

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMŞU BİNALARIN PASİF VE AKTİF
TİTREŞİM KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Onur DEMİR

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ**

HAZİRAN 2007

**KOMŞU BİNALARIN PASİF VE AKTİF
TİTREŞİM KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Onur DEMİR
(501031225)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ünal ALDEMİR (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Mehmet BAKİOĞLU (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Zafer KÜTÜĞ (Y.T. Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında deprem kuvveti etkisi altındaki çok katlı komşu binalarda titreşim kontrolü konusu irdelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince düşünce ve bilgilerinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. Ünal ALDEMİR'e teşekkür ederim.

Bütün yaşamım boyunca, bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan biricik aileme de minnet ve şükranlarımı sunarım.

Haziran, 2007

Onur DEMİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	XIII
ÖZET	XIV
SUMMARY	XV
1. GİRİŞ	1
2. PASİF KONTROL SİSTEMLERİ	3
2.1. Taban İzolasyon Sistemleri	4
2.1.1. Kauçuk esaslı sistemler	5
2.1.1.1 Düşük sürtünmeli doğal ve sentetik kauçuk izolatörler	5
2.1.1.2 Kurşun çekirdekli izolatörler	6
2.1.1.3 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler	7
2.1.2. Kayma esaslı sistemler	7
2.1.2.1 Sürtünmeli sarkaç sistemler	7
2.1.2.2 Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi	7
2.1.2.3 Electricite de france yöntemi	8
2.1.2.4 Eerc birleşik sistemi	8
2.1.2.5 Tass sistemi	8
2.2. Mekanik Sönümleyiciler	9
2.2.1. Sürtünmeli sönümleyiciler	9
2.2.2. Adas elemanları	10
2.2.3. Eğilmeli çelik elemanlar	11
2.2.4. Honeycomb sönümleyiciler	11
2.2.5. Nokta sönümleyiciler	11
2.3. Viskoalastik Sönümleyiciler	12
3. AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ	13
3.1. Aktif Kütle Sönümleyiciler	15
3.2. Aktif Rijitlik Değiştirici	16
4. KARMA KONTROL SİSTEMLERİ	18
5. YAPILARIN YER HAREKETİ ALTINDA DAVRANIŞI	19
5.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Elde Edilmesi	19
5.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler	21

5.2.1. Çok serbestlik dereceli sistemin hareket denkleminin elde edilmesi	21
5.2.2. Çok serbestlik dereceli sistemin kütle matrisinin elde edilmesi	22
5.2.3. Çok serbestlik dereceli sistemin rijitlik matrisinin elde edilmesi	22
5.2.4. Çok serbestlik dereceli sistemin sönüm matrisinin elde edilmesi	25
5.3. Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi	25
5.3.1. Aynı kat sayısına sahip komşu iki binanın hareket denkleminin,rijitlik ve sönüm matrisinin elde edilmesi	27
5.3.2. Farklı kat sayısına sahip komşu iki binanın hareket denkleminin, rijitlik ve sönüm matrisinin elde edilmesi	29
5.4. Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi	31
6. SAYISAL ÖRNEKLER	35
6.1. Giriş	35
6.2. Analizde Kullanılan Deprem Kayıtları	39
6.3. Binaların Yalın Halde Olduğu Durumda Katlarda Oluşan Maksimum Deplasmanların Hesabı	42
6.3.1. Bina 1'in hareket denklemi parametrelerinin ve maksimum kat deplasmanının hesabı	42
6.3.1.1 Bina 1'in kat kütlelerinin hesabı	43
6.3.1.2 Bina 1'in kat rijitliklerinin hesabı	44
6.3.1.3 Bina 1'in kat sönüm miktarının hesabı	46
6.3.1.4 Bina 1'in maksimum kat deplasmanlarının hesabı	46
6.3.2. Bina 2'nin hareket denklemi parametrelerinin ve maksimum kat deplasmanının hesabı	47
6.3.2.1 Bina 2'nin kat kütlelerinin hesabı	48
6.3.2.2 Bina 2'nin kat rijitliklerinin hesabı	49
6.3.2.3 Bina 2'nin kat sönüm miktarının hesabı	51
6.3.2.4 Bina 2'nin maksimum kat deplasmanlarının hesabı	51
6.4. Binaların Yaptığı Toplam Kat Deplasmanlarının Hesabı	52
6.5. Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi	53
6.5.1. Pasif kontrol kuvvetinin mertebesinin belirlenmesi	54
6.5.2. Pasif kontrol kuvvetinin uygulandığı durumda katlarda oluşan maksimum deplasmanlar	55
6.6. Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi	56
6.6.1. Aktif kontrol kuvvetinin iki bina arasına uygulanması durumu	56
6.6.2. Aktif kontrol kuvvetinin iki binaya ayrı ayrı uygulanması durumu	57
6.6.3. Aktif kontrol kuvvetinin uygulandığı iki yöntemin karşılıklı olarak irdelenmesi	59

7. HESAPTA KULLANILAN MATLAB PROGRAMLARI	60
7.1. Dördüncü Mertebe Runga-Kutta Yöntemi	60
7.2. Deplasman Hesabında Kullanılan Matlab Programları	61
7.2.1. Pasif kontrol kuvveti uygulandığında deplasman hesabı	61
7.2.2. Aktif kontrol kuvveti uygulandığında deplasman hesabı	63
7.2.3. Eq-1 dosyası	65
7.2.4. Sttpcakt dosyası	65
8. SONUÇLAR	66
KAYNAKLAR	67
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	116

KISALTMALAR

DBYBHY 2007 : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik,
2007

AMD : Active Mass Driver

AVS : Active Variable Stiffness

VSD : Variable Stiffness Device

APTMD : Active Passive Composite Tuned Mass Damper

TSD : Tek Serbestlik Dereceli Sistem

ÇSD : Çok Serbestlik Dereceli Sistem

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Kontrol sistemleri..... 1
Tablo 2.1	Pasif kontrol sistemleri..... 3
Tablo 2.2	Taban izolasyon sistemleri..... 5
Tablo 2.3	Mekanik sönümleyiciler..... 9
Tablo 3.1	Aktif kontrol sistemlerinin sınıflandırılması..... 14
Tablo 3.2	Aktif rijitlik değiştirici aracın teknik özellikleri..... 17
Tablo 6.1	Bitişik nizam iki binada kontrol mekanizmasının seçimi..... 36
Tablo 6.2	Örnek binaların tasarım parametreleri..... 38
Tablo 6.3	Hesap aşamaları..... 38
Tablo 6.4	Bina 1 bodrum kat kolonları..... 43
Tablo 6.5	Bina 1 1.normal kat kolonları..... 43
Tablo 6.6	Bina 1 3.normal kat kolonları..... 43
Tablo 6.7	Bina 1 bodrum kat kolonlarının rijitliği..... 44
Tablo 6.8	Bina 1 1.normal kat kolonlarının rijitliği..... 45
Tablo 6.9	Bina 1 3.normal kat kolonlarının rijitliği..... 45
Tablo 6.10	Farklı deprem kayıtlarında binaların katlarında oluşan maksimum deplasmanlar..... 46
Tablo 6.11	Bina 2 bodrum kat kolonları..... 48
Tablo 6.12	Bina 2 1.normal kat kolonları..... 48
Tablo 6.13	Bina 2 3.normal kat kolonları..... 48
Tablo 6.14	Bina 2 bodrum kat kolonlarının rijitliği..... 49
Tablo 6.15	Bina 2 1.normal kat kolonlarının rijitliği..... 49
Tablo 6.16	Bina 2 3.normal kat kolonlarının rijitliği..... 50
Tablo 6.17	Farklı deprem kayıtlarında bina2'nin katlarında oluşan maksimum deplasmanlar..... 51
Tablo 6.18	Binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanları..... 52
Tablo 6.19	Slymar ve rinaldi kaydı için pasif kontrol kuvvetinin mertebesi..... 54
Tablo 6.20	Kobe ve elCentro kaydı için pasif kontrol kuvvetinin mertebesi..... 54
Tablo 6.21	Binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanları..... 55
Tablo 6.22	Aktif kontrol kuvveti uygulandığında maksimum kat deplasmanları ve kontrol kuvvetleri..... 57
Tablo 6.23	Aktif kontrol kuvveti uygulandığında bina 1'de oluşan maksimum kat deplasmanları..... 58
Tablo 6.24	Aktif kontrol kuvveti uygulandığında bina 2'de oluşan maksimum kat deplasmanları..... 58
Tablo 6.25	İki bina arasında oluşan maksimum kat deplasmanları..... 58
Tablo 6.26	Aktif kontrol kuvveti uygulandığı 1.durumdaki ortalama kontrol kuvvetleri..... 59
Tablo 6.27	Aktif kontrol kuvveti uygulandığı 2.durumdaki ortalama kontrol kuvvetleri..... 59

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Taban izolasyon sisteminin hareket prensibi	4
Şekil 2.2 : Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sistemi.....	6
Şekil 2.3 : Kurşun çekirdekli izolatör sistem.....	6
Şekil 2.4 : Sürtünmeli sarkaç sistem.....	7
Şekil 2.5 : Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi	8
Şekil 2.6 : Kuşaklamaların yapı içindeki yerleşim biçimi.....	8
Şekil 2.7 : Sürtünmeli sönümleyicilerin kirişe bağlanması.....	10
Şekil 2.8 : ADAS aracı ve düzlem çerçevede yerleşimi.....	10
Şekil 2.9 : Honeycomb sönümleyici.....	11
Şekil 2.10 : Honeycomb sönümleyicinin yerleşimi.....	11
Şekil 2.11 : Nokta sönümleyici tipleri	11
Şekil 2.12 : Nokta sönümleyicilerin uygulamaları	12
Şekil 2.13 : Viskoelastik sönümleyici ve yapıdaki yerleşimi	12
Şekil 3.1 : Aktif kontrol sistemi diyagramı.....	13
Şekil 3.2 : Aktif kütle sönümleyici	15
Şekil 3.3 : Kyobashi seiwa binası.....	16
Şekil 3.4 : Kuşaklamalara bağlı vsd aracının yerleşimi	17
Şekil 3.5 : Aktif rijitlik değiştirici araç	17
Şekil 4.1 : Aptmd sistemi.....	18
Şekil 5.1 : Tek serbestlik dereceli sistem	19
Şekil 5.2 : Tek serbestlik dereceli sistemin şematize edilmesi	20
Şekil 5.3 : Kuvvetlerin dengesi..	20
Şekil 5.4 : Kayma çerçevesi	23
Şekil 5.5 : Serbestlik derecesi üç olan bir sistemin yaylarla modellenmesi....	23
Şekil 5.6 : Serbestlik derecesi üç olan sistemde birinci durum	23
Şekil 5.7 : Serbestlik derecesi üç olan sistemde ikinci durum	24
Şekil 5.8 : Serbestlik derecesi üç olan sistemde üçüncü durum	24
Şekil 5.9 : Bitişik nizam iki binanın modellenmesi	27
Şekil 5.10 : Bitişik nizam iki katlı iki binanın modellenmesi.....	27
Şekil 5.11 : Farklı kat sayısına sahip bitişik nizam iki bina.....	29
Şekil 5.12 : Komşu iki binada aktif kontrol kuvvetinin uygulanması	31
Şekil 6.1 : Döşeme kotları farklı bitişik nizam binalarda çarpma kuvvetinin etkisi.....	35
Şekil 6.2 : Slymar kuzey-güney deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 6.3 : Slymar doğu-batı deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 6.4 : Rinaldi kuzey-güney deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 6.5 : Rinaldi doğu-batı deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 6.6 : Kobe kuzey-güney deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 6.7 : Kobe doğu-batı deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	41

Şekil 6.8	: ElCentro kuzey-güney deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 6.9	: ElCentro doğu-batı deprem kaydı ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 6.10	: Bina 1 bodrum kat kalıp planı.....	42
Şekil 6.11	: Bina 1 maksimum kat deplasmanları.....	47
Şekil 6.12	: Bina 2 bodrum kat kalıp planı.....	47
Şekil 6.13	: Bina 2 maksimum kat deplasmanları.....	52
Şekil 6.14	: Binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanları.....	53
Şekil 6.15	: Pasif kontrol elemanları uygulandığı durumda binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanları.....	55
Şekil 6.16	: Aktif kontrol elemanları uygulanması halinde kullanılan hesap modeli	56
Şekil 6.17	: Aktif kontrol elemanları uygulandığı durumda binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanları.....	57
Şekil A.1	: Bina 1'in bodrum ve zemin kat kalıp planı.....	70
Şekil A.2	: Bina 1'in 1.ve 2.normal kat kalıp planı.....	71
Şekil A.3	: Bina 1'in 3.ve 4.normal kat kalıp planı.....	72
Şekil A.4	: Bina 2'in bodrum ve zemin kat kalıp planı.....	73
Şekil A.5	: Bina 2'in 1.ve 2.normal kat kalıp planı.....	74
Şekil A.6	: Bina 2'in 3.ve 4.normal kat kalıp planı.....	75
Şekil B.1	: SlymarNS kaydı bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	76
Şekil B.2	: SlymarNS kaydı-bina 2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	76
Şekil B.3	: SlymarNS kaydı - 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	77
Şekil B.4	: SlymarNS kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	77
Şekil B.5	: SlymarNS kaydı bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	78
Şekil B.6	: SlymarNS kaydı-bina 2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	78
Şekil B.7	: SlymarNS kaydı-6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	79
Şekil B.8	: SlymarNS kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	79
Şekil B.9	: SlymarNS kaydı-aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	80
Şekil B.10	: SlymarNS kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	80
Şekil B.11	: SlymarEW kaydı-bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	81
Şekil B.12	: SlymarEW kaydı-bina2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	81
Şekil B.13	: SlymarEW kaydı - 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	82
Şekil B.14	: SlymarEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	82
Şekil B.15	: SlymarEW kaydı-bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	83
Şekil B.16	: SlymarEW kaydı-bina2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	83

Şekil B.17	: SlymarEW kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	84
Şekil B.18	: SlymarEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	84
Şekil B.19	: SlymarEW kaydı - aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	85
Şekil B.20	: SlymarEW kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	85
Şekil B.21	: RinaldiNS kaydı-bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	86
Şekil B.22	: RinaldiNS kaydı-bina 2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı....	86
Şekil B.23	: RinaldiNS kaydı-1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	87
Şekil B.24	: RinaldiNS kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	87
Şekil B.25	: RinaldiNS kaydı-bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	88
Şekil B.26	: RinaldiNS kaydı-bina 2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı....	88
Şekil B.27	: RinaldiNS kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	89
Şekil B.28	: RinaldiNS kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	89
Şekil B.29	: RinaldiNS kaydı - aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	90
Şekil B.30	: RinaldiNS kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	90
Şekil B.31	: RinaldiEW kaydı-bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	91
Şekil B.32	: RinaldiEW kaydı-bina2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı....	91
Şekil B.33	: RinaldiEW kaydı-1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	92
Şekil B.34	: RinaldiEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	92
Şekil B.35	: RinaldiEW kaydı-bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	93
Şekil B.36	: RinaldiEW kaydı-bina2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı....	93
Şekil B.37	: RinaldiEW kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	94
Şekil B.38	: RinaldiEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	94
Şekil B.39	: RinaldiEW kaydı - aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	95

Şekil B.40	: RinaldiEW kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	95
Şekil B.41	: KobeNS kaydı bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	96
Şekil B.42	: KobeNS kaydı bina 2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	96
Şekil B.43	: KobeNS kaydı - 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	97
Şekil B.44	: KobeNS kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	97
Şekil B.45	: KobeNS kaydı bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	98
Şekil B.46	: KobeNS kaydı bina 2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	98
Şekil B.47	: KobeNS kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	99
Şekil B.48	: KobeNS kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	99
Şekil B.49	: KobeNS kaydı-aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	100
Şekil B.50	: KobeNS kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	100
Şekil B.51	: KobeEW kaydı bina 1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	101
Şekil B.52	: KobeEW kaydı bina 2'nin 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	101
Şekil B.53	: KobeEW kaydı-1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	102
Şekil B.54	: KobeEW kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	102
Şekil B.55	: KobeEW kaydı bina 1'in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	103
Şekil B.56	: KobeEW kaydı bina 2'nin 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	103
Şekil B.57	: KobeEW kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	104
Şekil B.58	: KobeEW kaydı-pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	104
Şekil B.59	: KobeEW kaydı-aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	105
Şekil B.60	: KobeEW kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	105
Şekil B.61	: ElcentroNS kaydı bina1'in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	106
Şekil B.62	: ElcentroNS kaydı bina2'nin1.kat maksimum kat deplasmanı.....	106
Şekil B.63	: ElcentroNS kaydı- 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	107

Şekil B.64	: ElcentroNS kaydı – pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	107
Şekil B.65	: ElcentroNS kaydı bina1’in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	108
Şekil B.66	: ElcentroNS kaydı bina2’nin 6.kat maksimum kat deplasmanı....	108
Şekil B.67	: ElcentroNS kaydı - 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	109
Şekil B.68	: ElcentroNS kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	109
Şekil B.69	: ElcentroNS kaydı - aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	110
Şekil B.70	: ElcentroNS kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	110
Şekil B.71	: ElcentroEW kaydı bina1’in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	111
Şekil B.72	: ElcentroEW kaydı bina2’in 1.kat maksimum kat deplasmanı.....	111
Şekil B.73	: ElcentroEW kaydı-1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	112
Şekil B.74	: ElcentroEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 1.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	112
Şekil B.75	: ElcentroEW kaydı bina1’in 6.kat maksimum kat deplasmanı.....	113
Şekil B.76	: ElcentroEW kaydı bina2’nin 6.kat maksimum kat deplasmanı...	113
Şekil B.77	: ElcentroEW kaydı -6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	114
Şekil B.78	: ElcentroEW kaydı - pasif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	114
Şekil B.79	: ElcentroEW kaydı - aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	115
Şekil B.80	: ElcentroEW kaydında iki binaya ayrı ayrı aktif kontrol kuvveti uygulanması durumunda 6.kat hizasında binalar arasında oluşan maksimum kat deplasmanı.....	115

SEMBOL LİSTESİ

R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
α	: Deprem derzi boşluklarının hesabında kullanılan katsayı
E	: Elastisite modülü
I	: Atalet momenti
X_g	: Yer hareketi
f₁	: Atalet kuvveti
f_d	: Sönüm kuvveti
f_s	: Yay kuvveti
M	: Kütle matrisi
C	: Sönüm matrisi
K	: Rijitlik matrisi
K_d	: Kontrol elemanın rijitlik matrisi
C_d	: Kontrol elemanın sönüm matrisi

KOMŞU BİNALARIN PASİF VE AKTİF TİTREŞİM KONTROLÜ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, bitişik nizam iki binada pasif ve aktif kontrol elemanları uygulanarak titreşim kontrolü yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Sekiz bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde konunun amacı ve kapsamı yer almaktadır.

İkinci,üçüncü ve dördüncü bölümlerde sırası ile pasif,aktif ve karma kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, öncelikle dinamik yüklere maruz çok serbestlik dereceli bir sistem için hareket denklemleri çıkarılmıştır. Daha sonra pasif ve aktif kontrol elemanlarının uygulanması durumunda hareket denkleminde meydana gelen değişiklikler elde edilmiştir.

Altıncı bölümde; sekiz farklı deprem kaydı için binaların müstakil tek başına oldukları, bitişik nizam teşkil edildikleri ve herhangi bir kontrol elemanının uygulanmadığı, pasif ve aktif kontrol elemanlarının uygulandığı dört farklı durumdaki katlarda oluşan maksimum deplasmanlar hesaplanmıştır. Pasif kontrol elemanının uygulandığı durumda maksimum deplasmanlara karşı gelen kontrol elemanının rijitliğinin mertebesi bulunmuştur. Aktif kontrol elemanı için ise maksimum deplasmanlara karşı gelen kontrol kuvvetleri bulunmuştur.

Yedinci bölümde, deplasman hesaplarında kullanılan Matlab programları verilmiştir.

Sekizinci ve son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

PASSIVE AND ACTIVE VIBRATION CONTROL OF ADJACENT BUILDINGS

SUMMARY

In this study, passive and active control techniques are applied to adjacent buildings for controlling vibration and then results are examined for two buildings.

In the first chapter, the scope and the objectives of the study are explained.

In the second, third and fourth chapters; information about the passive, active and the mixed control techniques are given.

In the fifth chapter, the equation of motion for the multi-degree-of-freedom system that is subjected to dynamic forces are obtained. Then, the differences in the equations of motions corresponding to passive and active control techniques are given.

In the sixth chapter, by using the eight different earthquake records, maximum displacements are calculated for independent buildings, adjacent buildings and adjacent buildings that are applied passive and active control techniques. For the case in which the passive control techniques are applied, rigidity of the control techniques corresponding to maximum displacements are calculated. For the case in which the active control techniques are applied, the control forces corresponding to maximum displacements are calculated.

In the seventh chapter, Matlab programs that are used for the computation of maximum displacements are given.

The last chapter covers the conclusions that are obtained in this study.

1. GİRİŞ

Yapılar sismik kuvvetlere karşı koyacak şekilde tasarlanmış olsalar bile, deprem, tarih boyunca insanlığa büyük maddi kayıplar vermiştir. Depremi yıkıcı etkilerine karşı yapıyı koruyabilmek ve yapının servis ömrünü uzatmak için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Klasik yapı tasarımında, yapı elemanları uygun şekilde tasarlanarak deprem enerjisinin sönümlenmesi amaçlanmıştır. Büyük depremlerde bu tip yapılar elastik sınırlar içinde deformasyona uğramakta ve plastik deformasyon yetenekleri ölçüsünde yıkılmadan ayakta kalmaktadır. Plastik deformasyon yapıda plastik mafsallar oluşturacaktır. Bu yöntemle kısmen deprem kuvvetleri karşılanırsa da plastik deformasyonlar yapıdaki bazı elemanlarda ciddi hasarlar oluşmasına neden olabilmektedir.

Yapısal kontrol sistemleri, yer hareketinin meydana getirdiği enerjinin yapı elemanları tarafından sönümlenmesi fikrine dayanarak geliştirilmiş yöntemlerdir. Depremi neden olduğu titreşimlerin kontrolü rijitliğin, sönümün ve kütlelerin düzenlenmesi şeklinde olmaktadır. Kontrol sistemlerinin temel ilkesi, yapıya katı veya sıvı sönümleyiciler koyarak deprem kuvvetlerinin karşılanmasını yapıda hasar oluşturmadan gerçekleştirmektir. Yapının tabanına veya içine yerleştirilen ilave elemanlar ile deprem etkilerine karşı yapıyı korumak amaçlanmıştır. Bu yöntemde belirtildiği şekilde oluşturulmuş kontrol sistemleri üç grupta incelenmektedir.

Tablo 1.1 : Kontrol Sistemleri



Yapısal kontrol sistemleri deprem enerjisini absorbe ederek hem yapının yer hareketinden dolayı göreceği zararı azaltırken hem de yapının yapacağı deplasmanın belli sınırlar içinde tutulmasını sağlamaktadır.

Bitişik nizam şeklinde inşa edilmiş yapılarda, binalar arasında yeterli derz aralığının bırakılmamasından ötürü deprem etkisi altında hasarlar oluşmaktadır. Çekiçleme hasarı olarak tanımlanan bu tip hasarlar binalar arasında bırakılan derzin binaların yapacağı deplasmandan az olması durumunda ortaya çıkan bir hasar tipidir.

Ülkemizdeki yapı stoğu incelendiğinde özellikle eski yapılaşmaların gözleendiği bölgelerde bitişik nizam yapılara sıkça rastlanmaktadır. Bunların birçoğunda da derz aralıklarının yeterli olmadığı görülmektedir.

Çalışmamız kapsamında da farklı taşıyıcı sistemlere sahip bitişik nizam iki bina incelenmiştir. Bu binaların yapacağı maksimum deplasmanlar bulunduktan sonra iki bina arasında bırakılması gereken asgari derz aralığı hesap edilmiştir.

Mevcut derz aralığının hesaplanan minimum derz aralığından küçük olduğu varsayımı ile aktif ve pasif kontrol elemanları uygulanarak binaların yapacağı deplasmanlar çarpışma durumunun olmaması için belli sınırlar içinde tutulmaya çalışılmıştır.

Sekiz farklı deprem kaydı kullanılarak yapılan hesaplarda her bir deprem kaydı için binaların yapması istenen deplasman değerlerine karşılık gelen pasif kontrol elemanının rijitliğinin mertebesi ve aktif kontrol kuvvetleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Deplasman hesaplarından önce ilk üç bölümde sırası ile aktif, pasif ve karma kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

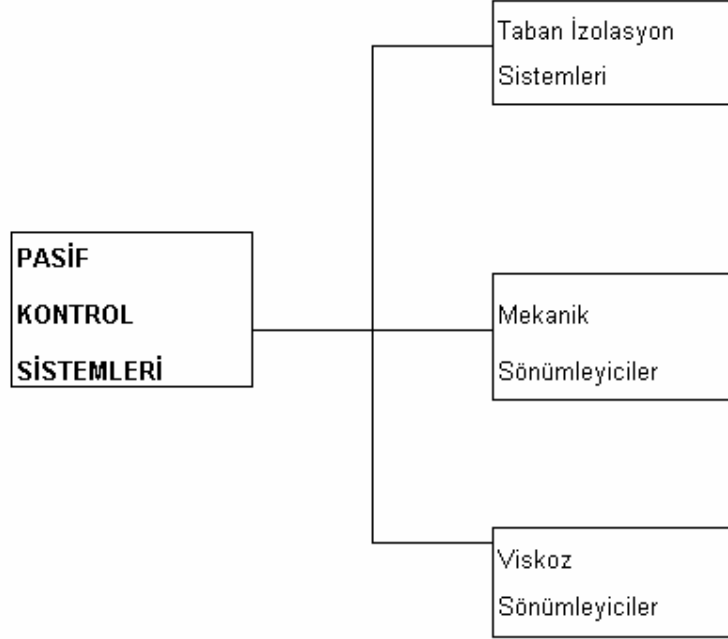
2. PASİF KONTROL SİSTEMLERİ

Yapılara etkiyen deprem kuvvetini karşılamamanın yolu yapının sönüm kapasitesini veya başka bir ifade ile yapının enerji yutma kapasitesini arttırmaktır.

Sönüm oranını artırmanın yollarından biri pasif kontrol sistemleridir. Pasif sönümleyiciler ile oluşturulan kontrol metotlarında hangi büyüklükteki depremler için koruma sağlanması isteniyorsa koruma sistemi o seviyeye göre tercih edilir. Yapıda daha sonra meydana gelecek değişimlere adapte olamazlar. Bu sebeplerden ötürü pasif kontrol sistemleri için başlangıç aşamasında zemin hareketinin tahmin edilmesi sorunu vardır. Pasif kontrol sistemlerinin bu dezavantajının yanında pahalı olmaması ve dışarıdan enerjiye ihtiyaç duymaması gibi avantajları da mevcuttur.

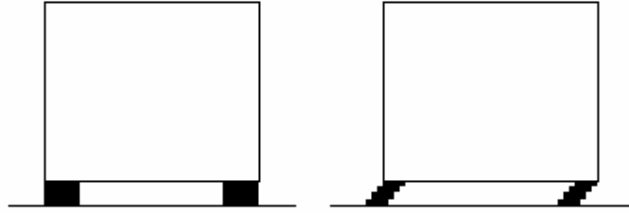
Yapıların performansını arttırmak ve sismik ya da rüzgar etkileri nedeni ile oluşan zararları kontrol etmek amacı ile oluşturulan pasif kontrol sistemleri; taban izolasyon sistemleri, viskoz ve mekanik sönümleyiciler olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

Tablo 2.1 : Pasif Kontrol Sistemleri



2.1 Taban İzolasyon Sistemleri

Binalarda hasar oluşmasına neden olan deprem etkisi zemin hareketinin yatay bileşeninden oluşmaktadır. Taban izolasyon sistemlerinde de deprem sırasında bina hareketi önlenirken sadece zemin hareketine izin verilir. Taban izolasyon sistemlerinin bu temel prensibi Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



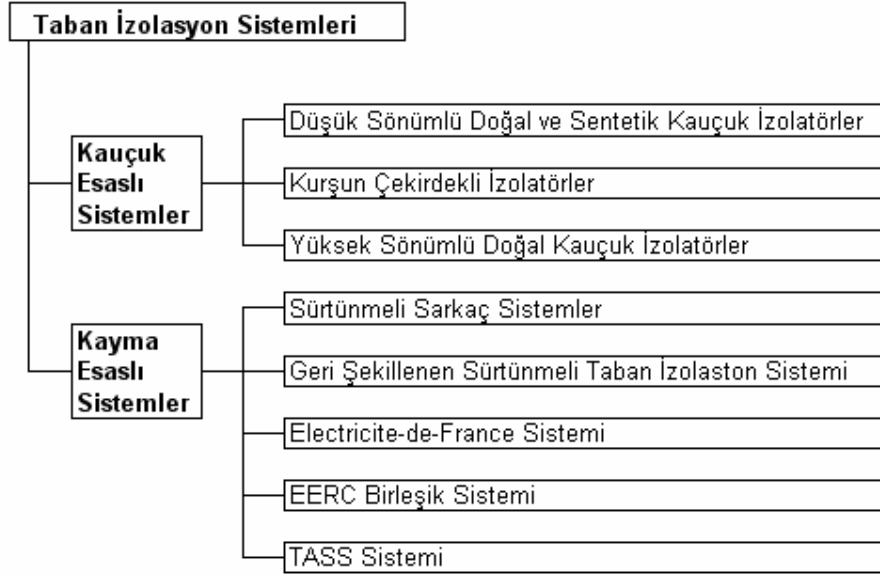
Şekil 2.1 : Temel İzolasyon Sisteminin Hareket Prensibi

Taban izolasyon sistemi, yapıyı esnek taban üzerine inşa ederek yer hareketinin yatay bileşeninden korumaktadır. İzolasyon sistemi bu işlevi, yapı ile temel arasında yerleştirilen yatay rijitliği düşük olan elemanlar yardımı ile yapmaktadır. Bu sistem sayesinde yapının taban kısmında büyük miktarda yer değiştirmeler olmakta ve bu yer değiştirmeler ile yapıya gelen enerjinin sönmülmesi sağlanmaktadır.

Taban izolasyon sistemleri, görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmada en uygun yoldur. Oysa ki binanın depreme karşı dayanımını arttırmak için yapıyı daha rijit hale getirdiğimizde görelî kat ötelemeleri azalırken yer hareketinin büyümesinden dolayı kat ivmeleri artmaktadır. Taban izolasyon sistemleri her ne kadar depreme dayanıklı tasarımda etkili ve başarılı bir uygulama olsalar da değişen deprem kuvvetlerine karşı adapte olmaması gibi zaaf noktaları vardır.

Taban izolasyon sistemleri ile ilgili farklı yaklaşımlar olmasına rağmen, yapım ve basitliği nedeni ile kauçuk izolasyon sistemi en yaygın kullanılan yöntemdir. Kauçuk esaslı izolasyon sistemlerinin yanında kayma izolasyon sistemleri de taban izolasyon sistemi olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.2 : Taban İzolasyon Sistemleri



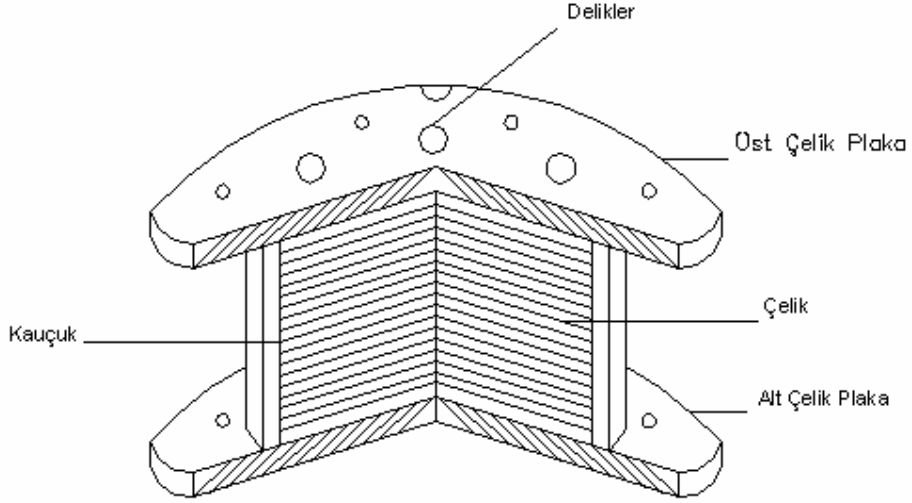
2.1.1 Kauçuk Esaslı Sistemler

Kauçuk esaslı izolasyon sistemlerinde deprem nedeni ile oluşan yatay titreşimlerin yanı sıra düşey titreşimler de izole edilebilmektedir. Kauçuk esaslı sistemlerin düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler, kurşun çekirdekli izolatörler ve yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler olmak üzere üç tipi vardır.

2.1.1.1 Düşük Sürtünlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler

İmal edilmesi ve modellenmesi basit olan düşük sürtünlü doğal izolatörler yaygın olarak kullanılan izolatör sistemidir.

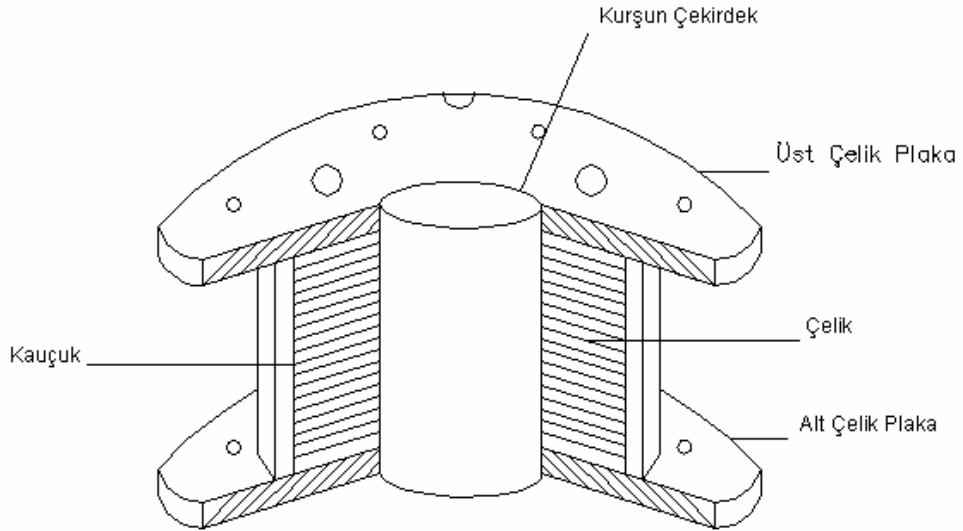
Düşük sürtünlü doğal izolatörler esas olarak iki adet kalın çelikten yapılmış olan uç levhalarının arasında yer alan ince çelikten yapılmış ara sac levhaları ve kauçuk malzemeden oluşur. Yatay rijitliği sağlayan kauçuk elemanlar, düşey rijitliği sağlayan ise çelik ara saclardır. Çelik ara sacların kauçuk malzemenin şişmesini önlemek gibi ikinci bir işlevi de vardır.



Şekil 2.2 : Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör Sistemi

2.1.1.2 Kurşun Çekirdekli İzolatörler

Düşük sürtünmeli doğal izolatörlere benzeyen kurşun çekirdekli izolatörlerin tek farkı, merkezinde yer alan 31.8 mm çapındaki deliğe kurşun çekirdek ya da yer değiştirmeyi kısıtlayıcı araç yerleştirilmesidir. Bu tip izolatörlerin dezavantajı, büyük yer hareketlerinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir.



Şekil 2.3 : Kurşun Çekirdekli İzolatör Sistem

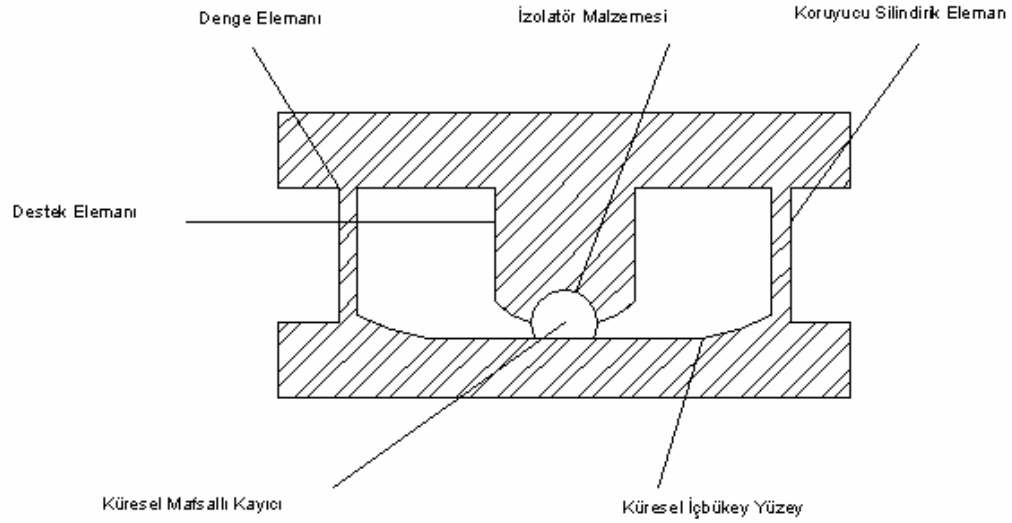
2.1.1.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler

Ek sönüm elemanlarına ihtiyaç duymayan kendi içinde yeterli içsel sürtünmeye sahip olan izolatörlerdir. İlk defa İngiltere’de 1982 yılında geliştirilmiştir.

2.1.2 Kayma Esaslı Sistemler

2.1.2.1 Sürtülmeli Sarkaç Sistemler

Paslanmaz çelikten küresel bir yüzey üzerinde hareket eden mafsallı kayıcıdan oluşan bir düzenektir. Şekil 2.4’te de görülen düzenek, deprem hareketine küçük genlikli sarkaç hareketleri ile cevap vermektedir.

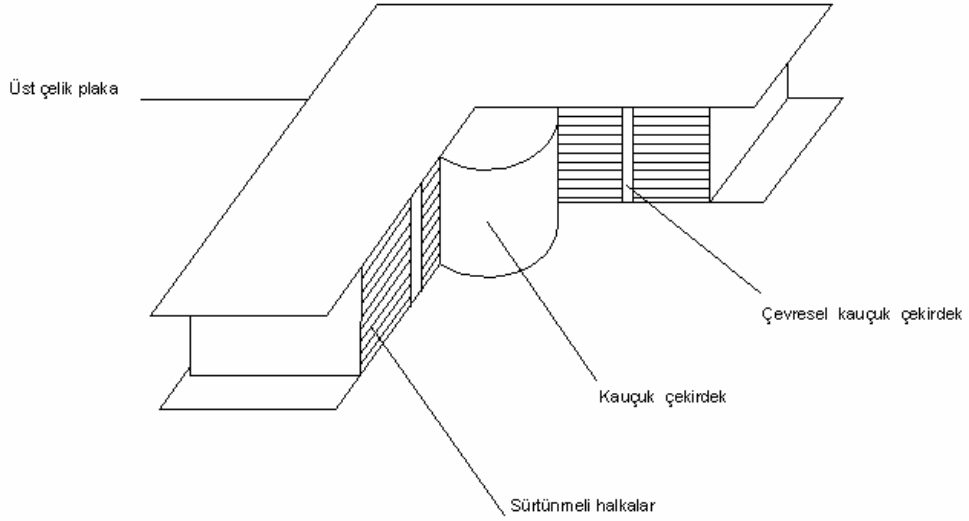


Şekil 2.4 : Sürtülmeli Sarkaç Sistem

2.1.2.2 Geri Şekillenen Sürtülmeli Taban İzolasyon Sistemleri

Yüksek kayma hızlarında ortaya çıkan yüksek sürtünme katsayısı problemini ortadan kaldırmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Merkezdeki kauçuk çekirdek geri dönüş kuvveti sağlayan ancak düşey yük taşımayan bir elemandır.

Geri şekillenen sürtülmeli taban izolasyon sistemi Şekil 2.5’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.5 : Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi

2.1.2.3 Electricite de France Yöntemi

Güney Afrika'daki nükleer elektrik santrali için geliştirilmiş bir yöntemdir. Güney Afrika'daki uygulamadan başka örneği yoktur.

2.1.2.4 EERC Birleşik Sistemi

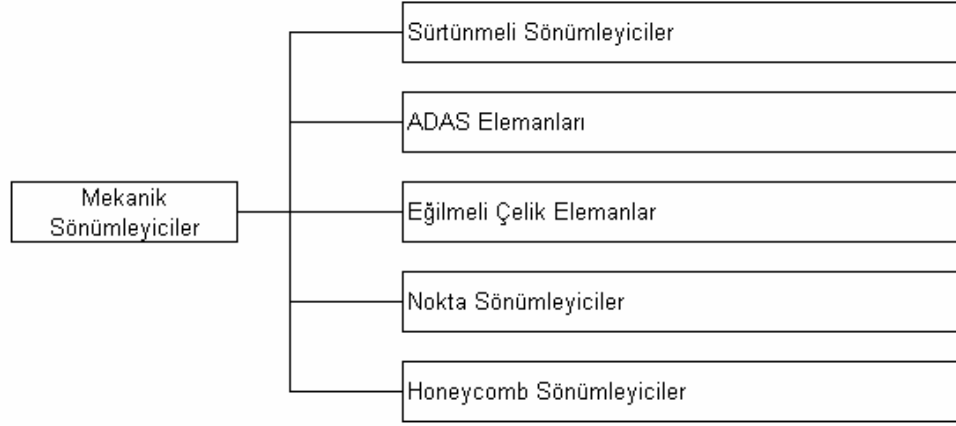
Kayıcı sistemler ile kauçuk esaslı sistemlerin bir arada kullanıldığı karma bir sistemdir. Sistemde kauçuk izolatörler yapının burulma davranışını kontrol ederken kayıcı elemanlar ise sönüm sağlamaktadır.

2.1.2.5 TASS Sistemi

Sistemde paslanmaz çelik elemanlar düşey yükü taşıırken tabakalı suni kauçuk yapıyı yeniden merkezleştirecek kuvvetleri sağlamaktadır.

2.2 Mekanik Sönümleyiciler

Tablo 2.3 : Mekanik Sönümleyiciler

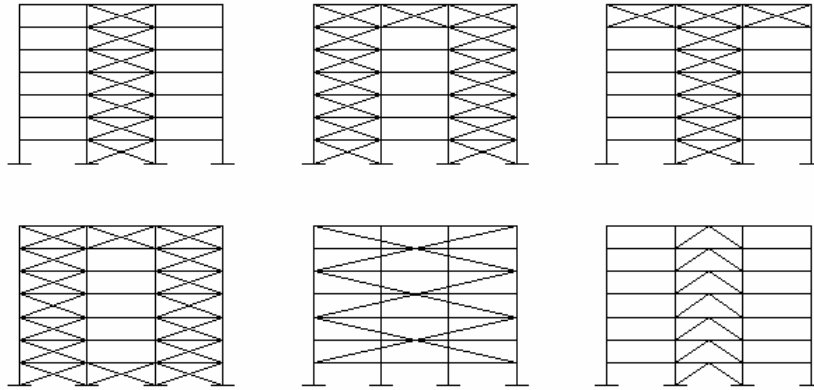


2.2.1 Sürtünmeli Sönümleyiciler

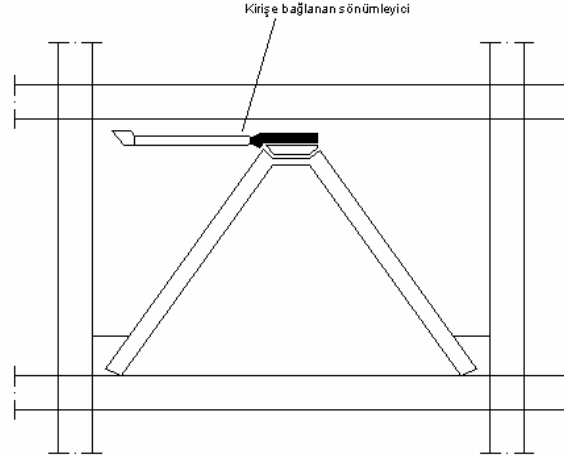
Bu tip sistemlerde; Şekil 2.6'da görüldüğü gibi yapı içinde sürtünme araçları ile kuşaklamalar oluşturulmakta ve büyük yer hareketlerinde yapı çerçevelerinde eğilme olmadan önce sürtünme araçları belli bir yük altında kaymaktadır. Kayma hareketi sayesinde de yapının esnekliği artar ve böylece sismik kuvvetlerin etkisi azalır. Yapıya gelen yüklerin bir kısmı bu şekilde kuşaklar tarafından taşınırken geriye kalan yükler ise düzlem çerçeveler tarafından taşınmaktadır.

Binada X şeklinde oluşturulan kuşakların kesişen yerlerine sürtünme araçları yerleştirilir. Bu tip bir binadaki yerleşim Şekil 2.7'de görülmektedir.

Sürtünmeli sönümleyicilerle oluşturulmuş sistemde ancak kat ötelemeleri azaltılırken, taban kayma kuvvetleri aynı kalmaktadır.



Şekil 2.6 : Kuşaklamaların Yapı İçindeki Yerleşim Biçimi

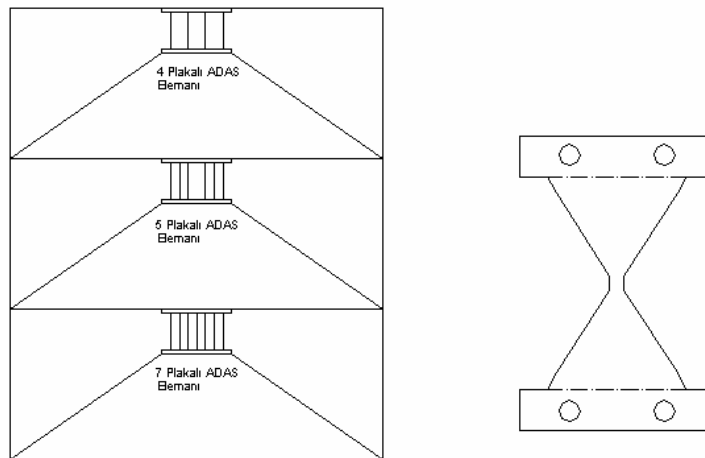


Şekil 2.7 : Sürtünmeli Sönümleyicilerin Kirişe Bağlanması

2.2.2 ADAS Elemanları

ADAS (Added Damping and Stiffness) elemanları binanın çevresine yerleştirilmek üzere tasarlanmış çelik elemanların birleşmesinden oluşur. ADAS aracı ve düzlem çerçevede yerleşimi şekilde verilmektedir. ADAS araçlarının avantajları:

- Yapıya ilave sönüm ve rijitlik sağlar.
- Yalnızca yatay yüke direnen sistemin parçası oldukları için bunların eğilmesi yapısal sistemin servis yüklerinin taşıma kapasitesini etkilememektedir.
- Enerji sönümü tasarlanmış olan yerlerde yoğunlaşmaktadır.
- Diğer yapısal elemanlar üzerindeki enerji sönümü büyük miktarda azalmaktadır.



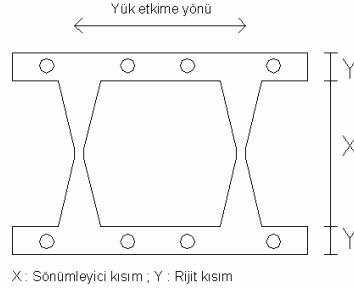
Şekil 2.8 : ADAS Aracı ve Düzlem Çerçevede Yerleşimi

2.2.3 Eğilmeli Çelik Elemanlar

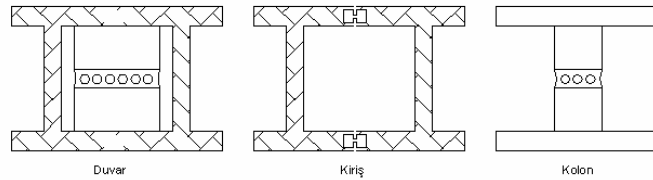
Bu tip sistemlerde; yumuşak çeliğin eğilme özelliğinden yararlanılarak oluşturulan kuşaklanmış çerçevelerle yapıların sismik özellikleri artırılmaktadır. Büyük depremlerde enerji sönümü bu kuşaklanmış çerçevelerin bağlantı noktalarında yoğunlaşmaktadır.

1.2.4 Honeycomb Sönümleyiciler

Çelik sönümleyici plaklardan oluşan ve bal peteklerine benzeyen bu tip sönümleyiciler duvar,kolon gibi yapı elemanları arasına yerleştirilir. Honeycomb sönümleyiciler yapıda oluşturdukları rölatif hareket sayesinde çerçevelerin hareketinin azalmasını sağlamaktadır. Honeycomb sönümleyiciler kullanıldığı binalarda kayma kuvveti sonucu oluşan yer değiştirmeler ve kesit zorlarında %10-35'lik bir azalma görülmektedir.



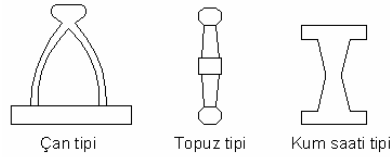
Şekil 2.9 : Honeycomb Sönümleyici



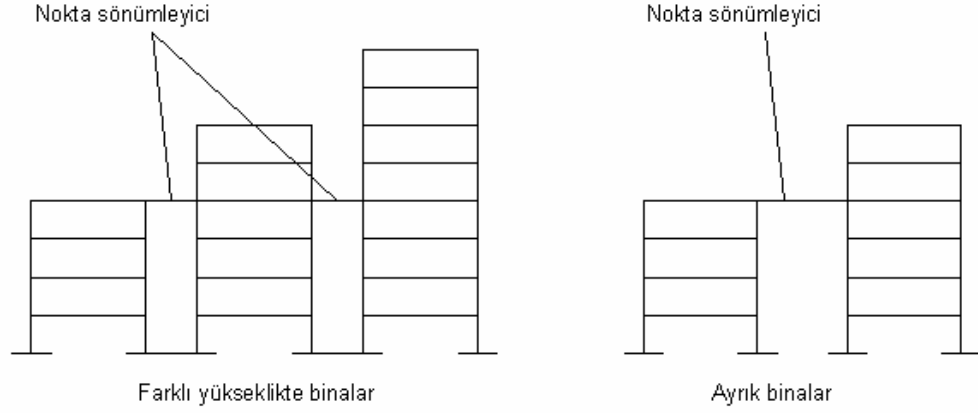
Şekil 2.10 : Honeycomb Sönümleyicinin Yerleşimi

2.2.5 Nokta Sönümleyiciler

Nokta sönümleyicilerin tip ve detayları Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11 : Nokta Sönümleyici Tipleri

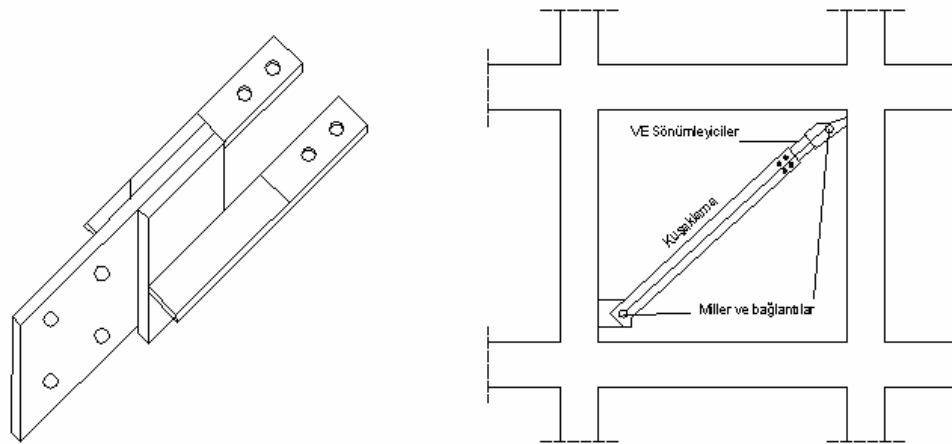


Şekil 2.12 : Nokta Sönümleyicilerin Uygulamaları

Periyotları farklı olan iki bina birbirine doğru hareket ettiklerinde çarpma tehlikesi oluşturur. Nokta sönümleyiciler sayesinde iki binadaki titreşim azalmakta ve çarpışma tehlikesi ortadan kalkacaktır. Bu tehlikeyi ortadan kaldıran nokta sönümleyicilerin yaptığı deformasyonlardır. Deformasyon, büyük yer hareketleri sırasında iki bina arasında oluşan rölatif hareketi karşılar. Nokta sönümleyicilerde de aranan başlıca özellikler de zaten; büyük enerji sönüm kapasitesi, deformasyonda homojenlik ve gerekli deformasyon kapasitesidir.

2.3 VISKOELASTİK SÖNÜMLEYİCİLER

Viskoelastik sönümleyici bir yapıya yerleştirildiğinde, yapısal titreşim dış çelik flanşlar ile merkez plaka arasında rölatif harekete sebep olur. Bu hareket ile kayma deformasyonu oluşarak enerji sönümü gerçekleşmektedir.



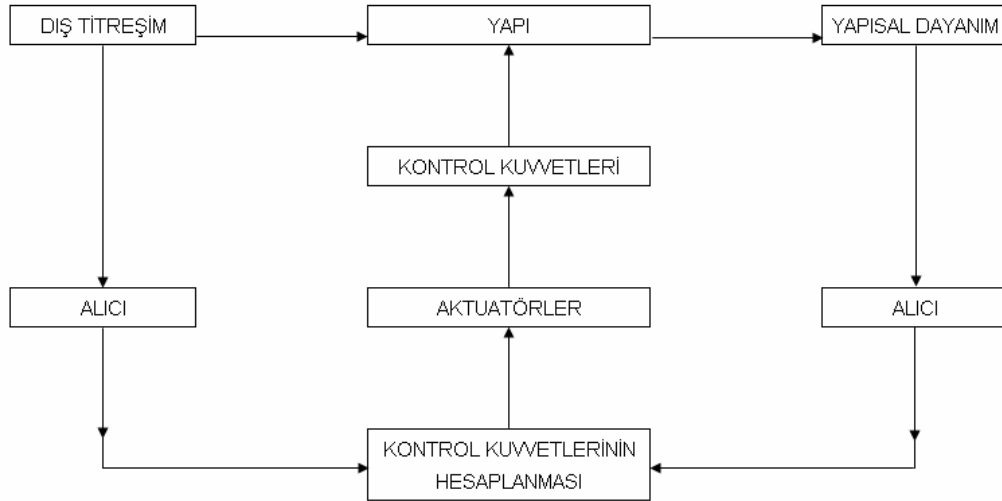
Şekil 2.13 : Viskoelastik Sönümleyici ve Yapıdaki Yerleşim Detayları

3. AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

Aktif kontrol sistemleri özellikle Northridge ve Kobe depremleri gibi yakın-fay etkisinin olduğu uzun periyotlu depremlerden sonra düşünülmesi zorunlu hale gelmiş yöntemlerdir. Araştırmacılar bu tip depremlerde bir pasif kontrol yöntemi olan taban izolasyon metodunun beklenen performansı vermeyeceği endişesine düşmüştür. Taban izolasyon yöntemlerindeki bu eksikliği gidermek için, taban ötelenmesini azaltırken katlar arası ötelenmeyi ve katlarda oluşan ivmeleri bir miktar arttıran aktif kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Pasif kontrol sistemleri şiddetli dış yüklere karşı koyabilme kapasitesine sahip değildir. Aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerinden farklı olarak bu enerjiyi bünyesinde bulunduran kontrol yöntemleridir.

Aktif kontrol sistemi temelde, dış titreşimleri ve yapısal mukavemet değişimlerini ölçmeye yarayan sensörlerden, bu ölçümlerden elde edilen verileri geliştiren ve gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan araçlardan, ve dış enerji kaynağı ile gerekli kontrol kuvvetlerini oluşturan aktüatörlerden meydana gelen bir sistemdir.



Şekil 3.1 : Aktif Kontrol Sistemi Diyagramı

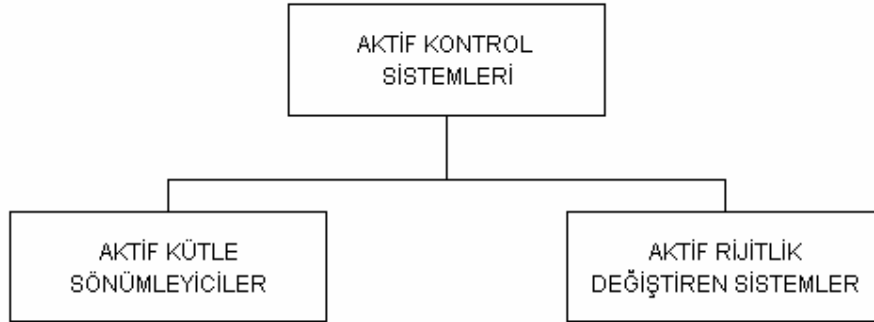
Aktif kontrol sistemleri iki çeşittir. Şekil 3.1'deki diyagramda da özetlenen aktif kontrol sistemlerinin çalışma prensibi her iki yöntemde de aynıdır. Titreşimler alıcılar (sensörler) tarafından algılanır, sinyallere çevrildikten sonra kontrol bilgisayarına gönderilir. Toplanan bilgilere dayanarak yapılan hesaplar sonunda üretilecek olan kontrol kuvvetleri sinyallerle aktüatörlere gönderilir. Aktüatörler gelen sinyallere göre hareket ederek titreşimleri sönümler.

Aktif kontrol sistemleri, yapıyı statik ve pasif durumdan dinamik bir duruma getirir. Aktif kontrol sistemlerinin uygulandığı bir yapı aşırı yüklere karşı dirençli hale gelmiş olur. Aktif kontrol sistemlerinin bu avantajlarının yanında aşağıda özetlenen bazı dezavantajları da vardır.

- a) Deprem sırasında kesintisiz sağlanılmasında güçlük çekilen büyük ölçekte enerjiye ihtiyaç duyar.
- b) Kullanılan teknoloji ve gerekli enerji kaynağı temininin maliyeti yüksektir.
- c) Büyük ölçekli depremlerde, depreme karşı koyacak kuvveti elde etmesi oldukça güçtür.
- d) Büyük ölçekli depremlerde gerekli kuvvet elde edilebilse bile bu kuvvetin uygulanması sebebi ile yapının stabilitesine ve taşıyıcı sistemine zarar verebilir.

Aktif kontrol sistemleri aktif kütle sönümleyiciler ve aktif rijitlik değiştiren sistemler olmak üzere ikiye ayrılır.

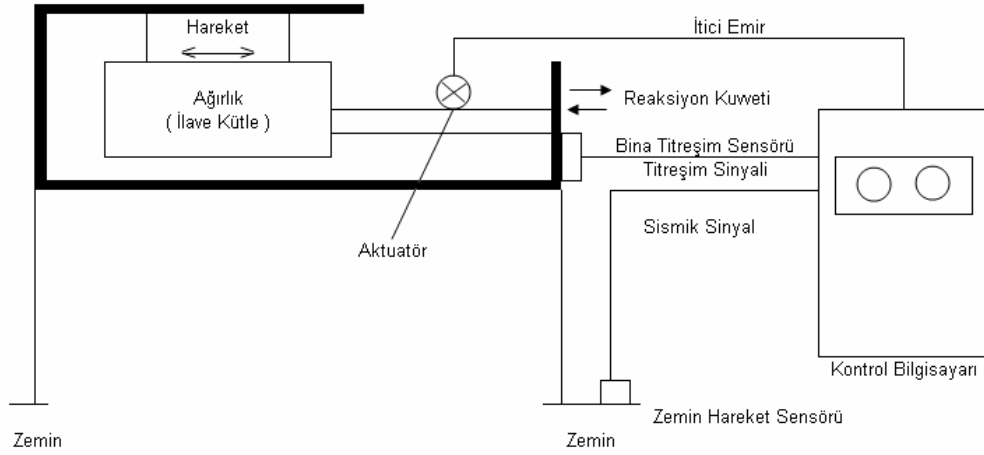
Tablo 3.1 : Aktif Kontrol Sistemlerinin Sınıflandırılması



3.1 Aktif Kütle Sönümleyiciler

Kinetik yapı kavramı, deprem veya şiddetli rüzgar sırasında yapının bir canlı gibi davranarak titreşimlere karşı koyması ve ayakta kalabilmesini ifade eder. Bu kavramla yapının sadece depremden zarar görmemesi değil düşük ölçekteki depremlerde veya rüzgar etkisinde de yapının içinde yer alan insanların konforlu bir biçimde yapı içinde yaşaması amaçlanmıştır.

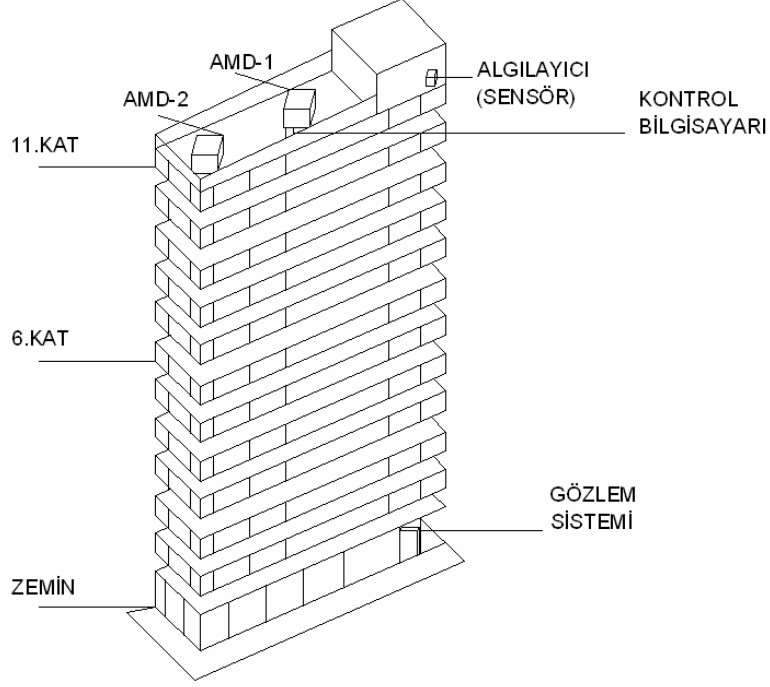
Yatay yerdeğiştirmelerin yanında burulma titreşimlerini de önlemeyi amaçlayan aktif kütle sönümleyicisi (Active Mass Driver); kontrol bilgisayarı, sensörler ve aktuatör olmak üzere temelde üç ana kısımdan oluşur.



Şekil 3.2 : Aktif Kütle Sönümleyici

Aktif kütle sönümleyici sisteminin ve dolayısı ile kinetik yapı kavramının ilk kullanıldığı bina Japonya'nın Tokyo kentindeki 10 katlı ofis binasıdır. Yapıda sistem başarı ile uygulanmış ve yapının hareketi bir dış enerji kaynağı kullanılarak belli sınırlar altında tutulmuştur. Hedeflenen konforlu yaşam ortamı ve depremden yapının hasar görmesinin önlenmesi sağlanmıştır.

Tokyo'daki bu ofis binasının dizaynında en büyük deprem ivmesi olarak 10 cm/s^2 kabul edilmiştir. Bina yüksekliğinin genişliğine oranı 9,5' tir. Binanın çatısına yerleştirilen iki adet ağırlık birimi ile kontrol kuvveti sağlanmıştır. Binanın merkezine yerleştirilen AMD-1 enlemesine olan titreşimleri absorbe ederken, katın kenarına yerleştirilen AMD-2 ise burulma titreşimlerini kontrol altına almaktadır. AMD-1 büyük şiddetteki titreşimleri, AMD-2 ise burulma etkilerini karşılamaya yönelik çalışmaktadır.



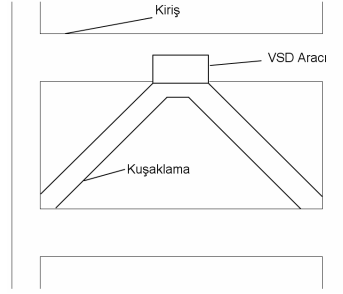
Şekil 3.3 Kyobashi Seiwa Binası

Kyobashi Seiwa binasında Şekil 3.3’ de de görüldüğü gibi kullanılan iki AMD ile sismik enerji azaltılarak depremin yıkıcı etkilerine karşı koruma sağlanırken aynı zamanda yapının konforunun ve fonksiyonunun devamı da sağlanmaktadır.

3.1 Aktif Rijitlik Değiştirici

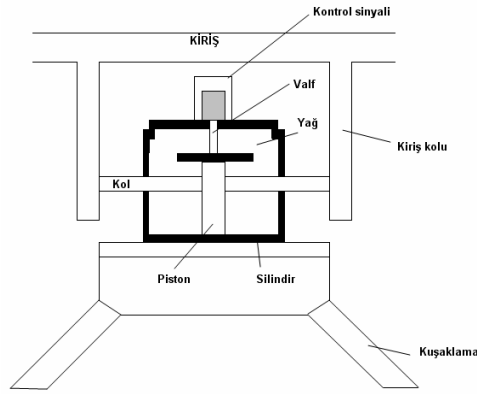
Aktif kontrol sistemlerinin diğeri de aktif rijitlik değiştirici (Active Variable Stiffness) sistemlerdir. AVS sistemi, yapının büyük ölçekli depremlerde hasar görebilirliğini en aza indirmek için yapının rijitliğini optimum rijitlik değerine göre ayarlayan bir sistemdir. AVS sistemi rijitliği yüke göre değiştirerek optimum değeri hesaplar. AVS sistemlerinin bu fonksiyonu sayesinde deprem ile yapının frekansının çakışması sırasında karşılaşılan rözenans durumu da ortadan kalkmaktadır.

AMD sistemleri titreşimleri azaltmak için yardımcı bir kütlein ataletinden yararlanırlar. Yapılar büyüdükçe AMD sisteminin ihtiyaç duyduğu yardımcı kütlein boyutu da büyür. Yardımcı kütle yapının stabilitesine de olumsuz etki yapar. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için AMD sistemleri ile beraber hybrid sistemler kullanılır. AVS sistemleri ise rijitliği değiştirmek için ekstra bir elemana ihtiyaç duymaz. Rijitliği değiştirmek için sadece üst kat kirişinin altına monte edilen ters V şeklindeki kuşakların ortasında yer alan rijitlik değiştiren araçlar (Variable Stiffness Device) kullanılır.



Şekil 3.4 : Kuşaklamalara Bağlı VSD Aracının Yerleşimi

Şekil 3.4’de yapısı gösterilen AVS sisteminde depremten dolayı oluşan yer hareketi sensörler tarafından belirlenmektedir. Sensörlere gelen sinyaller yer hareketini değerlendiren araçlar tarafından analiz edildikten sonra kontrol bilgisayarına iletilir. Kontrol bilgisayarına gelen bilgiler doğrultusunda kuşaklamanın rijitliği belirlenir. AVS sisteminin üzerindeki valf kapalı olduğunda kuşaklamalar aktif yani yapı rijit davranışa sahip, valf açık olduğunda ise kuşaklamalar pasif olmaktadır.



Şekil 3.5 : Aktif Rijitlik Değiştirici Araç

Aktif rijitlik değiştiren aracın teknik özellikleri de Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 : Aktif Rijitlik Değiştirici Aracın Teknik Özellikleri

Tasarım Yüğü	35 tonf
Boyutlar	730 mm * ϕ 290 mm
Ağırlık	250 kg
Piston Çapı	ϕ 180 mm
Kol Çapı	ϕ 100 mm

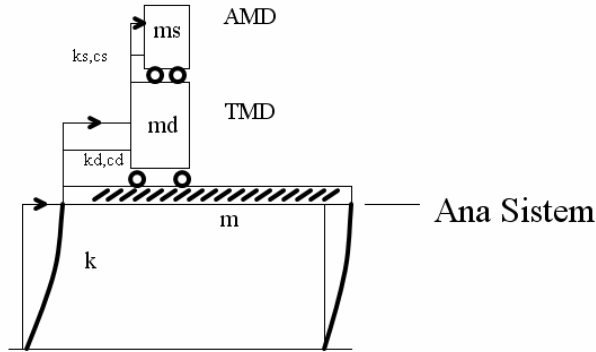
AVS sistemlerinde rijitliğin ayarlanabilir olmasının yanında önemli diğer bir avantajı da sistemin çalışması için gereken enerjinin acil güç kaynakları ile sağlanabilecek kadar az olmasıdır. Bu avantajı sayesinde AVS sistemi büyük ölçekli depremlerde bile etkin olabilmektedir. Başka bir ifade ile büyük ölçekli depremlerde bile etkinliğini yitirmemektedir.

4. KARMA KONTROL SİSTEMLERİ

Yapılarda deprem etkilerini en aza indirmek için geliştirilen aktif ve pasif kontrol yöntemlerinden her ikisinde de bazı olumsuz durumlar mevcuttur. Pasif kontrol yöntemlerinde sistem önceden öngörülen büyüklükteki depreme göre ayarlanmakta ve değişken deprem yüklerine karşı sistem kendini yeni duruma adapte edememektedir. Aktif kontrol yöntemlerinde ise daha farklı sorunlarla karşılaşmaktadır. Aktif kontrol sistemlerinde sistemin çalışması için gereken enerjinin miktarının çok büyük olması gibi bazı dezavantajlar söz konusudur.

Her iki tip kontrol sistemlerindeki sakıncaları en aza indirmek için iki sistemin birlikte kullanıldığı karma izolasyon sistemleri geliştirildi. İki sistemin birlikte kullanıldığı durumlarda aktif kontrol sisteminin gereksinim duyduğu kuvvet azalmakta ve karma sistem daha etkin çalışmaktadır.

APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper) sistem aktif-pasif kontrol yöntemlerinin kullanıldığı karma izolasyon sistemlerine bir örnektir. Bu sistem bir AMD sistemi ile bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyiciden oluşmaktadır. Bu sistemde AMD'nin ataleti ile oluşturulan kontrol kuvveti ile TMD'nin hareketinin değiştirilerek sistemin kontrol performansı daha iyi bir düzeye getirilebilir.



Şekil 4.1 : APTMD Sistemi

Sistemdeki sensörler sayesinde TMD'nin ana sisteme yani binaya ve AMD'nin TMD'ye göre rölatif yer değiştirmesi belirlenmektedir. Elde edilen bilgilerle gerekli kontrol kuvvetleri sağlanmakta ve kabul edilen sınırlar içinde AMD'nin darbelerini onarmak için optimum kontrol kazançlarını denkleştirmek için kontrol edici araca gitmektedir.

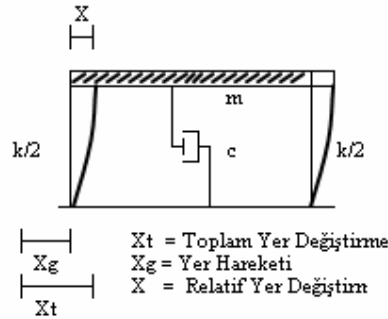
5. YAPILARIN YER HAREKETİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Yapıları tek başına ele aldığımız durum ile kontrol kuvvetleri kullandığımız durum arasında sistemlerin hareket denklemleri açısından farklılıklar oluşmaktadır. Bu bölümde her iki durumda oluşacak farklılığı net bir şekilde ortaya koymak için, kontrol kuvvetleri ile irdelenecek bitişik binaların, kontrol kuvvetleri yerleştirilmiş halindeki hareket denklemi ile müstakil bağımsız olan bir yapının hareket denklemi ayrı ayrı yazılacaktır.

5.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

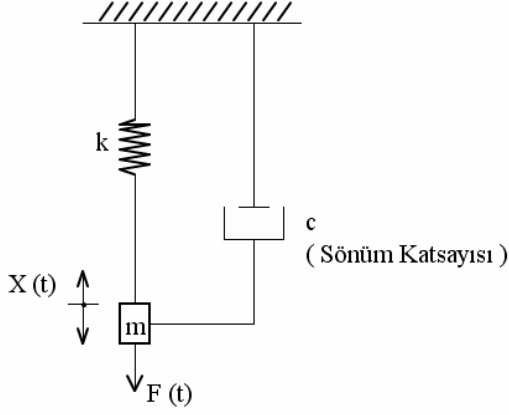
Serbestlik derecesi, yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenebilmesi için gerekli parametre sayısıdır [1]. Eğer ki bir sistemin bu konumu tek bir parametre ile belirlenebiliyorsa bu tür sistem tek serbestlik dereceli sistem olarak adlandırılır. Hareket denklemi ise; sisteme etkiyen atalet kuvvetleri, sönüm etkileri ve şekil değiştirme sonucu meydana gelen elastik kuvvetlerin dengesinden ibarettir [2].

Tek serbestlik dereceli bir sistemin yer hareketi etkisindeki davranışını Şekil 5.1 'de görüldüğü gibi modelleyebiliriz [2].



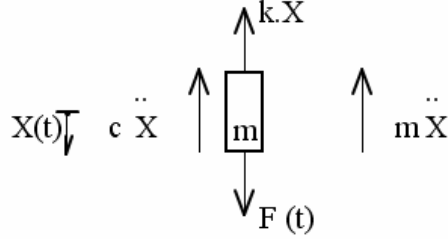
Şekil 5.1 : Tek Serbestlik Dereceli Sistem

Tek serbestlik dereceli sistem için çizdiğimiz model Şekil 5.2'deki gibi idealleştirilebilir.



Şekil 5.2 : İdealleştirilmiş Tek Serbestlik Dereceli Sistem

Herhangi bir t anında kütle sisteminin üzerine etkiyen kuvvetler:



Şekil 5.3 : Kuvvetlerin Dengesi

D'Alembert prensibini kullanarak kütle üzerine etkiyen tüm kuvvetlerin dengesini aşağıda görüldüğü şekilde yazabiliriz.

$$\sum F_i = 0 \quad (5.1a)$$

$$m\ddot{X} + c\dot{X} + kX - F(t) = 0 \quad (5.1b)$$

Formüldeki ifadeler; m : Kütle, c : Sönüm katsayısı, k : Yay katsayısı, $F(t)$: Dış kuvvet 'dir.

Denklem 5.1b'i düzenlediğimizde tek serbestlik dereceli sistem için hareket denklemini elde etmiş oluruz.

$$m\ddot{X} + c\dot{X} + kX - F(t) = 0 \quad (5.1c)$$

Dış kuvvet $F(t)$ sifıra eşit olursa bu hareket serbest titreşim hareketi olarak, $F(t)$ sifirdan farklı olursa yani sisteme etkiyen herhangi bir dış kuvvet varsa hareket zorlanmış hareket olarak adlandırılır. [3]. İnceleyeceğimiz örnekler için dış kuvvet deprem kuvveti olacaktır. (Deprem Kuvveti = $m\ddot{X}g$)

5.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

5.2.1 Çok Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Sistemin hareket halinde bulunduğu konum, eğer birden fazla parametre ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistemler çok serbestlik dereceli sistemler olarak isimlendirilir [1]. TSD sistemin hareket denkleminde yararlanılarak ÇSD sistem için hareket denklemini ve ÇSD sistem için kütle, rijitlik ve sönüm matrislerini elde edelim.

ÇSD sistemin hareket denklemini kuvvetlerin dengesinden Denklem 5.2'deki gibi yazabiliriz [2].

$$F_I + F_D + F_S = F(t) \quad (5.2)$$

Denklem 5.2'deki ifadeler sırası ile $F_I =$ Atalet kuvveti, $F_D =$ Sönüm kuvveti, $F_S =$ Yay kuvveti, $F(t) =$ Dış kuvvet olmaktadır.

Verilen bu vektörlerin bileşenleri de aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$F_{I_i} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \ddot{X}_j \quad (5.3)$$

$$F_{D_i} = \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{X}_j \quad (5.4)$$

$$F_{S_i} = \sum_{j=1}^n k_{ij} X_j \quad (5.5)$$

n = Serbestlik Derecesi

X_j = j noktasındaki yer değiştirme

\dot{X}_j = j noktasındaki hız

\ddot{X}_j = j noktasındaki ivme

m_{ij} = Kütle katsayısı (j koordinatındaki birim ivmeden dolayı i koordinatında meydana gelecek atalet kuvvetini ifade eder)

c_{ij} = Sönüm katsayısı (j koordinatındaki birim hızdan dolayı i koordinatında meydana gelecek atalet kuvvetini ifade eder)

k_{ij} = Rijitlik katsayısı (j koordinatındaki birim yerdeğiştirmeden dolayı i koordinatında meydana gelecek atalet kuvvetini ifade eder)

$F_j(t)$ = j noktasına etkiyen dış kuvvete karşı gelmektedir.

Sonuçta hareket denklemi :

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX - F(t) = 0 \quad (5.6)$$

olarak yazılabilir. Denklem 5.7'deki M, C, K ifadeleri sırası ile kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. x ise yer değiştirme vektörüdür. Bu ifadeleri başka bir şekilde ifade etmek istersek ; $m = [m_{ij}]$, $c = [c_{ij}]$, $k = [k_{ij}]$, $x = [x_{ij}]$ şeklinde yazabiliriz

5.2.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemin Kütle Matrisinin Elde Edilmesi

m_{ij} = i noktasında j hareketinden etkilenen kütleli büyüklüktür.

O halde kütle matrisi Denklem 5.7.a'da görüldüğü gibidir.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2n} \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & \dots & m_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.7.a)$$

Dönmeler ihmal edilirse matris ifade sadece her noktaya etkiyen hareketten dolayı gene aynı noktadaki etkilenen kütleli büyüklükler kalacaktır.

$$[m_{ij}] = \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \dots & m_{33} & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.7.b)$$

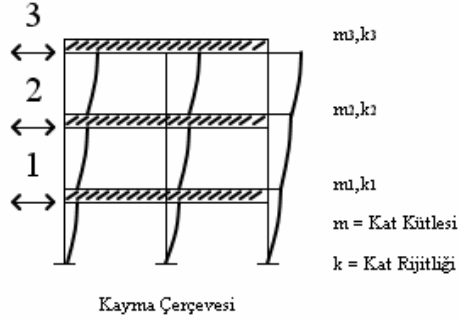
5.2.3 Çok Serbestlik Dereceli Sistemin Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Genel olarak ;

$$[k_{ij}] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

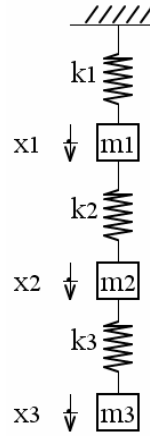
şeklinde yazılabilir.

k_{ij} = i noktasında j hareketinden dolayı meydana gelen karşı kayma kuvvetidir.



Şekil 5.4 : Kayma Çerçevesi

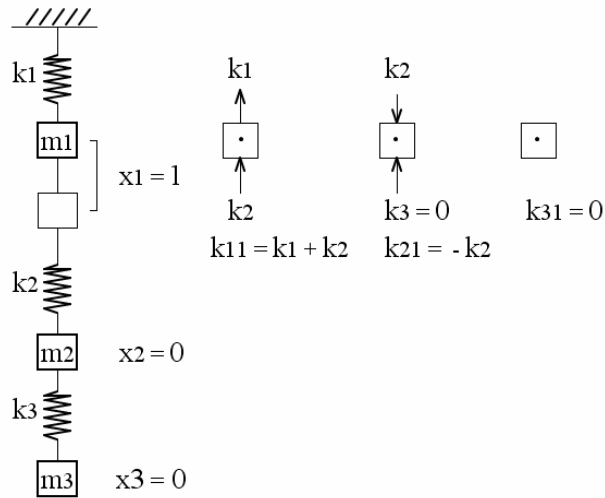
Sistemi yaylarla ifade edelim:



Şekil 5.5 : Serbestlik Derecesi Üç Olan Bir Sistemin Yaylarla Modellenmesi

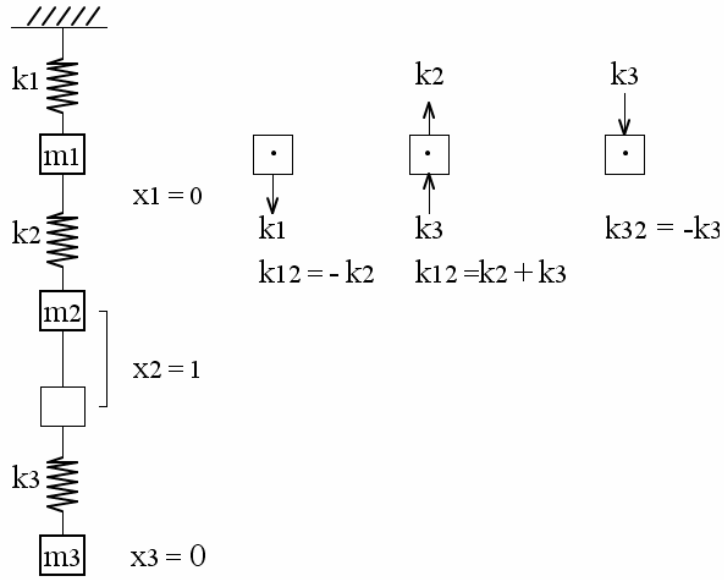
Sırası ile her üç kata (noktaya) 1 birimlik yer değıştirme uygulayarak rijitlik matrisinin bileşenlerini elde edelim.

a) 1 noktasına 1 birimlik yer değıştirme uygulanması durumu:



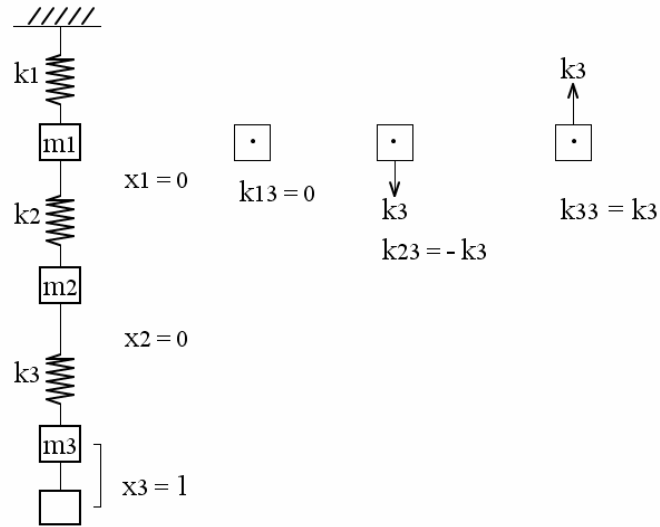
Şekil 5.6 : Serbestlik Derecesi Üç Olan Sistemde Birinci Durum

b) 2 noktasına 1 birimlik yer değiştirme uygulanması durumu:



şekil 5.7 : Serbestlik Derecesi Üç Olan Sistem İkinci Durum

c) 3 noktasına 1 birimlik yer değiştirme uygulanması durumu:



şekil 5.8 : Serbestlik Derecesi Üç Olan Sistem Üçüncü Durum

Yukarıdaki ifadeleri elde ettikten sonra üç serbestlik dereceli sistem için rijitlik matrisini aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \quad (5.9.a)$$

İfadeler yerine konduğunda rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (5.9.b)$$

Üç serbestlik derecesili sistem için geçerli olan yukarıdaki rijitlik matrisini n dereceli sistem için aşağıdaki gibi genelleştirebiliriz.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & \dots & \dots \\ \cdot & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \dots & 0 & \dots & \dots & -k_{n-1} & 0 \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & -k_{n-1} & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

5.2.4 Çok Serbestlik Dereceli Sistemin Sönüm Matrisinin Elde Edilmesi

Sönüm matrisi de rijitlik matrisi gibi aşağıda görüldüğü şekilde elde edilir.

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & \dots & \dots \\ \cdot & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \dots & 0 & \dots & \dots & -c_{n-1} & 0 \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & -c_{n-1} & c_{n-1} + c_n & -c_n \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & -c_n & c_n \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

5.3 Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi

Ülkemizde geçmişte yapılmış olan birçok bina arazi sıkıntısı gibi nedenlerden ötürü bitişik nizam şeklinde inşa edilmiştir. Bu tip bitişik nizam yapıların çoğunda da yönetmeliklerin öngördüğü miktarda derz aralıkları bırakılmamıştır. Komşu yapıların bir kısmında kat döşemeleri bütün katlarda aynı seviyede olurken kiminde ise kat döşemeleri farklı seviyelerde olabilmektedir. Bu iki durumdan tercih edilmeyeni kat seviyelerinin farklı olması halidir.

Kat seviyelerinin farklı olmasında komşu binanın döşemesi diğer binanın kolonlarında, kolonların büyük ölçüde hasar görmesine neden olabilecek çarpma kuvvetleri meydana getirebilir.

Derz aralıkları ile ilgili DBYYHY'in ilgili maddeleri aşağıda görüldüğü şekildedir.

DBYYHY-2007-2.10.3 Deprem Derzleri

Farklı zemin oturmalarına bağlı temel öteleme ve dönmeleri ile sıcaklık değişmelerinin etkisi dışında, bina blokları veya mevcut eski binalarda yeni yapılacak binalar arasında, sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

2.10.3.1-2.10.3.2'ye göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Gözönüne alınacak kat yerdeğiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış d_i yerdeğiştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden küçük alınmayacaktır.

a) Komşu binaların veya komşu bloklarının kat döşemelerinin, bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = R / 4$ alınacaktır.

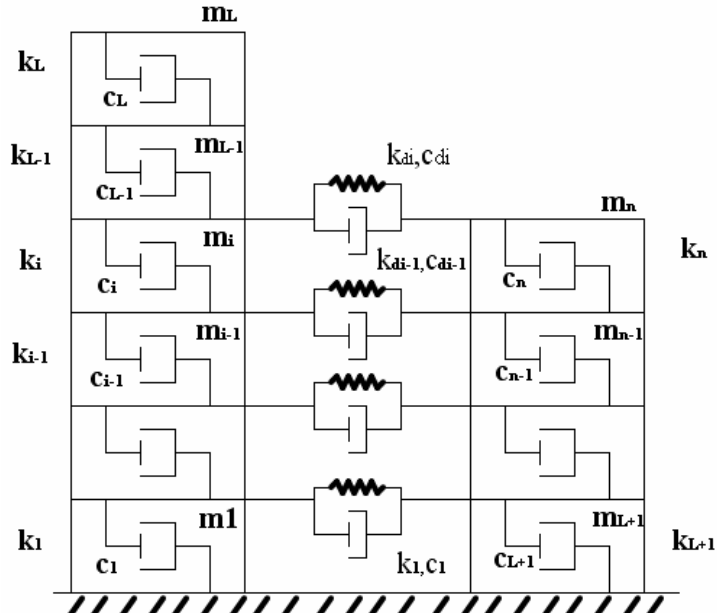
b) Komşu binaların veya komşu bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = R / 2$ alınacaktır.

2.10.3.2 Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.

2.10.3.3 Bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenecektir [4].

Çalışmamız kapsamında da yukarıdaki şartlara uygun olarak aralarında gerekli derz aralıkları bırakılmamış iki binanın birbirine çarpmaması için alınması gereken önlemler irdelenmeye çalışılmış ve bu kapsamda sırası ile pasif ve aktif kontrol kuvvetlerinden yararlanılmıştır.

Bitişik iki bina Şekil 5.9'de görüldüğü gibi modellenmiştir.

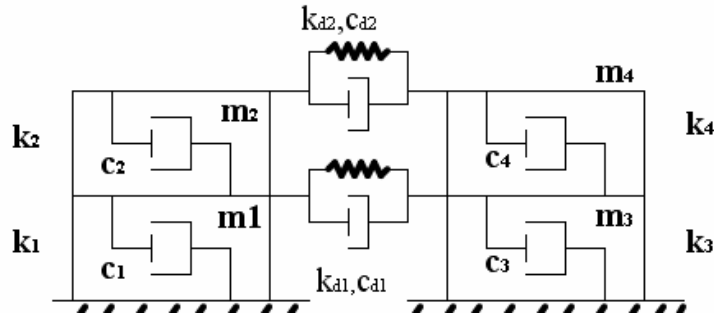


Şekil 5.9 : Bitişik Nizam İki Binanın Modellemesi

Sönümleyici elemanlar Voight Modeli ile ifade edilmektedir. Bu modele göre lineer ve elastik yaylar ile viskoz sönümleyiciler paralel olarak modellenmektedir. Kat kütleleri katlarda tanımlanmıştır. Rijitlik ise ilgili kattaki kolonların rijitliği olmaktadır. Modele göre her iki bina da aynı ivmeye maruz kalmaktadır.

5.3.1 Aynı Kat Sayısına Sahip Komşu İki Binanın Hareket Denkleminin, Rijitlik ve Sönüm Matrislerinin Elde Edilmesi

Çalışmamız kapsamında 6 kata sahip komşu iki bina incelenmiştir. Bu kısımda kontrol kuvvetlerinin kullanıldığı durumdaki sistemin hareket denklemi elde edilmeden önce aynı denklemler komşu iki katlı bina için çıkarılmıştır. İki katlı komşu binalar için elde edilen hareket denkleminde yola çıkarak da 6 katlı örnek binalar için aynı denklemler yazılmıştır.



Şekil 5.10 : Bitişik Nizam İki Katlı İki Binanın Modellemesi

Soldaki bina için hareket denklemini Demklem 5.12’de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{d1}(x_1 - x_3) \\ k_{d2}(x_2 - x_4) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} c_{d1}(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) \\ c_{d2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) \end{Bmatrix} = -ME\ddot{X}_g(t) \quad (5.12)$$

Sağdaki bina için de hareket denklemini benzer şekilde Denklem 5.13’de görüldüğü gibi yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} m_3 & 0 \\ 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_3 + c_4 & -c_4 \\ -c_4 & c_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_3 + k_4 & -k_4 \\ -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_3 \\ x_4 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{d1}(x_3 - x_1) \\ k_{d2}(x_4 - x_2) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} c_{d1}(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) \\ c_{d2}(\dot{x}_4 - \dot{x}_2) \end{Bmatrix} = -ME\ddot{X}_g(t) \quad (5.13)$$

Denklem 5.11 ve 5.12’de gerekli düzenlemeleri yaparsak kontrol elemanlarının sönüm ve rijitlik matrislerini elde edebiliriz.

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{d1} & 0 \\ 0 & K_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -K_{d1} & 0 \\ 0 & -K_{d2} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -K_{d1} & 0 \\ 0 & -K_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} K_{d1} & 0 \\ 0 & K_{d2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{d1} & 0 \\ 0 & C_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -C_{d1} & 0 \\ 0 & -C_{d2} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -C_{d1} & 0 \\ 0 & -C_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} C_{d1} & 0 \\ 0 & C_{d2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} C & -C \\ -C & C \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

Literatürde verilen[5] genel denklemden yararlanarak da rijitlik ve sönüm matrislerini elde etmek istediğimizde aynı sonuçlara ulaştığımızı görüyoruz.

Rijitlik matrisi için genel form Denklem 5.16’da verilmiştir.

$$\mathbf{K}_d = \begin{bmatrix} K_{(N-L) \times (N-L)} & 0_{(N-L) \times (2L-N)} & -K_{(N-L) \times (N-L)} \\ 0_{(2L-N) \times (N-L)} & 0_{(2L-N) \times (2L-N)} & 0_{(2L-N) \times (N-L)} \\ -K_{(N-L) \times (N-L)} & 0_{(N-L) \times (N-L)} & K_{(N-L) \times (N-L)} \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

Genel formülden örneğimiz için geçerli olacak alt formülü Denklem 5.17.a’daki gibi elde edebiliriz.

Örnek modelimiz için $N = 4$, $L = 2$ ’dir. O halde K_d matrisi Denklem 5.17.a’daki gibi yazılabilecektir.

$$\mathbf{K}_d = \begin{bmatrix} K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 0} & -K_{2 \times 2} \\ 0_{0 \times 2} & 0_{0 \times 0} & 0_{0 \times 2} \\ -K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 0} & K_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.17.a)$$

Sıfır matrisler anlamsızdır. Sıfır matrisleri çıkarttıktan sonra matrisi Denklem 5.17.b'deki gibi tekrar düzenleyebiliriz.

$$K_d = \begin{bmatrix} K_{2 \times 2} & -K_{2 \times 2} \\ -K_{2 \times 2} & K_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.17.b)$$

Rijitlik matrisi için yaptığımız işlem sönüm matrisi içinde tekrarlandığında aşağıda verilen matris elde edilir.

$$C_d = \begin{bmatrix} C_{(N-L) \times (N-L)} & 0_{(N-L) \times (2L-N)} & -C_{(N-L) \times (N-L)} \\ 0_{(2L-N) \times (N-L)} & 0_{(2L-N) \times (2L-N)} & 0_{(2L-N) \times (N-L)} \\ -C_{(N-L) \times (N-L)} & 0_{(N-L) \times (N-L)} & C_{(N-L) \times (N-L)} \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

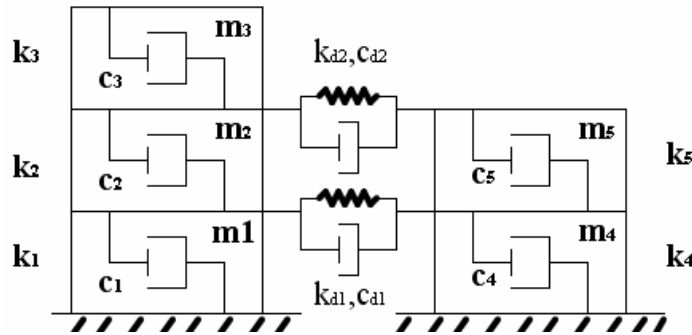
$$C_d = \begin{bmatrix} C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 0} & -C_{2 \times 2} \\ 0_{0 \times 2} & 0_{0 \times 0} & 0_{0 \times 2} \\ -C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 0} & C_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.18.a)$$

Sıfır matrisler anlamsızdır. Sıfır matrisleri çıkarttıktan sonra matrisi tekrar Denklem 5.18.b'deki gibi düzenleyebiliriz.

$$C_d = \begin{bmatrix} C_{2 \times 2} & -C_{2 \times 2} \\ -C_{2 \times 2} & C_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.18.b)$$

5.3.2 Farklı Kat Sayısına Sahip Komşu İki Binanın Hareket Denkleminin, Rijitlik ve Sönüm Matrislerinin Elde Edilmesi

Farklı kat sayılarına sahip iki bina Şekil 5.11'de görüldüğü gibi modellenmiştir. Sistemin modellenmesinde ve hareket denklemlerinin çıkarılmasında farklı makalelerden yararlanılmıştır [6,7,8,9].



Şekil 5.11 : Farklı Kat Sayısına Sahip Bitişik Nizam İki Bina

Soldaki üç katlı bina için hareket denklemi Denklem 5.19'da verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{d1}(x_1-x_4) \\ k_{d2}(x_2-x_5) \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} c_{d1}(\dot{x}_1-\dot{x}_3) \\ c_{d2}(\dot{x}_2-\dot{x}_3) \\ 0 \end{Bmatrix} = -ME\ddot{X}_g(t) \quad (5.19)$$

Sağdaki iki katlı bina için de hareket denklemi Denklem 5.20'de verildiği gibidir.

$$\begin{bmatrix} m_4 & 0 \\ 0 & m_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_4+c_5 & -c_5 \\ -c_4 & c_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_4+k_5 & -k_5 \\ -k_5 & k_5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_{d1}(x_4-x_1) \\ k_{d2}(x_5-x_2) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} c_{d1}(\dot{x}_4-\dot{x}_1) \\ c_{d2}(\dot{x}_5-\dot{x}_2) \end{Bmatrix} = -ME\ddot{X}_g(t) \quad (5.20)$$

Denklem 5.18 ve 5.19'da gerekli düzenlemeleri yaparsak sönüm ve rijitlik matrislerini elde edebiliriz.

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{d1} & 0 \\ 0 & K_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -K_{d1} & 0 \\ 0 & -K_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & -K_{2 \times 2} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 1} & 0_{1 \times 2} \\ -K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & K_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{d1} & 0 \\ 0 & C_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -C_{d1} & 0 \\ 0 & -C_{d2} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & -C_{2 \times 2} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 1} & 0_{1 \times 2} \\ -C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & C_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

Farklı kat sayısına sahip komşu iki binadan oluşan örneğimiz için de genel formülü kullanarak rijitlik ve sönüm matrislerini elde edebiliriz.

Örnek modelimiz için $N = 5$, $L = 3$ 'dir. O halde K_d rijitlik matrisi ve C_d sönüm matrisi aşağıda görüldüğü şekilde yazılabilir.

$$\mathbf{K}_d = \begin{bmatrix} K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & -K_{2 \times 2} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 1} & 0_{1 \times 2} \\ -K_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & K_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

$$\mathbf{C}_d = \begin{bmatrix} C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & -C_{2 \times 2} \\ 0_{1 \times 2} & 0_{1 \times 1} & 0_{1 \times 2} \\ -C_{2 \times 2} & 0_{2 \times 1} & C_{2 \times 2} \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

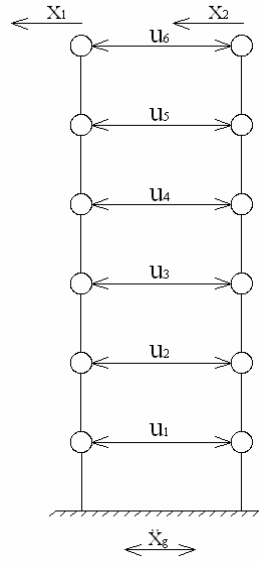
Gerek aynı gerekse farklı kat sayılarına sahip komşu binalar için ilgili makalede [5] verilen formülü kullanarak bulduğumuz rijitlik ve sönüm matrisleri ile örnek modelleri kullanarak elde ettiğimiz matris formları aynı olmaktadır. O halde sonuç olarak her iki şart içinde genel formül doğru olmaktadır.

5.4 Aktif Kontrol Kuvvetleri Kullanılması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi

Bu bölümde yer hareketine maruz komşu iki bina arasında oluşan deplasman aktif kontrol kuvvetleri kullanılarak absorbe edilmiştir.

Sistemin modellenmesinde, ağırlık matrisinin belirlenmesinde ve hareket denklemlerinin çıkarılmasında farklı makalelerden yararlanılmıştır [10,11,12,13,14].

Aktif kontrol kuvvetlerinin kullanıldığı komşu binalar Şekil 5.12'deki gibi modellenmiştir.



Şekil 5.12 : Komşu İki Binada Aktif Kontrol Kuvvetinin Uygulanması

U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 ve U_6 kontrol kuvvetleri olmak üzere her katta uygulanmıştır.

X_1 ve X_2 deplasman vektörleri sırasıyla;

$$X_1 = \begin{Bmatrix} X_{11} \\ X_{12} \\ X_{13} \\ X_{14} \\ X_{15} \\ X_{16} \end{Bmatrix} \text{ ve } X_2 = \begin{Bmatrix} X_{21} \\ X_{22} \\ X_{23} \\ X_{24} \\ X_{25} \\ X_{26} \end{Bmatrix} \text{ şeklindedir.}$$

$P_1 = -P_2$ ve $P_1 = -I_{6 \times 6}$, $P_2 = I_{6 \times 6}$ olacaktır.

Hareket denkleminde yer alan diğer ifadeler ve matris boyutları:

$M_1 = 6 \times 6$, $M_2 = 6 \times 6$, $C_1 = 6 \times 6$, $C_2 = 6 \times 6$, $K_1 = 6 \times 6$, $K_2 = 6 \times 6$, $E_1 = 6 \times 1$, $E_2 = 6 \times 1$,
ve $U = 6 \times 1$ 'dir.

Komşu binaları hareket denklemleri Denklem 5.25 ve Denklem 5.26'da verilmiştir.

1.Binanın Hareket Denklemi:

$$M_1 \ddot{X}_1 + C_1 \dot{X}_1 + K_1 X_1 = -M_1 E_1 \ddot{X}_g + P_1 U(t) \quad (5.25)$$

2.Binanın Hareket Denklemi:

$$M_2 \ddot{X}_2 + C_2 \dot{X}_2 + K_2 X_2 = -M_2 E_2 \ddot{X}_g + P_2 U(t) \quad (5.26)$$

Sistemin hareket denklemi de Denklem 5.25 ve Denklem 5.26'dan elde edilir.

Sistemin hareket denklemi:

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix}_{12 \times 12} \begin{Bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{Bmatrix}_{12 \times 1} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix}_{12 \times 12} \begin{Bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{Bmatrix}_{12 \times 1} + \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}_{12 \times 12} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}_{12 \times 1} = \begin{bmatrix} -M_1 E_1 \\ -M_2 E_2 \end{bmatrix}_{12 \times 1} \ddot{X}_g + \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}_{12 \times 1} U(t) \quad (5.27)$$

Aktif kontrol kuvveti kullanıldığı durumda denklemin elde edilmesini adım adım yazabiliriz.

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \quad (5.28)$$

$$\begin{pmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{pmatrix} = -M^{-1} C \begin{Bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{Bmatrix} - M^{-1} K \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + M^{-1} \begin{Bmatrix} -M_1 E_1 \\ -M_2 E_2 \end{Bmatrix} \ddot{X}_g + M^{-1} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} U(t) \quad (5.29)$$

Denklem 5.28 ve Denklem 5.29'dan \dot{X} aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{X} = \begin{Bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0_{12 \times 12} & I_{12 \times 12} \\ -M^{-1} K & -M^{-1} C \end{bmatrix}_{24 \times 24} \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0_{12 \times 6} \\ M^{-1} D \end{bmatrix} \ddot{X}_g(t) + \begin{bmatrix} 0_{12 \times 6} \\ M^{-1} D \end{bmatrix} U(t) \quad (5.30.a)$$

Denklem 5.30'daki ifadeler;

$$E_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ ve } E_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} -M_1 E_1 \\ -M_2 E_2 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0_{12 \times 12} & I_{12 \times 12} \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 0_{12 \times 1} \\ M^{-1}E \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0_{12 \times 6} \\ M^{-1}D \end{bmatrix} \text{ dir}$$

Denklem 5.30.a'yı tekrar yazarsak Denklem 5.30.b'deki formu elde ederiz.

$$\dot{X} = AX + BU(t) + H\ddot{X}_g(t) \quad (5.30.b)$$

Minimum yapılacak amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$J = \int_0^T (X^T Q X + U^T R U) dt \rightarrow \min \Rightarrow U(t) = -GX \quad (5.31)$$

Denklem 5.31'deki R ve Q ağırlık matrisleri aşağıda verilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{ve } Q = \begin{bmatrix} I_{12 \times 12} & 0_{12 \times 12} \\ 0_{12 \times 12} & I_{12 \times 12} \end{bmatrix} \text{ dir.}$$

$$\text{Optimal kontrol teorisinden G kazanç matrisi } \rightarrow G = \frac{1}{2} R^{-1} B^T P \quad (5.32)$$

şeklinde elde edilir

G kazanç matrisi Matlab'da yazılan program yardımı ile Matlab'ın "lqr" komutu kullanılarak bulunmuştur.

P Riccati matrisi Riccati denkleminde bulunur.

$$\text{Riccati denklemi: } PA - \frac{1}{2}PBR^{-1}B^TP + A^TP + 2Q = 0 \quad (5.33)$$

$$U; \text{ yerine yazılır ise } \rightarrow \dot{X} = \left[A - \frac{1}{2}BR^{-1}B^TP \right] X + H\ddot{X}_g(t) \quad (5.34)$$

Denklem 5.34 düzenlenirse kontrol altındaki yapının hareket denklemi Denklem 5.35'deki gibi elde edilir.

$$\dot{X} = AX - BGX + H\ddot{X}_g \quad (5.35.a)$$

$$\dot{X} = (A - BG)X + H\ddot{X}_g \quad (5.35.b)$$

Denklem 5.35 kullanılarak 8 farklı deprem kaydı için kontrol kuvvetleri ve bu kuvvetlere karşı gelen maksimum kat deplasmanları bulunmuştur.

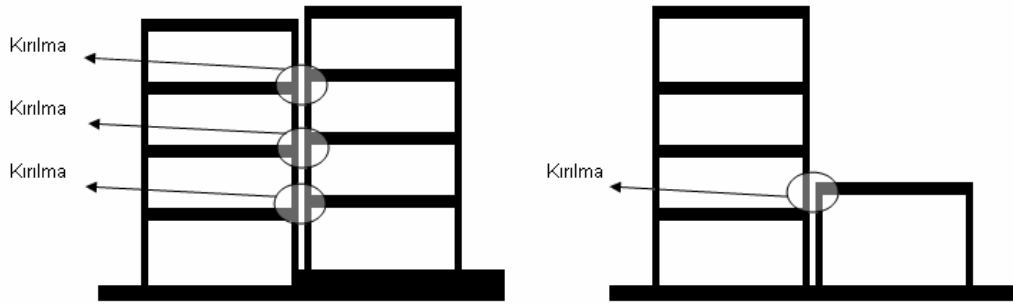
6. SAYISAL ÖRNEKLER

6.1 Giriş

Klasik yapı tasarımında, yapının göçme durumunda yeterli güvenilirliği sağlaması ve kullanım yükleri altında çatlama ve yer değiştirme gibi koşulları yerine getirmesi beklenir. Bu koşulun gerçekleşmesi için yapının ömrü boyunca etkisi altında kalması söz konusu olan deprem yüklerine karşı koyabilmesi gerekir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı, yapının sık ve küçük şiddetli depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek küçük hasarlarla; çok seyrek ve şiddetli depremleri, büyük hasarlarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmadan taşıyabilmesi prensibine dayanmaktadır.

Her ne kadar yapılar tasarım aşamasında depreme dayanıklı olarak tasarlansa bile yapılarda deprem sırasında ciddi hasarlar oluşabilmektedir. Bu hasarları en aza indirmek ve yapı ömrünü uzatmak için çeşitli kontrol yöntemleri geliştirilmiştir.

Yapılar yer hareketine maruz kaldıklarında belli bir deplasman yapmaktadır. Yapılarda hasara neden olan olumsuz etkenlerden biri de bitişik nizam yapılmış iki bina arasında yapıların yapacağı bu deplasmanı karşılayacak kadar derz bırakılmamasından ötürü ortaya çıkan binaların birbirine uyguladığı çarpma kuvvetidir.



Şekil 6.1 : Döşeme Kotları Farklı Bitişik Nizam Binalarda Çarpma Kuvvetinin Etkisi

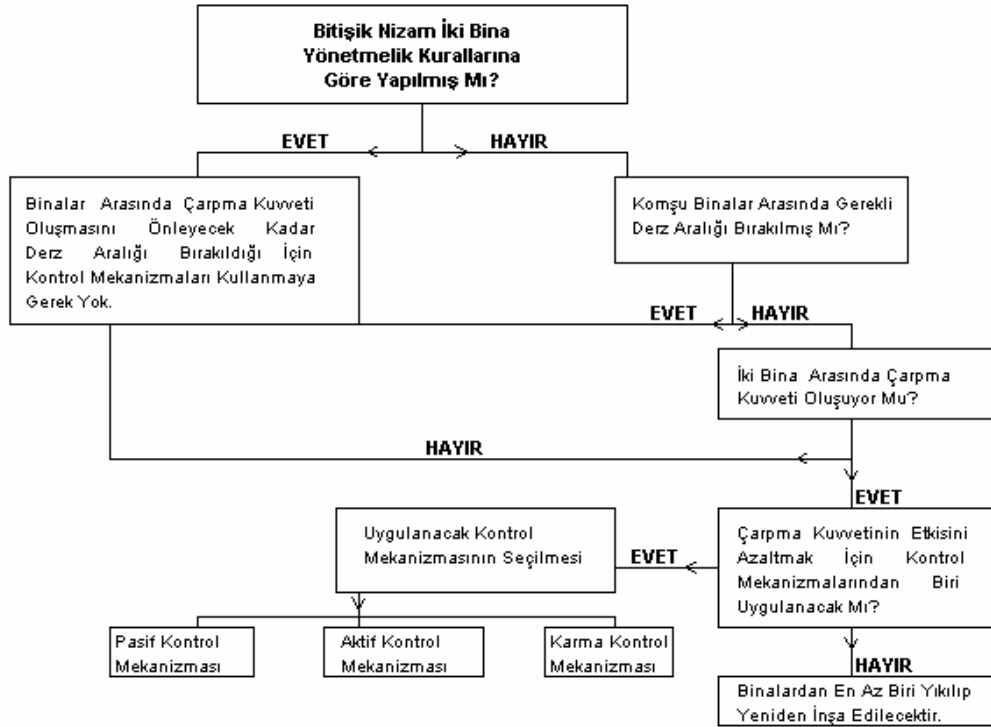
Kontrol yöntemleri çarpma kuvveti etkisini en aza indirmek veya başka bir ifade ile deplasmanı belli sınırlar içinde tutmak için kullanılabilir.

Şekil 6.1’de verilen durumda olduğu gibi kat seviyelerinin farklı olması halinde kolonlarda “çekiçleme” veya “darbeleme” hasarı olarak tanımlanan hasarlar oluşmaktadır. Bitişik binaların kat döşemelerinin aynı hizada yapılmaması nedeni ile döşemelerin kolonlara çarparak kolonlarda oluşturduğu bu hasar kolonların taşıma gücünün azalmasına ve yapının ağır hasar almasına sebep olmaktadır. Kat döşeme seviyelerinin aynı hizada olduğu durumda da yapılarda, ilk durum kadar olmasa da ciddi hasarlar meydana gelmektedir.

Çarpma kuvvetinden dolayı oluşan olumsuz duruma, mevcut yönetmelik kurallarına göre yapılmış bitişik nizam binalardan çok mühendislik hizmeti almamış veya yönetmelik kurallarına uygun olarak inşa edilmemiş bitişik nizam iki binada karşılaşılmaktadır.

Çarpma kuvvetinden dolayı komşu binaların döşeme veya kolonlarında oluşacak hasarları önlemek için, yapılardan en az birini yıkıp yeniden inşa etmenin haricinde uygulanabilecek tek yöntem kontrol mekanizmalarının kullanılmasıdır.

Tablo 6.1 : Bitişik Nizam İki Binada Çarpma Kuvveti Etkisi



Ülkemizde bitişik nizam yapılmış birçok yapının mühendislik hizmeti görmediği düşünülürse bu yapılarda çarpma kuvvetinin meydana gelmesinin kaçınılmaz olduğu anlaşılmaktadır. Bu tip yapılarda olası deprem sırasında çarpma kuvvetinden dolayı oluşacak hasarları ortadan kaldırmak için binaları yeniden inşa etme yöntemi teknik ve mali açıdan zahmetli ve pahalı bir çalışmadır.

Çarpma kuvvetinden dolayı hasar oluşabilecek bitişik nizam yapılarda uygulanabilecek olan en makul yöntem kontrol mekanizmalarıdır.

Çalışmamız kapsamında bitişik nizam yapılarda kat seviyelerinin aynı olduğu fakat binalar arasında yeterli derz miktarlarının bırakılmadığı durumu inceleyeceğiz. Yeterli derz miktarı, her iki binada oluşan maksimum kat deplasmanlarının toplamı olarak düşünülmüştür. Bu kapsamda dinamik özellikleri birbirinden farklı 6 katlı iki bina ele alınacaktır. Binaların her ikisi de yalın çerçeve olarak düşünülmüş, kat kütleleri hesaplanırken taşıyıcı elemanlardan oluşan kütleler dikkate alınmıştır. Kat yükseklikleri her iki bina için de 3 m, elastisite modülü de $2,8 \times 10^{10} N/m^2$ 'dir.

Her iki tip bina içinde katlar arasında kolonlarda küçültme yapılmıştır. Düşey taşıyıcı elemanlarda yapılan bu düzenleme ile katlar arasında rijitlik, sönüm ve kütle farkları oluşturulmuştur.

İki bina için aynı hareket denkleminde hareketle 8 farklı deprem kaydı için kat deplasmanları hesaplanmıştır. Binaların müstakil tek başına olduğu durum, bitişik nizam olupta kontrol kuvvetinin uygulanmadığı durum, pasif kontrol kuvvetinin uygulandığı durum ve aktif kontrol kuvvetinin uygulandığı durum olmak üzere dört farklı durum için deplasman hesapları tekrar edilmiştir. Binaların ortak özelliklerinden ve hesap prensiplerinden bahsettikten sonra her iki binayı ayrı ayrı ele alalım.

Döşeme kalınlığı olarak her iki bina içinde 0.15 m plak kalınlığı seçilmiştir.

Kiriş elemanlarının boyutlandırılırken minimum kesit genişliği ve binaların planları göz önüne alınarak Bina 1 için 0.25/0.60, Bina 2 için ise 0.25/0.50 ve 0.30/0.50 kesitleri seçilmiştir.

Beton sınıfı olarak C20 seçilmiştir. Her iki tip binanın hesabına esas olan eleman boyutları ve malzeme özellikleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Dört farklı depremin iki doğrultudaki kayıtlarını kullanarak katların yaptığı deplasmanlar MATLAB'da yazdığımız programla hesap edilmiştir. MATLAB'da kullandığımız bu program deprem kuvveti etkisindeki yapının hareket denkleminde yola çıkarak hesap yapmaktadır. Dolayısı ile programı çalıştırmadan önce programın kullanacağı kütle matrisi, rijitlik ve sönüm matrisi gibi dataları hesaplamak gerekmektedir.

Tablo 6.2 : Örnek Binaların Tasarım Parametreleri

	Bina1	Bina2
Döşeme Tipi	Plak	Plak
Döşeme Yüksekliği	0.15 m	0.15 m
Kiriş Boyutları	0.25/0.60m	0.25/0.50m 0.30/0.50m
Beton Sınıfı	C20	C20
Kolon Boyutları	Her iki katta bir kolon boyutlarında küçültme yapılmıştır	
Her İki Yöndeki	x = 20.25m	x = 14.90m
Kat Boyutları	y = 11.00m	y = 11.00m
Bir Katın Toplam Alanı	222.75 m ²	163.90 m ²
Kat Adedi	6	6
Kat Yüksekliği	3 m	3 m
Bodrum Perdesi	Yok	Yok

Hesap kısmı Tablo 6.3’de görülen aşamalardan oluşmaktadır.

Tablo 6.3 : Hesap Aşamaları

AŞAMA 1

Her İki Bina Ayrı Ayrı Çözülmüş ve Farklı Deprem Kayıtlarında Katlarda Oluşan Maksimum Deplasmanlar Hesaplanmıştır.

AŞAMA 2

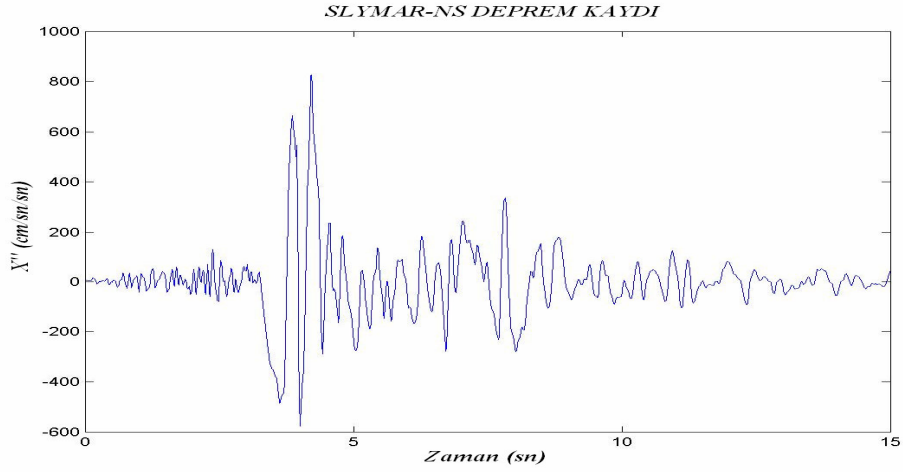
Her İki Bina Bitişik Nizam Olarak Düşünölmüş ve Pasif Kontrol Elemanları Kullanılarak İki Bina Arasında Oluşacak Maksimum Kat Deplasmanları Hesaplanmıştır.

AŞAMA 3

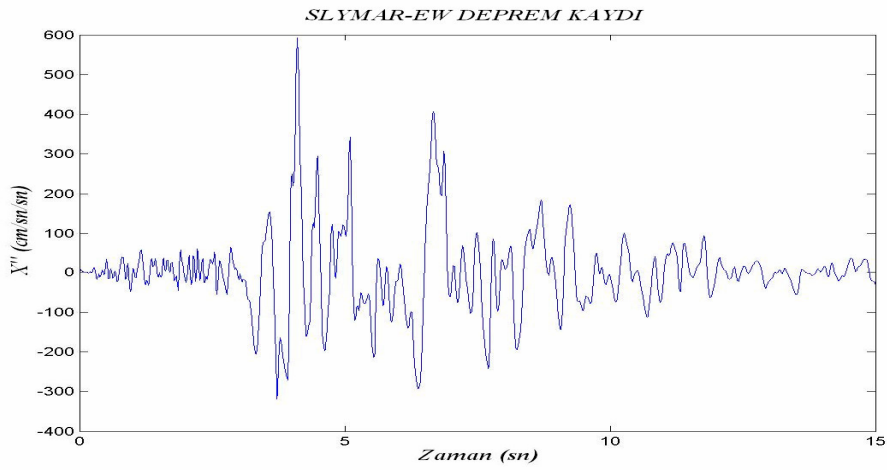
Her İki Bina Bitişik Nizam Olarak Düşünölmüş ve Aktif Kontrol Kuvvetleri Kullanılarak İki Bina Arasında Oluşacak Maksimum Kat Deplasmanları Hesaplanmıştır.

6.2 Analizde Kullanılan Deprem Kayıtları

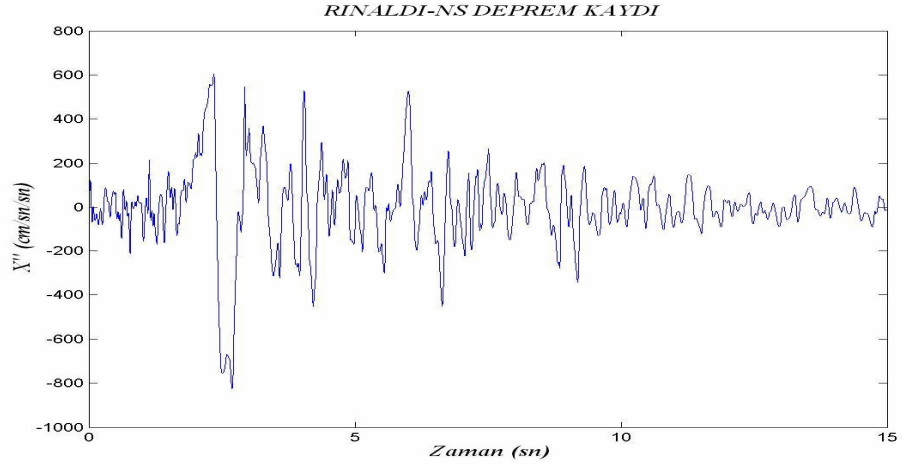
Binal ve Bina 2 için yapılan deplasman hesaplarında dört farklı depremin iki doğrultudaki kayıtları kullanılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları : SYNS-Northridge Depremi Slymar Kaydı (17 Ocak 1994), SYEW-Northridge Depremi Slymar Kaydı (17 Ocak 1994), RINS-Northridge Depremi Rinaldi Kaydı (17 Ocak 1994), RIEW-Northridge Depremi Rinaldi Kaydı (17 Ocak 1994), KOBENS-Kobe Depremi Kobe Kaydı (17 Ocak 1996), KOBEEW-Kobe Depremi Kobe Kaydı (17 Ocak 1996), ELCNS-Imperial Valley Depremi El-Centro Kaydı (18 Mayıs 1840), ELCEW-Imperial Valley Depremi El-Centro Kaydı (18 Mayıs 1840).



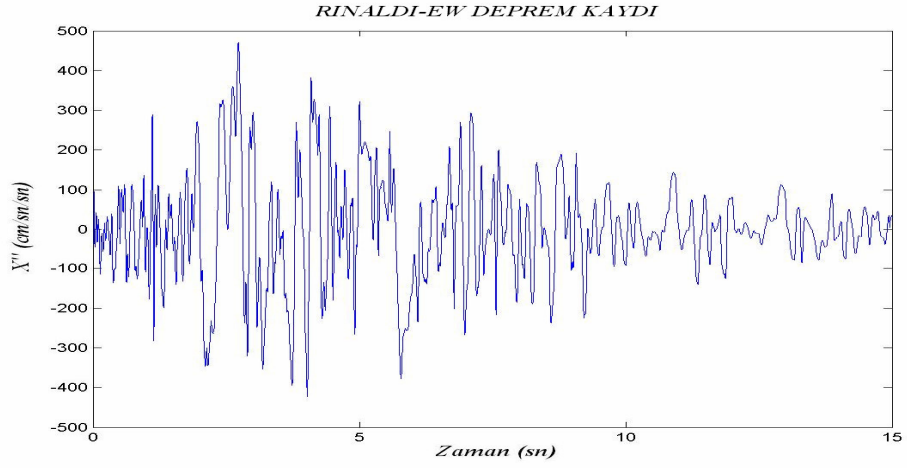
Şekil 6.2 : Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



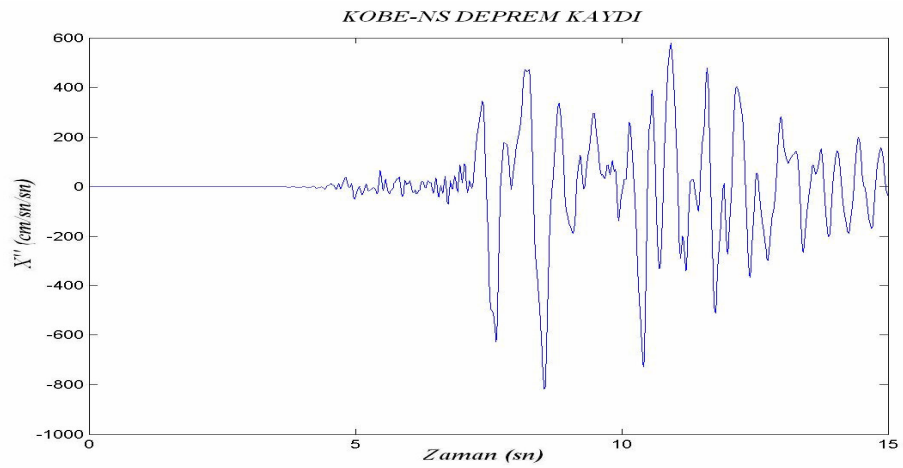
Şekil 6.3 : Slymar Doğu-Batı Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



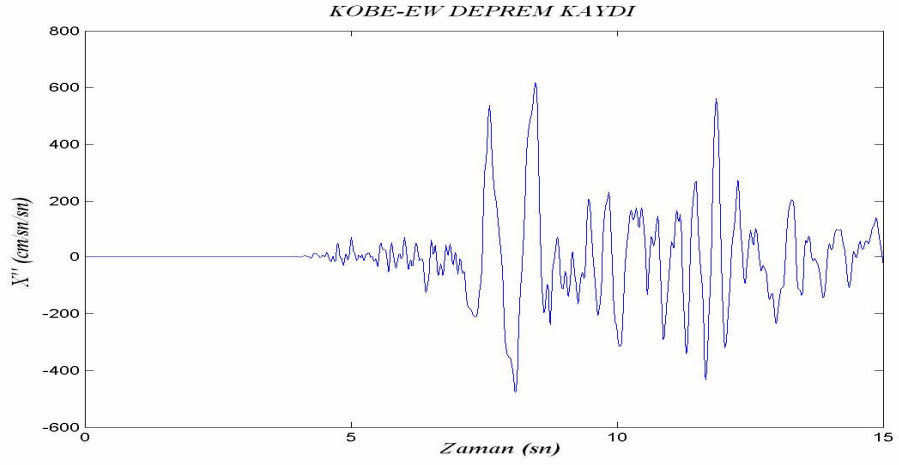
Şekil 6.4 : Rinaldi Kuzey-Güney Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



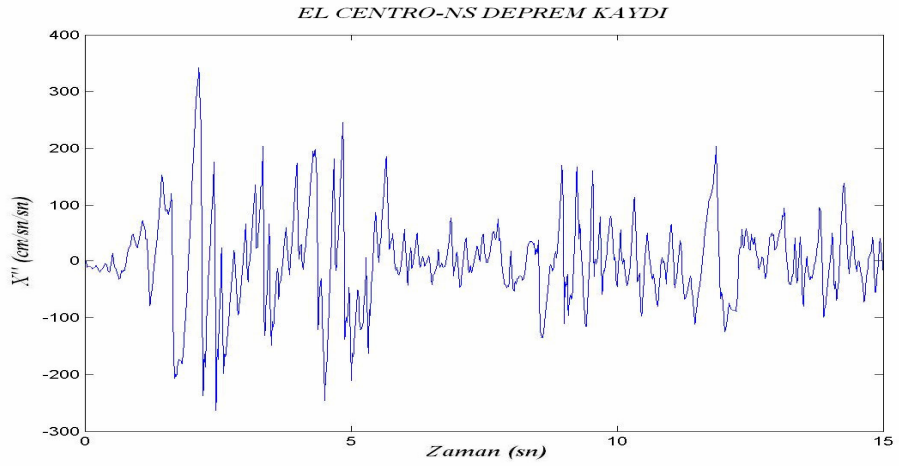
Şekil 6.5 : Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



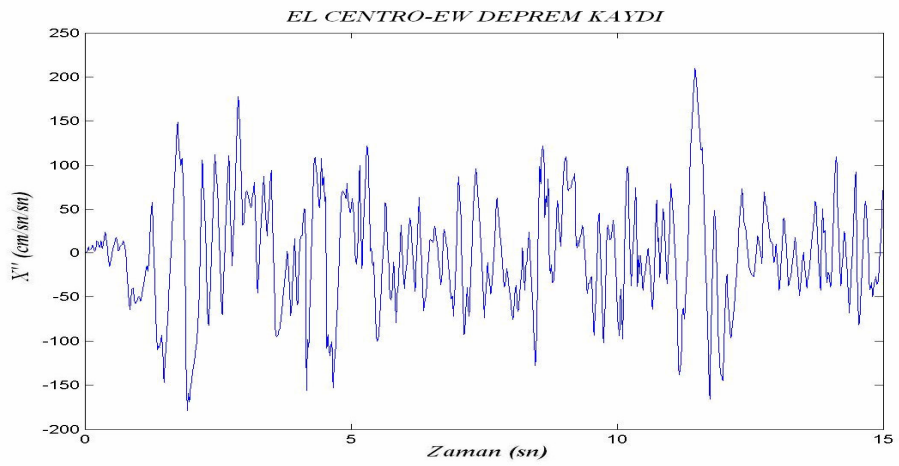
Şekil 6.6 : Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



Şekil 6.7 : Kobe Doğu-Batı Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



Şekil 6.8 : Elcentro Kuzey-Güney Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri



Şekil 6.9 : Elcentro Doğu-Batı Deprem Kaydı İvme-Zaman Grafikleri

6.3 Binaların Yalın Halde Olduğu Durumda Katlarda Oluşan Maksimum Deplasmanların Hesabı

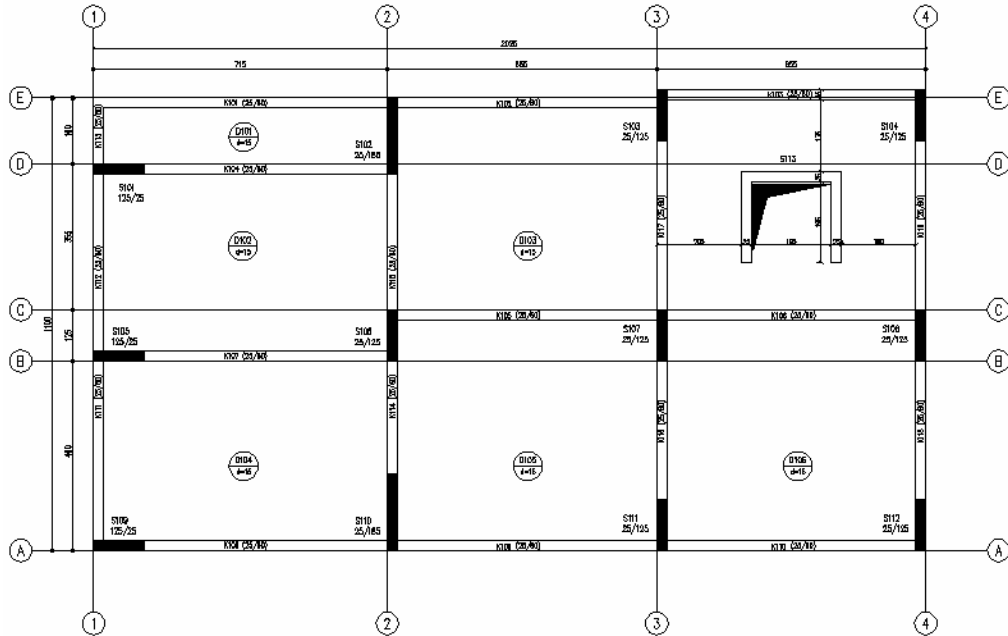
Deprem etkisi altındaki bir yapının hareket denkleminin genel hali Denklem 6.1’de verilmiştir. İncelediğimiz örneklerde F(t) dış kuvveti deprem kuvveti olacaktır.

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F(t) \quad (6.1)$$

Denklemdaki kütle, rijitlik ve sönüm matrislerini sırası ile hesaplanacak ve MATLAB’da yazmış olduğumuz programın dataları elde edilecektir.

6.3.1 Bina1’in Hareket Denklemleri Parametrelerinin ve Maksimum Kat Deplasmanlarının Hesabı

Çalışmamız kapsamında incelediğimiz ve Şekil 6.10’da bodrum ve zemin kat kalıp planı verilen binaların ilki Bina 1 olarak isimlendirilmiştir. Bina 1 x ve y doğrultusunda düzenli bir taşıyıcı sisteme sahip olan düşeyde 6 kattan oluşan bir yapıdır. Her katın yüksekliği 3m olarak seçilmiştir. Bu bölümün giriş kısmında da belirtildiği gibi döşeme yüksekliği 0.15 m olarak düşünülmüştür. Düşey taşıyıcı elemanlarda da her iki katta bir küçültme yapılmıştır. Giriş boyutları da 0.25/0.60 m’dir.



Şekil 6.10 : Bina 1 Bodrum Kat Kalıp Planı

6.3.1.1 Bina1'in Kat Kütlelerinin Hesabı

Herhangi bir katın toplam kütlesi; kirişlerin, kolonların ve döşemelerin kütleleri toplamına eşittir. Tablo 6.4'deki uzunluk ölçüleri metredir.

Tablo 6.4 : Bina 1 Bodrum Kat Kolonları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	1,25	0,25	3	3
2	1,85	0,25	3	2
3	1,25	0,25	3	7
4	1,95	0,25	3	3

Bodrum katın kolonlarının boyutları ve adedi bilgileri Tablo 6.4'de verildiği gibidir. Döşeme ve kirişleri de planda verilen binanın döşeme ve kirişinin de kütleleri hesap edildikten sonra üç değer toplanarak toplam kat kütlesi elde edilir.

Kolonlarda katlar arası küçültme olduğundan normal katlarda kolonların toplam kat kütlesine katkısı bodrum ve zemin kattakinden farklı olacaktır. Dolayısı ile normal katlarda kat kütlesi farklı olacaktır.

Tablo 6.5 : Bina 1 Birinci Normal Kat Kolonları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	1,10	0,25	3	3
2	1,85	0,25	3	1
3	1,10	0,25	3	6
4	1,95	0,25	3	3
5	1,60	0,25	3	1
6	1,25	0,25	3	1

Tablo 6.6 : Bina 1 Üçüncü Normal Kat Kolonları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	1,00	0,25	3	3
2	1,85	0,25	3	1
3	1,00	0,25	3	6
4	1,95	0,25	3	3
5	1,50	0,25	3	1
6	1,25	0,25	3	1

Tablo 6.5 ve Tablo6.6'daki uzunluk ifadeleri metre cinsindedir.

Sonuçta bodrum ve zemin katın ağırlığı 158000 kg, birinci ve ikinci normal katın kütlesi 155000 kg, üçüncü ve dördüncü normal katın kütlesi ise 153000 kg olacaktır.

6.3.1.2 Bina1'in Kat Rijitliklerinin Hesabı

Her bir katın rijitliđi o kattaki dűşey tařıyıcı elemanların rijitliklerinin toplamına eřittir. Her iki katta bir dűşey tařıyıcı elemanlarda kűçűltme yapıldıđından dolayı her iki katta bir kat rijitliđi de deđiřecektir.

Bina 1’de kullanılan beton sınıfı olarak C20 sınıfı beton sečilmiřtir. Dolayısı ile rijitlik hesabında elastisite modűlü $2,8 \times 10^{10} N / m^2$ alınmıştır.

Bodrum katın rijitliğini bulmadan ۆnce her bir dűşey taşıyıcı elemanın rijitliğini aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Boyutları 1.25/0.25 olan kolonun rijitliği:

Elastisite Modűlü : $2,8 \times 10^{10} N / m^2$

Kat Yűksekliliđi : 3 m

$$I = \frac{b \times d^3}{12} = \frac{1.25 \times 0.25^3}{12} = 0,04069 m^4 \quad (6.2)$$

$$k = \frac{12 \times E \times I}{h^3} = \frac{12 \times 2,8 \times 10^{10} \times 0,04069}{3^3} = 506365741 N / m \quad (6.3)$$

Kattaki tűm kolonların rijitliđi aynı řekilde bulunarak Tablo 6.7’de verilmiřtir.

Tablo 6.7 : Bina 1 Bodrum Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yűnűndeki Kenarı	Kolonun Y Yűnűndeki Kenarı	Elastisite Modűlü	Atalet Momenti	Kat Yűksekliliđi	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	1,25	0,25	28000000000	0,040690104	3	3	1519097222
2	0,25	1,85	28000000000	0,002408854	3	2	59953704
3	0,25	1,25	28000000000	0,001627604	3	7	141782407
4	1,95	0,25	28000000000	0,154476563	3	1	1922375000
5	0,25	1,95	28000000000	0,002539063	3	2	63194444

Dűşey taşıyıcı elemanları aynı olan bodrum ve zemin kat için rijitlik değerleri Tablo 6.7’deki gibi olacaktır. Bodrum ve zemin katın rijitliği $3706402000 N / m$ ’dir.

Birinci normal katın rijitliğini de aynı şekilde hesap edebiliriz. Birinci normal kattaki boyutu 1.10/0.25 olan kolonun rijitliği aşağıda verilmiştir.

Elastisite Modűlü : $2,8 \times 10^{10} N / m^2$; Kat Yűksekliliđi : 3 m

$$I = \frac{b \times d^3}{12} = \frac{1.10 \times 0.25^3}{12} = 0,027729 m^4 \quad (6.4)$$

$$k = \frac{12 \times E \times I}{h^3} = \frac{12 \times 2,8 \times 10^{10} \times 0,027729}{3^3} = 345074074 N / m \quad (6.5)$$

Kattaki tűm kolonların rijitliđi aynı řekilde bulunarak Tablo 6.8’de verilmiřtir.

Tablo 6.8: Bina 1 1.Normal Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yönündeki Kenarı	Kolonun Y Yönündeki Kenarı	Elastisite Modülü	Atalet Momenti	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	1,1	0,25	28000000000	0,027729167	3	3	1035222222
2	0,25	1,85	28000000000	0,002408854	3	1	29976852
3	0,25	1,1	28000000000	0,001432292	3	6	106944444
4	1,95	0,25	28000000000	0,154476563	3	1	1922375000
5	0,25	1,95	28000000000	0,002539063	3	2	63194444
6	0,25	1,6	28000000000	0,002083333	3	1	25925926
7	0,25	1,25	28000000000	0,001627604	3	1	20254030

Düşey taşıyıcı elemanları aynı olan birinci ve ikinci normal kat için rijitlik değerleri Tablo 6.8'deki gibi olacaktır. 1. ve 2.normal katın rijitliği $3203892918 N/m$ 'dir.

Üçüncü ve dördüncü normal katın rijitliği de aynı şekilde hesap edilir. Tablo 6.9'da üçüncü normal katın kolonlarının rijitlikleri verilmiştir. Üçüncü ve dördüncü normal katın rijitliği $2935106482 N/m$ 'dir.

Tablo 6.9: Bina 1 3.Normal Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yönündeki Kenarı	Kolonun Y Yönündeki Kenarı	Elastisite Modülü	Atalet Momenti	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	1	0,25	28000000000	0,020833333	3	3	777777778
2	0,25	1,85	28000000000	0,002408854	3	1	29976852
3	0,25	1	28000000000	0,001302083	3	6	97222222
4	1,95	0,25	28000000000	0,154476563	3	1	1922375000
5	0,25	1,95	28000000000	0,002539063	3	2	63194444
6	0,25	1,5	28000000000	0,001953125	3	1	24305556
7	0,25	1,25	28000000000	0,001627604	3	1	20254630

Rijitlik matrisi altı katlı bir bina için Denklem 2.9'da görüldüğü şekilde olacaktır.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 + k_6 & -k_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6 \end{bmatrix} \quad (6.6.a)$$

Katlar için hesapladığımız rijitlik değerlerini N,cm biriminde yazar ve Denklem 6.6.b'de yerine yazarsak Bina 1 için rijitlik matrisini elde etmiş oluruz. Bodrum ve zemin katın rijitliği $3706402000 N/m$, 1.ve 2. katın rijitliği $3203892918 N/m$, 3. ve 4.katın rijitliği ise $2935106482 N/m$ olacaktır.

$$[K] = \begin{bmatrix} 7412804000 & -3706402000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3706402000 & 6910294918 & -3203892918 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3203892918 & 6407785836 & -3203892918 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3203892918 & 6138999400 & -2935106482 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2935106482 & 5870212964 & -2935106482 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2935106482 & 2935106482 \end{bmatrix} \quad (6.6.b)$$

6.3.1.3 Binaların Katlarının Sönüm Miktarının Hesabı

Her katın sönümü Denklem 6.7 kullanılarak bulunacaktır.

$$c = \xi \times 2 \times m \times \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.7)$$

Denklem 6.7'deki ifadeler sırası ile; c = sönüm miktarını, m = kat kütlelerini, k = kat rijitliğini, ξ = sönüm oranını (Betonarme yapılarda $\xi = 0,05$ olacaktır) ifade etmektedir.

Bodrum ve zemin katın sönüm miktarı 2419928 N.s/m , birinci ve ikinci normal katın kütlesi 2228445 N.s/m , üçüncü ve dördüncü normal katın sönüm miktarı 2119090 N.s/m 'dir.

6.3.1.4 Bina 1'in Maksimum Kat Deplasmanlarının Hesabı

Bina 1'in farklı deprem kayıtlarında katlarında oluşan maksimum kat deplasmanlarını hesaplamadan önce Bina 1'in hareket denklemini yazalım:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F(t) \quad (6.8)$$

Bölüm 7'de verilen MATLAB'da yazılmış program kullanılarak farklı deprem kayıtları için her katın deplasmanı bulunmuştur. Bina 1'in farklı deprem kuvvetleri etkisinde yaptığı deplasmanlar Tablo 6.10'da verilmiştir.

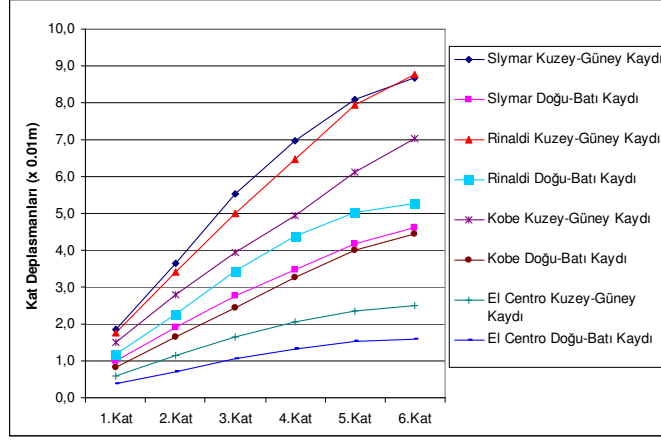
Tablo 6.10: Farklı Deprem Kayıtlarında Bina 1'in Katlarında Oluşan Maksimum Deplasmanlar (m)

		DEPREMİN ADI							
		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
KAT NO	1.KAT	0,0186	0,0101	0,0177	0,0117	0,0150	0,0084	0,0060	0,0037
	2.KAT	0,0366	0,0192	0,0340	0,0227	0,0280	0,0163	0,0114	0,0070
	3.KAT	0,0553	0,0277	0,0499	0,0345	0,0394	0,0246	0,0164	0,0105
	4.KAT	0,0698	0,0347	0,0648	0,0439	0,0494	0,0325	0,0206	0,0133
	5.KAT	0,0809	0,0417	0,0793	0,0504	0,0612	0,0400	0,0235	0,0152
	6.KAT	0,0868	0,0463	0,0877	0,0528	0,0702	0,0444	0,0249	0,0159

Tablo 6.10'da verilen Bina 1'in farklı deprem kayıtlarında yaptığı deplasman değerleri Şekil 6.11'de daha açık biçimde görülmektedir.

Şekil 6.11’de görüldüğü gibi en büyük kat deplasmanları Northridge depreminin Slymar ve Rinaldi kuzey-güney kayıtlarında oluşmaktadır.

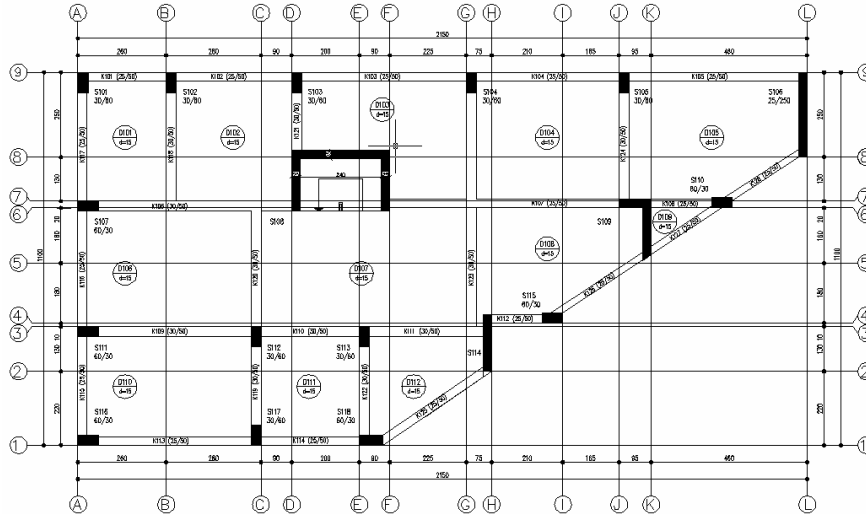
Anadolu yarımadasının doğu-batı doğrultusu boyunca uzanan Kuzey Anadolu Fay Hattı büyük ve yıkıcı depremler üretme potansiyeline sahiptir. Kuzey Anadolu Fay Hattı Northridge depremini de üreten San Andreas Fay Hattı ile benzerlikler gösterir. Bu bakımdan örneklerimizde özellikle Northridge depremi kayıtlarından elde edilen sonuçlara dikkat çekilecektir.



Şekil 6.11: Bina 1-Maksimum Kat Deplasmanları

6.3.2 Bina2’in Hareket Denklemi Parametrelerinin ve Maksimum Kat Deplasmanlarının Hesabı

Kat yüksekliği 3m olan Bina2 6 katlı bir yapıdır. Döşeme kalınlığı 0.15 m, kiriş bbyutları 0.25/0.50 m ve 0.30/0.50 m’dir. Bina2’nin bodrum katının kalıp planı Şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12 : Bina 2 Bodrum Kat Kalıp Planı

6.3.2.1 Bina2'in Kat Kütlelerinin Hesabı

Bina 2'de de Bina 1'de olduğu gibi boyutlandırmalar yapılmıştır. Döşeme ve giriş boyutlarında katlar arası farklılıklar olmamasına karşın kolonlarda iki katta bir küçültme yapılmıştır. Malzeme özellikleri Bina 1 ile aynıdır. Katlar arasında kütle farklılıklarının oluşmasına neden olan kolonların tip ve adedi bilgileri her kat için sırası ile Tablo 6.11, Tablo 6.12 ve Tablo 6.13'de verilmiştir.

Tablo 6.11: Bina 2 Bodrum Kat Kolonları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	0,60	0,30	3	8
2	2,50	0,25	3	1
3	0,60	0,30	3	6
4	1,80	0,25	3	2
5	2,40	0,25	3	1
6	1,70	0,25	3	1
7	1,40	0,25	3	1
8	0,70	0,25	3	1

Tablo 6.12: Bina 2 1.Normal Kat Kolonları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	0,50	0,30	3	8
2	2,50	0,25	3	1
3	0,50	0,30	3	6
4	1,80	0,25	3	2
5	2,40	0,25	3	1
6	1,70	0,25	3	1
7	1,40	0,25	3	1
8	0,70	0,25	3	1

Tablo 6.13: Bina 2 3.Normal Kat Kolonlarının Ağırlıkları

Kolon Tip No	Kolonun Uzun Kenarı	Kolonun Kısa Kenarı	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi
1	0,40	0,30	3	8
2	2,50	0,25	3	1
3	0,40	0,30	3	6
4	1,80	0,25	3	2
5	2,40	0,25	3	1
6	1,70	0,25	3	1
7	1,40	0,25	3	1
8	0,70	0,25	3	1

Sonuçta bodrum ve zemin katın kütlesi 128000 kg, birinci ve ikinci normal katın kütlesi 121000 kg, üçüncü ve dördüncü normal katın kütlesi ise 119000 kg olacaktır.

6.3.2.2 Bina 2'nin Kat Rijitliklerinin Hesabı

Bodrum katın rijitliğini bulmadan önce her bir düşey taşıyıcı elemanın rijitliğini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

Boyutları 0.70/0.25 olan kolonun rijitliği:

Elastisite Modülü : $2,8 \times 10^{10} \text{ kN} / \text{m}^3$

Kat Yüksekliği : 3 m

$$I = \frac{b \times d^3}{12} = \frac{0.70 \times 0.25^3}{12} = 0,007146 \text{ m}^4 \quad (6.9)$$

$$k = \frac{12 \times E \times I}{h^3} = \frac{12 \times 2,8 \times 10^{10} \times 0,007146}{3^3} = 88925926 \text{ N} / \text{m} \quad (6.10)$$

Kattaki tüm kolonların rijitliği aynı şekilde bulunarak Tablo 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.14: Bina 2 Bodrum Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yönündeki Kenarı	Kolonun Y Yönündeki Kenarı	Elastisite Modülü	Atalet Momenti	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	0,3	0,6	28000000000	0,00135	3	8	134400000
2	0,25	2,5	28000000000	0,003255208	3	1	40509259
3	0,6	0,3	28000000000	0,0054	3	6	403200000
4	2,4	0,25	28000000000	0,288	3	1	3584000000
5	0,25	1,8	28000000000	0,00234375	3	2	58333333
6	0,25	1,7	28000000000	0,002213542	3	1	27546296
7	0,25	1,4	28000000000	0,001822917	3	1	22685186
8	0,7	0,25	28000000000	0,007145833	3	1	88925926

Bodrum ve zemin katın rijitliği $4359600000 \text{ N} / \text{m}$ 'dir.

Birinci ve ikinci normal katın kolonlarının rijitlikleri Tablo 6.15'de verilmiştir.

Tablo 6.15: Bina 2 1.Normal Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yönündeki Kenarı	Kolonun Y Yönündeki Kenarı	Elastisite Modülü	Atalet Momenti	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	0,3	0,5	28000000000	0,001125	3	8	112000000
2	0,25	2,5	28000000000	0,003255208	3	1	40509259
3	0,5	0,3	28000000000	0,003125	3	6	233333333
4	2,4	0,25	28000000000	0,288	3	1	3584000000
5	0,25	1,8	28000000000	0,00234375	3	2	58333333
6	0,25	1,7	28000000000	0,002213542	3	1	27546296
7	0,25	1,4	28000000000	0,001822917	3	1	22685186
8	0,7	0,25	28000000000	0,007145833	3	1	88925926

Birinci ve ikinci normal katın rijitliği 4167333333 N/m 'dir.

Üçüncü ve dördüncü normal katın da rijitlikleri alt katlar gibi hesap edildiğinde her bir düşey elemanın rijitlikleri Tablo 6.16'da görüldüğü gibi olur. Bu katların rijitliği de 4031066766 N/m 'dir.

Tablo 6.16: Bina 2 3.Normal Kat Kolonlarının Rijitliği

Kolon Tip No	Kolonun X Yönündeki Kenarı	Kolonun Y Yönündeki Kenarı	Elastisite Modülü	Atalet Momenti	Kat Yüksekliği	Kolon Adedi	Kolonun Eşdeğer Rijitliği
1	0,3	0,4	28000000000	0,0009	3	8	89600000
2	0,25	2,5	28000000000	0,003255208	3	1	40509259
3	0,4	0,3	28000000000	0,0016	3	6	119466667
4	2,4	0,25	28000000000	0,288	3	1	3584000000
5	0,25	1,8	28000000000	0,00234375	3	2	58333333
6	0,25	1,7	28000000000	0,002213542	3	1	27546296
7	0,25	1,4	28000000000	0,001822917	3	1	22685285
8	0,7	0,25	28000000000	0,007145833	3	1	88925926

Rijitlik matrisi altı katlı bir bina için Denklem 6.26'da görüldüğü şekilde olacaktır.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 + k_6 & -k_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6 \end{bmatrix} \quad (6.11)$$

Katlar için hesapladığımız rijitlik değerlerini N,cm biriminde yazar ve Denklem 6.12'de yerine yazarsak Bina 2 için rijitlik matrisini elde etmiş oluruz. Bodrum ve zemin katın rijitliği 4359600000, 1.ve 2. katın rijitliği 4167333333 N/m , 3. ve 4.katın rijitliği ise 4031066766 N/m olacaktır.

$$[K] = \begin{bmatrix} 8719200000 & -4359600000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4359600000 & 8526933333 & -4167333333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4167333333 & 8334666666 & -4167333333 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -4167333333 & 8198400099 & -4031066766 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4031066766 & 8062133532 & -4031066766 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4031066766 & 4031066766 \end{bmatrix} \quad (6.12)$$

6.3.2.3 Bina 2'in Kat Sönüm Miktarının Hesabı

Her katın sönümü Denklem 6.13 kullanılarak bulunacaktır.

$$c = \xi \times 2 \times m \times \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.13)$$

Denklem 6.13'deki ifadeler sırası ile; c = sönüm miktarını, m = kat kütlelerini, k = kat rijitliğini, ξ = sönüm oranını (Betonarme yapılarda $\xi = 0,05$ olacaktır) ifade etmektedir.

Bodrum ve zemin katın sönüm miktarı 2362250 N.s/m , birinci ve ikinci normal katın kütlesi 2245520 N.s/m , üçüncü ve dördüncü normal katın sönüm miktarı 2190180 N.s/m 'dir.

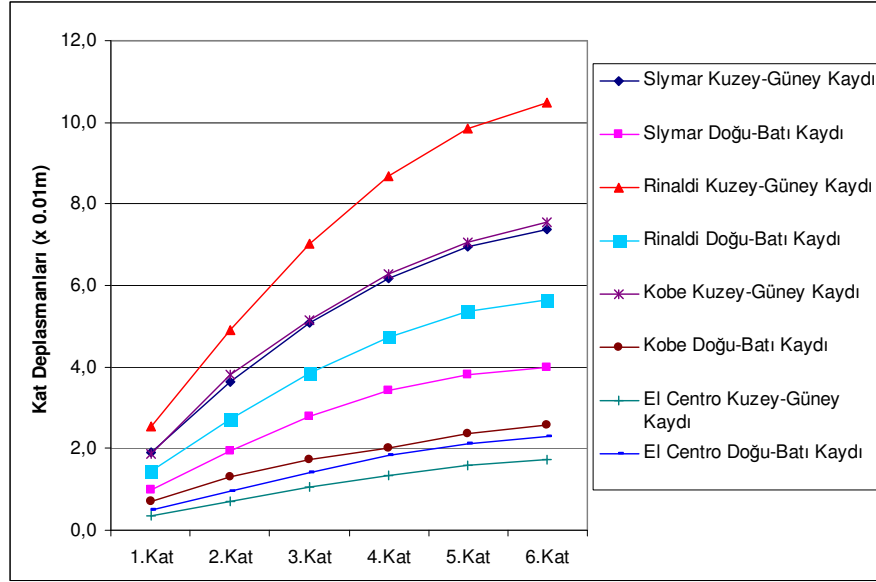
6.3.2.4 Bina 1'in Maksimum Kat Deplasmanlarının Hesabı

MATLAB programı ile hesap edilen Bina 2'nin farklı deprem kuvvetleri etkisinde yaptığı deplasmanlar Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.17: Farklı Deprem Kayıtlarında Bina 2'in Katlarında Oluşan Maksimum Deplasmanlar

		DEPREMİN ADI							
		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEW	ELCNS	ELCEW
KAT NO	1.KAT	0,0192	0,0098	0,0255	0,0144	0,0188	0,0071	0,0036	0,0049
	2.KAT	0,0364	0,0193	0,0491	0,0270	0,0383	0,0129	0,0071	0,0096
	3.KAT	0,0510	0,0279	0,0702	0,0383	0,0516	0,0172	0,0106	0,0143
	4.KAT	0,0618	0,0343	0,0867	0,0474	0,0627	0,0202	0,0135	0,0182
	5.KAT	0,0696	0,0381	0,0986	0,0536	0,0705	0,0236	0,0159	0,0212
	6.KAT	0,0738	0,0397	0,1048	0,0566	0,0754	0,0257	0,0172	0,0229

Deprem kayıtlarından elde edilen deplasman değerleri incelendiğinde Northridge depreminin kuzey-güney kayıtlarında oluşan maksimum kat deplasmanları diğer kayıtlardan büyüktür. Beklendiği gibi bütün depremlerde kat deplasmanları arasında en büyük deplasman en üst katta yani altıncı katta oluşmaktadır.



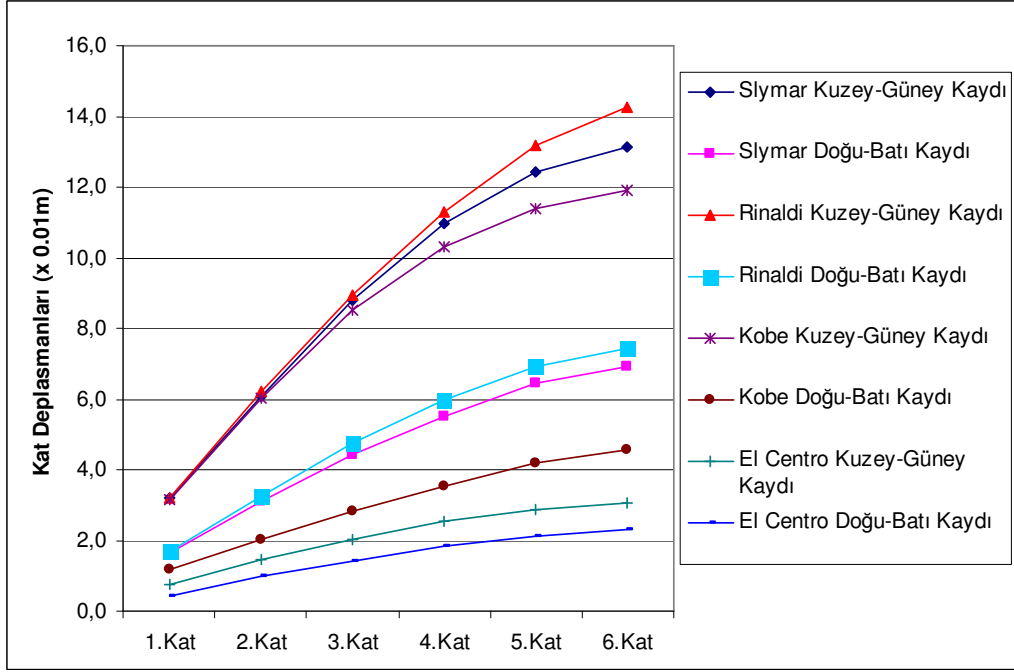
Şekil 6.13: Bina 2-Maksimum Kat Deplasmanları

6.4 Binaların Yaptığı Toplam Kat Deplasmanlarının Hesabı

6.2 ve 6.3 bölümlerinde iki bina müstakil tek başına düşünülmüş ve her bir binanın farklı deprem kayıtlarında katlarında oluşan maksimum deplasmanlar hesap edilmiştir. Bu bölümde iki bina birbirine komşu olarak düşünülmüş ve iki bina arasında oluşacak toplam deplasmanlar hesap edilmiştir. Yapılan hesapta Bölüm 7'deki MATLAB'da yazılmış ilgili program kullanılmıştır.

Tablo 6.18: Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları

		DEPREMİN ADI							
		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEW	ELCNS	ELCEW
KAT NO	1.KAT	0,0319	0,0162	0,0321	0,0170	0,0316	0,0115	0,0076	0,0042
	2.KAT	0,0609	0,0309	0,0619	0,0327	0,0603	0,0205	0,0144	0,0096
	3.KAT	0,0878	0,0441	0,0892	0,0476	0,0854	0,0281	0,0203	0,0143
	4.KAT	0,1096	0,0552	0,1128	0,0600	0,1030	0,0355	0,0254	0,0182
	5.KAT	0,1243	0,0645	0,1319	0,0694	0,1140	0,0417	0,0288	0,0212
	6.KAT	0,1314	0,0693	0,1426	0,0743	0,1190	0,0459	0,0306	0,0229



Şekil 6.14: Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları

Şekil 6.14’de de görüldüğü gibi iki bina arasındaki deplasman değeri Northridge depreminin Rinaldi-NS kaydında 0.1426 metreye kadar çıkmaktadır. Ülkemizdeki yapı stoğu göz önüne alınarak iki bina arasında 0.04 m boşluk olduğu düşünülmüştür. Bu yaklaşıma göre iki bina arasında oluşacak deplasman 0.04 m’den fazla olacağından olası depremde binalar birbirine çarpacaktır.

Çarpışmayı önlemek için pasif ve aktif kontrol elemanları uygulanarak binaların rijitliği artırılmış ve deplasman öngörülen değerlere düşürülmüştür.

6.5 Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi

Pasif kontrol kuvvetleri kullanılarak binalar arasında oluşan deplasman değerleri öngörülen değerlere düşürülmüştür. Hesaplar öncesinde iki bina arasında 4 cm derz aralığı olduğu öngörülmüştür. Binalar arasında oluşan deplasman değerinin 0.04 m’den fazla olduğu deprem kayıtlarında (Northridge Depremi Slymar ve Rinaldi Kaydı, Kobe Depremi Kobe Kaydı) deplasman 0.04 m’in altına düşecek şekilde, deplasman değerinin 0.04 m’den az olduğu deprem kayıtları (El Centro Deprem Kaydı) için ise deplasman %50 azalacak şekilde pasif kontrol kuvvetleri seçilmiştir.

Deplasman hesabından önce uygulanacak pasif kontrol kuvvetinin rijitliği ve sönümü yapılan iterasyonlarla hesap edilmiştir.

Başka bir ifade ile istenen deplasmanı elde etmek için ne kadarlık rijitliğe ve sönüme sahip pasif kontrol kuvveti yerleştirmek gerektiği irdelenmiştir.

6.5.1 Pasif Kontrol Kuvvetinin Mertebesinin Belirlenmesi

Binalar arasında oluşan maksimum deplasman en üst kat hizasında olmaktadır. Üst kattaki deplasman belirlenen sınırlar içinde kalana kadar kontrol elemanının rijitliği ve sönümü artırılmıştır. Belirlenen değerlere ulaşıldığında ise üst kat için yapılan deplasman hesabı tüm katlar için yapılmış ve önceki bölümlerde olduğu gibi tüm kat hizalarında oluşan deplasmanlar elde edilmiştir.

Tablo 6.19 ve Tablo 6.20’de farklı deprem kayıtlarında maksimum kat deplasmanının istenilen seviyede olması için ne kadarlık bir pasif kontrol kuvvetinin uygulanması gerektiği gösterilmektedir. Tablolarda rijitli oranı diye ifade edilen değer kontrol kuvvetinin kat rijitliğine oranıdır. Tablo 6.19 ve Tablo 6.20’deki deplasman değerleri 1×10^{-2} metredir.

Tablo 6.19: Slymar ve Rinaldi Kaydı İçin Pasif Kontrol Kuvvetinin Mertebesi

SYNS DEPREMİ			SYEW DEPREMİ			RINS DEPREMİ			RIEW DEPREMİ		
Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.
Adım1	1	9,11	Adım1	0,75	4,67	Adım1	1,5	11,79	Adım1	1	7,27
Adım2	1,5	6,46	Adım2	1	3,43	Adım2	2	9,30	Adım2	1,5	4,86
Adım3	1,75	5,66	Adım3			Adım3	2,5	7,69	Adım3	2	3,88
Adım4	2	5,05	Adım4			Adım4	3	6,56	Adım4		
Adım5	2,5	4,16	Adım5			Adım5	4	5,72	Adım5		
Adım6	2,6	4,02	Adım6			Adım6	4,5	4,56	Adım6		
Adım7	2,65	3,95	Adım7			Adım7	5,3	3,92	Adım7		

Tablo 6.20: Kobe ve ElCentro Kaydı İçin Pasif Kontrol Kuvvetinin Mertebesi

KOBENS DEPREMİ			KOBEEW DEPREMİ			ELCNS DEPREMİ			ELCEW DEPREMİ		
Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.	Adım No	RİJİTLİK ORANI	6.KAT DEPL.
Adım1	1	10,89	Adım1	3	3,75	Adım1	2	2,34	Adım1	2	1,43
Adım2	1,5	8,20	Adım2	3,5	3,29	Adım2	2,5	2,00	Adım2	2,5	1,28
Adım3	2	6,55	Adım3	4	2,94	Adım3	3	1,74	Adım3	3	1,14
Adım4	2,5	5,44	Adım4	4,5	2,66	Adım4			Adım4		
Adım5	3	4,66	Adım5	4,8	2,51	Adım5			Adım5		
Adım6	3,5	4,08	Adım6			Adım6			Adım6		
Adım7	3,7	3,89	Adım7			Adım7			Adım7		

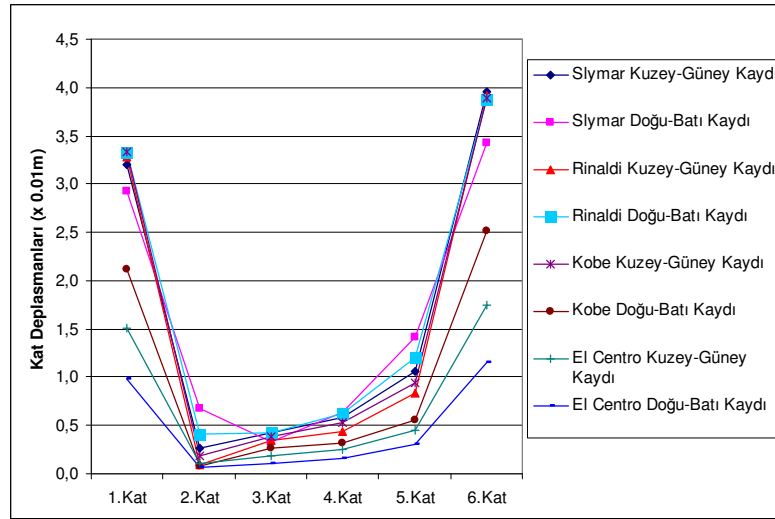
6.5.2 Pasif Kontrol Kuvvetinin Uygulandığı Durumda Katlarda Oluşan Maksimum Deplasmanlar

Tablo 6.21’de iterasyonlar sonucunda belirlenen rijitlik ve sönüm değerlerinde her bir deprem kaydında katlarda oluşan deplasmanlar gösterilmiştir.

Tablo 6.21: Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları

		DEPREMİN ADI							
		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEW	ELCNS	ELCEW
KAT NO	1.KAT	0,0320	0,0293	0,0328	0,0334	0,0333	0,0212	0,0150	0,0098
	2.KAT	0,0027	0,0067	0,0009	0,0041	0,0018	0,0007	0,0011	0,0007
	3.KAT	0,0042	0,0033	0,0034	0,0042	0,0039	0,0026	0,0018	0,0010
	4.KAT	0,0058	0,0063	0,0044	0,0063	0,0053	0,0032	0,0026	0,0015
	5.KAT	0,0106	0,0141	0,0084	0,0120	0,0093	0,0056	0,0045	0,0030
	6.KAT	0,0395	0,0343	0,0392	0,0388	0,0389	0,0252	0,0174	0,0115
Rijitlik Miktarı		2,65	1,00	5,30	2,00	3,70	4,80	3,00	3,00

Tablo 6.21’deki rijitlik ve sönüm miktarı, kontrol elemanının rijitliğinin kat rijitliğinin kaç katı olması gerektiğini ifade etmektedir. Örneğin; Northridge depreminin Slymar-NS kaydı için kontrol elemanın rijitliği kat rijitliğinin 2.65 katı, gene Northridge depreminin Rinaldi-NS kaydı için 5.3 katı olmalıdır.



Şekil 6.15: Pasif Kontrol Elemanları Uygulandığı Durumda Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanlar

6.6 Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda Komşu İki Binanın İncelenmesi

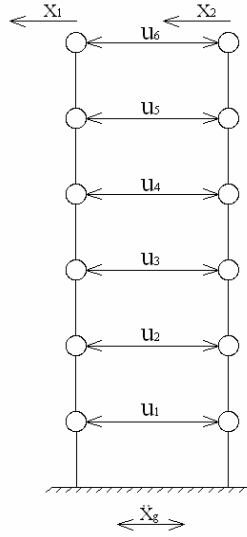
Aktif kontrol kuvveti uygulaması iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk durumda iki bina arasında oluşan deplasmanlar binalar arasına yerleştirilen kontrol kuvvetleri aracılığı ile düşürülmeye çalışılmıştır. İkinci durumda ise deplasmanları sınırlamak için her iki binaya ayrı ayrı kontrol kuvveti uygulanmıştır.

Sonuç olarak iki farklı durum karşılaştırılmalı olarak irdelenmiş ve hangi yöntemin uygulanan kuvvet bakımından daha ekonomik olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

6.6.1 Aktif Kontrol Kuvvetinin İki Bina Arasına Uygulanması Durumu

Pasif kontrol kuvveti uygulanarak katlar arasında oluşan deplasmanlar belli sınırlar içinde tutulmak istendiğinde, kat rijitliğine göre yüksek mertebelerde kontrol kuvveti uygulanması kaçınılmazdır.

Bu bölümde, aynı sisteme deplasmanlar belli sınırlar içinde kalacak şekilde aktif kontrol kuvveti uygulanmıştır.

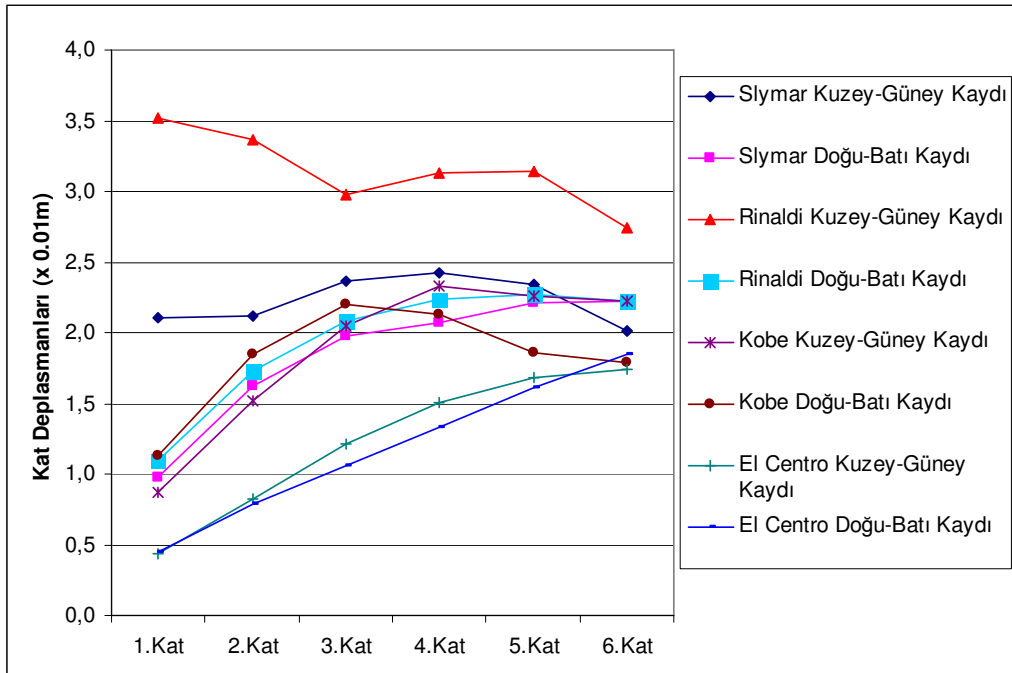


Şekil 6.16 : Aktif Kontrol Kuvvetinin İki Bina Arasına Uygulanması Halinde Kullanılan Hesap Modeli

Tablo 6.22’de istenen deplasmanlara karşı gelen kontrol kuvvetleri ve her katta oluşan maksimum deplasmanlar verilmiştir.

Tablo 6.22: Aktif Kontrol Kuvveti Uygulandığında Maksimum Kat Deplasmanları ve Kontrol Kuvvetleri

	SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW	
Deplasman (m)	1.KAT	0,021	0,010	0,035	0,011	0,009	0,011	0,004	0,004
	2.KAT	0,021	0,016	0,034	0,017	0,015	0,018	0,008	0,008
	3.KAT	0,024	0,020	0,030	0,021	0,020	0,022	0,012	0,011
	4.KAT	0,024	0,021	0,031	0,022	0,023	0,021	0,015	0,013
	5.KAT	0,023	0,022	0,031	0,023	0,023	0,019	0,017	0,016
	6.KAT	0,020	0,022	0,027	0,022	0,022	0,018	0,017	0,018
Kontrol Kuvveti (N)	1.KAT	353350000	12413000	190290000	15289000	6573000	13858000	1321000	2567000
	2.KAT	121190000	6999000	40920000	7368000	4157000	3496000	1131000	1924000
	3.KAT	11350000	2626000	65700000	2312000	2020000	3477000	921000	1319000
	4.KAT	24610000	290000	39160000	303000	664000	4357000	722000	932000
	5.KAT	10540000	159000	12820000	417000	311000	1451000	516000	738000
	6.KAT	244590000	331000	108550000	753000	746000	2187000	349000	651000



Şekil 6.17: Aktif Kontrol Elemanları Uygulandığı Durumda Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları

6.6.2 Aktif Kontrol Kuvvetinin İki Binaya Ayrı Ayrı Uygulanması Durumu

Bu kısımda katlar arası oluşan maksimum deplasmanlar binalara ayrı ayrı uygulanan kontrol kuvvetleri ile sınırlandırılmaya çalışılmıştır. Tablo 6.23 ve Tablo 6.24'de sırası ile Bina 1 ve Bina 2 için uygulanan kontrol kuvvetleri ve sınırlandırılmış kat deplasman değerleri verilmiştir.

Tablo 6.23: Aktif Kontrol Kuvveti Uygulandığında Bina 1’de Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları ve Kontrol Kuvvetleri

	SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
Deplasman (m)	1.KAT	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
	2.KAT	0,009	0,007	0,009	0,008	0,008	0,005	0,004
	3.KAT	0,019	0,013	0,016	0,016	0,014	0,009	0,008
	4.KAT	0,025	0,017	0,025	0,021	0,021	0,012	0,009
	5.KAT	0,026	0,023	0,033	0,023	0,025	0,016	0,012
	6.KAT	0,029	0,026	0,039	0,024	0,028	0,019	0,013
Kontrol Kuvveti (N)	1.KAT	64000	2000	197000	3000	37000	28000	2000
	2.KAT	1893000	479000	3270000	509000	1057000	711000	65000
	3.KAT	3786000	991000	6572000	1058000	2134000	1448000	136000
	4.KAT	5255000	1420000	9374000	1514000	3019000	2073000	195000
	5.KAT	6302000	1762000	11628000	1870000	3696000	2581000	241000
	6.KAT	6825000	1947000	12834000	2056000	4045000	2856000	266000

Tablo 6.24: Aktif Kontrol Kuvveti Uygulandığında Bina 2’de Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları ve Kontrol Kuvvetleri

	SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
Deplasman (m)	1.KAT	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
	2.KAT	0,013	0,007	0,010	0,007	0,009	0,007	0,004
	3.KAT	0,024	0,013	0,019	0,014	0,017	0,012	0,007
	4.KAT	0,030	0,017	0,027	0,019	0,023	0,017	0,010
	5.KAT	0,035	0,020	0,034	0,023	0,028	0,021	0,012
	6.KAT	0,038	0,022	0,037	0,025	0,032	0,024	0,014
Kontrol Kuvveti (N)	1.KAT	22000	6000	32000	16000	1000	2500	3000
	2.KAT	369000	81000	2347000	415000	999000	768000	58000
	3.KAT	743000	165000	4608000	830000	1970000	1510000	118000
	4.KAT	1051000	236000	6535000	1171000	2793000	2137000	167000
	5.KAT	1279000	287000	8007000	1420000	3420000	2608000	204000
	6.KAT	1398000	315000	8797000	1549000	3756000	2876000	223000

Tablo 6.25: İki Bina Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanları

	SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
Deplasman (m)	1.KAT	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	2.KAT	0,012	0,006	0,006	0,007	0,009	0,005	0,005
	3.KAT	0,019	0,012	0,010	0,013	0,014	0,009	0,008
	4.KAT	0,020	0,017	0,012	0,017	0,018	0,012	0,011
	5.KAT	0,021	0,021	0,012	0,021	0,020	0,012	0,014
	6.KAT	0,022	0,023	0,014	0,023	0,024	0,014	0,015

Tablo 6.25’de kontrol kuvvetinin iki binaya ayrı ayrı uygulanıp iki binanın deplasmanlarının belli sınırlar içinde tutulduğu durumda iki bina arasında oluşan maksimum deplasmanlar verilmiştir.

6.6.3 Aktif Kontrol Kuvvetinin Uygulandığı İki Yöntemin Karşılıklı Olarak İrdelenmesi

Aktif kontrol kuvveti komşu binalar bir olarak düşünülerek uygulanabileceği gibi, binaların ayrı ayrı düşünülmesi şeklinde de tatbik edilebilir. 2. durumda yani binalara ayrı ayrı uygulanması durumunda uygulanan kuvvet bakımından daha ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. 1.durumdaki kontrol kuvvetleri 2.durumdakilerin ortalama 4.5 katıdır.

Tablo 6.26: Aktif Kontrol Kuvveti Uygulandığı 1.Durumdaki Ortalama Kontrol Kuvvetleri

		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
1.Durumdaki Ortalama Kontrol Kuvveti(II)	1.KAT	353350000	12413000	190290000	15289000	6573000	13858000	1321000	2567000
	2.KAT	121190000	6999000	40920000	7368000	4157000	3496000	1131000	1924000
	3.KAT	11350000	2626000	65700000	2312000	2020000	3477000	921000	1319000
	4.KAT	24610000	290000	39160000	303000	664000	4357000	722000	932000
	5.KAT	10540000	159000	12820000	417000	311000	1451000	516000	738000
	6.KAT	244590000	331000	108550000	753000	746000	2187000	349000	651000

Tablo 6.27: Aktif Kontrol Kuvveti Uygulandığı 2.Durumdaki Ortalama Kontrol Kuvvetleri

		SYNS	SYEW	RINS	RIEW	KOBENS	KOBEEW	ELCNS	ELCEW
2.Durumdaki Ortalama Kontrol Kuvveti(II)	1.KAT	64000	2000	197000	3000	37000	28000	2000	4000
	2.KAT	1893000	479000	3270000	509000	1057000	711000	65000	53000
	3.KAT	3786000	991000	6572000	1058000	2134000	1448000	136000	108000
	4.KAT	5255000	1420000	9374000	1514000	3019000	2073000	195000	155000
	5.KAT	6302000	1762000	11628000	1870000	3696000	2581000	241000	188000
	6.KAT	6825000	1947000	12834000	2056000	4045000	2856000	266000	205000

7. HESAPLARDA KULLANILAN MATLAB PROGRAMLARI

7.1 Dördüncü Mertebe Runge-Kutta Yöntemi

Analizlerde Matlab kullanılarak hazırlanan programları anlatmadan önce diferansiyel denklemlerin çözümü için kullandığımız dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi hakkında bilgi verilecektir [15,16].

Dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi Taylor serisinin dördüncü mertebeden açılması ile elde edilir. Açılım sonunda sabit elemanların seçiminde denklem sayısı sabit sayısından az olduğundan birden fazla dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi bulunmaktadır. Bu bölümde, Runge katsayılı Runge-Kutta yöntemi açıklanacaktır.

Öncelikli olarak $dv/dx=f(v,x)$ denkleminin çözümünü irdeleyelim. Bilinmeyen fonksiyon v nin i noktasındaki değeri v_i bilindiğinde $i+1$ noktasındaki v_{i+1} değeri aşağıdaki bağıntılarda görüldüğü şekilde hesaplanır [17].

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \quad (7.1.a)$$

$$k_1 = f(v_i, x_i) \quad (7.1.b)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1 / 2, x_i + h / 2) \quad (7.1.c)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2 / 2, x_i + h / 2) \quad (7.1.d)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3 / 2, x_i + h) \quad (7.1.e)$$

Başlangıçta $i = 0$ için v_0 değeri bilindiğinden v_1 bulunur. v_1 bulunduktan sonra tüm noktadaki v değerleri elde edilebilir.

$f = f(x)$ bilinmeyen fonksiyon ise problem integrasyon işlemine indirgenir. Bu integrasyon işlemine dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi uygulandığında yöntem Simpson kuralına dönüşür.

Diferansiyel denkleminin iki denkleme indirgenmiş halinin ayrık olmaması yani $f(v,y,t)$ olması durumunda v_{i+1} ve y_{i+1} değerlerinin v_i ve y_i değerlerinde bulunuşu aşağıda gibi olacaktır.

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \quad (7.2.a)$$

$$y_{i+1} = y_i + h(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)/6 \quad (7.2.b)$$

$$k_1 = f(v_i, y_i) \quad m_i = v_i \quad (7.2.c)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1/2, y_i + hm_1/2, x_i + h/2) \quad m_2 = v_i + hm_1/2 \quad (7.2.d)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2/2, y_i + hm_2/2, x_i + h/2) \quad m_3 = v_i + hm_2/2 \quad (7.2.e)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3/2, x_i + hm_3/2, x_i + h) \quad m_4 = v_i + hm_3 \quad (7.2.f)$$

Başlangıçta $i = 0$ için v_0 ve y_0 değerleri bilindiğinden v_1 ve y_1 değerleri bulunur. v_1 ve y_1 değerleri bulunduktan sonra v_2 ve y_2 değerleri bulunur ve tüm noktadaki v ve y değerleri elde edilebilir.

7. 2 Deplasman Hesabında Kullanılan Matlab Programları

7. 2.1 Pasif Kontrol Kuvveti Uygulandığında Deplasman Hesabı

Bu bölümdeki Matlab programı binaların bitişik nizam olarak teşkil edildiği durumda pasif kontrol kuvvetinin uygulandığı zaman oluşacak maksimum kat deplasmanlarını hesaplamaktadır. Programda verilen “dk” ve “dc” pasif kontrol elemanının rijitlik ve sönüm değerleri sıfır olarak girilirse, program binaların herhangi bir kontrol kuvveti uygulanmadığı durumdaki maksimum kat deplasmanlarını verir.

% birimler N/m/kg

```
global Mi Ks Cs b h dof ds x Time points delta_t Kd Cd Xctn v_dat
dof=12;
n=2*dof+1;
k = [ 3706402000 ; 3706402000; 3203892918; 3203892918; 2935106482;
2935106482; 4359600000; 4359600000; 4167333333; 4167333333; 4031066766;
4031066766 ]; % Sistemin rijitliğinin tanımlanması
c = [ 2419928; 2419928; 2228445; 2228445 2119090; 2119090; 2362250; 2362250;
2245520 ; 2245520; 2190180; 2190180]; % Sistemin sönümünün tanımlanması
dk = [ 4033001000; 4033001000; 3685613126; 3685613126; 3483086624;
3483086624]; % Kontrol elemanının tanımlanması
dc = [ 2391089 ; 2391089 ; 2236982 ; 2236982 ; 2154635 ; 2154635]
m = [158000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ;0 158000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ;0 0 155000 0 0 0 0 0
0 0 0 0 ;0 0 0 155000 0 0 0 0 0 0 0 ;0 0 0 0 153000 0 0 0 0 0 0 ;0 0 0 0 0
153000 0 0 0 0 0 ;0 0 0 0 0 128000 0 0 0 0 ;0 0 0 0 0 0 128000 0 0 0 0 ;
```

```

0 0 0 0 0 0 0 121000 0 0 0 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 121000 0 0 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 0
119000 0 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 119000];

```

```

Ks = [ k(1)+k(2)+dk(1) -k(2) 0 0 0 0 -dk(1) 0 0 0 0 0 ; -k(2) k(2)+k(3)+dk(2) -k(3) 0
0 0 0 -dk(2) 0 0 0 0 ; 0 -k(3) k(3)+k(4)+dk(3) -k(4) 0 0 0 0 -dk(3) 0 0 0 ; 0 0 -k(4)
k(4)+k(5)+dk(4) -k(5) 0 0 0 0 -dk(4) 0 0 ; 0 0 0 -k(5) k(5)+k(6)+dk(5) -k(6) 0 0 0 0
-dk(5) 0 ; 0 0 0 -k(6) k(6)+k(7)+dk(6) -k(7) 0 0 0 0 0 -dk(6); -dk(1) 0 0 0 0 0 -k(7)
k(7)+k(8)+dk(1) -k(8) 0 0 0 ; 0 -dk(2) 0 0 0 0 -k(8) k(8)+k(9)+dk(2) -k(9) 0 0 0 ; 0 0
-dk(3) 0 0 0 0 -k(9) k(9)+k(10)+dk(3) -k(10) 0 0 ; 0 0 0 -dk(4) 0 0 0 0 -k(10)
k(10)+k(11)+dk(4) -k(11) 0 ; 0 0 0 0 -dk(5) 0 0 0 0 -k(11) k(10)+k(11)+dk(5) -k(12) ;
0 0 0 0 0 -dk(6) 0 0 0 0 -k(12) k(11)+k(12)+dk(6)];

```

```

Cs = [ c(1)+c(2)+dc(1) -c(2) 0 0 0 0 -dc(1) 0 0 0 0 0 ; -c(2) c(2)+c(3)+dc(2) -c(3) 0 0
0 0 -dc(2) 0 0 0 0 ; 0 -c(3) c(3)+c(4)+dc(3) -c(4) 0 0 0 0 -dc(3) 0 0 0 ; 0 0 -c(4)
c(4)+c(5)+dc(4) -c(5) 0 0 0 0 -dc(4) 0 0 ; 0 0 0 -c(5) c(5)+c(6)+dc(5) -c(6) 0 0 0
0 -dc(5) 0 ; 0 0 0 -c(6) c(6)+c(7)+dc(6) -c(7) 0 0 0 0 0 -dc(6); -dc(1) 0 0 0 0 0 -c(7)
c(7)+c(8)+dc(1) -c(8) 0 0 0 ; 0 -dc(2) 0 0 0 0 -c(8) c(8)+c(9)+dc(2) -c(9) 0 0 0 ; 0 0
-dc(3) 0 0 0 0 -c(9) c(9)+c(10)+dc(3) -c(10) 0 0 ; 0 0 0 -dc(4) 0 0 0 0 -c(10)
c(10)+c(11)+dc(4) -c(11) 0 ; 0 0 0 0 -dc(5) 0 0 0 0 -c(11) c(10)+c(11)+dc(5) -c(12);
0 0 0 0 0 -dc(6) 0 0 0 0 -c(12) c(11)+c(12)+dc(6)];

```

```

Mi = inv(m*eye(dof));

```

```

b = [ 1 ; zeros(dof-1,1) ];

```

```

h = ones(dof,1)

```

```

delta_t = 0.005;

```

```

load syns

```

```

% Depremin tanımlanması

```

```

dep=syns;

```

```

Xctn=dep(1:3000,1);

```

```

v_dat=dep(1:3000,2);

```

```

points=length(Xctn);

```

```

Time=delta_t:delta_t:delta_t*points;

```

```

x=zeros(2*dof+2,points);

```

```

for k=2:points

```

```

x(:,k)= myrk4('eq_1',Time(k-1),x(:,k-1),delta_t);

```

```

end

```

```

plot(Time,Cdk)

```

```

fp = fopen('out1','w');

```

```

% Sonuçların yazılması

```

```

for k=1:points

```

```

fprintf(fp,' %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f

```

```

%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f

```

```

%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f\n'...

```



```

c(7)+c(8) -c(8) 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 - c(8) c(8)+c(9) -c(9) 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -c(9)
c(9)+c(10) -c(10) 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -c(10) c(10)+c(11) -c(11) 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-c(11) c(10)+c(11) -c(12) ; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -c(12) c(11)+c(12)];
dof=12;
P1=-eye(6);
P2=eye(6);
s=1e14 % Ağırlık matrisi katılımının tanımlanması
R=eye(6);
Q=s*[eye(12) zeros(12);zeros(12) eye(12)];
N=zeros(24,6);
E1=ones(6,1);
E2=ones(6,1);
E=[-M1*E1;-M2*E2];
D= [ P1 ; P2];
H=[zeros(12,1);inv(M)*E];
B=[zeros(12,6);-inv(M)*D];
A = [ zeros(dof) eye(dof) ; -inv(M)*Ks -inv(M)*Cs ];
[G,T,U]=lqr(A,B,Q,R,N);
load syns
dep=syns;
Xctn=dep(1:3000,1);
v_dat=dep(1:3000,2);
points = 3000;
delta_t = 0.005;
Time = delta_t:delta_t:delta_t*3000;
xk_1 = zeros(2*dof,1);
xk = xk_1;
x = zeros(3*dof,points);
more off
for k=2:3000
% if ( (k/10 - floor(k/10)) == 0 ) k endif;
xk = myrk4('sttspakt',Time(k-1),xk_1,delta_t) ;
x(1:dof,k) = xk(1:dof);
x(dof+1:3*dof,k) = sttspakt(k*delta_t,xk);
xk_1 = xk;
end
more on

```

```

absr1=max(abs(x(1,:)));absr2r1=max(abs(x(2,:)- x(1,:)));
fp = fopen('aktsyns','w');

for k=1:points
fprintf(fp,'%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f
%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f
%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f
%12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f %12.5f\n'...
,Time(k),x(1,k),x(2,k),x(3,k),x(4,k),x(5,k),x(6,k),x(7,k),x(8,k),x(9,k),x(10,k),x(11,k),
x(12,k),x(13,k),x(14,k),x(15,k),x(16,k),x(17,k),x(18,k),x(19,k),x(20,k),x(21,k),x(22,k
),x(23,k),x(24,k),x(25,k),x(26,k),x(27,k),x(28,k),x(29,k),x(30,k),x(31,k),x(32,k),x(33
,k),x(34,k),x(35,k),x(36,k),v_dat(k),Xctn(k));
end
fclose(fp);
load aktsyns;
dat1=aktsyns;
plot(Time,dat1(:,7))
for k=1:24
x(i)=max(abs(dat1(:,i+1)))
xd=[x1;x2;x3;x4;x5;x6;x7;x8;x9;x10;x11;x12;x13;x14;x15;x16;x17;x18;x19;x20;x2
1;x22;x23;x24];
y=G*xd
%endfunction

```

7. 2.3 Eq_1 Dosyası

```

function x_dot=eq_1(t_now,x)
global Mi Ks Cs b h dof ds f Kd Time Xctn
sd = x(1:dof); sv = x(dof+1:2*dof);
sd_dot = sv;
sv_dot = -Mi*Ks*sd - Mi*Cs*sv - h*interp(Time,Xctn,t_now);
x_dot = [ sd_dot;sv_dot;];
%endfunction %

```

7. 2.4 Sttpcakt Dosyası

```

function dxdt = sttpcakt(t_now,x)
global A2 A H Time Xctn B G
z_now = linterp(Time,Xctn,t_now);
A2=(A-(B*G));
dxdt = A2*x + H*z_now';
%endfunction

```

8. SONUÇLAR

Analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1 – Bina1 ve Bina2 için yapılan deplasman hesaplarında her iki bina için de maksimum deplasmanların en üst katlarda oluştuğu gözlemlenmiştir.

2 – Sekiz farklı deprem kaydı için yapılan hesaplarda en olumsuz sonuçlar Northridge depreminin Rinaldi-NS ve Slymar-NS kayıtlarında elde edilmiştir.

3– Binalar arasında yeterli derz aralığının bırakılmamasından ötürü oluşan çarpma kuvvetini ortadan kaldırmak için pasif kontrol elemanları yerleştirildiğinde, istenen deplasman sonuçlarının elde edilmesi için kontrol kuvvetinin mertebesinin kat rijitlik ve sönümünün ortalama 3.18 katı olduğu görülmüştür. Kontrol kuvvetinin mertebesi en fazla 5.3 kat ile Rinaldi-NS kaydında, en az 1.0 kat ile Slymar-EW kaydında elde edilmiştir.

4 – Pasif kontrol elemanları yerleştirildiğinde istenen deplasmanların elde edilmesi için gerekli kontrol kuvvetinin mertebesinin yüksek olduğu görülmüştür.

5 – Aktif kontrol kuvveti uygulandığı durumda ağırlık matrisinin seçimi önemli olmaktadır. Kontrol kuvvetini ve o kontrol kuvvetinde oluşan maksimum deplasmanı belirleyen ana kriter ağırlık matrisleridir. Ağırlık matrislerinin karakterinin ve boyutunun seçimine bağlı olarak hem deplasman hem de kuvvet değerlerinde değişimler gözükmektedir.

6 – Aktif kontrol kuvvetleri komşu binaları tek bir sistem olarak çalıştıracak şekilde komşu binalar arasına kat seviyelerinde uygulanabileceği gibi, binaların herbirine bağımsız olarak da uygulanabilir. 2. durumda yani binalara ayrı ayrı uygulanması durumunda daha ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. 1.durumdaki kontrol kuvvetleri 2.durumdakilerin ortalama 4.5 katıdır.

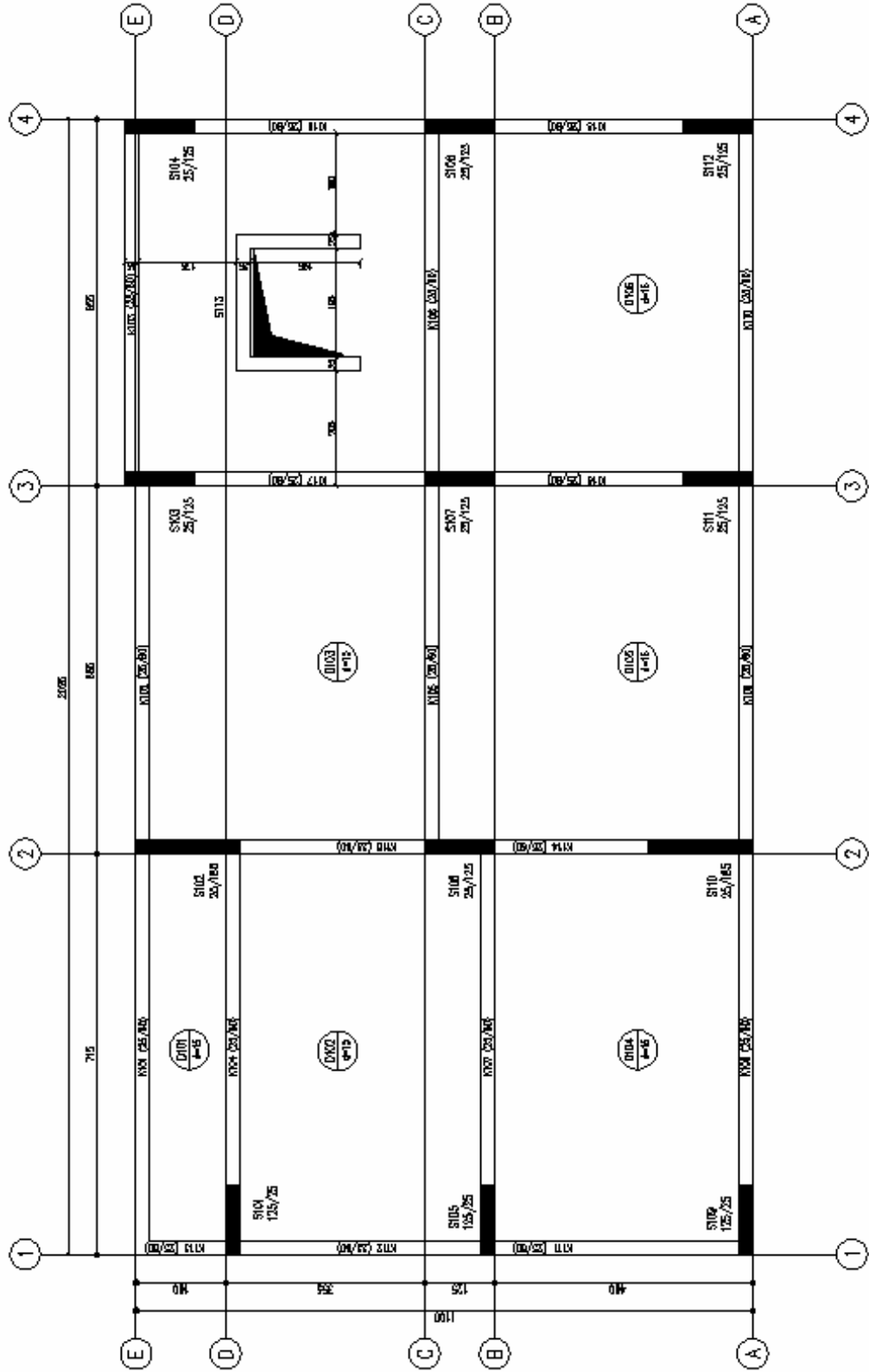
7 – Bitişik nizam olarak yapılmış ve yönetmelik kurallarının gözetilmediği binalarda çarpma kuvvetinin oluşması kaçınılmazdır. Bu nedenle oluşacak hasarı en aza indirmek için pasif ve aktif kontrol elemanlarından yararlanmanın faydalı olduğu görülmektedir. Teçhizat ve kontrol algoritması bakımından iyi tasarlanmış bir aktif kontrol sistemi, değişen deprem kuvvetlerine adapte olabilmesi bakımından pasif kontrol kuvvetlerine nazaran tercih edilmesi gereken yöntemdir.

KAYNAKLAR

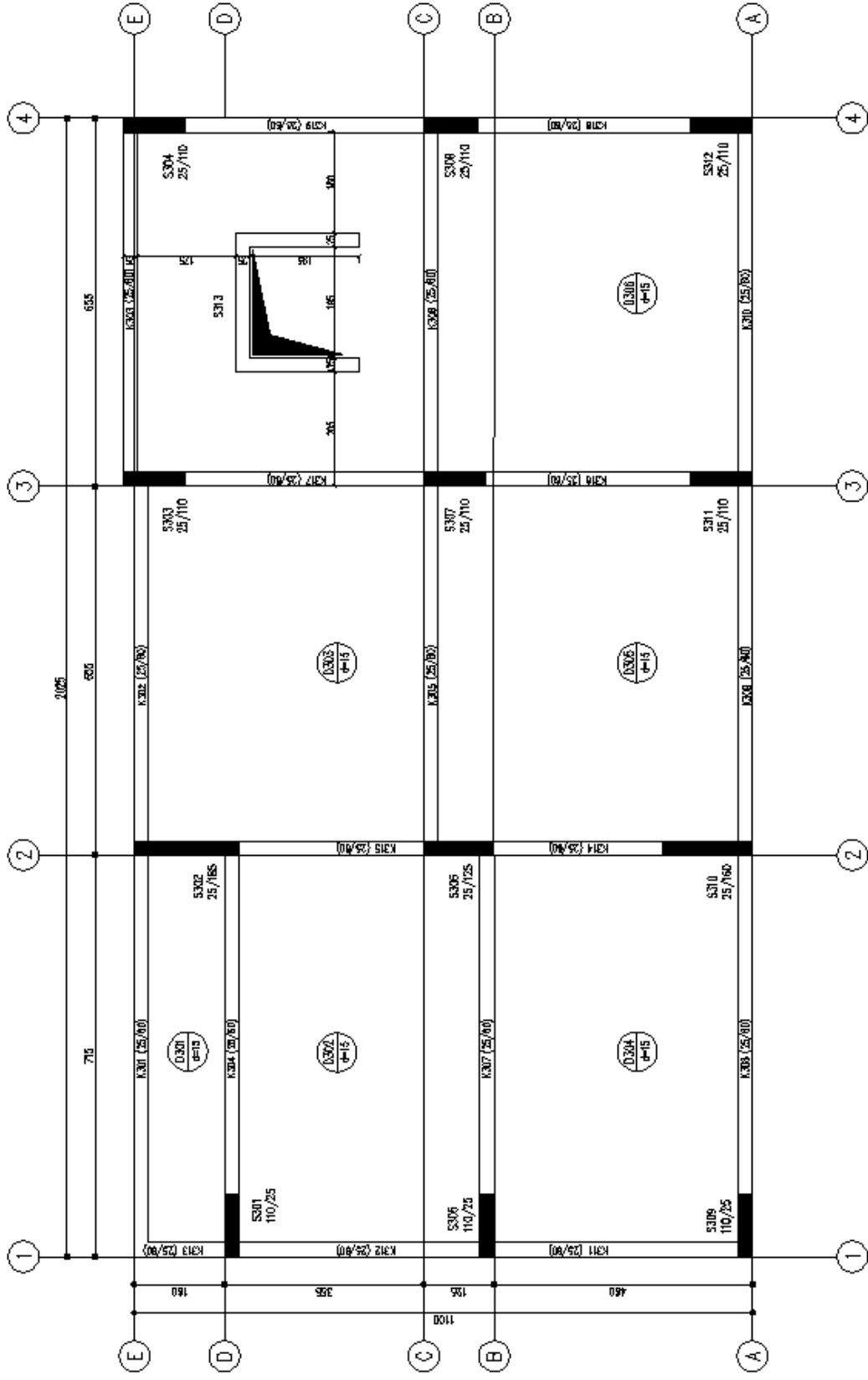
- [1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] **Polat, Z.**, 2003. Yapı Dinamiği Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] **DBYYHY-2007** , 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik , *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [5] **Hang, W.S. and Xu, Y.L.**, 1999. Dynamic Charecteristic and Seismic Response of Adjacent Buildings Linked By Discrete Dampers , *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**, 1163-1185.
- [6] **Hang, W.S. and Xu, Y.L.**, 2000. Vibration Analysis of Two Buildings Linked By Maxwell Model-Defined Fluid Dampers, *Journal of Sound and Vibration*, **233**(5), 775-796.
- [7] **Ying, Z.G., Ni, Y.Q. and Ko, J.M.**, 2003. The Stochastic Optimal Coupling-Control of Adjacent Building Structures, *Computers and Structures*, **81**, 2775-2787.
- [8] **Abdullah, M., Hanif, J., Richardson, A., Sobanjo J.**, 2001. Use of Shared Tuned Mass Damper to Reduce Vibration and Pounding In Adjacent Structures , *Earthquake Engineering Structure Dynamic*, **30**, 1185-1201.
- [9] **Li, H., Yin, W. and Wang, S.**, 2003. Studies On Seismic Reduction of Story-Increased Buildings With Friction Layer and Energy-Dissipated Devices , *Earthquake Engineering*, **32**, 2143-2160.
- [10] **Aldemir, Ü.**, 1990. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İçin Aktif Kontrol, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [11] **Aldemir, Ü.**, 2003. Optimal Control of Structures With Semiactive - Tuned Mass Dampers, *Journal of Sound and Vibration*, **266**(4), 847-874.
- [12] **Olivier, S. and Smith, H.**, 1998. A Time Domain Algorithm For Active Control of Civil Structures , *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **13**, 443-452.
- [13] **Alavinasab, A., Mohorrami H. and Khajepour, A.**, 2006. Active Control of Structures Using Energy-Based LQR Method, *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **21**, 605-611.
- [14] **Lu, J.**, 1998. Optimal Hybrid Control For Structures , *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **13**, 405-414.
- [15] **Uzunoğlu, M., Kızıl A. ve Onar Ç.**, 2003. Her Yönü İle Matlab, Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- [16] **Hanselman, D. and Littlefield, B.**, 1997. The Student Edition of Matlab The Language of Technical Computing, Prentice Hall, USA.
- [17] **Butcher, J.**, 1987. The Numerical Analysis of Ordinary Differential Equations, Wiley-Interscience, New-York.

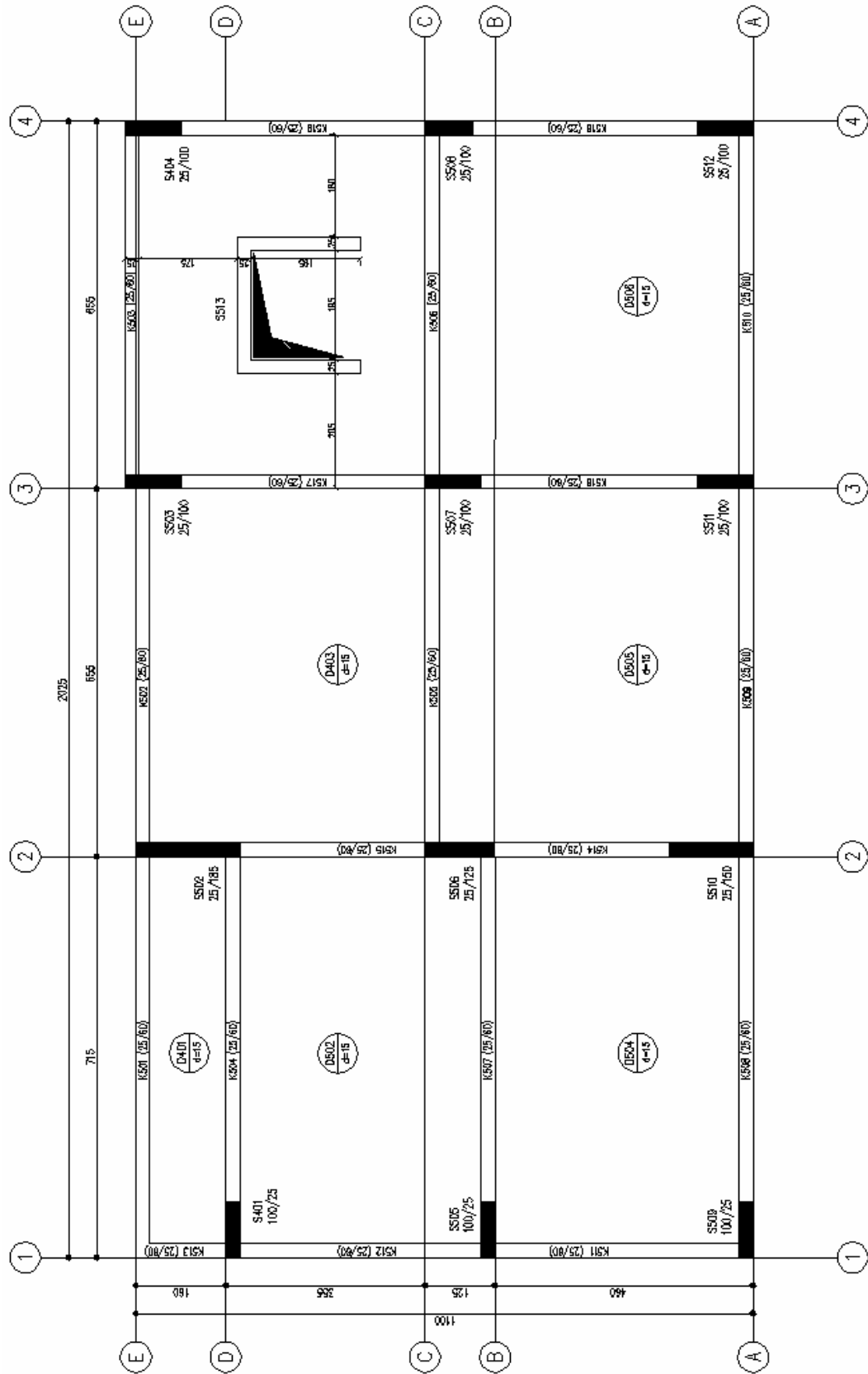
EKLER



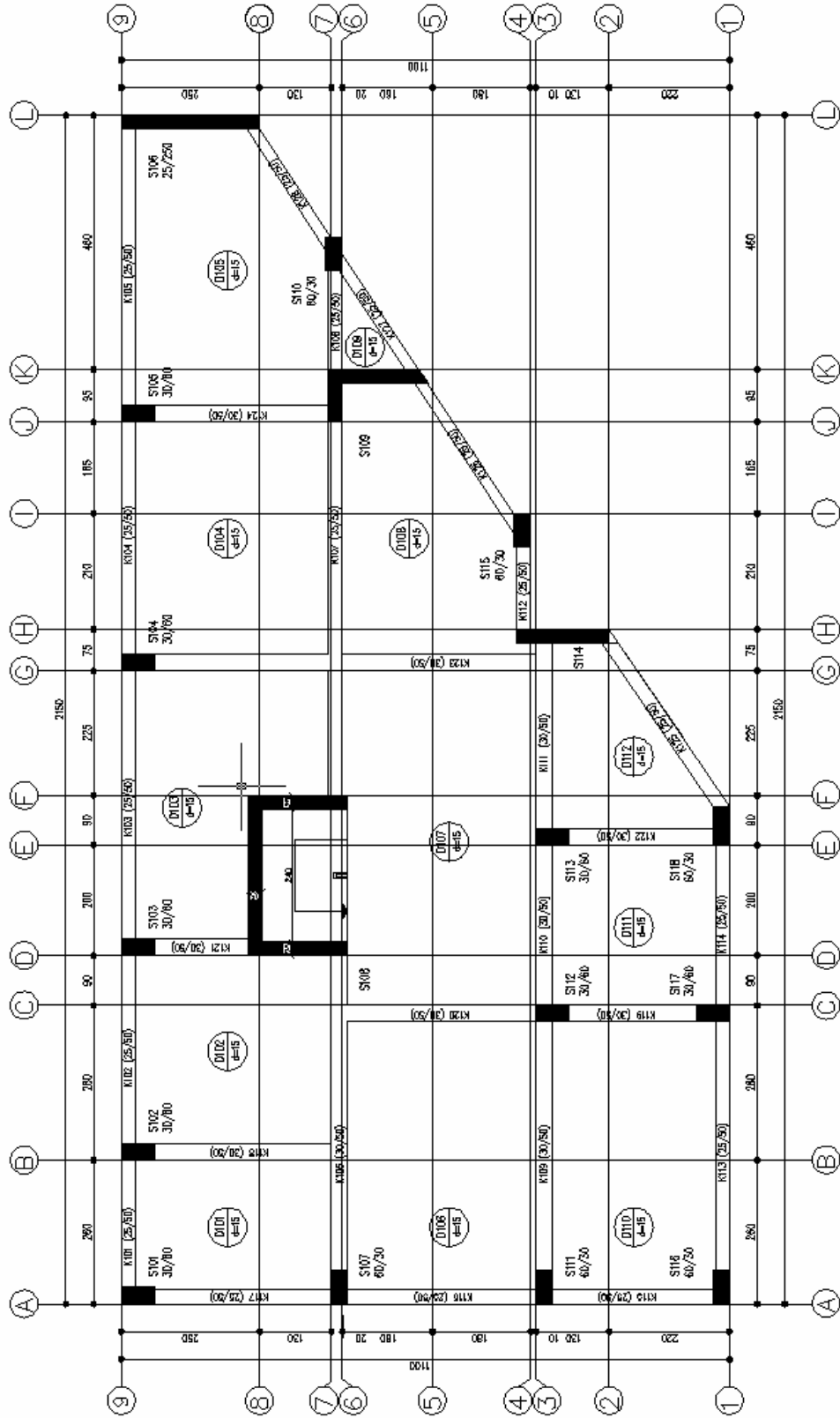
Şekil A.1 : Bina 1'in Bodrum ve Zemin Kat Kalıp Planı



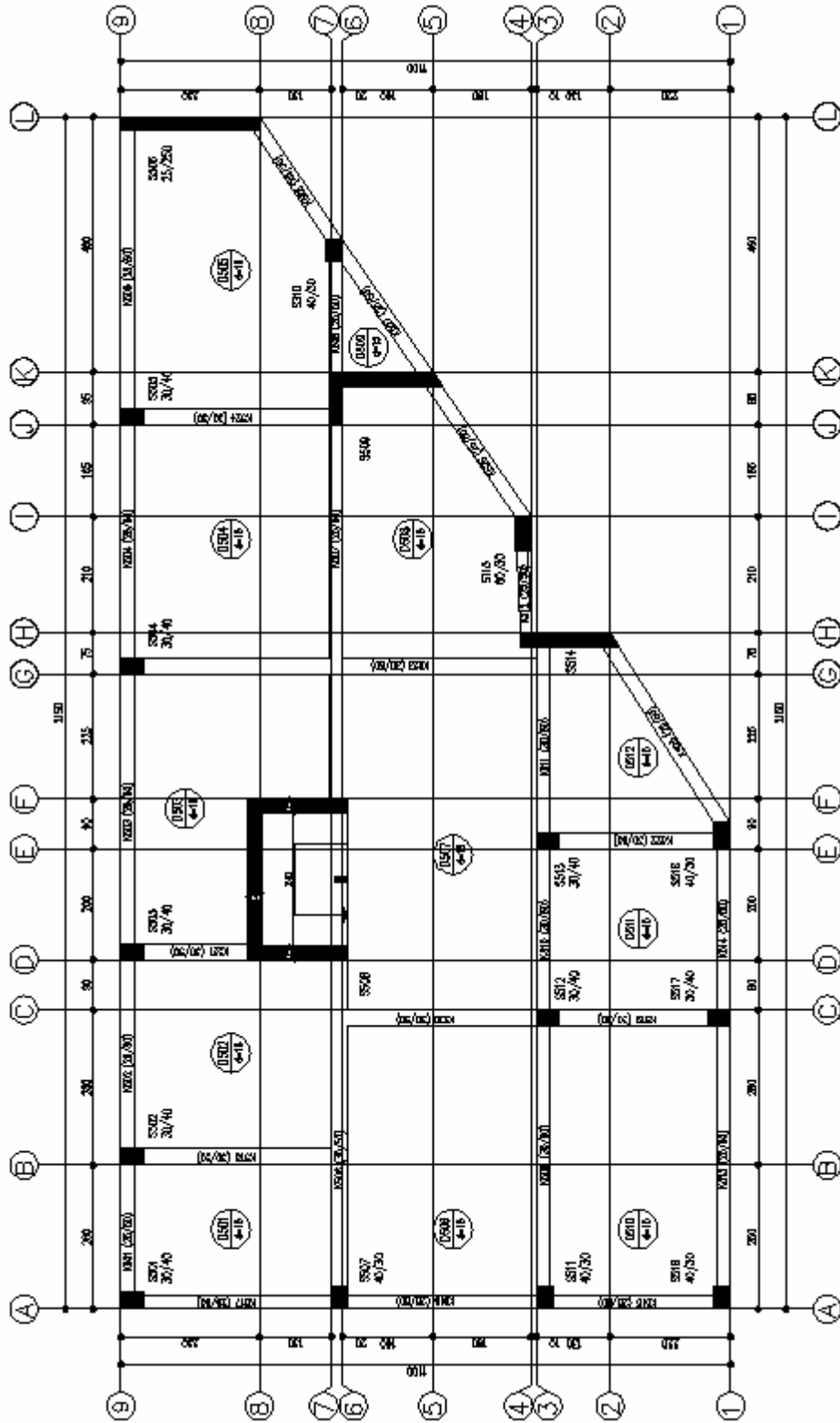
Şekil A.2 : Bina 1'in 1.ve 2.Normal Kat Kalıp Planı



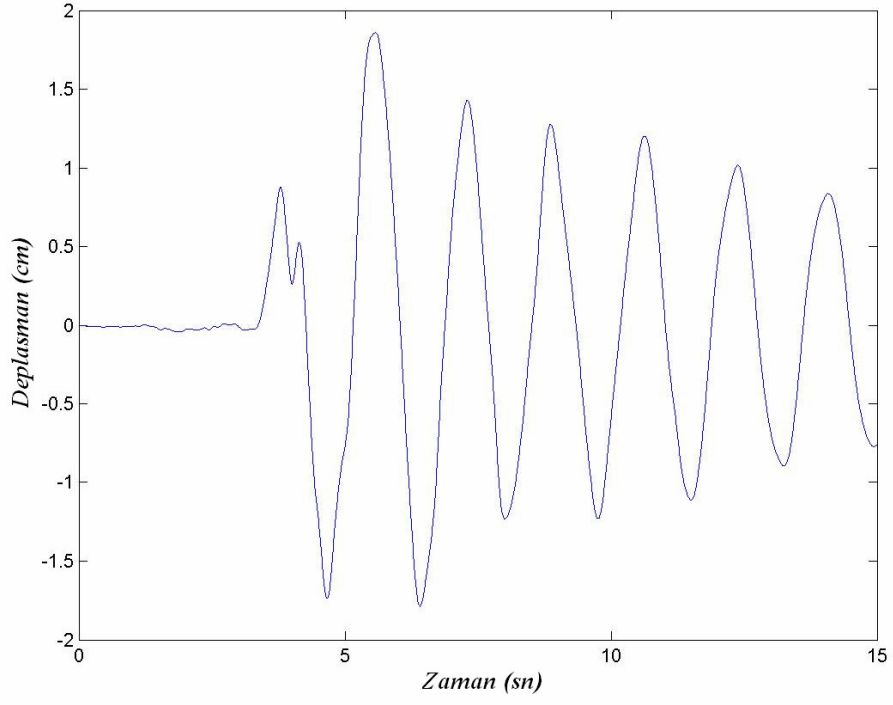
Şekil A.3 : Bina 1'in 3.ve 4.Normal Kat Kalıp Planı



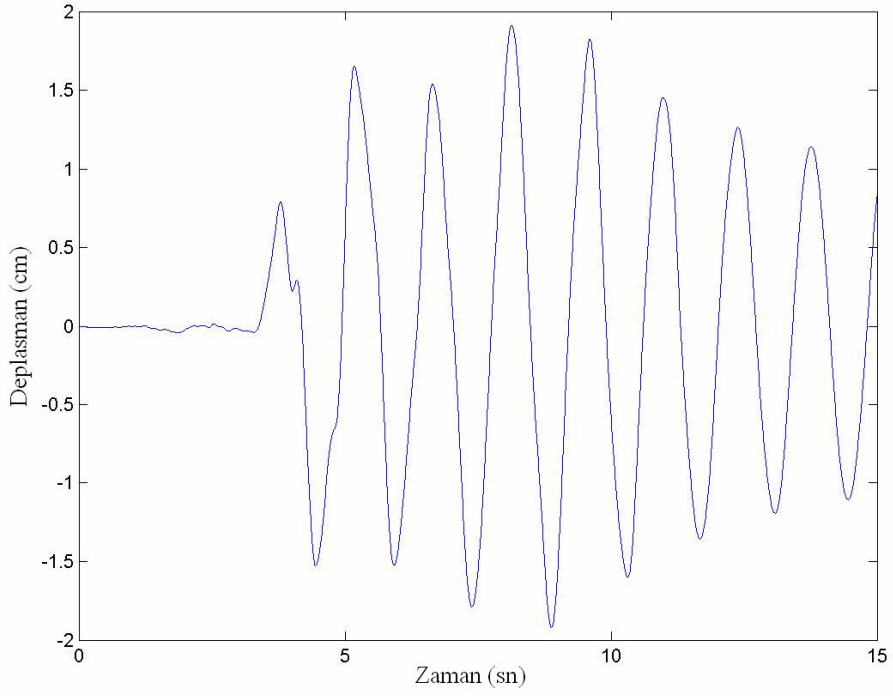
Şekil A.4 : Bina 2'in Bodrum ve Zemin Kat Kalıp Planı



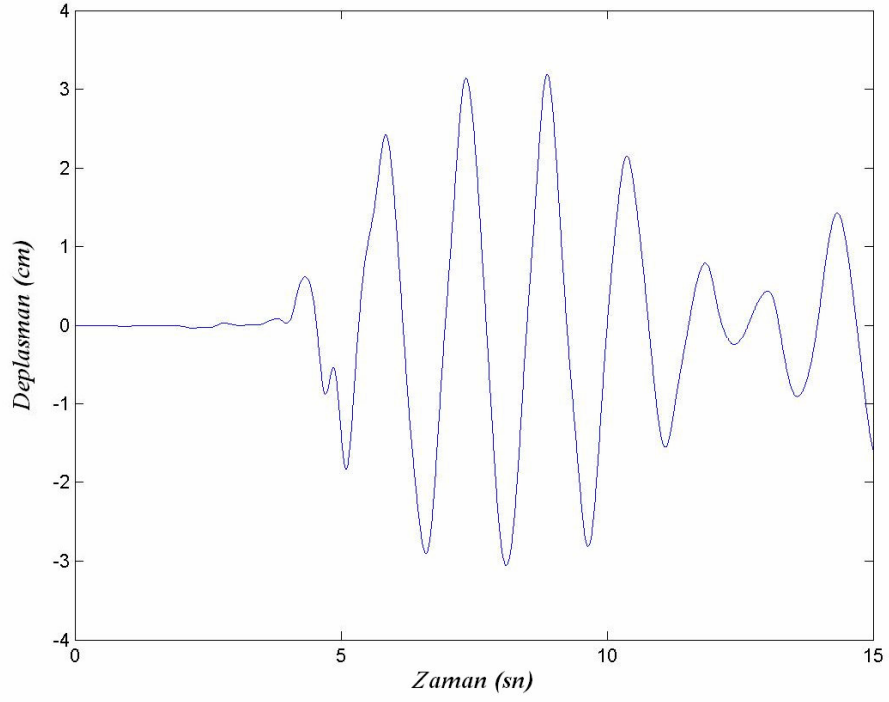
Şekil A.6 : Bina 2'in 3.ve 4.Normal Kat Kalıp Planı



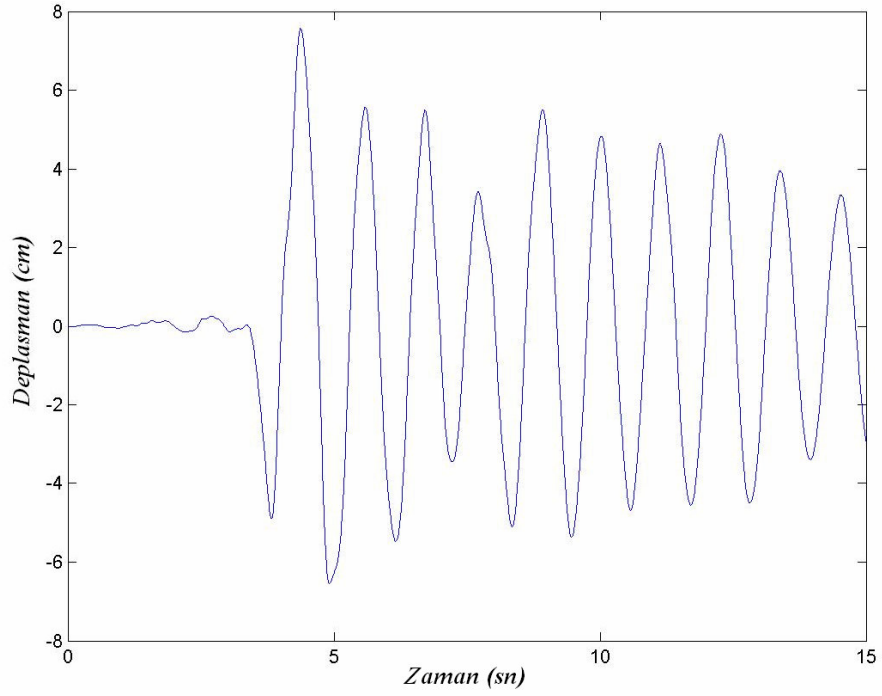
Şekil B.1 : Slymar-NS Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



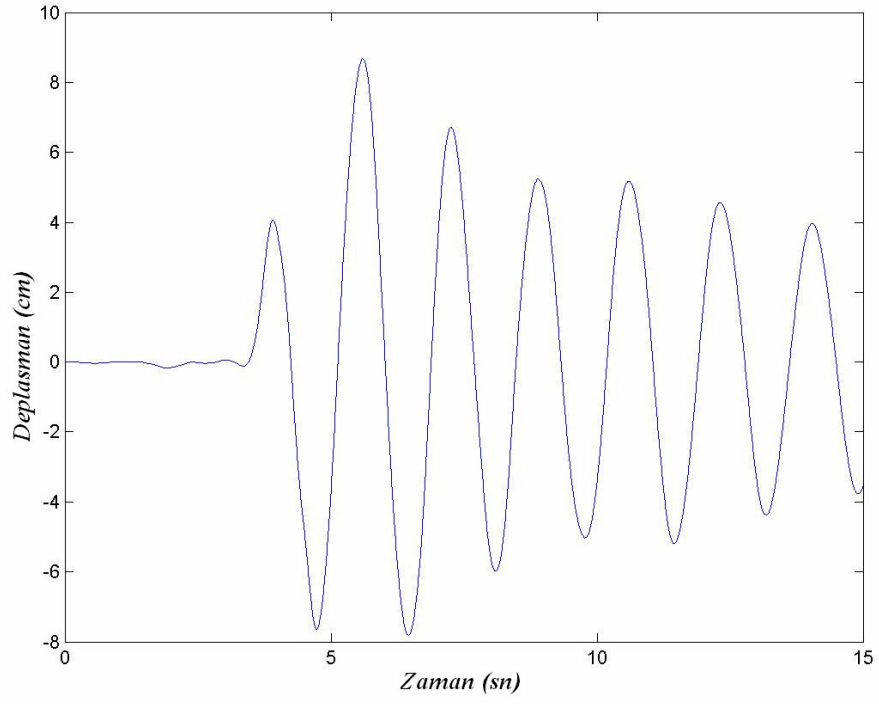
Şekil B.2 : Slymar-NS Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



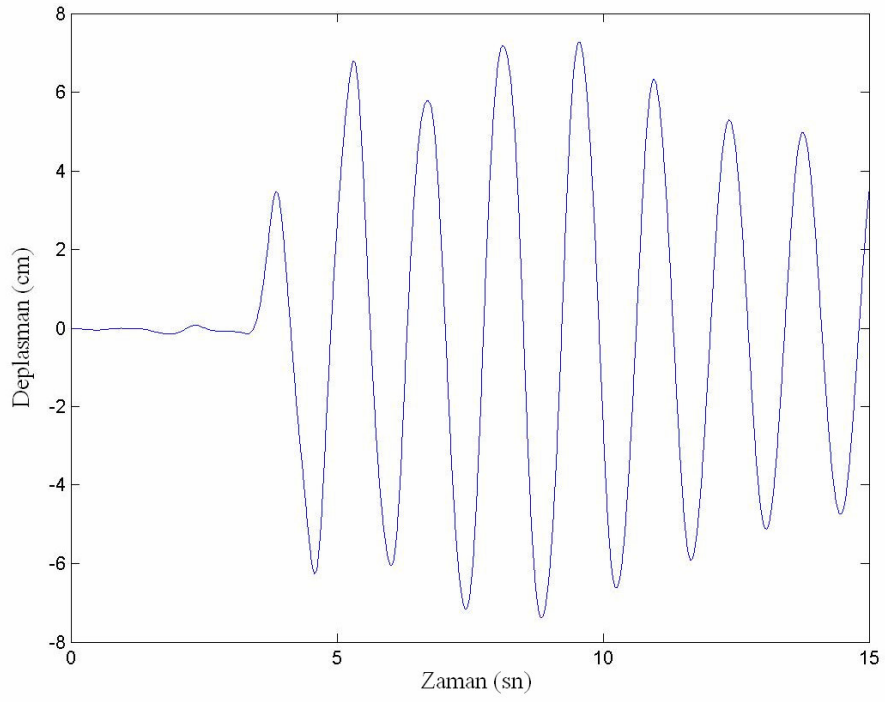
Şekil B.3 : Slymar-NS Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



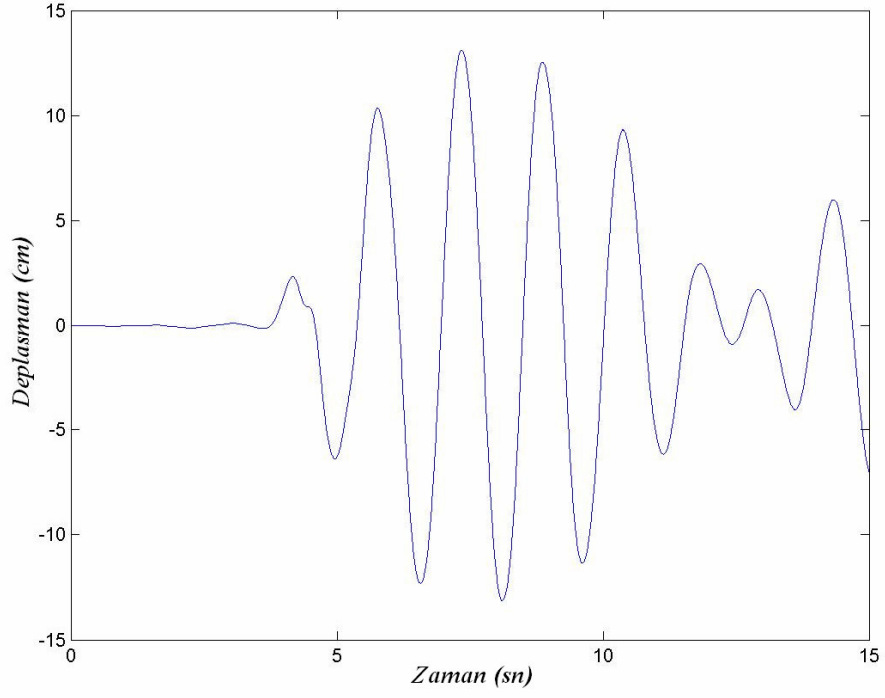
Şekil B.4 : Slymar-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



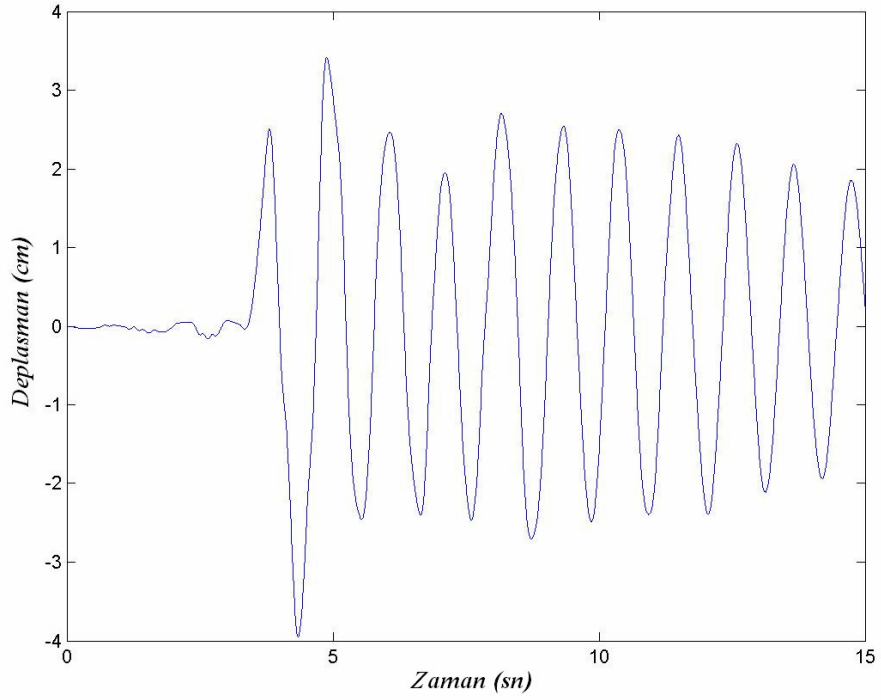
Şekil B.5 : Slymar-NS Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



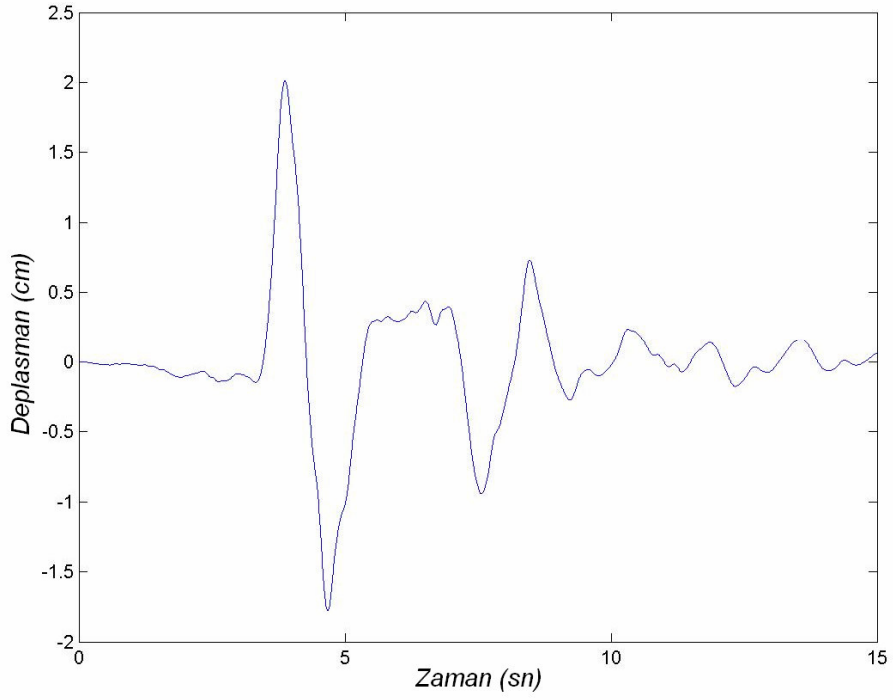
Şekil B.6 : Slymar-NS Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



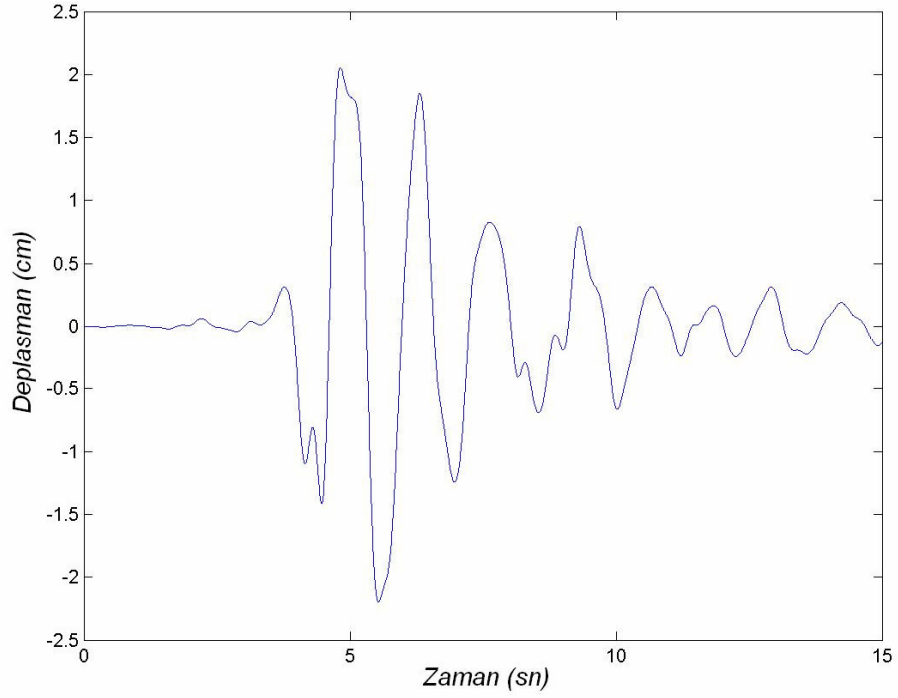
Şekil B.7 : Slymar-NS Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



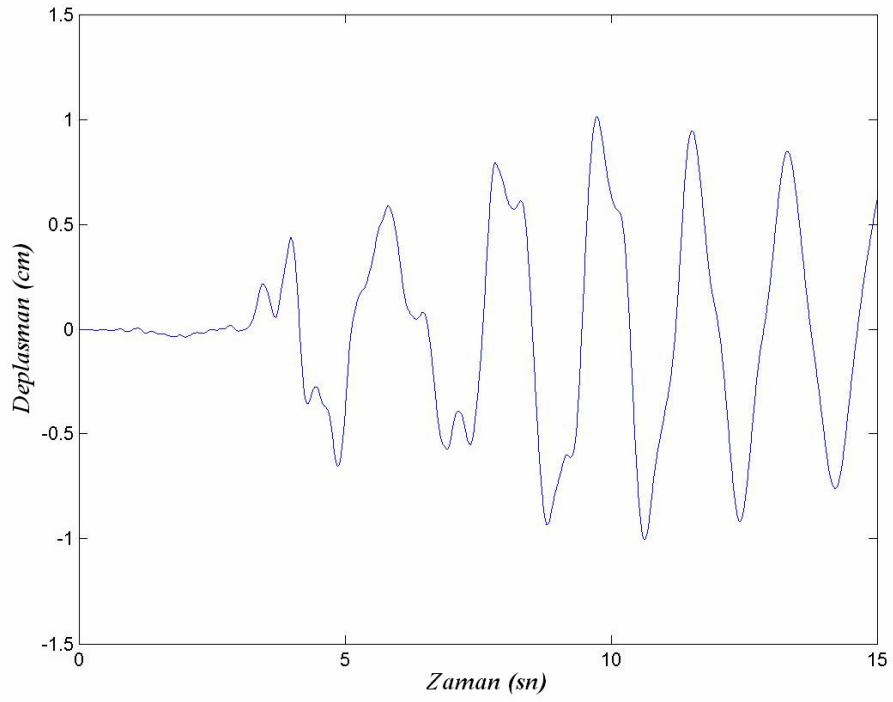
Şekil B.8 : Slymar-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



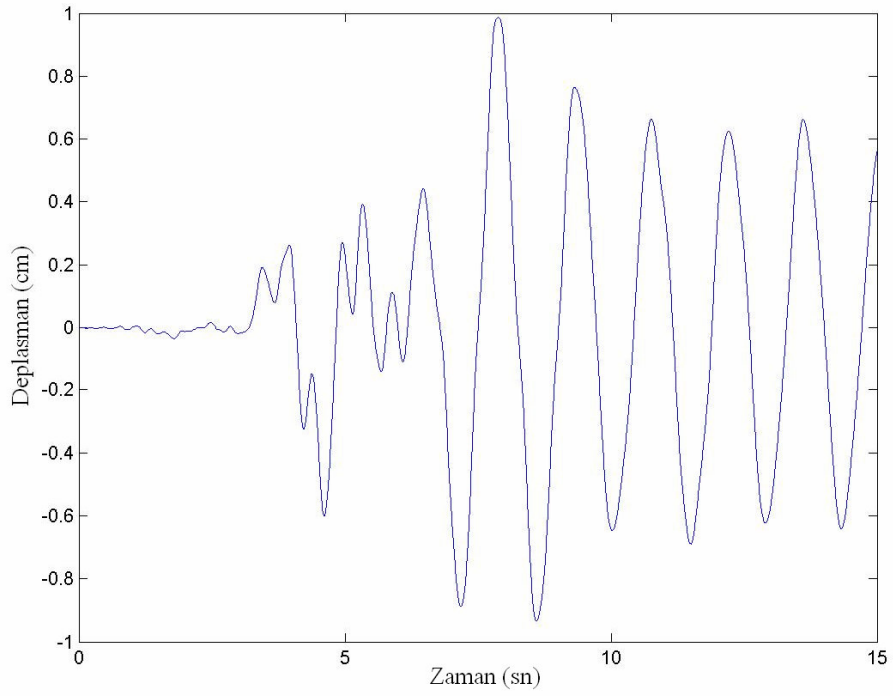
Şekil B.9 : Slymar-NS Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



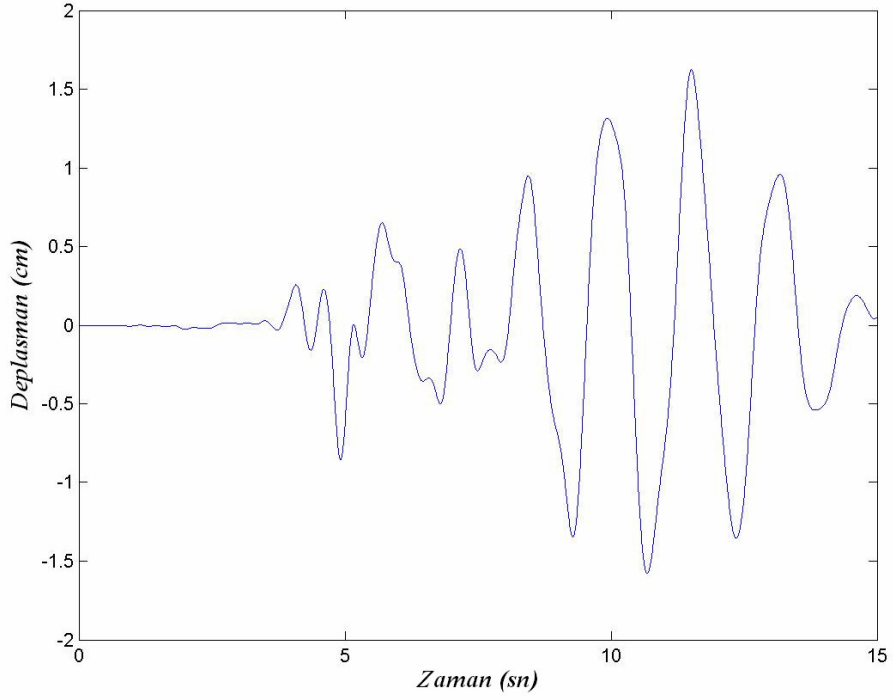
Şekil B.10 : Slymar-NS Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



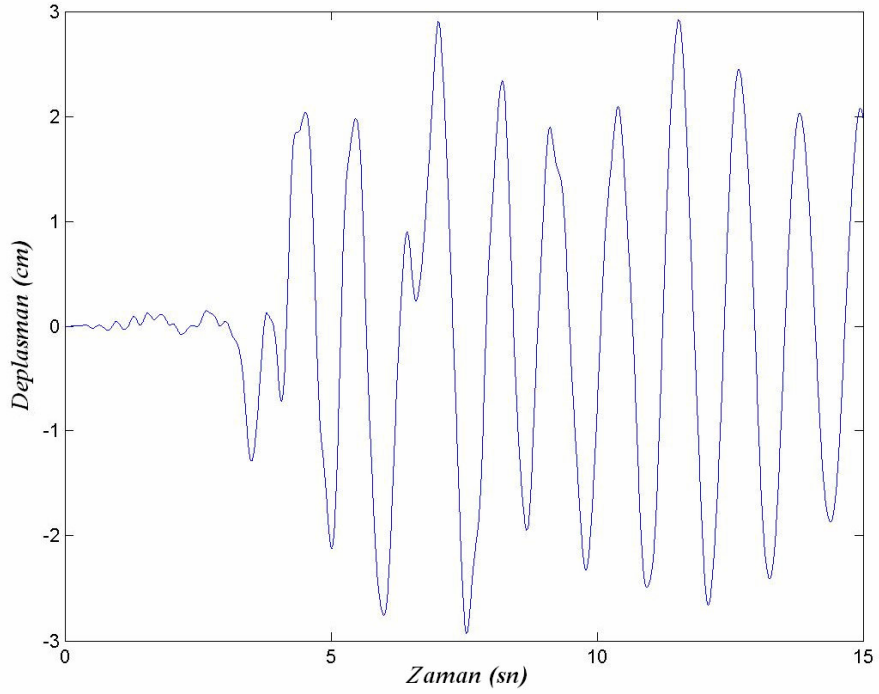
Şekil B.11 : Slymar-EW Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



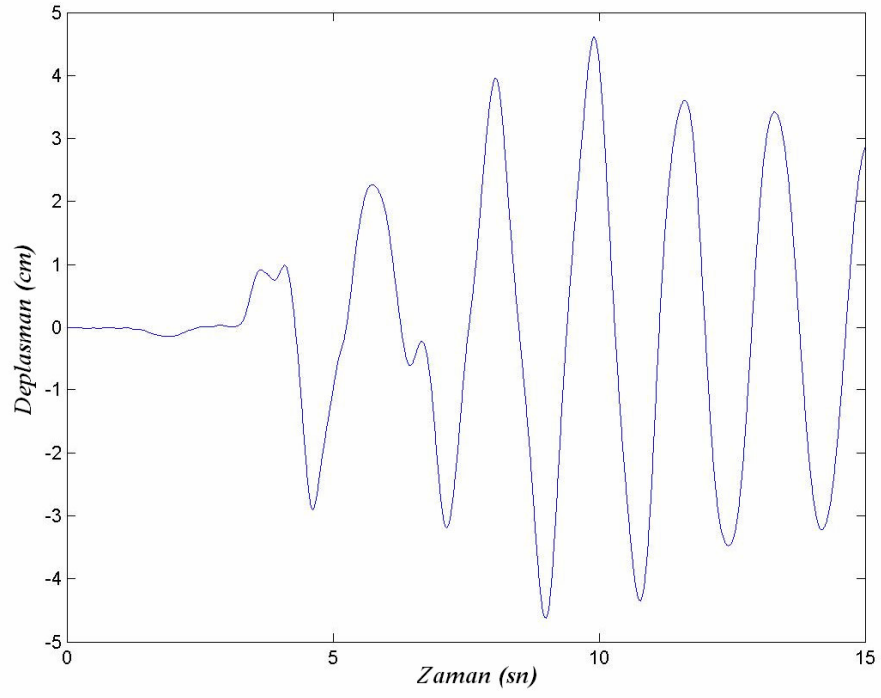
Şekil B.12 : Slymar-EW Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



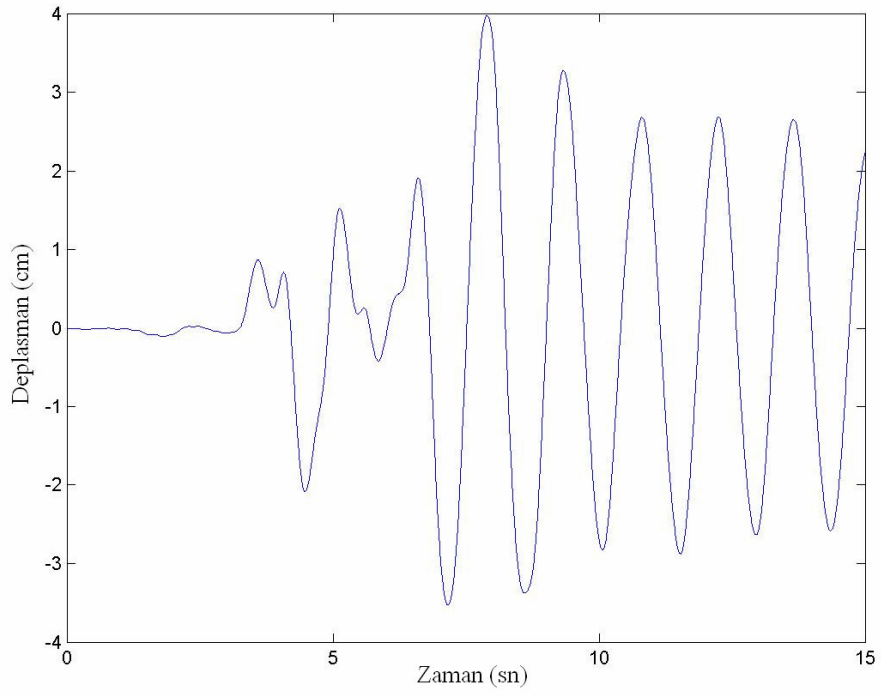
Şekil B.13 : Slymar-EW Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



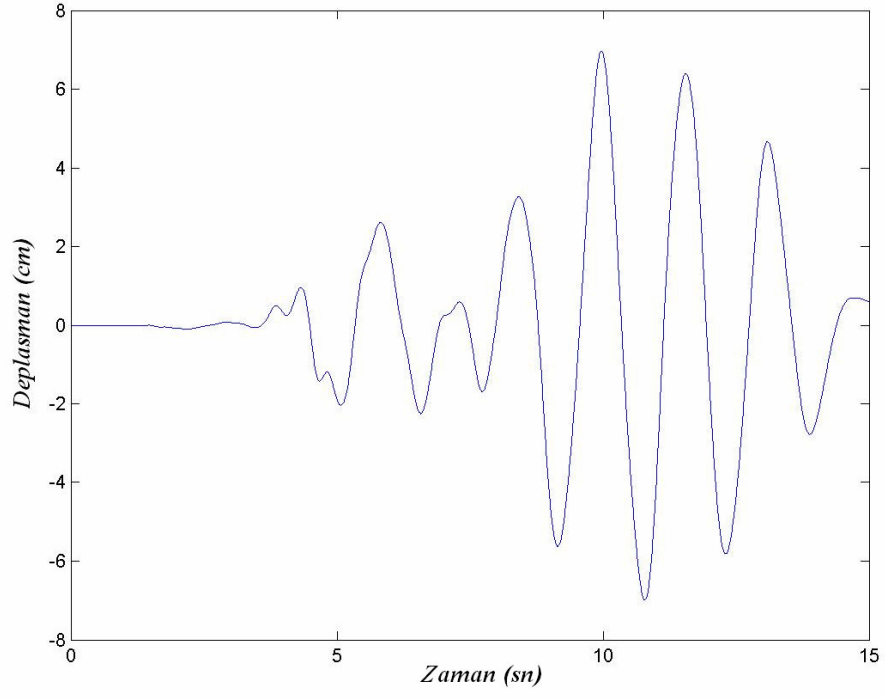
Şekil B.14 : Slymar-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



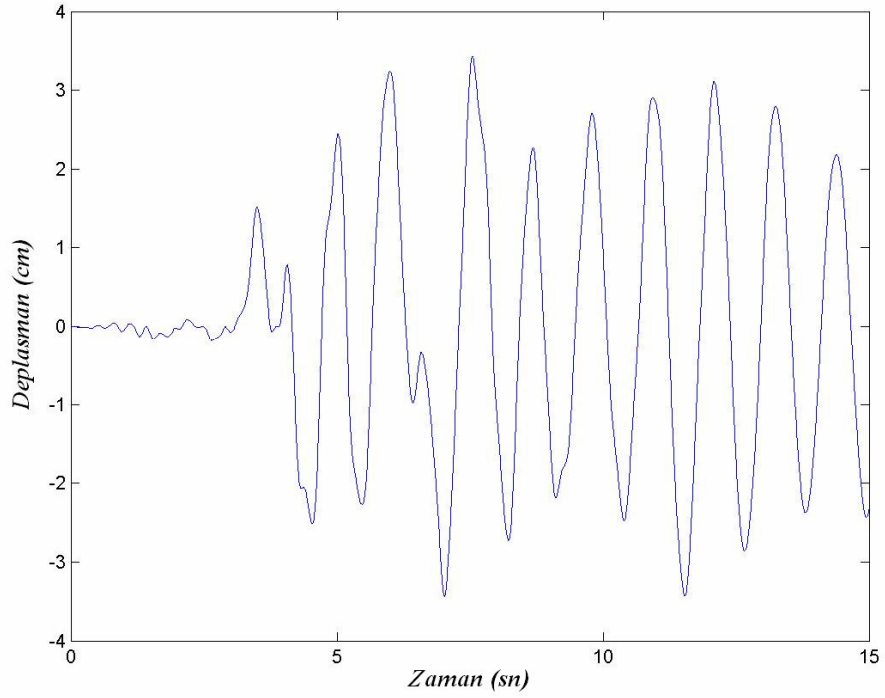
Şekil B.15 : Slymar-EW Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



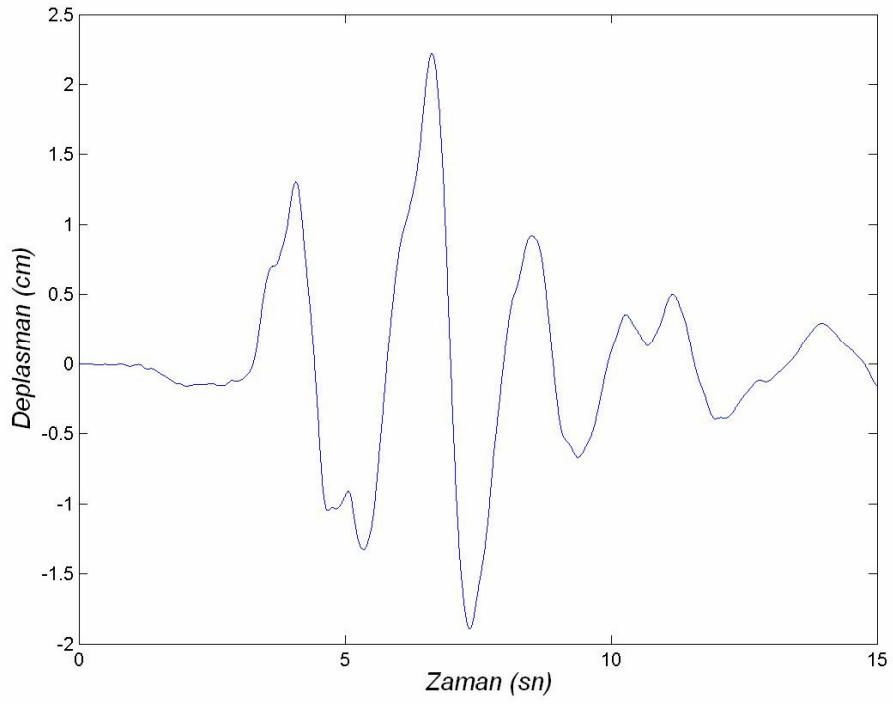
Şekil B.16 : Slymar-EW Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



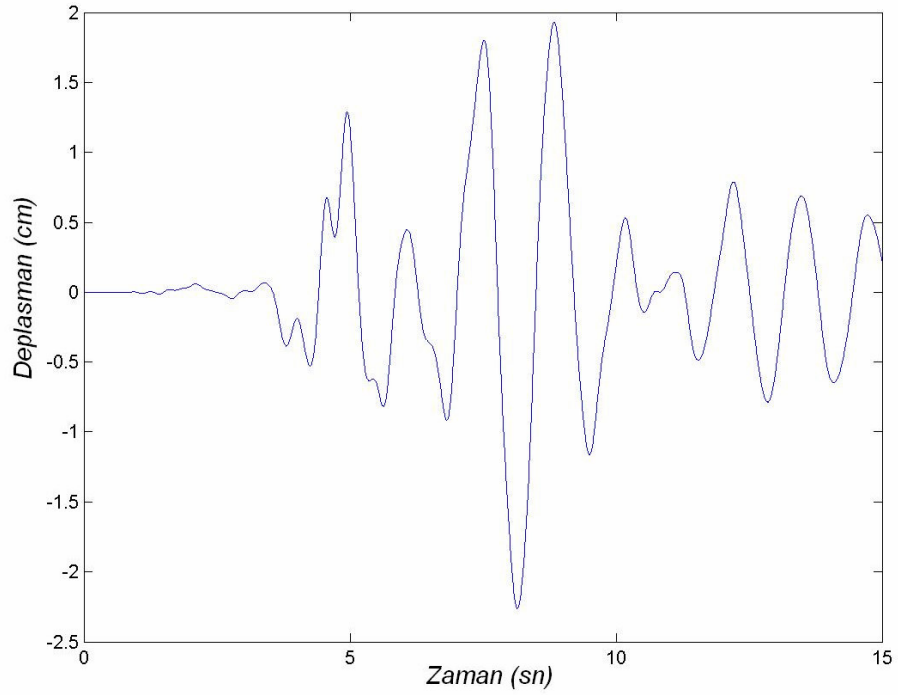
Şekil B.17 : Slymar-EW Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



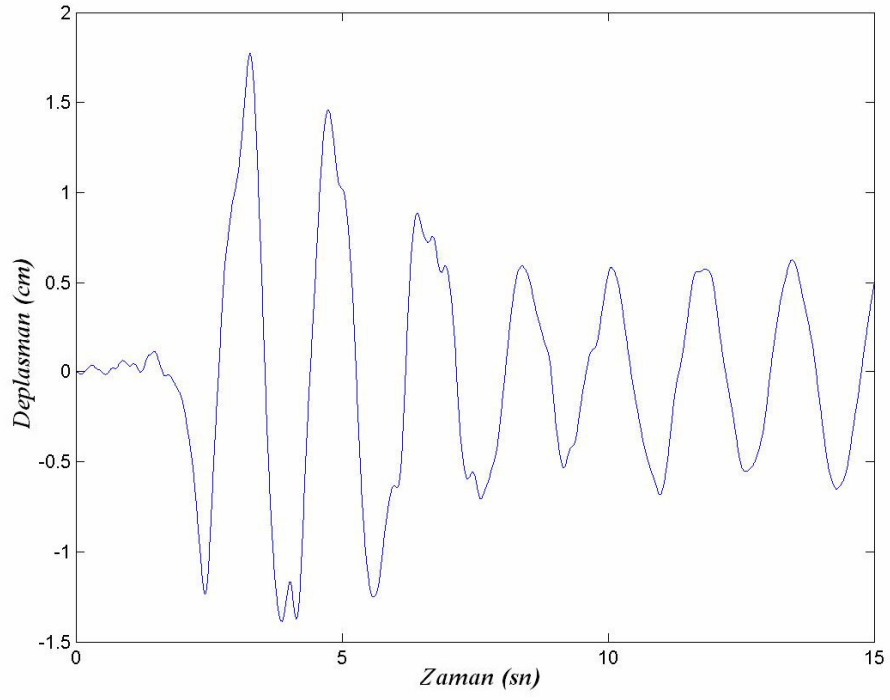
Şekil B.18 : Slymar-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



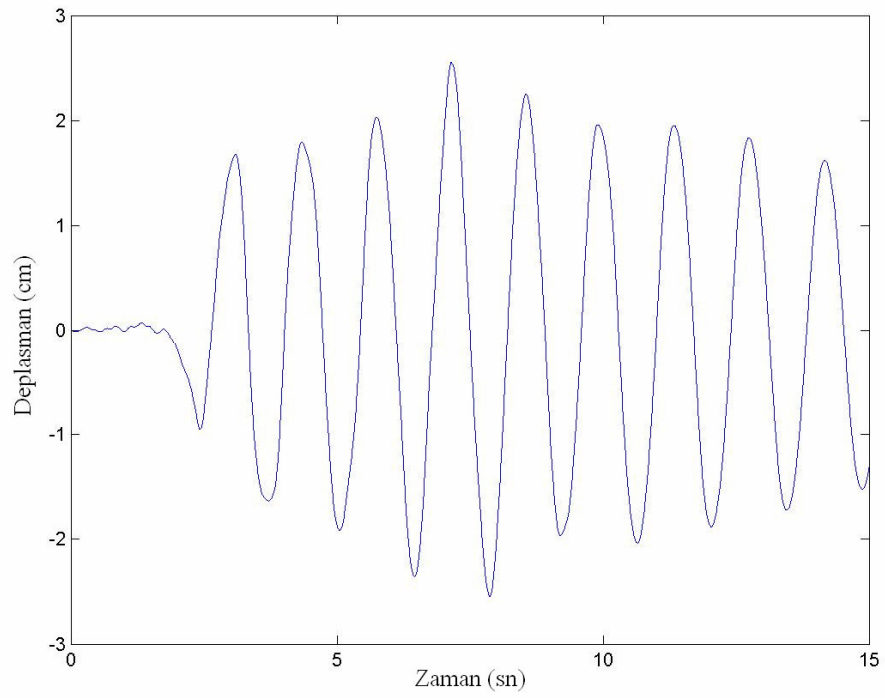
Şekil B.19 : Slymar-EW Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



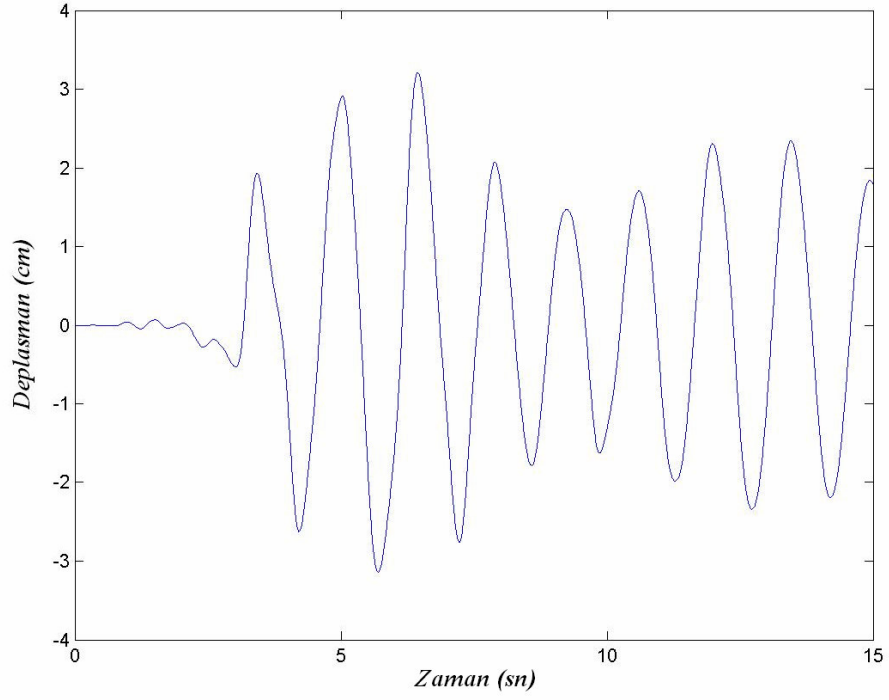
Şekil B.20 : Slymar-EW Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



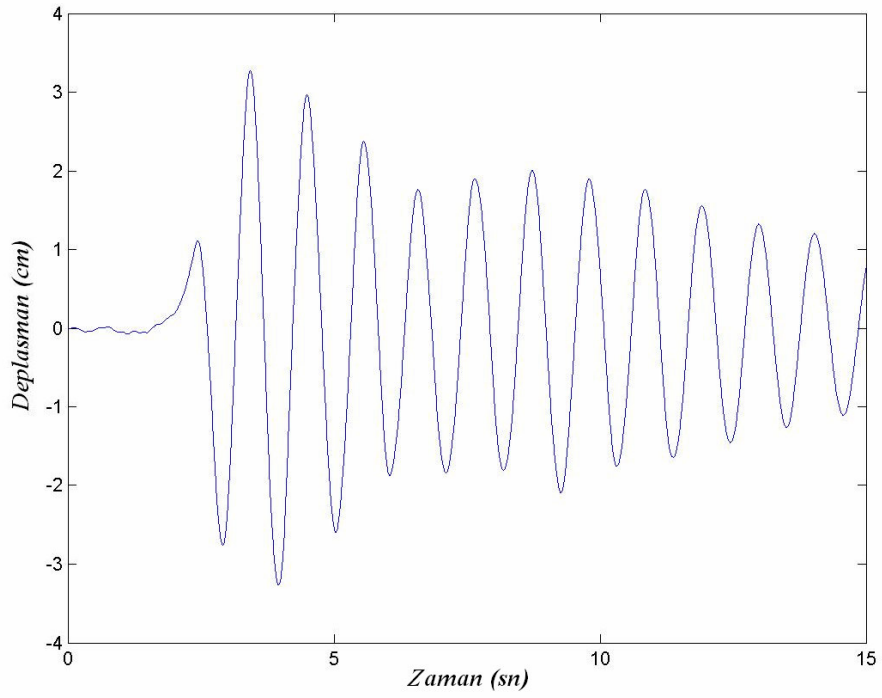
Şekil B.21 : Rinaldi-NS Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



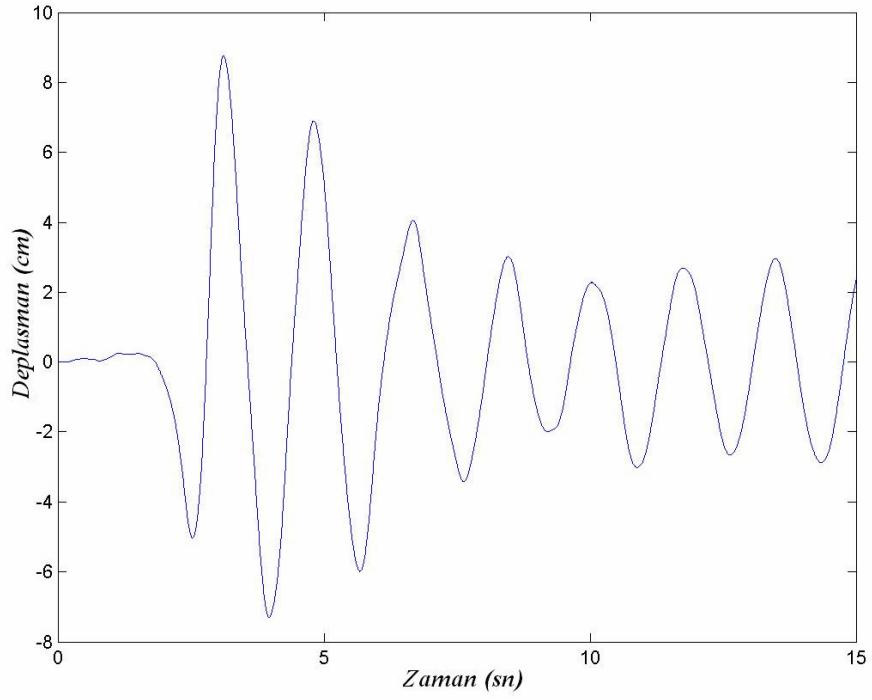
Şekil B.22 : Rinaldi-NS Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



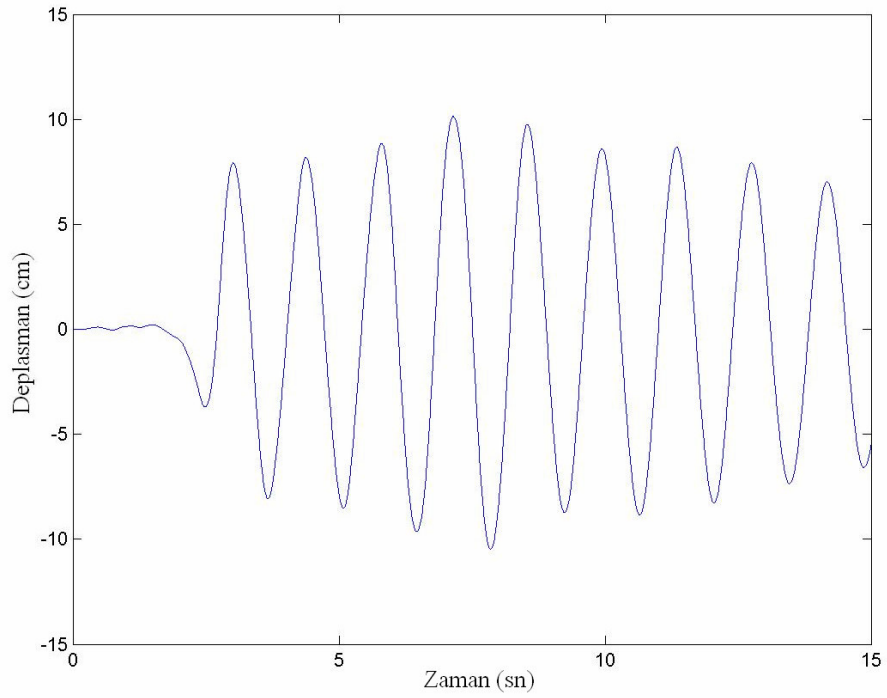
Şekil B.23 : Rinaldi-NS Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



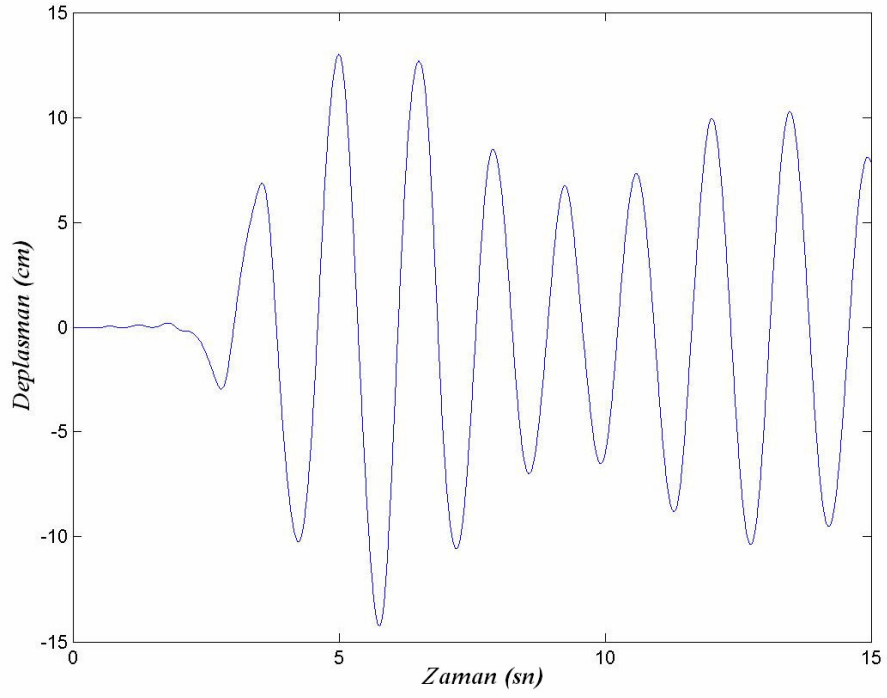
Şekil B.24 : Rinaldi-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



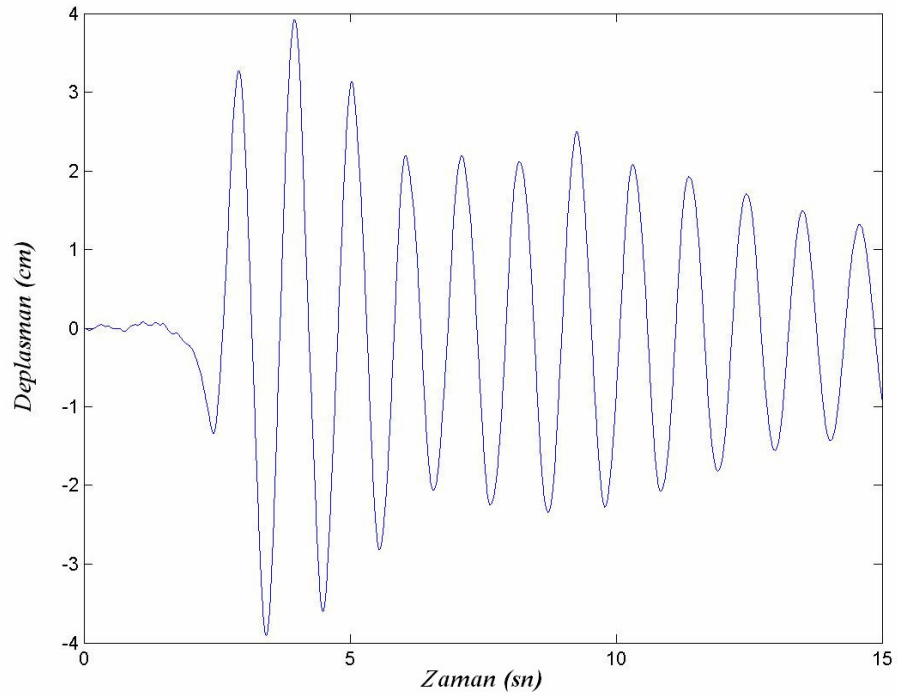
Şekil B.25 : Rinaldi-NS Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



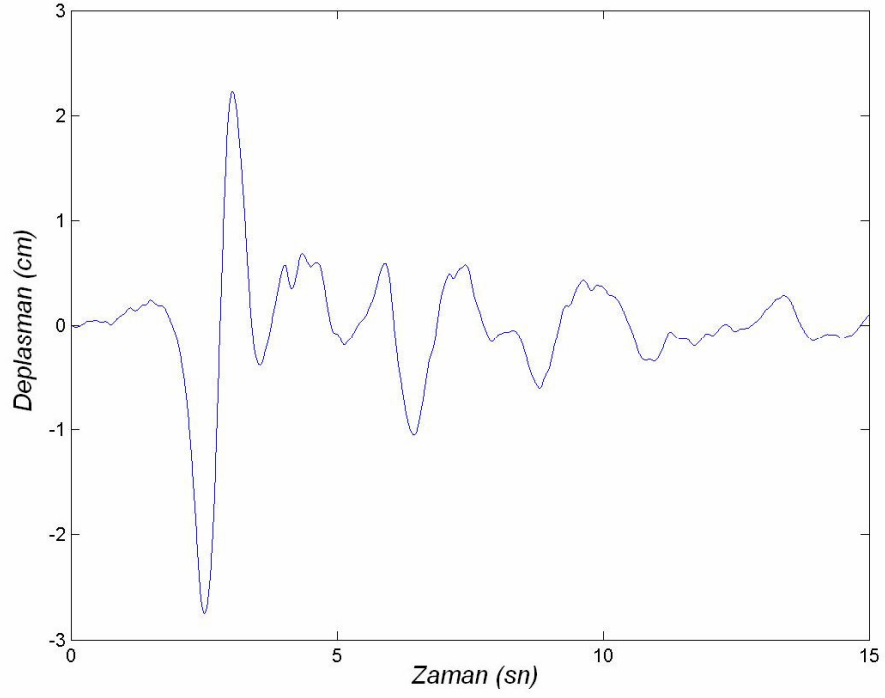
Şekil B.26 : Rinaldi-NS Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



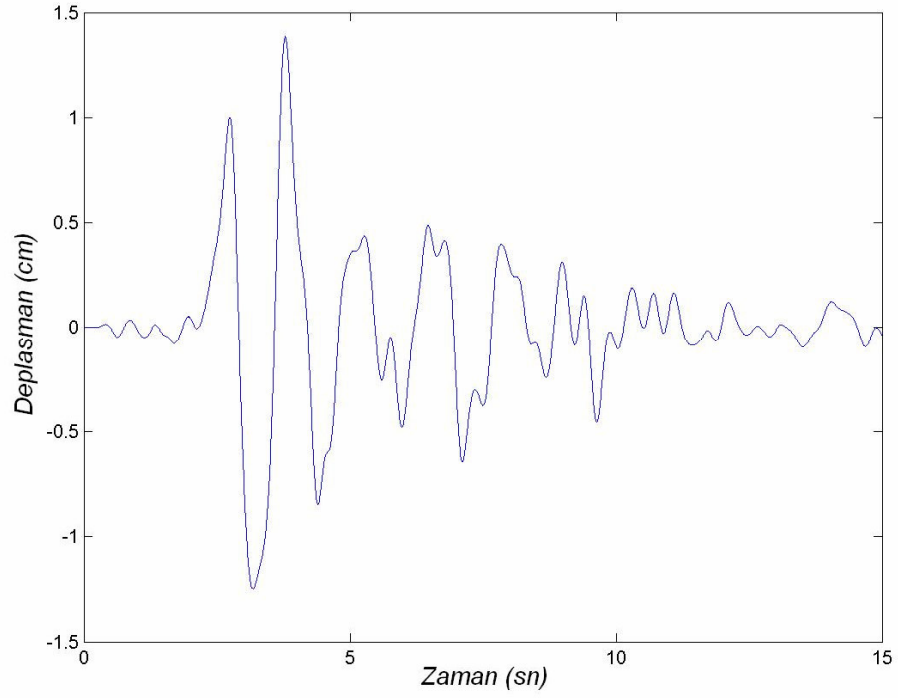
Şekil B.27 : Rinaldi-NS Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



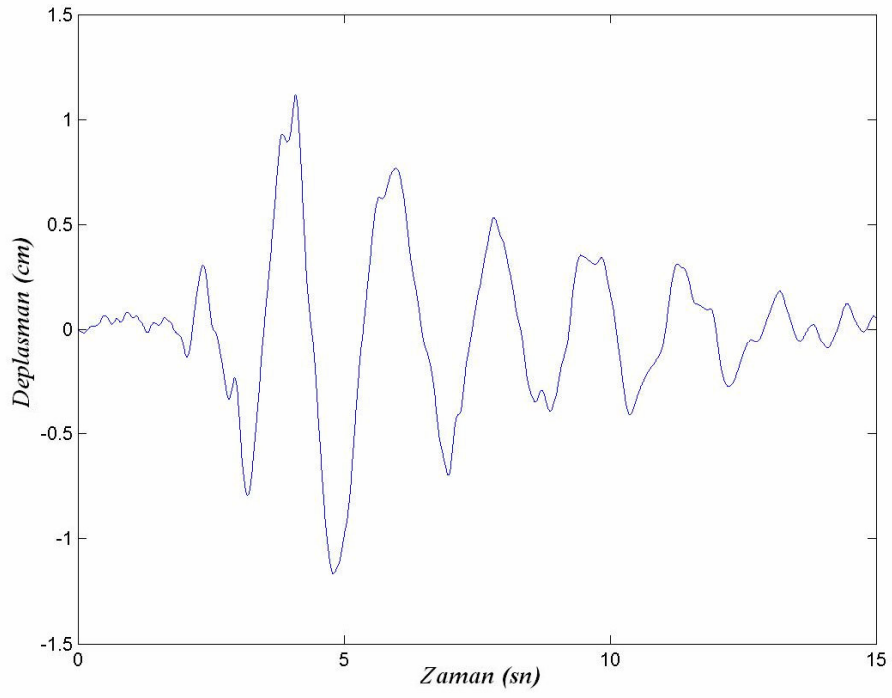
Şekil B.28 : Rinaldi-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



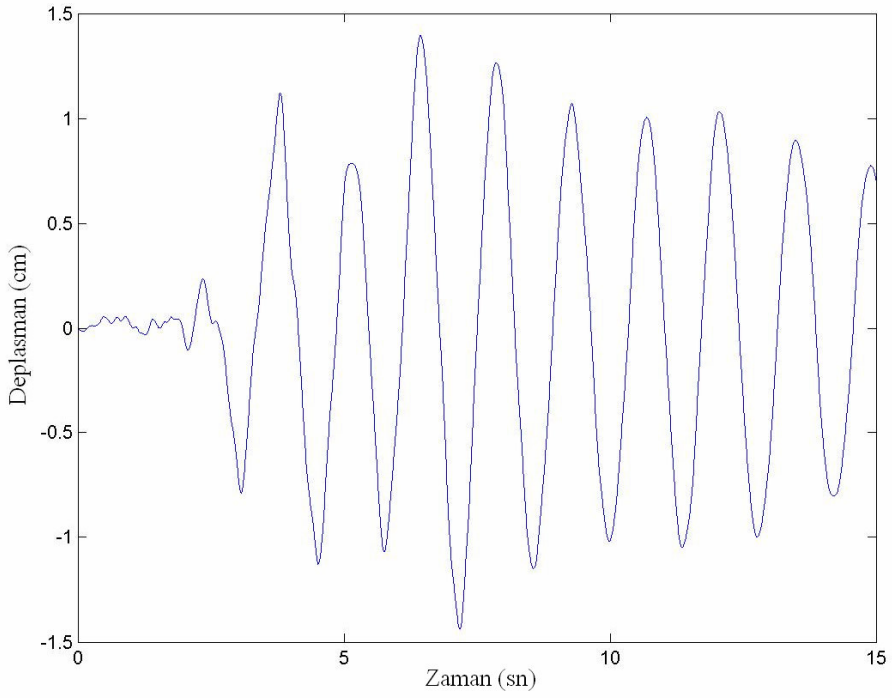
Şekil B.29 : Rinaldi-NS Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



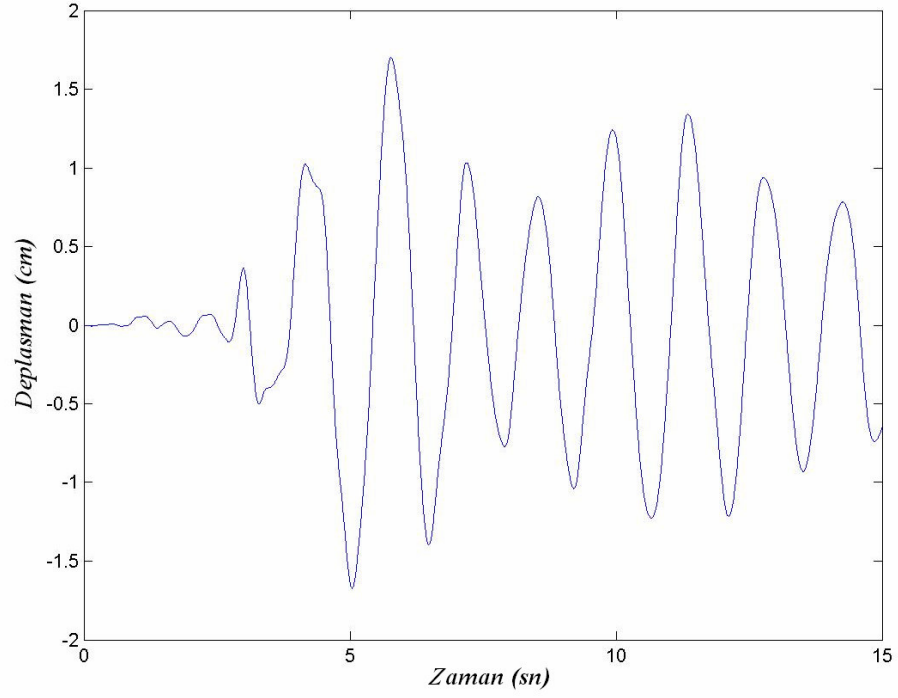
Şekil B.30 : Rinaldi-NS Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



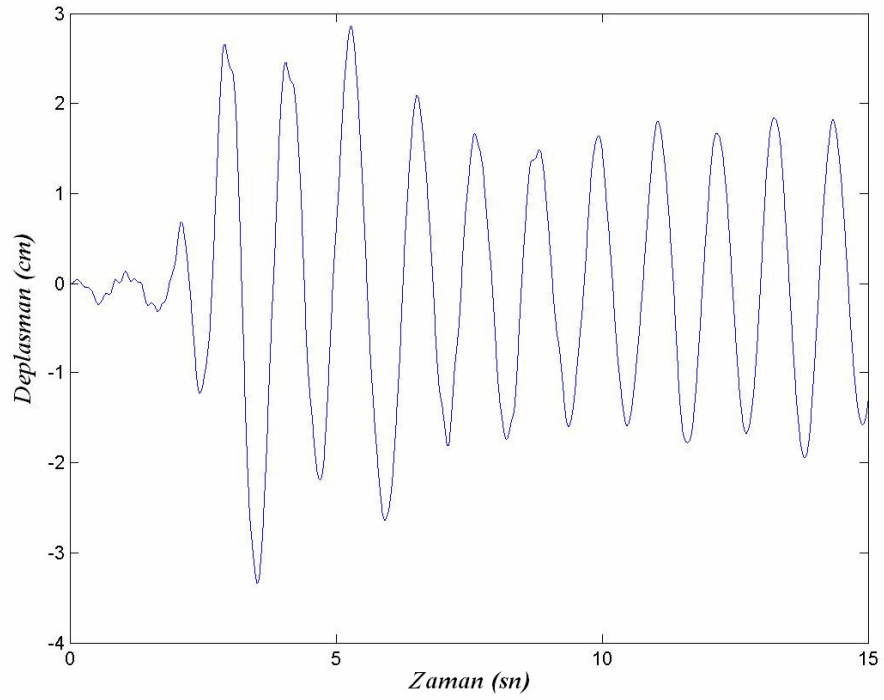
Şekil B.31 : Rinaldi-EW Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



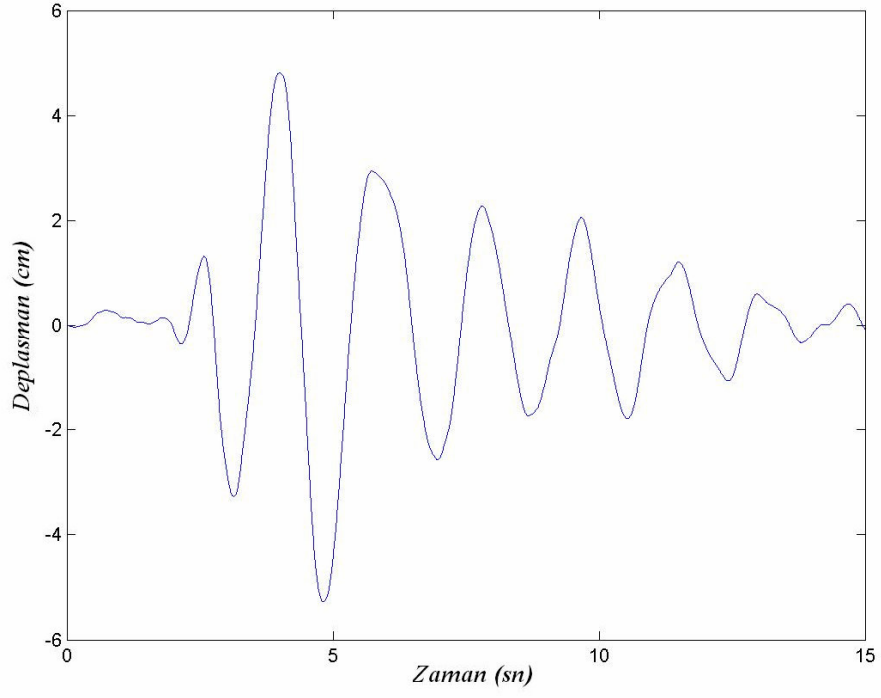
Şekil B.32 : Rinaldi-EW Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



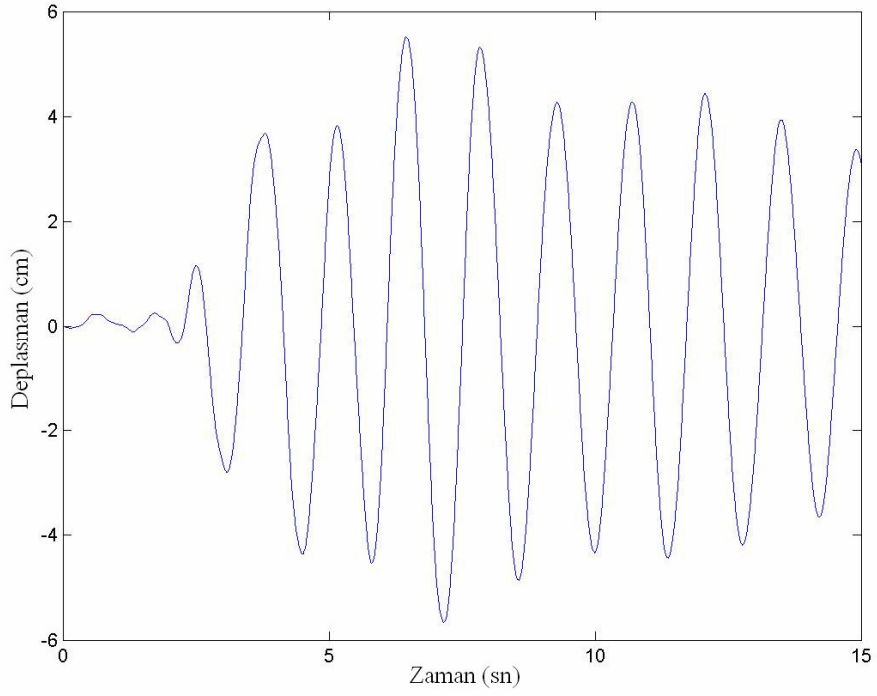
Şekil B.33 : Rinaldi-EW Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



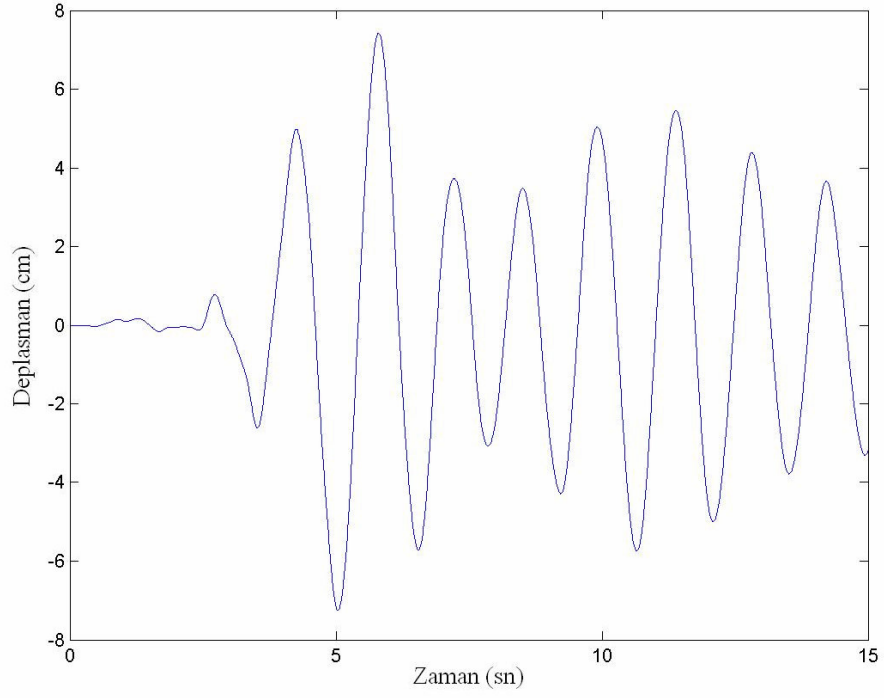
Şekil B.34 : Rinaldi-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



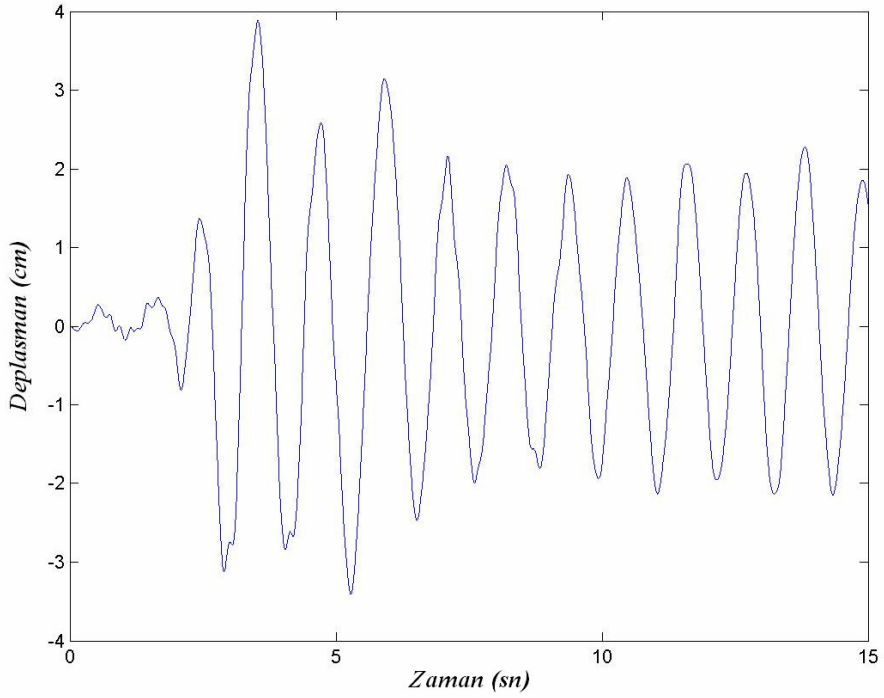
Şekil B.35 : Rinaldi-EW Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



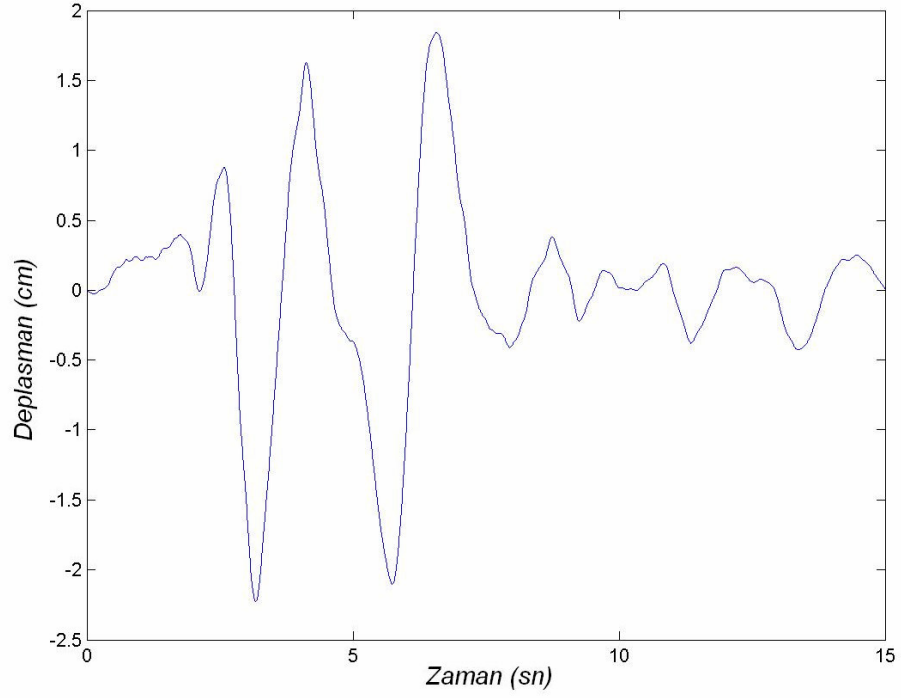
Şekil B.36 : Rinaldi-EW Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



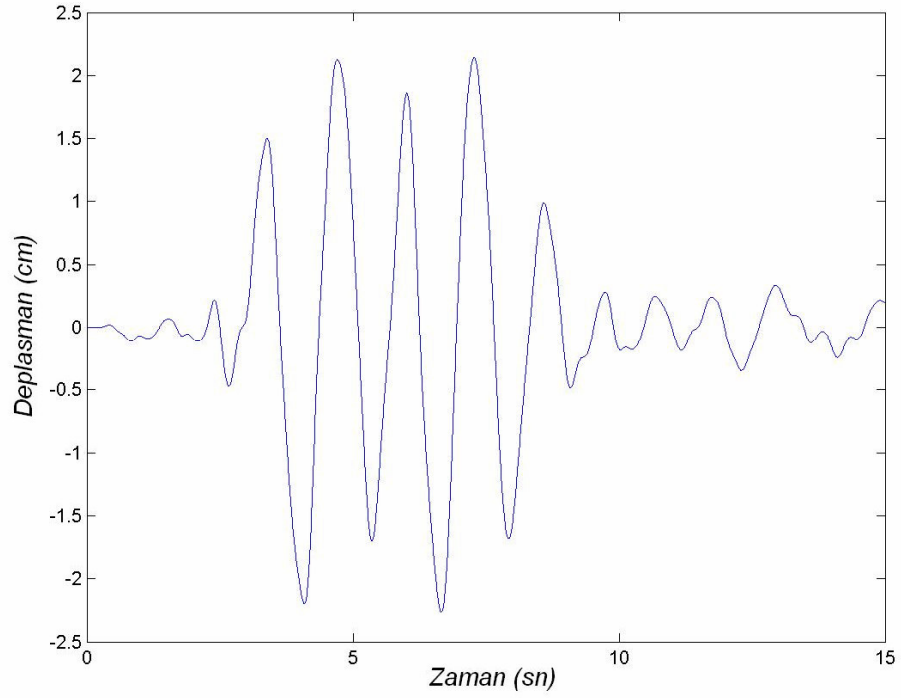
Şekil B.37 : Rinaldi-EW Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



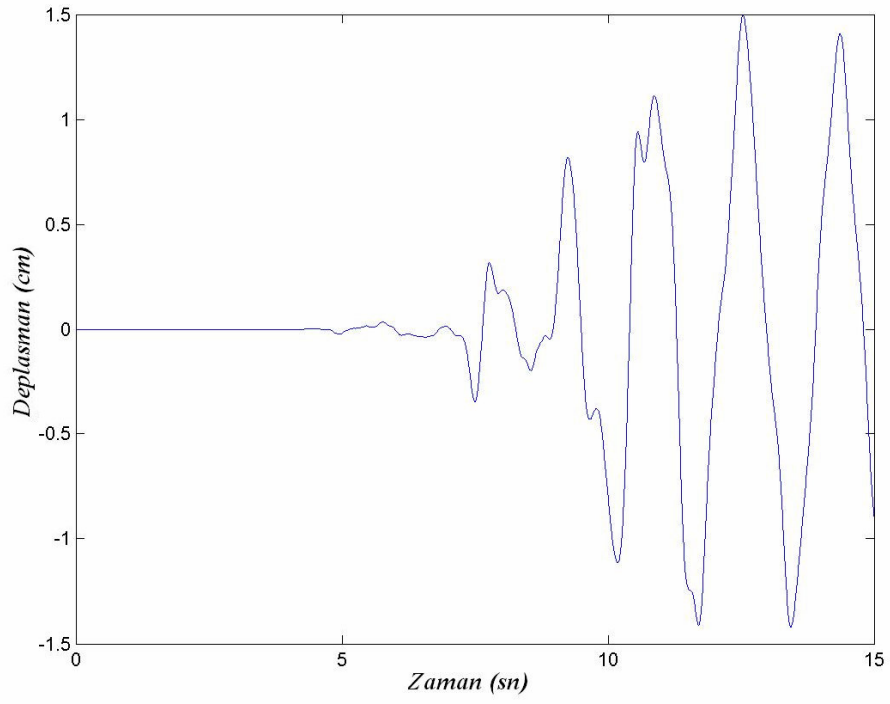
Şekil B.38 : Rinaldi-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



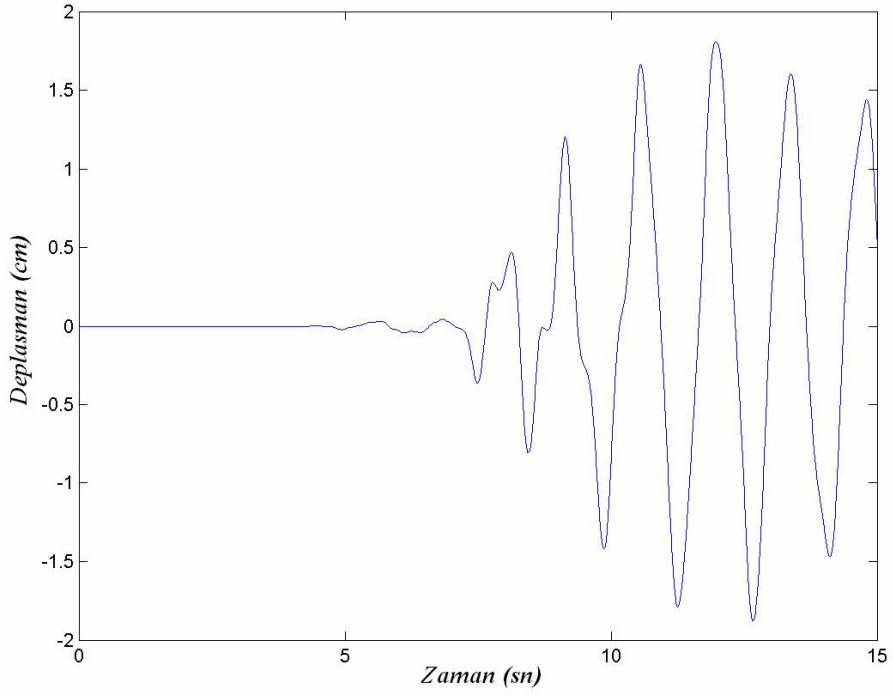
Şekil B.39 : Rinaldi-EW Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



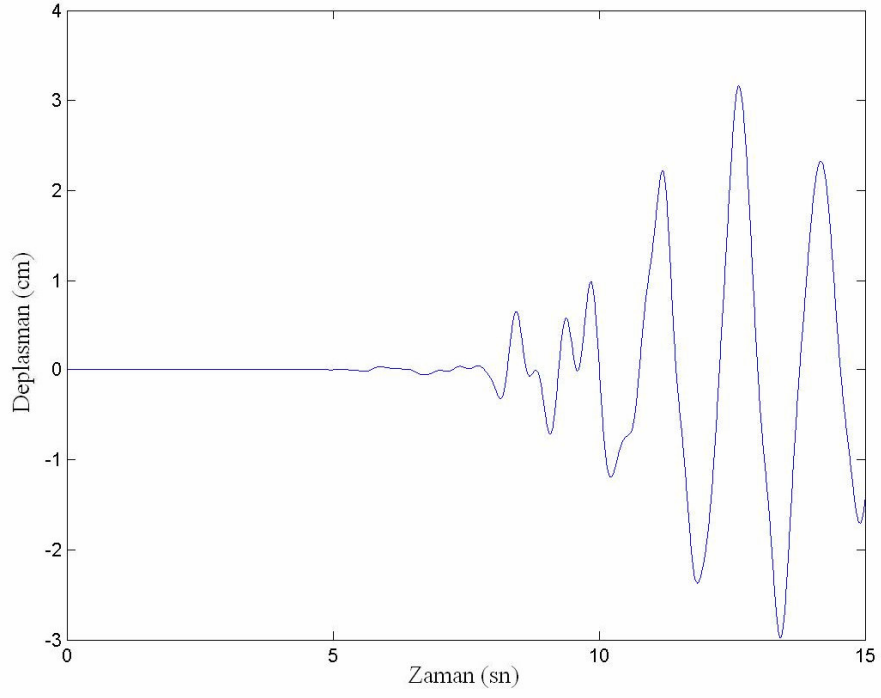
Şekil B.40 : Rinaldi-EW Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



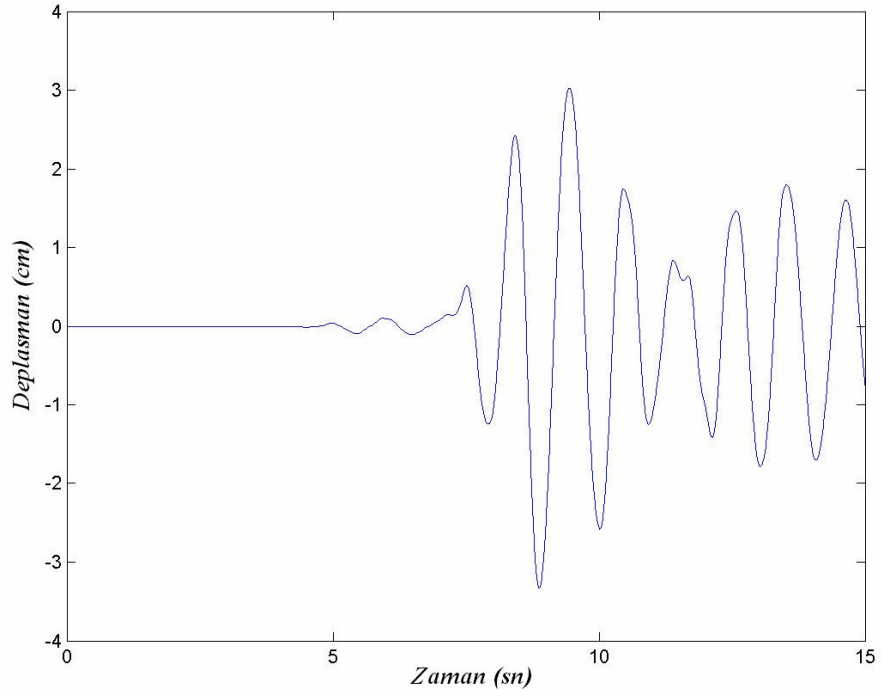
Şekil B.41 : Kobe-NS Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



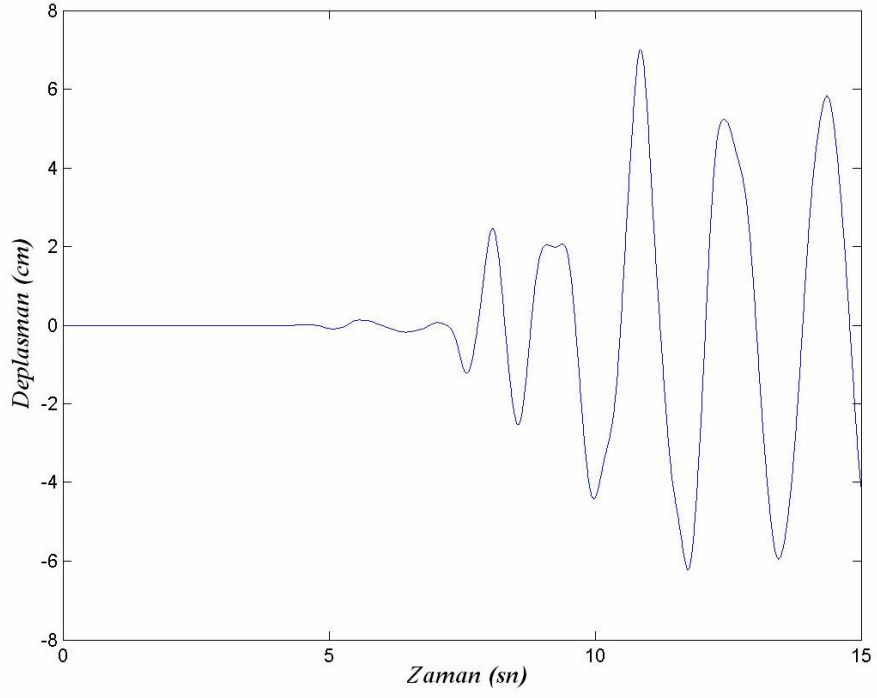
Şekil B.42 : Kobe-NS Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



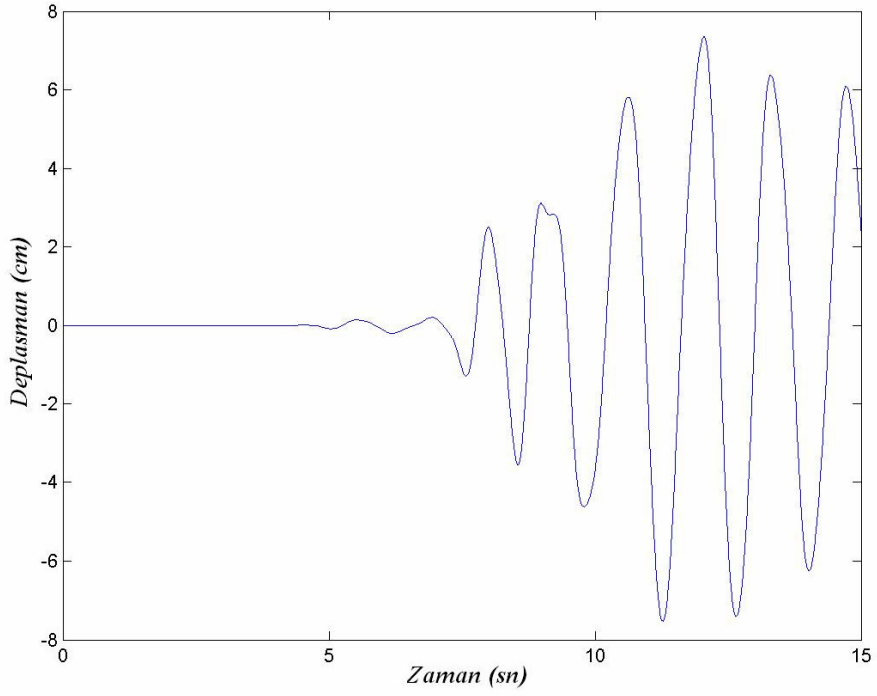
Şekil B.43 : Kobe-NS Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



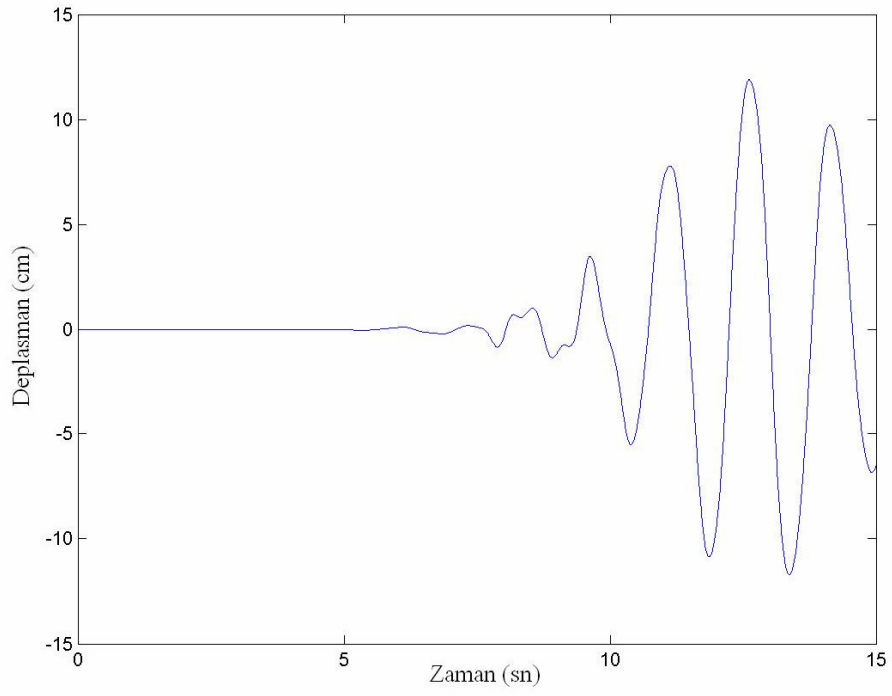
Şekil B.44 : Kobe-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



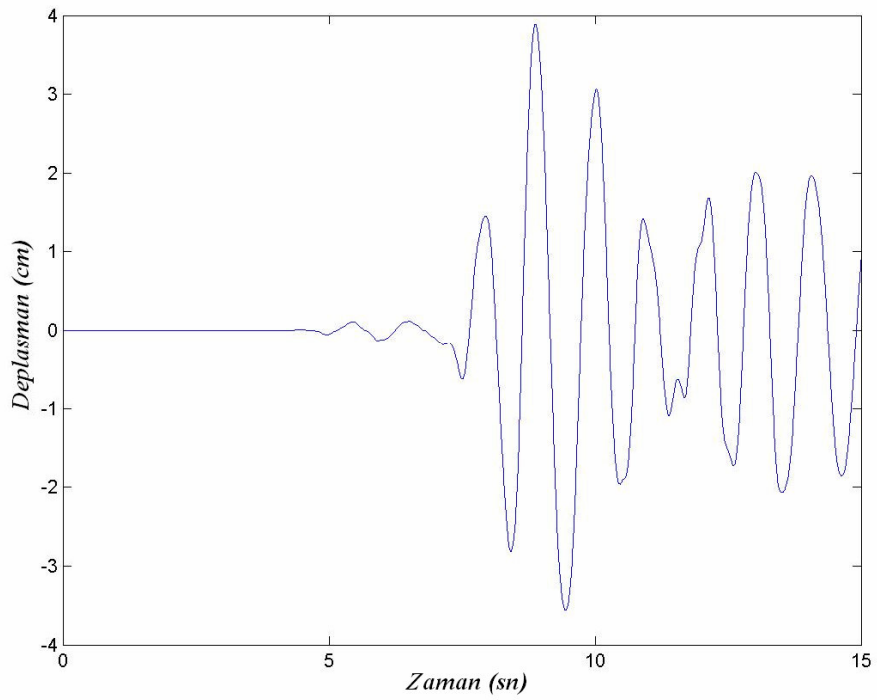
Şekil B.45 : Kobe-NS Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



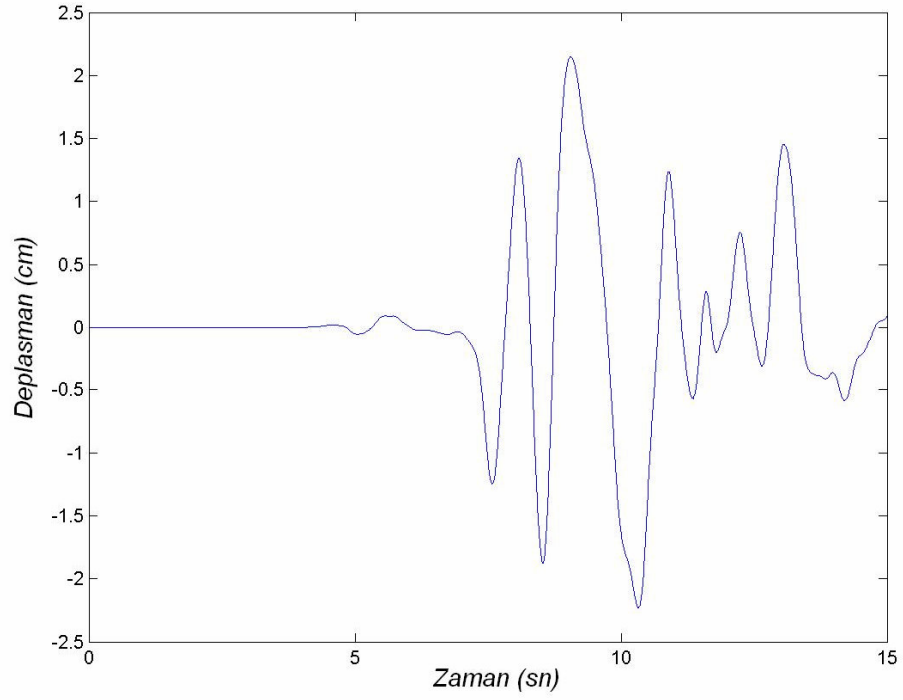
Şekil B.46 : Kobe-NS Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



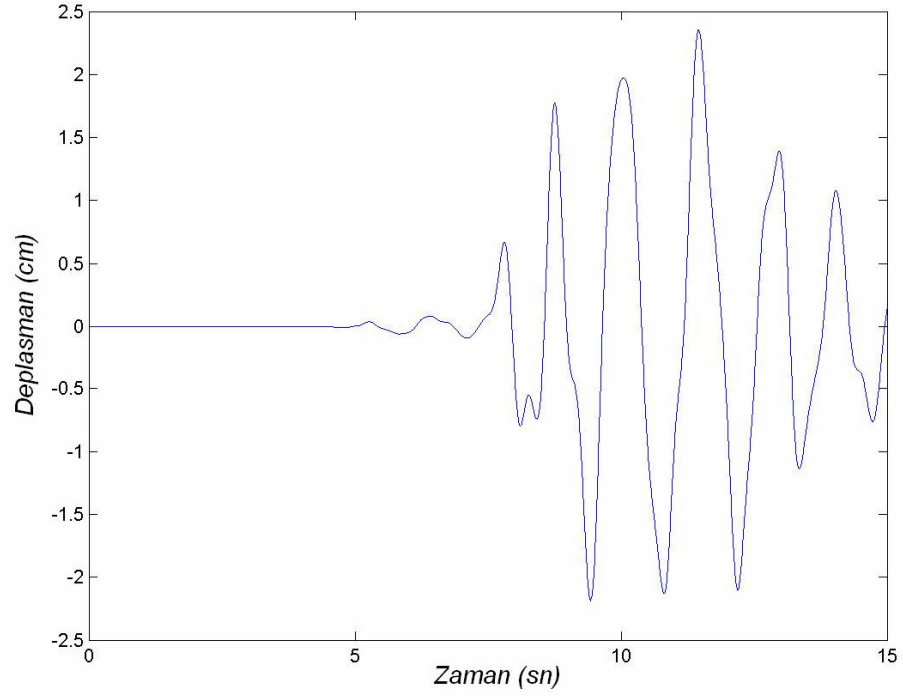
Şekil B.47 : Kobe-NS Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



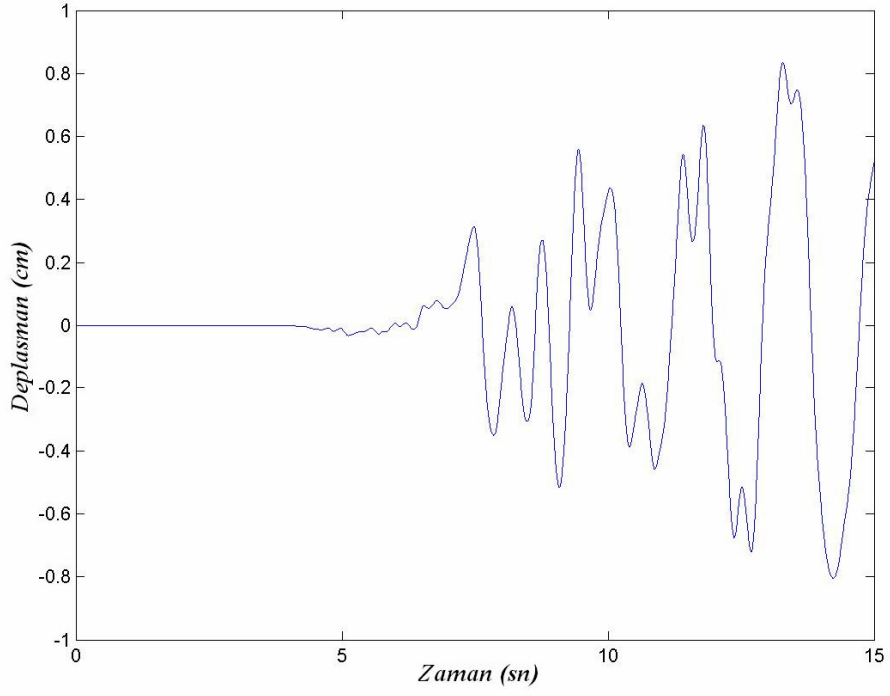
Şekil B.48 : Kobe-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



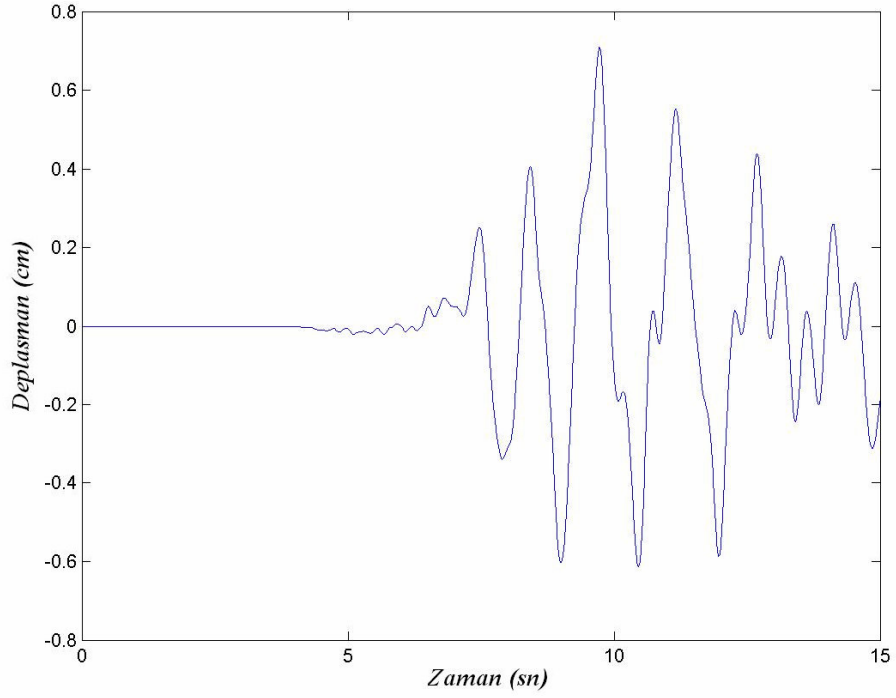
Şekil B.49 : Kobe-NS Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



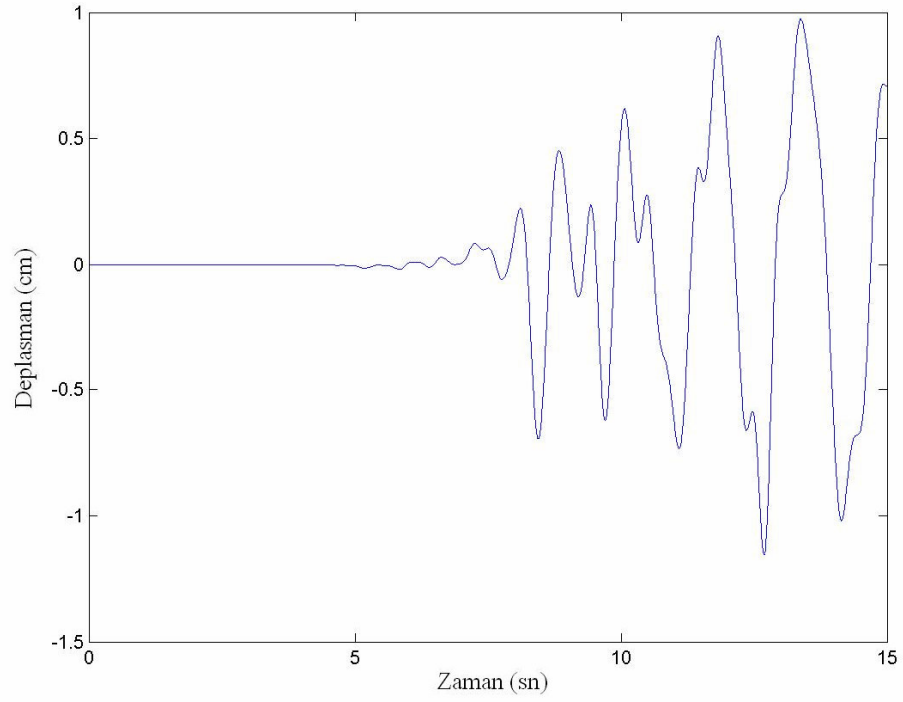
Şekil B.50 : Kobe-NS Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



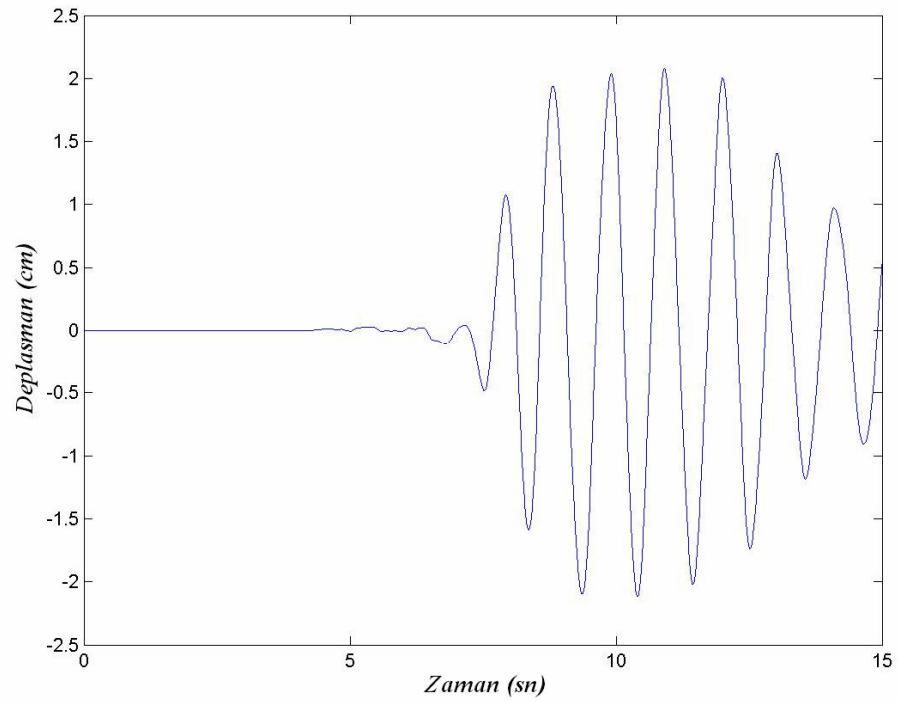
Şekil B.51 : Kobe-EW Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



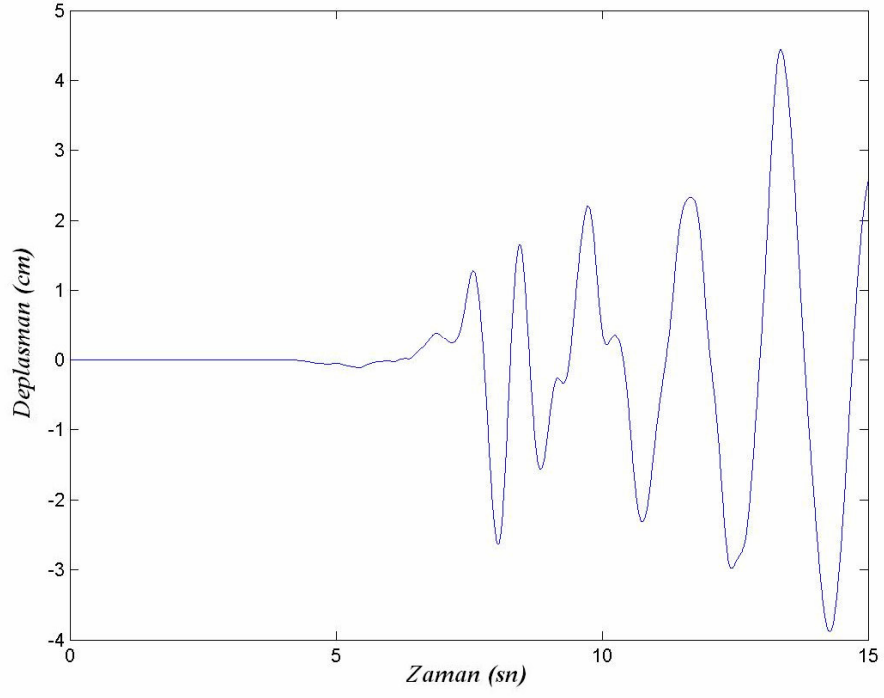
Şekil B.52 : Kobe-EW Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



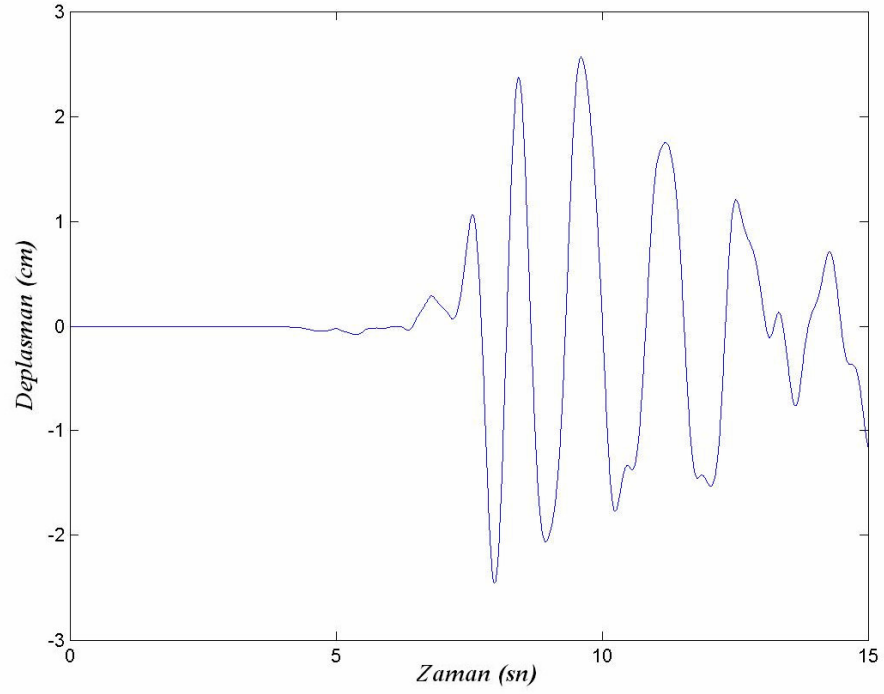
Şekil B.53 : Kobe-EW Kaydında 1.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



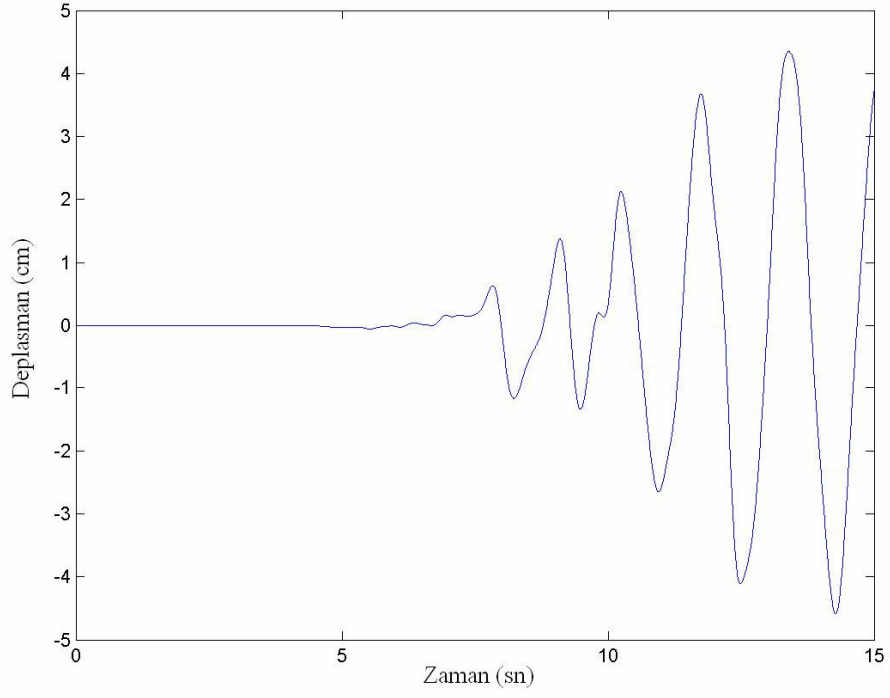
Şekil B.54 : Kobe-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



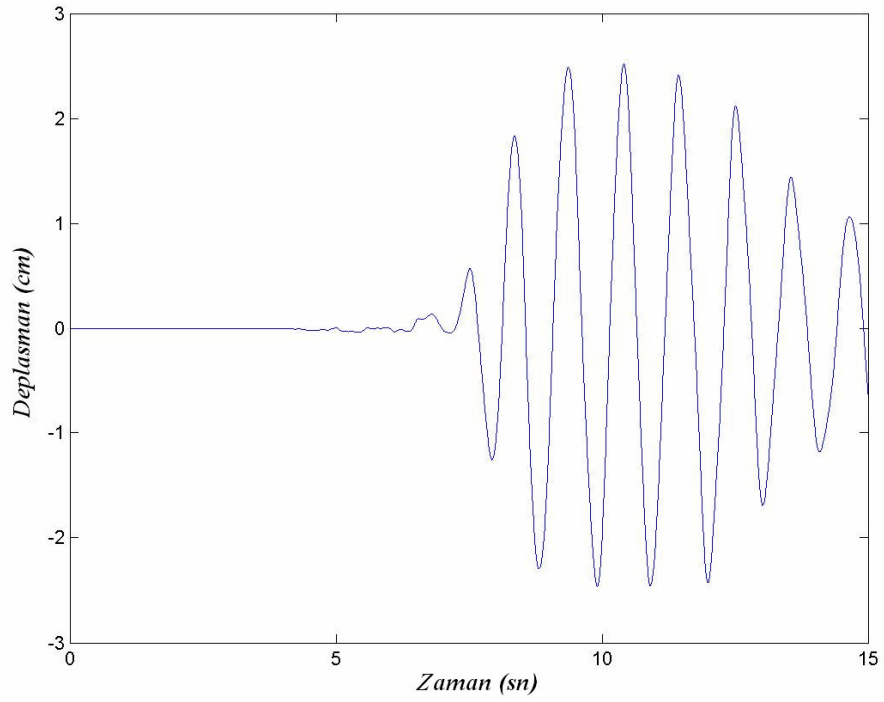
Şekil B.55 : Kobe-EW Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



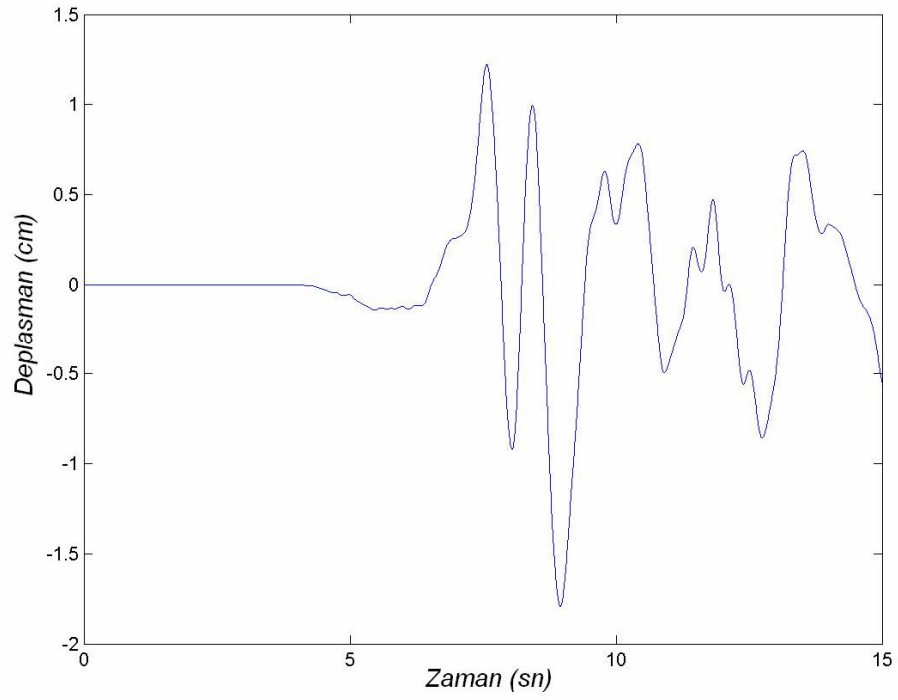
Şekil B.56 : Kobe-EW Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



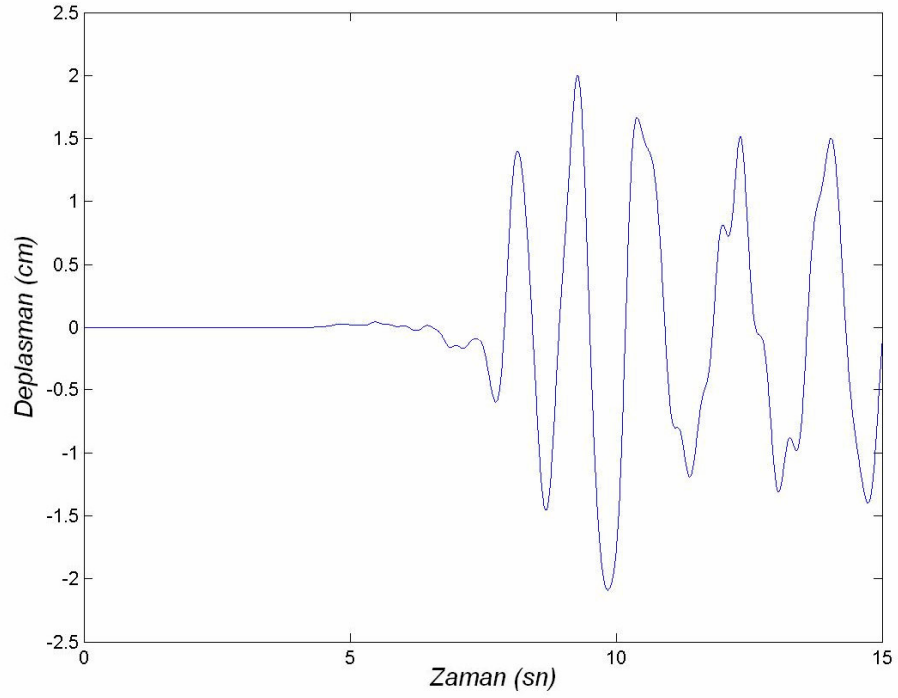
Şekil B.57 : Kobe-EW Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



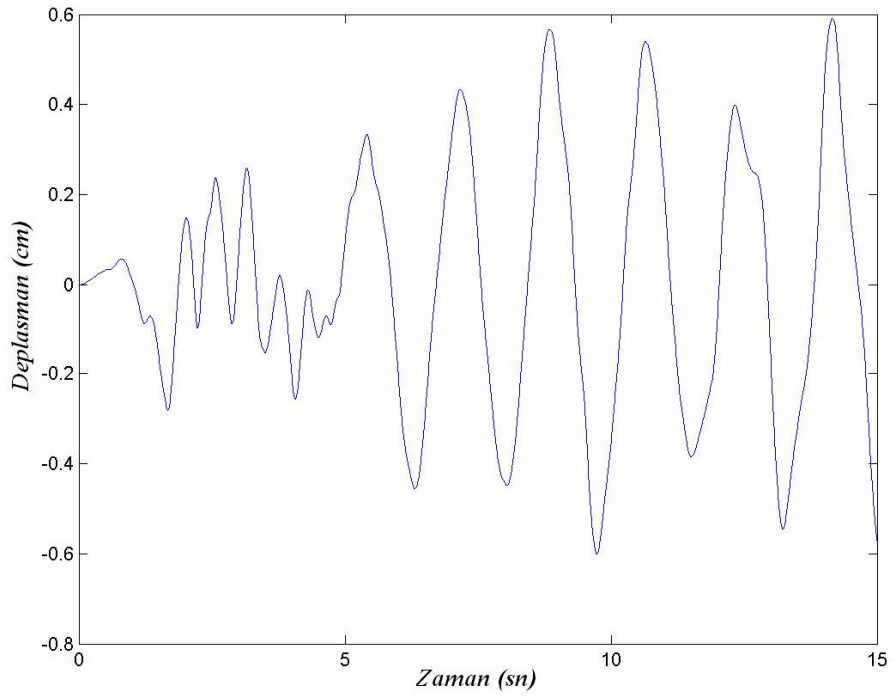
Şekil B.58 : Kobe-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



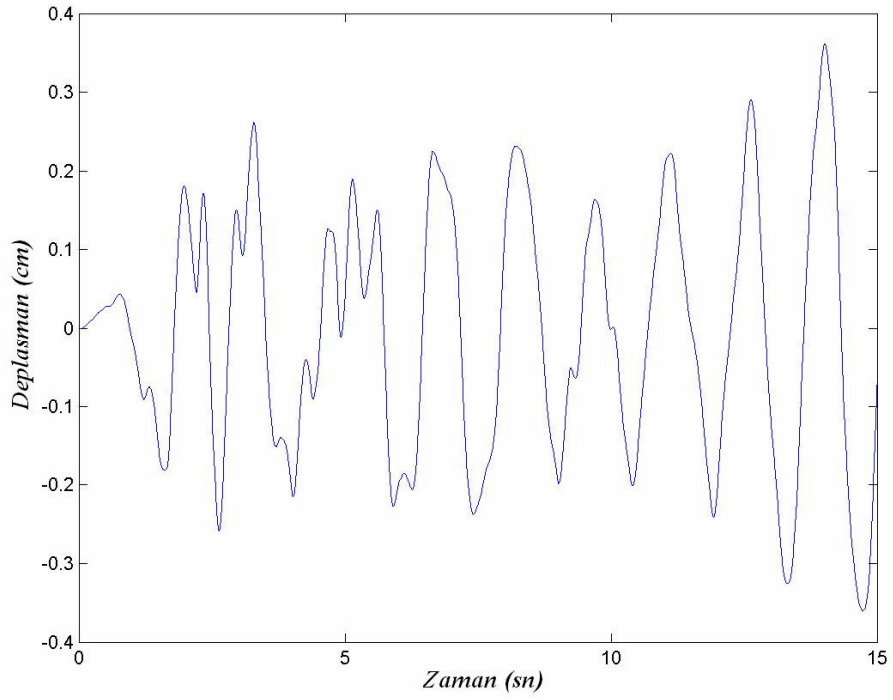
Şekil B.59 : Kobe-EW Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



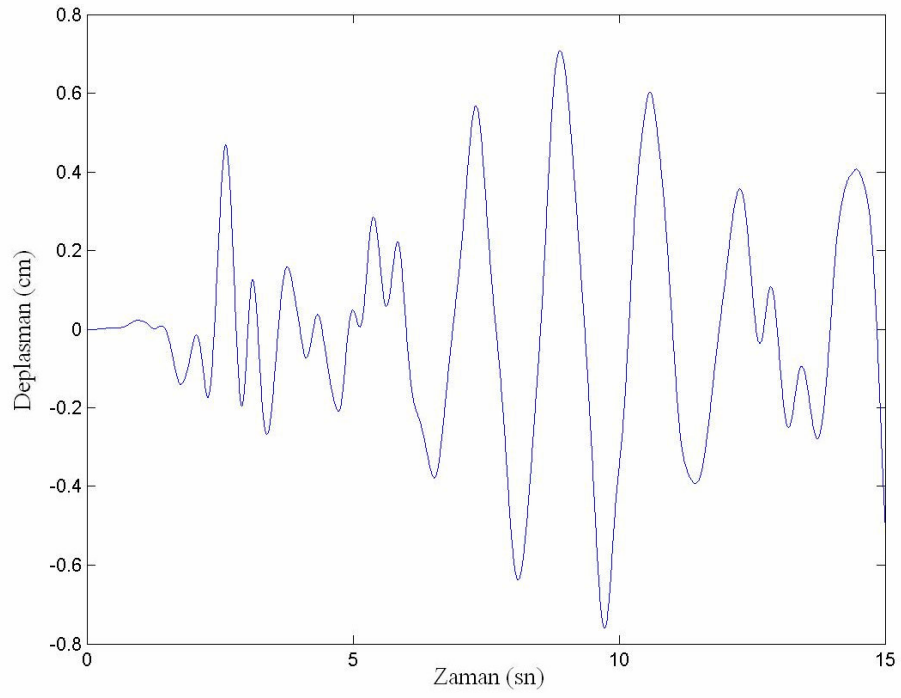
Şekil B.60 : Kobe-EW Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



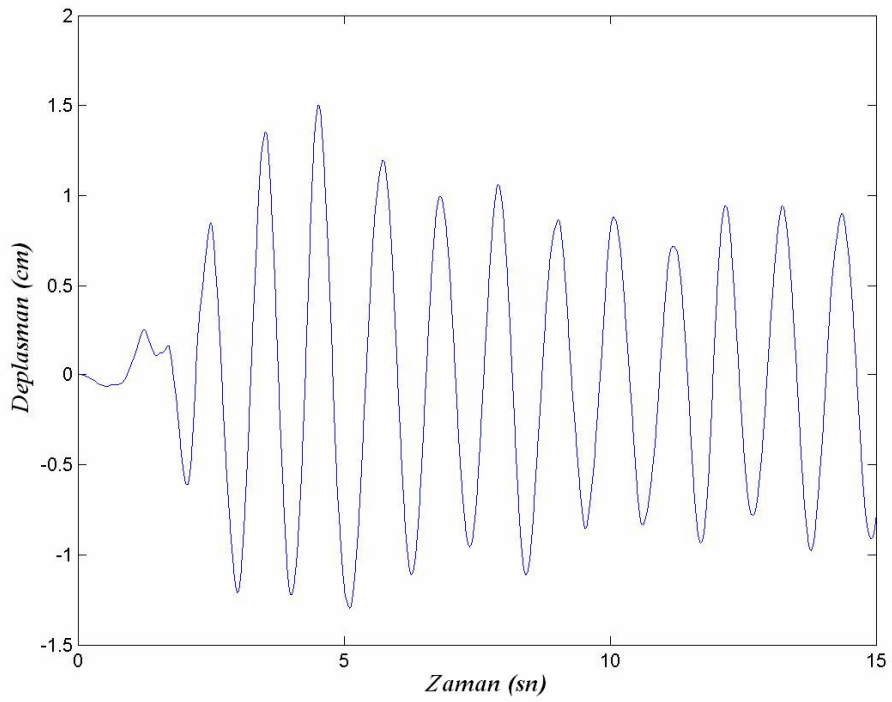
Şekil B.61 : Elcentro-NS Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



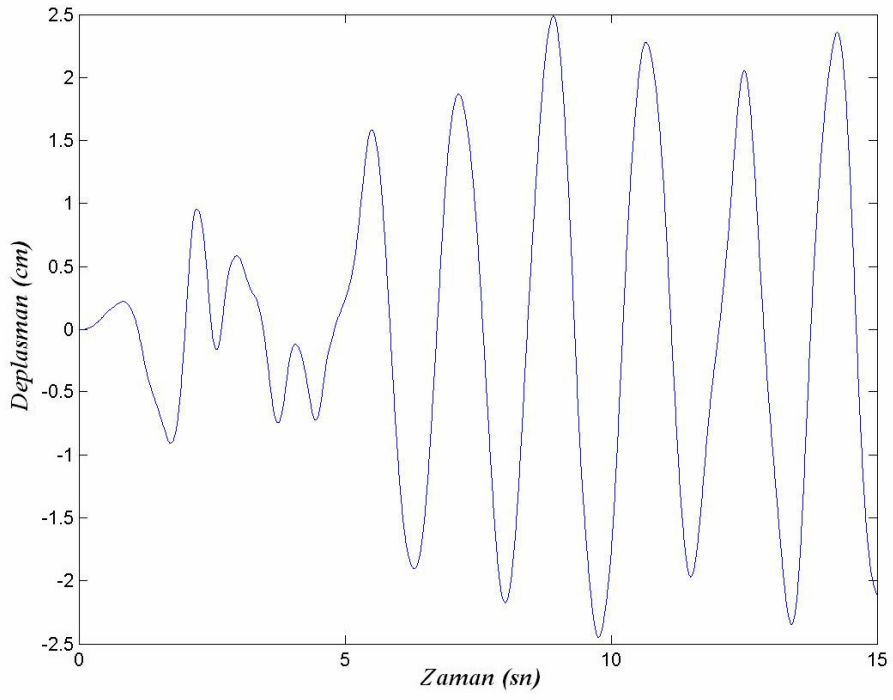
Şekil B.62 : Elcentro-NS Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



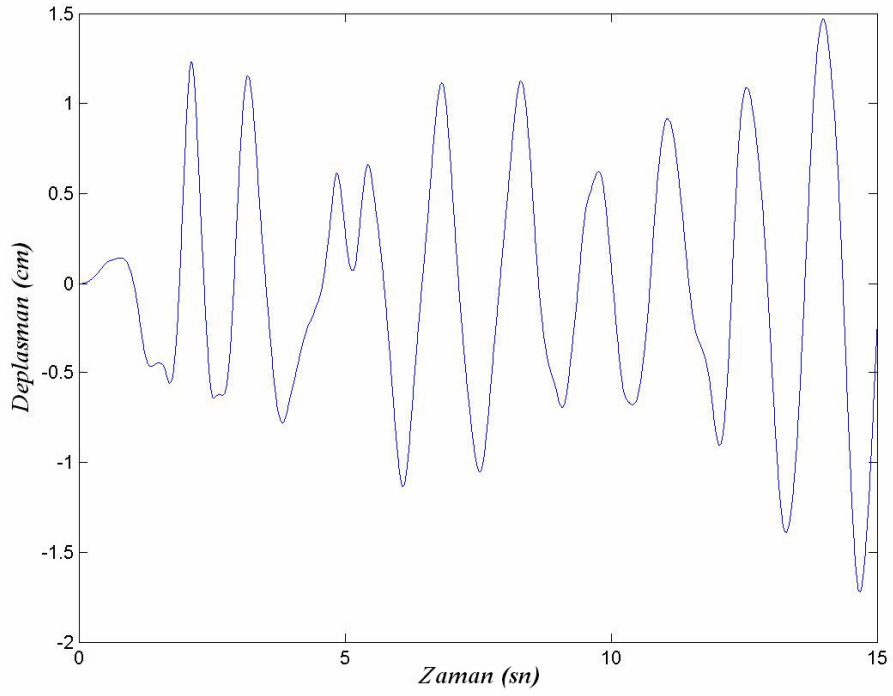
Şekil B.63 : Elcentro-NS Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



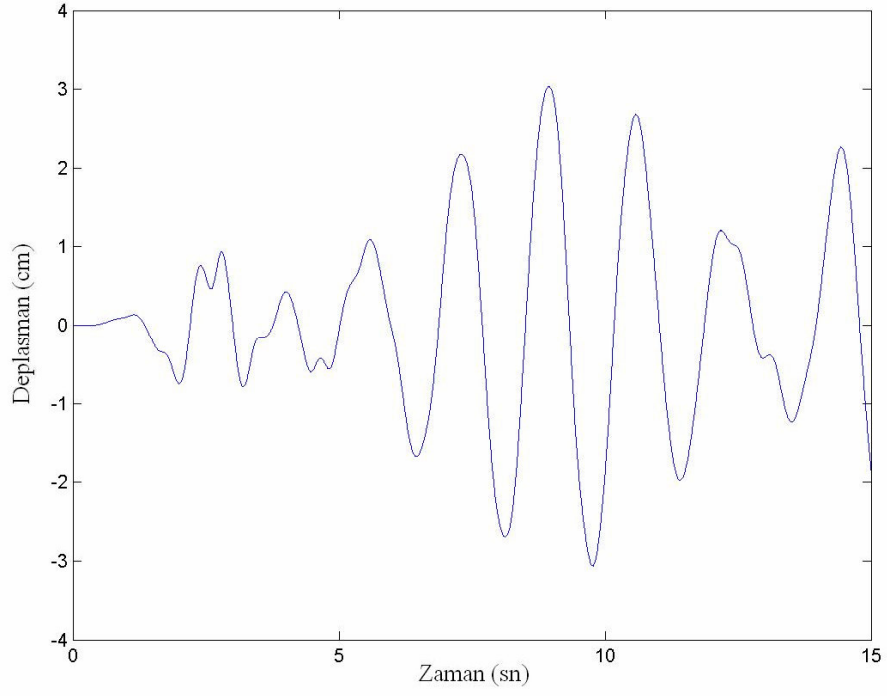
Şekil B.64 : Elcentro-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



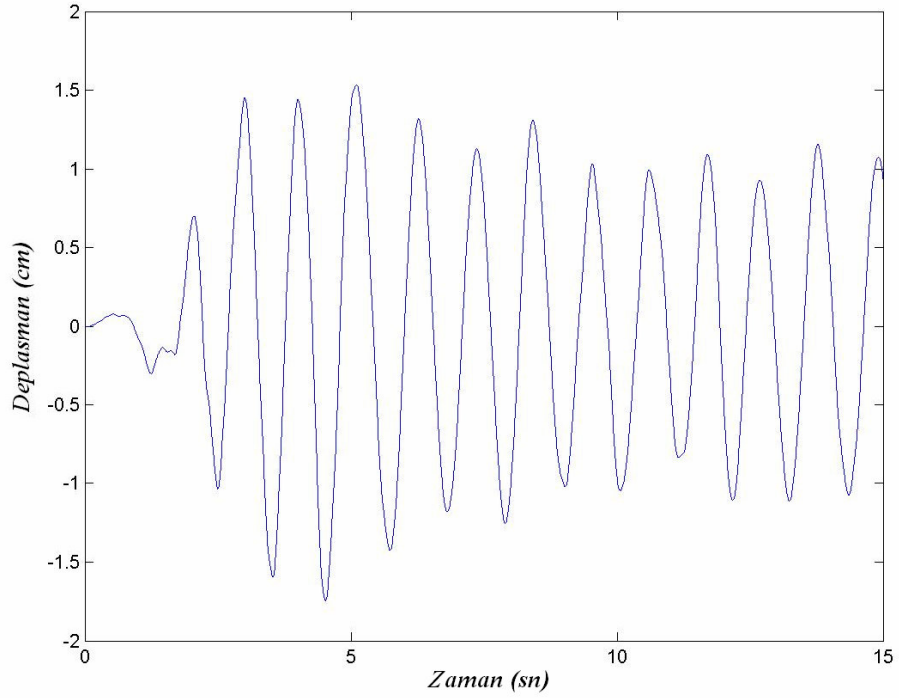
Şekil B.65 : Elcentro-NS Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



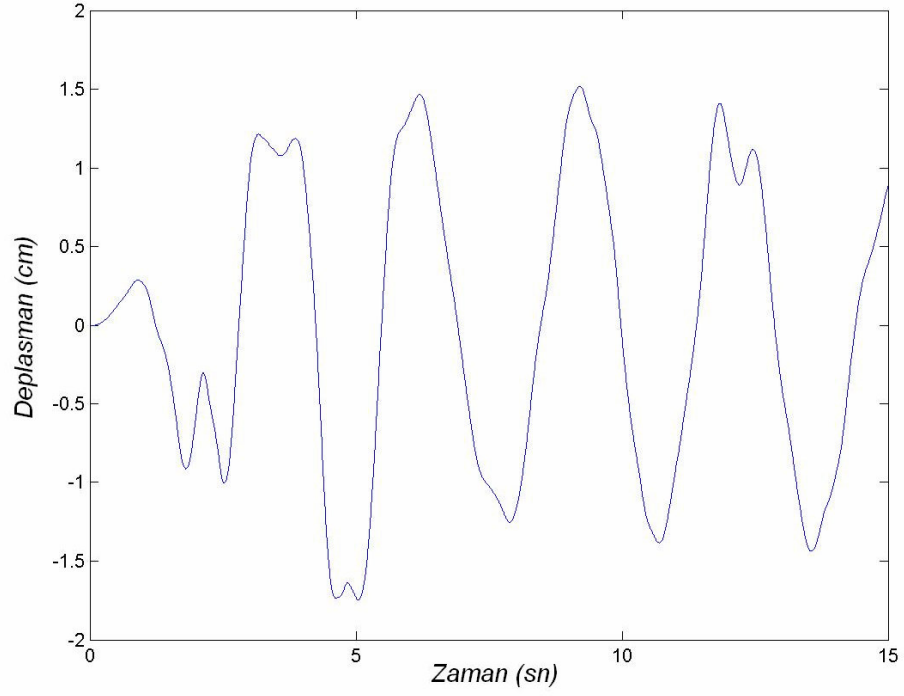
Şekil B.66 : Elcentro-NS Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



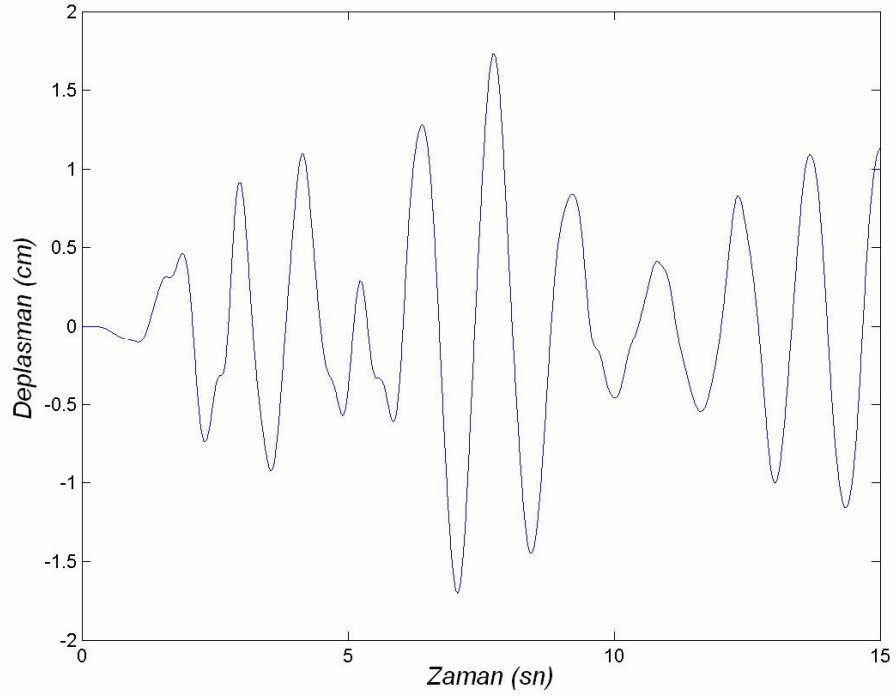
Şekil B.67 : Elcentro-NS Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



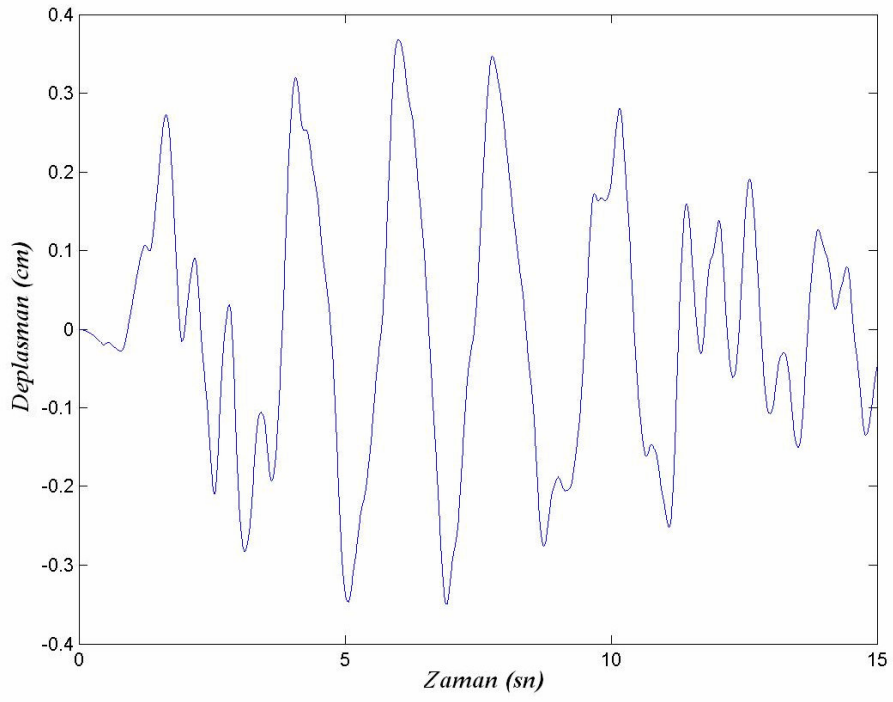
Şekil B.68 : Elcentro-NS Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



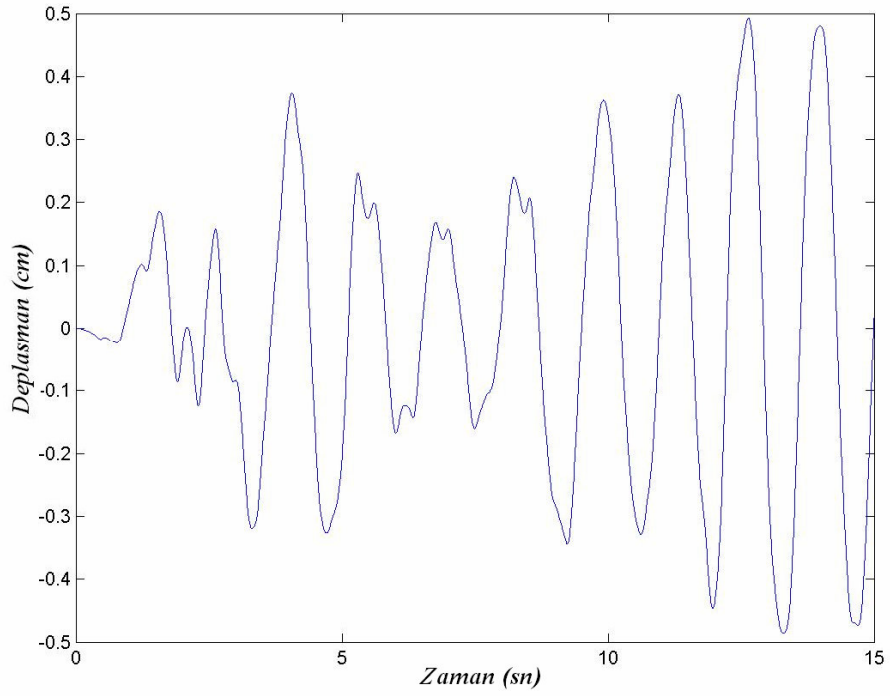
Şekil B.69 : Elcentro-NS Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



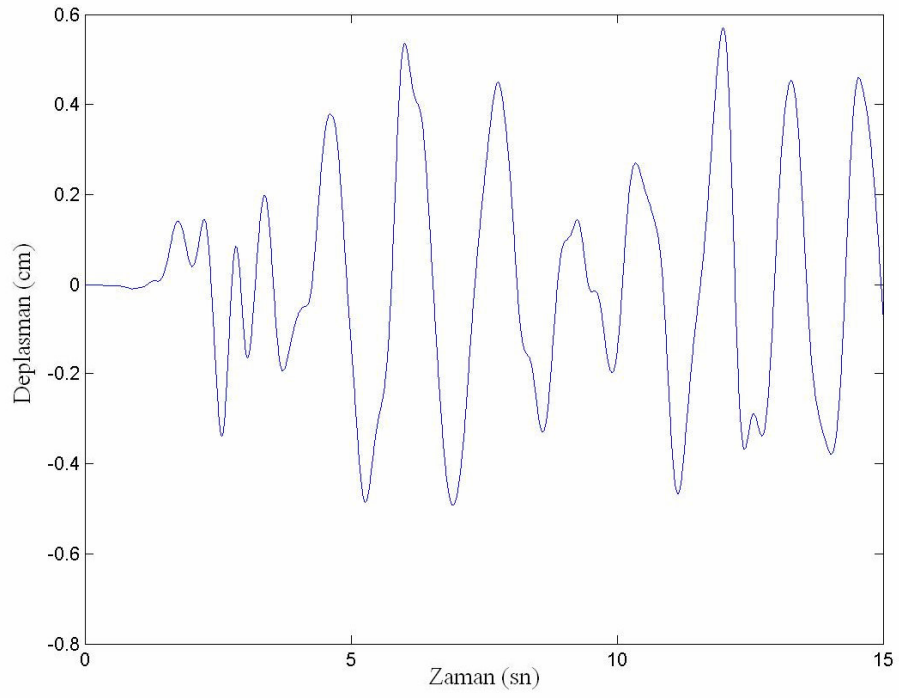
Şekil B.70 : Elcentro-NS Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



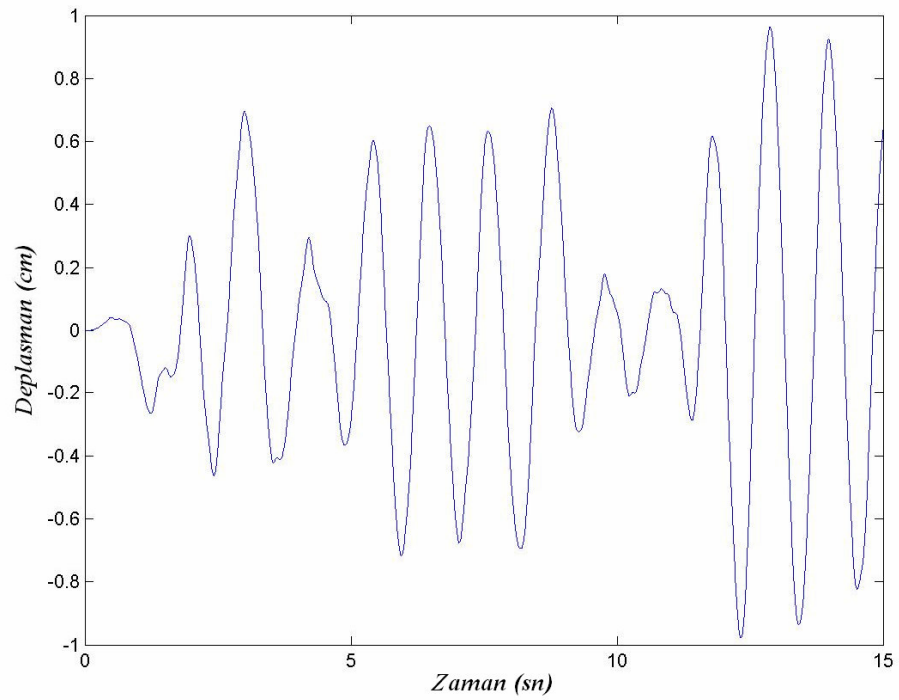
Şekil B.71 : Elcentro-EW Kaydında Bina 1'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



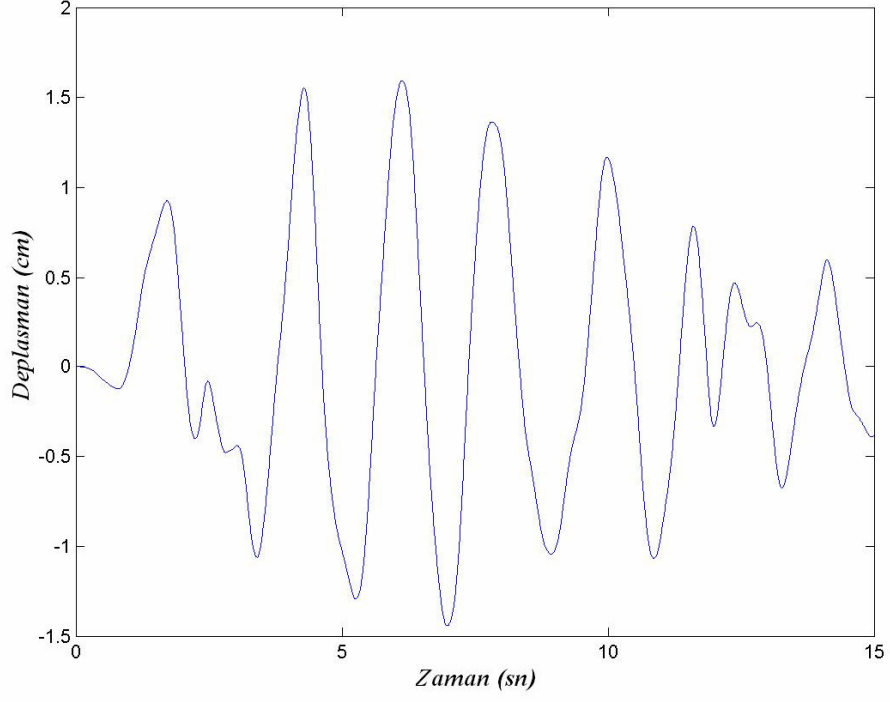
Şekil B.72 : Elcentro-EW Kaydında Bina 2'in 1.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



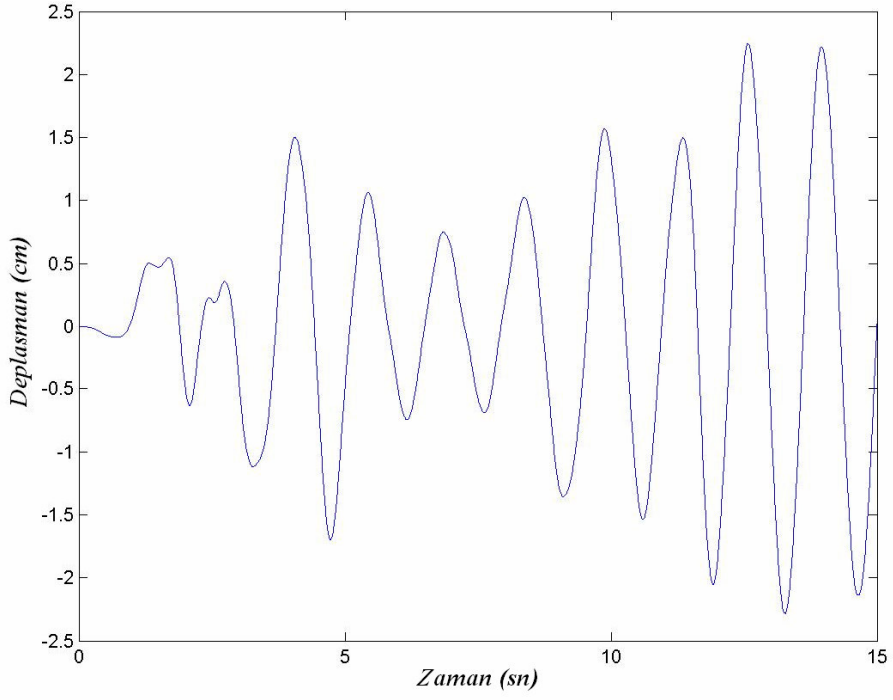
Şekil B.73 : Elcentro-EW Kaydında 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



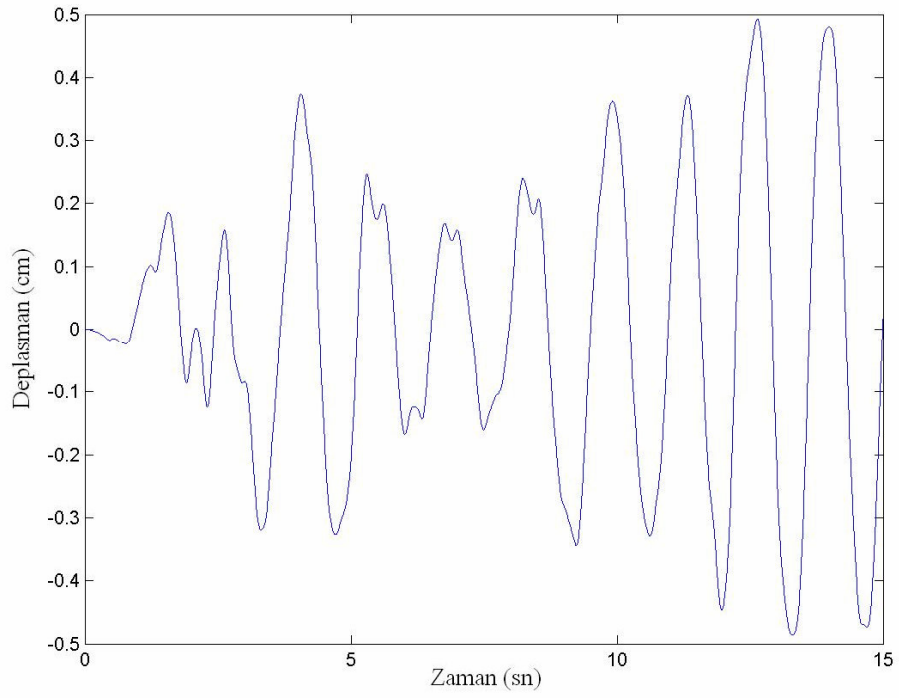
Şekil B.74 : Elcentro-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 1.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasm



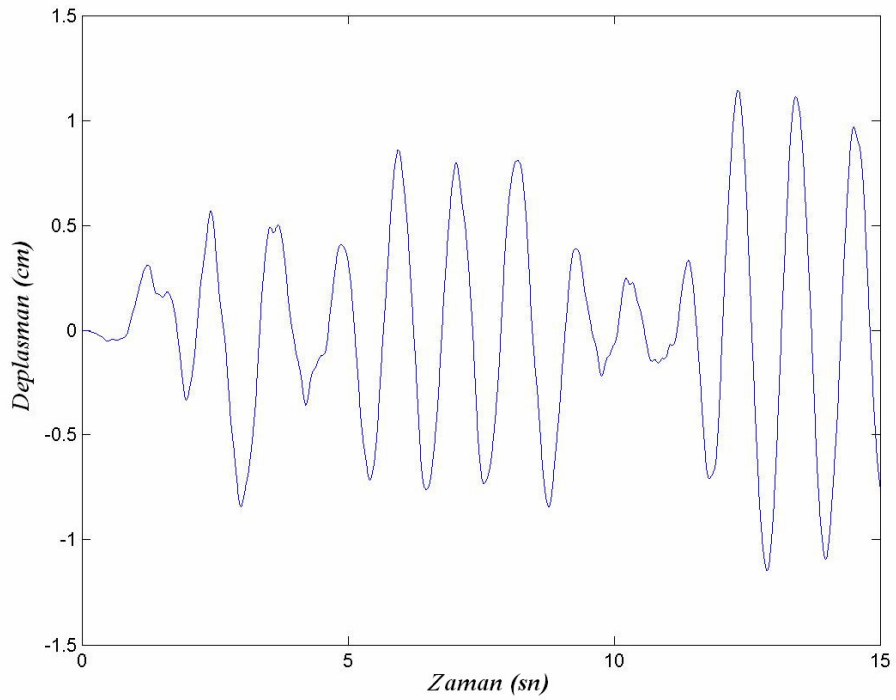
Şekil B.75 : Elcentro-EW Kaydında Bina 1'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



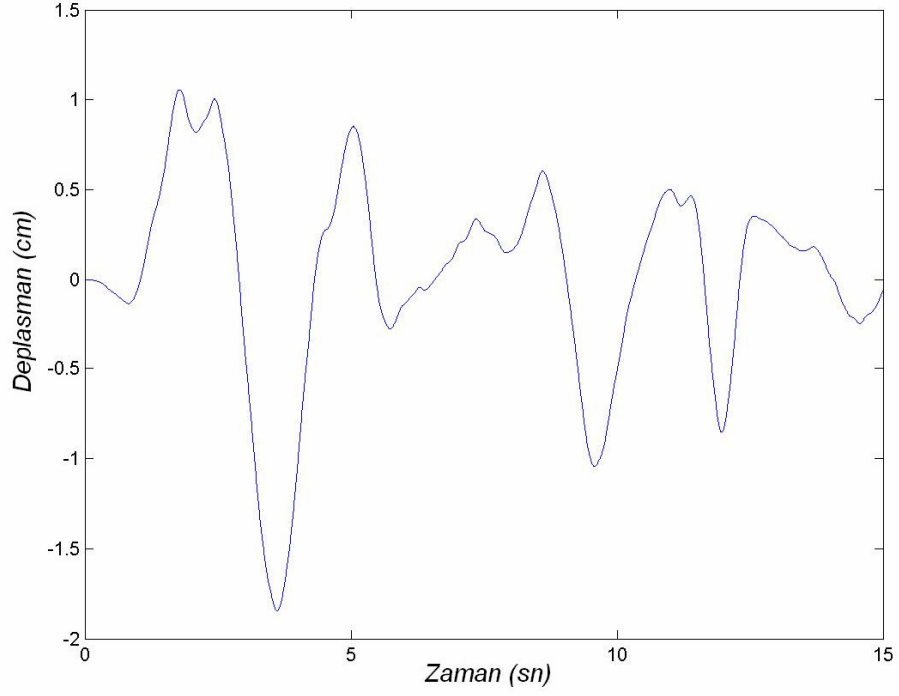
Şekil B.76 : Elcentro-EW Kaydında Bina 2'in 6.Kat Maksimum Kat Deplasmanı



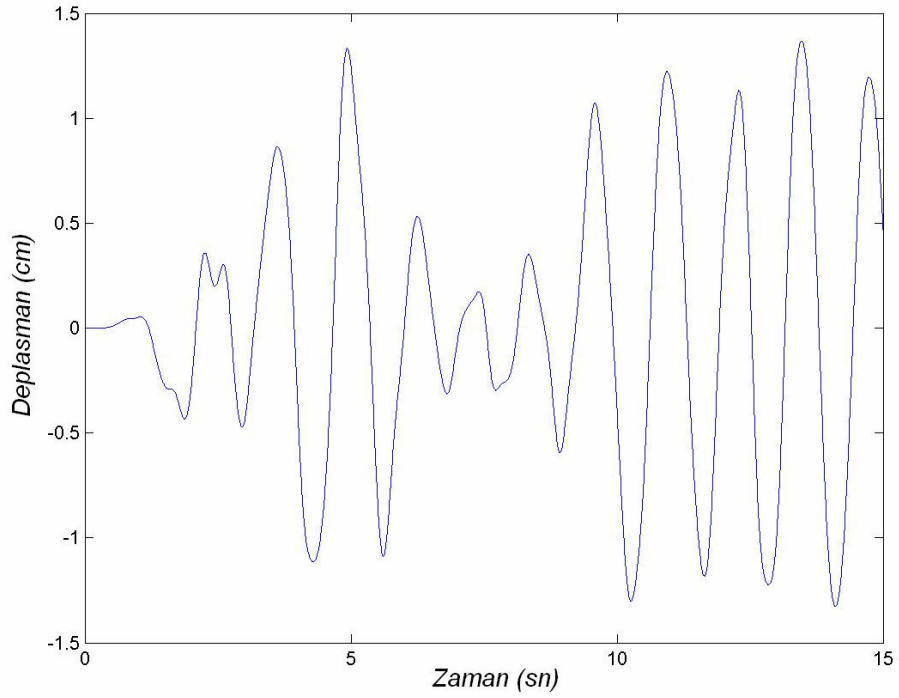
Şekil B.77 : Elcentro-EW Kaydında 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



Şekil B.78 : Elcentro-EW Kaydında Pasif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızasında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



Şekil B.79 : Elcentro-EW Kaydında Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı



Şekil B.80 : Elcentro-EW Kaydında İki Binaya Ayrı Ayrı Aktif Kontrol Kuvveti Uygulanması Durumunda 6.Kat Hızında Binalar Arasında Oluşan Maksimum Kat Deplasmanı

ÖZGEÇMİŞ

Onur DEMİR , 1980 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Pertevniyal Lisesi'nde 1998 yılında bitirdi. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2005 yılında askerlik hizmetini yapmak üzere yüksek lisans eğitimine ara verdi. Halen özel bir kuruluştta Proje Mühendisi olarak çalışmaktadır.