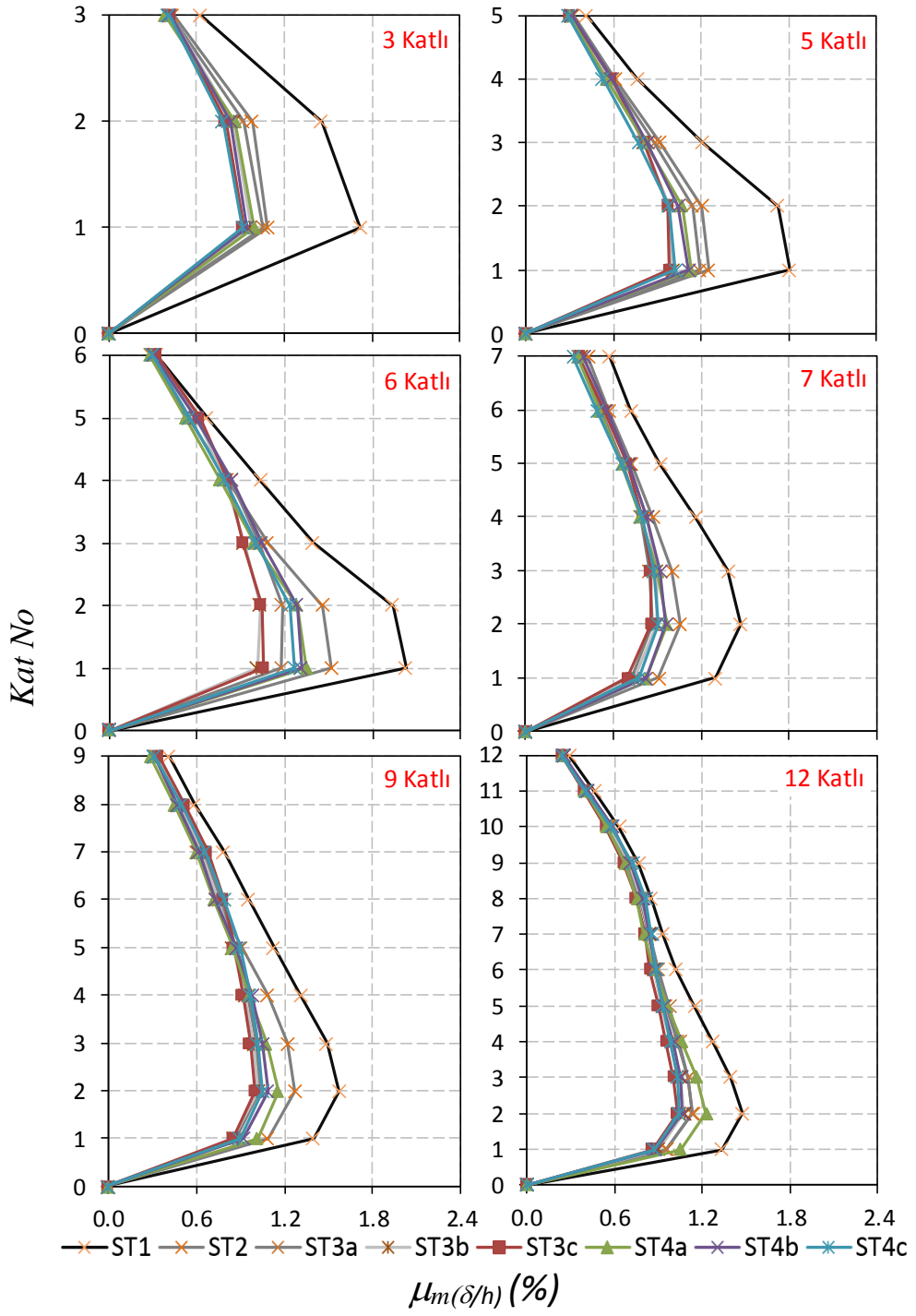
Şekil 5.21’de ZB zemin sınıfı için binalara ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin katlar boyunca değişimi verilmiştir. En yüksek  $\mu_{m(\delta/h)}$  talepleri, üç katlı bina için birinci katta, beş ve altı katlı bina için ikinci ve birinci katta, diğer binalar için ikinci ve üçüncü katta meydana gelmiştir. ST1 için görelî kat ötelenmesi talepleri, diğer stratejilere göre daha yüksektir. Diğer stratejiler için elde edilen talepler birbirine daha yakındır.  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin nispeten düşük olduğu katlarda, bu stratejilere ait talepler birbirine daha da yaklaşmaktadır. Bu durum, tüm binalar için geçerlidir. ST1 dışındaki stratejiler için elde edilen talepler incelendiğinde, 3, 5 ve 6 katlı binalar için, kat sayısı arttıkça  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin arttığı, daha yüksek katlı binaların taleplerinin ise 6 katlı binanın talebine yakın olduğu görülmektedir. Örneğin 9 ve 12 katlı binaların ikinci katında, ST1 dışındaki stratejilere ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  talepleri %0.5-%0.6 arasında değişmektedir ve benzer durum 6 katlı binanın ikinci katı için de geçerlidir.

Şekil 5.22’de ZC zemin sınıfı için tüm binalara ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin katlar boyunca değişimi verilmiştir. Öncelikle zemin sınıfının ZB’den ZC’ye değişimi ile taleplerin arttığı söylenebilir. Örneğin 3 katlı binanın ilk katında ST1’e ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  talebi ZB için %0.9 civarında iken ZC zemin sınıfı için talep %1.8 civarına yükselmiştir. ZC zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{m(\delta/h)}$  talepleri, üç katlı bina için birinci katta, beş ve altı katlı bina için birinci ve ikinci katta, diğer binalar için ilk üç ve katta meydana gelmiştir. ST1 için görelî kat ötelenmesi talepleri, diğer stratejilere göre daha yüksektir. Diğer stratejiler için elde edilen talepler birbirine daha yakındır.  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin nispeten düşük olduğu katlarda, bu stratejilere ait talepler birbirine daha da yaklaşmaktadır. Bu durum, tüm binalar için geçerlidir. Ayrıca, bina kat sayısının değişimi  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerini etkilemektedir.

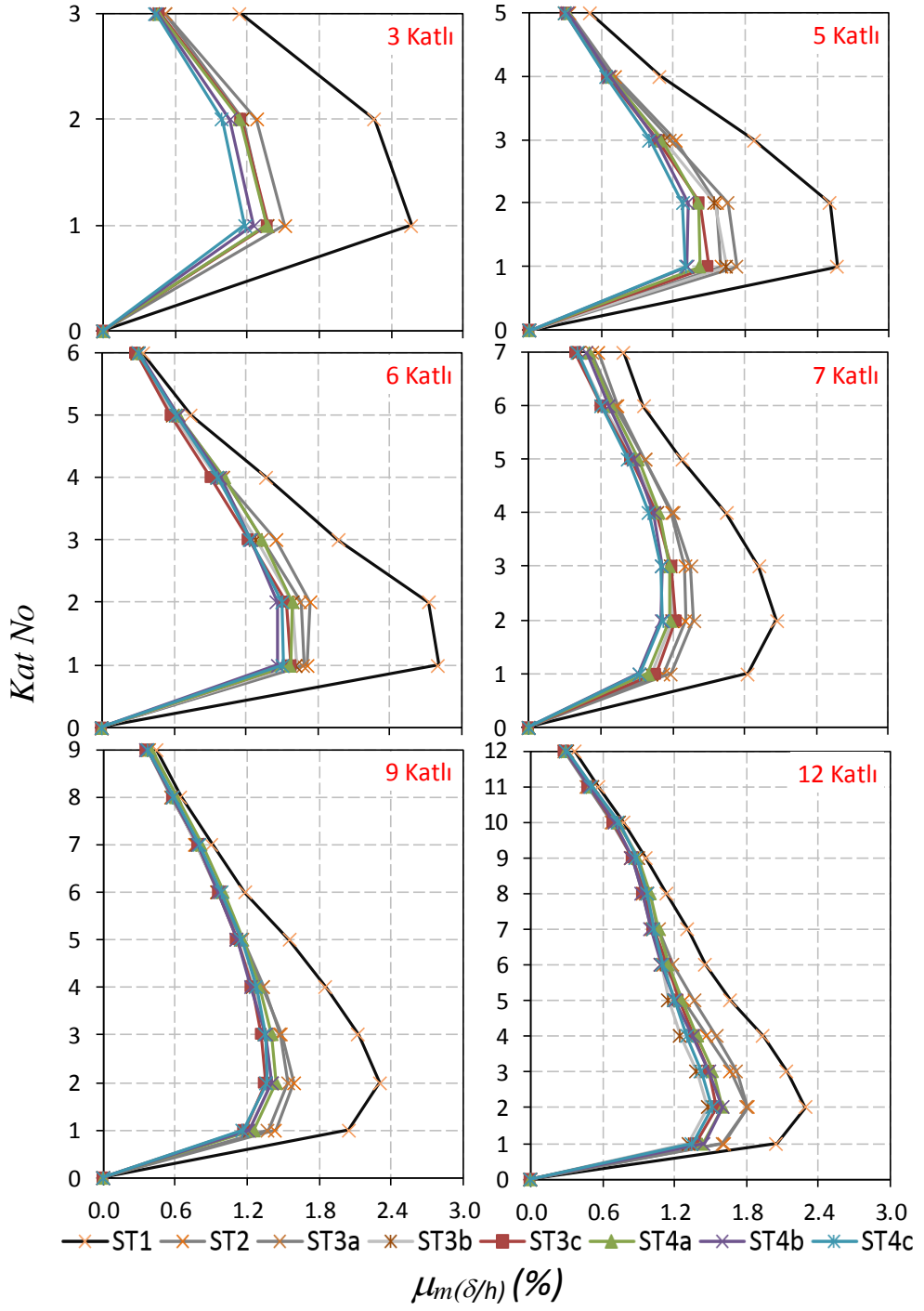
Şekil 5.23’te ZD zemin sınıfı için tüm binalara ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin katlar boyunca değişimi verilmiştir. ZD zemin sınıfı için görelî kat ötelenmesi talepleri daha da artmaktadır. Örneğin 3 katlı binanın ilk katında ST1’e ait  $\mu_{m(\delta/h)}$  talebi ZD için %2.4 civarına yükselmiştir. Diğer stratejiler için aynı katta birbirine yakın olan  $\mu_{m(\delta/h)}$  talepleri %1.2 civarındadır. Bu örnekte yine görüldüğü gibi ST1 stratejisi için görelî kat ötelenmesi talepleri, diğer stratejilere göre daha yüksektir.  $\mu_{m(\delta/h)}$  taleplerinin nispeten düşük olduğu katlarda, bu stratejilere ait talepler birbirine daha da yaklaşmaktadır. Bu durum, tüm binalar için geçerlidir.



Şekil 5.21: Tüm binalar için  $\mu_m(\delta/h)$  değerleri (ZB)



Şekil 5.22: Tüm binalar için  $\mu_m(\delta/h)$  değerleri (ZC)



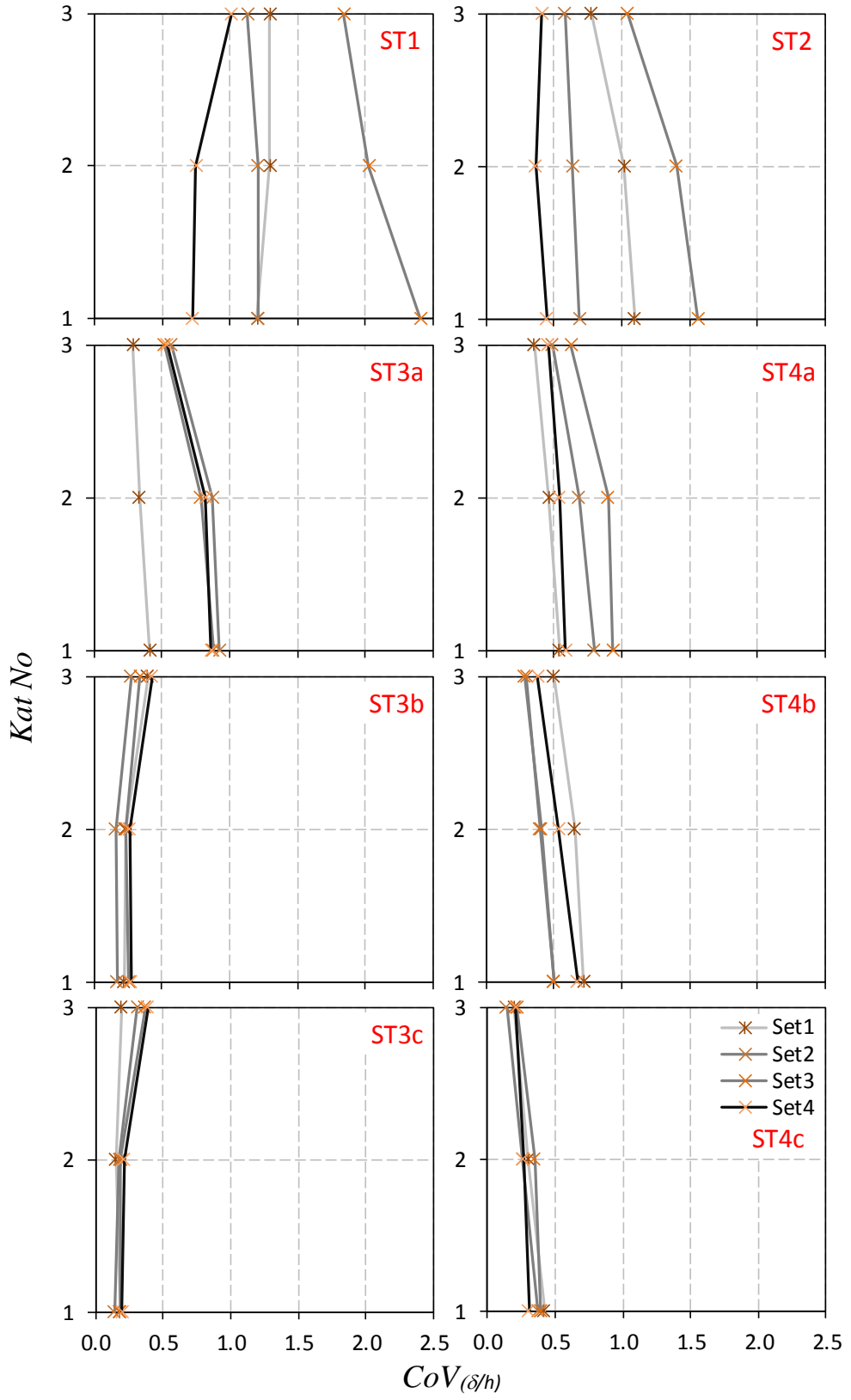
Şekil 5.23: Tüm binalar için  $\mu_m(\delta/h)$  değerleri (ZD)

#### 5.2.4 Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi Oranı Taleplerinin Saçılımı

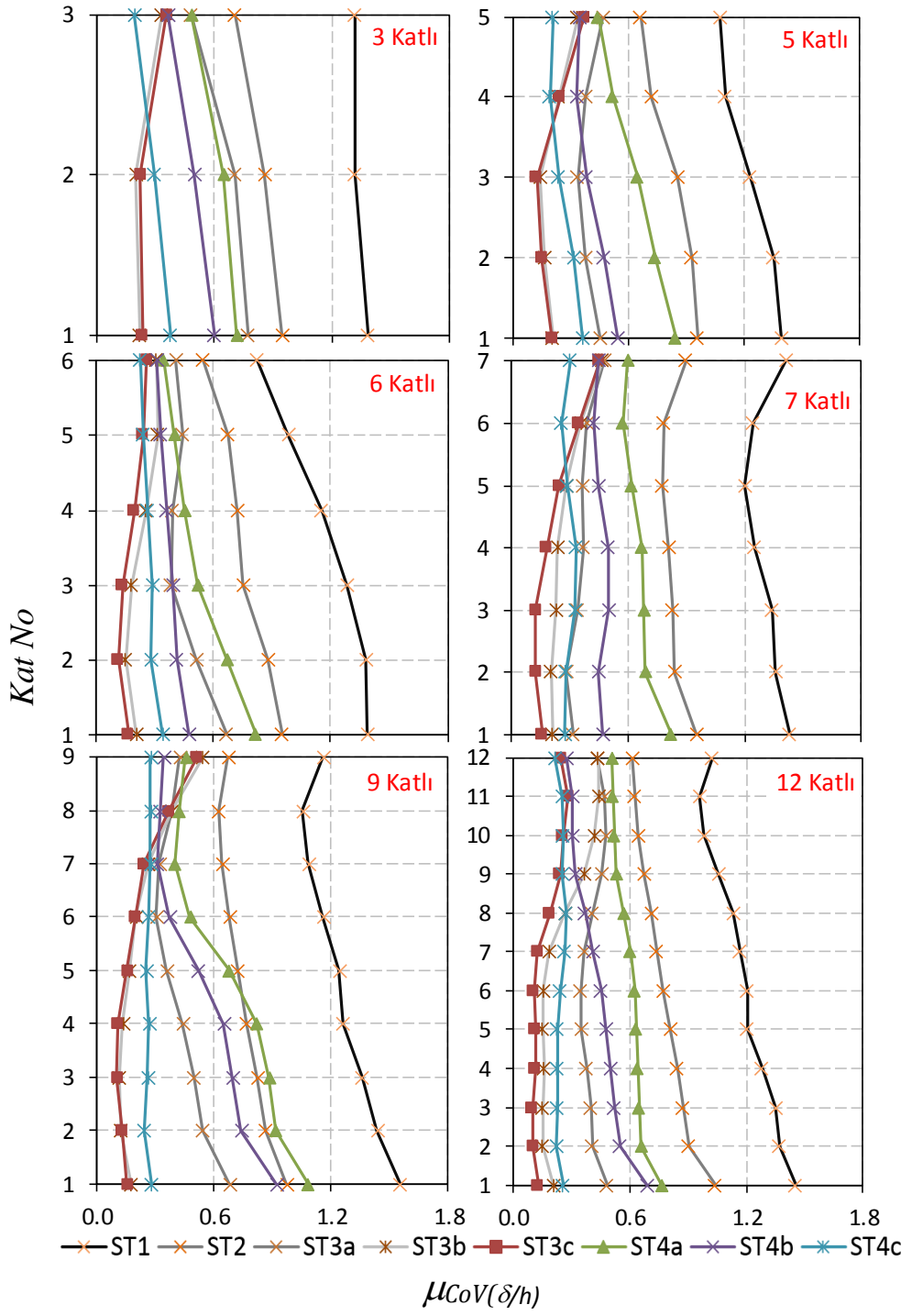
Bu kısımda, ivme kaydı takımı setinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum görelî kat ötelenmesi oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) taleplerinin, sete ait ortalama ötelenme talebi,  $m_{(\delta h)}$ , etrafındaki saçılımı ele alınmıştır. Saçılımı temsil eden,  $CoV_{(\delta h)}$ , her bir bina ve ivme kaydı takımı seti için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Şekil 5.24'te ZB zemin sınıfı için üç katlı betonarme binanın katlarına ait  $CoV_{(\delta h)}$  değerleri örnek olarak verilmiştir. Şekilde, her bir strateji ve kat için dört farklı sete ait değerler gösterilmektedir. Görüldüğü gibi ST1 ve ST2 stratejileri ile elde edilen setlere ait saçılımlar diğer stratejilere göre belirgin olarak yüksektir. ST3 ve ST4 stratejileri için hem saçılım düşmekte hem de aynı strateji ile elde edilen farklı setlere ait saçılımlar birbirine yaklaşmaktadır. ST3a'dan ST3c'ye ve ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe, taleplere ait saçılım daha da azalmaktadır. Üç katlı binanın ilk katında ST3b ve ST3c için  $CoV_{(\delta h)}$  değerleri 0.25 civarında iken ST4c için bu değerler 0.40 civarındadır.

Stratejilerin ötelenme taleplerinin saçılımı üzerindeki etkisinin daha açık olarak değerlendirilebilmesi için, aynı strateji ve kata ait dört farklı  $CoV_{(\delta h)}$  değerinin ortalaması,  $\mu_{CoV_{(\delta h)}}$ , hesaplanmıştır. Böylece herhangi bir binanın bir katı için her bir stratejiye ait bir değer elde edilmiştir. Şekil 5.25'te ZB zemin sınıfı için betonarme binaların katlarına ait  $\mu_{CoV_{(\delta h)}}$  değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm binalar ve tüm katlar için geçerli olmak üzere, en yüksek saçılım ST1 ve ST2 için elde edilmektedir. En düşük saçılımların ise ST3b, ST3c ve ST4c için elde edildiği görülmektedir. Beş ve daha yüksek kata sahip binaların farklı katları için saçılımın daha belirgin olarak değiştiği gözlenmektedir. Şekil 5.21 – Şekil 5.23'te görüldüğü gibi, alt katlarda görelî kat ötelenmesi talepleri daha yüksek idi. Stratejilere ait saçılım özellikle bu katlar için değerlendirilebilir. Örneğin, üç katlı binada, ötelenme talebinin en yüksek olduğu ilk katta, ST1 ve ST2 için sırası ile 1.3 ve 0.9 civarında olan  $\mu_{CoV_{(\delta h)}}$  değerleri ST3b ve ST3c için 0.25, ST4c için 0.35 civarındadır. Benzer şekilde, beş katlı binada, ötelenme taleplerinin daha yüksek olduğu ikinci katta,  $\mu_{CoV_{(\delta h)}}$  değerleri ST3b ve ST3c için 0.20, ST4c için 0.30 civarındadır. Diğer binaların ilk iki katı dikkate alındığında,  $\mu_{CoV_{(\delta h)}}$  değerleri, ST3b, ST3c ve ST4c için 0.30 veya daha düşük, ST1 için 1.20'nin üzerinde, ST2 için ise 0.80'in üzerindedir.



Şekil 5.24: Üç katlı bina için  $CoV_{(\delta/h)}$  değerleri (ZB)

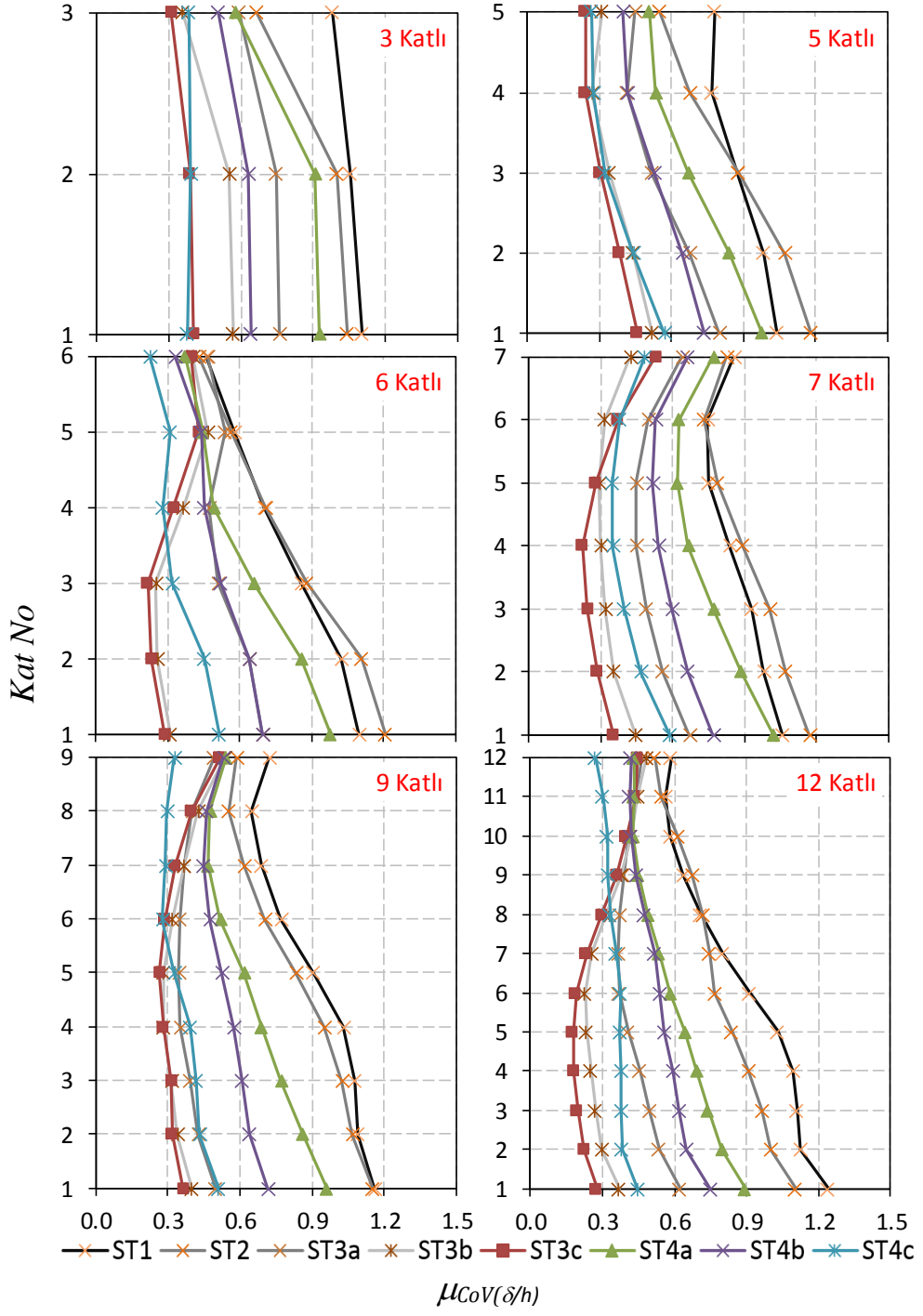


Şekil 5.25: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV}(\delta/h)$  değerleri (ZB)

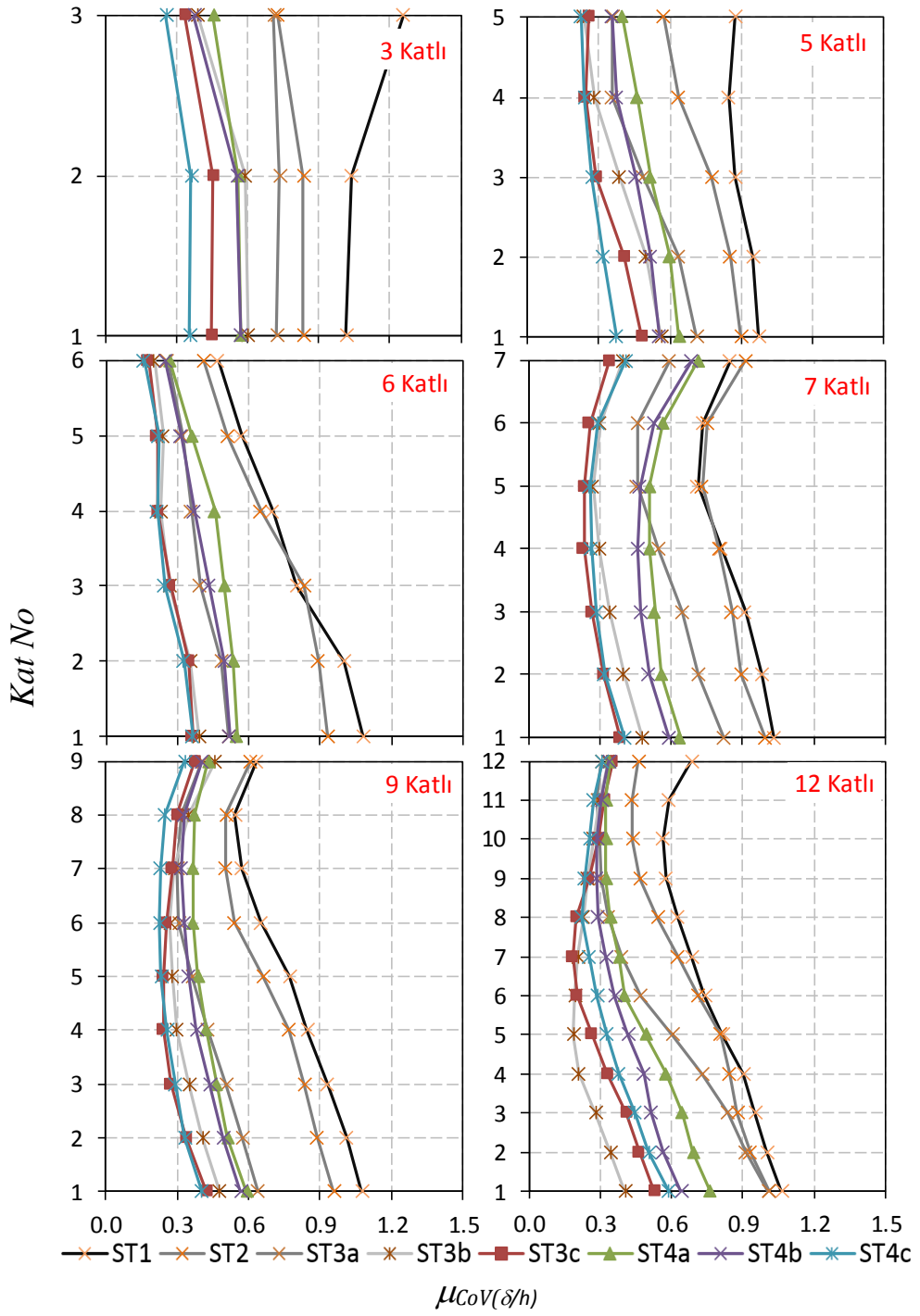


Şekil 5.26'da ZC zemin sınıfı için betonarme binaların katlarına ait  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri verilmiştir. En yüksek saçılım, ZC sınıfı zemin için de ST1 ve ST2 stratejileri için elde edilmektedir. En düşük saçılıma sahip stratejiler ise ST3b, ST3c ve ST4c'dir. ZC zemin sınıfı için, üç katlı binanın ilk katında, ST1 ve ST2 için sırası 1.0'in üzerinde olan  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri ST3c ve ST4c için 0.35 civarındadır. Benzer şekilde, beş katlı binada, ötelenme taleplerinin daha yüksek olduğu ikinci katta,  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri ST3b, ST3c ve ST4c için 0.40 civarında iken bu değerleri ST1 ve ST2 için 1.0'in üzerindedir. Diğer binaların ilk iki katı dikkate alındığında,  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri, ST3b, ST3c ve ST4c için 0.45 veya daha düşük iken ST1 ve ST2 için 1.0 veya daha yüksektir.

Şekil 5.27'de ZD zemin sınıfı için betonarme binaların katlarına ait  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri verilmiştir. ST1 ve ST2 stratejileri için daha yüksek saçılım gözlenmesi bu zemin sınıfı için de geçerlidir. Bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumunu gözetken diğer stratejiler için saçılım daha düşüktür. ST3a'dan ST3c'ye, ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri genel olarak daha da düşmektedir. Örneğin, üç katlı binanın ilk iki katında, ST1 ve ST2 için sırası ile 1.00 ve 0.80 civarında olan  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerleri, beş katlı binanın ikinci katında aynı stratejiler için 0.90 civarındadır. Diğer binaların ilk iki katı dikkate alındığında,  $\mu_{CoV(\delta h)}$  değerlerinin, ST3c ve ST4c için 0.30-0.45 arasında değiştiği söylenebilir.



Şekil 5.26: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV}(\delta/h)$  değerleri (ZC)



Şekil 5.27: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV}(\delta/h)$  değerleri (ZD)

## 6. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1 Giriş

Dördüncü bölümde, ivme kaydı setlerine ve ivme kaydı takımı setlerine ait spektral değerlerin saçılımı, her bir sete ait  $CoV(S_a)$  değeri dikkate alınarak incelenmiştir. Ayrıca, bir sete ait ortalama spektrum ile setteki kayıtlara ait bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumu, literatürde bulunan bazı sayısal ölçütler kullanılarak ( $\delta$ ,  $MRE$ ,  $MSE$ ) değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde TSD sistemlerin ve üç boyutlu betonarme binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları incelenmiştir. Bu amaçla, TSD sistemler için maksimum ötelenme taleplerinin ortalaması ve saçılımı ele alınmıştır. Betonarme binalar için maksimum ötelenme (maksimum çatı ötelenmesi) oranı taleplerinin ortalaması ve saçılımı ile beraber maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin ortalaması ve saçılımı ele alınmıştır.

Bu bölümde ise, beş farklı başlıkta istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. İlk olarak, zaman tanım alanında analizler ile elde edilen ötelenme oranı taleplerinin saçılımını temsil eden  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri ile analizlerde kullanılan ivme kaydı veya ivme kaydı takımı setlerine ait spektral değerlerin saçılımlarını temsil eden  $\mu_{CoV(S_a)}$  değerlerinin ilişkisi araştırılmıştır. İkinci olarak, çalışmada ele alınan stratejilere ait ivme setleri ile elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Üçüncü adımda, ötelenme taleplerinin eğiliminin başka bir ölçüsü olan medyan ötelenme talepleri tüm zemin sınıfları ve stratejiler için elde edilmiş ve ortalama ötelenme talepleri ile medyan ötelenme talepleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra, her bir strateji için ötelenme taleplerinin ortalamasına ait %90 güven aralığı belirlenmiştir. Son olarak, farklı stratejiler için elde edilen ötelenme taleplerinin eğilimi ve saçılımının, bu parametrelere bağılı olarak oluşturulan hasar görebilirlik eğrileri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

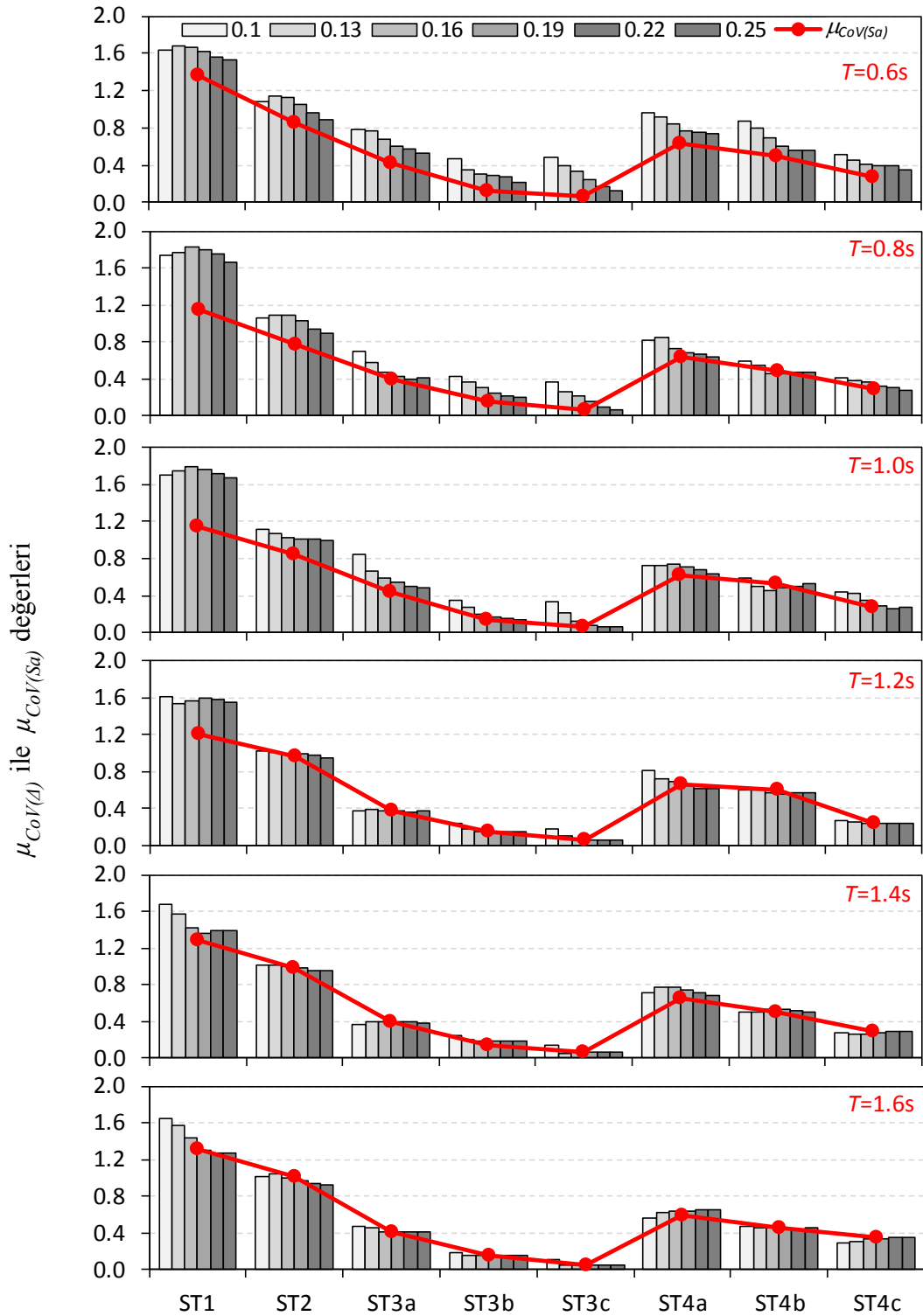
## 6.2 Spektral Değerlerin Saçılımı ile Ötelenme Taleplerinin Saçılımının İlişkisi

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te sırasıyla ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları için, TSD sistemlerin analizinde kullanılan ivme kaydı setlerine ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ile bu setler kullanılarak yapılan analizler ile elde edilen ötelenme talepleri için hesaplanan  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri beraber verilmiştir. Şekil 6.4'te ise üç boyutlu betonarme binalar için kullanılan ivme kaydı takımı setleri dikkate alınarak,  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri ile  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  değerleri beraber verilmiştir. Bu şekilde, spektral değerlerin saçılımdaki değişimin ötelenme taleplerinin saçılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hem  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin hem de  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerlerinin zemin sınıfı, periyot, seçim stratejisi ile ilişkisi daha önceki bölümlere ayrıntılı olarak ele alındığı için burada sadece bu iki saçılım parametresinin ilişkisi değerlendirilmiştir.

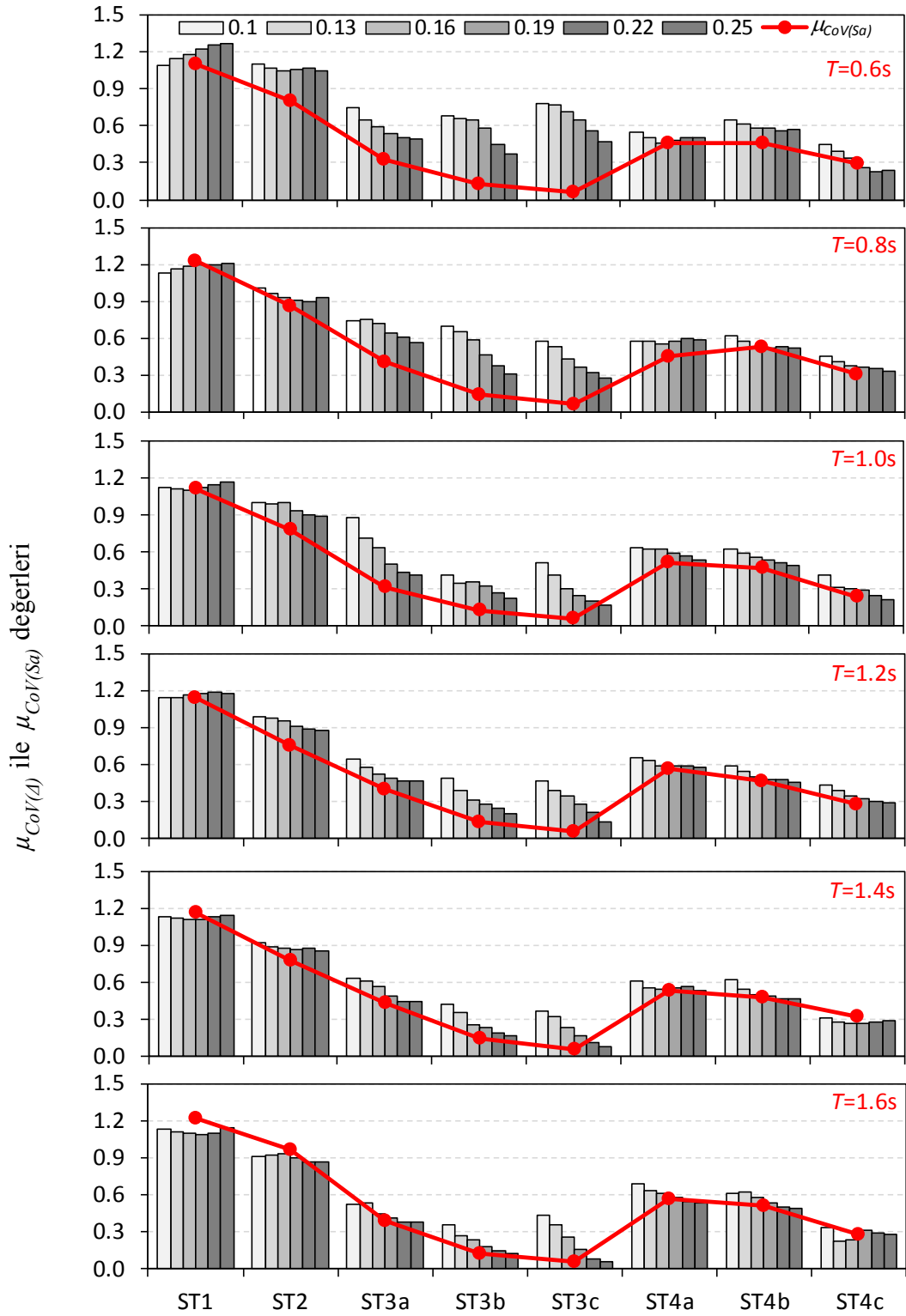
Şekil 6.1'de TSD sistemler ve ZB zemin sınıfı için,  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi verilmiştir. Her bir TSD sistem periyodu için elde edilen setlere ait  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri dairesel noktalar ile temsil edilmiştir. Her bir TSD sistem periyodu ve yatay dayanım oranı için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri ise çubuk grafikler ile ifade edilmiştir. Çünkü ivme seçimi için periyoda bağlı spektral uyum dikkate alındığından, farklı yatay dayanım oranına ancak aynı periyoda sahip TSD sistemlerin analizinde aynı ivme kaydı setleri kullanılmıştır. Şekil 6.1'e göre, spektral değerlerin saçılımı azaldıkça ötelenme taleplerinin saçılımının da azaldığı açık olarak görülmektedir. Bununla ilişkili olarak, en düşük spektral saçılıma sahip stratejiler ST3b, ST3c ve ST4c için ötelenme taleplerinin saçılımı da en düşük düzeydedir. Spektral değerlere ait saçılımın en yüksek olduğu ST1 ve ST2 için ise, ötelenme taleplerine ait saçılımı diğer stratejilere göre daha yüksektir. ST3a'dan ST3c'ye gidildikçe ve ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerleri azaldığı için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  değerleri de azalmaktadır.

Şekil 6.2'de ZC zemin sınıfı için, Şekil 6.3'te ise ZD sınıfı zemin için, TSD sistemlere ait ivme setleri için elde edilen  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi verilmiştir. Şekillere göre, ZC ve ZD sınıfı zemin için de spektral değerlerin saçılımı ile ötelenme taleplerinin saçılımı arasında belirgin bir ilişki bulunduğu açık olarak görülmektedir. Dolayısıyla, bu zemin sınıfları için de, en düşük spektral saçılıma sahip stratejiler ST3b, ST3c ve ST4c için ötelenme taleplerinin saçılımı en düşük, en yüksek

spektral saçılma sahip stratejiler ST1 ve ST2 için ötelenme taleplerinin saçılımı en yüksek düzeydedir.

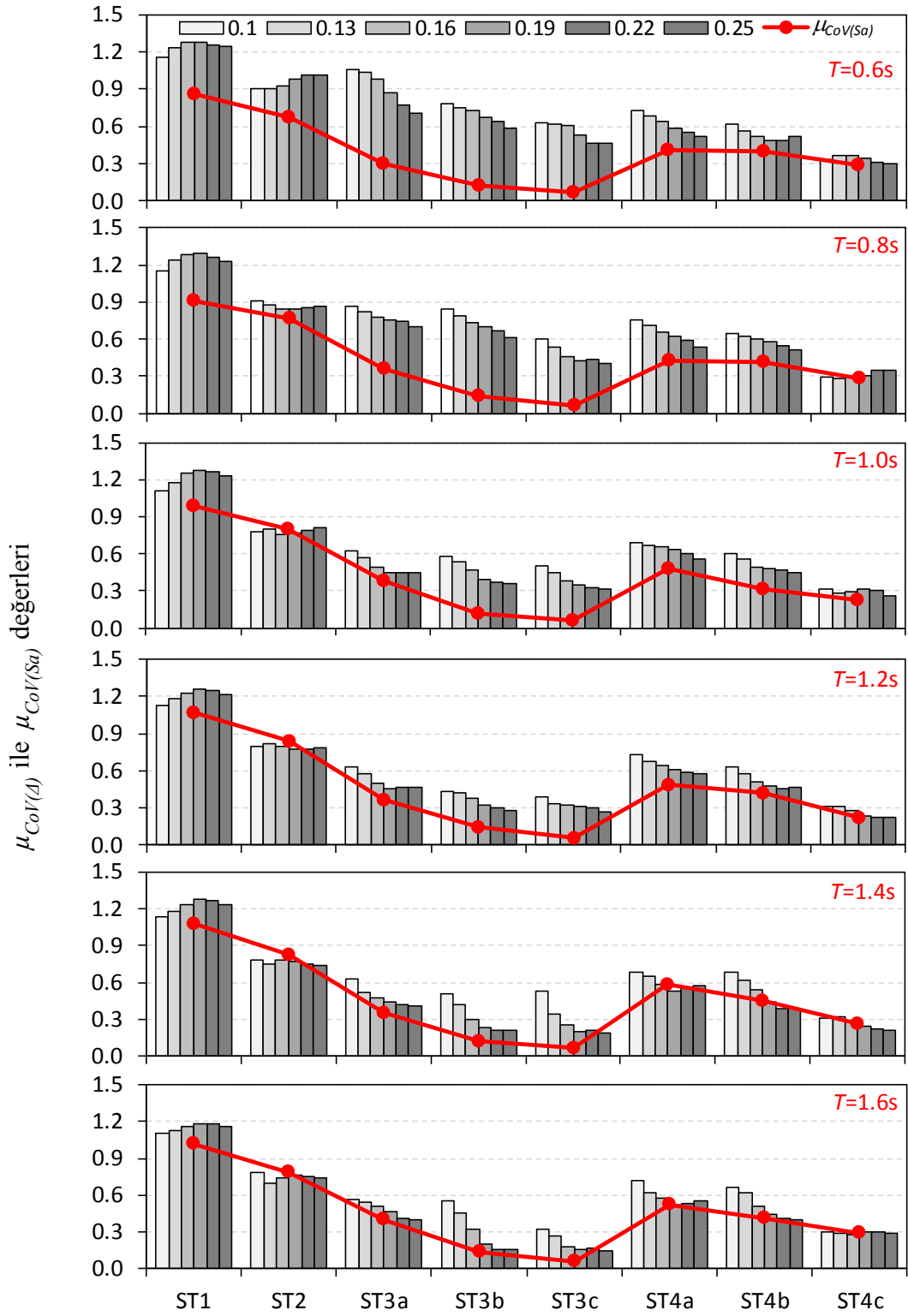


Şekil 6.1: TSD sistemler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi (ZB)



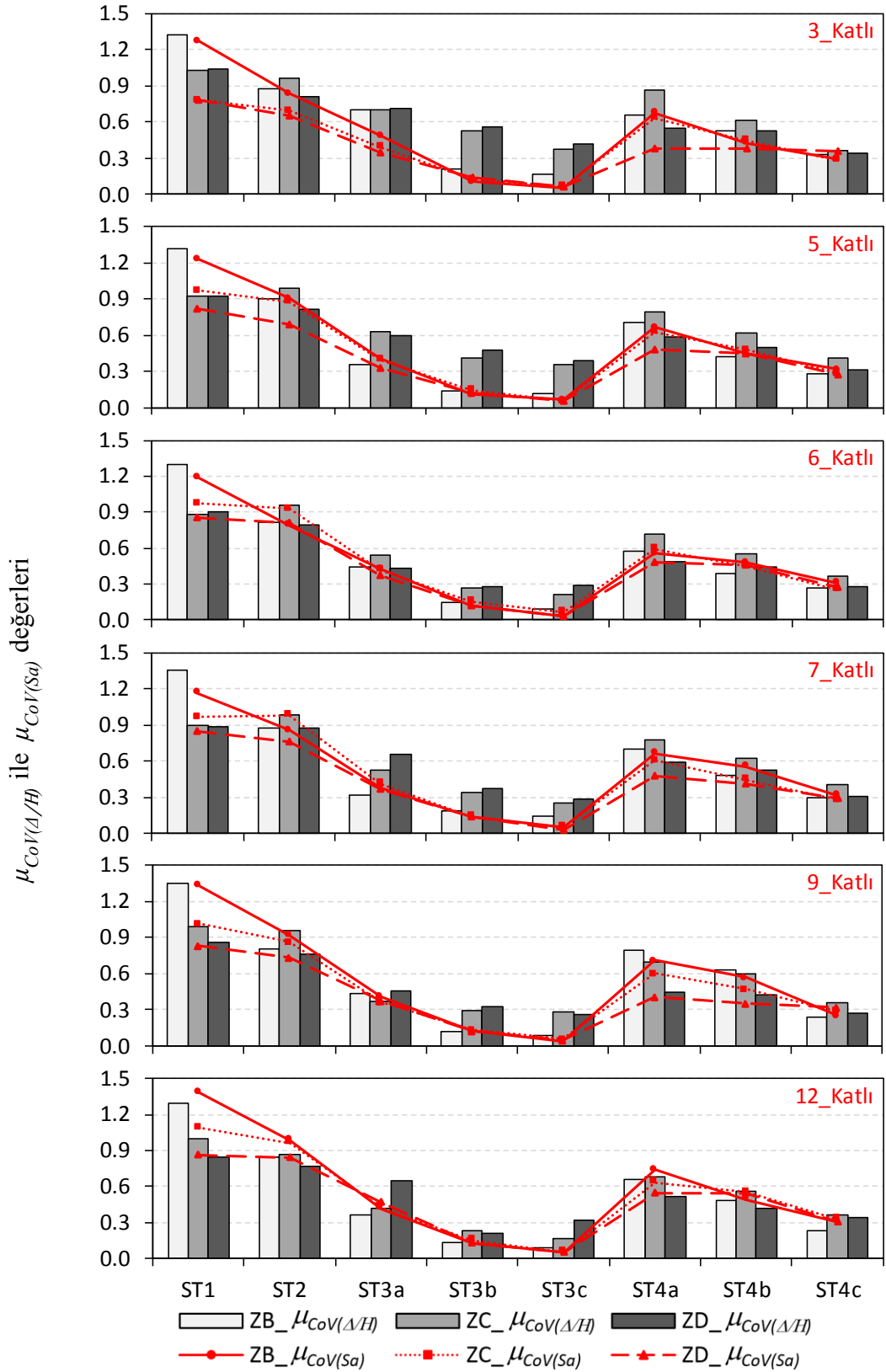
Şekil 6.2: TSD sistemler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi (ZC)

Şekil 6.1 – Şekil 6.3’te verilen sonuçlar, özellikle bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumunun artırılmasına yönelik seçim stratejilerinin, spektral değerlerin saçılımını ve buna bağlı olarak ötelenme taleplerinin saçılımını kontrol etmek için oldukça etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.3: TSD sistemler için  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi (ZD)





Şekil 6.4: Betonarme binalar için  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi

Şekil 6.4'te,  $\mu_{CoV(\Delta)}$  ile  $\mu_{CoV(Sa)}$  değerlerinin ilişkisi, çalışmada ele alınan tüm betonarme binalar, seçim stratejileri ve zemin sınıfları için verilmiştir. Şekil 6.4'te

dairesel noktalar ile spektral ivme değerlerine ait saçılımlar, çubuk grafikler ile ötelenme taleplerine ait saçılımlar temsil edilmektedir. ZB, ZC ve ZD zemin sınıfları, çubuk grafiklerde üç farklı tonda renk ile çizgi grafiklerde ise üç farklı çizgi tipi ile ifade edilmiştir. Farklı zemin sınıfı ve stratejiler için ötelenme taleplerinin ve spektral ivme değerlerinin saçılımının değişimi daha önceki bölümlerde detaylı olarak değerlendirilmiş idi. Şekil 6.4'e göre, en yüksek spektral saçılım ve dolayısıyla en yüksek ötelenme talebi saçılımı ST1'e aittir. Spektral ivme değerlerinin saçılımı azalınca, ötelenme taleplerinin de saçılımının azaldığı görülmektedir. Bu durum tüm betonarme binalar ve zemin sınıfları için geçerlidir. Bu sonuç, üç boyutlu binaların analizinde kullanılacak ivme kaydı takımı setlerinde yer alan bireysel bileşke spektrumların hedef spektrum ile uyumunu öngören seçim stratejileri kullanılarak, spektral değerlerin saçılımının ve buna bağlı olarak ötelenme taleplerinin saçılımının etkin bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermektedir.

### 6.3 Varyans Analizi (ANOVA)

Beşinci bölümde, TSD sistemler ve üç boyutlu betonarme binalar için geçerli olmak üzere, aynı hedef spektrum ile uyumlu olan ve aynı strateji ile elde edilen farklı ivme setlerine ait ortalama ötelenme talebini temsil eden  $m_{(\Delta)}$  (TSD sistemler için) veya  $m_{(\Delta/H)}$  (üç boyutlu betonarme binalar için) taleplerinin birbirinden farklı olabildiği görülmüş idi (Şekil 5.2 ve Şekil 5.11). Bu talepler, TBDY'ye göre, zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanıldığında tasarım ya da performans değerlendirilmesi için dikkate alınması gereken taleplerdir. O halde, TBDY'ye göre dikkate alınması gereken taleplerin, analizlerde kullanılan ivme setine bağlı olarak rastgele değişeceği söylenebilir.

Aynı hedef spektrum ile uyumlu olan ve aynı strateji ile elde edilen ivme setlerine ait  $m_{(\Delta)}$  veya  $m_{(\Delta/H)}$  değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için varyans analizi kullanılmıştır (Gamst ve diğ. 2008). Varyans analizi, iki ya da daha fazla gruba ait ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını test etmek için kullanılmaktadır. Tez kapsamında her bir hedef spektrum ve strateji için dört farklı ivme seti kullanıldığından, setlere ait  $m_{(\Delta)}$  veya  $m_{(\Delta/H)}$  değerleri varyans analizinde kullanılacak gruplar olacaktır.

Varyans analizine elverişli en basit model, gözlemlerin sadece bir değişkenin şıklarına göre gruplara ayrılmış olduğu ve bu gruplarla ilgili ana kitle ortalamaların birbirine eşitliğinin test edildiği modeldir. Bu modelde her bir grup mevcut  $k$  sayıda ana kitleden sadece birine dahil olabilir.  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_k$  olarak belirleyeceğimiz ana kitle ortalamaları ile ilgili testlerde varyans analizi metotlarından yararlanılmaktadır. Burada test edilecek hipotez  $k$  sayıda ana kitle ortalamasının birbirlerine eşit olduğudur (Denklem 6.1).

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k \quad (6.1)$$

Aynı TSD sistem gözetilerek, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen dört farklı sete ait dört farklı  $m_{(\Delta)}$  değerinin, dört farklı ana kitleden alınan rastgele örnekler olduğu varsayılabılır. O halde, eğer varyans analizi sonucunda Denklem 6.1’de ifade edilen hipotez geçerli olursa, dört farklı setin aynı ana kitleden seçilmiş örnekler olduğunun kabulü yani edilen ortalama taleplerin arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 6.1’de, tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi tablosu örnek olarak verilmiştir. Tez çalışması ile uyumlu olarak  $k=4$  set (grup) ve her bir ivme kaydı setinde  $n=11$  veri, toplamda  $N=44$  veri bulunmaktadır.  $X_{ij}$  ivme kaydı setinde bulunan kayıtlar için maksimum ötelenme taleplerini ( $\Delta_{mak}$ ),  $i$  set numarasını,  $j$  ise set içerisindeki veri numarasını göstermektedir. Toplam satırında, her bir ivme seti için  $X_{ij}$  değerlerinin toplamı yer almaktadır.  $T_{++}$  ise, 44 verinin toplamını ifade eder.

Tek yönlü varyans analizi için örnekler içi (set içi) varyansın ( $s_0^2$ ) ve örnekler arası (setler arası) varyansın ( $s_M^2$ ) hesaplanması gerekir (Denklem 6.2 ve 6.3).

$$s_0^2 = \frac{\sum \sum X_{ij}^2 - \sum (T_{i+}^2 / n_i)}{\sum n_i - k} \quad (6.2)$$

$$s_M^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{T_{i+}^2}{n_i} - \frac{T_{++}^2}{N}}{k-1} \quad (6.3)$$

Tablo 6.1: Tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi tablosu

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	
	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$	$X_{41}$	
	$X_{12}$	$X_{22}$	$X_{32}$	$X_{42}$	
	$X_{13}$	$X_{23}$	$X_{33}$	$X_{43}$	
	$X_{14}$	$X_{24}$	$X_{34}$	$X_{44}$	
	$X_{15}$	$X_{25}$	$X_{35}$	$X_{45}$	
	$X_{16}$	$X_{26}$	$X_{36}$	$X_{46}$	
	$X_{17}$	$X_{27}$	$X_{37}$	$X_{47}$	
	$X_{18}$	$X_{28}$	$X_{38}$	$X_{48}$	
	$X_{19}$	$X_{29}$	$X_{39}$	$X_{49}$	
	$X_{110}$	$X_{210}$	$X_{310}$	$X_{410}$	
	$X_{111}$	$X_{211}$	$X_{311}$	$X_{411}$	
Toplam	$T_{1+}$	$T_{2+}$	$T_{3+}$	$T_{4+}$	$T_{++}$

Daha sonra, test için kullanılacak  $F$  değeri, örnekler arası varyansın örnek içi varyansa bölünmesi ile elde edilir (Denklem 6.4).

$$F = \frac{s_M^2}{s_0^2} \quad (6.4)$$

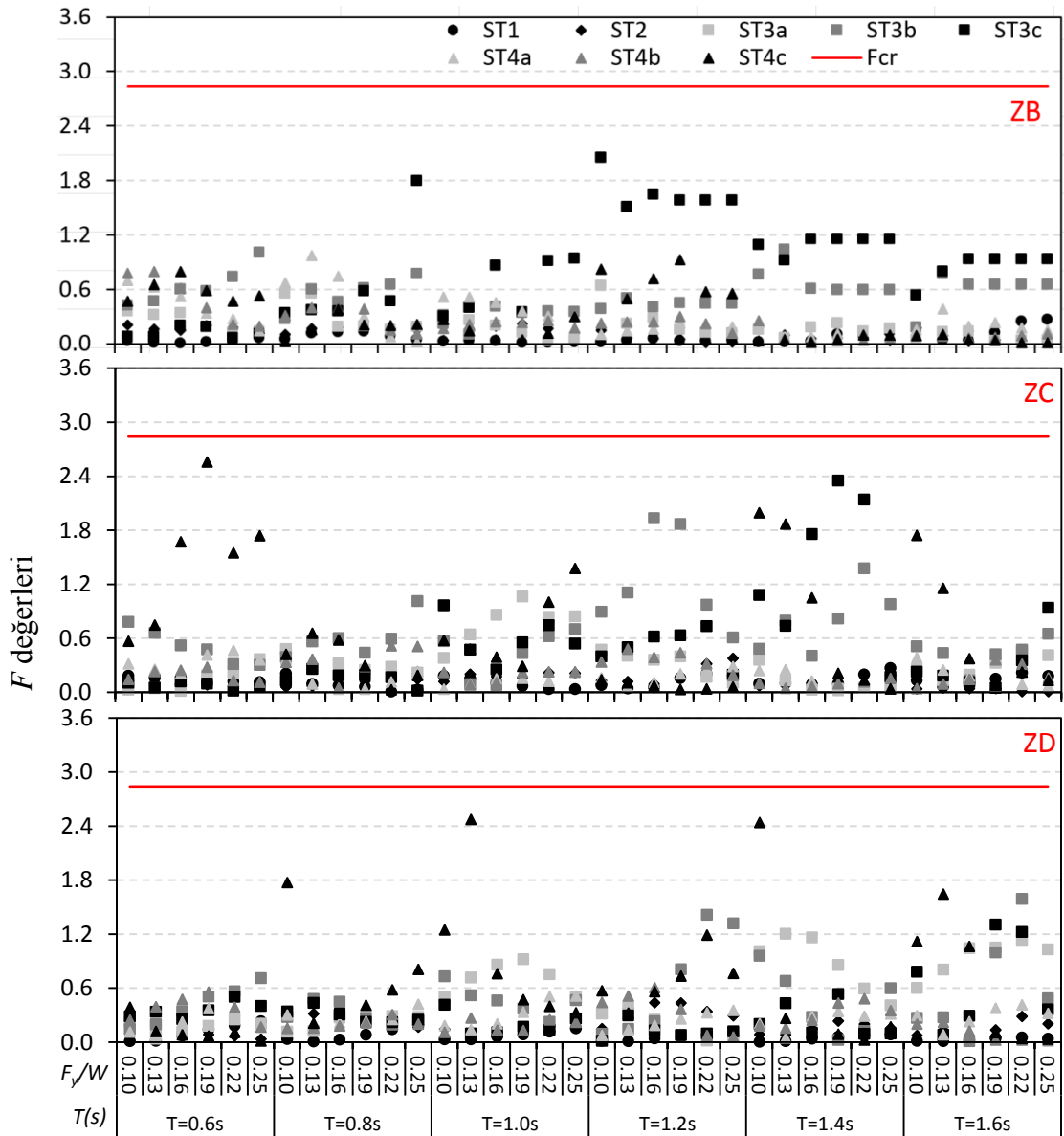
$F$  değeri, Ek A'da verilen  $F$ -dağılımı tablosundan okunan kritik  $F_{cr}$  değeri ile karşılaştırılır.  $F_{cr}$ , örnekler içi ve örnekler arası serbestlik derecesine bağlı olarak ve belirli bir anlamlılık düzeyi için okunur. Ek-A'da yer alan veriler %5 anlamlılık düzeyi için verilmiştir. Eğer  $F$  değeri,  $F_{cr}$  değerinden daha küçük ise hipotez kabul edilir. Yani set ortalamaları arasındaki farkın, %5 anlamlılık düzeyi (yani %95 güven düzeyi) ile istatistiksel olarak anlamlı olmadığı kabul edilir. Tablo 6.3'te varyans analizi hesabına ait parametreler verilmiştir. Örnekler arası serbestlik derecesi  $k-1$ , örnek içi serbestlik derecesi  $N-k$  ile hesaplanmaktadır.

Tablo 6.2: Tek yönlü varyans analizi parametreleri

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans
Örnekler arası	$\sum \frac{T_{i+}^2}{n_i} - \frac{T_{++}^2}{N}$	$k-1$	$s_M^2$
Örnek içi	$\sum \sum X_{ij}^2 - \sum (T_{i+}^2/n_i)$	$N-k$	$s_0^2$
Genel	$\sum \sum X_{ij}^2 - \frac{T_{++}^2}{N}$	$N-1$	

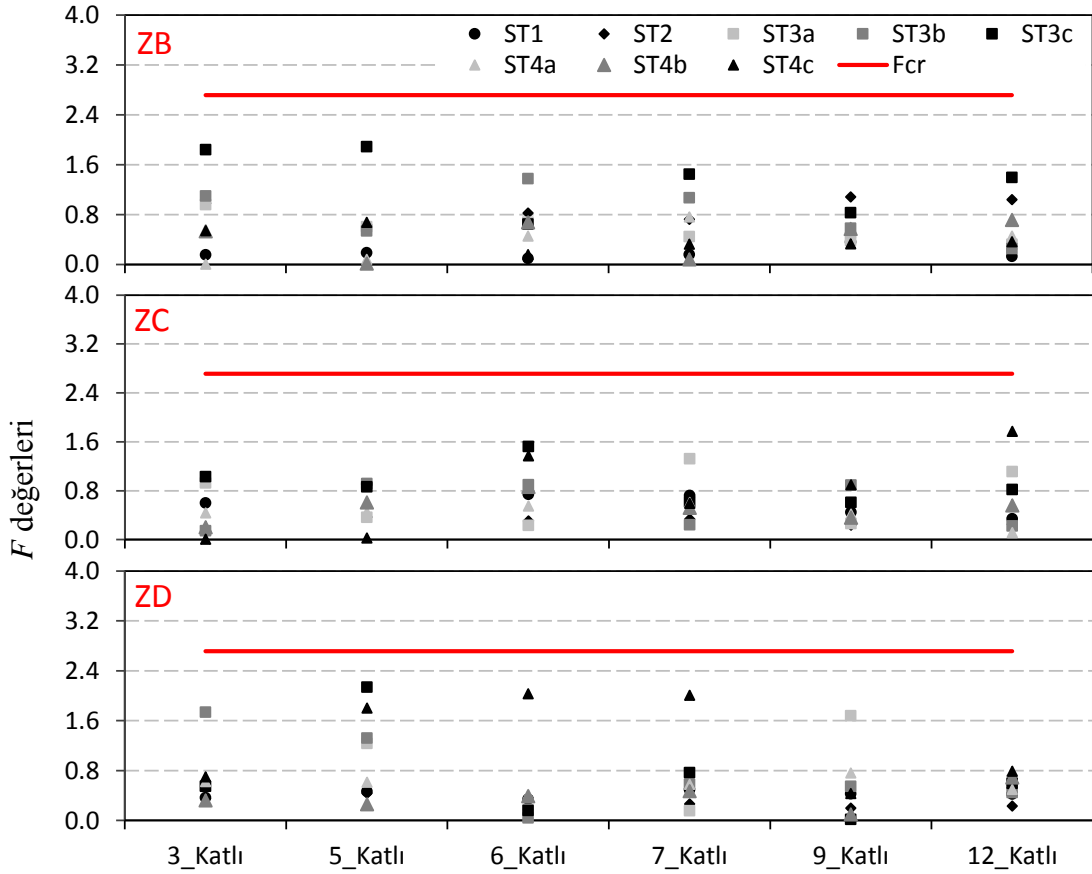
Hem TSD sistemler hem de üç boyutlu binalarda için örnekler arası serbestlik derecesi 3'tür. Örnek içi serbestlik derecesi TSD sistem için  $4 \times 11 - 4 = 40$  iken üç boyutlu binalar için  $4 \times 22 - 4 = 84$ 'tür. Bu değerlere bağlı olarak TSD sistemler için  $F_{cr}$  değeri 2.84 iken üç boyutlu binalar için  $F_{cr}$  değeri ise 2.71 olarak okunmuştur.

Şekil 6.5'te TSD sistemler için varyans analizi sonuçları verilmiştir. 8 farklı strateji, 36 farklı TSD sistem ve 3 farklı zemin sınıfı dikkate alındığından toplamda  $8 \times 36 \times 3 = 864$  adet varyans analizi yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi tüm zemin sınıfları, TSD sistemler ve stratejiler için  $F$  değerleri (toplam 864 farklı  $F$  değeri),  $F_{cr}$  değerinden daha düşüktür. Yani Denklem 1 ile verilen hipotez geçerlidir.



Şekil 6.5: TSD sistemler için varyans analizi sonuçları

Şekil 6.5'te verilen sonuçlar, %5 anlamlılık düzeyi ile aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen farklı setlerden elde edilen ötelenme talepleri  $m_{(\Delta)}$  arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, dört farklı  $m_{(\Delta)}$  değerinin aynı ana kitleden rastgele seçilmiş örnekler olduğunu belirtmektedir.



Şekil 6.6: Betonarme binalar için varyans analizi sonuçları

Şekil 6.6'da üç boyutlu betonarme binalar için ANOVA sonuçları verilmiştir. 8 farklı strateji, 6 farklı bina ve 3 farklı zemin sınıfı dikkate alındığından toplamda  $8 \times 6 \times 3 = 144$  adet varyans analizi yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi tüm zemin sınıfları, binalar ve stratejiler için  $F$  değerleri,  $F_{cr}$  değerinden daha düşüktür. Yani Denklem 1 ile verilen hipotez, betonarme binalar için elde edilen ötelenme oranı talepleri açısından da geçerlidir. Dolayısıyla, %5 anlamlılık düzeyi ile aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen farklı setlerden elde edilen ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, dört farklı  $m_{(\Delta/H)}$  değerinin aynı ana kitleden rastgele seçilmiş örnekler olduğu söylenebilir.

#### 6.4 Ortalama ve Medyan Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması

Rastgele değişkenlerin merkezi eğiliminin belirlenmesi amacıyla bazen ortalama bazen de medyan (ortanca) kullanılmaktadır. Bir sette yer alan kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin sete ait ortalaması, beşinci bölümde ele alınmış idi. Bu kısımda, ötelenme taleplerinin sete ait medyan değerleri de hesaplanmış ve ortalama ve medyan değerleri karşılaştırılmıştır.

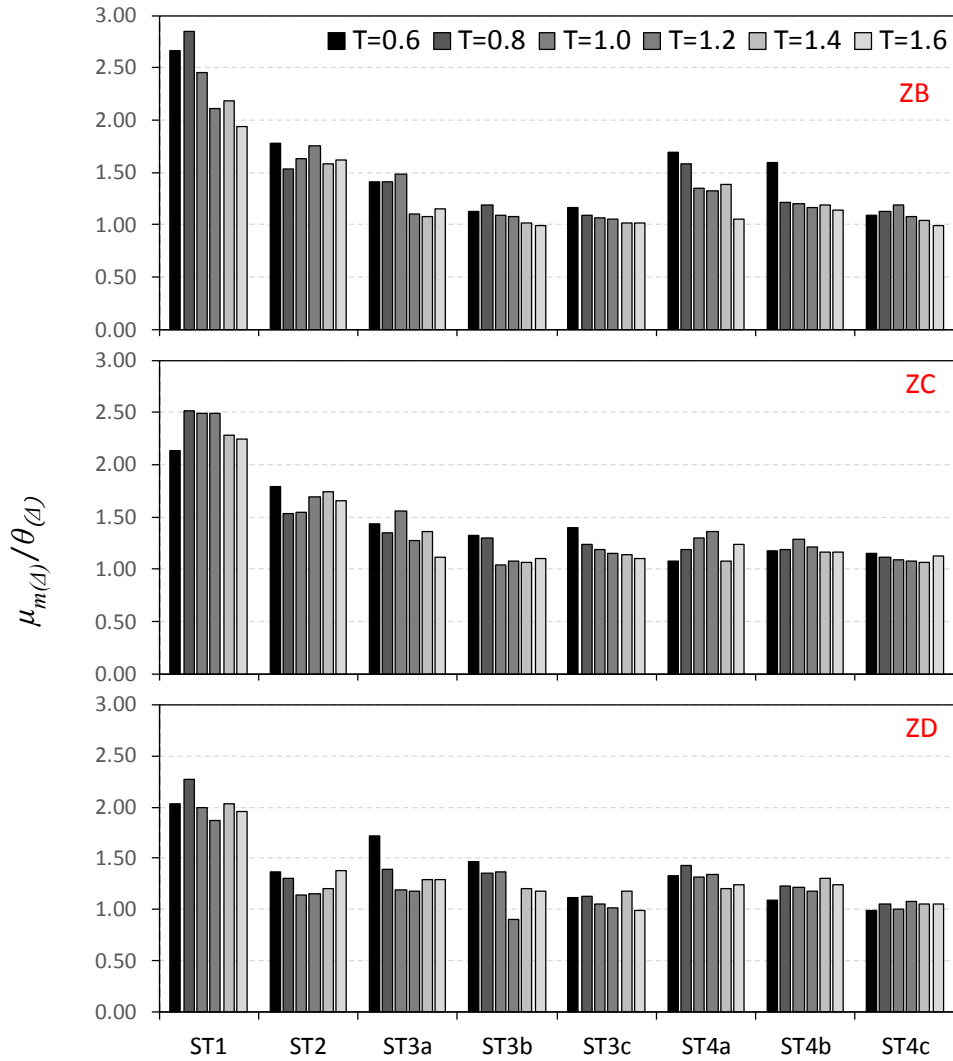
Bilindiği gibi medyan büyüklüklerine göre sıralanmış verilerin merkezi değerine denir. Tek veri gruplarında verilerin yarısı kendinden küçük diğer yarısı kendinden büyüktür. Veri grubunun uç değerlerinden etkilenmemesi medyanın önemli bir özelliğidir. Medyan ötelenme talepleri yapısal performans değerlendirmesinde kullanılan parametrelerinden biridir (Lin ve Miranda 2010; García 2010; Fema P58 2018; Rad ve MacRae 2019; Quinde ve diğ. 2020).

Beşinci bölümde, TSD sistemler için her bir ivme kaydı setine ait  $m_{(\Delta)}$  değeri hesaplanmış, aynı spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen dört sete ait  $m_{(\Delta)}$  değerlerinin ortalaması  $\mu_{m(\Delta)}$  belirlenmiş idi.

Bölüm 6.3’de elde edilen sonuçlara göre aynı stratejiye ait farklı setlerden elde edilen ötelenme talepleri  $m_{(\Delta)}$  arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, dört farklı  $m_{(\Delta)}$  değerinin aynı ana kitleden rastgele seçilmiş örnekler olduğu elde edilmişti. Bu yüzden  $11 \times 4 = 44$  adet maksimum ötelenme taleplerine ait medyan değerleri  $\theta_{(\Delta)}$  hesaplanmıştır. Ortalama ve medyan değerlerinin karşılaştırılması için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı kullanılmıştır. Aynı şekilde üç boyutlu betonarme binalar için medyan ötelenme  $\theta_{(\Delta/H)}$  talepleri elde edilmiştir.

Şekil 6.7’de TSD sistemlerde en düşük yatay dayanım oranı  $F_y/W=0.10$  için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı tüm periyot değerleri ve zemin sınıfları dikkate alınarak verilmiştir. Her bir farklı periyot değeri, çubuk grafikler ile temsil edilmiştir. Görüldüğü gibi, genel olarak ortalama ötelenme talepleri medyan ötelenme taleplerinden daha büyüktür. ST1 için bu oranın 2.0 veya daha fazla olduğu söylenebilir. ST2 açısından değerlendirildiğinde, ZB ve ZC için 1.50 civarında, ZD için 1.25 civarında  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı söz konusudur. ST3a’dan ST3c’ye, ST4a’dan ST4c’ye gidildikçe

ortalamanın medyana oranı daha da düşmektedir. ST3c ve ST4c stratejileri için bu oran 1.0'e yaklaşmaktadır. ST4c için ilgili oranın periyottan veya zemin sınıfından etkilenmediği söylenebilir. ST3c için de periyodun ve zemin sınıfının ilgili orana etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Özetle, bireysel spektrumun hedef spektruma uyumunu gözetilen stratejilerin, ötelenme taleplerinin sete ait ortalaması ve medyayı açısından birbirine yakın değerler elde edilmesine olanak sağladığı söylenebilir. Bu sonuç tüm zemin sınıfları için geçerlidir.

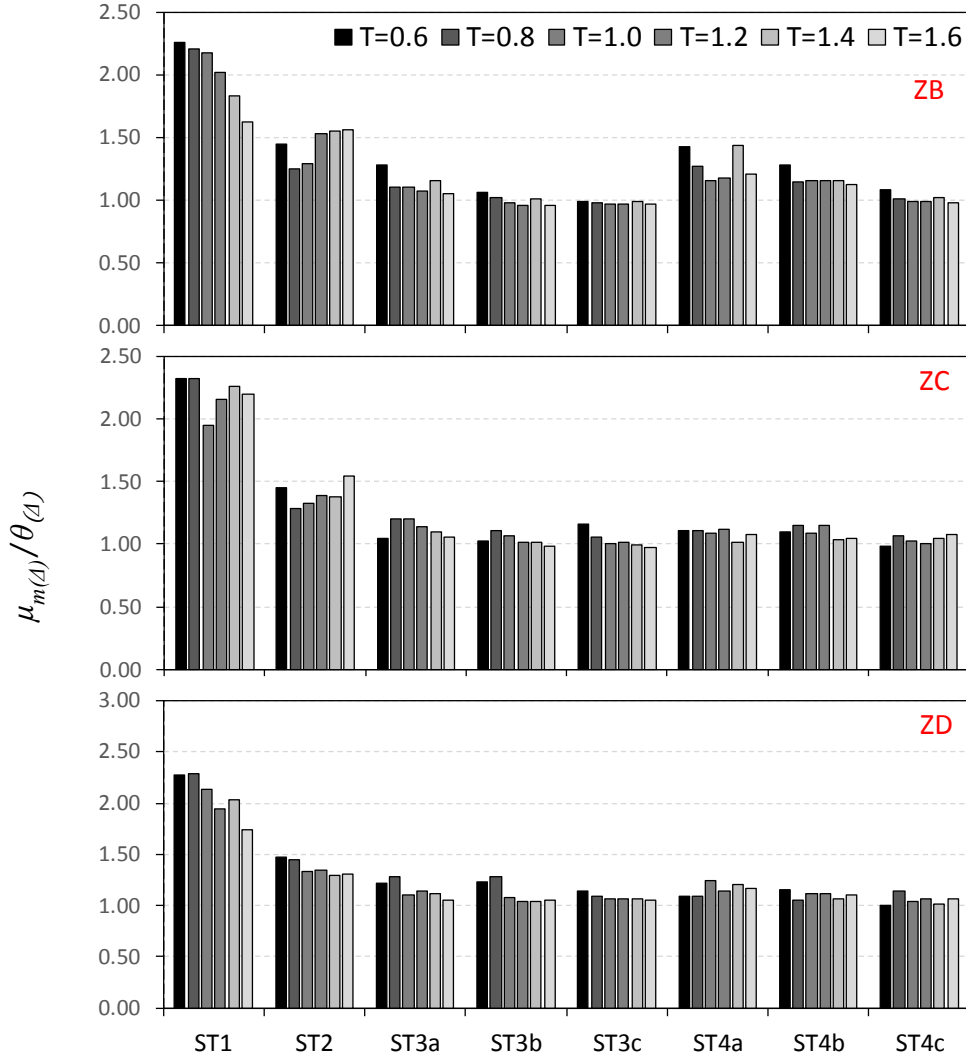


Şekil 6.7: TSD sistemlerde  $F_y/W=0.10$  için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı

Şekil 6.8'de TSD sistemlerde en yüksek yatay dayanım oranı  $F_y/W=0.25$  için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı tüm periyot değerleri ve zemin sınıfları dikkate alınarak verilmiştir. Görüldüğü gibi, bu zemin sınıfı içinde ST1 ve ST2 stratejilerine ait  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranları daha yüksektir. ST1 için bu oran zemin sınıfı ve periyoda bağlı olarak değişse de



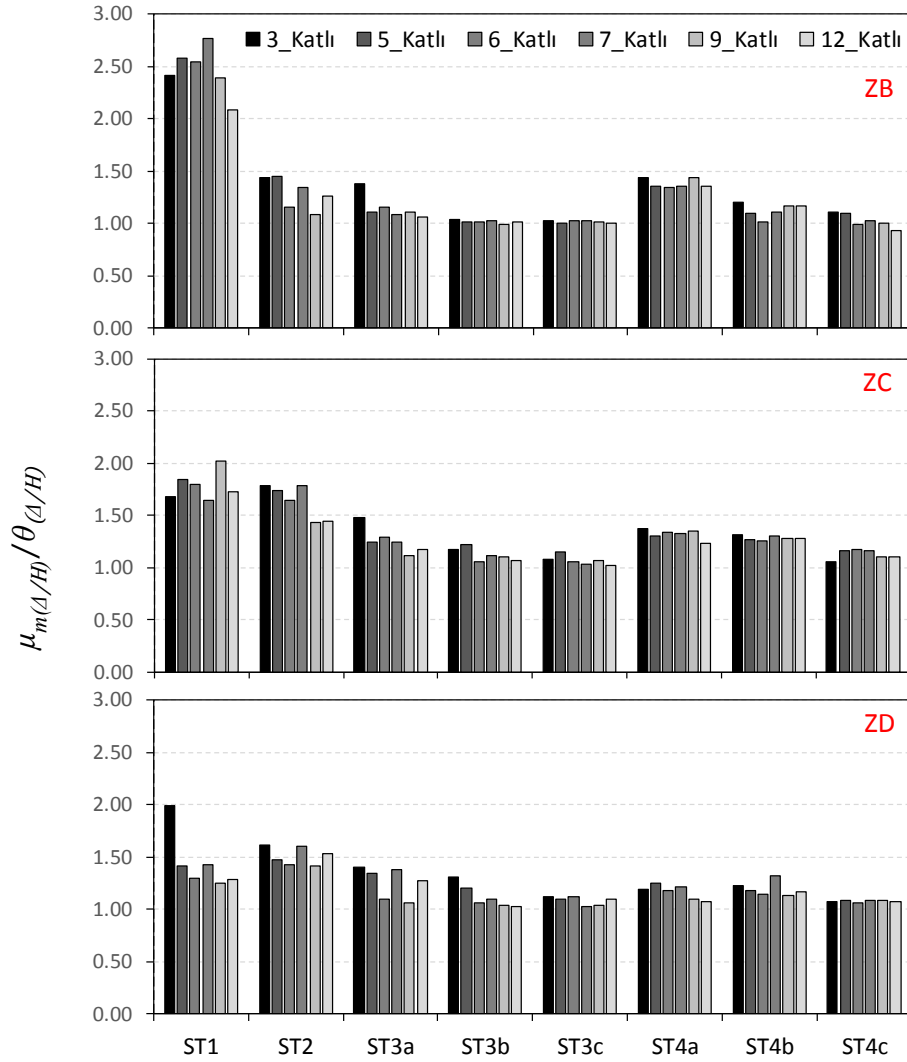
1.60'nın altına hiç düşmemekte bazı periyot değerleri için 2.00'nin üzerine çıkmaktadır. ST2 için de genel olarak 1.25 ve üzerinde değerler gözlenmektedir. Öte yandan ST3b, ST3c ve ST4c stratejileri için 1.0'e oldukça yakın değerler söz konusudur. Bu durum tüm zemin sınıfları ve periyot değerleri için geçerlidir.



Şekil 6.8: TSD sistemlerde  $F_y/W=0.25$  için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta)}$  oranı

Şekil 6.9'da betonarme binalar için setlere ait  $\mu_{m(\Delta/H)}/\theta_{(\Delta/H)}$  oranı verilmiştir. Betonarme binalar için, ortalama ötelenme talepleri medyan ötelenme taleplerinden daha büyüktür. ST1 için  $\mu_{m(\Delta/H)}/\theta_{(\Delta/H)}$  oranı, diğer stratejilere göre daha yüksektir. Özellikle ST3c ve ST4c için, zemin sınıfından ve betonarme binanın kat sayısından bağımsız olarak 1.0'e yakın  $\mu_{m(\Delta/H)}/\theta_{(\Delta/H)}$  oranları gözlenmektedir. Üç boyutlu betonarme binaların zaman tanım alanında analiz sonuçları için de, bireysel spektrumun hedef spektruma uyumunu gözetilen stratejilerin, ötelenme taleplerinin sete

ait ortalaması ve medyanı açısından birbirine yakın değerler elde edilmesine olanak sağladığı söylenebilir. Bu sonuç, tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



Şekil 6.9: Betonarme binalar için  $\mu_{m(\Delta)}/\theta_{(\Delta/H)}$  oranı

## 6.5 Ötelenme Taleplerinin Ortalaması için Güven Aralığı

Varyans analizi sonuçlarına göre, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilmiş farklı ivme kaydı setleri kullanılarak elde edilen ortalama ötelenme taleplerinin aynı popülasyondan rastgele seçilmiş örnekler olduğu hipotezinin %5 anlamlılık düzeyi ile geçerli olduğu belirlenmiş idi. Bir popülasyonun tamamını gözlemlemek mümkün değilse de, bu popülasyondan rastgele örnekler alınarak popülasyonun dağılımı ile ilgili istatistikler hakkında değerlendirme yapılabilir.

İstatistik, seçilen örneklere bağlı olarak rastgele bir değişken olup bir olasılık dağılımına sahip olmalıdır. Olasılık dağılımının iki önemli parametresi ise örneklem ortalaması ( $m$ ) ve örnekleme ait varyanstır ( $s^2$ ). Ortalamanın örneklem dağılımı ortalamasının olasılık dağılımıdır ve örneklem ortalamalarının popülasyon ortalaması etrafındaki saçılımını temsil etmektedir.

Örneklem dağılımı popülasyon ortalaması ( $\mu$ ) için güven aralığı tahmin etmek için de kullanılabilir. Aralık tahmini  $A \leq \mu \leq U$  şeklindedir. Formüldeki  $A$  alt sınır ve  $U$  üst sınır, farklı örneklemlerin değerlerine bağlı olarak değişebilir. Güven aralığı ise, örnek ortalamasının örneklem dağılımından Denklem 6.5’de verilen olasılık ifadesi ile belirlenebilir.

$$P(A \leq \mu \leq U) = (1 - \alpha) \quad 0 < \alpha < 1 \quad (6.5)$$

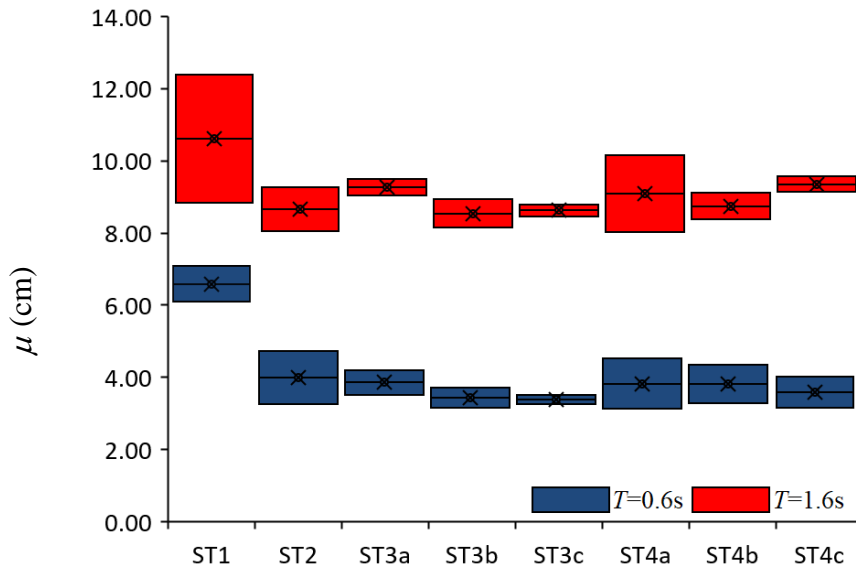
Örneklem büyüklüğü küçük olduğunda güven aralığı hesabında popülasyonun ortalaması için Student- $t$  dağılımı kullanılmaktadır (Denklem 6.6). Denklem 6.6’da  $s$  standart sapmayı,  $n$  örneklem büyüklüğünü ve  $\alpha$  ise anlamlılık düzeyini belirtmektedir ( $1 - \alpha$  güven düzeyini gösterir). Denklemde  $m$  ise örneklem ortalamasını göstermektedir.

$$m - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq m + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6.6)$$

Denklem 6.6’daki  $s / \sqrt{n}$  örnek ortalamasının standart hatasını göstermektedir. Ortalamanın standart hatası, popülasyon ortalamasını tahmininin ne kadar doğru olabileceğinin de göstergesidir. Bu değer küçük olması güven aralığının daha küçük olmasına, büyük olması ise güven aralığının daha büyük olmasına neden olmaktadır. Yani aynı güven düzeyi için, saçılım yüksek ise güven aralığı büyür. Pratikte %90 veya %95 güven düzeyi kullanılmaktadır. Tez çalışmasında %90 güven düzeyi kullanılmıştır ( $\alpha=0.10$ ).

### 6.5.1 TSD Sistemler İçin Ortalamanın Güven Aralığı

TSD sistemler için Şekil 6.10'da  $T=0.6s$  ve  $T=1.6s$  ile  $F_y/W=0.19$  olan TSD sistem için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalamanın %90 güven aralıkları örnek olarak verilmiştir. Kutu grafikte alt çizgi güven aralığına ait alt sınırı gösterirken üst çizgi ise üst sınırı göstermektedir. Ortadaki çizgi örneklem ortalamasını yani ( $\mu$ ) değerini göstermektedir. Periyodun iki farklı değeri için örneklem ortalaması değişmektedir. Diğer yandan, ST1 stratejisi için güven aralığı diğer stratejilere göre daha geniştir. Çünkü bu strateji için ötelenme taleplerinin saçılımı daha yüksektir. Bu durum her iki periyot değeri içinde geçerlidir. Örneğin, ST1 stratejisi için  $T=0.6s$  olduğunda alt sınır 6.07cm iken üst sınır 7.08cm olarak elde edilmiştir. Ötelenme taleplerine ait saçılımın daha düşük olduğu stratejiler için güven aralığı da daha düşüktür. Örneğin, ST3c stratejisi için  $T=0.6s$  olduğunda alt ve üst sınır sırasıyla 3.23cm ve 3.49cm bulunmuştur.



Şekil 6.10: TSD sistemler için ötelenme taleplerine ait güven aralığı örnekleri (ZB)

Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te,  $T=0.6s$  olan TSD sistemler için ortalama ötelenme taleplerine ait örneklem ortalaması ile %90 güven aralıklarının alt ve üst sınırları olarak verilmiştir. Tablo 6.3'te  $F_y/W$  oranı 0.10, 0.13 ve 0.16, Tablo 6.4'te ise  $F_y/W$  oranı 0.19, 0.22 ve 0.25 olan TSD sistemlere ait sonuçlar yer almaktadır. Tablolarda, zemin sınıfı ZB'den ZD'ye geçtikçe örneklem ortalamasının arttığı görülebilmektedir. Örneğin  $T=0.6s$  ve  $F_y/W=0.10$  olan TSD sistem ele alındığında, ST1'e ait örneklem ortalaması ZB, ZC ve ZD için sırası ile 8.14cm, 13.79cm ve

23.00cm bulunmuştur. ST1 dışındaki stratejiler için örneklem ortalaması değerleri birbirine yakındır.  $T=0.6s$  ve  $F_y/W=0.10$  olan TSD sistem ele alındığında, ST1 dışındaki stratejilere ait örneklem ortalaması ZC için, 10.60cm, 10.32cm, 11.09cm, 10.81cm, 9.00cm, 9.72cm ve 9.15cm'dir.

Tablo 6.3:  $T=0.6s$  olan TSD sistem için ötelenme taleplerine ait güven aralıkları (İlk kısım)

Zemin Sınıfı	Stratejiler	0.10			0.13			0.16		
		$\mu$	A	U	$\mu$	A	U	$\mu$	A	U
ZB	ST1	8.14	7.32	8.96	7.74	7.20	8.28	7.10	6.83	7.37
	ST2	5.35	4.37	6.34	4.86	4.01	5.72	4.36	3.63	5.09
	ST3a	4.61	3.81	5.40	4.35	3.65	5.04	4.01	3.43	4.60
	ST3b	3.99	3.50	4.48	3.71	3.39	4.03	3.56	3.25	3.87
	ST3c	4.35	4.15	4.55	3.97	3.81	4.12	3.61	3.42	3.80
	ST4a	5.49	3.54	7.45	4.65	3.17	6.13	4.09	3.02	5.16
	ST4b	4.88	3.33	6.44	4.37	3.08	5.67	4.06	3.18	4.95
	ST4c	3.94	3.39	4.48	3.84	3.26	4.42	3.65	3.10	4.21
ZC	ST1	13.79	11.46	16.12	13.40	11.19	15.60	13.26	11.67	14.85
	ST2	10.60	8.98	12.22	9.41	7.60	11.22	8.89	7.37	10.40
	ST3a	10.32	9.86	10.77	9.60	9.13	10.07	8.80	8.57	9.02
	ST3b	11.09	8.62	13.57	10.03	8.05	12.02	9.02	7.48	10.55
	ST3c	10.81	9.82	11.79	9.86	9.24	10.49	9.05	8.25	9.85
	ST4a	9.00	8.00	10.01	8.47	7.71	9.23	7.85	7.25	8.44
	ST4b	9.72	8.87	10.57	8.92	7.97	9.86	8.28	7.36	9.20
	ST4c	9.15	8.06	10.24	8.36	7.36	9.35	7.66	6.46	8.85
ZD	ST1	23.00	22.00	24.01	21.91	20.84	22.98	21.01	18.44	23.59
	ST2	14.70	12.51	16.90	14.22	12.20	16.24	13.46	11.93	14.98
	ST3a	17.02	13.66	20.39	14.77	13.19	16.35	13.04	11.46	14.62
	ST3b	17.19	15.30	19.09	15.47	13.52	17.42	14.40	11.98	16.83
	ST3c	15.62	13.70	17.54	13.67	11.89	15.46	12.34	10.95	13.73
	ST4a	16.08	14.67	17.48	14.59	13.90	15.29	13.28	11.74	14.82
	ST4b	15.86	14.04	17.68	14.56	12.65	16.48	12.97	11.27	14.68
	ST4c	14.17	13.14	15.20	11.55	11.03	12.07	10.49	10.10	10.87

ST3 ve ST4 stratejileri, ötelenme taleplerine ait saçılımın düşük olduğu stratejiler idi. Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 beraber incelendiğinde, bu stratejiler için güven aralığının da daha dar olduğu görülebilir.

## 6.5.2 Betonarme Binalar İçin Ortalamanın Güven Aralığı

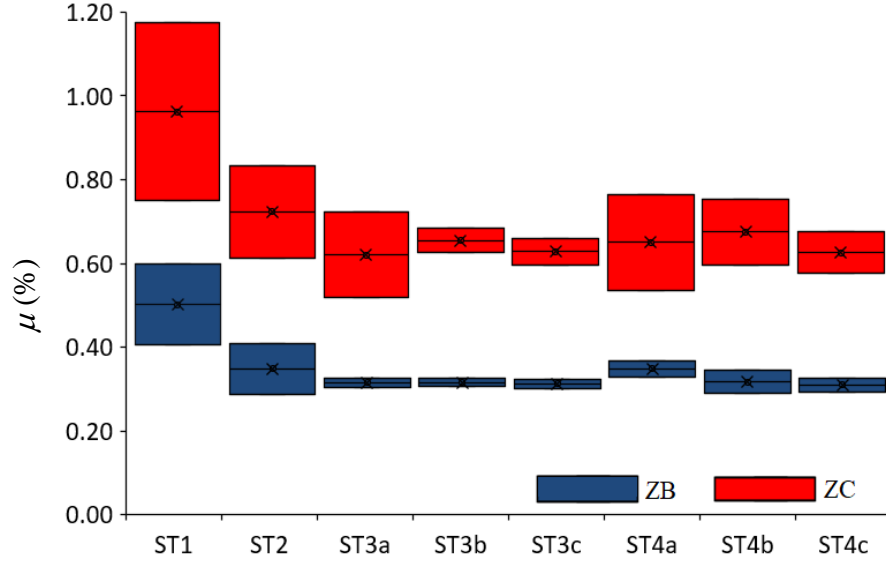
Şekil 6.11'de 7 katlı bina için maksimum ötelenme oranı taleplerine ait ortalamanın %90 güven aralıkları, ZB ve ZC için örnek olarak verilmiştir. Zemin sınıfı değişince, örneklem ortalaması da değişmektedir. Her bir zemin sınıfı için, ST1 stratejisine ait güven aralığı diğer stratejilere göre daha geniştir. Örneğin, ST1 stratejisi

ve ZB sınıfı zemin için güven aralığının alt sınırı %0.40 iken üst sınır %0.60'tır. Ötelenme taleplerine ait saçılımın daha düşük olduğu stratejiler için güven aralığı da daha dardır. Örneğin, ZB sınıfı zemin için ST4c stratejisine ait güven aralığının alt ve üst sınırı %0.29 ve %0.32'dir.

Tablo 6.4:  $T=0.6s$  olan TSD sistem için ötelenme taleplerine ait güven aralıkları (İkinci kısım)

Zemin Sınıfı	Stratejiler	0.19			0.22			0.25		
		$\mu$	A	U	$\mu$	A	U	$\mu$	A	U
ZB	ST1	6.57	6.07	7.08	6.05	5.28	6.83	5.75	4.87	6.62
	ST2	3.95	3.21	4.70	3.64	3.05	4.24	3.49	3.08	3.89
	ST3a	3.83	3.48	4.18	3.71	3.45	3.97	3.64	3.39	3.89
	ST3b	3.40	3.11	3.68	3.33	3.04	3.62	3.33	3.06	3.60
	ST3c	3.36	3.23	3.49	3.16	3.11	3.21	3.19	3.14	3.23
	ST4a	3.79	3.09	4.49	3.70	3.11	4.29	3.67	3.28	4.05
	ST4b	3.77	3.24	4.31	3.59	3.26	3.93	3.56	3.24	3.87
	ST4c	3.55	3.11	3.99	3.45	3.08	3.83	3.36	3.02	3.70
ZC	ST1	13.04	11.20	14.87	12.90	10.93	14.86	12.63	10.74	14.53
	ST2	8.48	7.44	9.53	8.06	7.15	8.97	7.96	7.06	8.86
	ST3a	7.99	7.32	8.65	7.49	6.85	8.12	7.16	6.38	7.94
	ST3b	8.16	6.96	9.37	7.36	6.67	8.04	6.73	6.23	7.24
	ST3c	8.59	7.97	9.20	7.95	7.73	8.16	7.46	7.14	7.78
	ST4a	7.50	6.66	8.34	7.23	6.32	8.15	6.86	6.10	7.62
	ST4b	7.69	6.78	8.60	7.31	6.77	7.86	7.13	6.64	7.62
	ST4c	7.09	5.79	8.39	6.53	5.18	7.87	6.28	5.03	7.52
ZD	ST1	19.90	16.41	23.40	18.92	15.07	22.77	18.30	14.10	22.51
	ST2	12.50	11.22	13.78	11.72	10.62	12.82	11.21	10.46	11.95
	ST3a	11.77	10.11	13.43	10.73	9.13	12.33	10.18	8.94	11.42
	ST3b	13.40	10.79	16.01	12.35	9.95	14.76	11.70	9.31	14.09
	ST3c	11.32	9.99	12.65	10.49	9.13	11.85	10.04	8.89	11.20
	ST4a	12.00	10.33	13.67	10.73	9.40	12.06	9.86	8.98	10.74
	ST4b	11.96	10.35	13.57	11.23	9.96	12.49	10.71	9.88	11.53
	ST4c	10.06	9.73	10.38	9.87	9.49	10.24	9.52	9.39	9.65

Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da, betonarme binalar için ortalama ötelenme oranı taleplerine ait örneklem ortalaması ile %90 güven aralıklarının alt ve üst sınırları (%) olarak verilmiştir. Tablo 6.5'te 3, 5 ve 6 katlı binalara, Tablo 6.6'da ise 7, 9 ve 12 katlı binalara ait sonuçlar yer almaktadır.



Şekil 6.11: Betonarme binalar için ötelenme oranı taleplerine ait güven aralığı örnekleri

Tablo 6.5: Betonarme binalarda ötelenme oranı taleplerine ait güven aralıkları (İlk kısım)

Zemin Sınıfı	Stratejiler	3 katlı			5 katlı			6 katlı		
		$\mu$	A	U	$\mu$	A	U	$\mu$	A	U
ZB	ST1	0.61	0.46	0.77	0.59	0.46	0.72	0.56	0.48	0.65
	ST2	0.38	0.32	0.44	0.39	0.30	0.48	0.42	0.39	0.45
	ST3a	0.39	0.34	0.45	0.35	0.33	0.36	0.43	0.42	0.44
	ST3b	0.34	0.32	0.36	0.35	0.34	0.36	0.41	0.40	0.43
	ST3c	0.33	0.32	0.33	0.33	0.32	0.35	0.40	0.39	0.42
	ST4a	0.36	0.33	0.40	0.38	0.35	0.41	0.43	0.38	0.47
	ST4b	0.34	0.32	0.37	0.35	0.32	0.38	0.40	0.38	0.42
	ST4c	0.35	0.34	0.36	0.35	0.32	0.37	0.41	0.39	0.43
ZC	ST1	1.22	0.97	1.48	1.10	0.82	1.39	1.11	0.87	1.35
	ST2	0.83	0.75	0.90	0.81	0.68	0.94	0.87	0.75	1.00
	ST3a	0.79	0.65	0.94	0.78	0.70	0.86	0.79	0.73	0.84
	ST3b	0.74	0.70	0.78	0.68	0.61	0.75	0.69	0.65	0.74
	ST3c	0.70	0.63	0.78	0.68	0.62	0.74	0.72	0.67	0.77
	ST4a	0.74	0.62	0.86	0.73	0.62	0.84	0.78	0.66	0.91
	ST4b	0.72	0.67	0.77	0.72	0.63	0.81	0.82	0.71	0.93
	ST4c	0.69	0.68	0.69	0.67	0.66	0.68	0.78	0.70	0.87
ZD	ST1	1.94	1.61	2.27	1.66	1.36	1.95	1.57	1.34	1.80
	ST2	1.09	0.95	1.22	1.04	0.89	1.20	1.07	0.97	1.17
	ST3a	1.01	0.86	1.15	1.08	0.87	1.28	1.05	1.00	1.10
	ST3b	0.99	0.79	1.19	1.02	0.85	1.19	0.99	0.98	1.01
	ST3c	0.99	0.91	1.07	0.95	0.81	1.09	0.96	0.93	0.99
	ST4a	0.98	0.88	1.09	0.95	0.83	1.06	1.01	0.92	1.10
	ST4b	0.92	0.84	0.99	0.90	0.84	0.95	0.94	0.87	1.01
	ST4c	0.86	0.80	0.93	0.86	0.76	0.96	0.96	0.85	1.07

Tablo 6.4 ve Tablo 6.5'te de, zemin sınıfı ZB'den ZD'ye geçtikçe örneklem ortalamasının arttığı görülebilmektedir. Örneğin 3 katlı bina için, ST1'e ait örneklem

ortalaması ZB, ZC ve ZD için sırası ile %0.61, %1.22 ve %1.94'tür. ST1 için örneklem ortalamaları diğer stratejilere göre daha yüksek iken, ST1 dışındaki stratejiler için örneklem ortalaması değerleri birbirine yakındır. Örneğin 5 katlı bina ele alındığında, ZC için ST1'e ait örneklem ortalaması %1.10 iken ST1 dışındaki stratejiler ait örneklem ortalaması, %0.81, %0.78, %0.68, %0.68, %0.73, %0.72 ve %0.67'dir. ST1 ve ST2, ötelenme oranı taleplerine ait güven aralığının da daha geniş olduğu stratejilerdir. Örneğin, 7 katlı bina ve ZB sınıfı zemin ele alındığında güven aralığı ST1 için %0.40-%0.60 iken ST2 için %0.28-%0.41'dir. Aynı bina ve zemin sınıfı için ST3a ve ST4a'ya ait güven aralıkları %0.30-%0.32 ve %0.33-%0.37'dir.

Tablo 6.6: Betonarme binalarda ötelenme oranı taleplerine ait güven aralıkları (İkinci kısım)

Zemin Sınıfı	Stratejiler	7 katlı			9 katlı			12 katlı		
		$\mu$	A	U	$\mu$	A	U	$\mu$	A	U
ZB	ST1	0.50	0.40	0.60	0.46	0.33	0.60	0.46	0.35	0.56
	ST2	0.35	0.28	0.41	0.36	0.33	0.39	0.37	0.36	0.38
	ST3a	0.31	0.30	0.32	0.37	0.35	0.40	0.37	0.36	0.39
	ST3b	0.31	0.30	0.32	0.36	0.35	0.38	0.38	0.36	0.39
	ST3c	0.31	0.30	0.32	0.36	0.35	0.36	0.36	0.35	0.37
	ST4a	0.35	0.33	0.37	0.41	0.33	0.49	0.40	0.37	0.43
	ST4b	0.31	0.29	0.34	0.40	0.35	0.45	0.39	0.37	0.42
	ST4c	0.31	0.29	0.32	0.36	0.35	0.37	0.36	0.35	0.38
ZC	ST1	0.96	0.75	1.18	0.93	0.76	1.10	0.81	0.68	0.95
	ST2	0.72	0.61	0.84	0.77	0.68	0.87	0.70	0.61	0.78
	ST3a	0.62	0.52	0.72	0.69	0.66	0.73	0.69	0.61	0.77
	ST3b	0.66	0.63	0.68	0.68	0.63	0.73	0.66	0.65	0.68
	ST3c	0.63	0.60	0.66	0.71	0.67	0.75	0.64	0.61	0.66
	ST4a	0.65	0.54	0.77	0.70	0.61	0.80	0.71	0.66	0.75
	ST4b	0.68	0.60	0.75	0.71	0.64	0.77	0.67	0.59	0.74
	ST4c	0.63	0.58	0.68	0.69	0.62	0.75	0.67	0.58	0.76
ZD	ST1	1.39	1.14	1.63	1.34	1.13	1.55	1.20	1.02	1.39
	ST2	0.96	0.84	1.09	0.97	0.88	1.06	0.95	0.85	1.05
	ST3a	0.98	0.92	1.05	0.97	0.81	1.12	1.01	0.86	1.16
	ST3b	0.86	0.80	0.93	0.90	0.85	0.96	0.87	0.84	0.90
	ST3c	0.86	0.80	0.92	0.90	0.89	0.91	0.90	0.85	0.96
	ST4a	0.88	0.77	0.99	0.95	0.85	1.05	0.92	0.83	1.02
	ST4b	0.82	0.75	0.90	0.90	0.87	0.93	0.89	0.81	0.97
	ST4c	0.80	0.70	0.90	0.92	0.88	0.96	0.87	0.80	0.95

## 6.6 Ötelenme Talepleri İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri

Hasar görebilirlik eğrileri, genel olarak farklı seviyedeki yer hareketi etkisi altında belirli bir hasar seviyesinin aşılma olasılığı olarak ifade edilmektedir. Hasar



görebilirlik eğrilerinin iki parametrelili lognormal dağılım fonksiyonları şeklinde ifade edilebileceği varsayılmaktadır. Literatürde, hasar görebilirlik genel olarak Denklem 6.7'deki gibi ifade edilmektedir (Kirçil ve Polat 2006; Kayhan 2008; Pejovic ve Jankovic 2016).

$$\text{Hasar Görebilirlik} = P[X \geq sd | IM] \quad (6.7)$$

Denklem 6.7'de,  $X$  analiz sonucu elde edilen yapısal tepkiyi gösterirken,  $sd$  yapısal tepki için öngörülen sınır değeri ifade etmektedir.  $IM$  ifadesi ise yapısal tepkinin sınır değeri aşma olasılığının hesaplanması amacıyla kullanılan yer hareketi parametresidir.

Bu çalışmada, hasar görebilirlik eğrileri elde edilirken Denklem 6.8 kullanılmıştır. Yani, deprem yer hareketi hedef spektrumlar ile temsil edildiği için, bu spektrumlar ile uyumlu setlerden elde edilen yapısal tepkinin ( $X$ ) önceden belirlenen  $sd$  değerini aşmama olasılığı olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Hasar Görebilirlik} = P[X \leq sd] \quad (6.8)$$

Bu çalışmada yapısal tepki parametreleri olarak kullanılan, TSD sistemler için maksimum ötelenme talebi ile üç boyutlu betonarme binalarda maksimum ötelenme oranı ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri analitik olarak hesaplanmıştır. Örneğin, üç boyutlu binalarda maksimum ötelenme oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri elde edilirken aşağıdaki yol izlenmiştir:

- Her bir ivme kaydı takımı seti için  $11 \times 2 = 22$  adet maksimum ötelenme oranı talebi bulunmaktadır.
- Varyans analizi sonucunda, aynı spektrumla uyumlu farklı ivme kaydı takımı setleri kullanıldığında, setler için elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmişti. Yani dört farklı set için elde edilen ötelenme taleplerinin aynı ana kitleden rastgele seçilmiş örnekler olduğunu sonucuna varılmış idi. Bu sebeple, hasar görebilirlik eğrileri çizilirken her bir strateji için  $22 \times 4 = 88$  adet maksimum ötelenme oranı talebi verisi kullanılmıştır.

- Her bir bina ve strateji için maksimum ötelenme oranına ait bazı sınır değerlerin (0.001 ile 0.030 arasında 0.001 aralıklı değerler) aşılmama oranları elde edilmiştir.
- Aşılmama oranları elde edildikten sonra lognormal dağılım kabulü yapılarak dağılıma ait ortalama ve standart sapma tahmini yapılmıştır. Ortalama ve standart sapma tahmininde en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır.
- Ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak hasar görebilirlik eğrileri çizilmiştir.

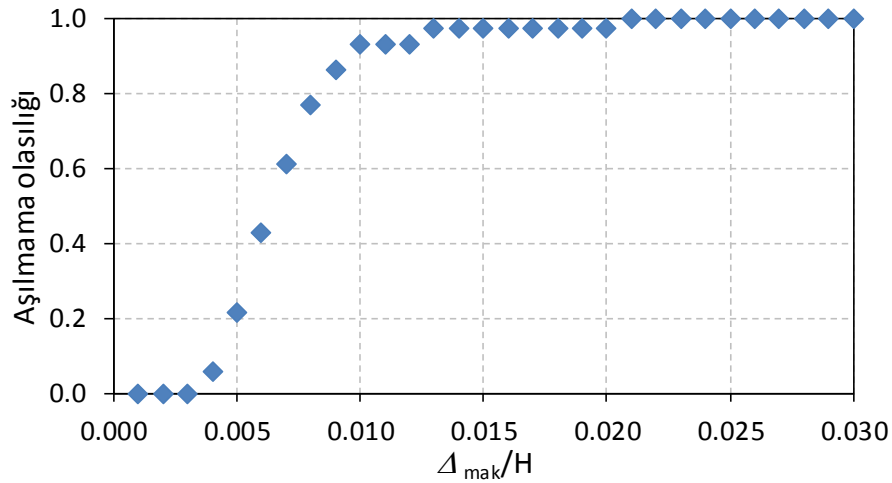
Tablo 6.7: 3 Katlı binada sınır seviyelerinin aşılmama oranları (ZC Zemin, ST3c)

Sıra	$\Delta_{mak}/H$	Sıra	$\Delta_{mak}/H$	Sıra	$\Delta_{mak}/H$	$sd$	$\Delta_{mak}/H < sd$	Aşılmama Oranı
1	0.0090	31	0.0093	61	0.0041	0.001	0	0.000
2	0.0049	32	0.0034	62	0.0067	0.002	0	0.000
3	0.0083	33	0.0078	63	0.0067	0.003	0	0.000
4	0.0061	34	0.0059	64	0.0068	0.004	5	0.057
5	0.0072	35	0.0122	65	0.0072	0.005	19	0.216
6	0.0078	36	0.0043	66	0.0074	0.006	38	0.432
7	0.0046	37	0.0056	67	0.0059	0.007	54	0.614
8	0.0051	38	0.0037	68	0.0054	0.008	68	0.773
9	0.0039	39	0.0082	69	0.0060	0.009	76	0.864
10	0.0047	40	0.0068	70	0.0059	0.010	82	0.932
11	0.0125	41	0.0069	71	0.0209	0.011	82	0.932
12	0.0092	42	0.0089	72	0.0066	0.012	82	0.932
13	0.0049	43	0.0033	73	0.0090	0.013	86	0.977
14	0.0084	44	0.0076	74	0.0097	0.014	86	0.977
15	0.0061	45	0.0055	75	0.0078	0.015	86	0.977
16	0.0069	46	0.0099	76	0.0047	0.016	86	0.977
17	0.0076	47	0.0049	77	0.0059	0.017	86	0.977
18	0.0056	48	0.0052	78	0.0060	0.018	86	0.977
19	0.0053	49	0.0079	79	0.0056	0.019	86	0.977
20	0.0040	50	0.0044	80	0.0061	0.020	86	0.977
21	0.0049	51	0.0065	81	0.0057	0.021	88	1.000
22	0.0130	52	0.0064	82	0.0208	0.022	88	1.000
23	0.0056	53	0.0070	83	0.0065	0.023	88	1.000
24	0.0127	54	0.0074	84	0.0089	0.024	88	1.000
25	0.0045	55	0.0075	85	0.0100	0.025	88	1.000
26	0.0055	56	0.0057	86	0.0076	0.026	88	1.000
27	0.0036	57	0.0095	87	0.0044	0.027	88	1.000
28	0.0084	58	0.0047	88	0.0059	0.028	88	1.000
29	0.0070	59	0.0056	-	---	0.029	88	1.000
30	0.0069	60	0.0075	-	---	0.030	88	1.000

Örnek olarak Tablo 6.7’de ZC zemin sınıfı, ST3c stratejisi ve 3 katlı bina için, 88 ötelenme oranı talebi kullanılarak belirli sınırlara ait aşılmama oranlarının hesabı

verilmiştir. Tablo 6.7’de görüldüğü gibi 0.001 değerinden daha düşük ötelenme oranı talebinin sayısı 0’dır Yani tümü 0.001 değerini aşmaktadır. Sınır değeri 0.01 olduğunda ise sadece 82 adet  $\Delta_{mak}/H$  değeri aşmamaktadır. Sınır değerlerinin aşılmama oranları ise, sınır değerlerinin aşılmama sayılarını ( $\Delta_{mak}/H > \text{Sınır}$ ) toplam  $\Delta_{mak}/H$  değerine (88) bölünmesi ile elde edilir. Örneğin 0.01 değerini aşmayan  $\Delta_{mak}/H$  değeri sayısı 82 idi.  $\Delta_{mak}/H$  değerini aşmayan sayıyı toplam  $\Delta_{mak}/H$  değerine (88) bölünmesi ile (82/88) aşılma oranı 0.932 olarak elde edilir.

Şekil 6.12’de ZC zemin sınıfında ST3c stratejisi için 3 katlı binanın sınır seviyelerinin aşılmama oranları nokta grafikte verilmiştir. Şekilde yatay eksen sınır değerleri gösterirken dikey eksen ise aşılmama oranlarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi düşük sınır değerlerinde aşılmama oranları düşük iken yüksek sınır değerlerinde ise aşılmama oranları yüksektir.



Şekil 6.12: 3 katlı binada sınır değerlerin aşılmama oranları (ZC, ST3c)

### 6.6.1 Normal ve lognormal dağılım fonksiyonları

Lognormal dağılım, logaritması normal dağılıma uyan rastgele değişkenin dağılımı olarak adlandırılabilir. Bu yüzden lognormal dağılımdan bahsedilmeden önce normal dağılım ile ilgili bilgiler verilecektir.

Normal dağılım istatistikte en çok kullanılan model olup, literatürde Gauss Dağılımı veya şeklinin çana benzemesinden dolayı çan eğrisi gibi farklı

isimlendirilmeler verilmektedir. Doğada, günlük yaşantıda karşılaşılan olaylar (boy uzunlukları, kilo vb), mühendislik alanlarında karşılaşılan rastgele değişkenlerin (yük, malzeme dayanımı vb) normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir.

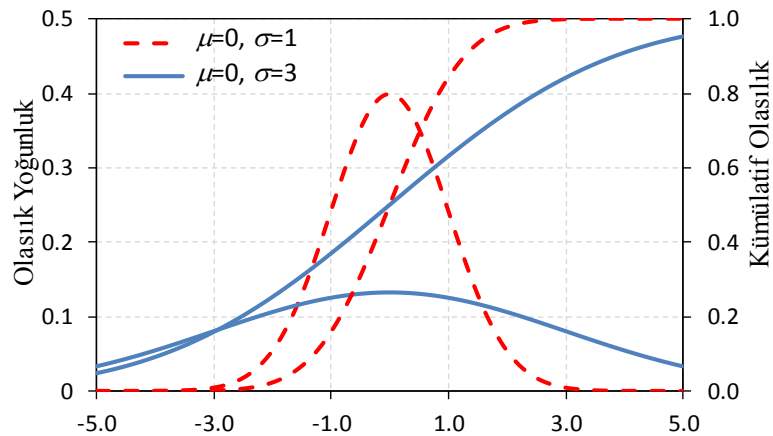
Normal dağılıma uyduğu kabul edilen herhangi bir X değişkeninin ortalaması  $\mu_x$  ve standart sapması  $\sigma_x$  kullanılarak, olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 6.9'da verildiği gibi ifade edilebilir.

$$f(x; \mu_x; \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right]} \quad -\infty < x < \infty \quad (6.9)$$

Denklem 6.9'da  $\mu_x = 0$  ve  $\sigma_x = 1$  alındığında standart normal olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmektedir. X değişkeni standart z değişkeni haline Denklem 6.10 ile dönüştürülmektedir.

$$z = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x} \quad (6.10)$$

Standart z değişkeninin olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık fonksiyonları Şekil 6.13'te verilmiştir. Şekil 6.13'de ayrıca standart sapması 3 ve ortalaması 0 olan normal dağılıma ait olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık fonksiyonları da verilmiştir. Görüldüğü gibi saçılımı fazla olan dağılımın olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrileri daha geniş bir aralığa sahiptir.



Şekil 6.13: Olasılık yoğunluk ve kümülatif olasılık eğrisi

Herhangi bir X rastgele değişkenine  $Y = \ln X$  şeklinde dönüşüm uygulandığında Y değişkeninin dağılımı normal dağılıma uyuyor ise X'in dağılımına lognormal

dağılım denilmektedir. Denklem 6.11’de, lognormal dağılıma sahip X’e ait olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]} \quad (6.11)$$

Denklem 6.11’de yer alan  $\mu_y$  ve  $\sigma_y$ , Y değişkeninin ortalaması ve standart sapmasıdır. Denklem 6.12 ve Denklem 6.13’de görüldüğü gibi,  $\mu_y$  ve  $\sigma_y$  değerleri ile X değişkenine ait  $\mu_x$  ve  $\sigma_x$  arasında bir ilişki vardır.

$$\mu_y = \ln \left[ \mu_x / \left( \frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right] \quad (6.12)$$

$$\sigma_y = \left[ \ln \left( \frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right]^{0.5} \quad (6.13)$$

Lognormal dağılımın parametrelerini hesaplamak için göz önüne alınan X değişkenine  $Y = \ln X$  uygulanarak elde edilen Y değerlerinin ortalaması ve standart sapması hesaplanır. Denklem 6.14’te, lognormal dağıldığı kabul edilen X değişkeni için kümülatif olasılık fonksiyonu verilmiştir. Denklemde  $\Phi$ , standart normal dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

$$\Pr(X) = \Phi \left( \frac{\ln X - \mu_y}{\sigma_y} \right) \quad (6.14)$$

Tez çalışmasında ele alınan yapısal tepki parametrelerinin (ötelenme ve ötelenme oranı talepleri) lognormal dağıldığı kabul edilmiştir.

### 6.6.2 Hasar Görebilirlik Eğrileri

Tez kapsamında, iki parametrelili lognormal dağılım kabulü ile hasar görebilirlik eğrileri tüm TSD sistemler, üç boyutlu binalar ve stratejiler için elde edilmiştir. Hasar görebilirlik ilişkileri, düşey eksen aşılıma olasılığını gösterecek şekilde elde edilmiştir. Hasar görebilirlik eğrileri ST2, ST3c ve ST4c stratejileri için verilmiştir. Bilindiği gibi ST2 stratejisinde sadece sete ait ortalama ile hedef spektrum arasındaki uyum dikkate alınmaktadır. ST3c ve ST4c stratejisinde ise, ortalama

spektrumun yanısıra bireysel spektrumların da hedef spektruma uyumu dikkate alınmaktadır. Bu üç strateji kullanılarak, bireysel spektrumların hedef spektruma uyumu gözetildiğinde, hasar görebilirlik eğrilerinin nasıl değiştiği değerlendirilmiştir. Tüm stratejiler, TSD sistemler ve üç boyutlu binalar için ötelenme taleplerine ait lognormal dağılım parametreleri ( $\mu$ ,  $\sigma$ ) Ek B’de verilmiştir.

### 6.6.2.1 Maksimum ötelenme talepleri için hasar görebilirlik eğrileri

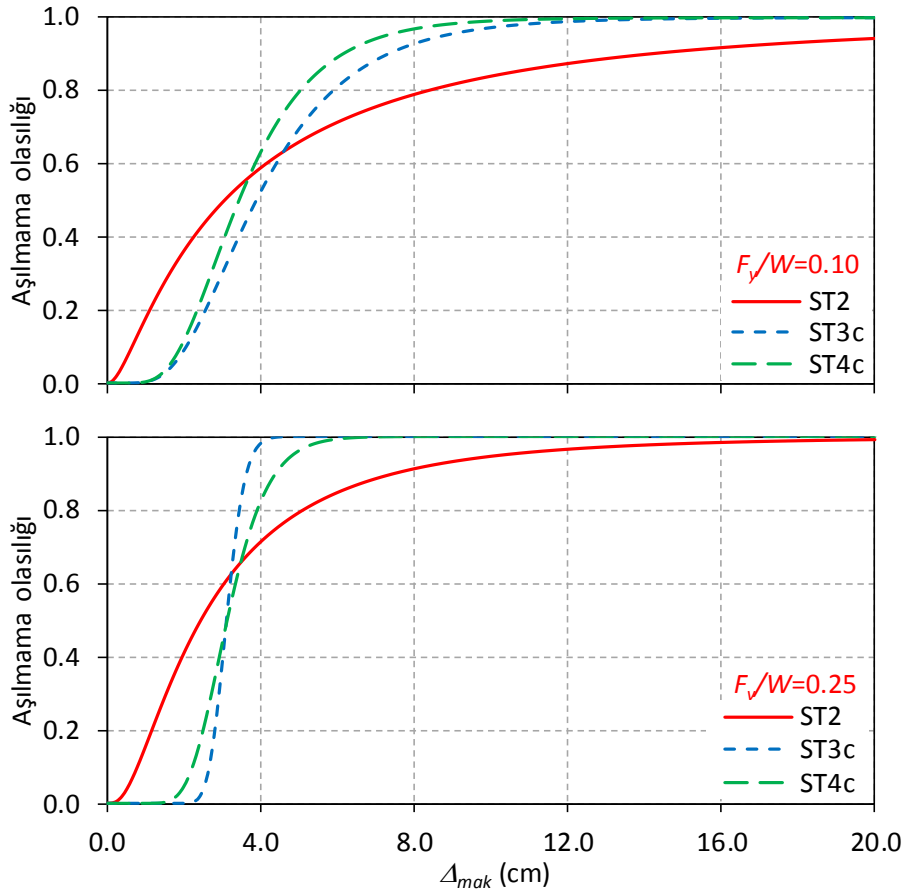
Tablo 6.8’de, bu çalışmada ele alınan en yüksek ve en düşük periyoda ve en yüksek ve en düşük yatay dayanım oranına sahip TSD sistemler için, lognormal dağıldığı kabul edilen maksimum ötelenme taleplerinin dağılım parametreleri örnek olarak verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak ötelenme taleplerine ait belirli değerlerin aşılma veya aşılmama olasılıkları hesaplanabilir. Ayrıca, hasar görebilirlik eğrileri çizilebilir.

Tablo 6.8: Örnek TSD sistemler için ötelenme taleplerinin dağılım parametreleri

Zemin	$F_y/W$	Periyot	0.6s		1.6s	
			ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$
ZB	0.10	ST2	1.124	1.194	1.668	1.107
		ST3c	1.360	0.492	2.128	0.112
		ST4c	1.237	0.450	2.095	0.305
	0.25	ST2	0.899	0.871	1.706	1.274
		ST3c	1.138	0.121	2.154	0.053
		ST4c	1.144	0.264	2.211	0.397
ZC	0.10	ST2	1.826	1.088	2.437	1.050
		ST3c	2.116	0.703	2.752	0.369
		ST4c	2.103	0.481	2.718	0.336
	0.25	ST2	1.659	0.884	2.401	0.916
		ST3c	1.881	0.376	2.778	0.074
		ST4c	1.805	0.274	2.777	0.277
ZD	0.10	ST2	2.333	0.947	2.949	0.929
		ST3c	2.581	0.651	3.181	0.333
		ST4c	2.625	0.320	3.213	0.311
	0.25	ST2	2.026	0.855	2.878	0.810
		ST3c	2.206	0.389	3.054	0.128
		ST4c	2.218	0.295	3.017	0.261

Tablo 6.8’de ele alınan TSD sistemler için hasar görebilirlik eğrileri Şekil 6.14 – Şekil 6.17’de verilmiştir. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’te ZB zemin sınıfı, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de ise ZD zemin sınıfı için elde edilen eğriler verilmiştir.

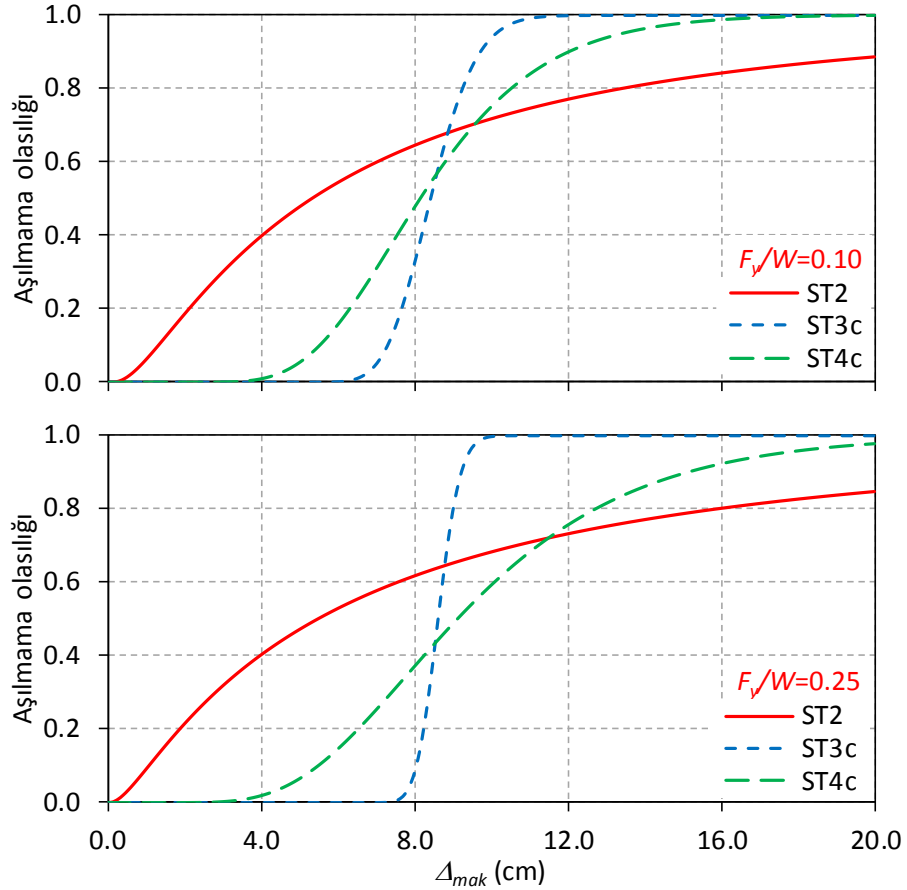
Şekil 6.14'te, bu çalışmada ele alınan en düşük periyoda sahip ( $T=0.6s$ ) olan TSD sistem için verilen hasar görebilirlik eğrileri incelendiğinde, ST3c ve ST4c stratejilerine ait eğrilerin eğiminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, ST2'ye nazaran ST3c ve ST4c ile uyumlu setlerden elde edilen ötelenme taleplerinin saçılımının,  $\mu_{CoV(\Delta)}$ , daha düşük olmasıdır. Eğer, rastgele değişkenin saçılımı yüksek ise eğrinin eğimi de düşük olacaktır. Bu üç strateji ile uyumlu setlerden elde edilen ortalama ötelenme talepleri,  $\mu_{m(\Delta)}$ , birbirine yakın idi. Şekile göre,  $F_y/W=0.10$  ve  $F_y/W=0.25$  olan TSD sistemler için bu taleplerin sırası ile 4.0cm ve 3.0cm civarında olduğu söylenebilir. Eğrilerin de bu talepler civarında birbiri ile kesiştiği görülmektedir. ST3c ve ST4c için taleplerin saçılımı da birbirine yakın olduğundan bu stratejilerle uyumlu eğriler birbirine nispeten daha yakındır.



Şekil 6.14: TSD sistemlerde  $T=0.6s$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZB)

Şekil 6.14'e göre, eğrilerin kesiştiği ötelenme bölgesinden (bu değer  $\mu_{m(\Delta)}$ 'ya eşit alınabilir) daha düşük ötelenme değerleri için ST2 stratejisine ait aşılmama olasılığı daha yüksek yani aşılma olasılığı daha düşüktür. Kesişim bölgesinden daha

yüksek ötelenme değerleri için ise ST3c ve ST4c'nin aşılmama olasılığı daha yüksektir. Örneğin,  $F_y/W=0.10$  olan TSD sistem için 2cm'nin aşılmama olasılığı olasılığı ST2 için %40 (aşılma olasılığı %60) iken ST3c ve ST4c stratejileri için %10 (aşılma olasılığı %90) civarındadır. Aynı TSD sistem için 8cm'nin aşılmama olasılığı ise ST2 için %80 iken ST3c ve ST4c için %90'ın üzerindedir. Benzer sonuçların  $F_y/W=0.25$  olan TSD sistem için de geçerli olduğunu söylemek mümkündür.



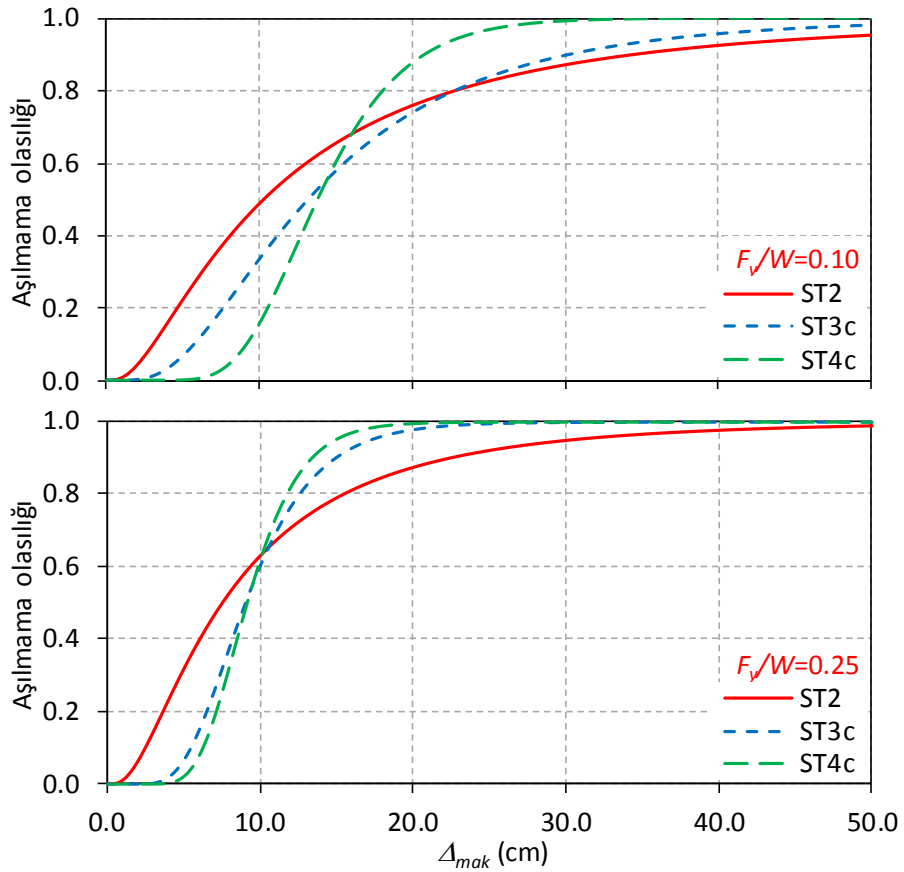
Şekil 6.15: TSD sistemlerde  $T=1.6s$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZB)

Şekil 6.15'e göre,  $T=1.6s$  için eğriler birbirinden oldukça farklıdır. Şekil incelendiğinde en düşük saçılımın ST2'ye, en yüksek saçılımın ise ST3c'ye ait olduğu görülmektedir. Öte yandan, ST3c ve ST4c ile ilgili ötelenme talebi saçılımların da birbirine göre belirgin şekilde farklı olduğu, bu iki strateji için çizilen eğrilerin eğiminin farkından anlaşılmaktadır. Periyodun artması ile talepler de arttığından hasar görebilirlik eğrileri Şekil 6.14'e kıyasla, yatayda sağa doğru kaymıştır. Yani stratejilere ait  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri 8.0cm'nin biraz üzerindedir.  $\Delta_{mak}=8cm$  civarına kadar,



ötelenme taleplerinin aşılmama olasılığı yine ST2 için en yüksektir. Daha yüksek ötelenme değerleri için ise ST3c ile elde edilen aşılmama olasılıkları daha yüksektir.

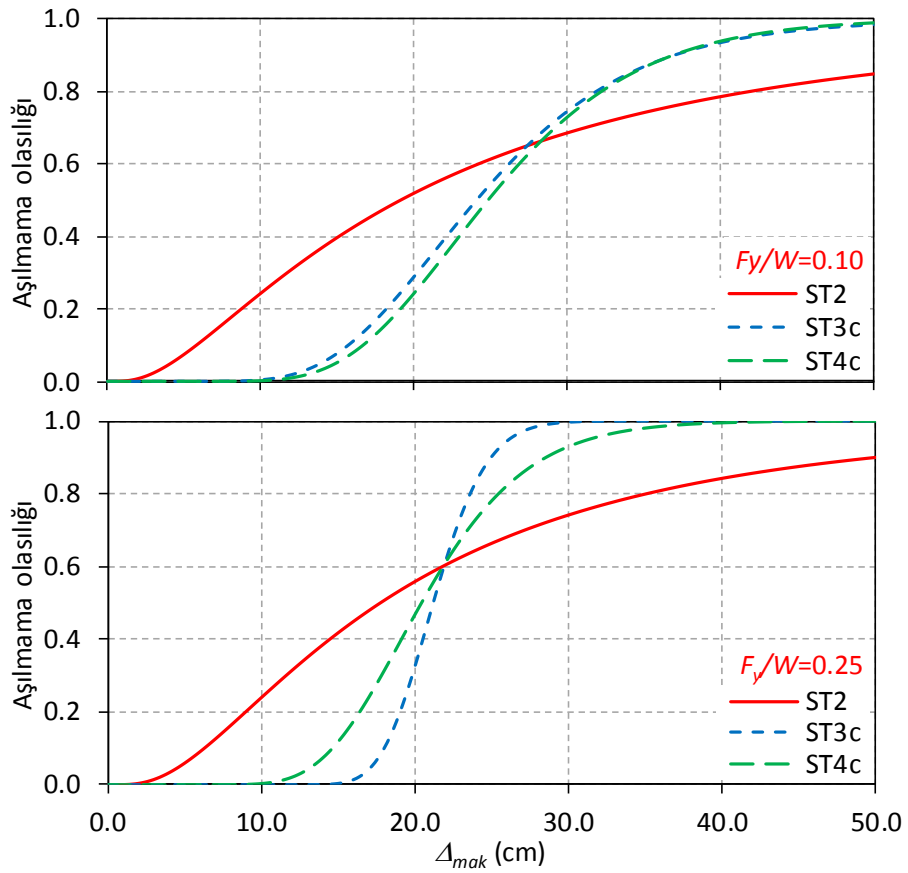
Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 beraber düşünüldüğünde, güvenli yönde kalmak adına nispeten daha düşük ötelenme değerlerine ait aşılmama (veya aşılma) olasılıklarının tahmini için daha düşük saçılıma olanak sağlayan bir stratejiden (örneğin ST3c veya ST4c) faydalanmak gerekir. Zira bu strateji için, ötelenme değerlerine ait aşılmama olasılıkları daha düşük yani aşılma olasılıkları daha yüksek olacaktır. Benzer mantıkla, nispeten daha yüksek ötelenme değerlerinin aşılmama olasılıklarının hesabında da daha yüksek saçılıma sahip bir stratejiden (ST2 gibi) faydalanılabilir. Bu strateji için de ötelenme değerlerine ait aşılmama olasılıkları daha düşük yani aşılma olasılıkları daha yüksek olacaktır. Bu anlamdaki strateji seçimi için kriter olarak  $\mu_{m(\Delta)}$  değerleri kullanılabilir.



Şekil 6.16: TSD sistemlerde  $T=0.6s$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZD)

Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de, bu kez ZD zemin sınıfı dikkate alınarak, sırasıyla  $T=0.6s$  ve  $T=1.6s$  olan TSD sistemler için ötelenme değerlerine ait hasar görebilirlik

eğrileri verilmiştir. Her bir şekilde yine yatay dayanım oranının bu çalışmada dikkate alınan en yüksek ve en düşük değerlerine sahip TSD sistemler için sonuçlar verilmiştir. Şekillere göre, bu zemin sınıfı için talepler daha yüksek olduğundan hasar görebilirlik eğrileri yatay ekseninde sağa doğru kaymıştır. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te bahsedilen, stratejilere ait saçılımın hasar görebilirlik eğrilerinin eğimine etkisi Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de de görülmektedir. Aşılma veya aşılmama olasılıklarının tahmininde güvenli yönde kalmak adına nispeten daha düşük ötelenme sınırları için ST3c veya ST4c, daha yüksek ötelenme sınırları için ST2 kullanılabilir.



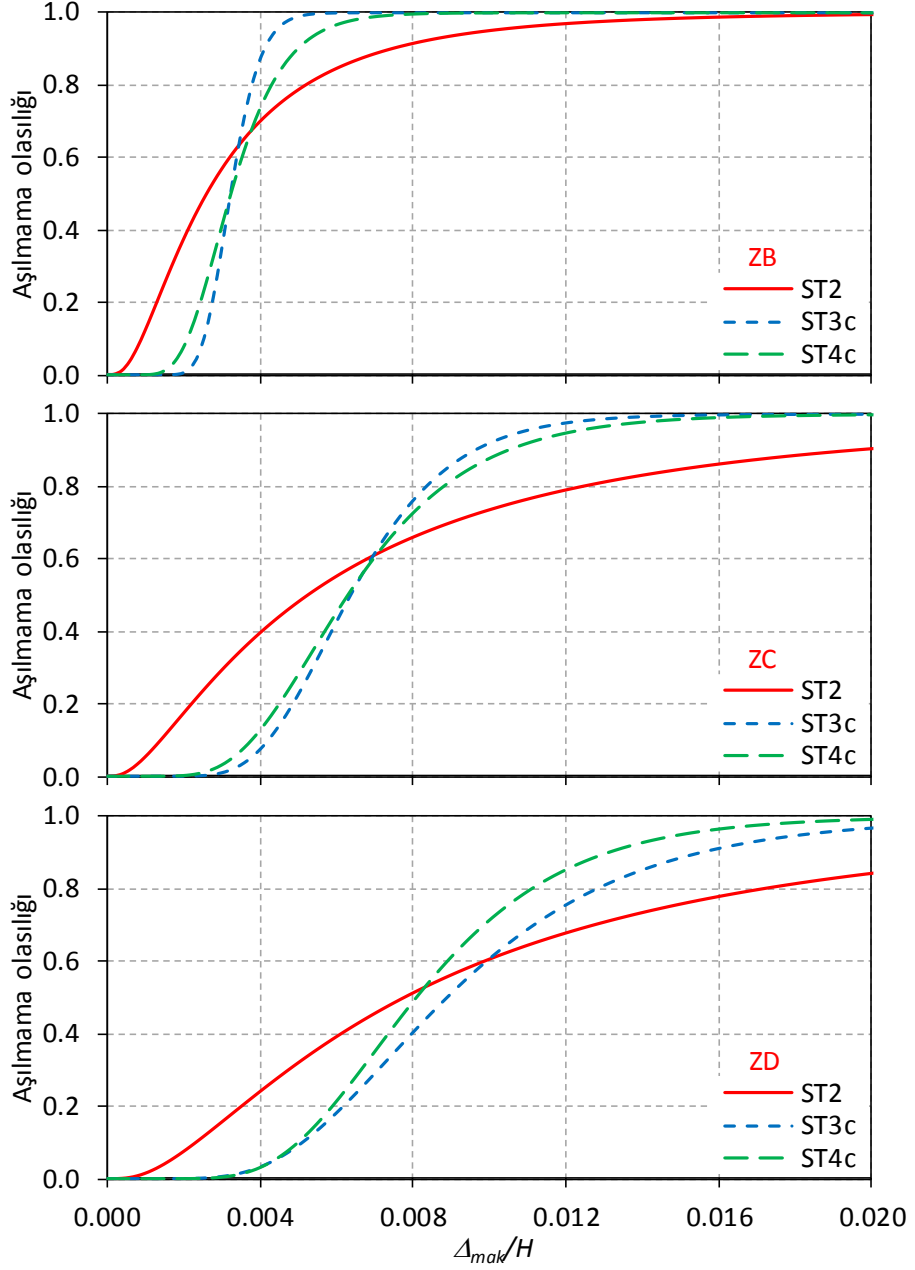
Şekil 6.17: TSD sistemlerde  $T=1.6s$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZD)

Bu kısımda kısaca özetlenen bulgular, diğer TSD sistemler ve ZC sınıfı zemin için de geçerlidir.

### 6.6.2.2 Maksimum ötelenme oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri

Şekil 6.18 – Şekil 6.20'de, üç boyutlu betonarme binalar için elde edilen maksimum ötelenme oranı taleplerine ait hasar görebilirlik eğrilerine örnekler

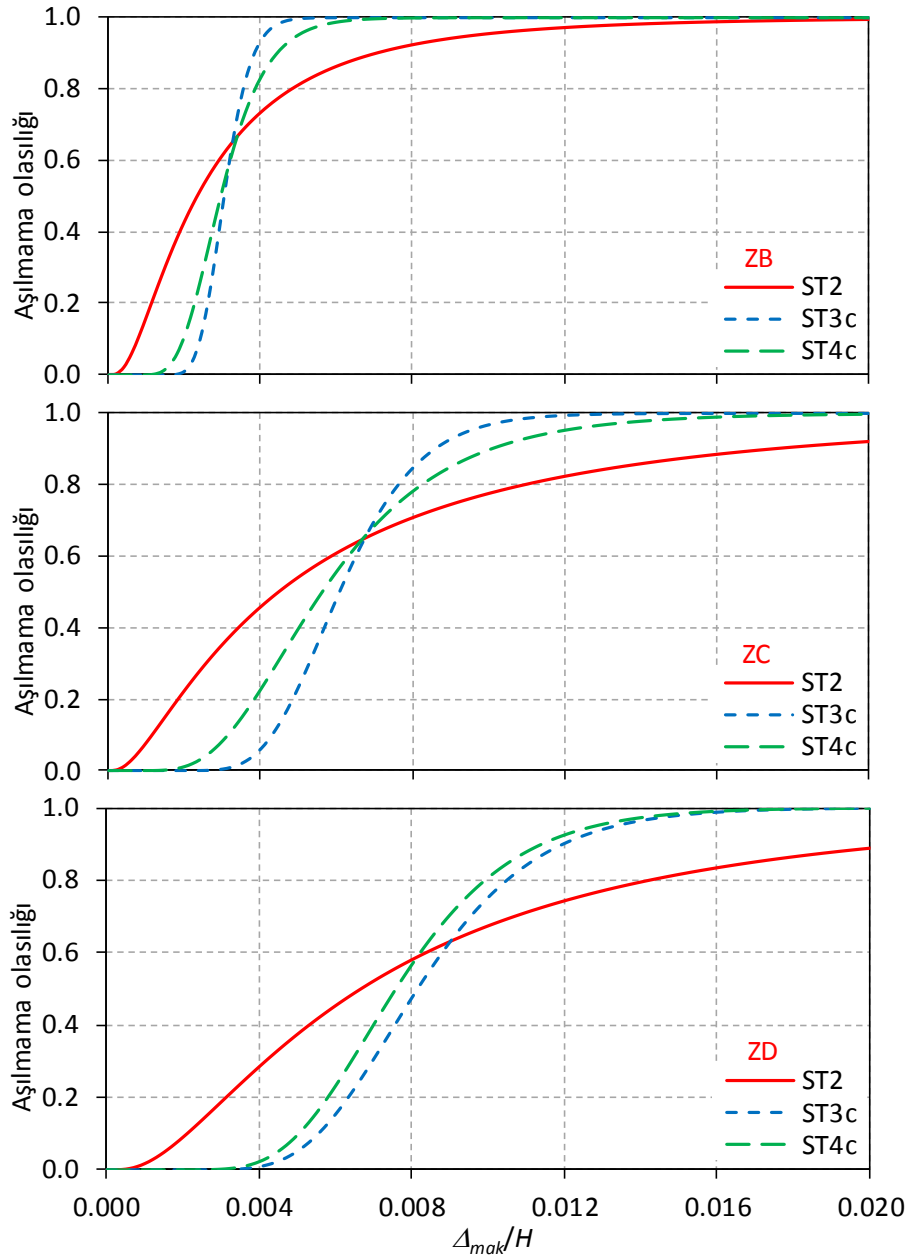
verilmiştir. Örnekler, 3, 7 ve 12 katlı binalar için verilmiştir. Böylece farklı düzeyde kat sayısına sahip binalar ele alınmıştır. Eğriler yine, ST2, ST3c ve ST4c stratejilerine aittir. Bu şekilde, sadece ortalama spektrum ile hedef spektrumun uyumunu gözeten ST2 ile ortalama spektruma ek olarak bireysel spektrumların hedef spektruma uyumunu en güçlü şekilde gözeten stratejiler ele alınmıştır.



Şekil 6.18:  $\Delta_{mak}/H$  için hasar görebilirlik eğrileri (3 katlı bina)

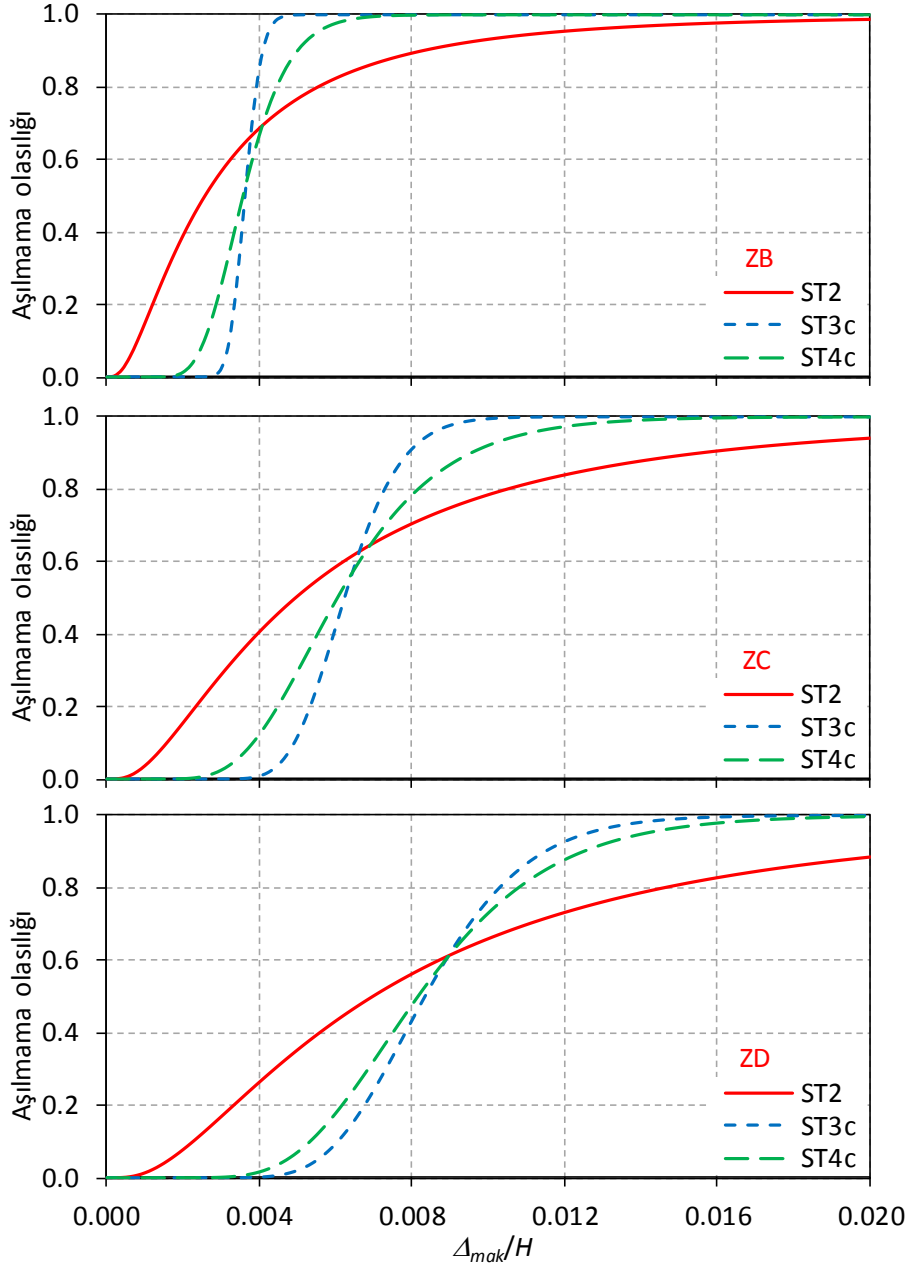
Şekil 6.18’de 3 katlı bina için hasar görebilirlik eğrileri görülmektedir. Zemin sınıfının ZB’den ZC’ye değişimi eğrilerin yatay ekseninde sağa kaymasına ve eğrilerin eğiminin azalmasına sebep olmaktadır. Ortalama ötelenme oranı talebinin,  $\mu_m(\Delta/H)$ , üç

strateji için birbirine yakın olduğu eğrilerin kesişim noktalarının yakın olmasından anlaşılmaktadır. Örneğin ZC zemin sınıfı için ötelenme oranı değeri 0.007 için üç stratejiye ait aşılmama olasılıkları hemen hemen aynıdır: 0.60. Bununla birlikte, ötelenme oranı taleplerinin saçılımının,  $\mu_{CoV(\Delta/H)}$ , etkisi burada da gözlenmektedir. Bu üç strateji arasında en yüksek talep saçılımına sahip ST2 için eğrinin eğimi yine en düşüktür. ST3c ve ST4c'ye ait eğriler ise birbirine nispeten daha yakındır. Bu durum, bu iki strateji için taleplerin saçılımının da ST2'ye göre daha yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.19:  $\Delta_{mak}/H$  için hasar görebilirlik eğrileri (7 katlı bina)

Şekil 6.19'a göre, 7 katlı bina için de zemin sınıfının ZB'den ZC'ye değişimi hem eğrilerin yatay eksende sağa kaymasına hem de eğrilerin eğiminin azalmasına sebep olmaktadır. Eğrilerin kesişim noktaları 7 katlı bina için de birbirine yakındır. Yani ortalama ötelenme talepleri birbirine yakındır. Örneğin ZB için 0.65 aşılmama olasılığına sahip ötelenme oranı değeri üç strateji için de 0.003 civarındadır.



Şekil 6.20:  $\Delta_{mak}/H$  için hasar görebilirlik eğrileri (12 katlı bina)

Şekil 6.19'a göre en yüksek talep saçılımına sahip ST2 için eğrinin eğimi yine en düşüktür. Üç katlı bina için ST3c ve ST4c'ye ait eğriler ise birbirine nispeten daha yakındır. Kesişim bölgesinden ( $\mu_m(\Delta/H)$  değeri kriter olarak alınabilir) daha düşük

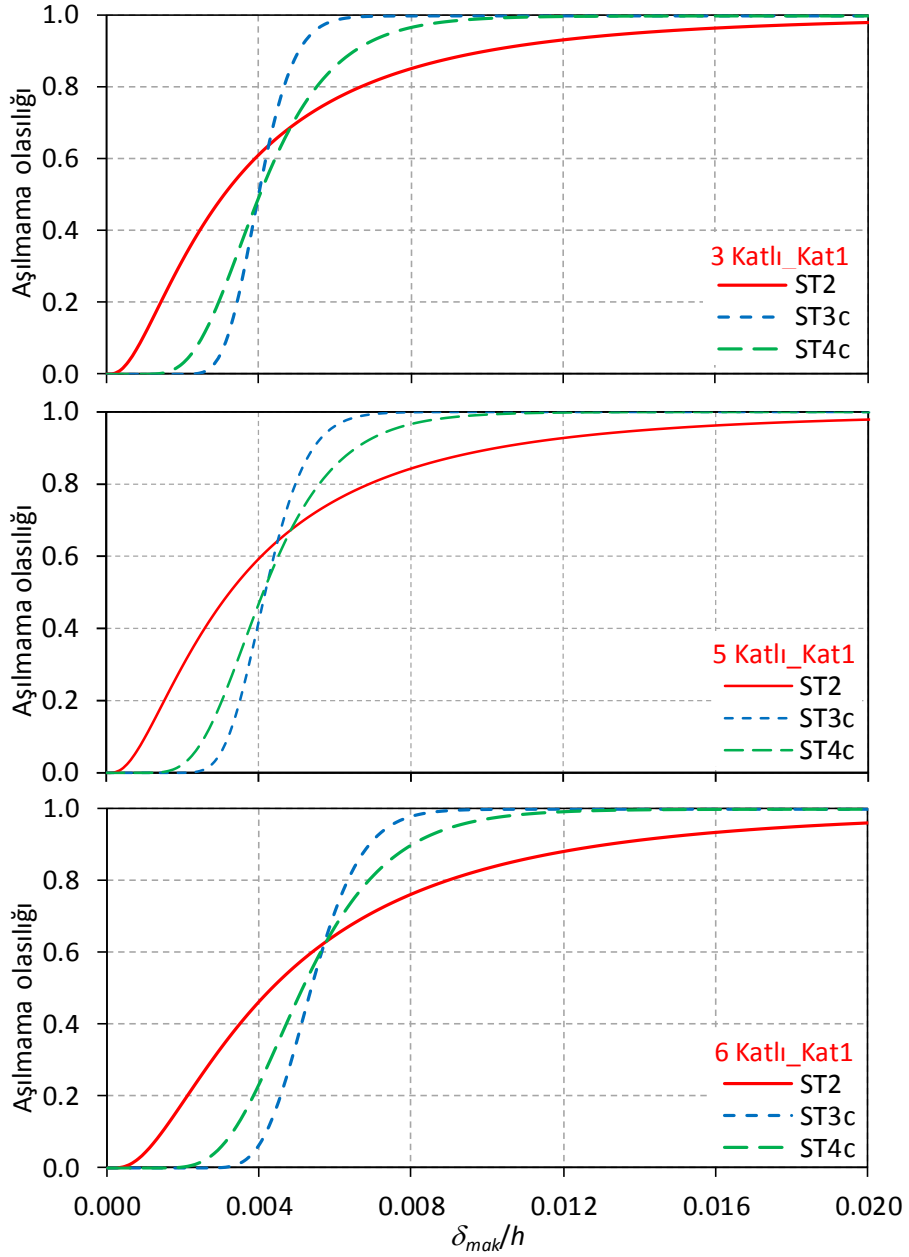
ötelenme oranı değerleri için aşılmama oranı hesabında daha düşük saçılıma sahip stratejiler (ST3c, ST4c gibi) için güvenli yönde kalınmaktadır. Kesişim bölgesinden daha yüksek ötelenme oranı değerlerinin aşılmama olasılığı ise yüksek saçılıma sahip bir strateji ile (ST2 gibi) güvenli yönde kalarak tahmin edilebilir.

Şekil 6.20’de 12 katlı bina için hasar görebilirlik eğrileri görülmektedir. 3 ve 7 katlı binaların hasar görebilirlik eğrileri için elde edilen bulgular 12 katlı bina için de geçerlidir. Zemin sınıfının ZB’den ZC’ye değişimi eğrilerin yatay ekseninde sağa kaymasına ve eğrilerin eğiminin azalmasına sebep olmaktadır. Stratejilere ait ortalama ötelenme oranı talepleri birbirine yakın olduğu için eğrilerin kesişim noktaları da birbirine yakındır. Örneğin ZD zemin sınıfı için ötelenme oranı değeri 0.009 için üç stratejiye ait aşılmama olasılıkları hemen hemen aynıdır: 0.60. Bu üç strateji arasında en yüksek talep saçılımına sahip ST2 için eğrinin eğimi yine en düşüktür.

### **6.6.2.3 Maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri için hasar görebilirlik eğrileri**

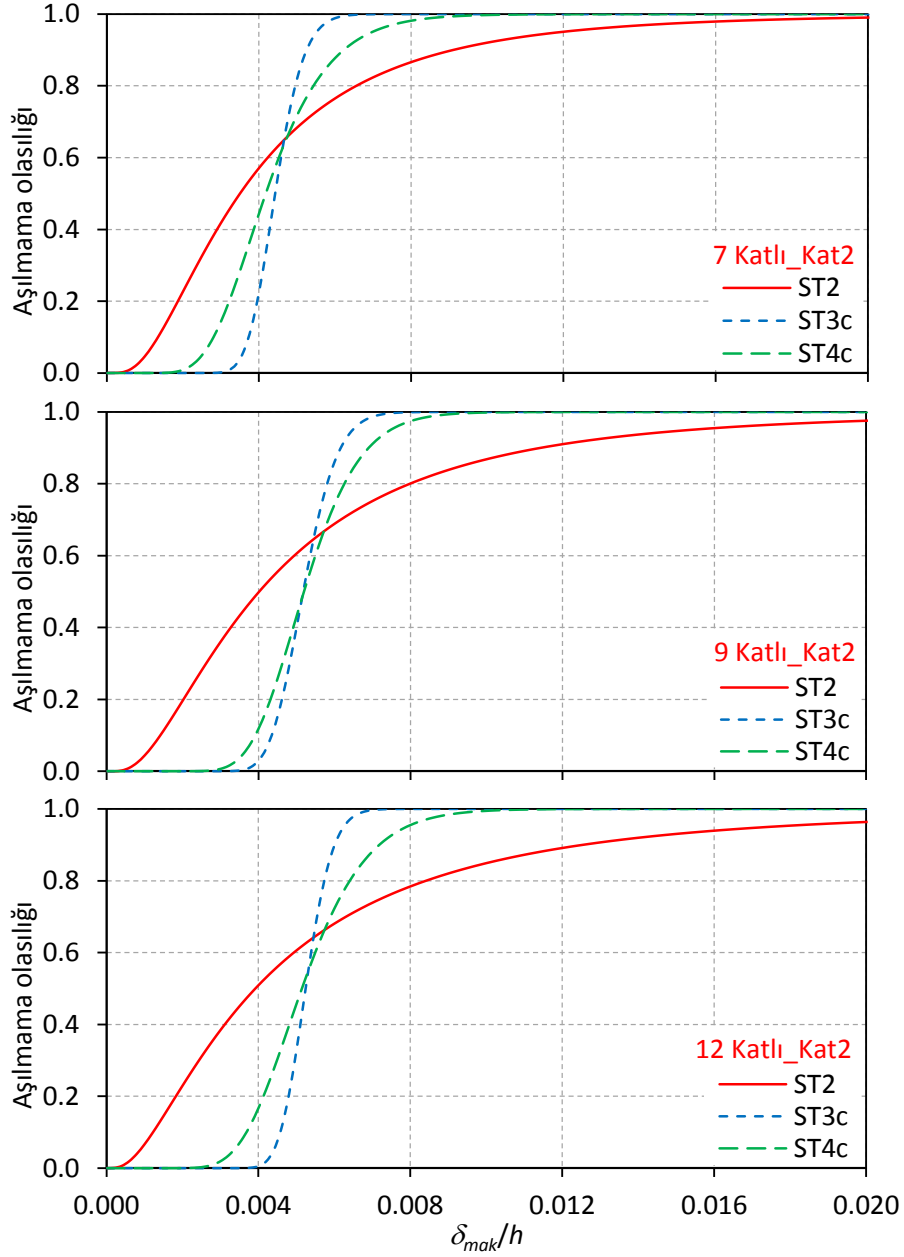
Şekil 6.21 – Şekil 6.25’te, üç boyutlu betonarme binalar için elde edilen maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait hasar görebilirlik eğrilerine örnekler verilmiştir. Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de ZB zemin sınıfı için Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te ZD zemin sınıfı için örnekler verilmiştir. Hasar görebilirlik eğrileri her bina için görelî kat ötelenmesinin nispeten daha yüksek olduğu katlar dikkate alınarak çizilmiştir. Eğriler ST2, ST3c ve ST4c stratejilerine aittir.

Şekil 6.21’de 3, 5 ve 6 katlı binaların ilk katları için maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait hasar görebilirlik eğrileri görülmektedir. Görüldüğü gibi, kat sayısı arttıkça, eğriler yatay ekseninde sağa kaymakta ama eğrilerin eğimi hemen hemen değişmemektedir. Ortalama görelî kat ötelenmesi oranı talebinin,  $\mu_m(\delta/h)$ , üç strateji için birbirine yakın olduğu eğrilerin kesişim noktalarının yakın olmasından anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, üç strateji arasında en yüksek talep saçılımına ( $\mu_{CoV}(\delta/h)$ ) sahip ST2 için eğrinin eğimi yine en düşüktür. ST3c ve ST4c’ye ait eğriler ise birbirine nispeten daha yakındır.



Şekil 6.21: 3, 5 ve 6 katlı binalarda  $\delta_{mak}/h$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZB)

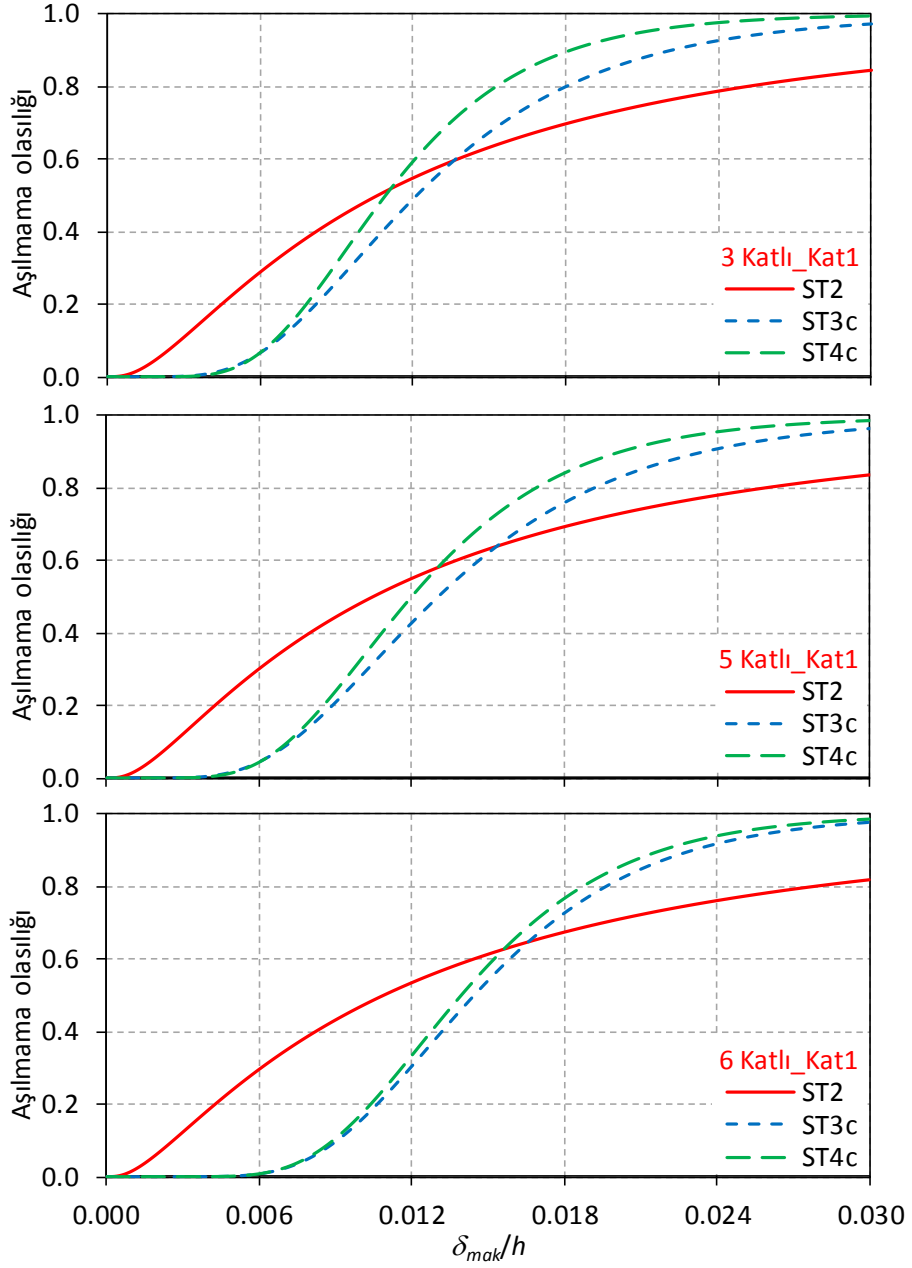
Şekil 6.22’de 7, 9 ve 12 katlı binaların ikinci katları için maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait hasar görebilirlik eğrileri görülmektedir. Şekil 6.21’de özetlenen sonuçlar, bu betonarme binalar için de geçerlidir. Dolayısıyla, görelî kat ötelenmesi oranı talepleri açısından da güvenli yönde kalmak adına, belirli bir sınır değerden düşük taleplerin aşılma olasılığının hesabında düşük saçılma sahip (ST3c veya ST4c gibi) stratejiler, bu sınır değerden daha yüksek taleplerin aşılma olasılığı hesabında ise yüksek saçılma sahip stratejiler (ST2 gibi) tercih edilebilir. Burada tekrar hatırlatmak gerekir ki, saçılımla ilgili bu tercih, birbirine yakın ortalama talebe sahip stratejiler arasından yapılmalıdır.



Şekil 6.22: 7, 9 ve 12 katlı binalarda  $\delta_{mak}/h$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZB)

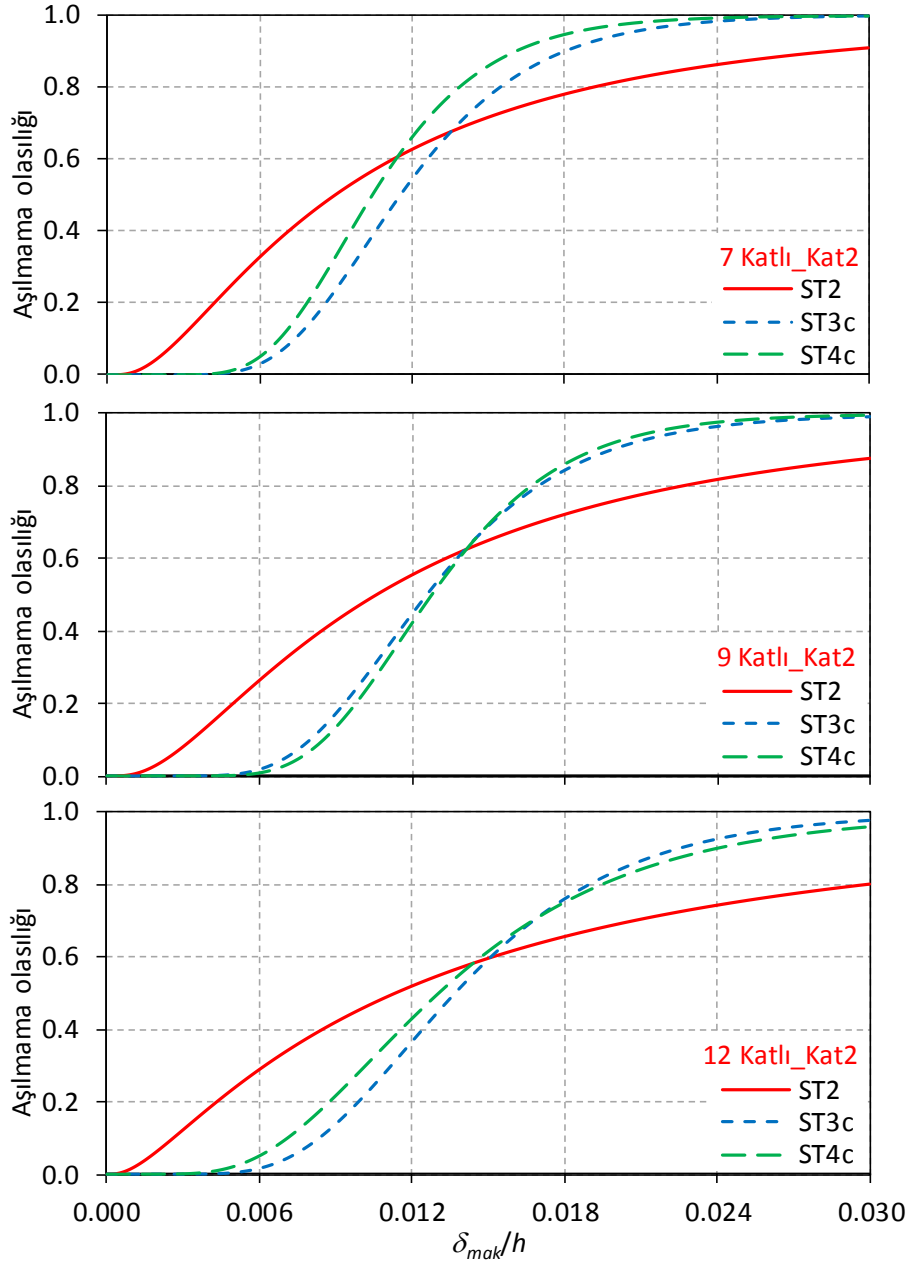
Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'te ZD sınıfı zemin için maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait hasar görebilirlik eğrileri görülmektedir. Şekil 6.23'te 3, 5 ve 6 katlı binaların ilk katı, Şekil 6.24'te 7, 9 ve 12 katlı binaların ikinci katı dikkate alınmıştır. Bu zemin sınıfı için, ZB'ye oranla daha yüksek ötelenme oranı talepleri söz konusudur. Dolayısıyla eğriler yatay ekseninde sağa doğru kaymıştır. Ötelenme oranı talepleri, kat sayısının artması ile de artmaktadır. Bu sebeple herhangi bir ötelenme oranı değerinin aşılma olasılığı da, kat sayısının artması ile artmaktadır.





Şekil 6.23: 3, 5 ve 6 katlı binalarda  $\delta_{mak}/h$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZD)

Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'e göre maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri açısından da en yüksek saçılıma sahip ST2 stratejisi için, en düşük eğime sahip hasar görebilirlik eğrisi elde edilmektedir. ST3c ve ST4c stratejileri için elde edilen eğriler birbirine nispeten daha yakındır.



Şekil 6.24: 7, 9 ve 12 katlı binalarda  $\delta_{mak}/h$  için hasar görebilirlik eğrileri (ZD)

Sonuçlar, maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri için aşılmama olasılıklarının (veya aşılma olasılıklarının) nispeten daha düşük değerler için ST3c ve ST4c stratejileri ile güvenli yönde kalınarak tahmin edilebileceğini, daha yüksek sınır değerler için ise güvenli yönde kalmak adına ST2 stratejisinin dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Bu anlamdaki strateji seçimi için kritik sınır değer olarak  $\mu_m(\delta/h)$  değeri kullanılabilir. Yani, bu değerden daha düşük ötelenme oranı değerlerinin aşılmama olasılıklarının tahmini için ST3c veya ST4c gibi stratejiler ile elde edilen ivme setleri kullanılabilir. Bu değerden daha yüksek ötelenme oranı değerleri için de ST2 ve benzeri stratejiler kullanılabilir.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, spektral uyumlu ivme kaydı seçimi için dikkate alınacak farklı seçim stratejilerinin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilecek yapısal tepkilerin eğilimi ve saçılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, hem zaman tanım alanında analizler için kullanılacak gerçek ivme kayıtlarına ait ortalama ivme spektrumunun hem de her bir gerçek ivme kaydına ait bireysel ivme spektrumunun yönetmeliklerde tanımlanmış tasarım ivme spektrumları ile uyumunun artırılmasına yönelik sekiz farklı strateji ele alınmıştır.

ST1 ve ST2 stratejileri, sadece ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyumu ele almaktadır. TBDY'ye göre, ortalama spektrumun hedef spektruma oranının alt sınırı 1.0 olarak verilmiş ama bir üst sınır tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, ST1 ve ST2 stratejileri için bu orana ait üst sınır da kullanılmıştır. ST1 için üst sınır 2.0, ST2 için üst sınır 1.20 alınmıştır. ST1, daha toleranslı bir üst sınır ile TBDY'nin üst sınır tanımlamama durumunu nispeten temsil ederken, ST2, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasında ST1 stratejisinden daha iyi bir uyum gözetmektedir.

ST3 ve ST4 stratejilerinde ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyuma ilave olarak set içerisinde bulunan bireysel ivme kayıtlarının her biri ile hedef spektrum arasındaki uyum da ele alınmıştır. Ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum için bu stratejilerde ST2 kullanılmıştır. Yani, ST3 ve ST4 stratejilerinde, ST2'nin ortalama spektrum ile ilgili koşullarına ilave koşullar kullanılmaktadır. ST3 stratejisinde, ivme kayıtlarına ait spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum belirli bir periyot değeri için (doğal titreşim periyodu,  $T$ ) ele alınmaktadır. ST4 stratejisinde ise ivme kayıtlarına ait spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum belirli bir periyot aralığı için ( $0.2T-1.5T$ ) dikkate alınmaktadır. ST3 ve ST4 stratejileri, bireysel kayıtlara ait spektrumlar ile hedef spektrum arasında öngörülen uyumun düzeyine bağlı olarak kendi içlerinde a, b ve c gibi üç sınıfa ayrılmıştır. Örneğin ST3a, ST3b ve ST3c stratejileri, bireysel spektrumların hedef spektruma oranı için giderek katılaştan şekilde alt ve üst sınırlara sahiptir. Benzer durum ST4a, ST4b ve ST4c stratejileri için de geçerlidir.

Çalışmada, TBDY’de tanımlanmış yerel zemin sınıfları ZB, ZC ve ZD için tanımlanmış yatay elastik tasarım spektrumları, ivme setlerinin elde edilmesi için hedef spektrumlar olarak ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Her bir TSD sistem periyodu, hedef spektrum ve ivme seçimi stratejisi için dört farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Benzer şekilde her bir betonarme bina, hedef spektrum ve ivme seçim stratejisi için dört farklı ivme kaydı takımı seti elde edilmiştir. Özetle, TSD sistemlerin analizi için 576 ivme kaydı seti, betonarme binaların analizi için 576 ivme kaydı takımı seti kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı setinde 11 ivme kaydı ve her bir ivme kaydı takımı setinde 11 adet ivme kaydı takımı bulunmaktadır.

Çalışmada, doğal titreşim periyodu 0.6s-1.6s arasında, yatay dayanım oranı ise 0.10-0.25 arasında değişen toplam 36 farklı TSD sistem ele alınmıştır. Ayrıca, farklı kat sayısına sahip (3, 5, 6, 7, 9 ve 12) betonarme bina modelleri kullanılmıştır. 36 farklı TSD sistem için 38,016 adet, 6 farklı üç boyutlu betonarme bina için ise 12,672 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır.

Doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda TSD sistemler için, bir sette bulunan ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ( $\Delta_{mak}$ ) sete ait ortalaması  $m_{(\Delta)}$  ve varyasyon katsayısı  $CoV_{(\Delta)}$  hesaplanmıştır. Üç boyutlu betonarme binalar için ise her bir ivme kaydı takımı seti içinde bulunan ivme kaydı takımlarından elde edilen maksimum çatı ötelenmesi oranı taleplerinin ( $\Delta_{mak}/H$ ) sete ait ortalaması,  $m_{(\Delta/H)}$ , ve varyasyon katsayısı,  $CoV_{(\Delta/H)}$ , hesaplanmıştır. Benzer şekilde her bir ivme kaydı takımı seti için, maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin sete ait ortalaması,  $m_{(\delta h)}$ , ve varyasyon katsayısı,  $CoV_{(\delta h)}$ , hesaplanmıştır.

Farklı ivme seçim stratejilerinin etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla, öncelikle, farklı stratejiler ile elde edilen ivme setlerinde yer alan kayıtlara ait spektral değerlerin saçılımı dikkate alınmış ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, ivme setlerinde yer alan kayıtlara ait spektrum ve sete ait ortalama spektrumun ilgili hedef spektruma uyumunun sayısal ölçüsü olarak literatürde kullanılan  $\delta$ ,  $MRE$  ve  $MSE$  parametreleri, farklı stratejilere ait ivme setleri için hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

İvme setleri kullanılarak zaman tanım alanında analizler ile belirlenen ötelenme ve ötelenme oranı taleplerinin setlere ait ortalamasının ve saçılımının değişimi, farklı TSD sistem ve betonarme binalar ile farklı zemin sınıfı ve ivme seçim

stratejileri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Buna ilave olarak bazı istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. İlk olarak, ötelenme taleplerinin ve/veya ötelenme oranı taleplerinin saçılımları ile analizlerde kullanılan ivme kaydı veya ivme kaydı takımı setlerine ait spektral saçılımların ilişkisi değerlendirilmiştir. Daha sonra, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji kullanılarak elde edilen farklı ivme setlerine ait ötelenme ve ötelenme oranı talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Üçüncü olarak, ötelenme ve ötelenme oranı taleplerinin eğilimini belirlemek amacıyla kullanılan ortalama ve medyan değerleri her bir set için hesaplanmış ve bu değerlerin ilişkisi incelenmiştir. Ek olarak, ötelenme ve ötelenme oranı taleplerinin sete ait ortalamaları için örnekleme dağılımı dikkate alınarak güven aralıkları tahmin edilmiştir. Son olarak, ötelenme ve ötelenme oranı taleplerinin eğilimi ve saçılımının hasar görebilirlik eğrileri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Analiz sonuçlarının incelenmesi ve istatistiksel değerlendirmeler sonucunda aşağıda maddeler halinde ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- İvme kaydı veya ivme kaydı takımlarına ait spektral değerlerin saçılımı en fazla ST1 stratejisi ile elde edilen setler için hesaplanmıştır. ST2 için bu saçılım ST1'e göre daha düşük ama ST3 ve ST4 stratejilerine göre daha yüksektir. TSD sistem veya betonarme binanın periyoduna karşılık gelen spektral değerler için en düşük saçılım ST3c stratejisi ile elde edilen setlere aittir.  $0.2T - 1.5T$  periyot aralığı dikkate alındığında ise en düşük saçılım ST4c stratejisi ile elde edilen setlere aittir. Dolayısıyla, bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumunu gözeterek stratejiler kullanılarak spektral değerlere ait saçılım, hem belirli bir periyot değeri için hem de belirli bir periyot aralığında kontrol edilebilmektedir.
- Spektral uyumun sayısal ölçütleri olan  $\delta$ ,  $MRE$  ve  $MSE$  parametrelerinin değerlerine göre de, hedef spektrum ile en düşük uyum ST1 stratejisi ile elde edilen setler için gözlenmiştir. Ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum açısından ST2, ST3 ve ST4 stratejileri birbirine yakın etkinliğe sahiptir. Çünkü bu stratejiler, ortalama spektrumun hedef spektruma uyumu açısından benzer

kriterlere sahiptir. Ancak, setteki kayıtlara ait bireysel spektrumlar ile hedef spektrum arasındaki uyum açısından bakıldığında, ST3 ve ST4 stratejileri için ST1 ve ST2'ye göre belirgin olarak düşük  $\delta$ ,  $MRE$  ve  $MSE$  değerleri elde edilmektedir. Parametrelerin düşük değerleri, hedef spektrum ile daha iyi uyumu ifade etmektedir. Bu parametreler belirli bir periyot aralığında hesaplandığından, parametre değerleri açısından bakıldığında, en düşük değerlere sahip ve dolayısıyla en etkin stratejinin ST4 olduğu görülmektedir. Özellikle ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe, bu parametrelerin değerlerinin daha da düştüğü gözlenmiştir.

- Hem TSD sistemler hem de üç boyutlu binalar için geçerli olmak üzere, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı seçim stratejisi ile elde edilen farklı ivme setlerine ait ortalama ötelenme talepleri farklılık göstermektedir. Bu durum tüm zemin sınıfları ve tüm stratejiler için de geçerlidir.
- TSD sistemler için ivme setlerine ait ortalama ötelenme talepleri, ST1 için diğer stratejilere oranla daha yüksektir. Ortalama spektrum açısından ST1 stratejisinde dikkate alınan üst sınırın yüksek olması, sete ait ortalama spektrumun da hedef spektrumdan daha yüksek olmasına ve buna bağlı olarak ortalama ötelenme taleplerinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ortalama spektruma ait üst sınır açısından benzer koşullara sahip diğer stratejiler için ise ortalama ötelenme talepleri birbirine daha yakındır. Bu sonuçlar betonarme binalar için elde edilen ötelenme oranı talepleri için de geçerlidir. Dolayısıyla, ortalama spektrum ile hedef spektrum arasındaki uyum koşulları açısından benzer stratejiler kullanıldığında, TBDY'ye göre tasarım veya performans değerlendirmesinde kullanılan ortalama ötelenme ve ortalama ötelenme oranı talepleri açısından birbirine yakın sonuçlar elde edildiği söylenebilir.
- TSD sistemlerde, bir setteki kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin o sete ait ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılımı en fazla ST1 için gözlenmiştir. ST2 için biraz daha düşük saçılım esas olarak ST3 ve ST4 stratejileri için çok daha düşüktür.

ST3a'dan ST3c'ye, ST4a'dan ST4c'ye gidildikçe, ötelenme taleplerine ait saçılım daha da azalmaktadır. Yani, ST3c ve ST4c stratejileri, ötelenme taleplerine ait saçılımların en düşük olduğu stratejiler olarak kabul edilebilir. Görüldüğü gibi, bireysel spektrumların hedef spektrum ile uyumunu gözeterek stratejiler kullanılarak maksimum ötelenme taleplerine ait saçılımı kontrol etmek de mümkündür. TSD sistemin periyodu ve yatay dayanım oranı arttıkça ST3c'ye ait saçılım azalmaktadır. ST4c için periyot ve yatay dayanım oranının saçılıma etkisi ST3c kadar belirgin değildir.

- TSD sistemlere benzer şekilde, üç boyutlu betonarme binalar için, bir setteki kayıt takımlarından elde edilen maksimum ötelenme oranı taleplerinin o sete ait ortalama ötelenme oranı talebi etrafındaki saçılımı en fazla ST1 için gözlenmiştir. Yine ST3 ve ST4 stratejileri için saçılım belirgin olarak azalmaktadır. ST3b, ST3c ve ST4c stratejileri, ötelenme oranı taleplerine ait saçılımın en düşük olduğu stratejilerdir. ST3b ve ST3c için saçılım kat sayısı arttıkça azalmaktadır. ST4c için saçılımın kat sayısından etkilenmediği söylenebilir.
- Spektral saçılım ile ötelenme taleplerin saçılımı arasındaki ilişki incelendiğinde, bu iki saçılım arasında güçlü bir bağlantı olduğu görülmüştür. Spektral saçılımın yüksek olduğu setler için ötelenme taleplerine ait saçılım da yüksek iken, spektral saçılım düştükçe, ötelenme taleplerine ait saçılım da düşmektedir. Bu sonuç, tüm TSD sistemler, betonarme binalar ve zemin sınıfları için geçerlidir. Bu sonuca göre, spektral değerlerin saçılımı kontrol edilerek ötelenme taleplerinin saçılımının kontrol edilebileceği bir kez daha görülmüştür.
- Tek yönlü varyans sonuçlarına göre, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen farklı setlere ait ortalama ötelenme ve ortalama ötelenme oranı talepleri arasındaki fark %5 anlamlılık düzeyi ile istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yani, aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı strateji ile elde edilen farklı setlere ait ortalama talepler, aynı popülasyondan rastgele çekilen örnekler olarak düşünülebilir. Bu sonuç, çalışmada dikkate alınan tüm TSD sistemler, betonarme binalar, seçim stratejileri ve zemin sınıfları için geçerlidir.

- Varyans analizi sonuçlarına bağlı olarak, TSD sistemlere ve betonarme binalara ait ortalama ötelenme talebi popülasyonları için ayrı ayrı güven aralıkları tahmin edilmiştir. Ötelenme taleplerinin ortalaması ve saçılımı, güven aralığı tahminlerini de etkilemiştir. Elde edilen sonuçlara göre ötelenme taleplerine ait ortalamanın ve saçılımın en yüksek olduğu ST1 stratejisi için hem popülasyon ortalaması en yüksek şekilde tahmin edilmekte hem de güven aralığı en geniş şekilde ortaya çıkmaktadır. Ötelenme talepleri için daha düşük ortalamaya ve saçılıma sahip ST3 ve ST4 stratejileri ele alındığında ise, hem popülasyon ortalaması daha düşük tahmin edilmekte hem de aynı güven düzeyi için güven aralığı daha dar olmaktadır.
- Rastgele değişkenlerin eğiliminin başka bir ölçüsü de medyandır. Bireysel kayıtlara ait ötelenme talepleri dikkate alınarak setler için ötelenme taleplerinin ve ötelenme oranı taleplerinin medyanı da hesaplanmış ve setler için hesaplanan ilgili ortalama talepler ile karşılaştırılmıştır. Genel olarak tüm stratejiler, zemin sınıfları, TSD sistemler ve betonarme yapılar için taleplere ait ortalamanın taleplere ait medyan değerinden büyük olduğu görülmüştür. ST1 ve ST2 için ortalamanın medyana oranı, diğer stratejilere göre çok daha büyüktür. ST3 ve ST4 stratejileri için bu oran düşmektedir. Özellikle ST3c ve ST4c stratejileri için bu oran bire çok yaklaşmaktadır. Yani bu stratejiler için medyan ile ortalamanın hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Yani, bireysel kayıtlara ait spektral uyumu da dikkate alan stratejiler için, ötelenme taleplerinin eğilimi çok daha tutarlı bir şekilde tahmin edilebilmektedir.
- Ötelenme taleplerinin eğilimi ve saçılımı, ilgili hasar görebilirlik eğrisinin biçimini de etkilemektedir. Bu konuda genel bir değerlendirme yapmak amacıyla, ortalama ötelenme taleplerinin birbirine yakın olduğu üç strateji (ST2, ST3c ve ST4c) ele alınmıştır. Böylece esas olarak, taleplere ait saçılımın etkisi gözlenebilmiştir. Ötelenme taleplerine ait saçılımın daha yüksek olduğu durumlarda (ST2 için) eğrinin eğimi daha düşük iken, saçılımın daha düşük olduğu durumlarda (ST3c ve ST4c için) eğrinin eğimi artmaktadır. Bununla birlikte, setlere ait ortalama ötelenme talebinin birbirine yakın olarak



elde edildiği bu stratejilere ait hasar görebilirlik eğrileri de ortalama ötelenme talebi civarında kesişmektedir. Hasar görebilirlik eğrilerinin eğimi farklı olduğundan ve ortalama talep civarında eğriler kesiştiğinden, sağılımin daha düşük elde edildiği stratejiler (ST3c ve ST4c) için kesişimin olduğu ötelenme değerinden daha düşük ötelenme değerlerin ait aşılmama olasılıkları daha düşük olmaktadır. Kesişim bölgesinden daha büyük ötelenme değerlerinin aşılmama olasılığı ise, düşük saçılıma sahip strateji (ST2) için daha düşüktür. Yani, nispeten düşük ötelenme değerlerinin aşılma olasılığı ST3c ve ST4c için daha yüksek olacaktır. Bu üç eğrinin kesiştiği noktadan daha büyük ötelenme değerleri için ise ST2 için aşılma olasılığı daha yüksek olacaktır. Bu bilgiye göre, güvenli yönde kalmak adına nispeten düşük ötelenme sınırlarının (rneğin bir binanın minimum hasar seviyesine ait sınır) aşılma veya aşılmama olasılığı araştırılırken daha düşük saçılıma sahip stratejiler (ST3c, ST4c gibi) ile elde edilen ivme setleri kullanılabilir. Nispeten daha yüksek ötelenme değerlerinin (rneğin bir binaya ait göçme öncesi performans düzeyi için sınır) aşılma olasılığının hesabı için ise daha yüksek saçılıma sahip stratejiler (ST2 gibi) kullanılabilir. Bu kapsamda yapılacak strateji seçimi için, setlere ait ortalama ötelenme talepleri kullanılabilir. Yani, ortalama ötelenme talebinden düşük ya da yüksek ötelenme değerleri için aşılma olasılığı hesabına yönelik strateji seçilebilir.

- Çalışmada ele alınan sonuçlara göre, deprem davranışında birinci mod Şeklinin baskın olduğu binaların analizinde kullanılacak ivme kayıtlarının seçiminde, bu moda ait periyot için spektral uyumun çok daha yüksek olduğu ST3c stratejisinin kullanılması önerilebilir. Daha yüksek modların etkisinin de dikkate alınması gereken ve/veya deprem esnasındaki rijitlik değişimine bağlı olarak periyodun değişmesi beklenen binalar için ise belirli bir periyot aralığında spektral uyumun yüksek olduğu ST4c stratejisinin kullanılması tavsiye edilir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, tezde kullanılan TSD sistemler ve üç boyutlu betonarme binalar ile dikkate alınan hedef spektrumlar için geçerlidir. Aşağıda önerilen çalışmaların yapılmasının, bu tezden elde edilen sonuçların geliştirilmesi ve değerlendirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

- Tez kapsamında kullanılan TSD sistemin davranış modeli Elastik-Mükemmel Plastik modeldir. Literatürde bulunan farklı çevrimsel davranış modelleri kullanılarak benzer çalışmalar yapılabilir. Ayrıca bu çalışmadan daha farklı periyot ve yatay dayanım oranına sahip TSD sistemler ele alınabilir.
- Bu çalışmada, aynı kalıp planına sahip altı farklı üç boyutlu betonarme bina kullanılmıştır. Betonarme bina modelleri süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Farklı betonarme bina modelleri kullanılarak yapılacak çalışmalar, bu çalışmada elde edilen sonuçlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.
- Aynı hedef spektrum ile uyumlu ve aynı seçim stratejisi ile elde edilen ivme kaydı veya ivme kaydı takımı setlerinin sayısı arttırılabilir. Ayrıca, her bir sette yer alan ivme kaydı veya ivme kaydı takımlarının sayısının da sonuçlar üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Benzer çalışmalar, gözününe alınan deprem yer hareketi ve yerel zemin şartlarına bağlı olarak seçilecek farklı hedef spektrumlar kullanılarak da yapılabilir.

## 8. KAYNAKLAR

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

Akkar, S., Sandikkaya, M. A., Senyurt, M., Sisi, A. A., Ay, B. Ö., Traversa, P., Douglas, J., Cotton F, Luzi L, Hernandez, B. and Godey, S., “Reference database for seismic ground-motion in Europe (RESORCE)”, *Bull. Earthquake Eng.*, 12(1), 311-339, (2014).

Atik, A. L. and Abrahamson, N.A., “An improved methodology for nonstationary spectral matching”, *Earthq. Spectra.*, 26(3), 601–617, (2010).

Amasralı, S., “Çok Katlı Betonarme Yapıların Üç Boyutlu Analiz ve Tasarımı”, STA4-CAD, Ver.13, 2, İstanbul, (2000).

Ambraseys, N. N., Douglas, J., Rinaldis, D., Berge, T. C., Suhadolc, P., Costa, G., Sigbjornsson, R. and Smit, P., “Dissemination of european strong-motion data”, 2, Cd-Rom collection. UK: Engineering and Physical Sciences Research Council, (2004).

Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S. J., Wooddell, K. E., Graves, R. B., Kottke, A. R., Boore, D. M., Kishida, T. and Donahue, J.L. “NGA-West2 Database”, *Earthq. Spectra.*, 30(3): 989-1005, (2014).

Araújo, M., Macedo, L., Marques, M. and Castro, J. M., “Code-based record selection methods for seismic performance assessment of buildings”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 45, 129-148, (2016).

ASCE., “*Seismic evaluation of existing buildings: American Society of Civil Engineers (ASCE Standard)*”, 31-03, USA, (2003).

ASCE., “*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-13)*”, American Society of Civil Engineers, Reston, (2014).

Baker, J. W. and Lee, C. “An improved algorithm for selecting ground motions to match a conditional spectrum”, *J. Earthquake Eng.*, 22(4), 708-723, (2018).

Baker, J. W., “Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection”, *J. Struct. Eng.*, 137(3), 322-331, (2011).

Baker, J. W. and Cornell, A. C. “A vector-valued ground motion intensity measure consisting of spectral acceleration and epsilon”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 34, 1193-1217, (2005).

Bakioğlu, M., *Cisimlerin Mukavemeti, Beta Dağıtım, İstanbul, (2001).*

BHRC., “*Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings*”, Building and Housing Research Center, Standard No. 2800, 3rd Edition, Iran, (2005).

Bispec., Bispec Professional 2.03, “Earthquake Solutions[online]”, (15 June 2014), <http://www.eqsols.com>, (2000).

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, (2008).

Bommer, J. J. and Scott, S. G., “The feasibility of using real accelerograms for seismic design”, *Implications of recent earthquakes on seismic risk*, 2, 115-126, (2000).

Boore, D. M., “Simulation of ground-motion using the stochastic method”, *Pure Appl. Geophys.*, 160, 635-675, (2003).

Cantagallo, C., Camata, G., Spacone, E. and Corotis, R., “The variability of deformation demand with ground motion intensity”, *Probabilistic Eng. Mech.*, 28, 59-65, (2012).

Cantagallo, C., Camata, G. and Spacone, E., “Seismic demand sensitivity of reinforced concrete structures to ground motion selection and modification Methods”, *Earthq. Spectra.*, 30(4), 1449-1465, (2014).

Celep, Z., *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, (2014).*

Celep, Z. and Kumbasar, N., *Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Dağıtım, İstanbul, (2004).*

Chopra, A. K., “Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering”, *Englewood Cliffs*, New Jersey: Prentice Hall, (1995).

DBYBHY, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*”, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (1998).

Demir, A., “Deprem Yönetmeliği İle Uyumlu İvme Kaydı Setleri Kullanılarak Doğrusal Olmayan Dinamik Ötelenme Taleplerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2015).

EUROCODE 8., “*Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, Seismic actions and rules for buildings*”, EN1998-1-2004, European Committee for Standardization, Brussels, (2004).

Fahjan, Y. M., “Türkiye deprem yönetmeliği tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi”, *Teknik Dergi*, 4423-4444, (2008).

FEMA-P58., “*Seismic performance assessment of buildings volume 1—methodology*”, Technical report, Washington, DC, (2018).

FEMA 356., “*Prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*”, Federal Emergency Management Agency, Washington, (2000).

Gamst, G., Meyers L. S. and Guarino, A. J., “Analysis of Variance Designs - A Conceptual and Computational Approach with SPSS and SAS”, 1 st ed. Cambridge, USA: Cambridge University Press; Chapter 1, (2008).

Garcia, R. J., “On the influence of strong-ground motion duration on residual displacement demands”, *Earthq. Struct.*, 1(4), 327-344, (2010).

García, R. J. and Miranda, E., “Probabilistic estimation of residual drift demands for seismic assessment of multi-story framed buildings”, *Eng. Struct.*, 32, 11-20, (2010).

GB., “*Code for seismic design of buildings, 50011- 2010*”, Architecture and Building Press, Beijing, China, (2010).

Geem, Z. W., Kim, J. H. and Loganathan, G. V., “A new heuristic optimization algorithm: harmony search”, *Simulation*, 76(2), 60–68, (2001).

Ghaffarzadeh, H., Talebian, N. and Kohandel, R., “Seismic demand evaluation of medium ductility RC moment frames using nonlinear procedures”, *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, 12, 399-409, (2013).

Giovenale, P., Cornell, C. A. and Esteva, L., “Comparing the adequacy of alternative ground motion intensity measures for the estimation of structural responses”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 33:951–79, (2004).

Gupta, A. and Krawinkler, H., “Estimation of seismic drift demands for frame structures”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 29, 1287-1305, (2000).

Ha, S. J. and Han, S. W., “A method for selecting ground motions that considers target response spectrum mean and variance as well as correlation structure”, *J. Earthquake Eng.*, 20(8), 1263-1277, (2016).

Han, S. W. and Seok, S. W., “Efficient procedure for selecting and scaling ground motions for response history analysis”, *J. Earthquake Eng.*, 140(1), 1-6, (2014).

Hancock, J., Bommer, J. J. and Stafford, J. P., “Numbers of scaled and matched accelerograms required for inelastic dynamic analyses”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 37, 1585-1607, (2008).

Hatzigeorgiou, G. D. and Beskos, D. E., “Inelastic displacement ratios for SDOF structures subjected to repeated earthquakes”, *Eng. Struct.*, 31, 2744-2755, (2009).

Housner, G. W., “Spectrum intensity of strong-motion earthquake”, *Proceeding of the Symposium on Earthquake and Blast effects on Structures*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, (1952).

Iervolino, I. and Cornell, C. A., “Record selection for nonlinear seismic analysis of structures”, *Earthq. Spectra.*, 21(3), 685-713, (2005).

Iervolino, I., Galasso, C. and Cosenza, E., “REXEL: Computer aided record selection for code-based seismic structural analysis”, *Bull. Earthquake Eng.*, 8, 339-362, (2010).

İnel, M., Meral, E. and Özmen, H.B., “Betonarme binalarda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem ve 3-B doğrusal elastik olmayan dinamik analiz deplasman taleplerinin karşılaştırılması”, *İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, (2013).

Jayaram, N., Lin, T. and Baker, J. W. “A computationally efficient ground-motion selection algorithm for matching a target response spectrum mean and variance”, *Earthq. Spectra.*, 27(3), 797-815, (2011).

Katsanos, I. E., Sextos, G. A. and Manolis, D. G., “Selection of earthquake ground motion records: A State- of- the- art- review from a structural engineering perspective”, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 30, 157-169, (2010).

Katsanos, E. I. and Sextos, A. G., “ISSARS: An integrated software environment for structure-specific earthquake ground motion selection”, *Adv. Eng. Softw.*, 58, 70-85, (2013).

Katsanos, E. I. and Sextos, A. G. “Structure-specific selection of earthquake ground motions for the reliable design and assessment of structures”, *Bull. Earthquake Eng.*, 16(2), 583-611, (2018).

Kayhan, A.H, “Mafsallı Prefabrik Yapılar İçin Hasar ve Ekonomik Kayıp Tahmini”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2008).

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

Kayhan, A.H., “Armoni araştırması ile ivme kaydı seçimi ve ölçeklendirme”, *Teknik Dergi*, 23, 5751-5775, (2012).

Kayhan, A. H. and Demir, A. “Statistical evaluation of drift demands of rc frames using code-compatible real ground motion record sets”, *Struct. Eng. Mech.*, 60(6), 953-977, (2016).

Kayhan, A.H., Demir, A. and Palanci, M., “Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems by code-compatible nonlinear time history analysis”, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 115: 513-530, (2018).

Kırçıl, M. S. and Polat, Z., “Fragility analysis of mid-rise R/C frame buildings”, *Eng. Struct.*, 28(9), 1335-1345, (2006).

Lee, K. S., Geem, Z. W., Lee, S. H, Bae, K. W., “The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization”, *Eng. Optimiz.*, 37(7), 663–84, (2005).

Lin, Y. Y. and Miranda, E., “Estimation of maximum roof displacement demands in regular multistory buildings”, *J. Eng. Mech.*, 136(1), 1-11, (2010).

Macedo, L. and Castro, J. M. “SeIEQ: An advanced ground motion record selection and scaling framework”, *Adv. Eng. Softw.* 114, 1-16, (2017).

Microsoft, Microsoft Excel., “Visual Basic for applications”, Microsoft Press, Washington, (1995)

Mollaioli, F. and Bruno, S., “Influence of site effects on inelastic displacement ratios for SDOF and MDOF systems”, *Comput. Math. Appl.*, 55, 184–207, (2008).

Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R., “Theoretical stress-strain model for confined Concrete”, *J. Struct. Div.*, 114 (8), 1827-1849, (1988).

Mangalathu, S., Jeon, J. S., Padgett, J. E., and DesRoches, R., “Performance-based grouping methods of bridge classes for regional seismic risk assessment: Application of ANOVA, ANCOVA, and non- parametric approaches”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 46(14), 2587-2602, (2017).

Mergos, P. E. and Sextos, A. G. “Selection of earthquake ground motions for multiple objectives using genetic algorithms”, *Eng. Struct.*, 187, 414-427, (2019).

Miranda, E., “Approximate seismic lateral deformation demand in multistory buildings”, *J. Struct. Eng.*, 125, 417-425, (1999).

Moschen, L., Medina, R. A. and Adam, C. “A ground motion record selection approach based on multiobjective optimization”, *J. Earthquake Eng.*, 23(4), 669-687, (2019).

Naeim, F., Alimoradi, A. and Pezeshk, S., “Selection and scaling of ground motion time histories for structural design using genetic algorithms”, *Earthq. Spectra.*, 20(2), 413-426, (2004).

Newmark, N. M., “A Method of computation for structural dynamics”, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 85(3), 67-94, (1959).

NZS 1170:5., “*Structural design actions, Part 5: Earthquake actions*”, New Zealand Standards, Wellington, (2004).

Palanci, M., Kayhan, A. H. and Demir, A., “A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records”, *Bull. Earthquake Eng.*, 16: 5453-5488, (2018).

Park, Y. J. and Ang, A. H. S., “Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete”, *J. Struct. Eng.*, 111(4), 722-739, (1985).

Pejovic, J. and Jankovic, S., “Seismic fragility assessment for reinforced concrete high-rise buildings in Southern Euro-Mediterranean zone”, *Bull. Earthquake Eng.*, 14(1), 185-212, (2016).



Priestley, M. J. N., Seible, F. and Calvi, G. M. S., “Seismic design and retrofit of bridges”, John Wiley & Sons, New York, (1996).

Quinde, P., Gilmore, A. T. and Reinoso, E., “Residual displacement estimation for soft soils: Application to Mexico city lake-bed”, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 130, 105970, (2020).

Rad, A. A., and MacRae, G. A., “Displacement Estimation of Elastic Structures with Unbalanced Stiffness Using Energy Approach”, *J. Earthquake Eng.*, 1-19, (2019).

Reyes, J. C., and Kalkan, E., “How many records should be used in an ASCE/SEI-7 ground motion scaling procedure?”, *Earthq. Spectra.*, 28(3), 1223-1242, (2012).

Riddell, R., Garcia, J. E. and Garces, E., “Inelastic deformation response of SDOF systems subjected to earthquakes”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 31, 515-538, (2002).

Samanta, A. and Huang, Y. N., “Ground-motion scaling for seismic performance assessment of high-rise moment-resisting frame building”, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 94, 125-135, (2017).

SAP2000, Structural Analysis Program v20.0, Computers and Structures, Berkeley, CA, (2000).

SEAOC Vision 2000 Committee., “Performance-based seismic engineering”, Report Prepared by Structural Engineers Association of California, Sacramento, California, (1995).

Seifried, A. E. and Baker, J. W., “Spectral variability and its relationship to structural response estimated from scaled and spectrum-matched ground motions”, *Earthq. Spectra.*, 32(4), 2191-2205, (2016).

Sheikh, S.A. ve Uzumeri, S.M., “Analytical model for concrete confinement in tied columns”, *ASCE Journal Of The Structural Division*, (1982).

Sünbül A. B., Dağdeviren, U., Gündüz, Z., Arman, H., “1999 Marmara depremi sonrası adapazari şehir merkezi hasar durumlarının analizi ve depremin ekonomik boyutu”, *TMMOB Afet Sempozyumu*, Ankara, 433-442, (2007).

TBDY, “*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*”, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, (2018).

TS 500., “*Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 67s, (2000).

XTRACT, v.3.0.9. “Cross-sectional X structural analysis of components”, *Imbsen Software Systems*, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.

Von, T. J. L., Roehm, L. H., Scott, G.A. and Wilson, J.A., “Earthquake ground motions for design analysis of dams”. *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II-Recent Advances in Ground-Motion Evaluation*, Geotechnical Special Publication, 20, 463–81, (1988).

Zengin, E. and Akkar, S., ”Doğrusal olmayan dinamik analizler için önerilen kayıt seçimi ve ölçeklendirme yöntemi, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, (2016).

Zhai, C., Chang, Z., Li, S. and Xie, L., “Selection of the most unfavorable real ground motions for low-and mid-rise RC frame structures”. *J. Earthquake Eng.*, 17(8), 1233-1251, (2013).

# **EKLER**

## 9. EKLER

### 9.1 EK A

Ek A1: Varyans analizi  $F$  tablosu

<b><math>F</math> TABLOSU (<math>\alpha=0.05</math>)</b>										
<b>Payda Ser.Der.</b>	<b>Pay Serbestlik Derecesi</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
<b>2</b>	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40
<b>3</b>	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
<b>4</b>	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
<b>5</b>	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
<b>6</b>	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
<b>7</b>	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
<b>8</b>	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
<b>9</b>	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
<b>10</b>	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
<b>11</b>	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85
<b>12</b>	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
<b>13</b>	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
<b>14</b>	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
<b>15</b>	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
<b>16</b>	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
<b>17</b>	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
<b>18</b>	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
<b>19</b>	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
<b>20</b>	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
<b>21</b>	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
<b>22</b>	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
<b>23</b>	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
<b>24</b>	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
<b>25</b>	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
<b>26</b>	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
<b>27</b>	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
<b>28</b>	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
<b>29</b>	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
<b>30</b>	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
<b>40</b>	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
<b>50</b>	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03
<b>60</b>	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
<b>70</b>	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97
<b>80</b>	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95
<b>90</b>	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94
<b>100</b>	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93

## 9.2 EK B

Ek B1: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZB)

Periyot		0.6s		0.8s		1.0s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	1.103	1.429	1.193	1.278	1.325	1.108
	ST2	1.124	1.194	1.283	1.117	1.310	1.032
	ST3a	1.226	0.796	1.496	0.640	1.534	0.608
	ST3b	1.274	0.406	1.487	0.415	1.586	0.261
	ST3c	1.360	0.492	1.427	0.279	1.648	0.309
	ST4a	1.205	1.005	1.344	0.817	1.452	0.603
	ST4b	1.142	0.900	1.394	0.526	1.466	0.495
	ST4c	1.237	0.450	1.394	0.385	1.642	0.382
0.13	ST1	0.996	1.500	1.165	1.252	1.338	1.022
	ST2	1.027	1.118	1.216	1.074	1.344	0.925
	ST3a	1.161	0.754	1.435	0.587	1.575	0.484
	ST3b	1.248	0.346	1.451	0.341	1.610	0.206
	ST3c	1.296	0.415	1.437	0.233	1.640	0.212
	ST4a	1.115	0.870	1.288	0.820	1.516	0.577
	ST4b	1.108	0.815	1.347	0.472	1.511	0.421
	ST4c	1.217	0.397	1.445	0.371	1.684	0.381
0.16	ST1	0.967	1.401	1.206	1.148	1.366	1.028
	ST2	0.978	0.991	1.195	0.969	1.374	0.876
	ST3a	1.161	0.654	1.435	0.499	1.587	0.476
	ST3b	1.217	0.322	1.446	0.274	1.621	0.174
	ST3c	1.227	0.353	1.429	0.179	1.673	0.127
	ST4a	1.058	0.769	1.292	0.744	1.539	0.574
	ST4b	1.152	0.648	1.347	0.386	1.542	0.444
	ST4c	1.200	0.345	1.433	0.364	1.701	0.332
0.19	ST1	0.949	1.333	1.194	1.108	1.350	1.035
	ST2	0.929	0.928	1.195	0.921	1.398	0.873
	ST3a	1.171	0.620	1.436	0.438	1.614	0.500
	ST3b	1.166	0.281	1.462	0.254	1.675	0.166
	ST3c	1.187	0.258	1.451	0.141	1.693	0.072
	ST4a	1.064	0.705	1.286	0.679	1.566	0.589
	ST4b	1.152	0.591	1.342	0.400	1.570	0.470
	ST4c	1.177	0.322	1.489	0.307	1.697	0.287
0.22	ST1	0.945	1.240	1.177	1.101	1.355	1.049
	ST2	0.912	0.887	1.194	0.873	1.396	0.891
	ST3a	1.143	0.606	1.433	0.391	1.624	0.504
	ST3b	1.161	0.247	1.450	0.217	1.670	0.148
	ST3c	1.136	0.179	1.456	0.094	1.717	0.031
	ST4a	1.031	0.700	1.286	0.659	1.567	0.588
	ST4b	1.114	0.578	1.375	0.397	1.577	0.495
	ST4c	1.151	0.323	1.480	0.312	1.720	0.273
0.25	ST1	0.942	1.177	1.173	1.111	1.358	1.059
	ST2	0.899	0.871	1.197	0.835	1.396	0.889
	ST3a	1.148	0.565	1.414	0.388	1.632	0.497
	ST3b	1.166	0.213	1.432	0.188	1.672	0.145
	ST3c	1.138	0.121	1.460	0.085	1.717	0.027
	ST4a	1.015	0.742	1.290	0.643	1.569	0.570
	ST4b	1.115	0.575	1.371	0.391	1.587	0.522
	ST4c	1.144	0.264	1.482	0.290	1.727	0.283

Ek B2: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZB)

Periyot		1.2s		1.4s		1.6s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	1.483	1.024	1.576	1.072	1.688	1.134
	ST2	1.484	1.149	1.550	1.096	1.668	1.107
	ST3a	1.783	0.357	1.929	0.362	2.093	0.431
	ST3b	1.799	0.199	1.991	0.193	2.127	0.208
	ST3c	1.786	0.182	1.961	0.130	2.128	0.112
	ST4a	1.636	0.626	1.799	0.611	1.963	0.471
	ST4b	1.690	0.548	1.857	0.480	2.031	0.460
	ST4c	1.819	0.255	1.973	0.258	2.095	0.305
0.13	ST1	1.493	1.019	1.584	1.091	1.721	1.145
	ST2	1.477	1.099	1.567	1.139	1.686	1.154
	ST3a	1.838	0.371	1.961	0.414	2.145	0.467
	ST3b	1.825	0.173	2.003	0.183	2.134	0.177
	ST3c	1.847	0.112	1.977	0.063	2.156	0.057
	ST4a	1.678	0.625	1.848	0.704	2.032	0.589
	ST4b	1.730	0.560	1.904	0.507	2.091	0.513
	ST4c	1.854	0.247	1.971	0.248	2.174	0.316
0.16	ST1	1.517	1.038	1.587	1.097	1.726	1.186
	ST2	1.478	1.005	1.577	1.178	1.710	1.301
	ST3a	1.867	0.396	1.971	0.426	2.153	0.469
	ST3b	1.843	0.171	2.006	0.167	2.141	0.183
	ST3c	1.872	0.055	1.997	0.067	2.154	0.053
	ST4a	1.686	0.619	1.844	0.705	2.043	0.635
	ST4b	1.739	0.553	1.907	0.538	2.086	0.506
	ST4c	1.910	0.241	1.993	0.279	2.205	0.373
0.19	ST1	1.537	1.085	1.586	1.087	1.729	1.196
	ST2	1.473	0.955	1.580	1.254	1.708	1.288
	ST3a	1.866	0.385	1.981	0.432	2.160	0.480
	ST3b	1.858	0.175	2.003	0.158	2.141	0.183
	ST3c	1.875	0.048	1.997	0.067	2.154	0.053
	ST4a	1.686	0.587	1.845	0.717	2.044	0.637
	ST4b	1.738	0.534	1.904	0.540	2.089	0.506
	ST4c	1.940	0.249	1.999	0.291	2.207	0.374
0.22	ST1	1.539	1.072	1.591	1.114	1.731	1.208
	ST2	1.479	0.991	1.582	1.272	1.706	1.274
	ST3a	1.874	0.395	1.980	0.430	2.159	0.475
	ST3b	1.859	0.177	2.003	0.158	2.141	0.183
	ST3c	1.875	0.048	1.997	0.067	2.154	0.053
	ST4a	1.679	0.559	1.857	0.737	2.047	0.646
	ST4b	1.747	0.567	1.906	0.545	2.088	0.500
	ST4c	1.947	0.253	2.000	0.296	2.211	0.393
0.25	ST1	1.543	1.099	1.592	1.131	1.731	1.208
	ST2	1.488	1.093	1.579	1.241	1.706	1.274
	ST3a	1.882	0.411	1.980	0.428	2.159	0.475
	ST3b	1.859	0.177	2.003	0.158	2.141	0.183
	ST3c	1.875	0.048	1.997	0.067	2.154	0.053
	ST4a	1.680	0.565	1.854	0.725	2.048	0.652
	ST4b	1.753	0.602	1.906	0.546	2.089	0.502
	ST4c	1.946	0.252	2.000	0.296	2.211	0.397

Ek B3: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZC)

Periyot		0.6s		0.8s		1.0s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	1.984	1.423	1.978	1.551	2.087	1.607
	ST2	1.826	1.088	2.041	1.037	2.147	1.023
	ST3a	2.054	0.797	2.288	0.728	2.266	0.734
	ST3b	2.184	0.665	2.201	0.586	2.420	0.368
	ST3c	2.116	0.703	2.284	0.577	2.437	0.437
	ST4a	2.091	0.527	2.292	0.569	2.389	0.663
	ST4b	2.097	0.705	2.294	0.675	2.301	0.620
	ST4c	2.103	0.481	2.244	0.468	2.410	0.429
0.13	ST1	1.937	1.439	1.910	1.574	2.116	1.489
	ST2	1.753	1.011	2.039	0.978	2.135	0.941
	ST3a	2.079	0.664	2.219	0.704	2.288	0.598
	ST3b	2.109	0.612	2.178	0.514	2.367	0.359
	ST3c	2.041	0.670	2.207	0.535	2.404	0.373
	ST4a	2.065	0.500	2.277	0.579	2.351	0.637
	ST4b	2.006	0.675	2.247	0.637	2.283	0.579
	ST4c	2.070	0.400	2.202	0.446	2.339	0.328
0.16	ST1	1.863	1.488	1.921	1.620	2.143	1.504
	ST2	1.737	0.961	1.996	0.925	2.092	0.955
	ST3a	2.034	0.590	2.155	0.675	2.269	0.545
	ST3b	2.023	0.553	2.179	0.433	2.324	0.318
	ST3c	1.963	0.596	2.179	0.433	2.386	0.283
	ST4a	2.002	0.458	2.215	0.583	2.327	0.601
	ST4b	1.964	0.588	2.197	0.571	2.302	0.571
	ST4c	1.991	0.335	2.197	0.373	2.282	0.327
0.19	ST1	1.844	1.485	1.938	1.574	2.132	1.555
	ST2	1.671	0.964	1.914	0.923	2.079	0.863
	ST3a	1.950	0.545	2.112	0.654	2.276	0.508
	ST3b	1.940	0.523	2.194	0.401	2.339	0.281
	ST3c	1.938	0.525	2.167	0.356	2.363	0.197
	ST4a	1.911	0.474	2.138	0.603	2.288	0.571
	ST4b	1.880	0.569	2.122	0.525	2.290	0.536
	ST4c	1.908	0.272	2.185	0.359	2.290	0.297
0.22	ST1	1.778	1.535	1.957	1.510	2.112	1.512
	ST2	1.631	0.924	1.907	0.897	2.069	0.794
	ST3a	1.887	0.522	2.036	0.627	2.260	0.464
	ST3b	1.902	0.405	2.184	0.349	2.309	0.225
	ST3c	1.920	0.434	2.152	0.334	2.326	0.183
	ST4a	1.892	0.455	2.065	0.628	2.254	0.542
	ST4b	1.854	0.545	2.057	0.557	2.242	0.516
	ST4c	1.841	0.274	2.169	0.330	2.276	0.248
0.25	ST1	1.784	1.483	1.977	1.446	2.119	1.387
	ST2	1.659	0.884	1.910	0.915	2.070	0.772
	ST3a	1.845	0.501	2.029	0.576	2.277	0.438
	ST3b	1.831	0.327	2.123	0.296	2.288	0.199
	ST3c	1.881	0.376	2.146	0.255	2.328	0.163
	ST4a	1.799	0.486	2.062	0.600	2.252	0.501
	ST4b	1.810	0.536	2.019	0.540	2.227	0.482
	ST4c	1.805	0.274	2.123	0.299	2.255	0.209

Ek B4: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZC)

Periyot		1.2s		1.4s		1.6s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	2.156	1.518	2.267	1.503	2.310	1.440
	ST2	2.293	0.933	2.438	0.970	2.437	1.050
	ST3a	2.467	0.612	2.675	0.745	2.679	0.515
	ST3b	2.604	0.553	2.663	0.407	2.770	0.337
	ST3c	2.553	0.427	2.757	0.365	2.752	0.369
	ST4a	2.463	0.685	2.611	0.648	2.661	0.687
	ST4b	2.407	0.582	2.525	0.535	2.602	0.579
	ST4c	2.570	0.430	2.651	0.358	2.718	0.336
0.13	ST1	2.175	1.559	2.298	1.476	2.333	1.446
	ST2	2.233	0.873	2.398	0.889	2.398	0.960
	ST3a	2.400	0.568	2.628	0.627	2.675	0.460
	ST3b	2.540	0.406	2.658	0.298	2.751	0.256
	ST3c	2.492	0.381	2.660	0.323	2.728	0.310
	ST4a	2.391	0.668	2.562	0.568	2.657	0.608
	ST4b	2.370	0.550	2.521	0.531	2.593	0.551
	ST4c	2.487	0.373	2.568	0.324	2.669	0.214
0.16	ST1	2.175	1.541	2.299	1.480	2.319	1.346
	ST2	2.224	0.866	2.371	0.850	2.374	0.926
	ST3a	2.391	0.483	2.602	0.583	2.706	0.400
	ST3b	2.513	0.344	2.659	0.209	2.762	0.199
	ST3c	2.492	0.332	2.633	0.246	2.750	0.226
	ST4a	2.403	0.603	2.527	0.548	2.666	0.604
	ST4b	2.353	0.507	2.525	0.501	2.597	0.541
	ST4c	2.467	0.333	2.551	0.288	2.712	0.217
0.19	ST1	2.157	1.540	2.301	1.523	2.325	1.369
	ST2	2.226	0.810	2.387	0.826	2.382	0.914
	ST3a	2.373	0.489	2.581	0.510	2.721	0.373
	ST3b	2.503	0.284	2.649	0.232	2.777	0.176
	ST3c	2.478	0.250	2.631	0.174	2.784	0.150
	ST4a	2.381	0.568	2.528	0.555	2.668	0.557
	ST4b	2.374	0.474	2.525	0.480	2.641	0.542
	ST4c	2.449	0.342	2.590	0.266	2.749	0.286
0.22	ST1	2.168	1.498	2.300	1.528	2.332	1.407
	ST2	2.249	0.764	2.361	0.781	2.393	0.913
	ST3a	2.381	0.453	2.561	0.467	2.727	0.370
	ST3b	2.488	0.224	2.653	0.196	2.817	0.146
	ST3c	2.472	0.203	2.638	0.116	2.783	0.083
	ST4a	2.387	0.560	2.522	0.543	2.668	0.531
	ST4b	2.371	0.457	2.534	0.446	2.652	0.529
	ST4c	2.460	0.315	2.592	0.274	2.773	0.287
0.25	ST1	2.180	1.430	2.288	1.477	2.330	1.395
	ST2	2.285	0.747	2.384	0.751	2.401	0.916
	ST3a	2.414	0.435	2.559	0.457	2.740	0.385
	ST3b	2.498	0.212	2.674	0.174	2.817	0.128
	ST3c	2.503	0.146	2.661	0.076	2.778	0.074
	ST4a	2.394	0.534	2.558	0.527	2.669	0.525
	ST4b	2.375	0.460	2.547	0.456	2.654	0.516
	ST4c	2.461	0.289	2.600	0.290	2.777	0.277



Ek B5: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZD)

Periyot		0.6s		0.8s		1.0s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	2.491	1.325	2.582	1.295	2.725	1.273
	ST2	2.333	0.947	2.420	0.944	2.668	0.793
	ST3a	2.365	0.926	2.638	0.811	2.753	0.667
	ST3b	2.532	0.802	2.648	0.768	2.824	0.604
	ST3c	2.581	0.651	2.676	0.546	2.976	0.467
	ST4a	2.535	0.790	2.658	0.799	2.782	0.737
	ST4b	2.600	0.613	2.726	0.640	2.856	0.555
	ST4c	2.625	0.320	2.724	0.295	2.895	0.327
0.13	ST1	2.399	1.381	2.505	1.285	2.652	1.241
	ST2	2.284	0.952	2.394	0.901	2.625	0.790
	ST3a	2.282	0.851	2.612	0.771	2.763	0.624
	ST3b	2.478	0.729	2.596	0.707	2.757	0.561
	ST3c	2.462	0.604	2.587	0.479	2.875	0.436
	ST4a	2.444	0.764	2.570	0.742	2.741	0.665
	ST4b	2.522	0.602	2.663	0.599	2.825	0.518
	ST4c	2.375	0.402	2.586	0.300	2.838	0.282
0.16	ST1	2.305	1.429	2.462	1.294	2.575	1.208
	ST2	2.217	0.941	2.320	0.892	2.613	0.754
	ST3a	2.186	0.792	2.586	0.769	2.727	0.549
	ST3b	2.399	0.686	2.585	0.636	2.698	0.459
	ST3c	2.331	0.569	2.514	0.373	2.778	0.407
	ST4a	2.336	0.737	2.521	0.654	2.677	0.664
	ST4b	2.443	0.528	2.578	0.590	2.801	0.465
	ST4c	2.287	0.387	2.484	0.281	2.734	0.281
0.19	ST1	2.277	1.365	2.447	1.273	2.555	1.202
	ST2	2.140	0.932	2.269	0.875	2.551	0.772
	ST3a	2.166	0.676	2.529	0.739	2.677	0.506
	ST3b	2.367	0.563	2.560	0.577	2.646	0.380
	ST3c	2.310	0.470	2.533	0.316	2.708	0.359
	ST4a	2.279	0.661	2.445	0.644	2.616	0.635
	ST4b	2.357	0.491	2.526	0.565	2.753	0.456
	ST4c	2.267	0.352	2.410	0.303	2.653	0.295
0.22	ST1	2.255	1.334	2.419	1.265	2.549	1.211
	ST2	2.026	0.941	2.277	0.831	2.487	0.781
	ST3a	2.130	0.611	2.464	0.712	2.632	0.479
	ST3b	2.311	0.471	2.538	0.530	2.632	0.327
	ST3c	2.253	0.391	2.468	0.339	2.695	0.292
	ST4a	2.197	0.618	2.385	0.608	2.583	0.595
	ST4b	2.309	0.463	2.521	0.533	2.715	0.460
	ST4c	2.243	0.299	2.362	0.343	2.631	0.282
0.25	ST1	2.239	1.277	2.437	1.215	2.548	1.174
	ST2	2.026	0.855	2.270	0.822	2.440	0.785
	ST3a	2.130	0.523	2.441	0.646	2.596	0.461
	ST3b	2.271	0.460	2.518	0.443	2.592	0.318
	ST3c	2.206	0.389	2.478	0.334	2.674	0.272
	ST4a	2.169	0.557	2.374	0.568	2.546	0.574
	ST4b	2.259	0.497	2.469	0.521	2.685	0.448
	ST4c	2.218	0.295	2.342	0.352	2.647	0.259

Ek B6: TSD sistemlerde  $\Delta_{mak}$  için lognormal dağılım parametreleri (ZD)

Periyot		1.2s		1.4s		1.6s	
$F_y/W$	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
0.1	ST1	2.782	1.267	2.831	1.243	2.896	1.197
	ST2	2.738	0.828	2.831	0.871	2.949	0.929
	ST3a	2.950	0.632	2.988	0.612	3.061	0.548
	ST3b	2.987	0.456	3.081	0.494	3.166	0.425
	ST3c	2.995	0.402	3.071	0.491	3.181	0.333
	ST4a	2.881	0.781	3.014	0.732	3.078	0.769
	ST4b	2.920	0.595	3.011	0.599	3.143	0.621
	ST4c	3.034	0.322	3.136	0.357	3.213	0.311
0.13	ST1	2.739	1.202	2.793	1.214	2.900	1.158
	ST2	2.680	0.871	2.769	0.811	2.915	0.779
	ST3a	2.867	0.595	2.963	0.477	3.034	0.476
	ST3b	2.969	0.449	3.007	0.412	3.161	0.355
	ST3c	2.953	0.346	2.985	0.361	3.156	0.283
	ST4a	2.799	0.697	2.925	0.629	3.046	0.627
	ST4b	2.867	0.568	2.997	0.564	3.089	0.560
	ST4c	2.923	0.310	3.019	0.314	3.147	0.305
0.16	ST1	2.691	1.157	2.744	1.136	2.894	1.123
	ST2	2.657	0.855	2.737	0.795	2.886	0.767
	ST3a	2.857	0.498	2.960	0.455	3.058	0.481
	ST3b	2.904	0.394	2.975	0.297	3.151	0.300
	ST3c	2.878	0.321	2.952	0.265	3.124	0.190
	ST4a	2.801	0.636	2.904	0.572	3.033	0.589
	ST4b	2.871	0.523	2.946	0.546	3.087	0.541
	ST4c	2.907	0.290	2.969	0.247	3.047	0.280
0.19	ST1	2.666	1.134	2.716	1.054	2.924	1.022
	ST2	2.658	0.804	2.720	0.790	2.853	0.759
	ST3a	2.810	0.476	2.944	0.445	3.049	0.481
	ST3b	2.867	0.319	2.978	0.222	3.153	0.199
	ST3c	2.877	0.307	2.935	0.210	3.088	0.167
	ST4a	2.780	0.583	2.865	0.544	2.998	0.551
	ST4b	2.833	0.481	2.932	0.475	3.060	0.465
	ST4c	2.881	0.268	2.935	0.210	2.986	0.276
0.22	ST1	2.678	1.133	2.722	1.052	2.923	1.009
	ST2	2.613	0.750	2.719	0.786	2.865	0.785
	ST3a	2.793	0.470	2.931	0.438	3.053	0.437
	ST3b	2.870	0.338	2.964	0.231	3.091	0.170
	ST3c	2.892	0.294	2.906	0.193	3.046	0.132
	ST4a	2.764	0.555	2.838	0.571	2.994	0.561
	ST4b	2.777	0.468	2.882	0.423	3.036	0.418
	ST4c	2.857	0.245	2.912	0.229	2.997	0.270
0.25	ST1	2.698	1.106	2.746	1.055	2.903	1.004
	ST2	2.596	0.733	2.715	0.772	2.878	0.810
	ST3a	2.762	0.458	2.936	0.412	3.052	0.420
	ST3b	2.845	0.310	2.940	0.205	3.068	0.148
	ST3c	2.879	0.259	2.914	0.179	3.054	0.128
	ST4a	2.740	0.542	2.861	0.567	3.001	0.572
	ST4b	2.744	0.466	2.886	0.414	3.021	0.415
	ST4c	2.808	0.238	2.907	0.227	3.017	0.261

Ek B7: 3B binalarda  $\Delta_{mak}/H$  ve  $\delta_{mak}/h$  için lognormal dağılım parametreleri

Bina	Zemin		ZB_Zemin		ZC_Zemin		ZD_Zemin	
	PAR	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
3_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (1.Kat)	ST1	-5.703	1.264	-4.724	1.186	-4.261	1.504
		ST2	-5.775	0.911	-5.015	1.060	-4.546	1.016
		ST3a	-5.580	0.633	-4.849	0.707	-4.580	0.802
		ST3b	-5.476	0.270	-4.801	0.445	-4.500	0.566
		ST3c	-5.519	0.181	-4.779	0.348	-4.410	0.466
		ST4a	-5.680	0.778	-4.945	0.652	-4.458	0.668
		ST4b	-5.620	0.532	-4.869	0.647	-4.554	0.578
	ST4c	-5.512	0.371	-4.775	0.391	-4.515	0.397	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-5.901	1.277	-4.986	1.226	-4.553	1.383
		ST2	-5.944	0.818	-5.248	1.022	-4.856	0.939
		ST3a	-5.769	0.512	-5.114	0.726	-4.868	0.757
		ST3b	-5.687	0.250	-5.063	0.423	-4.801	0.540
		ST3c	-5.731	0.189	-5.054	0.321	-4.723	0.431
		ST4a	-5.839	0.673	-5.211	0.636	-4.773	0.608
ST4b		-5.827	0.473	-5.128	0.625	-4.847	0.544	
ST4c	-5.728	0.335	-5.066	0.397	-4.816	0.376		
5_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (1.Kat)	ST1	-5.712	1.412	-4.722	1.170	-4.122	1.261
		ST2	-5.731	0.897	-5.072	1.269	-4.564	1.068
		ST3a	-5.524	0.481	-4.777	0.767	-4.357	0.629
		ST3b	-5.411	0.213	-4.768	0.498	-4.334	0.521
		ST3c	-5.479	0.206	-4.743	0.500	-4.343	0.456
		ST4a	-5.550	0.765	-4.898	0.739	-4.465	0.635
		ST4b	-5.537	0.511	-4.745	0.630	-4.485	0.562
	ST4c	-5.492	0.363	-4.748	0.525	-4.426	0.405	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-5.944	1.345	-5.036	1.141	-4.544	1.101
		ST2	-5.986	0.887	-5.303	1.069	-4.896	0.859
		ST3a	-5.703	0.335	-5.070	0.636	-4.749	0.592
		ST3b	-5.659	0.157	-5.118	0.355	-4.751	0.474
		ST3c	-5.725	0.112	-5.095	0.367	-4.751	0.380
		ST4a	-5.805	0.686	-5.218	0.679	-4.835	0.580
ST4b		-5.756	0.399	-5.133	0.597	-4.846	0.513	
ST4c	-5.736	0.302	-5.102	0.411	-4.818	0.329		
6_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (1.Kat)	ST1	-5.664	1.493	-4.636	1.290	-4.080	1.384
		ST2	-5.448	0.861	-4.839	1.132	-4.521	1.113
		ST3a	-5.299	0.641	-4.682	0.636	-4.231	0.561
		ST3b	-5.245	0.210	-4.662	0.273	-4.204	0.413
		ST3c	-5.229	0.195	-4.616	0.309	-4.237	0.364
		ST4a	-5.347	0.724	-4.739	0.730	-4.315	0.605
		ST4b	-5.309	0.484	-4.573	0.642	-4.360	0.576
	ST4c	-5.274	0.347	-4.522	0.537	-4.273	0.350	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-5.955	1.336	-4.963	1.061	-4.574	1.020
		ST2	-5.803	0.831	-5.200	1.040	-4.838	0.824
		ST3a	-5.539	0.407	-5.000	0.549	-4.657	0.477
		ST3b	-5.512	0.157	-5.023	0.209	-4.663	0.298
		ST3c	-5.534	0.113	-4.964	0.198	-4.719	0.279
		ST4a	-5.655	0.586	-5.124	0.627	-4.722	0.525
ST4b		-5.592	0.424	-4.956	0.558	-4.777	0.481	
ST4c	-5.523	0.273	-4.933	0.389	-4.704	0.295		

Ek B8: 3B binalarda  $\Delta_{mak}/H$  ve  $\delta_{mak}/h$  için lognormal dağılım parametreleri

Bina	Zemin		ZB_Zemin		ZC_Zemin		ZD_Zemin	
	PAR	ST	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
7_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (2.Kat)	ST1	-5.781	1.352	-4.831	1.147	-4.372	1.100
		ST2	-5.655	0.745	-5.072	1.049	-4.716	0.899
		ST3a	-5.480	0.356	-4.929	0.567	-4.544	0.654
		ST3b	-5.448	0.223	-4.786	0.355	-4.526	0.442
		ST3c	-5.421	0.134	-4.806	0.297	-4.461	0.349
		ST4a	-5.547	0.672	-5.016	0.690	-4.609	0.574
		ST4b	-5.533	0.474	-4.872	0.627	-4.646	0.537
	ST4c	-5.478	0.311	-4.832	0.456	-4.563	0.337	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-6.253	1.514	-5.117	1.073	-4.694	1.036
		ST2	-6.062	0.866	-5.410	1.066	-5.012	0.899
		ST3a	-5.814	0.341	-5.244	0.546	-4.846	0.648
		ST3b	-5.788	0.182	-5.108	0.365	-4.824	0.395
		ST3c	-5.798	0.182	-5.105	0.270	-4.810	0.300
		ST4a	-5.911	0.714	-5.350	0.714	-4.925	0.603
ST4b		-5.874	0.500	-5.202	0.618	-4.953	0.550	
ST4c	-5.828	0.317	-5.183	0.455	-4.882	0.320		
9_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (2.Kat)	ST1	-5.798	1.433	-4.825	1.207	-4.278	1.045
		ST2	-5.518	0.816	-4.889	1.015	-4.547	0.903
		ST3a	-5.322	0.417	-4.690	0.464	-4.361	0.536
		ST3b	-5.236	0.117	-4.658	0.398	-4.369	0.358
		ST3c	-5.263	0.136	-4.644	0.271	-4.378	0.354
		ST4a	-5.414	0.734	-4.801	0.700	-4.384	0.513
		ST4b	-5.350	0.358	-4.742	0.661	-4.393	0.447
	ST4c	-5.260	0.221	-4.676	0.478	-4.362	0.316	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-6.342	1.504	-5.222	1.187	-4.689	0.930
		ST2	-5.916	0.830	-5.262	0.965	-4.942	0.826
		ST3a	-5.723	0.375	-5.061	0.403	-4.760	0.490
		ST3b	-5.638	0.128	-5.043	0.316	-4.763	0.313
		ST3c	-5.661	0.099	-5.048	0.253	-4.744	0.265
		ST4a	-5.773	0.628	-5.204	0.606	-4.767	0.476
ST4b		-5.728	0.360	-5.132	0.576	-4.811	0.437	
ST4c	-5.648	0.254	-5.069	0.372	-4.738	0.275		
12_Katlı	$\delta_{mak}/h$ (2.Kat)	ST1	-5.688	1.344	-4.901	1.209	-4.303	1.092
		ST2	-5.542	0.907	-4.895	0.845	-4.484	1.144
		ST3a	-5.254	0.407	-4.647	0.570	-4.418	0.650
		ST3b	-5.223	0.156	-4.592	0.329	-4.294	0.357
		ST3c	-5.251	0.106	-4.612	0.267	-4.292	0.386
		ST4a	-5.306	0.650	-4.703	0.779	-4.367	0.648
		ST4b	-5.250	0.452	-4.766	0.641	-4.307	0.664
	ST4c	-5.270	0.261	-4.652	0.420	-4.340	0.474	
	$\Delta_{mak}/H$	ST1	-6.246	1.426	-5.365	1.179	-4.794	0.952
		ST2	-5.963	0.906	-5.310	0.893	-4.967	0.878
		ST3a	-5.647	0.404	-5.077	0.470	-4.819	0.529
		ST3b	-5.530	0.021	-5.044	0.228	-4.759	0.218
		ST3c	-5.620	0.094	-5.078	0.185	-4.787	0.250
		ST4a	-5.776	0.684	-5.168	0.671	-4.824	0.512
ST4b		-5.643	0.450	-5.185	0.550	-4.813	0.473	
ST4c	-5.635	0.262	-5.108	0.356	-4.809	0.332		

## 10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Demir  
Doğum Yeri ve Tarihi : Seyhan/Adana 24/01/1990  
Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi  
Y. Lisans Üniversite: : Pamukkale Üniversitesi  
Elektronik Posta : ademir@pau.edu.tr  
İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Pamukkale/ DENİZLİ

### Yayın Listesi

- Kayhan, A. H. and Demir, A., “Statistical evaluation of drift demands of rc frames using code-compatible real ground motion record sets”, *Struct. Eng. Mech.*, 60(6), 953-977, (2016).
- Kayhan A.H. and Demir, A., “Betonarme konsol istinat duvarlarının parçacık sürü optimizasyonu ile optimum tasarımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3): 129-135, (2016).
- Kayhan A.H. and Demir, A., “Tek serbestlik dereceli sistemlerde maksimum ötelenme talebi üzerinde çevrimsel davranış modellerinin etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6): 442-453, (2016).
- Palanci M., Kayhan A.H. and Demir A., “A statistical assessment on global drift ratio demands of mid-rise RC buildings using code-compatible real ground motion records”, *Bull. Earthquake Eng.*, 16: 5453-5488, (2018).
- Kayhan A.H., Demir A. and Palanci M., “Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems by code-compatible nonlinear time history analysis”, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 115: 513-530, (2018).
- Kayhan A.H. and Demir, A., “Statik ve dinamik yüklere maruz betonarme konsol istinat duvarlarının diferansiyel gelişim algoritması ile optimum tasarımı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3): 403-412, (2018).

## Konferans Listesi

- Kayhan A.H. and Demir A., “Harmony search based solution algorithm for optimum design of RC cantilever retaining walls considering relevant Turkish Standards”, International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October. Antalya, Turkey, (2014).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Statistical evaluation of maximum displacement demands of SDOF systems using code-compatible ground motion record sets”, Third Conference on Smart Monitoring and Rehabilitation of Civil Structures, 7-9 September, Antalya, Turkey, (2015).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Zaman tanım alanında analiz için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ölçeklendirilmemiş ivme setleri”, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-15 Mayıs, İstanbul, (2015).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Betonarme bir binanın farklı kullanım amaçları için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu doğrusal olmayan dinamik analizi”, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-15 Mayıs, İstanbul, (2015).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Tek serbestlik dereceli sistemlerde doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz ile elde edilen maksimum deplasman taleplerinin karşılaştırılması”, 3.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, İzmir, (2015).
- Demir A. and Kayhan A.H., “Deprem Yönetmeliği ile uyumlu zaman tanım alanında doğrusal analiz ile elde edilen ötelenme taleplerinin incelenmesi”, Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu, 2-4 Mart, Karabük, Türkiye, (2016).
- Demir A. and Kayhan A.H., “Betonarme konsol istinat duvarlarının armoni araştırması algoritması ile optimum tasarımı”, Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu, 2-4 Mart, Karabük, Türkiye, (2016).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Global and Interstory Drift Ratio Demands of RC Frames Obtained using Ground Motion Record Sets Compatible with Turkish Earthquake Code”, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, 21-23 September, Istanbul, Turkey, (2016).
- Kayhan A.H. and Demir A., “Effect of the Input Parameters on Optimum Design Cost of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls”, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering, 08-10 May, Nevşehir, Turkey, (2017).

- Kayhan A.H. and Demir A., “Effect of the Number of Ground Motion Records Used for Time History Analysis on the Mean and Variation of Maximum Displacement Demands of SDOF Systems”, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering, 08-10 May, Nevsehir, Turkey, (2017).
- Demir, A. and Kayhan A.H., “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği taslağı ile uyumlu zaman tanım alanında analiz için gerçek ivme kaydı setlerinin elde edilmesi”, Dördüncü Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Eskişehir, Türkiye, (2017).
- Demir, A. and Kayhan A.H., “Deprem Yönetmeliği 2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile uyumlu zaman tanım alanında analiz sonuçlarının karşılaştırılması”, Dördüncü Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Eskişehir, Türkiye, (2017).
- Tellal, C., Demir, A. and Kayhan A.H., “The mean and variation of drift ratio demands of rc buildings”, 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, 12-14 September, Izmir, Turkey, (2018).
- Demir, A. and Kayhan A.H., “Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Optimum Maliyetinin Deprem Etkisi, Zemin Özellikleri ve Duvar Yüksekliği İle Değişimi”, International Congress on Engineering and Architecture, 14-16 November, Alanya, Turkey, (2018).
- Demir, A. and Kayhan A.H., “Comparison of Maximum Displacement Demands of SDOF Systems using Scaled and Unscaled Ground Motion Record Sets Compatible with Turkish Earthquake Code”, International Congress on Engineering and Architecture, 14-16 November, Alanya, Turkey, (2018).
- Demir, A., Palanci, M. and Kayhan A.H. “Maximum demands calculated for SDOF systems using tbec-2018 compatible unscaled ground motion record sets”, International Civil Engineering and Architecture Conference, 17-20 April, Trabzon, Turkey, (2019).
- Demir, A., Palanci, M. and Kayhan A.H., “Global and interstory drift demands calculated for a mid-rise rc building using tbec-2018 compatible real ground motion record sets”, International Civil Engineering and Architecture Conference, 17-20 April, Trabzon, Turkey, (2019).

- Koç, M., Demir, A. and Kayhan A.H., “TBDY ile uyumlu zaman tanım alanında analizlerden elde edilen maksimum ötelenme talepleri üzerinde yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesinin etkisi”, 5th. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 8-11 October, Ankara, Turkey, (2019).
- Demir, A. and Kayhan A.H., “TBDY2018 ile uyumlu zaman tanım alanında analiz için kullanılacak ölçekli ve ölçeksiz ivme kaydi setleri”, 5th. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 8-11 October, Ankara, Turkey, (2019).