

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

**DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE UYUMLU İVME KAYDI  
SETLERİ KULLANILARAK DOĞRUSAL OLMAYAN  
DİNAMİK ÖTELENME TALEPLERİNİN İSTATİSTİKSEL  
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**DENİZLİ, MAYIS - 2015**

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



**DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE UYUMLU İVME KAYDI  
SETLERİ KULLANILARAK DOĞRUSAL OLMAYAN  
DİNAMİK ÖTELENME TALEPLERİNİN İSTATİSTİKSEL  
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AHMET DEMİR**

**DENİZLİ, MAYIS - 2015**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ahmet DEMİR tarafından hazırlanan “Deprem Yönetmeliği İle Uyumlu İvme Kaydı Setleri Kullanılarak Doğrusal Olmayan Dinamik Ötelenme Taleplerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.05.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oybirliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

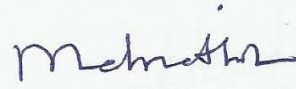
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Ali Haydar KAYHAN  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Prof. Dr. Mehmet İNEL  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Doç. Dr. Salih YILMAZ  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/06/2015 tarih ve ...20.118.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

### DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE UYUMLU İVME KAYDI SETLERİ KULLANILARAK DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ÖTELENME TALEPLERİNİN İSTATİKTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET DEMİR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALİ HAYDAR KAYHAN)

DENİZLİ, MAYIS - 2015

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı son yıllarda geniş ölçüde benimsenmiş ve doğrusal olmayan maksimum ötelenme ve maksimum süneklik talebi gibi kavramlar, yapıların tasarımı ve/veya performans değerlendirmesi amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Doğrusal olmayan analiz için kullanılan ivme kayıtları, analiz sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Herhangi bir yapının bulunduğu bölgenin depremselliğini temsil edecek şekilde ivme kayıtlarının seçilmesi, yapının deprem davranışının doğru olarak tahmin edilebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Deprem Yönetmeliği'nin de aralarında bulunduğu modern deprem yönetmeliklerinde, zaman tanım alanında analizde kullanılacak ivme kayıtlarının özellikleri ile ilgili tanımlamalar yer almıştır.

Bu çalışmada, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ivme setleri kullanılarak yapılacak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı periyot, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modeline sahip 135 tek serbestlik dereceli sistem ile farklı kat sayısına sahip 3 betonarme düzlem çerçevenin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için, Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerin her biri ile uyumlu dört farklı ivme seti kullanılmıştır.

Tek serbestlik dereceli sistemlerde maksimum ötelenme talebi, düzlem çerçevelerde ise maksimum ötelenme ve maksimum görel kat ötelenmesi talepleri elde edilmiştir. İvme setleri için elde edilen taleplerin dağılımı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, ivme kaydı setlerinden elde edilen talepler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesi için varyans analizi kullanılmıştır.

İvme seti içerisindeki kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin, dikkate değer bir saçılıma sahip olduğu görülmüştür. İlgili zemin sınıfı ile uyumlu ivme setlerinden elde edilen taleplerin farklılık göstermekle beraber birbirine yakın mertebede olduğu görülmüştür. Varyans analizi sonuçları, setlerden elde edilen talepler arasındaki farkın %5 hata payı ile istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir. Bu tespitlerin dikkate alınan tüm tek serbestlik dereceli sistemler ve düzlem çerçeve sistemleri için geçerli olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER:** Zaman Tanım Alanında Analiz, Maksimum Ötelenme Talebi, Doğrusal Olmayan Modelleme, İstatistiksel Değerlendirme, Tek Serbestlik Dereceli Sistemler, Düzlem Çerçeve Sistemleri

## **ABSTRACT**

### **STATISTICAL EVALUATION OF NONLINEAR DYNAMIC DISPLACEMENT DEMANDS USING CODE COMPATIBLE GROUND MOTION RECORD SETS**

**MSC THESIS**

**AHMET DEMİR**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR ALİ HAYDAR KAYHAN)**

**DENİZLİ, MAY 2015**

Performance based design approach has been adopted widely in recent years and for purpose of the design and/or performance evaluation of buildings was started to be used concepts such, nonlinear maximum displacement and maximum ductility demand. Acceleration records used for nonlinear analysis directly affects the analysis results. Selection of acceleration records for any structure represent the seismic at the site where the structure is located which is important to obtain an appropriate estimation seismic behavior of the structure. Properties about acceleration records which are used in time history analysis are defined in modern seismic code including the Turkish Earthquake Code (TEC).

The purpose of this study, using the acceleration sets which are compatible with TEC are statistically evaluate the maximum displacement demands obtained from result of the nonlinear time history analyses. For that purpose, 135 single degree of freedom systems with different period, lateral strength ratio and hysteresis model and three different reinforced concrete frames with different floor was conducted for non-linear analyses. Four acceleration sets compatible with Z1, Z2 and Z3 soil class were used for analyses.

Maximum displacement demand for single degree of freedom systems, for reinforced concrete frame maximum relative displacement demand and maximum displacement demands were obtained. The distribution of demand for acceleration sets was statistically evaluated. Besides, the differences between the demands which are obtained from acceleration records sets used for analysis of variance to evaluate whether statistically significant.

Displacement demands with obtained from in acceleration records sets have been observed to a remarkable scattering. The demands obtained from the acceleration sets compatible with soil class were found different but also close to each other. Variance analysis results show that the mean of the displacement demands obtained from the different sets are the same at the 0.05 level of significance. These results are valid for all the considered single degree of freedom systems and reinforced concrete frames.

**KEYWORDS: Time History Analysis, Maximum Displacement Demand, Nonlinear Modeling, Statistical Evaluation, Single Degree of Freedom Systems, Reinforced Concrete Frame**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖNSÖZ.....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1    Problemin Tanımı .....	3
1.2    Tezin Amacı .....	5
1.3    Literatür Çalışmaları .....	6
1.3.1    Ötelenme Taleplerinin Değerlendirildiği Çalışmalar .....	6
1.3.2    İvme Kaydı Seçimi ile İlgili Çalışmalar .....	12
1.4    Kapsam ve Yöntem.....	13
1.5    Tezin Organizasyonu .....	16
<b>2. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ ...</b>	<b>17</b>
2.1    Giriş .....	17
2.2    Yapısal Analiz Yöntemleri.....	18
2.2.1    Doğrusal Statik Analiz.....	19
2.2.2    Doğrusal Dinamik Analiz .....	20
2.2.3    Doğrusal Olmayan Statik Analiz .....	21
2.2.4    Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz .....	22
2.3    Doğrusal Olmayan Davranış .....	22
2.3.1    Geliştirilmiş Kent-Park Modeli.....	24
2.3.2    Donatı Çeliği Modeli .....	27
2.4    Doğrusal Olmayan Modelleme.....	28
2.4.1    Plastik Mafsalsal.....	28
2.4.2    Eğilme mafsalsal .....	29
2.4.3    Eğrilik Yoğunlaşması .....	29
2.4.4    Eğilme Mafsalsal Kriterleri.....	31
2.5    Deprem Yönetmeliği'nde Doğrusal Olmayan Modelleme .....	33
2.5.1    Yapı Elemanlarında Kesit Hasar Bölgeleri ve Hasar Sınırları.....	33
2.5.2    Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi .....	34
2.5.3    Betonarme Elemanların Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri.....	35
2.6    Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz .....	36
2.6.1    Tek Serbestlik Dereceli Sistemler .....	36
2.6.2    Düzlem Çerçevesel .....	38
<b>3. ANALİZ İÇİN KULLANILACAK MODELLER .....</b>	<b>41</b>
3.1    Tek Serbestlik Dereceli Sistemler .....	41
3.1.1    Periyot ve Yatay Dayanım Oranları .....	41
3.1.2    Çevrimsel Davranış Modelleri .....	41
3.1.2.1    Elastik-Mükemmel Plastik (EMP) Model.....	42
3.1.2.2    Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) Model.....	43
3.1.2.3    Modifiye Takeda (MT) Modeli .....	43

3.2	Düzlem Çerçeve Sistemler .....	44
3.2.1	Düzlem Çerçevelerin Analiz ve Tasarım Bilgileri .....	45
3.2.2	Düzlem Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Model Bilgileri .....	48
<b>4.</b>	<b>DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE UYUMLU GERÇEK İVME</b>	
<b>KAYITLARI</b>	<b>.....</b>	<b>64</b>
4.1	Giriş .....	64
4.2	Deprem Yönetmeliği Zaman Tanım Alanında Analiz Koşulları .....	65
4.3	Tasarım İvme Spektrumları.....	66
4.4	İlave Kriterler ve Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı .....	68
4.5	İvme Kaydı Setleri.....	69
<b>5.</b>	<b>DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI</b> .....	<b>75</b>
5.1	Giriş .....	75
5.2	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Analiz Sonuçları.....	76
5.3	Düzlem Çerçevelerde Dinamik Analiz Sonuçları .....	92
5.3.1	Maksimum Ötelenme Talepleri.....	93
5.3.2	Maksimum Göreli Kat Ötelenmesi Talepleri.....	99
<b>6.</b>	<b>VARYANS ANALİZİ</b> .....	<b>109</b>
6.1	Giriş .....	109
6.2	Varyans Analizinde Dikkate Alınması Gerekli Hususlar .....	110
6.3	Tek Yönlü Varyans Analizi.....	111
6.3.1	TSD Sistemlerde Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları .....	115
6.3.2	Düzlem Çerçevelerde Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları ...	117
<b>7.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>120</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>127</b>
<b>9.</b>	<b>EKLER</b> .....	<b>134</b>
	EK A Düzlem Çerçevelerde Taşıyıcı Sisteme Ait Plastik Mafsal Bilgileri	134
	EK B Zaman Tanım Alanında Analiz İçin Kullanılan İvme Kayıtları .....	143
	EK C TSD Sistemlerde Maksimum Ötelenme Taleplerinin Ortalaması .....	146
	EK D Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Varyans Analizi Sonuçları.....	162
	EK E Düzlem Çerçevelerde Varyans Analizi Sonuçları .....	166
<b>10</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>167</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Tipik kapasite eğrisi .....	21
Şekil 2.2: İdealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkileri .....	23
Şekil 2.3: Geliştirilmiş Kent-Park modeli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi .....	24
Şekil 2.4: Donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi .....	27
Şekil 2.5: Betonarme bir konsolda moment ve eğrilik diyagramları .....	30
Şekil 2.6: Betonarme konsolun eğrilik diyagramının idealleştirilmesi.....	31
Şekil 2.7: Plastik mafsallık için moment-dönme değerleri .....	32
Şekil 2.8: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri .....	33
Şekil 2.9: Taşıyıcı sistem elemanlarına plastik mafsalların atanması .....	34
Şekil 2.10: TSD sistemin matematiksel modeli .....	37
Şekil 2.11: Yer hareketi etkisindeki kayma çerçevesi .....	39
Şekil 3.1: Elastik-Mükemmel Plastik çevrimsel model .....	42
Şekil 3.2: Elastik-Doğrusal Pekleşen çevrimsel model .....	43
Şekil 3.3: Modifiye Takeda çevrimsel modeli .....	44
Şekil 3.4: 3 boyutlu binalara ait kalıp planları .....	45
Şekil 3.5: Dolgu duvarların giriş üzerinde yerleşimi .....	46
Şekil 3.6: 5 katlı betonarme yapının üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli .....	47
Şekil 3.7: 5 katlı düzlem çerçeve aksının seçilmesi .....	48
Şekil 3.8: 5 katlı düzlem çerçeve modeli .....	49
Şekil 3.9: 7 katlı düzlem çerçeve modeli .....	50
Şekil 3.10: Çerçeveyi oluşturan kolonların enkesitleri ve donatı düzenleri.....	51
Şekil 3.11: 5 katlı düzlem çerçeveye etkiyen düşey yükler .....	54
Şekil 3.12: 7 katlı düzlem çerçeveye etkiyen düşey yükler .....	55
Şekil 3.13: 3 katlı düzlem çerçevede etkin eğilme rijitlikleri ve eleman donatıları .....	56
Şekil 3.14: 5 katlı düzlem çerçevede etkin eğilme rijitlikleri ve eleman donatıları .....	57
Şekil 3.15: 7 katlı düzlem çerçevede etkin eğilme rijitlikleri ve eleman donatıları .....	58
Şekil 3.16: 5 katlı düzlem çerçevede plastik mafsalların görünümü .....	60
Şekil 3.17: Kolon plastik mafsallarının tanımlanmasına ait bir örnek .....	61
Şekil 3.18: Giriş plastik mafsallarının tanımlanmasına ait bir örnek .....	61
Şekil 3.19: Düzlem çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	63
Şekil 3.20: Kapasite eğrilerinin birimsiz hale dönüştürülmüş şekli .....	63
Şekil 4.1: Yerel zemin sınıfları için elastik spektral ivme .....	67
Şekil 4.2: Z1 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar .....	71
Şekil 4.3: Z1 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar .....	71
Şekil 4.4: Z1 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar .....	72
Şekil 4.5: Z2 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar .....	72
Şekil 4.6: Z2 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar .....	72
Şekil 4.7: Z2 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar .....	73
Şekil 4.8: Z3 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar .....	73

Şekil 4.9: Z3 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar .....	73
Şekil 4.10: Z3 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar ....	74
Şekil 5.1: Z1 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği....	81
Şekil 5.2: Z2 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği....	82
Şekil 5.3: Z3 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği....	83
Şekil 5.4: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.10$ ) .....	84
Şekil 5.5: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.20$ ) .....	85
Şekil 5.6: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.30$ ) .....	85
Şekil 5.7: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.40$ ) .....	86
Şekil 5.8: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.50$ ) .....	86
Şekil 5.9: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.10$ ) .....	87
Şekil 5.10: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.20$ ) .....	87
Şekil 5.11: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.30$ ) .....	88
Şekil 5.12: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.40$ ) .....	88
Şekil 5.13: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.50$ ) .....	89
Şekil 5.14: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.10$ ) .....	89
Şekil 5.15: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.20$ ) .....	90
Şekil 5.16: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.30$ ) .....	90
Şekil 5.17: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.40$ ) .....	91
Şekil 5.18: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (EMP model, $F_y/W=0.50$ ) .....	91
Şekil 5.19: Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları .....	95
Şekil 5.20: Düzlem çerçevelerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri .....	96
Şekil 5.21: Düzlem çerçevelerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta H}$ değerleri .....	96
Şekil 5.22: Düzlem çerçevelerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri .....	97
Şekil 5.23: Düzlem çerçevelerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta H}$ değerleri .....	97
Şekil 5.24: Düzlem çerçevelerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri .....	98
Şekil 5.25: Düzlem çerçevelerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta H}$ değerleri .....	98
Şekil 5.26: 3 katlı düzlem çerçevede maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları .....	100
Şekil 5.27: 3 katlı çerçevede görel kat ötelenmesi oranı talebinin değişimi ..	101
Şekil 5.28: 5 katlı düzlem çerçevede maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları .....	103
Şekil 5.29: 5 katlı çerçevede görel kat ötelenmesi oranı talebinin değişimi ..	104

Şekil 5.30: 7 katlı düzlem çerçevede maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları .....	107
Şekil 5.31: 7 katlı çerçevede görelî kat ötelenmesi oranı talebinin değışimi ..	107
Şekil 6.1: TSD sistemlerde setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri için varyans analizi sonuçları (Z1) .....	115
Şekil 6.2: TSD sistemlerde setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri için varyans analizi sonuçları (Z2) .....	116
Şekil 6.3: TSD sistemlerde setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri için varyans analizi sonuçları (Z3) .....	116
Şekil 6.4: Düzlem çerçevelerde setlere ait $\mu_{\Delta/H}$ değeri için varyans analizi sonuçları.....	117
Şekil 6.5: 3 katlı çerçevede setlere ait $\mu_{\delta h}$ değeri için varyans analizi sonuçları.....	118
Şekil 6.6: 5 katlı çerçevede setlere ait $\mu_{\delta h}$ değeri için varyans analizi sonuçları.....	118
Şekil 6.7: 7 katlı çerçevede setlere ait $\mu_{\delta h}$ değeri için varyans analizi sonuçları.....	119
Şekil C.1: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.1$ ) .....	146
Şekil C.2: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.2$ ) .....	146
Şekil C.3: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.3$ ) .....	146
Şekil C.4: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.4$ ) .....	147
Şekil C.5: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.5$ ) .....	147
Şekil C.6: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.1$ ) .....	147
Şekil C.7: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.2$ ) .....	148
Şekil C.8: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.3$ ) .....	148
Şekil C.9: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.4$ ) .....	148
Şekil C.10: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.5$ ) .....	149
Şekil C.11: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.1$ ) .....	149
Şekil C.12: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.2$ ) .....	149
Şekil C.13: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.3$ ) .....	150
Şekil C.14: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.4$ ) .....	150
Şekil C.15: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (EDP model, $F_y/W=0.5$ ) .....	150
Şekil C.16: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değeri (MT model, $F_y/W=0.1$ ) .....	151

Şekil C.17: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.2$ ) .....	151
Şekil C.18: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.3$ ) .....	151
Şekil C.19: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.4$ ) .....	152
Şekil C.20: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.5$ ) .....	152
Şekil C.21: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.1$ ) .....	152
Şekil C.22: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.2$ ) .....	153
Şekil C.23: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.3$ ) .....	153
Şekil C.24: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.4$ ) .....	153
Şekil C.25: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.5$ ) .....	154
Şekil C.26: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.1$ ) .....	154
Şekil C.27: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.2$ ) .....	154
Şekil C.28: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.3$ ) .....	155
Şekil C.29: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.4$ ) .....	155
Şekil C.30: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait $\mu_{\Delta}$ değerleri (MT model, $F_y/W=0.5$ ) .....	155

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Kesit hasar sınırlarına göre şekil değiştirmelerin üst sınırı .....	35
Tablo 3.1: Düzlem çerçeveleri oluşturan kolonlar .....	51
Tablo 3.2: 3 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar .....	52
Tablo 3.3: 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar .....	52
Tablo 3.4: 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar .....	53
Tablo 3.5: Düzlem çerçevelere ait analiz bilgileri özeti .....	62
Tablo 4.1: Yerel zemin sınıflarının spektrum karakteristik periyotları .....	67
Tablo 4.2: Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri .....	69
Tablo 4.3: Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri .....	70
Tablo 4.4: Z3 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri .....	70
Tablo 5.1: TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model) .....	77
Tablo 5.2: TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model) .....	78
Tablo 5.3: TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model) .....	79
Tablo 5.4: Z1 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler .....	80
Tablo 5.5: Z2 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler .....	81
Tablo 5.6: Z3 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler .....	82
Tablo 5.7: Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme talepleri .....	94
Tablo 5.8: Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı talepleri .....	94
Tablo 5.9: 3 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan $\mu_{\delta}$ ve $s_{\delta}$ değerleri .....	99
Tablo 5.10: 3 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan $\mu_{\delta h}$ ve $s_{\delta h}$ değerleri .....	100
Tablo 5.11: 5 katlı düzlem çerçevede setler için hesaplanan $\mu_{\delta}$ ve $s_{\delta}$ değerleri .....	102
Tablo 5.12: 5 katlı düzlem çerçevede setler için hesaplanan $\mu_{\delta h}$ ve $s_{\delta h}$ değerleri .....	102
Tablo 5.13: 7 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan $\mu_{\delta}$ ve $s_{\delta}$ değerleri .....	105
Tablo 5.14: 7 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan $\mu_{\delta h}$ ve $s_{\delta h}$ değerleri .....	106
Tablo 6.1: Tek yönlü varyans analizi için dört kategorili model .....	112
Tablo 6.2: Tek değişkenli modellerde varyans analizi .....	113
Tablo 6.3: Örnek tek yönlü varyans analizi verileri .....	114
Tablo 6.4: Örnek tek yönlü varyans analizi .....	114
Tablo A.1: 3 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri .....	134

Tablo A.2: 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri .....	135
Tablo A.3: 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri .....	137
Tablo A.4: 3 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri .....	140
Tablo A.5: 5 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri .....	140
Tablo A.6: 7 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri .....	141
Tablo B.1: Z1 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri.....	143
Tablo B.2: Z2 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri.....	144
Tablo B.3: Z3 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri.....	145
Tablo C.1: TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model).....	156
Tablo C.2: TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model) .....	157
Tablo C.3: TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model).....	158
Tablo C.4: TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model) .....	159
Tablo C.5: TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model).....	160
Tablo C.6: TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model) .....	161
Tablo D.1: Varyans analizi $F$ tablosu .....	162
Tablo D.2: TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z1) .....	163
Tablo D.3: TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z2) .....	164
Tablo D.4: TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z3) .....	165
Tablo E.1: Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı için varyans analizi sonuçları.....	166
Tablo E.2: Düzlem çerçevelerde maksimum görelî kat ötelenmesi oranı için varyans analizi sonuçları .....	166

## KISALTMALAR

<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineering
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>EDP</b>	: Elastik Doğrusal Pekleşen Model
<b>EMP</b>	: Elastik-Mükemmel Plastik Model
<b>EUROCODE</b>	: European Standards
<b>FEMA</b>	: Federal Emergency Management Agency
<b>MT</b>	: Modifiye Takeda Model
<b>SEAOC</b>	: The Structural Engineers Association of California
<b>TSD</b>	: Tek Serbestlik Dereceli Sistemler
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey
<b>MN</b>	: Minimum Hasar Sınırı
<b>GV</b>	: Güvenlik Sınırı
<b>GÇ</b>	: Göçme Sınırı

## SEMBOL LİSTESİ

$A_o$	: Etkin yer ivme katsayısı
$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$A_c$	: Brüt kesit alanı
$A_{ck}$	: Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
$a_1$	: Birinci moda ait kütle katılım oranı
$c$	: TSD sistemin sönümü
$CoV$	: Varyasyon katsayısı
$d_m$	: Maksimum deplasman
$d_{bt}$	: Boyuna donatı çapı
$E_s$	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$F$	: Varyans değerine bağlı olarak bulunan değer
$F_{kr}$	: Varyans analizinde F dağılım tablosundan okunan değer
$F_y/W$	: Yatay dayanım oranı
$F_y$	: TSD sistemlerde yatay yük kapasitesi
$F_{ck}$	: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
$f_{ye}$	: Donatının akma dayanımı
$f_{ywk}$	: Sargı donatısının minimum akma dayanımı
$G$	: Kirişlere etkiyen sabit yayılı yükler
$g$	: Kolonlara etkiyen hareketli tekil yükler
$H$	: Bina yüksekliği
$h$	: Kat yüksekliği
$I$	: Bina önem katsayısı
$k$	: TSD sistem rijitliği
$k_o$	: Başlangıç rijitliği
$k_u$	: Yükün kalması sonrası rijitlik
$L_p$	: Plastik mafsal boyu
$L_o$	: Plastik mafsal ile moment sıfır noktası arası uzaklık
$I_s$	: Kesitteki sargı donatısının toplam uzunluğu
$M_{cr}$	: Çatlama momenti
$M_y$	: Akma momenti
$M_u$	: Nihai moment
$m$	: TSD sistemin kütlesi
$n$	: Hareketli yük azaltma katsayısı
$PF_1$	: 1. Moda ait katkı çarpanı
$Q$	: Kirişlere etkiyen hareketli yayılı yükler
$q$	: Kolonlara etkiyen hareketli tekil yükler
$R$	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$r$	: Akma sonrası rijitliğin başlangıç rijitliğe oranı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$s$	: Sargı donatısı aralığı
$T$	: Doğal titreşim periyodu
$T_A, T_B$	: Spektrum karakteristik periyotları
$V_t$	: Taban kesme kuvveti
$W$	: Yapının deprem hesabına esas ağırlığı
$x$	: Yapının zamana bağlı deplasmanı



- $Z_c$  : Sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümün eğimi  
 $Z_u$  : Sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümün eğimi  
 $\beta$  : Yeniden yükleme hedefi katsayısı  
 $\alpha$  : Modifiye takeda rijitlik azalması katsayısı  
 $\omega_d$  : Dairesel frekans  
 $\sigma_c$  : Sargısız betona ait basınç dayanımı  
 $\sigma_{cc}$  : Sargılı betona ait basınç dayanımı  
 $\sigma_{sy}$  : Donatı çeliğinin akma dayanımı  
 $\sigma_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma dayanımı  
 $\epsilon_{co}$  : Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_{coc}$  : Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_{50u}$  : Sargısız betonda  $0.5\sigma_c$  gerilme altındaki birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_{cu}$  : Sargısız beton için en büyük birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_{c20}$  : Sargılı betonda  $0.2\sigma_{cc}$  gerilme altındaki birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_{sy}$  : Donatı çeliğinin akma birim uzaması  
 $\epsilon_{sh}$  : Donatı çeliğinin pekleşme başladığı andaki birim uzaması  
 $\epsilon_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma birim uzaması  
 $\epsilon_{sy}$  : Donatı çeliğinin birim uzaması  
 $\rho_s$  : Kesitte bulunan enine donatının hacimsel oranı  
 $\rho_{sm}$  : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı  
 $\theta$  : Plastik mafsallardaki dönme değeri  
 $\Delta_y$  : Elastik ötelenme  
 $\Delta_p$  : plastik ötelenme  
 $\xi$  : Sönüm oranı  
 $\phi_{cr}$  : Çatlamaya başladığı andaki eğrilik  
 $\phi_y$  : Akma anındaki eğrilik  
 $\phi_u$  : Nihai eğrilik  
 $\Delta$  : Yatay ötelenme  
 $\Delta_{max}$  : Maksimum yatay ötelenme  
 $\Delta/H$  : Yatay ötelenme oranı  
 $\Delta_{max}/H$  : Maksimum yatay ötelenme oranı  
 $\delta$  : Görelî kat ötelenmesi  
 $\delta_{mak}$  : Maksimum görelî kat ötelenmesi  
 $\delta_{mak}/h$  : Maksimum görelî kat ötelenmesi oranı  
 $\delta/h$  : Görelî kat ötelenmesi oranı  
 $\mu_\Delta$  : Maksimum yatay ötelenmelerin set için hesaplanan ortalaması  
 $\mu_{\Delta/H}$  : Maksimum yatay ötelenme oranının set için hesaplanan ortalaması  
 $\mu_\delta$  : Maksimum görelî kat ötelenmesinin set için hesaplanan ortalaması  
 $\mu_{\delta/h}$  : Maksimum görelî kat ortalaması oranının set için hesaplanan ortalaması  
 $s_\Delta$  : Setlerin maksimum yatay ötelenme ortalamalarının standart sapması  
 $s_{\Delta/H}$  : Setlerin maksimum yatay ötelenme oranı ortalamalarının standart sapması  
 $s_{\delta/h}$  : Setlerin maksimum görelî kat ötelenme oranı ortalamalarının standart sapması  
 $\theta_{MN}$  : Minimum hasar sınırına ait dönme değeri  
 $\theta_{GV}$  : Güvenlik sınırına ait dönme değeri  
 $\theta_{GÇ}$  : Göçme sınırına ait dönme değeri

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Betonarme Çerçevelerde Maksimum Deplasman Talebinin Türk Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Kullanılarak Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı bana öneren, yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen, hem akademik hem de ahlaki değerleri ile bana ışık tutan değerli hocam, Doç. Dr. Ali Haydar KAYHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez dönemi boyunca yardım ve destekleri ile yanımda olan Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm personeline çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Murat DEMİR, annem Nasiba DEMİR'e ve lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca yanımda duran, her türlü zorlukları beraber aştığımız sevgili eşim Ümüt Sakine YILDIRIM'a ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 2015FBE014 nolu proje ile de desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Ahmet DEMİR

(İnşaat Mühendisi)

*Anneme...*

## 1. GİRİŞ

Dünyada geçmişte yaşanan büyük depremler kentsel bölgeleri etkilediklerinde büyük yıkıma ve buna bağlı olarak önemli can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Günümüzde de her sene meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu, yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirini zorladıkları levha sınırlarındaki dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır. Guatemala, Şili, Peru, Endonezya, İran, Çin, Meksika, Pakistan, Portekiz, İtalya, Japonya, Hindistan ve ABD gibi ülkeler, levha sınırlarında bulunan ve hasar ve kayıplara sebep olacak büyüklükte depremlerin görüldüğü ülkelerdir.

Türkiye de, aktif fay zonlarının içerisinde bulunan ve her zaman büyük bir deprem tehlikesi ile karşı karşıya olan bir ülkedir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre (Özmen ve diğ. 1997), Türkiye topraklarının %96'sı farklı seviyelerde deprem tehlikesine sahip bölgeler içerisinde yer almaktadır. Nüfusun %98'inin de bu bölgelerde yaşadığı bilinmektedir. 1900 yılından günümüze, Türkiye'de önemli ölçüde can ve mal kayıplarına yol açan üç yüze yakın deprem olmuştur. Bu depremler nedeniyle yaklaşık 100,000 kişi hayatını kaybetmiş, 180,000'e yakın kişi yaralanmış ve 600,000 konut yıkılmış veya kullanılamaz hale gelmiştir (Can ve Özmen 2010).

Görüldüğü gibi deprem, hem dünyada hem de Türkiye'de, bir doğa olayı olarak kaçınılmazdır. Depremlerin oluşmasını engellemek olanaksızdır. Ancak, çağdaş bilim ve teknolojiden faydalanarak deprem etkilerini değerlendirmek, alınacak önlemlerle depremlerde ortaya çıkacak hasar ve kayıpları azaltmak mümkündür. Deprem mühendisliği açısından değerlendirildiğinde, depremi tanımak, depremin yapılara etkisini teorik ve deneysel çalışmalarla araştırmak ve araştırma sonuçlarını değerlendirmek önemli çalışma alanlarındandır. Araştırma sonuçları, gerek depreme dayanıklı yapı tasarımı gerekse mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesi ve depreme karşı güçlendirilmesine yönelik bilgilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Son dönemlerde, deprem mühendisliği ile ilgili çalışmalarda performansa dayalı tasarım yaklaşımı ön plana çıkmıştır. Performansa dayalı tasarımın temel niteliklerinden birisi, yeni yapıların tasarımı ya da mevcut yapıların değerlendirilmesi amacı ile sismik hasarın daha gerçekçi olarak tanımlanabilmesidir. Performansa dayalı tasarım yaklaşımı ile ilgili ilk temel dökümanlardan olan SEAOC Vision 2000'de (1995) tanımlanan tasarım yaklaşımlarından birisi de deplasmana dayalı tasarımdır. Bu yaklaşım geniş ölçüde benimsenmiş ve tasarım için hedef olarak maksimum çatı ötelenmesi, maksimum görelî kat ötelenmesi, maksimum süneklik talebi gibi kavramlar kullanılmaya başlanmıştır (Ghobarah 2001). Benzer kavramlar mevcut yapıların performans değerlendirmesi için farklı performans seviyelerinin ve limit durumların tanımlanmasında da kullanılmıştır (Priestley ve diğ. 2007).

Görüldüğü gibi, deplasmana dayalı yaklaşımda öncelikle çatı ötelenmesi, görelî kat ötelenmesi ve yapısal eleman deformasyonu gibi taleplerin belirlenmesi gerekmektedir. Yapısal modellerin zaman tanım alanında analizi, bu taleplerin tahmin edilebilmesi için kullanılan analiz yöntemlerinden birisidir. Malzemenin davranışı ile ilgili olarak yapılan kabule göre bu analizler doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan şekilde yapılabilmektedir.

Doğrusal elastik analizde, yapının deprem esnasında ortaya çıkabilecek doğrusal elastik ötesi davranışı, yapı elemanlarının ve yapının hasar görme mekanizması, plastik mafsall oluşumlarına bağlı olarak yapıya etkiyen yüklerin yapı elemanları arasında yeniden dağılımı gibi konularda bilgi almak mümkün değildir. Bu bilgiler, önemli (yüksek yapılar, nükleer güç üniteleri), karmaşık davranışa sahip (zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gereken ya da ağır ve düzensiz yapılar), büyük doğrusal ötesi deformasyonlara maruz kalacak şekilde tasarlanan ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan davranışa sahip yapıların tasarımı ya da değerlendirilmesi için çok önemlidir. Bu bilgiler detaylı olarak ancak doğrusal elastik olmayan malzeme davranışı da dikkate alınarak yapılacak zaman tanım alanında analiz ile elde edilebilmektedir (Katsanos ve diğ. 2010).

## 1.1 Problemin Tanımı

Yapısal analiz için kullanılan paket program yazılımı konusundaki gelişmeler ve bilgisayarların bilgi işleme ve hesap yeteneklerinin hızlı bir şekilde artması sayesinde, çok serbestlik dereceli karmaşık yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizleri daha yaygın olarak yapılmaya başlanmıştır. Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının bulunduğu sayısal veri tabanlarının kolay ulaşılabilir hale gelmesi de zaman tanım alanında analiz için gerçek yer hareketi kayıtlarının daha fazla tercih edilmesine olanak sağlamıştır.

Deprem büyüklüğü, faylanma tipi, yerel zemin özellikleri, yer hareketinin süresi, depremin merkez üssü ile kayıt istasyonu arasındaki mesafe gibi özelliklere bağlı olarak yer hareketi kayıtları birbirinden farklı olmaktadır. Analizde kullanılacak yer hareketi kaydı ise analiz sonuçlarını ve buna bağlı olarak tasarım ya da performans değerlendirmesini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, analiz için kullanılacak yer hareketi kaydının seçimi önemlidir. O halde, 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 (Iervolino ve diğ. 2010, Kayhan ve diğ. 2011).

Yukarıda belirtilen gelişmelere bağlı olarak, Deprem Yönetmeliği'nin de (2007) içinde bulunduğu modern deprem yönetmeliklerinin çoğunda tasarım ve performans değerlendirmesi için zaman tanım alanında analiz yönteminin de kullanılabilmesi öngörülmüş ve gerekli tanımlamalar yapılmıştır (Eurocode-8 2004, ASCE 2003, GB 2001). Bu yönetmeliklerde, analiz için kullanılacak deprem yükleri bölgesel deprem tehlikesi ve yerel zemin koşulları ile uyumlu tasarım spektrumları ya da zaman tanım alanında analiz için seçilen ivme kayıtları ile temsil edilmektedir.

Zaman tanım alanında analiz için kullanılacak ivme kayıtları ile ilgili olarak yönetmeliklerde detaylı ve özel koşullar yer almamaktadır. Bunun sebeplerinden birisi, zaman tanım alanında analizin mühendislik uygulamalarında nispeten yeni olması sebebi ile bu konuda yeterli bilgi birikiminin oluşmamış olmasıdır. Bu konudaki akademik araştırmaların da gelişim sürecinde olması sebebi ile yönetmeliklerde yer alacak düzenlemeler için belirli bir zamana ihtiyaç olduğu

söylenbilir. Dolayısıyla ivme kayıtlarının seçimi için genel olarak kabul gören ölçütler henüz ortaya konmamıştır.

Günümüzde zaman tanım alanında analiz ile ilgili fikir birliği, yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olmak koşulu ile sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının kullanılabilmesi konusundadır. Bunun yanı sıra, her yönetmelikte bir kaç küçük koşul yer almaktadır. Yönetmeliklerde tanımlanan bölgesel tasarım spektrumları ile seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumlarının, belirli bir periyot aralığında uyumlu olması istenmektedir. Ancak, öngörülen periyot aralığı yönetmeliklerde farklılık göstermektedir. Herhangi bir ivme kaydının tepki spektrumunun, tasarım spektrumu ile uyumlu olması mümkün değildir. Bu sebeple, genellikle birden fazla ivme kaydı seçilmekte ve ölçeklendirilmektedir. Bu şekilde, seçilen ivme kayıtlarının spektrumlarının ortalaması ile tasarım spektrumunun uyumlu olması sağlanmaktadır. Yönetmeliklerde genel olarak, en az üç ivme kaydı kullanılması öngörülmektedir. Analizler için en az yedi ivme kaydı seçilirse, analizlerden elde edilecek yapısal tepkilerin ortalaması, aksi takdirde yapısal tepkilerin maksimumu dikkate alınmaktadır (Bommer and Ruggeri 2002, Beyer and Bommer 2007).

Son dönemdeki çalışmalar göstermektedir ki; malzeme özellikleri, tasarım kabulleri ve deprem yer hareketi gibi sebeplerden kaynaklanan yapısal davranış belirsizliği içerisinde en büyük pay deprem yer hareketininidir (Padgett ve Desroches 2007). Esas olarak, depremden kaynaklanan yer hareketi hem konum hem de zaman olarak rastgele bir özellik göstermektedir. Bunun sebebi, fay kırılmalarına bağlı olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak ana kayaç ve zemin tabakalarından geçip herhangi bir yapının temel seviyesine ulaşmaya kadar geçen sürecin doğasından kaynaklanan karmaşıklığıdır (Manolis 2002).

Zaman tanım alanında analiz için, örneğin Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan koşullara ve tasarım ivme spektrumlarına uygun olarak seçilecek ve ölçeklendirilecek ivme kayıtlarından oluşan ivme kaydı setlerini elde etmek mümkündür. Üstelik sayısal veri tabanlarındaki yüzlerce ivme kaydı içerisinde seçim yaparak, yönetmelik koşullarına uygun olacak şekilde birbirinden farklı ivme kaydı setleri oluşturmak da mümkündür (Iervolino ve diğ. 2008, Kayhan ve diğ. 2011, Kayhan 2012). Herhangi bir ivme seti için analiz sonucu elde edilecek yapısal

tepkilerin ortalaması setteki ivme kayıtlarının her biri için elde edilecek analiz sonucuna bağılı olduğuna göre, yapısal tepkilerin ortalaması da kullanılacak ivme kaydı setine göre farklılık gösterecektir. Dolayısıyla, yapısal tepkilerin ortalaması yani tasarım ya da değerlendirme için kullanacağımız parametre, kullanılacak ivme kaydı setine göre değişen ve önceden tahmin edilemeyen bir rastgele değişken olmaktadır.

Acaba, herhangi bir yapı, bulunduğu bölgenin depremselliği ve yerel zemin koşullarına bağılı olarak Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde elde edilen farklı ivme kaydı setleri kullanılarak analiz edilirse, farklı setler için elde edilecek sonuçların arasındaki fark hangi düzeydedir, ya da sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı mıdır?

## 1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde oluşturulmuş farklı ivme kaydı setleri kullanılarak yapılacak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz neticesinde elde edilecek sonuçların dağılımını değerlendirmek ve sonuçlar arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını araştırmaktadır. Bu amaçla, farklı özelliklere sahip tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin ve düzlem çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve bu sistemler için ötelenme talepleri elde edilmiştir. Bu sistemler için, farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen talepler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

TSD sistemlerde, bir sette bulunan ivme kayıtlarından elde edilen maksimum yatay ötelenme talepleri ( $\Delta_{mak}$ ) kullanılarak, bu taleplerin set için hesaplanan ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta}$ ) istatistiksel değerlendirme için dikkate alınmıştır.

Düzlem çerçeve sistemlerde, öncelikle, bir sette bulunan ivme kayıtları için maksimum yatay ötelenme ( $\Delta_{mak}$ ), maksimum yatay ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ), maksimum görel kat ötelenmesi ( $\delta_{mak}$ ) ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) talepleri hesaplanmıştır. Bu talepler kullanılarak, her bir set için maksimum



yatay ötelenme taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta}$ ) ile maksimum yatay ötelenme oranı taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\Delta H}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta H}$ ) hesaplanmıştır. Ayrıca her bir set için, maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta}$ ) ile maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\delta h}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta h}$ ) hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirme amacı ile  $\mu_{\Delta H}$ ,  $\mu_{\delta h}$ ,  $s_{\Delta H}$  ve  $s_{\delta h}$  parametreleri dikkate alınmıştır.

### 1.3 Literatür Çalışmaları

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı ile ilgili olarak literatürde bulunan çalışmalardan bazıları, tasarım ya da performans değerlendirmesi amacı ile maksimum ötelenme ve görelî kat ötelenmesi taleplerinin elde edilmesi ve yorumlanması ile ilgilidir. Bu çalışmalarda yapısal analiz modelleri TSD sistemler, düzlem çerçeveler ya da üç boyutlu çerçeveler olarak dikkate alınmakta ve zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak ötelenme talepleri elde edilmektedir.

Tez çalışması ile uyumlu olarak bu kısımda, zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak maksimum ötelenme ve görelî kat ötelenmesi taleplerinin elde edildiği ve değerlendirildiği çalışmalar ile deprem yönetmelikleri ile uyumlu ivme kayıtlarının seçimi ile ilgili çalışmalar verilmiştir.

#### 1.3.1 Ötelenme Taleplerinin Değerlendirildiği Çalışmalar

Miranda (1999), çok katlı yapıların yatay deformasyon taleplerinin yaklaşık olarak 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 dikkate alınan düzlem çelik çerçeve için, önerilen yaklaşık yöntem ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin ötelenme talebinin tahmin edilmesinde iyi sonuçlar verdiği ve yeni yapıların ön tasarımında ya da mevcut yapıların hızlı değerlendirilmesi amacıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir. Çerçeve sistemlerde ötelenme taleplerinin tahmin edilmesi amacıyla

başka bir çalışma da Gupta ve Krawinkler (2000) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, çerçeve sistemlerin maksimum ötelenme ve maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin birinci doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral deplasman talebine bağılı olarak tahmin edilebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Çalışma amacı doğrultusunda 9 çelik çerçevenin doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılmış ve ötelenme değerleri elde edilmiştir. Analizler için her biri 20 ivme kaydına sahip 3 ivme seti kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, maksimum ötelenme ve maksimum görelî kat ötelenmesi arasındaki ilişkinin, dikkate değer biçimde kat sayısına bağılı olduğu ifade edilmiştir. Medina ve Krawinkler (2005), yakın fay ve ileri yönlenme etkisi olmayan yer hareketine maruz düzenli düzlem çerçevelerde ötelenme taleplerini ve taleplerdeki belirsizliğı incelemiştir. Çalışmada, sadece yer hareketinin frekans içeriğindeki farklılıkların belirsizliğe etkisi ele alınmıştır. Analizler için 40 ivme kaydı ile 3-18 katlı moment taşıyan düzlem çerçeveler kullanılmış, maksimum ve ortalama ötelenme talebi ile bunların yapı yüksekliğı boyunca dağılımı değerlendirilmiştir. Ayrıca ötelenme talebinin yer hareketi şiddeti, baskın periyot ve kat sayısına bağılılığı araştırılmıştır.

Riddel ve diğ. (2002), TSD sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım analizi için 3 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 talebinin güvenli yönde kalacak şekilde tahmin edilebileceğı ifade edilmiştir. Bazzurro ve Luco (2005), farklı yatay dayanım oranı ve titreşim periyoduna sahip ve elastoplastik çevrimsel davranış gösteren TSD sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri için ölçeklendirilmemiş ve hedef spektrumla uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiş gerçek ivme kaydı setleri kullanmış ve maksimum ötelenme taleplerini elde etmiştir. Analizler için yakın fay, ileri yönlenme etkisine sahip ivme kayıtları kullanılmıştır. Elde edilen taleplerin istatistiksel değerlendirmesi yapılmış ve hedef spektrumla uyumlu set için elde edilen taleplerin saçılımının diğeri set için elde edilenlere göre önemli ölçüde düşük olduğu ifade edilmiştir.

D'Ambrisi ve Mezzi (2005), elastoplastik çevrimsel davranışa sahip TSD sistemlerin maksimum ötelenme taleplerinin tahmin edilebilmesi için olasılıksal bir

yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşım, başlangıçta öngörülen aşılıma olasılığına bağılı olarak belirlenen tasarım talebinin belirli sayıda ivme kaydı kullanılarak hesaplanmasına yöneliktir. Çalışmada, zaman tanım alanında analizler için, Eurocode-8'de (2004) A ve B sınıfı zeminler için tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olarak benzeştirilmiş 100'er ivme kaydı kullanılmıştır. Ruiz-Garcia ve Miranda (2007), performans dayalı tasarım için TSD sistemlerin maksimum ötelenme talebinin tahmini amacıyla kullanılacak olasılıksal bir yaklaşımın önerildiği başka bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, doğrusal olmayan davranış elastoplastik çevrimsel davranış modeli ile temsil edilmiş, analizlerde kaya ya da katı zeminlerde kaydedilen 240 ivme kaydı kullanılmıştır. Analiz sonuçları kullanılarak, doğrusal olmayan ötelenme oranının merkezi eğilimi ve değerlerin saçılımı değerlendirilmiştir. Ayrıca merkezi eğilim ve saçılımın tahmin edilebilmesi için basit bağıntılar önerilmiştir. Ruiz Garcia ve Miranda (2010) benzer bir çalışmayı çok katlı çerçeve sistemlerinde kalıcı maksimum ötelenme, herhangi bir kat için kalıcı görelî ötelenme ve kalıcı maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin olasılıksal olarak tahmini amacıyla yapmıştır.

Ruiz-Garcia ve Miranda (2006), çok katlı ve düzenli çerçevelerde kalıcı ötelenme talebinin büyüklüğü ve düşey doğrultuda dağılımının değerlendirilmesi amacıyla detaylı bir analitik çalışma yapmıştır. Bu amaçla, tek açıklıklı ve 12 katlı tipik bir çerçeve ele alınmış ve analizler için farklı seviyelerde ölçeklendirilmiş 40 ivme kaydı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yer hareketi şiddeti, kat sayısı, titreşim periyodu, çerçeve mekanizması, sistem dayanımı, çevrimsel davranış gibi parametrelerin ortalama kalıcı ötelenme talebi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kalıcı görelî ötelenme talebinin tahminindeki belirsizlik özel olarak incelenmiştir. Kalıcı ötelenme talebindeki belirsizliğin, maksimum ötelenme talebine göre daha fazla olduğu, performans değerlendirmesinde kalıcı görelî ötelenme talebinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Mollaioli ve Bruno (2008), çalışmalarında tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında 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. Ayrıca, maksimum elastik ötesi ötelenme talebinin maksimum elastik ötelenme talebine oranı için basit bir denklem önerilmiştir.

Lin ve Miranda (2009), maksimum ötelenme talebinin tahmini için kullanılan eşdeğer doğrusal yöntemlerin performansının değerlendirilmesi amacı ile yaptıkları çalışmada, periyodu 0.1s-3.0s arasında değişen elastoplastik davranışa sahip TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmiştir. Analizler için 9 farklı depremden elde edilen 72 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analiz ile elde edilen maksimum taleplerin eşdeğer doğrusal yöntem ile elde edilen taleplere oranının ortalaması ve saçılımı, periyot ve yatay dayanım oranının fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

Hatzigeorgiou ve Beskos (2009), arka arkaya meydana gelecek depremlerin etkisi altında kalan bir yapıda doğrusal olmayan ötelenme talebinin tahmin edilebilmesi için ampirik bir denklem önermiştir. Çalışma amacı doğrultusunda, maksimum ötelenme talebi, TSD sistemlerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi ile elde edilmiştir. Analizler için 4 farklı zemin sınıfına ait 112 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Titreşim periyodu, dayanım azalma faktörü, zemin etkisi, akma sonrası rijitlik ve sönüm parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Tekrarlanan depremlerin maksimum ötelenme talebi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu çalışmanın bulguları arasındadır. Hatzigeorgiou ve Liolios (2010) ise, arka arkaya gelecek depremlerin etkisi altında kalan düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan davranışını detaylı bir analitik çalışma ile incelemiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için düzenli ve düzensiz olarak sınıflandırılan betonarme düzlem çerçeveler seçilmiş ve gerçek ve yapay ivme kayıtları kullanılmıştır. Lokal ve global yapısal hasar, maksimum ötelenme, görelî kat ötelenmesi, plastik mafsalların oluşumu gibi kritik parametreler detaylı olarak değerlendirilmiştir. Ardışık olarak yapılan analizlerin, incelenen parametreler üzerindeki etkisinin belirgin olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, tek tek kayıtlardan elde edilen taleplerin, ardışık olarak yapılan analiz ile elde edilecek eklenik talebin tahmininde kullanılabilmesi için bir denklem önerilmiştir.

Ghaffarzadeh ve diğ. (2013) 4, 8 ve 12 katlı betonarme düzlem çerçevelerin İran Deprem Yönetmeliği'ne göre (2005) tasarımlarını yapmış ve bu çerçevelerin doğrusal olmayan statik ve zaman tanım alanında analizlerini gerçekleştirmiştir. Zaman tanım alanında analiz için İran Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde frekans tanım alanında ölçeklendirilen 8 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen ötelenme profili, ötelenme talepleri ve kolon ve kirişlerin uçlarında maksimum plastik dönmeler incelenmiştir. Elde edilen ötelenme talepleri FEMA-356'da (2000) yer alan kriterler ile kıyaslanmıştır.

Fajhan ve diğ. (2011), 12 katlı bir betonarme yapının doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizini yaptıkları çalışmada çatı ötelenmesi ve görelî kat ötelenmesi taleplerini incelemiştir. Bu amaçla, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu 10 adet ölçeklendirilmiş gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. 7 depremden elde edilen sonuçların ortalaması, rastgele seçilen üçünün en büyüğü ve en düşük üç sonuç içerisinde en büyüğü alınarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler için en az 7 deprem kaydı kullanılmasının ve elde edilen sonuçlarının ortalamasının dikkate alınmasının daha doğru olacağı vurgulanmıştır.

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 doğrusal elastik olmayan dinamik analiz ile elde edilen çatı seviyesi 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 ötelenme taleplerinin %20-40 oranında daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Merter ve diğ. (2013) tarafından betonarme çerçeve yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan dinamik davranışı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, TS-500 (2000) ve Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak boyutlandırılan 5 ve 10 katlı betonarme düzlem çerçevelerin Z3 zemin sınıfı için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş 11 gerçek deprem kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Merter ve Uçar (2013) ise Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmış 6-8 katlı betonarme düzlem çerçevelerin doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirerek

taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelenmesi değerlerini karşılaştırmıştır. Analizler için Türkiye’de meydana gelen farklı depremlere ait ve değişik zemin sınıflarında kaydedilen 7 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. İki çalışmada da elde edilen kat ötelenmeleri ve en büyük taban kesme kuvveti değerlendirilmiş farklı depremlerin farklı göçme mekanizmaları oluşturduğunun gözleendiği ifade edilmiştir. Ayrıca Merter ve Uçar (2013), çalışma kapsamında elde ettikleri sonuçlardan yola çıkarak doğrusal olmayan analiz ile elde edilen görelî kat ötelenmelerinin doğrusal analiz ile elde edilenlere göre genellikle daha büyük olduğunu ifade etmiştir.

Önür (2011), yüksek lisans tezi çalışmasında 1975 ve 1998 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yapılacak Yönetmelik (ABYBHY 1975, ABYBHY 1998) hükümleri dikkate alınarak tasarlanmış üç boyutlu betonarme bina modellerinin zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti, maksimum tepe noktası ötelenme oranı, görelî kat ötelenmesi oranı ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranının dağılımları değerlendirilmiştir. Analizler için 12’si ileri yönlenme özelliğine sahip toplam 41 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Aynı bina modellerinin, aynı ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini içeren çalışma ise İnel ve diğ. (2011) tarafından yapılmıştır. Ötelenme talebinin zemin sınıfına bağlı olarak değişim gösterdiği, ileri yönlenme özelliği gösteren kayıtlar için maksimum ötelenme talebinin diğer kayıtlara göre iki kata kadar çıkabildiği, bu çalışmanın bulguları arasındadır.

Özmen (2011), Türkiye’deki mevcut betonarme yapıların genel dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi ve binalarda bulunan yapısal kusurların deprem performansı üzerindeki etkisinin değerlendirmesi amacıyla doktora tez çalışması yapmıştır. Çalışmada, mevcut yapı stoğunu temsil eden üç boyutlu betonarme yapı modellerine ait eşdeğer TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için USGS sınıflandırılmasına göre A, B, C ve D sınıfı zeminlerde kaydedilen toplam 264 gerçek ivme kaydı kullanılmıştır. Değerlendirme amacıyla maksimum ötelenme talebi kullanılmıştır.

Tekin (2010), TSD sistemlerin deprem tepkilerinin olasılıksal olarak tahmini amacını taşıyan yüksek lisans tezi çalışması yapmıştır. Çalışmada, titreşim periyodu

0.1s-5.0s arasında değişen TSD sistemler için hesaplanan maksimum tepkiye ait olasılık dağılımları önerilmiştir. Analizler için 51 depreme ait toplam 317 ivme kaydına ait yatay bileşenler kullanılmıştır.

### **1.3.2 İvme Kaydı Seçimi ile İlgili Çalışmalar**

Deprem Yönetmeliği ve Eurocode-8, yapıların tasarım veya performans değerlendirmesi için zaman tanım alanında analiz yönteminin de kullanılabilmesinin öngöröldüğü ve gerekli tanımlamaların yapıldığı modern yönetmeliklerdendir. Bu yönetmeliklerde, analiz için kullanılacak deprem yükleri bölgesel deprem tehlikesi ve yerel zemin koşulları ile uyumlu tasarım spektrumları ya da zaman tanım alanında analiz için seçilen ivme kayıtları ile temsil edilmektedir. Yönetmeliklerde yer alan ve yerel zemin koşulları da dikkate alınarak tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olmak koşulu ile sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının zaman tanım alanında analiz için kullanılması mümkündür.

Bu kısımda Deprem Yönetmeliği ve Eurocode-8 ile uyumlu ivme kaydı seti elde etmek amacı ile yapılan çalışmalara yer verilmiştir. İvme kaydı seçimi ile ilgili kapsamlı ve detaylı bilgi içeren bir derleme çalışması Katsanos ve diğ. (2010) tarafından yapılmıştır.

Eurocode-8'de tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu gerçek ivme kaydı setlerinin elde edilmesi ile ilgili ilk çalışma Iervolino ve diğ. (2008) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ivme setleri için kayıtlar, Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'nda (Ambraseys ve diğ. 2004) bulunan kayıtlar arasından seçilmiştir. Eurocode-8'de tarif edilen 5 zemin sınıfının her biri için, herhangi bir ivme kaydının iki yatay bileşeninden sadece birisinin seçildiği ve toplam 7 kayıttan oluşan ivme seti ile her kaydın iki bileşeninin de seçildiği ve toplam 14 kayıttan oluşan ivme seti elde etmek hedeflenmiştir. Iervolino ve diğ. (2009), benzer çalışmayı köprüleri de kapsayacak şekilde genişletmiştir. Nihayet, kullanıcı tanımlı ya da Eurocode-8'de tanımlı tasarım spektrumlarıyla uyumlu ivme kaydı setlerinin elde edilmesi için kullanılabilecek bir yazılım, REXEL, geliştirilmiştir (Iervolino ve diğ. 2010).

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 almıştır.

Kayhan ve diğ. (2011), Eurocode-8 ile uyumlu ivme kaydı setleri elde edilen çalışmada 7 ivme kaydından oluşan ivme setleri için toplam 352 ivme kaydı arasından seçim yapmıştır. Eurocode-8'de tanımlanan zemin sınıflarının her biri için ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarından oluşan 5 ayrı ivme kaydı seti elde edilmiştir.

Deprem Yönetmeliği 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, Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan yerel zemin sınıflarının her biri için 10 ivme kaydından oluşan ivme kaydı setleri elde edilmiştir.

Kayhan (2012), Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ivme kaydı setleri elde etmiştir. Öncelikle deprem büyüklüğü, faya olan mesafe ve zemin sınıfı dikkate alınarak 199 ivme kaydına sahip bir katalog oluşturulmuş ve ivme kaydı için seçimler bu katalog içerisinde yapılmıştır. Yerel zemin sınıflarından her biri için içerisinde ölçeklendirilmiş 10 ve 15 ivme kaydı bulunan ivme setleri ayrı ayrı elde edilmiştir.

#### **1.4 Kapsam ve Yöntem**

Tezin amacı doğrultusunda, tek serbestlik dereceli (TSD) ve düzlem çerçeve sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analizler, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ivme kaydı setleri kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda maksimum ötelenme talepleri ve görel kat ötelenmesi talepleri elde edilmiştir. Daha sonra maksimum ötelenme oranı talepleri ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı talepleri hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılacak ivme kaydı setleri, birinci derece deprem bölgesinde bulunan ve bina önem katsayısı  $I=1$  olan binalar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi temsil eden tasarım ivme spektrumları (hedef spektrum) ile uyumlu



olacak şekilde elde edilmiştir. Yerel zemin sınıfları Z1, Z2 ve Z3 için tanımlanmış hedef spektrumlar ayrı ayrı dikkate alınmış ve her bir zemin sınıfı için dört farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Analizlerde toplam 12 ivme kaydı seti kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı setinde 7 ivme kaydı bulunmaktadır. İvme setleri için kayıtlar Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan (Ambraseys ve diğ. 2004) seçilmiştir.

Tez çalışmasında dikkate alınan TSD sistemlerin doğal titreşim periyodu 0.4s-1.2s arasında (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2) değişmektedir. Sistemlerin yatay yük kapasitelerinin, deprem hesabına esas ağırlığına oranı, yatay dayanım oranı olarak tanımlanmaktadır. Yatay dayanım oranı açısından da geniş bir aralığı taramak amacıyla, her bir doğal titreşim periyodu için 0.1 ile 0.5 arasında değişen (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) yatay dayanım oranına sahip TSD sistemler dikkate alınmıştır.

TSD sistemlerin doğrusal olmayan davranışı için üç farklı çevrimsel model dikkate alınmıştır. İlk model genelde akademik çalışmalarda referans model olarak kullanılan Elastik-Mükemmel Plastik (EMP) modeldir (FEMA 356). İkinci model akma sonrası dayanım artışının dikkate alınabildiği Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) modeldir (Celep 2008 ve FEMA 440). Üçüncü model ise akma sonrası dayanım artışı yanında rijitlik azalmasının da dikkate alınabildiği Modifiye Takeda (MT) modelidir (Takeda ve diğ. 1970, Otani 1974). Periyot, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modelleri dikkate alındığında, tez çalışmasında birbiri ile aynı olmayan 135 adet TSD sistem kullanılmıştır. Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen tüm ivme setleri için, bu TSD sistemlerin analizi yapılmıştır. Analizler için Prism v1.0.2 (Jeong ve diğ. 2010) programı kullanılmış ve tüm çevrimsel modeller için sönüm oranı %5 seçilmiştir.

Doğrusal olmayan analizler için kullanılacak düzlem çerçeveler 3, 5 ve 7 katlı betonarme çerçeve sistemleridir. Düzlem çerçeveler, planda her iki doğrultuda 450cm uzunluğa sahip dört açıklıktan oluşan 3 boyutlu yapıların orta aksı üzerinde yer alan kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. 3 boyutlu yapıların zemin katı 350cm, normal katları 300cm yüksekliğe sahiptir. Öncelikle, Deprem Yönetmeliği koşulları da dikkate alınarak bu yapılar tasarlanmış ve eleman enkesit boyutları ve donatı düzenleri belirlenmiştir. Tasarım için deprem yükü hesabında, kullanım amacı konut olan betonarme binanın birinci derece deprem bölgesinde ve Z3 sınıfı zemin üzerinde

olduğu kabul edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek kabul edilerek ve C25 ile S420 malzemeleri kullanarak tasarım yapılmıştır. 3 boyutlu yapılar tasarlandıktan sonra orta aks üzerinde bulunan elemanlardan oluşan düzlem çerçevenin, eleman ve yükleri ile beraber doğrusal olmayan analiz modeli hazırlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelinin hazırlanmasında Deprem Yönetmeliği'nde yer alan modelleme kuralları dikkate alınmıştır. Her ne kadar tasarım için zemin sınıfı Z3 kabul edilmiş ise de, doğrusal olmayan analizlerde tasarım zemin sınıfı ile uyumlu olarak Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri yanında, Z1 ve Z2 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri de kullanılmıştır. Analizler için Sap2000 v.14.2.2 (2010) programı kullanılmıştır.

Görüldüğü gibi, çalışma amacı doğrultusunda toplam 135 adet TSD sistem ve 3 adet düzlem çerçeve için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir sistem için 12 ivme seti yani toplam 84 ivme kaydı kullanarak ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Sonuç olarak, TSD sistemler için 11340 ve düzlem çerçevesi için 252 analiz gerçekleştirilmiştir.

Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen deprem düzeyi için, çalışmada ele alınan TSD sistemler ve düzlem çerçevesinin ötelenme ve göreli ötelenme değerlerinin istatistiksel olarak bir toplumu temsil ettiği düşünüldüğünde, ivme kaydı setleri kullanarak elde edilen ortalamaların da bu toplumdaki alman örneklere ait olduğu söylenir. Örneklere aynı topluma ait olup olmadığının yani setler için hesaplanan ortalama talepler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının test edilmesi amacı ile sürekli değişkenlere uygulanabilen varyans analizi Köksal (1998) kullanılmıştır. Varyans analizi için, her bir TSD sistemde, ivme kaydı setlerinden elde edilen maksimum ötelenme taleplerine ait ortalamalar dikkate alınmıştır. Düzlem çerçevesi için varyans analizinde ise, ivme kaydı setlerinden elde edilen maksimum ötelenme oranı ve maksimum göreli kat ötelenmesi oranı taleplerine ait ortalamalar dikkate alınmıştır.

## 1.5 Tezin Organizasyonu

Tezin birinci bölümünde, tez çalışmasında ele alınan problem tanımlanmış ve tez konusu ile ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalardan örnekler verilmiştir. Ayrıca tezin amacı, kapsamı ve kullanılan yöntem açıklanmıştır.

İkinci bölümde, yapısal analiz için kullanılan yöntemler, doğrusal olmayan modelleme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez kapsamında kullanılacak olan TSD sistemler ve düzlem çerçeve sistemleri ile bu sistemlere ait doğrusal olmayan analiz modelleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, Deprem Yönetmeliği'nde yer alan, zaman tanım alanında analiz ve analizde kullanılacak ivme kayıtlarının özellikleri ile ilgili tanımlamalar verilmiştir. Ayrıca, tez çalışmasında kullanılmak amacı ile Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde elde edilen ivme kaydı setlerine ait bilgiler sunulmuştur.

Beşinci bölümde, TSD sistemlerin ve düzlem çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları verilmiştir. TSD sistemler için maksimum ötelenme talepleri, düzlem çerçeve sistemler için maksimum ötelenme, maksimum ötelenme oranı, maksimum görelî kat ötelenmesi ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri hesaplanmış ve sunulmuştur. Bu bölümde, set içindeki kayıtlardan elde edilen taleplerin sete ait ortalama etrafındaki saçılımı değerlendirilmiştir. Ayrıca, farklı setler için elde edilen ortalama talepler karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde, beşinci bölümde verilen doğrusal olmayan analiz sonuçları dikkate alınarak gerçekleştirilen varyans analizi ile ilgili bilgiler ve varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Yedinci bölümde, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ifade edilmiştir.

## 2. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

### 2.1 Giriş

Bu bölümde, yapısal analizde kullanılan analiz yöntemleri, doğrusal olmayan modelleme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Özellikle büyük depremlerin gözlenebileceği bölgelerde yapıların deprem etkisi altında hiç hasar görmeden tasarlanabilmesi ekonomik açıdan pek mümkün değildir. Bu durumda, ekonomik tasarım çözümlerine ancak yapıda oluşabilecek hasarın baştan kabul edilmesi ile ulaşılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ise, deprem sebebi ile oluşacak hasarın sınırlı ve deprem sonrasında giderilebilir mertebede olmasıdır. Özellikle can güvenliğinin kesinlikle sağlanması gerekir. Dolayısıyla, tasarım depremi etkisi altında yapıda hasar oluşmasına izin verilmekte ancak meydana gelecek hasarın hiçbir şekilde yıkılma ya da göçme riski yaratmaması beklenmektedir (Canbay ve diğ. 2008). Deprem Yönetmeliği Madde 1.2.1'de de bu felsefe ana ilke olarak belirtilmiştir. Buna göre, hafif şiddetli depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı hasar oluşumunun sınırlandırılması gerekmektedir.

Yapıların tasarımı için gerekli veriler yani taşıyıcı sistem elemanlarında oluşması beklenen iç kuvvetler ve deformasyonlar, uygun olarak hazırlanacak yapısal modelin belirlenen yükler altında analizi ile elde edilmektedir. İç kuvvetler ve deformasyonlara bağlı olarak tasarım ve kapasite kontrolleri yapılmaktadır. Yapısal analiz için kullanılan yöntemler genel olarak, yapıya etkiyen yüklerin ve malzeme davranışının dikkate alınmasında yapılan kabullere göre sınıflandırılmaktadır.

## 2.2 Yapısal Analiz Yöntemleri

Malzeme davranışı ile ilgili kabule bağlı olarak analiz yöntemleri doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz olarak iki genel gruba ayrılabilir. Doğrusal elastik analiz yöntemlerinde, taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik davranış gösteren bir malzemedен oluştuğu kabul edilir. Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinde ise taşıyıcı sistem elemanlarının davranışında, malzemenin doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınmaktadır. Bu iki genel analiz yöntemi de kendi içerisinde statik ve dinamik analizler olarak ikiye ayrılabilir. Statik analiz yöntemlerinde yapıya etkiyen yükler başlangıçta belirlenmekte ve analiz boyunca değişmemekte iken dinamik analiz yöntemlerinde ise yapıya zamanla değişen yükler uygulanmaktadır. Yapısal analiz sonucunda elde edilmesi gerekli bilgilere bağlı olarak, uygulanacak analiz yöntemi seçilmektedir. Sonuç olarak yapısal analizler için dört genel başlıkta toplanabilecek ve aşağıda verilen analiz yöntemleri kullanılmaktadır:

- a. Doğrusal Statik Analiz
- b. Doğrusal Dinamik Analiz
- c. Doğrusal Olmayan Statik Analiz
- d. Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Doğrusal yöntemler, yönetmeliklerin birçoğunda yer alan ve en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir: eşdeğer statik yük yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemi. Bu yöntemlerden eşdeğer statik yük yöntemi statik, diğerleri ise dinamik analiz yöntemleridir. Doğrusal yöntemler genel olarak kuvvet esaslı tasarım ya da değerlendirme amacı ile kullanılırlar. Analizler için, yapısal modelin oluşturulması için gerekli taşıyıcı sistem geometrisi, eleman ön boyutları, malzeme özellikleri ve dikkate alınacak yükler gibi verilere ihtiyaç bulunmaktadır.

İtme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analiz ise doğrusal olmayan analiz yöntemleridir. Bu yöntemler genel olarak şekil değiştirme esaslı (performans esaslı) tasarım ya da değerlendirme amacı için kullanılırlar. Doğrusal olmayan analizler için, doğrusal analizlerde taşıyıcı sistem modelini oluşturmak için gerekli bilgilere ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarının donatı düzenlerinin de bilinmesi

gerekir. Ek bilgiler, taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının modele yansıtılması için kullanılır. Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin en önemli avantajı, hem taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınabilmesi, hem de artan yükler altında taşıyıcı sistem elemanları kapasitelerine ulaştıkça bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara nasıl dağıldığının değerlendirilebilmesidir.

### **2.2.1 Doğrusal Statik Analiz**

Doğrusal statik analiz, anlaşılması kolay ve uygulaması nispeten basit bir analiz yöntemidir. Taşıyıcı sistem modelinin analizlerinde düşey yükler ve deprem yükleri birlikte ele alınır. Deprem yükleri, eşdeğer statik yüke dönüştürülerek taşıyıcı sistem modeline etkililir. Düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında, elemanlarda oluşan kesit tesirleri ve düğümlerde oluşan yer değiştirmeler belirlenir. Kuvvete dayalı yaklaşımlara esas oluşturan analiz, yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde belirtilen koşullara bağlı olarak yapılır. Yönetmeliklerde tanımlanan farklı yük kombinasyonları için yapılan analizler sonucunda maksimum kesit tesirleri ve yer değiştirmeler belirlenir. Bu bilgiler, eleman kapasite kontrolleri ve yer değiştirme ile ilgili kontroller için kullanılır.

Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, doğrusal statik analiz yöntemlerine bir örnektir. Yöntem, bazı kısıtlamalarla belirli tür taşıyıcı sistemlere uygulanabilmektedir. Yöntemde, deprem yüğü hesabı için ilgili doğrultudaki hakim titreşim modu dikkate alınmakta ve bu moda ait mod şekli ise ters üçgen olarak basitleştirilmektedir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde, deprem yükünün hesabında, binanın deprem hesabına esas ağırlığı dikkate alınmaktadır. Doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan deprem yüğü, yapının deprem etkisi altında ortaya çıkacak doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak, taşıyıcı sistem niteliğine bağlı deprem yüğü azaltma katsayısı ile azaltılmaktadır.

### 2.2.2 Doğrusal Dinamik Analiz

Yapıya düşey yükler ile birlikte deprem, rüzgâr gibi zamanla değişen yükler de etkiyebilmektedir. Zamanla değişen yüklerin uygun biçimde yapısal analizde kullanılması için dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan mod birleştirme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri dinamik analiz yöntemleridir.

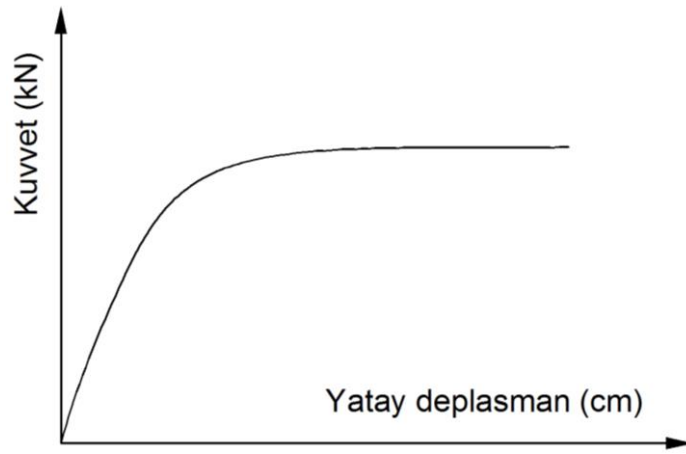
Mod Birleştirme Yöntemi'nde, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak maksimum kesit tesirleri ve yer değiştirmeler, her bir doğrultuda yeterli sayıda titreşim modunun dikkate alınması ile hesaplanmaktadır. Modlar için hesaplanan analiz sonuçları istatistiksel olarak birleştirilmekte ve böylece dikkate alınan her bir modun katkısı elde edilmektedir.

Her bir mod için deprem yükü, o moda ait titreşim periyoduna bağlı olarak hesaplanan elastik deprem yükünün, deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek azaltılması ile elde edilmektedir. Gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularının her biri için, hesaba katılması gereken titreşim modu sayısının nasıl hesaplanacağı, Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanmıştır. Buna göre gözönüne alınan doğrultuda, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamı, bina toplam kütlelerinin %90'ından az olmayacaktır. Bu yöntem ile elde edilen toplam taban kesme kuvveti de, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin sistemdeki düzensizlik durumuna bağlı olarak %80'inden veya %90'ından az olmayacaktır.

Zaman tanım alanında analiz yöntemi, binaların deprem etkisi altında göstereceği gerçek davranışa en yakın sonuçların elde edilmesine olanak sağlayan analiz yöntemidir. Ancak özel bir bilgi birikimi ve gelişmiş yazılımlara ihtiyaç duyulması sebebi ile daha az kullanılmaktadır. Yöntem daha çok bilimsel araştırma amacıyla ya da daha basit yöntemlerle elde edilmiş sonuçların yorumlanması amacıyla kullanılmaktadır. Deprem Yönetmeliği'nde zaman tanım alanında analiz ile ilgili koşullar ve kullanılacak ivme kayıtlarının sahip olması gereken özellikler tanımlanmıştır. Buna göre, gerekli koşullara uyulmak kaydı ile zaman tanım alanında analiz için yapay yollarla üretilmiş, benzeştirilmiş ya da daha önce kaydedilen gerçek ivme kayıtları kullanılabilir.

### 2.2.3 Doğrusal Olmayan Statik Analiz

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde amaç olası bir depremde yapı elemanlarında meydana gelecek doğrusal ötesi deformasyonların ve yapı davranışının daha gerçekçi olarak tahmin edilmesidir. Bu amaçla, doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover analysis) yapılabilir. Statik itme analizinde, taşıyıcı sistemin taban kesme kuvveti ile tepe noktasının yatay deplasman ilişkisini gösteren kapasite eğrileri elde edilir (Şekil 2.1). Kapasite eğrileri, yapının artan deprem yükleri etkisinde sergileyeceği davranışı temsil etmektedir.



Şekil 2.1: Tipik kapasite eğrisi

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi yapı, nispeten düşük deprem yükleri etkisinde elastik davranış göstermekte, deprem yükleri arttıkça taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak kapasite eğrisi değişmektedir. Kapasite eğrisi, taşıyıcı sistemlerin yatay yük taşıma kapasitesi ve yatay deplasman yapabilme kapasitesinin de gözlenebileceği bir eğridir.

Kapasite eğrisinin elde edilmesi için yapıya, adım adım artırılan yatay yük uygulanmakta ve her bir adımda taşıyıcı sistem elemanlarında iç kuvvetler ve deformasyonların durumuna bağlı olarak ortaya çıkacak değişimler analiz modeline yansıtılmaktadır. Yapının revize edilmiş yeni modeli için bir sonraki adım uygulanmaktadır. Deprem Yönetmeliği’nde tanımlanan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, doğrusal olmayan statik analiz için bir örnektir.



#### **2.2.4 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz**

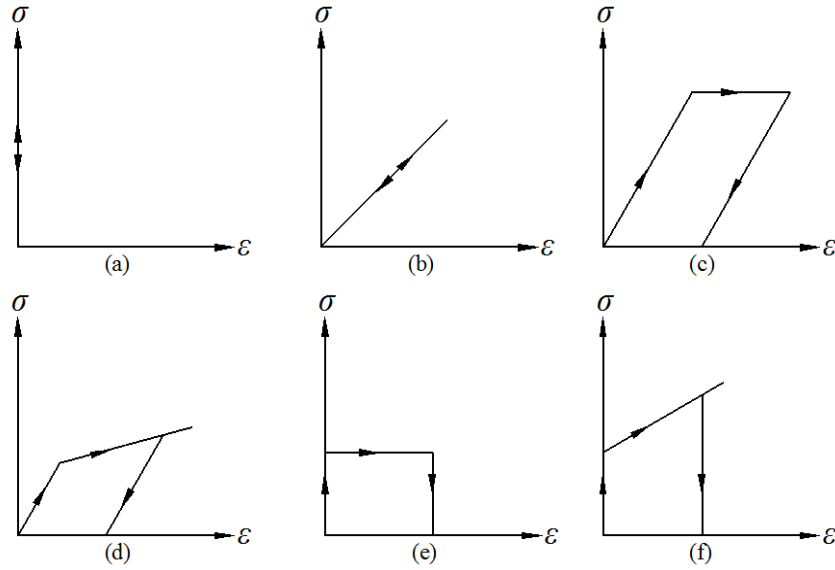
Yapının doğrusal ötesi davranışını en gerçekçi biçimde yansıtan, en karmaşık ve en gelişmiş analiz yöntemi doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi yani zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Bu analiz yönteminde, zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmakta, ayrıca taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışları da analiz modelinde dikkate alınmaktadır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile yapının doğrusal elastik ötesi davranışı, yapı elemanlarının ve yapının hasar görme mekanizması, yapı elemanlarındaki deformasyonlara bağlı olarak yapıya etkileyen yüklerin yapı elemanları arasında yeniden dağılımı gibi konularda yapının gerçek davranışına en yakın sonuçların elde edilmesi mümkündür. Deprem Yönetmeliği'nde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılması ile ilgili tanımlamalar verilmiştir.

#### **2.3 Doğrusal Olmayan Davranış**

Doğrusal olmayan analizlerin en temel özelliği, daha önce de bahsedildiği gibi malzemenin ve dolayısıyla taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının analizlerde dikkate alınmasıdır. Dolayısıyla, taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışının uygun bir şekilde analiz modelinde tanımlanması gerekir. Doğrusal olmayan davranış için temel veriler ise malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinden elde edilir.

Doğada bulunan malzemelerin gerçek gerilme-şekil değiştirme ilişkisi genel olarak doğrusal değildir ve malzeme özelliğine bağlı olarak karmaşık bir değişim sergiler. Malzemelerin bütün özelliklerini göz önüne alan bir teori kurup hesap yapmak pratik bakımdan çok zordur. Bu nedenle, malzemelerin etkin özellikleri göz önüne alınarak değişik yaklaşıklık seviyelerinde sonuç elde edebilmek amacı ile basit malzeme idealleştirmeleri yapılır. Şekil 2.2'de tek eksenli gerilme halinde yapılan idealleştirilmeden bazıları verilmiştir (Bakioğlu, 2001).



**Şekil 2.2:** İdealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkileri

Şekil 2.2 (a)'da verilen rijit malzemede gerilme arttığında veya azaldığında şekil değiştirme gözlenmezken (b)'de verilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır ve yük arttıkça artan elastik deformasyon gözlenir. Yük kaldırıldığında ise elastik deformasyon döner. (c)'de elasto-plastik davranış söz konusudur. Cisim akma sınırına kadar elastik davranış sergiler, akma sınırından sonra ise plastik davranış gözlenir. Uygulanan yük kaldırıldığında, elastik deformasyon geri dönerken plastik deformasyonlar kalır. Akma sınırından sonra pekleşme gözlenen elasto-plastik davranışta (d) ise akma sınırından sonra gerilmeler sabit kalmamakta, artmaktadır. Rijit plastik davranış ile (e), pekleşen plastik davranış (f) özellikleri birbirine benzemektedir. İkisinde de akma anına kadar elastik deformasyon gözlenmemektedir. Bu iki davranışın farkı plastik bölgede deformasyon artarken gerilmenin artıp artmayacağıdır.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı da kullanılan malzemelerin yani betonun ve donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerine bağlıdır.

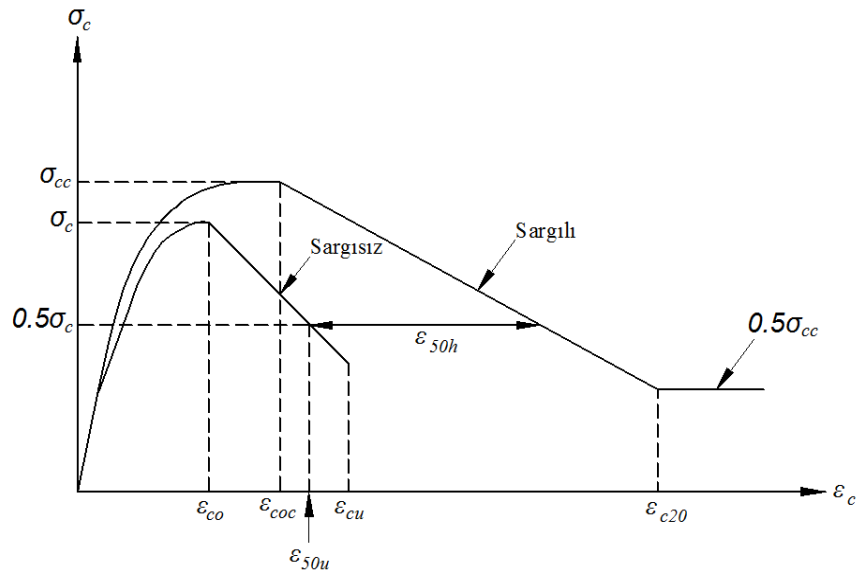
Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi, betonun sargılı olup olmadığı yani yanal basınç etkisinin bulunup bulunmadığı, betonun basınç dayanımı, enine donatının hacimsel oranı, yükleme hızı ve biçimi gibi çok sayıda parametreden etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı her durumu temsil eden tek bir gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tanımlanması mümkün değildir. Ancak doğrusal olmayan

davranışın belirlenebilmesi için de betonun gerilme-şekil değiştirme eğrilerine ihtiyaç vardır. Literatürde betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için birçok model önerilmiştir (Kent ve Park 1969, Mander ve diğ. 1988, Sheikh ve Uzumeri 1982).

Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal olmayan davranışın gözönüne alınması için beton ve donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile ilgili gerekli tanımlamalar yer almakla birlikte, literatürde bulunan beton modellerinden herhangi birisi kesin olarak önerilmemiştir. Tez çalışmasında, sargılı ve sargısız betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için yaygın olarak kullanılan Geliştirilmiş Kent-Park modeli (Kent ve Park 1969) kullanılmıştır.

### 2.3.1 Geliştirilmiş Kent-Park Modeli

Geliştirilmiş Kent-Park Modeli, Roy ve Sozen (1964) tarafından sargılı beton için önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi sargılı ve sargısız beton için iki ayrı gerilme-şekil değiştirme eğrisi önerilmiştir.



Şekil 2.3: Geliştirilmiş Kent-Park modeli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sargı etkisi ile hem dayanımda hem de süneklilikte artış meydana geleceği varsayılmaktadır. Eğrilerin ilk bölümleri için parabol ikinci bölümleri için doğrusal ilişki tanımlanmıştır. Sargılı betonun eğimi, sargısız betonun

eğimine göre daha düşüktür. Sargısız betonda maksimum birim Şekil değiştirme  $\epsilon_{cu}$  iken, sargılı betonda böyle bir sınır yoktur.

Geliştirilmiş Kent-Park Modeli'ndeki gerilme bağıntıları parabol kısım ve doğrusal kısım olmak üzere iki grupta incelenebilir (Denklem 2.1-Denklem 2.11).

Parabol bağıntıları:

Sargısız beton için:

$$\sigma_c = f_c \left[ \frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (2.1)$$

Sargılı beton için:

$$\sigma_c = f_{cc} \left[ \frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{coc}} - \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

$$\epsilon_{coc} = K \epsilon_{co} \quad (2.3)$$

Doğrusal kısım bağıntıları:

Sargısız beton için:

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\epsilon_c - \epsilon_{co})] \quad (2.4)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\epsilon_{50u} - \epsilon_{co}} \quad (2.5)$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \epsilon_{co} \quad (2.6)$$

Sargılı beton için:

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (2.7)$$

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0,2 f_{cc} \quad (2.8)$$

$$Z_c = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left( \frac{b_k}{s} \right)^{0.5} \quad (2.10)$$

$$\rho_s = \frac{A_0 l_s}{s b_k h_k} \quad (2.11)$$

Denklem 2.1 ile Denklem 2.11 arasındaki ifadelerde bulunan parametreler aşağıda belirtilmiştir:

$\sigma_c, \sigma_{cc}$  : Sargısız ve sargılı betona ait basınç dayanımı ( $\sigma_c = F_{ck}, \sigma_{cc} = K\sigma_c$ )

$\varepsilon_{coc}$  : Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme

$\varepsilon_{co}$  : Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme

$Z_u, Z_c$  : Sargısız ve sargılı beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi

$b_k, h_k$  : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük ve büyük boyutu

$\rho_s$  : Sargı donatısının hacimsel oranı

$\sigma_c$  : Beton basınç gerilmesi

$\varepsilon_c$  : Betonun birim şekil değiştirmesi

$\varepsilon_{cu}$  : Sargısız beton için en büyük birim şekil değiştirme

$\varepsilon_{c20}$  : Sargılı betonda  $0.2\sigma_{cc}$  gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değiştirme

$A_0$  : Sargı donatısının kesit alanı

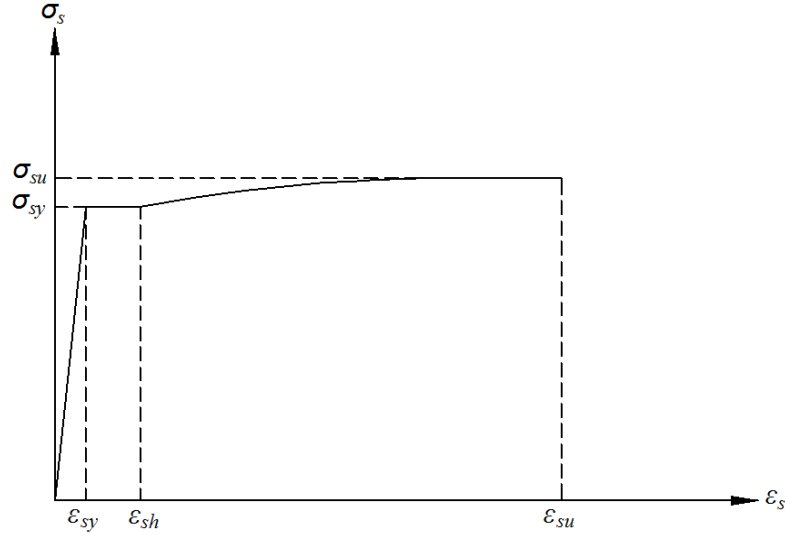
$l_s$  : Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu

$f_{yk}$  : Sargı donatısının minimum akma dayanımı

$s$  : Sargı donatısının aralığı

### 2.3.2 Donatı Çeliği Modeli

Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal olmayan analiz modelleri için kullanılmak üzere donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlayan bağıntılar verilmiştir. Şekil 2.4'te gerilme-şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir.



Şekil 2.4: Donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

Donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s=200,000$  MPa'dır. Düzlem çerçeve modelleri için seçilen donatı çeliği S420 kalitesindedir. S420 donatı çeliği için Deprem Yönetmeliği'nde akma birim uzaması  $\varepsilon_{sy}=0.0021$ , pekleşmenin başladığı andaki birim uzama  $\varepsilon_{sh}=0.008$  ve kopma birim uzaması  $\varepsilon_{su}=0.10$  olarak önerilmiştir. Akma dayanımı  $\sigma_{sy}=420$  MPa ve kopma dayanımı  $\sigma_{su}=550$  MPa alınmaktadır.

Deprem Yönetmeliği Ek 7B.2'ye göre doğrusal elastik olmayan yöntemler ile performans değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Denklem 2.12-Denklem 2.14).

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (2.12)$$

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

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (2.14)$$

## 2.4 Doğrusal Olmayan Modelleme

Doğrusal olmayan analiz için, yapısal modelde yer alan taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışının da tanımlanması gerekir. Bunun için yapı geometrisi, malzeme, taşıyıcı sistem elemanının enkesit boyutları, yükler, düğümlere ilişkin sınır şartları vb. yanında taşıyıcı sistem elemanlarının boyuna ve enine donatı düzenlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Çubuk elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemlerde, elemanların doğrusal olmayan davranışı, elemanların uç noktalarında tanımlanan plastik mafsallarla temsil edilmektedir. Plastik mafsal özellikleri ise analiz esnasında elemanlarda oluşacak kesit tesirleri ve deformasyonlara bağlı olarak belirlenmektedir. Eksenel yükün ihmal edilebildiği kirişlerde eğilme mafsallarının, eksenel yükün de davranış üzerinde etkili olduğu kolon ve perdelerde ise eksenel yük ile eğilme momentlerinin etkileşiminin gözönüne alınabildiği mafsallar tanımlanmalıdır. Taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen kesme kuvvetinin de gözönüne alınması gereken durumlarda kesme mafsallarının da tanımlanması gerekir.

### 2.4.1 Plastik Mafsal

Plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi için taşıyıcı sistem elemanlarının yük-deformasyon ilişkilerinden faydalanılmaktadır. Bunun için mafsalın moment ya da kuvvet mafsalı olmasına bağlı olarak moment-dönme veya kuvvet-deplasman ilişkileri tespit edilmektedir. Kirişler için moment-dönme, kolon ve perdeler için etkileşim diyagramına bağlı moment-dönme, kesme açısından kritik durumdaki elemanlar için ise kesme kuvveti-kesme deplasmanı ilişkileri kullanılmaktadır.

Herhangi bir elemanda örneğin moment etkisi ile mafsallaşma, moment değerinin akma momentini ilk aştığı yerde başlamaktadır. Mafsallaşmanın eleman uzunluğu boyunca dağılımının ise belirli bir yere kadar olması söz konusu olacaktır. Buna göre, doğrusal olmayan davranışın olduğu varsayılan bölgelerde, özellikle deprem etkisi ile oluşan momentin büyük olduğu eleman uç bölgelerinde, mafsallaşmanın belirli bir uzunluk boyunca yayıldığı kabul edilmektedir. Bu bölgeye plastik mafsal bölgesi ve bölgenin eleman uzunluğu boyunca olan boyuna ise plastik

mafsal boyu denilmektedir. Yapısal modellemede, plastik mafsal hipotezi kullanıldığında, eleman uç bölgelerindeki plastik mafsal bölgeleri dışında kalan mesafede çubuk elemanların doğrusal elastik davrandığı kabulü yapılmaktadır (Canbay ve diğ. 2008).

Plastik mafsal boyunun uzunluğu, elemanın boyuna ve enine donatı çapı, sargı etkisi, enkesit boyutları, kesitte bulunana aksenal yük düzeyi, mafsal ve momente sıfır noktası arasındaki mesafe, boyuna donatının kenetlenme dayanımı gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Priestley ve diğ. (1996) plastik mafsal boyu  $L_p$  için Denklem 2.15 ile verilen bağıntıyı önermiştir.

$$L_p = 0.08L_0 + 0.022f_{ye}d_{bl} \geq 0.044f_{ye}d_{bl} \quad (\text{MPa, mm}) \quad (2.15)$$

Denklemden  $f_{ye}$  donatının akma dayanımını,  $d_{bl}$  boyuna donatı çapını,  $L_0$  plastik mafsal ile moment sıfır noktası arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

#### 2.4.2 Eğilme mafsalı

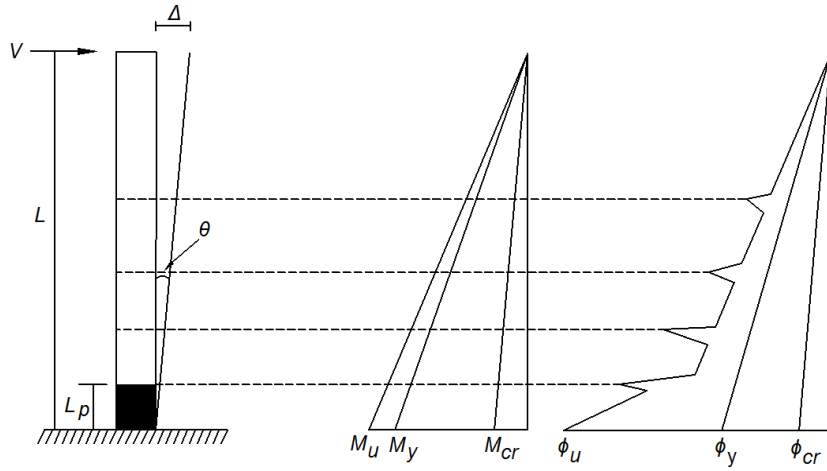
Betonarme bir yapıda genel olarak aksenal yük altında elemanların ezilmesi, kesme kuvveti etkisi ile kesme kırılması ve eğilme etkisi ile eğilme hasarı olmak üzere üç farklı göçme durumu gözlenmektedir. Bu göçme durumlarından sadece eğilme hasarında oluşan göçmenin sünek olarak gerçekleşmesi mümkündür. Diğerlerinde ise gevrek davranış söz konusudur. Bu sebeple betonarme elemanların tasarımında gevrek göçme durumlarının ortaya çıkmaması için gerekli tasarım koşulları tanımlanmakta ve olası eleman hasarlarının eğilme davranışı altında ortaya çıkması sağlanmaktadır. Dolayısıyla deprem esnasında ortaya çıkacak hasarların analiz modelinde dikkate alınabilmesi amacıyla eğilme davranışını temsil eden plastik mafsalın tanımlanması önem kazanmaktadır.

#### 2.4.3 Eğrilik Yoğunlaşması

Şekil 2.5'te verilen betonarme konsola etkiyen yatay yük sıfırdan başlayıp arttırıldığında konsol elemanın momenti ara noktalarda doğrusal olarak artar.



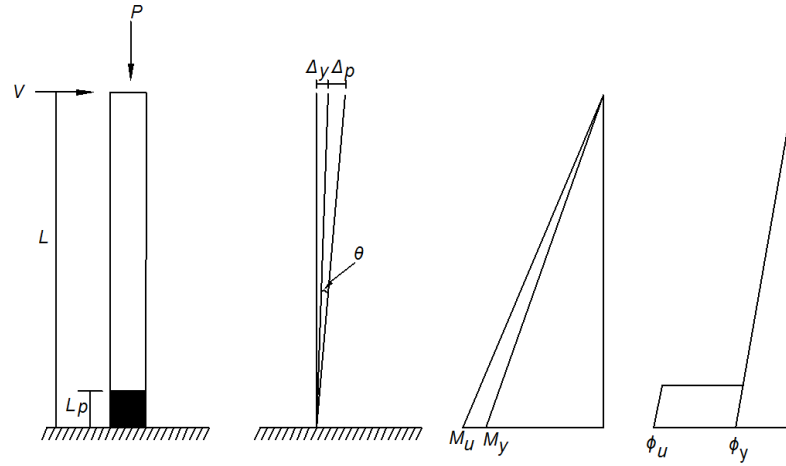
Kesitlerde çatlama momenti değerine ( $M_{cr}$ ) ulaşıldığında betonarme kesit çatlama başlar. Kesitin çatlama başladığı andaki eğrilik değeri  $\phi_{cr}$  ile gösterilmiştir. Çatlama oluşunca kesit yüksekliği azaldığından kesit eylemsizlik momenti de azalır. Eylemsizlik momentinin azalması ise eğrilikte sıçramalar meydana getirir. Bu durum mesnette akma momentine ulaşıncaya kadar sürer. Nihai moment değerine ulaşıldığında kesitte büyük çatlamlar ve eğrilikler oluşur ve göçme konumuna ulaşılır. Şekil 2.5'te  $\phi_y$  ve  $\phi_u$  sırası ile akma eğriliğini ve nihai eğriliği,  $M_y$  ve  $M_u$  ise sırası ile akma momenti ve nihai moment değerlerini ifade etmektedir.



**Şekil 2.5:** Betonarme bir konsolda moment ve eğrilik diyagramları

Deprem Yönetmeliği'nde eğrilik yoğunlaşmasının plastik mafsallık boyunca olduğu varsayılmaktadır. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bu yoğunlaşmaya bağlı olarak, kolon alt ucunda, bir mafsaldaki dönmeye benzer şekilde  $\theta$  açısı kadar dönme olduğu kabul edilmektedir. Bu dönme, elastik ve plastik dönmelerin toplamıdır. Plastik dönmelerin de gözlemlendiği bu olaya plastik mafsallık oluşumu denilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi plastik mafsallık oluşumu belirli bir moment etkisinde gerçekleşmektedir.

Betonarme konsolun ucundaki eğrilik yoğunlaşması Şekil 2.6'daki gibi idealleştirilebilir. Buna göre, plastik mafsallık bölgesine kadar doğrusal olarak, plastik mafsallık bölgesinde ise ani olarak artan eğrilik değerleri kullanılarak dönme ve yatay ötelenme değerleri hesaplanmaktadır. Analizler için plastik mafsallık davranışı ise moment-dönme ilişkisi ile tanımlanmaktadır. Hem dönme hem de yatay ötelenmenin elastik ve plastik değerlerini, örneğin moment-alan teoremini kullanarak hesaplamak mümkündür.



**Şekil 2.6:** Betonarme konsolun eğrilik diyagramının idealleştirilmesi

Denklem 2.16-2.19'da sırası ile elastik dönme, plastik dönme, elastik ötelenme ve plastik ötelenme denklemleri, Şekil 2.6 dikkate alınarak verilmiştir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L}{2} \quad (2.16)$$

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (2.17)$$

$$\Delta_y = \theta_y \left( \frac{2L}{3} \right) \quad (2.18)$$

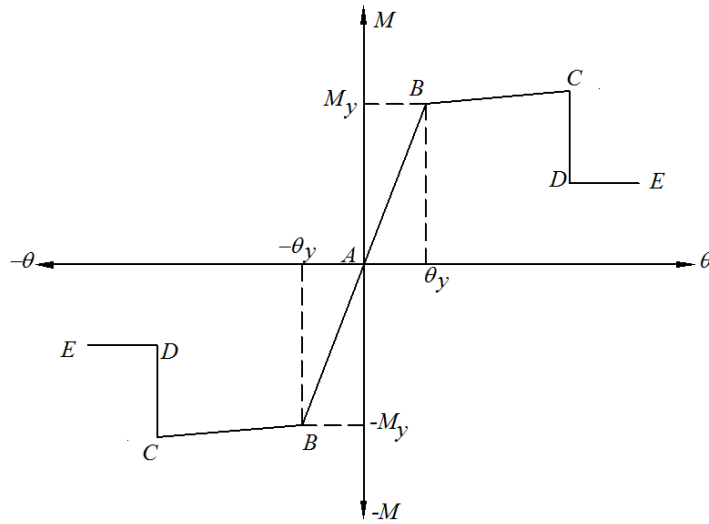
$$\Delta_p = \theta_p \left( L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (2.19)$$

#### 2.4.4 Eğilme Mafsahı Kriterleri

Analizlerde kullanılacak plastik mafsahı bilgilerinin belirlenebilmesi için, elemanların uç bölgelerindeki kritik kesitlerinde moment-dönme değerleri kullanılmaktadır. Genel olarak plastik mafsahın tanımı, kesitin akma noktasına ait moment ve dönme değeri ile plastik davranış bölgesinde moment ve dönme değerlerinin belirlenmesini gerektirir.

Şekil 2.7'de verilen tipik bir moment-dönme ilişkisi kullanılarak plastik mafsala ait tanımlama bilgileri açıklanmıştır.

Şekil 2.7’de görülen A noktası orijin (0,0) noktasıdır. B noktası ise betonarme elemanın akma konumuna ulaştığı nokta olup bu noktadan sonra doğrusal olmayan davranış başlamaktadır. B noktası akma momenti ( $M_y$ ) ve akma noktasına ait dönme değeri ( $\theta_y$ ) ile temsil edilir. A-B noktaları arasında plastik bir davranış görülmez ancak artan dönme ile orantılı olarak moment değerinde artış gözlenir. Bu artış oranı kesit özelliklerine bağlı olarak yapılan moment-eğrilik analizleri sonucunda belirlenebilmektedir. B-C noktaları arasında plastik dönme davranışı gözlenmekle birlikte moment kapasitesinde de artış olmaktadır. B-C arasında moment kapasitesinde gözlenen artış da yine kesit özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. C noktası, kesitin moment kapasitesinin korunabildiği sınır dönme değeridir ve bu noktada C noktasındaki moment kapasitesi D noktası ile ifade edilen değere düşmektedir. Dönme E noktasında ifade edilen değere ulaştığında ise D ile ifade edilen kapasite de korunmamaktadır.



**Şekil 2.7:** Plastik mafsal için moment-dönme değerleri

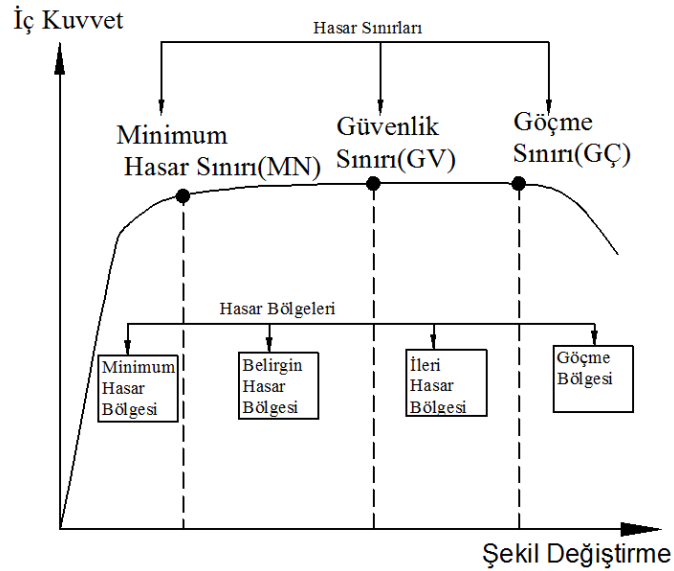
Betonarme kesitlerde, tersinir yükleme durumu dikkate alınarak momentin yön değiştirdiği durum için de B, C, D ve E noktaları belirlenmelidir. Kolonların donatı düzenleri simetrik olduğundan pozitif ve negatif değerler eşit alınmaktadır. Kirişlerde kesit alt ve üst uçlarında farklı boyuna donatılar bulunduğu anda eğilme momentinin yönüne bağlı olarak farklı değerler elde edilebilmektedir.

## 2.5 Deprem Yönetmeliği'nde Doğrusal Olmayan Modelleme

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

Deprem Yönetmeliği'nde sünek elemanlarda moment-dönme davranışını temsil eden plastik mafsallar için üç sınır durum tanımlanmıştır: Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ). Minimum Hasar Sınırı kesitte elastik ötesi davranışının başlangıcını, Güvenlik Sınırı kesitin dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, Göçme Sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır (Şekil 2.8). Bu sınıflandırma gevrek olarak hasar gören elemanlarda geçerli değildir.

Kritik kesitlerin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ile GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde ve GÇ'yi aşan elemanlar Göçme Bölgesi'nde yer alırlar.



Şekil 2.8: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Doğrusal olmayan analizler ile bulunan iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin hasar bölgelerine ait sınır değerlerle karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilmektedir. Eleman hasarı ise, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenmektedir.

## 2.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

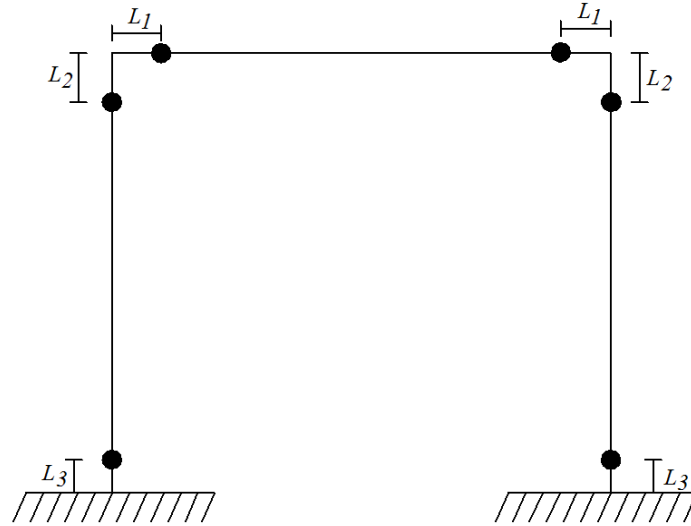
Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır.

Deprem Yönetmeliği Madde 7.6.4.1'de belirtildiği gibi, plastik mafsalsal boyu, elemanın eğilmeye çalışan doğrultudaki kesit yüksekliğinin yarısına eşit alınmaktadır (Denklem 2.20).

$$L_p = 0.5h \quad (2.20)$$

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik mafsalsal, Deprem Yönetmeliği Madde 7.6.4.3'de belirtildiği gibi plastik mafsalsal bölgesinin tam ortasına (Denklem 2.21) atanmıştır. Şekil 2.9'da, kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde plastik mafsalların atandığı yerler tipik bir çerçeve üzerinde gösterilmiştir.

$$L_1 = L_2 = L_3 = 0.5L_p \quad (2.21)$$



Şekil 2.9: Taşıyıcı sistem elemanlarına plastik mafsalların atanması

### 2.5.3 Betonarme Elemanların Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri

Deprem Yönetmeliği'ne göre, hasar bölgelerine ait sınır değerler, beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmeleri için tanımlanmış sınır değerlere bağlı olarak tanımlanmıştır (Tablo 2.1). Beton ve donatı çeliği için tanımlanmış kriterlerden hangisi önce aşıyorsa, o andaki eğrilik değeri, kriter hasar bölgesi için hasar sınır değeri olarak kabul edilmektedir. Tablo 2.1'de verilen ifadelerde,  $\rho_s$  kesitte bulunan enine donatının hacimsel oranını,  $\rho_{sm}$  kesitte Deprem Yönetmeliği'ne göre bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını,  $\varepsilon_{cu}$  kesitin en dış lifindeki betonun basınç birim şekil değiştirmesini ve  $\varepsilon_s$  donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesini ifade etmektedir.

**Tablo 2.1:** Kesit hasar sınırlarına göre şekil değiştirmelerin üst sınırı

Hasar Sınırı	Beton	Donatı çeliği
Minimum Hasar (MN)	$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$	$(\varepsilon_s)_{MN} = 0.01$
Güvenlik (GV)	$(\varepsilon_{cu})_{GV} = 0.0035 + 0.01\left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}\right) \leq 0.0135$	$(\varepsilon_s)_{GV} = 0.04$
Göçme (GÇ)	$(\varepsilon_{cu})_{GÇ} = 0.004 + 0.014\left(\frac{\rho_s}{\rho_{sm}}\right) \leq 0.0180$	$(\varepsilon_s)_{GÇ} = 0.06$

Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı  $\rho_{sm}$  için, Deprem Yönetmeliği'nde yer alan ve Denklem 2.22 ve Denklem 2.23 ile ifade edilen kriterler göz önüne alınmıştır.

$$\rho_{sm} \geq 0.6 \left( \frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \left( \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \right) \quad (2.22)$$

$$\rho_{sm} \geq 0.15 \left( \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \right) \quad (2.23)$$

Denklem 2.22 ve 2.23'te,  $A_c$  brüt enkesit alanını,  $A_{ck}$  sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanını,  $f_{ck}$  betonun karakteristik silindir basınç dayanımını ve  $f_{ywk}$  enine donatının karakteristik akma dayanımını ifade etmektedir.

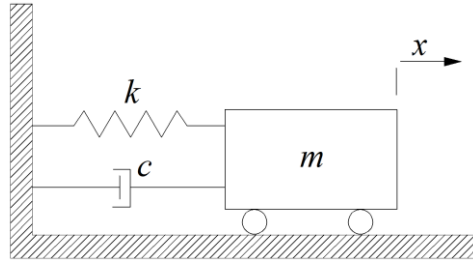
## 2.6 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Yapının doğrusal olmayan davranışını en gerçekçi biçimde tahmin edebilmek için zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, yapıya etkiyen zamana bağlı yükler altında, taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi adım adım çözülmektedir. Analiz sırasında her bir adımda sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler hesaplanmaktadır. Böylece, bu büyüklüklerin deprem taleplerine karşılık gelen maksimum değerleri elde edilmektedir. Yapının yer hareketi etkisinde analizi için hem yapısal modelin hem de yer hareketinin temsil edilmesi gerekmektedir.

Eğer yapısal sistemin hareket esnasındaki konumu tek bir parametre ile temsil edilebilecekse o halde sistemin tek serbestlik dereceli olduğu kabul edilir. Genel olarak yapı sistemlerinin yer hareketi etkisindeki davranışı ise çok serbestlik dereceli sistemler olarak temsil edilecek analiz modelleri kullanılarak belirlenmektedir. Çok serbestlik dereceli sistemler ise gerektiğinde iki boyutlu gerektiğinde ise üç boyutlu olarak modellenmektedir (Celep ve Kumbasar 2004).

### 2.6.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Serbestlik derecesi, yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısıdır. Eğer bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum tek bir parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa bu tür sistemlere tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler denilmektedir. TSD sistemlerin davranışını mesnet şartları ve hareket denkleminin başlangıç şartları dikkate alınarak elde edilen çözümler belirler (Celep ve Kumbasar 2004). Şekil 2.10'da TSD sistemin titreşiminin matematiksel modeli verilmiştir. Şekilde,  $x$  yapının zamana bağlı deplasmanını ifade etmektedir.



**Şekil 2.10:** TSD sistemin matematiksel modeli

TSD sistemlerin titreşiminde temel bileşenler rijitlik ( $k$ ), kütle ( $m$ ), sönüm katsayısı ( $c$ ) ve dış kuvvettir (yer hareketi). Burada sönüm enerji tüketim mekanizmasını, dış kuvvet ise hareketin kaynağını temsil etmektedir. TSD sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için bu sistemin hareket denkleminin ihtiyaç vardır. Yer hareketi etkisindeki TSD sistemin dinamik davranışı Denklem 2.24 ile verilmiştir. Denklemden  $-m\ddot{x}_g(t)$  terimi, yapının kütlesine etkiyerek titreşime sebep olan dış kuvveti temsil etmektedir.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t) \quad (2.24)$$

Sönüm, titreşimi etkileyen temel parametrelerden birisidir. Denklem 2.25 ile verilen kritik sönüm katsayısından daha yüksek sönüme sahip sistemler titreşim hareketi gösteremezler. Daha düşük sönüme sahip sistemlerde ise sistemin titreşim periyodu Denklem 2.26 ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.26’te  $\omega_d$  sönümlü titreşim yapan sistemin dairesel frekansını ifade etmektedir.

$$C_{cr} = 2\sqrt{mk} \quad (2.25)$$

$$T = 2\pi / \omega_d \quad (2.26)$$

TSD sistemlerde, analizde kullanılacak sönüm oranı Denklem 2.27 ile ifade edilmektedir.

$$\xi = c / C_{cr} \quad (2.27)$$

Yer hareketi etkisindeki TSD sistemler için hareket denkleminin çözümü Duhamel İntegrali (Chopra 1995) olarak bilinmektedir. Duhamel İntegrali Denklem 2.28’de verilmiştir.



$$x(t) = -\frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (2.28)$$

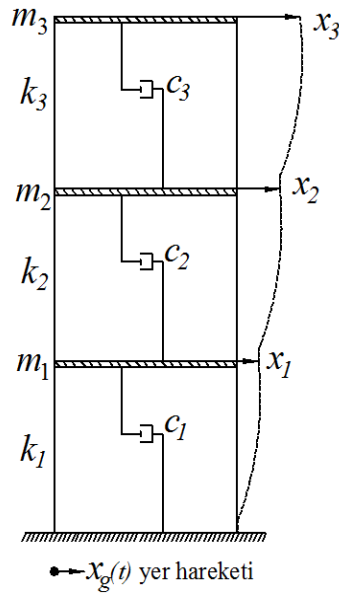
Tez çalışmasında, TSD sistemlerin zaman tanım alanında analizi için sayısal integrasyon yönteminden faydalanılmıştır. İntegrasyon için Newmark (1959) tarafından önerilen ortalama ivme yöntemi kullanılmıştır.

### 2.6.2 Düzlem Çerçeveler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum ancak birden fazla parametrenin bilinmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistemlere çok serbestlik dereceli sistemler denir. Düzlem çerçeveler, kolon ve/veya perde ile kirişlerden oluşan çok serbestlik dereceli sistemlerdir. Düzlem çerçevelerin yapısal modelinde, yapı kütlelerinin döşemelerin bulunduğu kat seviyelerinde toplandığı kabul edilir. Düzlem çerçeve modellerinde genellikle düşey taşıyıcı elemanların yatay ötelenme yapabildikleri ancak aksel olarak şekil değiştirmedikleri varsayılmaktadır. Çerçevenin ankastre mesnetlere sahip olduğu da diğer bir önemli kabuldür.

Düzenli yapılarda çerçeveler genellikle birbirine dik doğrultuda bulunur. Bu doğrultulardan herhangi birinde deprem kuvveti dikkate alındığında burulma etkisi ihmal edilecek düzeyde ise çerçeveler birbirleri ile etkileşim halinde yatay ötelenme hareketi yaparlar. Çerçevelerin rijitlikleri birbirine yakın ise çerçeveler arası etkileşim düşük olacağı için her bir çerçevenin kendi düzlemi içinde deformasyon yaptığı ve yük taşıdığı kabul edilebilir. Genel olarak bir kolonun yatay ötelenme rijitliği üzerinde, çerçeve üzerindeki tüm elemanlar etkilidir ancak kolona doğrudan bağlanan kirişlerin etkisi daha fazladır. Çerçeve kolonlarında eğilme momenti doğrudan kesme kuvveti ile ilişkili olduğu için kolon uçlarının görelî yer değiştirmesi kesme kuvvetinin büyüklüğüne ve kolonun ötelenme rijitliğine bağlanabilir. Bu durumda, kolonların yatay yer değiştirmesinde kesme kuvveti etkili olduğundan bu tür çerçeveler kayma çerçevesi olarak dikkate alınabilir. Çok katlı yapıların davranışındaki temel kavramların belirlenmesinde kayma çerçevesi yaklaşımı faydalı bir yaklaşım olmakla birlikte davranışın daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi için daha ayrıntılı bir model kurmak gerekebilir (Celep ve Kumbasar 2004).

Kayma çerçevesi yaklaşımında eğer döşeme sisteminin rijit olduğu ve bu sebeple kolon uçlarında dönme olmadığı kabul edilirse, sistemin serbestlik derecesi, kat sayısı kadar olmaktadır. Daha ayrıntılı bir çözüm elde etmek amacı ile kolon uçlarındaki düğüm noktalarının dönmelerinin de dikkate alınması istenirse, çerçevenin toplam serbestlik derecesi kat sayısına düğüm noktası sayısının eklenmesi ile bulunur. Düzlem çerçeve sistemlerinin hareket denklemlerini ifade edebilmek için Şekil 2.11’de görülen üç katlı çerçeve örnek olarak verilmiştir.



**Şekil 2.11:** Yer hareketi etkisindeki kayma çerçevesi

Şekil 2.11’de verilen düzlem çerçevede, döşemelerin rijit olduğu ve kolon uçlarında dönme olmadığı varsayılmıştır. Buna göre sistem üç serbestlik derecelidir. Çerçevenin hareket denklemleri her katta dinamik denge denklemleri yazılarak elde edilebilir. Denklemler genel olarak matris formunda ifade edilmektedir. Denklem 2.29’da hareket denklemleri verilmiştir. Görüldüğü gibi denklem kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri yanında zamana bağlı yer değiştirme, hız, ivme vektörleri ile zamana bağlı yer ivmesini içermektedir. Denklem 2.30-2.32’de örnek çerçeve için sırası ile kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri verilmiştir. Tez çalışmasında, burada verilen örnek çerçeveden farklı olarak, kolon uçlarında dönmeye izin verilecek şekilde analiz modeli oluşturulduğunu belirtmek gerekir.

$$[m]\{\ddot{x}(t)\} + [c]\{\dot{x}(t)\} + [k]\{x(t)\} = -[m]\{\ddot{x}_g(t)\} \quad (2.29)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

### 3. ANALİZ İÇİN KULLANILACAK MODELLER

Tez çalışması kapsamında, farklı titreşim periyodu ve yatay dayanım oranına sahip tek serbestlik dereceli sistemler ile farklı kat sayısına sahip betonarme düzlem çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde analiz için kullanılan tek serbestlik dereceli sistemler ve düzlem çerçeve sistemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

#### 3.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

##### 3.1.1 Periyot ve Yatay Dayanım Oranları

Çalışmada dikkate alınan tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin doğal titreşim periyodu ( $T$ ) 0.4s-1.2s arasında (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2) değişmektedir. TSD sistemlerin yatay yük kapasitelerinin ( $F_y$ ), deprem hesabına esas ağırlığına ( $W$ ) oranı, yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) olarak tanımlanmaktadır. Yatay dayanım oranı açısından da geniş bir aralığı taramak amacıyla, her bir doğal titreşim periyodu için 0.10 ile 0.50 arasında değişen (0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50) yatay dayanım oranına sahip sistemler dikkate alınmıştır.

TSD sistemlerin, doğrusal olmayan davranışının analizlerde dikkate alınabilmesi için üç farklı çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır. Analizlerde, sönüm oranı  $\xi=0.05$  seçilmiştir. Özetle, dokuz farklı titreşim periyodu, beş farklı yatay dayanım oranı ve üç farklı çevrimsel davranış modeli için toplam 135 adet TSD sistem kullanılmıştır.

##### 3.1.2 Çevrimsel Davranış Modelleri

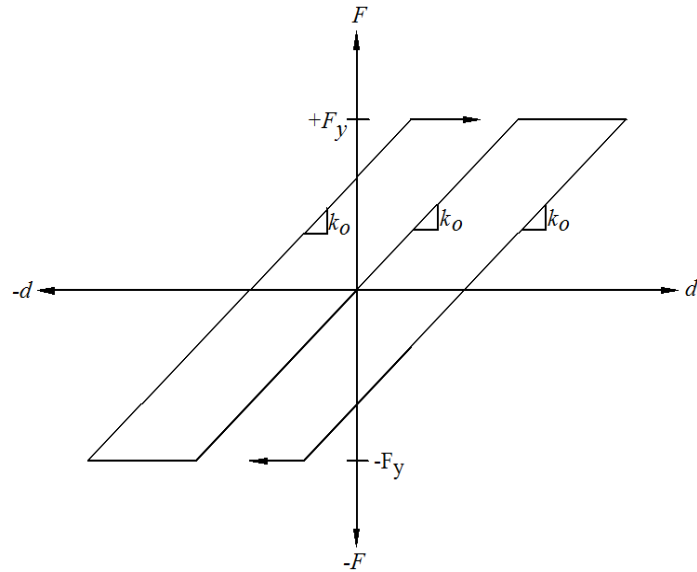
Yapının doğrusal olmayan davranışının derecesini gösteren en önemli parametrelerden biri yer hareketi sonucu yapıya giren enerji miktarıdır. Bu enerjinin

bir parçası olan çevrimsel enerji, çevrimsel davranış yoluyla dağıtılır ve doğrudan yapısal hasarla ilgilidir. Bu sebepten dolayı, çevrimsel enerji tasarım parametresi olarak kullanılabilir (Bertero ve Teran 1994).

Bu çalışmada, TSD sistemlerin doğrusal olmayan davranışının analiz modellerinde dikkate alınabilmesi için kullanılan çevrimsel modeller şunlardır: Elastik-Mükemmel Plastik Model, Elastik Doğrusal Pekleşen Model ve Modifiye Takeda Modeli.

### 3.1.2.1 Elastik-Mükemmel Plastik (EMP) Model

EMP, genellikle referans davranış modeli olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de EMP modele ait çevrimsel davranış için yük-deplasman ilişkisi ( $F-d$ ) görülmektedir. Elastik davranışın sonunda akma dayanımına ( $F_y$ ) ulaşılmakta ve akma noktasından sonra dayanımda bir artış olmaksızın elastik deplasmanlar yanında plastik deplasmanlar da meydana gelmektedir. Yük boşalması esnasında ise, elastik şekil değiştirmeler geri dönerken plastik şekil değiştirmeler geri dönmeyerek kalmaktadır. Yükleme ve yük boşalması esnasında rijitlikte ( $k_o$ ) bir değişim oluşmamaktadır (Celep 2008).

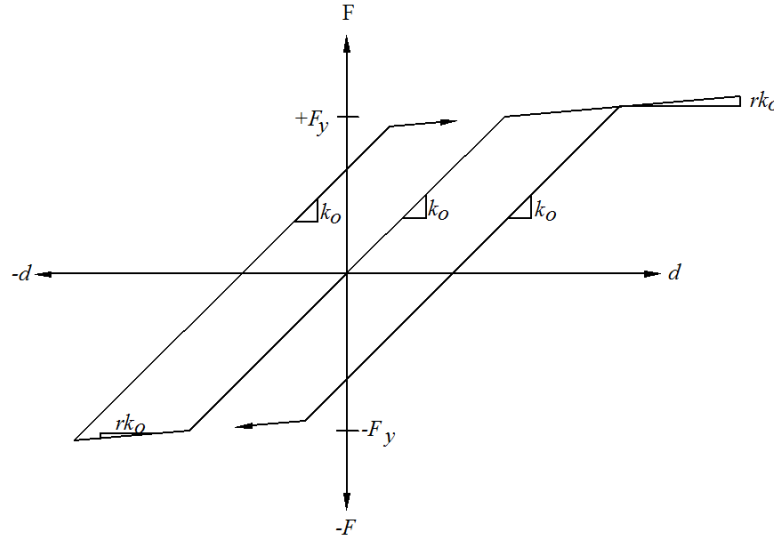


Şekil 3.1: Elastik-Mükemmel Plastik çevrimsel model

### 3.1.2.2 Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) Model

Elastik-doğrusal pekleşen modele ait çevrimsel davranış Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu davranış başlangıç rijitliği ( $k_o$ ), akma dayanımı ( $F_y$ ) ve akma sonrası rijitlik ( $rk_o$ ) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Akma dayanımına ulaşıldıktan sonra, başlangıç rijitliğine oranla daha düşük bir rijitlikle pekleşme ve plastik şekil değiştirmeler başlamaktadır (Celep 2008, FEMA 440).

Boşalma dönüşü elastik yükleme koluna paralel olarak oluşmakta ancak plastik şekil değiştirmeler geri dönmemektedir. Akma sonrası rijitliğin başlangıç rijitliğine oranı ( $r$ ) için 0.01, 0.03 ve 0.05 gibi değerler kullanılabilir (Hatzigeorgiou ve Beskos 2009). Tez çalışmasında,  $r=0.05$  alınmıştır.



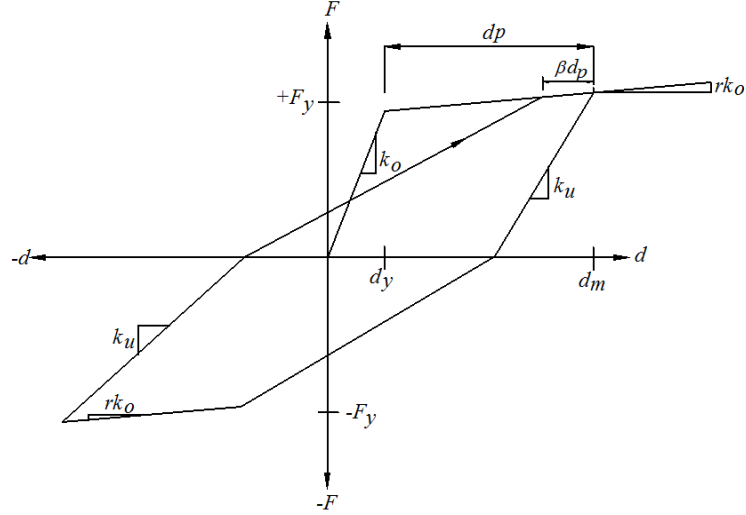
Şekil 3.2: Elastik-Doğrusal Pekleşen çevrimsel model

### 3.1.2.3 Modifiye Takeda (MT) Modeli

Takeda çevrimsel modeli, ilk olarak 1970’de ortaya konmuştur (Takeda ve diğ. 1970). Bu çalışmada kullanılan MT modeli ise Otani tarafından (1974) önerilmiştir. Model, deprem esnasında ortaya çıkan hasarlar dolayısıyla yapıların rijitliğinde meydana gelen azalmayı da temsil etmektedir.

Şekil 3.3’te verilen çevrimsel modeli tanımlayabilmek için kullanılan parametreler; başlangıç rijitliği ( $k_o$ ), akma dayanımı ( $F_y$ ), akma deplasmanı ( $d_y$ ),

akma sonrası rijitlik oranı ( $r$ ), plastik deplasman ( $d_p$ ), yeniden yükleme rijitlik katsayısı ( $\beta$ ), çevrim esnasında o ana kadar elde edilen maksimum deplasman ( $d_m$ ) ve yükün kalkması (boşalması) sonrası rijitlik ( $k_u$ ) parametreleridir.



**Şekil 3.3:** Modifiye Takeda çevrimsel modeli

Yükün kalkması (boşalması) esnasındaki rijitlik azalması Denklem 3.1 ile ifade edilmektedir. Denklem 3.1'de  $\alpha$  yükün boşaltmasından sonraki rijitlik azalması ile ilgili parametredir. Bu parametrenin sıfır olması, yükleme sonrası rijitlik ile başlangıç rijitliğinin eşit olması demektir. Bu parametrenin artması ise, yük boşaldıktan sonraki rijitliğin azalması anlamına gelmektedir. Takeda (1970), rijitlik azalması ile ilgili parametre için  $\alpha=0.40$  değerini önermiştir. Otani (1974),  $\alpha$  için 0.00-0.50 ve  $\beta$  için 0.00-0.60 aralığını önermiştir. Bu çalışmada, MT modeli için  $\alpha=0.40$ ,  $\beta=0.00$  ve  $r=0.05$  alınmıştır.

$$k_u = k_0 \left( \frac{d_y}{d_m} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

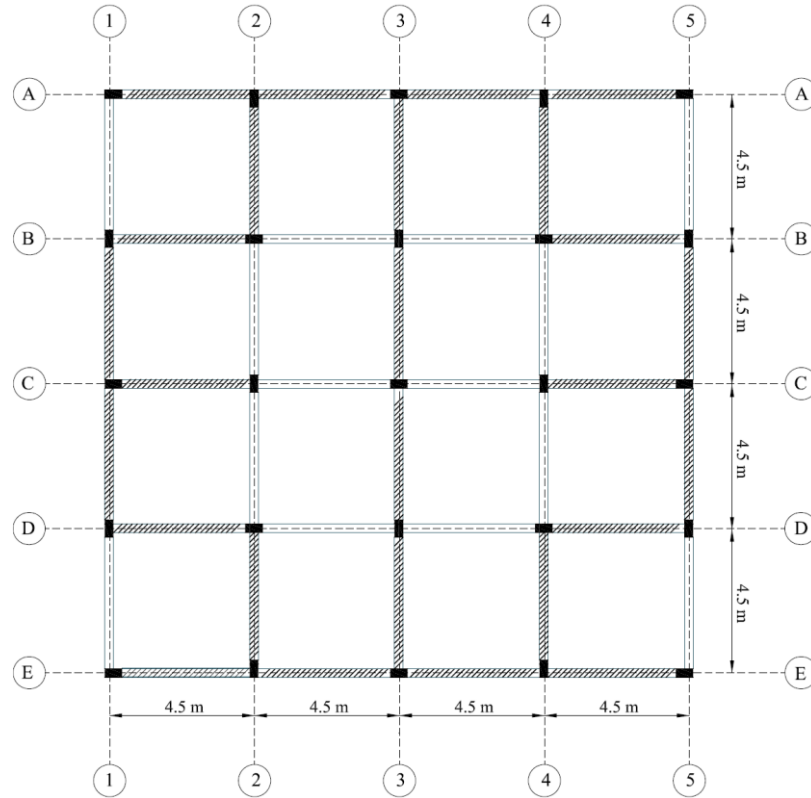
### 3.2 Düzlem Çerçeve Sistemler

Doğrusal olmayan analizler için 3, 5 ve 7 katlı betonarme düzlem çerçeve sistemleri kullanılmıştır. Düzlem çerçeveler, planda her iki doğrultuda 450cm uzunlukta dört açıklığa sahip üç boyutlu yapıların orta aksı üzerinde yer alan kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Öncelikle, Deprem Yönetmeliği koşulları da dikkate

alınarak üç boyutlu yapılar tasarlanmış ve eleman enkesit boyutları ve donatı düzenleri belirlenmiştir. Üç boyutlu yapılar tasarlandıktan sonra orta aks üzerinde bulunan elemanlardan oluşan düzlem çerçevenin, eleman ve yükleri ile beraber doğrusal olmayan analiz modeli hazırlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelinin hazırlanmasında Deprem Yönetmeliği'nde yer alan modelleme kuralları dikkate alınmıştır.

### 3.2.1 Düzlem Çerçevelerin Analiz ve Tasarım Bilgileri

3, 5 ve 7 katlı betonarme binalar Şekil 3.4'te verilen plana sahiptir. Üç boyutlu yapı modellerinde en alt kat 3.50m, diğer katlar ise 3.00m yüksekliğe sahiptir. Buna göre 3, 5 ve 7 katlı yapıların temel üst seviyesinden itibaren toplam yüksekliği sırası ile 9.50m, 15.50m ve 21.50m'dir.



Şekil 3.4: 3 boyutlu binalara ait kalıp planları

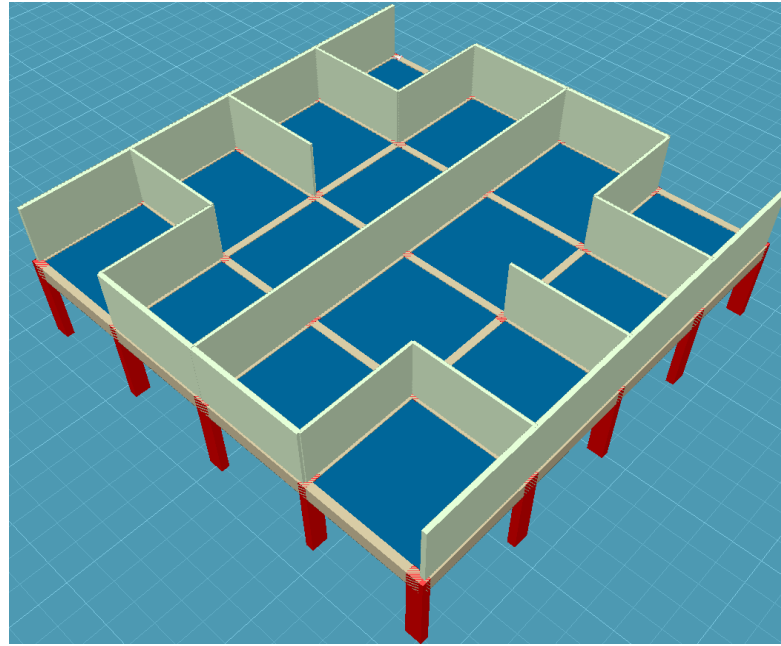
Binaların tasarımı için düşey yüklerle beraber her iki doğrultuda deprem etkisi de dikkate alınmıştır. Tasarım için C25 sınıfı beton ve S420 sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır.



Döşeme kalınlığı 12cm olup, en üst katlarda 0.150 ton/m<sup>2</sup> kaplama yükü ve diğer katlarda 0.212 ton/m<sup>2</sup> kaplama yükü öngörülmüştür. Çatı katı döşemelerinde 0.150 ton/m<sup>2</sup>, diğer katların döşemelerinde ise 0.200 ton/m<sup>2</sup> hareketli yük dikkate alınmıştır.

Şekil 3.4'te taralı olarak gösterilen kirişlerin üzerinde dolgu duvar olduğu varsayılmış ve dolgu duvarların ağırlığı düzgün yayılı yük olarak dikkate alınmıştır. 1, 5, A ve E aksları dış akslar diğer akslar ise iç akslar olarak kabul edilirse, taralı kirişlerden bazılarının iç akslar üzerinde bazılarının ise dış akslar üzerinde olduğu görülmektedir. Çatı katı dışındaki katlarda iç akslar üzerindeki kirişlerde 0.60 ton/m, dış akslar üzerindeki kirişlerde ise 0.78 ton/m düzgün yayılı duvar yükü tanımlanmıştır. Çatı katında, tüm dış aks kirişleri üzerinde 0.32 ton/m duvar yükü bulunmaktadır.

Şekil 3.5'te üç boyutlu taşıyıcı sistem modelinde kirişler üzerinde dikkate alınan dolgu duvarların kat planında yerleşimi görülmektedir.



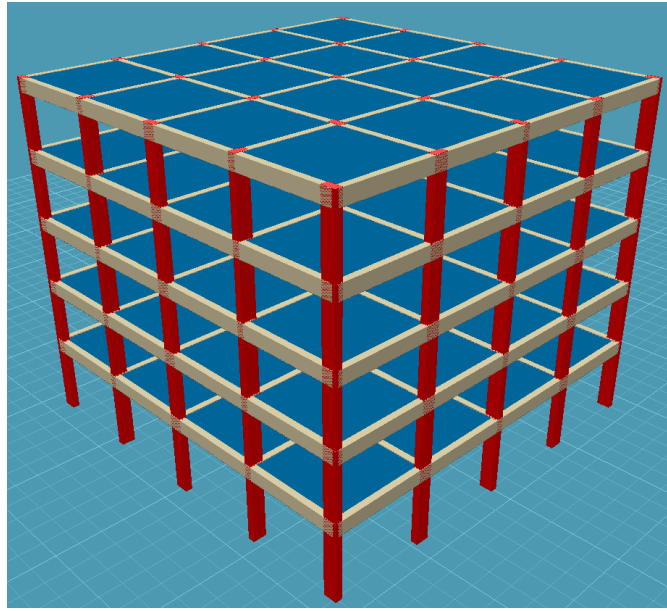
**Şekil 3.5:** Dolgu duvarların kiriş üzerinde yerleşimi

Tasarım için kirişlerin enkesit ön boyutları 30/60cm seçilmiştir. Kirişler, buldukları akslara ortalanmış olarak yerleştirilmiştir. Kolonların enkesit ön boyutları 3 ve 5 katlı yapılarda 30/60cm, 7 katlı binada ise 40/70cm alınmıştır.

Kolonların dış akslardaki kaçıklığı 15cm'dir. İç akslardaki kolonlar akslara ortalanmış olarak yerleştirilmiştir.

Deprem yükünün hesabı için, betonarme binaların birinci derece deprem bölgesinde ve Z3 sınıfı zemin üzerinde olduğu varsayılmıştır. Binanın kullanım amacı konut olarak seçilmiş ve taşıyıcı sistem süneklik düzeyinin yüksek olduğu kabul edilmiştir. Bu bilgilere göre hareketli yük azaltma katsayısı  $n=0.3$ , etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0=0.4$ , bina önem katsayısı  $I=1.0$  ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=8$  alınmıştır.

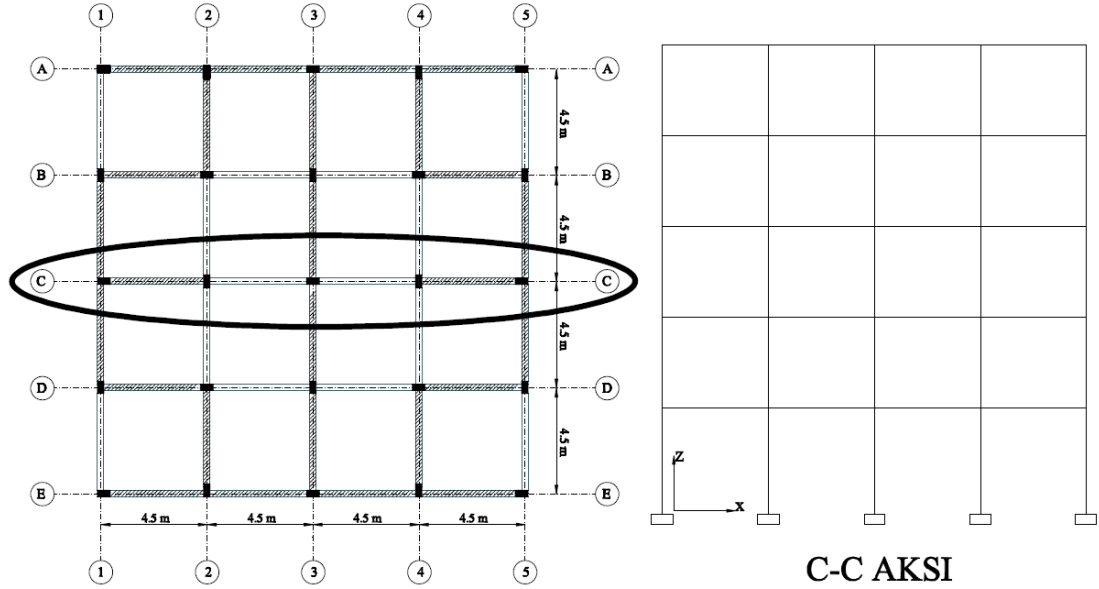
3, 5 ve 7 katlı betonarme binaların tasarımı için Sta4CAD programı (Amasralı 2000) kullanılmıştır. Şekil 3.6'da 5 katlı betonarme binanın Sta4CAD programı ile hazırlanan üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli örnek olarak verilmiştir.



**Şekil 3.6:** 5 katlı betonarme yapının üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli

Kolon ve kirişlerin enkesit ön boyutları dikkate alınarak modellenen üç boyutlu betonarme yapılar, düşey yükler ve deprem etkisi dikkate alınarak analiz edilmiş ve analiz sonuçları göz önünde tutularak tasarlanmıştır. Tasarım, Deprem Yönetmeliği ve TS-500 hükümlerine göre gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak üç boyutlu yapıyı oluşturan kolon ve kirişlerin hem boyuna hem de enine donatı düzenleri belirlenmiştir. Tasarım sonrasında, Şekil 3.4'te C aksı üzerinde bulunan kolon ve kirişlerden oluşan 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçeveler analiz için seçilmiştir.

Şekil 3.7’de 5 katlı betonarme yapının C aksını temsil eden düzlem çerçeve örnek olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi çerçeve kat hizalarında dört kiriş tarafından birbirine bağlanan beş kolondan oluşmaktadır.



**Şekil 3.7:** 5 katlı düzlem çerçeve aksının seçilmesi

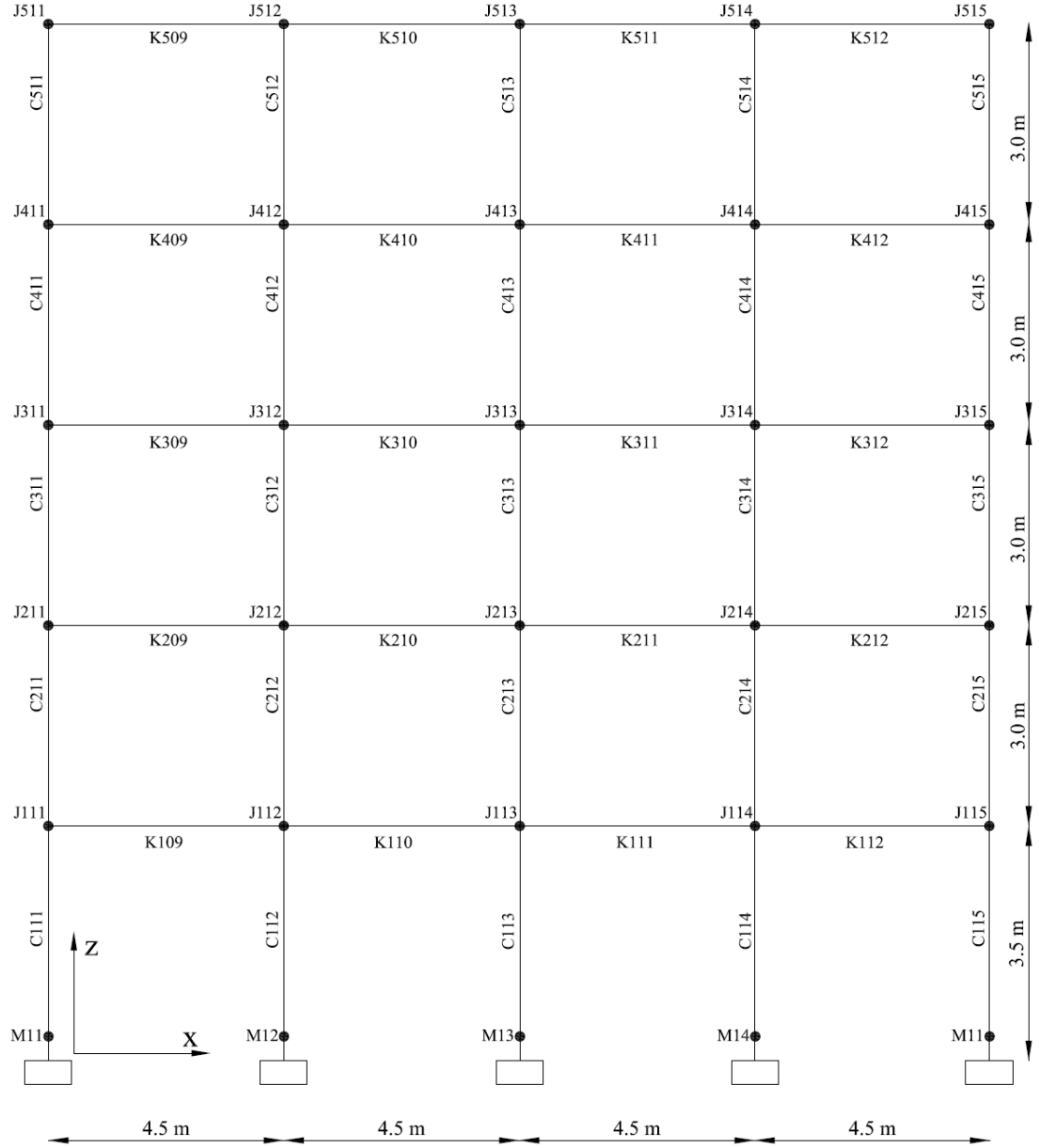
### 3.2.2 Düzlem Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Model Bilgileri

3, 5 ve 7 katlı betonarme binalar tasarlandıktan sonra, bu binaların C aksı üzerindeki elemanlarından oluşan düzlem çerçeveler, doğrusal olmayan analizler için Sap2000 v.14.2.2 (2010) programı kullanılarak modellenmiştir.

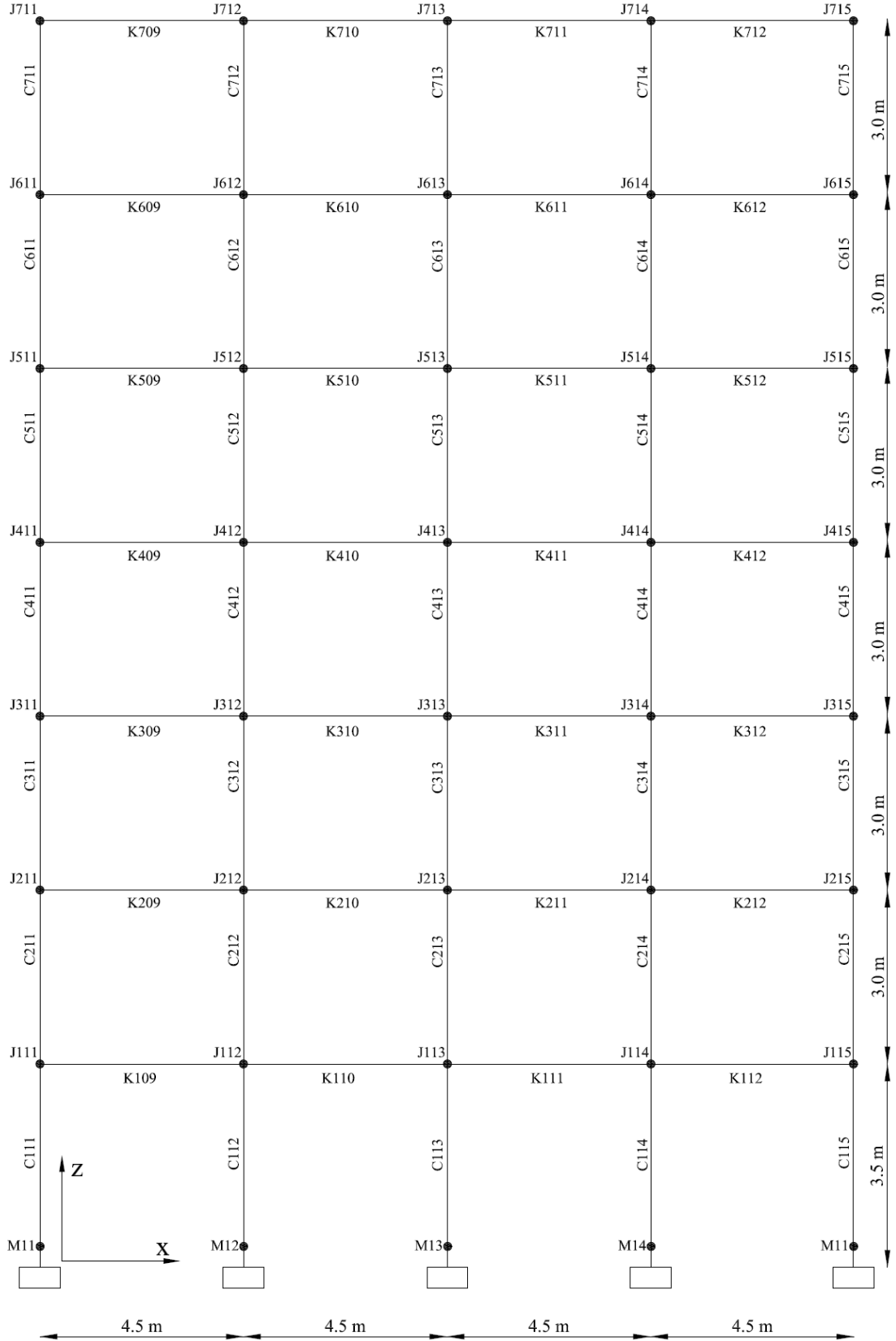
Öncelikle Sap2000 programında, düğüm ve çubuk elemanlar kullanılarak düzlem çerçeveler oluşturulmuştur. Daha sonra düğüm ve çubuk elemanları etiketlenilmiştir. Düzlem çerçeveyi oluşturan en alttaki düğümlerde ankastre mesnet şartları tanımlanmıştır.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da sırası ile 5 ve 7 katlı düzlem çerçeveleri oluşturan düğüm ve çubuk elemanların etiketleri örnek olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi mesnet düğümlerinin etiketi M harfi ile başlamaktadır. M harfinden sonra gelen rakamlar düğüm numarasını temsil etmektedir. Diğer düğümlerin etiketi J harfi ile başlamaktadır. J harfinden sonra gelen ilk rakam düğümün hangi katta olduğunu diğer rakamlar ise düğüm numarasını temsil etmektedir.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da kirişlerin etiketi K, kolonların etiketi ise C harfi ile başlamaktadır. Harflerden sonra gelen ilk rakam elemanın hangi katta olduğunu diğer rakamlar ise elemanın numarasını temsil etmektedir. Düzlem çerçevelerin oluşturulması ve çerçeve elemanlarının etiketlenmesi ile ilgili kurallar, şekil ile gösterilmeyen 3 katlı düzlem çerçeve için de geçerlidir.



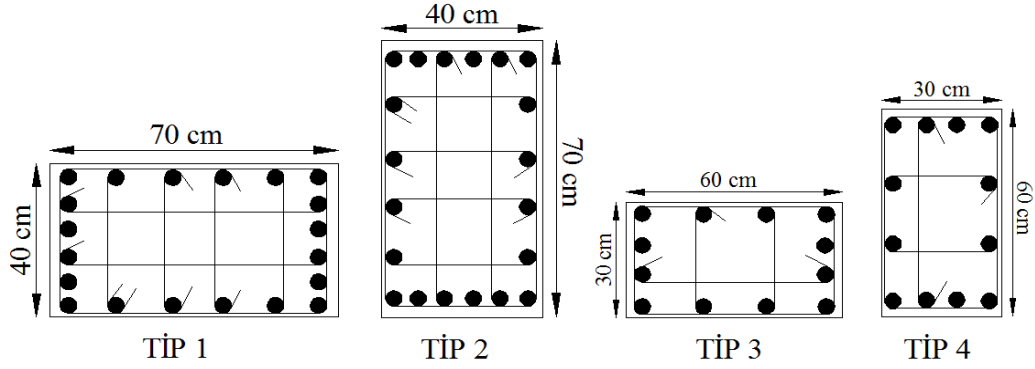
Şekil 3.8: 5 katlı düzlem çerçeve modeli



**Şekil 3.9:** 7 katlı düzlem çerçeve modeli

Düzlem çerçeveler oluşturulduktan sonra düzlem çerçeveyi oluşturan kesitler tanımlanmış ve ilgili elemanlara atanmıştır. Düzlem çerçeveyi oluşturan kolonların

boyutları ile boyuna ve enine donatı düzenleri incelendiğinde, dört farklı tipte kolon olduğu görülmüştür. Tip kolonların en kesit boyutu ve donatı düzenleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Tip kolonlarda boyuna donatıların çapı 14mm'dir. Tip 1 ve Tip 2 ile gösterilen kolonlar 7 katlı düzlem çerçevelerde yer almaktadır. Tip 3 ve Tip 4 ile ifade edilen kolonlar ise 3 ve 5 katlı çerçevelerde yer almaktadır. Tüm kolonlarda enine donatıların çapı 8mm ve sargılama bölgesinde enine donatı aralığı 100mm'dir.



**Şekil 3.10:** Çerçeveyi oluşturan kolonların enkesitleri ve donatı düzenleri

3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelerde hangi kolonun hangi donatı düzenine sahip olduğu ile ilgili bilgi, kolon etiketleri de belirtilerek Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Düzlem çerçeveleri oluşturan kolonlar

Çerçeve	Kolon adı	Tip
3 katlı	C111, C211, C311	3
	C112, C212, C312	4
	C113, C213, C313	3
	C114, C214, C314	4
	C115, C215, C315	3
5 katlı	C111, C211, C311, C411, C511	3
	C112, C212, C312, C412, C512	4
	C113, C213, C313, C413, C513	3
	C114, C214, C314, C414, C514	4
	C115, C215, C315, C415, C515	3
7 katlı	C111, C211, C311, C411, C511, C611, C711	1
	C112, C212, C312, C412, C512, C612, C712	2
	C113, C213, C313, C413, C513, C613, C713	1
	C114, C214, C314, C414, C514, C614, C714	2
	C115, C215, C315, C415, C515, C615, C715	1

Düzlem çerçevelerdeki kirişler için sol ve sağ mesnetlerde altta ve üstte tasarım sonucunda belirlenen boyuna donatılar Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te

verilmiştir. Tablo 3.2’de 3 katlı, Tablo 3.3’te 5 katlı ve Tablo 3.4’te 7 katlı çerçeveye ait kiriş bilgileri bulunmaktadır. Kirişlerde, verilen donatılara ek olarak 2Φ12 gövde donatısı vardır.

**Tablo 3.2:** 3 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar

	SOL UÇ					SAĞ UÇ				
	Üst			Alt		Üst			Alt	
	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave
<b>K109</b>	2Φ12	2Φ12	1Φ20	2Φ12	2Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K110</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K111</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K112</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	1Φ20	2Φ12	2Φ12
<b>K209</b>	2Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K210</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K211</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K212</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ12
<b>K309</b>	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K310</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K311</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K312</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-

**Tablo 3.3:** 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar

	SOL UÇ					SAĞ UÇ				
	Üst			Alt		Üst			Alt	
	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave
<b>K109</b>	3Φ14	2Φ12	3Φ16	2Φ12	2Φ22	3Φ14	4Φ12	-	2Φ12	1Φ16
<b>K110</b>	3Φ14	4Φ12	-	2Φ12	1Φ16	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12
<b>K111</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	3Φ14	4Φ12	-	2Φ12	1Φ16
<b>K112</b>	3Φ14	4Φ12	-	2Φ12	1Φ16	3Φ12	2Φ12	2Φ18	2Φ12	2Φ22
<b>K209</b>	3Φ12	2Φ12	2Φ18	2Φ12	3Φ14	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ14
<b>K210</b>	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ14	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22
<b>K211</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ14
<b>K212</b>	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ14	3Φ12	2Φ12	2Φ18	2Φ12	3Φ14
<b>K309</b>	3Φ12	2Φ12	1Φ20	2Φ12	2Φ12	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K310</b>	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	2Φ12
<b>K311</b>	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	2Φ12	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K312</b>	3Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	3Φ12	2Φ12	1Φ20	2Φ12	2Φ12
<b>K409</b>	2Φ12	2Φ12	1Φ16	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K410</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K411</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K412</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	1Φ16	2Φ12	1Φ12
<b>K509</b>	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K510</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K511</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K512</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-

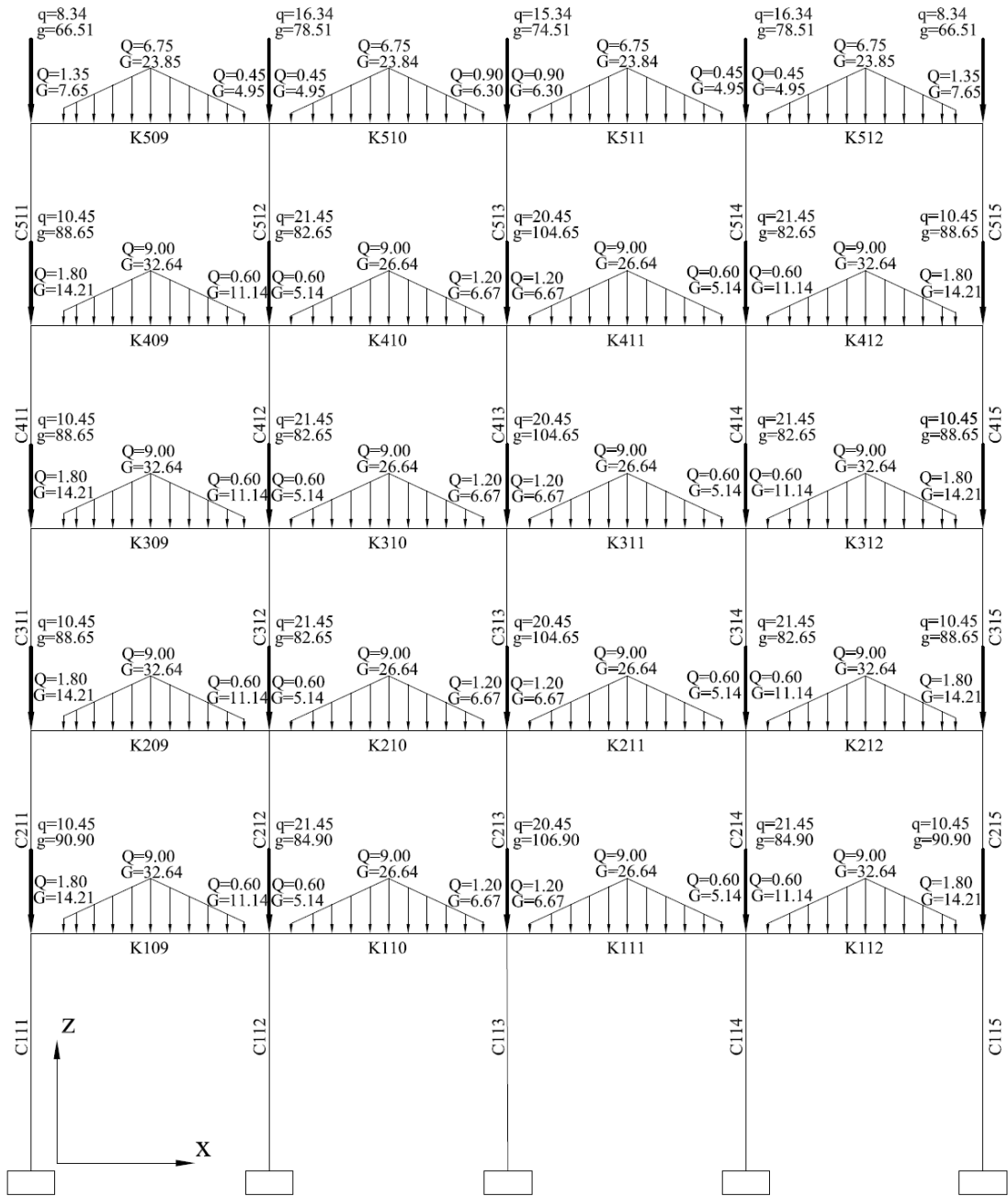
**Tablo 3.4:** 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde bulunan boyuna donatılar

	SOL UÇ					SAĞ UÇ				
	Üst			Alt		Üst			Alt	
	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave	Montaj	Pilye	İlave	Düz	İlave
<b>K109</b>	3Φ14	2Φ12	2Φ20	2Φ12	2Φ22	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	3Φ14
<b>K110</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	3Φ14	3Φ14	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ20
<b>K111</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ20	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	3Φ14
<b>K112</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	3Φ14	3Φ14	2Φ12	2Φ20	2Φ12	2Φ22
<b>K209</b>	3Φ14	2Φ12	3Φ16	2Φ12	3Φ16	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12
<b>K210</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	3Φ14	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ20
<b>K211</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ20	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12
<b>K212</b>	3Φ14	4Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	3Φ14	2Φ12	3Φ16	2Φ12	3Φ16
<b>K309</b>	3Φ12	2Φ12	3Φ16	2Φ12	3Φ14	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22
<b>K310</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22	3Φ12	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ18
<b>K311</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ18	2Φ12	2Φ18	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22
<b>K312</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ14	2Φ12	1Φ22	3Φ12	2Φ12	3Φ16	2Φ12	3Φ14
<b>K409</b>	3Φ12	2Φ12	3Φ14	2Φ12	1Φ20	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ18
<b>K410</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ18	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ22
<b>K411</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ22	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ18
<b>K412</b>	3Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ18	3Φ12	2Φ12	3Φ14	2Φ12	1Φ20
<b>K509</b>	2Φ12	2Φ12	3Φ12	2Φ12	1Φ16	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K510</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12
<b>K511</b>	2Φ12	4Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K512</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	3Φ12	2Φ12	1Φ16
<b>K609</b>	2Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K610</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K611</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12
<b>K612</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	1Φ12	2Φ12	2Φ12	1Φ12	2Φ12	1Φ12
<b>K709</b>	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K710</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K711</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-
<b>K712</b>	2Φ12	4Φ12	-	2Φ12	-	2Φ12	2Φ12	-	2Φ12	-

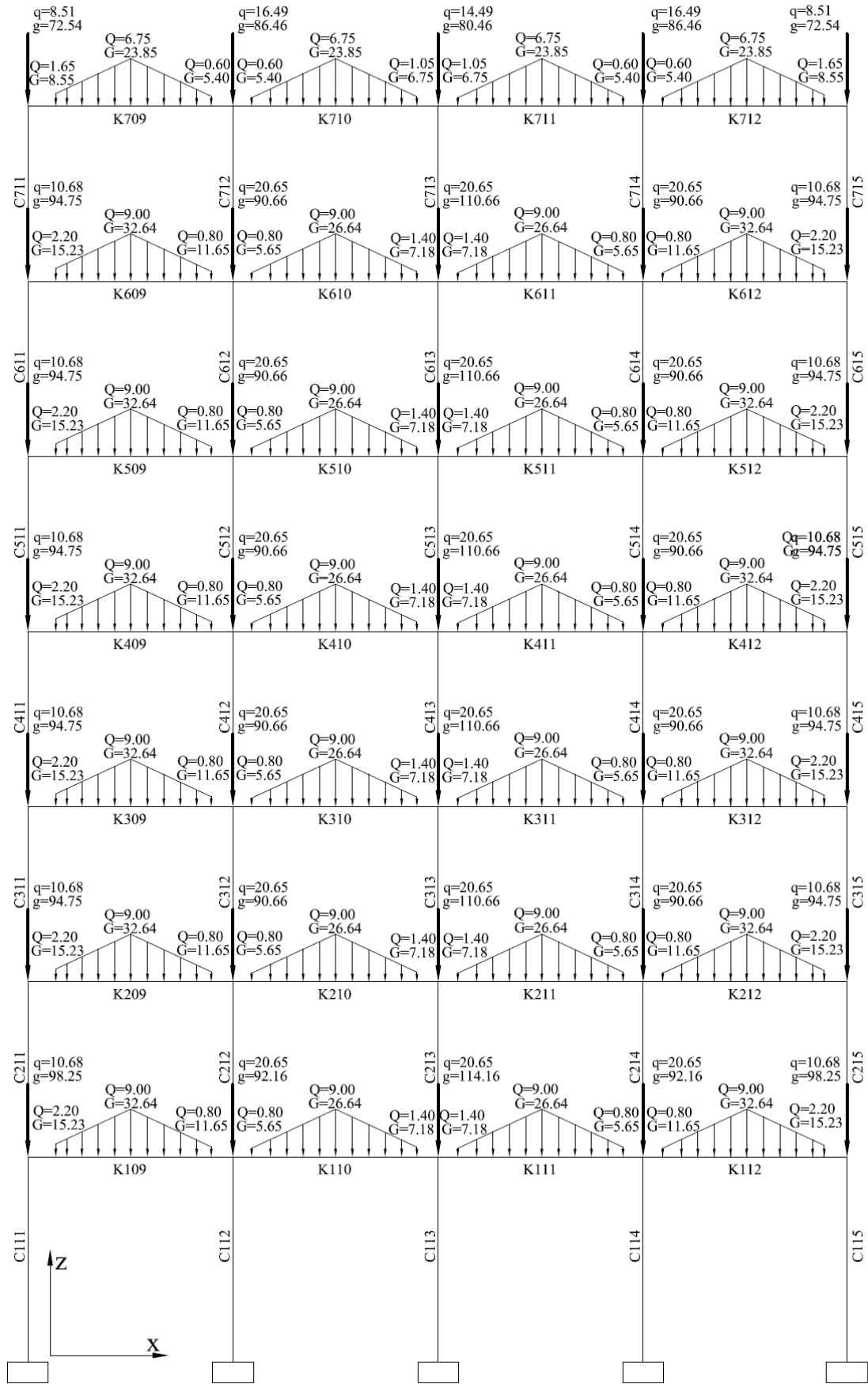
Çerçeve elemanlarına etkileyen sabit ve hareketli düşey yükler, kiriş üzerine etkileyen yayılı çizgisel yük ve kolon uçlarına etkileyen noktasal yükler olarak dikkate alınmıştır. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelerde dikkate alınan düşey yükler örnek olarak gösterilmiştir. 9, 10, 11 ve 12 numaralı kirişler üzerine etkileyen sabit yayılı yükler ( $G$ ), kiriş ağırlığı ile döşeme ve duvar yükleri beraber düşünülerek hesaplanmıştır. Kirişlere etkileyen hareketli yayılı yükler ( $Q$ ) ise döşemelerden aktarılan hareketli yüklerdir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de görülebileceği gibi kirişlere etkileyen yayılı yükler, kirişlerin net açıklığı boyunca çizgisel yayılı olarak etkilmiştir. Kolonlara etkileyen sabit noktasal yükler ( $g$ ), seçilen C aksına dik olarak uzanan (1, 2, 3, 4 ve 5 aksı üzerinde yer alan) ve 11, 12, 13, 14



ve 15 nolu kolonlara bağlanan kirişlerden aktarılan sabit yükler ile kolon ağırlıklarının toplamıdır. Kolonlara etkiyen hareketli noktasal yükler ( $q$ ) ise söz konusu kirişlerden kolonlara aktarılan hareketli yüklerdir. Her bir düzlem çerçevede, en üst kat hariç tüm katların yükleri eşittir. En üst kata ait yükler diğer katların yüklerinden farklıdır. 7 katlı düzlem çerçevedeki kolon tekil yüklerinin, 3 ve 5 katlı düzlem çerçevelerdeki kolon tekil yüklerinden farklı olmasının sebebi, bu çerçevedeki kolon en kesit boyutunun diğer çerçevelerden farklı olmasıdır.



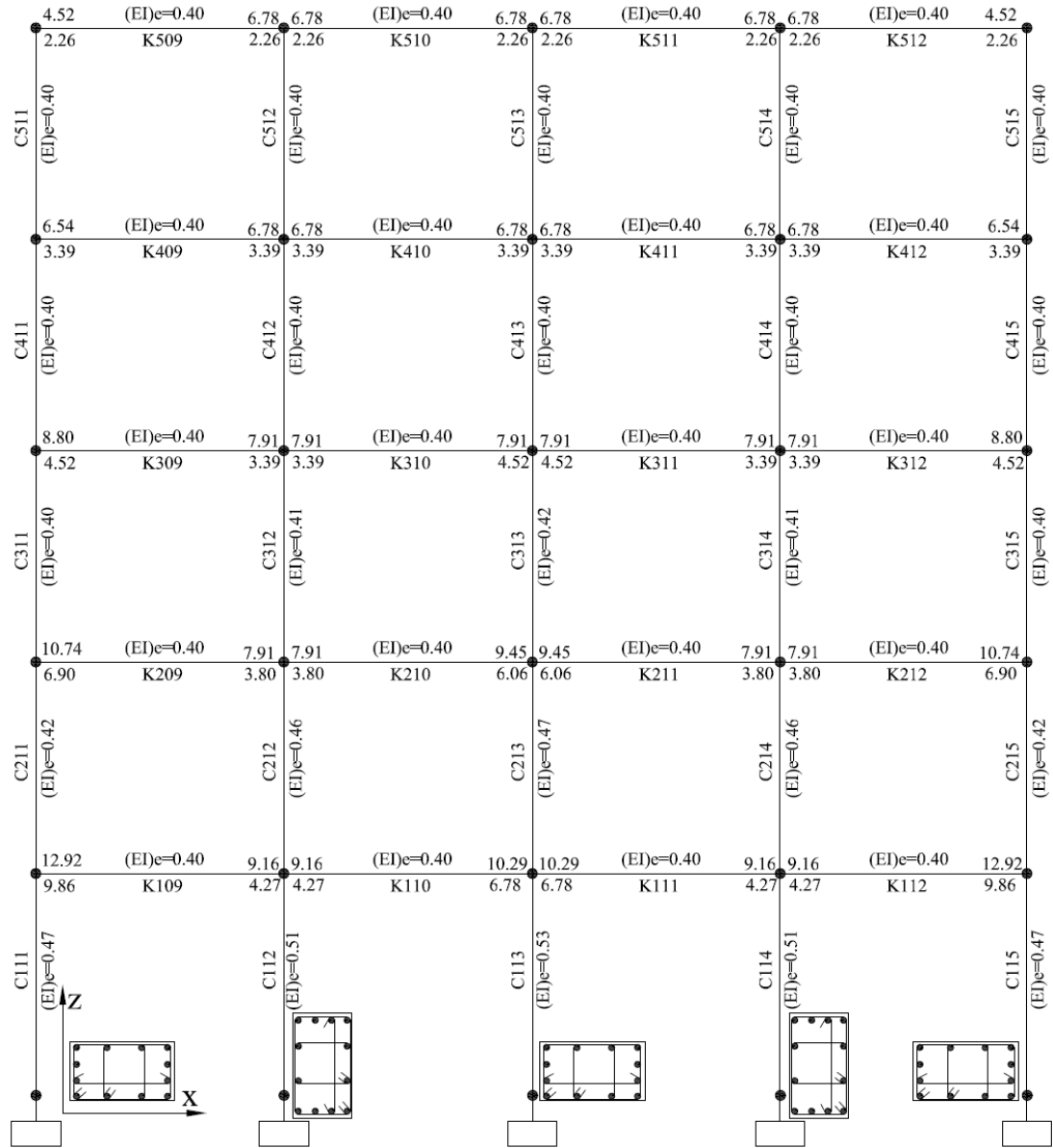
Şekil 3.11: 5 katlı düzlem çerçeveye etkiyen düşey yükler



Şekil 3.12: 7 katlı düzlem çerçeveye etkiyen düşey yükler



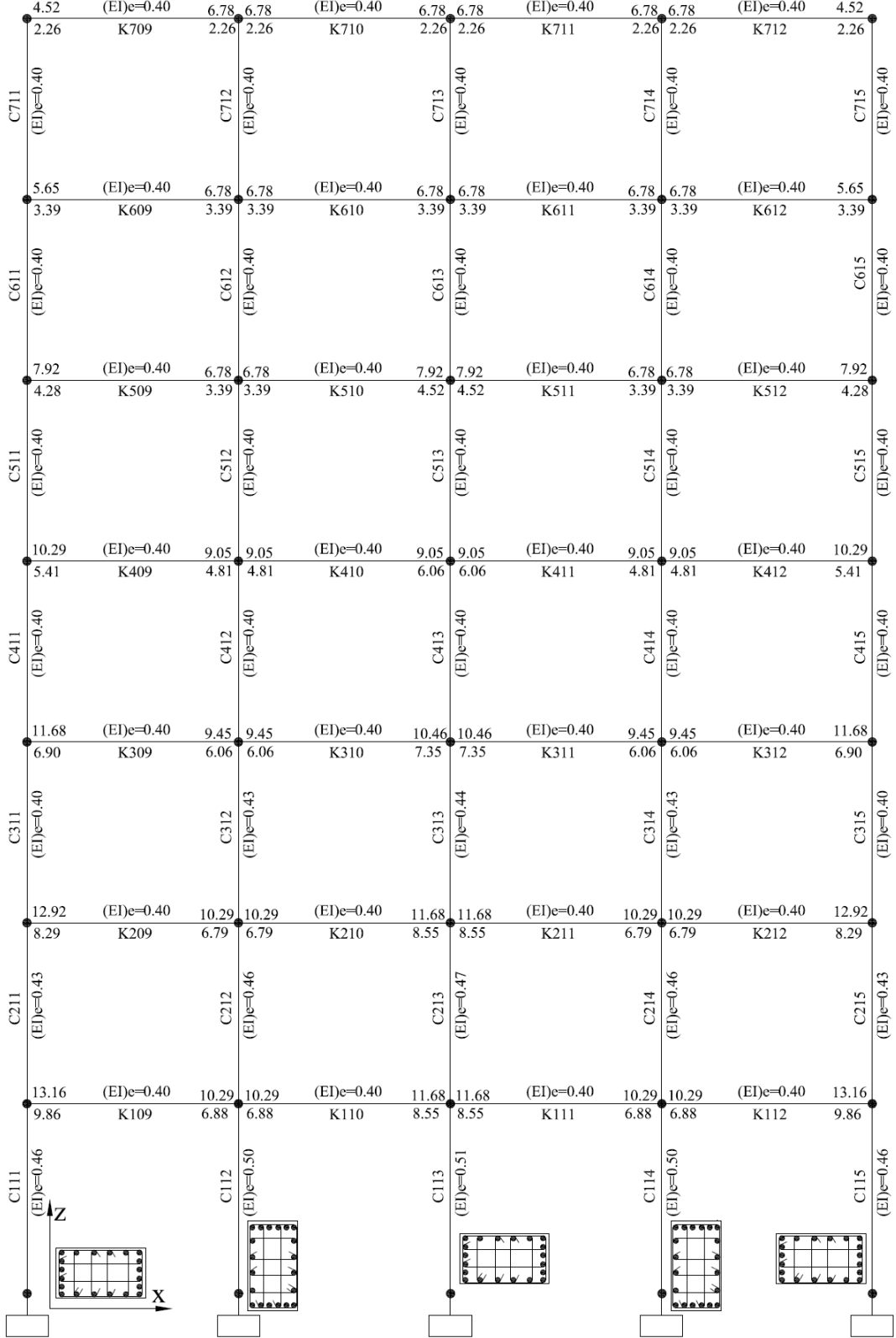
Düzlem çerçeve modellerinde kirişler için  $(EI)_e=0.40$  olarak tanımlanmış, kolonların etkin eğilme rijitliği ise kolon aksenal yük düzeylerine bağlı olarak Deprem Yönetmeliği'ne göre hesaplanarak tanımlanmıştır. Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te sırası ile 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçevede kolon ve kirişlerin efektif rijitlikleri, kiriş uçlarında alt ve üst donatı alanları ( $cm^2$ ) ve kolon donatı düzenleri verilmiştir. Kiriş ve kolon donatıları, uç bölgelerde plastik mafsalları için kullanılacaktır.



Şekil 3.14: 5 katlı düzlem çerçevede etkin eğilme rijitlikleri ve eleman donatıları

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te sırası ile 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelere ait efektif rijitlikleri incelendiğinde, aksenal yük düzeyine bağlı olarak alt katlarda kolonların

efektif rijitliklerinin biraz daha arttığı görülmektedir. Üst katlarda ise eksenel yük düzeyi düşük olduğu için kirişlerde olduğu gibi  $(EI)_e=0.40$  değerinin hesaplanmış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.15: 7 katlı düzlem çerçevede etkin eğilme rijitlikleri ve eleman donatıları

Doğrusal olmayan davranışın dikkate alınması amacı ile kolon ve kirişlerin uç bölgelerine yakın kritik kesitlerinde yığılı plastik mafsal davranışı tanımlanmıştır. Uç bölgelerde plastik mafsal boyu, Deprem Yönetmeliği'nde belirtildiği gibi elemanların eğilmeye çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısı olarak dikkate alınmıştır. Plastik mafsal davranışının tanımlanabilmesi için öncelikle kolon ve kirişlerin uç bölgelerine yakın kritik kesitleri için moment-eğrilik analizleri yapılmıştır. Daha sonra moment-eğrilik analizi sonuçlarından faydalanarak moment-dönme ilişkisi belirlenmiştir.

Kirişlerin moment-eğrilik analizleri, kiriş en kesit boyutu, enine ve boyuna donatı düzeni ile beton ve donatı çeliğinin özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Kolonlar için moment-eğrilik analizlerinde kirişler için dikkate alınan bilgilere ek olarak kolon aksenal yükü de dikkate alınmaktadır. Kolonların moment-eğrilik analizinde kullanılan aksenal yük, sabit yüklerden kaynaklanan aksenal yüke, hareketli yüklerden kaynaklanan aksenal yükün %30'u eklenerek belirlenmiştir.

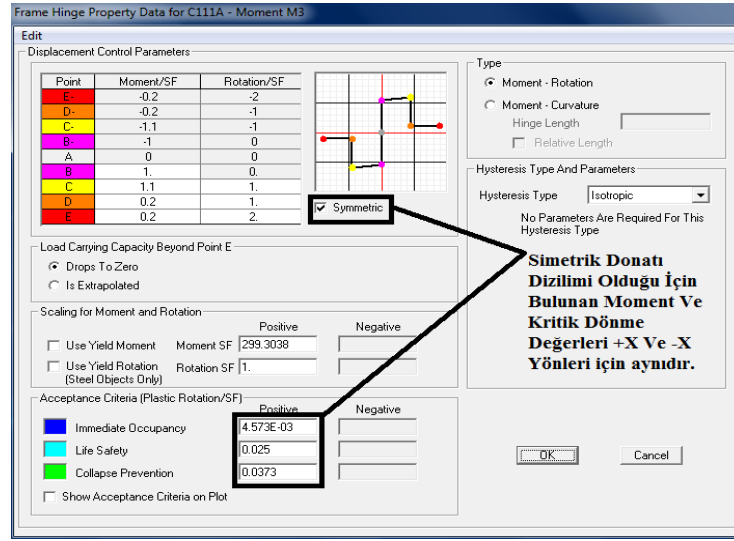
Yukarıdaki bilgilere göre 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçeveyi oluşturan tüm kolon ve kirişler için moment-eğrilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Deprem Yönetmeliği'nde kritik kesitler için tanımlanan minimum hasar (MN), belirgin hasar (GV) ve ileri hasar (GÇ) bölgeleri için sınır durumlara ait eğrilik değerleri elde edilmiştir.

Deprem Yönetmeliği'nde yer alan, sınır durumlara ilişkin beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirme değerleri daha önce Tablo 2.1'de verilmiş idi. Bu sınır değerler dikkate alınarak moment-eğrilik analizi sonuçları ve plastik mafsal boyu dikkate alınarak moment-dönme değerleri elde edilmiş ve ilgili hasar sınırlarına ait dönme değerleri hesaplanmıştır.

Düzlem çerçeveleri oluşturan kolon ve kirişler için moment-dönme değerleri Ek-A'da verilmiştir. Kirişler için sol ve sağ uçta, altta ve üstte çekme durumları için akma momenti ( $M_y$ ) ve sınır durumlara ait dönme değerleri ( $\theta_{MN}$ ,  $\theta_{GV}$  ve  $\theta_{GÇ}$ ) verilmiştir. Kolonlar için düzlem çerçeve doğrultusundaki yükleme için akma momenti ( $M_y$ ) ve sınır durumlara ait dönme değerleri ( $\theta_{MN}$ ,  $\theta_{GV}$  ve  $\theta_{GÇ}$ ) verilmiştir. Kolonların alt ve üst uçlarında kolon ağırlığından kaynaklanan aksenal yük farkı ihmal edilmiş ve alt ve üst uç için aksenal yük olarak alt uçtaki aksenal yük

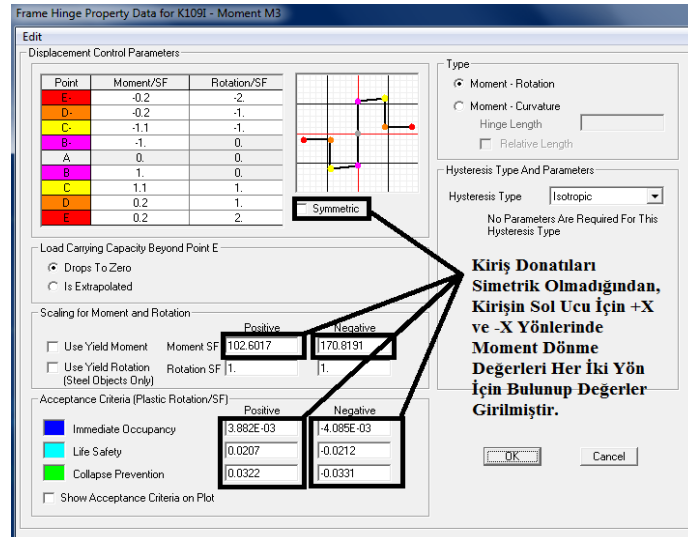


plastik mafsala ait sınır durumları gösteren dönme değerleri ve akma momenti bilgileri simetrik olarak girilmiştir.



Şekil 3.17: Kolon plastik mafsallarının tanımlanmasına ait bir örnek

Şekil 3.18'de ise kirişe ait plastik mafsal bilgilerinin tanımlanması ile ilgili örnek verilmiştir. Görüldüğü gibi moment-dönme ilişkisi ile tanımlanan plastik mafsala ait sınır durumları gösteren dönme değerleri ve akma momenti bilgileri, altta ve üstte çekme olması durumları için ayrı ayrı girilmiştir.



Şekil 3.18: Kiriş plastik mafsallarının tanımlanmasına ait bir örnek

Düzlem çerçevelerin seçildiği üç boyutlu yapılar Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlandığı için kesme kuvveti ve eksenel yük ile ilgili tasarım koşulları



sağlanmaktadır. Bu sebeple, kolonlarda kesme ya da eksenel yük ile ilgili plastik mafsalları tanımlanmamıştır.

3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçeveler için statik itme analizi ile düzlem çerçeve doğrultusunda (Şekil 3.16'ya göre +X yönü) kapasite eğrileri elde edilmiştir. Statik itme analizinin başlangıç koşulu olarak  $G+0.3Q$  kombinasyonu ile temsil edilen düşey yükleme durumu dikkate alınmıştır. İtme analizi için yük deseni olarak birinci moda ait mod şekli kullanılmıştır.

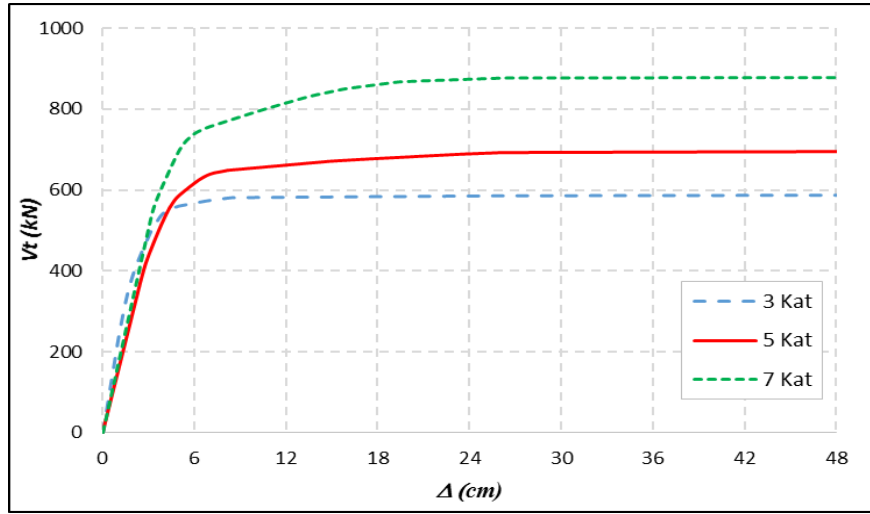
Tablo 3.5'te düzlem çerçevelere ait yükseklik ( $H$ ), etkin rijitlik dikkate alınarak hesaplanan doğal titreşim periyodu ( $T$ ) ve deprem hesabına esas ağırlık ( $W$ ) ile birinci moda ait kütle katılım oranı ( $\alpha_1$ ) ve 1. moda ait katkı çarpanı ( $PF_1$ ) değerleri verilmiştir. 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelerin titreşim periyotları sırası ile 0.538s, 0.839s ve 0.938s olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.5:** Düzlem çerçevelere ait analiz bilgileri özeti

Düzlem çerçeve	$H$ (m)	$T$ (s)	$W$ (kN)	$\alpha_1$	$PF_1$
3 katlı	9.50	0.538	2258.36	0.914	1.245
5 katlı	15.50	0.839	3876.62	0.869	1.277
7 katlı	21.50	0.938	5674.66	0.840	1.288

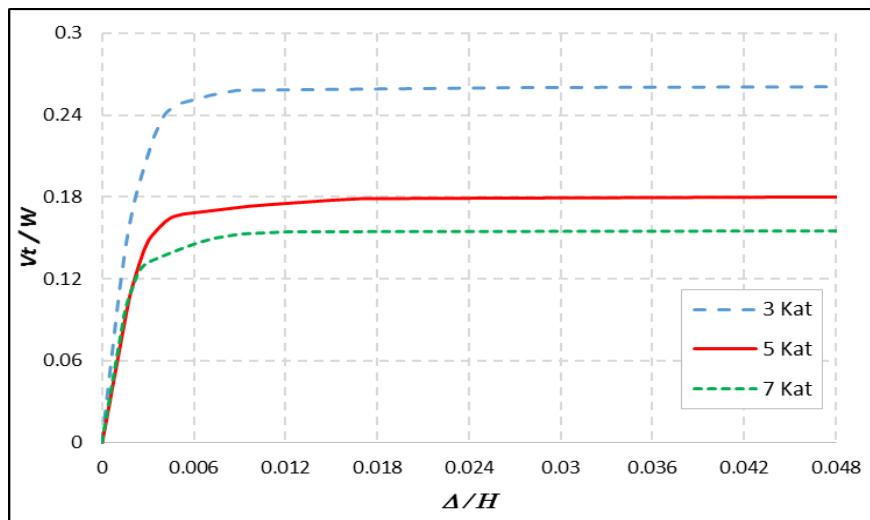
Şekil 3.19'da düzlem çerçevelere ait kapasite eğrileri verilmiştir. Bilindiği gibi kapasite eğrisinin yatay eksenini düzlem çerçevenin maksimum yatay ötelenmesini (çatı deplasmanı,  $\Delta$ ) ve düşey eksenini itme analizi esnasında tabanda oluşacak toplam kesme kuvvetini (taban kesme kuvveti,  $V_t$ ) temsil etmektedir. 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesi sırası ile 600 kN, 700 kN ve 900 kN civarındadır. Deprem Yönetmeliği'nde, kolon ve kirişler için hasar seviyelerine ait sınır durumları verilmiş olmakla birlikte, eleman moment taşıma kapasitelerinin sona erdiği göçme anına ait sınır değerleri verilmemiştir. Buna göre, elemanlar moment taşıma kapasitelerini hiç yitirmemektedir. Değerlendirme ise, kritik kesitlerdeki eğrilik talebinin, hasar seviyelerine ait sınır eğrilik değerleri ile karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. Dolayısıyla, yatay ötelenmelerin yüksek

değerleri için de düzlem çerçevelerde yatay yük kapasitesinde herhangi bir azalma olmamaktadır.



**Şekil 3.19:** Düzlem çerçevelere ait kapasite eğrileri

Farklı kapasite eğrilerinin birbirleri ile daha uygun bir şekilde karşılaştırılması için eksenlerin birimsiz hale dönüştürülmesi sık uygulanan bir yöntemdir. Buna göre, yatay yük taşıma kapasitesi toplam ağırlığa bölünerek yatay yük taşıma oranı ( $V_t/W$ ), yatay deplasman ise yapı yüksekliğine bölünerek görelî ötelenme oranı ( $\Delta/H$ ) elde edilmektedir. Şekil 3.20'de düzlem çerçevelerin kapasite eğrilerinin birimsiz hale dönüştürülmüş şekli görülmektedir. 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçevelerin yatay yük taşıma oranı sırası ile %26, %18 ve %16 civarındadır.



**Şekil 3.20:** Kapasite eğrilerinin birimsiz hale dönüştürülmüş şekli

## 4. DEPREM YÖNETMELİĞİ İLE UYUMLU GERÇEK İVME KAYITLARI

### 4.1 Giriş

Yapısal analiz için kullanılan paket program yazılımı konusundaki gelişmeler ve bilgisayarların bilgi işleme ve hesap yeteneklerinin hızlı bir şekilde artması sayesinde, çok serbestlik dereceli karmaşık yapı modellerinin zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizleri daha yaygın olarak yapılmaya başlanmıştır. Zaman tanım alanında analiz için kullanılacak ivme kayıtları üç farklı şekilde elde edilmektedir: tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak, sismik kaynak ve dalga yayılımı özellikleri dikkate alınarak benzetim yolu ile ve gerçek depremlere ait ivme kayıtlardan seçilerek (Bommer ve Acevedo 2004).

Kuvvetli yer hareketi kayıtlarının bulunduğu sayısal veri tabanlarının kolay ulaşılabilir hale gelmesi, zaman tanım alanında analiz için gerçek yer hareketi kayıtlarının daha fazla tercih edilmesine olanak sağlamıştır. Kayıt istasyonunun durumu, depremin büyüklüğü, faylanma tipi, yerel zemin özellikleri, yer hareketinin süresi, depremin merkez üssü ile kayıt istasyonu arasındaki mesafe gibi özelliklere bağlı olarak kayıtlar birbirinden farklı olmaktadır. Analizde kullanılacak yer hareketi kaydı ise analiz sonuçlarını ve buna bağlı olarak tasarım ya da performans değerlendirmesini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, analiz için kullanılacak yer hareketi kaydının seçimi önem kazanmaktadır. Yani, 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 (Iervolino ve diğ. 2010, Kayhan ve diğ. 2010).

Deprem Yönetmeliği'nin de içinde bulunduğu modern deprem yönetmeliklerinin çoğunda tasarım ve performans değerlendirmesi için zaman tanım alanında analiz yönteminin de kullanılabilmesi öngörülmüş ve gerekli tanımlamalar

yapılmıştır (Eurocode-8 2004, ASCE 2003, GB 2001). Analiz için kullanılacak deprem yükleri bölgesel deprem tehlikesi ve yerel zemin koşulları ile uyumlu tasarım spektrumları ya da zaman tanım alanında analiz için seçilen ivme kayıtları ile temsil edilmektedir.

Modern deprem yönetmeliklerinde, yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olmak koşulu ile sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının kullanılabilmesi konusunda bir fikir birliği bulunmaktadır. Yönetmeliklerde tanımlanan bölgesel tasarım spektrumları ile seçilen ivme kayıtlarının tepki spektrumlarının, belirli bir periyot aralığında uyumlu olması istenmektedir. Herhangi bir ivme kaydının tepki spektrumunun, tasarım spektrumu ile uyumlu olması mümkün değildir. Bu sebeple, genellikle birden fazla ivme kaydı seçilmekte ve gerektiğinde ölçeklendirilmektedir. Bu şekilde, seçilen ivme kayıtlarının spektrumlarının ortalaması ile tasarım spektrumunun uyumlu olması sağlanmaktadır. Yönetmeliklerde genel olarak, en az üç ivme kaydı kullanılması öngörülmektedir. Analizler için en az yedi ivme kaydı seçilirse, analizlerden elde edilecek yapısal tepkilerin ortalaması, aksi takdirde yapısal tepkilerin maksimumu dikkate alınmaktadır (Bommer and Ruggeri 2002, Beyer and Bommer 2007).

Tez çalışmasında, zaman tanım alanında analizler için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu gerçek ivme kaydı setleri kullanılmıştır. Deprem Yönetmeliği ile uyumlu ivme kaydı seçimi ile ilgili çalışmalara Fahjan (2008) ve Kayhan (2012) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada, Kayhan (2012) tarafından önerilen yöntem dikkate alınarak seçilen ve ölçeklendirilen ivme kayıtlarından oluşan ivme kaydı setleri kullanılmıştır.

#### **4.2 Deprem Yönetmeliği Zaman Tanım Alanında Analiz Koşulları**

Deprem Yönetmeliği Madde 2.9.2’de belirtildiği gibi zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Analiz için en az üç ivme kaydının kullanılması ve seçilecek ivme kayıtlarının aşağıda verilen koşulları sağlaması gerekir:

- a) Kuvvetli yer hareketinin süresi, binanın dikkate alınan doğrultudaki birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- b) Kullanılacak olan deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_0g$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- c) Kullanılacak her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyodu  $T$ 'ye göre  $0.2T$  ile  $2.0T$  aralığında, Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanmış olan elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- d) Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak hesaplanmış spektral ivme değerleri dikkate alınacaktır.
- e) Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

### 4.3 Tasarım İvme Spektrumları

Deprem Yönetmeliği'ne göre deprem bölgelerinde ve herhangi bir zemin üzerinde yapılacak yeni binalar için tasarım depreminin, bina önem katsayısı  $I=1$  olan binalar için 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10'dur. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$ , Denklem 4.1 ile verilmiştir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (4.1)$$

Denklemden yer alan  $A_0$  etkin yer ivme katsayısıdır ve birinci derece deprem bölgesi için  $A_0=0.40$  alınmaktadır. Bina önem katsayısı, binanın kullanım amacı veya türüne göre 1.00-1.50 arasında değişmektedir. Yerel zemin sınıfına bağlı olarak tanımlanmış olan %5 sönüm oranına sahip spektrum katsayısı  $S(T)$ , yerel zemin sınıflarına ait spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$  ve  $T_B$ ) ve bina doğal periyodu

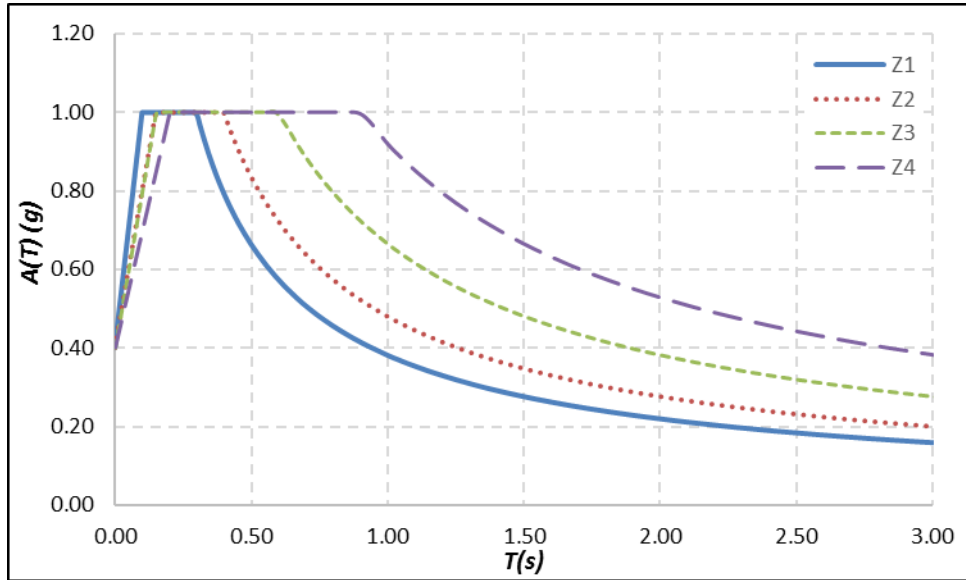
$T$ 'ye bağılı olarak Denklem 4.2 ile hesaplanmaktadır. Tablo 4.1'de yerel zemin sınıflarına ait spektrum karakteristik periyotları verilmiştir.

$$S(T) = \begin{cases} \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_A}\right) & 0 \leq T \leq T_A \\ (2.5) & T_A \leq T \leq T_B \\ 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} & T_B \leq T \end{cases} \quad (4.2)$$

**Tablo 4.1:** Yerel zemin sınıflarının spektrum karakteristik periyotları

Zemin Sınıfı	$T_A$ (s)	$T_B$ (s)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Şekil 4.1'de Deprem Yönetmeliği'ne göre, birinci derece deprem bölgesinde yer alan ve bina önem katsayısı  $I=1$  olan bir konut binası için kullanılacak elastik spektral ivme katsayısı  $A(T)$ 'nin, yerel zemin sınıflarına bağılı olarak değişimi verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Yerel zemin sınıfları için elastik spektral ivme

#### 4.4 İlave Kriterler ve Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı

Bilindiği gibi, gerçek depremlere ait kayıtların bulunduğu sayısal veri tabanlarında elde edilen gerçek ivme kayıtlarının özelliklerinden, deprem büyüklüğü, fay tipi, deprem kaynağına olan mesafeleri gibi özellikler değişiklik göstermektedir. Bu tez çalışmasında ivme kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olarak seçilmesi ve ölçeklenmesinde, kayıt istasyonlarının faya olan mesafeleri, deprem büyüklüğü ve maksimum yer ivmesi ile ilgili ilave kriterler dikkate alınmıştır.

Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'ndan (Ambraseys ve diğ. 2004) aşağıda belirtilen ilave koşullar da dikkate alınarak toplam 542 ivme kaydı bileşeni seçilmiştir.

- a) İvme kayıtlarının kaydedildiği depremlerin büyüklüğü  $M \geq 5.5$  alınmıştır.
- b) Depremin kaydedildiği istasyonların faya olan mesafeleri 10-50 km arasındadır.
- c) İvme kaydının maksimum yer ivmesi en az 0.1g kabul edilmiştir.

Seçilen 542 ivme kaydının kaydedildiği istasyonların bulunduğu yerel zemin sınıfları dikkate alınarak gruplandırma yapılmıştır. Eurocode-8'e (2004) göre A zemin sınıfı için 95 yer hareketi kaydına ait 190 yatay bileşen, B zemin sınıfı için 118 yer hareketi kaydına ait 236 yatay bileşen ve C zemin sınıfı için 58 yer hareketi kaydına ait 116 yatay bileşen seçildiği görülmüştür. Yukarıda verilen kriterler dikkate alındığında D ve E sınıfı zemin için yeterli sayıda kayıt bulunamadığı görülmüş ve bu zemin sınıfına ait kayıtlar kullanılmamıştır.

Kayıtların elde edildiği yerel zemin sınıfları ile uyumlu ivme kaydı setleri elde etmek için Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminlerden elde edilen kayıtlar ilgili zemin sınıfları için oluşturulacak ivme kaydı setlerinde kullanılmıştır. Örneğin Z1 sınıfı zeminler elde edilecek ivme setinde sadece A sınıfı zeminlerde kaydedilmiş kayıtlar kullanılmıştır. Benzer şekilde, Z2 sınıfı zeminler ve Z3 sınıfı zeminlerle uyumlu ivme kaydı setlerinde, sırası ile B ve C sınıfı zeminlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarına ait yatay bileşenler yer almaktadır.

Herhangi bir ivme setinde, aynı yer hareketine ait iki yatay bileşenden sadece birinin yer alması, böylelikle ivme seti içerisinde daha fazla yer hareketinin temsil edilebilmesi sağlanmıştır.

İvme kayıtlarının ölçeklendirilmesi için kullanılan ölçeklendirme katsayısının 0.50-2.00 arasında olması sağlanmıştır.

#### 4.5 İvme Kaydı Setleri

Dikkate alınan her bir yerel zemin sınıfı için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde 4 farklı ivme kaydı seti, toplamda 12 farklı ivme seti elde edilmiştir. Her bir ivme setinde 7 ivme kaydı bulunmaktadır.

Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme kaydı setlerine ait bilgiler sırası ile Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir. Tablolarda, set içinde yer alan ivme kayıtlarının kodu ve yatay bileşeni ile ölçeklendirme katsayıları yer almaktadır. İvme kayıtlarına ait detaylı bilgiler Ek B'de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri

1.SET		2.SET		3.SET		4.SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
5270-Y	1.014	646-Y	0.816	5272-Y	1.44	6272-X	1.848
410-X	1.782	383-Y	1.449	6331-X	1.132	5272-Y	1.698
292-X	1.344	362-X	1.475	382-X	1.448	6327-Y	1.151
362-X	1.554	292-X	0.971	5655-X	0.787	605-X	0.924
7158-X	0.632	1243-X	0.789	6270-Y	0.894	368-X	0.851
6272-Y	1.224	5272-Y	1.664	292-X	0.818	383-Y	0.993
6327-Y	0.519	6331-X	1.166	362-Y	0.972	467-Y	1.277

Tablo 4.2'de Z1 sınıfı zeminler için elde edilen setler incelendiğinde bazı ivme kayıtlarının farklı ölçeklere sahip olarak birden fazla ivme seti içerisinde yer aldığı görülmektedir. Örneğin 362 kodlu kayıttın X bileşeni birinci ve ikinci sette, Y bileşeni ise üçüncü sette yer almaktadır. Yine öngörüldüğü gibi, her bir ivme setinde, bir kaydın sadece bir yatay bileşeninin bulunduğu ve ölçek katsayılarının 0.50-2.00 arasında olduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde



edilen setlerde de bulunmaktadır. İvme kaydı setleri incelendiğinde, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olmak koşulu ile farklı ivme kaydı setlerinin elde edilebildiği görülmektedir. Dolayısıyla tez çalışmasında kullanılan yaklaşımla, gerektiğinde daha fazla sayıda ivme kaydı seti elde edilebileceğini söylemek mümkündür.

**Tablo 4.3:** Z2 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri

1.SET		2.SET		3.SET		4.SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
645-Y	1.394	1859-X	0.992	6496-Y	1.721	6447-Y	1.919
352-Y	1.275	946-Y	1.786	1735-X	0.835	352-Y	0.592
548-X	0.711	6496-Y	1.803	532-Y	1.061	232-Y	1.273
6422-X	1.6	645-Y	1.182	595-X	0.91	142-Y	1.023
946-Y	0.903	1720-Y	0.636	760-X	0.87	760-X	1.054
760-Y	1.467	595-X	0.819	142-Y	1.523	1735-X	1.688
572-Y	1.747	142-Y	1.501	352-Y	0.982	6496-Y	1.309

**Tablo 4.4:** Z3 sınıfı zemin için elde edilen ivme kaydı setleri

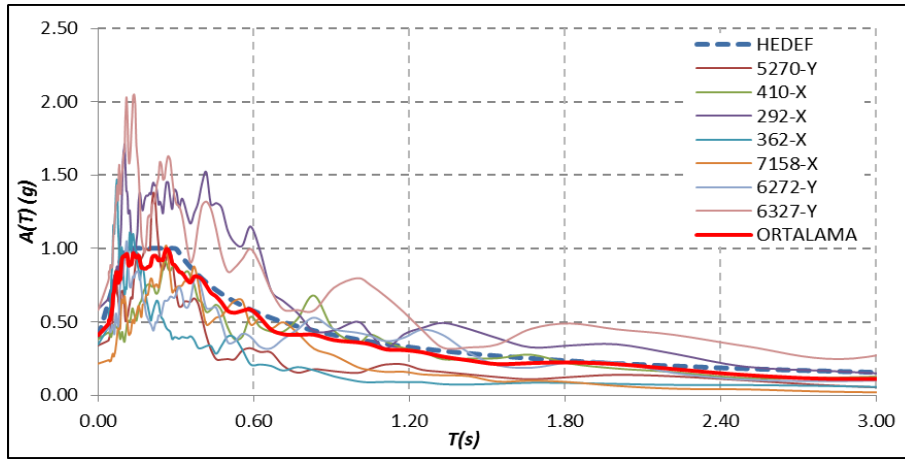
1.SET		2.SET		3.SET		4.SET	
Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek	Kayıt	Ölçek
360-X	0.704	601-Y	1.008	141-X	1.988	6962-X	1.998
374-Y	0.672	648-Y	0.743	151-X	0.923	7104-X	0.728
602-X	0.999	360-X	0.831	7010-X	1.378	375-Y	0.904
6962-Y	1.355	6606-Y	1.105	1230-X	0.540	1230-X	0.693
6978-Y	0.622	1230-X	0.548	6606-Y	1.301	360-X	1.044
6606-Y	0.582	6975-Y	1.096	6978-Y	0.819	6978-Y	0.757
1230-X	0.788	375-Y	0.600	6962-Y	1.984	7010-Y	1.913

Deprem Yönetmeliği'ne göre seçilen ve ölçeklendirilen ivme kayıtlarının spektral ivme değerlendirilmesi ile ilgili olarak hedef spektrumu ile oranının alt sınırı 0.90 olarak tanımlanmış, ancak üst sınır olarak herhangi bir değer tanımlanmamıştır. Bu tez çalışmasında, daha önce de bahsedildiği gibi hedef spektrum ile ivme setine ait ortalama arasındaki oranın, binanın göz önüne alınan doğrultudaki birinci periyodu  $T$ 'ye göre  $0.2T$  ile  $2.0T$  aralığında 0.90-1.10 arasında olması ve böylece hedef spektrumla daha fazla uyum elde edilmesi sağlanmıştır. Tez kapsamında tek serbestlik dereceli sistemlerin periyotları 0.40s-1.20s arasında ve çerçeve sistemlerin periyotları 0.538s-0.938s arasında değiştiği için daha büyük bir aralığı temsil eden

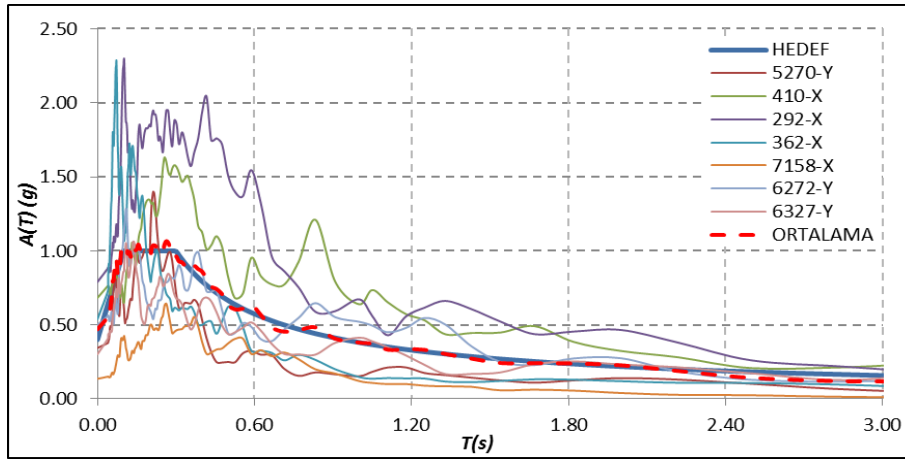
tek serbestlik dereceli sistemler dikkate alınarak uyum için kullanılacak periyot aralığı 0.08s-2.40s seçilmiştir.

Elde edilen setlerdeki ivme kayıtlarının ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş spektrumları ile sete ait ortalama spektrumlar Şekil 4.2-Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

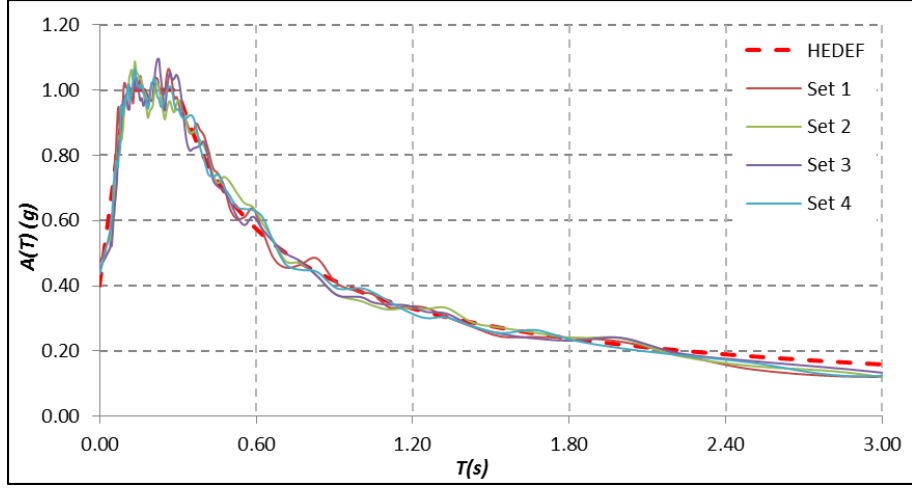
Şekil 4.2-Şekil 4.4'te Z1 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setlerindeki kayıtlara ait spektrumlar görülmektedir.



Şekil 4.2: Z1 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar

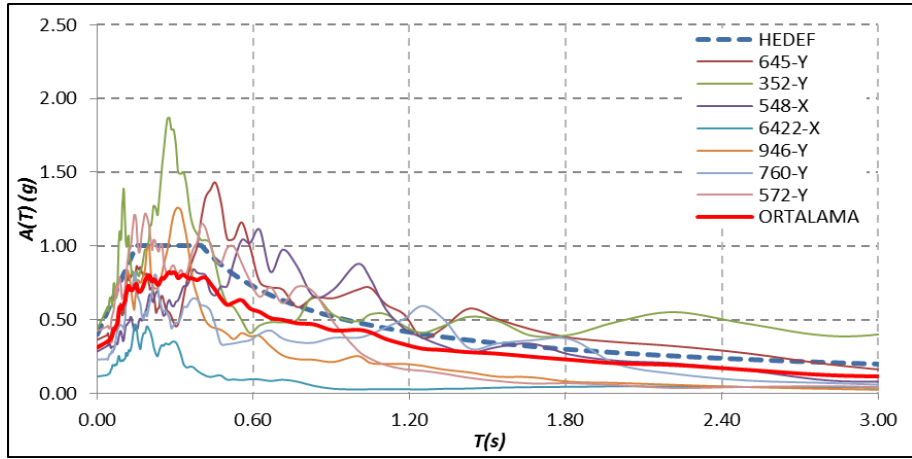


Şekil 4.3: Z1 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar

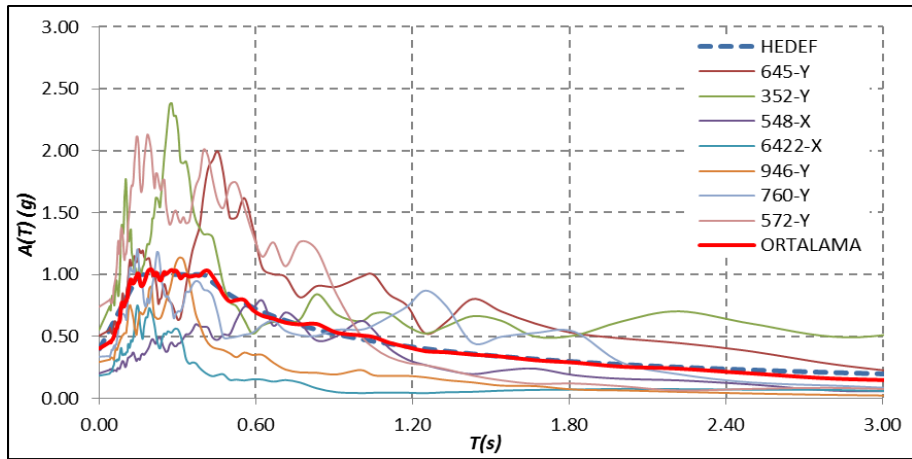


Şekil 4.4: Z1 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar

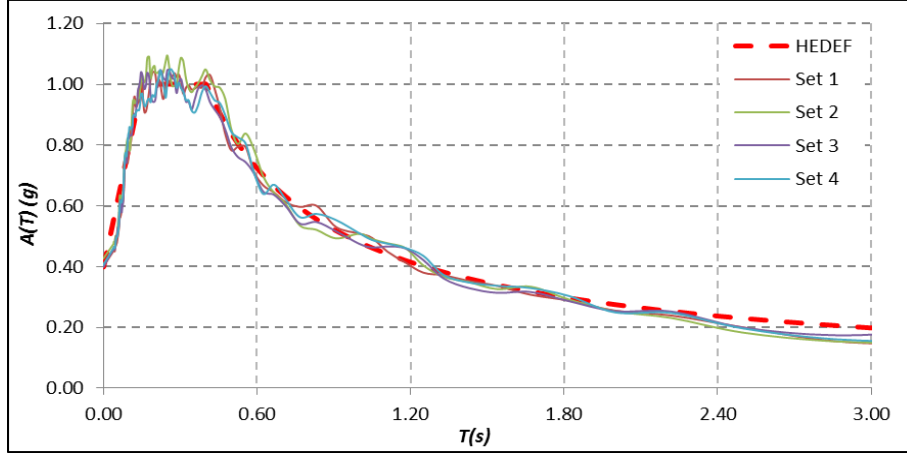
Şekil 4.5-Şekil 4.7'de Z2 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setlerindeki kayıtlara ait spektrumlar görülmektedir.



Şekil 4.5: Z2 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar

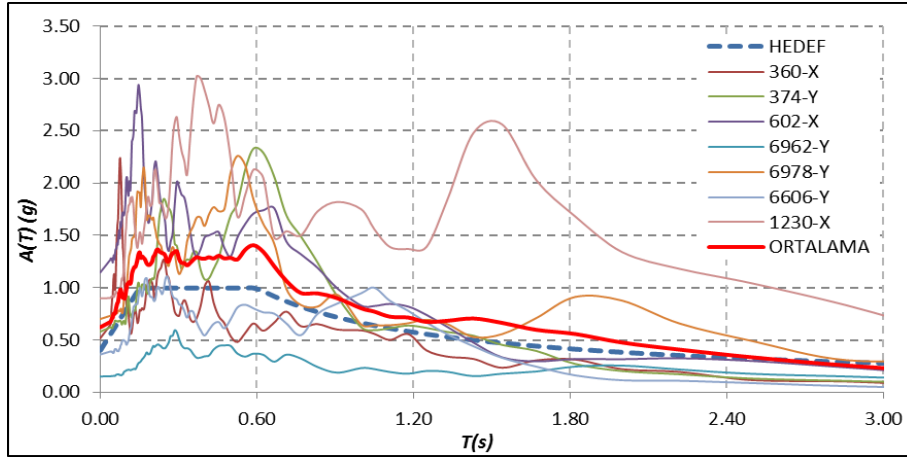


Şekil 4.6: Z2 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar

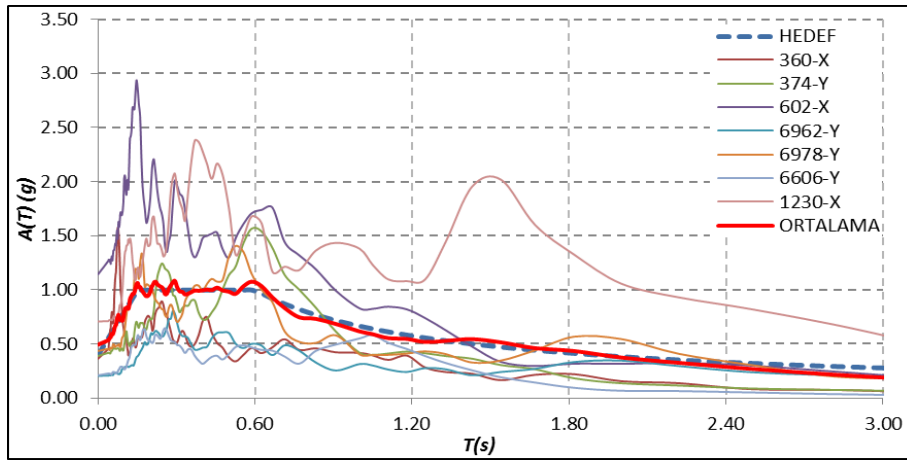


Şekil 4.7: Z2 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar

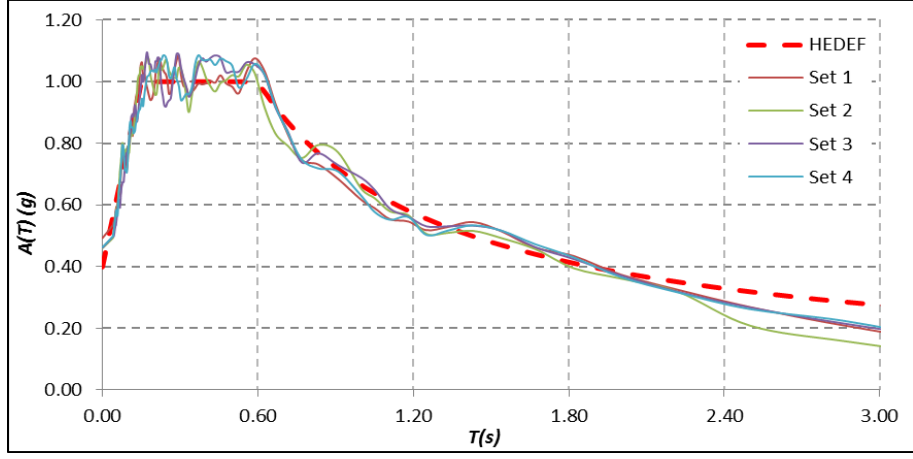
Şekil 4.8-Şekil 4.10'da Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setlerindeki kayıtlara ait spektrumlar görülmektedir.



Şekil 4.8: Z3 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmemiş spektrumlar



Şekil 4.9: Z3 sınıfı zemin için ilk sete ait ölçeklenmiş spektrumlar



Şekil 4.10: Z3 sınıfı zemin için elde edilen setlere ait ortalama spektrumlar

## 5. DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI

### 5.1 Giriş

Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde elde edilen ivme kaydı setleri kullanılarak, TSD sistemlerin ve düzlem çerçeve sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve ötelenme ve görelî kat ötelenmesi talepleri elde edilmiştir.

Bilindiği gibi tez çalışmasında ele alınan TSD sistemlerin periyodu ( $T$ ) 0.40s-1.20 arasında, yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) ise 0.10-0.50 arasında değişmektedir. Bu sistemlerin doğrusal olmayan analizleri için üç farklı çevrimsel model (elastik-mükemmel plastik (EMP), elastik-doğrusal pekleşen (EDP) ve Modifiye Takeda (MT)) kullanılmıştır. Bu şekilde, birbirinden farklı 135 adet TSD sistem dikkate alınmıştır. Tez çalışmasında dikkate alınan düzlem çerçeveler ise 3, 5 ve 7 katlıdır.

Analizler için kullanılacak ivme kaydı setleri Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Her zemin sınıfı için, her biri yedi ivme kaydına sahip dört farklı ivme seti elde edilmiştir. Buna göre, analizler için kullanılan toplam ivme kaydı sayısı da 84'tür.

TSD sistemlerde ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme talebi ( $\Delta_{mak}$ ), düzlem çerçeve sistemlerinde ise yine ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme ( $\Delta_{mak}$ ) ve maksimum görelî kat ötelenmesi ( $\delta_{mak}$ ) talepleri, tez çalışmasında dikkate alınan parametrelerdendir. Çalışmada ayrıca maksimum ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ) talebi ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) talebi de dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin, analizler sonucu elde edilen değerleri ile ilgili bilgiler bu bölümde verilmiştir.

Deprem Yönetmeliği'ne göre zaman tanım alanında analiz için en az yedi ivme kaydı kullanılırsa, yapısal tepkilerin ortalaması dikkate alınmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan ivme kaydı setlerinde yedi ivme kaydı bulunmaktadır. Bu

sebeple, ivme setlerinde yer alan kayıtlardan elde edilen taleplerin o set için hesaplanan ortalaması hesaplanmıştır. Set içerisindeki kayıtlardan elde edilen taleplerin ortalama etrafındaki saçılımının değerlendirilebilmesi için de kayıtlardan elde edilen taleplerin standart sapması hesaplanmıştır.

## 5.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Analiz Sonuçları

Bu kısımda, farklı titreşim periyodu ( $T$ ), yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) ve çevrimsel davranış modeline sahip 135 adet TSD sistemin analizi sonucu, ivme setlerinde yer alan yedi ivme kaydının her biri için elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ( $\Delta_{mak}$ ), ivme setleri için hesaplanan ortalaması ( $\mu_A$ ) ve standart sapması ( $s_A$ ) verilmiştir. Sonuçların bir kısmı metin içerisinde bir kısmı da ek olarak verilmiştir.

Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te sırası ile Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için elde edilen sonuçlar (birimi cm) verilmiştir. Her bir tabloda 45 farklı TSD sistem için analiz sonuçları yer almaktadır. Tablolardaki sonuçlar Elastik–Mükemmel Plastik (EMP) çevrimsel davranış modeline sahip TSD sistemlere aittir. Elastik–Doğrusal Pekleşen (EDP) ve Modifiye Takeda (MT) çevrimsel davranış modelleri için elde edilen taleplerinin ortalaması ve standart sapması ise Tablo 5.1-Tablo 5.3'te sunulan biçimde Ek C'de verilmiştir.

Tablo 5.1-Tablo 5.3'te, ilk iki sütun TSD sistemin periyodunu ve yatay dayanım oranını ifade etmektedir. Diğer sütunlarda ise ivme setleri için elde edilen ötelenme talepleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Tez çalışmasında her bir zemin sınıfı için dört farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Dolayısıyla, ötelenme talepleri ile ilgili bilgiler de dört farklı set için verilmiştir.

Tez çalışmasının hedefleri arasında herhangi bir TSD sistem için, dikkate alınan zemin sınıfı ile uyumlu olan farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarını değerlendirmek ve farklı setler için elde edilen sonuçları karşılaştırma bulunmaktadır. Bu sebeple, analiz sonuçlarının verildiği tablo ve şekillerde, karşılaştırma yapabilmek amacı ile belirli bir TSD sistem ve zemin sınıfı için ivme setlerinden elde edilen sonuçların bir arada sunulmasına özen gösterilmiştir.

**Tablo 5.1:** TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$
0.4	0.1	5.13	4.67	5.63	3.76	5.39	2.72	6.73	4.61
	0.2	3.57	2.85	4.43	3.28	4.43	2.93	4.29	2.23
	0.3	3.86	3.74	4.00	2.66	3.86	1.92	2.86	1.25
	0.4	3.71	3.34	3.29	1.97	3.29	1.48	2.86	1.30
	0.5	3.57	2.79	3.14	1.83	3.00	1.39	2.71	1.02
0.5	0.1	6.43	6.09	6.71	5.34	6.86	3.42	6.86	3.95
	0.2	5.14	4.87	4.71	3.07	4.86	2.27	5.43	2.61
	0.3	4.43	3.59	4.43	2.73	4.29	1.94	4.00	1.96
	0.4	3.86	2.85	4.43	2.68	4.14	1.98	4.00	1.98
	0.5	3.86	2.61	4.00	2.05	3.86	1.48	4.14	1.97
0.6	0.1	7.86	7.59	8.57	7.06	7.71	5.58	7.00	4.40
	0.2	5.43	4.32	5.57	3.66	5.86	3.20	6.71	3.71
	0.3	5.71	4.31	5.57	4.49	6.43	3.57	6.00	3.64
	0.4	5.43	4.36	5.43	4.35	5.86	3.41	5.43	3.18
	0.5	5.71	4.65	5.43	4.25	5.57	3.47	5.43	3.25
0.7	0.1	7.71	6.79	9.71	8.87	9.43	7.08	7.14	4.31
	0.2	6.00	4.70	6.29	4.28	6.43	3.24	6.71	4.19
	0.3	6.57	5.25	7.14	7.28	7.14	6.78	5.43	2.93
	0.4	5.86	3.64	7.43	6.93	7.29	6.13	5.29	2.65
	0.5	5.71	3.43	7.14	6.21	7.00	5.37	5.57	2.96
0.8	0.1	7.71	5.33	11.00	9.28	10.86	7.50	8.14	4.82
	0.2	7.86	6.10	7.00	4.67	6.71	3.74	6.86	3.76
	0.3	7.14	4.68	7.43	6.42	7.43	6.11	6.86	3.88
	0.4	7.14	4.59	7.43	6.34	7.43	5.84	6.71	3.63
	0.5	7.14	4.60	7.29	6.02	7.43	5.52	6.71	3.69
0.9	0.1	8.43	5.39	10.71	8.52	10.71	7.57	9.57	6.81
	0.2	8.29	6.92	7.57	5.79	7.57	5.09	7.43	4.83
	0.3	7.71	4.26	7.14	5.29	7.86	5.00	7.57	4.69
	0.4	7.57	4.06	8.43	7.30	8.43	6.69	7.57	4.35
	0.5	8.14	4.84	8.43	7.22	8.29	6.41	7.86	4.81
1.0	0.1	8.86	5.64	10.86	9.04	10.57	7.88	11.29	8.24
	0.2	8.00	4.84	8.29	6.73	8.43	6.01	9.43	6.83
	0.3	8.14	4.86	8.00	5.01	8.14	4.28	8.57	4.95
	0.4	9.00	5.47	8.57	5.88	9.00	5.37	8.71	5.13
	0.5	9.29	5.76	9.00	6.64	9.29	5.92	9.43	6.29
1.1	0.1	11.86	8.36	11.29	10.22	11.43	9.57	12.71	8.84
	0.2	10.57	6.54	9.86	7.63	10.29	7.28	10.43	7.49
	0.3	9.14	4.49	9.14	5.99	9.86	6.00	10.00	5.92
	0.4	9.57	5.04	9.43	6.48	10.00	6.46	10.57	6.89
	0.5	10.43	6.63	10.14	7.57	10.57	7.39	11.00	7.91
1.2	0.1	14.86	13.16	12.29	11.62	12.29	10.89	13.86	10.50
	0.2	13.00	10.11	11.29	8.97	11.29	8.14	11.57	9.47
	0.3	11.14	6.30	11.71	8.03	11.14	6.69	11.00	7.24
	0.4	12.14	7.77	10.86	7.06	11.14	6.23	10.86	7.36
	0.5	12.14	7.59	11.57	8.05	11.71	7.24	11.14	7.65



**Tablo 5.2:** TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model)

T (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$
0.4	0.1	10.00	11.00	9.57	5.96	10.86	7.40	8.71	4.06
	0.2	5.43	4.36	5.14	3.95	5.57	3.22	5.29	1.91
	0.3	3.86	2.15	4.29	2.45	4.29	2.17	4.86	2.94
	0.4	3.43	1.98	4.29	2.10	3.57	1.88	5.43	4.04
	0.5	3.43	1.98	4.14	1.80	3.71	1.83	5.00	3.41
0.5	0.1	12.57	13.69	10.29	7.28	12.86	8.23	8.43	3.39
	0.2	6.43	5.14	6.43	3.30	6.43	3.36	7.00	5.52
	0.3	4.57	3.02	5.00	1.79	4.43	2.06	6.00	2.99
	0.4	4.29	2.63	5.86	2.79	5.29	2.79	4.57	1.62
	0.5	4.57	3.02	5.29	2.36	4.86	2.34	4.00	1.16
0.6	0.1	15.14	15.60	12.57	8.02	15.00	9.84	10.00	3.89
	0.2	8.14	5.45	7.00	4.10	6.29	2.74	8.43	8.12
	0.3	7.29	4.75	5.86	2.75	4.86	1.87	7.29	5.81
	0.4	6.29	4.06	5.71	2.43	5.29	2.18	6.00	3.57
	0.5	5.71	3.40	6.29	2.81	5.86	2.78	5.71	2.85
0.7	0.1	17.43	18.26	13.43	9.31	16.29	12.89	11.57	4.20
	0.2	10.29	6.89	8.14	4.09	8.00	3.42	8.86	6.96
	0.3	9.57	5.19	7.29	3.48	6.57	2.01	8.29	7.21
	0.4	8.00	4.31	7.57	3.75	7.14	2.40	7.71	4.49
	0.5	7.86	4.61	7.57	3.74	7.29	2.29	7.43	3.28
0.8	0.1	18.86	19.84	15.00	10.97	18.71	13.67	13.29	2.74
	0.2	12.43	11.51	9.29	4.86	10.43	4.28	10.86	5.13
	0.3	8.86	5.13	8.71	4.81	9.29	3.90	10.43	5.68
	0.4	9.14	5.27	8.57	4.53	8.43	3.06	10.43	7.13
	0.5	8.57	4.60	7.71	3.36	8.14	2.00	9.86	6.24
0.9	0.1	20.71	22.05	17.14	14.52	19.00	14.36	14.57	3.73
	0.2	13.43	11.97	10.29	6.42	12.00	5.19	10.14	3.12
	0.3	11.00	7.01	10.00	4.69	9.86	3.07	10.29	3.37
	0.4	10.29	5.70	9.00	3.60	9.29	2.20	11.00	4.98
	0.5	9.71	5.44	10.14	4.86	10.71	3.01	11.43	6.63
1.0	0.1	22.14	21.69	17.43	13.91	17.71	13.64	14.00	4.64
	0.2	15.43	13.10	13.00	8.41	11.57	5.12	10.57	2.89
	0.3	10.43	6.56	10.43	4.71	10.57	2.53	10.86	2.51
	0.4	11.29	6.01	11.43	4.75	11.00	2.70	12.29	3.54
	0.5	12.00	6.48	12.00	5.18	11.86	3.62	12.00	3.68
1.1	0.1	23.57	21.96	17.29	13.23	18.43	13.54	15.14	4.49
	0.2	17.71	15.84	13.43	8.77	12.57	5.47	11.71	2.49
	0.3	13.86	9.91	12.71	5.88	12.43	4.03	12.29	2.69
	0.4	13.43	8.34	12.43	5.37	12.71	4.00	13.29	3.07
	0.5	13.29	8.25	13.86	6.85	13.43	4.85	14.00	3.72
1.2	0.1	24.71	23.59	18.29	13.36	18.86	13.30	15.29	4.54
	0.2	19.14	17.71	14.14	7.92	14.14	6.51	13.43	1.49
	0.3	14.43	9.69	13.14	5.54	14.00	4.53	14.29	2.94
	0.4	14.29	9.80	15.14	6.87	14.86	4.80	15.14	3.57
	0.5	14.00	9.18	15.29	7.03	15.43	5.26	16.14	4.38

**Tablo 5.3:** TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme talepleri (EMP model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$
0.4	0.1	12.57	14.37	11.57	8.39	12.86	7.04	12.29	12.09
	0.2	8.00	7.46	8.71	7.46	9.71	6.83	8.71	7.82
	0.3	8.00	10.31	5.29	4.22	6.57	3.95	6.71	5.58
	0.4	6.14	6.34	4.43	2.75	5.29	3.07	5.57	4.44
	0.5	5.57	5.23	3.86	1.92	4.29	1.76	4.43	3.06
0.5	0.1	14.00	13.02	12.86	10.40	14.29	7.90	13.14	11.68
	0.2	9.29	8.55	11.57	8.90	12.14	7.48	10.71	8.39
	0.3	9.57	11.19	7.00	4.27	8.14	3.75	8.71	7.35
	0.4	7.86	6.38	6.29	3.90	7.43	3.55	7.00	4.06
	0.5	7.43	5.97	5.86	3.82	7.14	3.42	7.71	4.85
0.6	0.1	13.86	13.91	13.29	10.13	15.00	6.64	12.71	11.56
	0.2	11.71	13.34	13.57	10.75	13.43	9.71	10.86	11.12
	0.3	11.14	13.62	10.00	6.13	10.00	5.25	10.71	11.03
	0.4	10.57	10.24	8.14	4.57	8.71	4.29	8.86	6.52
	0.5	9.43	6.65	7.71	3.87	8.71	4.01	8.71	5.17
0.7	0.1	15.14	16.76	12.57	8.82	16.29	8.24	14.43	12.11
	0.2	13.71	15.34	16.29	13.17	14.86	10.01	13.86	13.89
	0.3	13.14	13.72	10.86	6.75	11.00	5.13	12.29	9.42
	0.4	11.29	8.98	10.00	4.11	9.57	3.76	9.57	5.24
	0.5	10.71	6.43	9.43	3.36	9.14	3.55	9.57	4.90
0.8	0.1	17.00	19.31	14.00	11.28	19.00	9.14	16.86	14.91
	0.2	12.86	10.01	16.57	11.99	17.43	9.68	14.00	11.88
	0.3	15.14	16.29	14.14	6.51	13.29	5.56	13.71	10.96
	0.4	13.00	10.79	11.43	4.31	11.71	4.89	11.57	6.41
	0.5	11.43	6.51	11.14	3.10	11.86	4.87	10.00	4.46
0.9	0.1	19.14	20.21	15.57	10.14	18.86	9.96	19.14	15.72
	0.2	13.86	12.48	17.43	13.57	17.57	8.07	14.43	9.55
	0.3	16.00	15.97	14.14	7.25	15.43	7.99	15.14	11.91
	0.4	15.29	12.09	13.71	4.20	13.71	5.45	14.14	8.39
	0.5	14.14	8.68	13.57	4.27	14.00	4.79	13.14	4.97
1.0	0.1	22.00	21.69	18.71	11.86	18.57	9.56	19.71	15.88
	0.2	17.43	13.57	21.86	18.98	16.29	8.63	16.71	10.92
	0.3	17.57	16.01	17.14	10.64	17.14	9.87	19.43	16.44
	0.4	18.29	17.49	15.14	5.78	15.71	6.25	17.71	12.33
	0.5	16.14	12.05	14.57	5.49	15.14	6.33	15.29	6.33
1.1	0.1	23.00	25.06	18.71	14.95	18.57	9.46	21.43	18.19
	0.2	18.43	14.21	21.71	17.82	17.14	9.47	18.43	11.03
	0.3	19.57	15.11	16.71	8.93	17.43	7.82	18.14	10.04
	0.4	18.57	13.14	17.71	9.00	17.43	8.18	18.14	10.32
	0.5	18.14	12.93	16.71	7.85	17.14	7.62	18.29	9.79
1.2	0.1	24.71	27.29	21.00	17.04	21.29	11.59	23.00	20.76
	0.2	18.43	14.02	20.57	15.52	17.86	8.93	18.14	10.08
	0.3	20.71	14.81	17.29	8.60	17.43	7.29	19.00	11.76
	0.4	21.29	13.91	17.86	7.86	18.57	7.03	19.57	9.04
	0.5	19.71	11.06	19.00	8.79	19.57	8.25	19.71	8.01

Tablo 5.1-Tablo 5.3'te verilen sonuçlar incelendiğinde, dikkat çeken ilk husus ortalamaya oranla standart sapmanın değerleridir. Her bir TSD sistem ve ivme seti için ortalamaya oranla dikkate değer derecede yüksek standart sapma değerleri görülmektedir. Ek olarak, bu sonuçların tüm çevrimsel modeller için geçerli olduğu da görülmektedir. Bu durum, ivme seti içerisinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme değerlerinin, ortalama etrafındaki saçılımının yüksek olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak ortalama etrafındaki saçılımın bir ölçüsü de, Denklem 5.1 ile verilen ve standart sapmanın ortalamaya oranının ifade eden varyasyon katsayısıdır (*CoV*). Varyasyon katsayısının yüksek değerleri, ortalama etrafındaki saçılımın yüksek olduğunu belirtir.

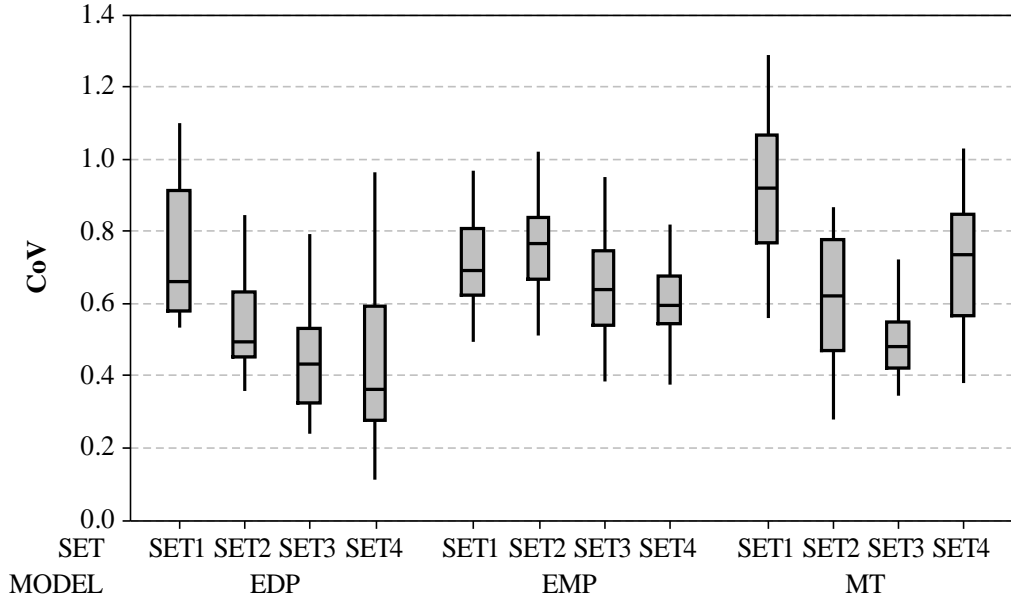
$$CoV = \mu / s \quad (5.1)$$

Tablo 5.4'te, Z1 sınıfı zeminlere ait ivme setleri için hesaplanan varyasyon katsayısı değerleri ile ilgili istatistiksel bilgiler verilmiştir. Tablonun ilk sütunu, analizler için kullanılan çevrimsel modelleri göstermektedir. Dört set ve üç çevrimsel modelin her biri için, 45 farklı TSD sistemin analizi ile elde edilen ötelenme taleplerine ait varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. 45 adet varyasyon katsayısının minimum ve maksimum değerleri ile ortalaması Tablo 5.4'ün son üç sütununda verilmiştir. EDP çevrimsel modeli için TSD sistemlere ait *CoV*, 0.111 ile 1.100 arasında değişmektedir. EMP ve MT çevrimsel modelleri için *CoV* ise sırası ile 0.376-1.020 ve 0.278-1.289 arasında değişmektedir.

**Tablo 5.4:** Z1 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler

Model	SET	Minimum	Maksimum	Ortalama
EDP	1	0.532	1.100	0.733
	2	0.358	0.847	0.542
	3	0.237	0.791	0.455
	4	0.111	0.963	0.438
EMP	1	0.491	0.969	0.720
	2	0.513	1.020	0.757
	3	0.383	0.950	0.644
	4	0.376	0.819	0.600
MT	1	0.561	1.289	0.903
	2	0.278	0.868	0.606
	3	0.342	0.723	0.492
	4	0.378	1.030	0.714

Şekil 5.1’de, Z1 sınıfı zeminlere ait ivme setleri için hesaplanan ve Tablo 5.4’te verilen varyasyon katsayısı değerlerine ait kutu grafiği görülmektedir. Kutu grafiklerinde, düşey doğrultuda verilerin en küçük değerinden en büyük değerine uzatılan bir çizgi ile birinci çeyreklikten üçüncü çeyreğe uzatılan bir kutu kullanılmaktadır. Kutu içerisinden geçen doğru parçasının uzunluğuna açıklık, kutunun yüksekliğine ise çeyreklikler arası açıklık denilmektedir.

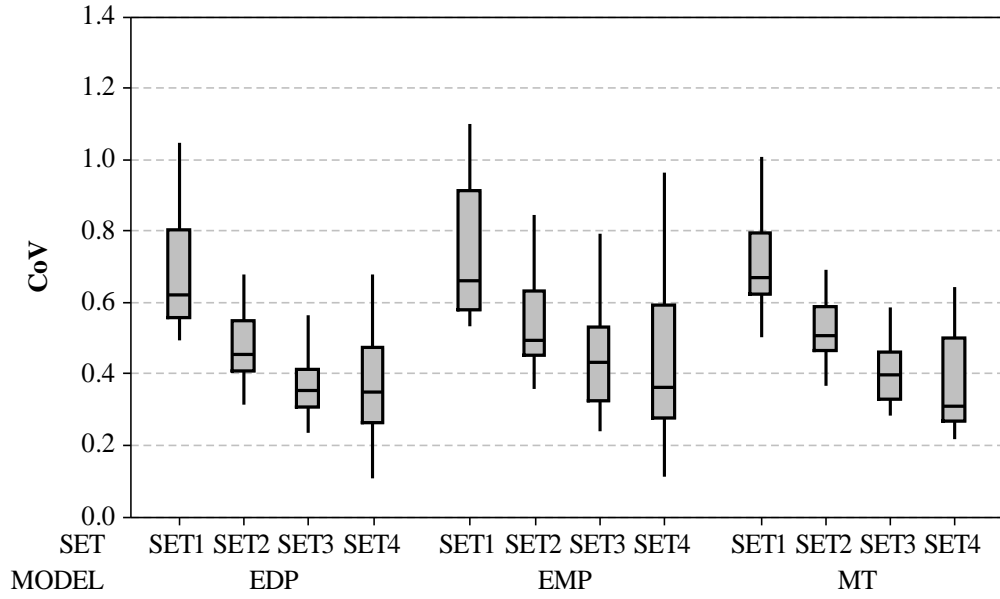


**Şekil 5.1:** Z1 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği

Tablo 5.5’te, Z2 sınıfı zeminlere ait ivme setleri için hesaplanan varyasyon katsayısı değerleri ile ilgili istatistiksel bilgiler, Şekil 5.2’de ise Z2 sınıfı zeminler için varyasyon katsayısı değerlerine ait kutu grafiği verilmiştir.

**Tablo 5.5:** Z2 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler

Model	SET	Minimum	Maksimum	Ortalama
EDP	1	0.491	1.047	0.687
	2	0.311	0.677	0.473
	3	0.233	0.755	0.395
	4	0.104	0.676	0.366
EMP	1	0.532	1.100	0.733
	2	0.358	0.847	0.542
	3	0.237	0.791	0.455
	4	0.111	0.963	0.438
MT	1	0.501	1.213	0.732
	2	0.363	0.690	0.524
	3	0.281	0.794	0.425
	4	0.216	0.645	0.373

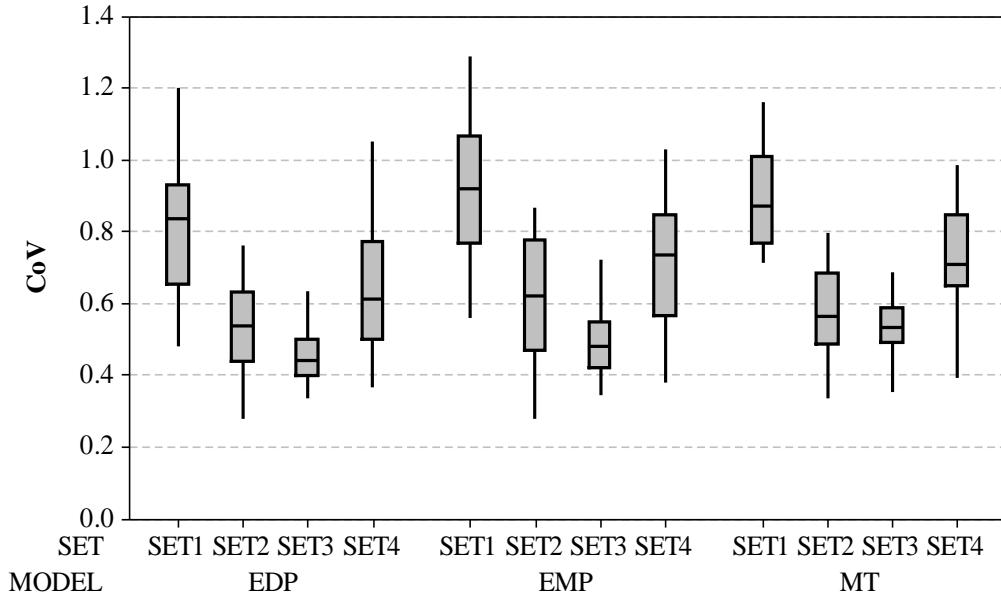


**Şekil 5.2:** Z2 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği

Tablo 5.5 ve Şekil 5.2 incelendiğinde, Z1 Sınıfı zeminler için verilen sonuçlara benzer şekilde, Z2 sınıfı zeminlere ait setler için de ötelenme taleplerinin ortalama etrafında dikkate değer seviyede saçılıma sahip olduğu söylenebilir. Benzer durum Tablo 5.6 ve Şekil 5.3'te verilen, Z3 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setleri için hesaplanan ötelenme talepleri için de geçerlidir. Hem çevrimsel model hem de TSD sistemin periyot ve yatay dayanım oranından bağımsız olarak, ivme setlerinde yer alan kayıtlar kullanılarak elde edilen ötelenme taleplerinin, ivme seti ortalaması etrafında yüksek bir saçılıma sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.6:** Z3 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait istatistiksel bilgiler

Model	SET	Minimum	Maksimum	Ortalama
EDP	1	0.478	1.202	0.818
	2	0.279	0.763	0.529
	3	0.334	0.669	0.461
	4	0.365	1.052	0.651
EMP	1	0.561	1.289	0.903
	2	0.278	0.868	0.606
	3	0.342	0.723	0.492
	4	0.378	1.030	0.714
MT	1	0.714	1.164	0.890
	2	0.335	0.797	0.577
	3	0.353	0.688	0.530
	4	0.392	0.988	0.731

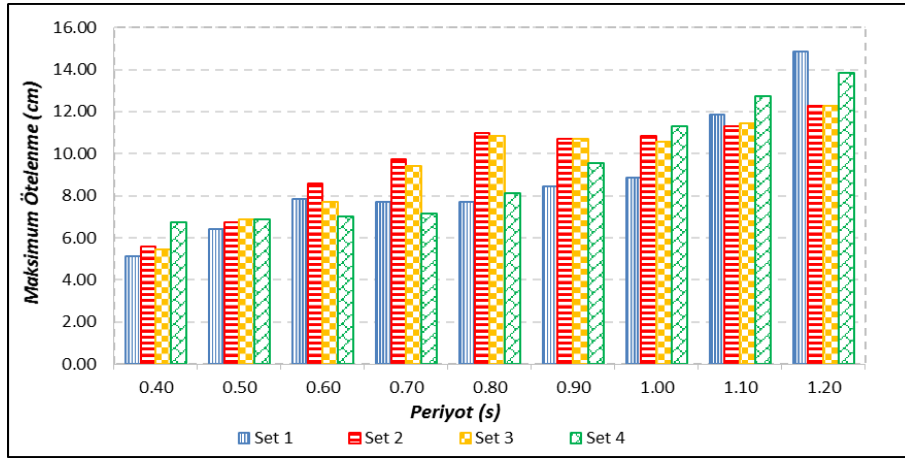


**Şekil 5.3:** Z3 için TSD sistemlerde varyasyon katsayılarına ait kutu grafiği

Farklı çevrimsel model ve TSD sistemlerin her biri için, dört farklı ivme seti kullanılarak hesaplanan ortalama ötelenme taleplerini ( $\mu_A$ ) karşılaştırmak amacı ile EMP çevrimsel modeli için Tablo 5.1-Tablo 5.3'te ve diğer çevrimsel davranış modelleri (EDP ve MT) için Ek C'de tablo halinde verilen analiz sonuçları, çubuk diyagramlar şeklinde sunulmuştur. EMP çevrimsel model için elde edilen analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan çubuk diyagramlar tez metni içerisinde, EDP ve MT çevrimsel modelleri için hazırlanan çubuk diyagramlar ise Ek C'de sunulmuştur.

Z1 sınıfı zeminleri temsil eden ivme setleri için çubuk diyagramlar Şekil 5.4-Şekil 5.8'de verilmiştir. Diyagramlar için veriler Tablo 5.1'den alınmıştır. Z2 sınıfı zeminleri temsil eden ivme setleri için analiz sonuçları Şekil 5.9-Şekil 5.13'te verilmiş ve çubuk diyagramlar için veriler Tablo 5.2'den alınmıştır. Z3 sınıfı zeminleri temsil eden ivme setleri için analiz sonuçları Şekil 5.14-Şekil 5.18'de verilmiş ve çubuk diyagramlar için veriler Tablo 5.3'ten alınmıştır. Her bir şekilde, tez çalışmasında dikkate alınan dokuz farklı periyot ( $T$ ) değeri (0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00, 1.10 ve 1.20) ve dört farklı ivme seti için sonuçlar görülebilmektedir ancak dikkate alınan beş farklı yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) değerinin (0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50) tümü bir şekilde gösterilememiştir. Bu sebeple, yatay dayanım oranlarının her biri için ayrı bir şekil verilmiştir. Sonuç olarak her bir zemin sınıfı için beş farklı şekil verilmiştir.

Z1 sınıfı zeminler dikkate alınarak, maksimum ötelenme taleplerinin ivme setleri için ortalamasının ( $\mu_{\Delta}$ ) verildiği Şekil 5.4-Şekil 5.8 ayrı ayrı incelendiğinde, periyot arttıkça talebin de arttığı görülebilmektedir. Bu durum, deprem mühendisliği açısından iyi bilinen periyot-ötelenme talebi ilişkisinin tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde de gözlemlendiğini göstermektedir. Benzer değerlendirmeyi, gerek Şekil 5.9-Şekil 5.18’de Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için, gerekse Ek C’de diğer çevrimsel davranış modelleri ve zemin sınıfları için verilen sonuçlar için de yapmak mümkündür.

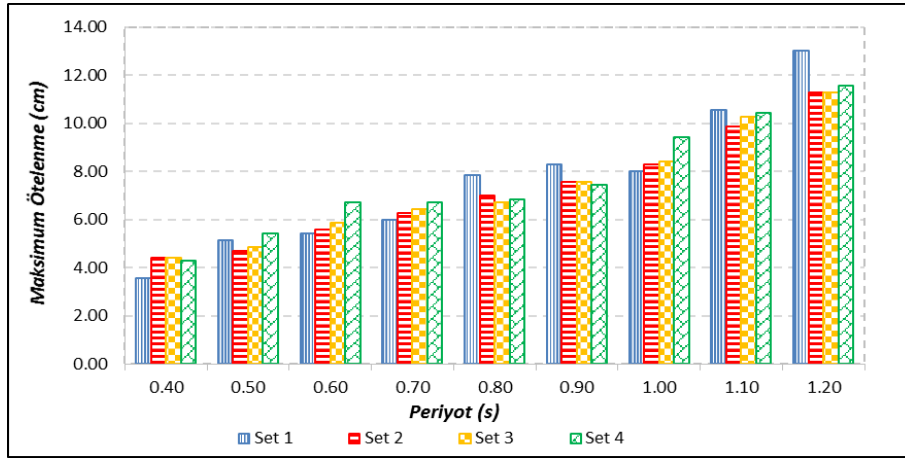


Şekil 5.4: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.10$ )

Şekil 5.4’te, yatay dayanım oranı 0.10 olan TSD sistemler için taleplere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri verilmiştir. Şekilde, herhangi bir periyot değerine sahip TSD sistem için, dört farklı set kullanılarak dört farklı  $\mu_{\Delta}$  değeri elde edildiği görülmektedir. İvme setleri için ötelenme taleplerinin farklı olmakla birlikte merteye olarak birbirine yakın olduğu söylenebilir. Örneğin  $T=0.40s$  için dört farklı setteki kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme talepleri kullanılarak, her bir set için  $\mu_{\Delta}$  değeri 5.14cm, 5.57cm, 5.43cm ve 6.71cm olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.1). İvme setleri için elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerlerindeki farklılığın periyot arttıkça biraz daha belirginleştiği söylenebilir. Örneğin  $T=0.70s$  için dört farklı sete ait ötelenme talepleri 7.71cm, 9.71cm, 9.43cm ve 7.14cm’dir.

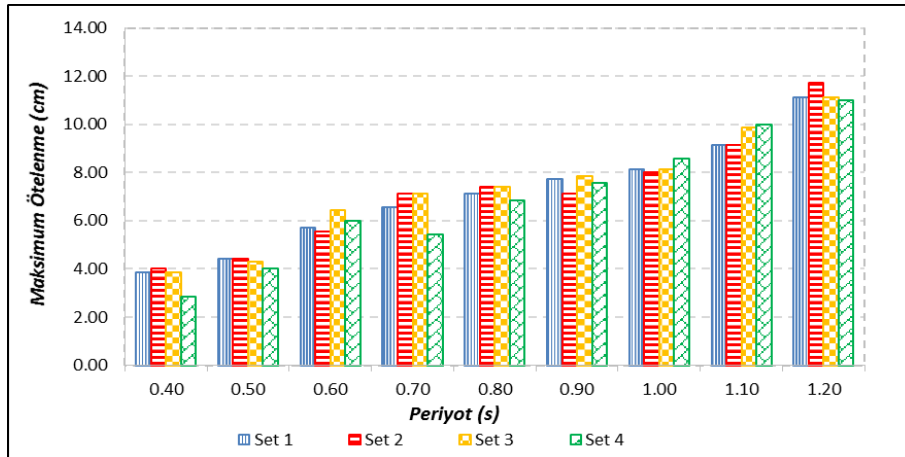
Şekil 5.5’te,  $F_y/W=0.20$  olan TSD sistemler için  $\mu_{\Delta}$  değerleri, periyoda ve ivme setlerine bağlı olarak verilmiştir. Şekil 5.6’da ise  $F_y/W=0.30$  olan TSD sistemler için hesaplanan  $\mu_{\Delta}$  değerleri görülmektedir. Verilen şekillere göre, her bir

periyot değeri için ivme setlerine ait ötelenme taleplerinin belirli düzeyde farklılık gösterdiği söylenebilir.



Şekil 5.5: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.20$ )

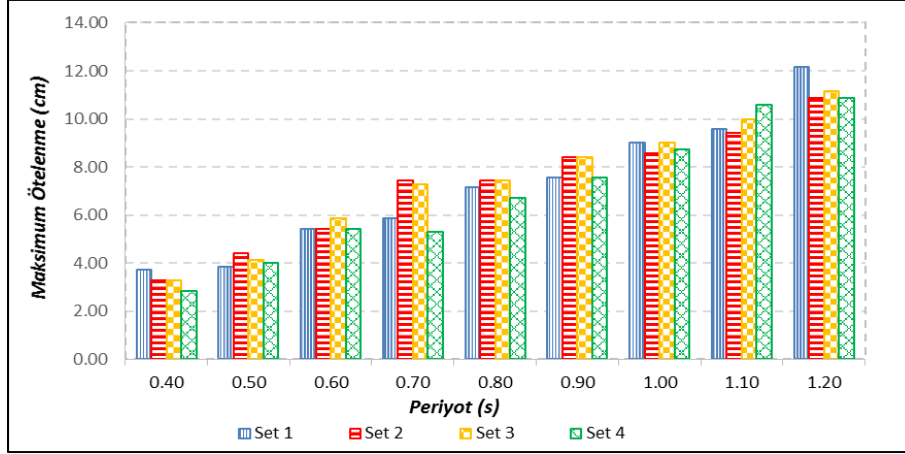
Yatay dayanım oranı 0.20 ve 0.30 olan TSD sistemlerde, ötelenme taleplerinin sette sette değişiminin, bu oranın 0.10 olduğu TSD sistemlere göre daha düşük olduğu söylenebilir. Her iki yatay dayanım oranı için de  $T=0.40s$  olduğunda 4.00cm civarında olan ortalama ötelenme talepleri, periyodun artması ile artmakta ve  $T=1.20s$  olduğunda yaklaşık 11.00cm olmaktadır.



Şekil 5.6: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.30$ )

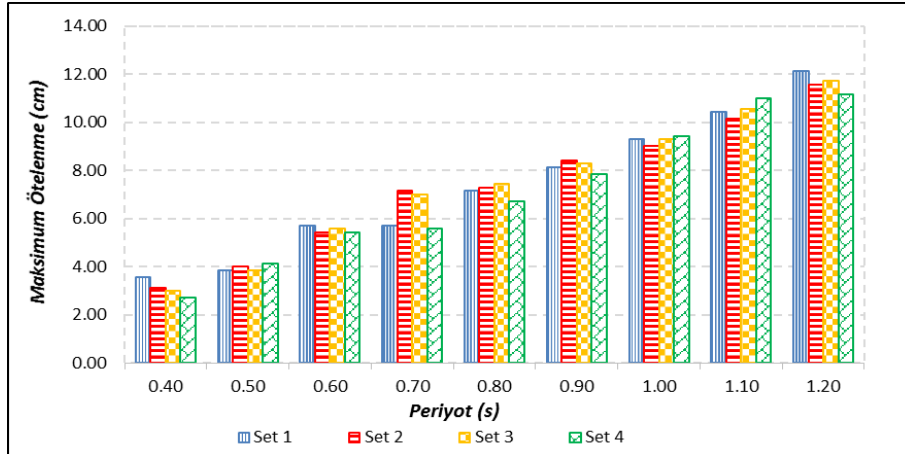
Şekil 5.7’de,  $F_y/W=0.40$  olan, Şekil 5.8’de ise  $F_y/W=0.50$  olan TSD sistemler için  $\mu_{\Delta}$  değerleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, her periyot değeri için ivme setlerinden elde edilen ötelenme taleplerinin birbirine yakın olduğu söylenebilir. Şekil 5.7’ye ve Şekil 5.8’e göre setler için elde edilen ötelenme talepleri en fazla  $T=0.70s$  olduğunda değişkenlik göstermektedir.





Şekil 5.7: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.40$ )

Ötelenme talepleri setten sete değişmekle birlikte, Şekil 5.7'ye ve Şekil 5.8'e göre  $T=0.40s$  için 3.00cm civarında iken  $T=1.20s$  için 11.00cm civarındadır.

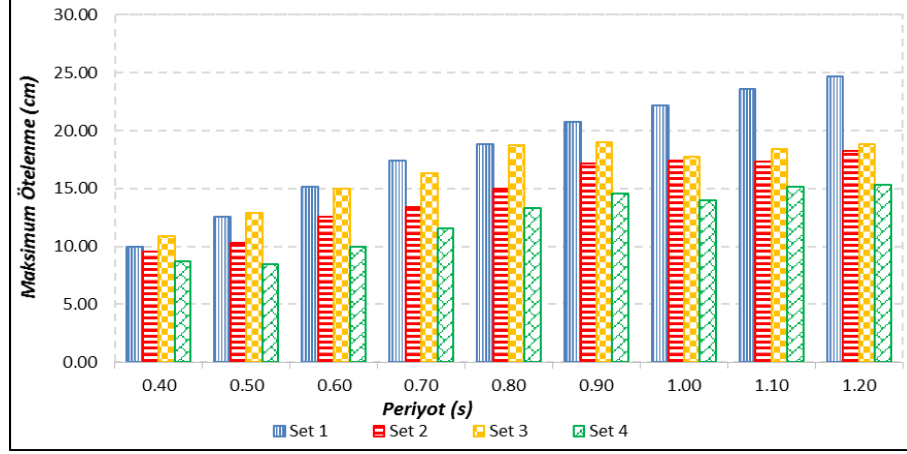


Şekil 5.8: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.50$ )

Şekil 5.9-Şekil 5.13'te Z2 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen ivme setleri kullanılarak yapılan analizler sonucu elde edilen  $\mu_A$  değerleri verilmiştir.

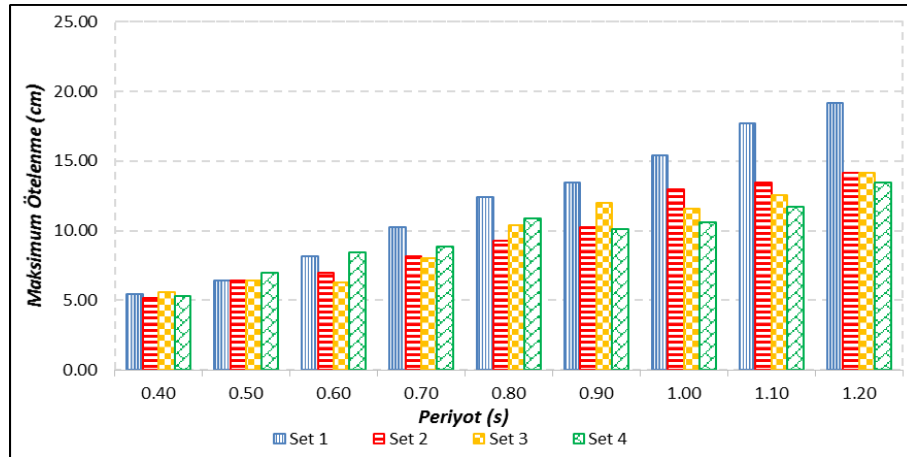
Şekil 5.9'da  $F_y/W=0.10$  olan TSD için elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekilde, her bir periyot değeri için farklı ivme setlerine ait maksimum ötelenme taleplerinin, Z1 sınıfı zeminler için elde edilen ivme setlerine ait maksimum ötelenme taleplerine göre daha fazla değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Örneğin  $T=0.50s$  için dört farklı setten elde edilen ötelenme talepleri 12.57cm, 10.29cm, 12.86cm ve 8.43cm olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.2). Periyodun 0.50s-0.90s aralığında Set 1 ve Set 3 için elde edilen ötelenme talepleri diğer setlere göre daha büyük iken, daha büyük periyot değerlerinde Set 1 için elde edilen ötelenme

talepleri, diğer setlerden elde edilen taleplere göre iyice farklılaşmaktadır. Örneğin  $T=1.20s$  için elde edilen ötelenme talepleri setler için sırası ile 24.71cm, 18.29cm, 18.86cm ve 15.29cm'dir.



**Şekil 5.9:** TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.10$ )

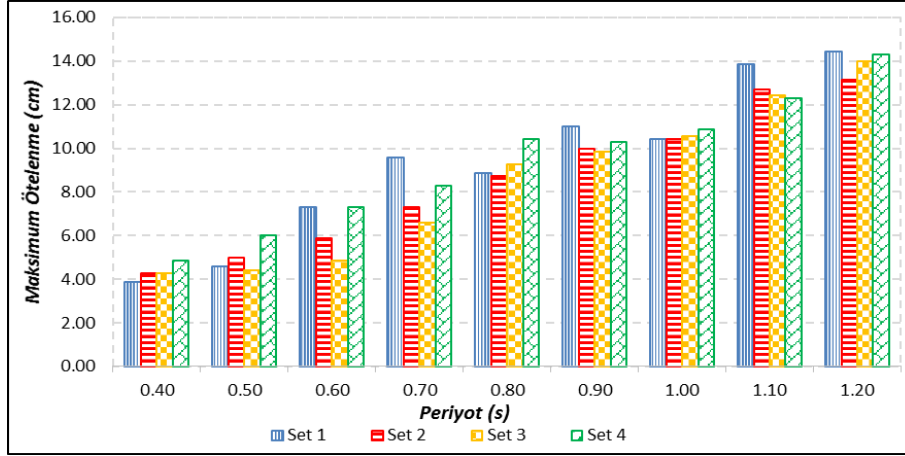
Şekil 5.10'da,  $F_y/W=0.20$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  iken 5.00cm civarında olan  $\mu_{\Delta}$  değerleri,  $T=1.20s$  olduğunda (Set 1 için elde edilen talepler hariç) 14.00cm civarındadır.  $T=0.60s$  değerinden itibaren Set 1 için, diğer setler için elde edilen taleplere göre daha büyük  $\mu_{\Delta}$  değerleri elde edilmektedir. Diğer üç set için hesaplanan  $\mu_{\Delta}$  değerleri birbirine biraz daha yakındır.



**Şekil 5.10:** TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.20$ )

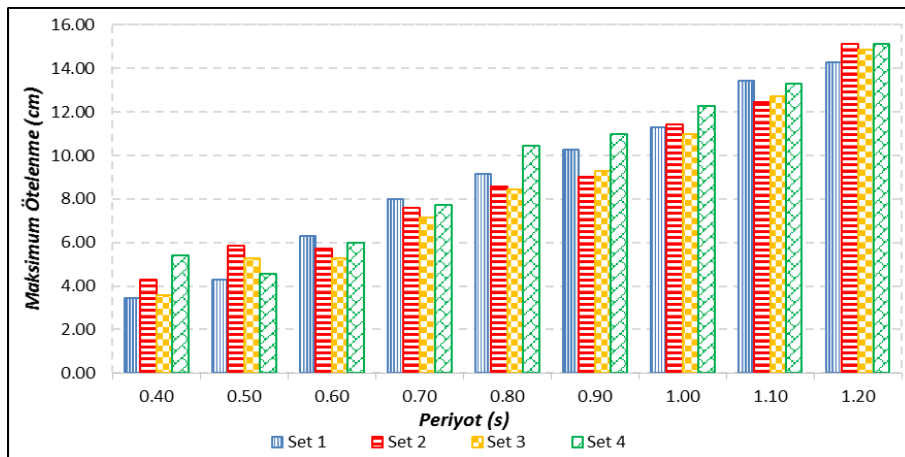
Şekil 5.11'de,  $F_y/W=0.30$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  iken 4.00cm civarında olan  $\mu_{\Delta}$  değerleri,  $T=1.20s$  olduğunda 14.00cm civarındadır.  $F_y/W=0.10$  ve  $F_y/W=0.20$  olan TSD

sistemlerde belirli bir periyot değerinden itibaren, diğer setlere oranla Set1 için daha büyük  $\mu_{\Delta}$  değerleri elde edildiği görülmüş idi. Benzer durumun Şekil 5.11’de görülmediği söylenebilir.



**Şekil 5.11:** TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.30$ )

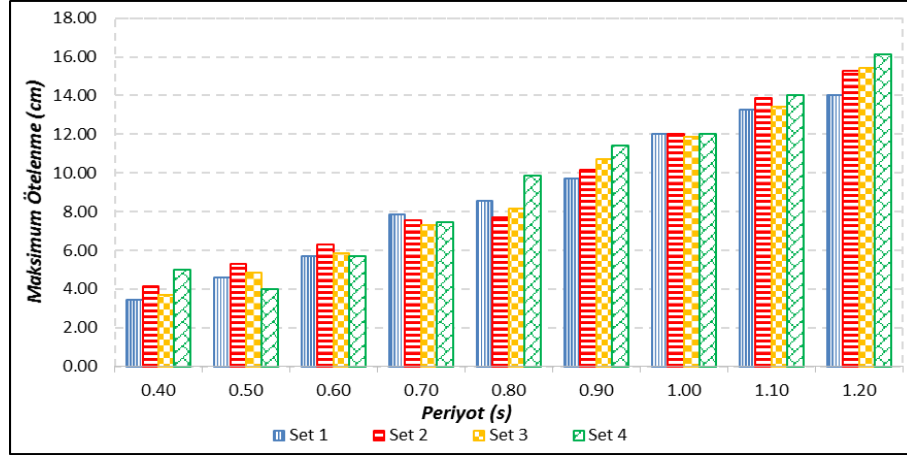
Şekil 5.12’de,  $F_y/W=0.40$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  iken  $4.00cm$  civarında olan  $\mu_{\Delta}$  değerleri,  $T=1.20s$  olduğunda yaklaşık  $15.00cm$ ’ye yükselmektedir.  $T=0.40s$  için  $3.43cm$ ,  $4.29cm$ ,  $3.57cm$  ve  $5.43cm$  olan  $\mu_{\Delta}$  değerleri,  $T=1.20s$  için  $14.29cm$ ,  $15.14cm$ ,  $14.86cm$  ve  $15.14cm$  olmuştur.



**Şekil 5.12:** TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.40$ )

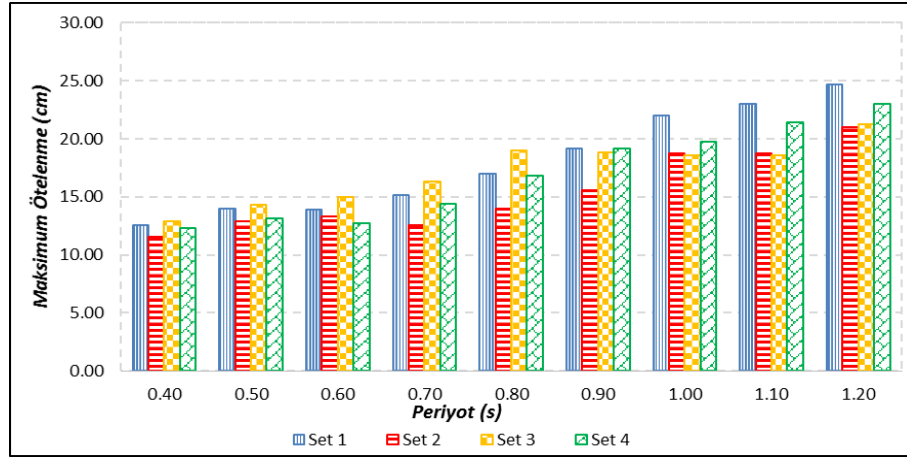
Z2 sınıfı zemin için,  $F_y/W=0.50$  olan TSD sistemlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri Şekil 5.13’te verilmiştir. Setlerden elde edilen ötelenme taleplerinin, diğer  $F_y/W$  değerlerine sahip TSD sistemlere göre birbirine daha yakın olduğu söylenebilir.

Ötelenme talepleri, periyodun artmasıyla yaklaşık 4.00cm'den 14.00cm ve üzerine çıkmıştır.



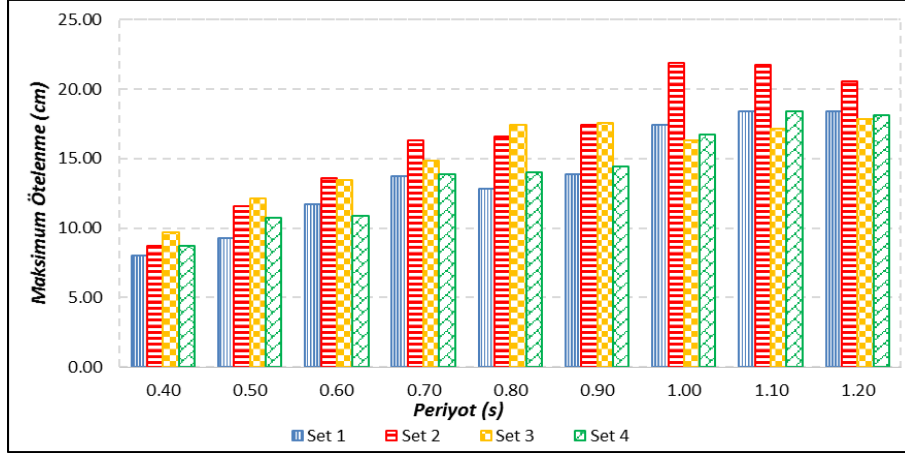
**Şekil 5.13:** TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.50$ )

Şekil 5.14-Şekil 5.18'de Z3 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen ivme setleri kullanılarak yapılan analiz sonucu elde edilen ötelenme talepleri verilmiştir.



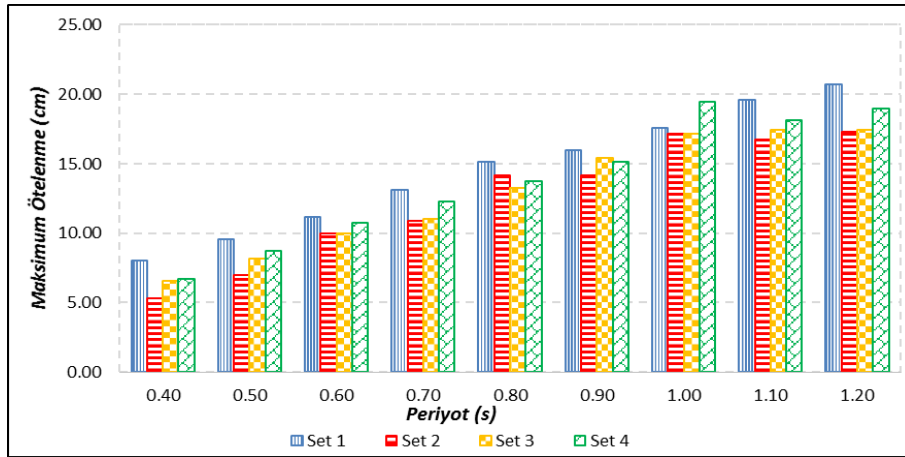
**Şekil 5.14:** TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.10$ )

Şekil 5.14'te  $F_y/W=0.10$  olan TSD için elde edilen sonuçlar görülmektedir. Zemin sınıfının değişmesi ile beraber  $\mu_{\Delta}$  değerlerinin de genel olarak arttığı dikkat çekmektedir. Bu artış en fazla  $F_y/W=0.10$  olan TSD sistemler için gözlenmiştir. Örneğin  $T=0.40s$  iken setler için elde edilen ötelenme talebi birbirinden farklı olmakla birlikte, 10.00cm'nin üzerine çıkmıştır.  $T=0.40s$  iken setler için elde edilen talepler sırası ile 12.57cm, 11.57cm, 12.86cm ve 12.29cm'dir. Benzer şekilde  $T=1.20s$  için elde edilen ötelenme talepleri de 20.00cm'nin üzerindedir.



**Şekil 5.15:** TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.20$ )

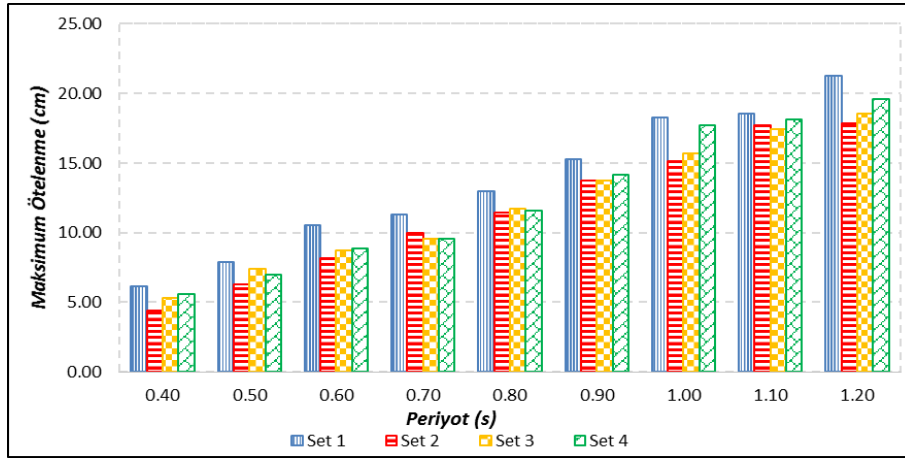
Şekil 5.15'te,  $F_y/W=0.20$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  iken  $10.00cm$ 'nin altında olan ötelenme talepleri,  $T=1.20s$  olduğunda  $18.00cm$  civarına (Set 2 için talep  $20.57cm$ 'dir) yükselmiştir. Periyodun  $0.40s-0.90s$  aralığında Set 2 ve Set 3 için, diğer setlere oranla daha yüksek ötelenme talepleri elde edildiği görülmektedir.  $T=1.00s$  değerinden itibaren Set 2 için elde edilen talepler, diğer setlere göre belirgin olarak yüksektir. Örneğin  $T=1.00s$  olduğunda setler için sırasıyla  $17.43cm$ ,  $21.86cm$ ,  $16.28cm$  ve  $16.71cm$  talepleri elde edilmiştir.



**Şekil 5.16:** TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.30$ )

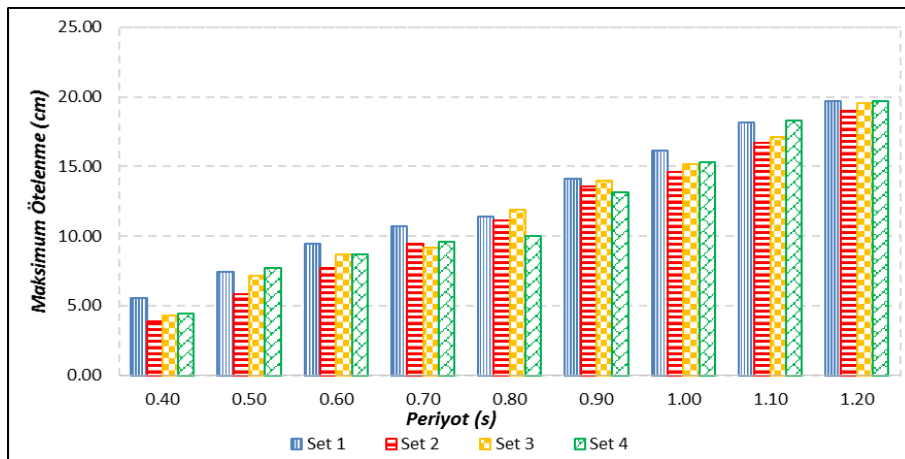
Şekil 5.16'da,  $F_y/W=0.30$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekle göre, Set 1 ve Set 4 için elde edilen ötelenme taleplerinin, genel olarak diğer setlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak  $T=0.80s$  ve  $T=0.90s$  için bu durum geçerli değildir.  $T=0.80s$  için Set 1 ve Set 2,  $T=0.90s$  için ise

Set 1 ve Set 3 yüksek ötelenme taleplerinin elde edildiği setlerdir.  $T=1.00s$  değeri dışında da Set 1 için elde edilen talepler, tüm periyot değerleri için daha yüksektir.



**Şekil 5.17:** TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.40$ )

Şekil 5.17’de,  $F_y/W=0.40$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  olduğunda elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerleri 5.00cm civarındadır. Tüm periyot değerleri için, Set 1 ile elde edilen ötelenme talepleri diğer setlerden elde edilen taleplere göre daha yüksektir.  $T=1.00s$  dışında, tüm periyot değerleri için Set 2, Set 3 ve Set 4 ile elde edilen ötelenme taleplerinin birbirine yakın olduğu söylenebilir.



**Şekil 5.18:** TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EMP model,  $F_y/W=0.50$ )

Şekil 5.18’de,  $F_y/W=0.50$  olan TSD sistemler için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sistemler için  $T=0.40s$  olduğunda, Set 1 dışındaki setler için elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerleri 5.00cm’nin altına düşmüştür.  $T=1.20s$  için ise ötelenme talepleri 20cm civarındadır. İvme setleri için elde edilen talepler farklı olmakla beraber

birbirine yakındır. Örneğin  $T=1.20s$  olduğunda setler  $\mu_{\Delta}$  değerleri 19.71cm, 19.00cm, 19.57cm ve 19.71cm olarak bulunmuştur.

TSD sistemler için bu bölümde ve ekte sunulan analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi, herhangi bir periyot ya da yatay dayanım oranına sahip TSD sistem için, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile elde edilen ortalama ötelenme talepleri, kullanılan ivme setine göre farklılık göstermektedir. Yani her bir ivme seti için tasarım ya da performans değerlendirmesi için kullanılacak farklı bir talep elde edilmektedir. Bu durum tüm zemin sınıfları için geçerlidir.

TSD sistemler için ivme setlerinden elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasındaki farklılık birbirlerine göre bazen daha düşük bazen de daha yüksek olabilmektedir. Ya da herhangi bir ivme seti için diğerlerine oranla daha yüksek ya da daha düşük talepler elde edilebilmektedir. Bu durum da tüm zemin sınıfları için geçerlidir. İvme setleri için elde edilen analiz sonuçları arasındaki farkların değerlendirilebilmesi için kullanılacak farklı yöntemler bulunmaktadır. Tez çalışmasında, TSD sistemlerde farklı ivme setleri için elde edilen talepler arasındaki farklılık varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Varyans analizi ile ilgili bilgiler ve analiz sonuçları Bölüm 6'da verilmiştir.

### 5.3 Düzlem Çerçevelerde Dinamik Analiz Sonuçları

Bu kısımda, 3, 5 ve 7 katlı betonarme düzlem çerçeveler için ivme setlerinde yer alan ivme kayıtları kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları, zemin sınıfının değişimine bağlı olarak verilmiştir.

Öncelikle, düzlem çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi sonucu elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ( $\Delta_{mak}$ ) yani çatı ötelenmesi taleplerinin setler için ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta}$ ) hesaplanmıştır. Maksimum çatı ötelenmesinin bina yüksekliğine bölünmesi ile maksimum ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ) elde edilmektedir. Setler için maksimum ötelenme oranı talebinin ortalaması ( $\mu_{\Delta H}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta H}$ ) da hesaplanmıştır.

Her bir düzlem çerçeve için herhangi bir kattaki maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin ortalaması ( $\mu_\delta$ ) ve standart sapması ( $s_\delta$ ) hesaplanmıştır. Görelî kat ötelenmesi taleplerinin ilgili kat yüksekliğine bölünmesi ile maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\delta_{mak}/h$ ) elde edilmektedir. Bu bilgiler kullanılarak, her bir ivme seti için maksimum ötelenme oranı talebinin ortalaması ( $\mu_{\delta h}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta h}$ ) da ayrıca hesaplanmıştır.

Tez çalışmasının hedeflerinden birisi, TSD sistemler için olduğu gibi düzlem çerçeve sistemleri için de dikkate alınan zemin sınıfı ile uyumlu olan farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarını değerlendirmek ve farklı setler için elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır. Bu sebeple, analiz sonuçlarının verildiği tablo ve şekillerde, karşılaştırma yapabilmek amacıyla belirli bir düzlem çerçeve ve zemin sınıfı için ivme setlerinden elde edilen sonuçların bir arada sunulmasına özen gösterilmiştir.

### 5.3.1 Maksimum Ötelenme Talepleri

Düzlem çerçeveler için elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ( $\Delta_{mak}$ ) setler için hesaplanan ortalaması ( $\mu_\Delta$ ) ve standart sapması ( $s_\Delta$ ) Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablo 5.8’de ise maksimum ötelenme oranı taleplerinin ( $\Delta_{mak}/H$ ) setler için hesaplanan ortalaması ( $\mu_{\Delta H}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta H}$ ) verilmiştir.

Tablo 5.7’de görüldüğü gibi kat sayısının artması ile  $\mu_\Delta$  değerleri de artmaktadır. Aynı şekilde, zemin sınıfının Z1’den Z3’e değişmesi durumunda da  $\mu_\Delta$  değerleri artmaktadır. TSD sistemlerde olduğu gibi, düzlem çerçevelerde de, set içindeki kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin o sete ait  $\mu_\Delta$  değeri etrafındaki saçılımı yüksektir.

Tablo 5.8’de  $s_{\Delta H}$  ile ifade edilen saçılım, Şekil 5.19’da, kat sayılarına ve zemin sınıflarına göre sınıflandırılmış olarak varyasyon katsayısı ( $CoV$ ) ile birimsiz olarak verilmiştir.



**Tablo 5.7:** Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme talepleri

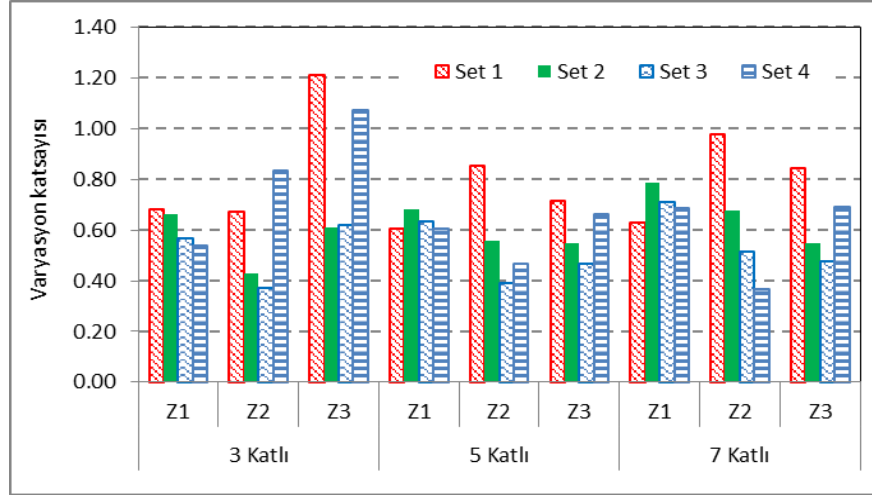
Düzlem çerçeve	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$
3 katlı	Set 1	4.87	3.32	6.82	4.59	12.40	14.99
	Set 2	4.79	3.17	5.81	2.50	10.45	6.36
	Set 3	4.90	2.79	5.52	2.04	10.45	6.48
	Set 4	5.97	3.22	7.12	5.94	11.39	12.25
5 katlı	Set 1	8.33	5.03	12.86	10.98	14.28	10.23
	Set 2	9.02	6.17	9.92	5.53	15.11	8.28
	Set 3	8.35	5.30	11.72	4.58	16.57	7.76
	Set 4	8.97	5.44	11.81	5.50	14.49	9.58
7 katlı	Set 1	9.06	5.69	17.20	16.77	18.24	15.39
	Set 2	10.22	8.02	13.01	8.78	17.05	9.38
	Set 3	10.09	7.18	14.00	7.20	17.85	8.48
	Set 4	10.58	7.27	12.51	4.58	15.88	10.94

**Tablo 5.8:** Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı talepleri

Düzlem çerçeve	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\Delta/H}$	$s_{\Delta/H}$	$\mu_{\Delta/H}$	$s_{\Delta/H}$	$\mu_{\Delta/H}$	$s_{\Delta/H}$
3 katlı	Set 1	0.0051	0.0035	0.0072	0.0048	0.0131	0.0158
	Set 2	0.0050	0.0033	0.0061	0.0026	0.0110	0.0067
	Set 3	0.0052	0.0029	0.0058	0.0021	0.0110	0.0068
	Set 4	0.0063	0.0034	0.0075	0.0063	0.0120	0.0129
5 katlı	Set 1	0.0054	0.0032	0.0083	0.0071	0.0092	0.0066
	Set 2	0.0058	0.0040	0.0064	0.0036	0.0097	0.0053
	Set 3	0.0054	0.0034	0.0076	0.0030	0.0107	0.0050
	Set 4	0.0058	0.0035	0.0076	0.0035	0.0093	0.0062
7 katlı	Set 1	0.0042	0.0026	0.0080	0.0078	0.0085	0.0072
	Set 2	0.0048	0.0037	0.0061	0.0041	0.0079	0.0044
	Set 3	0.0047	0.0033	0.0065	0.0033	0.0083	0.0039
	Set 4	0.0049	0.0034	0.0058	0.0021	0.0074	0.0051

Şekil 5.19'a göre, 3 katlı çerçevelerde Z3 sınıfı zeminlere ait ivme setleri için hesaplanan varyasyon katsayılarının, diğer zemin sınıflarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Z3 için, dört farklı sete ait varyasyon katsayısı 0.609 ile 1.209 arasında değişmektedir. Dört farklı sete ait varyasyon katsayısı değerleri, Z1 için 0.538-0.681 arasında, Z2 için 0.371-0.834 arasında değişmektedir. 5 katlı çerçevelerde dört farklı sete ait varyasyon katsayısı değerleri Z1 için 0.603-0.684, Z2 için 0.391-0.854 ve Z3 için 0.468-0.717 arasında değişmektedir. 7 katlı çerçevelerde ise dört farklı sete ait varyasyon katsayısı değerleri Z1 için 0.628-0.785, Z2 için

0.366-0.975 ve Z3 için 0.475-0.844 arasında değişmektedir. Tablo 5.8’de verilen maksimum ötelenme oranı talepleri, Tablo 5.7’de verilen maksimum ötelenme taleplerinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edildiği için, Şekil 5.19’da maksimum ötelenme oranı talepleri için ifade edilen saçılım değerleri maksimum ötelenme talepleri için de geçerlidir.

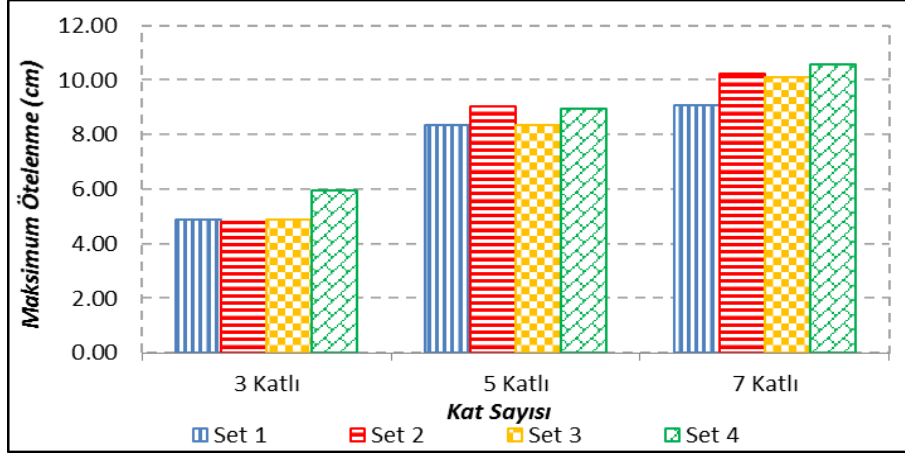


**Şekil 5.19:** Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları

Görüldüğü gibi, deprem etkisi sebebi ile meydana gelecek maksimum ötelenme taleplerinin rastgele özelliğinden dolayı herhangi bir zemin sınıfı ya da herhangi bir ivme seti için daha yüksek ya da daha düşük varyasyon katsayılarının elde edildiğini söylemek mümkün değildir. Aynı şekilde, setlere ait varyasyon katsayılarının birbirine yakın ya da uzak değerler alması da rastgele bir özellik göstermektedir.

Tezin amacı doğrultusunda, ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ( $\Delta_{mak}$ ) ve maksimum ötelenme oranı taleplerinin ( $\Delta_{mak}/H$ ) setler için hesaplanan ortalamalarının ( $\mu_{\Delta}$  ve  $\mu_{\Delta/H}$ ) karşılaştırılması için, Tablo 5.7’de verilen analiz sonuçları Şekil 5.20-Şekil 5.25’de ayrıca verilmiştir.

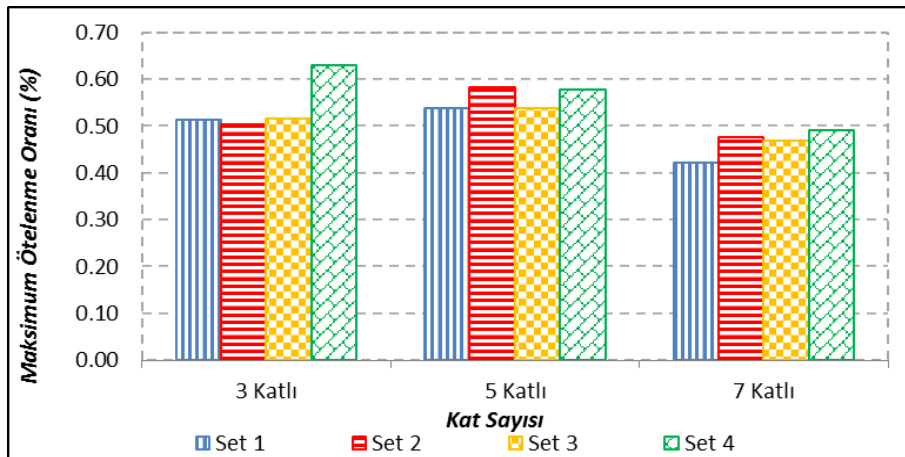
Z1 sınıfı zeminler için, Şekil 5.20’de maksimum ötelenme taleplerinin setler için hesaplanan ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ), Şekil 5.21’de ise maksimum ötelenme oranı taleplerinin setler için hesaplanan ortalaması ( $\mu_{\Delta/H}$ ) verilmiştir. Şekil 5.22’de ve Şekil 5.23’te sırası ile Z2 sınıfı zeminler için  $\mu_{\Delta}$  ve  $\mu_{\Delta/H}$  değerleri, Şekil 5.24’te ve Şekil 5.25’te ise sırası ile Z3 sınıfı zeminler için  $\mu_{\Delta}$  ve  $\mu_{\Delta/H}$  değerleri verilmiştir.



Şekil 5.20: Düzlem çerçevelerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri

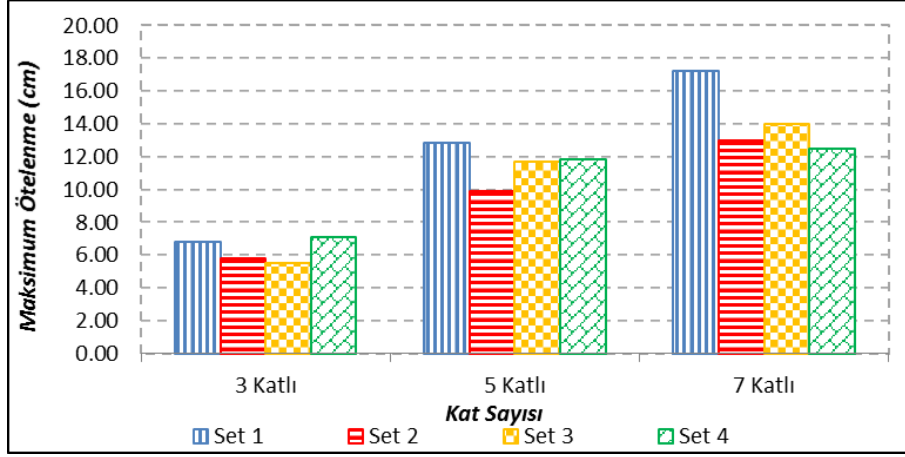
Şekil 5.20 incelendiğinde, 3, 5 ve 7 katlı çerçevelerde farklı ivme setlerinden elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerlerinin farklı olmakla birlikte birbirine yakın olduğu görülmektedir. Örneğin 3 katlı çerçeve için, ivme setlerinden elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerleri 4.87cm, 4.79cm, 4.90cm ve 5.97cm iken, 5 katlı çerçeve için bu değerler 8.33cm, 9.02cm, 8.35cm ve 8.97cm'dir. 7 katlı çerçeve için dört farklı ivme setine ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri ise 9.06cm, 10.22cm, 10.09cm ve 10.58cm olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.21'de düzlem çerçevelere ait  $\mu_{\Delta H}$  değerleri verilmiştir. 3 katlı çerçeve için %0.50-%0.63, 5 katlı çerçeve için %0.54-%0.58 ve 7 katlı çerçeve için %0.42-%0.49 arasında değişen  $\mu_{\Delta H}$  değerleri elde edilmektedir. Setlere ait  $\mu_{\Delta H}$  değerlerinin de farklı olmakla birlikte birbirine yakın olduğu söylenebilir.



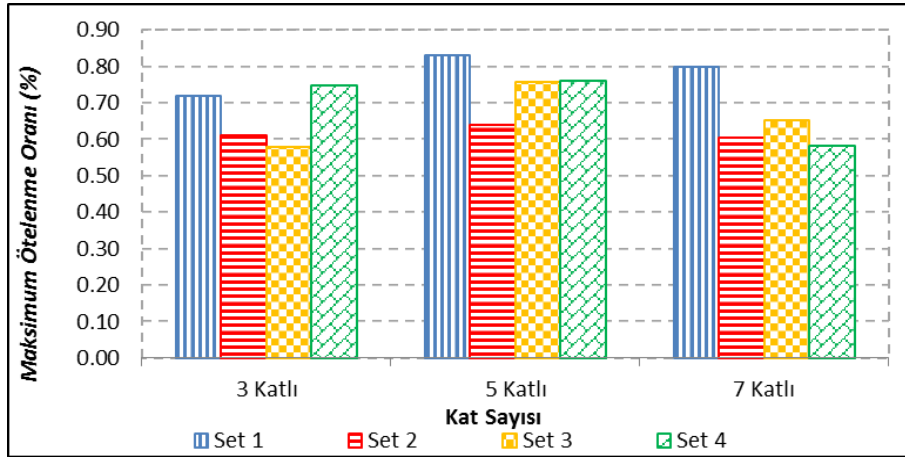
Şekil 5.21: Düzlem çerçevelerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta H}$  değerleri

Şekil 5.22 incelendiğinde, Z2 sınıfı zeminler için, 3 katlı düzlem çerçevelerde  $\mu_A$  değerleri birbirine yakın iken, 5 ve 7 katlı çerçevelerde ise set 1'den elde edilen  $\mu_A$  değerlerinin diğer setlerden daha büyük olduğu görülmektedir. 3 katlı çerçeve için, ivme setlerinden elde edilen  $\mu_A$  değerleri 6.82cm, 5.81cm, 5.52cm ve 7.12cm iken, 5 katlı çerçeve için 12.86cm, 9.92cm, 11.72cm ve 11.81cm'dir. 7 katlı çerçeve için ise 17.20cm, 13.01cm, 14.00cm ve 12.51cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.22: Düzlem çerçevelerde Z2 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri

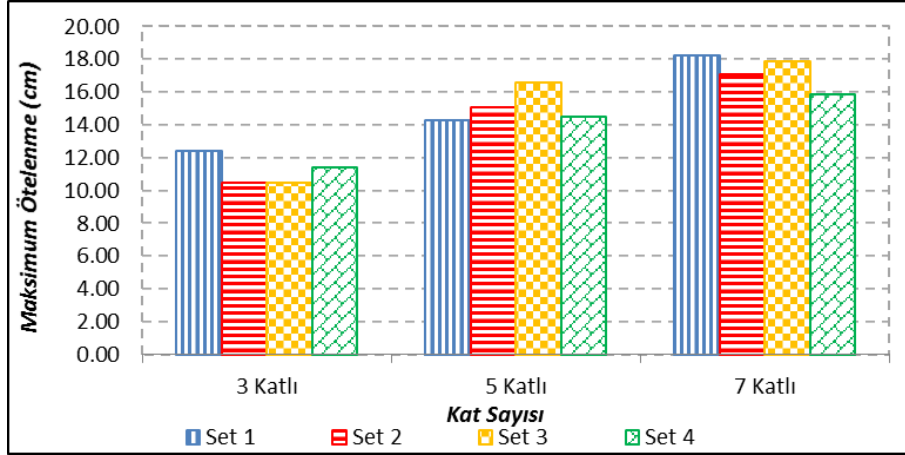
Şekil 5.23'te çerçevelere ait  $\mu_{AH}$  değerleri verilmiştir. 3 katlı çerçeve için %0.58-%0.75, 5 katlı çerçeve için %0.64-%0.83 ve 7 katlı çerçeve için %0.58-%0.80 arasında değişen talepler elde edilmektedir.



Şekil 5.23: Düzlem çerçevelerde Z2 için setlere ait  $\mu_{AH}$  değerleri

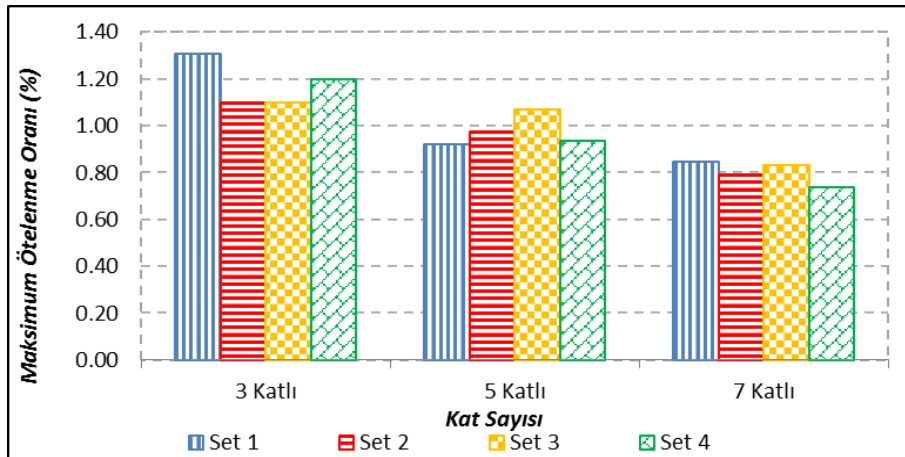
Şekil 5.24'te, Z3 sınıfı zeminler için de 3, 5 ve 7 katlı çerçevelerde farklı ivme setlerinden elde edilen  $\mu_A$  değerlerinin değişimi görülmektedir. 3 katlı çerçeve

için, ivme setlerinden elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin ortalaması 12.40cm, 10.45cm, 10.45cm ve 11.39cm iken, 5 katlı çerçeve için bu değerler 14.28cm, 15.11cm, 16.57cm ve 14.49cm'dir. 7 katlı çerçeve için ise 18.24cm, 17.05cm, 17.85cm ve 15.88cm değerleri hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi ivme setleri için birbirine yakın olmakla beraber farklı ötelenme talepleri elde edilmiştir.



Şekil 5.24: Düzlem çerçevelerde Z3 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri

Şekil 5.25'te Z3 sınıfı zemin için düzlem çerçevelere ait  $\mu_{AH}$  değerleri verilmiştir. 3 katlı çerçeveler için %1.10-%1.31, 5 katlı çerçeve için %0.93-%1.07 ve 7 katlı çerçeve için %0.74-%0.85 arasında değişen ötelenme oranı talepleri elde edilmektedir. Düzlem çerçeve yüksekliğinin kat sayısına ile artması sonucu, kat sayısı arttıkça setler için hesaplanan  $\mu_A$  değerleri artmasına rağmen  $\mu_{AH}$  değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.25: Düzlem çerçevelerde Z3 için setlere ait  $\mu_{AH}$  değerleri

### 5.3.2 Maksimum Göreli Kat Ötelenmesi Talepleri

Düzlem çerçeveler için, dinamik analiz elde edilen kat ötelenmeleri kullanılarak her bir katta maksimum göreli kat ötelenmesi talepleri ( $\delta_{mak}$ ) hesaplanmıştır. Setler için, göreli kat ötelenmesi taleplerinin ortalaması ( $\mu_\delta$ ) ve standart sapması ( $s_\delta$ ) bulunmuştur.

Maksimum göreli kat ötelenmesi talepleri, ilgili katın yüksekliğine bölünerek maksimum göreli kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\delta_{mak}/h$ ) hesaplanmıştır. Son olarak setler için, göreli kat ötelenmesi oranı taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\delta h}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta h}$ ) bulunmuştur.

Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da 3 katlı düzlem çerçevede, setler için sırası ile göreli kat ötelenmesi ve göreli kat ötelenmesi oranı taleplerine ait ortalama ve standart sapma değerleri (birimi cm) verilmiştir.

**Tablo 5.9:** 3 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan  $\mu_\delta$  ve  $s_\delta$  değerleri

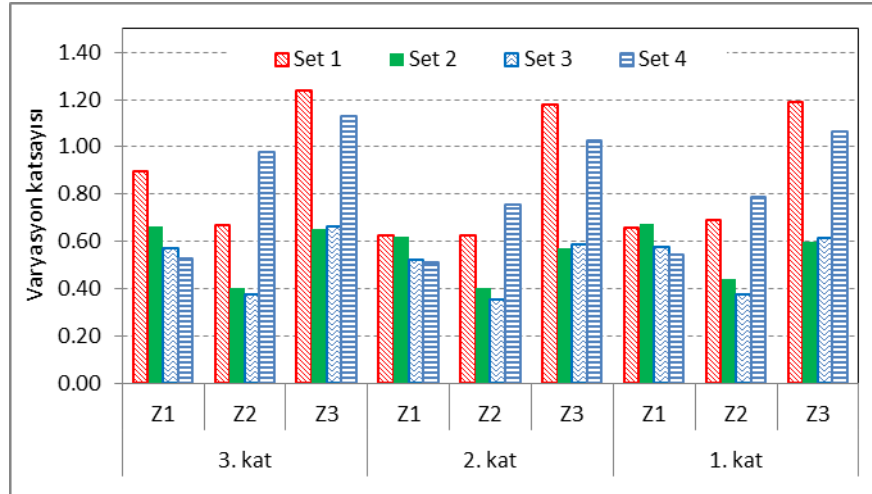
Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_\delta$	$s_\delta$	$\mu_\delta$	$s_\delta$	$\mu_\delta$	$s_\delta$
3	Set 1	1.17	1.05	1.57	1.05	2.72	3.37
	Set 2	1.07	0.71	1.23	0.50	2.37	1.54
	Set 3	1.05	0.60	1.11	0.42	2.36	1.57
	Set 4	1.28	0.67	1.64	1.60	2.57	2.91
2	Set 1	1.80	1.13	2.46	1.54	4.45	5.26
	Set 2	1.80	1.12	2.14	0.87	3.71	2.12
	Set 3	1.84	0.97	2.04	0.72	3.67	2.17
	Set 4	2.21	1.13	2.56	1.94	4.08	4.20
1	Set 1	2.17	1.42	2.96	2.04	5.51	6.56
	Set 2	2.16	1.45	2.59	1.14	4.58	2.74
	Set 3	2.19	1.27	2.50	0.94	4.64	2.85
	Set 4	2.66	1.45	3.02	2.38	4.99	5.32

Tablo 5.9'da 3 katlı çerçeve için, göreli kat ötelenmesi taleplerinin alt katlarda daha yüksek olduğu, üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. Örneğin Z1 sınıfı zemin için ilk katta 2.16cm ile 2.66cm arasında değişen ortalama talep üçüncü katta 1.05cm ile 1.28 arasındadır. Zemin sınıfı Z1'den Z3'e geçtikçe de göreli kat ötelenmesi talebinin arttığı söylenebilir. Öte yandan, ivme kayıtlarından elde edilen taleplerin sete ait ortalama talep etrafındaki saçılımının da yine belirgin olarak yüksek olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.10:** 3 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan  $\mu_{\delta h}$  ve  $s_{\delta h}$  değerleri

Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$
3	Set 1	0.0039	0.0035	0.0052	0.0035	0.0091	0.0112
	Set 2	0.0036	0.0024	0.0041	0.0017	0.0079	0.0051
	Set 3	0.0035	0.0020	0.0037	0.0014	0.0079	0.0052
	Set 4	0.0043	0.0022	0.0055	0.0053	0.0086	0.0097
2	Set 1	0.0060	0.0038	0.0082	0.0051	0.0148	0.0175
	Set 2	0.0060	0.0037	0.0071	0.0029	0.0124	0.0071
	Set 3	0.0061	0.0032	0.0068	0.0024	0.0122	0.0072
	Set 4	0.0074	0.0038	0.0085	0.0065	0.0136	0.0140
1	Set 1	0.0062	0.0041	0.0084	0.0058	0.0157	0.0188
	Set 2	0.0062	0.0042	0.0074	0.0033	0.0131	0.0078
	Set 3	0.0062	0.0036	0.0071	0.0027	0.0132	0.0081
	Set 4	0.0076	0.0042	0.0086	0.0068	0.0143	0.0152

Şekil 5.26'da 3 katlı düzlem çerçevede, maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri dikkate alınarak her bir set için hesaplanan varyasyon katsayısı değerlerinin değişimi grafik olarak verilmiştir.

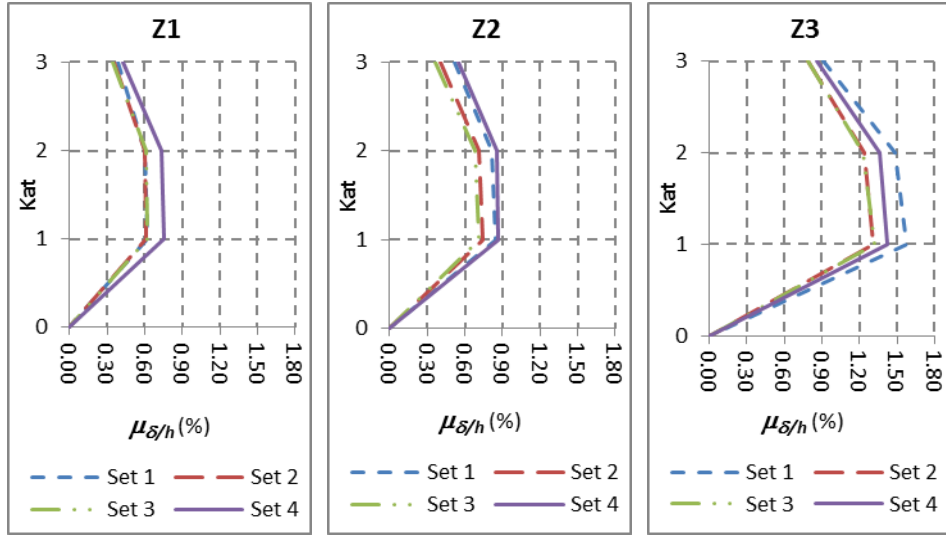


**Şekil 5.26:** 3 katlı düzlem çerçevede maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları

3 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, varyasyon katsayısı değerleri 3.katta 0.376-1.239, 2.katta 0.355-1.181 ve 1.katta 0.599-1.192 arasında değişmektedir. Maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri, maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin ilgili kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edildiği için, Şekil 5.26'da maksimum görelî kat ötelenmesi oranı

talepleri için ifade edilen saçılım değerleri maksimum görel kat ötelenmesi talepleri için de geçerlidir.

Şekil 5.27’de, 3 katlı çerçevede Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için görel kat ötelenmesi oranı taleplerinin ivme setleri için hesaplanan ortalama değerlerinin ( $\mu_{\delta/h}$ ) değişimi grafik olarak verilmiştir. Üç zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{\delta/h}$  değeri ilk katta gözlenmiştir ve Z2 için Dört farklı ivme seti kullanılarak elde edilen  $\mu_{\delta/h}$  değerlerinin Z1 sınıfı zemin için ilk katta %0.62-%0.76 arasında, Z2 sınıfı zemin için ilk katta %0.71-%0.86 arasında olduğu görülmektedir. Z3 sınıf zeminler için ilk katta %1.31-%1.57 arasında değişen talep, ikinci katta %1.22-%1.48 arasında ve son katta %0.79-%0.91 arasında değişmektedir.



**Şekil 5.27:** 3 katlı çerçevede görel kat ötelenmesi oranı talebinin değişimi

Tablo 5.11’de 5 katlı düzlem çerçevede, setler için maksimum görel kat ötelenmesi taleplerine ait ortalama ve standart sapma değerleri (birimi cm) verilmiştir. Tablo 5.11 incelendiğinde, 5 katlı düzlem çerçevede, maksimum görel kat ötelenmesi taleplerinin ilk iki katta daha yüksek olduğu, üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. Tablo 5.11’e göre, ilk iki katta Z1 sınıfı zemin için 2.23cm ile 2.59cm, Z2 sınıfı zemin için 2.89cm ile 3.90cm, Z3 sınıfı zemin için ise 4.16cm ile 5.13cm arasında değişen ötelenme talepleri elde edilmiştir.

Tablo 5.12’de ise 5 katlı düzlem çerçevede, maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerine ait ortalama ve standart sapma değerleri (birimi cm) verilmiştir.



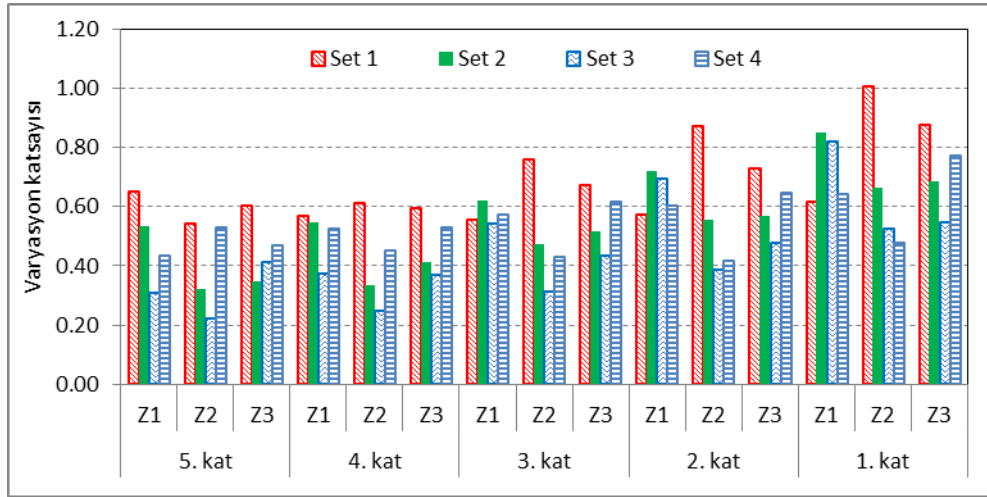
**Tablo 5.11:** 5 katlı düzlem çerçevede setler için hesaplanan  $\mu_{\delta}$  ve  $s_{\delta}$  değerleri

Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\delta}$	$s_{\delta}$	$\mu_{\delta}$	$s_{\delta}$	$\mu_{\delta}$	$s_{\delta}$
5	Set 1	0.88	0.57	0.91	0.50	0.94	0.57
	Set 2	0.74	0.39	0.83	0.26	1.01	0.35
	Set 3	0.79	0.24	0.88	0.20	0.97	0.40
	Set 4	0.82	0.36	0.93	0.49	0.92	0.43
4	Set 1	1.60	0.91	1.97	1.21	2.04	1.22
	Set 2	1.47	0.80	1.69	0.56	2.21	0.91
	Set 3	1.53	0.58	1.88	0.46	2.28	0.84
	Set 4	1.62	0.85	1.90	0.86	2.04	1.08
3	Set 1	2.13	1.19	3.09	2.35	3.52	2.38
	Set 2	2.27	1.41	2.44	1.15	3.64	1.89
	Set 3	2.14	1.17	2.86	0.90	3.91	1.70
	Set 4	2.34	1.34	2.87	1.24	3.46	2.14
2	Set 1	2.31	1.33	3.64	3.17	4.16	3.05
	Set 2	2.59	1.87	2.89	1.60	4.31	2.46
	Set 3	2.41	1.68	3.36	1.31	4.82	2.31
	Set 4	2.54	1.54	3.39	1.41	4.25	2.76
1	Set 1	2.23	1.38	3.90	3.94	4.41	3.87
	Set 2	2.59	2.21	2.92	1.94	4.46	3.06
	Set 3	2.45	2.01	3.37	1.78	5.13	2.81
	Set 4	2.42	1.57	3.54	1.70	4.39	3.41

**Tablo 5.12:** 5 katlı düzlem çerçevede setler için hesaplanan  $\mu_{\delta h}$  ve  $s_{\delta h}$  değerleri

Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$
5	Set 1	0.0029	0.0019	0.0030	0.0017	0.0031	0.0019
	Set 2	0.0025	0.0013	0.0028	0.0009	0.0034	0.0012
	Set 3	0.0026	0.0008	0.0029	0.0007	0.0032	0.0013
	Set 4	0.0027	0.0012	0.0031	0.0016	0.0031	0.0014
4	Set 1	0.0053	0.0030	0.0066	0.0040	0.0068	0.0041
	Set 2	0.0049	0.0027	0.0056	0.0019	0.0074	0.0030
	Set 3	0.0051	0.0019	0.0063	0.0015	0.0076	0.0028
	Set 4	0.0054	0.0028	0.0063	0.0029	0.0068	0.0036
3	Set 1	0.0071	0.0040	0.0103	0.0078	0.0117	0.0079
	Set 2	0.0076	0.0047	0.0081	0.0038	0.0121	0.0063
	Set 3	0.0071	0.0039	0.0095	0.0030	0.0130	0.0057
	Set 4	0.0078	0.0045	0.0096	0.0041	0.0115	0.0071
2	Set 1	0.0077	0.0044	0.0121	0.0106	0.0139	0.0102
	Set 2	0.0086	0.0062	0.0096	0.0053	0.0144	0.0082
	Set 3	0.0080	0.0056	0.0112	0.0044	0.0161	0.0077
	Set 4	0.0085	0.0051	0.0113	0.0047	0.0142	0.0092
1	Set 1	0.0064	0.0040	0.0111	0.0112	0.0126	0.0111
	Set 2	0.0074	0.0063	0.0083	0.0056	0.0127	0.0087
	Set 3	0.0070	0.0058	0.0096	0.0051	0.0147	0.0080
	Set 4	0.0069	0.0045	0.0101	0.0049	0.0126	0.0098

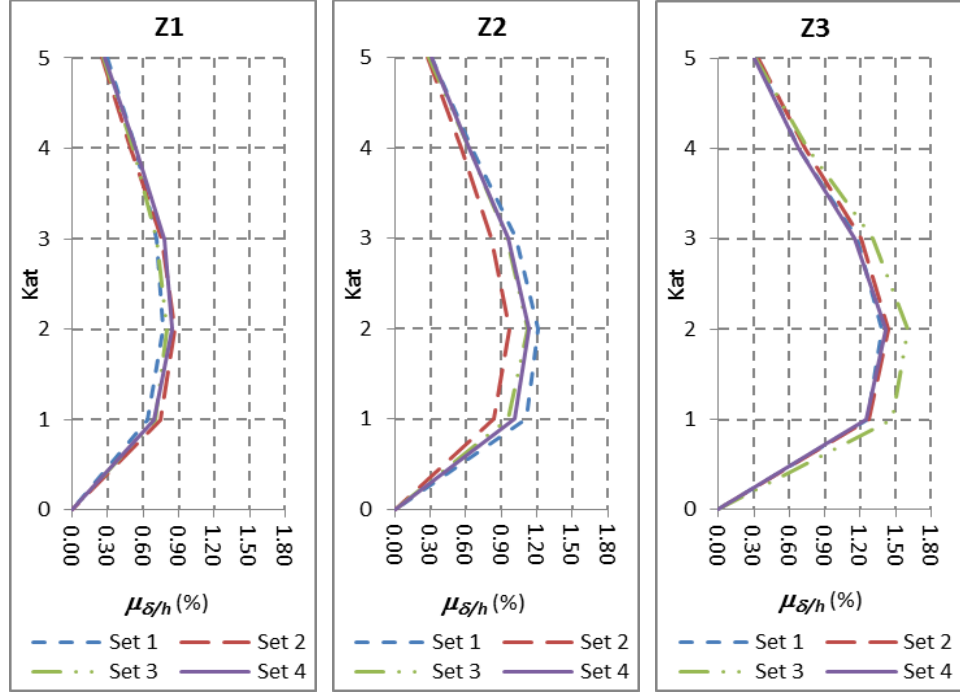
Şekil 5.28’de 5 katlı düzlem çerçevede, settteki ivme kayıtları için hesaplanan maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\delta_{mak}/h$ ) dikkate alınarak her bir set için hesaplanan varyasyon katsayısı değerlerinin değişimi grafik olarak verilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi varyasyon katsayılarının değerlerini zemin sınıfı ya da kat numarası ile ilişkilendirmek olası değildir. Bu parametrelerden bağımsız olarak rastgele varyasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. 5 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, varyasyon katsayısı değerleri 5.katta 0.223-0.654 arasında, 4.katta ise 0.247-0.615 arasında değişmektedir. 3.katta 0.314-0.761, 2.katta 0.390-0.872 ve 1.katta 0.481-1.010 arasında değişen varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 5.28:** 5 katlı düzlem çerçevede maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları

Şekil 5.29’da, 5 katlı çerçevede Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için ( $\mu_{\delta h}$ ) değerlerinin farklı ivme setleri için değişimi grafik olarak verilmiştir. Üç zemin sınıfı için de en yüksek  $\mu_{\delta h}$  değeri ikinci katta gözlenmiştir. Aslında birinci katta maksimum görelî kat ötelenmesi taleplerinin diğer katlara göre daha fazla olduğu söylenebilir ancak ilk kat yüksekliği 350cm ve diğer katların yüksekliği 300cm’dir. Bu sebeple, görelî kat ötelenmesi talebinin kat yüksekliğine bölünmesi ile hesaplanan görelî kat ötelenmesi oranı talebi, birinci katta, ikinci kata göre daha düşük olmaktadır. Farklı ivme setleri için elde edilen görelî ötelenme oranı taleplerinin farklı olmakla beraber birbirine yakın olduğu dikkat çekmektedir.  $\mu_{\delta h}$  değerinin en fazla olduğu ikinci katta, Z1 için %0.77-%0.86, Z2 için %0.96-%1.21 ve Z3 için %1.39-%1.61 arasında değişen talepler elde edilmiştir. En alt katta  $\mu_{\delta h}$  değeri ise Z1

için %0.64-%0.74, Z2 için %0.83-%1.11 ve Z3 için %1.26-%1.47 arasında değişmektedir. Zemin sınıfının Z1'den Z3'e değişmesiyle ötelenme oranı taleplerinde artış, 5 katlı çerçeve için de gözlenmektedir. 5 katlı çerçevede en yüksek  $\mu_{\delta/h}$  değeri Z3 sınıfı zemin için ikinci katta %1.61 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 5.29:** 5 katlı çerçevede görel kat ötelenmesi oranı talebinin değişimi

Tablo 5.13'te 7 katlı düzlem çerçevede, setler için görel kat ötelenmesi taleplerine ( $\delta_{mak}$ ) ait ortalama ve standart sapma değerleri (birimi cm) verilmiştir. Tablo 5.13 incelendiğinde, 7 katlı düzlem çerçevede, en yüksek görel kat ötelenmesi taleplerinin ikinci ve üçüncü katta hesaplandığını söylemek mümkündür. Yüksek görel ötelenme taleplerinin gözlemlendiği katlardan birisi de dördüncü kattır. İkinci katta Z1 sınıfı zemin için 1.93cm ile 2.11cm, Z2 sınıfı zemin için 2.52cm ile 3.49cm ve Z3 sınıfı zemin için 3.20cm ile 3.77cm arasında değişen ortalama taleplerin hesaplandığı görülmektedir. Üçüncü katta ise Z1 sınıfı zemin için 1.94cm ile 2.26cm, Z2 sınıfı zemin için 2.69cm ile 3.44cm ve Z3 sınıfı zemin için 3.44cm ile 3.80cm arasında değişen ortalama talepler hesaplanmıştır. Üst katlarda, görel kat ötelenmesi talepleri azalmaktadır.

Tablo 5.14'te 7 katlı düzlem çerçevede, setler için görel kat ötelenmesi oranı taleplerine ( $\delta_{mak}/h$ ) ait ortalama ve standart sapma değerleri (birimi cm) verilmiştir.

**Tablo 5.13:** 7 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan  $\mu_\delta$  ve  $s_\delta$  değerleri

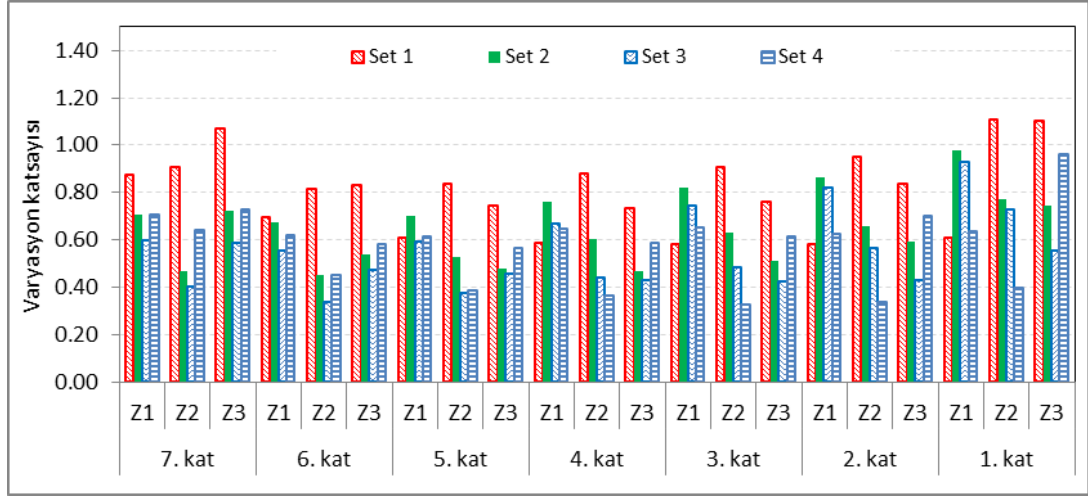
Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_\delta$	$s_\delta$	$\mu_\delta$	$s_\delta$	$\mu_\delta$	$s_\delta$
7	Set 1	0.71	0.62	1.06	0.96	1.14	1.23
	Set 2	0.63	0.45	0.84	0.39	1.15	0.83
	Set 3	0.63	0.38	0.85	0.35	1.18	0.70
	Set 4	0.78	0.55	0.81	0.52	0.90	0.66
6	Set 1	1.17	0.81	1.71	1.39	1.79	1.50
	Set 2	1.09	0.73	1.48	0.67	1.94	1.05
	Set 3	1.11	0.62	1.48	0.50	1.97	0.94
	Set 4	1.37	0.85	1.41	0.64	1.53	0.89
5	Set 1	1.52	0.93	2.44	2.03	2.64	1.97
	Set 2	1.60	1.12	2.08	1.09	2.75	1.31
	Set 3	1.62	0.97	2.18	0.82	2.77	1.26
	Set 4	1.89	1.16	1.98	0.76	2.33	1.33
4	Set 1	1.71	1.01	3.04	2.67	3.35	2.46
	Set 2	2.00	1.52	2.48	1.49	3.24	1.52
	Set 3	2.01	1.34	2.65	1.17	3.38	1.45
	Set 4	2.15	1.40	2.44	0.89	3.01	1.78
3	Set 1	1.94	1.13	3.44	3.13	3.80	2.90
	Set 2	2.15	1.77	2.71	1.72	3.44	1.76
	Set 3	2.13	1.59	2.88	1.40	3.65	1.55
	Set 4	2.26	1.48	2.69	0.88	3.45	2.12
2	Set 1	1.93	1.12	3.49	3.33	3.77	3.16
	Set 2	2.04	1.75	2.68	1.76	3.20	1.89
	Set 3	1.96	1.61	2.73	1.54	3.46	1.48
	Set 4	2.11	1.32	2.52	0.85	3.32	2.33
1	Set 1	1.52	0.93	3.22	3.57	3.24	3.57
	Set 2	1.68	1.64	2.24	1.73	2.60	1.94
	Set 3	1.63	1.51	2.22	1.62	2.72	1.51
	Set 4	1.65	1.06	1.89	0.75	2.72	2.62

Şekil 5.30'da, 7 katlı düzlem çerçevede, setteki ivme kayıtları için hesaplanan maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\delta_{mak}/h$ ) dikkate alınarak her bir set için hesaplanan varyasyon katsayısı değerlerinin değişimi grafik olarak verilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi varyasyon katsayılarının değerleri zemin sınıfı ya da kat numarasından bağımsız olarak rastgele olarak dağılmaktadır. 7 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, varyasyon katsayısı değerleri 7.katta 0.406-1.073 arasında, 6.katta 0.337-0.835 arasında ve 5.katta 0.376-0.835 arasında değişmektedir. 4.katta 0.367-0.879, 3.katta 0.329-0.909, 2.katta 0.336-0.954 ve 1.katta 0.399-1.107 arasında değişen varyasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

**Tablo 5.14:** 7 katlı düzlem çerçevede farklı setler için hesaplanan  $\mu_{\delta h}$  ve  $s_{\delta h}$  değerleri

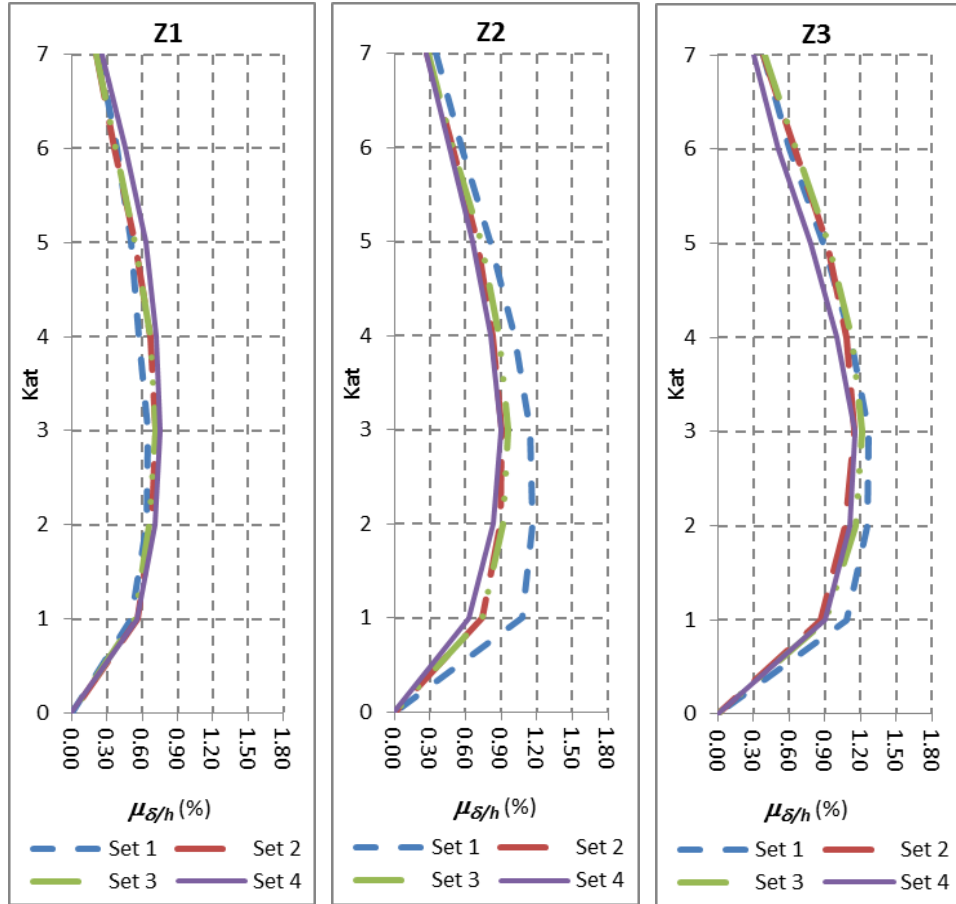
Kat	İvme setleri	Z1		Z2		Z3	
		$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$	$\mu_{\delta h}$	$s_{\delta h}$
7	Set 1	0.0024	0.0021	0.0035	0.0032	0.0038	0.0041
	Set 2	0.0021	0.0015	0.0028	0.0013	0.0038	0.0028
	Set 3	0.0021	0.0013	0.0028	0.0012	0.0039	0.0023
	Set 4	0.0026	0.0018	0.0027	0.0017	0.0030	0.0022
6	Set 1	0.0039	0.0027	0.0057	0.0046	0.0060	0.0050
	Set 2	0.0036	0.0024	0.0049	0.0022	0.0065	0.0035
	Set 3	0.0037	0.0021	0.0049	0.0017	0.0066	0.0031
	Set 4	0.0046	0.0028	0.0047	0.0021	0.0051	0.0030
5	Set 1	0.0051	0.0031	0.0081	0.0068	0.0088	0.0066
	Set 2	0.0053	0.0037	0.0069	0.0036	0.0092	0.0044
	Set 3	0.0054	0.0032	0.0073	0.0027	0.0092	0.0042
	Set 4	0.0063	0.0039	0.0066	0.0025	0.0078	0.0044
4	Set 1	0.0057	0.0034	0.0101	0.0089	0.0112	0.0082
	Set 2	0.0067	0.0051	0.0083	0.0050	0.0108	0.0051
	Set 3	0.0067	0.0045	0.0088	0.0039	0.0113	0.0048
	Set 4	0.0072	0.0047	0.0081	0.0030	0.0100	0.0059
3	Set 1	0.0065	0.0038	0.0115	0.0104	0.0127	0.0097
	Set 2	0.0072	0.0059	0.0090	0.0057	0.0115	0.0059
	Set 3	0.0071	0.0053	0.0096	0.0047	0.0122	0.0052
	Set 4	0.0075	0.0049	0.0090	0.0029	0.0115	0.0071
2	Set 1	0.0064	0.0037	0.0116	0.0111	0.0126	0.0105
	Set 2	0.0068	0.0058	0.0089	0.0059	0.0107	0.0063
	Set 3	0.0065	0.0054	0.0091	0.0051	0.0115	0.0049
	Set 4	0.0070	0.0044	0.0084	0.0028	0.0111	0.0078
1	Set 1	0.0043	0.0026	0.0092	0.0102	0.0092	0.0102
	Set 2	0.0048	0.0047	0.0064	0.0049	0.0074	0.0055
	Set 3	0.0047	0.0043	0.0063	0.0046	0.0078	0.0043
	Set 4	0.0047	0.0030	0.0054	0.0022	0.0078	0.0075

Şekil 5.31’de, 7 katlı çerçevede Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için ( $\mu_{\delta h}$ ) değerlerinin farklı ivme setleri için değişimi grafik olarak verilmiştir. Üç zemin sınıfı için de, en yüksek  $\mu_{\delta h}$  değeri ikinci ve üçüncü katta görülmektedir. İkinci ve üçüncü kattan sonraki en büyük talep ise tüm zemin sınıfları ve ivme setleri için dördüncü kattadır. İvme setlerinden elde edilen  $\mu_{\delta h}$  değerleri ikinci katta, Z1 için %0.64-%0.70, Z2 için %0.84-%1.16 ve Z3 için %1.07-%1.26 arasındadır. Üçüncü katta, Z1 için %0.65-%0.75, Z2 için %0.90-%1.15 ve Z3 için %1.15-%1.27 arasında talepler elde edilmiştir. Dördüncü katta ise  $\mu_{\delta h}$  değerleri, Z1 için %0.57-%0.72, Z2 için %0.81-%1.01 ve Z3 için %1.00-%1.13 arasındadır.



**Şekil 5.30:** 7 katlı düzlem çerçevede maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerine ait varyasyon katsayıları

Düzlem çerçeve sistemler için bu bölümde sunulan analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi, ortalama ötelenme ve görel ötelenme talepleri, kullanılan ivme setine göre farklılık göstermektedir. Bu durum tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



**Şekil 5.31:** 7 katlı çerçevede görel kat ötelenmesi oranı talebinin değişimi

Tez çalışmasında, TSD sistemlerde olduğu gibi düzlem çerçeveler için de farklı ivme setleri için elde edilen talepler arasındaki farklılık varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Varyans analizi ile ilgili bilgiler ve analiz sonuçları Bölüm 6'da verilmiştir.

## 6. VARYANS ANALİZİ

### 6.1 Giriş

Tez çalışması için dikkate alınan TSD ve düzlem çerçeve sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri ile elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir. Periyot, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modeli dikkate alınarak oluşturulan 135 farklı TSD için, maksimum ötelenme talepleri elde edilmiştir. 3, 5 ve 7 katlı düzlem çerçeveler için de maksimum ötelenme (tepe ötelenmesi), maksimum ötelenme oranı, maksimum görelî kat ötelenmesi ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri elde edilmiştir. İvme setlerinin her birinde yedi ivme kaydı bulunmaktadır. Sette en az yedi kayıt bulunması durumunda, Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarım ya da değerlendirme için ivme seti içerisinde bulunan kayıtlardan elde edilen taleplerin ortalaması kullanılmaktadır. Yani set için hesaplanan ortalama talep dikkate alınmaktadır. Bu sebeple her bir ivme seti için, sette bulunan kayıtlardan elde edilen talepler kullanılarak her bir set için taleplerin ortalaması hesaplanmıştır. Ayrıca kayıtlardan elde edilen taleplerin ortalama etrafındaki saçılımının ölçüsü olarak standart sapma değeri de hesaplanmış ve bu değerler Bölüm 5'te verilmiştir.

Tez çalışmasında, analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla her bir zemin sınıfı için dört farklı ivme seti (birbirinden farklı ivme kayıtlarından oluşan) kullanılmıştır. Bölüm 5'te sunulan analiz sonuçları, herhangi bir yapısal model için dikkate alınan zemin sınıfı ile uyumlu ancak birbirinden farklı ivme setleri kullanıldığında, her bir set için farklı ötelenme taleplerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Hem TSD sistemler hem de düzlem çerçeveler için bu durum geçerlidir.

Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde aynı zemin sınıfı için daha fazla sayıda ve birbirinden farklı ivme seti elde etmek de mümkündür. Kullanılan sete bağılı olarak hesaplanacak ötelenme talepleri de deprem yer hareketinin doğası gereği farklılık gösterecektir. O halde, tasarım ya da performans değerlendirmesi için kullanılacak taleplerin, yani set için hesaplanan ortalama taleplerin, kullanılan ivme



setine göre farklılık gösteren ve daha önceden bilinemeyen rastgele bir değişken olduğunu söylemek mümkündür.

Farklı ivme setlerinden elde edilen sonuçların birbirine ne kadar yakın ya da uzak olduğunu, ivme setlerine ait sonuçların farklılığının ne düzeyde olduğunu değerlendirebilmek amacı ile çeşitli yöntemler ve/veya parametreler kullanılabilir. Bu çalışmada, farklı ivme setleri için elde edilen talepler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sürekli değişkenlere uygulanabilen ve Fisher tarafından geliştirilen varyans analizi Gamst ve diğ. (2008) kullanılmıştır. Varyans analizi, iki ya da daha fazla gruba ait ortalamaların karşılaştırılması ve grup ortalamaları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı ile ilgili hipotezlerin test edilmesi için kullanılmaktadır. Her bir set için elde edilen ötelenme talepleri, varyans analizinde dikkate alınan bir grup olacaktır.

Çalışma kapsamında, TSD sistemlerde ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme taleplerinin setler için hesaplanan ortalamalarının ( $\mu_A$ ) incelendiği tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi yapılmıştır. Betonarme çerçeve sistemlerde ise maksimum ötelenme oranı ve maksimum görel kat ötelenmesi oranlarının setler için hesaplanan ortalamalarını ( $\mu_{NH}$  ve  $\mu_{Sh}$ ) değerlendirmek amacıyla tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi yapılmıştır.

## 6.2 Varyans Analizinde Dikkate Alınması Gerekli Hususlar

Varyans analizi, gözlemlerin yani analiz sonucu elde edilen ötelenme taleplerinin, normal dağılıma sahip ana kitlelerden (toplum) alınan örneklerden elde edildiği varsayımı altında geçerlidir. Normal dağılımın parametreleri ise ortalama ve standart sapmadır (ya da standart sapmanın karesi olan varyans). Gözlemler ya da analiz sonucu elde edilen veriler normal dağılım gösteriyor ise örneklerin ortalamaları ve varyansları arasında bir ilişki olması beklenmez. Yani normal dağılım koşulu sağlandığında ortalama ve varyansların bağımsızlığı da sağlanmış olur. Hataların da kendi aralarında bağımsız olması gerekir. Eğer, analiz sonuçlarının oluşturduğu örnekler homojen dağılım gösteriyor ise, örnekler arasındaki farklılık (ötelenme taleplerinin farklı setler için hesaplanan farklı değerleri) değişkenin rastgele olması ile açıklanır.

### 6.3 Tek Yönlü Varyans Analizi

Varyans analizine elverişli en basit model, gözlemlerin sadece bir değişkenin sınıklarına göre sınıflara ayrılmış olduğu ve bu sınıflarla ilgili ana kitle ortalamalarının birbirine eşitliğinin test edildiği modeldir. Bu modelde her bir birim 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).

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

Bunun için, önce her ana kitleden  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  mevcutlara sahip  $k$  sayıda örnek rastgele olarak seçilir (veya örneklerin deney ya da analizlerle, sanal bir ana kitleden rastgele olarak seçildiği varsayılır). Daha sonra her örneğin ortalaması,  $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_k$  hesaplanarak her ana kitlenin varyansının bir tahmini yapılır. Bundan sonra ise  $k$  sayıda örneğin varyanslarının ortalaması olan ortalama varyans  $s_0^2$  hesaplanır. Standart hatanın karesinin örnek mevcudu ile çarpılması ile elde edilen varyans ile ortalama varyansın kıyaslanması bize ana kitle ortalamaları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını gösterecektir.

Bu bilgiler, tez çalışmasında elde edilen ötelenme talepleri açısından değerlendirilebilir. Analiz sonuçları yani ötelenme talepleri sadece bir değişkenin (set numarası) sınıklarına göre düzenlenecektir. Elde edilen her bir ötelenme talebi, dört ivme setinden herhangi birine aittir. Herhangi bir yapısal model için dört farklı setten elde edilen analiz sonuçlarının, dört farklı ana kitleden alınan örnekler olduğu varsayılır. O halde hipotez, setlerden elde edilen örneklerin (ötelenme taleplerinin) temsil ettiği ana kitle ortalamalarının eşit olduğu hipotezidir. Hipotez geçerli ise, ana kitle ortalamalarının eşit olduğu yani dört setin aynı ana kitleden seçilmiş örnekler olduğu kabul edilir. Başka bir deyişle, setlerden elde edilen ortalama talepler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucu elde edilmiş olur.

Tablo 6.1'de, tek yönlü varyans analizi için dört kategorili bir model verilmiştir. Tez çalışması ile uyumlu olarak  $k=4$  farklı set ve her bir sette

$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 7$  ivme kaydı kullanıldığı varsayılmıştır. Setlerdeki ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen ötelenme talepleri  $X_{ij}$  ile temsil edilmektedir. Burada  $i$  indisi ivme seti numarasını,  $j$  indisi ise ötelenme talebinin ait olduğu ivme kaydının numarasını göstermektedir.  $T_{1+}$ ,  $T_{2+}$ ,  $T_{3+}$ ,  $T_{4+}$  ile sütunların toplamı yani ilgili sete ait  $X_{ij}$  değerlerinin toplamı,  $T_{++}$  ile sütunların toplamının toplamı ifade edilmektedir. Her bir sütuna ait ortalama ( $\bar{X}_i$ ) ile toplam  $N=28$  veriye ait genel ortalama da ( $\bar{X}$ ) tabloda yer almaktadır.

**Tablo 6.1:** Tek yönlü varyans analizi için dört kategorili model

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	
	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$	$X_{41}$	
	$X_{12}$	$X_{22}$	$X_{32}$	$X_{42}$	
	$X_{13}$	$X_{23}$	$X_{33}$	$X_{43}$	
	$X_{14}$	$X_{24}$	$X_{34}$	$X_{44}$	
	$X_{15}$	$X_{25}$	$X_{35}$	$X_{45}$	
	$X_{16}$	$X_{26}$	$X_{36}$	$X_{46}$	
	$X_{17}$	$X_{27}$	$X_{37}$	$X_{47}$	
Toplam	$T_{1+}$	$T_{2+}$	$T_{3+}$	$T_{4+}$	$T_{++}$
Ortalama	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}$

Burada test edilmek istenen hipotez kategorilerin ortalamaları (setlere ait ortalama talepler) arasında fark olmadığı yani dört farklı setteki taleplerin aynı ortalamaya sahip ana kitlelerden geldiğidir. Bunun için, öncelikle örnekler yani kategoriler içi varyans olarak da adlandırılan  $s_0^2$  elde edilir (Denklem 6.2). Daha sonra, örnekler yani kategoriler arası varyans  $s_M^2$  elde edilir (Denklem 6.3). Denklem 6.2 ifadesinin payı örnek-içi kareler toplamı, paydası ise örnek-içi varyansın serbestlik derecesi olarak tanımlanmaktadır. Denklem 6.3 ifadesinin payı örneklerarası kareler toplamı, paydası ise örneklerarası varyansın serbestlik derecesi olarak ifade edilmektedir.

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

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

Son aşamada,  $s_0^2$  ve  $s_M^2$  değerleri, ortalamalar arasında farkın anlamlı olup olmadığını tespit edebilmek için,  $F$  oranı veya istatistiği (Denklem 6.4) yardımı ile test edilir. Kategori ortalamalarının farklı olduğu durumda  $s_M^2$ ,  $s_0^2$ 'den daha büyük bir değere sahip olmaktadır.  $s_0^2$  rastgele nedenlere bağlı olan değişkenliği,  $s_M^2$  ise ortalama farklarından ileri gelen değişkenliği ölçmektedir. Kategori ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olup olmadığını anlamak için  $s_M^2$  daima Denklem 6.4'teki kesrin payına yerleştirilir.

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

Denklem 6.4 ile elde edilen  $F$  değeri, Ek D'de  $F$  bölünmesi tablosunda ( $k-1$ ) ve  $\sum_{ni} -k$  serbestlik dereceleri ile belirlenen kritik  $F_{kr}$  değerinden büyük ise, sıfır hipotezi reddedilecektir. Yani kategori ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkacaktır. Eğer bulduğumuz  $F$  değeri  $F_{kr}$  değerinin altında kalıyor ise, bu durumda sıfır hipotezi kabul edilecektir. Yani kategori ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı kabul edilecektir.

Denklem 6.2 ve Denklem 6.3 ile verilen ifadelerinin paylarının toplanması ile genel kareler toplamı elde edilmiş olur. Genel kareler toplamı  $N-1$  serbestlik derecesine bölüldüğü zaman ise genel kareler toplamının varyansı elde edilmektedir. Tablo 6.2'de genel kareler toplamının iki kısım halinde belirtilmesi gösterilmiştir.

**Tablo 6.2:** Tek değişkenli modellerde varyans analizi

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

Tek yönlü varyans analizinin uygulanmasına örnek olarak EMP çevrimsel davranışına sahip, periyodu  $T=0.40s$  ve yatay dayanım oranı  $F_y/W=0.10$  olan TSD

sistem için elde edilen maksimum ötelenme talepleri (cm) kullanılmıştır. Analiz sonuçları Z1 sınıfı zemin için elde edilen ivme setlerindeki kayıtlar kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 6.3'te verilen ve dört farklı setteki ivme kayıtları için elde edilen ötelenme taleplerini (birimi cm) kullanarak, dört farklı sete ait ortalamalar hesaplanacak ve setlerin ortalamaları arasındaki farkın %5 hata payı ile anlamlı olup olmadığını araştırılacaktır. Bu sorunun cevabını araştırmak için kurulan hipotez Denklem 6.5 ile verilmiştir.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \quad (6.5)$$

**Tablo 6.3:** Örnek tek yönlü varyans analizi verileri

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	
	2.43	1.10	5.70	9.90	
	9.08	1.10	10.20	7.80	
	14.11	3.30	3.30	14.30	
	3.42	7.50	6.60	2.00	
	2.01	8.20	5.80	7.40	
	2.49	7.50	4.50	0.90	
	2.38	10.70	1.60	4.80	
Toplam	35.92	39.40	37.70	47.10	160.12
Ortalama	5.13	5.63	5.39	6.73	5.72

Tablo 6.3'te verilen değerleri kullanarak, örneklerarası ve örnekiçi kareler toplamı ve bunlara ait varyans değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan değerlere ait  $F$  oranı ile  $F_{kr}$  karşılaştırılarak hipotez kontrol edilmiştir. Hesaplar, Tablo 6.4'te verilmiştir.

**Tablo 6.4:** Örnek tek yönlü varyans analizi

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Varyans
Örneklerarası	10.39	3	3.46
Örnek-içi	389.92	24	16.25
Genel	400.31	27	

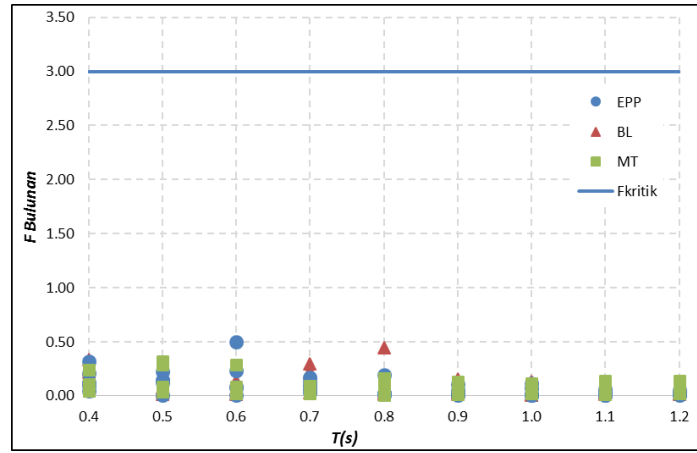
Tablo 6.4'te verilen varyans değerlerine bağlı olarak  $F=0.213$  bulunur. Örneklerarası ve örnek için varyanslara ait serbestlik dereceleri (sırasıyla 3 ve 24) ve %5 hata payı dikkate alınarak Ek D'de sunulan  $F$  dağılımı tablosundan  $F_{kr}=3.01$  olarak okunur.  $F$  değeri  $F_{kr}$  değerinden küçük olduğundan Denklem 6.5 ile verilen

sıfır hipotezi kabul edilir. Yani set ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmadığı kabul edilir.

### 6.3.1 TSD Sistemlerde Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları

Tez çalışmasında, üç farklı zemin sınıfı için (Z1, Z2 ve Z3) ivme setleri elde edilmiştir. Her bir zemin sınıfı için dört set elde edilmiştir ve her sette yedi ivme kaydı bulunmaktadır. Periyot, çevrimsel davranış modeli ve yatay dayanım oranı açısından da birbirinden farklı 135 TSD sistem modeli bulunmaktadır. Her bir zemin sınıfı için, 135 modelin her biri ayrı ayrı dikkate alınarak tek yönlü varyans analizi ile set ortalamaları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır.

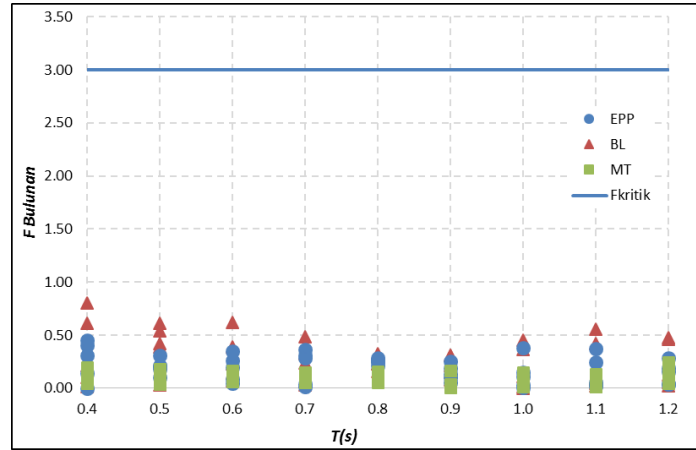
TSD sistemler için ivme setleri kullanılarak elde edilen maksimum ötelenme taleplerini dikkate alan varyans analizi sonuçları, Z1, Z2 ve Z3 zemin sınıfları için sırası ile Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekillerin oluşturulmasında kullanılan analiz sonuçları ise Ek D'de verilmiştir. Tüm zemin sınıfları için dört set bulunduğu ve setlerin her birinde yedi ivme kaydı bulunduğu gözönüne alınırsa, karşılaştırma için kullanılacak  $F_{kr}$  değerlerinin aynı olacağı görülebilir.



Şekil 6.1: TSD sistemlerde setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri için varyans analizi sonuçları (Z1)

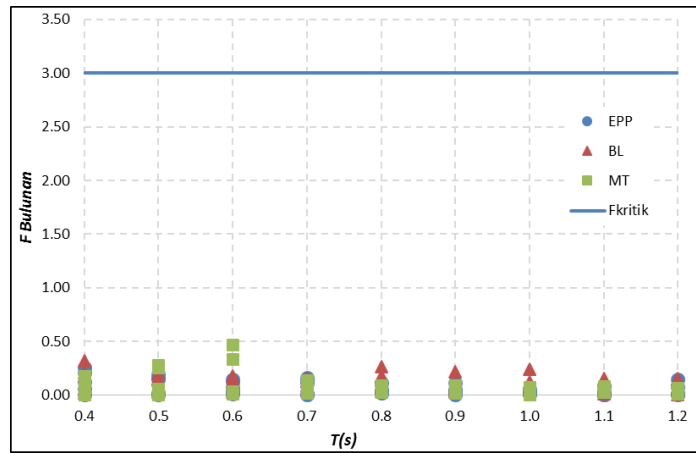
Şekil 6.1'de, 135 TSD sistemin her biri için hesaplanan  $F$  ve  $F_{kr}$  değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi  $F_{kr}=3.01$  iken, tüm  $F$  değerleri 0.50'in altındadır. Dolayısıyla, %5 hata payı ile, Z1 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen setler için hesaplanan ortalama taleplerin arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ve bunun tüm TSD sistemler için geçerli olduğunu söyleyebiliriz.

Benzer durum Z2 sınıfı zeminlere ait ivme setlerinden elde edilen ötelenme talepleri kullanılarak yapılan hesaplar için de geçerlidir. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi hesaplanan tüm  $F$  değerleri 1.0’in altındadır.  $F_{kr}$  değeri ile kıyaslama yapıldığında, setlerin ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezinin, Z2 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen ivme setleri için de geçerli olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2: TSD sistemlerde setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri için varyans analizi sonuçları (Z2)

Şekil 6.3’te, Z3 sınıfı zeminlere ait ivme setlerinden elde edilen taleplere ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi  $F_{kr}=3.01$  iken,  $F$  değerleri 0.50’in altındadır. Dolayısıyla, %5 hata payı ile, setler arasındaki ortalamaların arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ve bunun diğer zemin sınıflarında olduğu gibi tüm TSD sistemler için geçerli olduğunu söyleyebiliriz.

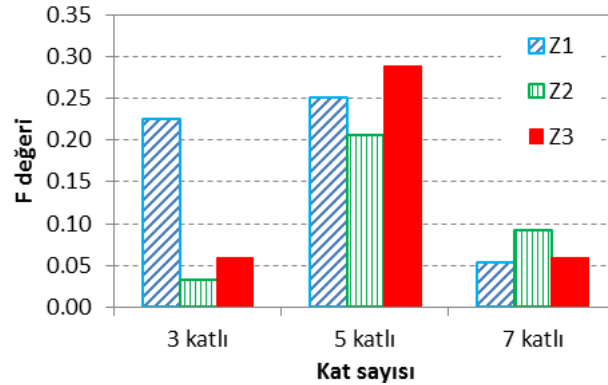


Şekil 6.3: TSD sistemlerde setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri için varyans analizi sonuçları (Z3)

### 6.3.2 Düzlem Çerçevelerde Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları

Tek yönlü varyans analizi düzlem çerçeve sistemlere ait analiz sonuçları için de yapılmıştır. 3, 5 ve 7 katlı betonarme çerçevelerin maksimum ötelenme oranı ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri dikkate alınarak ayrı ayrı varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları Ek E’de tablo olarak verilmiştir.

Şekil 6.4’te, düzlem çerçevelerde, ivme setleri için elde edilen  $\mu_{\Delta/H}$  değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını araştırmak hesaplanan  $F$  değerleri verilmiştir. Örneklerarası ve örnek için varyanslara ait serbestlik dereceleri sırası ile 3 ve 24 olduğundan, %5 anlamlılık düzeyi için  $F_{kr}=3.01$ ’dir. Görüldüğü gibi tüm düzlem çerçeveler ve zemin sınıfları için  $F$  değeri,  $F_{kr}$  değerinin oldukça altındadır. Buna göre, düzlem çerçeve sistemler için farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen  $\mu_{\Delta}$  değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezi kabul edilir. Hipotez dikkate alınan tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



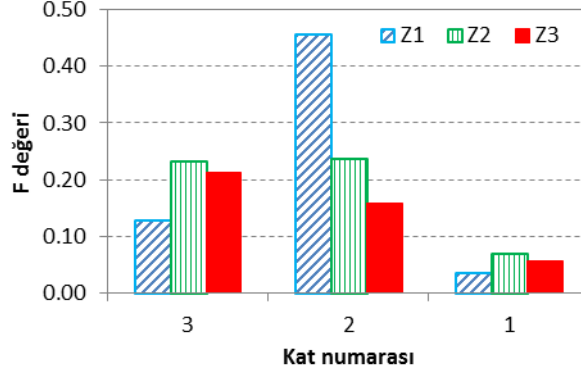
**Şekil 6.4:** Düzlem çerçevelerde setlere ait  $\mu_{\Delta/H}$  değerleri için varyans analizi sonuçları

Düzlem çerçevelerde, her bir katta ivme kayıtları için elde edilen maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin setler için hesaplanan ortalamaları ( $\mu_{\delta/h}$ ) arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını kontrolü için de tek yönlü varyans analizi sonuçları elde edilmiştir.

Şekil 6.5’te, 3 katlı düzlem çerçevede, ivme setleri için elde edilen  $\mu_{\delta/h}$  değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını araştırmak hesaplanan  $F$  değerleri verilmiştir. %5 anlamlılık düzeyi için  $F_{kr}=3.01$ ’dir. Görüldüğü gibi tüm düzlem çerçeveler ve zemin sınıfları için maksimum  $F$  değeri bile 0.50’nin altındadır. Buna

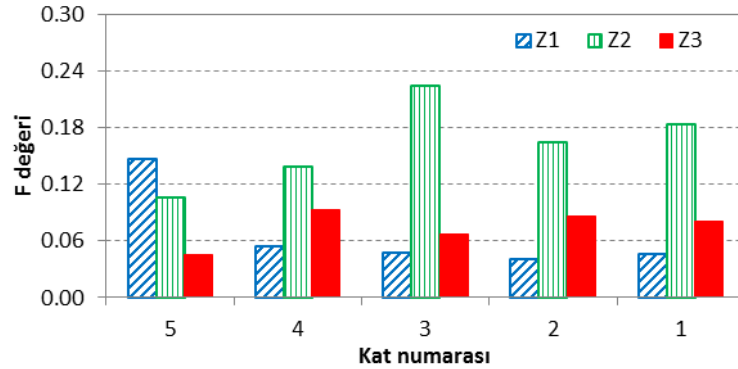


göre, 3 katlı düzlem çerçeve için farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen  $\mu_{\delta h}$  değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezi kabul edilir. Hipotez dikkate alınan tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



**Şekil 6.5:** 3 katlı çerçevede setlere ait  $\mu_{\delta h}$  değerleri için varyans analizi sonuçları

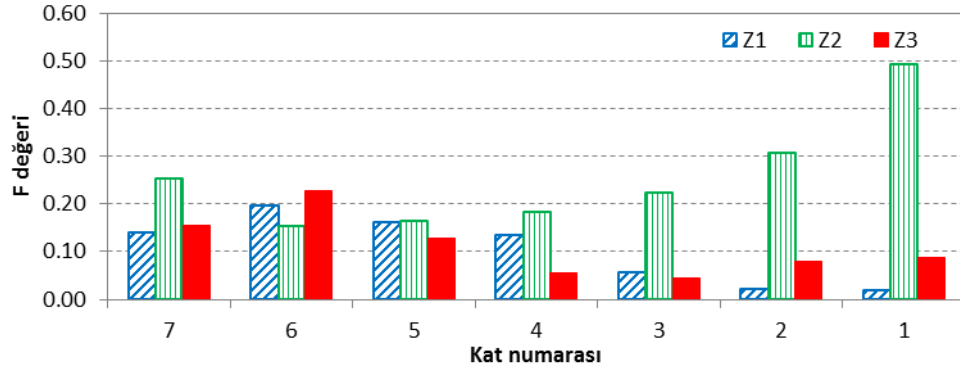
Şekil 6.6'da, 5 katlı düzlem çerçevede, ivme setleri için elde edilen  $\mu_{\delta h}$  değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını araştırmak hesaplanan  $F$  değerleri verilmiştir. %5 anlamlılık düzeyi için  $F_{kr}=3.01$ 'dir. Görüldüğü gibi tüm düzlem çerçeveler ve zemin sınıfları için  $F$  değeri,  $F_{kr}$  değerinin oldukça altındadır. Buna göre, 5 katlı düzlem çerçeve için farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen  $\mu_{\delta h}$  değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezi kabul edilir. Hipotez dikkate alınan tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



**Şekil 6.6:** 5 katlı çerçevede setlere ait  $\mu_{\delta h}$  değerleri için varyans analizi sonuçları

Şekil 6.7'de, 7 katlı düzlem çerçevede, ivme setleri için elde edilen  $\mu_{\delta h}$  değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını araştırmak hesaplanan  $F$  değerleri verilmiştir. %5 anlamlılık düzeyi için  $F_{kr}=3.01$ 'dir. Görüldüğü gibi tüm düzlem çerçeveler ve zemin sınıfları için  $F$  değeri,  $F_{kr}$  değerinin oldukça altındadır. Buna göre, 7 katlı düzlem çerçeve için farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen  $\mu_{\delta h}$

değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezi kabul edilir. Hipotez dikkate alınan tüm zemin sınıfları için geçerlidir.



Şekil 6.7: 7 katlı çerçevede setlere ait  $\mu_{\delta h}$  değerleri için varyans analizi sonuçları

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olacak şekilde oluşturulmuş farklı ivme kaydı setleri kullanılarak yapılacak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz neticesinde elde edilecek ötelenme taleplerinin dağılımını değerlendirmek ve ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını araştırmaktadır. Bu amaçla, farklı özelliklere sahip tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerin ve düzlem çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve bu sistemler için ötelenme talepleri elde edilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için kullanılan ivme kaydı setleri, birinci derece deprem bölgesinde bulunan ve bina önem katsayısı  $I=1$  olan binalar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi temsil eden tasarım ivme spektrumları (hedef spektrum) ile uyumlu olacak şekilde elde edilmiştir. Yerel zemin sınıfları Z1, Z2 ve Z3 için tanımlanmış hedef spektrumlar ayrı ayrı dikkate alınmış ve her bir zemin sınıfı için dört farklı ivme kaydı seti elde edilmiştir. Analizlerde toplam 12 ivme kaydı seti kullanılmıştır. Her bir ivme kaydı setinde 7 ivme kaydı bulunmaktadır.

Tez çalışmasında dikkate alınan TSD sistemlerin doğal titreşim periyodu ( $T$ ) 0.4s-1.2s arasında (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2) ve yatay dayanım oranı ( $F_y/W$ ) 0.10-0.50 arasında (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) değişmektedir. TSD sistemlerin doğrusal olmayan davranışı için üç farklı çevrimsel model dikkate alınmıştır: Elastik-Mükemmel Plastik (EMP) model, Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) model ve Modifiye Takeda (MT) modeli. Periyot, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modelleri dikkate alındığında, tez çalışmasında birbiri ile aynı olmayan 135 adet TSD sistem kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan analizler için kullanılacak düzlem çerçeveler 3, 5 ve 7 katlı betonarme çerçeve sistemleridir. Düzlem çerçeveler, planda her iki doğrultuda 450cm uzunluğa sahip dört açıklıktan oluşan 3 boyutlu yapıların orta aksı üzerinde yer alan kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. 3 boyutlu yapıların zemin katı 350cm,

normal katları 300cm yüksekliğe sahiptir. Öncelikle, Deprem Yönetmeliği koşulları da dikkate alınarak bu yapılar tasarlanmış ve eleman enkesit boyutları ve donatı düzenleri belirlenmiştir. 3 boyutlu yapılar tasarlandıktan sonra orta aks üzerinde bulunan elemanlardan oluşan düzlem çerçevenin, eleman ve yükleri ile beraber doğrusal olmayan analiz modeli hazırlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelinin hazırlanmasında Deprem Yönetmeliği'nde yer alan modelleme kuralları dikkate alınmıştır.

İstatistiksel değerlendirme amacıyla iki çalışma yapılmıştır. İlk olarak, ivme setinde yer alan kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin, set için hesaplanan ortalama ötelenme talebi etrafındaki saçılımı değerlendirilmiştir. İkinci olarak, ivme kaydı setleri kullanılarak elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Test için tek yönlü ve çok gözlemlili varyans analizi kullanılmıştır.

TSD sistemlerde, bir sette bulunan ivme kayıtlarından elde edilen maksimum yatay ötelenme talepleri ( $\Delta_{mak}$ ) kullanılarak, bu taleplerin set için hesaplanan ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta}$ ) istatistiksel değerlendirme çalışmaları için dikkate alınmıştır.

Düzlem çerçeve sistemlerde, öncelikle, bir sette bulunan ivme kayıtları için maksimum yatay ötelenme ( $\Delta_{mak}$ ), maksimum yatay ötelenme oranı ( $\Delta_{mak}/H$ ), maksimum görel kat ötelenmesi ( $\delta_{mak}$ ) ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) talepleri hesaplanmıştır. Bu talepler kullanılarak, her bir set için maksimum yatay ötelenme taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\Delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta}$ ) ile maksimum yatay ötelenme oranı taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\Delta H}$ ) ve standart sapması ( $s_{\Delta H}$ ) hesaplanmıştır. Ayrıca her bir set için, maksimum görel kat ötelenmesi taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\delta}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta}$ ) ile maksimum görel kat ötelenmesi oranı taleplerinin ortalaması ( $\mu_{\delta h}$ ) ve standart sapması ( $s_{\delta h}$ ) hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirme çalışmaları için maksimum ötelenme oranı ve maksimum görel kat ötelenmesi oranı talepleri ile ilgili olarak her bir set için hesaplanan  $\mu_{\Delta H}$ ,  $s_{\Delta H}$ ,  $\mu_{\delta h}$  ve  $s_{\delta h}$  parametreleri dikkate alınmıştır.

Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda aşağıda maddeler halinde ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- a) TSD sistemler ve düzlem çerçevelerde maksimum yatay ötelenme talebinin periyoda bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Ele alınan tüm zemin sınıfları ve ivme setleri için bu durumun geçerli olduğu görülmüştür. Esas olarak, periyot ile yatay ötelenme talebi arasındaki bu ilişki deprem mühendisliği alanında bilinen bir gerçektir.
- b) TSD sistemler için, ivme setlerinde yer alan kayıtlar kullanılarak elde edilen maksimum ötelenme talepleri ( $\Delta_{mak}$ ) incelendiğinde, dikkat çeken ilk husus herhangi bir set için hesaplanan ortalama ötelenme talebine ( $\mu_{\Delta}$ ) göre ötelenme taleplerine ait standart sapmanın ( $s_{\Delta}$ ) değeridir. İstatistiksel olarak ortalama etrafındaki saçılımın bir ölçüsü, varyasyon katsayısıdır ( $CoV$ ). Tez çalışmasında, her bir set için ötelenme taleplerine ait  $CoV$  değerleri hesaplanmış ve set içindeki kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin ortalama etrafındaki saçılımı değerlendirilmiştir.

TSD sistemlerde, Z1 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen ivme setleri için elde edilen  $CoV$  değerleri, EDP çevrimsel modeli için 0.111-1.100 arasında, EMP ve MT çevrimsel modelleri için sırası ile 0.376-1.020 ve 0.278-1.289 arasında değişmektedir. Z2 sınıfı zeminler dikkate alınarak elde edilen ivme setleri için elde edilen  $CoV$  değerleri ise, EDP, EMP ve MT çevrimsel modelleri için sırası ile 0.104-1.047, 0.111-1.100 ve 0.216-1.213 arasında değişmektedir. Z3 sınıfı zeminler dikkate alındığında  $CoV$  değerlerinin, EDP çevrimsel modeli için 0.279-1.202 arasında, EMP ve MT çevrimsel modelleri için sırası ile 0.278-1.289 ve 0.335-1.164 arasında değiştiği görülmüştür.

Varyasyon katsayısının yüksek değerleri, ivme seti içerisinde yer alan kayıtlardan elde edilen maksimum ötelenme değerlerinin, ortalama etrafındaki saçılımının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum tez çalışmasında ele alınan tüm TSD sistemler, çevrimsel davranış modelleri, zemin sınıfları ve ivme setleri için geçerlidir.

- c) İvme seti içerisinde yer alan kayıtlardan elde edilen ötelenme taleplerinin saçılımının yüksek olması durumu düzlem çerçeveler için de geçerlidir. Düzlem çerçevelerde ötelenme taleplerine ait saçılımın değerlendirilebilmesi için herhangi bir sette yer alan ivme kayıtlarından elde edilen maksimum ötelenme oranı talepleri ( $\Delta_{mak}/H$ ) ve maksimum görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\delta_{mak}/h$ ) kullanılarak o sete ait ortalamalar ( $\mu_{\Delta/H}$  ile  $\mu_{\delta/H}$ ) ve standart sapma değerleri ( $s_{\Delta/H}$  ile  $s_{\delta/H}$ ) hesaplanmıştır. Ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak da setlere ait *CoV* değerleri hesaplanmıştır.

3 katlı çerçevede,  $\Delta_{mak}/H$  dikkate alındığında ivme için setleri için elde edilen *CoV* değerleri, Z1 sınıfı zeminler için 0.538 ile 0.681 arasında, Z2 sınıfı zeminler için 0.371-0.834 arasında ve Z3 sınıfı zeminler için 0.609-1.209 arasında değişmektedir. 5 katlı çerçevede Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için sırası ile 0.603-0.684, 0.391-0.854 ve 0.468-0.717 arasında değişen *CoV* değerleri hesaplanmıştır. 7 katlı çerçevede ise Z1, Z2 ve Z3 sınıfı zeminler için sırası ile 0.628-0.785, 0.366-0.975 ve 0.475-0.844 arasında değişen *CoV* değerleri hesaplanmıştır.  $\Delta_{mak}/H$ , maksimum ötelenme talebinin ( $\Delta_{mak}$ ) çerçeve yüksekliğine bölünmesi ile elde edildiği için, burada ifade edilen *CoV* değerleri maksimum ötelenme talebi için de geçerlidir.

Maksimum görelî kat ötelenmesi oranı taleplerinin ( $\delta_{mak}/h$ ) setler için elde edilen *CoV* değerleri, 3 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, 3.katta 0.376-1.239, 2.katta 0.355-1.181 ve 1.katta 0.599-1.192 arasında değişmektedir. 5 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, *CoV*, 5.katta 0.223-0.654 arasında, 4.katta ise 0.247-0.615 arasında değişmektedir. 3.katta 0.314-0.761, 2.katta 0.390-0.872 ve 1.katta 0.481-1.010 arasında değişen *CoV* değerleri hesaplanmıştır. 7 katlı düzlem çerçeve için tüm zemin sınıfları ve ivme setleri dikkate alındığında, *CoV*, 7.katta 0.406-1.073 arasında, 6.katta 0.337-0.835 arasında ve 5.katta 0.376-0.835 arasında değişmektedir. 4.katta 0.367-0.879, 3.katta 0.329-0.909, 2.katta 0.336-0.954 ve 1.katta 0.399-1.107 arasında değişen *CoV* değerleri

hesaplanmıştır.  $\delta_{mak}/h$ , maksimum görelî kat ötelenmesi talebinin ( $\delta_{mak}$ ) ilgili kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edildiği için, burada ifade edilen  $CoV$  değerleri maksimum görelî kat ötelenmesi talebi için de geçerlidir.

Tüm çerçevelerde, hem  $\Delta_{mak}/H$  hem de  $\delta_{mak}/h$  değerleri için setlere ait varyasyon katsayılarının değerleri zemin sınıfı ya da kat numarasından bağımsız olarak rastgele dağılmaktadır. Yani herhangi bir zemin sınıfı ya da kat için daha yüksek ya da daha düşük varyasyon katsayısı elde edildiği yorumu yapılamamaktadır.

- d) Tez çalışmasının hedeflerinden birisi, TSD sistemler ve düzlem düzlem çerçeve sistemleri için dikkate alınan zemin sınıfı ile uyumlu olan farklı ivme setleri kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarını değerlendirmek ve farklı setler için elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır. Bu amaçla, belirli bir TSD ve düzlem çerçeve için, dikkate alınan zemin sınıfı ile uyumlu dört farklı ivme seti kullanılarak elde edilen ortalama talepler değerlendirilmiştir. İvme setlerinden elde edilen ortalama taleplerin birbirine yakın olmakla birlikte farklı değerler aldığı tespit edilmiştir. İvme setlerinden elde edilen ortalama talepler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının test edilmesi için tek yönlü ve çok gözlemlî varyans analizi yapılmıştır. Setlere ait ortalama talepler arasında fark olmadığı yani dört farklı setteki taleplerin aynı ortalamaya sahip ana kitlelerden geldiği hipotezi test edilmiştir.

Varyans analizi için anlamlılık düzeyi 0.05 alınmıştır. Hipotezin test edilmesi için hem TSD sistemler hem de düzlem çerçeveler için hesaplanan  $F$  oranı, kritik  $F_{kr}$  değerü ile karşılaştırılmıştır.  $F$  oranının  $F_{kr}$  değerinden düşük olması durumunda hipotez yani farklı setlere ait ortalama talepler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı kabul edilmektedir. Tüm analizler için  $F$  oranının karşılaştırılması için kullanılacak kritik değer  $F_{kr}=3.01$  olarak hesaplanmıştır.

TSD sistemlerde dört farklı ivme setinden elde edilen ortalama ötelenme talepleri ( $\mu_{\Delta}$ ) için varyans analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı periyot ve dayanım oranına sahip 45 TSD sistem, 3 farklı çevrimsel davranış modeli

ve 3 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak toplam 405 analiz gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde  $F$  değeri,  $F_{kr}=3.01$  değerinin altında çıkmıştır. 405 analizden elde edilen maksimum  $F$  değeri dahi 1.00'in altındadır. Bu durumda, 0.05 hata payı ile farklı setlerden elde edilen ortalama ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve bunun tüm zemin sınıfları ve tüm TSD sistemler için geçerli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Düzlem çerçevelerde dört farklı ivme setinden elde edilen ortalama ötelenme oranı talepleri ( $\mu_{\Delta H}$ ) için varyans analizleri gerçekleştirilmiştir. 3 farklı düzlem çerçeve ve 3 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak toplam 9 analiz gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde  $F$  değeri,  $F_{kr}=3.01$  değerinin altında çıkmıştır. 9 analizden elde edilen maksimum  $F$  değeri dahi 0.30'un altındadır. Bu durumda, 0.05 hata payı ile farklı setlerden elde edilen ortalama ötelenme oranı talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve bunun tüm zemin sınıfları ve tüm düzlem çerçeveler için geçerli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Düzlem çerçevelerde dört farklı ivme setinden elde edilen ortalama görelî kat ötelenmesi oranı talepleri ( $\mu_{\delta/h}$ ) için de varyans analizleri gerçekleştirilmiştir. 3 farklı düzlem çerçevenin her bir katı ve 3 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak toplam 45 analiz gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde  $F$  değeri,  $F_{kr}=3.01$  değerinin altında çıkmıştır. 45 analizden elde edilen maksimum  $F$  değeri dahi 0.50'nin altındadır. Bu durumda, 0.05 hata payı ile farklı setlerden elde edilen ortalama görelî kat ötelenmesi oranı talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve bunun tüm zemin sınıfları ve tüm düzlem çerçeveler için geçerli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, Deprem Yönetmeliği ile uyumlu olmak koşulu ile elde edilecek farklı ivme setlerinden elde edilen ötelenme talepleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı hipotezinin 0.05 anlamlılık düzeyi ile geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, çalışmada



dikkate alınan tüm TSD sistemler ve düzlem çerçeveler için geçerlidir ve yine dikkate alınan zemin sınıflarından bağımsızdır.

Çalışmada elde edilen sonuçların desteklenmesi ve/veya daha geniş bir ölçüde değerlendirilmesi amacı ile aşağıda yer alan çalışmaların da yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

- a) İvme kaydı setinde yer alan kayıtların sayısının kayıtlardan elde edilen taleplerin ortalama etrafındaki saçılım üzerindeki etkisi değerlendirilebilir. Bu amaçla, set içerisinde yer alan ivme kaydı sayısının 15, 30 gibi değerleri için yapılacak çalışmalar istatistiksel olarak daha fazla bilgi edinilmesine katkı sağlayacaktır. İvme kaydı sayısının artırılması, istatistiksel olarak daha fazla veriye sahip büyük örnekler elde edilmesine de olanak sağlayacaktır.
- b) Bu çalışmada, her bir zemin sınıfı ile uyumlu olacak şekilde dört farklı ivme seti kullanılmıştır. Daha fazla sayıda ivme seti kullanılması da istatistiksel değerlendirme amacı ile yapılacak çalışmalar için faydalı olacaktır.
- c) Farklı periyot, yatay dayanım oranı ve çevrimsel davranış modelleri dikkate alınarak benzer çalışmalar yapılabilir. Özellikle daha yüksek periyotlu sistemlerin dikkate alınması da bu konudaki çalışmalara katkı sağlayacaktır.
- d) Üç boyutlu yapılar dikkate alınarak yapılacak benzer çalışmalar da bu konudaki literatüre katkı sağlayacaktır.
- e) Yönetmelik kriterleri ile uyumlu olmak koşulu ile ölçekli ve ölçeksiz ivme kaydı setleri kullanılarak, elde edilecek sonuçların karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi, başka bir çalışmanın konusu olabilir.

## 8. KAYNAKLAR

ABYYHY-1975. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (1975).

ABYYHY-1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (1998).

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

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

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

Bakioğlu M., Cisimlerin Mukavemeti, Beta Basım, İstanbul, (2001).

Bazzurro, P. ve Luco, N., “Accounting for uncertainty and correlation in earthquake loss estimation”, Proceedings of the 9th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR), Rome, Italy, (2005).

Bertero, V.V. ve Teran, G.A., “ Use Of Energy Concepts In Earthquake-Resistant Analysis And Design:Issues And Future Directions”, Advances In Earthquake Engineering Practise, Short Course In Structural Engineering, Architectural And Economic Issues, Universty Of California, Berkeley, (1994).

Beyer, K. ve Bommer, J., “Selection and scaling of real accelerograms for bi-axial loading” Journal of Earthquake Engineering, 11, 13-45, (2007).

Bommer, J.J. ve Acevedo, A.B., “The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis”, Journal of Earthquake Engineering, Special Issue, 8(1):43–91, (2004).

Bommer, J.J. ve Ruggeri, C., “The specification of acceleration time-histories in seismic codes”, Euro Earthquake Engineering, 16, 3-16, (2002).

Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T. (eds), Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeleri, Odtü Geliştirme Vakfı, (2008).

Celep, Z. ve Kumbasar, N., Deprem mühendisliğine giriş, Beta Dağıtım, İstanbul, (2004).

Celep, Z., Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, (2008).

Chopra, A.K., Dynamics of structures, Prentice Hall, N.J., Pp: 729, (1995).

D'Ambrisi, A. ve Mezzi, M., "A probabilistic approach for estimating the seismic response of EP SDOF systems", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 34, 1737-1753, (2005).

DBYBHY-2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, (2007).

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", İMO Teknik Dergi, 4423-4444, (2008).

Fahjan, M.Y., Vatansever, S. ve Özdemir, Z., "Ölçeklenmiş gerçek deprem kayıtları ile yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı, Ankara, (2011).

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

FEMA 440. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, (2005).

Gamst, G., Meyers L. S. ve 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).

García, R.J. ve Miranda, E., "Residual displacement ratios for assessment of existing structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 315-336, (2006).

García, R.J. ve Miranda, E., "Probabilistic estimation of maximum inelastic displacement demands for performance-based design", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 9, 1235-1254, (2007).

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

GB. Code for seismic design of buildings, 50011- 2001, Architecture and Building Press, Beijing, China, (2001).

Ghabarah, A., “Performance-based design in earthquake engineering”, *State of Development Engineering Structures*, Vol (23), 878-884, (2001).

Ghaffarzadeh, H., Talebian, N. ve Kohandel, R., “Seismic demand evaluation of medium ductility RC moment frames using nonlinear procedures”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 12, 399-409, (2013).

Gupta, A. ve Krawinkler, H., “Estimation of seismic drift demands for frame structures”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 1287-1305, (2000).

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

Hatzigeorgiou, G.D. ve Liolios, A.A., “Nonlinear behaviour of RC frames under repeated strong ground motions”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1010-1025, (2010).

Iervolino, I., Maddaloni, G. ve Cosenza, E., “Eurocode 8 compliant real record sets for seismic analysis of structures”, *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 54-90, (2008).

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

Iervolino, I., Giuseppe, M. ve Cosenza, E., “A note on selection of time-histories for seismic analysis of bridges in Eurocode”, *Journal of Earthquake Engineering*, 8, 1125- 1152, (2009).

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

İnel, M., Çelik, S., Özmen, H.B. ve Önür, Ö., “Betonarme binaların deplasman taleplerinin 3-B doğrusal elastik olmayan dinamik analizle değerlendirilmesi”, 1. Türkiye Deprem ve Sismoloji Konferansı, Ankara, (2011).

İnel, M., Meral, E. ve Özmen, H.B., “Betonarme binalarda eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem ve 3-B doğrusal elastik olmayan dinamik analiz deplasman taleplerinin karşılaştırılması”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, (2013).

Jeong, S.H., Lee, K.W. ve Jang, W.S, Prism, A program for seismic response analysis of SDOF system, Earthquake Engineering Research Group at the INHA University, (2010).

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

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

Katsanos, I.E. ve Sextos, G.A., “An integrated software environment for structure-specific earthquake ground motion selection”, Advances in Engineering Software, 58, 70-85, (2013).

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

Kent, D.C. ve Park, R., “Flexural members with confined concrete”, ASCE Journal Of The Structural Division, (1969).

Köksal, B.A., İstatistik analiz metodları, İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 554, (1998).

Lin, Y. ve Miranda, E., “Estimation of maximum roof displacement demands in regular multistory buildings”, Journal of Engineering Mechanics ASCE, 136, 1-11, (2009).

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. ve Park, R., “Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete”, ASCE Journal Of The Structural Engineering, (1988).

Manolis, G.D., “Stochastic soil dynamics”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 3-15, (2002).

Medina, A.R. ve Krawinkler, H., “Evaluation of drift demands for the seismic performance assessment of frames, Journal of Structural Engineering, 7, 1003-1013, (2005).

Merter, O., Uçar, T., Bozdağ, Ö., Düzgün, M. ve Korkmaz, A., “Betonarme çerçeve yapıların gerçek depremlere ait ivme kayıtları ile doğrusal olmayan dinamik analizi”, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, (2013).

Merter, O. ve Uçar, T., “A comparative study on nonlinear static and dynamic analysis of RC frame structures”, Journal of Civil Engineering and Science, 3, 155-162, (2013).

Miranda, E., “Approximate seismic lateral deformation demand in multistory buildings”, Journal of Structural Engineering, 125, 417-425, (1999).

Mollaioli, F. ve Bruno, S., “Influence of site effects on inelastic displacement ratios for SDOF and MDOF systems”, Computers and Mathematics with Applications, 55, 184–207, (2008).

Otani, S., “SAKE, A computer program for inelastic response of R/C frames to earthquakes/report, Civil Engineering Studies, Univ Of Illinois At Urbana, Champaign, (1974).

Önür Ö., “Düşük ve orta yükseklikteki binaların deplasman taleplerinin doğrusal elastik zaman tanım alanında analizle belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Denizli, (2011).

Özmen, B., Nurlu, M. ve Gürler, H., Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (1997).

Özmen, H.B., “Düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapıların deprem performanslarını etkileyen faktörlerin irdelenmesi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Denizli, (2011).

Padgett, J.E. ve Desroches, R., “Sensitivity of seismic response and fragility to parameter uncertainty”, Journal of Structural Engineering, 12, 1710-1718, (2007).

Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. ve Kowalsky, M.J., “Displacement-based seismic design of structures”, IUSS Press, Pavia, Italy, (2007).

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

Riddell, R., Garcia, J.E. ve Garces, E., “Inelastic deformation response of SDOF systems subjected to earthquakes”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 515-538, (2002).

Roy, H.E.H. ve Sozen, M.A., “Ductility of concrete-in flexural mechanics of reinforced concrete”, American Concrete Institute, Detroit, (1964).

SAP2000 V-14 CSI., Integrated finite elements analysis and design of structures basic analysis reference manual, Berkeley, USA, (2010).

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

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

Takeda, T., Sozen, M.A. ve Nielson, N.N., “Reinforced concrete response to simulated earthquakes”, Journal of Structural Divisions, Proceedings of the American Society of Civil Engineer (ASCE), (1970).

Tekin, G., “Probabilistic earthquake response analysis of single degree of freedom structures”, M.s Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, (2010).

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

“Türkiye’nin deprem gerçeği paneli”, (eds: H. Can ve B. Özmen), Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını, Ankara, (2010).

USCS, Unified soil classification system. Headquarters Department of the Army, Washington, (2001).

# **EKLER**



## 9. EKLER

### EK A Düzlem Çerçevesinde Taşıyıcı Sisteme Ait Plastik Mafsal Bilgileri

**Tablo A.1:** 3 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K109	Sol	Üst	170.82	0.0041	0.0212	0.0331
		Alt	102.60	0.0039	0.0207	0.0322
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K110	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K111	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K112	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	170.82	0.0041	0.0212	0.0331
		Alt	102.60	0.0039	0.0207	0.0322
K209	Sol	Üst	127.79	0.0039	0.0204	0.0322
		Alt	77.44	0.0035	0.0207	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K210	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K211	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K212	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	127.79	0.0039	0.0204	0.0322
		Alt	77.44	0.0035	0.0207	0.0317
K309	Sol	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316

**Tablo A.1** (devam): 3 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsall bilgileri

K310	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K311	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K312	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317

**Tablo A.2:** 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsall bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K109	Sol	Üst	285.19	0.0041	0.0215	0.0334
		Alt	220.02	0.0039	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	203.60	0.0041	0.0219	0.0339
		Alt	96.98	0.0040	0.0209	0.0322
K110	Sol	Üst	203.60	0.0041	0.0219	0.0339
		Alt	96.98	0.0040	0.0209	0.0322
	Sağ	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.60	0.0039	0.0212	0.0324
K111	Sol	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.60	0.0039	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	203.60	0.0041	0.0219	0.0339
		Alt	96.98	0.0040	0.0209	0.0322
K112	Sol	Üst	203.60	0.0041	0.0219	0.0339
		Alt	96.98	0.0040	0.0209	0.0322
	Sağ	Üst	285.19	0.0041	0.0215	0.0334
		Alt	220.02	0.0039	0.0212	0.0324
K209	Sol	Üst	237.81	0.0043	0.0217	0.0337
		Alt	155.12	0.0039	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	176.33	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	86.49	0.0041	0.0205	0.0319
K210	Sol	Üst	176.33	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	86.49	0.0041	0.0205	0.0319
	Sağ	Üst	209.40	0.0042	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324

**Tablo A.2** (devam): 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsalsal bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K211	Sol	Üst	209.40	0.0041	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324
	Sağ	Üst	176.33	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	86.49	0.0041	0.0205	0.0319
K212	Sol	Üst	176.33	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	86.49	0.0041	0.0205	0.0319
	Sağ	Üst	237.81	0.0043	0.0217	0.0337
		Alt	155.12	0.0039	0.0212	0.0324
K309	Sol	Üst	195.63	0.0041	0.0217	0.0337
		Alt	102.67	0.0040	0.0209	0.0321
	Sağ	Üst	175.71	0.0042	0.0217	0.0339
		Alt	77.38	0.0037	0.0204	0.0321
K310	Sol	Üst	175.71	0.0042	0.0217	0.0339
		Alt	77.38	0.0037	0.0204	0.0321
	Sağ	Üst	175.72	0.0042	0.0214	0.0331
		Alt	102.62	0.0039	0.0207	0.0323
K311	Sol	Üst	175.72	0.0042	0.0214	0.0331
		Alt	102.62	0.0039	0.0207	0.0323
	Sağ	Üst	175.71	0.0042	0.0217	0.0339
		Alt	77.38	0.0037	0.0204	0.0321
K312	Sol	Üst	175.71	0.0042	0.0217	0.0339
		Alt	77.38	0.0037	0.0204	0.0321
	Sağ	Üst	195.63	0.0041	0.0217	0.0337
		Alt	102.67	0.0040	0.0209	0.0321
K409	Sol	Üst	146.40	0.0041	0.0212	0.0330
		Alt	77.48	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K410	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K411	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K412	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	146.40	0.0041	0.0212	0.0330
		Alt	77.48	0.0036	0.0206	0.0317

**Tablo A.2** (devam): 5 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsalları bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K509	Sol	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K510	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K511	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K512	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317

**Tablo A.3:** 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsalları bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K109	Sol	Üst	291.90	0.0042	0.0213	0.0332
		Alt	220.12	0.0040	0.0212	0.0325
	Sağ	Üst	221.85	0.0052	0.0223	0.0338
		Alt	154.54	0.0044	0.0211	0.0323
K110	Sol	Üst	221.85	0.0052	0.0223	0.0338
		Alt	154.54	0.0044	0.0211	0.0323
	Sağ	Üst	258.12	0.0043	0.0215	0.0335
		Alt	190.99	0.0040	0.0212	0.0329
K111	Sol	Üst	258.12	0.0043	0.0215	0.0335
		Alt	190.99	0.0040	0.0212	0.0329
	Sağ	Üst	221.85	0.0052	0.0223	0.0338
		Alt	154.54	0.0044	0.0211	0.0323
K112	Sol	Üst	221.85	0.0052	0.0223	0.0338
		Alt	154.54	0.0044	0.0211	0.0323
	Sağ	Üst	291.90	0.0042	0.0213	0.0332
		Alt	220.12	0.0040	0.0212	0.0325
K209	Sol	Üst	285.00	0.0044	0.0216	0.0342
		Alt	185.87	0.0043	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.61	0.0039	0.0212	0.0324

**Tablo A.3** (devam): 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsalsal bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K210	Sol	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.61	0.0039	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	258.12	0.0043	0.0215	0.0335
		Alt	190.99	0.0040	0.0212	0.0329
K211	Sol	Üst	258.12	0.0043	0.0215	0.0335
		Alt	190.99	0.0040	0.0212	0.0329
	Sağ	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.61	0.0039	0.0212	0.0324
K212	Sol	Üst	221.49	0.0052	0.0223	0.0340
		Alt	152.61	0.0039	0.0212	0.0324
	Sağ	Üst	285.00	0.0044	0.0216	0.0342
		Alt	185.87	0.0043	0.0212	0.0324
K309	Sol	Üst	257.90	0.0044	0.0219	0.0343
		Alt	155.08	0.0040	0.0209	0.0322
	Sağ	Üst	209.40	0.0041	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324
K310	Sol	Üst	209.40	0.0041	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324
	Sağ	Üst	232.29	0.0044	0.0217	0.0333
		Alt	165.05	0.0038	0.0209	0.0325
K311	Sol	Üst	232.29	0.0044	0.0217	0.0333
		Alt	165.05	0.0038	0.0209	0.0325
	Sağ	Üst	209.40	0.0041	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324
K312	Sol	Üst	209.40	0.0041	0.0214	0.0334
		Alt	136.69	0.0042	0.0207	0.0324
	Sağ	Üst	257.90	0.0044	0.0219	0.0343
		Alt	155.08	0.0040	0.0209	0.0322
K409	Sol	Üst	227.58	0.0042	0.0217	0.0340
		Alt	122.24	0.0043	0.0212	0.0321
	Sağ	Üst	200.80	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	108.90	0.0039	0.0205	0.0320
K410	Sol	Üst	200.80	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	108.90	0.0039	0.0205	0.0320
	Sağ	Üst	201.37	0.0039	0.0212	0.0330
		Alt	136.62	0.0041	0.0211	0.0323
K411	Sol	Üst	201.37	0.0039	0.0212	0.0330
		Alt	136.62	0.0041	0.0211	0.0323
	Sağ	Üst	200.80	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	108.90	0.0039	0.0205	0.0320
K412	Sol	Üst	200.80	0.0043	0.0217	0.0336
		Alt	108.90	0.0039	0.0205	0.0320
	Sağ	Üst	227.58	0.0042	0.0217	0.0340
		Alt	122.24	0.0043	0.0212	0.0321

**Tablo A.3** (devam): 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K509	Sol	Üst	176.34	0.0044	0.0212	0.0335
		Alt	97.08	0.0044	0.0211	0.0325
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K510	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	175.72	0.0042	0.0214	0.0331
		Alt	102.62	0.0039	0.0207	0.0323
K511	Sol	Üst	175.72	0.0042	0.0214	0.0331
		Alt	102.62	0.0039	0.0207	0.0323
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K512	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	176.34	0.0044	0.0212	0.0335
		Alt	97.08	0.0044	0.0211	0.0325
K609	Sol	Üst	127.79	0.0039	0.0204	0.0322
		Alt	77.44	0.0035	0.0207	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K610	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K611	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
K612	Sol	Üst	151.75	0.0041	0.0213	0.0332
		Alt	77.49	0.0036	0.0206	0.0317
	Sağ	Üst	127.79	0.0039	0.0204	0.0322
		Alt	77.44	0.0035	0.0207	0.0317
K709	Sol	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K710	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
K711	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316

**Tablo A.3** (devam): 7 katlı düzlem çerçeve kirişlerine ait plastik mafsal bilgileri

KİRİŞ	KESİT	BÖLÜM	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
K712	Sol	Üst	151.69	0.0041	0.0213	0.0333
		Alt	51.91	0.0036	0.0202	0.0316
	Sağ	Üst	102.42	0.0035	0.0209	0.0322
		Alt	52.03	0.0036	0.0204	0.0317

**Tablo A.4:** 3 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri

KOLON	As (cm <sup>2</sup> )	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
C111	18.47	299.3	0.0046	0.0250	0.0373
C112	18.47	144.08	0.0051	0.0295	0.0405
C113	18.47	323.66	0.0046	0.0268	0.0318
C114	18.47	144.08	0.0051	0.0295	0.0405
C115	18.47	299.3	0.0046	0.0250	0.0373
C211	18.47	266.66	0.0041	0.0236	0.0373
C212	18.47	128.51	0.0048	0.0275	0.0431
C213	18.47	287.06	0.0042	0.0245	0.0393
C214	18.47	128.51	0.0048	0.0275	0.0431
C215	18.47	266.66	0.0041	0.0236	0.0373
C311	18.47	232.89	0.0040	0.0223	0.0354
C312	18.47	111.9	0.0043	0.0254	0.0398
C313	18.47	243.53	0.0042	0.0230	0.0359
C314	18.47	111.9	0.0043	0.0254	0.0398
C315	18.47	232.89	0.0040	0.0223	0.0354

**Tablo A.5:** 5 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri

KOLON	AS (cm <sup>2</sup> )	$M_y$ (kNm)	$\theta_{MN}$ (rad/m)	$\theta_{GV}$ (rad/m)	$\theta_{GÇ}$ (rad/m)
C111	18.47	348.72	0.0050	0.0230	0.0268
C112	18.47	172.48	0.0049	0.0226	0.0294
C113	18.47	379.72	0.0046	0.0203	0.0245
C114	18.47	172.48	0.0049	0.0226	0.0294
C115	18.47	348.72	0.0050	0.0230	0.0268
C211	18.47	326.56	0.0048	0.0269	0.0314
C212	18.47	157.93	0.0055	0.0264	0.0329
C213	18.47	351.66	0.0050	0.0227	0.0267
C214	18.47	157.93	0.0055	0.0264	0.0329
C215	18.47	326.56	0.0048	0.0269	0.0314
C311	18.47	300.92	0.0043	0.0253	0.0386

**Tablo A.5** (devam): 5 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri

KOLON	As (cm <sup>2</sup> )	M <sub>y</sub> (kNm)	θ <sub>MN</sub> (rad/m)	θ <sub>GV</sub> (rad/m)	θ <sub>GÇ</sub> (rad/m)
C312	18.47	143.65	0.0051	0.0294	0.0408
C313	18.47	323.47	0.0046	0.0266	0.0319
C314	18.47	143.65	0.0051	0.0294	0.0408
C315	18.47	300.92	0.0043	0.0253	0.0386
C411	18.47	267.85	0.0041	0.0237	0.0378
C412	18.47	128.36	0.0048	0.0276	0.0431
C413	18.47	287.31	0.0042	0.0245	0.0395
C414	18.47	128.36	0.0048	0.0276	0.0431
C415	18.47	267.85	0.0041	0.0237	0.0378
C511	18.47	233.41	0.0040	0.0225	0.0353
C512	18.47	113.08	0.0043	0.0254	0.0398
C513	18.47	243.83	0.0042	0.0230	0.0358
C514	18.47	113.08	0.0043	0.0254	0.0398
C515	18.47	233.41	0.0040	0.0225	0.0353

**Tablo A.6:** 7 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsal bilgileri

KOLON	As (cm <sup>2</sup> )	M <sub>y</sub> (kNm)	θ <sub>MN</sub> (rad/m)	θ <sub>GV</sub> (rad/m)	θ <sub>GÇ</sub> (rad/m)
C111	30.79	651.16	0.0045	0.0263	0.0348
C112	30.79	373.86	0.0049	0.0264	0.0340
C113	30.79	698.45	0.0048	0.0236	0.0298
C114	30.79	373.86	0.0049	0.0264	0.0340
C115	30.79	651.16	0.0045	0.0263	0.0348
C211	30.79	622.87	0.0046	0.0257	0.0386
C212	30.79	352.77	0.0051	0.0285	0.0378
C213	30.79	664.62	0.0047	0.0267	0.0338
C214	30.79	352.77	0.0051	0.0285	0.0378
C215	30.79	622.87	0.0046	0.0257	0.0386
C311	30.79	590.79	0.0044	0.0251	0.0395
C312	30.79	333.34	0.0049	0.0277	0.0414
C313	30.79	630.21	0.0047	0.0261	0.0383
C314	30.79	333.34	0.0049	0.0277	0.0414
C315	30.79	590.79	0.0044	0.0251	0.0395
C411	30.79	551.89	0.0044	0.0245	0.0388
C412	30.79	313.65	0.0045	0.0267	0.0424
C413	30.79	589.51	0.0044	0.0249	0.0394
C414	30.79	313.65	0.0045	0.0267	0.0424
C415	30.79	551.89	0.0044	0.0245	0.0388



**Tablo A.6** (devam): 7 katlı düzlem çerçeve kolonlarına ait plastik mafsalları bilgileri

KOLON	As (cm <sup>2</sup> )	M <sub>y</sub> (kNm)	θ <sub>MN</sub> (rad/m)	θ <sub>GV</sub> (rad/m)	θ <sub>GÇ</sub> (rad/m)
C511	30.79	515.68	0.0040	0.0236	0.0376
C512	30.79	290.33	0.0044	0.0261	0.0411
C513	30.79	539.77	0.0041	0.0244	0.0385
C514	30.79	290.33	0.0044	0.0261	0.0411
C515	30.79	515.68	0.0040	0.0236	0.0376
C611	30.79	472.53	0.0039	0.0229	0.0361
C612	30.79	264.74	0.0045	0.0248	0.0394
C613	30.79	492.37	0.0041	0.0236	0.0368
C614	30.79	264.74	0.0045	0.0248	0.0394
C615	30.79	472.53	0.0039	0.0229	0.0361
C711	30.79	426.70	0.0041	0.0226	0.0351
C712	30.79	239.34	0.0043	0.0240	0.0380
C713	30.79	439.13	0.0040	0.0228	0.0355
C714	30.79	239.34	0.0043	0.0240	0.0380
C715	30.79	426.70	0.0041	0.0226	0.0351

## EK B Zaman Tanım Alanında Analiz İçin Kullanılan İvme Kayıtları

**Tablo B.1:** Z1 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri

Sıra	Kayıt kodu	Deprem ismi	Tarihi	Büyükük	İstasyon kodu	Zemin sınıfı	PGA (m/s <sup>2</sup> )	Uzaklık (km)	Süre (s)
1	5270-Y	Mt. Vatnafjoll	25.05.1987	6.0	ST2486	A	0.339	25	35
2	410-X	Gölbaşı	05.05.1986	6.0	ST161	A	0.383	29	18
3	292-X	Campano Lucano	23.11.1980	6.9	ST98	A	0.588	25	66
4	362-X	Umbria	29.04.1984	5.6	ST137	A	0.346	27	23
5	7158-X	Firuzabad	20.06.1994	5.9	ST3293	A	0.216	39	24
6	6272-Y	South Iceland	17.06.2000	6.5	ST2568	A	0.409	42	50
7	6327-Y	South Iceland	21.06.2000	6.4	ST2552	A	0.581	24	60
8	646-Y	Umbria Marche	14.10.1997	5.6	ST234	A	0.280	17	28
9	383-Y	Lazio Abruzzo	11.05.1984	5.5	ST153	A	0.201	14	18
10	1243-X	İzmit	13.09.1999	7.6	ST561	A	0.714	15	19
11	5272-Y	Mt. Vatnafjoll	25.05.1987	6.0	ST2487	A	0.243	24	35
12	6331-X	South Iceland	21.06.2000	6.4	ST2486	A	0.513	22	62
13	382-X	Lazio Abruzzo	11.05.1984	5.5	ST140	A	0.254	16	21
14	5655-X	NE of Banja Luka	13.08.1981	5.7	ST2950	A	0.730	10	24
15	6270-Y	South Iceland	17.06.2000	6.5	ST2556	A	0.523	35	60
16	362-Y	Umbria	29.04.1984	5.6	ST137	A	0.360	27	23
17	6272-X	South Iceland	17.06.2000	6.5	ST2568	A	0.251	42	50
18	605-X	Umbria Marche	26.09.1997	5.7	ST84	A	0.354	35	28
19	368-X	Lazio Abruzzo	07.05.1984	5.9	ST143	A	0.628	22	32
20	467-Y	Chenoua	29.10.1989	5.9	ST181	A	0.343	50	20

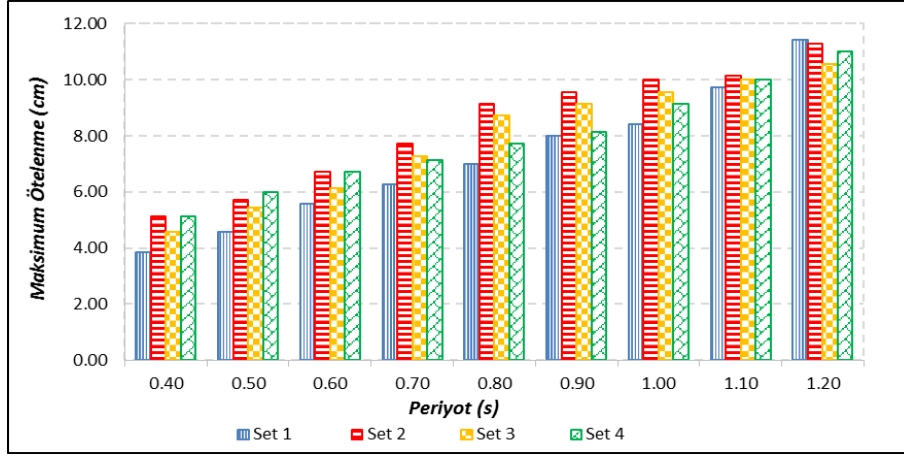
**Tablo B.2:** Z2 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri

Sıra	Kayıt kodu	Deprem ismi	Tarihi	Büyükük	İstasyon kodu	Zemin sınıfı	PGA (m/s <sup>2</sup> )	Uzaklık (km)	Süre (s)
1	645-Y	Umbria Marche	14.10.1997	5.6	ST83	B	0.362	26	40
2	352-Y	Biga	05.07.1983	6.1	ST131	B	0.434	45	18
3	548-X	İzmir	06.11.1992	6.0	ST43	B	0.283	30	19
4	6422-X	İzmit	13.09.1999	5.8	ST3135	B	0.114	45	42
5	946-Y	Potenza	05.05.1990	5.8	ST103	B	0.324	24	48
6	760-Y	Umbria Marche	26.09.1997	6.0	ST265	B	0.229	34	54
7	572-Y	Patras	14.07.1993	5.6	ST178	B	0.423	27	18
8	1859-X	NW Kefallinia Island	27.02.1987	5.7	ST1303	B	0.335	35	21
9	6496-Y	Düzce	12.11.1999	7.2	ST3135	B	0.298	45	42
10	1720-Y	Dinar	01.10.1995	6.4	ST543	B	0.384	47	25
11	595-X	Umbria Marche	26.09.1997	5.7	ST83	B	0.380	25	46
12	142-Y	Friuli	15.09.1976	6.0	ST14	B	0.370	41	26
13	1735-X	Adana	27.06.1998	6.3	ST581	B	0.249	39	21
14	532-Y	Racha	15.06.1991	6.0	ST202	B	0.423	50	38
15	760-X	Umbria Marche	26.09.1997	6.0	ST265	B	0.327	34	54
16	6447-Y	İzmit	11.11.1999	5.6	ST3140	B	0.191	36	42
17	232-Y	Montenegro	24.05.1979	6.2	ST77	B	0.543	20	28

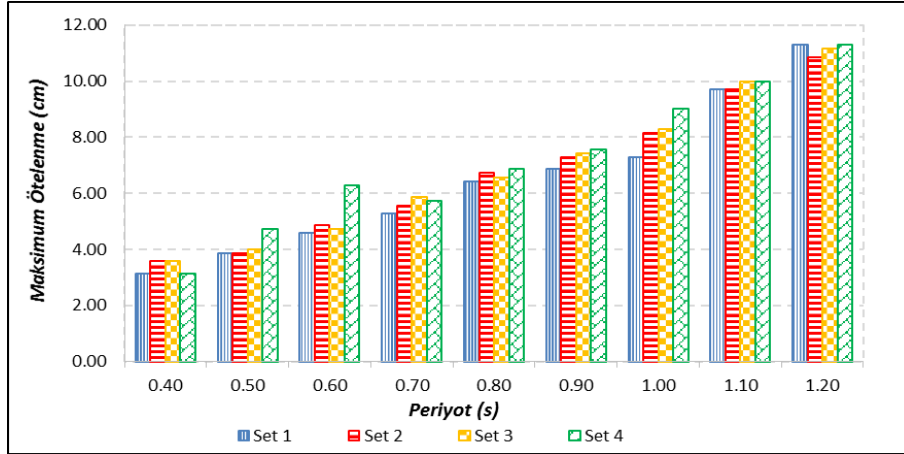
**Tablo B.3:** Z3 sınıfı zeminler için kullanılan ivme kayıtları ve özellikleri

Sıra	Kayıt kodu	Deprem ismi	Tarihi	Büyükük	İstasyon kodu	Zemin sınıfı	PGA (m/s <sup>2</sup> )	Uzaklık (km)	Süre (s)
1	360-X	Umbria	29.04.1984	5.6	ST41	C	0.515	43	28
2	374-Y	Lazio Abruzzo	07.05.1984	5.9	ST148	C	0.609	45	26
3	602-X	Umbria Marche	26.09.1997	6.0	ST224	C	1.144	27	29
4	6962-Y	İzmir	13.09.1999	5.8	ST3271	C	0.151	50	110
5	6978-Y	İzmir	13.09.1999	5.8	ST3273	C	0.700	25	28
6	6606-Y	İzmit	11.11.1999	5.6	ST2571	C	0.361	37	68
7	1230-X	İzmit	17.08.1999	7.6	ST576	C	0.898	39	52
8	601-Y	Umbria Marche	26.09.1997	5.7	ST224	C	0.479	27	28
9	648-Y	Umbria Marche	14.10.1997	5.6	ST332	C	0.668	13	40
10	6975-Y	İzmit	13.09.1999	5.8	ST3272	C	0.512	26	34
11	375-Y	Lazio Abruzzo	07.05.1984	5.9	ST149	C	0.609	45	26
12	141-X	Friuli	15.09.1976	6.0	ST12	C	0.211	46	15
13	151-X	Friuli	15.09.1976	6.0	ST33	C	0.810	11	25
14	7010-X	İzmit	11.11.1999	5.6	ST772	C	0.171	41	50
15	6962-X	İzmir	13.09.1999	5.8	ST3271	C	0.130	50	110
16	7104-X	İshaklı	03.02.2002	5.8	ST856	C	0.394	35	180
17	7010-Y	İzmit	11.11.1999	5.6	ST772	C	0.239	41	50

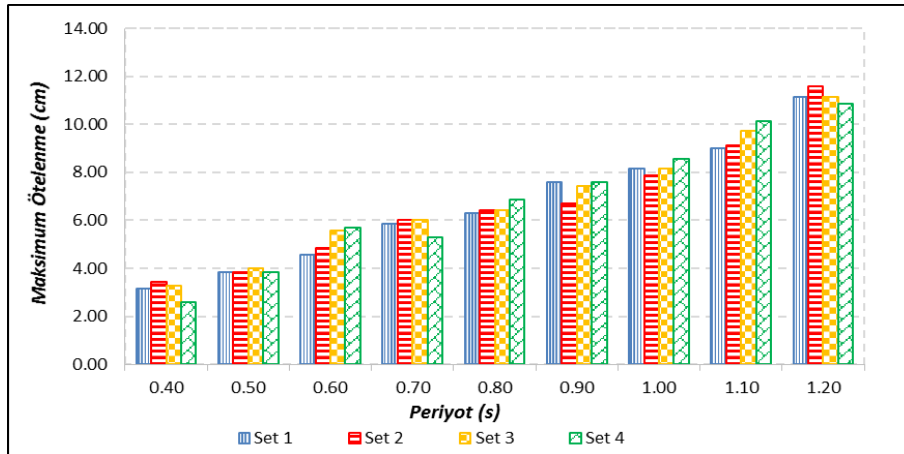
## EK C TSD Sistemlerde Maksimum Ötelenme Taleplerinin Ortalaması



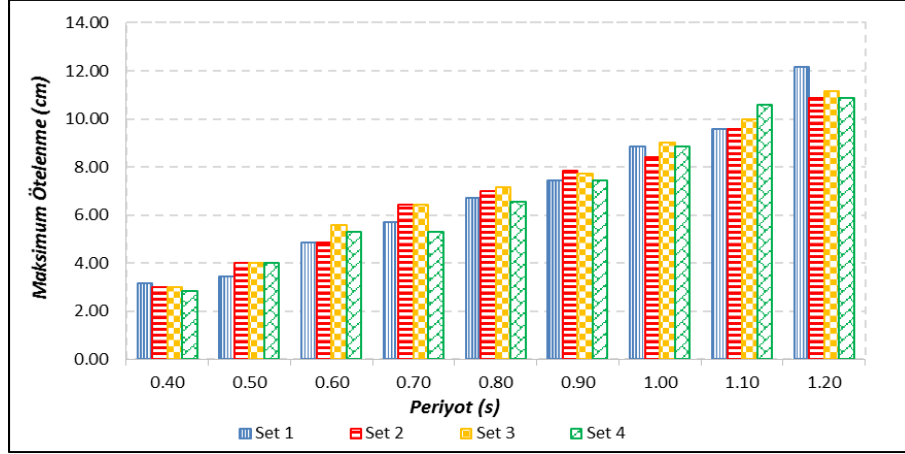
Şekil C.1: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.1$ )



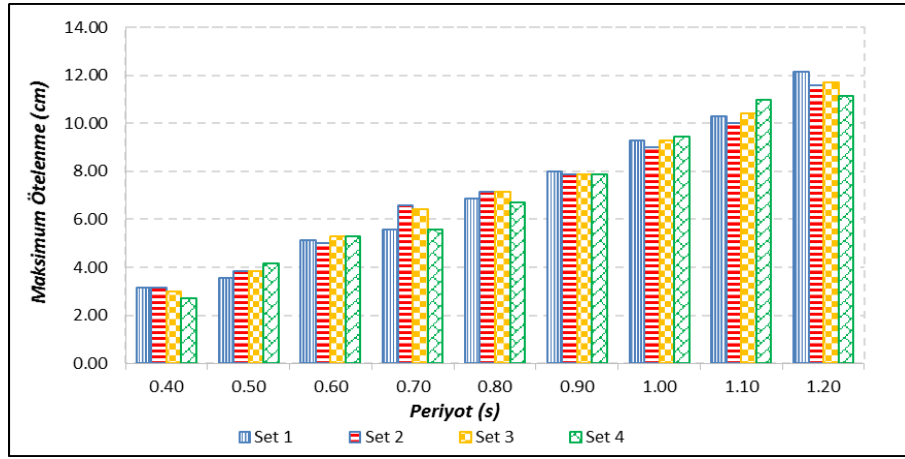
Şekil C.2: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.2$ )



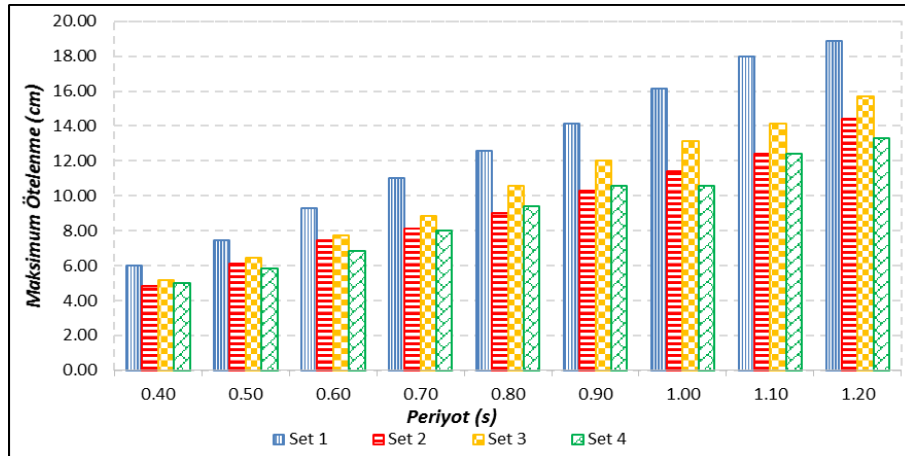
Şekil C.3: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.3$ )



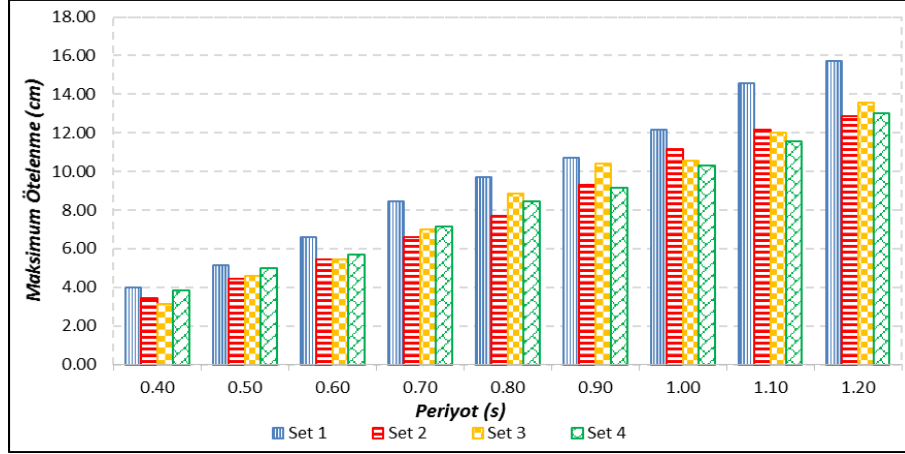
Şekil C.4: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.4$ )



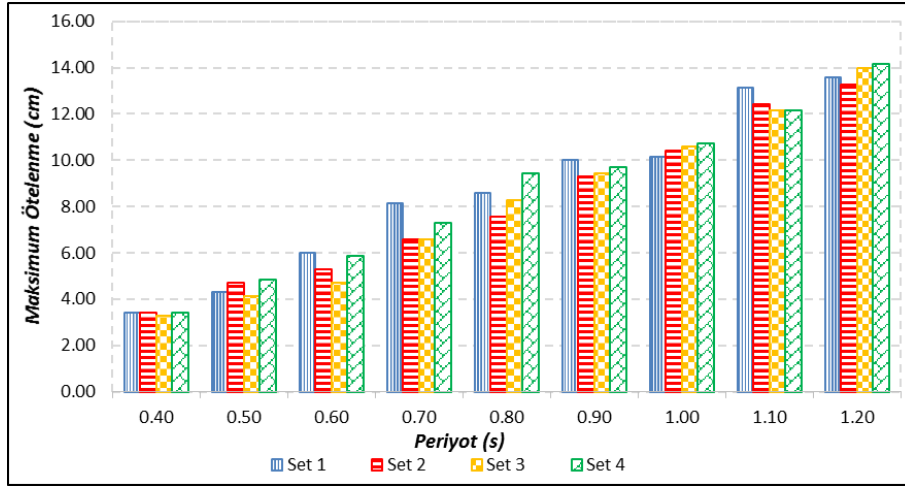
Şekil C.5: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.5$ )



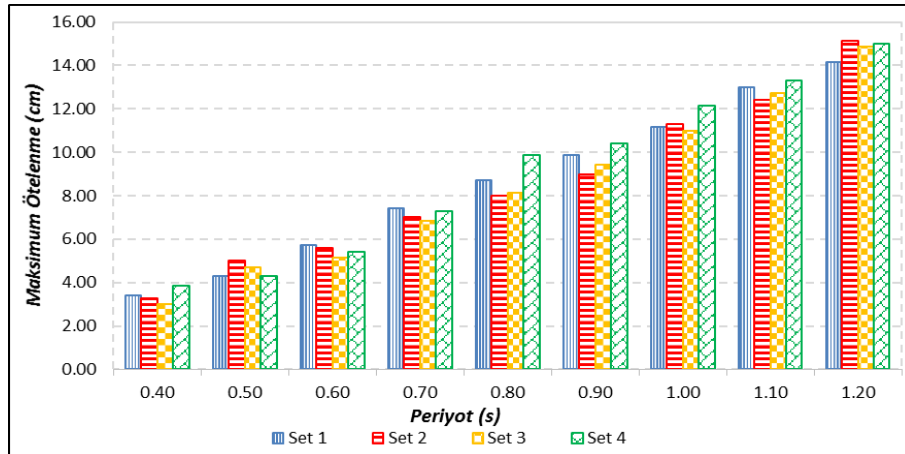
Şekil C.6: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.1$ )



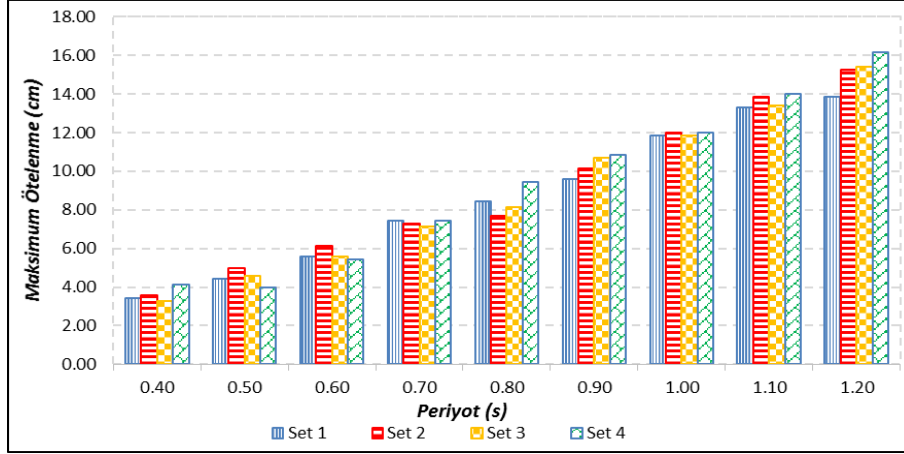
Şekil C.7: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.2$ )



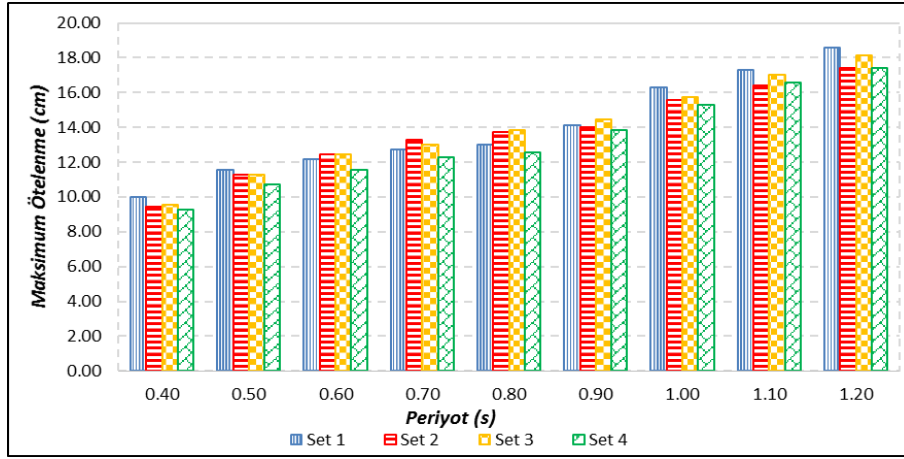
Şekil C.8: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.3$ )



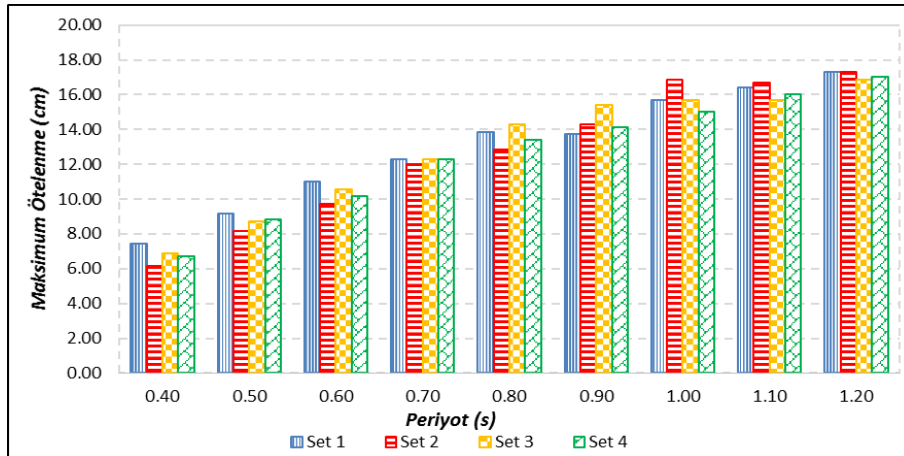
Şekil C.9: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_A$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.4$ )



Şekil C.10: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.5$ )

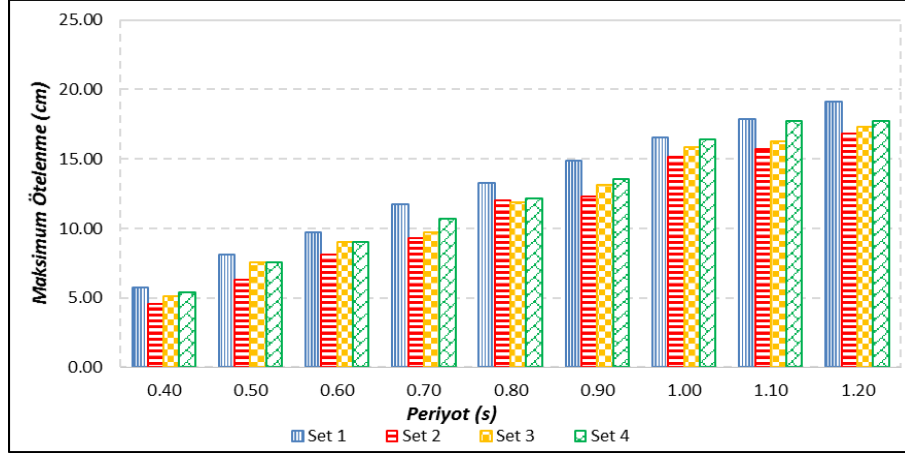


Şekil C.11: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.1$ )

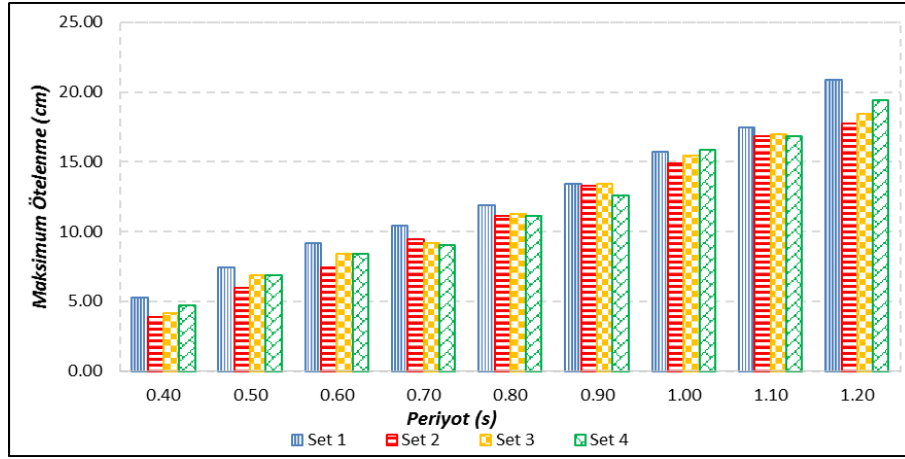


Şekil C.12: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.2$ )

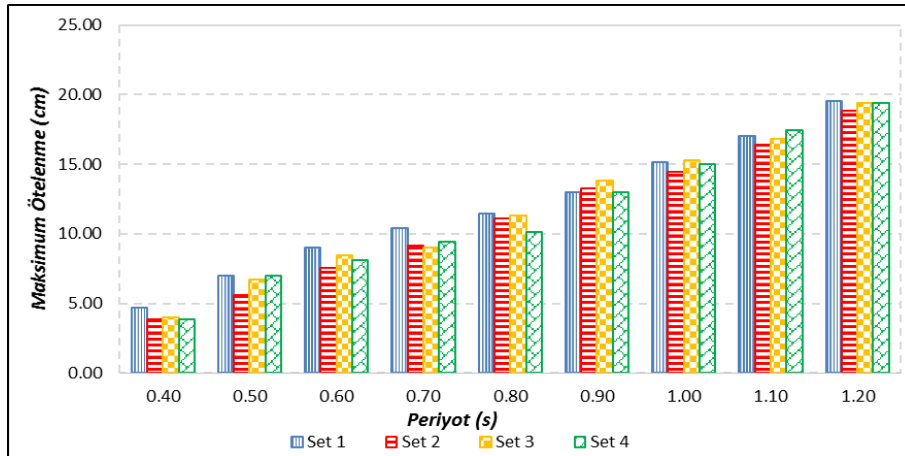




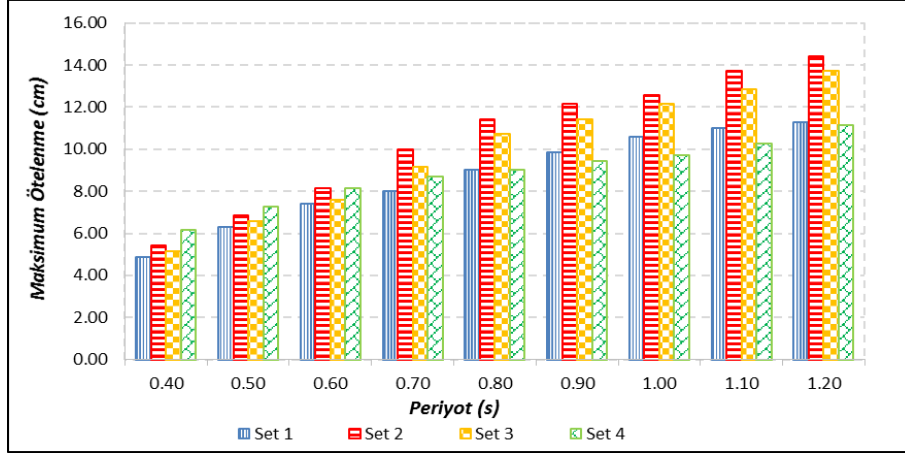
Şekil C.13: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.3$ )



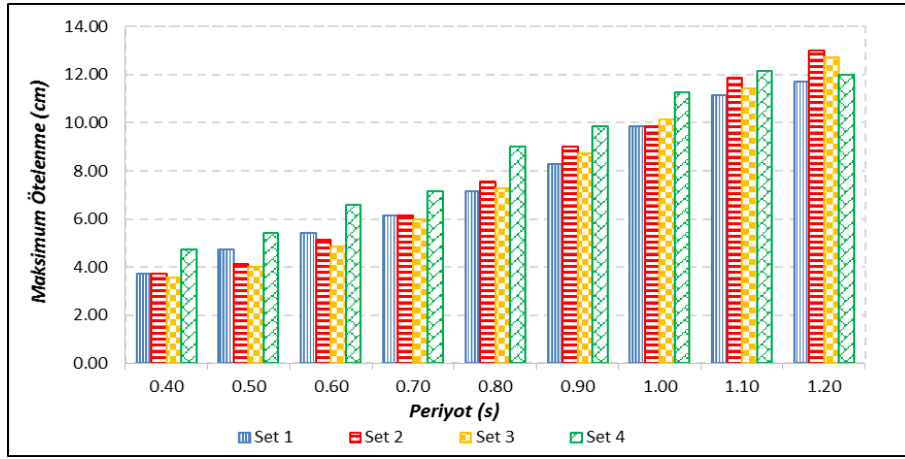
Şekil C.14: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.4$ )



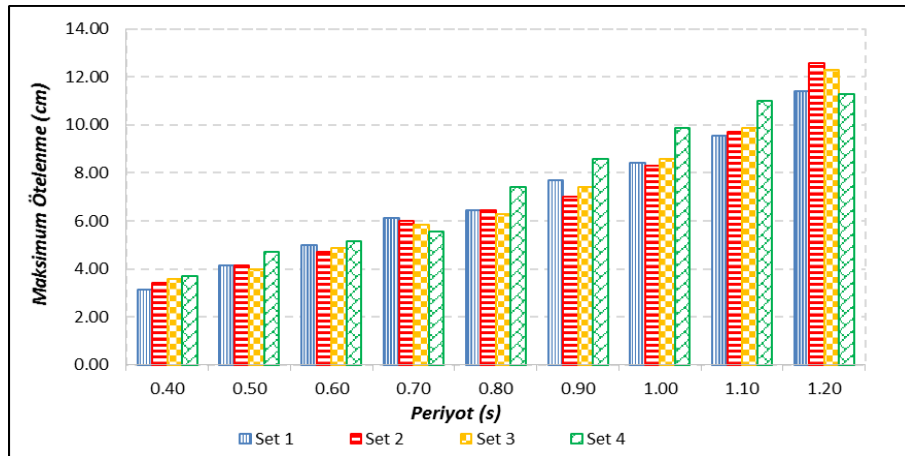
Şekil C.15: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (EDP model,  $F_y/W=0.5$ )



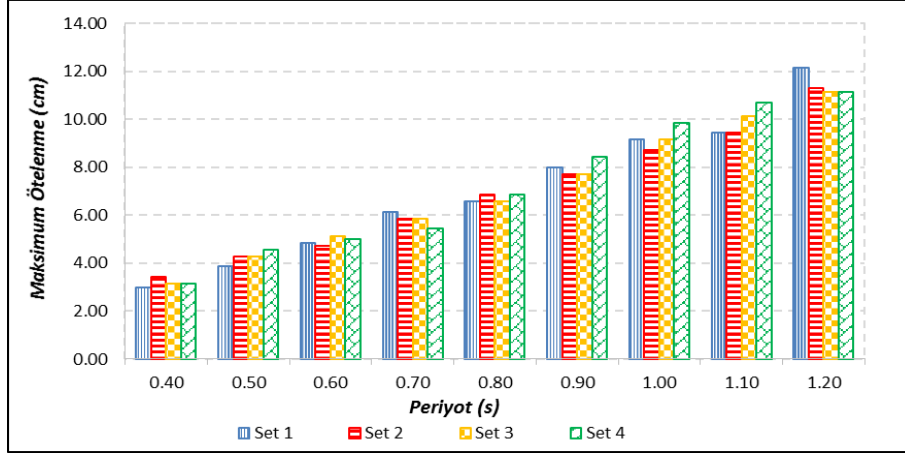
Şekil C.16: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.1$ )



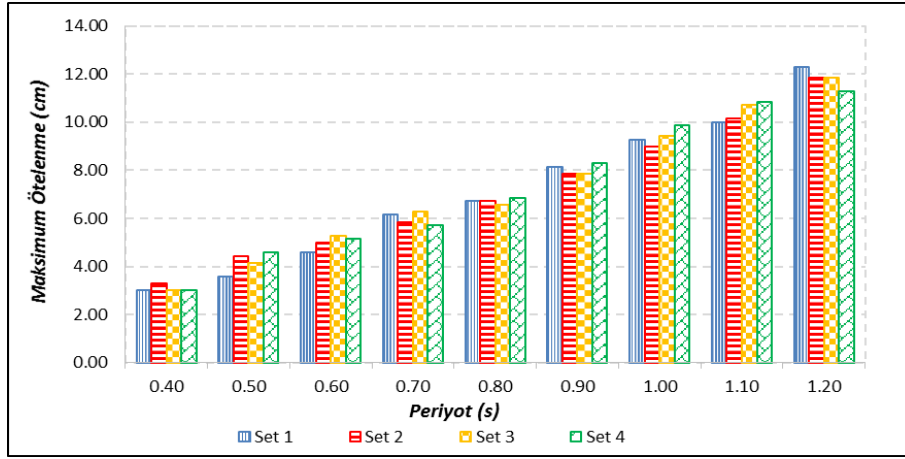
Şekil C.17: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.2$ )



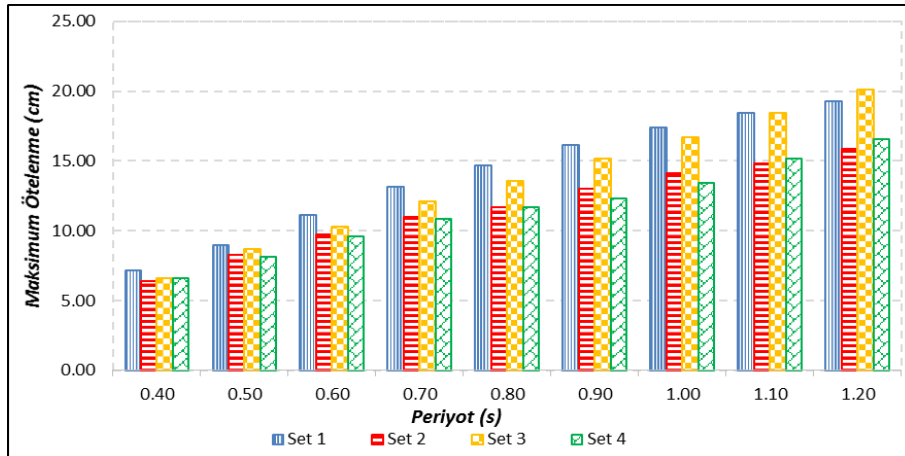
Şekil C.18: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.3$ )



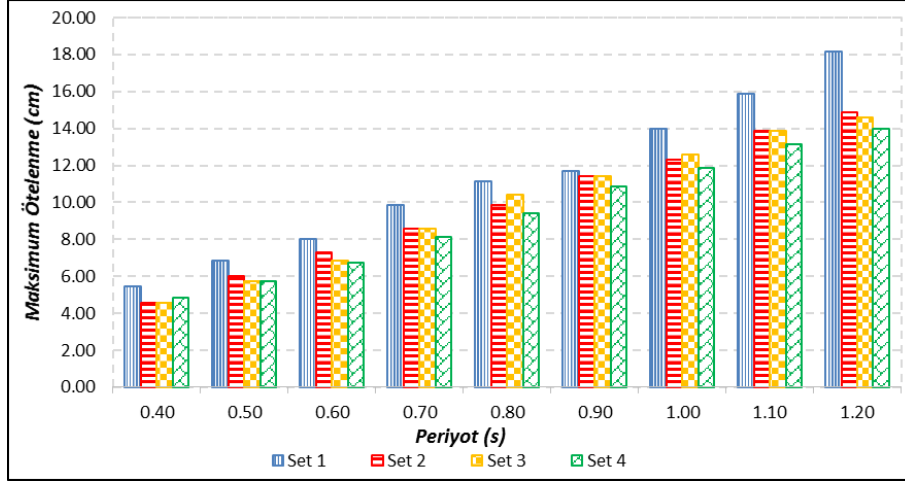
Şekil C.19: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.4$ )



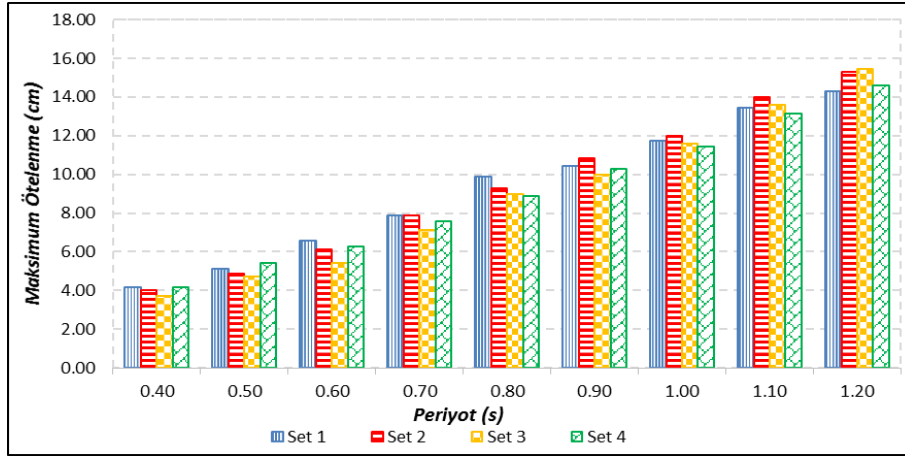
Şekil C.20: TSD sistemlerde Z1 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.5$ )



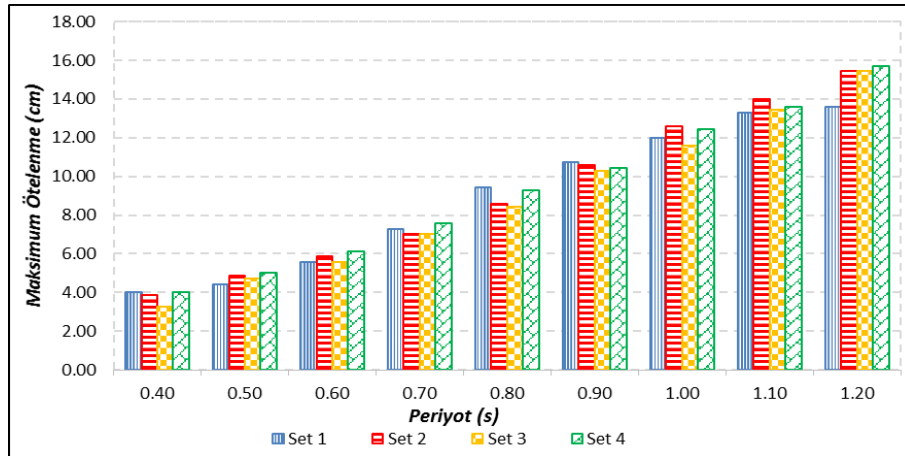
Şekil C.21: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.1$ )



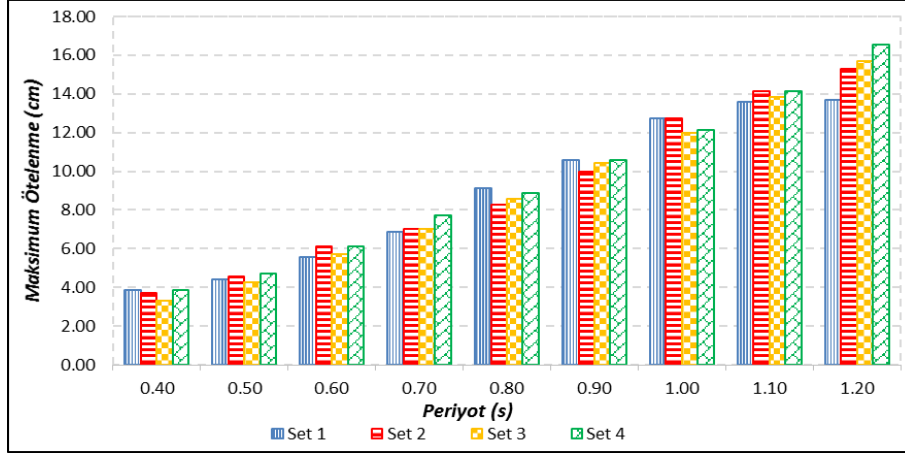
Şekil C.22: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.2$ )



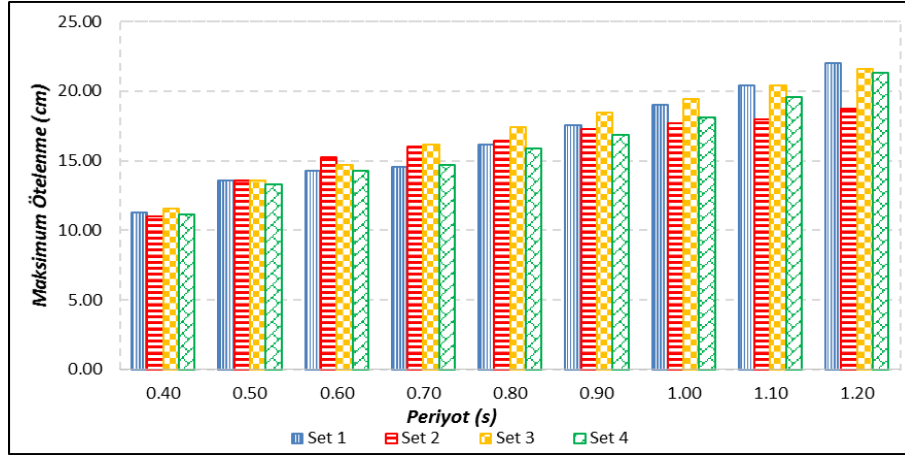
Şekil C.23: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.3$ )



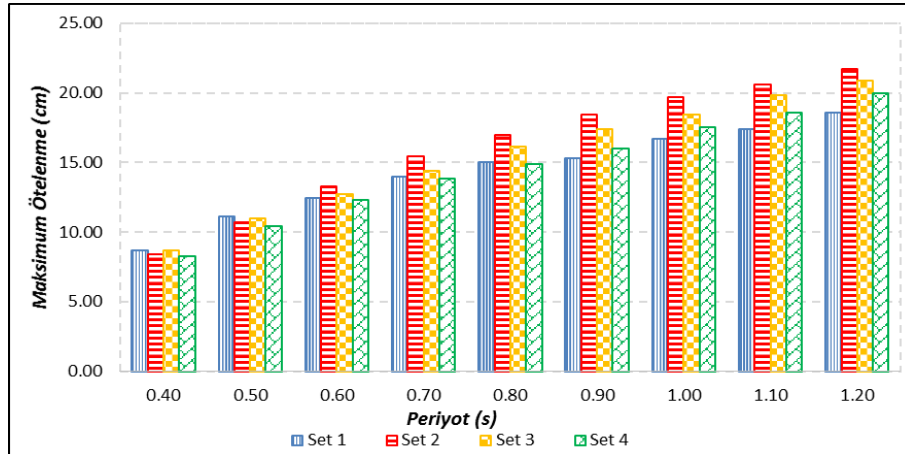
Şekil C.24: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.4$ )



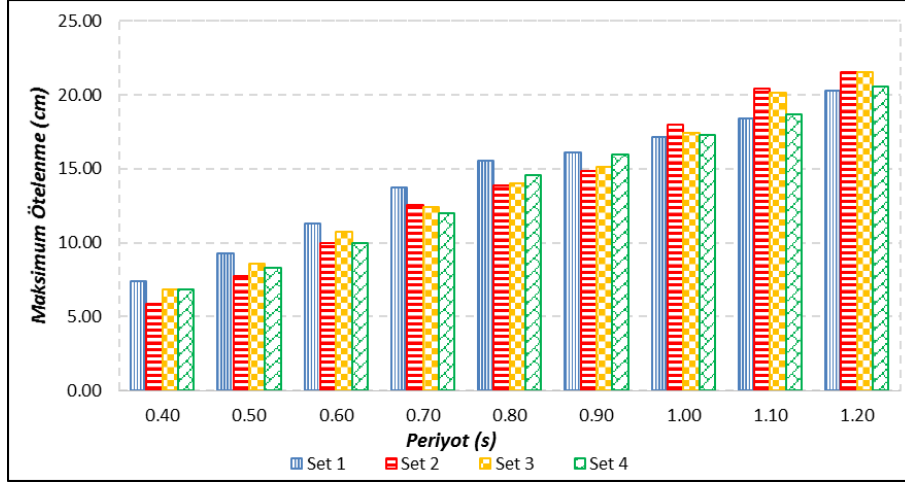
Şekil C.25: TSD sistemlerde Z2 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.5$ )



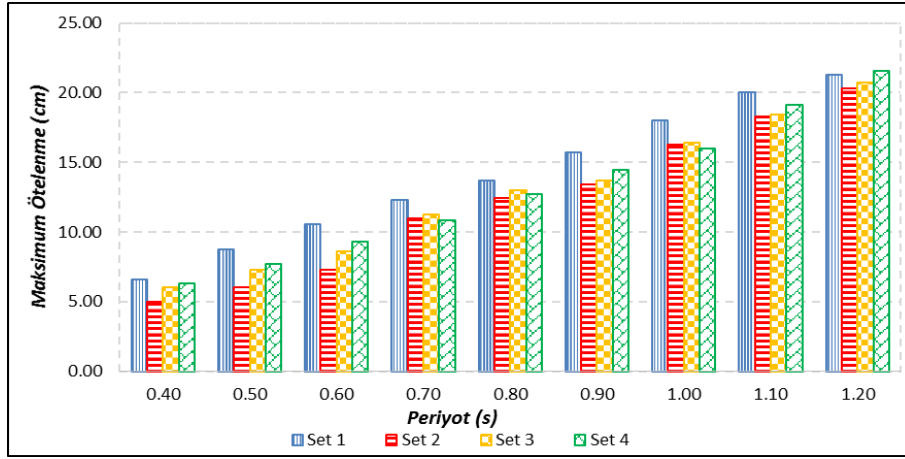
Şekil C.26: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.1$ )



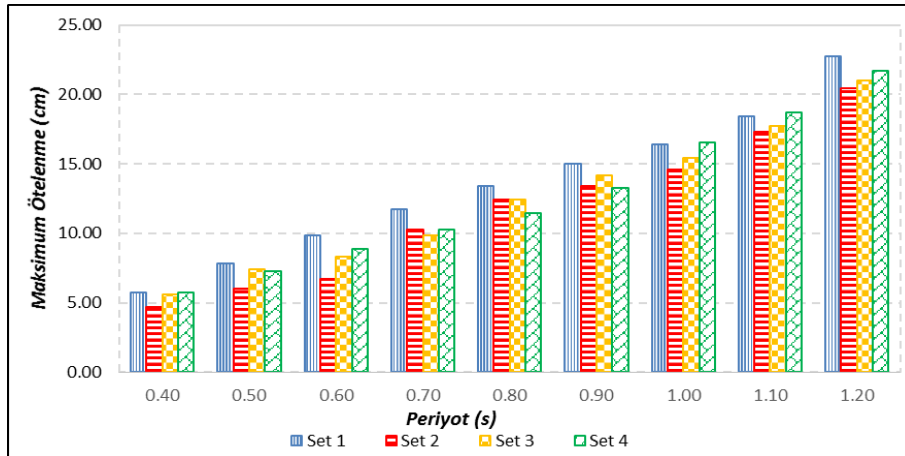
Şekil C.27: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.2$ )



Şekil C.28: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.3$ )



Şekil C.29: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.4$ )



Şekil C.30: TSD sistemlerde Z3 için setlere ait  $\mu_{\Delta}$  değerleri (MT model,  $F_y/W=0.5$ )

**Tablo C.1:** TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$			$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$		
0.40	0.10	3.85	3.12	5.16	4.09	4.63	3.53	5.18	3.52	0.80	0.40	6.71	3.79	7.00	5.48	7.14	5.02	6.57	3.53
0.40	0.20	3.14	2.21	3.57	2.87	3.57	2.49	3.14	1.42	0.80	0.50	6.86	4.17	7.14	5.56	7.14	5.05	6.71	3.69
0.40	0.30	3.14	2.15	3.43	1.86	3.29	1.53	2.57	1.01	0.90	0.10	8.00	5.00	9.57	7.59	9.14	6.83	8.14	5.46
0.40	0.40	3.14	1.90	3.00	1.57	3.00	1.26	2.86	1.20	0.90	0.20	6.86	3.69	7.29	5.41	7.43	4.77	7.57	4.84
0.40	0.50	3.14	1.81	3.14	1.81	3.00	1.25	2.71	1.00	0.90	0.30	7.57	4.02	6.71	4.37	7.43	4.00	7.57	4.57
0.50	0.10	4.57	3.66	5.71	5.05	5.43	4.12	6.00	4.05	0.90	0.40	7.43	3.92	7.86	5.83	7.71	5.20	7.43	4.25
0.50	0.20	3.86	2.48	3.86	2.22	4.00	1.93	4.71	2.25	0.90	0.50	8.00	4.60	7.86	6.07	7.86	5.37	7.86	4.84
0.50	0.30	3.86	2.32	3.86	2.15	4.00	1.78	3.86	1.76	1.00	0.10	8.43	5.27	10.00	8.11	9.57	7.35	9.14	5.74
0.50	0.40	3.43	1.86	4.00	2.17	4.00	1.83	4.00	1.82	1.00	0.20	7.29	3.72	8.14	6.39	8.29	5.72	9.00	6.35
0.50	0.50	3.57	1.82	3.86	1.91	3.86	1.46	4.14	1.87	1.00	0.30	8.14	4.77	7.86	4.95	8.14	4.26	8.57	4.92
0.60	0.10	5.57	3.98	6.71	5.75	6.14	5.07	6.71	4.60	1.00	0.40	8.86	5.29	8.43	5.81	9.00	5.28	8.86	5.37
0.60	0.20	4.57	2.58	4.86	2.96	4.71	2.49	6.29	3.19	1.00	0.50	9.29	5.72	9.00	6.60	9.29	5.88	9.43	6.36
0.60	0.30	4.57	2.34	4.86	3.48	5.57	2.82	5.71	3.04	1.10	0.10	9.71	5.96	10.14	8.18	10.00	7.46	10.00	6.27
0.60	0.40	4.86	2.70	4.86	3.63	5.57	2.91	5.29	2.93	1.10	0.20	9.71	5.41	9.71	7.32	10.00	6.95	10.00	7.01
0.60	0.50	5.14	3.28	5.00	3.69	5.29	2.98	5.29	3.02	1.10	0.30	9.00	4.32	9.14	5.91	9.71	5.73	10.14	6.08
0.70	0.10	6.29	4.63	7.71	6.59	7.29	5.59	7.14	4.84	1.10	0.40	9.57	5.11	9.57	6.56	10.00	6.48	10.57	6.95
0.70	0.20	5.29	3.37	5.57	3.43	5.86	2.86	5.71	2.89	1.10	0.50	10.29	6.58	10.00	7.44	10.43	7.25	11.00	7.85
0.70	0.30	5.86	3.79	6.00	4.56	6.00	4.02	5.29	2.75	1.20	0.10	11.43	7.76	11.29	9.55	10.57	8.69	11.00	7.15
0.70	0.40	5.71	3.27	6.43	4.91	6.43	4.13	5.29	2.63	1.20	0.20	11.29	7.28	10.86	8.64	11.14	7.90	11.29	8.90
0.70	0.50	5.57	3.28	6.57	4.93	6.43	4.07	5.57	2.96	1.20	0.30	11.14	6.29	11.57	7.94	11.14	6.62	10.86	7.19
0.80	0.10	7.00	4.94	9.14	7.21	8.71	6.08	7.71	5.01	1.20	0.40	12.14	7.74	10.86	7.05	11.14	6.22	10.86	7.35
0.80	0.20	6.43	4.01	6.71	4.28	6.57	3.46	6.86	3.77	1.20	0.50	12.14	7.58	11.57	8.03	11.71	7.25	11.14	7.64
0.80	0.30	6.29	3.38	6.43	4.41	6.43	3.98	6.86	3.82										

**Tablo C.2:** TSD sistemlerde Z1 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$			$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$		
0.40	0.10	4.85	3.49	5.48	4.99	5.17	4.37	6.13	4.43	0.80	0.40	6.57	3.77	6.86	5.02	6.57	4.11	6.86	3.84
0.40	0.20	3.71	2.84	3.71	2.56	3.57	2.31	4.71	3.19	0.80	0.50	6.71	3.96	6.71	4.72	6.57	4.00	6.86	3.80
0.40	0.30	3.14	2.06	3.43	2.62	3.57	2.36	3.71	2.17	0.90	0.10	9.86	6.45	12.14	12.13	11.43	11.48	9.43	6.98
0.40	0.40	3.00	1.63	3.43	1.92	3.14	1.49	3.14	1.69	0.90	0.20	8.29	4.82	9.00	7.53	8.71	6.44	9.86	7.46
0.40	0.50	3.00	1.83	3.29	1.77	3.00	1.33	3.00	1.38	0.90	0.30	7.71	4.11	7.00	4.47	7.43	4.04	8.57	6.35
0.50	0.10	6.29	4.50	6.86	6.50	6.57	5.74	7.29	5.67	0.90	0.40	8.00	4.60	7.71	5.48	7.71	4.87	8.43	6.00
0.50	0.20	4.71	3.25	4.14	2.88	4.00	2.36	5.43	4.05	0.90	0.50	8.14	4.75	7.86	5.73	7.86	5.03	8.29	5.64
0.50	0.30	4.14	2.73	4.14	3.00	4.00	2.72	4.71	2.52	1.00	0.10	10.57	7.02	12.57	13.42	12.14	12.63	9.71	7.17
0.50	0.40	3.86	2.15	4.29	2.97	4.29	2.59	4.57	2.47	1.00	0.20	9.86	6.95	9.86	9.00	10.14	7.97	11.29	8.33
0.50	0.50	3.57	1.71	4.43	2.57	4.14	1.90	4.57	2.23	1.00	0.30	8.43	5.09	8.29	5.56	8.57	4.77	9.86	7.05
0.60	0.10	7.43	5.23	8.14	7.51	7.57	6.71	8.14	6.57	1.00	0.40	9.14	5.82	8.71	6.07	9.14	5.47	9.86	7.18
0.60	0.20	5.43	3.52	5.14	3.65	4.86	2.83	6.57	4.66	1.00	0.50	9.29	6.02	9.00	6.79	9.43	6.02	9.86	7.36
0.60	0.30	5.00	3.12	4.71	3.56	4.86	2.96	5.14	2.58	1.10	0.10	11.00	7.18	13.71	14.29	12.86	13.61	10.29	7.45
0.60	0.40	4.86	2.61	4.71	3.54	5.14	2.97	5.00	2.38	1.10	0.20	11.14	7.18	11.86	10.36	11.43	9.67	12.14	8.69
0.60	0.50	4.57	2.04	5.00	3.63	5.29	2.98	5.14	2.65	1.10	0.30	9.57	5.04	9.71	6.82	9.86	6.09	11.00	7.02
0.70	0.10	8.00	5.74	10.00	9.22	9.14	8.34	8.71	6.93	1.10	0.40	9.43	4.97	9.43	6.25	10.14	6.23	10.71	7.03
0.70	0.20	6.14	3.86	6.14	4.70	6.00	3.85	7.14	5.64	1.10	0.50	10.00	5.78	10.14	7.42	10.71	7.25	10.86	7.53
0.70	0.30	6.14	3.73	6.00	4.23	5.86	3.53	5.57	3.39	1.20	0.10	11.29	7.27	14.43	15.12	13.71	14.24	11.14	8.87
0.70	0.40	6.14	3.76	5.86	4.09	5.86	3.29	5.43	2.95	1.20	0.20	11.71	7.28	13.00	11.89	12.71	10.57	12.00	9.20
0.70	0.50	6.14	3.96	5.86	4.23	6.29	3.66	5.71	3.23	1.20	0.30	11.43	6.92	12.57	9.14	12.29	7.84	11.29	7.51
0.80	0.10	9.00	5.83	11.43	10.71	10.71	9.89	9.00	6.99	1.20	0.40	12.14	7.73	11.29	7.48	11.14	6.21	11.14	7.63
0.80	0.20	7.14	4.21	7.57	5.98	7.29	5.01	9.00	6.49	1.20	0.50	12.29	7.75	11.86	8.28	11.86	7.36	11.29	7.61
0.80	0.30	6.43	3.59	6.43	4.34	6.29	3.71	7.43	5.18										



**Tablo C.3:** TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model)

T (s)	F <sub>y</sub> /W	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		T (s)	F <sub>y</sub> /W	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>			μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>
0.40	0.10	6.00	5.18	4.86	2.67	5.14	3.00	5.00	2.34	0.80	0.40	8.71	4.79	8.00	3.80	8.14	2.45	9.86	5.67
0.40	0.20	4.00	2.65	3.43	1.62	3.14	1.22	3.86	1.68	0.80	0.50	8.43	4.55	7.71	3.28	8.14	1.99	9.43	5.14
0.40	0.30	3.43	1.87	3.43	1.27	3.29	1.05	3.43	1.41	0.90	0.10	14.14	14.81	10.29	6.72	12.00	8.08	10.57	2.95
0.40	0.40	3.43	1.92	3.29	1.08	3.00	1.02	3.86	1.55	0.90	0.20	10.71	8.43	9.29	5.17	10.43	4.00	9.14	2.31
0.40	0.50	3.43	1.86	3.57	1.11	3.29	1.16	4.14	1.71	0.90	0.30	10.00	6.13	9.29	3.78	9.43	2.40	9.71	2.63
0.50	0.10	7.43	6.51	6.14	3.77	6.43	3.62	5.86	2.34	0.90	0.40	9.86	5.46	9.00	3.62	9.43	2.20	10.43	3.73
0.50	0.20	5.14	3.69	4.43	1.71	4.57	1.69	5.00	2.69	0.90	0.50	9.57	5.34	10.14	4.72	10.71	2.99	10.86	5.09
0.50	0.30	4.29	2.64	4.71	1.67	4.14	1.66	4.86	1.96	1.00	0.10	16.14	16.22	11.43	7.74	13.14	9.90	10.57	2.68
0.50	0.40	4.29	2.68	5.00	2.03	4.71	1.87	4.29	1.35	1.00	0.20	12.14	8.72	11.14	6.02	10.57	3.64	10.29	2.29
0.50	0.50	4.43	2.89	5.00	1.88	4.57	1.69	4.00	1.14	1.00	0.30	10.14	6.05	10.43	4.78	10.57	2.51	10.71	2.35
0.60	0.10	9.29	8.96	7.43	4.25	7.71	4.36	6.86	2.43	1.00	0.40	11.14	5.90	11.29	4.65	11.00	2.70	12.14	3.50
0.60	0.20	6.57	3.92	5.43	2.47	5.43	2.12	5.71	3.57	1.00	0.50	11.86	6.23	12.00	5.19	11.86	3.61	12.00	3.66
0.60	0.30	6.00	3.26	5.29	2.09	4.71	1.59	5.86	3.56	1.10	0.10	18.00	17.41	12.43	8.31	14.14	10.67	12.43	2.87
0.60	0.40	5.71	3.23	5.57	2.26	5.14	2.06	5.43	2.83	1.10	0.20	14.57	11.85	12.14	6.70	12.00	4.88	11.57	2.19
0.60	0.50	5.57	3.08	6.14	2.63	5.57	2.53	5.43	2.55	1.10	0.30	13.14	8.91	12.43	5.70	12.14	3.72	12.14	2.51
0.70	0.10	11.00	11.14	8.14	4.93	8.86	5.46	8.00	2.68	1.10	0.40	13.00	7.86	12.43	5.41	12.71	3.95	13.29	3.06
0.70	0.20	8.43	5.04	6.57	2.98	7.00	2.51	7.14	3.84	1.10	0.50	13.29	8.26	13.86	6.83	13.43	4.84	14.00	3.77
0.70	0.30	8.14	4.10	6.57	2.66	6.57	1.87	7.29	4.93	1.20	0.10	18.86	18.65	14.43	9.31	15.71	11.31	13.29	3.62
0.70	0.40	7.43	3.65	7.00	3.01	6.86	1.88	7.29	3.49	1.20	0.20	15.71	13.18	12.86	6.17	13.57	5.58	13.00	1.35
0.70	0.50	7.43	4.01	7.29	3.36	7.14	2.02	7.43	3.15	1.20	0.30	13.57	8.80	13.29	5.66	14.00	4.34	14.14	2.87
0.80	0.10	12.57	13.09	9.00	5.72	10.57	6.38	9.43	2.72	1.20	0.40	14.14	9.54	15.14	6.87	14.86	4.80	15.00	3.45
0.80	0.20	9.71	7.51	7.71	3.62	8.86	3.13	8.43	2.95	1.20	0.50	13.86	8.99	15.29	7.01	15.43	5.26	16.14	4.38
0.80	0.30	8.57	4.90	7.57	3.21	8.29	2.34	9.43	4.43										

**Tablo C.4:** TSD sistemlerde Z2 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$			$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$	$\mu_{\Delta}$	$s_{\Delta}$		
0.40	0.10	7.14	5.94	6.43	3.81	6.57	2.81	6.57	2.12	0.80	0.40	9.43	5.83	8.57	4.13	8.43	2.44	9.29	3.79
0.40	0.20	5.43	3.88	4.57	2.54	4.57	1.95	4.86	2.93	0.80	0.50	9.14	5.30	8.29	3.88	8.57	2.55	8.86	3.94
0.40	0.30	4.14	2.80	4.00	1.97	3.71	1.68	4.14	2.67	0.90	0.10	16.14	18.24	13.00	8.52	15.14	10.83	12.29	3.21
0.40	0.40	4.00	2.71	3.86	1.60	3.29	1.12	4.00	2.06	0.90	0.20	11.71	8.57	11.43	6.63	11.43	5.30	10.86	2.99
0.40	0.50	3.86	2.60	3.71	1.59	3.29	1.16	3.86	1.28	0.90	0.30	10.43	6.52	10.86	5.62	10.00	3.29	10.29	3.16
0.50	0.10	9.00	7.90	8.29	5.17	8.71	4.33	8.14	2.28	0.90	0.40	10.71	6.73	10.57	5.32	10.29	2.89	10.43	3.88
0.50	0.20	6.86	4.85	6.00	3.08	5.71	2.27	5.71	3.21	0.90	0.50	10.57	6.48	10.00	4.62	10.43	2.99	10.57	4.22
0.50	0.30	5.14	3.19	4.86	2.22	4.71	1.97	5.43	3.25	1.00	0.10	17.43	20.32	14.14	9.40	16.71	12.82	13.43	3.60
0.50	0.40	4.43	2.77	4.86	2.07	4.71	1.83	5.00	2.86	1.00	0.20	14.00	10.57	12.29	6.97	12.57	5.62	11.86	3.15
0.50	0.50	4.43	2.87	4.57	1.66	4.29	1.35	4.71	2.59	1.00	0.30	11.71	7.07	12.00	6.17	11.57	3.89	11.43	2.72
0.60	0.10	11.14	10.52	9.71	6.03	10.29	5.39	9.57	2.58	1.00	0.40	12.00	7.00	12.57	5.85	11.57	3.30	12.43	3.59
0.60	0.20	8.00	5.58	7.29	4.10	6.86	2.78	6.71	3.21	1.00	0.50	12.71	7.62	12.71	6.16	12.00	3.60	12.14	3.51
0.60	0.30	6.57	3.95	6.14	2.76	5.43	2.39	6.29	3.88	1.10	0.10	18.43	22.04	14.86	10.25	18.43	14.34	15.14	4.00
0.60	0.40	5.57	2.79	5.86	2.34	5.57	2.54	6.14	3.71	1.10	0.20	15.86	13.21	13.86	7.64	13.86	6.60	13.14	3.06
0.60	0.50	5.57	2.99	6.14	2.50	5.71	2.59	6.14	3.51	1.10	0.30	13.43	8.98	14.00	7.17	13.57	5.33	13.14	2.84
0.70	0.10	13.14	13.27	11.00	7.09	12.14	7.09	10.86	2.53	1.10	0.40	13.29	8.46	14.00	6.97	13.43	4.70	13.57	3.13
0.70	0.20	9.86	6.81	8.57	5.40	8.57	3.61	8.14	2.98	1.10	0.50	13.57	8.90	14.14	6.95	13.86	5.15	14.14	3.61
0.70	0.30	7.86	5.13	7.86	3.83	7.14	2.32	7.57	3.79	1.20	0.10	19.29	23.39	15.86	10.83	20.14	16.00	16.57	4.77
0.70	0.40	7.29	4.29	7.00	2.94	7.00	2.18	7.57	3.75	1.20	0.20	18.14	16.34	14.86	8.54	14.57	6.40	14.00	3.24
0.70	0.50	6.86	3.57	7.00	3.14	7.00	2.27	7.71	3.71	1.20	0.30	14.29	9.73	15.29	7.76	15.43	5.78	14.57	3.17
0.80	0.10	14.71	15.85	11.71	7.65	13.57	8.89	11.71	2.88	1.20	0.40	13.57	8.68	15.43	7.12	15.43	4.98	15.71	3.84
0.80	0.20	11.14	7.77	9.86	6.27	10.43	4.76	9.43	2.58	1.20	0.50	13.71	8.83	15.29	7.17	15.71	5.45	16.57	4.48
0.80	0.30	9.86	6.58	9.29	4.91	9.00	2.87	8.86	3.54										

**Tablo C.5:** TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (EDP model)

$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		$T$ (s)	$F_y/W$	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		$\mu_\Delta$	$s_\Delta$	$\mu_\Delta$	$s_\Delta$	$\mu_\Delta$	$s_\Delta$	$\mu_\Delta$	$s_\Delta$			$\mu_\Delta$	$s_\Delta$	$\mu_\Delta$	$s_\Delta$	$\mu_\Delta$	$s_\Delta$		
0.40	0.10	10.00	12.02	9.43	6.82	9.57	6.40	9.29	9.77	0.80	0.40	11.86	8.26	11.14	3.51	11.29	4.01	11.14	5.95
0.40	0.20	7.43	8.26	6.14	3.85	6.86	3.80	6.71	5.90	0.80	0.50	11.43	6.62	11.14	3.11	11.29	3.77	10.14	4.61
0.40	0.30	5.71	5.73	4.57	2.88	5.14	2.67	5.43	3.98	0.90	0.10	14.14	12.87	14.00	10.63	14.43	6.47	13.86	9.72
0.40	0.40	5.29	4.73	3.86	2.07	4.14	1.87	4.71	2.84	0.90	0.20	13.71	12.33	14.29	8.75	15.43	7.45	14.14	11.01
0.40	0.50	4.71	3.70	3.86	1.80	4.00	1.41	3.86	1.74	0.90	0.30	14.86	13.10	12.29	4.20	13.14	5.31	13.57	8.31
0.50	0.10	11.57	13.15	11.29	8.28	11.29	7.54	10.71	11.02	0.90	0.40	13.43	7.91	13.29	3.87	13.43	4.93	12.57	4.86
0.50	0.20	9.14	10.36	8.14	5.05	8.71	4.94	8.86	7.98	0.90	0.50	13.00	6.21	13.29	3.93	13.86	4.63	13.00	4.74
0.50	0.30	8.14	7.41	6.29	3.59	7.57	3.53	7.57	5.20	1.00	0.10	16.29	14.02	15.57	11.05	15.71	7.32	15.29	11.27
0.50	0.40	7.43	5.98	6.00	3.30	6.86	2.97	6.86	4.08	1.00	0.20	15.71	10.53	16.86	9.35	15.71	7.92	15.00	9.50
0.50	0.50	7.00	5.24	5.57	3.29	6.71	2.90	7.00	3.78	1.00	0.30	16.57	13.83	15.14	7.22	15.86	7.16	16.43	10.51
0.60	0.10	12.14	13.23	12.43	8.82	12.43	7.89	11.57	11.27	1.00	0.40	15.71	11.21	14.86	5.60	15.43	6.02	15.86	8.75
0.60	0.20	11.00	12.16	9.71	6.44	10.57	6.62	10.14	10.22	1.00	0.50	15.14	9.48	14.43	5.39	15.29	6.36	15.00	5.90
0.60	0.30	9.71	9.51	8.14	4.02	9.00	3.97	9.00	6.89	1.10	0.10	17.29	15.17	16.43	12.19	17.00	8.08	16.57	12.31
0.60	0.40	9.14	6.72	7.43	3.71	8.43	3.74	8.43	5.00	1.10	0.20	16.43	10.70	16.71	9.44	15.71	6.79	16.00	7.93
0.60	0.50	9.00	5.75	7.57	3.67	8.43	3.73	8.14	4.41	1.10	0.30	17.86	11.94	15.71	7.08	16.29	6.22	17.71	10.56
0.70	0.10	12.71	12.15	13.29	9.74	13.00	7.89	12.29	10.37	1.10	0.40	17.43	11.41	16.86	7.94	17.00	7.30	16.86	7.88
0.70	0.20	12.29	13.59	12.00	7.19	12.29	7.34	12.29	11.28	1.10	0.50	17.00	10.44	16.43	7.53	16.86	7.43	17.43	7.97
0.70	0.30	11.71	10.67	9.29	4.13	9.71	4.16	10.71	7.38	1.20	0.10	18.57	16.44	17.43	12.78	18.14	8.80	17.43	13.44
0.70	0.40	10.43	7.08	9.43	3.40	9.14	3.49	9.00	4.48	1.20	0.20	17.29	12.51	17.29	10.25	16.86	7.45	17.00	9.25
0.70	0.50	10.43	5.83	9.14	3.06	9.00	3.51	9.43	4.63	1.20	0.30	19.14	11.80	16.86	8.33	17.29	7.13	17.71	9.09
0.80	0.10	13.00	11.43	13.71	10.46	13.86	7.27	12.57	9.28	1.20	0.40	20.86	13.22	17.71	7.59	18.43	6.77	19.43	8.60
0.80	0.20	13.86	13.08	12.86	7.28	14.29	7.02	13.43	12.04	1.20	0.50	19.57	10.79	18.86	8.49	19.43	8.00	19.43	7.41
0.80	0.30	13.29	11.59	12.00	4.18	11.86	4.41	12.14	8.18										

**Tablo C.6:** TSD sistemlerde Z3 için maksimum ötelenme taleplerine ait ortalama (cm) ve standart sapma (MT model)

T (s)	F <sub>y</sub> /W	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4		T (s)	F <sub>y</sub> /W	Set 1		Set 2		Set 3		Set 4	
		μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>			μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>	μ <sub>Δ</sub>	s <sub>Δ</sub>		
0.40	0.10	11.29	11.74	11.00	7.15	11.57	7.01	11.14	9.49	0.80	0.40	13.71	11.55	12.43	4.66	13.00	5.45	12.71	9.28
0.40	0.20	8.71	9.42	8.43	4.56	8.71	5.81	8.29	7.03	0.80	0.50	13.43	10.03	12.43	4.34	12.43	4.39	11.43	6.88
0.40	0.30	7.43	7.53	5.86	3.47	6.86	3.91	6.86	5.51	0.90	0.10	17.57	12.99	17.29	13.41	18.43	9.71	16.86	11.75
0.40	0.40	6.57	6.07	5.00	2.89	6.00	3.21	6.29	4.49	0.90	0.20	15.29	14.16	18.43	12.25	17.43	9.41	16.00	12.30
0.40	0.50	5.71	5.36	4.71	2.62	5.57	2.84	5.71	3.86	0.90	0.30	16.14	16.34	14.86	7.15	15.14	7.77	16.00	14.34
0.50	0.10	13.57	14.26	13.57	9.35	13.57	8.20	13.29	11.80	0.90	0.40	15.71	13.19	13.43	4.70	13.71	5.51	14.43	9.28
0.50	0.20	11.14	12.90	10.71	6.38	11.00	6.97	10.43	10.18	0.90	0.50	15.00	10.90	13.43	4.53	14.14	5.35	13.29	5.21
0.50	0.30	9.29	9.31	7.71	4.17	8.57	5.12	8.29	7.14	1.00	0.10	19.00	14.27	17.71	13.73	19.43	10.63	18.14	12.62
0.50	0.40	8.71	7.63	6.00	3.23	7.29	3.91	7.71	5.52	1.00	0.20	16.71	13.51	19.71	14.22	18.43	9.78	17.57	11.79
0.50	0.50	7.86	5.97	6.00	2.99	7.43	3.70	7.29	4.19	1.00	0.30	17.14	15.81	18.00	10.45	17.43	9.35	17.29	14.68
0.60	0.10	14.29	13.39	15.29	11.36	14.71	8.76	14.29	11.44	1.00	0.40	18.00	16.75	16.29	7.87	16.43	7.72	16.00	10.86
0.60	0.20	12.43	14.47	13.29	8.50	12.71	8.45	12.29	12.14	1.00	0.50	16.43	12.36	14.57	5.51	15.43	6.55	16.57	9.55
0.60	0.30	11.29	11.99	10.00	5.18	10.71	6.33	10.00	8.17	1.10	0.10	20.43	16.96	18.00	14.04	20.43	11.44	19.57	13.78
0.60	0.40	10.57	9.12	7.29	3.56	8.57	4.36	9.29	6.76	1.10	0.20	17.43	13.44	20.57	15.72	19.86	10.39	18.57	12.15
0.60	0.50	9.86	7.04	6.71	2.85	8.29	3.90	8.86	5.27	1.10	0.30	18.43	16.13	20.43	12.99	20.14	11.22	18.71	12.48
0.70	0.10	14.57	11.82	16.00	12.37	16.14	8.58	14.71	10.42	1.10	0.40	20.00	18.07	18.29	9.94	18.43	9.77	19.14	13.21
0.70	0.20	14.00	14.80	15.43	10.44	14.43	9.93	13.86	12.72	1.10	0.50	18.43	14.09	17.29	8.60	17.71	8.30	18.71	11.26
0.70	0.30	13.71	14.97	12.57	6.52	12.43	7.27	12.00	10.15	1.20	0.10	22.00	19.15	18.71	14.61	21.57	12.63	21.29	15.50
0.70	0.40	12.29	10.37	11.00	4.08	11.29	5.49	10.86	8.13	1.20	0.20	18.57	14.41	21.71	16.50	20.86	11.22	20.00	12.88
0.70	0.50	11.71	8.51	10.29	3.45	9.86	4.18	10.29	6.23	1.20	0.30	20.29	16.26	21.57	13.42	21.57	10.70	20.57	13.50
0.80	0.10	16.14	12.34	16.43	13.10	17.43	8.80	15.86	11.07	1.20	0.40	21.29	15.95	20.29	11.40	20.71	9.76	21.57	13.77
0.80	0.20	15.00	14.75	17.00	11.22	16.14	10.01	14.86	12.57	1.20	0.50	22.71	18.66	20.43	10.96	21.00	10.25	21.71	13.66
0.80	0.30	15.57	16.29	13.86	6.56	14.00	7.59	14.57	12.95										

## EK D Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Varyans Analizi Sonuçları

**Tablo D.1:** Varyans analizi *F* tablosu

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

**Tablo D.2:** TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z1)

$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$
0.4	0.1	EMP	0.212	0.7	0.1	EMP	0.089	1.0	0.1	EMP	0.066
0.4	0.1	EDP	0.215	0.7	0.1	EDP	0.213	1.0	0.1	EDP	0.133
0.4	0.1	MT	0.110	0.7	0.1	MT	0.080	1.0	0.1	MT	0.114
0.4	0.2	EMP	0.090	0.7	0.2	EMP	0.027	1.0	0.2	EMP	0.115
0.4	0.2	EDP	0.155	0.7	0.2	EDP	0.032	1.0	0.2	EDP	0.078
0.4	0.2	MT	0.243	0.7	0.2	MT	0.093	1.0	0.2	MT	0.043
0.4	0.3	EMP	0.317	0.7	0.3	EMP	0.061	1.0	0.3	EMP	0.018
0.4	0.3	EDP	0.336	0.7	0.3	EDP	0.150	1.0	0.3	EDP	0.017
0.4	0.3	MT	0.069	0.7	0.3	MT	0.019	1.0	0.3	MT	0.101
0.4	0.4	EMP	0.046	0.7	0.4	EMP	0.170	1.0	0.4	EMP	0.010
0.4	0.4	EDP	0.180	0.7	0.4	EDP	0.298	1.0	0.4	EDP	0.012
0.4	0.4	MT	0.060	0.7	0.4	MT	0.039	1.0	0.4	MT	0.042
0.4	0.5	EMP	0.127	0.7	0.5	EMP	0.128	1.0	0.5	EMP	0.007
0.4	0.5	EDP	0.242	0.7	0.5	EDP	0.227	1.0	0.5	EDP	0.006
0.4	0.5	MT	0.048	0.7	0.5	MT	0.036	1.0	0.5	MT	0.020
0.5	0.1	EMP	0.139	0.8	0.1	EMP	0.191	1.1	0.1	EMP	0.004
0.5	0.1	EDP	0.013	0.8	0.1	EDP	0.446	1.1	0.1	EDP	0.030
0.5	0.1	MT	0.039	0.8	0.1	MT	0.143	1.1	0.1	MT	0.142
0.5	0.2	EMP	0.228	0.8	0.2	EMP	0.012	1.1	0.2	EMP	0.005
0.5	0.2	EDP	0.065	0.8	0.2	EDP	0.077	1.1	0.2	EDP	0.012
0.5	0.2	MT	0.322	0.8	0.2	MT	0.160	1.1	0.2	MT	0.017
0.5	0.3	EMP	0.004	0.8	0.3	EMP	0.019	1.1	0.3	EMP	0.060
0.5	0.3	EDP	0.047	0.8	0.3	EDP	0.016	1.1	0.3	EDP	0.049
0.5	0.3	MT	0.065	0.8	0.3	MT	0.102	1.1	0.3	MT	0.083
0.5	0.4	EMP	0.124	0.8	0.4	EMP	0.019	1.1	0.4	EMP	0.045
0.5	0.4	EDP	0.074	0.8	0.4	EDP	0.034	1.1	0.4	EDP	0.048
0.5	0.4	MT	0.083	0.8	0.4	MT	0.012	1.1	0.4	MT	0.063
0.5	0.5	EMP	0.148	0.8	0.5	EMP	0.011	1.1	0.5	EMP	0.022
0.5	0.5	EDP	0.037	0.8	0.5	EDP	0.021	1.1	0.5	EDP	0.021
0.5	0.5	MT	0.290	0.8	0.5	MT	0.008	1.1	0.5	MT	0.029
0.6	0.1	EMP	0.088	0.9	0.1	EMP	0.111	1.2	0.1	EMP	0.015
0.6	0.1	EDP	0.065	0.9	0.1	EDP	0.155	1.2	0.1	EDP	0.092
0.6	0.1	MT	0.023	0.9	0.1	MT	0.125	1.2	0.1	MT	0.140
0.6	0.2	EMP	0.500	0.9	0.2	EMP	0.020	1.2	0.2	EMP	0.003
0.6	0.2	EDP	0.140	0.9	0.2	EDP	0.034	1.2	0.2	EDP	0.057
0.6	0.2	MT	0.292	0.9	0.2	MT	0.073	1.2	0.2	MT	0.030
0.6	0.3	EMP	0.236	0.9	0.3	EMP	0.052	1.2	0.3	EMP	0.015
0.6	0.3	EDP	0.061	0.9	0.3	EDP	0.030	1.2	0.3	EDP	0.016
0.6	0.3	MT	0.026	0.9	0.3	MT	0.134	1.2	0.3	MT	0.043
0.6	0.4	EMP	0.077	0.9	0.4	EMP	0.012	1.2	0.4	EMP	0.051
0.6	0.4	EDP	0.024	0.9	0.4	EDP	0.057	1.2	0.4	EDP	0.051
0.6	0.4	MT	0.026	0.9	0.4	MT	0.033	1.2	0.4	MT	0.029
0.6	0.5	EMP	0.006	0.9	0.5	EMP	0.003	1.2	0.5	EMP	0.019
0.6	0.5	EDP	0.014	0.9	0.5	EDP	0.012	1.2	0.5	EDP	0.019
0.6	0.5	MT	0.083	0.9	0.5	MT	0.013	1.2	0.5	MT	0.021

**Tablo D.3:** TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z2)

$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$
0.4	0.1	EMP	0.140	0.7	0.1	EMP	0.310	1.0	0.1	EMP	0.380
0.4	0.1	EDP	0.110	0.7	0.1	EDP	0.330	1.0	0.1	EDP	0.370
0.4	0.1	MT	0.050	0.7	0.1	MT	0.110	1.0	0.1	MT	0.150
0.4	0.2	EMP	0.310	0.7	0.2	EMP	0.370	1.0	0.2	EMP	0.150
0.4	0.2	EDP	0.010	0.7	0.2	EDP	0.230	1.0	0.2	EDP	0.460
0.4	0.2	MT	0.160	0.7	0.2	MT	0.150	1.0	0.2	MT	0.120
0.4	0.3	EMP	0.000	0.7	0.3	EMP	0.280	1.0	0.3	EMP	0.030
0.4	0.3	EDP	0.210	0.7	0.3	EDP	0.490	1.0	0.3	EDP	0.020
0.4	0.3	MT	0.050	0.7	0.3	MT	0.060	1.0	0.3	MT	0.010
0.4	0.4	EMP	0.400	0.7	0.4	EMP	0.040	1.0	0.4	EMP	0.110
0.4	0.4	EDP	0.810	0.7	0.4	EDP	0.060	1.0	0.4	EDP	0.110
0.4	0.4	MT	0.200	0.7	0.4	MT	0.050	1.0	0.4	MT	0.050
0.4	0.5	EMP	0.450	0.7	0.5	EMP	0.020	1.0	0.5	EMP	0.004
0.4	0.5	EDP	0.610	0.7	0.5	EDP	0.030	1.0	0.5	EDP	0.002
0.4	0.5	MT	0.170	0.7	0.5	MT	0.090	1.0	0.5	MT	0.040
0.5	0.1	EMP	0.190	0.8	0.1	EMP	0.290	1.1	0.1	EMP	0.380
0.5	0.1	EDP	0.390	0.8	0.1	EDP	0.300	1.1	0.1	EDP	0.420
0.5	0.1	MT	0.040	0.8	0.1	MT	0.150	1.1	0.1	MT	0.140
0.5	0.2	EMP	0.100	0.8	0.2	EMP	0.220	1.1	0.2	EMP	0.240
0.5	0.2	EDP	0.030	0.8	0.2	EDP	0.230	1.1	0.2	EDP	0.560
0.5	0.2	MT	0.180	0.8	0.2	MT	0.110	1.1	0.2	MT	0.120
0.5	0.3	EMP	0.210	0.8	0.3	EMP	0.270	1.1	0.3	EMP	0.050
0.5	0.3	EDP	0.540	0.8	0.3	EDP	0.160	1.1	0.3	EDP	0.090
0.5	0.3	MT	0.080	0.8	0.3	MT	0.060	1.1	0.3	MT	0.020
0.5	0.4	EMP	0.210	0.8	0.4	EMP	0.250	1.1	0.4	EMP	0.030
0.5	0.4	EDP	0.610	0.8	0.4	EDP	0.230	1.1	0.4	EDP	0.050
0.5	0.4	MT	0.100	0.8	0.4	MT	0.090	1.1	0.4	MT	0.020
0.5	0.5	EMP	0.310	0.8	0.5	EMP	0.260	1.1	0.5	EMP	0.020
0.5	0.5	EDP	0.420	0.8	0.5	EDP	0.330	1.1	0.5	EDP	0.020
0.5	0.5	MT	0.050	0.8	0.5	MT	0.070	1.1	0.5	MT	0.010
0.6	0.1	EMP	0.260	0.9	0.1	EMP	0.250	1.2	0.1	EMP	0.280
0.6	0.1	EDP	0.390	0.9	0.1	EDP	0.210	1.2	0.1	EDP	0.460
0.6	0.1	MT	0.080	0.9	0.1	MT	0.170	1.2	0.1	MT	0.130
0.6	0.2	EMP	0.190	0.9	0.2	EMP	0.130	1.2	0.2	EMP	0.190
0.6	0.2	EDP	0.230	0.9	0.2	EDP	0.310	1.2	0.2	EDP	0.480
0.6	0.2	MT	0.170	0.9	0.2	MT	0.030	1.2	0.2	MT	0.240
0.6	0.3	EMP	0.350	0.9	0.3	EMP	0.060	1.2	0.3	EMP	0.040
0.6	0.3	EDP	0.620	0.9	0.3	EDP	0.080	1.2	0.3	EDP	0.050
0.6	0.3	MT	0.150	0.9	0.3	MT	0.040	1.2	0.3	MT	0.040
0.6	0.4	EMP	0.050	0.9	0.4	EMP	0.190	1.2	0.4	EMP	0.040
0.6	0.4	EDP	0.140	0.9	0.4	EDP	0.310	1.2	0.4	EDP	0.030
0.6	0.4	MT	0.060	0.9	0.4	MT	0.010	1.2	0.4	MT	0.160
0.6	0.5	EMP	0.090	0.9	0.5	EMP	0.110	1.2	0.5	EMP	0.160
0.6	0.5	EDP	0.070	0.9	0.5	EDP	0.150	1.2	0.5	EDP	0.130
0.6	0.5	MT	0.080	0.9	0.5	MT	0.030	1.2	0.5	MT	0.240

**Tablo D.4:** TSD sistemler için varyans analizi sonuçları (Z3)

$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$	$T$	$F_y/W$	Çevrim modeli	$F$
0.4	0.1	EMP	0.010	0.7	0.1	EMP	0.010	1.0	0.1	EMP	0.010
0.4	0.1	EDP	0.020	0.7	0.1	EDP	0.120	1.0	0.1	EDP	0.074
0.4	0.1	MT	0.010	0.7	0.1	MT	0.040	1.0	0.1	MT	0.025
0.4	0.2	EMP	0.060	0.7	0.2	EMP	0.000	1.0	0.2	EMP	0.050
0.4	0.2	EDP	0.060	0.7	0.2	EDP	0.050	1.0	0.2	EDP	0.244
0.4	0.2	MT	0.010	0.7	0.2	MT	0.020	1.0	0.2	MT	0.078
0.4	0.3	EMP	0.130	0.7	0.3	EMP	0.170	1.0	0.3	EMP	0.032
0.4	0.3	EDP	0.210	0.7	0.3	EDP	0.100	1.0	0.3	EDP	0.047
0.4	0.3	MT	0.100	0.7	0.3	MT	0.030	1.0	0.3	MT	0.006
0.4	0.4	EMP	0.260	0.7	0.4	EMP	0.120	1.0	0.4	EMP	0.022
0.4	0.4	EDP	0.180	0.7	0.4	EDP	0.130	1.0	0.4	EDP	0.119
0.4	0.4	MT	0.180	0.7	0.4	MT	0.060	1.0	0.4	MT	0.041
0.4	0.5	EMP	0.210	0.7	0.5	EMP	0.140	1.0	0.5	EMP	0.021
0.4	0.5	EDP	0.320	0.7	0.5	EDP	0.160	1.0	0.5	EDP	0.051
0.4	0.5	MT	0.130	0.7	0.5	MT	0.140	1.0	0.5	MT	0.078
0.5	0.1	EMP	0.010	0.8	0.1	EMP	0.030	1.1	0.1	EMP	0.008
0.5	0.1	EDP	0.030	0.8	0.1	EDP	0.140	1.1	0.1	EDP	0.101
0.5	0.1	MT	0.000	0.8	0.1	MT	0.030	1.1	0.1	MT	0.043
0.5	0.2	EMP	0.020	0.8	0.2	EMP	0.020	1.1	0.2	EMP	0.017
0.5	0.2	EDP	0.150	0.8	0.2	EDP	0.270	1.1	0.2	EDP	0.153
0.5	0.2	MT	0.010	0.8	0.2	MT	0.050	1.1	0.2	MT	0.080
0.5	0.3	EMP	0.160	0.8	0.3	EMP	0.050	1.1	0.3	EMP	0.084
0.5	0.3	EDP	0.160	0.8	0.3	EDP	0.040	1.1	0.3	EDP	0.086
0.5	0.3	MT	0.060	0.8	0.3	MT	0.030	1.1	0.3	MT	0.041
0.5	0.4	EMP	0.160	0.8	0.4	EMP	0.030	1.1	0.4	EMP	0.008
0.5	0.4	EDP	0.140	0.8	0.4	EDP	0.070	1.1	0.4	EDP	0.014
0.5	0.4	MT	0.280	0.8	0.4	MT	0.030	1.1	0.4	MT	0.027
0.5	0.5	EMP	0.200	0.8	0.5	EMP	0.110	1.1	0.5	EMP	0.017
0.5	0.5	EDP	0.200	0.8	0.5	EDP	0.180	1.1	0.5	EDP	0.040
0.5	0.5	MT	0.250	0.8	0.5	MT	0.090	1.1	0.5	MT	0.026
0.6	0.1	EMP	0.010	0.9	0.1	EMP	0.000	1.2	0.1	EMP	0.011
0.6	0.1	EDP	0.060	0.9	0.1	EDP	0.100	1.2	0.1	EDP	0.050
0.6	0.1	MT	0.010	0.9	0.1	MT	0.020	1.2	0.1	MT	0.068
0.6	0.2	EMP	0.030	0.9	0.2	EMP	0.040	1.2	0.2	EMP	0.003
0.6	0.2	EDP	0.090	0.9	0.2	EDP	0.210	1.2	0.2	EDP	0.070
0.6	0.2	MT	0.010	0.9	0.2	MT	0.090	1.2	0.2	MT	0.063
0.6	0.3	EMP	0.070	0.9	0.3	EMP	0.120	1.2	0.3	EMP	0.078
0.6	0.3	EDP	0.030	0.9	0.3	EDP	0.030	1.2	0.3	EDP	0.147
0.6	0.3	MT	0.040	0.9	0.3	MT	0.020	1.2	0.3	MT	0.017
0.6	0.4	EMP	0.150	0.9	0.4	EMP	0.040	1.2	0.4	EMP	0.146
0.6	0.4	EDP	0.180	0.9	0.4	EDP	0.060	1.2	0.4	EDP	0.157
0.6	0.4	MT	0.330	0.9	0.4	MT	0.090	1.2	0.4	MT	0.013
0.6	0.5	EMP	0.120	0.9	0.5	EMP	0.050	1.2	0.5	EMP	0.010
0.6	0.5	EDP	0.130	0.9	0.5	EDP	0.040	1.2	0.5	EDP	0.008
0.6	0.5	MT	0.470	0.9	0.5	MT	0.090	1.2	0.5	MT	0.035



## EK E Düzlem Çerçevelerde Varyans Analizi Sonuçları

**Tablo E.1:** Düzlem çerçevelerde maksimum ötelenme oranı için varyans analizi sonuçları

Çerçeve	Zemin	<i>F</i>
3 Katlı	Z1	0.225
	Z2	0.250
	Z3	0.053
5 Katlı	Z1	0.033
	Z2	0.206
	Z3	0.092
7 Katlı	Z1	0.059
	Z2	0.288
	Z3	0.059

**Tablo E.2:** Düzlem çerçevelerde maksimum görel kat ötelenmesi oranı için varyans analizi sonuçları

3 katlı düzlem çerçeve			5 katlı düzlem çerçeve			7 katlı düzlem çerçeve			
Zemin	Kat	<i>F</i>	Zemin	Kat	<i>F</i>	Zemin	Kat	<i>F</i>	
Z1	3	0.127	Z1	5	0.147	Z1	7	0.140	
	2	0.232		4	0.054		6	0.197	
	1	0.212		3	0.047		5	0.161	
Z2	3	0.455		2	0.041		4	0.134	
	2	0.235		1	0.046		3	0.057	
	1	0.159	5	0.105	2		0.022		
Z3	3	0.034	Z2	4	0.138		Z2	1	0.019
	2	0.069		3	0.224	7		0.253	
	1	0.058		2	0.164	6		0.154	
5		0.183		5	0.164	4		0.184	
Z3	5	0.045	Z3	4	0.093	Z3		3	0.224
	4	0.067		3	0.067			7	0.155
	2	0.087		2	0.087		6	0.229	
	1	0.081		1	0.081		5	0.128	
							4	0.056	
							3	0.045	
							2	0.078	
						1	0.088		

## 10 ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet DEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : Seyhan 24/01/1990

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta :ademir@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

### Yayın Listesi :

**Kayhan, A.H., Demir, A.,** “ Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimum Tasarımı”, Pamukkale Üniv Müh Bilim Derg, (Baskıda), (2015).

**Kayhan, A.H., 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, ICCESSEN, Antalya, (2014).

**Kayhan, A.H., Demir, A.,** “Zaman Tanım Alanında Analiz için Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Setleri”, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 8UDMK, İstanbul, (2015).

**Kayhan, A.H., Demir, A.,** “Betonarme Bir Binanın Farklı Kullanım Amaçları için Deprem Yönetmeliği ile Uyumlu Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi”, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 8UDMK, İstanbul, (2015).