

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILARDA AKTİF TENDONLAR İLE  
YANAL YER DEĞİŞTİRME VE BURULMA KONTROLÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Sinan Melih NİGDELİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2012**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILARDA AKTİF TENDONLAR İLE  
YANAL YER DEĞİŞTİRME VE BURULMA KONTROLÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**Sinan Melih NİGDELİ  
(501062013)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Hasan BODUROĞLU**

**HAZİRAN 2012**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501062013 numaralı Doktora Öğrencisi **Sinan Melih NİGDELİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILARDA AKTİF TENDONLAR İLE YANAL YER DEĞİŞTİRME VE BURULMA KONTROLÜ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. M. Hasan BODUROĞLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Ertaç ERGÜVEN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Erdal ŞAFAK** .....  
Boğaziçi Üniversitesi

**Prof. Dr. Ünal ALDEMİR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Ali Rana ATILGAN** .....  
Sabancı Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **08 Mart 2012**  
**Savunma Tarihi :**      **15 Haziran 2012**



## ÖNSÖZ

Deprem ve rüzgârların etkisiyle yapılarda oluşan titreşimlerin maksimum değerlerinin azaltılması ve hızlı bir şekilde sönümlenmesi için yapısal kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Uygulamada pasif kontrol tekniklerinin kullanımı daha yaygın olmakla beraber, yakın fay bölgesinde bulunan ve büyük dış etkilere maruz kalan yapıların aktif kontrol sistemleri ile kontrol edilmesi oldukça faydalı olacaktır. Bu çalışmada aktif yapısal kontrol sistemlerinden biri olan aktif tendonlar ele alınmıştır. İnşa edilen yapıların neredeyse tamamında bir miktar burulma düzensizliği bulunduğu için, yapıda oluşacak burulma momentlerinin engellenmesi de amaçlanmıştır ve bu durum daha önce ele alınmış çalışmalarda çok fazla ele alınmamıştır.

Bu tez çalışmasında bana her türlü desteğini eksik etmeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Hasan BODUROĞLU'na teşekkür ederim. Değerli bilgi ve önerileriyle, tezin gelişimi ve daha yüksek seviyelere ulaşmasına yardımcı olan tez izleme komitesindeki hocalarım, Sayın Prof. Dr. Ertaç ERGÜVEN ve Sayın Prof. Dr. Erdal ŞAFAK'a teşekkürlerimi sunarım. Makine mühendisliğinde lisans öğreniminde, yapıların kontrolü üzerine değerli bilgileriyle bu konu üzerinde çalışmamı sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nurkan YAĞIZ'a teşekkür ederim.

Mart 2012

Sinan Melih Nigdeli  
Yüksek İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                            | v    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                     | vii  |
| KISALTMALAR .....                                                                     | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                  | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                    | xv   |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                                  | xvii |
| ÖZET.....                                                                             | xix  |
| SUMMARY .....                                                                         | xxi  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                        | 1    |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                                 | 3    |
| 1.2 Literatür Araştırması .....                                                       | 3    |
| 2. YAKIN FAY DEPREM HAREKETLERİ .....                                                 | 9    |
| 3. YÖNTEM VE YAPI MODELLERİ .....                                                     | 19   |
| 3.1 Orantı+İntegral+Türev (PID) Tipi Kontrolcüler .....                               | 19   |
| 3.2 Tek Serbestlik Dereceli Düzlem Yapı Modeli .....                                  | 20   |
| 3.3 Çok Serbestlik Dereceli Düzlem Yapı Modeli .....                                  | 21   |
| 3.4 Tek Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapı Modeli .....                           | 24   |
| 3.5 Çok Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapı Modeli .....                           | 29   |
| 3.6 Kullanılan Deprem Verileri .....                                                  | 35   |
| 3.7 Analiz Yöntemi .....                                                              | 41   |
| 3.8 PID Kontrolcü Katsayılarının Belirlenmesi .....                                   | 45   |
| 4. AKTİF TENDON KONTROLLÜ YAPILARIN ANALİZ SONUÇLARI.....                             | 49   |
| 4.1 Tek Serbestlik Dereceli Düzlem Yapının Analiz Sonuçları.....                      | 49   |
| 4.2 Üç Serbestlik Dereceli Düzlem Yapının Analiz Sonuçları .....                      | 52   |
| 4.3 Tek Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları .....              | 57   |
| 4.4 İki Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları .....              | 64   |
| 4.5 Üç Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları.....                | 73   |
| 5. GERÇEK BOYUTLU BİR BETONARME ÇERÇEVE YAPININ AKTİF<br>TENDONLAR İLE KONTROLÜ ..... | 77   |
| 5.1 Betonarme Çerçeve Yapının Analiz ve Kontrolü.....                                 | 79   |
| 5.1.1 12 MPa beton dayanımlı yapı .....                                               | 79   |
| 5.1.2 14 MPa beton dayanımlı yapı .....                                               | 79   |
| 5.1.3 16 MPa beton dayanımlı yapı .....                                               | 85   |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                             | 91   |
| KAYNAKLAR .....                                                                       | 97   |
| EKLER.....                                                                            | 103  |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                         | 129  |



## **KISALTMALAR**

|             |                                                 |
|-------------|-------------------------------------------------|
| <b>ATC</b>  | : Uygulamalı Teknoloji Konseyi                  |
| <b>C.M.</b> | : Kütle Merkezi                                 |
| <b>C.R.</b> | : Rijitlik Merkezi                              |
| <b>dB</b>   | : Desibel                                       |
| <b>PEER</b> | : Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi |
| <b>PID</b>  | : Orantı+integral+türev                         |
| <b>SR</b>   | : Kayma Oranı                                   |
| <b>UBC</b>  | : Uluslararası Bina Kodları                     |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1 : Sismik Kaynak Tipleri. ....                                                                                                 | 9   |
| Çizelge 2.2 : İvme faktörünün ( $N_a$ ) sayısal değerleri. ....                                                                           | 9   |
| Çizelge 2.3 : Hız faktörünün ( $N_v$ ) sayısal değerleri. ....                                                                            | 10  |
| Çizelge 3.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri. ....                                                                    | 20  |
| Çizelge 3.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri. ....                                                                     | 24  |
| Çizelge 3.3 : Tek katlı burulma düzensizliği olan yapının özellikleri. ....                                                               | 29  |
| Çizelge 4.1 : Tek serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum sonuçlar. ....                                                      | 50  |
| Çizelge 4.2 : Üç serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum sonuçlar. ....                                                       | 54  |
| Çizelge 4.3 : Üç serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum kontrol<br>değerleri.. ....                                          | 56  |
| Çizelge 4.4 : El Centro kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin<br>maksimum sonuçları (Zaman gecikmesi yok.) ....          | 59  |
| Çizelge 4.5 : El Centro kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerin<br>maksimum sonuçları (Zaman gecikmesi var.) ....            | 62  |
| Çizelge 4.6 : İki katlı burulma düzensizliği oluşan yapının ilaveli deprem kayıtları<br>altında maksimum analiz sonuçları. ....           | 65  |
| Çizelge 4.7 : İki katlı burulma düzensizliği oluşan yapının darbe tipi titreşimlerin<br>etkisi altında maksimum analiz sonuçları. ....    | 65  |
| Çizelge 4.8 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının ilaveli deprem kayıtları<br>altında maksimum analiz sonuçları. ....            | 74  |
| Çizelge 4.9 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının darbe tipi titreşimlerin<br>etkisi altında maksimum analiz sonuçları. ....     | 74  |
| Çizelge 5.1 : Maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvvetleri ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                                                         | 80  |
| Çizelge 5.2 : Maksimum hız ve ivme değerleri ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                                                                     | 82  |
| Çizelge 5.3 : Maksimum kontrol değerleri ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                                                                         | 84  |
| Çizelge 5.4 : Maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvvetleri ( $f_{ck}=16$ MPa). ....                                                         | 86  |
| Çizelge 5.5 : Maksimum hız ve ivme değerleri ( $f_{ck}=16$ MPa). ....                                                                     | 89  |
| Çizelge 5.6 : Maksimum kontrol değerleri ( $f_{ck}=16$ MPa). ....                                                                         | 89  |
| Çizelge 6.1 : Betonarme çerçeve yapıların maksimum kuvvet değerleri. ....                                                                 | 93  |
| Çizelge A.1 : Düzce (1999) depremi ilaveli Bolu kaydı altında tek katlı düzensiz<br>yapının analizlerinin maksimum sonuçları. ....        | 104 |
| Çizelge A.2 : Erzincan (1992) depremi ilaveli Erzincan kaydı altında tek katlı<br>düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları. .... | 105 |
| Çizelge A.3 : Northridge (1994) depremi ilaveli Sylmar kaydı altında tek katlı<br>düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları. .... | 106 |
| Çizelge A.4 : 1.5 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının<br>analizlerinin maksimum sonuçları. ....               | 107 |
| Çizelge A.5 : 3 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının<br>analizlerinin maksimum sonuçları. ....                 | 108 |
| Çizelge A.6 : 0.3 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının<br>analizlerinin maksimum sonuçları. ....               | 109 |

|                       |                                                                                                                                                                    |     |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge B.1 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1). ..                             | 110 |
| <b>Çizelge B.2 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1). .....                            | 111 |
| <b>Çizelge B.3 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1). .....            | 111 |
| <b>Çizelge B.4 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1). .....              | 112 |
| <b>Çizelge B.5 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2). ..                             | 112 |
| <b>Çizelge B.6 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2). .....                            | 113 |
| <b>Çizelge B.7 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2). .....            | 113 |
| <b>Çizelge B.8 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2). .....              | 114 |
| <b>Çizelge B.9 :</b>  | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3). ..                             | 114 |
| <b>Çizelge B.10 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3). .....                            | 115 |
| <b>Çizelge B.11 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3). ..... | 115 |
| <b>Çizelge B.12 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3). .....   | 116 |
| <b>Çizelge B.13 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4). ..                             | 116 |
| <b>Çizelge B.14 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4). .....                            | 117 |
| <b>Çizelge B.15 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4). ..... | 117 |
| <b>Çizelge B.16 :</b> | İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4). .....   | 118 |
| <b>Çizelge C.1 :</b>  | Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1). ..                              | 119 |
| <b>Çizelge C.2 :</b>  | Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1). .....                             | 120 |
| <b>Çizelge C.3 :</b>  | Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1). .....             | 120 |
| <b>Çizelge C.4 :</b>  | Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1). .....               | 121 |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Çizelge C.5 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2)..                               | 121 |
| <b>Çizelge C.6 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2).....                              | 122 |
| <b>Çizelge C.7 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2). ....             | 122 |
| <b>Çizelge C.8 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2). ....               | 123 |
| <b>Çizelge C.9 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3)..                               | 123 |
| <b>Çizelge C.10 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3).....                             | 124 |
| <b>Çizelge C.11 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3). .... | 124 |
| <b>Çizelge C.12 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3). ....   | 125 |
| <b>Çizelge C.13 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).125                            |     |
| <b>Çizelge C.14 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).....                             | 126 |
| <b>Çizelge C.15 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4). .... | 126 |
| <b>Çizelge C.16 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4). ....   | 127 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Doğrultu ve sıçrama titreşimleri.....                                                                                      | 10 |
| Şekil 2.2 : Hall ve diğerleri tarafından tanımlanmış basitleştirilmiş yer hareketi titreşimleri. ....                                  | 12 |
| Şekil 2.3 : 1992 Landers depreminin Lucerne Valley kaydının basitleştirilmiş titreşimleri. ....                                        | 14 |
| Şekil 2.4 : P1, P2 ve P3 titreşimleri.....                                                                                             | 15 |
| Şekil 2.5 : Düzeltilmiş P1 titreşimi.....                                                                                              | 16 |
| Şekil 3.1 : PID kontrolcünün blok diyagramı.....                                                                                       | 19 |
| Şekil 3.2 : Tek serbestlik dereceli sistem ve kuvvet değişimi.....                                                                     | 21 |
| Şekil 3.3 : Üç serbestlik dereceli düzlem yapı için kablo yerleşim durumları. ....                                                     | 22 |
| Şekil 3.4 : Durum B’de oluşan kontrol kuvvetleri(Binanın tek yüzünde oluşan). ....                                                     | 23 |
| Şekil 3.5 : Tek katlı burulma düzensizliği oluşan yapının üç boyutlu ve plan görünümüleri. ....                                        | 26 |
| Şekil 3.6 : Aktif tendon kontrollü sistemin üç boyutlu görünümü. ....                                                                  | 28 |
| Şekil 3.7 : Bir yüzde bulunan kablolardaki yük değişimi.....                                                                           | 28 |
| Şekil 3.8 : Aktif tendon kontrollü çok katlı yapı modelleri.....                                                                       | 34 |
| Şekil 3.9 : Düzce depremi Bolu Kaydının kullanılan verileri. ....                                                                      | 36 |
| Şekil 3.10 : Erzincan depremi Erzincan kaydının kullanılan verileri.....                                                               | 38 |
| Şekil 3.11 : Northridge depremi Sylmar kaydının kullanılan verileri .....                                                              | 39 |
| Şekil 3.12 : Düzce depremi Bolu kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri. .                                                        | 40 |
| Şekil 3.13 : Erzincan depremi Erzincan kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri.....                                               | 40 |
| Şekil 3.14 : Northridge depremi Sylmar kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri.....                                               | 41 |
| Şekil 3.15 : Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin blok diyagramı.....                                                            | 42 |
| Şekil 3.16 : Aktif tendonlu tek serbestlik dereceli modelin blok diyagramı. ....                                                       | 43 |
| Şekil 3.17 : Tek katlı burulma düzensizliği oluşan kontrollü yapının Simulink blok diyagramı.....                                      | 45 |
| Şekil 3.18 : Kullanılan nümerik algoritmanın akış diyagramı.....                                                                       | 47 |
| Şekil 4.1 : Tek serbestlik dereceli yapının transfer fonksiyonu grafiği.....                                                           | 49 |
| Şekil 4.2 : Tek serbestlik dereceli yapının darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş yerdeğiştirme grafikleri.....                  | 51 |
| Şekil 4.3 : Tek serbestlik dereceli yapının Northridge SYL360 altında elde edilmiş yerdeğiştirme ve toplam ivme grafiği. ....          | 52 |
| Şekil 4.4 : Üç serbestlik dereceli yapının transfer fonksiyonu grafikleri. ....                                                        | 53 |
| Şekil 4.5 : Üç serbestlik dereceli yapının darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş 1.kat yerdeğiştirme grafikleri.....             | 55 |
| Şekil 4.6 : Üç serbestlik dereceli yapının Northridge SYL360 altında elde edilmiş 1. kat yerdeğiştirme ve toplam ivme grafikleri. .... | 55 |
| Şekil 4.7 : Tek katlı düzensiz yapının transfer fonksiyonu grafikleri.....                                                             | 58 |

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8 :</b> Tek katlı düzensiz yapının yerdeğiştirme grafikleri (El Centro 1940 kaydı etkisi altında zaman gecikmesi olmadan-Durum 1).....                      | 60 |
| <b>Şekil 4.9 :</b> Tek katlı düzensiz yapının arttırılmış Northridge- Sylmar kaydı altında $x$ yönündeki yerdeğiştirme grafikleri. ....                                | 63 |
| <b>Şekil 4.10 :</b> İlaveli Erzincan depremi etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki birinci kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 1).....                                 | 66 |
| <b>Şekil 4.11 :</b> 0.5s periyotlu titreşim etkisi altında elde edilen $y$ yönündeki birinci kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 1).....                                  | 66 |
| <b>Şekil 4.12 :</b> Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 1). ....                                                                                    | 67 |
| <b>Şekil 4.13 :</b> İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki yerdeğiştirme grafiği (DURUM 2).....                                     | 68 |
| <b>Şekil 4.14 :</b> İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki yerdeğiştirme değerlerinin Fourier dönüşümü (DURUM 2).....               | 68 |
| <b>Şekil 4.15 :</b> Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 2). ....                                                                                    | 69 |
| <b>Şekil 4.16 :</b> İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki ikinci kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 3).....                          | 70 |
| <b>Şekil 4.17 :</b> Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 3). ....                                                                                    | 71 |
| <b>Şekil 4.18 :</b> İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen yerdeğiştirme grafikleri (DURUM 4). ....                                               | 72 |
| <b>Şekil 4.19 :</b> Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 4). ....                                                                                    | 73 |
| <b>Şekil 4.20 :</b> 1.5 s periyotlu darbe titreşimleri etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki üçüncü kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 4). ....                       | 75 |
| <b>Şekil 4.21 :</b> 1.5 s periyotlu darbe titreşimleri etkisi altında elde edilen $x$ yönündeki üçüncü kat yerdeğiştirme değerlerinin Fourier dönüşümü (DURUM 4). .... | 75 |
| <b>Şekil 4.22 :</b> Üç katlı burulma düzensizliği olan yapının birinci katı için transfer fonksiyonu grafikleri. ....                                                  | 76 |
| <b>Şekil 5.1 :</b> Betonarme Çerçeve Yapı.....                                                                                                                         | 77 |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında katlardaki kesme kuvveti değerleri ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                            | 81 |
| <b>Şekil 5.3 :</b> Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında birinci kat yerdeğiştirme grafiği ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                             | 82 |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Transfer fonksiyonu grafikleri ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                                                                                             | 83 |
| <b>Şekil 5.5 :</b> Northridge depreminin SYL360 kaydının arttırılmış etkisi altında taban kesme ve toplam kontrol kuvveti ( $f_{ck}=14$ MPa). ....                     | 85 |
| <b>Şekil 5.6 :</b> Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında birinci kat yerdeğiştirme grafiği ( $f_{ck}=16$ MPa). ....                             | 87 |
| <b>Şekil 5.7 :</b> Transfer fonksiyonu grafikleri ( $f_{ck}=16$ MPa). ....                                                                                             | 88 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                |                                                                        |
|----------------|------------------------------------------------------------------------|
| $M_w$          | : Maksimum moment büyüklüğü                                            |
| $N_a$          | : İvme faktörü                                                         |
| $N_v$          | : Hız faktörü                                                          |
| $a_g(t)$       | : Yer ivmesi                                                           |
| $V_g(t)$       | : Yer hızı                                                             |
| $d_g(t)$       | : Yerin yerdeğiştirmesi                                                |
| $t$            | : zaman                                                                |
| $V_p$          | : Maksimum tepe yer hızı                                               |
| $T_p$          | : Yakın fay titreşiminin periyodu                                      |
| $\omega_p$     | : Yakın fay titreşiminin frekansı                                      |
| $n$            | : Yakın fay denklemlerinde salınım sayısı                              |
| $\varphi$      | : Faz açısı                                                            |
| $\phi$         | : Doğrultu açısı                                                       |
| $e(t)$         | : Hata sinyali                                                         |
| $u(t)$         | : Kontrol sinyali                                                      |
| $K_p$          | : Orantı kazancı veya orantı sabiti                                    |
| $T_i$          | : İntegral zamanı                                                      |
| $T_d$          | : Türev zamanı                                                         |
| $m_i$          | : $i$ 'inci katın kütlesi                                              |
| $k_i$          | : $i$ 'inci katın rijitlik katsayısı                                   |
| $c_i$          | : $i$ 'inci katın sönüm katsayısı                                      |
| $\ddot{x}_g$   | : $x$ yönünde deprem ivmesi                                            |
| $\ddot{y}_g$   | : $y$ yönünde deprem ivmesi                                            |
| $k_c$          | : Kablonun rijitlik katsayısı                                          |
| $\alpha$       | : Kabloların yatay ile arasındaki açı                                  |
| $x_i$          | : $i$ 'inci katın yerdeğiştirmesi                                      |
| $\mathbf{M}_x$ | : Yapının $x$ yönünde kütle matrisi                                    |
| $\mathbf{M}_y$ | : Yapının $y$ yönünde kütle matrisi                                    |
| $x(t)$         | : Yapının yerdeğiştirme vektörü                                        |
| $\dot{x}(t)$   | : Yapının hız vektörü                                                  |
| $\ddot{x}(t)$  | : Yapının ivme vektörü                                                 |
| $[b]$          | : Birim vektör                                                         |
| $u_i$          | : Her kat için kontrol sinyali                                         |
| $T_i$          | : Yapının $i$ 'inci periyodu                                           |
| $e_x$          | : Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki uzaklık ( $x$ yönünde) |
| $e_y$          | : Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki uzaklık ( $y$ yönünde) |
| $B_x$          | : Kütle merkezinin yerini ifade eden uzaklık ( $x$ yönünde)            |
| $B_y$          | : Kütle merkezinin yerini ifade eden uzaklık ( $y$ yönünde)            |
| $l_x$          | : Yapının $x$ doğrultusundaki uzunluğu                                 |
| $l_y$          | : Yapının $y$ doğrultusundaki uzunluğu                                 |
| $\mathbf{M}$   | : Yapının kütle matrisi                                                |

|                      |                                                                       |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>K</b>             | : Yapının rijitlik matrisi                                            |
| <b>C</b>             | : Yapının sönüm matrisi                                               |
| <b>E</b>             | : Dış etki konum matrisi                                              |
| $\ddot{z}(t)$        | : İki yöndeki deprem ivmelerini içeren vektör                         |
| $k_{xi}$             | : $i$ 'inci katta $x$ yönündeki rijitlikler                           |
| $k_{yi}$             | : $i$ 'inci katta $y$ yönündeki rijitlikler                           |
| $k_{\theta i}$       | : $i$ 'inci katta $\theta$ yönündeki rijitlikler                      |
| $J_0$                | : Kütle polar atalet momenti                                          |
| $r$                  | : Yapının kütlelerinin atalet yarıçapı                                |
| $\alpha, \beta$      | : Rayleigh metodu katsayıları                                         |
| $\omega_x$           | : $x$ yönünde doğal frekans                                           |
| $\omega_y$           | : $y$ yönünde doğal frekans                                           |
| $\zeta_x$            | : $x$ yönünde sönüm oranı                                             |
| $\zeta_y$            | : $y$ yönünde sönüm oranı                                             |
| <b>R</b>             | : Öngerilme kuvveti                                                   |
| $\theta_t$           | : Tek katlı düzensiz yapıda kablonun yatay eksen ile arasındaki açısı |
| <b>B</b>             | : Tendon konum matrisi                                                |
| $U(t)$               | : Tendon yerdeğiştirme vektörü                                        |
| $\theta_{tx}$        | : $x$ yönünde bulunan kabloların yatay eksen ile arasındaki açı       |
| $\theta_{ty}$        | : $y$ yönlerinde bulunan kabloların yatay eksen ile arasındaki açı    |
| <b>J<sub>0</sub></b> | : Kütle polar atalet momenti matrisi                                  |
| $u_{ij}(t)$          | : Açıklığa ve kata göre kontrol sinyali                               |
| $Q_{1i}$             | : Runge Kutta adımları                                                |
| $h$                  | : Adım sayısı                                                         |
| $TF_x$               | : $x$ yönünde transfer fonksiyonu                                     |
| $TF_y$               | : $y$ yönünde transfer fonksiyonu                                     |
| $TF_{r\theta}$       | : $r\theta$ yönünde transfer fonksiyonu                               |
| $f_{ck}$             | : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı                      |
| $N_{dm}$             | : Eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü                              |
| $A_w$                | : Kolon enkesiti etkin gövde alanı                                    |
| $V_e$                | : Kesme kuvveti                                                       |
| $f_{cd}$             | : Betonun tasarım basınç dayanımı                                     |

## **YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILARDA AKTİF TENDONLAR İLE YANAL YER DEĞİŞTİRME VE BURULMA KONTROLÜ**

### **ÖZET**

Bu tezde aktif tendon kontrol sistemi, düzlem ve burulma düzensizliği bulunan uzay yapılara ilave edilmiştir. Bu yapılar yakın fay etkileri altında incelenmiştir. Aktif tendon kontrol sistemi diyagonal olarak yerleştirilen öngerilmeli çelik kablolardan, makaralardan, dinamik verenlerden, kontrol aletlerinden ve sensörlerden oluşmaktadır. Diyagonal kirişler gibi sistemlerle karşılaştırıldığında, aktif tendon kontrol sistemi daha estetikdir.

Yakın fay yer hareketleri iki tür darbe titreşimi içermektedir. Bunlar faya dik olan doğrultu titreşimleri ve faya paralel olan sıçrama titreşimleridir. Doğrultu titreşimleri, büyük genlikli ve uzun periyotlu yer hızları ile ifade edilmektedir. Sıçrama titreşimleri ise, kalıcı yerdeştirmelerdir.

Deprem kayıtlarına darbe titreşimleri ilave edilip, analizler yapılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları 1999 Düzce depreminin Bolu kaydı, 1992 Erzincan depreminin Erzincan kaydı ve 1994 Northridge depreminin Sylmar kaydıdır. Ayrıca yapılar sadece darbe tipi titreşimler altında da incelenmiştir.

Aktif kontrol sistemi, ilk önce tek ve çok serbestlik dereceli düzlem yapılar için uygulanmıştır. Ayrıca, gerçek boyutlu bir betonarme düzlem çerçeve, metodun uygulanabilirliğini araştırmak için incelenmiştir.

Esas olarak, tek katlı burulma düzensizliği bulunan yapı ve bu yapının iki ve üç katlı halleri aktif tendon kontrolü uygulaması için incelenmiştir. Çok serbestlik dereceli yapılar için çeşitli tendon yerleşim durumları da incelenmiştir.

Hareket denklemleri Matlab Simulink ile modellenmiş ve Runge-Kutta metodu ile çözülmüştür. Analizlerde 20 ms zaman gecikmesinin var olduğu kabul edilmiştir.

Orantı+integral+türev (PID) tipi kontrolcüler ile hata sinyalleri, kontrol sinyaline çevrilmiştir. Hata sinyali düzenlenmek istenen değerdir. PID kontrolcünün performansını belirleyen katsayılar, bir nümerik algoritmanın yardımı ile bulunmuştur. Kontrolcü katsayıları, orantı sabiti ( $K_p$ ), integral zamanı ( $T_i$ ) ve türev zamanı ( $T_d$ ) olarak adlandırılmıştır. Kullanılan nümerik algoritma, deneme yanılma ile bulunan kontrolcü parametrelerinin etrafındaki değerler ile analizler yaparak, istenilen bir yapı tepkisinin en iyi sonucunu bulma prensibine dayanmaktadır.

Periyodu 0.288 s olan tek serbestlik dereceli düzlem yapının 32.11 dB olan transfer fonksiyonunun maksimum değeri, aktif kontrol ile 20.63 dB değerine düşmüştür. Maksimum yapısal yerdeştirmeler, kontrolsüz durumun %53'üne kadar düşmüştür. Aktif kontrollü yapıda oluşan titreşimler, kontrolsüz yapıya göre daha çabuk sönümlenmektedir.

Düzlem çok serbestlik dereceli yapının üç farklı yerleşim durumu incelenmiştir. Durum A'da sadece yapının aşağı katında aktif kontrol bulunurken, diğer durumlar

olan B ve C’de tüm üç kat da kontrol edilmektedir. Durum B’de her katta aktif kontrol sistemi bulunurken, Durum C’de tüm katlara aşağıdan uzanan aktif tendonlar bulunmaktadır. Durum C’de kablo üzerindeki tüm kuvvetler tabana aktarılmaktadır. Durum A’ya göre kontrol edilen yapıda, kat sırasına göre maksimum yerdeğiştirmeler kontrolsüz durumda oluşanların %85, %86 ve %87’sine kadar dūřmūřtur. Dięer iki yerleşim durumunda, ilaveli deprem kayıtları altında oluşan maksimum yerdeğiştirmeler her katta %32’ye kadar azalmıştır.

İncelenen gerçek boyutlu betonarme yapının, çeşitli beton sınıfları için maksimum taban kesme kuvveti değerinin deprem yönetmeliğinde onerilen değerlere indirilmesi amaçlanmıştır. Bu işlem yapılırken, kablolardan gelen ek kuvvet ile kolonların eksenel yük taşıma kapasitesi aşılmamalıdır. Bu durumda 14 MPa ve üzeri beton dayanımına sahip yapılara, kolonlara ek güçlendirme yapmaksızın aktif tendon kontrol sistemi uygulanabilmektedir.

Tek katlı burulma düzensizliği bulunan yapı, El Centro deprem kaydı ile de analiz edilmiştir ve elde edilen sonuçlar, başka bir kontrol prensibine göre kontrol edilen sistem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sadece  $x$  doğrultusunda tek yüzde aktif kontrolün olduğu ilk durumda,  $x$  doğrultusundaki maksimum yerdeğiştirme 1.22 cm değerine dūřmūřtur. Bu durumda yataydaki maksimum kontrol kuvveti 2491.1 N değerindedir ve bu değer diğer kontrol prensibine göre daha iyidir. Maksimum yerdeğiştirmenin bu seviyelere inmesi için diğer kontrol prensibinde daha fazla kuvvete ihtiyaç vardır. İkinci durumda  $x$  ve  $y$  doğrultularında tek yüzde aktif kontrol bulunurken, nc durumda tüm yüzlerde aktif kontrol bulunmaktadır. Aktif kontrol uygulanan yüzlerin artması, özellikle yapının burulmasının kontrolünde ciddi etkisi olmaktadır. İlaveli deprem kayıtları altında,  $x$  yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler ilk iki durumda %35 ve son durumda ise %41 oranlarına kadar dūřmektedir.

Çok katlı burulma düzensizliği bulunan iki ve üç katlı yapılar dört yerleşim durumu için incelenmiştir. İlk iki durumda, sadece aşağı katta aktif kontrol bulunurken, diğer durumlarda tüm katlarda aktif kontrol bulunmaktadır. Birinci ve nc yerleşim durumlarında sadece rijitlik merkezinden uzakta bulunan yüzlerde aktif kontrol bulunmaktadır. Diğer durumlarda, yapının dört yüzünde de aktif kontrol bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, çok katlı burulma düzensizliği oluşan yapının aktif tendonlar ile kontrolü başarılı ve uygulanabilirdir.

Aktif tendon kontrolünün uygulandığı açıklıklar arttıķa, maksimum sonuçlarda daha iyi dūřmeler elde edilse de, toplam kontrol kuvveti artmaktadır. Buna rağmen, açıklık başına dūřen kontrol kuvveti azalmaktadır.

Burulma düzensizliği bulunan yapılarda, aktif tendonlar burulma etkilerinin dūřrlmesinde yanal yerdeğiştirmelere göre daha etkili olmaktadır. Bundan dolayı, bu yaklaşım burulma düzenliği üzerinde etkilidir.

Kontrol sistemi, ilaveli deprem kayıtları altında yapılan analizlerde, darbe tipi titreşimler altında yapılan analizlere göre daha etkindir. Sonuç olarak, aktif tendon kontrol sistemi başarılı ve uygulanabilir bir yntemdir.

# **LATERAL DISPLACEMENT AND TORSION CONTROL OF STRUCTURES WITH ACTIVE TENDONS UNDER NEAR FAULT EFFECTS**

## **SUMMARY**

In this thesis, active tendon control systems are implemented to regular plane and torsionally irregular space structures. These structures are subjected to near fault effects. Diagonal prestressed steel cables, pulleys, actuators, controller devices and sensors are the components of the active tendon control systems. This vibration control systems are also more aesthetic compared to systems like diagonal braces.

Near fault ground motions contain two important impulsive motions such as directivity effect perpendicular to fault and flint step parallel to fault. Directivity effect represents ground velocity pulses with long period and large amplitude. Flint step represents permanent ground displacement.

Most of the seismic energy arrives at the site within a short time when the fault rapture propagates towards the site at a velocity close to the shear wave velocity in the event called forward directivity. Directivity pulses caused significant damages on civil structures during past earthquakes.

At the analysis, active controlled structural models were numerically simulated under strong ground motions superimposed with impulsive pulses. Bolu record of Duzce (1999), Erzincan record of Erzincan (1992) and Sylmar record of Northridge (1994) earthquakes were used at the numerical analysis.

Also, structures were analysed only under two types of pulses in order to see the performance of control system against impulsive motions. Peak ground velocity (PGV) of impulsive motions is 230 cm/s for 1.5 s and 3 s periods. In addition to that, structures were analysed under impulsive motions with a period near to the structural natural period and the PGV is 50 cm/s for that excitations.

First, active control system was verified with single degree of freedom (SDOF) and multiple degree of freedom (MDOF) regular plane structures from several academic papers. Several location combinations of tendons were investigated for the MDOF model. In addition to these model structures, a real size three storey reinforced concrete frame structure was numerically controlled in order to check the proposed method for a real application.

Then, a single storey torsionally irregular structure was analysed. The analyses were continued by using two and three storey versions of this structure.

Motions of structures were modelled at Matlab Simulink for time and frequency domain analyses. Runge-Kutta method with  $1e-3$  step size was employed in order to solve the equations numerically.

Time delay factor was also taken into consideration. Amount of the time delay is a value related to the performance of control system. The time delay was assumed as 20 ms at the analysis of controlled structures.

Proportional Integral Derivative (PID) type controllers were used in order to obtain control signal data,  $u(t)$ . Control signal is also the displacement of the activators. PID type controllers transform error signal to control signal. Error signal is the undesired response obtained by using sensors.

In the PID control, there are three actions. P-action is important for increasing the speed of control response. D-action is effective on damping. I-action is proposed for eliminating steady-state error. All these actions are represented by coefficients in the equation of PID control. These coefficients are  $K_p$  (Proportional gain),  $T_i$  (Integral time) and  $T_d$  (Derivative time).

The performance of the control system is related to the tuning of these coefficients. After several trials, a numerical algorithm was used for the tuning of these coefficients.

The objective of the algorithm is to check neighbouring values of trial results in order to obtain the best results for peak value of a desired structural response. In numerical analyses, stability problem may occur for the analysis with several controller coefficients. Thus, trials must be done for these coefficients before using the numerical algorithm. Also, checking of the whole domain will take too much time.

The period of the SDOF plane structure is 0.288 s. By choosing the displacement of the structure as error signal, controller parameters;  $K_p$ ,  $T_d$  and  $T_i$  were found as -0.12, 0.15s and 0.035s, respectively for the SDOF structure. Peak value of transfer function, which represents the resonance state of the structure, is reduced to 20.63 dB from 32.11 dB with active control. Peak structural displacements are reduced up to 53% of uncontrolled displacements with the help of the active tendons. Also, peak velocity values are reduced significantly. According to the analysis conducted under impulsive motions, active controlled SDOF structure is damped quickly than uncontrolled, so total potential energy is very low for the controlled one. Peak displacement is reduced to 0.0361 m from 0.0647 m and peak total acceleration is reduced to 21.09 m/s<sup>2</sup> from 30.71 m/s<sup>2</sup> under superimposed Northridge Sylmar record.

Three cases of MDOF systems were investigated. Active tendons are only at the first floor in Case A. In other cases, active tendons are at all floors but in Case C, all tendons lie from ground to floor level.

In Case B, forces acting from tendons are reduced because of the reaction forces. All reaction forces are supported by the ground in Case C, but it is not practical to apply. Pre-stressed tendons are very long and all of the actuators are at the base. Because of the increasing tendon angles, the control force is getting lower at upper floors.

Critical period of MDOF structure is 0.45 s. By using the same procedure used for SDOF structure, the controller coefficients were found. For Case A,  $K_p$ ,  $T_d$  and  $T_i$  were found as -0.01, 0.7 s and 0.04 s, respectively. For Cases B and C, resultant control forces were taken same for all floors. Thus,  $T_d$  and  $T_i$  are the same for all control systems, but proportional gain ( $K_p$ ) values must be set differently. The smallest absolute value of  $K_p$ ,  $T_d$  and  $T_i$  were found as 0.013, 0.7 s and 0.01 s, respectively for Cases B and C. The  $K_p$  is negative in value.

In the analyses of MDOF structure, peak storey displacements are reduced up to 85%, 86% and 87% of uncontrolled displacements from first to top floor, respectively at Case A. For Cases B and C, peak displacements are reduced up to 68% for all floors under superimposed ground motions. Under flint step excitation with 3 s period, peak storey displacements are reduced up to 85%, 86% and 87% of uncontrolled displacements from first to top floor, respectively. Maximum control forces are 5.03 kN, 19.76 kN and 12.51 kN for Cases A, B and C, respectively.

The reinforced concrete (RC) frame structure was investigated for different characteristic strengths of concrete. The aim of the application is to reduce maximum base shear force values without exceeding the axial force capacity of the columns. The active tendon control is applicable to the RC structure with 14 MPa concrete strength or higher. Additional retrofit applications must be done in order to add active tendon control to the structure with lower concrete strength than 14 MPa.

Single storey torsionally irregular structure was also analysed under El Centro ground motion and the results were compared with the study using another control strategy. Error signal was chosen as the velocity of structure at  $x$  direction for the side far from the center of rigidity.

For the first control case, there are only active tendons at  $x$  direction in a single side of the building. In this case, the displacement at the  $x$  direction is 1.22 cm for PID controlled structure under El Centro earthquake by using maximum 2491.1 N control force without time delay. For the other control strategy, the maximum control force is higher in order to obtain similar performance.

Active tendons are positioned to one side of the structure for each direction at the second case. The third case contains active tendons at all four sides. The increase of the numbers of active tendon locations is directly related to performance of the system, especially for torsional control. Under superimposed ground motions, the reduction of structural displacements at  $x$  direction are 35% for the first two cases and 41% for the third one.

The amount of the total control force for the cases with more active control at the spans is higher. In contrast, the performance on reducing vibration increase and this total control force is divided to smaller forces in spans.

Also, different tendon cases were inspected for multi storey torsionally irregular structures. In the first two cases, the active tendons were placed to just only to the first storey of the structure. In other two cases, active tendon systems are applied to all floors. In addition to that, the active tendon control systems are placed to two spans far to the center of rigidity in the first and the third cases. For the second and fourth cases, all four spans are reinforced with active tendons.

According to analyses results of multi storey torsionally irregular structure, the control concept is significantly effective on reducing maximum responses and is a great support for the structure in obtaining a steady state response.

The reduction of peak transfer function values of multi storey structures improves that the control system is optimally tuned. As expected, the transfer function values at resonance states are significantly reduced with the increase of active tendon control applied spans.

For torsionally irregular structures, the active tendons are more effective on reducing the effects of torsion than lateral movements. For that reason, this approach is effective on the torsional irregularity.

The control system is more robust for superimposed ground motions than impulsive motions. As a conclusion, the active tendon control is a feasible and applicable method for the seismic control of structures.

## 1. GİRİŞ

Kontrol sistemleri, yapıların da içinde bulunduğu birçok mekanik sisteme uygulanabilmektedir. Yapılarda, doğa ve insan tarafından etki eden çeşitli dış etkenler sonucunda oluşan titreşimlerin sönümlenmesi kontrol sistemleri ile mümkün olmaktadır. Yapıda, maksimum güvenlik ve konforun sağlanması için oluşan titreşimlerin minimum seviyelere indirilmesi gerekmektedir. Teknolojinin gelişimi ile birlikte kontrol sistemlerin uygulanabilirliği daha mümkün bir duruma gelmiştir.

Verilen bir doğrultuda yönünü bir defadan fazla değiştiren harekete, titreşim hareketi denir. Titreşime maruz kalan sistem, belirlenen bir konumdan aynı hareket koşullarında eş zamanlı aralıklarında yeniden geçiyorsa, titreşime harmonik titreşim denir; verilen konumdan farklı zaman aralıklarında geçmiyorsa harmonik olmayan titreşim denir. Bir dinamik sistemde, titreşim hareketleri zaman ilerledikçe sönümleniyorsa sistem kararlıdır. Titreşim hareketi, sönümlenmeden devam ediyorsa sistem yarı kararlı veya zaman içinde artıyorsa, sistem kararsızdır. Kontrol sistemlerinin yardımı ile kontrol edilen sistemlerin davranışının kararlı olması sağlanabilir.

Bir sistemdeki verilerin belirlenen büyüklükleri sağlaması veya öngörülen değişimler içinde gerçekleşmesi için yapılan denetimlere kontrol denir. Kontrol işlemlerinde, gerekli büyüklükler, bir kontrol sistemi tarafından, insan girişimi olmadan denetlenip istenen sınırlarda tutulmasını sağlayan prensibe otomatik kontrol denir. Otomatik kontrol sistemlerinde, bir sistemin çıkışındaki büyüklükleri veya çıkıştaki davranışları, bozucu değişkenlerin etkisine rağmen, öngörülen değerlerde tutmak üzere kurulan sisteme kontrol sistemi denir.

Kapalı ve açık çevrimli olmak üzere iki tür kontrol sistemi bulunmaktadır. Bir otomatik kontrollü sistemde, sistem çıkışından elde edilen büyüklüklerin, sistem girişine etkileri olmuyorsa, bu tür sistemlere açık çevrimli kontrol sistemi denilir. Kapalı çevrimli kontrol sisteminde, sistem çıkışında elde edilen büyüklükler, sürekli olarak ölçülüp, referans değerle karşılaştırılıp ( $\pm$ ) hata miktarı belirlenir. Bu farkı

sönümlemek üzere, sistem girişine gerekli etki uygulanır. Böylece, bu sistemdeki sistem çıkışı büyüklüğü, sistem girişini ara elemanlar üzerinden etkisi altına almış bulunur. Yapılar için kullanılan aktif kontrol sistemleri, kapalı çevrimli kontrol sistemleridir.

Yapısal kontrol sistemleri genel olarak ikiye ayrılır. Bunlar pasif ve aktif sistemlerdir. Bunların yanında yarı aktif ve karışık (hibrid) sistemler de bulunmaktadır.

Pasif sistemler, mekanik bileşenleri ile istenmeyen titreşimlerin sönümlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Yüksek teknolojik malzemelerin kullanımı ile pasif sistemlerin önemi özellikle mevcut yapıların güçlendirilmesi için artmaktadır. Eğilmeli çelik sönümleyiciler, taban izolasyon sistemleri ve kütle sönümleyiciler pasif sistemlere örnek gösterilebilir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan lifli polimer (FRP) gibi kompozit malzemeler ile yapılan güçlendirme teknikleri de yapısal pasif kontrol tekniklerinden sayılmaktadır. Ayrıca betonarme perdeler de pasif sistem olarak düşünülebilir. Özellikle, mekanik elemanlarının özellikleri optimum olarak belirlenmiş pasif kütle sönümleyicileri, sismik etkiler sonucunda oluşan titreşimlerin azalmasında önemli rol oynamaktadır [1-4].

Yapı, değişken tahriklere maruz kaldığında, pasif kontrol sistemleri yetersiz kalabilir. Özellikle yakın fay kaynakları büyük hız titreşimleri üretmektedir. Bu durumda yapıya etki eden kontrol kuvvetinin zamanla otomatik olarak değişmesi daha etkin bir fayda sağlayacaktır. Yapısal aktif kontrol sistemleri zamana göre değişken kuvvetleri, dinamik verenler sayesinde elde ederler. Böylelikle, aktif kontrollü yapılardaki titreşimler yüksek etkili depremler altında bile hemen kararlı hale geçmektedir. Aktif kontrol sistemlerine örnek olarak, aktif kütle sönümleyicileri, aktif tendon kontrol sistemleri, aktif destek kontrol sistemleri ve aktif kontrollü taban izolasyon sistemleri gösterilebilir. Fakat aktif sistemler maliyetli olabilir ve fazla miktarda enerjiye ihtiyaç duyulabilir. Deprem esnasında enerji ihtiyacı sorun olabilir. Onun için bu konuda önlemler alınmalıdır. Tüm olumsuz koşullara rağmen, önemli yapılar için aktif kontrol gerekli olabilir.

Yarı aktif kontrol sistemleri, aktif kontrol sistemlerinin bir sınıfı olarak ele alınabilir. Aktif kontrol sistemlerine göre daha az büyüklükte enerji gerektirir. Bu sistemler pil ile çalıştırılabilmektedir ve böylece binadaki elektrik kesintilerinden etkilenmez.

Üzerinde en çok çalışılan yarı aktif kontrol sistemi, MR sönümleyicilerin kullanımudur. Yarı aktif sistemlerin başarımı pasif sistemlerden iyidir, fakat aktif sistemlerin altındadır.

Aktif ve pasif sistemlerin birleşiminden oluşan sistemlere karışık (hibrid) sistemler denir. Aktif kontrol sistemleri ile arasındaki fark gereken dış enerji miktarıdır. Ayrıca, binanın güç kaynağı kesildiği durumda karışık kontrol sistemleri, mekanik elemanları yardımıyla işlevine devam eder.

### **1.1 Tezin Amacı**

Deprem etkisi altındaki simetrik yapılarda, yalnızca yatay yerdeğiştirme hareketlerinin kontrol edilmesi teorik olarak yeterli görülmektedir ve önceden yapılan kontrol çalışmaları genelde simetrik yapıları kapsamaktadır. İnşa edilen yapıların büyük çoğunluğu simetrik değildir. Planda asimetrik olan yapılarda, deprem etkileri altında burulma meydana gelmektedir. Oluşan burulmanın da kontrol sistemleri ile sönümlenmesi çok büyük fayda sağlayacaktır. Ayrıca, simetrik yapılarda farklı yükleme durumlarından dolayı burulma düzensizliği meydana gelebilmektedir. Bu durumun da göz önüne alınması, kontrol sisteminin performansını en uygun duruma getirecektir.

Bu tezde, düzlem ve planda düzensiz yapı modelleri aktif tendonlar ile nümerik olarak kontrol edilmiştir. Kontrol sistemi, öngerilmeli kablolar, makaralar, dinamik verenler, kontrol aleti ve sensörlerden meydana gelmektedir. Kontrol sistemi olarak orantı+integral+türev (PID) tipi kontrolcüler kullanılmıştır.

### **1.2 Literatür Araştırması**

Bu bölümde daha önce yapılmış olan aktif kontrol çalışmalarına kısaca değinilmiştir.

Roorda, türbülanslı rüzgâr etkisi altında bulunan kuleler için bir aktif tendon kontrolü sistemi önermiştir. Analizlerinde kule tipi yapıları, konsol kiriş olarak modellemiştir [5].

Yang ve Giannopoulos, transfer matris tekniğini kullanarak ve yüksek yapıları konsol kirişlere benzeterek, aktif tendon kontrol sistemini incelemişlerdir [6].

Abdel-Rohman ve Leipholz, kalıcı durumdaki türbülansa maruz kalan çerçeve yapılar için aktif tendonlar ile kontrolü incelemiştir. Sistemde kullanılan kablolar üzerinde öngerilme kuvveti bulunmamaktadır ve bu durumda sadece kablodaki çekme kuvvetinden yararlanabilmektedir [7].

Yang ve Samali, zaman tanım alanında durağan, uzayda homojen olmayan rüzgar akımları etkisi altındaki yüksek yapıların aktif kontrolü üzerine araştırmalar yapmışlardır. Aktif tendon kontrolü ve aktif kütle sönümleyicileri ile yapının ivme tepkisinin önemli ölçüde düşürüldüğünü ileri sürmüşlerdir [8].

Leipholz ve Abdel-Rohman, öngerilmeli aktif kablolar kullanarak, yüksek yapıların rüzgâr tepkisini azaltmaya çalışmışlardır. Tüm katlardan makaraların yardımıyla geçirilen tek bir sürekli kablo ile yatay kontrol kuvveti elde edilmiştir. Aktif tendon kontrolünün, aktif kütle sönümleyicilere göre titreşimlerin sönümlenmesinde daha etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Fakat aktif kontrol sisteminde oluşan kontrol kuvvetleri daha büyüktür. Kontrol algoritması olarak kutup yerleştirme metodunu [9] kullanmışlardır [10].

Samali, Yang ve Lui, planda düzensiz sistemlerin aktif kütle sönümleyicileri ve aktif tendonlar ile kontrolü ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Kapalı çevrimli kontrol prensibine göre yaptıkları çalışmada, bir yapay deprem kaydı kullanmışlar ve Monte-Carlo tekniği ile yapının cevabını elde etmişlerdir [11].

Chung, Reinhorn ve Soong, aktif tendon kontrolü içeren tek serbestlik dereceli düzlem bir model bina üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlar ve daha sonra aynı kişiler Lin ile beraber aktif tendon kontrolü içeren üç serbestlik dereceli düzlem bina modeli üzerinde deneysel çalışmışlardır. Bu iki deneysel çalışmanın sonuçları, analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalarda, gerçek sisteme oldukça yakın davranış gösteren bir deneysel model oluşturmaya çalışmışlardır [12,13].

López-Almansa ve Rodellar, aktif tendon kontrollü çerçeveli ve perde duvarlı binaları nümerik olarak analiz etmişlerdir. Kontrol sisteminin perde duvarlı sistemler için daha etkili olduğu vurgulanmıştır [14].

Reinhorn, Soong, Lin, Wang, Fukao, Abe ve Nakai, binaların sismik olarak korunması için aktif tendonlar ve aktif kütle sönümleyicileri içeren 1:4 ölçekli modeller ile deneysel araştırmalar yapmışlardır [15].

Pekau ve Guimond, eksantrik yapıların sürtünmeli sönümleyiciler ile sismik etkilere karşı pasif kontrolünü yapmışlardır. İlk önce tek katlı olarak idealleştirilmiş bir yapı üzerinde parametrik çalışmalar yapmışlardır. Sonra beş katlı örnek bir bina üzerinde çalışmışlardır. Kontrol sisteminin parametrelerinin çok iyi ayarlanması gerektiğini belirtmişlerdir [16].

Betti ve Panariello, iki mesnedi farklı yerdeğiştirme gösteren tek serbestlik dereceli düzlem yapı için aktif tendon kontrolünü ele almışlardır. Bu tür sistemler için aktif tendonların uygun olduğu kanısına varılmıştır [17].

Chung, Wang ve Tung, sadece alt katından aktif tendonlarla kontrol edilen üç serbestlik dereceli düzlem yapı üzerinde, zaman gecikmesi esasına göre çalışma yapmışlardır. Zamanda ayırık yapı sistemleri için geliştirilmiş ani kontrol algoritmasını oluşturmuşlardır. Zaman gecikmesinin yapısal kontrol için çok önemli bir unsur olduğu sonucuna varılmıştır [18].

Wong ve Hart, elastik olarak kabul edilmeyen yapıları aktif tendonlar ile kontrol etmişler, durum uzayı teorisine göre hareket denklemleri oluşturmuşlar ve lineer kontrol prensibini kullanmışlardır. Tek açıklıklı üç serbestlik dereceli düzlem çerçeve üzerinde analitik çalışma yapmışlardır.  $M - \Theta$  grafiklerindeki değişim göz önünde tutulmuş ve doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Sonuç olarak, elastik olmayan yapılarda da kontrol sisteminin etkili olduğu anlaşılmıştır [19].

Jangid ve Datta, burulma düzensizliği olan yapılarda çoklu kütle sönümleyicilerinin(MTMD) performansını incelemişlerdir. Ana yapı, yanal yerdeğiştirme ve açıl dönme olmak üzere iki serbestlik dereceli olacak şekilde idealleştirilmiştir [20].

Chung, Wu ve Jin, ivme geri beslemeli kontrol esasına göre tek ve çok serbestlik dereceli düzlem yapıları aktif tendonlarla kontrol etmişlerdir. İvme geri beslemeli kontrolde, daha az sensör gerektiği açıklanmıştır [21].

Goel, sismik etkiler altındaki asimetric planlı sistemlerde pasif viskoz sönümleyicilerin etkilerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, köşe yerdeğiştirmelerinin azaldığı gözlenmiştir [22]. Goel daha sonra, aynı konu ve sistem üzerine çalışmalarının devamı olarak, modal analiz tekniklerine göre incelenmiş bir yayın yapmıştır. Her iki çalışmasında da sistemler, bir yönde yerdeğiştirme ve dönme olmak üzere iki serbestlik dereceli olarak ele alınmıştır [23].

Spencer, Dyke ve Deoskar, deneysel çalışmalarda kullanılmış bir model yapının tepki sonuçlarından direkt olarak elde ettiği değerlendirme modelinde çeşitli kontrol algoritmalarının etkisini ve uygulanabilirliğini incelemiştir [24].

Lu ve Skelton, çok serbestlik dereceli düzlem sistemler üzerine pasif ve karışık (hibrid) kontrol mekanizmaları uygulamıştır. İncelenen kontrol sistemleri arasında aktif tendonlar ve aktif çapraz elemanlar vardır. Ardışık yaklaştırma yöntemi ile optimum pasif ve aktif kontrol parametrelerini elde etmişlerdir. Sistemde sönümün tabanda olması, rijitliğin ise katlarda yüksekliğe göre azalarak devam etmesi, kontrol kuvvetini azaltmaktadır [25].

Chung, tek ve çok serbestlik dereceli aktif tendonlu düzlem modelleri erken öngörü prensibine göre kontrol etmiştir. Ayrık zamanlı sistem olarak modellenen yapının, özdeğer analizi, zaman ve frekans tanım alanında analizlerine göre kontrol algoritması olasıdır [26].

Sedarat ve Kosut, çok serbestlik dereceli düzlem yapılarda aktif tendonların çeşitli yerleştirme durumları ile ilgili inceleme yapmışlardır. Bu sistemler arasında tek ve çok noktadan ölçüm yapılan sistemler mevcuttur. Aktif tendon kontrolünün en optimum çözümünü bulmak için, çeşitli kombinasyonların denenmesini önermişlerdir. Büyük ölçekli yapılarda, benzer katların serbestliklerinin bir alınarak, sistemin serbestlik derecesinin düşürülmesinin bilgisayar analizleri için faydalı olacağı önerisi yapılmıştır [27].

Ankireddi ve Yang, rüzgar ve sismik yükler altında yönlü kütle sönümleyicilerinin binalarda etkilerini araştırmışlardır. Kontrol sistemi uygulanan binalar, üç boyutlu asimetrik sistemlerdir. Tek, çift ve üç yönlü olmak üzere üç tip sönümleyici, yapı şekillerine göre karşılaştırılmıştır. Her şekil yapı için, farklı tipte sönümleyiciler uygun bulunmuştur [28].

Arfiadi ve Hadi, üç boyutlu bina modelleri için çeşitli aktif ve pasif kontrol sistemlerini incelemiştir. Bu kontrol sistemleri, pasif kütle sönümleyicileri, aktif kütle sönümleyicileri ve aktif desteklerdir. Bu sistemlerin yapıya nasıl yerleştirilebileceği hakkında bilgi vermişlerdir [29].

Bakioğlu ve Aldemir, doğrusal yapılar için kapalı-açık çevrimli optimum kontrol algoritmasının yaklaşık optimum çözümünü önermişlerdir. Bu algoritma deprem etkilerini önceden tahmin etme prensibine dayanmaktadır. Bunun için Taylor serisi analizi ve Kalman filtreleme tekniği kullanılmıştır. Deprem tahminini irdelemek için, Kalman filtreleme tekniğine göre elde edilmiş değerler, gözlemlenen deprem kayıtları ile karşılaştırılmıştır [30].

Aldemir, Bakioğlu ve Akhiev, belirlenen bir ölçü kriterini sağlayan yaklaşık kapalı-açık çevrimli bir kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın temeli yakın gelecekteki deprem etkilerinin tahminine dayanmaktadır [31].

Aldemir ve Bakioğlu, modifiye edilmiş ikinci dereceden doğrusal regülatör (MLQR) problemini, sistemin stabilite derecesini ifade eden bir parametrenin varlığını dikkate alarak çözmüşlerdir. Sistemin stabilite derecesi depremin önceden tahmin edilememesinden kaynaklanmaktadır. Bunun için yakın zaman deprem kayıtları tahmin edilmiştir ve sistem stabilite derecesi ile deprem tahmini arasındaki bağıntı incelenmiştir [32].

Mei, Kareem ve Kantor, ergen öngörü prensibine dayanarak ivme geri beslemeli olarak kontrol edilen tek ve çok serbestlik dereceli düzlem sistemler üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlar ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. İncelenen kontrol sistemleri aktif tendonlar ve aktif kütle sönümleyicileridir [33].

Akhiev, Aldemir ve Bakioğlu, deprem etkisi altındaki yapıların aktif kontrolü için çok noktalı anlık performans indeksi önermişlerdir. Kullanılan basit kapalı çevrimli kontrol algoritması önceden deprem tahmini gerektirmez ve Riccati denkleminin doğrusal olmayan çözümünün yapılmasına gerek yoktur [34].

P. Singh, S. Singh ve Moreschi, binaların burulmasını ve yatay yerdeğiştirmesini kontrol etmek için ayarlı kütle sönümleyicileri kullanmışlardır. Bina altı katlı olup, üst katında çok sayıda kütle sönümleyicisi bulunmaktadır. Çeşitli sayısal çalışmalar sonucunda, kontrol sisteminin etkili olduğu anlaşılmıştır [35].

Llera, Almazan ve Vial, asimetric planlı binaların burulma dengesini sürtünmeli pasif sönümleyiciler ile sağlamışlardır. Kullanılan sistem çok serbestlik derecelidir [36]. Aynı kişiler, Ceballos ile beraber, aynı sistemi deneysel olarak incelemiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalarda, köşe yerdeğiştirmesinde ciddi bir azalma olmuştur [37].

Güçlü, düzlem yapıları kayan kip ve PID kontrol prensibine göre ilk kata kontrol kuvveti verilerek kontrol etmiştir ve karşılaştırmıştır. PID kontrolcü parametreleri Ziegler-Nichols metodu [38] yardımıyla hesaplanmıştır [39].

Chang ve Lin, çok katlı yapıların göreceli kat ötelenmesini azaltmak için aktif tendon kontrolünü kullanmışlardır. Optimum  $H_\infty$  kontrol algoritmasına dayanan kontrol sisteminde zaman gecikmesi de göz önüne alınmıştır. Zaman gecikmesi, sistemde stabilite sorunu oluşmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, kontrol sisteminin parametreleri bu duruma göre ayarlanmalıdır [40].

Lin, Chang ve Wang, zemin etkileşimi etkisi altında, düzensiz binaların aktif tendonlar ile kontrollü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tek katlı bir yapı üzerinde hareket denklemlerini çıkarmışlardır. Sonra,  $H_\infty$  direkt dışarıdan beslemeli kontrol prensibini kullanıp sonuçlara ulaşmışlardır [41].

Nigdeli ve Boduroğlu, deprem etkisi altındaki düzlem yapıların aktif tendonlar ile kontrolü konusu üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada, tek serbestlik ve çok serbestlik dereceli düzlem bina modellerine Orantı+İntegral+Türev(PID) tipi kontrolcülü aktif tendonlar uygulanmıştır. Kontrolcü parametreleri, deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Ayrıca, çok serbestlik dereceli sistemler için kabloların çeşitli yerleşim düzenleri incelenmiştir [42-43].

Aldemir yapıların aktif kontrolü için performans indeksi olarak basit integral tipi ikinci dereceden fonksiyonel önermiştir. Optimum kontrol ilkesi, önerilen performans indeksini ardı ardına gelen kontrol değerlerinde varyasyon teorisine göre minimum etmeye dayanmaktadır [44].

Yanık, Aldemir ve Bakioğlu, doğrusal optimum kontrol algoritmasını kapalı bir çevrim içerisinde kullanarak 5 katlı bir yapıya nümerik olarak aktif kontrol uygulamışlardır. El Centro ve Erzincan deprem kayıtları ile Kanai-Tajimi spektral güç yoğunluk fonksiyonuna göre elde edilmiş sentetik deprem kaydı kullanılmıştır [45].

Nigdeli ve Boduroğlu, burulma düzensizliği oluşan tek katlı bir yapı modelini aktif tendonlar ile kontrol etmiştir. Bu yayın, bu tez çalışmasının bir kısmından oluşturulmuştur [46].

## 2. YAKIN FAY DEPREM HAREKETLERİ

Deprem fayına 10-15 km kadar uzaklıkta bulunan bölgelerde yüksek magnitütlü depremlerin neden olduğu yer hareketlerine yakın fay hareketleri denir. ATC 40'a göre A, B ve C olmak üzere üç tip sismik kaynak tanımlanmıştır. (Çizelge 2.1) A tipi, yüksek magnitütlü deprem oluşturma kabiliyetli ve sismik aktivitesi yüksek oranda olan fayları içermektedir. Bu tipin magnitüdü yediye eşit veya daha büyüktür. Kayma oranı ise beşe eşit veya daha büyüktür. C tipi, yüksek magnitütlü deprem oluşturma kabiliyeti olmayan ve sismik aktivitesi düşük oranda olan fayları içermektedir. Bu tipin magnitüdü 6.5'dan ve kayma oranı 2'den küçük olur. Tür A ve C dışında kalan sismik kaynaklar ise B tipidir [47].

**Çizelge 2.1 : Sismik Kaynak Tipleri [47].**

| <i>Sismik Kaynak Tipleri</i> | Maksimum moment büyüklüğü,<br>$M_w$ | Kayma oranı,<br>SR (mm/yıl) |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b>                     | $M_w \geq 7.0$                      | $SR \geq 5$                 |
| <b>B</b>                     | $6.5 \leq M_w < 7$                  | $2 \leq SR < 5$             |
| <b>C</b>                     | $M_w < 6.5$                         | $SR < 2$                    |

UBC-1997'de tasarım spektrumunun büyütülmesi için yakın fay faktörleri belirtilmiştir. Sismik kaynak tipi ve uzaklığa göre faktörlerin değerleri; ivme faktörü ( $N_a$ ) için Çizelge 2.2'de ve ivme faktörü ( $N_a$ ) için Çizelge 2.3'de verilmiştir. Çizelgelerdeki sonuçlara göre yakın fay etkisi, kaynak tipine ve uzaklığa göre yorumlanabilir. A tipi kaynağın yer hareketleri 15 kilometreye kadar yakın fay hareketi sayılır. B tipi kaynağın yer hareketleri ise 10 kilometreye kadar yakın fay hareketi kabul edilir. C tipi kaynaktan yakın fay hareketleri oluşmaz [48].

**Çizelge 2.2 : İvme faktörünün ( $N_a$ ) sayısal değerleri [48].**

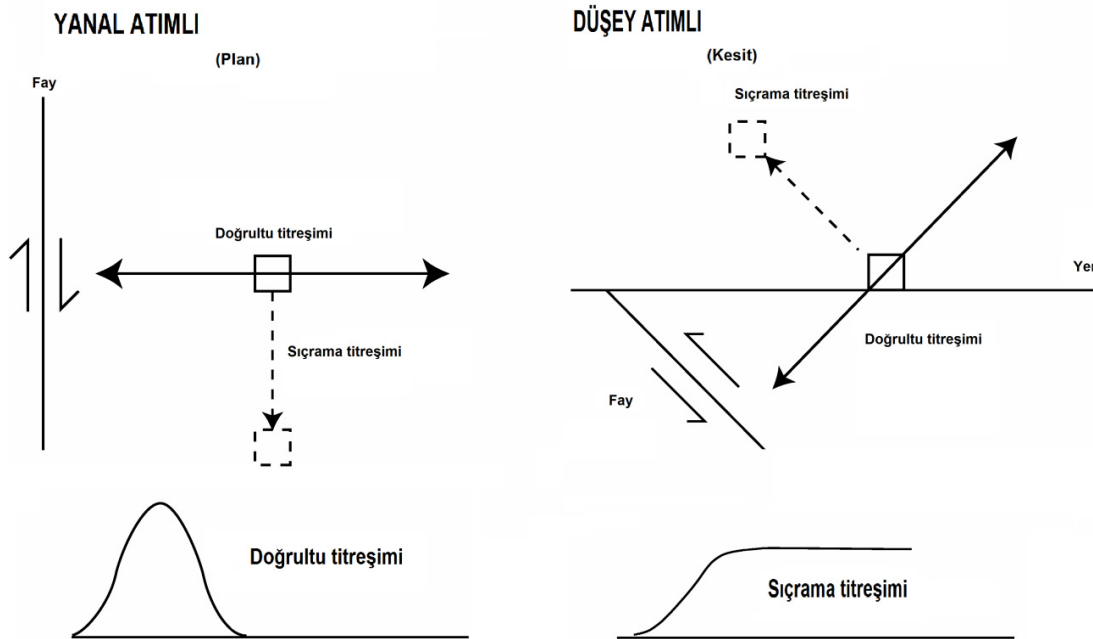
| <i>Sismik Kaynak Tipleri</i> | Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe |      |              |
|------------------------------|--------------------------------|------|--------------|
|                              | $\leq 2$ km                    | 5 km | $\geq 10$ km |
| <b>A</b>                     | 1.5                            | 1.2  | 1.0          |
| <b>B</b>                     | 1.3                            | 1.0  | 1.0          |
| <b>C</b>                     | 1.0                            | 1.0  | 1.0          |

**Çizelge 2.3 :** Hız faktörünün ( $N_v$ ) sayısal değerleri [48].

| Sismik Kaynak Tipleri | Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe |      |       |              |
|-----------------------|--------------------------------|------|-------|--------------|
|                       | $\leq 2$ km                    | 5 km | 10 km | $\geq 15$ km |
| <b>A</b>              | 2.0                            | 1.6  | 1.2   | 1.0          |
| <b>B</b>              | 1.6                            | 1.2  | 1.0   | 1.0          |
| <b>C</b>              | 1.0                            | 1.0  | 1.0   | 1.0          |

Yakın fay deprem hareketlerinin tipik özellikleri, kalıcı yerdeğiştirmeleri, yüksek tepe yer ivmeleri ve uzun periyotlu yüksek tepe yer hızlarıdır. Bu nedenlerden dolayı yapılarda, diğerk kayıtlara göre daha çok yerdeğiştirme ve burulmaya neden olurlar.

Yakın fay etkisi, iki tür titreşime neden olmaktadır. Bunlar, faya dik olan doğrultu titreşimleri ve faya paralel olan sıçrama titreşimleridir. (Şekil 2.1) Doğrultu titreşimleri, büyük hız titreşimleridir. Sıçrama titreşimi ise kalıcı yerdeğiştirmelerdir. Faydaki kırılmanın ve kaymanın yönü bölgeye doğru olmakla beraber, kırılma ve kayma hızlarının birbirine çok yakın olması, sismik enerjinin bölgeye çok kısa sürede ulaşmasına neden olur. Bu durumda oluşan yüksek genlikli titreşimlere, ileri doğrultulu titreşim denilmektedir [49].



**Şekil 2.1 :** Doğrultu ve sıçrama titreşimleri.

Yakın fay etkisi dikkate alınarak yapılan bazı yapısal kontrol çalışmaları bu bölümde belirtilmiştir.

Makris, taban izolatörlü yapılar için kontrol edilebilen sıvı sönümleyiciler önermiştir. Böylelikle üretilecek sürtünme kuvvetleri ile yakın fay deprem etkisinden kaynaklanan yerdeğiştirmeleri azaltılacaktır [50].

Makris ve Chang, taban izolatörlü yapılarda çeşitli enerji yutucu mekanizmaların performansını yakın fay etkisinin neden olduğu titreşimlerin etkileri altında incelemişlerdir [51].

Jangid ve Kelly, yakın fay hareketlerinin tehlikeli etkilerini engellemek için düzlem sistemlerde pasif zemin izolatörleri kullanmışlardır. Destek noktaları hakkında açıklamalar yapmış ve çeşitli yatakların avantaj ve dezavantajlarını açıklamıştır. EDF tipi izolatör sistemlerinin yakın fay hareketler için en uygun tip olduğu belirtilmiştir [52].

Yang ve Agrawal, yakın fay hareketleri etkisi altındaki doğrusal olmayan düzlem binalar için yarı aktif karışık (hibrid) kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Yakın fay hareketlerinin özelliklerini açıklamışlar ve pasif kontrol sistemlerinin yakın fay hareketleri için kısıtlı etkisi olduğunu öne sürmüşlerdir. Zeminde bulunan, sürtünmeli kontrol sistemi ile beş katlı yapı kontrol edilmiştir. Aralarında Kocaeli depreminin de yer aldığı çeşitli yakın fay deprem kayıtlarını çalışmalarında kullanmışlardır. Zemin izolasyon sistemleri tek başına yeterli bulunmadığı için, viskoz sönümleyiciler ile zenginleştirilmiştir [53].

Lu, Lin ve Kuo, yakın fay deprem etkileri için rijitliği kontrol edilebilen kayan tabanlı izolasyon sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, aktif geri beslemeli kontrol prensibine dayanan yarı aktif bir kontrol sistemidir ve doğrusal tek serbestlik dereceli modeli kontrol etmektedir. Sistem, hem yapının ivmesinin hem de taban yerdeğiştirmesinin azalmasını sağlamıştır [54].

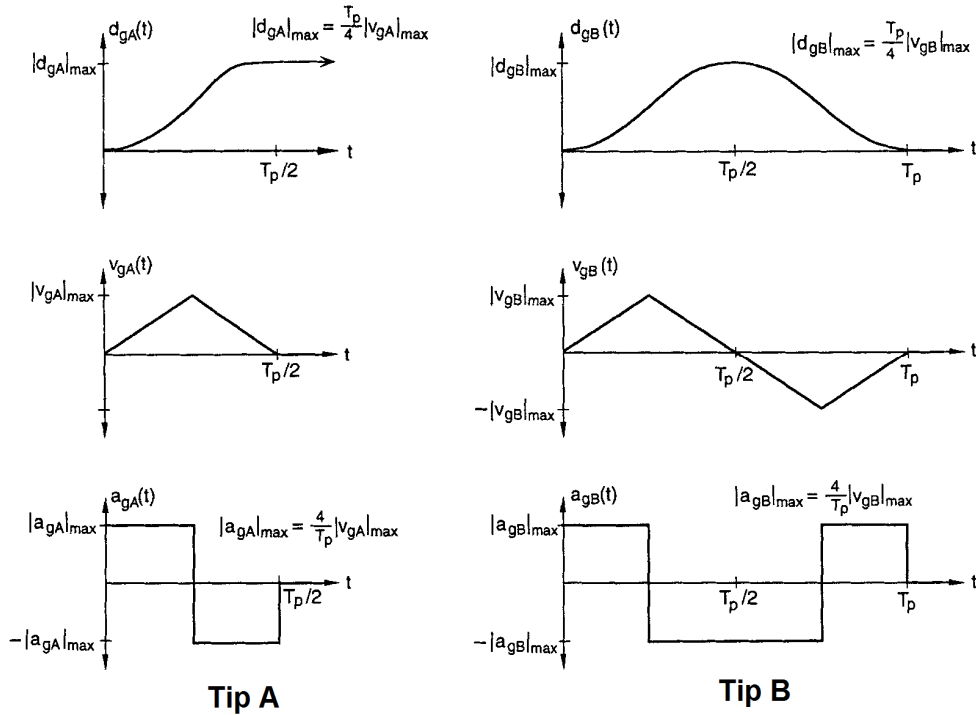
Lu ve Lin, yakın fay hareketlerine maruz kalan yapılar için akıllı izolasyon sistemi kullanmışlardır. Bu akıllı sistem, pasif sürtünmeli sönümleyicinin yarı aktif kontrol sistemiyle birleşiminden oluşmaktadır. Sistem, tek serbestlik dereceli sisteme uygulanmıştır. Uygulanan sistemin, pasif kontrol sistemlerine göre daha çok tipte depremde etkili olduğu belirtilmiştir [55]. Aynı kişiler, yeniden ayarlanabilen rijitlik sönümleyicisi adını verdikleri yarı aktif sistemleri, taban izolatörlü sistemlerin yakın fay etkileri altında iyileştirilmesi için kullanmışlardır [56].

Lin, Chen ve Wang, yakın fay etkilerini sönümlemek için başlangıçta ivmelendirilmiş pasif kütle sönümleyiciler önermişlerdir [57].

Ribakov, karışık sismik izolasyon kolonlarıyla beraber pasif değişkenli sürtünmeli sönümleyicileri, yakın fay hareketlerinden korunmak için önermiştir [58].

Yakın fay etkisinin neden olduğu titreşim hareketleri, çeşitli çalışmalarda basitleştirilmiş yer hareketleriyle ifade edilmiştir.

Hall, Heaton, Halling ve Wald, A ve B olmak üzere iki tip titreşim grafikleri belirlemiştir. A tipi yer hareketlerinin hızı sadece ileri doğrultuludur. B tipi yer hareketlerin hızı ise ileri ve geri hareketlidir. Basitleştirilmiş titreşimlerin yerdeğiştirme, hız ve ivme grafikleri Şekil 2.2'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi A tipi titreşimler sıçrama titreşimi, B tipi titreşimler ise doğrultu titreşimidir. Bu çalışmada ifade edilen basitleştirilmiş titreşimler, oldukça basittir. Özellikle ivme ve hız grafikleri lineer denklemlerden meydana gelmektedir [59].



**Şekil 2.2 :** Hall ve diğerleri tarafından tanımlanmış basitleştirilmiş yer hareketi titreşimleri [59].

Makris, iki tip yakın fay titreşimi için daha gerçekçi basitleştirilmiş denklemler kullanmıştır [50]. Tip A için denklemler, sırasıyla yerin ivmesi ( $a_g(t)$ ), hızı ( $V_g(t)$ ) ve yerdeğiştirmesi ( $d_g(t)$ ) olmak üzere Denklem 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilmiştir. Bu denklemlere dairesel dalga denklemleri denilmektedir [60]. Tip B için ise, Denklem

2.4, 2.5 ve 2.6 kullanılmıştır. Denklemlerde,  $t$ ; zaman,  $V_p$ ; maksimum tepe yer hızı,  $T_p$ ; titreşimin periyodu ve  $\omega_p$ ; titreşimin frekansıdır. Şekil 2.3'te Makris tarafından yapılmış, 1992 Landers depreminin Lucerne Valley kaydının basitleştirilmiş titreşimleri verilmiştir.

$$a_g(t) = \omega_p \frac{V_p}{2} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.1)$$

$$V_g(t) = \frac{V_p}{2} - \frac{V_p}{2} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.2)$$

$$d_g(t) = \frac{V_p}{2} t - \frac{V_p}{2\omega_p} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.3)$$

$$a_g(t) = \omega_p V_p \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.4)$$

$$V_g(t) = V_p \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.5)$$

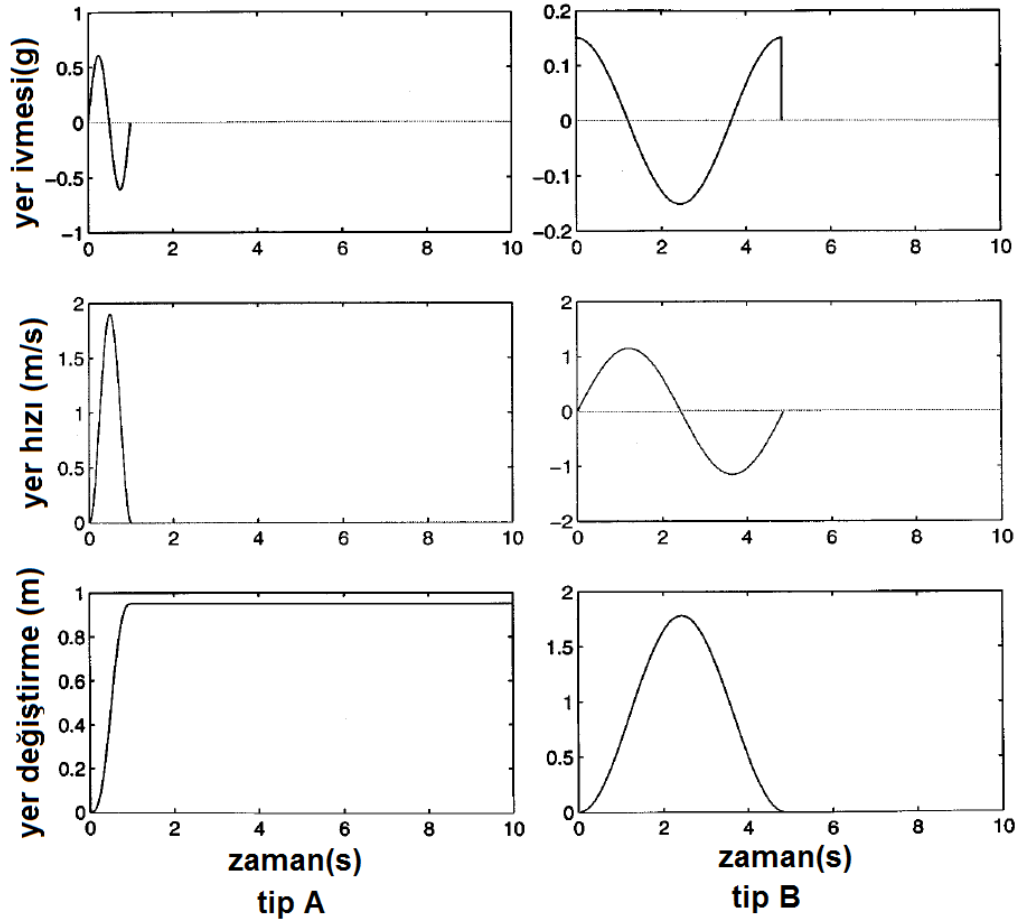
$$d_g(t) = \frac{V_p}{\omega_p} - \frac{V_p}{\omega_p} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.6)$$

Makris ve Chang, basitleştirilmiş titreşimlere tip  $C_n$  olarak, üçüncü bir tip tanımlamışlardır. Bu tip, sırayla gelen birden fazla titreşimi ifade etmek için kullanılmıştır ve hem pozitif hem de negatif yönde salınım yapmaktadır. Basitleştirilmiş  $C_n$  tipi titreşimin hareket denklemleri, Denklem 2.7, 2.8 ve 2.9'da verilmiştir. Denklemlerde,  $n$ ; salınım sayısı ve  $\phi$ ; faz açısıdır [51].

$$a_g(t) = \omega_p V_p \cos(\omega_p t + \phi) \quad 0 \leq t \leq (n + \frac{1}{2} - \frac{\phi}{\pi}) T_p \quad (2.7)$$

$$V_g(t) = V_p \sin(\omega_p t + \phi) - V_p \sin(\phi) \quad 0 \leq t \leq (n + \frac{1}{2} - \frac{\phi}{\pi}) T_p \quad (2.8)$$

$$d_g(t) = -\frac{V_p}{\omega_p} \cos(\omega_p t + \phi) - V_p t \sin(\phi) + \frac{V_p}{\omega_p} \cos(\phi) \quad 0 \leq t \leq (n + \frac{1}{2} - \frac{\phi}{\pi}) T_p \quad (2.9)$$



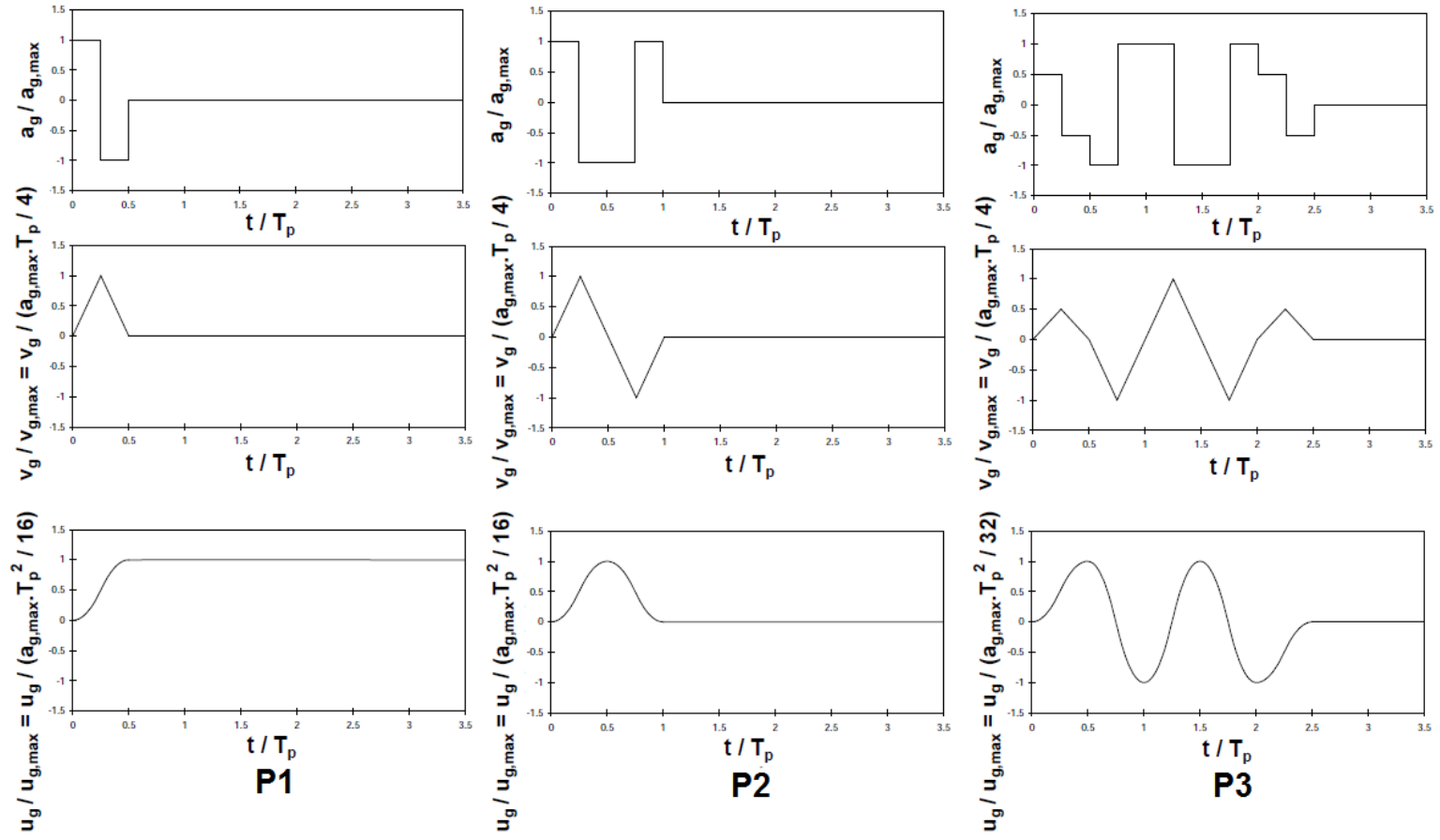
**Şekil 2.3 :** 1992 Landers depreminin Lucerne Valley kaydının basitleştirilmiş titreşimleri [50].

Titreşimin süresi bitince, yerdeğiştirmenin 0 olması gerekmektedir. Onun için,

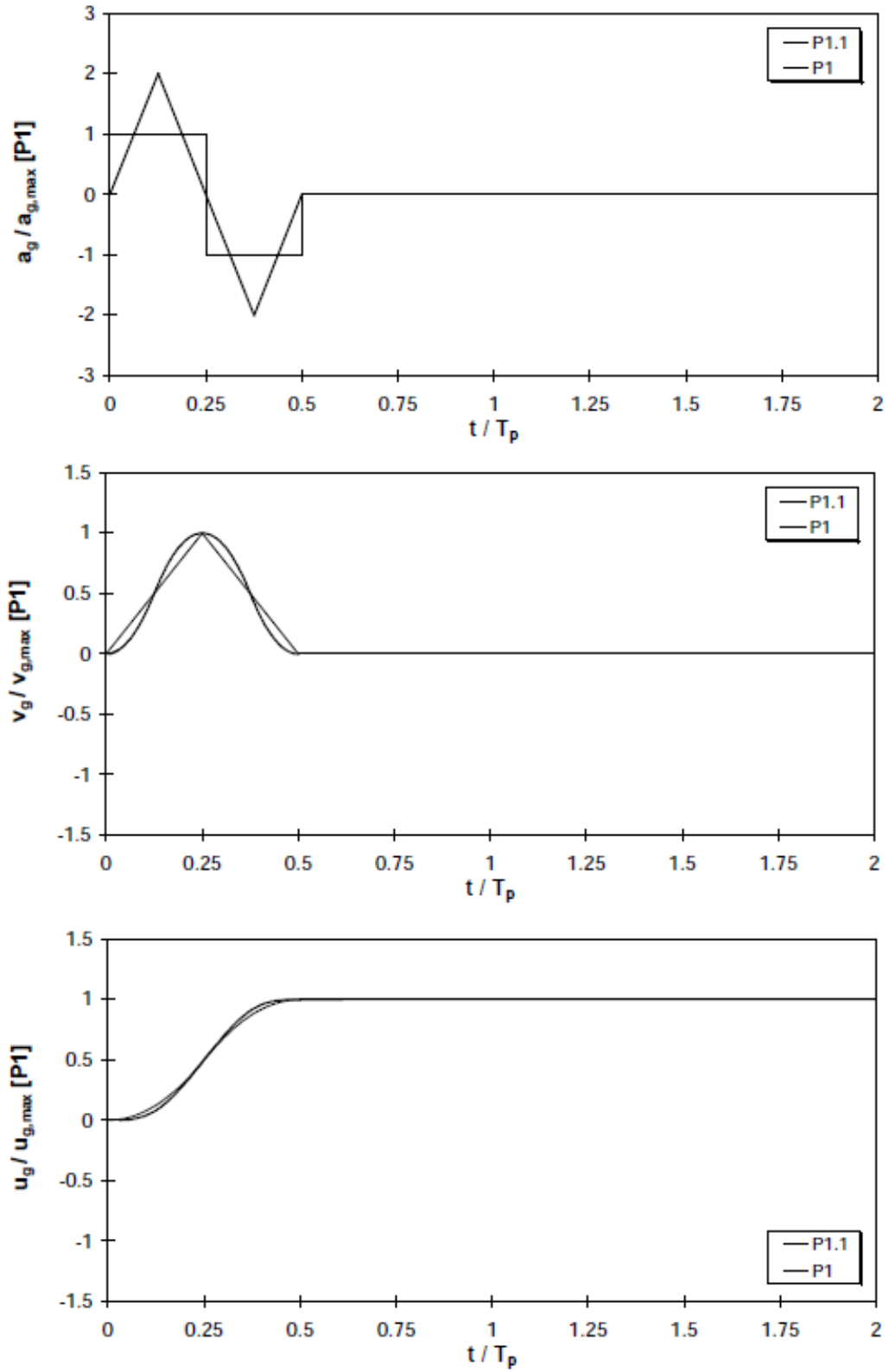
$\int_0^{(n+\frac{1}{2})T_p} V_g(t)dt=0$  olması gerekmektedir. Bu integral hesaplanınca, Denklem 2.10 elde edilmektedir. Bu denklemden ise, salınım sayısına göre  $\phi$ , faz açısı bulunabilir [51].

$$\cos[(2n+1)\pi-\phi]+[(2n+1)\pi-2\phi]\sin\phi-\cos\phi=0 \quad (2.10)$$

Alavi ve Krawinkler, P1; yarım, P2; tam ve P3; çoklu titreşim olmak üzere yakın fay etkisini gösteren üç çeşit basitleştirilmiş titreşim tanımlamıştır. (Şekil 2.4) Yakın fay etkisini ifade eden parametreler, titreşimin periyodu ve tepe yer ivmesi veya tepe yer hızı olabilmektedir. Bu titreşimler üçgen şekiller içermektedir. Bu üçgen şekiller düzeltilerek, daha sürekli titreşimler elde edilmiştir. (Şekil 2.5) P3 titreşiminde hız değeri beş yarım titreşim içermektedir. Ayrıca, hız titreşiminde çeşitli sayıda salınım içeren başka türler de yapılandırılmıştır [61].



Şekil 2.4 : P1, P2 ve P3 titreşimleri [61].



**Şekil 2.5 :** Düzeltilmiş P1 titreşimi [61].

Rodrigues-Marek ve Bray, yakın fay etkisine neden olan titreşimleri basitleştirilmiş sinüs dalgaları ile tanımlamıştır. Diğer çalışmalar gibi yakın fay parametreleri, tepe yer hızı ve titreşimin periyodudur [62].

Sasani, yakın fay etkisini ifade eden dikdörtgen şekilli ivme titreşimleri kullanmıştır. Daha önceki çalışmalarda kullanılan basitleştirilmiş hız titreşimlerinin, periyodu 1 saniyeden küçük elastik olmayan yapılar için yetersiz kaldığını belirtmiştir. Yakın fay parametreleri olarak titreşim periyodunu ve belirgin tepe yer ivmesi adını verdiği değerleri kullanmıştır. Belirgin tepe yer ivmesi değerlerini, deprem ivme kaydındaki tepe noktalarının ivme ortalamaları ile hesaplamıştır. Bu çalışmada belirli bir titreşim kalıbı yoktur. Her deprem kaydı için farklı bir titreşim elde edilmektedir [63].

Park, Ghasemi, Shen, Somerville, Yen ve Yashinsky, Bolu viyadüğünün yakın fay yer hareketleri etkisi altında sismik performansını incelemiştir. Düzce depreminin Bolu kaydı ve Erzincan depreminin Erzincan kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtların hız değerlerinin tepe noktalarına basitleştirilmiş titreşimler eklenerek, tepe yer hızı değerleri artırılmıştır [64].

Somerville ve diğerleri, toprak ve kaya zeminler için depremin moment büyüklüğüne ( $M_w$ ) göre yakın fayın neden olduğu tepe yer hızı titreşiminin periyot değerini veren denklemler elde etmiştir. Bu denklemler çeşitli deprem kayıtlarının moment büyüklüğüne karşı gelen tepe yer hızı titreşiminin periyodu bulunduğu grafikten en iyi eğrinin geçirilmesiyle elde edilmiştir. Toprak zemin için Denklem 2.11 ve kaya zemin için de Denklem 2.12 verilmiştir [65].

$$\text{Log}T_p = -2.02 + 0.346M_w \quad (2.11)$$

$$\text{Log}T_p = -3.17 + 0.5M_w \quad (2.12)$$

Cox ve Ashford, yakın fay depremler için moment büyüklüğüne ( $M_w$ ) ve doğrultu açısına ( $\phi$ ) göre tepe yer hızını veren denklem elde etmiştir. (Denklem 2.13) Bu denklem yakın fay etkisi içeren çeşitli depremlerin verilerine göre elde edilmiştir [66].

$$\text{Log}(V_p) = 6.444 - 0.01870\phi - 5.022\text{Log}(M_w) \quad (2.13)$$



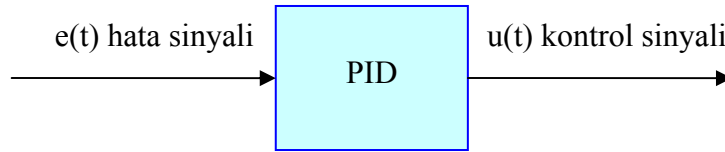
### 3. YÖNTEM VE YAPI MODELLERİ

Bu bölümde analiz edilen yapı modellerinin hareket denklemleri açıklanmıştır. Ayrıca kullanılan yakın fay etkisi içeren yer hareketleri de bu bölümde açıklanmıştır.

#### 3.1 Orantı+İntegral+Türev (PID) Tipi Kontrolcüler

PID kontrolcü, günümüzde sık kullanılan geri beslemeli bir kontrolcüdür. Az sayıda tasarım parametrelerinin olması ve bu parametrelerin performans parametreleri ile kolayca ilişkilendirilmesi PID kontrolcünün avantajıdır.

PID kontrolcü, hata sinyali  $e(t)$ 'yi kontrol sinyali  $u(t)$ 'ye çevirir. Dolayısıyla doğrusal bir kontrolcüdür. (Şekil 3.1) Kontrol sinyali Denklem 3.1'de belirtildiği gibidir. Kontrol sinyalinin Laplace dönüşümü yapıldıktan sonra Denklem 3.2 elde edilmiştir.



Şekil 3.1 : PID kontrolcünün blok diyagramı.

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.1)$$

$$U(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) E(s) \quad (3.2)$$

Kontrolcü üç terimden oluşur. Birinci terim, orantı işlemidir ve hata sinyali ile orantılıdır. İkinci terim, integral işlemidir ve hata sinyalinin integrali ile orantılıdır. Üçüncü terim, türev işlemidir ve hata sinyalinin türevi ile orantılıdır.

$K_p$  (Orantı kazancı veya orantı sabiti),  $T_i$  (İntegral zamanı) ve  $T_d$  (Türev zamanı) kontrolcü katsayılarıdır. PID kontrolcünün performansı bu katsayıların iyi ayarlanmasına bağlıdır.

Orantı(P) işlemi, hızlı cevap vermeye yarar, fakat büyük değerlerde salınım oluşturur. İntegral(I) işlemi, istenen sabit durumlu cevabı elde etmeye yardımcı olur. İntegral işleminin dezavantajı, uzun periyotlu salınım cevabı oluşturmastır. Türev(D) işlemi, sönümleme kararlılığı için iyidir, fakat yüksek frekanslarda salınım daha olasıdır. [67]

### 3.2 Tek Serbestlik Dereceli Düzlem Yapı Modeli

Tek serbestlik dereceli yapı modeli Şekil 3.2’de verilmektedir. Aktif tendonların olmadığı durumda, sistemin hareket denklemi 3.3’de verildiği gibidir. Aktif tendon kontrollü sistemin hareket denklemi ise 3.4’de verilmiştir. Bu denklemlerde  $m_I$ ; binanın kütlesi,  $c_I$ ; binanın sönüm katsayısı,  $k_I$ ; binanın rijitlik katsayısı,  $\ddot{x}_g$ ; depremin ivmesi,  $k_c$ ; kablunun rijitlik katsayısı,  $\alpha$ ; kabloların yatay ile arasındaki açı,  $x_I$ ; sistemin yerdeğiştirmesi ve  $u(t)$ ; kontrol sinyalıdır.

Analizlerde Çizelge 3.1’de sayısal değerleri verilen model kullanılmıştır. Bu yapı modeli, [12] nolu kaynaktan alınmıştır. Yapının doğal periyodu 0.288 saniyedir.

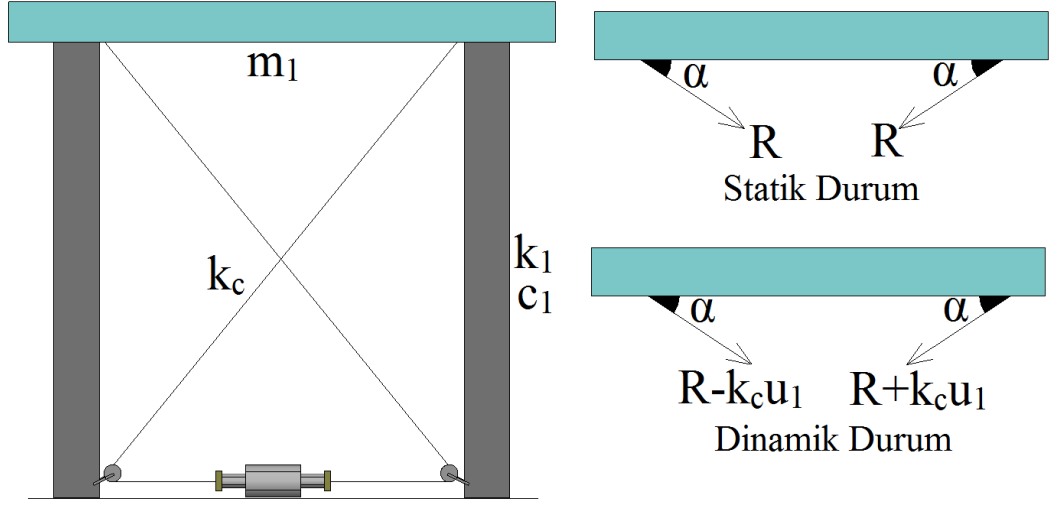
$$m_I \ddot{x}_I + c_I \dot{x}_I + k_I x_I = -m_I \ddot{x}_g \quad (3.3)$$

$$m_I \ddot{x}_I + c_I \dot{x}_I + k_I x_I = -m_I \ddot{x}_g - 4k_c u(t) \cos \alpha \quad (3.4)$$

**Çizelge 3.1 :** Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri [8].

| Sembol   | Tanım                                               | Sayısal Değer |
|----------|-----------------------------------------------------|---------------|
| $m_I$    | Tek serbestlik dereceli sistemin kütlesi            | 2924 kg       |
| $k_I$    | Tek serbestlik dereceli sistemin rijitlik katsayısı | 1390000N/m    |
| $c_I$    | Tek serbestlik dereceli sistemin sönüm katsayısı    | 1581Ns/m      |
| $\alpha$ | Kabloların yatay ile arasındaki açı                 | 36 °          |
| $k_c$    | Kabloların rijitlik katsayısı                       | 372100N/m     |

Kablolar basınç kuvveti iletemedikleri için, kabloların önceden bir öngerilme kuvveti ile yüklenmesi, tüm kablolardan dengeli olarak faydalanılmasını sağlayacaktır. Statik halde, bir kablunun yapıya etki ettirdiği öngerilme kuvvetini R kadar olduğunu düşünelim. Dinamik veren,  $u_1$  kadar yerdeğiştirme yaptığı zaman kablolardaki gerilme  $R+k_c u_1$  ve  $R-k_c u_1$  olarak değişir. Dört kablo tarafından kütleye etkiyen kuvvetin yatay bileşeni eksi yönde olup,  $4k_c u_1 (\cos \alpha)$  büyüklüğündedir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 : Tek serbestlik dereceli sistem ve kuvvet değişimi.

### 3.3 Çok Serbestlik Dereceli Düzlem Yapı Modeli

Çalışmada, üç serbestlik dereceli yapı için üç farklı kablo yerleşim durumu incelenmiştir. Bu durumlar Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Durum A’da sadece aşağı katta aktif kontrol bulunmaktadır. İkinci durum olan Durum B’de ise tüm katlarda bağımsız aktif kontrol bulunmaktadır. Fakat bu sistemde, üst kattaki kontrol sisteminden alt kata tepki kuvveti etkmektedir. Bu durum kontrol kuvvetlerinin büyümesine neden olabilir. Durum B’de meydana gelen kontrol kuvvetleri Şekil 3.4’de verilmiştir. Durum C’de tüm katlara zeminden kontrol edilen kablolar uzanmaktadır. Bu durumda tüm tepkiler zemine aktarılacaktır.

KontROLSÜZ sistemin hareket denklemi, Denklem 3.5’de verilmiştir. Aktif tendon kontrollü yapı için hareket denklemleri Durum A, B ve C için sırasıyla Denklem 3.10, 3.11 ve 3.12’de verilmiştir.

Hareket denklemlerinde;

$\mathbf{M}$  : Kütle matrisi (3x3),

$\mathbf{K}$  : Üç yatay serbestliğe indirgenmiş rijitlik matrisi (3x3),

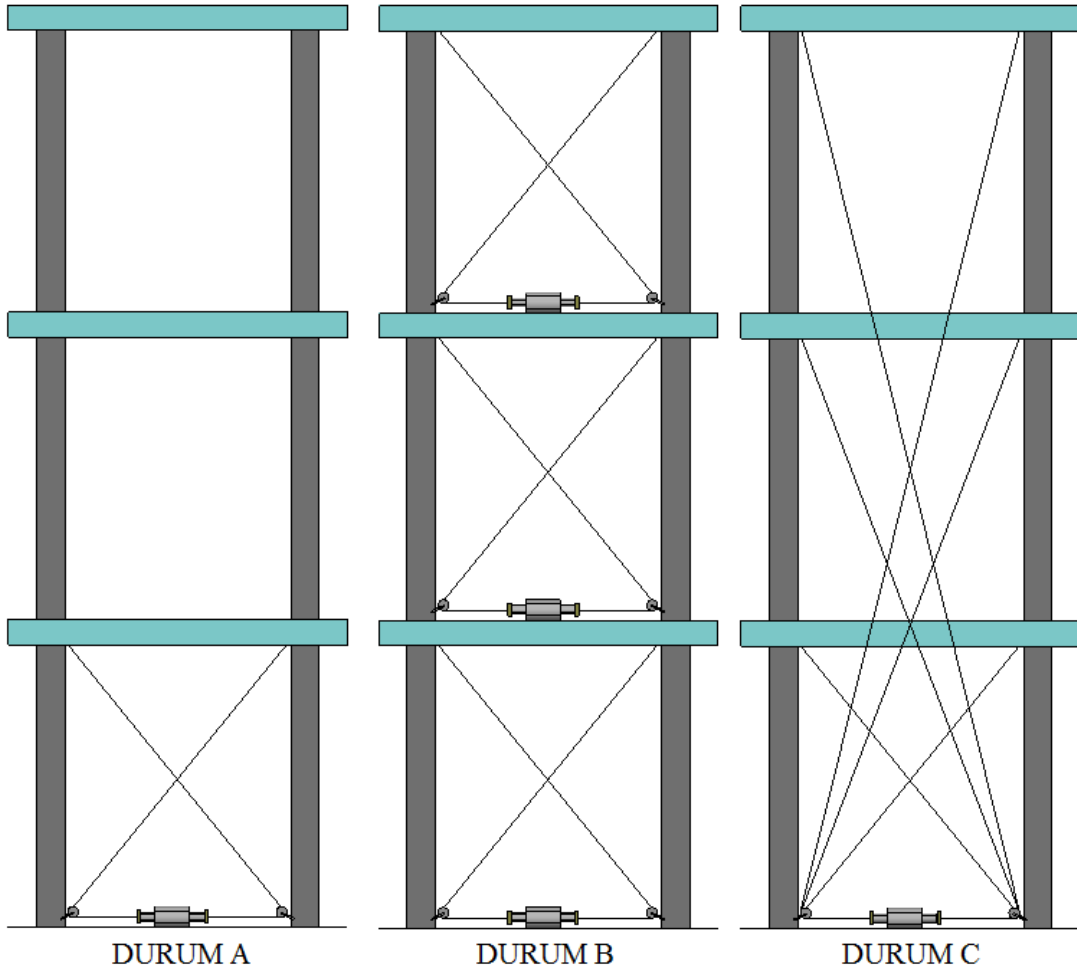
$\mathbf{C}$  : Üç yatay serbestliğe indirgenmiş sönüm matrisi (3x3),

$\mathbf{x}(t)$  : Yerdeğiştirme vektörü (3x1),

$\dot{\mathbf{x}}(t)$  : Hız vektörü (3x1),

$\ddot{\mathbf{x}}(t)$  : İvme vektörü (3x1) ,

olarak tanımlanabilir. Kontrol sinyali,  $i=1:3$  için  $u_i$  olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3 : Üç serbestlik dereceli düzlem yapı için kablo yerleşim durumları.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = -\mathbf{M}[\mathbf{b}]\ddot{\mathbf{x}}_g \quad (3.5)$$

$$\mathbf{x}(t) = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T \quad (3.6)$$

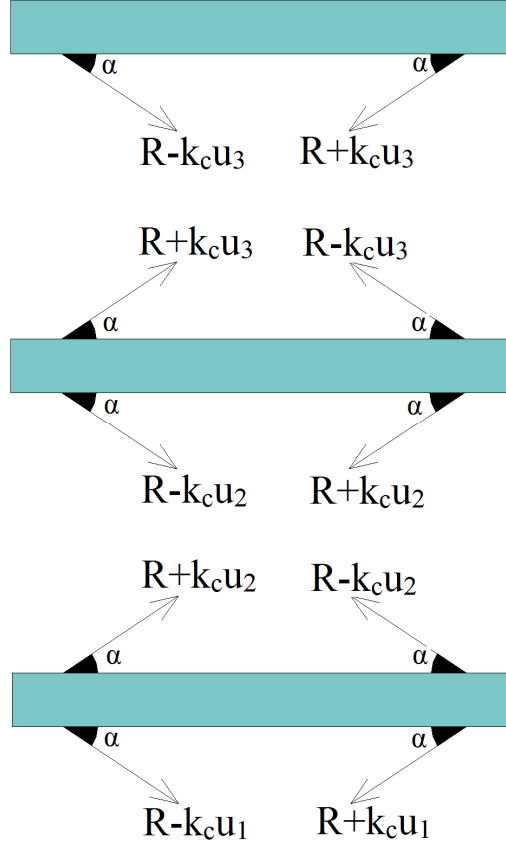
$$\dot{\mathbf{x}}(t) = [\dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dot{x}_3]^T \quad (3.7)$$

$$\ddot{\mathbf{x}}(t) = [\ddot{x}_1 \ \ddot{x}_2 \ \ddot{x}_3]^T \quad (3.8)$$

$$[\mathbf{b}] = [1 \ 1 \ 1]^T \quad (3.9)$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = -\mathbf{M}[\mathbf{b}]\ddot{\mathbf{x}}_g - 4k_c \cos\alpha \begin{bmatrix} u_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = -\mathbf{M}[\mathbf{b}]\ddot{x}_g + 4k_c \cos\alpha \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$



**Şekil 3.4 :** Durum B’de oluşan kontrol kuvvetleri (Binanın tek yüzünde oluşan).

Durum C olarak açıklanan, tüm kabloların alt kattan uzanması, kontrol için gerekli kontrol kuvvetinin azalmasını sağlayacaktır. Fakat, başka uygulama sorunları ortaya çıkmaktadır. Uzun kabloların kullanılmasından ve aşağı katta üçü de ayrı kablolarla bağlı dinamik verenlerin bulunmasından dolayı uygulama açısından zordur. Ayrıca bu durum tüm yapılarda mümkün olmayabilir. Tüm tepki kuvvetleri zemine iletilmektedir. Buna rağmen kabloların açı değişimi dolayısıyla kosinüs değerleri düştüğü için üst katlarda etkisi azalmaktadır. Sinüs değerleri ise arttığı için, düşey taşıyıcılara gelen yük artmaktadır. Kabloların yatay ile yaptıkları açılar uzandıkları katlara göre sırasıyla  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\theta$  olmaktadır.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = -\mathbf{M}[\mathbf{b}]\ddot{x}_g - 4k_c \begin{bmatrix} u_1 \cos\alpha \\ u_2 \cos\beta \\ u_3 \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Bu sistemde kullanılan kablo özellikleri, tek serbestlik dereceli sistem ile aynıdır. Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri, Chung, Reinhorn, Lin ve Soong tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır [13]. Yapının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri [9].**

| Sembol                          | Tanım                           | Sayısal Değer                                                                                                               |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>M</b> (kg)                   | Kütle Matrisi                   | $\begin{bmatrix} 981 & 0 & 0 \\ 0 & 981 & 0 \\ 0 & 0 & 981 \end{bmatrix}$                                                   |
| <b>K</b> (N/m)                  | Rijitlik Matrisi                | $\begin{bmatrix} 2741700 & -1641600 & 369100 \\ -1641600 & 3022200 & -1624800 \\ 369100 & -1624800 & 1333600 \end{bmatrix}$ |
| <b>C</b> (Ns/m)                 | Sönüm Matrisi                   | $\begin{bmatrix} 382.8 & -57.3 & 61.7 \\ -57.3 & 456.9 & -2.6 \\ 61.7 & -2.6 & 437.5 \end{bmatrix}$                         |
| $\alpha, \beta$ ve $\theta$ (°) | Kablolarla yatay arasındaki açı | 36, 55 ve 65                                                                                                                |
| $k_c$ (N/m)                     | Kabloların rijitliği            | 372100                                                                                                                      |
| $T_1, T_2$ ve $T_3$ (s)         | Yapının periyotları             | 0.45, 0.15 ve 0.09                                                                                                          |

Ayrıca, gerçek boyutlu üç katlı betonarme çerçeve yapı aktif tendonlar ile kontrol edilmiştir. Betonarme çerçeve yapının analizi ile ilgili bilgiler Bölüm 5’te verilmiştir.

### 3.4 Tek Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapı Modeli

İki yönde de deprem etkisinde olan tek katlı çerçeve sistemin, iki yönde yanal yerdeğiştirme ve dönme olmak üzere üç tane serbestliği vardır. Şekil 3.5’de görünen yapının hareket denklemi 3.13’de verilmiştir. Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki uzaklıklar  $e_x$  ve  $e_y$  ile gösterilmiştir. Şekil 3.5’te rijitlik merkezi C.R. ve kütle merkezi C.M. ile gösterilmiştir.  $B_x$  ve  $B_y$  kütle merkezinin yerini ifade eden uzaklıklardır.  $l_x$  ve  $l_y$  ise yapının  $x$  ve  $y$  doğrultusundaki uzunluğudur.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{E}\ddot{\mathbf{z}}(t) \quad (3.13)$$

Denklem 3.13’de **M** kütle matrisi, **C** sönüm matrisi ve **K** rijitlik matrisidir. **E** ise dış etki konum matrisidir. Sönüm matrisinin, kütle ve rijitlik matrisi ile orantılı olduğu kabul edilmiştir.  $\mathbf{x}(t)$  ise kütle merkezinde oluşan yanal yerdeğiştirmeleri ve dönmeyi ifade eden vektördür. Zamana göre değişken  $\dot{\mathbf{x}}(t)$  ve  $\ddot{\mathbf{x}}(t)$ ,  $\mathbf{x}(t)$  vektörünün türevleridir ve  $\ddot{\mathbf{z}}(t)$  ise iki yöndeki deprem ivmelerini içeren vektördür. Bu matris ve vektörler

Denklem 3.14-3.19 arasında verilmiştir. Bu denklemlerde bulunan  $m$  yapının kütlesi,  $k_x$ ,  $k_y$  ve  $k_\theta$  sırasıyla  $x$ ,  $y$  ve  $\theta$  yönündeki rijitlikler,  $\ddot{x}_g$  ve  $\ddot{y}_g$  ise  $x$  ve  $y$  yönlerindeki deprem ivmeleridir.  $J_0$  (Denklem 3.20) ise kütle polar atalet momenti olup, yapının kütlesinin atalet yarıçapı,  $r$ 'nin karesi ile çarpımı ile elde edilir.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & J_0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_x & 0 & -k_x e_y \\ 0 & k_y & k_y e_x \\ -k_x e_y & k_y e_x & k_\theta + k_x e_y^2 + k_y e_x^2 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$\mathbf{C} = \alpha \mathbf{M} + \beta \mathbf{K} \quad (3.16)$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} -m & 0 \\ 0 & -m \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

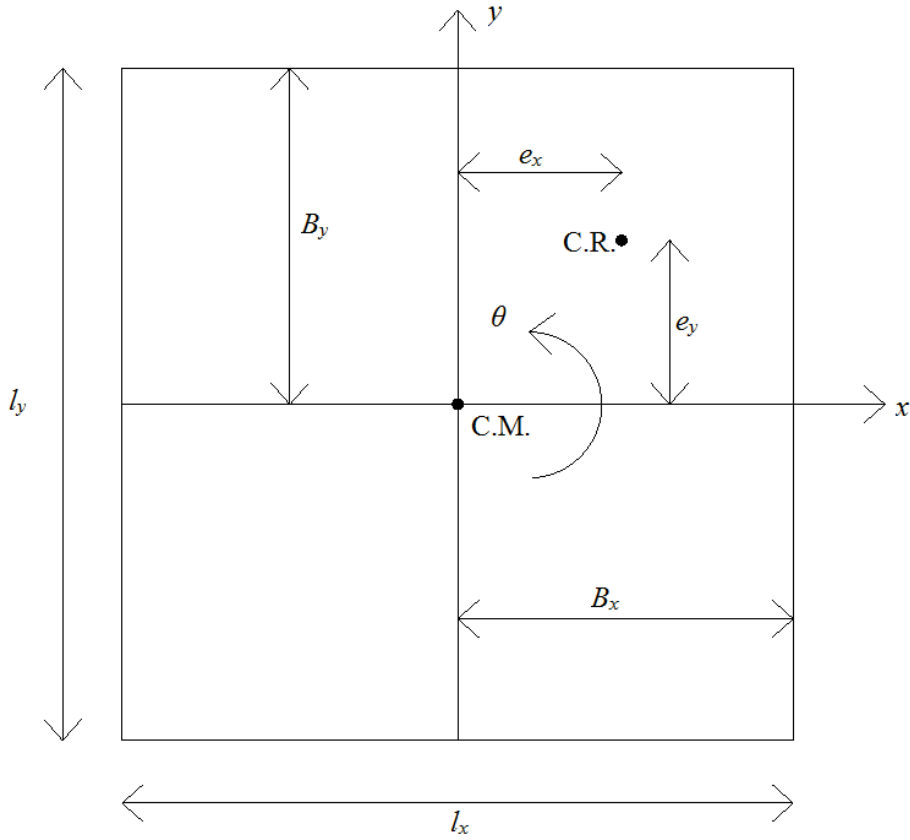
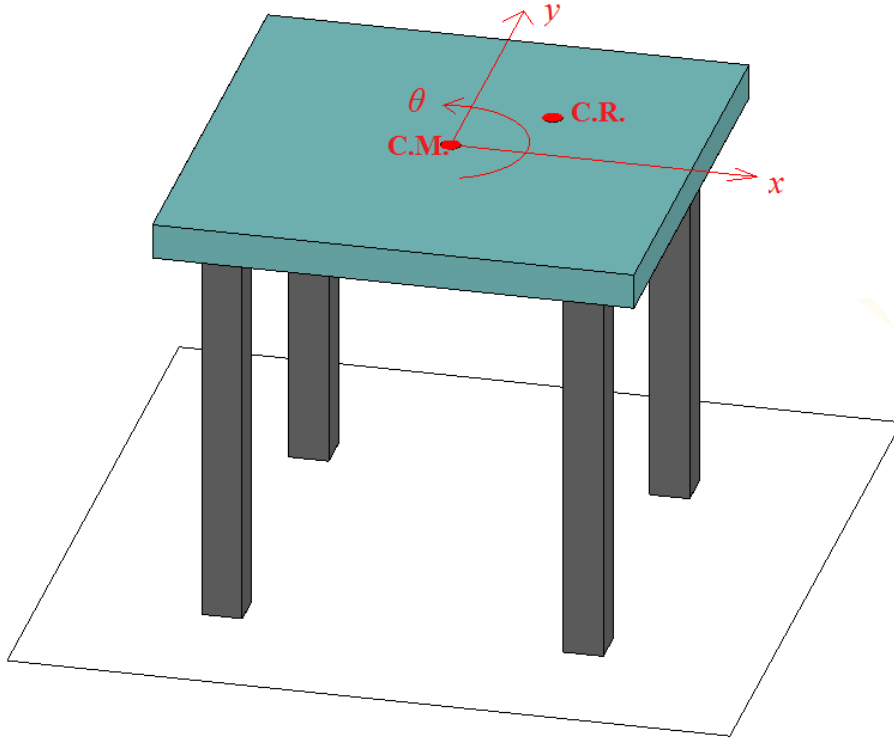
$$\ddot{\mathbf{z}}(t) = \begin{bmatrix} \ddot{x}_g \\ \ddot{y}_g \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$J_0 = mr^2 \quad (3.20)$$

Sönüm matrisinde bulunan  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları Rayleigh metodu ile bulunmuştur [68]. Bu katsayılar Denklem 3.21 ve 3.22'de verilmiştir. Bu denklemlerde  $\omega_x$  ve  $\omega_y$  sırasıyla  $x$  ve  $y$  yönlerindeki doğal frekanslar,  $\zeta_x$  ve  $\zeta_y$  ise sırasıyla  $x$  ve  $y$  yönlerindeki sönüm oranlarıdır.

$$\alpha = \frac{2\omega_x \omega_y (\zeta_x \omega_y - \zeta_y \omega_x)}{\omega_y^2 - \omega_x^2} \quad (3.21)$$

$$\beta = \frac{2(\zeta_y \omega_y - \zeta_x \omega_x)}{\omega_y^2 - \omega_x^2} \quad (3.22)$$



**Şekil 3.5 :** Tek katlı burulma düzensizliği oluşan yapının üç boyutlu ve plan görünüşleri.

Aktif kontrollü sistemin üç boyutlu görünümü ve yüzlerde bulunan dinamik verenlerin numaraları Şekil 3.6’de görülmektedir. Her yüzde bir dinamik veren ve bu

dinamik verene bağılı dört adet öngerilmeli kablo bulunmaktadır. Kontrol esnasında dört kablonun ikisinde gerilme artışı meydana gelirken, diğer iki kabloda gerilme azalması meydana gelmektedir.  $R$ ,  $k_c$ ,  $\theta_t$  ve  $u(t)$  sırasıyla öngerilme kuvveti, tek kablonun rijitliği, kablonun yatay eksen ile arasındaki açısı ve kontrol sinyali(dinamik verenin kollarının yerdeğiştirmesi) olmak üzere, kontrol esnasındaki yük değişimi Şekil 3.7’de görüldüğü gibi meydana gelmektedir. Kontrollü sistemin hareket denklemi ise Denklem 3.23’de verilmiştir. Bu denklemde ilave olarak **B** tendon konum matrisi ve  $U(t)$  tendon yerdeğiştirme vektörü bulunmaktadır. Diğer ifadelerin içeriğinde bir değişiklik yoktur. Tendon konum matrisindeki  $\theta_{tx}$  ve  $\theta_{ty}$ , x ve y yönlerinde bulunan kabloların yatay eksen ile arasındaki açılardır. Tendon yerdeğiştirme vektöründe ise, yapının yüzlerinde bulunan dinamik verenlerin yerdeğiştirme değerleri olan kontrol sinyalleri bulunmaktadır. Kontrol sinyallerinin alt indisleri dinamik veren numarasını ifade etmektedir. Eğer yapıda belirtilen dinamik verenin olduğı noktada kontrol yok ise bu değer sıfır olarak alınmalıdır.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t)+\mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t)+\mathbf{K}\mathbf{x}(t)=\mathbf{B}\mathbf{U}(t)+\mathbf{E}\ddot{\mathbf{z}}(t) \quad (3.23)$$

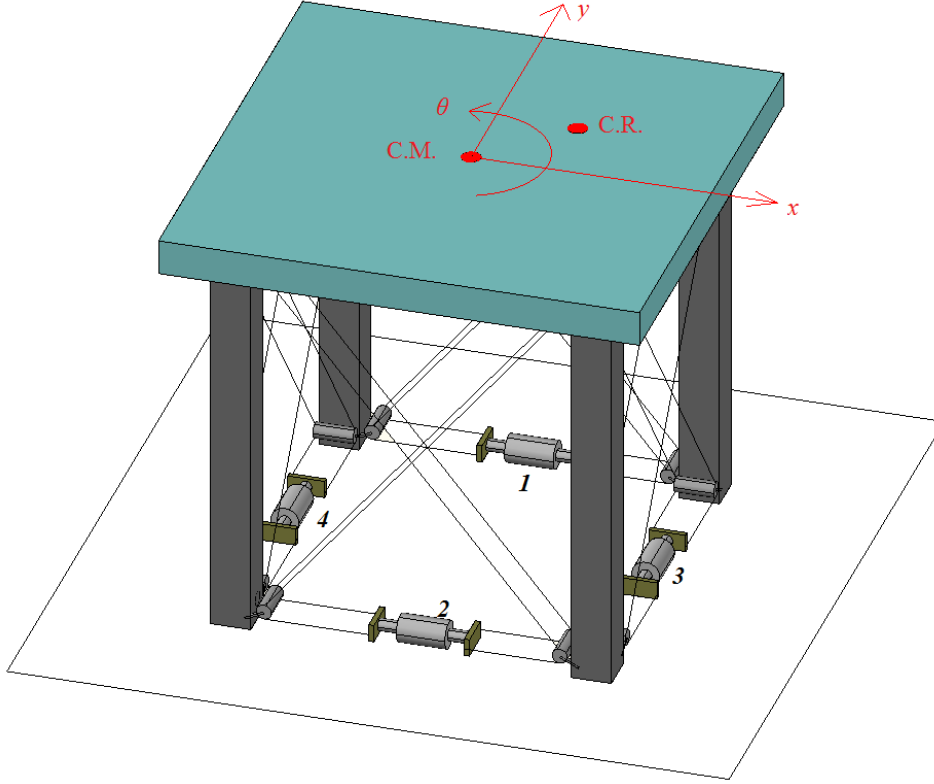
$$\mathbf{B}=\begin{bmatrix} 4k_c\cos\theta_{tx} & 4k_c\cos\theta_{tx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4k_c\cos\theta_{ty} & 4k_c\cos\theta_{ty} \\ -4k_cB_y\cos\theta_{tx} & 4k_c(l_y-B_y)\cos\theta_{tx} & 4k_cB_x\cos\theta_{ty} & -4k_c(l_x-B_x)\cos\theta_{ty} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$\mathbf{U}(t)=[u_1(t) \quad u_2(t) \quad u_3(t) \quad u_4(t)]^T \quad (3.25)$$

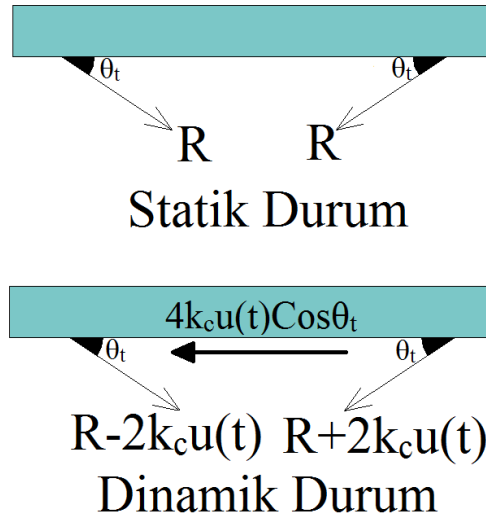
Elde edilen sonuçları karşılaştırmak için daha önce Lin ve diğerleri[41] tarafından yapılmış çalışmada kullanılan yapı modeli incelenmiştir. Tek katlı burulma düzensizliğı olan yapının ve aktif tendon sisteminin özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Aktif tendon kontrol sisteminin yerleşiminin üç durumu incelenmiştir. İlk durum, sadece 2 nolu dinamik verenin olduğı yapı yüzünde aktif kontrolün bulunmasıdır. Bu durumda iki yönde de depreme maruz yapı, tek yönde kontrol edilmektedir. Tek yönde kontrol yapılması planlanıyor ise, binanın kritik doğal frekansı x yönünde olduğı için kontrol x yönünde olmalıdır. Aynı doğrultuda tek yüzde kontrol edilmesi isteniyor ise, kontrol; rijitlik merkezine uzak yüzde olmalıdır, çünkü o yüzdeki yerdeğiştirmeler dönmeden daha çok etkilenecektir. İkinci durumda ise her iki yönde de kontrol yapılmıştır, fakat her doğrultuda sadece tek yüzde kontrol sistemi

bulunmaktadır. 2 ve 4 numaralı dinamik verenin olduğu yüzde kontrol yapılmıştır, çünkü binanın bu yüzleri rijitlik merkezine uzaktır. Üçüncü durumda, tüm yüzlerde aktif kontrol sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.6 : Aktif tendon kontrollü sistemin üç boyutlu görünümü.



Şekil 3.7 : Bir yüzde bulunan kablolardaki yük değişimi.

**Çizelge 3.3 :** Tek katlı burulma düzensizliği olan yapının özellikleri [41].

|                                                                              |                                        |              |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| <i>Kütle</i>                                                                 | <i>m</i> (kg)                          | 2923.5       |
|                                                                              | $\omega_x$ (Hz)                        | 3.47         |
| <i>x, y ve <math>\theta</math> doğrultularındaki ayırık doğal frekanslar</i> | $\omega_y$ (Hz)                        | 3.81         |
|                                                                              | $\omega_\theta$ (Hz)                   | 4.16         |
| <i>x, y ve <math>\theta</math> doğrultularındaki sönüm oranları</i>          | $\zeta_x = \zeta_y = \zeta_\theta$ (%) | 1.24         |
| <i>Kablo rijitliği</i>                                                       | $k_c$ (N/m)                            | 372100       |
| <i>Kablonun yatay ile arasındaki açı</i>                                     | $\theta_{tx} = \theta_{ty}$ (°)        | 36           |
| <i>Rijitlik merkezi konumu</i>                                               | $e_x/r = e_y/r$                        | 0.3          |
| <i>Ağırlık merkezi konumu</i>                                                | $B_x/r = B_y/r$                        | $\sqrt{3/2}$ |

### 3.5 Çok Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapı Modeli

Çok katlı üç boyutlu sistemlerin hareket denklemleri tek katlı yapı için verilen Denklem 3.13 ve aktif kontrollü sistem için verilen Denklem 3.23 ile ifade edilebilir. Fakat matrisler ve vektörler her kat için çok serbestlik derecesi olacak şekilde boyutları ve içerikleri değişecektir. Tek katlı burulma düzensizliği olan yapıların denklemlerinde yer alan simgelere konulan alt indisler, yapının kat numarasını ifade etmektedir. Kat sayısı ise,  $n$  ile ifade edilmiştir. Kütle matrisi ve matrisin içinde yer alan alt matrislerin içeriği Denklem 3.26-3.28 aralığında verilmiştir.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_x & [0]_{n \times n} & [0]_{n \times n} \\ [0]_{n \times n} & \mathbf{M}_y & [0]_{n \times n} \\ [0]_{n \times n} & [0]_{n \times n} & \mathbf{J}_0 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$\mathbf{M}_x = \mathbf{M}_y = \begin{bmatrix} m_1 & & & & & \\ & m_2 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & m_{n-1} & \\ & & & & & m_n \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

$$\mathbf{J}_0 = \begin{bmatrix} m_1 r_1^2 & & & & \\ & m_2 r_2^2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & m_{n-1} r_{n-1}^2 & \\ & & & & & m_n r_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Rijitlik matrisi ve matrisin içinde yer alan alt matrisler Denklem 3.29-3.35 aralığında verilmiştir. Hareket denklemini oluşturan ve tek katlı sistemden farklı olan tüm vektör ve matrisler Denklem 3.36-3.39 aralığında verilmiştir. Sönüm matrisi Rayleigh metodu ile bulunmuştur.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} [\mathbf{K}_{xx}] & [\mathbf{0}]_{n \times n} & -[\mathbf{K}_{x\theta}] \\ [\mathbf{0}]_{n \times n} & [\mathbf{K}_{yy}] & [\mathbf{K}_{y\theta}] \\ -[\mathbf{K}_{x\theta}] & [\mathbf{K}_{y\theta}] & [\mathbf{K}_{\theta\theta}] \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$[\mathbf{K}_{xx}] = \begin{bmatrix} (k_{x1} + k_{x2}) & -k_{x2} & & & \\ -k_{x2} & (k_{x2} + k_{x3}) & -k_{x3} & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & -k_{x_{n-1}} & (k_{x_{n-1}} + k_{x_n}) & -k_{x_n} \\ & & & & -k_{x_n} & k_{x_n} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

$$[\mathbf{K}_{yy}] = \begin{bmatrix} (k_{y1} + k_{y2}) & -k_{y2} & & & \\ -k_{y2} & (k_{y2} + k_{y3}) & -k_{y3} & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & -k_{y_{n-1}} & (k_{y_{n-1}} + k_{y_n}) & -k_{y_n} \\ & & & & -k_{y_n} & k_{y_n} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$[K_{x\theta}] = \begin{bmatrix} (k_{x_1} e_{y_1} + k_{x_2} e_{y_2}) & -k_{x_2} e_{y_2} & & & & & & & & & \\ -k_{x_2} e_{y_2} & (k_{x_2} e_{y_2} + k_{x_3} e_{y_3}) & -k_{x_3} e_{y_3} & & & & & & & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & & & & & & \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot & & & & & \\ & & & & \cdot & \cdot & & & & & \\ & & & & & -k_{x_{n-1}} e_{y_{n-1}} & (k_{x_{n-1}} e_{y_{n-1}} + k_{x_n} e_{y_n}) & -k_{x_n} e_{y_n} & & & \\ & & & & & & -k_{x_n} e_{y_n} & k_{x_n} e_{y_n} & & & \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

$$[K_{y\theta}] = \begin{bmatrix} (k_{y_1} e_{x_1} + k_{y_2} e_{x_2}) & -k_{y_2} e_{x_2} & & & & & & & & & \\ -k_{y_2} e_{x_2} & (k_{y_2} e_{x_2} + k_{y_3} e_{x_3}) & -k_{y_3} e_{x_3} & & & & & & & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & & & & & & \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot & & & & & \\ & & & & \cdot & \cdot & & & & & \\ & & & & & -k_{y_{n-1}} e_{x_{n-1}} & (k_{y_{n-1}} e_{x_{n-1}} + k_{y_n} e_{x_n}) & -k_{y_n} e_{x_n} & & & \\ & & & & & & -k_{y_n} e_{x_n} & k_{y_n} e_{x_n} & & & \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$k_{\theta\theta_i} = k_{\theta_i} + k_{x_i} e_{y_i}^2 + k_{y_i} e_{x_i}^2 \quad i=1:n; \quad (3.34)$$

$$[K_{\theta\theta}] = \begin{bmatrix} (k_{\theta\theta_1} + k_{\theta\theta_2}) & -k_{\theta\theta_2} & & & & & \\ -k_{\theta\theta_2} & (k_{\theta\theta_2} + k_{\theta\theta_3}) & -k_{\theta\theta_3} & & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & & -k_{\theta\theta_{n-1}} & (k_{\theta\theta_{n-1}} + k_{\theta\theta_n}) & -k_{\theta\theta_n} \\ & & & & & -k_{\theta\theta_n} & k_{\theta\theta_n} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} (4k_c \cos\theta_{tx})I_n & & & \\ [0]_{n \times n} & (4k_c \cos\theta_{tx})I_n & & \\ & [0]_{n \times n} & [0]_{n \times n} & (4k_c \cos\theta_{ty})I_n \\ & & & [0]_{n \times n} & (4k_c \cos\theta_{ty})I_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{y_1} \\ B_{y_2} \\ \ddots \\ B_{y_n} \end{bmatrix} \cos\theta_{tx} \begin{bmatrix} I_{y_1} - B_{y_1} \\ I_{y_2} - B_{y_2} \\ \ddots \\ I_{y_n} - B_{y_n} \end{bmatrix} \cos\theta_{tx} \begin{bmatrix} B_{x_1} \\ B_{x_2} \\ \ddots \\ B_{x_n} \end{bmatrix} \cos\theta_{ty} \begin{bmatrix} I_{x_1} - B_{x_1} \\ I_{x_2} - B_{x_2} \\ \ddots \\ I_{x_n} - B_{x_n} \end{bmatrix} \cos\theta_{ty} \quad (3.36)$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}_x[1]_{n \times 1} & [0]_{n \times 1} \\ [0]_{n \times 1} & -\mathbf{M}_y[1]_{n \times 1} \\ [0]_{n \times 1} & [0]_{n \times 1} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

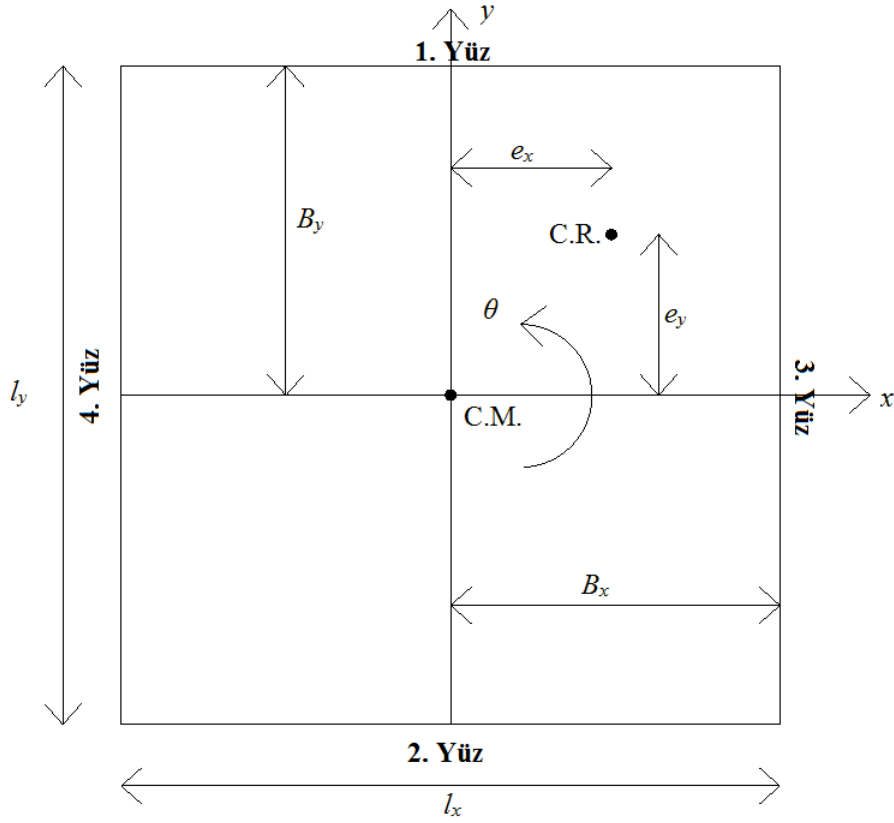
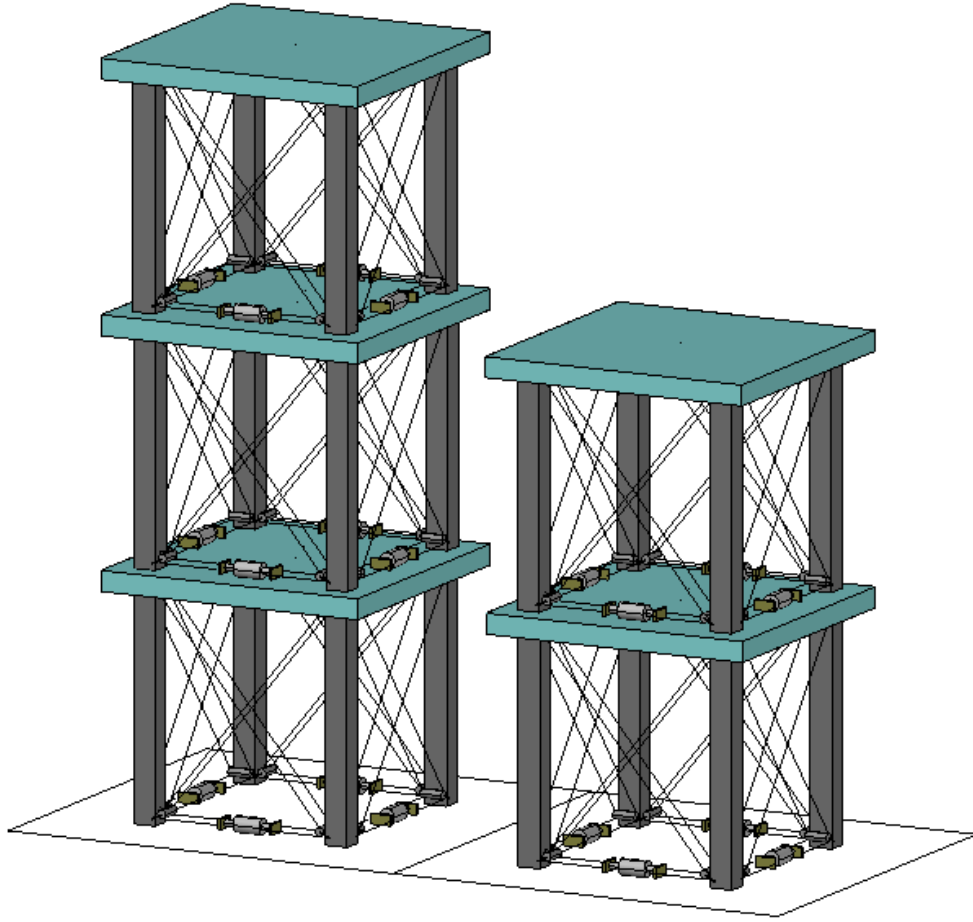
$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T \\ [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]^T \\ [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_n]^T \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$U(t) = \begin{bmatrix} [u_{11}(t)-u_{12}(t) \quad \dots \quad u_{1(n-1)}(t)-u_{1n}(t) \quad u_{1n}(t)]^T \\ [u_{21}(t)-u_{22}(t) \quad \dots \quad u_{2(n-1)}(t)-u_{2n}(t) \quad u_{2n}(t)]^T \\ [u_{31}(t)-u_{32}(t) \quad \dots \quad u_{3(n-1)}(t)-u_{3n}(t) \quad u_{3n}(t)]^T \\ [u_{41}(t)-u_{42}(t) \quad \dots \quad u_{4(n-1)}(t)-u_{4n}(t) \quad u_{4n}(t)]^T \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

Denklem 3.39’da verilmiş olan kontrol sinyali vektöründe, kontrol sinyali  $u_{ij}(t)$  şeklinde ifade edilmiştir. Bu ifadedeki ilk alt indis dinamik verenlerin bulunduğu bina yüzünün numarasını, ikinci alt indis ise kat numarasını vermektedir. Bir üst kattaki dinamik verenin alt katta tepki kuvveti oluşturmamasından dolayı, bir üst kattaki kontrol sinyali, kontrol sinyallerinden çıkartılmıştır.

Bu tez çalışmasında, iki ve üç katlı burulma düzensizliği olan yapı modelleri incelenmiştir. (Şekil 3.8) Yapı özellikleri, her kat için tek katlı yapının özellikleri ile aynı olarak alınmıştır. Bu durumda, iki katlı yapının ilk modunun periyodu 0.52s olmaktadır. Üç katlı yapının ilk modunun periyodu ise 0.72 saniyedir.

Her bir yapı modeli için dört farklı kontrol düzeni incelenmiştir. İlk iki durumda sadece ilk katta aktif kontrol vardır. Diğer iki durumda ise, tüm katlarda aktif kontrol bulunmaktadır. Birinci ve üçüncü durumda, yapı sadece iki yüzden (2 ve 4 yüzleri) kontrol edilmektedir. Diğer durumlarda tüm yüzlerde kontrol vardır.

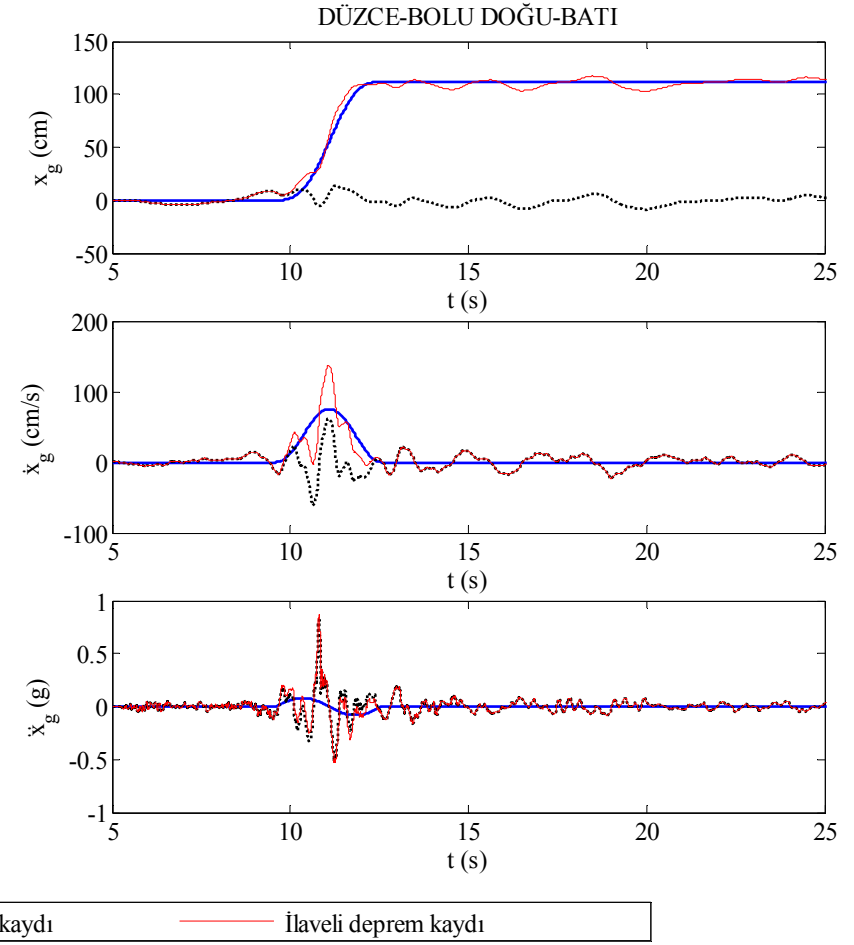
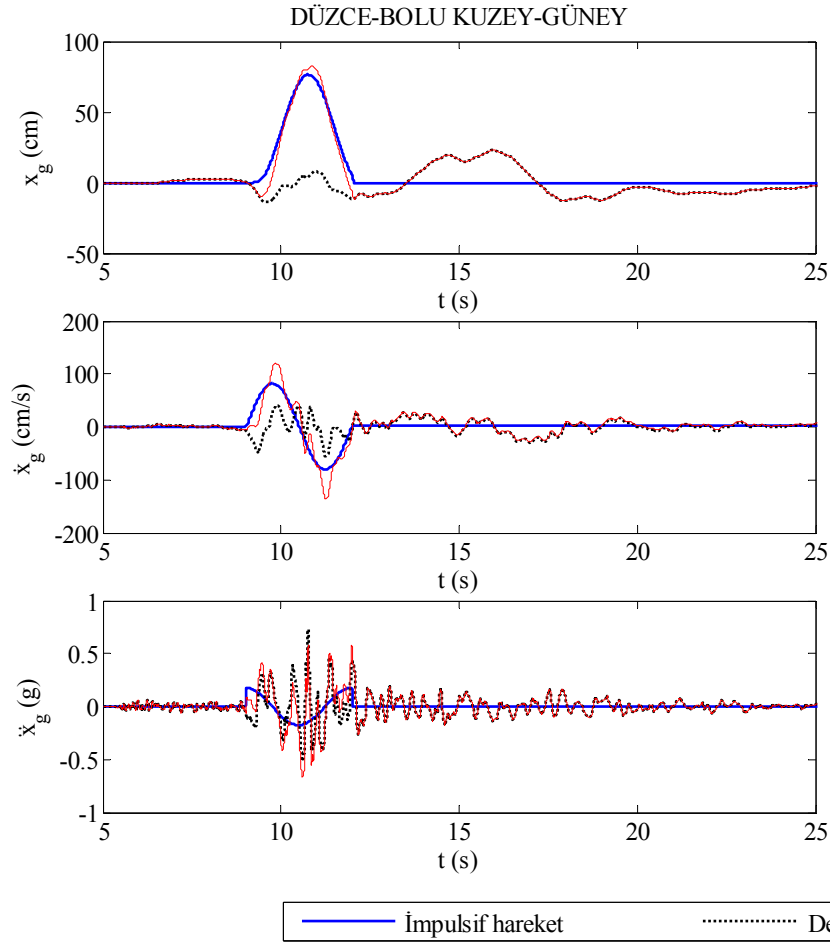


Şekil 3.8 : Aktif tendon kontrollü çok katlı yapı modelleri.

### 3.6 Kullanılan Deprem Verileri

Çalışmada, yakın fay etkisi altında kontrol sisteminin başarımını irdelemek için, deprem kayıtlarının maksimum hızlarının olduğu anlarda, deprem kayıtlarına yakın fay etkisinde oluşan darbe tipi titreşimler eklenmiştir. Kullanılan deprem kayıtları, 1999 Düzce depreminin Bolu kaydı, 1992 Erzincan depreminin Erzincan kaydı ve 1994 Northridge depreminin Sylmar-Olive View Med FF kaydıdır. Bu depremlerin tepe yer hızları, Denklem 2.13 ile hesaplanan değerlere yükseltmek istenmiştir. Bunun için, Makris tarafından açıklanan dairesel dalga denklemleri kullanılmıştır [50-51]. Bu denklemlerle hesaplanan titreşimler, deprem kayıtlarına ilave edilmiştir. Deprem dataları, pasifik deprem mühendisliği araştırma merkezinin (PEER) NGA veritabanı internet sitesinden alınmıştır [69].

Bolu istasyonunun Düzce depreminin merkez üstüne olan uzaklığı 17.6 kilometredir. Önceki bölümde yapılan açıklamada 10-15 km uzaklıktaki depremlerin yakın fay etkisi oluşturduğu belirtilmiştir. Fakat, bu deprem için en büyük ivme değerine sahip olan deprem kaydı Bolu kaydıdır. Doğu yönünde oldukça büyük olan  $8 \text{ m/s}^2$  tepe ivmesi değerine sahiptir. Düzce depreminin moment büyüklüğü 7.2'dir. Denklem 2.13 ile tepe yer hızı, moment büyüklüğüne göre  $137.55 \text{ cm/s}$  bulunmuştur. Doğrultu açısı sıfır alınmıştır. Bu durumda denklem maksimum sonucu vermektedir. Deprem kaydındaki maksimum hızlar güney yönünde  $56.4 \text{ cm/s}$  ve doğu yönünde  $62.1 \text{ cm/s}$ 'dir. Denklem 2.11 ile toprak zemin için yakın fayın neden olduğu tepe hız titreşiminin periyodu 2.96 saniye bulunmuştur. Düzce depreminin Bolu kaydının kuzey-güney bileşeni iki yönde de büyük tepe yer hızı içerdiği için ilave edilecek yakın fay titreşimi B tipi seçilmiştir. Deprem bu yönde doğrultu titreşimi içermektedir. İlave edilen hız titreşiminin tepe hızının  $81.15 \text{ cm/s}$  olması istenmiştir. Düzce depreminin Bolu kaydının kuzey-güney bileşeni doğrultu titreşimi oluşturduğuna göre, ona dik olan doğu-batı bileşeni sıçrama titreşimi oluşturmalıdır. Bunun için ilave edilecek yakın fay titreşimi A tipi seçilmiştir. İlave edilen hız titreşiminin tepe yer hızı  $75.46 \text{ cm/s}$  olması istenmiştir. Düzce depreminin Bolu kaydının yerdeğiştirme, hız ve ivme grafikleri Şekil 3.9'da verilmiştir.

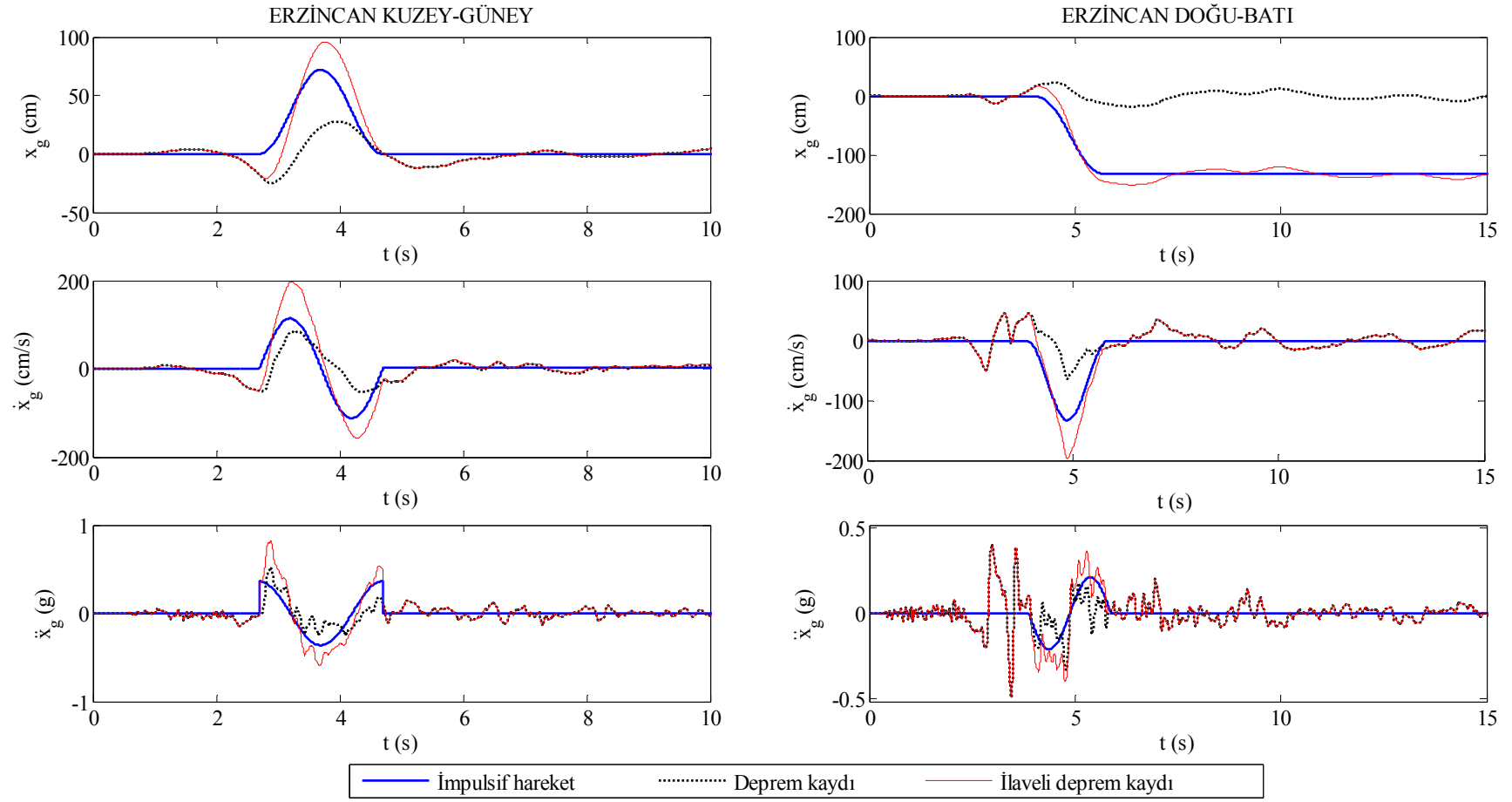


**Şekil 3.9 :** Düzce depremi Bolu Kaydının kullanılan verileri.

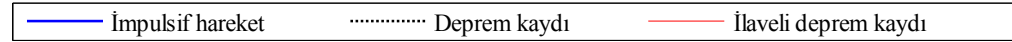
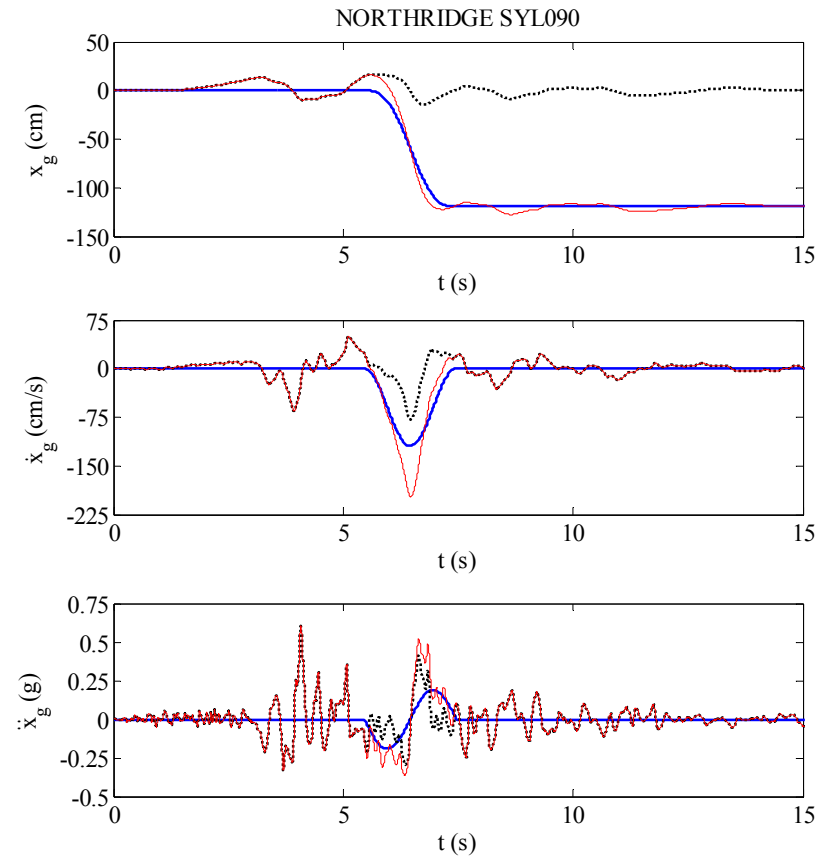
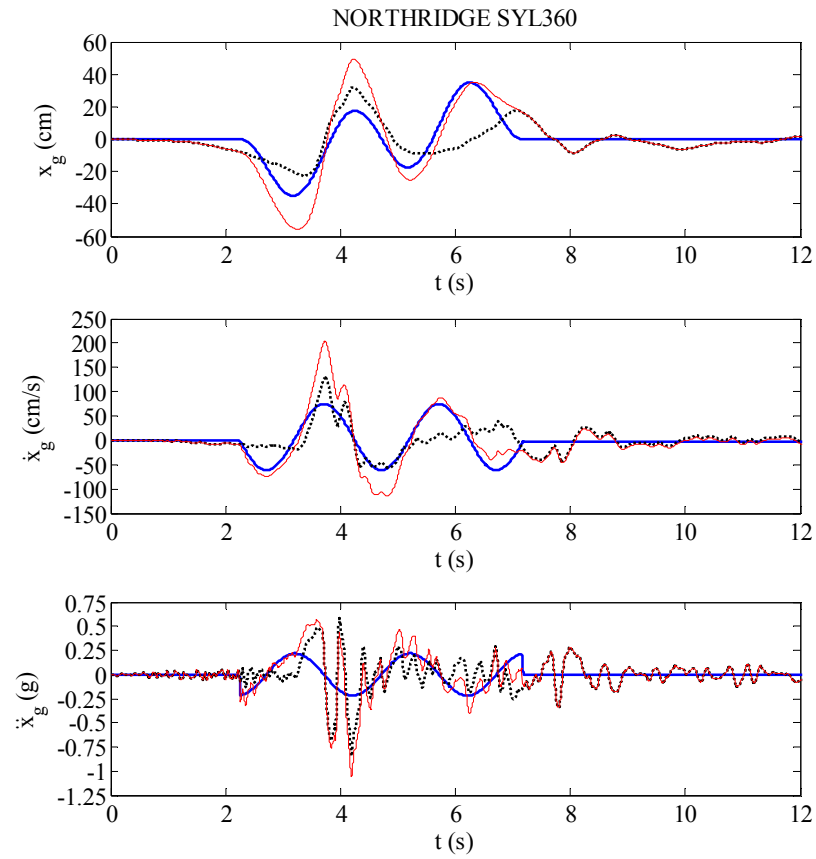
Erzincan depreminin moment büyüklüğü 6.7'dir. Erzincan istasyonunun merkez üstüne olan uzaklığı 2 kilometredir. Dolayısıyla bu kayıt yakın fay etkisi olan depremlerin iyi bir örneğidir. Erzincan depremi için, Denklem 2.13 ile tepe yer hızı 197,45 cm/s bulunmuştur. Doğrultu açısı, maksimum sonucu elde etmek için sıfır alınmıştır. Deprem kaydındaki maksimum hızlar kuzey yönünde 83.9 cm/s ve batı yönünde 64.3 cm/s'dir. Denklem 2.11 ile toprak zemin için yakın fayın neden olduğu tepe hız titreşiminin periyodu 2 saniye bulunmuştur. Depremin kuzey-güney bileşeni iki yönde de büyük tepe yer hızı içerdiği için ilave edilecek yakın fay titreşimi, B tipi seçilmiştir. Deprem, bu yönde doğrultu titreşimi içermektedir. İlave edilen hız titreşiminin tepe hızı 113 cm/s olması istenmiştir. Depremin kuzey-güney bileşeni doğrultu titreşimi oluşturduğuna göre, ona dik olan doğu-batı bileşeni sıçrama titreşimi oluşturmalıdır. Bunun için ilave edilecek yakın fay titreşimi A tipi seçilmiştir. İlave edilen hız titreşiminin tepe hızı 133 cm/s olması istenmiştir. Erzincan depreminin Erzincan kaydının yerdeğiştirme, hız ve ivme grafikleri Şekil 3.10'da verilmiştir.

1994 yılında bir çok yapıda ciddi hasarlara neden olan Northridge depreminin moment büyüklüğü 6.7'dir. İstasyonun fayın yırtıldığı noktaya olan uzaklığı 6.4 kilometredir. Deprem kaydının faya normal bileşenini ifade eden SYL360 kaydına, C<sub>2</sub> tipi titreşim eklenmiştir. Bu kayıta bulunan en büyük yer hızı 129.37 cm/s'dir. C<sub>2</sub> tipi titreşimin eklenmesi ile bu değer, Denklem 2.13 ile elde edilmiş olan 197.45 cm/s değeri olmuştur. C<sub>n</sub> tipi titreşimlerde n=2 için, Denklem 2.10 yardımı ile faz açısı  $0.041\pi$  radyan bulunmuştur. Aynı deprem kaydının faya dik bileşenine A tipi titreşim eklenmiştir. Deprem kaydının faya dik bileşeninin maksimum yer hızı 78.2 cm/s'dir. Northridge depreminin Sylmar kaydının çalışmada kullanılan verileri Şekil 3.11'de verilmiştir. Bu depremin moment büyüklüğü, Erzincan depremi ile aynı olduğu için 2 saniye periyotlu titreşimler eklenmiştir.

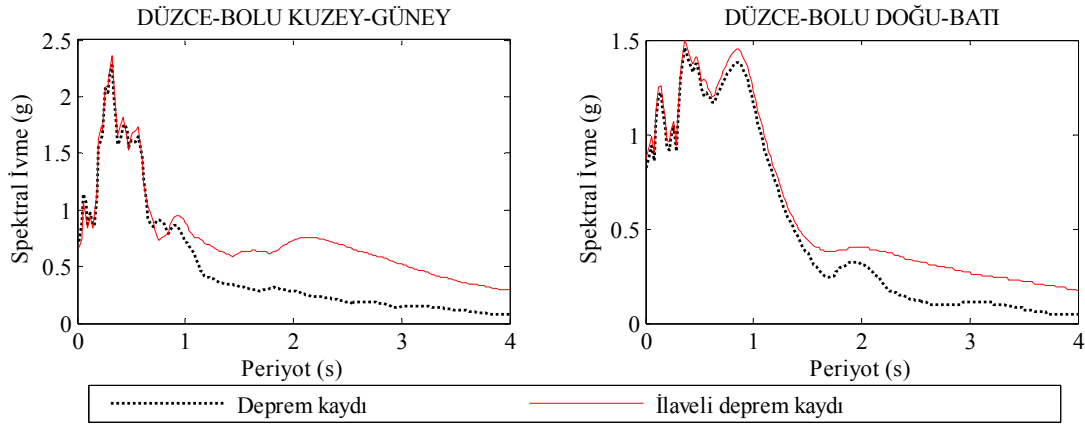
Şekil 3.12'de Düzce depreminin Bolu kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri ilaveli ve ilavesiz deprem kayıtları için verilmiştir. Görüldüğü gibi ilaveli kayıtlardaki artış, yüksek periyotlarda daha etkin olmuştur. Çalışmada verilmiş olan ivme spektrum grafikleri SeismoSignal programı yardımıyla elde edilmiştir [70].



Şekil 3.10 : Erzincan depremi Erzincan kaydının kullanılan verileri.

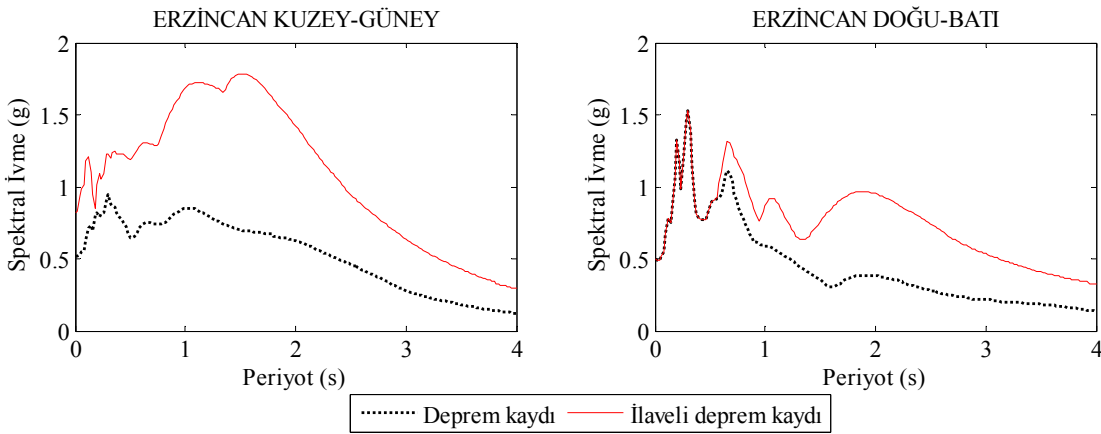


**Şekil 3.11 :** Northridge depremi Sylmar kaydının kullanılan verileri



**Şekil 3.12 :** Düzce depremi Bolu kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri.

Şekil 3.13'te ise Erzincan depreminin Erzincan kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri, ilaveli ve ilavesiz deprem kayıtları için verilmiştir. Özellikle, kuzey-güney bileşeninde, ilaveli deprem kaydındaki artış oldukça fazladır.

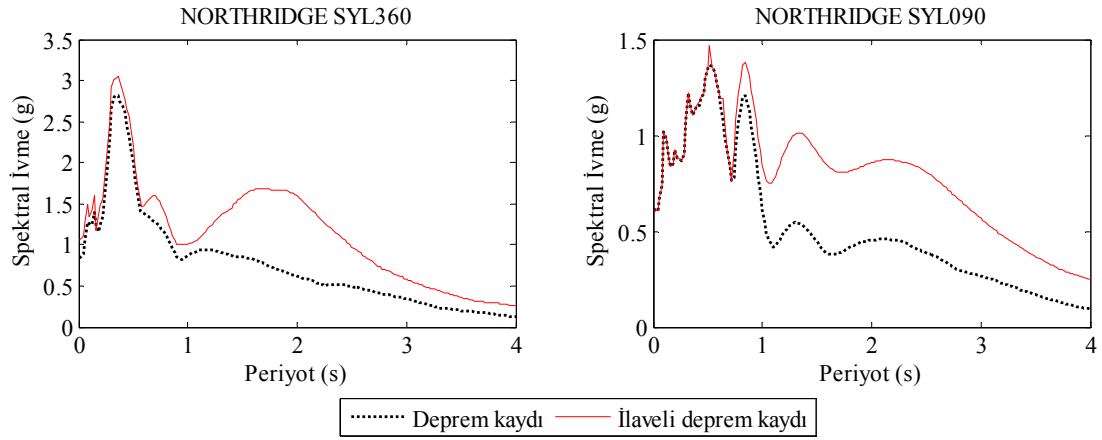


**Şekil 3.13 :** Erzincan depremi Erzincan kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri.

Şekil 3.14'te Northridge depreminin Sylmar kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri ilaveli ve ilavesiz deprem kayıtları için verilmiştir. Faya normal doğrultuda olan SYL360 bileşenine birden çok atışlı titreşim eklendiğinden, ivme spektrum grafiğinde eklenen titreşimlerin periyoduna karşı gelen değerlerde en büyük artış olmuştur. Bu durumdan dolayı, spektrum grafiğinde bir tepe daha oluşmuştur.

Bu tez çalışmasında ayrıca, yalnız tepe hızları 230 cm/s olan 1.5 ve 3 saniye periyotlu darbe hareketlerin etkileri altında kontrol sistemi denenmiştir. Kontrol sisteminin başarımının en kritik durumunun da incelenmesi için periyotları incelenen yapıların periyotlarına yakın olan darbe etkileri altında da incelemeler yapılmıştır. Küçük periyotlu titreşimlerde, hızın 230 cm/s'ye yükselmesi olası olmayabilir ve

yapılarda çok büyük etkilere neden olmaktadır. Bunun için bu tip titreşimlerin maksimum hızı 50 cm/s olarak alınmıştır.



**Şekil 3.14 :** Northridge depremi Sylmar kaydının %5 sönümlü ivme spektrum grafikleri.

Burulma düzensizliği oluşan tek katlı yapı, daha önce Lin ve diğerleri tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılması için, Imperial Valley depreminin El Centro kaydı altında da incelenmiştir.

### 3.7 Analiz Yöntemi

Yapıların zaman ve frekans tanım alanındaki analizleri, Matlab[71] programı ile yapılmıştır. Matlab'ın bir alt programı olan Simulink ile hareket denklemlerinin blok diyagramları oluşturulmuştur. Daha sonra, m-file dosyaları hazırlanmış ve çeşitli grafikler elde edilmiştir.

Nümerik çözüm yöntemi olarak Dördüncü Dereceden Runge-Kutta Metodu[72] seçilmiştir. Adım aralığı 1e-3 olarak hesaplamaların yapılması sağlanmıştır.

Dördüncü Dereceden Runge-Kutta Metodu, adım aralığındaki dört tane eğiminin yardımıyla bir sonraki adımın sonucunu bulabilmektedir.  $Q_{1k}$  (Denklem 3.40) değeri adımın başlangıcındaki eğimi ifade eder. Denklem 3.41 ve 3.42'de verilen değerler adımın orta noktasındaki eğimlerdir.  $Q_{4k}$  (Denklem 3.43) değeri ise adımın sonundaki eğimi ifade etmektedir. Eğim değerleri hesaplandıktan sonra Denklem 3.44 ile bir sonraki adımın sonucu elde edilebilir. Denklemlerde h adım sayısını ifade etmektedir.

$$Q_{1k} = y_k' = f(x_k, y_k) \quad (3.40)$$

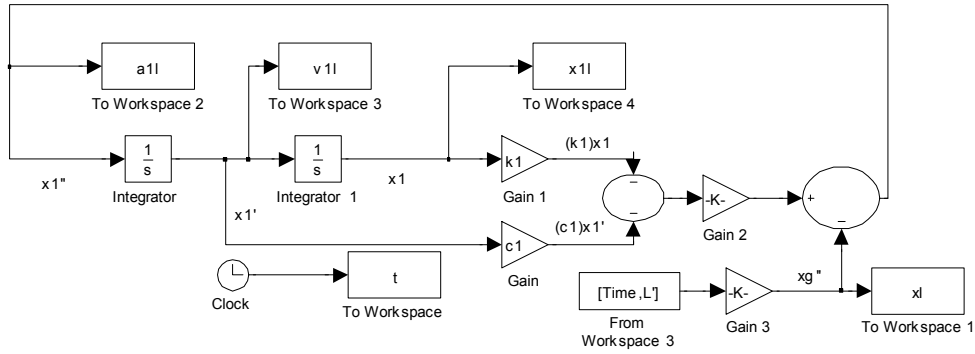
$$Q_{2k} = f(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2} Q_{1k}) \quad (3.41)$$

$$Q_{3k} = f(x_k + \frac{h}{2}, y_k + \frac{h}{2} Q_{2k}) \quad (3.42)$$

$$Q_{4k} = f(x_k + h, y_k + h Q_{1k}) \quad (3.43)$$

$$y_{k+1} = y_k + \frac{h}{6} (Q_{1k} + 2Q_{2k} + 2Q_{3k} + Q_{4k}) \quad (3.44)$$

Şekil 3.15'te tek serbestlik dereceli kontrolsüz sistem için hazırlanmış olan Simulink blok diyagramı görülmektedir.



**Şekil 3.15 :** Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin blok diyagramı.

Integrator bloğuna giren  $\ddot{x}_1$  fonksiyonunun integrali alınarak  $\dot{x}_1$  elde edilmiş ve tekrar integrator bloğu ile  $x_1$  elde edilmiştir. Gain bloğuna giren  $x_1$ ,  $k_1$  ile çarpılmıştır. Aynı şekilde  $\dot{x}_1$ ,  $c_1$  ile çarpılmıştır.  $c_1\dot{x}_1$  ve  $k_1x_1$  değerleri eksi işaretli olarak sum bloğu ile toplanmışlardır ve gain bloğu yardımıyla  $1/m_1$  ile çarpılmıştır.

From Workspace bloğu, Matlab çalışma alanında belirlenmiş olan ifadeyi blok diyagramına taşımaya yarar. Time adı verilmiş zaman matrisine göre elde edilmiş L' adlı deprem ivme datası diyagrama aktarılmıştır. Deprem datasının biriminin düzeltilmesi gain bloğu ile yapılmıştır.  $-k_1x_1 - c_1\dot{x}_1$  değerinden, deprem datası sum bloğu ile çıkarılmıştır ve böylelikle  $\ddot{x}_1$  değeri elde edilmiştir ve döngü sağlanmıştır. Clock bloğunun To Workspace bloğu ile bağlanmasıyla, zaman vektörü Matlab



stabilite sorununa değinilmiştir. Kontrol ile ilgili parametrelerin değışimi ile bu sorunu aşmışlardır [40]. Bunun için PID kontrolcünün katsayıları, zaman gecikmesi dikkate alınarak ayarlanmalıdır.

Üç serbestlik dereceli ve tek katlı burulma düzensizliği oluşan yapının üç tane birbirine bağı hareket denklemi olduğu için, bu sistemlerin blok diyagramları hazırlanırken Mux ve fcn komutlarından yararlanılmıştır. Mux bloğuna giren veriler tek bir vektör altında toplanmaktadır. Böylelikle, bu vektörde yer alan veriler bir fonksiyon olarak tanımlanmış olmakta ve fcn bloğunun içine hareket denklemi olduğu şekilde yazılabilmektedir. Şekil 3.17’de tek katlı burulma düzensizliği oluşan kontrollü yapının Simulink blok diyagramı görülmektedir. Bu blok diyagramında, aktif kontrolle ilgili kısım bir Subsystem bloğu içinde toplanmıştır ve böylelikle blok diyagramı daha düzenli bir hale getirilmiştir.

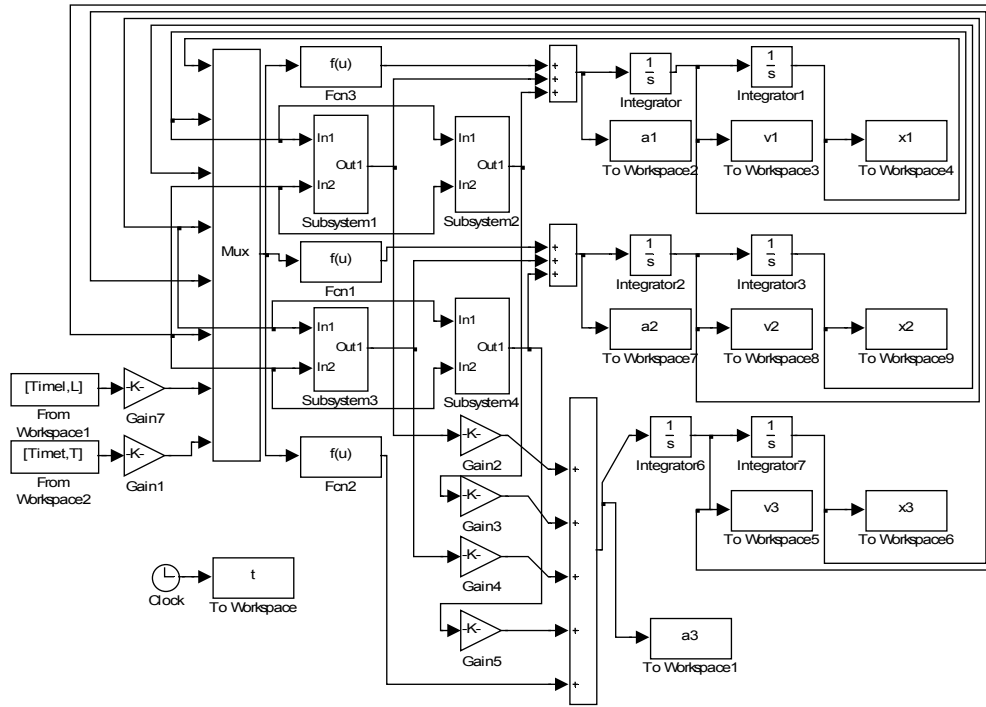
Çok katlı burulma düzensizliği olan yapının hareket denklemleri çok sayıda olduğu için, modal analiz yardımıyla geometrik koordinatlardan genelleştirilmiş koordinatlara geçilmiştir. Böylelikle tüm hareket denklemleri birbirinden bağımsız hale gelmiştir ve denklemler tek serbestlik dereceli olarak modellenebilmiştir. Tüm denklemler için sonuçlar elde edildikten sonra, tekrar geometrik koordinatlara geçilmiştir.

Çalışmada, zaman tanım alanındaki analizlerin yanında, frekans tanım alanında da analizler yapılmıştır. Bunlar transfer fonksiyonu ve Fourier dönüşümü analizleridir.

Çıkış fonksiyonunun Laplace dönüşümünün, giriş fonksiyonunun Laplace dönüşümüne oranına transfer fonksiyonu adı verilir. Birimsiz bir fonksiyondur ama on tabanında logaritmasının yirmi katına desibel (dB) adı verilir. Transfer fonksiyonu dış etkiden(depremden) bağımsız olduğu için, kontrol sisteminin başarımını tüm dış etkiler altında irdelemektedir. Bu çalışmada, düzlem sistemler için grafikleri verilecek olan transfer fonksiyonları, yapının ivmesinin Laplace dönüşümünün, depremin ivmesinin Laplace dönüşümüne oranıdır.

Düzensiz sistemler için yapılan transfer fonksiyonları, yapıda oluşan yerdeğıştirmelerin Laplace dönüşümünün  $x$  yönündeki verilen deprem ivmesinin Laplace dönüşümüne oranıdır. Transfer fonksiyonu değerin deprem ivmelerinden bağımsız olması istendiğinden, bu grafikler elde edilirken sadece  $x$  yönünde deprem

yapıya dış etki olarak verilmiştir. Fakat zaman tanım alanı analizlerinde ve Fourier dönüşümlerinde, üç boyutlu yapılar, her iki doğrultuda da deprem etkisi altındadır.



**Şekil 3.17 :** Tek katlı burulma düzensizliği oluşan kontrollü yapının Simulink blok diyagramı.

Ayrıca elde edilen verilerin frekans dağılımlarını görmek için Fourier dönüşümleri yapılmıştır. Fourier dönüşümü kullanılarak, verilerin değişik frekanslardaki sinus eğrileri toplamı şeklindeki frekans tanım alanındaki formu elde edilebilir. Matlab programında hızlı Fourier dönüşümü (FFT) komutu kullanılarak Fourier spektrum grafikleri elde edilmiştir.

### 3.8 PID Kontrolcü Katsayılarının Belirlenmesi

Yapıya etki edecek zamana göre değişken kontrol kuvvetinin elde edilmesi için PID kontrol prensibine göre, düzeltilmek veya iyileştirilmek istenen hata miktarının kendisi ile beraber türev ve integrali belirli katsayılar ile çarpılıp, kontrol sinyali elde edilmektedir. Kontrolcü katsayıları istenilen en iyi durumu verecek şekilde ayarlanmalıdır.

Güçlü, daha önce yapıların kontrolü için PID tipi kontrol ve kayan kip kontrolünü karşılaştırmıştır. Katsayıları Ziegler-Nichols metoduna[38] göre hesaplanan PID kontrolcü, kayan kip metoduna göre oldukça etkisiz kalmaktadır. Onun için PID

kontrolcü katsayıları deneme yanılma metodu ile bulunmuştur. Deneme yanılma ile bulunan değerleri iyileştirmek için bir nümerik algoritma kullanılmıştır.

Bu algoritma çeşitli kontrolcü parametrelerin birbiriyle olan kombinasyonları ile simülasyon yapıp, sistemin herhangi bir büyüklüğünün maksimum değerini bir matrise eklemektedir. Sıfırdan bir değere kadar hassas bir biçimde tüm değerlerin kombinasyonlarının kullanılması mümkün değildir. Çünkü, Matlab aynı sistemin simülasyonunu milyonlarca hatta trilyonlarca kere yapması gerekmektedir. Bu işlem ise günlerce sürebilir. Ayrıca, bazı kontrol katsayısı değerlerinde sistemde stabilite sorunu oluşmaktadır. Onun için deneme yanılma ile bulunan değerlerin civarındaki değerlerin kullanılması sağlanmıştır. Elde edilen verilere göre bu değerler güncellenmiş ve tekrar bu değerlerin civarı taranmıştır. Bu algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.18’de verilmiştir.

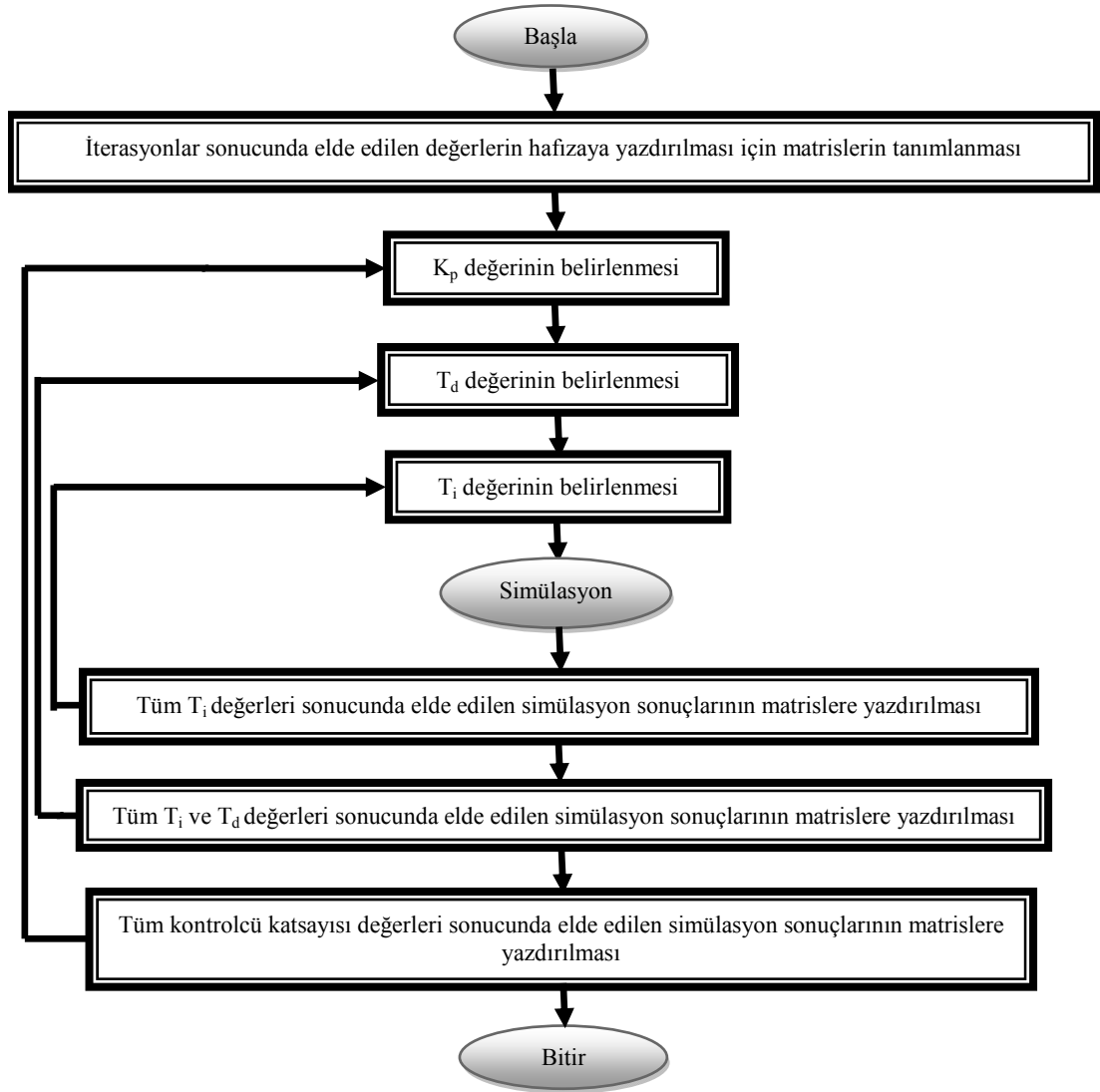
Kontrolcü katsayısı ayarlama işleminde 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi kullanılmıştır. İki yönde de deprem etkisi olan üç boyutlu sistemlerde ise, 1.5 saniyeli darbe tipi titreşimler kullanılmıştır. Katsayıların seçimi yapılırken, birinci katın yerdeğiştirmesi ve ivmesinin azaltılmasının yanında kontrol kuvvetinin minimum olmasına özen gösterilmiştir.

Düzlem tek boyutlu yapılarda, hata oranı ilk katın yerdeğiştirmesi olarak alınmıştır ve kontrol sinyali bu değere göre belirlenmiştir. Ayrıca, ilk katın yerdeğiştirmesi, taban kesme kuvvetinin değişkenidir.

Burulma düzensizliği oluşan üç boyutlu yapılarda, hata oranı olarak ilk katın hızı alınmıştır. Bu durumda kontrol kuvvetleri daha az olmaktadır. Ayrıca burulma etkisini azaltmak için ağırlık merkezindeki hızlar yerine, bina yüzlerindeki aktif kontrol sistemlerinin bulundukları yüzlerdeki ilk kat hızları kullanılmıştır.

Tek serbestlik dereceli yapı için, deneme yanılma ile orantı sabiti; -0.3, türev zamanı; 0.3 s ve integral zamanı ise 0.01 s bulunmuştur. Bu değerler ile sistem iyi sonuç vermektedir. Fakat en optimum sonucu bulabilmek için algoritma kullanılmıştır. Algoritmada, orantı sabiti -0.5 ile -0.2 arasında, türev zamanı 0.2 s ile 0.5 s arasında ve integral zamanı 0.005 s ile 0.02 s arasında taranması sağlanmıştır. Sonra en küçük orantı sabiti değerinin en optimum sonucu verdiği anlaşıldığı için, bu değer -0.24 ile -0.09 arasında taranmıştır. 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında oluşan maksimum bina ivmelerine göre en minimum değeri veren orantı sabiti değeri -0.12

olduğu anlaşılmıştır. Bu değer bilindikten sonra diğer değerlerin bulunması için tekrarlanan analiz sonucunda birçok kombinasyonun minimum olduğu ve integral zamanının büyüdükçe sonucun aynı kaldığı anlaşılmıştır ve integral zamanının daha büyük değerleri maksimum tendon kuvvetine göre taranmıştır. Sonuç olarak orantı sabiti; -0.12, türev zamanı; 0.15 s ve integral zamanı; 0.035 s bulunmuştur. Bu değerler tüm etkiler altında iyi sonuç vermektedir.



**Şekil 3.18 :** Kullanılan nümerik algoritmanın akış diyagramı.

Üç serbestlik dereceli yapıda, sadece aşağı katta aktif kontrolün bulunduğu Durum A'da kontrolcü katsayıları,  $K_p=-0.01$ ,  $T_d=0.7$  s ve  $T_i=0.04$  s olarak bulunmuştur. Her katta aktif tendon kontrolü olduğunda (DURUM B), tepki kuvvetinden dolayı her katta aynı kuvveti etki ettiren kablolar kullanılamaz. Bundan dolayı en alt kattaki kablolardan gelen kuvvetin, en üst kattaki kuvvetin üç katı olması istenmiştir. İkinci kattakiler ise iki kat olarak ayarlanmıştır. Onun için  $K_p$

değerleri kat sırasına göre 3, 2 ve 1 kat alınmıştır. Böylelikle, tüm katlarda kontrol kuvveti bileşkesi aynı olmuştur. Üçüncü durum olan Durum C’de tüm katları aynı kuvvetle kontrol etmek için  $K_p$  değerleri, uzandığı katların sırasına göre 1, 1.4 ve 1.9 kat alınmıştır. Durum B ve C’de elde edilen analiz sonuçları aynıdır, fakat kontrol kuvveti değerlerinde farklılıklar vardır. Durum B ve C için kontrolcü katsayıları, en küçük  $K_p$  (orantı sabiti); -0.013,  $T_d$  (türev zamanı); 0.7 s ve  $T_i$  (integral zamanı); 0.01 s olarak bulunmuştur.

Tek katlı burulma düzensizliği oluşan yapıda, yapılan çeşitli denemeler ve kullanılan nümerik algoritma sonucunda farklı yüzlerdeki kontrol sistemleri için aynı kontrolcü katsayılarının kullanılması uygun olmaktadır. Bu durum yapının  $x$  ve  $y$  doğrultularındaki doğal frekanslarının çok farklı değerleri olmadığından kaynaklanmaktadır. Tüm yerleşim durumları için, kontrolcü katsayıları,  $K_p$  (orantı sabiti); -0.007 s,  $T_d$  (türev zamanı); 0.005 s ve  $T_i$  (integral zamanı); 6 s olarak bulunmuştur.

İki katlı burulma düzensizliği oluşan yapı için,  $x$  ve  $y$  yönünde tek yüzden aktif kontrolün bulunduğu birinci ve üçüncü durumlarda kontrolcü katsayılarının,  $K_p$  (orantı sabiti); -0.012 s,  $T_d$  (türev zamanı); 0.047 s ve  $T_i$  (integral zamanı); 0.1 s olarak alınması başarılı sonuçlar vermektedir. Tüm çevreden yapılan diğer aktif kontrol durumları için,  $K_p$  (orantı sabiti); -0.0085 s,  $T_d$  (türev zamanı); 0.038 s ve  $T_i$  (integral zamanı); 0.12 s olarak alınması uygundur. Tüm katlarda aktif kontrolün olduğu durumlarda, alt kattaki orantı sabiti değeri yukarı kattakinin iki katıdır.

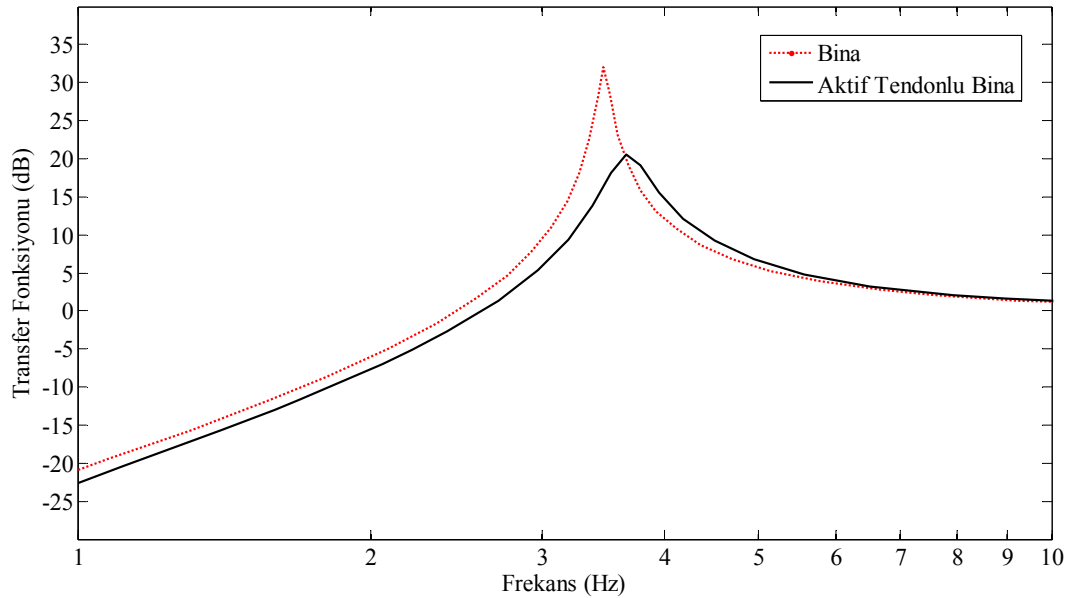
Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapı için, birinci ve üçüncü durumlarda kontrolcü katsayılarının,  $K_p$  (orantı sabiti); -0.011 s,  $T_d$  (türev zamanı); 0.046s ve  $T_i$  (integral zamanı); 0.15 s olarak alınması hem kontrol sisteminin başarımı, hem de kontrol kuvvetinin en az limitte kalması için en uygun sonuçtur. Diğer aktif kontrol durumları için,  $K_p$  (orantı sabiti); -0.0065 s,  $T_d$  (türev zamanı); 0.056 s ve  $T_i$  (integral zamanı); 0.13 s olarak alınması uygundur. Tüm katlarda aktif kontrol olduğu durumlarda, tepki kuvvetlerinden dolayı alt katta orantı sabiti üç kat, ikinci katta ise iki kat alınması, her katta aynı bileşke kontrol kuvvetinin etkimesini sağlayacaktır.

Tüm katlarda aktif kontrolün bulunduğu yapılarda, üst katın alt kata göre daha fazla bileşke kuvvetle kontrol edilmesi, yumuşak kat oluşumuna neden olabilir. Onun için bu çalışmada, her kattaki bileşke kuvvetinin eşit olması sağlanmıştır.

#### 4. AKTİF TENDON KONTRÖLLÜ YAPILARIN ANALİZ SONUÇLARI

##### 4.1 Tek Serbestlik Dereceli Düzlem Yapının Analiz Sonuçları

Tek serbestlik dereceli yapı modelinin ivme transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Transfer fonksiyonu grafiğindeki tepe noktalar, binanın doğal frekanslarına denk gelen, rezonans noktalarıdır. Özellikle, kritik frekansa karşı gelen tepe noktasındaki transfer fonksiyonu değerinin azalması kontrol sisteminin başarılı olduğunu göstermektedir. Transfer fonksiyonu dış etkiden bağımsız olduğu için kontrol sisteminin performansı hakkında genel bir bilgi edinilebilir. Yapı, tek serbestlik dereceli olarak modellendiği için tek rezonans noktası bulunmaktadır. Bu noktadaki transfer fonksiyonu değeri, aktif tendon kontrolü yok iken 32.11 dB değerindedir. Aktif kontrolün yardımı ile bu değer; 20.63 dB seviyelerine çekilmiştir.



Şekil 4.1 : Tek serbestlik dereceli yapının transfer fonksiyonu grafiği.

Tek serbestlik dereceli yapının analizi sonucunda elde edilen maksimum değerler kontrollü ve kontrolsüz durumlar için Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yapının yerdeğiştirme, hız ve toplam ivme değerlerinin yanında, kontrol kuvveti, kontrol sinyali ve kontrol sinyalinin türevi de bulunmaktadır. Kontrol ile ilgili maksimum

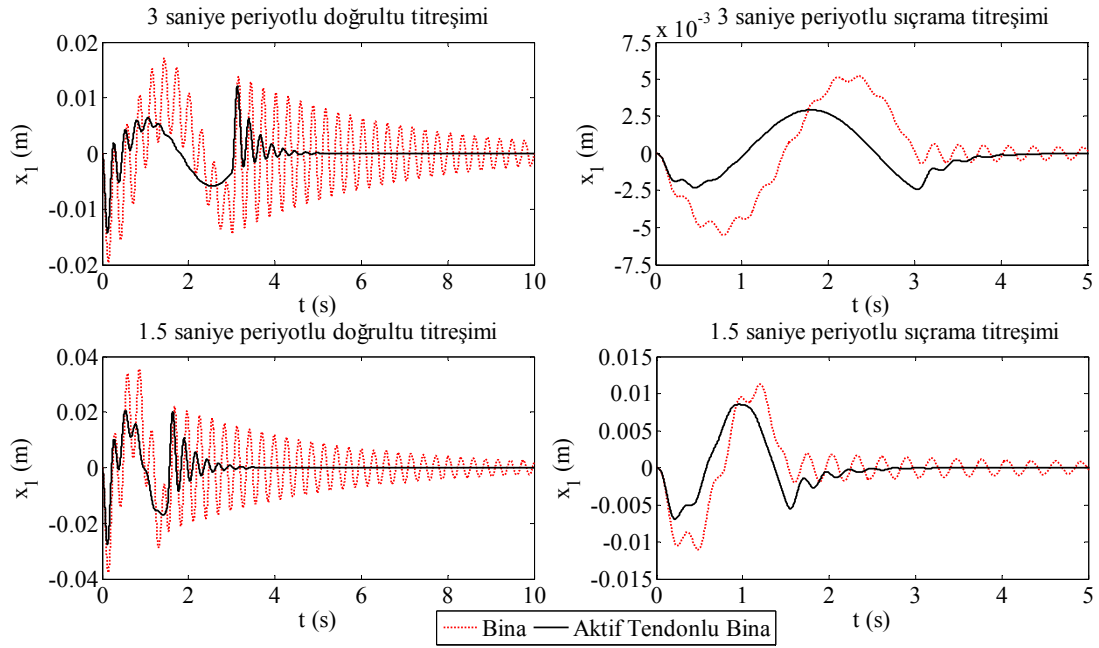
büyüklikler, kullanılacak dinamik verinin minimum kapasitesinin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır.

**Çizelge 4.1 : Tek serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum sonuçlar.**

| Dış etki                                       |                   | $x_1$ (cm) | $\dot{x}_1$ (cm/s) | $\ddot{x}_1 + \ddot{x}_g$ (g) | $u_1$ (cm) | $\dot{u}_1$ (cm/s) | Kontrol Kuvveti (kN) |
|------------------------------------------------|-------------------|------------|--------------------|-------------------------------|------------|--------------------|----------------------|
| <b>Düzce-Bolu K-G</b>                          | <i>Kontrolsüz</i> | 5.20       | 99.21              | 2.52                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 2.98       | 64.03              | 1.87                          | 1.26       | 21.12              | 15.16                |
| <b>Düzce-Bolu D-B</b>                          | <i>Kontrolsüz</i> | 2.23       | 39.37              | 1.08                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 1.79       | 25.23              | 0.95                          | 0.68       | 9.26               | 8.22                 |
| <b>Erzincan K-G</b>                            | <i>Kontrolsüz</i> | 2.94       | 46.18              | 1.43                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 1.77       | 27.39              | 1.11                          | 0.98       | 8.77               | 11.84                |
| <b>Erzincan D-B</b>                            | <i>Kontrolsüz</i> | 4.64       | 90.95              | 2.25                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 2.16       | 44.42              | 1.27                          | 0.76       | 14.02              | 9.17                 |
| <b>Northridge SYL360</b>                       | <i>Kontrolsüz</i> | 6.47       | 104.67             | 3.13                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 3.61       | 60.84              | 2.15                          | 1.01       | 15.52              | 12.10                |
| <b>Northridge SYL090</b>                       | <i>Kontrolsüz</i> | 2.53       | 52.81              | 1.23                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 1.52       | 28.64              | 0.87                          | 0.67       | 8.30               | 8.06                 |
| <b>3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>   | <i>Kontrolsüz</i> | 1.96       | 30.77              | 0.95                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 1.43       | 19.26              | 0.91                          | 0.95       | 9.24               | 11.41                |
| <b>3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>    | <i>Kontrolsüz</i> | 0.55       | 2.05               | 0.27                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 0.29       | 1.50               | 0.25                          | 0.48       | 0.99               | 5.82                 |
| <b>1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Kontrolsüz</i> | 3.77       | 50.18              | 1.83                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 2.77       | 41.86              | 1.78                          | 1.36       | 18.44              | 16.33                |
| <b>1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 1.13       | 7.90               | 0.55                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 0.85       | 5.81               | 0.52                          | 0.72       | 2.84               | 8.69                 |
| <b>0.3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Kontrolsüz</i> | 7.12       | 152.30             | 3.45                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 5.42       | 119.15             | 3.22                          | 1.65       | 37.82              | 19.82                |
| <b>0.3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 3.37       | 72.16              | 1.64                          | -          | -                  | -                    |
|                                                | <i>Kontrollü</i>  | 2.61       | 55.01              | 1.50                          | 0.59       | 17.09              | 7.15                 |

Dış etkiler altında, tek serbestlik dereceli yapının maksimum yerdeğiştirmesi, aktif tendon kontrolü ile minimum %20 olmak üzere, maksimum %53 azalmıştır. Ama kontrol sisteminin esas faydası, titreşimlerin sönümlenmesinin daha kısa zamanda olmasıdır. Yerdeğiştirmelerin azalmasıyla, yapıdaki kuvvetlerde ciddi bir azalma meydana gelmektedir. Kontrol sinyali, yapının yerdeğiştirmesine göre belirlendiği için, sıçrama titreşimleri ve sıçrama titreşimi ilaveli deprem kayıtlarında daha iyi performans göstermiştir. Maksimum hız ve toplam ivme değerlerinde de önemli azalmalar meydana gelmiştir.

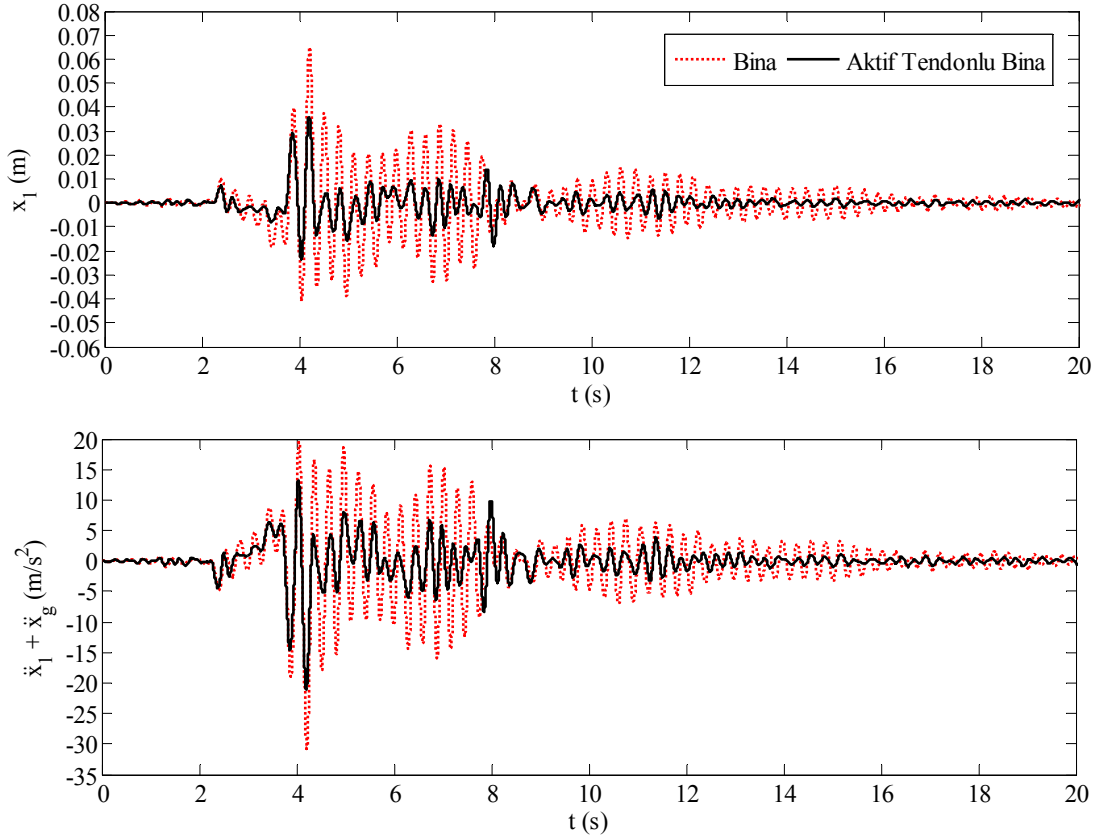
Şekil 4.2’de tek serbestlik dereceli yapının 1.5 ve 3 saniye periyotlu darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş olan karşılaştırmalı yerdeğiştirme grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden de görüldüğü gibi, kontrol sistemi sıçrama etkisi altında daha etkilidir. Ayrıca, titreşimler aktif tendon kontrolü olmadığında uzun süre devam etmektedir. Aktif kontrollü yapıda, yerdeğiştirme kısa bir sürede durağan hale gelmektedir.



**Şekil 4.2 :** Tek serbestlik dereceli yapının darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş yerdeğiştirme grafikleri.

Şekil 4.3’te ise Northridge depreminin ilaveli SYL360 kaydı etkisi altında elde edilmiş olan yapının yerdeğiştirme ve toplam ivme grafiği verilmiştir. Aktif tendon kontrolü ile, maksimum yerdeğiştirme değeri 6.47 cm iken 3.61 cm’ye düşmüştür. Maksimum toplam ivme ise, 3.13 g değerinden 2.15 g değerine kadar düşmektedir.

Maksimum kontrol kuvveti 0.3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında oluşmaktadır. Maksimum değeri 19.82 kN olan bu kuvvet, yatay yöndeki bileşendir. Kablo üzerindeki maksimum toplam kuvvet 24.5 kN olmaktadır. Maksimum kontrol sinyali değeri ise 1.65 cm’dir. Kontrol sinyalinin türevi olan hız değeri ise maksimum 37.82 cm/s’dir. Dolayısıyla, yapıya yerleştirilecek tüm dinamik verenlerin toplam yük kapasitesi minimum 24.5 kN olmalıdır. Dinamik verenin kollarının yerdeğiştirme kapasitesi minimum 1.65 cm ve hızı minimum 37.82 cm/s olmalıdır.



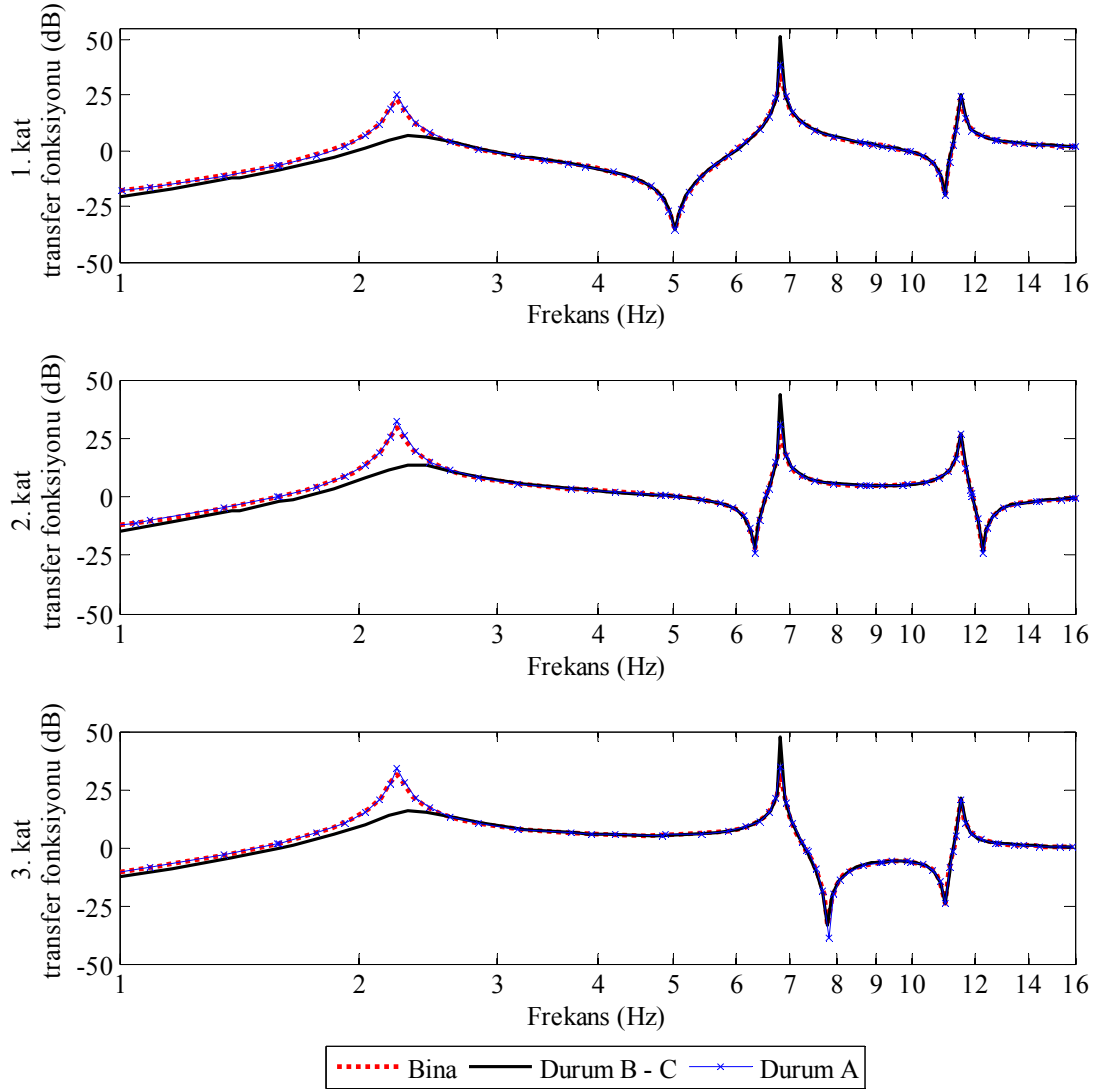
**Şekil 4.3 :** Tek serbestlik dereceli yapının Northridge SYL360 altında elde edilmiş yerdeğiştirme ve toplam ivme grafiği.

#### 4.2 Üç Serbestlik Dereceli Düzlem Yapının Analiz Sonuçları

Üç serbestlik dereceli yapı modelinin ivme transfer fonksiyonu grafikleri, kontrolsüz durum ve tüm kontrol durumları için Şekil 4.4’de görülmektedir. Tüm katlarda aktif tendonların bulunduğu B ve C durumlarında, ilk doğal frekansa karşılık gelen rezonans tepesinin transfer fonksiyonun değeri oldukça düşmektedir. Fakat, sadece alt katta aktif tendon kontrolünün bulunduğu Durum A’da ilk rezonans tepesindeki değerde bir düşme olmamaktadır. Bu durumun nedeni, kontrol kuvvetinin kısıtlı olarak bırakılmasıdır. Kontrol kuvveti artarsa, yapı sisteminde zaman gecikmesinden dolayı stabilite sorunu oluşmaktadır.

Üç serbestlik dereceli yapının analizi sonucunda elde edilen maksimum yerdeğiştirme, hız ve toplam ivme değerleri tüm kontrollü ve kontrolsüz durumlar için Çizelge 4.2’de verilmiştir. Durum A’da, ilaveli deprem kayıtları altında maksimum yerdeğiştirmelerin katlara göre sırasıyla kontrolsüz değerlerin %84,%86 ve %87’sine kadar düştüğü görülmektedir. Diğer durumlarda beklendiği gibi daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tüm katlarda aktif kontrolün olduğu durumlarda, darbe tipi

titreşim ilaveli kayıtlar altında elde edilen maksimum yerdeğiştirmeler en fazla %33 azalmıştır. Aktif tendon kontrollü durumlarında maksimum hız ve toplam ivme değerlerinde oldukça iyi bir azalma görülmektedir.



**Şekil 4.4 :** Üç serbestlik dereceli yapının transfer fonksiyonu grafikleri.

Şekil 4.5'te üç serbestlik dereceli yapının 1.5 ve 3 saniye periyotlu darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş olan karşılaştırmalı 1.kat yerdeğiştirme grafikleri bulunmaktadır. Sadece aşağı katta aktif kontrolün bulunduğu A durumunun, özellikle sıçrama titreşimleri altında başarılı olmadığı görülmektedir. Tek serbestlik dereceli yapının aktif kontrolünde olduğu gibi, titreşimlerin sönümlenmesi oldukça çabuk olmaktadır.

Şekil 4.6'de ise Northridge depreminin ilaveli SYL360 kaydı etkisi altında elde edilmiş olan 1.kat yerdeğiştirme ve toplam ivme grafikleri verilmiştir. Toplam ivme

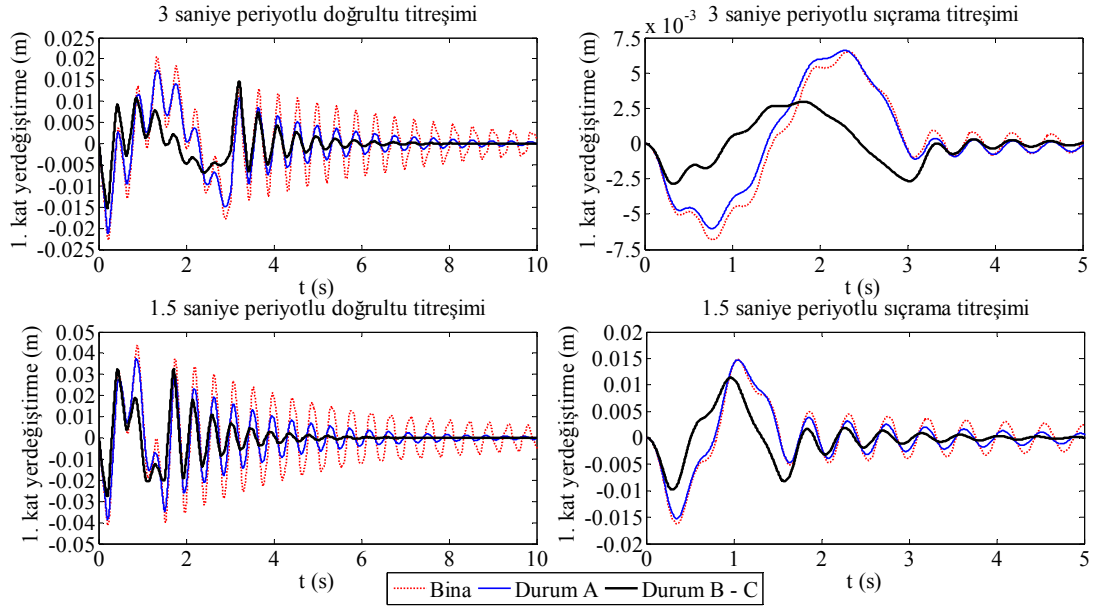
yönünden kontrol durumları arasında önemli fark bulunmamaktadır. Fakat, yerdeğiştirme değerlerinde Durum B ve C, Durum A'ya göre çok üstündür.

**Çizelge 4.2 : Üç serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum sonuçlar.**

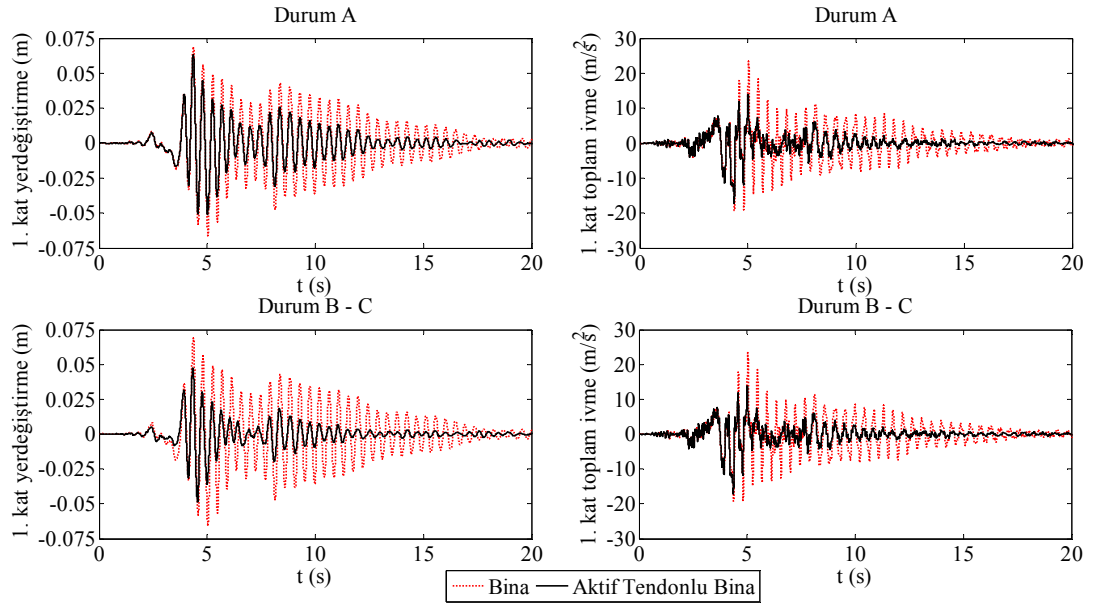
| Dış Etki                                        |                   | Yerdeğiştirme (cm) |       |       | Hız (cm/s) |        |        | Toplam İvme (g) |      |      |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|------------|--------|--------|-----------------|------|------|
| Kat                                             |                   | 1                  | 2     | 3     | 1          | 2      | 3      | 1               | 2    | 3    |
| <b>Düzce-Bolu K-G</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 5.11               | 10.99 | 14.02 | 71.35      | 153.84 | 198.00 | 1.31            | 2.16 | 2.83 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 4.31               | 9.45  | 12.18 | 62.86      | 137.27 | 176.34 | 1.15            | 1.86 | 2.58 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 3.43               | 7.77  | 10.10 | 53.62      | 118.96 | 152.73 | 1.01            | 1.72 | 2.19 |
| <b>Düzce-Bolu D-B</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 3.24               | 6.89  | 8.89  | 46.35      | 82.21  | 99.40  | 1.20            | 1.50 | 2.01 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 2.93               | 6.58  | 8.62  | 42.15      | 79.88  | 92.04  | 1.11            | 1.36 | 1.97 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 2.57               | 5.45  | 6.99  | 40.57      | 76.91  | 93.37  | 1.20            | 1.50 | 1.74 |
| <b>Erzincan K-G</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 2.88               | 6.10  | 7.74  | 31.49      | 58.79  | 78.99  | 1.16            | 1.27 | 1.56 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 2.70               | 5.90  | 7.50  | 26.80      | 53.97  | 63.98  | 1.11            | 1.27 | 1.50 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 2.00               | 4.10  | 5.19  | 24.64      | 52.58  | 62.99  | 1.14            | 1.19 | 1.36 |
| <b>Erzincan D-B</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 2.00               | 4.08  | 5.06  | 22.15      | 42.48  | 57.76  | 0.67            | 0.88 | 0.92 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 1.79               | 3.83  | 4.86  | 18.88      | 40.80  | 52.25  | 0.57            | 0.78 | 0.96 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 1.49               | 3.17  | 4.01  | 19.35      | 40.26  | 51.63  | 0.61            | 0.83 | 0.93 |
| <b>Northridge SYL360</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 6.87               | 14.60 | 18.42 | 87.65      | 196.99 | 257.11 | 2.38            | 3.15 | 3.52 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 6.33               | 13.59 | 17.12 | 73.38      | 176.39 | 239.11 | 1.82            | 3.01 | 3.30 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 4.89               | 10.71 | 13.62 | 76.52      | 160.36 | 202.05 | 1.75            | 2.87 | 3.32 |
| <b>Northridge SYL090</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 3.71               | 7.84  | 9.94  | 45.48      | 105.40 | 142.77 | 1.06            | 1.61 | 2.03 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 2.96               | 6.36  | 8.26  | 44.04      | 95.29  | 121.61 | 0.94            | 1.29 | 1.80 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 2.55               | 5.41  | 6.82  | 35.74      | 78.76  | 102.81 | 0.98            | 1.23 | 1.52 |
| <b>3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>    | <i>Kontrolsüz</i> | 2.28               | 4.50  | 5.53  | 23.57      | 41.87  | 54.05  | 0.92            | 0.95 | 0.98 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 2.12               | 4.30  | 5.34  | 16.22      | 32.50  | 44.70  | 0.91            | 0.96 | 0.95 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 1.52               | 3.10  | 3.83  | 15.05      | 30.30  | 42.14  | 0.90            | 1.00 | 0.99 |
| <b>3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>     | <i>Kontrolsüz</i> | 0.68               | 1.37  | 1.69  | 2.38       | 4.72   | 5.79   | 0.26            | 0.28 | 0.29 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 0.66               | 1.29  | 1.58  | 2.22       | 4.51   | 5.60   | 0.26            | 0.28 | 0.28 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 0.30               | 0.59  | 0.73  | 1.59       | 3.24   | 4.01   | 0.25            | 0.26 | 0.27 |
| <b>1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 4.37               | 8.69  | 10.67 | 48.80      | 106.71 | 148.68 | 1.72            | 1.89 | 1.89 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 3.87               | 7.91  | 9.83  | 45.48      | 98.88  | 129.77 | 1.60            | 1.81 | 1.85 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 3.25               | 6.58  | 8.20  | 35.63      | 72.68  | 106.27 | 1.57            | 1.88 | 1.92 |
| <b>1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>   | <i>Kontrolsüz</i> | 1.62               | 3.29  | 4.10  | 9.15       | 18.20  | 22.34  | 0.58            | 0.67 | 0.74 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 1.52               | 3.15  | 3.94  | 8.10       | 16.57  | 20.59  | 0.57            | 0.67 | 0.72 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 1.14               | 2.29  | 2.84  | 6.79       | 13.72  | 17.11  | 0.55            | 0.63 | 0.69 |
| <b>0.45 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Kontrolsüz</i> | 4.62               | 10.17 | 13.15 | 71.44      | 145.95 | 183.79 | 1.07            | 1.96 | 2.83 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 4.26               | 9.48  | 12.36 | 67.29      | 139.13 | 176.51 | 1.01            | 2.08 | 2.85 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 3.84               | 8.68  | 11.36 | 61.49      | 125.05 | 158.25 | 1.18            | 1.85 | 2.64 |
| <b>0.45 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 2.35               | 5.10  | 6.50  | 31.69      | 69.51  | 89.51  | 0.50            | 1.03 | 1.30 |
|                                                 | <i>Durum A</i>    | 2.21               | 4.84  | 6.19  | 29.19      | 64.76  | 84.09  | 0.51            | 0.99 | 1.25 |
|                                                 | <i>Durum B-C</i>  | 1.98               | 4.30  | 5.49  | 26.41      | 59.43  | 77.73  | 0.52            | 0.98 | 1.20 |

Dış etkiler ile yapılan tüm analizlerde Durum A'da maksimum 0.42 cm kontrol sinyali oluşmaktadır. Kontrol sinyalinin türevi ise maksimum 10.38 cm/s'dir.

Yataydaki kontrol kuvveti ise maksimum 5.03 kN'dur. Bundan dolayı, Durum A'da dinamik verenin yük kapasitesi minimum 6.21 kN olmalıdır.



**Şekil 4.5 :** Üç serbestlik dereceli yapının darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş 1.kat yerdeğiştirme grafikleri.



**Şekil 4.6 :** Üç serbestlik dereceli yapının Northridge SYL360 altında elde edilmiş 1. kat yerdeğiştirme ve toplam ivme grafikleri.

Durum B'de en üst katta maksimum kontrol sinyali 0.53 cm, maksimum kontrol sinyali türevi 9.25 cm/s ve yataydaki maksimum kontrol kuvveti 6.59 kN'dur. Bu değerler, ikinci kat için 2 kat ve ilk kat için üç kattır. Üçüncü kat için minimum 8.15 kN kapasiteli dinamik verene ihtiyaç vardır. İkinci kat için minimum yük kapasitesi 16.3 kN ve ilk kat için ise minimum 24.45 kN olmalıdır.

**Çizelge 4.3 : Üç serbestlik dereceli yapı için elde edilmiş maksimum kontrol değerleri.**

| Dış Etki                                        |                | Kontrol Sinyali (cm) |      |      | Kontrol Sinyalinin Türevi (cm/s) |       |       | Kontrol Kuvveti (kN) |       |      |
|-------------------------------------------------|----------------|----------------------|------|------|----------------------------------|-------|-------|----------------------|-------|------|
| Kat                                             |                | 1                    | 2    | 3    | 1                                | 2     | 3     | 1                    | 2     | 3    |
| <b>Düzce-Bolu K-G</b>                           | <i>Durum A</i> | 0.42                 | -    | -    | 5.75                             | -     | -     | 5.03                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.95                 | 0.63 | 0.32 | 14.22                            | 9.48  | 4.74  | 11.43                | 7.62  | 3.81 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.32                 | 0.44 | 0.60 | 4.74                             | 6.63  | 9.00  | 3.81                 | 3.81  | 3.81 |
| <b>Düzce-Bolu D-B</b>                           | <i>Durum A</i> | 0.23                 | -    | -    | 4.63                             | -     | -     | 2.76                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.71                 | 0.47 | 0.24 | 11.96                            | 7.98  | 3.99  | 8.57                 | 5.71  | 2.86 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.24                 | 0.33 | 0.45 | 3.99                             | 5.58  | 7.58  | 2.86                 | 2.86  | 2.86 |
| <b>Erzincan K-G</b>                             | <i>Durum A</i> | 0.18                 | -    | -    | 2.84                             | -     | -     | 2.19                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 1.04                 | 0.69 | 0.35 | 10.18                            | 6.79  | 3.39  | 12.54                | 8.36  | 4.18 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.35                 | 0.49 | 0.66 | 3.39                             | 4.75  | 6.45  | 4.18                 | 4.18  | 4.18 |
| <b>Erzincan D-B</b>                             | <i>Durum A</i> | 0.14                 | -    | -    | 2.97                             | -     | -     | 1.64                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.68                 | 0.45 | 0.23 | 9.36                             | 6.24  | 3.12  | 8.15                 | 5.43  | 2.72 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.23                 | 0.32 | 0.43 | 3.12                             | 4.37  | 5.93  | 2.72                 | 2.72  | 2.72 |
| <b>Northridge SYL360</b>                        | <i>Durum A</i> | 0.40                 | -    | -    | 10.38                            | -     | -     | 4.84                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 1.40                 | 0.94 | 0.47 | 27.75                            | 18.50 | 9.25  | 16.90                | 11.27 | 5.63 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.47                 | 0.66 | 0.89 | 9.25                             | 12.95 | 17.57 | 5.63                 | 5.63  | 5.63 |
| <b>Northridge SYL090</b>                        | <i>Durum A</i> | 0.27                 | -    | -    | 4.13                             | -     | -     | 3.23                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.74                 | 0.50 | 0.25 | 10.70                            | 7.13  | 3.57  | 8.97                 | 5.98  | 2.99 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.25                 | 0.35 | 0.47 | 3.57                             | 4.99  | 6.78  | 2.99                 | 2.99  | 2.99 |
| <b>3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>    | <i>Durum A</i> | 0.19                 | -    | -    | 3.37                             | -     | -     | 2.26                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 1.08                 | 0.72 | 0.36 | 13.16                            | 8.78  | 4.39  | 13.02                | 8.68  | 4.34 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.36                 | 0.50 | 0.69 | 4.39                             | 6.14  | 8.34  | 4.34                 | 4.34  | 4.34 |
| <b>3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>     | <i>Durum A</i> | 0.11                 | -    | -    | 0.20                             | -     | -     | 1.38                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.53                 | 0.35 | 0.18 | 1.13                             | 0.76  | 0.38  | 6.36                 | 4.24  | 2.12 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.18                 | 0.25 | 0.33 | 0.38                             | 0.53  | 0.72  | 2.12                 | 2.12  | 2.12 |
| <b>1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>  | <i>Durum A</i> | 0.28                 | -    | -    | 7.25                             | -     | -     | 3.37                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 1.64                 | 1.09 | 0.55 | 26.33                            | 17.55 | 8.78  | 19.76                | 13.17 | 6.59 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.55                 | 0.77 | 1.04 | 8.78                             | 12.29 | 16.67 | 6.59                 | 6.59  | 6.59 |
| <b>1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>   | <i>Durum A</i> | 0.12                 | -    | -    | 0.59                             | -     | -     | 1.48                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.87                 | 0.58 | 0.29 | 3.44                             | 2.29  | 1.15  | 10.44                | 6.96  | 3.48 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.29                 | 0.40 | 0.55 | 1.15                             | 1.60  | 2.18  | 3.48                 | 3.48  | 3.48 |
| <b>0.45 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Durum A</i> | 0.40                 | -    | -    | 6.06                             | -     | -     | 4.79                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.74                 | 0.50 | 0.25 | 19.06                            | 12.71 | 6.35  | 8.95                 | 5.97  | 2.98 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.25                 | 0.35 | 0.47 | 6.35                             | 8.89  | 12.07 | 2.98                 | 2.98  | 2.98 |
| <b>0.45 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Durum A</i> | 0.17                 | -    | -    | 2.75                             | -     | -     | 2.02                 | -     | -    |
|                                                 | <i>Durum B</i> | 0.36                 | 0.24 | 0.12 | 5.19                             | 3.46  | 1.73  | 4.35                 | 2.90  | 1.45 |
|                                                 | <i>Durum C</i> | 0.12                 | 0.17 | 0.23 | 1.73                             | 2.42  | 3.29  | 1.45                 | 1.45  | 1.45 |

Durum C’de her kata yatay olarak aynı miktarda kontrol kuvveti gelmektedir. Tüm kuvvetlerin tepkisi zemine aktarılmaktadır. Katlara gelen maksimum yatay kontrol kuvveti 6.59 kN’dur. İlk kata bağlanan dinamik verenin minimum kontrol sinyali 0.55 cm ve minimum kontrol sinyali türevi 9.25 cm/s olmalıdır. Bu değerler, ikinci

kat için 1.4 kat ve üçüncü kat için 1.9 kat olmaktadır. Yatayda aynı miktar yükün, farklı kablo açıları ile elde edilmesi için dinamik verenlerin ürettiği yük farklı olması gerekmektedir. İlk kata bağlanan dinamik verenin kapasitesi minimum 8.15 kN olmalıyken, ikinci ve üçüncü kata bağlananların minimum kapasitesi sırasıyla 11.4 kN ve 15.5 kN olmalıdır.

Durum C’de daha az kapasiteli dinamik verenlerin kullanımı ile aynı kontrol performansını elde etmek mümkündür. Fakat, tüm dinamik verenlerin aşağıda bulunması uygulama açısından mümkün olmayabilir. Ayrıca, kabloların uzun olması da sorun yaratabilir. Bunların yanında, kabloların yatay ile yaptıkları açının büyümesi, düşey taşıyıcı elemanlara gelen ek yükün daha da artmasına neden olmaktadır.

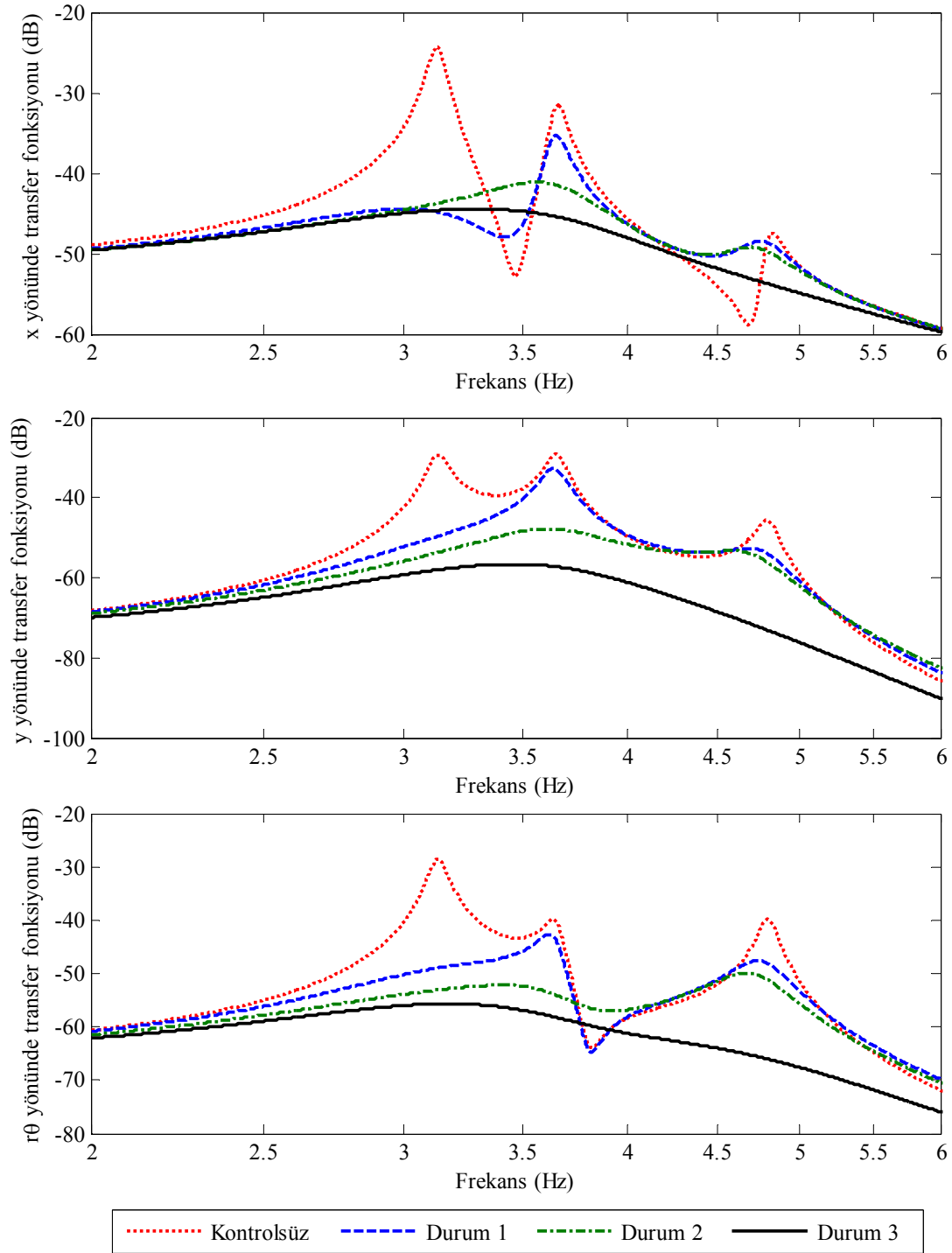
#### **4.3 Tek Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları**

Sistem üç serbestlik dereceli olduğu için, transfer fonksiyonu grafiğinde üç tane tepe rezonans noktası oluşmaktadır. Şekil 4.7’de tüm durumlar için kontrollü ve kontrolsüz sistemin karşılaştırmalı yerdeğiştirme transfer fonksiyonu – frekans grafikleri görülmektedir. İlk durumda sadece x yönünde kontrol olduğu için,  $\omega_x$  frekansına karşı gelen rezonans tepelerindeki değerler oldukça düşmüş, fakat  $\omega_y$  frekansına karşı gelen değerlerde çok fazla bir düşme olmamıştır. Burulma frekansına karşı gelen değerlerde ise bir miktar düşme izlenmektedir. İkinci durumda tüm tepe rezonans noktası değerleri, aktif kontrol sayesinde düşürülmüştür. Üçüncü durumda yapı tüm yüzlerden kontrol edildiği için, transfer fonksiyonu değerlerinde daha fazla düşme meydana gelmiştir.

Kontrol algoritmasının, Lin ve diğerleri tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılması için El Centro kaydı etkisi altında, zaman gecikmesi dikkate alınmadan analizler üç durum için de yapılmıştır. Literatürdeki çalışmada birinci ve ikinci durum için elde edilmiş sonuçlar bulunmaktadır. Tüm yüzlerde kontrolün olduğu üçüncü durum, Lin ve diğerleri tarafından incelenmemiştir.

Kontrolcü katsayıları zaman gecikmesinin 20 ms olduğu duruma göre belirlenmiştir. Zaman gecikmesi olmayan durumda da aynı katsayıların kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Kontrol sistemlerinde 20 ms zaman gecikmesi olduğu durumda, transfer fonksiyonu grafiklerinde bir değişiklik meydana gelmemektedir. Fakat,

kontrolcü için farklı katsayı değerleri kullanılır ise, transfer fonksiyonu değerlerinde değişiklik olacaktır.



**Şekil 4.7 :** Tek katlı düzensiz yapının transfer fonksiyonu grafikleri.

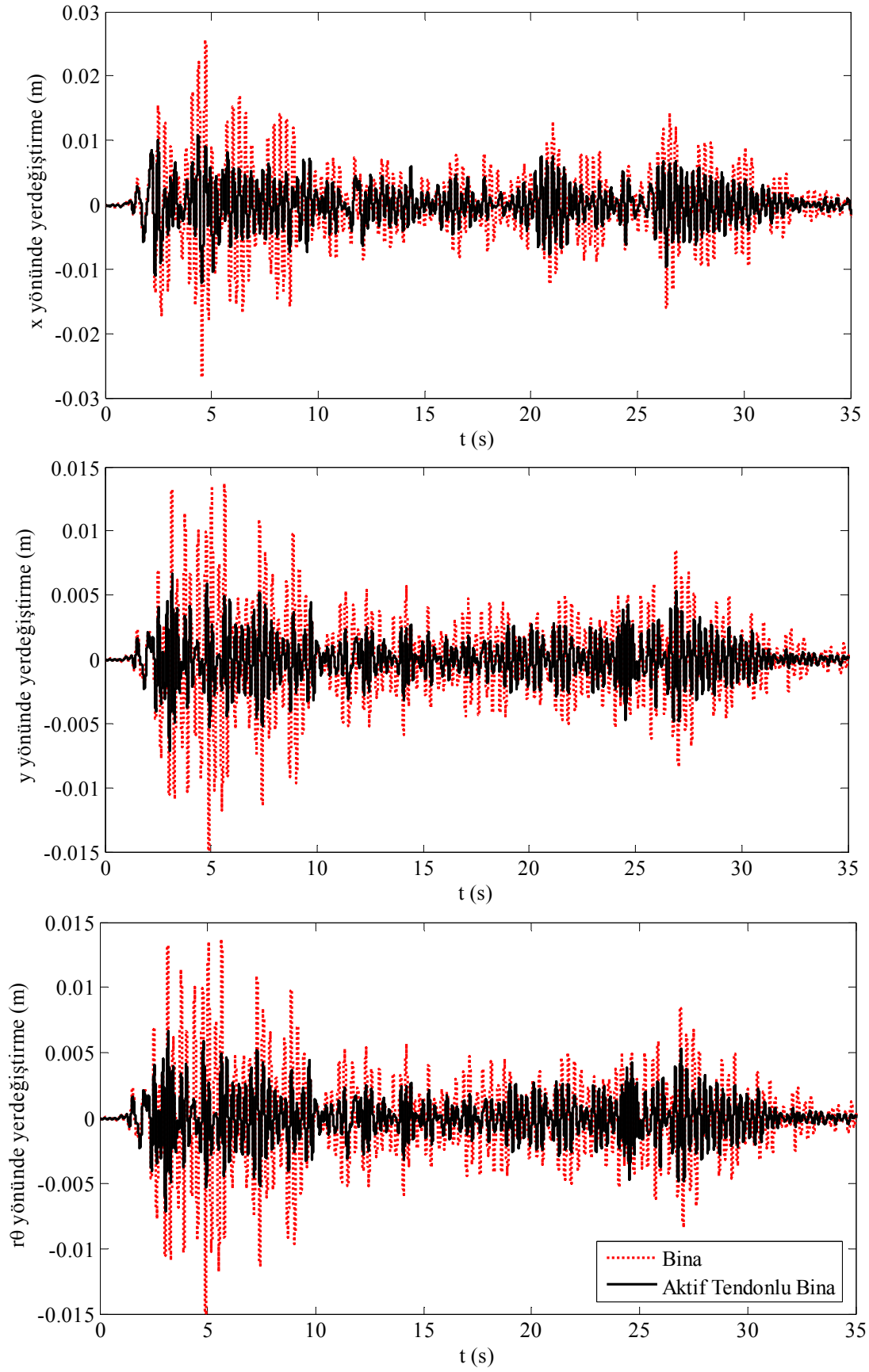
İlk durum için El Centro kaydı etkisi altında zaman gecikmesi olmadan elde edilmiş olan yerdeğiştirme grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Ağırlık merkezinde oluşan  $x$  doğrultusundaki maksimum yerdeğiştirme, kontrolsüz sistemde 2.69 cm iken, bu değer aktif kontrol ile 1.22 cm’ye inmiştir. Lin ve diğerleri tarafından yapılan

çalışmada bu değer 1.23 cm bulunmuştur. Diğer serbestlikler olan,  $y$  ve  $r\theta$  doğrultusunda maksimum yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 2.03 cm ve 1.5 cm iken 1.33 cm ve 0.71 cm değerlerine düşmüştür. Lin ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada  $y$  ve  $r\theta$  doğrultusunda maksimum yerdeğiştirme değerleri, aktif kontrollü sistemde sırasıyla 1.12 cm ve 0.85 cm olarak bulunmuştur. İlk durum için, yatay bileşeni 2491.1 N olan kontrol kuvveti üretilmesi gerekmektedir. Bu değer Lin ve diğerlerinin yaptığı çalışmada 2743.43 N olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4'te El Centro kaydı altında yapılan analizlerin sonucunda elde edilen maksimum sonuçlar bulunmaktadır.

**Çizelge 4.4 :** El Centro kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları (Zaman gecikmesi yok.)

|                                             | <i>Kontrolsüz</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.0269            | 0.0122         | 0.0109         | 0.0094         |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 0.5194            | 0.2295         | 0.2277         | 0.2008         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 10.636            | 7.448          | 7.4466         | 6.521          |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 11.655            | 5.677          | 5.3588         | 4.3902         |
| $y$ (m)                                     | 0.0203            | 0.0133         | 0.0083         | 0.0049         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0.4494            | 0.2872         | 0.1892         | 0.0966         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 10.783            | 6.6482         | 5.1462         | 2.6219         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 10.518            | 6.9279         | 5.1607         | 2.8053         |
| $r\theta$ (m)                               | 0.015             | 0.0071         | 0.0053         | 0.0027         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.3502            | 0.1852         | 0.1397         | 0.051          |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 8.365             | 4.7852         | 3.8055         | 1.2471         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 1555.4         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 2491.1         | 2594.2         | 1987.7         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 1176.6         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 1372.4         | 920.08         |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0013         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0021         | 0.0022         | 0.0017         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.001          |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0011         | 0.0008         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0403         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.065          | 0.0665         | 0.0555         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0241         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.029          | 0.0175         |



**Şekil 4.8 :** Tek katlı düzensiz yapının yerdeğiştirme grafikleri (El Centro 1940 kaydı etkisi altında zaman gecikmesi olmadan-Durum 1)

İkinci yerleşim durumu için kontrollü sistemde zaman gecikmesi dikkate alınmadığında oluşan maksimum  $x$ ,  $y$  ve  $r\theta$  yerdeğiştirmeleri sırasıyla 1.09 cm, 0.83 cm ve 0.53 cm bulunmuştur. Lin ve diğerleri tarafından yapılan kontrol çalışmasında maksimum  $x$ ,  $y$  ve  $r\theta$  yerdeğiştirmeleri sırasıyla, 1.19 cm, 0.73 cm ve 0.65 cm bulunmuştur. İkinci durum için,  $x$  yönünde 2594.2 N ve  $y$  yönünde 1372.4 N kontrol kuvveti üretilmesi gerekmektedir. Bu değer Lin ve diğerlerinin yaptığı çalışmada  $x$  yönü için 2379.1 N ve  $y$  yönü için 1058.55 N olarak bulunmuştur. Üçüncü durumda ise  $x$ ,  $y$  ve  $r\theta$  doğrultusundaki yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 0.94 cm, 0.49 cm ve 0.27 cm olarak bulunmuştur. Bu durumda özellikle yapıdaki burulma düzensizliği büyük ölçüde giderilmiştir.

Çizelge 4.5'te ise El Centro kaydı altında, kontrol sisteminde 20 ms zaman gecikmesi olduğu varsayıldığında oluşan maksimum değerler verilmiştir. Bu durumda kontrol kuvvetlerinde bir miktar artış meydana gelmiştir. El Centro depremi altında yapılan zaman gecikmeli analizlerde,  $x$  yönündeki maksimum yerdeğiştirme değerlerinde %55 ile %65 arasında azalma göstermiştir.

PID kontrolcü kullanılan bu çalışmada, diğer çalışmaya göre  $x$  ve  $r\theta$  doğrultusundaki oluşan yerdeğiştirme değerlerinde daha çok azalma meydana gelmektedir. Fakat  $y$  yönündeki yerdeğiştirmelerdeki azalma, Lin ve diğerleri tarafından yapılan çalışmadan bir miktar daha azdır. PID kontrolcülü sistem ilk durumda,  $H_\infty$  kontrol prensibine daha az kuvvet ile çalışmaktadır. Fakat ikinci durumda PID kontrolcü ile elde edilen kontrol kuvveti daha çok olmalıdır.

El Centro kaydı dışındaki diğer dış etkiler altında yapılan analizlerin maksimum sonuçları Ek A.1'de verilmiştir.

Düzce depremi Bolu kaydının arttırılmış etkisi altında, kontrolsüz binanın  $x$  yönündeki maksimum yerdeğiştirmesi 5.77 cm'ye, toplam ivme ise  $25.392 \text{ m/s}^2$ 'ye kadar çıkmaktadır. Bu yöndeki yerdeğiştirme değerlerinde ilk durumda %45, ikinci durumda % 42 ve üçüncü durumda % 50 azalma meydana gelmiştir. Toplam ivme değerinin maksimumu durum sırasına göre  $15.663 \text{ m/s}^2$ ,  $16.344 \text{ m/s}^2$  ve  $14.13 \text{ m/s}^2$ 'ye kadar inmiştir. Düzce depreminin Bolu kaydının etkisi altında en fazla maksimum yatay kontrol kuvveti  $x$  yönünde oluşmaktadır. İlk durumda  $x$  yönündeki maksimum kuvvet 5847.2N iken, ikinci durumda  $x$  yönünde maksimum 6088.4 N ve  $y$  yönünde maksimum 2745.8 N yatay kuvvet yapıya etki etmektedir. Üçüncü

durumda ise maksimum yatay kontrol kuvvetleri yüzlere göre sırasıyla, 3788.6 N, 5421.8 N, 2706.8 N ve 2084.8 N'dur.

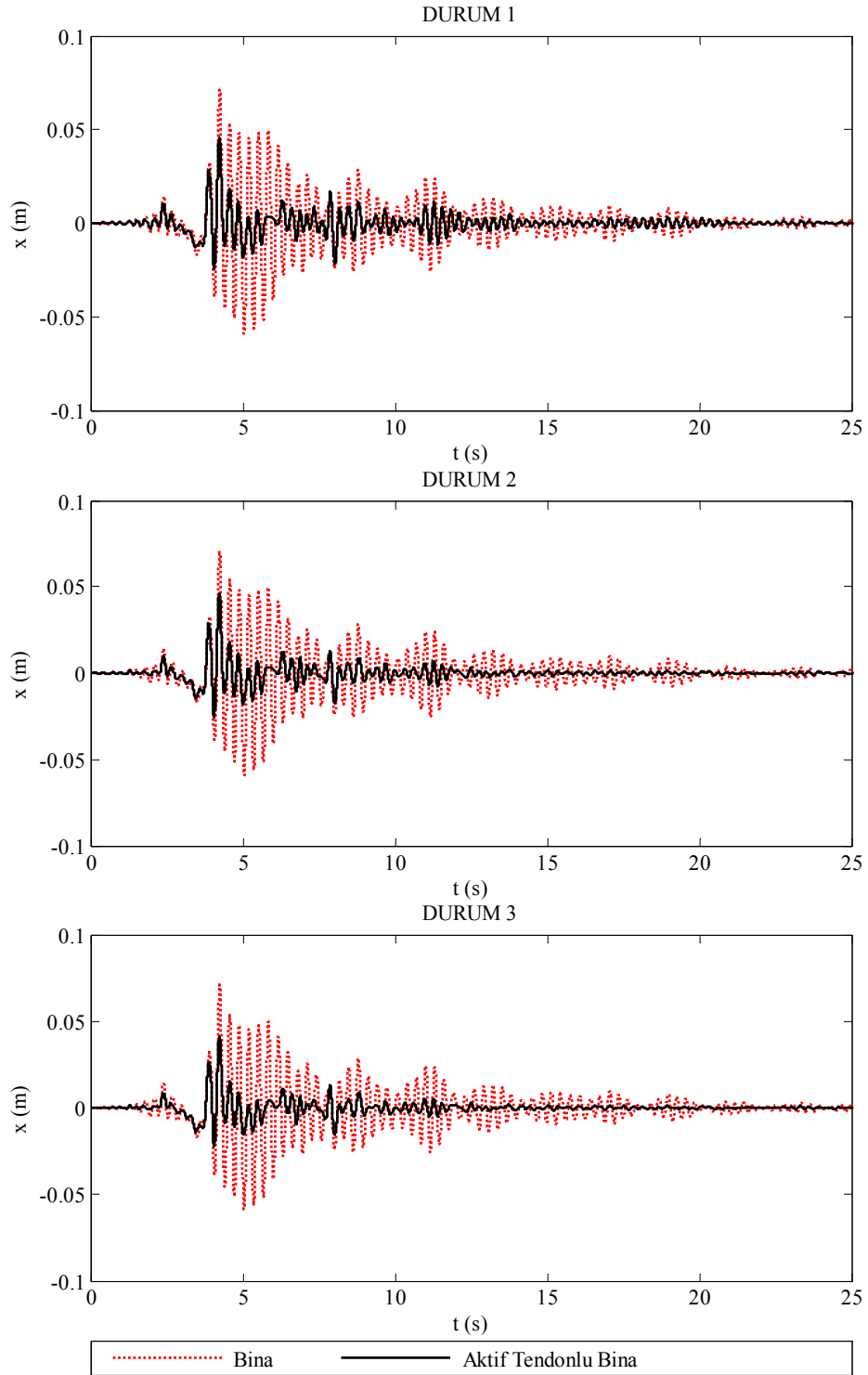
**Çizelge 4.5 :** El Centro kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerin maksimum sonuçları (Zaman gecikmesi var.)

|                                             | <i>Kontrolsüz</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.0269            | 0.0119         | 0.0112         | 0.0095         |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 0.5194            | 0.2697         | 0.2627         | 0.2112         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 10.636            | 8.2566         | 8.2269         | 7.1613         |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 11.655            | 5.8477         | 5.7119         | 4.8547         |
| $y$ (m)                                     | 0.0203            | 0.013          | 0.0077         | 0.0053         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0.4494            | 0.2798         | 0.1718         | 0.0958         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 10.783            | 6.4494         | 4.8819         | 2.5904         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 10.518            | 6.7356         | 4.878          | 3.236          |
| $r\theta$ (m)                               | 0.015             | 0.0058         | 0.004          | 0.0025         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.3502            | 0.1519         | 0.106          | 0.0532         |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 8.365             | 3.9812         | 2.9008         | 1.3864         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 1596.3         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 2779.5         | 2822.4         | 2197           |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 1064           |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 1392.1         | 1000.2         |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0013         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0023         | 0.0023         | 0.0018         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0009         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0012         | 0.0008         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0424         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.0733         | 0.0739         | 0.062          |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0235         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.0299         | 0.0232         |

Erzincan depremi Erzincan kaydının arttırılmış etkisi altında  $x$  yönündeki yerdeğiştirme ilk iki durumda %38, son durumda ise %41 oranında azalmaktadır. Bu dış etki altında, kontrol için daha az kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır.

Northridge depremi Sylmar kaydının arttırılmış etkisi altında en büyük yerdeğiştirme ve türevleri oluşmaktadır. Maksimum yerdeğiştirme değeri kontrolsüz durumda  $x$  yönünde 7.09 cm iken, ilk ve ikinci durumda %35, üçüncü durumda ise %42 azalmıştır. Tüm yerleşim durumları için Northridge depreminin arttırılmış Sylmar kaydı altında elde edilmiş olan  $x$  yönündeki yerdeğiştirme grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir. İlk durumda  $x$  yönündeki maksimum kuvvet 6732N iken, ikinci durumda  $x$  yönünde maksimum 6738.5 N ve  $y$  yönünde maksimum 1886.9 N yatay kuvvet yapıya etki etmesi kontrolü sağlamaktadır. Üçüncü durumda ise maksimum yatay

kontrol kuvvetleri yüzlerine göre sırasıyla, 4068.6 N, 6080.3 N, 2363.4 N ve 1666.2 N'dur.



**Şekil 4.9 :** Tek katlı düzensiz yapının arttırılmış Northridge- Sylmar kaydı altında  $x$  yönündeki yerdeğiştirme grafikleri.

Darbe tipi titreşimlerin etkisi altında, yapı  $x$  yönünde ivme değeri çok yüksek ve ani değişim gösteren doğrultu titreşimi etkisine maruz kaldığı için ivme değerlerindeki

azalma diğer analizlerde olduğu gibi çok fazla olmamıştır. Zaman gecikmesinden dolayı sistem ani değişikliklere daha az etkiyle cevap vermektedir.

Maksimum dinamik veren hızı, 0.3 saniye periyotlu titreşimler ile yapılan analizde  $x$  yönünde meydana gelmektedir. Tüm durumlarda maksimum dinamik veren hızı 43.92 cm/s olarak elde edilmiştir. En fazla dinamik veren hızının, 0.3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında yapılan analizler sonucunda oluşmasının nedeni, doğrultu titreşiminin ivmesinin kısa zamanda ani değişkenlik göstermesidir.

Darbe tipi titreşimlerin etkisinde en fazla kontrol kuvveti 0.3 saniye periyotlu titreşim etkisi altında gereklidir. İkinci durumda  $x$  yönünde maksimum yatay kuvvet 12362.5 N'a kadar çıkmaktadır. Birinci durumda bu kuvvet 12237.9 N iken, üçüncü kontrol yerleşimi durumunda 10937.7 N olmaktadır.

Tüm yapılan analizlerde ve tüm tendon yerleşim durumlarında kontrol sistemi, yapıdaki olumsuz etkilerin giderilmesinde önemli ölçüde yarar sağlamaktadır.

#### **4.4 İki Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları**

İlaveli deprem kayıtları altındaki iki katlı burulma düzensizliği oluşan yapının kontrolsüz durumda katlarda oluşan maksimum yerdeğiştirme, hız ve ivme sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.7'de ise darbe tipi titreşimlerin etkisi altında elde edilmiş maksimum sonuçlar verilmiştir. Yapı, doğal periyoduna yakın olan 0.5 s periyotlu 50 cm/s maksimum hızlı darbe tipi titreşimler altında da incelenmiştir.

Kontrollü yapıların tüm yerleşim durumları için elde edilmiş olan maksimum analiz sonuçları Ek A.2 kısmında verilmiştir.

İlk durumda sadece aşağı katın 2 ve 4 nolu yüzlerinde aktif kontrol bulunmaktadır. Bu durumda, ilaveli deprem kayıtları altındaki en fazla yerdeğiştirme azalması Erzincan depremi altında yapılan analizlerde elde edilmiştir. Bu deprem etkisi altında  $x$  yönünde birinci katın yerdeğiştirmesi %17.26, ikinci katın yerdeğiştirmesi ise %10.66 azalmıştır. Diğer doğrultuda, yerdeğiştirme azalmaları daha fazla olmuştur. Birinci katın  $y$  yönündeki yerdeğiştirmesi %35.95, ikinci katınki ise %33.19 azalmıştır. Şekil 4.10'da ilk durumda ilaveli Erzincan depremi ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiş birinci katın  $x$  yönünde yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.

**Çizelge 4.6 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları.

| Deprem               | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|----------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                      |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.060  | 0.093  | 0.065  | 0.100  | 0.033     | 0.053  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.850  | 1.478  | 0.769  | 1.306  | 0.462     | 0.731  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 13.503 | 23.846 | 13.705 | 17.205 | 6.934     | 10.617 |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 13.644 | 18.992 | 13.705 | 19.571 | 6.934     | 10.617 |
| Erzincan             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.053  | 0.082  | 0.035  | 0.056  | 0.025     | 0.042  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.470  | 0.734  | 0.438  | 0.785  | 0.380     | 0.613  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 6.688  | 9.738  | 7.624  | 12.250 | 6.503     | 10.176 |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.833 | 12.870 | 7.624  | 11.057 | 6.503     | 10.176 |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.094  | 0.148  | 0.093  | 0.147  | 0.057     | 0.090  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 1.058  | 1.754  | 1.279  | 2.078  | 0.814     | 1.255  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 17.497 | 24.762 | 18.611 | 31.226 | 13.393    | 19.322 |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 17.638 | 25.434 | 18.611 | 30.483 | 13.393    | 19.322 |

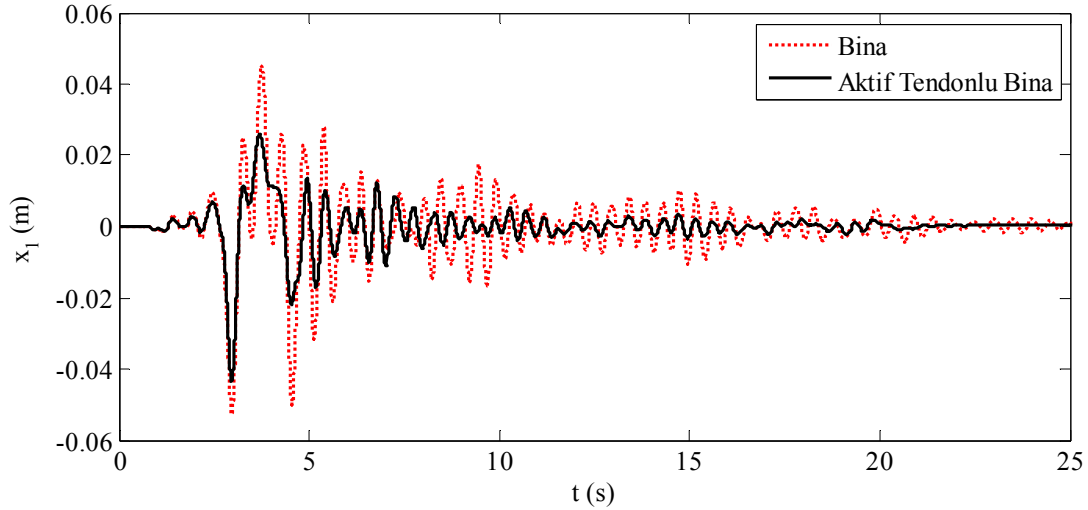
**Çizelge 4.7 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan yapının darbe tipi titreşimlerin etkisi altında maksimum analiz sonuçları.

| Titreşim<br>periyodu | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|----------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                      |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| 1.5 s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.068  | 0.109  | 0.041  | 0.064  | 0.032     | 0.050  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.735  | 1.100  | 0.426  | 0.643  | 0.303     | 0.495  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 9.634  | 12.390 | 7.080  | 9.873  | 4.589     | 6.809  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 12.886 | 18.555 | 7.080  | 10.234 | 4.589     | 6.809  |
| 3 s                  | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.038  | 0.060  | 0.020  | 0.031  | 0.014     | 0.022  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.281  | 0.422  | 0.179  | 0.278  | 0.132     | 0.221  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.817  | 5.602  | 2.601  | 3.741  | 2.024     | 3.113  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.781  | 9.803  | 2.601  | 5.414  | 2.024     | 3.113  |
| 0.5 s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.079  | 0.132  | 0.057  | 0.094  | 0.042     | 0.067  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 1.051  | 1.704  | 0.806  | 1.272  | 0.552     | 0.907  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 13.739 | 22.306 | 10.833 | 18.194 | 8.954     | 13.010 |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 13.739 | 22.306 | 10.833 | 18.194 | 8.954     | 13.010 |

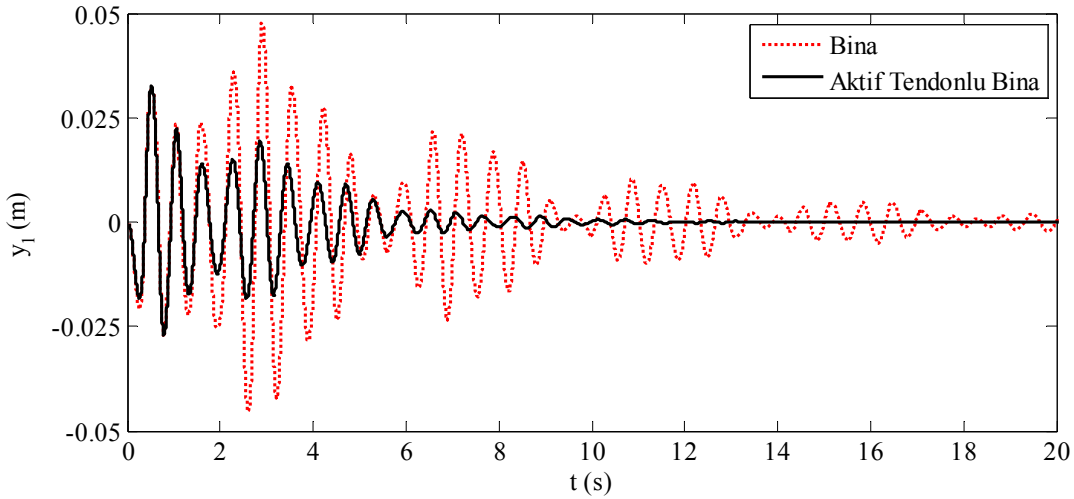
İlaveli deprem kayıtları altında ilk kontrol durumundaki minimum  $x$  yönündeki yerdeğiştirme azalması, ilk kat için %10.63, ikinci kat için %4.41'dir. İkinci kattaki azalmanın az olması, sadece alt katta aktif kontrol olmasından kaynaklanmıştır.

Kontrol sisteminin sıçrama titreşimleri altında daha başarılı olduğu,  $y$  yönünde elde edilen sonuçların daha çok azaldığından anlaşılmaktadır. Darbe tipi titreşimler

altında yapılan analiz sonuçlarında azalma ilaveli deprem kayıtları ile yapılan analizlere göre daha fazla olmuştur. Şekil 4.11’de 0.5 saniye periyotlu titreşimler altında birinci katta  $y$  yönünde oluşan yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, aktif kontrol olmadığında binadaki salınımın sönümlenmesi zor olmaktadır, aktif kontrol ile salınım kolaylıkla sönümlenmektedir.

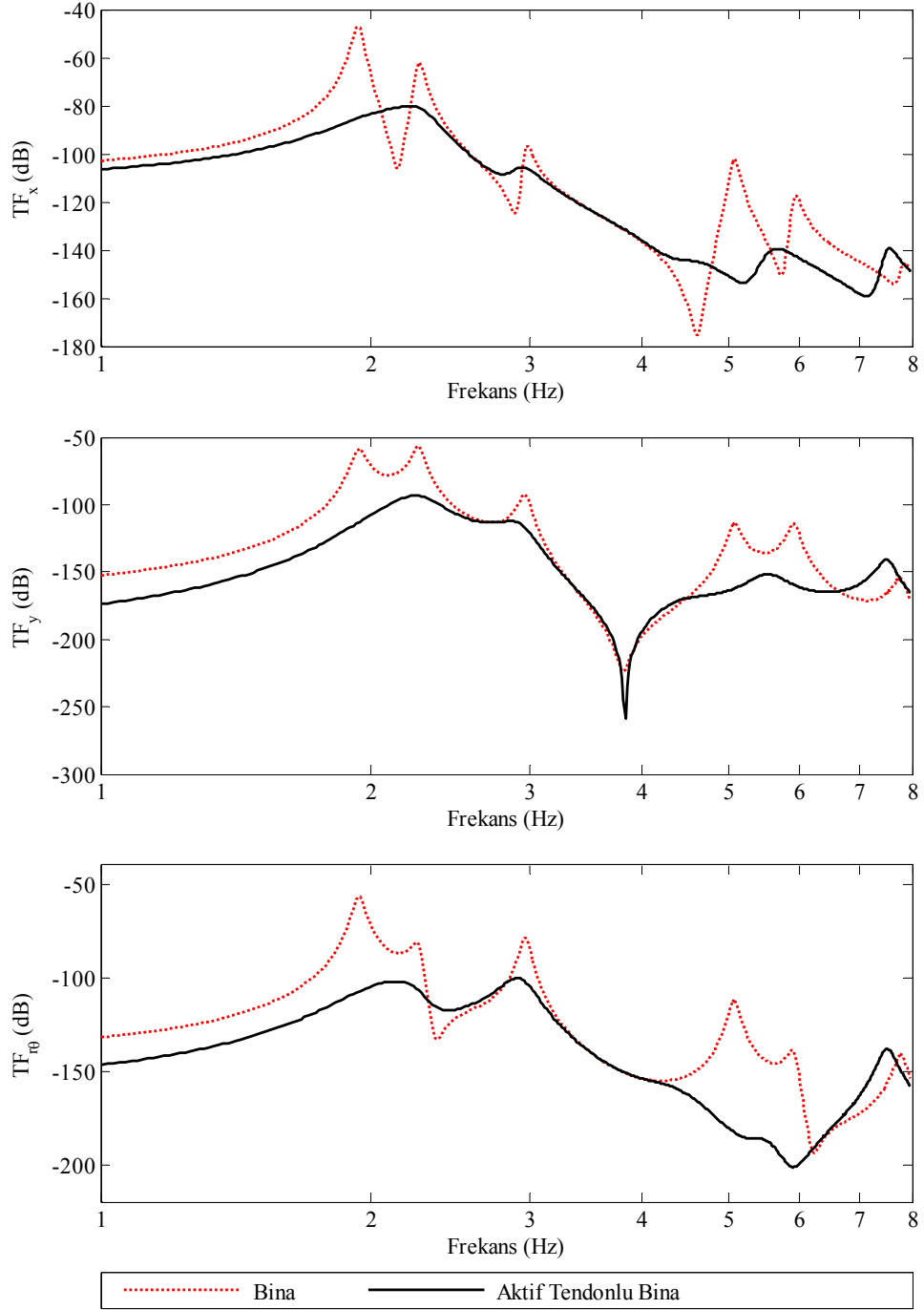


**Şekil 4.10 :** İlaveli Erzincan depremi etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki birinci kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 1).



**Şekil 4.11 :** 0.5s periyotlu titreşim etkisi altında elde edilen  $y$  yönündeki birinci kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 1).

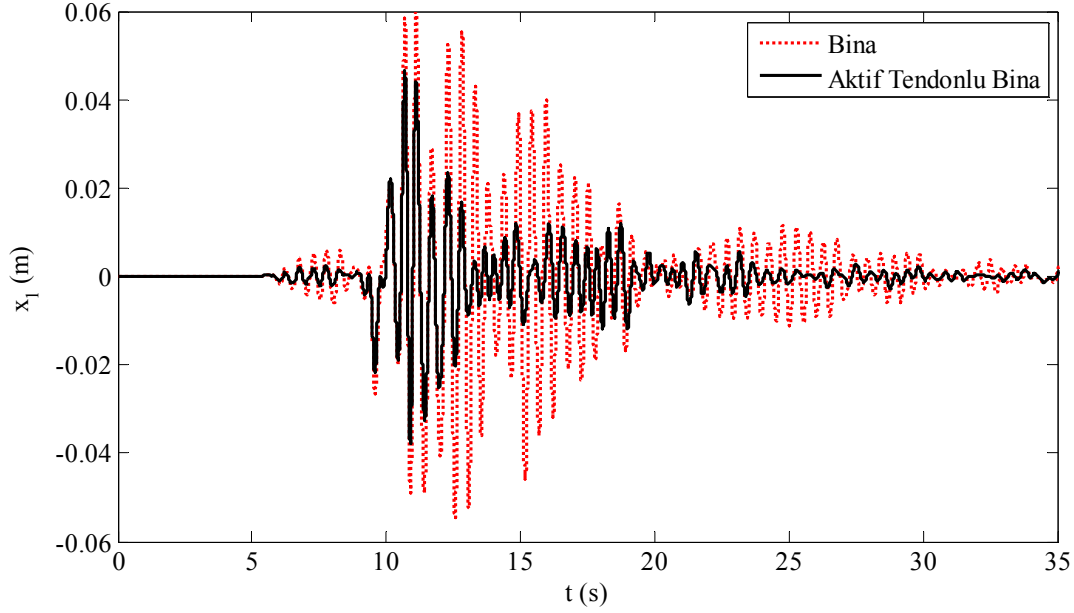
İlk durum için elde edilmiş olan birinci katın transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 4.12’de üç doğrultu için verilmiştir. Yapının doğal frekanslarına karşı gelen rezonans tepelerinin aktif kontrol ile oldukça düştüğü açıkça görülmektedir.



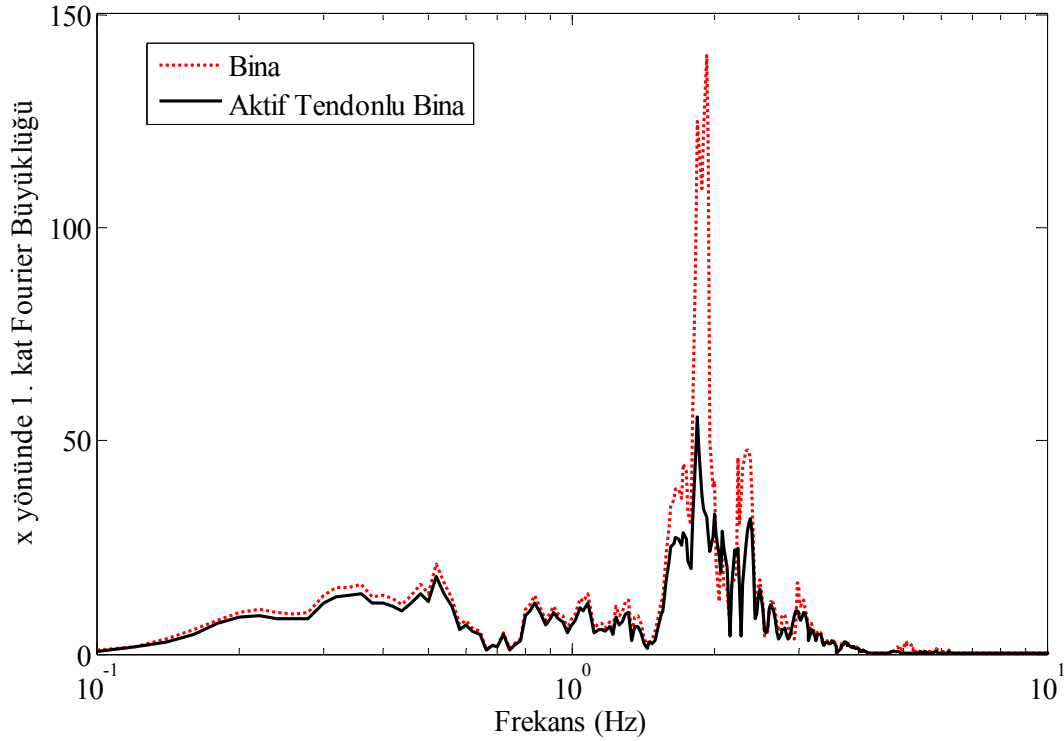
**Şekil 4.12 :** Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 1).

İkinci durumda da sadece aşağı katta aktif kontrol vardır. Fakat bu durumda yapı dört yüzünden de kontrol edilmektedir. İlaveli deprem kayıtları için,  $x$  yönünde en iyi fayda, Düzce depreminin Bolu kaydı etkisi altında elde edilmiştir. Şekil 4.13'te ikinci durumda ilaveli Düzce depreminin Bolu kaydı ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiş birinci katın  $x$  yönündeki yerdeğiştirme grafiği görülmektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi, maksimum yerdeğiştirme %22.25 azalmıştır. Aynı yerdeğiştirmenin Fourier dönüşümü Şekil 4.14'te verilmiştir. İkinci durum için elde

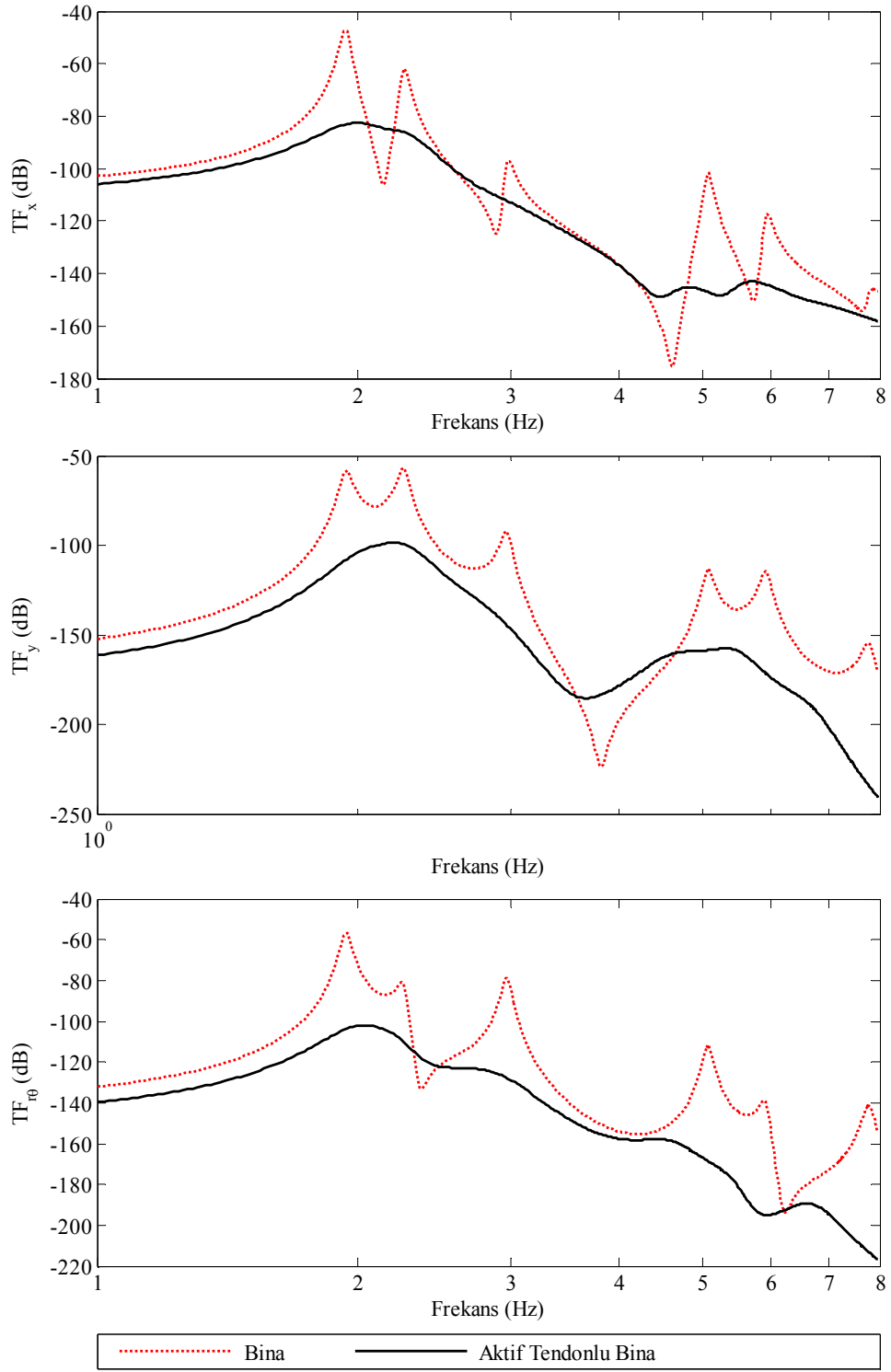
edilmiş birinci kat transfer fonksiyonu grafikleri ise Şekil 4.15'te verilmiştir. İkinci durumun birinci kat transfer fonksiyonu grafiğinde görüldüğü gibi, tepe noktalarındaki transfer fonksiyonu değeri oldukça azalmıştır.



**Şekil 4.13 :** İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki yerdeğiştirme grafiği (DURUM 2).



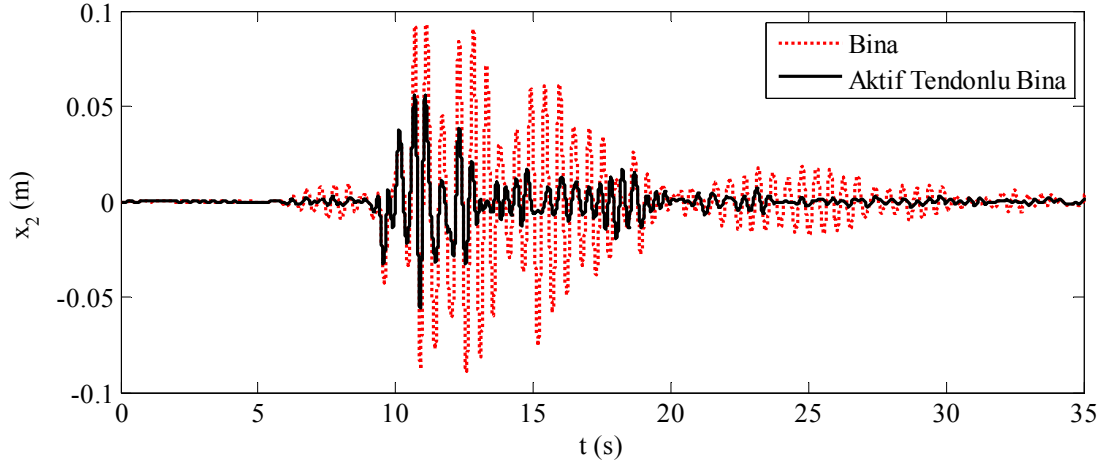
**Şekil 4.14 :** İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki yerdeğiştirme değerlerinin Fourier dönüşümü (DURUM 2).



**Şekil 4.15 :** Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 2).

Üçüncü durumda ikinci ve dördüncü yüzlerde aktif kontrol bulunmaktadır. Fakat bu durumda her katta aktif kontrol vardır. İlaveli deprem kayıtları için,  $x$  yönünde en iyi fayda, ikinci durumda olduğu gibi Düzce depreminin Bolu kaydının etkisi altında elde edilmiştir. Şekil 4.16'da üçüncü durumda ilaveli Düzce depreminin Bolu kaydı ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiş ikinci katın  $x$  yönündeki yerdeğiştirme

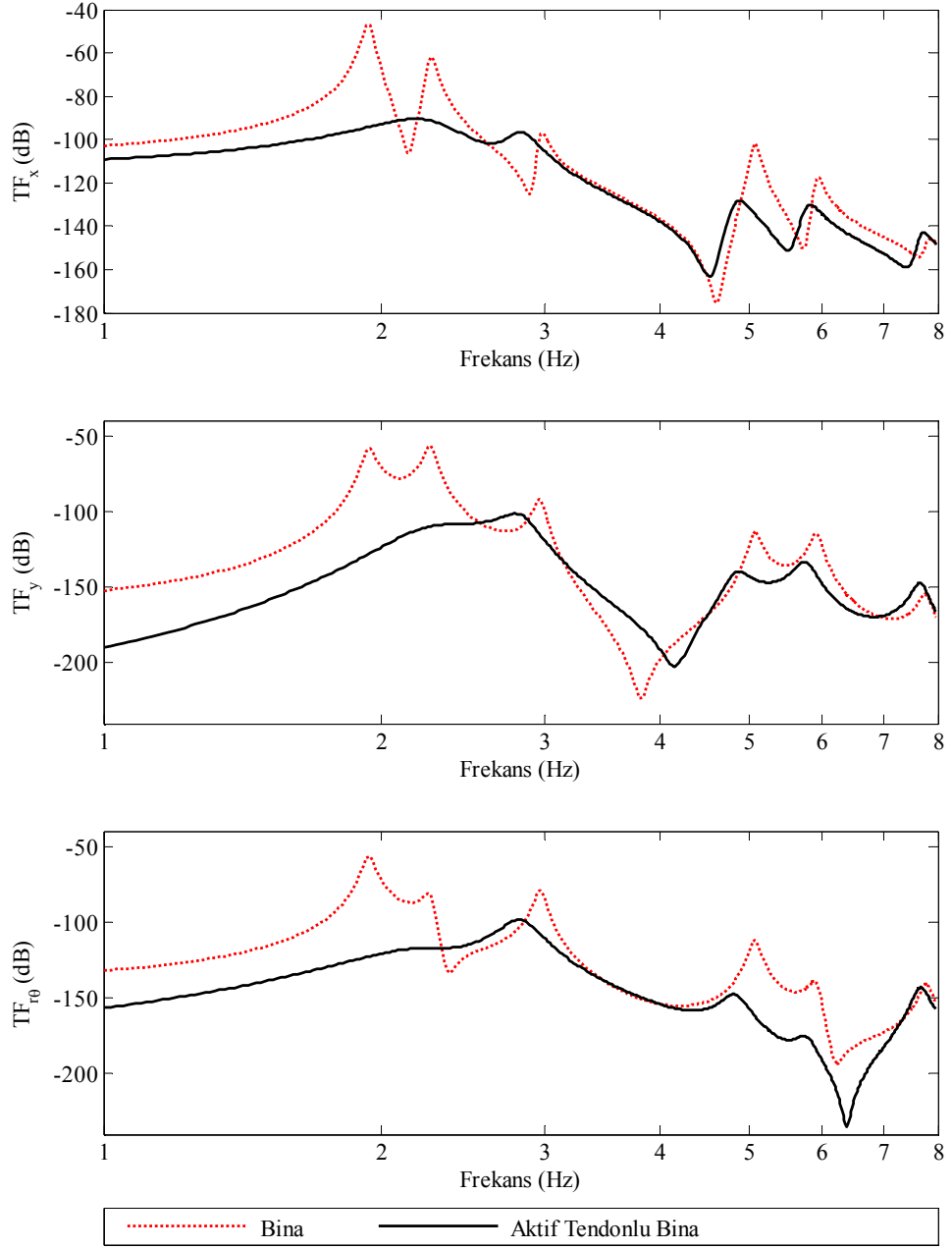
grafiği görülmektedir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, ikinci katın maksimum yerdeğiştirmesi %40 azalmıştır. Birinci kattaki azalma ise %40.35'dir. İki katta da aktif kontrol olduğu için her iki kattaki sonuçlar birbirine yakın düzeyde azalmıştır. Üçüncü durum için elde edilmiş birinci kat transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Üçüncü durumun transfer fonksiyonu grafiğindeki tepe noktalarındaki değerler oldukça azalmıştır.



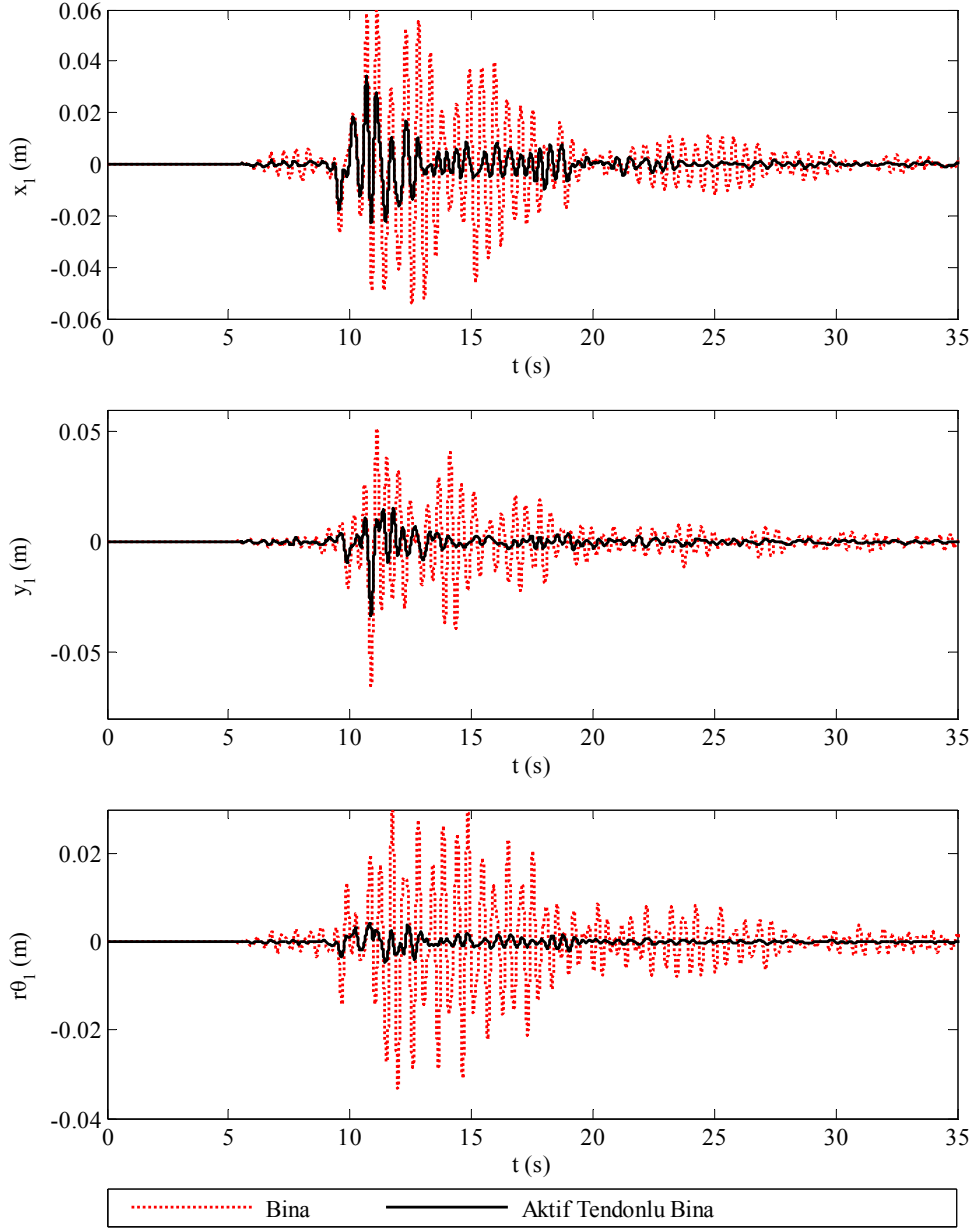
**Şekil 4.16 :** İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki ikinci kat yerdeğiştirme grafiğı (DURUM 3).

Dördüncü durumda tüm yüz ve katlarda aktif kontrol vardır. İlaveli deprem kayıtları için,  $x$  yönünde en iyi fayda, ikinci durumda olduğu gibi Düzce depreminin Bolu kaydının etkisi altında elde edilmiştir. Fakat  $y$  yönünde en az azalma Düzce depreminin Bolu kaydı altında yapılan analizlerde elde edilmiştir. Northridge depreminin Sylmar kaydı altında yapılan analizlerde, dönme değerinde %89.6 azalma olmuştur. Bu durumda hız ve ivme değerlerinde de ciddi azalmalar sağlanmıştır. Şekil 4.18'de dördüncü durumda ilaveli Düzce depreminin Bolu kaydı ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiş ilk katın yerdeğiştirme grafikleri görülmektedir.

Dördüncü durum için elde edilmiş birinci kat transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Dördüncü durumun transfer fonksiyonu grafiğindeki tepe noktalarındaki değerlerin azaldığı görülmektedir.

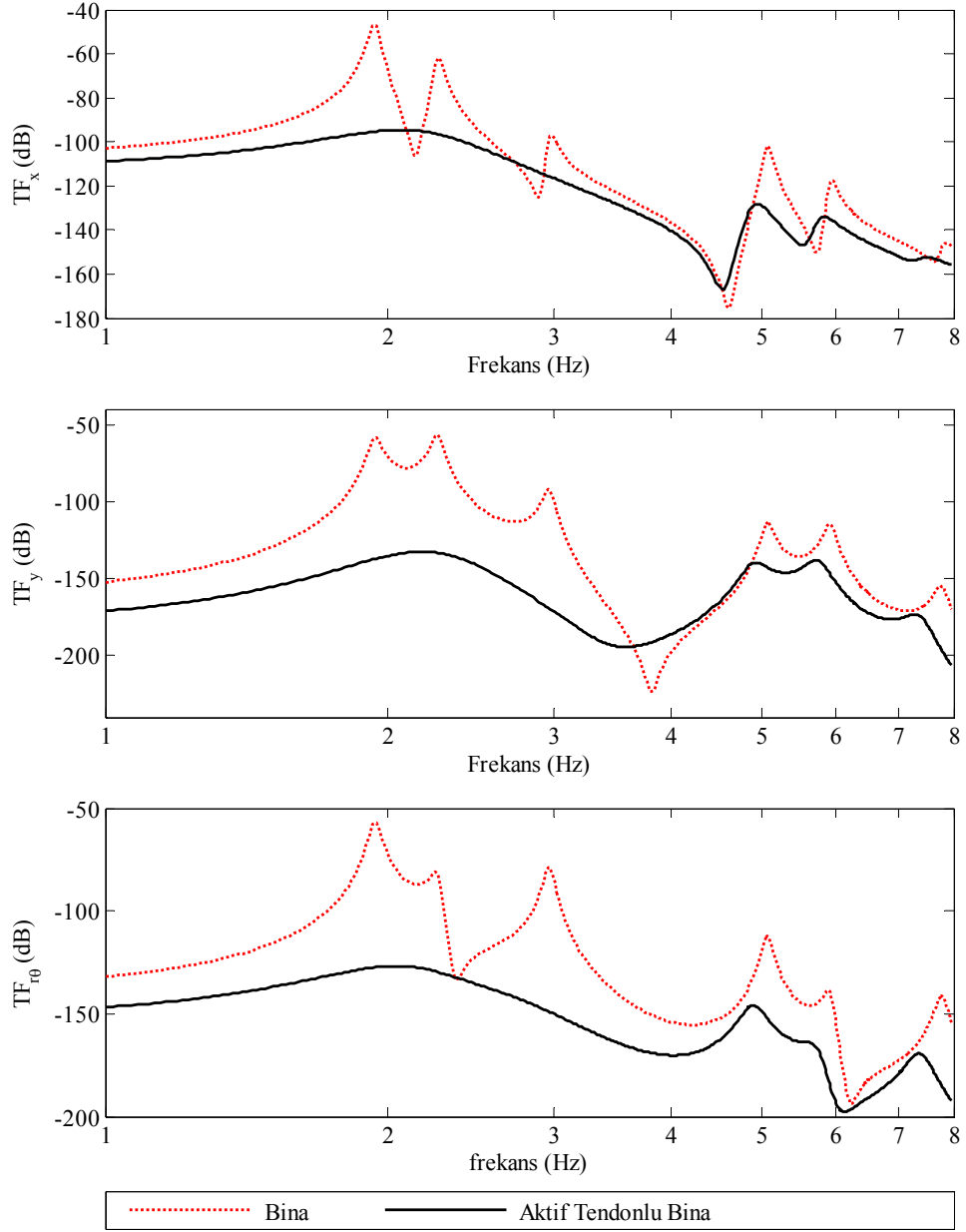


**Şekil 4.17 :** Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 3).



**Şekil 4.18 :** İlaveli Düzce depremi Bolu kaydı etkisi altında elde edilen yerdeğiştirme grafikleri (DURUM 4).

İki katlı burulma düzensizliği olan yapıda katlara gelen maksimum bileşke yatay kontrol kuvveti birinci, üçüncü ve dördüncü durumlarda sırasıyla 17744 N, 13017 N ve 7815 N olmak üzere ilaveli Northridge-Sylmar kaydı altında oluşmaktadır. İkinci durumda ise 0.5 s periyotlu darbe titreşimleri altında 11777 N olarak oluşmaktadır.



**Şekil 4.19 :** Birinci kat için transfer fonksiyonu grafikleri (DURUM 4).

#### 4.5 Üç Katlı Burulma Düzensizliği Oluşan Yapının Analiz Sonuçları

İlaveli deprem kayıtları altındaki üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının kontrolsüz halde katlarda oluşan maksimum yerdeğiştirme, hız ve ivme sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.9 ise darbe tipi titreşimler altında elde edilmiş maksimum sonuçlar bulunmaktadır. Yapının periyoduna yakın olan 0.7 s periyotlu 50 cm/s maksimum hızlı darbe tipi titreşimler altında da yapı incelenmiştir.

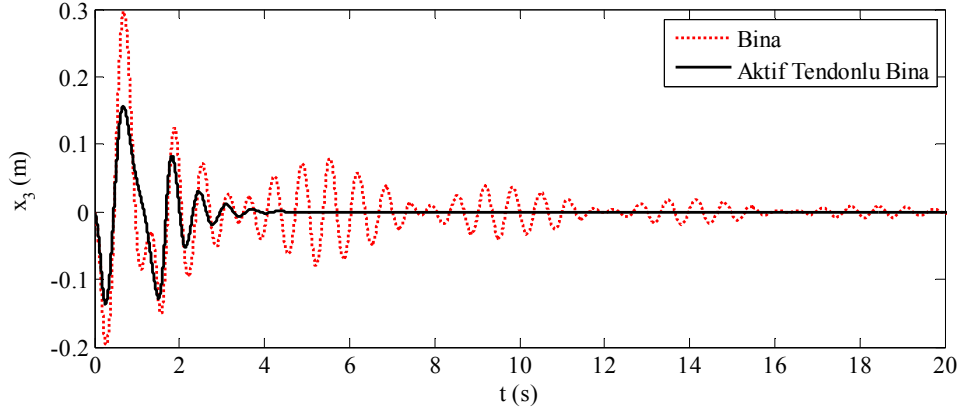
**Çizelge 4.8 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları.

| Deprem               | Doğrultu                                   | $x$    |        |        | $y$    |        |        | $r\theta$ |       |        |
|----------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|--------|
|                      | Kat                                        | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1         | 2     | 3      |
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.097  | 0.168  | 0.203  | 0.092  | 0.158  | 0.190  | 0.046     | 0.084 | 0.106  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 1.069  | 1.636  | 2.192  | 1.057  | 1.653  | 2.065  | 0.497     | 0.811 | 0.955  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 14.672 | 18.919 | 24.488 | 13.360 | 19.921 | 24.680 | 5.468     | 7.950 | 11.336 |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 12.987 | 17.472 | 22.885 | 13.168 | 19.921 | 22.976 | 5.468     | 7.950 | 11.336 |
|                      |                                            |        |        |        |        |        |        |           |       |        |
| Erzincan             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.083  | 0.147  | 0.183  | 0.054  | 0.088  | 0.104  | 0.028     | 0.051 | 0.065  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.690  | 1.108  | 1.348  | 0.501  | 0.765  | 1.019  | 0.319     | 0.474 | 0.580  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 6.918  | 9.180  | 11.318 | 9.111  | 8.815  | 12.217 | 4.342     | 5.284 | 7.120  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.351 | 13.145 | 15.540 | 11.328 | 8.815  | 12.392 | 4.342     | 5.284 | 7.120  |
|                      |                                            |        |        |        |        |        |        |           |       |        |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.101  | 0.187  | 0.240  | 0.071  | 0.129  | 0.160  | 0.029     | 0.047 | 0.056  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.802  | 1.463  | 1.987  | 0.742  | 1.311  | 1.713  | 0.277     | 0.438 | 0.546  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 12.952 | 20.458 | 27.346 | 8.427  | 15.668 | 18.419 | 4.428     | 5.393 | 6.912  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.310 | 16.357 | 24.189 | 10.749 | 15.668 | 17.363 | 4.428     | 5.393 | 6.912  |
|                      |                                            |        |        |        |        |        |        |           |       |        |

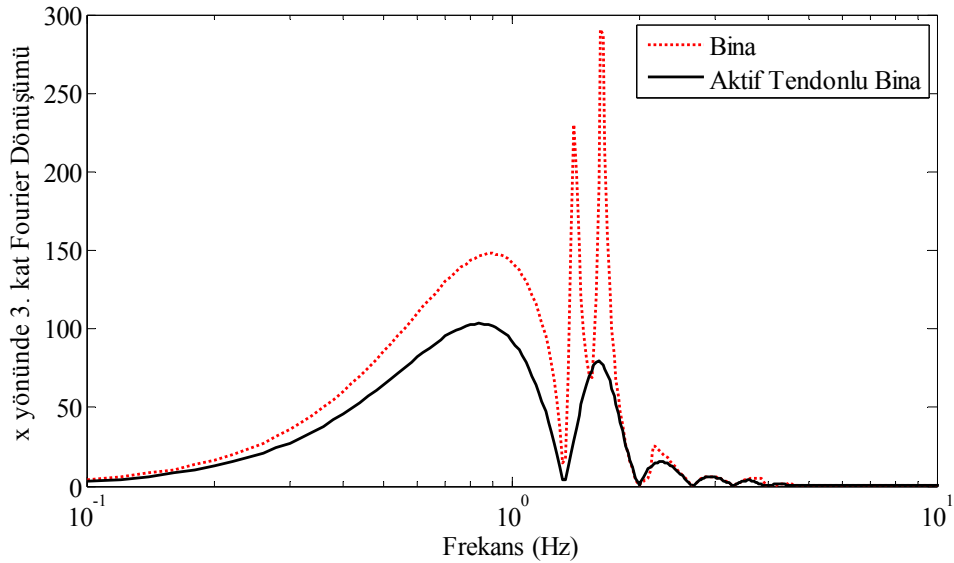
**Çizelge 4.9 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının darbe tipi titreşimlerin etkisi altında maksimum analiz sonuçları.

| Titreşim periyodu | Doğrultu                                   | $x$    |        |        | $y$   |        |        | $r\theta$ |       |       |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-----------|-------|-------|
|                   | Kat                                        | 1      | 2      | 3      | 1     | 2      | 3      | 1         | 2     | 3     |
| 1.5 s             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.140  | 0.242  | 0.296  | 0.066 | 0.114  | 0.139  | 0.050     | 0.087 | 0.108 |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.924  | 1.551  | 1.929  | 0.551 | 0.958  | 1.201  | 0.344     | 0.583 | 0.732 |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 9.634  | 12.285 | 15.160 | 6.603 | 10.369 | 12.577 | 4.641     | 5.804 | 8.149 |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 16.381 | 20.358 | 22.998 | 9.518 | 10.369 | 13.529 | 4.641     | 5.804 | 8.149 |
|                   |                                            |        |        |        |       |        |        |           |       |       |
| 3 s               | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.055  | 0.095  | 0.115  | 0.030 | 0.052  | 0.064  | 0.017     | 0.030 | 0.038 |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.314  | 0.528  | 0.674  | 0.204 | 0.322  | 0.399  | 0.180     | 0.297 | 0.400 |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.817  | 5.207  | 5.892  | 2.401 | 3.423  | 4.382  | 2.532     | 3.224 | 4.417 |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 6.763  | 8.884  | 9.947  | 4.198 | 3.423  | 5.972  | 2.532     | 3.224 | 4.417 |
|                   |                                            |        |        |        |       |        |        |           |       |       |
| 0.7 s             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.082  | 0.149  | 0.188  | 0.056 | 0.100  | 0.124  | 0.040     | 0.073 | 0.092 |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.783  | 1.387  | 1.752  | 0.544 | 0.984  | 1.241  | 0.407     | 0.717 | 0.873 |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 7.095  | 11.776 | 16.810 | 5.989 | 10.107 | 11.925 | 4.359     | 7.410 | 9.734 |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.224  | 11.776 | 16.810 | 5.989 | 10.107 | 11.925 | 4.359     | 7.410 | 9.734 |
|                   |                                            |        |        |        |       |        |        |           |       |       |

Üç katlı yapının tüm aktif kontrol durumları için elde edilmiş maksimum sonuçlar Ek A.3’de verilmiştir. Tüm kontrol durumlarında aktif tendon sistemi etkilidir. Şekil 4.20’de dördüncü durumda üç katlı aktif kontrollü yapıda 1.5 saniye periyotlu titreşimler altında oluşan  $x$  yönündeki üçüncü kat yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Bu değerin Fourier dönüşümü Şekil 4.21’de verilmiştir.

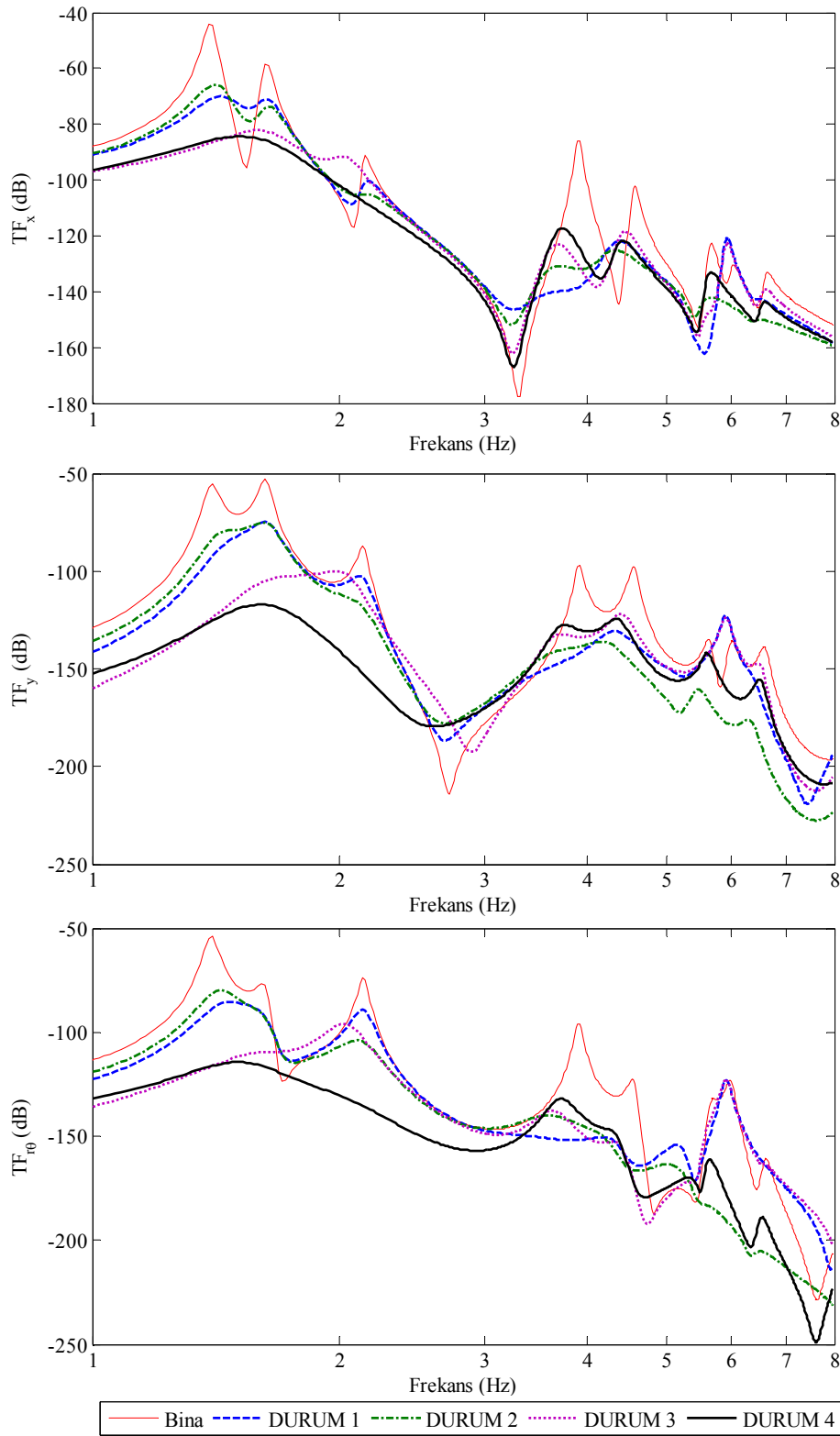


**Şekil 4.20 :** 1.5 s periyotlu darbe titreşimleri etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki üçüncü kat yerdeğiştirme grafiği (DURUM 4).



**Şekil 4.21 :** 1.5 s periyotlu darbe titreşimleri etkisi altında elde edilen  $x$  yönündeki üçüncü kat yerdeğiştirme değerlerinin Fourier dönüşümü (DURUM 4).

Üç katlı burulma düzensizliği oluşan yapının birinci katının transfer fonksiyonu grafikleri tüm durumlar için Şekil 4.22’de verilmiştir. İlk üç rezonans tepesinde, tüm katlarda aktif tendonların olduğu durumda transfer fonksiyonu değeri sadece aşağı katta aktif kontrolün olduğu durumlara göre daha fazla azalmaktadır. Son üç rezonans tepesinde ise, tüm yüzlerde aktif kontrolün olduğu durumlar daha etkilidir.

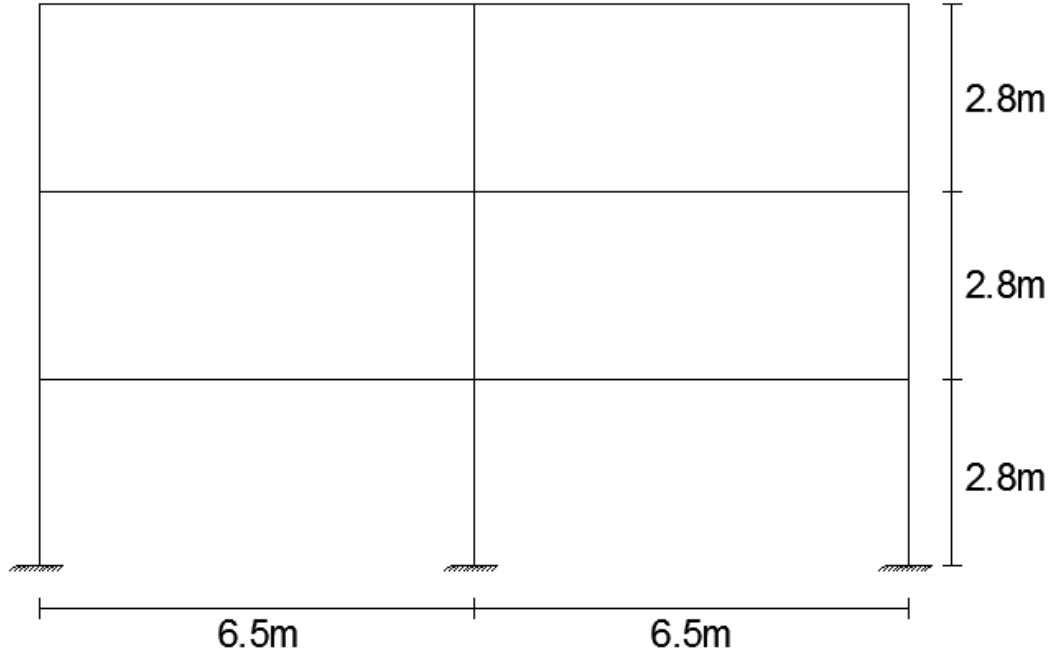


**Şekil 4.22 :** Üç katlı burulma düzensizliği olan yapının birinci katı için transfer fonksiyonu grafikleri.

Üç katlı burulma düzensizliği olan yapıda katlara gelen maksimum bileşke yatay kontrol kuvveti durumlara göre sırasıyla 16505 N, 10677 N, 8736 N ve 5795 N olmak üzere 0.7 s periyotlu darbe titreşimleri altında oluşmaktadır.

## 5. GERÇEK BOYUTLU BİR BETONARME ÇERÇEVE YAPININ AKTİF TENDONLAR İLE KONTROLÜ

İncelenen betonarme çerçeve yapı, Şekil 5.1’de görülmektedir. Üç katlı yapının her katının yüksekliği 2.8 metredir. Yapı tek yönde incelenmiştir, fakat bu yönde deprem ivmelerinin iki yöndeki bileşenleri ayrı ayrı yapıya etki ettirilmiştir. Böylelikle yapı hem doğrultu titreşimi, hem de sıçrama titreşimi etkisinde incelenmiştir. İncelenen yönün dışındaki diğer yönde yapı tek açıklıklı olarak kabul edilmiştir. Yapıdaki döşemeler 15 cm kalınlığındaki ve 6.5x3.5 m boyutundaki plak döşemelerdir. Kolonların kesitlerinin boyutları 50x25 cm, kirişlerin boyutları ise, 20x80 cm olarak alınmıştır. Boyutlar mevcut bir yapının bir kısmından elde edilmiştir [73]. Aynı şekilde alınan sabit ve hareketli yükler mevcut yapıya etki eden yüklerdir. Hareketli yük katılım katsayısı 0.3 olarak kabul edilmiş ve yapının yatay yöndeki periyotları elde edilmiştir.



Şekil 5.1 : Betonarme Çerçeve Yapı.

Döşemelerdeki sabit yük ilk iki kat için  $8.31 \text{ kN/m}^2$  ve son kat için  $2.5 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır. Hareketli yükün ise ilk iki kat için  $2.5 \text{ kN/m}^2$  ve son kat için  $1.9 \text{ kN/m}^2$  olduğu düşünülmüştür. Bu durumda yapının en alt katındaki orta kolonuna gelen

normal kuvvet 477.04 kN ve alt kat köşe kolonlara gelen normal kuvvet 195.04 kN bulunmuştur. Yapının ilk iki katının kütlesi 61566 kg ve son katının kütlesi ise 34478 kg olarak bulunmuştur.

Kontrol sinyali ilk önce ilk katın yerdeğiştirme değerleri referans alınarak elde edilmiştir. Fakat bu durumda elde edilen kontrol kuvvetinin doğrultu titreşimi etkisi içeren kayıtların tesiri altında çok fazla olduğu anlaşılmıştır. Özellikle kablo üzerindeki kuvvetin düşey bileşeninin ek normal kuvvet olarak kolonlara etkimesi tehlikeli durum oluşturabilmektedir. Onun için ilk katın hız değeri hata kabul edilerek, kontrol sinyali bu değere göre hesaplanmıştır. Kontrolü katsayıları deneme yanılma ve sonrasında nümerik algoritmanın kullanımı ile bulunmuştur. Diğer üç katlı düzlem yapı rneği gibi, her kata net olarak aynı miktarda kontrol kuvveti etkimesi sağlanmıştır.

Kontrol sisteminin 20 ms zaman gecikmesinin var olduğu kabul edilmiştir. Binanın hem n, hem arka tarafındaki tüm açıklık ve katlarında aktif kontrol olduğu dşnlmştir. Kablo rijitliği ve kablonun yatayla yaptığı açı sırasıyla 372100 N/m ve 23.3 derecedir. Sönüm oranı her mod için %5 kabul edilmiştir. Sönüm matrisi Rayleigh metodu ile bulunmuştur.

Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ), ülkemizdeki mevcut yapıların durumu göz önüne alınarak 12, 14 ve 16 MPa beton dayanımlı üç farklı yapı incelenmiştir. Böylece, kontrol sisteminin çeşitli dayanımlardaki betonlar için uygulanabilirliği araştırılmıştır. İncelenen yapı verilen beton dayanımları ile gevrek kırılma yönünden yakın fay deprem kayıtları altında yetersizdir. Bu durumun incelenmesi ve kontrol sisteminden dolayı düşey yükün artmasının bir sorun oluşurmaması için DBYBHY-2007’de belirtilmiş olan denklemler 5.1 ve 5.2 kontrol edilmiştir. Bu denklemlerdeki  $N_{dm}$ ,  $f_{ck}$ ,  $A_w$ ,  $V_e$  ve  $f_{cd}$  sırasıyla düşey ykler ve deprem yklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü, betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, kolon enkesiti etkin gövde alanı, deprem ykleri ve diğer yklerin kombinasyonundan elde edilen kesme kuvveti ve betonun tasarım basınç dayanımıdır. [74]

$$N_{dm} \leq 0.5f_{ck}A_w \quad (5.1)$$

$$V_e \leq 0.22A_wf_{cd} \quad (5.2)$$

## **5.1 Betonarme Çerçeve Yapının Analiz ve Kontrolü**

### **5.1.1 12 MPa beton dayanımlı yapı**

Yapıda kullanılan betonun karakteristik silindir basınç dayanımı 12 MPa olduğu durumda, kolonların düşey yük taşıma kapasitesi oldukça azalmaktadır. Denklem 5.1 ile yapının bir kolonun taşıyabileceği maksimum eksenel basınç kuvveti 750 kN olarak bulunmuştur. Orta kolonda, sabit ve hareketli yüklerden dolayı oluşan eksenel basınç kuvveti maksimum kuvvetten çıkarıldığında geriye 272.96 kN kalmaktadır. Kablolardaki kuvvetin düşey bileşeni kolonlara ek eksenel yük olarak etkiyeceğinden, orta kolona gelen toplam ek kuvvet 272.96 kN değerini geçmemelidir. Denklem 5.2 ile hesaplanan maksimum izin verilen kesme kuvveti değeri 1320 kN'dur. Maksimum taban kesme kuvvetinin bu değere indirilmesi için gerekli olan kontrol kuvveti, orta kolonun eksenel yük taşıma kapasitesini aşmasına neden olmaktadır. Bu durum nedeniyle, yapının mevcut haliyle aktif tendonlar ile kontrolü mümkün olmamaktadır.

### **5.1.2 14 MPa beton dayanımlı yapı**

Yapının betonunun karakteristik silindir basınç dayanımı 14 MPa olduğunda, bir kolonun taşıyabileceği yük miktarı Denklem 5.1'e göre 875 kN'u geçmemelidir. Bu değerden sabit ve hareketli yüklerden kaynaklanan eksenel kuvvet değeri çıkarıldığında, kablolardan gelen maksimum kuvvetin düşey bileşeninin sınırı bulunabilir. Düşeyde orta kolona etkiyen toplam düşey kablo kuvveti 397.96 kN'u geçmemelidir.

Betonun elastisite modülü 26160 MPa alınarak yapılan analizlerde, ilk iki katın rijitlik katsayısı 52860 kN/m olarak bulunmuştur. Son katın rijitliği ise 54822 kN/m olarak bulunmuştur. Deneme yanılgılar ve sonrasında algoritmanın kullanımı ile kontrolcü katsayıları bulunmuştur. Kontrolcü katsayıları bulunurken, kablolardaki kuvvetin düşey bileşeninin sınır değeri geçmemesine özen gösterilmiştir. Orantı sabiti; -0.2 s, türev zamanı; 0.04 s ve integral zamanı ise 0.2 s bulunmuştur. Bu değerler son kat içindir. İlk ve ikinci kat için orantı sabitleri sırasıyla üçüncü katın 2 ve 3 katıdır.

Çizelge 5.1'de çeşitli yakın fay titreşimleri ilaveli deprem kayıtları ve yakın fay titreşimleri altında yapılan analizlerin maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvveti

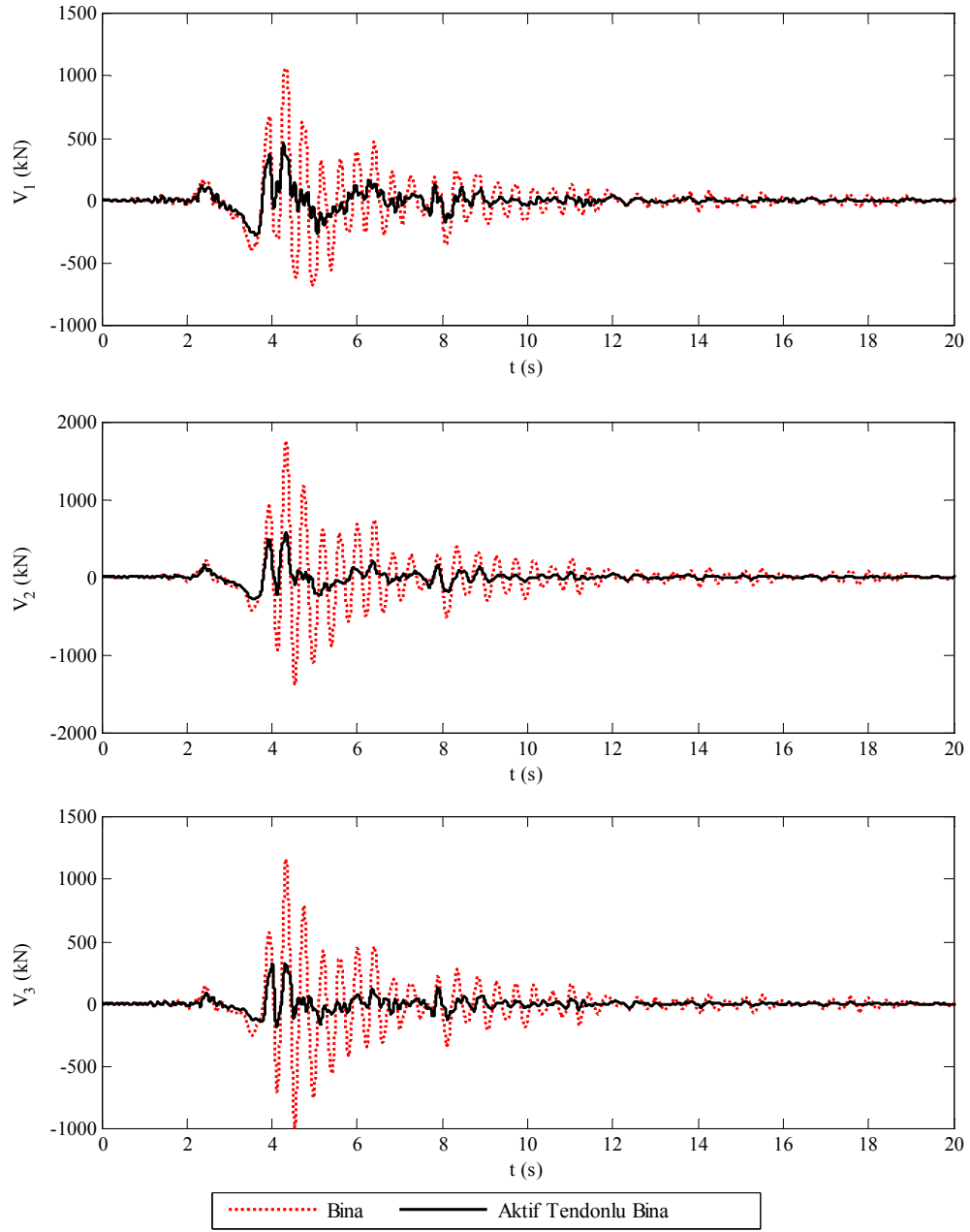
değerleri verilmiştir. Yapının periyodu 0.4221 s olduğu için, periyodu 0.42 s olan titreşimler altında da analizler yapılmıştır. Aktif kontrollü sistemde maksimum değerlerin oldukça azaldığı görülmektedir. En kritik kesme kuvveti, Northridge depreminin SYL360 kaydının arttırılmış etkisi altında oluşmaktadır. Bu kayıta ilave C<sub>2</sub> tipi doğrultu titreşimi eklenmiştir. Denklem 5.2 ile elde edilmiş olan maksimum kesme kuvveti değeri 1540 kN'dur.

**Çizelge 5.1 : Maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvvetleri ( $f_{ck}=14$  MPa).**

| Deprem                                          |                   | Yerdeğiştirme (cm) |       |       | Kesme Kuvveti (kN) |         |         |         |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|---------|---------|---------|
| Kat                                             |                   | 1                  | 2     | 3     | 1                  | 2       | 3       | Taban   |
| <b>Düzce-Bolu K-G</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 4.92               | 8.57  | 9.93  | 681.42             | 1189.80 | 749.53  | 2615.28 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.54               | 2.63  | 3.00  | 293.66             | 389.25  | 271.23  | 824.18  |
| <b>Düzce-Bolu D-B</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 3.81               | 6.55  | 7.58  | 724.55             | 913.92  | 601.29  | 2040.03 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.62               | 2.67  | 3.27  | 380.07             | 395.43  | 330.39  | 868.22  |
| <b>Erzincan K-G</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 3.48               | 5.80  | 6.66  | 652.17             | 771.41  | 483.57  | 1849.53 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.96               | 3.21  | 3.67  | 427.20             | 431.28  | 259.25  | 1045.47 |
| <b>Erzincan D-B</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 2.14               | 3.62  | 4.16  | 347.65             | 487.96  | 306.68  | 1132.00 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.99               | 1.66  | 1.87  | 225.60             | 245.70  | 196.78  | 523.68  |
| <b>Northridge SYL360</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 7.50               | 13.00 | 15.11 | 1063.67            | 1755.20 | 1162.36 | 3980.86 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 2.32               | 3.99  | 4.57  | 455.82             | 567.39  | 326.06  | 1231.22 |
| <b>Northridge SYL090</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 3.37               | 5.62  | 6.43  | 588.56             | 760.58  | 502.81  | 1783.93 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.34               | 2.18  | 2.49  | 279.00             | 330.70  | 234.71  | 709.46  |
| <b>3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>    | <i>Kontrolsüz</i> | 2.53               | 4.18  | 4.75  | 476.66             | 561.94  | 352.51  | 1337.48 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.36               | 2.18  | 2.39  | 320.60             | 343.21  | 166.70  | 713.63  |
| <b>3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>     | <i>Kontrolsüz</i> | 0.79               | 1.27  | 1.44  | 158.29             | 164.54  | 93.30   | 416.12  |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.56               | 0.89  | 0.99  | 119.39             | 120.23  | 54.57   | 293.74  |
| <b>1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 4.61               | 7.71  | 8.86  | 820.38             | 1031.90 | 683.86  | 2433.54 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 2.42               | 4.02  | 4.46  | 538.64             | 638.10  | 350.13  | 1271.30 |
| <b>1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>   | <i>Kontrolsüz</i> | 1.83               | 3.01  | 3.43  | 346.39             | 391.73  | 230.69  | 968.66  |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.19               | 1.90  | 2.12  | 252.04             | 259.16  | 119.70  | 628.36  |
| <b>0.42 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Kontrolsüz</i> | 5.27               | 9.26  | 10.84 | 730.10             | 1259.87 | 881.67  | 2788.41 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.73               | 2.82  | 3.25  | 350.34             | 416.60  | 288.30  | 924.16  |
| <b>0.42 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 2.74               | 4.78  | 5.56  | 398.38             | 653.35  | 427.83  | 1460.36 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.94               | 1.63  | 1.90  | 156.54             | 230.17  | 151.70  | 500.55  |

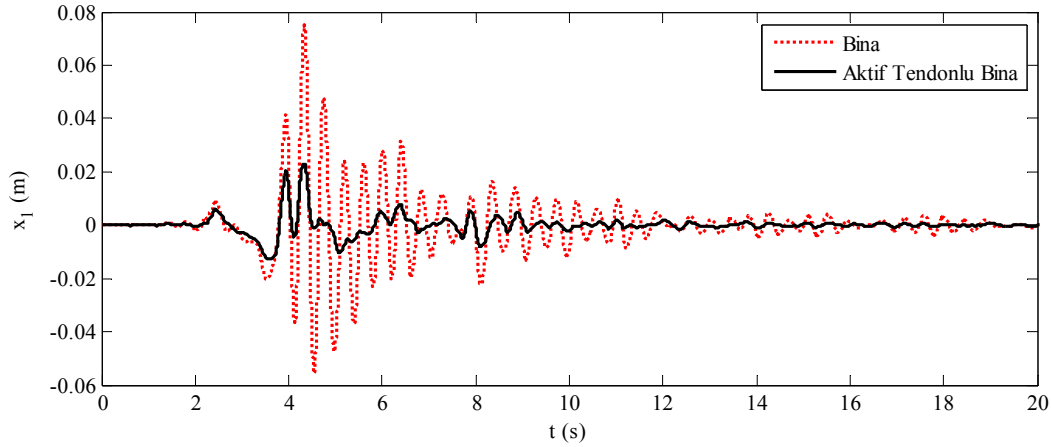
Şekil 5.2'de görülen Northridge depreminin SYL360 kaydının arttırılmış etkisi altında elde edilmiş olan kesme kuvveti grafikleri görülmektedir. Northridge depreminin Sylmar kaydının ilaveli etkisi altında kontrolsüz yapıda maksimum taban kesme kuvveti 3980.86 kN olmaktadır. Bu değer, sınır değeri oldukça aşmaktadır. Aktif tendon kontrollü sistemde, bu değer 1231.22 kN'a düşmektedir. Aktif kontrollü sistemde en büyük taban kesme kuvveti 1271.30 kN'dur ve 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında oluşmaktadır. Şekil 5.3'te verilmiş olan Northridge

depreminin Sylmar kaydının ilaveli etkisi altında elde edilmiş birinci kat yerdeğiştirme grafiğinde kontrol sisteminin etkisi açıkça görülmektedir.



**Şekil 5.2 :** Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında katlardaki kesme kuvveti değerleri ( $f_{ck}=14$  MPa).

Çizelge 5.2’de ise 14 MPa dayanımlı yapı için elde edilmiş olan maksimum hız ve toplam ivme değerleri görülmektedir. Aktif kontrollü sistemde, bu değerlerde önemli miktarda azalma olmuştur.

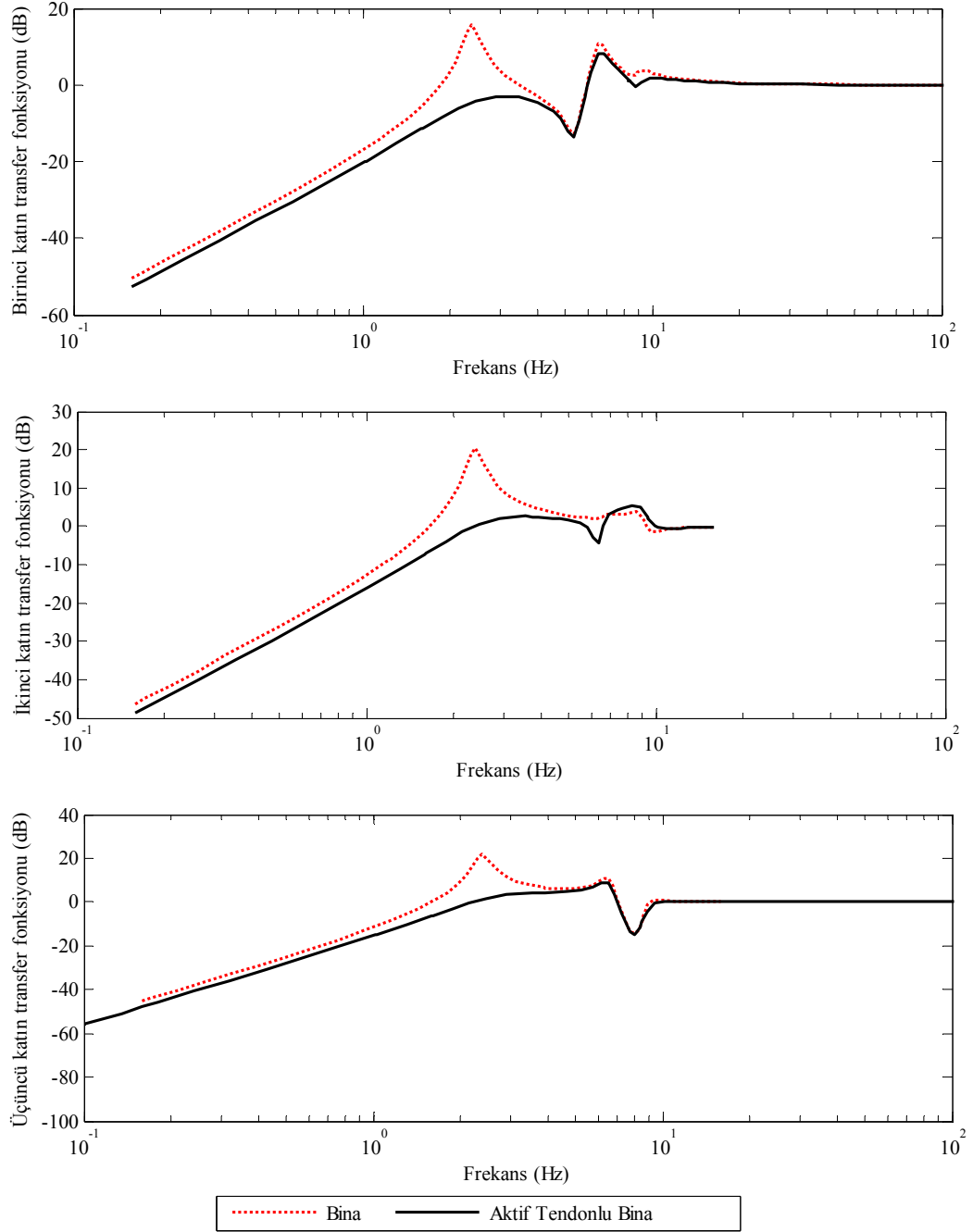


Şekil 5.3 : Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında birinci kat yerdeğiştirme grafiği ( $f_{ck}=14$  MPa).

Çizelge 5.2 : Maksimum hız ve ivme değerleri ( $f_{ck}=14$  MPa).

| Deprem                                      |            | Hız (cm/s) |        |        | Toplam İvme (g) |      |      |
|---------------------------------------------|------------|------------|--------|--------|-----------------|------|------|
| Kat                                         |            | 1          | 2      | 3      | 1               | 2    | 3    |
| Düzce-Bolu<br>K-G                           | Kontrolsüz | 72.05      | 127.52 | 150.48 | 1.13            | 1.97 | 2.22 |
|                                             | Kontrollü  | 21.14      | 36.62  | 44.34  | 0.75            | 0.84 | 0.88 |
| Düzce-Bolu<br>D-B                           | Kontrolsüz | 43.79      | 74.74  | 89.57  | 1.20            | 1.51 | 1.78 |
|                                             | Kontrollü  | 16.95      | 25.05  | 27.24  | 1.00            | 1.02 | 1.24 |
| Erzincan<br>K-G                             | Kontrolsüz | 29.37      | 50.12  | 58.54  | 1.08            | 1.28 | 1.43 |
|                                             | Kontrollü  | 12.44      | 21.86  | 26.47  | 0.97            | 1.03 | 0.96 |
| Erzincan<br>D-B                             | Kontrolsüz | 22.77      | 38.00  | 48.25  | 0.58            | 0.81 | 0.91 |
|                                             | Kontrollü  | 11.77      | 24.40  | 33.84  | 0.51            | 0.54 | 0.62 |
| Northridge<br>SYL360                        | Kontrolsüz | 105.08     | 180.11 | 206.59 | 1.76            | 2.91 | 3.44 |
|                                             | Kontrollü  | 26.48      | 41.92  | 51.74  | 1.10            | 1.21 | 1.22 |
| Northridge<br>SYL090                        | Kontrolsüz | 48.92      | 86.27  | 100.85 | 0.97            | 1.26 | 1.49 |
|                                             | Kontrollü  | 13.13      | 26.77  | 30.38  | 0.67            | 0.77 | 0.82 |
| 3 saniye periyotlu<br>doğrultu titreşimi    | Kontrolsüz | 18.31      | 31.86  | 39.43  | 0.79            | 0.93 | 1.04 |
|                                             | Kontrollü  | 9.73       | 15.40  | 22.98  | 0.68            | 0.74 | 0.88 |
| 3 saniye periyotlu<br>sıçrama titreşimi     | Kontrolsüz | 2.65       | 4.37   | 4.98   | 0.26            | 0.27 | 0.28 |
|                                             | Kontrollü  | 1.42       | 2.28   | 2.50   | 0.25            | 0.25 | 0.25 |
| 1.5 saniye periyotlu<br>doğrultu titreşimi  | Kontrolsüz | 49.49      | 91.86  | 110.53 | 1.36            | 1.71 | 2.02 |
|                                             | Kontrollü  | 19.35      | 32.26  | 47.65  | 1.33            | 1.36 | 1.66 |
| 1.5 saniye periyotlu<br>sıçrama titreşimi   | Kontrolsüz | 9.65       | 16.15  | 18.55  | 0.57            | 0.65 | 0.68 |
|                                             | Kontrollü  | 5.06       | 8.42   | 9.33   | 0.52            | 0.55 | 0.55 |
| 0.42 saniye periyotlu<br>doğrultu titreşimi | Kontrolsüz | 79.89      | 144.29 | 169.98 | 1.21            | 2.09 | 2.61 |
|                                             | Kontrollü  | 25.06      | 47.80  | 56.77  | 0.96            | 1.13 | 1.41 |
| 0.42 saniye periyotlu<br>sıçrama titreşimi  | Kontrolsüz | 37.64      | 65.86  | 77.09  | 0.66            | 1.08 | 1.27 |
|                                             | Kontrollü  | 12.67      | 20.61  | 23.77  | 0.45            | 0.48 | 0.51 |

14 MPa karakteristik beton dayanımı olan yapının transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi ilk rezonans tepelerindeki değerler oldukça düşmektedir.



**Şekil 5.4 :** Transfer fonksiyonu grafikleri ( $f_{ck}=14\text{MPa}$ ).

Çizelge 5.3’de maksimum kontrol sinyali ve bu değerin türevi verilmiştir. Sistemde kullanılacak dinamik verenin kapasitesi bu değerleri sağlayacak sınırlarda seçilmelidir. Kontrol sinyali dinamik verenin kollarının yerdeğiştirmesidir. Kontrol sinyalinin türevi ise dinamik verenin kollarının hızıdır. Sadece yakın fay titreşimleri altında yapılan analizlerde, doğrultu titreşimi etkisi altında yüksek hız değerlerine ihtiyaç vardır. Fakat bu hız değerleri bir anlık olarak gereklidir ve devamlı bu hız değerlerine ihtiyaç yoktur. Hız değerlerinin bu derece fazla çıkmasının nedeni,

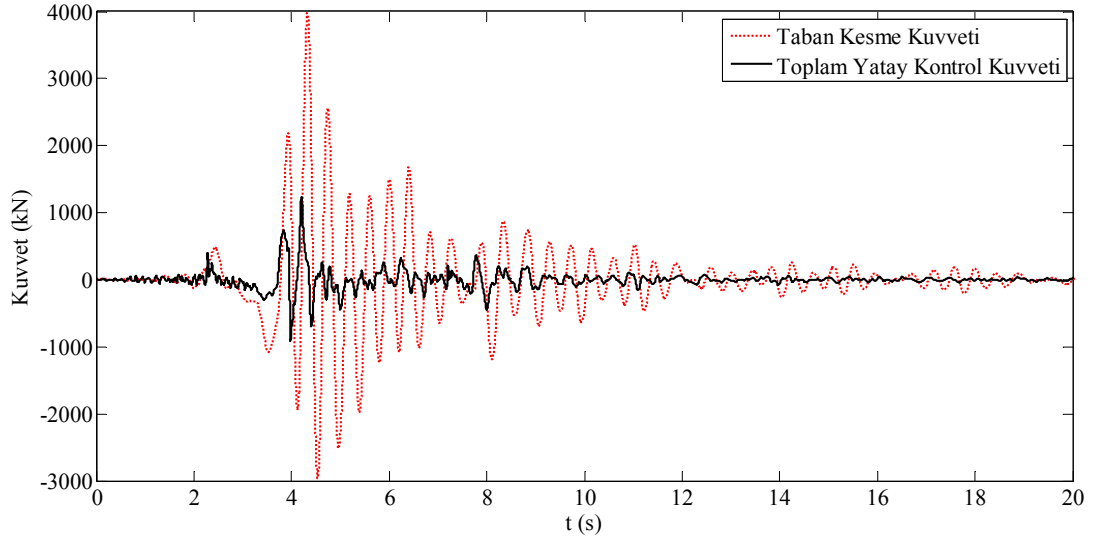
titreşimlerin elde edildiği denklemlere göre ivme değerlerindeki ani artışlardır. İvme değerleri bir adım zaman aralığında sıfırdan maksimuma artmaktadır.

Çizelge 5.3’de ayrıca tek kablo üzerindeki maksimum kuvvetler de verilmiştir. Dinamik veren, bu kuvvetleri rahatlıkla üretebilecek kapasitede olmalıdır. En fazla kuvvet 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında birinci katta tek kablo üzerindeki öngerilme kuvveti minimum 110.52 kN olmalıdır. Dinamik verene ise dört adet kablo bağlandığından, birinci katta bu değerin dört katı kapasitede dinamik verene ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu kuvvetin fazla arttırılması hem ekonomik, hem de uygulanabilirlik yönünden mümkün olmayabilir. Daha önce belirtildiği gibi, orta kolona etkiyen düşey kablo kuvveti 397.96 kN’u geçmemelidir. Kablo üzerindeki öngerilme kuvvetinin 111 kN olması düşünülmüştür. Bu durumda dört kablodaki kuvvet 444 kN olacaktır. Bu durumda dinamik verenin kapasitesi minimum 444 kN olmalıdır. Orta kolona toplam sekiz kablo bağlı olduğu için düşeydeki kuvvet 351.24 kN olmaktadır. Bu yapının aktif kontrolü mümkündür, fakat düşey yük için neredeyse sınır değere ulaşılmıştır. Yapının beton dayanımının daha düşük olduğu durumda yapının kontrolü mümkün değildir.

**Çizelge 5.3 : Maksimum kontrol değerleri ( $f_{ck}=14$  MPa).**

| Kat                                      | Kontrol sinyali (cm) |       |      | Kontrol sinyalinin türevi (cm/s) |          |         | Tek kablo üzerindeki kuvvet (kN) |       |       |
|------------------------------------------|----------------------|-------|------|----------------------------------|----------|---------|----------------------------------|-------|-------|
|                                          | 1                    | 2     | 3    | 1                                | 2        | 3       | 1                                | 2     | 3     |
| Düzce-Bolu K-G                           | 16.73                | 11.15 | 5.58 | 886.09                           | 590.73   | 295.36  | 62.25                            | 41.50 | 20.75 |
| Düzce-Bolu D-B                           | 15.11                | 10.07 | 5.04 | 743.25                           | 495.50   | 247.75  | 56.21                            | 37.47 | 18.74 |
| Erzincan K-G                             | 12.57                | 8.38  | 4.19 | 1888.56                          | 1259.04  | 629.52  | 46.78                            | 31.18 | 15.59 |
| Erzincan D-B                             | 7.61                 | 5.07  | 2.54 | 386.97                           | 257.98   | 128.99  | 28.30                            | 18.87 | 9.43  |
| Northridge SYL360                        | 22.50                | 15.00 | 7.50 | 849.97                           | 566.64   | 283.32  | 83.72                            | 55.81 | 27.91 |
| Northridge SYL090                        | 10.97                | 7.32  | 3.66 | 331.60                           | 221.07   | 110.53  | 40.83                            | 27.22 | 13.61 |
| 3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi    | 14.88                | 9.92  | 4.96 | 11833.42                         | 7888.95  | 3944.47 | 55.38                            | 36.92 | 18.46 |
| 3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi     | 1.77                 | 1.18  | 0.59 | 15.55                            | 10.37    | 5.18    | 6.57                             | 4.38  | 2.19  |
| 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi  | 29.70                | 19.80 | 9.90 | 23666.06                         | 15777.38 | 7888.69 | 110.52                           | 73.68 | 36.84 |
| 1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi   | 4.88                 | 3.25  | 1.63 | 62.12                            | 41.42    | 20.71   | 18.15                            | 12.10 | 6.05  |
| 0.42 saniye periyotlu doğrultu titreşimi | 21.77                | 14.52 | 7.26 | 17938.18                         | 11958.79 | 5979.39 | 81.02                            | 54.01 | 27.01 |
| 0.42 saniye periyotlu sıçrama titreşimi  | 8.31                 | 5.54  | 2.77 | 160.86                           | 107.24   | 53.62   | 30.92                            | 20.61 | 10.31 |

Şekil 5.5'te ise ilaveli Northridge SYL360 kaydı ile yapılan analizler sonunda elde edilmiş olan kontrolsüz durumdaki taban kesme kuvveti ve üretilen toplam yatay kontrol kuvveti görülmektedir. Yataydaki toplam kontrol kuvveti görüldüğü gibi taban kesme kuvvetine göre çok azdır.



**Şekil 5.5 :** Northridge depreminin SYL360 kaydının arttırılmış etkisi altında taban kesme ve toplam kontrol kuvveti ( $f_{ck}=14$  MPa).

### 5.1.3 16 MPa beton dayanımlı yapı

Yapının betonunun karakteristik silindirik basınç dayanımı 16 MPa olduğu durumda, bir kolonun taşıyabileceği yük miktarı Denklem 5.1'e göre 1000 kN'u geçmemelidir. Bu değerden sabit ve hareketli yüklerden kaynaklanan eksenel kuvvet değeri çıkarıldığında, geriye kalan miktar 522.96 kN'dur. Düşeyde orta kolona etkiyen toplam düşey kablo kuvveti 522.96 kN'u geçmemelidir. Betonun elastisite modülü 27000 MPa alınarak yapılan analizlerde, ilk iki katın rijitlik katsayısı 54557 kN/m olarak bulunmuştur. Son katın rijitliği ise 56589 kN/m olarak bulunmuştur. Yapının periyodu 0.4155 saniyedir. 14 MPa dayanımlı bina ile çok fazla periyot farkı olmadığı için aynı kontrolcü katsayıları bulunmuş ve kullanılmıştır. Bu durumdan anlaşılmaktadır ki, yapının rijitliğindeki bir miktar değişiklik, kontrol sisteminin katsayılarının ayarlanmasında önemli bir etkisi yoktur. Yapıların özelliklerinin tam olarak belirli olmamasından dolayı kontrol sisteminin çok önemli bir performans kaybı olmayacaktır.

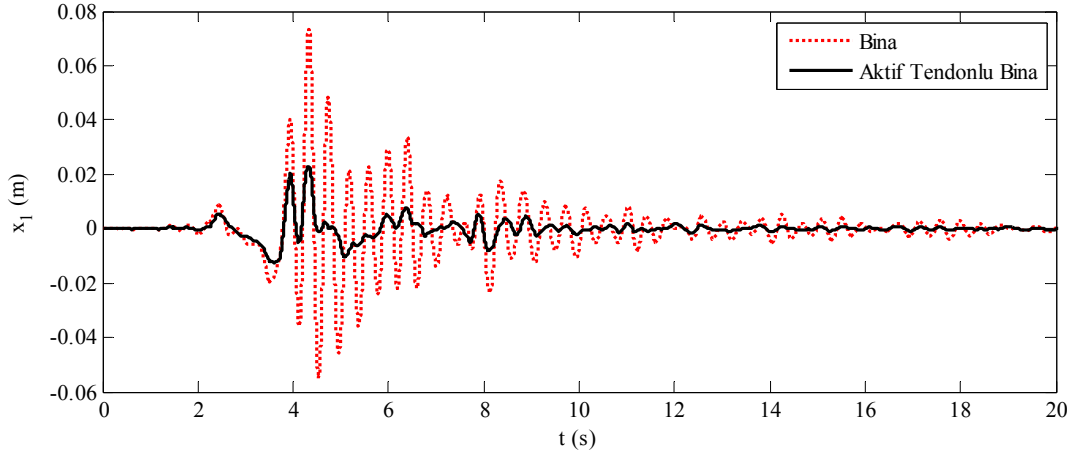
Çizelge 5.4'te çeşitli yakın fay titreşimleri ilaveli deprem kayıtları ve yakın fay titreşimleri altında yapılan analizlerin maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Aktif kontrollü sistemde maksimum değerlerin azaldığı açıkça görülmektedir. 14 MPa dayanımlı yapıda olduğu gibi, en kritik taban kesme kuvveti Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında oluşmaktadır. Taban kesme kuvveti değeri kontrolsüz yapıda 4030.18 kN olarak bulunmuştur. Denklem 5.2 ile elde edilmiş olan maksimum kesme kuvveti değeri her kat için 1760 kN'dur. Aktif tendon kontrollü sistemde, maksimum taban kesme kuvveti 1289.57 kN'a düşmektedir.

**Çizelge 5.4 : Maksimum yerdeğiştirme ve kesme kuvvetleri ( $f_{ck}=16$  MPa).**

| Deprem                                          |                   | Yerdeğiştirme (cm) |       |       | Kesme Kuvveti (kN) |         |         |         |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|---------|---------|---------|
| Kat                                             |                   | 1                  | 2     | 3     | 1                  | 2       | 3       | Taban   |
| <b>Düzce-Bolu K-G</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 4.74               | 8.26  | 9.57  | 681.21             | 1183.23 | 744.75  | 2603.75 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.53               | 2.59  | 2.95  | 291.68             | 392.52  | 271.84  | 840.32  |
| <b>Düzce-Bolu D-B</b>                           | <i>Kontrolsüz</i> | 3.74               | 6.40  | 7.41  | 735.71             | 920.35  | 604.75  | 2064.23 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.60               | 2.63  | 3.22  | 388.67             | 397.77  | 335.28  | 884.70  |
| <b>Erzincan K-G</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 3.37               | 5.62  | 6.46  | 654.98             | 769.67  | 485.68  | 1849.01 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.92               | 3.15  | 3.61  | 434.17             | 432.19  | 262.09  | 1056.31 |
| <b>Erzincan D-B</b>                             | <i>Kontrolsüz</i> | 2.07               | 3.51  | 4.03  | 349.80             | 488.02  | 304.35  | 1132.80 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.98               | 1.63  | 1.84  | 220.14             | 248.60  | 197.42  | 532.47  |
| <b>Northridge SYL360</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 7.36               | 12.76 | 14.83 | 1074.18            | 1777.46 | 1179.35 | 4030.18 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 2.30               | 3.95  | 4.53  | 461.79             | 579.54  | 331.09  | 1256.51 |
| <b>Northridge SYL090</b>                        | <i>Kontrolsüz</i> | 3.06               | 5.27  | 6.14  | 562.92             | 754.78  | 494.05  | 1672.25 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.30               | 2.13  | 2.44  | 284.48             | 334.33  | 236.54  | 715.49  |
| <b>3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>    | <i>Kontrolsüz</i> | 2.45               | 4.05  | 4.61  | 477.41             | 562.46  | 352.63  | 1338.87 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.33               | 2.13  | 2.34  | 323.10             | 346.02  | 168.09  | 721.68  |
| <b>3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>     | <i>Kontrolsüz</i> | 0.76               | 1.23  | 1.40  | 157.97             | 164.10  | 93.04   | 415.10  |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.54               | 0.87  | 0.96  | 119.97             | 121.01  | 55.25   | 295.90  |
| <b>1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 4.48               | 7.49  | 8.61  | 825.54             | 1035.44 | 684.66  | 2442.66 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 2.38               | 3.94  | 4.37  | 546.02             | 644.72  | 351.50  | 1289.57 |
| <b>1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>   | <i>Kontrolsüz</i> | 1.76               | 2.89  | 3.29  | 343.67             | 388.13  | 228.44  | 960.17  |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.16               | 1.85  | 2.06  | 253.60             | 259.92  | 121.09  | 632.10  |
| <b>0.42 saniye periyotlu doğrultu titreşimi</b> | <i>Kontrolsüz</i> | 5.18               | 9.09  | 10.64 | 750.58             | 1273.22 | 896.30  | 2826.74 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 1.73               | 2.81  | 3.24  | 355.65             | 430.21  | 298.53  | 948.50  |
| <b>0.42 saniye periyotlu sıçrama titreşimi</b>  | <i>Kontrolsüz</i> | 2.71               | 4.73  | 5.50  | 405.76             | 666.89  | 437.33  | 1488.87 |
|                                                 | <i>Kontrollü</i>  | 0.93               | 1.63  | 1.90  | 161.04             | 236.41  | 157.44  | 514.81  |

Şekil 5.6'de verilmiş olan birinci kat yerdeğiştirme grafiğinde kontrol sisteminin etkisi oldukça iyidir. Maksimum yerdeğiştirmenin azalmasının yanında, titreşimlerin sönümlenmesi daha çabuk olmaktadır.

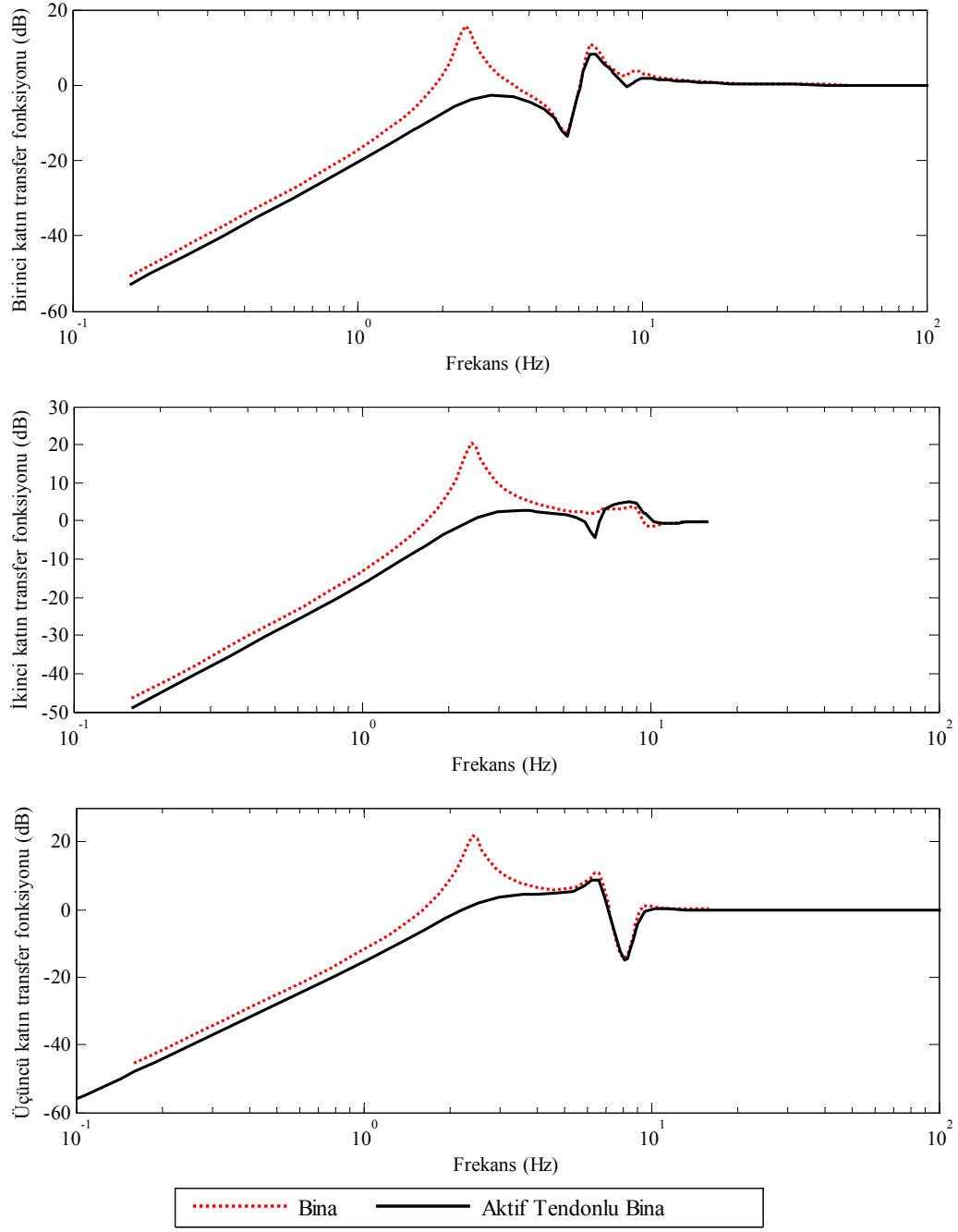
16 MPa karakteristik beton dayanımı olan yapının transfer fonksiyonu grafikleri Şekil 5.7’de verilmiştir. Görüldüğü gibi ilk rezonans tepelerindeki değerler oldukça düşmektedir.



**Şekil 5.6 :** Northridge depreminin SYL360 kaydının ilaveli etkisi altında birinci kat yerdeğiştirme grafiği ( $f_{ck}=16$  MPa).

Çizelge 5.5’te ise 16 MPa dayanımlı yapı için elde edilmiş olan maksimum hız ve toplam ivme değerleri görülmektedir. Özellikle arttırılmış Northridge SYL360 kaydı etkisi altında elde edilen hız ve toplam ivme değerleri önemli ölçüde düşmektedir.

Çizelge 5.6’da maksimum kontrol sinyali, kontrol sinyalinin türevi ve tek kablo üzerindeki maksimum kuvvet 16 MPa dayanımlı yapı için verilmiştir. En fazla kuvvet, 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi etkisi altında gerekmektedir. Tek kablo üzerindeki öngerilme kuvveti minimum 110 kN olmalıdır. Bu durumda dört kablodaki kuvvet 440 kN olacaktır. Bu durumda dinamik verenin kapasitesi minimum 440 kN olmalıdır. Orta kolona toplam sekiz kablo bağlı olduğu için düşeydeki kuvvet 348.1 kN olmaktadır. Bu yapının aktif kontrolü mümkündür.



**Şekil 5.7 :** Transfer fonksiyonu grafikleri ( $f_{ck}=16$  MPa).

**Çizelge 5.5 : Maksimum hız ve ivme değerleri ( $f_{ck}=16$  MPa).**

| Deprem                                   |            | Hız (cm/s) |        |        | Toplam İvme (g) |      |      |
|------------------------------------------|------------|------------|--------|--------|-----------------|------|------|
| Kat                                      |            | 1          | 2      | 3      | 1               | 2    | 3    |
| Düzce-Bolu K-G                           | Kontrolsüz | 69.23      | 122.95 | 145.17 | 1.13            | 1.96 | 2.20 |
|                                          | Kontrollü  | 21.11      | 36.51  | 44.18  | 0.74            | 0.85 | 0.89 |
| Düzce-Bolu D-B                           | Kontrolsüz | 43.50      | 74.17  | 89.14  | 1.22            | 1.52 | 1.79 |
|                                          | Kontrollü  | 16.68      | 24.46  | 27.22  | 1.01            | 1.02 | 1.26 |
| Erzincan K-G                             | Kontrolsüz | 28.87      | 49.00  | 57.19  | 1.08            | 1.27 | 1.44 |
|                                          | Kontrollü  | 12.41      | 21.50  | 26.27  | 0.98            | 1.02 | 0.96 |
| Erzincan D-B                             | Kontrolsüz | 21.88      | 37.49  | 47.67  | 0.58            | 0.81 | 0.90 |
|                                          | Kontrollü  | 11.78      | 24.42  | 33.65  | 0.51            | 0.54 | 0.62 |
| Northridge SYL360                        | Kontrolsüz | 105.55     | 179.35 | 204.92 | 1.78            | 2.94 | 3.49 |
|                                          | Kontrollü  | 26.68      | 41.39  | 51.63  | 1.13            | 1.21 | 1.27 |
| Northridge SYL090                        | Kontrolsüz | 47.53      | 84.13  | 98.74  | 0.93            | 1.25 | 1.46 |
|                                          | Kontrollü  | 13.02      | 26.54  | 29.98  | 0.67            | 0.78 | 0.81 |
| 3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi    | Kontrolsüz | 17.96      | 31.49  | 39.54  | 0.79            | 0.93 | 1.04 |
|                                          | Kontrollü  | 9.63       | 15.33  | 22.80  | 0.68            | 0.75 | 0.88 |
| 3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi     | Kontrolsüz | 2.57       | 4.24   | 4.82   | 0.26            | 0.27 | 0.28 |
|                                          | Kontrollü  | 1.39       | 2.23   | 2.45   | 0.25            | 0.25 | 0.25 |
| 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi  | Kontrolsüz | 48.53      | 87.16  | 103.63 | 1.37            | 1.71 | 2.02 |
|                                          | Kontrollü  | 19.17      | 32.04  | 47.13  | 1.33            | 1.39 | 1.65 |
| 1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi   | Kontrolsüz | 9.38       | 15.70  | 18.02  | 0.57            | 0.64 | 0.68 |
|                                          | Kontrollü  | 4.98       | 8.25   | 9.15   | 0.52            | 0.54 | 0.55 |
| 0.43 saniye periyotlu doğrultu titreşimi | Kontrolsüz | 79.82      | 144.59 | 170.46 | 1.24            | 2.11 | 2.65 |
|                                          | Kontrollü  | 25.36      | 48.49  | 57.60  | 0.99            | 1.15 | 1.46 |
| 0.43 saniye periyotlu sıçrama titreşimi  | Kontrolsüz | 37.84      | 66.12  | 77.40  | 0.67            | 1.10 | 1.29 |
|                                          | Kontrollü  | 12.90      | 21.02  | 24.25  | 0.46            | 0.49 | 0.52 |

**Çizelge 5.6 : Maksimum kontrol değerleri ( $f_{ck}=16$  MPa).**

| Kat                                      | Kontrol sinyali (cm) |       |      | Kontrol sinyalinin türevi (cm/s) |          |         | Tek kablo üzerindeki kuvvet (kN) |       |       |
|------------------------------------------|----------------------|-------|------|----------------------------------|----------|---------|----------------------------------|-------|-------|
|                                          | 1                    | 2     | 3    | 1                                | 2        | 3       | 1                                | 2     | 3     |
| Düzce-Bolu K-G                           | 16.70                | 11.13 | 5.57 | 877.39                           | 584.93   | 292.46  | 62.13                            | 41.42 | 20.71 |
| Düzce-Bolu D-B                           | 14.83                | 9.89  | 4.94 | 752.19                           | 501.46   | 250.73  | 55.18                            | 36.79 | 18.39 |
| Erzincan K-G                             | 12.56                | 8.37  | 4.19 | 1886.68                          | 1257.79  | 628.89  | 46.73                            | 31.15 | 15.58 |
| Erzincan D-B                             | 7.64                 | 5.10  | 2.55 | 386.18                           | 257.46   | 128.73  | 28.44                            | 18.96 | 9.48  |
| Northridge SYL360                        | 22.66                | 15.11 | 7.55 | 845.22                           | 563.48   | 281.74  | 84.31                            | 56.21 | 28.10 |
| Northridge SYL090                        | 10.69                | 7.13  | 3.56 | 325.60                           | 217.07   | 108.53  | 39.78                            | 26.52 | 13.26 |
| 3 saniye periyotlu doğrultu titreşimi    | 14.81                | 9.88  | 4.94 | 11833.12                         | 7888.75  | 3944.37 | 55.12                            | 36.75 | 18.37 |
| 3 saniye periyotlu sıçrama titreşimi     | 1.73                 | 1.15  | 0.58 | 15.48                            | 10.32    | 5.16    | 6.42                             | 4.28  | 2.14  |
| 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi  | 29.56                | 19.71 | 9.85 | 23665.46                         | 15776.97 | 7888.49 | 109.99                           | 73.33 | 36.66 |
| 1.5 saniye periyotlu sıçrama titreşimi   | 4.77                 | 3.18  | 1.59 | 61.84                            | 41.23    | 20.61   | 17.76                            | 11.84 | 5.92  |
| 0.42 saniye periyotlu doğrultu titreşimi | 22.14                | 14.76 | 7.38 | 18364.34                         | 12242.90 | 6121.45 | 82.39                            | 54.93 | 27.46 |
| 0.42 saniye periyotlu sıçrama titreşimi  | 8.50                 | 5.67  | 2.83 | 167.64                           | 111.76   | 55.88   | 31.64                            | 21.09 | 10.55 |



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Örnek olarak incelenen düzlem ve üç boyutlu yapılarda yapısal titreşimlerin maksimum değerlerinin azalmasında aktif tendon kontrolünün önemli etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Esas olarak, maksimum değerlerin azalmasının yanında, titreşimlerin hızlı bir biçimde sönümlendiği aktif kontrollü yapılarda görülmüştür. Bu durum kontrol sisteminin parametreleri olan orantı sabiti ( $K_p$ ), türev zamanı ( $T_d$ ) ve integral zamanı ( $T_i$ ) değerlerinin optimum olarak ayarlandığını göstermektedir. Ayrıca, kontrolcü parametrelerinin en iyi şekilde ayarlandığı, transfer fonksiyonu grafiklerindeki ilk tepe noktasındaki maksimum değerin son derece azalması ile ispatlanmaktadır. Kontrol sisteminin maksimum hız ve ivmelerin azalmasında da önemli etkisi vardır.

Aktif tendon sisteminde kullanılacak dinamik vereninin seçimi oldukça önemlidir. Dinamik veren, gerek duyulan kontrol kuvveti, kontrol sinyali, kuvvet oranı ve kontrol hızı değerlerini analizlerde dikkate alınan zaman gecikmesi değerini aşmayacak sürede kolaylıkla sağlamalıdır. Zaman gecikmesi, dinamik verenin performansı ile ilgili bir değerdir ve kullanılan ekipmanların zorlanması sonucunda bu değer artmakta ve kontrol sisteminde stabilite sorunu oluşmaktadır.

İncelenen tek serbestlik dereceli yapıda oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri 7.12 cm'den 5.42 cm değerine düşmüştür. Bu sonuç 0.3 s periyotlu darbe titreşimleri altında görülmektedir. Kontrol sisteminin en iyi faydası sıçrama titreşimi ilaveli Erzincan depremi Doğu-Batı kaydı altında gözlenmektedir. Bu kayıt altında 4.64 cm olan yerdeğiştirme değeri 2.16 cm'ye düşmüştür.

Tek serbestlik dereceli sistem için dinamik verenlerin yapının iki yüzüne birer adet olarak yerleştirildiği düşünülürse, maksimum 20 ms gecikme ile 12.25 kN yükü anlık olarak destekleyen dinamik verenlere ihtiyaç vardır. Kullanılan dinamik verenlerin kollarının yerdeğiştirmesi 1.65 cm'ye, hızı ise 37.82 cm/s'ye kadar çıkabilmelidir. Fakat bu belirtilen kuvvet, yerdeğiştirme ve hız değerlerine sürekli ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu değerlere anlık olarak yükselme olmaktadır.

Üç serbestlik dereceli düzlem yapı, üç farklı yerleşim durumu için incelenmiştir. Bu durumların birinde sadece aşağı katta aktif kontrol (Durum A), diğerlerinde tüm katlarda aktif kontrol bulunmaktadır.

Durum A düzeninde, diğer durumlara göre toplam ivme değerlerinde özellikle birinci katta daha iyi sonuçlar elde edilse de, yerdeğiştirme ve hız değerlerindeki azalma diğer durumların çok gerisindedir. Ayrıca, transfer fonksiyonu değerlerinde bir fayda görülmemektedir. Transfer fonksiyonlarında iyi bir azalma elde edilmesi için, kontrolcü katsayılarında özellikle orantı sabitinin nümerik olarak büyütülmesi gerekmektedir. Fakat bu durumda sistemde olduğu kabul edilen zaman gecikmesinden dolayı stabilite sorunu oluşmaktadır. Bu durumda kontrol kuvveti kısıtlanmıştır, ama yine de diğer düzen durumları için gerekli olan toplam kontrol kuvvetinden çok az olan bir kuvvetle yerdeğiştirme, hız ve toplam ivme değerlerinde önemli azalma gözlenmiştir. Durum A'da kontrol kuvveti değerinin az olmasının bir nedeni ise katlar arası tepki kuvvetlerinin bileşke değeri azaltmamasından ileri gelmektedir.

Durum B'de ise her katta aktif kontrol bulunurken, Durum C'de tüm katlara zeminden uzanan aktif tendonlar bulunmaktadır. Durum B ve C'nin kontrolcü katsayıları, her katta eşit miktarda ve iki durum için de aynı yatay kontrol kuvveti oluşacak şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle, bu iki durum sonucunda elde edilen yapı davranışı aynıdır. Fakat kontrol ile ilgili büyüklüklerde önemli farklar bulunmaktadır. Tüm tepki kuvvetlerinin zemin tarafından karşılandığı Durum C'de kontrol kuvveti değerleri önemli ölçüde düşüktür, fakat tendonların yatayla yaptığı açının büyümesi yatay yöndeki faydalı kontrol kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır. Kuvvetin düşeydeki bileşeni ise büyümektedir ve yapıya ekstra düşey yük olarak etkimektedir. Bunların yanında, bu sistemin fiziksel olarak uygulanabilirliği zor olabilir. Tüm dinamik verenleri toplam kuvvet kapasiteleri Durum A, B ve C'de sırasıyla minimum 6.21 kN, 48.9 kN ve 35.05 kN olmalıdır.

Gerçek boyutlu bir betonarme çerçeve yapının aktif tendonlar ile kontrolünün uygulanabilirliği de incelenmiştir. İncelenen betonarme çerçeve yapı için kontrol sisteminin uygulanabilirliği beton sınıfına ve dolayısıyla kolonların eksenel basınç yükü taşıma kapasitesine bağlıdır. Çizelge 6.1'de kontrollü sistemde oluşan maksimum eksenel kuvvet ve taban kesme kuvveti değerleri, yönetmelikte izin verilen değerlerle birlikte verilmiştir. 12 MPa dayanımlı yapıda maksimum eksenel

kuvvet, yönetmelikte belirtilen sınır değeri aşmaktadır. İncelenen betonarme çerçeve yapının betonunun karakteristik silindir basınç dayanımı 14 MPa ve daha fazla olduğu durumda yapının aktif kontrolü mümkün olmaktadır. Beton dayanımının daha düşük olduğu durumlarda, kablolardan gelen düşey yükler tehlikeli durum oluşturmaktadır. Bu durumda ancak yapının belirli kolonlarının güçlendirilmesi şartı ile aktif tendon kontrolü sistemi eklenebilir.

**Çizelge 6.1 :** Betonarme çerçeve yapıların maksimum kuvvet değerleri.

| $f_{ck}$ (MPa) | Maksimum Taban Kesme Kuvveti (kN) |                   | Maksimum Eksenel Kuvvet (kN) |                   |
|----------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
|                | <i>Yapı</i>                       | <i>Yönetmelik</i> | <i>Yapı</i>                  | <i>Yönetmelik</i> |
| 12             | 1250.63                           | 1320              | <b>828.57</b>                | 750               |
| 14             | 1271.30                           | 1540              | 829.28                       | 875               |
| 16             | 1289.57                           | 1760              | 825.14                       | 1000              |

İncelenen deprem kayıtları altında, betonunun karakteristik silindir basınç dayanımı 12, 14 ve 16 MPa olduğu durumlarda yapıda oluşan kesme kuvveti değerleri güvenli sınırı aşmaktadır. Dolayısıyla yapının gevrek kırılma ile göçme tehlikesi vardır. Aktif tendon kontrolü ile yapıda oluşan kesme kuvvetleri önemli ölçüde düşmektedir ve yapı, gevrek kırılma açısından güvenli duruma gelmektedir. Fakat kontrol sisteminin uygulamadan kaynaklanacak diğer kusurlar için hiçbir faydası yoktur. Düşey yükler ve kablolardan gelen ek düşey yükler altında yapının güvenli olduğu, donatıların yeterli ve kurallara uygun olarak yerleştirildiği kabul edilmiştir. Yapı, elemanlarının kesitleri ve beton dayanımı yönünden yetersiz olduğu düşünülmüştür.

Sırasıyla, 14 MPa ve 16 MPa beton dayanımlı yapılar için birinci kattaki dinamik verenin kapasitesinin 144 kN ve 140 kN olması gerektiği düşünülmüştür. Fakat her açıklık için birden fazla dinamik verenin kullanımı ile bu kapasite miktarları düşürülebilir. Ayrıca, üst katlar için daha az kapasiteli dinamik verenler yeterli olacaktır.

Tek katlı burulma düzensizliğinin bulunduğu yapı, ilaveli deprem kayıtları ve darbe tipi titreşimler altında yapılan analizlerden başka El Centro kaydı ile de analiz edilmiş ve bu kayıt altında elde edilen maksimum sonuçlar, Lin ve diğerleri tarafından [37]  $H_{\infty}$  prensibine göre kontrol edilen yapı ile karşılaştırılmıştır.  $H_{\infty}$  kontrol, transfer fonksiyonunun entropisini minimize etme prensibine dayanan doğrudan dışarıdan beslemeli bir kontrol algoritmasıdır. Sistem ve dış etkilere

kaynaklanan belirsizliklere göre dayanıklıdır.  $H_{\infty}$  kontrol ile yapı, frekans tanım alanındaki sonuçlara göre kontrol edildiğinden gerekli kontrol kuvvetinin daha az olması beklenmektedir. Fakat PID kontrollü yapıda, bazı durumlarda daha az kontrol kuvveti ile daha etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, kontrolcü parametrelerinin ayarlanmasında nümerik algoritma ile zaman tanım alanındaki maksimum yapı tepkileri ve kontrol kuvvetlerinin beraber taranmasıdır.

Sadece  $x$  yönünde yapının tek yüzünde aktif kontrolün olduğu ilk durumda El Centro kaydı altında kontrol sisteminde zaman gecikmesi olmadan 2491.1 N'luk maksimum yatay kontrol kuvveti ile  $x$  yönündeki maksimum yerdeğiştirme 1.22 cm'ye düşmüştür.  $H_{\infty}$  prensibine göre yapılan çalışmada  $x$  yönündeki yerdeğiştirmenin 1.23 cm'ye inmesi için 2743.43 N kontrol kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre daha fazla yüzde aktif kontrolün bulunması yapının burulmasının azalmasında diğer sonuçların azalmasına göre daha etkindir. İlaveli deprem kayıtları altında yapılan analizlerde  $x$  yönünde maksimum yerdeğiştirmeler ilk iki durumda %35 ve üçüncü durumda ise %41 azalmaktadır.

Daha fazla yüzde aktif kontrolün bulunduğu sistemlerde toplam olarak daha fazla kontrol kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat elde edilen fayda artmaktadır ve yüzlerde bulunan tekil sistemler için daha az kontrol kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır.

Burulma düzensizliği oluşan iki ve üç katlı iki yapılar için de aktif tendon kontrolünün çeşitli yerleşim durumları incelenmiştir. İncelenen kontrol sistemlerinin yerleşim durumları içerisinde sadece aşağı katta ve tüm katlarda aktif tendonların bulunduğu durumların incelenmesinin yanı sıra yapının sadece her doğrultuda tek yüzde ve tüm yüzlerde aktif kontrolün olduğu durumlar da bulunmaktadır. Bu yapılar için de aktif tendon kontrolünün maksimum değerlerinin azalmasında faydalı olduğu görülmüştür.

Kontrol sisteminin parametrelerinin en iyi şekilde ayarlandığı çok katlı burulma düzensizliği olan yapıların transfer fonksiyonu grafiklerindeki tepe rezonans noktalarındaki değerlerin oldukça azalmasından anlaşılmaktadır. Beklendiği gibi, aktif tendonların bulunduğu açıklıkların artmasıyla, rezonans noktalarındaki maksimum değerlerin azalmasının daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, tüm yapıların transfer fonksiyonu grafiklerinde aktif kontrollü yapının frekanslarının

kontROLSÜZ yapının frekanslarına göre çok fazla sapmadığı görülmüştür. Bu durumda yapının rijitliğinin önemli ölçüde değişmediği, rijitliğin azalma veya artmasından dolayı bir sorun oluşmayacağı anlaşılmaktadır. PID kontrollü sistemde bu frekans değerlerinin sapmaması, kuvvet miktarının çok fazla yükselmemesine özen gösterilmesinden kaynaklanmaktadır.

Burulma düzensizliği olan yapıların  $x$  ve  $y$  yönündeki yerdeğiştirmelerindeki azalmanın yanında, esas olarak  $r\theta$  doğrultusundaki dönme yerdeğiştirmesi son derece azalmaktadır. Bu durum ise kontrol sisteminin, burulma düzensizliğinin giderilmesinde ve yapıda oluşacak burulma momentlerinin azalmasında önemli rol oynadığı çalışma sonucunda görülmüştür.

Darbe tipi titreşimler ve ilaveli kayıtlar altında yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, kontrol sisteminin ilaveli deprem kayıtlarının etkisi sonucunda oluşan titreşimlerin sönümlenmesinde daha etkili olduğu çalışma sonucunda görülmüştür. Sonuç olarak, kontrol sistemi tüm dış etkiler altında başarılı ve uygulanabilen bir metottur.



## KAYNAKLAR

- [1] **Den Hartog, J. P.** (1947). Mechanical Vibrations, 3rd Edition. McGraw-Hill, New York, USA.
- [2] **Warburton, G. B.** (1982). Optimum Absorber Parameters for Various Combinations of Response and Excitation Parameters. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **10**, 381–401.
- [3] **Hadi, M. N. S., Arfiadi, Y.** (1998). Optimum Design of Absorber for MDOF Structures. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **124**, 1272–1280.
- [4] **Bekdaş, G., Nigdeli, S. M.** (2011). Estimating Optimum Parameters of Tuned Mass Dampers Using Harmony Search. *Engineering Structures*, **33**, 2716-2723.
- [5] **Roorda, J.** (1975). Tendon Control in Tall Structures. *Journal of the Structural Division (ASCE)*, **101**, 505–521.
- [6] **Yang, J-N., Giannopoulos, F.** (1978). Active Tendon Control of Structures. *Journal of the Engineering Mechanics Division (ASCE)*, **104**, (1978) 551-568.
- [7] **Abdel-Rohman, M., Leipholz, H. H. E.** (1979). General Approach to Active Structural Control. *Journal of the Engineering Mechanics Division (ASCE)*, **105**, 1007–1023.
- [8] **Yang J. N., Samali B.** (1983). Control of Tall Buildings in Along-Wind Motion. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **109**, 50-68.
- [9] **Abdel-Rohman, M., Leipholz, H. H.** (1978). Structural Control by Pole Assignment Method. *Journal of the Engineering Mechanics Division (ASCE)*, **104**, 1159–1175.
- [10] **Abdel-Rohman, M., Leipholz, H. H.** (1983). Active Control of Tall Buildings. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **109**, 628-645.
- [11] **Samali, B., Yang, J. N., Liu, S. C.** (1985). Active Control of Seismic-Excited Buildings. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **111**, 2165-2180.
- [12] **Chung, L.L., Reinhorn, A. M., Soong, T. T.** (1988). Experiments on Active Control of Seismic Structures. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, **114**, 241-255.
- [13] **Chung L. L., Lin R. C., Soong T. T., Reinhorn A. M.** (1989). Experimental Study of Active Control for MDOF Seismic Structures. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, **115**, 1609-1627.
- [14] **López-Almansa, F., Rodellar, J.** (1989). Control Systems of Building Structures by Active Cables. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **115**, 2897-2913.

- [15] **Reinhorn, A. M., Soong, T. T., Lin, R. C., Wang, Y. P., Fukao, Y., Abe, H., Nakai, M.** (1989). 1:4 Scale Model Studies of Active Tendon Systems and Active Mass Dampers for Aseismic Protection. Technical Report NCEER-89-0026, National Center for Earthquake Engineering Research State University of New York at Buffalo, USA.
- [16] **Pekau, O. A., Guimond, R.** (1991). Controlling Seismic Responce of Eccentric Structures by Friction Dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **20**, 505-521.
- [17] **Betti, R., Panariello, G. F.** (1995). Active Tendon Control Systems for Structures Subjected to Multiple Support Excitation. *Smart Materials and Structures*, **4**, 153-163.
- [18] **Chung, L. L., Wang, Y. P., Tung, C. C.** (1997). Instantaneous Control of Structures with Time-Delay Consideration. *Engineering Structures*, **19**, 465-475.
- [19] **Wong, K. K. F., Hart, G. C.** (1997). Active Control of Inelastic Structural Response During Earthquakes. *The Structural Design of Tall Buildings*, **6**, 125-149.
- [20] **Jangid, R. S., Datta, T. K.** (1997). Performance of Multiple Tuned Mass Dampers for Torsionally Coupled System. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**, 307-317.
- [21] **Chung, L. L., Wu, L. Y., Jin, T. G.** (1998). Acceleration Feedback Control of Seismic Structures. *Engineering Structures*, **20**, 62-74.
- [22] **Goel, R. K.** (1998). Effects of Supplemental Viscous Damping on Seismic Responce of Asymetric-plan Systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **27**, 125-141.
- [23] **Goel, R. K.** (2000). Seismic Behaviour of Asymmetric Building with Supplemental Damping. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**, 461-480.
- [24] **Spencer, B. F., Dyke, S. J., Deoskar, H. S.** (1998). Benchmark Problems in Structural Control: Part II – Active Tendon System. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **27**, 1141-1147.
- [25] **Lu, J., Skelton, R. E.** (1998). Optimal Hybrid Control for Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure*, **13**, 405-414.
- [26] **Chung, L. L.** (1999). Modified Predictive Control of Structures. *Engineering Structures*, **21**, 1076-1085.
- [27] **Sedarat, H., Kosut, R.** (1999). Active Control in Structures. *13th ASCE Engineering Mechanics Division Conference*, Baltimore, June 13-16.
- [28] **Ankireddi, S., Yang, H. T. Y.** (2000). Directional Mass Dampers for Building under Wind or Seismic Loads. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **85**, 119-144.
- [29] **Arfiadi, Y., Hadi, M. N. S.** (2000). Passive and Active Control of Three-dimensional Buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**, 377-396.

- [30] **Bakioglu, M., Aldemir, U.** (2001). A New Numerical Algorithm for Sub-optimal Control of Earthquake Excited Linear Structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **50**, 2601-2616.
- [31] **Aldemir, U., Bakioglu, M., Akhiev, S. S.** (2001). Optimal Control of Linear Buildings under Seismic Excitations. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**, 835-851.
- [32] **Aldemir, U., Bakioglu, M.** (2001). Active Structural Control Based on the Prediction and Degree of Stability. *Journal of Sound and Vibration*, **247**, 561-576.
- [33] **Mei, G., Kareem, A., Kantor, J. C.** (2002). Model Predictive Control of Structures under Earthquakes using Acceleration Feedback. *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, **128**, 574-585.
- [34] **Akhiev, S. S., Aldemir, U., Bakioglu, M.** (2002). Multipoint Instantaneous Optimal Control of Structures. *Computer and Structures*, **80**, 909-917.
- [35] **Singh, M. P., Sarbjeet, S., Moreschi, L. M.** (2002). Tuned Mass Dampers for Responce Control of Torsional Buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**, 749-769.
- [36] **de la Llera, J. C., Almazan, J. L., Vial, I. J.** (2005). Torsional Balance of Plan-asymmetric Structures with Frictional Dampers: Analytical Results. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**, 1089-1108.
- [37] **Vial, I. J., de la Llera, J. C., Almazan, J. L., Ceballos, V.** (2006). Torsional Balance of Plan-asymmetric structures with Frictional Dampers: Experimental Results. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **35**, 1875-1898.
- [38] **Ziegler, J. G., Nichols, N. B.** (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers. *Transactions of the ASME*, **64**, 759-768.
- [39] **Guclu, R.** (2006). Sliding Mode and PID Control of a Structural System against Earthquake. *Mathematical and Computer Modelling*, **44**, 210-217.
- [40] **Chang, C-C., Lin, C-C.** (2009).  $H_\infty$  Drift Control of Time-delayed Seismic Structures. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **8**, 617-626.
- [41] **Lin, C-C., Chang, C-C., Wang, J.** (2010). Active Control of Irregular Buildings Considering Soil-Structure Interaction Effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **30**, 98-109.
- [42] **Nigdeli, S. M.** (2007). Yapıların Aktif Tendonlar ile Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Hasan Boduroğlu), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [43] **Nigdeli, S. M., Boduroğlu, M. H.** (2010). Active Tendons for Seismic Control of Buildings. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, **68**, 1258-1265, Paris, France, 28-30 July.

- [44] **Aldemir, U.** (2010). A Simple Active Control Algorithm for Earthquake Excited Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **25**, 218-225.
- [45] **Yanık, A., Aldemir, Ü., Bakioğlu, M.** (2011). Deprem Etkisi Altında Yapıların Aktif Kontrolü. 7. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-03 Haziran.
- [46] **Nigdeli, S. M., Boduroğlu, M. H.** (2011). Burulma Düzensizliği Oluşan Yapıların Aktif Tendonlar ile Kontrolü. 7. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-03 Haziran.
- [47] **ATC 40** (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, Chapter 4, Report No. SSC 96-01, November, *Applied Technology Council*, Redwood City, California, USA.
- [48] **UBC-1997** (1997). Uniform Building Code 1997, Earthquake Regulations for Seismic-isolated Structures, Chapter 16, *International Conference of Building Officials*, Whittier, California, USA.
- [49] **Steward, J. P., Chiou, S., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A.** (2001). Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design. Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.
- [50] **Makris, N.** (1997). Rigidity-Plasticity-Viscosity: Can Electrorheological Dampers Protect Base-Isolated Structures From Near-Source Ground Motions? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**, 571-591.
- [51] **Makris, N., Chang, S.** (2000). Effect of Viscoplastic and Friction Damping on The Responce of Seismic Isolated Structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**, 85-107.
- [52] **Jangid, R. S., Kelly, J. M.** (2001). Base Isolation for Near-fault Motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**, 691-707.
- [53] **Yang, N. J., Agrawal, A. K.** (2002). Semi-active Hybrid Control System for Nonlinear Building against Near-field Earthquakes. *Engineering Structures*, **24**, 271-280.
- [54] **Lu, L., Lin, G., Kuo, T.** (2008). Stiffness Controllable Isolation System for Near-fault Seismic Isolation. *Engineering Structures*, **30**, 747-765.
- [55] **Lu, L., Lin, G.** (2008). Predictive Control of Smart Isolation System for Precision Equipment Subjected to Near-fault Earthquakes. *Engineering Structures*, **30**, 3045-3064.
- [56] **Lu, L-Y., Lin, G-L.** (2009). Improvement of Near-Fault Seismic Isolation Using a Resettable Variable Stiffness Damper. *Engineering Structures*, **31**, 2097-2114.
- [57] **Lin, C-C., Chen, C-L., Wang, J-F.** (2010). Vibration Control of Structures with Initially Accelerated Passive Tuned Mass Dampers under Near-Fault Earthquake Excitation. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **25**, 69-75.

- [58] **Ribakov, Y.** (2010). Reduction of Structural Response to Near Fault Earthquakes by Seismic Isolation Columns and Variable Friction Dampers. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **9**, 113-122.
- [59] **Hall, J. F., Heaton, T. H., Halling, M. W., Wald, D. J.** (1995). Near-Source Ground Motion and its Effects on Flexible Buildings. *Earthquake Spectra*, **11**, 569-605.
- [60] **Jacobsen, L. S., Ayre, R. S.** (1958). Engineering Vibrations. Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA.
- [61] **Alavi, B., Krawinkler, H.** (2001). Effects of Near-Fault Ground Motions on Frame Structures. Report 138, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, California, USA.
- [62] **Rodrigues-Marek, A., Bray, J. D.** (2006). Seismic Site Responce for Near-Fault Forward Directivity Ground Motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **132**, 1611-1620.
- [63] **Sasani, M.** (2006). New Measure for Severity of Near-Source Seismic Ground Motion. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, **132**, 1997-2005.
- [64] **Park, S. W., Ghasemi, H., Shen, J., Sommerville, P. G., Yen, W. P., Yashinsky, M.** (2004). Simulation of The Seismic Performance of The Bolu Viaduct Subjected to Near-Fault Ground Motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**, 1249-1270.
- [65] **Sommerville, P. G.** (2003). Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **137**, 201-212.
- [66] **Cox, K. E., Ashford, S. A.** (2002). Characterization of Large Velocity Pulses for Laboratory Testing. Report 2002/22, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.
- [67] **De Cock, K., De Moor, B., Minten, W., Van Brempt, W., Verrelst, H.** (1997). A Tutorial on PID-control. ESAT-SISTA /TR 1997-08, Department of Electrical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium.
- [68] **Hart, G. C., Wong, K.** (1999). Structural Dynamics for Structural Engineers. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- [69] **Url-1** <<http://peer.berkeley.edu/nga>>, Pacific Earthquake Engineering Research Center NGA database, alındığı tarih: 20.09.2009.
- [70] **SeismoSignal Version 3.3.0**, (t.y.), SeismoSoft ([www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com)), Chalkida, Greece.
- [71] **MATLAB R2010a** (2010). The MathWorks Inc., Natick, MA, USA.
- [72] **Butcher, J. C.** (1987). The Numerical Analysis of Ordinary Differential Equations: Runge-Kutta and General Lineer Methods, John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

- [73] **Boduroğlu, M.H.** (2009). T.C. Vilayetler Hizmet Birliği İstanbul Vilayetler Yüksek Öğrenim Kız Öğrenci Yurdu Deprem Güvenliği Belirleme Projesi. Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [74] **TDY2007** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

## **EKLER**

**EK A :** Tek Katlı Düzensiz Yapının Maksimum Sonuçları

**EK B :** İki Katlı Düzensiz Yapının Maksimum Sonuçları

**EK C :** Üç Katlı Düzensiz Yapının Maksimum Sonuçları

# EK A

**Çizelge A.1 :** Düzce (1999) depremi ilaveli Bolu kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                                                | <i>Kontrolsüz</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $\mathbf{x}$ (m)                                               | 0.0577            | 0.0316         | 0.0332         | 0.0284         |
| $\dot{\mathbf{x}}$ (m/s)                                       | 1.0659            | 0.5882         | 0.6149         | 0.5367         |
| $\ddot{\mathbf{x}}$ (m/s <sup>2</sup> )                        | 21.737            | 13.38          | 14.008         | 11.336         |
| $\ddot{\mathbf{x}} + \ddot{\mathbf{x}}_g$ (m/s <sup>2</sup> )  | 25.392            | 15.663         | 16.344         | 14.13          |
| $\mathbf{y}$ (m)                                               | 0.0449            | 0.0238         | 0.02           | 0.0148         |
| $\dot{\mathbf{y}}$ (m/s)                                       | 0.9643            | 0.4464         | 0.3461         | 0.216          |
| $\ddot{\mathbf{y}}$ (m/s <sup>2</sup> )                        | 21.311            | 10.032         | 7.4919         | 7.008          |
| $\ddot{\mathbf{y}} + \ddot{\mathbf{y}}_g$ (m/s <sup>2</sup> )  | 20.733            | 13.413         | 11.791         | 9.2146         |
| $r\boldsymbol{\theta}$ (m)                                     | 0.0357            | 0.0093         | 0.0085         | 0.0061         |
| $r\dot{\boldsymbol{\theta}}$ (m/s)                             | 0.7042            | 0.1775         | 0.1418         | 0.094          |
| $r\ddot{\boldsymbol{\theta}}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 15.186            | 4.0628         | 3.5359         | 2.4046         |
| $4\mathbf{k}_c \cos(\boldsymbol{\theta}_{tx})\mathbf{u}_1$ (N) | -                 | -              | -              | 3788.6         |
| $4\mathbf{k}_c \cos(\boldsymbol{\theta}_{tx})\mathbf{u}_2$ (N) | -                 | 5847.2         | 6088.4         | 5421.8         |
| $4\mathbf{k}_c \cos(\boldsymbol{\theta}_{ty})\mathbf{u}_3$ (N) | -                 | -              | -              | 2706.8         |
| $4\mathbf{k}_c \cos(\boldsymbol{\theta}_{ty})\mathbf{u}_4$ (N) | -                 | -              | 2745.8         | 2084.8         |
| $\mathbf{u}_1$ (m)                                             | -                 | -              | -              | 0.0031         |
| $\mathbf{u}_2$ (m)                                             | -                 | 0.0049         | 0.0051         | 0.0045         |
| $\mathbf{u}_3$ (m)                                             | -                 | -              | -              | 0.0022         |
| $\mathbf{u}_4$ (m)                                             | -                 | -              | 0.0023         | 0.0017         |
| $\dot{\mathbf{u}}_1$ (m/s)                                     | -                 | -              | -              | 0.0767         |
| $\dot{\mathbf{u}}_2$ (m/s)                                     | -                 | 0.1085         | 0.1143         | 0.091          |
| $\dot{\mathbf{u}}_3$ (m/s)                                     | -                 | -              | -              | 0.0718         |
| $\dot{\mathbf{u}}_4$ (m/s)                                     | -                 | -              | 0.051          | 0.0357         |

**Çizelge A.2 :** Erzincan (1992) depremi ilaveli Erzincan kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                             | <i>KontROLSÜZ</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.039             | 0.024          | 0.024          | 0.023          |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 0.6852            | 0.4878         | 0.2947         | 0.2527         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 14.592            | 10.623         | 6.4017         | 5.4018         |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 17.98             | 11.004         | 11.12          | 10.571         |
| $y$ (m)                                     | 0.0347            | 0.029          | 0.0187         | 0.0171         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0.6628            | 0.5799         | 0.3739         | 0.3584         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 14.774            | 14.315         | 10.041         | 8.8741         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 17.375            | 15.01          | 10.94          | 10.144         |
| $r\theta$ (m)                               | 0.0192            | 0.0119         | 0.007          | 0.0063         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.3891            | 0.2405         | 0.1134         | 0.092          |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 8.6939            | 6.0954         | 2.8442         | 2.0498         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 1820           |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 3508.5         | 2611.5         | 2495.2         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 2539.1         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 3543.5         | 3643.9         |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0015         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0029         | 0.0022         | 0.0021         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0021         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0029         | 0.003          |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0582         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.0818         | 0.0632         | 0.0629         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0561         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.0711         | 0.0726         |

**Çizelge A.3 :** Northridge (1994) depremi ilaveli Sylmar kaydı altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                             | <i>Kontrolsüz</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0,0709            | 0,0458         | 0,0460         | 0,0410         |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 1,1073            | 0,6593         | 0,6764         | 0,5906         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 22,6720           | 13,2885        | 13,3427        | 11,2235        |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 30,4549           | 21,7653        | 21,9579        | 19,7628        |
| $y$ (m)                                     | 0,0308            | 0,0160         | 0,0130         | 0,0108         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0,5789            | 0,3199         | 0,1895         | 0,1415         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 13,1997           | 7,0426         | 4,3116         | 3,4818         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 12,7501           | 8,4232         | 8,0869         | 6,5488         |
| $r\theta$ (m)                               | 0,0345            | 0,0100         | 0,0095         | 0,0086         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0,6865            | 0,1719         | 0,1322         | 0,1190         |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 14,2354           | 4,5542         | 3,3133         | 2,2542         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 4068,57        |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 6731,99        | 6738,45        | 6080,33        |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 2363,39        |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 1886,91        | 1666,17        |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0,0034         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0,0056         | 0,0056         | 0,0050         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0,0020         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0,0016         | 0,0014         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0,0657         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0,1096         | 0,1101         | 0,0983         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0,0354         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0,0316         | 0,0319         |

**Çizelge A.4 :** 1.5 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                             | <i>KontROLSÜZ</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.0388            | 0.0345         | 0.0345         | 0.032          |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 0.6415            | 0.4725         | 0.4304         | 0.3917         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 13.612            | 11.003         | 10.223         | 9.9202         |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 17.296            | 16.627         | 16.621         | 15.541         |
| $y$ (m)                                     | 0.0225            | 0.0146         | 0.0128         | 0.0108         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0.4179            | 0.2268         | 0.1031         | 0.0576         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 9.2524            | 5.3517         | 2.3689         | 1.1002         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 11.25             | 8.0019         | 7.1092         | 5.9162         |
| $r\theta$ (m)                               | 0.0141            | 0.0074         | 0.0071         | 0.006          |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.3066            | 0.1434         | 0.1255         | 0.083          |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 6.7812            | 2.8875         | 2.6615         | 1.8078         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 2863.2         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 3952           | 3918.5         | 3865.7         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 1095.4         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 1309.7         | 1089.9         |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0024         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0033         | 0.0033         | 0.0032         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0009         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0011         | 0.0009         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.4045         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.4045         | 0.4045         | 0.4045         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0191         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.0197         | 0.0129         |

**Çizelge A.5 :** 3 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                             | <i>Kontrolsüz</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.0202            | 0.0179         | 0.0179         | 0.0167         |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 0.2502            | 0.2004         | 0.203          | 0.1903         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 5.4823            | 4.8171         | 4.8171         | 4.8171         |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 8.9738            | 8.6044         | 8.6055         | 8.027          |
| $y$ (m)                                     | 0.0106            | 0.0076         | 0.0058         | 0.0048         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 0.152             | 0.0805         | 0.046          | 0.0292         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 3.1985            | 1.7645         | 1.0645         | 0.491          |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 5.3267            | 4.1082         | 3.3051         | 2.6565         |
| $r\theta$ (m)                               | 0.0071            | 0.0044         | 0.004          | 0.0034         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.1567            | 0.0673         | 0.0561         | 0.0405         |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 3.4482            | 1.5004         | 1.308          | 0.8646         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 1427           |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 1806.8         | 1839           | 1862.2         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 461.04         |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 605.39         | 473.83         |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0012         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0015         | 0.0015         | 0.0015         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0004         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0005         | 0.0004         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.2022         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.2023         | 0.2023         | 0.2023         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0083         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.0099         | 0.0072         |

**Çizelge A.6 :** 0.3 saniye periyotlu titreşimler altında tek katlı düzensiz yapının analizlerinin maksimum sonuçları.

|                                             | <i>KontROLSÜZ</i> | <i>Durum 1</i> | <i>Durum 2</i> | <i>Durum 3</i> |
|---------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| $x$ (m)                                     | 0.0697            | 0.0526         | 0.0513         | 0.0428         |
| $\dot{x}$ (m/s)                             | 1.4624            | 1.2226         | 1.2031         | 1.0378         |
| $\ddot{x}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 29.2968           | 26.2956        | 25.8852        | 22.1106        |
| $\ddot{x} + \ddot{x}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 29.2968           | 26.2956        | 25.8852        | 22.1106        |
| $y$ (m)                                     | 0.0520            | 0.0262         | 0.0229         | 0.0172         |
| $\dot{y}$ (m/s)                             | 1.1494            | 0.6112         | 0.5401         | 0.3416         |
| $\ddot{y}$ (m/s <sup>2</sup> )              | 25.9466           | 14.9325        | 13.4798        | 8.6909         |
| $\ddot{y} + \ddot{y}_g$ (m/s <sup>2</sup> ) | 25.9466           | 16.1723        | 15.1302        | 12.0227        |
| $r\theta$ (m)                               | 0.0369            | 0.0125         | 0.0147         | 0.0103         |
| $r\dot{\theta}$ (m/s)                       | 0.7978            | 0.2814         | 0.3247         | 0.2123         |
| $r\ddot{\theta}$ (m/s <sup>2</sup> )        | 19.3335           | 6.9155         | 8.3584         | 5.1789         |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_1$ (N)             | -                 | -              | -              | 6752.43        |
| $4k_c \cos(\theta_{tx})u_2$ (N)             | -                 | 12237.28       | 12362.47       | 10937.70       |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_3$ (N)             | -                 | -              | -              | 5002.21        |
| $4k_c \cos(\theta_{ty})u_4$ (N)             | -                 | -              | 3414.36        | 2091.25        |
| $u_1$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0056         |
| $u_2$ (m)                                   | -                 | 0.0102         | 0.0103         | 0.0091         |
| $u_3$ (m)                                   | -                 | -              | -              | 0.0042         |
| $u_4$ (m)                                   | -                 | -              | 0.0028         | 0.0017         |
| $\dot{u}_1$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.4392         |
| $\dot{u}_2$ (m/s)                           | -                 | 0.4392         | 0.4392         | 0.4392         |
| $\dot{u}_3$ (m/s)                           | -                 | -              | -              | 0.0966         |
| $\dot{u}_4$ (m/s)                           | -                 | -              | 0.0688         | 0.0393         |

## EK B

**Çizelge B.1** : İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1).

| Deprem               | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|----------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                      |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.052  | 0.084  | 0.046  | 0.075  | 0.012     | 0.020  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.741  | 1.336  | 0.544  | 0.852  | 0.183     | 0.304  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 11.643 | 22.095 | 10.134 | 14.038 | 3.957     | 4.733  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 11.954 | 17.226 | 10.134 | 16.134 | 3.957     | 4.733  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 13.745 | 9.505  | 28.889 | 25.458 | 64.534    | 61.648 |
| Erzincan             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.044  | 0.073  | 0.023  | 0.038  | 0.010     | 0.017  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.317  | 0.574  | 0.300  | 0.571  | 0.171     | 0.251  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.537  | 7.865  | 5.639  | 10.309 | 3.084     | 4.580  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.233 | 13.183 | 5.639  | 8.702  | 3.084     | 4.580  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 17.260 | 10.655 | 35.954 | 33.190 | 59.529    | 58.766 |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.084  | 0.142  | 0.045  | 0.074  | 0.018     | 0.028  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.953  | 1.726  | 0.741  | 1.167  | 0.271     | 0.431  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 15.464 | 23.974 | 10.796 | 19.126 | 5.625     | 6.954  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 17.478 | 26.894 | 10.796 | 17.398 | 5.625     | 6.954  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 10.632 | 4.414  | 50.951 | 49.490 | 68.712    | 68.442 |

**Çizelge B.2 : İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1).**

| Titreşim periyodu | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| 1.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.057  | 0.095  | 0.020  | 0.033  | 0.012     | 0.022  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.541  | 0.907  | 0.182  | 0.291  | 0.170     | 0.258  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.351 | 11.873 | 3.009  | 3.612  | 4.027     | 3.577  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 13.552 | 17.441 | 3.009  | 7.125  | 4.027     | 3.577  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 16.439 | 13.148 | 52.028 | 48.910 | 63.893    | 55.592 |
| 3s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.031  | 0.052  | 0.011  | 0.017  | 0.005     | 0.009  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.200  | 0.398  | 0.056  | 0.092  | 0.077     | 0.113  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.817  | 4.959  | 1.147  | 1.236  | 1.952     | 1.621  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.644  | 9.224  | 1.147  | 3.527  | 1.952     | 1.621  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 17.847 | 13.618 | 42.898 | 45.432 | 60.852    | 58.748 |
| 0.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.058  | 0.102  | 0.026  | 0.043  | 0.017     | 0.029  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.802  | 1.401  | 0.372  | 0.602  | 0.273     | 0.411  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.012 | 20.034 | 6.021  | 9.200  | 5.331     | 6.966  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.115 | 20.034 | 6.021  | 10.292 | 5.331     | 6.966  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 27.379 | 22.578 | 54.823 | 54.680 | 58.822    | 56.595 |

**Çizelge B.3 : İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1).**

| Deprem               | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|----------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 10639.51 | - | 12120.56 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.009    | - | 0.010    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.281    | - | 0.316    |
| Erzincan             | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 9050.218 | - | 4951.490 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.008    | - | 0.004    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.465    | - | 0.195    |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 17744.27 | - | 10548.70 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.015    | - | 0.009    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.263    | - | 0.182    |

**Çizelge B.4 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri(DURUM 1).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 12882.46 | - | 5810.791 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.011    | - | 0.005    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 5.548    | - | 1.170    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 7058.302 | - | 2887.687 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.006    | - | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.774    | - | 0.587    |
| 0.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 16903.32 | - | 5369.841 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.014    | - | 0.004    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 3.617    | - | 0.757    |

**Çizelge B.5 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2).

| Deprem            | Doğrultu Kat                               | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| Düzce Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.047  | 0.078  | 0.045  | 0.072  | 0.012     | 0.021  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.668  | 1.228  | 0.510  | 0.834  | 0.161     | 0.283  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.585 | 20.469 | 9.729  | 13.932 | 2.578     | 4.412  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.294 | 15.436 | 9.729  | 15.872 | 2.578     | 4.412  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 22.247 | 15.694 | 31.404 | 28.065 | 64.446    | 60.672 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.044  | 0.072  | 0.023  | 0.039  | 0.012     | 0.020  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.312  | 0.547  | 0.305  | 0.594  | 0.145     | 0.242  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.020  | 7.249  | 5.068  | 9.988  | 2.107     | 3.408  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.862  | 12.596 | 5.068  | 8.337  | 2.107     | 3.408  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 17.433 | 11.719 | 33.684 | 30.767 | 54.441    | 52.062 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.076  | 0.127  | 0.040  | 0.067  | 0.014     | 0.024  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.849  | 1.511  | 0.633  | 1.051  | 0.176     | 0.310  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 13.925 | 21.349 | 10.030 | 16.907 | 3.134     | 5.008  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 15.814 | 23.550 | 10.030 | 15.580 | 3.134     | 5.008  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 18.310 | 14.071 | 56.461 | 54.773 | 75.340    | 73.055 |

**Çizelge B.6 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2).

| Titreşim periyodu | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| 1.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.056  | 0.093  | 0.021  | 0.035  | 0.014     | 0.024  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.526  | 0.862  | 0.157  | 0.254  | 0.147     | 0.250  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.041 | 10.623 | 1.774  | 2.514  | 1.964     | 2.827  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 12.037 | 16.909 | 1.774  | 6.346  | 1.964     | 2.827  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 17.962 | 14.986 | 47.844 | 45.886 | 57.128    | 51.874 |
| 3s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.031  | 0.051  | 0.011  | 0.017  | 0.006     | 0.010  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.191  | 0.377  | 0.052  | 0.085  | 0.061     | 0.104  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.817  | 4.854  | 0.702  | 1.062  | 0.926     | 1.305  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.096  | 8.959  | 0.702  | 3.284  | 0.926     | 1.305  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 18.773 | 15.243 | 46.030 | 46.381 | 55.813    | 52.603 |
| 0.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.057  | 0.099  | 0.021  | 0.034  | 0.016     | 0.029  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.790  | 1.357  | 0.263  | 0.429  | 0.218     | 0.365  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 9.438  | 18.747 | 3.938  | 6.492  | 3.131     | 5.927  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.511  | 18.747 | 3.938  | 8.586  | 3.131     | 5.927  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 28.355 | 24.969 | 63.656 | 63.529 | 62.177    | 56.895 |

**Çizelge B.7 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2).

| Deprem               | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|----------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 7710.756 | 7026.756 | 5607.739 | 7001.961 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.006    | 0.006    | 0.005    | 0.006    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.142    | 0.140    | 0.106    | 0.149    |
| Erzincan             | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 4071.034 | 5835.231 | 3427.052 | 4235.879 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.003    | 0.005    | 0.003    | 0.004    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.259    | 0.257    | 0.069    | 0.066    |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 8978.786 | 11480.86 | 6955.274 | 7181.864 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.007    | 0.010    | 0.006    | 0.006    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.167    | 0.176    | 0.097    | 0.095    |

**Çizelge B.8 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5425.820 | 7213.894 | 3339.264 | 3484.212 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.005    | 0.006    | 0.003    | 0.003    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 3.193    | 3.193    | 0.027    | 0.025    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 2875.118 | 4087.377 | 1365.311 | 1667.575 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.002    | 0.003    | 0.001    | 0.001    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.596    | 1.597    | 0.011    | 0.013    |
| 0.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 6829.800 | 11776.60 | 4871.150 | 2582.364 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.006    | 0.010    | 0.004    | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 2.081    | 2.082    | 0.067    | 0.030    |

**Çizelge B.9 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3).

| Deprem            | Doğrultu Kat                               | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| Düzce Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.036  | 0.056  | 0.037  | 0.057  | 0.011     | 0.017  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.550  | 0.945  | 0.356  | 0.581  | 0.170     | 0.288  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 9.819  | 17.181 | 9.205  | 10.981 | 3.321     | 4.802  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.239  | 12.165 | 9.205  | 12.678 | 3.321     | 4.802  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 40.347 | 40.003 | 43.459 | 43.299 | 67.888    | 66.806 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.038  | 0.060  | 0.021  | 0.035  | 0.008     | 0.012  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.263  | 0.465  | 0.239  | 0.460  | 0.138     | 0.196  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.708  | 6.799  | 4.733  | 9.052  | 2.686     | 3.698  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.411 | 12.407 | 4.733  | 9.039  | 2.686     | 3.698  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 27.288 | 26.480 | 39.472 | 38.687 | 68.053    | 71.080 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.069  | 0.112  | 0.028  | 0.045  | 0.014     | 0.022  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.832  | 1.356  | 0.447  | 0.702  | 0.237     | 0.380  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 12.641 | 20.580 | 6.931  | 12.073 | 4.548     | 6.953  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 16.013 | 24.553 | 6.931  | 10.357 | 4.548     | 6.953  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 26.269 | 24.407 | 70.120 | 69.545 | 75.534    | 75.591 |

**Çizelge B.10 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3).

| Titreşim periyodu | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| 1.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.048  | 0.078  | 0.019  | 0.031  | 0.008     | 0.011  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.443  | 0.719  | 0.166  | 0.249  | 0.123     | 0.177  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.358 | 10.899 | 2.314  | 3.503  | 3.841     | 5.320  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 12.247 | 17.255 | 2.314  | 8.287  | 3.841     | 5.320  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 29.685 | 28.691 | 54.242 | 51.828 | 75.832    | 77.077 |
| 3s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.027  | 0.042  | 0.010  | 0.016  | 0.004     | 0.005  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.187  | 0.331  | 0.049  | 0.076  | 0.061     | 0.085  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.854  | 4.959  | 1.096  | 1.539  | 1.933     | 2.637  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.057  | 9.349  | 1.096  | 3.936  | 1.933     | 2.637  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 30.818 | 29.542 | 49.940 | 50.016 | 74.521    | 76.064 |
| 0.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.043  | 0.073  | 0.025  | 0.040  | 0.014     | 0.022  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.633  | 1.042  | 0.361  | 0.561  | 0.214     | 0.358  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.462 | 16.725 | 5.869  | 8.733  | 4.945     | 7.295  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.462 | 16.725 | 5.869  | 9.764  | 4.945     | 7.295  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 46.235 | 44.793 | 56.938 | 57.898 | 66.713    | 67.704 |

**Çizelge B.11 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3).

| Deprem               | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|----------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 8014.922 | - | 10177.30 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.007    | - | 0.008    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.228    | - | 0.271    |
| Erzincan             | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 6996.887 | - | 3485.395 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.006    | - | 0.003    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.459    | - | 0.183    |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 13017.33 | - | 6352.155 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.011    | - | 0.005    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 0.224    | - | 0.136    |

**Çizelge B.12 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 9655.739 | - | 4815.225 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.008    | - | 0.004    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 5.548    | - | 1.144    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 5443.957 | - | 2084.870 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.005    | - | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.774    | - | 0.574    |
| 0.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 11387.89 | - | 3728.596 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.009    | - | 0.003    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 3.617    | - | 0.742    |

**Çizelge B.13 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).

| Deprem            | Doğrultu Kat                               | <i>x</i> |        | <i>y</i> |        | <i>rθ</i> |        |
|-------------------|--------------------------------------------|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1        | 2      | 1        | 2      | 1         | 2      |
| Düze Bolu         | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.034    | 0.053  | 0.033    | 0.051  | 0.005     | 0.008  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.482    | 0.841  | 0.310    | 0.510  | 0.055     | 0.104  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 8.797    | 15.642 | 8.729    | 9.876  | 1.325     | 2.592  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.467    | 10.756 | 8.729    | 11.676 | 1.325     | 2.592  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 43.320   | 42.671 | 48.976   | 49.489 | 86.083    | 84.699 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.036    | 0.057  | 0.016    | 0.027  | 0.006     | 0.010  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.217    | 0.383  | 0.239    | 0.461  | 0.074     | 0.119  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.161    | 5.460  | 4.822    | 8.130  | 1.011     | 2.060  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.740    | 11.140 | 4.822    | 7.027  | 1.011     | 2.060  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 31.493   | 30.835 | 53.549   | 52.241 | 76.432    | 76.407 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.055    | 0.089  | 0.025    | 0.038  | 0.006     | 0.009  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.614    | 0.997  | 0.327    | 0.506  | 0.077     | 0.127  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.797   | 15.627 | 5.782    | 9.119  | 1.511     | 2.804  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 12.811   | 18.825 | 5.782    | 9.392  | 1.511     | 2.804  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 40.723   | 40.075 | 73.012   | 74.001 | 89.601    | 89.598 |

**Çizelge B.14 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).

| Titreşim periyodu | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        | $y$    |        | $r\theta$ |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 1      | 2      | 1         | 2      |
| 1.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.044  | 0.072  | 0.016  | 0.024  | 0.007     | 0.011  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.387  | 0.642  | 0.089  | 0.136  | 0.071     | 0.135  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.302 | 10.618 | 1.197  | 1.334  | 1.258     | 2.164  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 10.539 | 15.423 | 1.197  | 6.068  | 1.258     | 2.164  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 34.962 | 34.190 | 61.951 | 63.093 | 78.092    | 77.751 |
| 3s                | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.025  | 0.039  | 0.008  | 0.011  | 0.004     | 0.005  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.169  | 0.298  | 0.028  | 0.039  | 0.031     | 0.062  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.839  | 4.922  | 0.483  | 0.577  | 0.593     | 1.000  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 6.316  | 8.279  | 0.483  | 2.700  | 0.593     | 1.000  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 35.268 | 34.722 | 60.537 | 63.318 | 74.181    | 75.281 |
| 0.5s              | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.037  | 0.063  | 0.017  | 0.027  | 0.007     | 0.013  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.556  | 0.913  | 0.203  | 0.314  | 0.103     | 0.161  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 9.193  | 13.278 | 3.244  | 5.000  | 1.595     | 3.593  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.193  | 13.278 | 3.244  | 7.286  | 1.595     | 3.593  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin Azalması (%)</i> | 53.342 | 52.358 | 70.946 | 71.709 | 82.803    | 79.941 |

**Çizelge B.15 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4).

| Deprem               | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|----------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5517.732 | 5186.336 | 4570.287 | 5611.851 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.005    | 0.004    | 0.004    | 0.005    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.123    | 0.125    | 0.105    | 0.136    |
| Erzincan             | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 3468.175 | 4709.059 | 2550.218 | 2860.754 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.003    | 0.004    | 0.002    | 0.002    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.267    | 0.264    | 0.064    | 0.067    |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 6973.990 | 7814.982 | 3992.429 | 3624.720 |
|                      | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.006    | 0.006    | 0.003    | 0.003    |
|                      | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 0.149    | 0.169    | 0.070    | 0.059    |

**Çizelge B.16 :** İki katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5289.550 | 5571.683 | 2610.917 | 2298.628 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.004    | 0.005    | 0.002    | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 3.193    | 3.193    | 0.024    | 0.022    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 2649.781 | 2963.853 | 1036.176 | 1015.518 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.002    | 0.002    | 0.001    | 0.001    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.596    | 1.597    | 0.011    | 0.010    |
| 0.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5200.018 | 7311.774 | 2832.244 | 1917.139 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.004    | 0.006    | 0.002    | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 2.081    | 2.082    | 0.042    | 0.029    |

## EK C

**Çizelge C.1 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1).

| Deprem               | Doğrultu<br>Kat                            | $x$    |        |        | $y$    |        |        | $r\theta$ |        |        |
|----------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
|                      |                                            | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1         | 2      | 3      |
| Düzce<br>Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.062  | 0.117  | 0.149  | 0.068  | 0.124  | 0.153  | 0.020     | 0.037  | 0.044  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.740  | 1.258  | 1.496  | 0.700  | 1.260  | 1.625  | 0.197     | 0.351  | 0.419  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 7.110  | 14.983 | 20.377 | 7.979  | 15.017 | 18.298 | 2.631     | 3.976  | 5.348  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 7.084  | 11.317 | 16.211 | 8.911  | 15.017 | 16.803 | 2.631     | 3.976  | 5.348  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 36.487 | 30.511 | 26.562 | 26.049 | 21.423 | 19.430 | 56.964    | 55.791 | 58.601 |
| Erzincan             | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.072  | 0.134  | 0.168  | 0.042  | 0.074  | 0.091  | 0.017     | 0.034  | 0.044  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.530  | 0.935  | 1.127  | 0.339  | 0.620  | 0.898  | 0.201     | 0.347  | 0.416  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.286  | 7.725  | 10.676 | 5.667  | 9.337  | 11.111 | 2.632     | 4.087  | 5.555  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.913  | 12.509 | 15.263 | 7.376  | 9.337  | 9.654  | 2.632     | 4.087  | 5.555  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 12.830 | 9.093  | 7.990  | 22.840 | 15.380 | 12.324 | 37.855    | 32.713 | 32.161 |
| Northridge<br>Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.084  | 0.162  | 0.207  | 0.059  | 0.111  | 0.140  | 0.018     | 0.034  | 0.044  |
|                      | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.649  | 1.288  | 1.793  | 0.634  | 1.120  | 1.429  | 0.190     | 0.345  | 0.414  |
|                      | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 11.826 | 19.427 | 24.603 | 6.902  | 13.381 | 16.821 | 2.709     | 4.033  | 5.509  |
|                      | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.796  | 15.402 | 20.944 | 7.610  | 13.381 | 15.496 | 2.709     | 4.033  | 5.509  |
|                      | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 16.539 | 13.728 | 13.804 | 16.042 | 13.722 | 12.534 | 36.459    | 26.632 | 20.885 |

**Çizelge C.2 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 1).**

| Titreşim periyodu | Doğrultu                              | x      |        |        | y      |        |        | rθ     |        |        |
|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   | Kat                                   | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      |
| 1.5s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.113  | 0.204  | 0.253  | 0.045  | 0.081  | 0.100  | 0.029  | 0.059  | 0.076  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.762  | 1.370  | 1.751  | 0.310  | 0.531  | 0.649  | 0.224  | 0.439  | 0.509  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 11.196 | 14.112 | 16.020 | 3.461  | 5.451  | 7.113  | 2.560  | 4.180  | 6.131  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 15.223 | 18.710 | 20.542 | 7.730  | 5.451  | 10.228 | 2.560  | 4.180  | 6.131  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 18.768 | 15.496 | 14.780 | 31.647 | 28.780 | 28.122 | 41.556 | 32.508 | 29.844 |
| 3s                | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.048  | 0.087  | 0.107  | 0.020  | 0.034  | 0.041  | 0.010  | 0.019  | 0.024  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.254  | 0.464  | 0.651  | 0.103  | 0.179  | 0.227  | 0.105  | 0.215  | 0.253  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 5.010  | 5.238  | 5.365  | 1.132  | 1.595  | 2.053  | 1.369  | 2.203  | 3.060  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 6.273  | 8.707  | 9.350  | 3.437  | 1.595  | 4.207  | 1.369  | 2.203  | 3.060  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 12.548 | 7.907  | 7.078  | 34.635 | 35.615 | 35.987 | 40.412 | 37.911 | 37.251 |
| 0.7s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.067  | 0.128  | 0.165  | 0.027  | 0.048  | 0.060  | 0.022  | 0.042  | 0.055  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.663  | 1.250  | 1.577  | 0.276  | 0.487  | 0.596  | 0.244  | 0.447  | 0.544  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 5.581  | 10.847 | 15.987 | 2.946  | 5.352  | 6.858  | 2.558  | 4.467  | 6.484  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 6.316  | 10.847 | 15.987 | 4.578  | 5.352  | 7.495  | 2.558  | 4.467  | 6.484  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 18.875 | 13.812 | 12.162 | 51.942 | 51.967 | 51.887 | 45.142 | 41.907 | 40.677 |

**Çizelge C.3 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 1).**

| Deprem            | Dinamik Veren numarası          | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|---------------------------------|---|----------|---|----------|
| Düzce Bolu        | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 9535.238 | - | 10204.45 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.008    | - | 0.008    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.180    | - | 0.189    |
| Erzincan          | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 10050.57 | - | 7283.868 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.008    | - | 0.006    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.406    | - | 0.162    |
| Northridge Sylmar | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 10995.96 | - | 11428.82 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.009    | - | 0.009    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.175    | - | 0.137    |

**Çizelge C.4 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri(DURUM 1).**

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 16504.85 | - | 6061.645 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.014    | - | 0.005    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 4.980    | - | 0.848    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 6260.880 | - | 2969.737 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.005    | - | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.490    | - | 0.426    |
| 0.7s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 12917.31 | - | 5400.708 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.011    | - | 0.004    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.319    | - | 0.392    |

**Çizelge C.5 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2).**

| Deprem            | Doğrultu                                   | $x$    |        |        | $y$    |        |        | $r\theta$ |        |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1         | 2      | 3      |
| Düzce Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.064  | 0.120  | 0.152  | 0.071  | 0.129  | 0.159  | 0.023     | 0.042  | 0.050  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.703  | 1.255  | 1.524  | 0.688  | 1.255  | 1.616  | 0.186     | 0.338  | 0.437  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 7.513  | 14.368 | 19.825 | 7.704  | 14.805 | 17.893 | 2.263     | 3.738  | 4.915  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 6.901  | 11.296 | 16.127 | 9.495  | 14.805 | 16.304 | 2.263     | 3.738  | 4.915  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 33.783 | 28.562 | 25.071 | 22.711 | 18.637 | 16.766 | 50.698    | 50.441 | 53.037 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.072  | 0.133  | 0.167  | 0.041  | 0.072  | 0.089  | 0.019     | 0.036  | 0.046  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.551  | 0.949  | 1.129  | 0.303  | 0.579  | 0.790  | 0.201     | 0.348  | 0.416  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.102  | 7.481  | 10.388 | 5.264  | 8.555  | 10.790 | 2.242     | 3.881  | 5.173  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.806  | 12.279 | 14.937 | 6.473  | 8.555  | 8.548  | 2.242     | 3.881  | 5.173  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 12.445 | 9.350  | 8.328  | 24.404 | 17.467 | 14.525 | 32.701    | 28.992 | 28.685 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.084  | 0.162  | 0.207  | 0.061  | 0.113  | 0.141  | 0.019     | 0.035  | 0.044  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.655  | 1.255  | 1.745  | 0.617  | 1.144  | 1.468  | 0.180     | 0.341  | 0.425  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 11.467 | 19.294 | 24.672 | 7.191  | 13.631 | 16.711 | 2.016     | 3.461  | 4.460  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.722  | 15.100 | 20.990 | 7.030  | 13.631 | 15.292 | 2.016     | 3.461  | 4.460  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 16.746 | 13.730 | 13.616 | 14.134 | 12.759 | 11.918 | 33.210    | 26.102 | 22.080 |

**Çizelge C.6 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 2).**

| Titreşim periyodu | Doğrultu                              | x      |        |        | y      |        |        | r $\theta$ |        |        |
|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|
|                   | Kat                                   | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1          | 2      | 3      |
| 1.5s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.116  | 0.209  | 0.258  | 0.048  | 0.086  | 0.105  | 0.034      | 0.065  | 0.082  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.765  | 1.378  | 1.730  | 0.300  | 0.543  | 0.675  | 0.225      | 0.436  | 0.542  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 10.995 | 12.891 | 14.726 | 3.185  | 5.531  | 7.086  | 2.194      | 3.866  | 5.411  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 14.758 | 18.722 | 21.067 | 7.247  | 5.531  | 10.135 | 2.194      | 3.866  | 5.411  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 16.820 | 13.666 | 12.952 | 27.226 | 24.902 | 24.377 | 32.150     | 25.416 | 24.047 |
| 3s                | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.048  | 0.087  | 0.107  | 0.020  | 0.035  | 0.043  | 0.011      | 0.021  | 0.026  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.255  | 0.466  | 0.610  | 0.111  | 0.202  | 0.253  | 0.097      | 0.196  | 0.245  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 4.889  | 5.073  | 5.212  | 0.981  | 1.714  | 2.104  | 1.235      | 1.868  | 2.432  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 6.242  | 8.467  | 9.275  | 3.226  | 1.714  | 4.216  | 1.235      | 1.868  | 2.432  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 12.264 | 8.412  | 7.507  | 32.738 | 32.725 | 32.769 | 36.883     | 31.809 | 32.841 |
| 0.7s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.068  | 0.129  | 0.165  | 0.024  | 0.045  | 0.056  | 0.023      | 0.044  | 0.057  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.663  | 1.250  | 1.580  | 0.237  | 0.437  | 0.548  | 0.237      | 0.435  | 0.536  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 5.678  | 10.797 | 15.549 | 2.537  | 4.564  | 5.519  | 2.424      | 4.603  | 6.076  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 6.033  | 10.797 | 15.549 | 4.100  | 4.564  | 6.886  | 2.424      | 4.603  | 6.076  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 16.572 | 12.959 | 11.875 | 56.692 | 55.289 | 54.658 | 42.857     | 39.503 | 38.398 |

**Çizelge C.7 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2).**

| Deprem            | Dinamik Veren numarası          | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Düzce Bolu        | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 6059.875 | 6296.118 | 4949.822 | 7058.200 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.005    | 0.005    | 0.004    | 0.006    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.102    | 0.094    | 0.096    | 0.082    |
| Erzincan          | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 4481.914 | 6312.115 | 3134.514 | 4508.470 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.004    | 0.005    | 0.003    | 0.004    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.279    | 0.286    | 0.072    | 0.058    |
| Northridge Sylmar | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 7090.997 | 7299.408 | 3845.337 | 7388.951 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.006    | 0.006    | 0.003    | 0.006    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.155    | 0.124    | 0.055    | 0.085    |

**Çizelge C.8 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 2).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5214.300 | 10677.13 | 3921.499 | 4533.699 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.004    | 0.009    | 0.003    | 0.004    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 3.568    | 3.569    | 0.028    | 0.038    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 2781.735 | 4068.034 | 1665.216 | 2075.022 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.002    | 0.003    | 0.001    | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.784    | 1.784    | 0.012    | 0.017    |
| 0.7s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 4403.040 | 8140.564 | 3699.772 | 3463.131 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.004    | 0.007    | 0.003    | 0.003    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.662    | 1.662    | 0.041    | 0.029    |

**Çizelge C.9 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3).

| Deprem            | Doğrultu                                   | $x$    |        |        | $y$    |        |        | $r\theta$ |        |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
|                   | Kat                                        | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1         | 2      | 3      |
| Düzce Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.044  | 0.080  | 0.102  | 0.042  | 0.073  | 0.088  | 0.009     | 0.015  | 0.018  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.455  | 0.850  | 1.088  | 0.430  | 0.721  | 0.887  | 0.101     | 0.166  | 0.260  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 7.850  | 12.887 | 16.667 | 5.597  | 8.980  | 12.153 | 2.245     | 2.918  | 5.617  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.649  | 9.269  | 12.122 | 7.750  | 8.980  | 11.486 | 2.245     | 2.918  | 5.617  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 54.365 | 52.299 | 49.668 | 54.280 | 54.014 | 53.779 | 81.281    | 82.593 | 82.885 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.056  | 0.100  | 0.125  | 0.029  | 0.053  | 0.069  | 0.011     | 0.020  | 0.025  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.350  | 0.598  | 0.769  | 0.331  | 0.631  | 0.895  | 0.155     | 0.219  | 0.283  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 5.325  | 6.415  | 8.504  | 6.115  | 8.994  | 11.130 | 2.258     | 2.979  | 4.604  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 9.052  | 11.383 | 13.219 | 6.733  | 8.994  | 11.519 | 2.258     | 2.979  | 4.604  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 32.662 | 31.946 | 31.709 | 46.414 | 39.106 | 33.812 | 59.399    | 60.691 | 61.534 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.060  | 0.113  | 0.145  | 0.038  | 0.070  | 0.087  | 0.010     | 0.017  | 0.022  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.483  | 0.950  | 1.370  | 0.420  | 0.695  | 0.864  | 0.127     | 0.202  | 0.223  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.601 | 15.130 | 19.215 | 4.962  | 9.118  | 11.220 | 2.917     | 3.728  | 4.306  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.789  | 11.857 | 15.747 | 6.951  | 9.118  | 10.882 | 2.917     | 3.728  | 4.306  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 40.111 | 39.766 | 39.596 | 46.736 | 45.968 | 45.646 | 66.192    | 64.091 | 60.209 |

**Çizelge C.10 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 3).**

| Titreşim periyodu | Doğrultu                              | x      |        |        | y      |        |        | rθ     |        |        |
|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   | Kat                                   | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      |
| 1.5s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.073  | 0.125  | 0.153  | 0.031  | 0.056  | 0.070  | 0.012  | 0.020  | 0.025  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.602  | 1.001  | 1.221  | 0.213  | 0.305  | 0.360  | 0.132  | 0.226  | 0.315  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 10.801 | 12.040 | 12.559 | 2.565  | 3.059  | 4.536  | 2.338  | 3.192  | 4.751  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 12.348 | 14.472 | 16.945 | 7.352  | 3.059  | 9.185  | 2.338  | 3.192  | 4.751  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 48.041 | 48.262 | 48.493 | 52.925 | 51.177 | 50.112 | 76.267 | 76.903 | 77.279 |
| 3s                | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.038  | 0.067  | 0.083  | 0.014  | 0.024  | 0.029  | 0.005  | 0.009  | 0.011  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.203  | 0.361  | 0.493  | 0.062  | 0.098  | 0.122  | 0.063  | 0.092  | 0.136  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 4.827  | 4.862  | 5.128  | 1.060  | 1.049  | 1.485  | 1.182  | 1.629  | 2.326  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 5.993  | 7.855  | 9.277  | 3.198  | 1.049  | 3.601  | 1.182  | 1.629  | 2.326  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 29.930 | 28.776 | 27.746 | 53.112 | 54.236 | 54.678 | 68.914 | 70.816 | 72.297 |
| 0.7s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.044  | 0.084  | 0.108  | 0.026  | 0.045  | 0.055  | 0.014  | 0.024  | 0.029  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.473  | 0.877  | 1.101  | 0.263  | 0.462  | 0.569  | 0.153  | 0.275  | 0.333  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 6.487  | 10.021 | 12.706 | 2.938  | 5.282  | 6.318  | 2.348  | 3.327  | 4.700  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 6.487  | 10.021 | 12.706 | 4.391  | 5.282  | 6.915  | 2.348  | 3.327  | 4.700  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 46.309 | 43.534 | 42.578 | 53.994 | 55.059 | 55.258 | 65.455 | 67.755 | 68.540 |

**Çizelge C.11 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3).**

| Deprem            | Dinamik Veren numarası          | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|---------------------------------|---|----------|---|----------|
| Düzce Bolu        | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 7065.905 | - | 7897.113 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.006    | - | 0.007    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.167    | - | 0.182    |
| Erzincan          | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 6227.838 | - | 5117.062 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.005    | - | 0.004    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.426    | - | 0.140    |
| Northridge Sylmar | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | - | 8346.770 | - | 7983.461 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | - | 0.007    | - | 0.007    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | - | 0.168    | - | 0.124    |

**Çizelge C.12 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 3).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1 | 2        | 3 | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|---|----------|---|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 8735.654 | - | 3673.228 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.007    | - | 0.003    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 4.980    | - | 0.828    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 4443.745 | - | 1654.801 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.004    | - | 0.001    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.490    | - | 0.416    |
| 0.7s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | - | 7834.058 | - | 1979.468 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | - | 0.007    | - | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | - | 2.319    | - | 0.386    |

**Çizelge C.13 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).

| Deprem            | Doğrultu                                   | $x$    |        |        | $y$    |        |        | $r\theta$ |        |        |
|-------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
|                   |                                            | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1         | 2      | 3      |
| Düzce Bolu        | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.040  | 0.072  | 0.090  | 0.042  | 0.072  | 0.089  | 0.010     | 0.015  | 0.019  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.393  | 0.724  | 0.944  | 0.406  | 0.653  | 0.778  | 0.072     | 0.117  | 0.186  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 7.367  | 11.691 | 15.377 | 5.493  | 7.657  | 10.733 | 1.413     | 1.604  | 3.436  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.064  | 8.327  | 10.208 | 7.608  | 7.657  | 11.774 | 1.413     | 1.604  | 3.436  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 58.394 | 57.136 | 55.605 | 54.225 | 54.251 | 53.152 | 79.302    | 82.579 | 82.415 |
| Erzincan          | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.053  | 0.096  | 0.119  | 0.028  | 0.046  | 0.054  | 0.008     | 0.016  | 0.021  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.369  | 0.587  | 0.692  | 0.219  | 0.461  | 0.707  | 0.100     | 0.144  | 0.183  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 4.875  | 5.638  | 7.560  | 5.187  | 7.604  | 9.222  | 1.350     | 1.919  | 3.266  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.832  | 10.528 | 12.281 | 6.032  | 7.604  | 8.443  | 1.350     | 1.919  | 3.266  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 35.660 | 35.012 | 34.686 | 48.784 | 47.769 | 47.622 | 70.054    | 69.323 | 67.135 |
| Northridge Sylmar | <i>Maks. Yerdeğiştirme (m)</i>             | 0.055  | 0.104  | 0.134  | 0.040  | 0.073  | 0.090  | 0.009     | 0.013  | 0.016  |
|                   | <i>Maks. Hız (m/s)</i>                     | 0.459  | 0.866  | 1.215  | 0.406  | 0.711  | 0.909  | 0.078     | 0.134  | 0.207  |
|                   | <i>Maks. İvme (m/s<sup>2</sup>)</i>        | 10.074 | 14.037 | 17.691 | 4.834  | 9.852  | 11.576 | 1.368     | 1.973  | 3.116  |
|                   | <i>Maks. Toplam İvme (m/s<sup>2</sup>)</i> | 8.677  | 11.880 | 14.334 | 6.464  | 9.852  | 10.948 | 1.368     | 1.973  | 3.116  |
|                   | <i>Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)</i> | 44.991 | 44.592 | 44.212 | 44.033 | 43.603 | 43.463 | 69.306    | 72.421 | 71.432 |

**Çizelge C.14 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında maksimum analiz sonuçları (DURUM 4).**

| Titreşim periyodu | Doğrultu                              | x      |        |        | y      |        |        | r $\theta$ |        |        |
|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|
|                   | Kat                                   | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      | 1          | 2      | 3      |
| 1.5s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.074  | 0.128  | 0.156  | 0.028  | 0.046  | 0.056  | 0.015      | 0.026  | 0.033  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.556  | 0.913  | 1.159  | 0.124  | 0.207  | 0.238  | 0.104      | 0.168  | 0.255  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 11.090 | 11.986 | 12.661 | 1.695  | 1.821  | 2.499  | 1.176      | 1.997  | 3.088  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 12.191 | 14.270 | 15.715 | 6.444  | 1.821  | 7.196  | 1.176      | 1.997  | 3.088  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 46.856 | 47.235 | 47.364 | 58.219 | 59.414 | 60.128 | 70.590     | 70.009 | 69.138 |
| 3s                | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.036  | 0.064  | 0.078  | 0.013  | 0.021  | 0.025  | 0.005      | 0.009  | 0.011  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.180  | 0.347  | 0.471  | 0.038  | 0.061  | 0.071  | 0.039      | 0.070  | 0.106  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 4.869  | 5.008  | 5.025  | 0.621  | 0.656  | 0.743  | 0.531      | 0.859  | 1.312  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 5.540  | 7.225  | 8.711  | 2.840  | 0.656  | 2.900  | 0.531      | 0.859  | 1.312  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 33.625 | 32.886 | 32.095 | 57.082 | 59.624 | 60.630 | 69.226     | 69.659 | 71.480 |
| 0.7s              | Maks. Yerdeğiştirme (m)               | 0.041  | 0.078  | 0.101  | 0.019  | 0.032  | 0.039  | 0.009      | 0.017  | 0.023  |
|                   | Maks. Hız (m/s)                       | 0.440  | 0.818  | 1.029  | 0.159  | 0.280  | 0.349  | 0.096      | 0.157  | 0.207  |
|                   | Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )        | 5.690  | 8.127  | 11.189 | 2.064  | 3.032  | 3.703  | 1.094      | 1.937  | 3.013  |
|                   | Maks. Toplam İvme (m/s <sup>2</sup> ) | 5.828  | 8.127  | 11.189 | 3.553  | 3.032  | 5.514  | 1.094      | 1.937  | 3.013  |
|                   | Maks. Yerdeğiştirmenin azalması (%)   | 49.778 | 47.318 | 46.155 | 66.669 | 67.892 | 68.168 | 77.226     | 76.257 | 75.203 |

**Çizelge C.15 : Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının ilaveli deprem kayıtları altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4).**

| Deprem            | Dinamik Veren numarası          | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Düzce Bolu        | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 3837.933 | 4144.152 | 3315.611 | 5361.989 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.003    | 0.003    | 0.003    | 0.004    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.101    | 0.099    | 0.094    | 0.094    |
| Erzincan          | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 3559.458 | 4387.408 | 2216.935 | 3491.236 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.003    | 0.004    | 0.002    | 0.003    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.286    | 0.290    | 0.066    | 0.061    |
| Northridge Sylmar | Maks. Kontrol Kuvveti (N)       | 4802.004 | 5322.026 | 3601.920 | 4966.817 |
|                   | Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m) | 0.004    | 0.004    | 0.003    | 0.004    |
|                   | Maks. Veren Hızı (m/s)          | 0.143    | 0.120    | 0.050    | 0.080    |

**Çizelge C.16 :** Üç katlı burulma düzensizliği oluşan aktif kontrollü yapının darbe tipi titreşimler altında oluşan en üst kat kontrol sinyalleri ve kuvvetleri (DURUM 4).

| Titreşim Periyodu | Dinamik Veren numarası                 | 1        | 2        | 3        | 4        |
|-------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1.5s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 5214.300 | 5794.908 | 2881.582 | 2689.647 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.004    | 0.005    | 0.002    | 0.002    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 3.568    | 3.569    | 0.026    | 0.023    |
| 3s                | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 2612.456 | 2862.320 | 1174.061 | 1246.415 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.002    | 0.002    | 0.001    | 0.001    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.784    | 1.784    | 0.011    | 0.012    |
| 0.7s              | <i>Maks. Kontrol Kuvveti (N)</i>       | 3437.734 | 4925.198 | 1792.194 | 1444.020 |
|                   | <i>Maks. Veren Yerdeğiştirmesi (m)</i> | 0.003    | 0.004    | 0.001    | 0.001    |
|                   | <i>Maks. Veren Hızı (m/s)</i>          | 1.662    | 1.662    | 0.023    | 0.014    |



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Sinan Melih Nigdeli

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul – 29.10.1982

**Adres:** Alkent 2000 Çamlıca Sitesi

Ortanca Sokak No 4 Büyükçekmece İstanbul

**E-Posta:** melihnig@istanbul.edu.tr, melihnig@yahoo.com

**Lisans:** İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (2000-2004)

İstanbul Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü (2001-2005)

**Yüksek Lisans:** İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Mühendisliği Programı  
(2005-2007)

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

**Araştırma Görevlisi:** İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
(2010-...)

**Yayın ve Patent Listesi:**

- **Nigdeli, S. M.**, Boduroğlu, M. H., 2010: Active Tendons for Seismic Control of Buildings. *International Conference on Mechanical Science and Engineering, ICMSE 2010*, Paris, France, 28-30 July. In “*Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*”, **68**, 1258-1265.
- **Nigdeli, S. M.**, Boduroğlu, M. H., 2011: Burulma Düzensizliği Oluşan Yapıların Aktif Tendonlar ile Kontrolü. *7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-03 Haziran.
- Bekdaş, G., **Nigdeli, S. M.**, 2011: Estimating Optimum Parameters of Tuned Mass Dampers Using Harmony Search. *Engineering Structures*, **33**, 2716-2723.
- **Nigdeli, S. M.**, Bekdaş, G., 2011: Optimization of Tunes Mass Damper Parameters for Structures Subjected to Earthquakes with Forward Directivity. *International Congress “Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization”*, İstanbul, 19-21 September.
- Bekdaş, G., **Nigdeli, S. M.**, 2011: Investigation of SDOF idealization for Structures with Optimum Tuned Mass Dampers. *International Congress “Natural Cataclysms*

*and Global Problems of the Modern Civilization”*, Istanbul, 19-21 September.

▪ **Nigdeli, S. M.**, 2011: Active Brace Control of Frame Structures under Earthquake Excitation. *International Congress “Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization”*, Istanbul, 19-21 September.

▪ **Nigdeli, S. M.**, Bekdaş, G., 2011: Optimum Pasif Kütle Sönümleyicilerinin Belirsiz Özellikli Yapılardaki Etkileri. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 11-14 Ekim.

▪ Bekdaş, G., **Nigdeli, S. M.**, 2011: Değişik periyotlu Yapılar için Optimum Pasif Kütle Sönümleyici Özelliklerinin Belirlenmesi. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, 11-14 Ekim.

#### **TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR**

▪ **Nigdeli, S. M.**, Boduroğlu, M. H., 2011: Burulma Düzensizliği Oluşan Yapıların Aktif Tendonlar ile Kontrolü. *7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-03 Haziran.