İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN AKTİF TENDONLAR İLE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan Melih NİĞDELİ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN AKTİF TENDONLAR İLE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sinan Melih NİĞDELİ
(501051116)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Şubat 2007

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Mehmet Hasan BODUROĞLU**
Diğer Jüri Üyeleri	**Doç. Dr. Ünal ALDEMİR (İ.T.Ü.)**
	Prof. Dr. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)

ŞUBAT 2007

ÖNSÖZ

Günümüzde yüksek yapıların sayısı sürekli artmaktadır. Yüksek yapılar ve köprü gibi yoğun olarak dinamik etkilere maruz kalan yapılar titreşime hassastır. Yüksek yapılarda, deprem, rüzgar ve çeşitli etkilerden dolayı oluşan titreşimler rahatsız edici ve zararlı etkiler vermektedir. Ülkemiz önemli fay hatları üzerinde bulunduğu için depremler sonucunda yapılarda oluşacak etkiler yoğun olarak ele alınmaktadır.

Yapılarda oluşan titreşimleri sönümlemek için çeşitli yapısal kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler pasif, aktif, karışık ve yarı aktif sistemler olabilir. Bu çalışmada aktif yapısal kontrol sistemlerinden biri olan aktif tendonlar ele alınmıştır ve yapılar kontrolsüz halleri ile karşılaştırılmıştır.

Yoğun çalışmaları arasında bana vakit ayıran ve çalışmamı destekleyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Hasan BODUROĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca, Matlab Simulink Programı ve kontrol konusunu öğrendiğim İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliğinden değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nurkan YAĞIZ'a teşekkür ederim.

Sinan Melih NİĞDELİ

17.12.2006

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xiii**

BÖLÜM 1: GİRİŞ **1**
1.1: Titreşim 2

BÖLÜM 2: SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL **3**
2.1: Kontrol 3
2.2: Otomatik Kontrol 3
2.3: Sistem Kavramı 4
2.3.a : Transfer fonksiyonu 5
2.4 : Kontrol sistemi 5
2.4.a : Açık çevrimli kontrol sistemi 6
2.4.b : Kapalı çevrimli kontrol sistemi 7
2.5 : PID (Orantı+İntegral+Türev) tipi kontrolcüler 7
2.6 : LQR (İkinci dereceden doğrusal düzenleyici) tipi kontrolcüler 8
2.7 : Kayan Kipli Kontrolcü 9

BÖLÜM 3: YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ **10**
3.1 : Aktif Kontrol Sistemleri 10
3.1.a : Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (ATMD) 10
3.1.b : Aktif Tendonlar 12
3.1.c : Aktif destekler (brace) 12
3.2 : Pasif Kontrol Sistemleri 13
3.2.a : Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi (TMD) 15
3.3 : Karışık (Hybrid) Kontrol Sistemleri 18
3.4 : Yarı Aktif Kontrol Sistemleri 19

BÖLÜM 4: SİSTEMLERİN HAREKET DENKLEMLERİ **20**
4.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemlerinin bulunması 20
4.1.a : Kontrolsüz halde 20
4.1.b : Aktif tendonlu halde 21
4.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin hareket denklemlerinin bulunması 23
4.2.a : Kontrolsüz halde 23
4.2.b : Sadece alt katta aktif tendonlar olduğu halde 24
4.2.c : Tüm katlarda aktif tendonlar olduğu halde 26
4.2.d : Aşağı kattan tüm katlara uzanan tendonlar olduğu halde 28

BÖLÜM 5: SİSTEMLERİN ANALİZİ **30**
5.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin blok diyagramı 31
5.2 : PID(Orantı+İntegral+Türev) Kontrolcünün parametrelerinin belirlenmesi 32
5.3 : Sistemlerin sayısal değerleri 33
5.3.a : Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri 33
5.3.b : Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri 34
5.4 : Deprem ivme dataları 35
5.4.a : Düzce depremi-Bolu kaydı 35
5.4.b : Düzce depremi-Sakarya kaydı 37
5.4.c : Düzce depremi-İstanbul kaydı 38
5.4.d : Erzincan depremi-Erzincan kaydı 39
5.5 : Tek serbestlik dereceli sistem için M-file dosyası ve açıklaması 41
5.6 : Doğal frekans ve mod şekilleri 42
5.6.a : Tek serbestlik dereceli sistem için; 42
5.6.b : Üç serbestlik dereceli sistem için; 42

BÖLÜM 6: SONUÇLAR VE YORUMLAR **45**
6.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin sonuçları: 45
6.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin sonuçları: 51
6.2.a : Sadece alt katta aktif tendon kontrolü olması hali 51
6.2.b : Tüm katlarda aktif tendon kontrolü olması hali 60
6.2.c : Aşağı kattan tüm katlara uzanan tendonlar olduğu halde 69

KAYNAKLAR **71**

EK 1 : Simulink Blok Diagramları **74**

EK 2 : Matlab M-File Dosyaları **87**

EK 3 : Üç Serbestlik Dereceli Sistemde Doğal Frekans ve Mod Şekillerini Elde Etmek için Hazırlanmış Mathcad Programı **104**

EK 4 : Düzce(1999) Depremi Bolu Kaydı için Grafikler **106**

EK 5 : Düzce(1999) Depremi Sakarya Kaydı için Grafikler **141**

EK 6 : Düzce(1999) Depremi İstanbul Kaydı için Grafikler **190**

EK 7 : Erzincan(1992) Depremi Erzincan Kaydı için Grafikler **243**

ÖZGEÇMİŞ **292**

KISALTMALAR

PID : Orantı+İntegral+Türev tipi kontrolcü
LQR : İkinci dereceden doğrusal düzenleyici
TMD : (Pasif) Ayarlı Kütle Sönümleyici
sdof : Tek serbestlik dereceli
mdof : Çok serbestlik dereceli
ATMD : Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyici
TLD : Ayarlı Sıvı Sönümleyici
HMD : Karışık Kütle Sönümleyici

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1 PID Kontrolcü Katsayıları (tek serbestlik kontrol edildiği zaman) 32
Tablo 5.2 Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri ……..... 33
Tablo 5.3 Sistemin doğal frekansları…….....……. 43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Titreşime hassas yapılar……. 2
Şekil 2.1 : Sistem Kavramı…….. 5
Şekil 2.2 : Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi…… 7
Şekil 2.3 : PID kontrolcünün blok diyagramı…….. 8
Şekil 3.1 : Aktif ayarlı kütle sönümleyicili sistem……... 11
Şekil 3.2 : Kaldıraç tipi aktif ayarlı kütle sönümleyici…… 11
Şekil 3.3 : Aktif tendon kontrollü sistem……. 12
Şekil 3.4 : Aktif destek kontrollü sistem…….. 13
Şekil 3.5 : Eğilmeli çelik sönümleyiciler……. 14
Şekil 3.6 : Tabakalı Kauçuk Mesnet..……. 14
Şekil 3.7 : Taipei 101'deki kütle sönümleyicisi…….. 15
Şekil 3.8 : TMD-V [1]……. 16
Şekil 3.9 : TMD-H [1] …… 16
Şekil 4.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin fiziksel modeli……. 20
Şekil 4.2 : Tek serbestlik dereceli sistem için tendonlardan gelen kuvvetler……... 22
Şekil 4.3 : Üç serbestlik dereceli sistemin serbestliklerini gösteren model 23
Şekil 4.4 : Üç serbestlik dereceli sistemin tek kat kontrollü modeli…… 24
Şekil 4.5 : Sadece aşağı katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler…. 25
Şekil 4.6 : Üç serbestlik dereceli sistemin her kat kontrollü modeli……... 26
Şekil 4.7 : Her katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler……... 27
Şekil 4.8 : Üç serbestlik dereceli sistemin her kat kontrollü alternatif modeli……... 28
Şekil 4.9 : Her katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler (Alternatif durum)…….. 29
Şekil 5.1 : Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin blok diyagramı…... 31
Şekil 5.2 : Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin frekans cevabı için blok diyagramı…….. 32
Şekil 5.3 : PID Kontrolcünün Matlab Programındaki Blok Diyagramı….. 33
Şekil 5.4 : Alternatif durumda tendonların açıları……... 34
Şekil 5.5 : Düzce depreminin Bolu ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi….. 35
Şekil 5.6 : Düzce depreminin Bolu ivme kaydının T (doğu) bileşkesi…… 36
Şekil 5.7 : Düzce depreminin Sakarya ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi 37
Şekil 5.8 : Düzce depreminin Sakarya ivme kaydının T (doğu) bileşkesi 38
Şekil 5.9 : Düzce depreminin İstanbul ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi 38
Şekil 5.10 : Düzce depreminin İstanbul ivme kaydının T (doğu) bileşkesi 39
Şekil 5.11 : Erzincan depreminin Erzincan ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi…… 40
Şekil 5.12 : Erzincan depreminin Erzincan ivme kaydının T (doğu) bileşkesi…… 40
Şekil 5.13 : Normalleştirilmiş mod şekilleri…….. 44

Şekil 6.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin deplasman grafiği(Bolu kaydı-L yönü)……. 45
Şekil 6.2 : Tek serbestlik dereceli sistemin hız grafiği(Bolu kaydı-L yönü)……. 46
Şekil 6.3 : Tek serbestlik dereceli sistemin ivme grafiği(Bolu kaydı-L yönü)……. 47
Şekil 6.4 : Tek serbestlik dereceli sistemin faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)……... 47
Şekil 6.5 : Tek serbestlik dereceli sistemin faz planı (Kontrollü-Bolu kaydı-L yönü)……... 48
Şekil 6.6 : Tek serbestlik dereceli sistemde tendon kuvvetinin değişimi (Bolu kaydı-L yönü)……. 49
Şekil 6.7 : Tek serbestlik dereceli sistemde kontrol sinyali (Bolu kaydı-L yönü)……. 49
Şekil 6.8 : Tek serbestlik dereceli sistemde frekans cevabı……. 50
Şekil 6.9 : Birinci katın deplasman grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……... 51
Şekil 6.10 : Birinci katın hız grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 52
Şekil 6.11 : Birinci katın ivme grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 52
Şekil 6.12 : Birinci katın faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)…… 53
Şekil 6.13 : Birinci katın faz planı (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 54
Şekil 6.14 : Birinci katın frekans cevabı (Birinci katta kontrol)…… 54
Şekil 6.15 : Üçüncü katın deplasman grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……... 55
Şekil 6.16 : Üçüncü katın hız grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 56
Şekil 6.17 : Üçüncü katın ivme grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 56
Şekil 6.18 : Üçüncü katın faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)…… 57
Şekil 6.19 : Üçüncü katın faz planı (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 57
Şekil 6.20 : Üçüncü katın frekans cevabı (Birinci katta kontrol)…….. 58
Şekil 6.21 : Üç serbestlik dereceli sistemde sadece birinci katın kontrol edilmesi halinde tendon kuvvetinin değişimi (Bolu kaydı-L yönü)……. 59
Şekil 6.22 : Üç serbestlik dereceli sistemde sadece birinci katın kontrol edilmesi halinde kontrol sinyali (Bolu kaydı-L yönü)…….. 59
Şekil 6.23 : Birinci katın deplasman grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……... 60
Şekil 6.24 : Birinci katın hız grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 61
Şekil 6.25 : Birinci katın ivme grafiği (Tüm katlarda kontrol -Bolu kaydı-L yönü)……. 61
Şekil 6.26 : Birinci katın faz planı (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 62
Şekil 6.27 : Birinci katın frekans cevabı (Tüm katlarda kontrol)…… 63

Şekil 6.28 : Üçüncü katın deplasman grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)…… 63
Şekil 6.29 : Üçüncü katın hız grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……..... 64
Şekil 6.30 : Üçüncü katın ivme grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 65
Şekil 6.31 : Üçüncü katın faz planı (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……. 65
Şekil 6.32 : Üçüncü katın frekans cevabı (Tüm katlarda kontrol)……. 66
Şekil 6.33 : Birinci katta bulunan bir tendonun kuvvetinin değişimi (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)..... 67
Şekil 6.34 : Birinci kattaki kontrol sinyali (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……... 67
Şekil 6.35 : Üçüncü katta bulunan bir tendonun kuvvetinin değişimi (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)…… 68
Şekil 6.36 : Üçüncü kattaki kontrol sinyali (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)……... 68
Şekil 6.37 : Üçüncü kata uzanan bir tendonun kuvvetinin değişimi (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)…… 69
Şekil 6.38 : Üçüncü katı kontrol etmek için kontrol sinyali (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)…….. 70

SEMBOL LİSTESİ

x (t)	: Sistem girdisi
y (t)	: Sistem çıktısı
e (t)	: Hata sinyali
u (t)	: Kontrol sinyali
$\mathbf{K_p}$	: Orantı kazancı
$\mathbf{T_i}$	: İntegral zamanı
$\mathbf{T_d}$	: Türev zamanı
U (s)	: Kontrol sinyalinin Laplace dönüşümü
E (s)	: Hata sinyalinin Laplace dönüşümü
f	: Ayar Oranı
$\boldsymbol{\omega_{topt}}$	: Optimum değerler için TMD'ın doğal frekansı
$\boldsymbol{\omega_o}$	: Binanın kritik doğal frekansı
$\boldsymbol{\omega_t}$	: TMD'ın doğal frekansı
$\boldsymbol{\omega_i}$	: i'inci Katın doğal frekansı
$\boldsymbol{\omega_D}$	: Sönümlü frekans
μ	: Kütle Oranı
M*	: Genelleştirilmiş kütle
ϕ_i	: i. Mod durumu
ϕ_{ni}	: i. Normalleştirilmiş Mod durumu
$[M]$	: Binanın kütle matrisi
$\boldsymbol{\xi_d}$	: Sönümleme oranı
$\mathbf{c_t}$	: TMD'ın sönümleme katsayısı
$\mathbf{c_{opt}}$	: TMD'ın optimum sönümleme katsayısı
[K]	: Binanın rijitlik matrisi
$\mathbf{k_{opt}}$	: TMD'ın optimum yay sabiti
$\mathbf{x_i}$	: i'inci katın deplasmanı
c	: Tek serbestlik dereceli sistemin sönüm katsayısı
k	: Tek serbestlik dereceli sistemin yay katsayısı
m	: Tek serbestlik dereceli sistemin kütlesi
$\mathbf{k_c}$	: Tendonun yay sabiti
$\mathbf{F_i}$	: i'inci kattaki tendonda kuvvet değişimi
α, β, θ	: Tendon açıları
$\mathbf{Q_{ik}}$	: Runge-Kutta hesaplama adımları
h	: Adım
J	: Amaç fonksiyonu

YAPILARIN AKTİF TENDONLAR İLE KONTROLÜ

ÖZET

Bu çalışmada, tek serbestlik ve çok serbestlik dereceli bina modellerine Orantı+İntegral+Türev tipi kontrolcü ile birlikte çalışan aktif tendonlar uygulanmıştır. İlk önce, binanın fiziksel modeli sanal yaylar, sönümleyiciler ve rijit kütleler ile oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra, sistemlerin potansiyel, kinetik ve sönüm enerjisi belirlenmiştir. Sistemlerin hareket denklemleri, Lagrange denklemlerini kullanarak elde edilmiştir.

Hareket denklemlerinin blok diyagramlarının elde etmek için Matlab programının alt programı olan Simulink kullanılmıştır. Orantı işlemi, hızlı cevap vermeye yarar. Türev işlemi, sönümleme kararlılığı için iyidir. İntegral işlemi, istenen sabit durumlu cevabı elde etmeye yardımcı olur. Bu işlemler için parametreler, deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur.

Düzce depremi (1999), sisteme giriş olarak etki ettirtmek için seçilmiştir. Düzce depremi darbe tipi bir depremdir. Bu depremin üç ayrı merkezdeki kaydı incelenmiştir. Bunlar faya yakın olan Bolu ve daha uzak olan Sakarya ve İstanbul'da kaydedilmiş datalardır. Ayrıca, ilginç ivme datası nedeniyle Erzincan depremi (1992) de seçilmiştir. Bu depremin Erzincan kaydı kullanılmıştır. Bu durumda yakın ve uzak fay etkisi görülmüştür.

Deprem ivme dataları sisteme uygulandıktan sonra, deplasman, hız, ivme ve transfer fonksiyonları gibi yapıda oluşan büyüklükler tüm serbestlik dereceleri için analiz edilmiştir. Deplasman – zaman, hız – zaman, ivme – zaman ve transfer fonksiyonu (Db) – frekans (Hz) grafikleri üzerinde kontrol edilmeyen ve edilen binalar karşılaştırılmıştır. Ayrıca tendonların çeşitli kombinasyonları incelenmiştir. Sonuçlar metodun uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif Tendonlar, Orantı + İntegral + Türev Tipi Kontrolcüler, Tek Serbestlik Dereceli Sistem, Çok Serbestlik Dereceli Sistem, Deprem, Bina

CONTROL OF STRUCTURES WITH ACTIVE TENDONS

SUMMARY

In this study, active tendons with Proportional Integral Derivation type controllers were applied to a SDOF and a MDOF building model. First, physical models of buildings were constituted with virtual springs, dampers and rigid masses. After this stage, potential, kinetic and damping energy of the systems were defined. Equations of motion of systems were obtained using the Lagrange Equations.

Matlab Simulink was utilized to obtain the block diagrams for the equations of motion. P-action is introduced for increasing the speed of response. D-action is introduced for damping purposes. I-action is introduced for obtaining a desired steady-state response. Parameters for these actions were found by using trial method.

Duzce Earthquake (1999) was chosen to apply as an input of systems. This earthquake was a stroke type. This earthquake's different records such as Bolu, Sakarya and Istanbul were examined. Bolu is near to the main fault and the others far from it. Also, Erzincan Earthquake (1992) was chosen because of its interesting acceleration data. Erzincan record of this earthquake was examined. In this situation, near and far fault effect was also examined.

After earthquake acceleration data were applied to the system, building parameters such as displacements, velocities, accelerations and transfer functions were analyzed for all degrees of freedom. Comparisons on displacement vs. time, velocity vs. time, acceleration vs. time and transfer function (Db) vs. frequency (Hz) were made for uncontrolled and controlled buildings. Also, various combinations of the tendons were examined. The results show that the method seems feasible.

Keywords: Active Tendons, Proportional Integral Derivation Type Controllers, SDOF, MDOF, Earthquake, Building

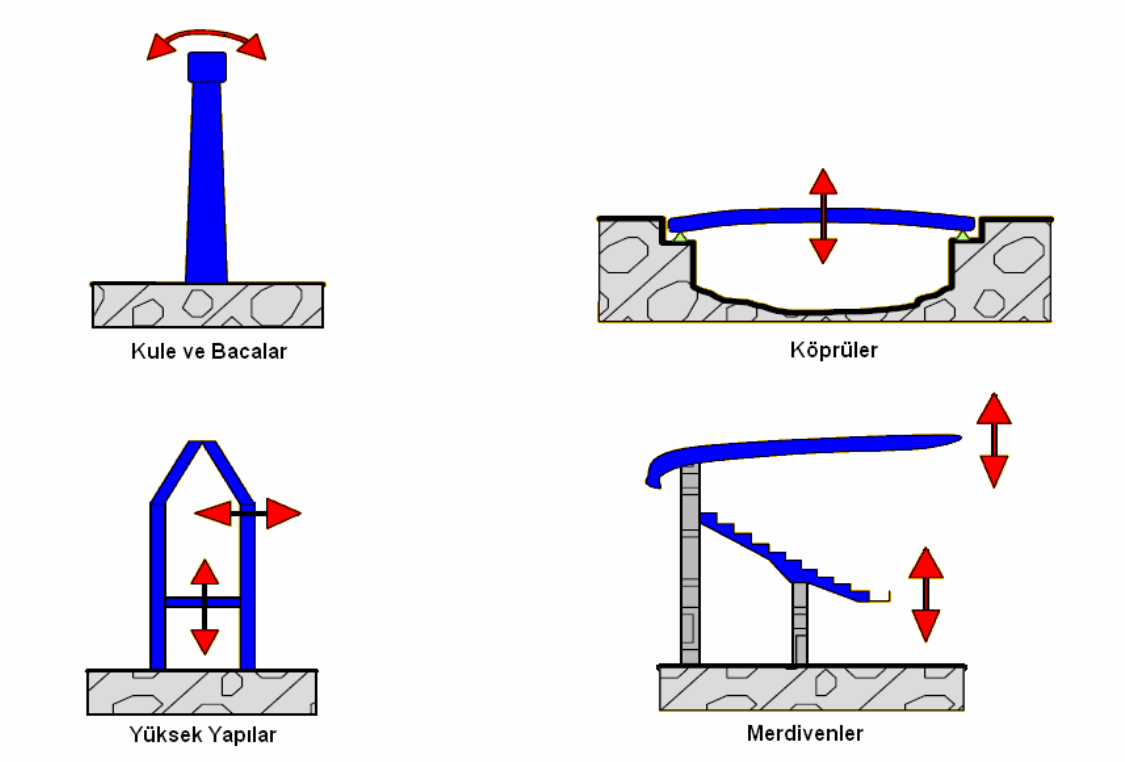
BÖLÜM 1: GİRİŞ

Bazı istenmeyen dış etkilerden kaynaklanan dinamik etkileri minimuma indirmek için çeşitli kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Teknoloji ve bilgisayarların gelişimi ile birlikte kontrol sistemleri daha kolay uygulanır bir hale gelmiştir. Kontrol sistemleri, yapılar dahil olmak üzere birçok mekanik sistemde uygulanmaktadır.

Günümüzde büyük kentlerde, insanların ihtiyaçlarını karşılamaları için binaların yükseklikleri artmış ve kolay ulaşım için uzun köprüler inşa edilmiştir. Özellikle deprem olmak üzere çeşitli etkenler, bu yapılarda kontrol sistemlerinin gerekli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu yapıların sadece güvenli ve güvenilir olması yetersiz olmaktadır. Yapılar, deprem ve güçlü rüzgar etkisi altında daha az titreşime maruz kalmalıdır.

Genel olarak, aktif ve pasif kontrol sistemleri olmak üzere iki tür kontrol sistemi olmasına rağmen yarı aktif ve karışık (hybrid) sistemler de bulunmaktadır. Aktif kontrol sistemleri oldukça az binaya uygulanırken, pasif kontrol sistemleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinin kullanımı ve bakımı kolaydır ama limitli etkisi vardır. Bu sistemler sadece yeni binalara yapılmakla kalmayıp, mevcut yapılara da eklenmektedir.

Bu çalışmada aktif tendon kontrolü hem tek serbestlik dereceli, hem de üç serbestlik dereceli sistem için uygulanmıştır. Düzce(1999) depreminin üç ayrı ivme kaydı ve Erzincan(1992) depreminin Erzincan ivme kaydı dış etki olarak binaya uygulanmıştır. Bu durumda yakın ve uzak fay etkisi de incelenmiştir. Farklı davranış gösteren depremlerde kontrol sisteminin tepkisi incelenmiştir. Kontrol edilen binalar, kontrolsüz halleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.1: Titreşime hassas yapılar [1]

Chung, Reinhorn ve Soong, 1988 yılında aktif tendon kontrolü içeren tek serbestlik dereceli model bir bina üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. [2] 1989 yılında ise aynı kişiler, Lin ile beraber aktif tendon kontrolü içeren üç serbestlik dereceli bina modeli üzerinde deneysel çalışmışlardır. [3] Betti ve Panariello (1994), iki mesnedi farklı deplasman yapan bir yapı için aktif tendon kontrolünü ele almışlardır. [4]

1.1: Titreşim

Verilen bir doğrultuda yönünü bir defadan fazla değiştiren harekete, titreşim hareketi denir. Hareketli, belirlenen bir konumdan aynı hareket koşullarında eş zamanlı aralıklarda yeniden geçiyorsa, titreşime harmonik titreşim denir; verilen konumdan farklı zaman aralıklarında geçiyorsa harmonik olmayan titreşim denir. [5]

Bir dinamik sistemde, titreşim hareketleri zaman ilerledikçe sönümleniyorsa sistem kararlıdır. Titreşim hareketi, sönümlenmeden devam ediyorsa sistem yarı kararlı veya zaman içinde artıyorsa, sistem kararsızdır.

BÖLÜM 2: SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL

Otomatik kontrol sistemleri insan iradesi dışında, doğa yasalarına uygun olarak gerçekleşir. İnsanların herhangi bir katkısı olmaksızın gerçekleşen kontrollere doğal kontrol denilir. İnsan düşüncesiyle oluşturulan kontrollere yapay kontrol denilir.

Doğal kontrol sistemi genel olarak mühendislik dışı bilim dallarını ilgilendirir. Vücutta kan basıncının ayarlanması, kandaki şeker miktarının kontrolü, çevre sıcaklığının değişmesi durumunda vücut sıcaklığının sabit kalması ve refleksler insan vücudunda oluşan doğal kontrol örnekleridir. Doğal kontrollere fizyolojik kontrol sistemleri de denilir ve fizyologların konusudur.

Mühendislik uygulamalarında geliştirilen yapay kontrol sistemleri iki gruba ayrılır. Birinci grupta insan kontrol elemanı olarak, sistem denetim ve kumandasını üstlenmiş olabilir. Bu gruba el ile kumandalı kontrol sistemi denir ve ilkel bir sistemdir. Diğer sistem insan iradesi olmadan, teknolojik elemanlar sayesinde gerçekleştirilen otomatik kontrol sistemleridir.

2.1: Kontrol

Bir sistemdeki verilerin belirlenen büyüklükleri sağlaması veya öngörülen değişimler içinde gerçekleşmesi için yapılan denetimlere kontrol denir.

2.2: Otomatik Kontrol

Bir sistemde kontrol işlemlerinin, kontrol edilmesi gerekli büyüklükleri denetleyen bir sistem tarafından , insan girişimi olmadan gerçekleştirilmesine denir. Sistemin amacı belirlenir ve bu amacın gerçekleşmesi sırasında, bozucu etkenlerden dolayı oluşacak sapmaları denetleyip sönümleyecek, yeni bir düzen sisteme ilave edilir.

Otomatik kontrol sistemlerinin amaç ve faydaları aşağıdaki maddelerde açıklanmıştır.

1) İnsanlar tekrarlanan monoton işlerden uzaklaşıp, zamanını yetenek, bilgi ve deneyimlerinin gerekli olduğu alanlarda kullanmıştır.

2) Sanayide kullanılan bazı tezgahlarda ve özellikle seri imalat düzeninde gerekli kontroller insan iradesiyle gerçekleşemez. Ani olarak haber alma, çok kısa süre içinde ve hassas seviyelerde düzeltmeler, insan tarafından gerçekleştirilemez. Bazı büyük güç gerektiren kontrollerde, insan gücü yetersiz kalır. Benzer olarak, insan gücünün yapılara da hiçbir etkisi olamaz.

3) Otomatik kontrollü aletler, yüksek hassasiyette imalat yaparken, önemli zaman, enerji ve madde tasarrufu yapmaktadır. Bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılması, otomatik kumandalı sistemlerde büyük kolaylık sağlamıştır.

Bir otomatik kontrol sisteminden beklenen özellikler aşağıda belirtilmiştir.

1) Kararlı çalışma: Sistem, bozucu etkenler yüzünden referans değerden uzaklaştığında, sürekli durum değerine kararlı bir geçiş yapabilmektedir. İstenen sistem çıkışı parametrik ise, her parametrik değer için sistem, kararlılık özelliği gösterebilmektedir.

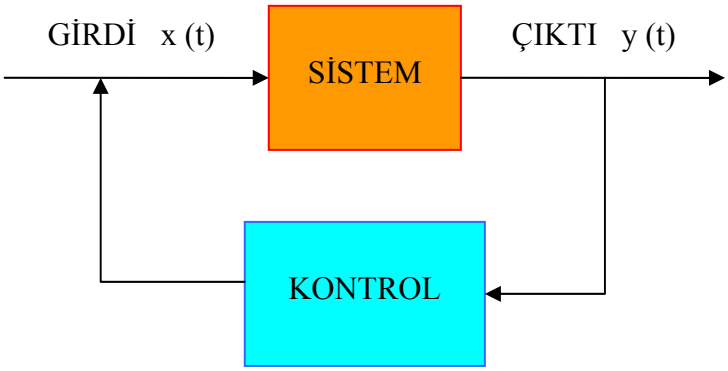
2) Hassasiyet : Sistem çıkışında elde edilen fizik büyüklükler ile referans değerlerin arasındaki farkın sıfır olması halinde, hassasiyet tamdır. Bozucu etkenler zamana bağlı iken, hata miktarı da zamana bağlı kalır. Bu yüzden hata miktarının belirli bir sınır içinde kalması amaçlanır. Hata sınır bölgesi ne kadar darsa, sistemin hassasiyeti o kadar yüksektir.

3) Hızlı cevap: Sistem çıkışında referans değerler, bozucu etkenler yüzünden, elde edilemediğinden, sistem en kısa zamanda daimi durum haline geçebilmelidir.

2.3 : Sistem kavramı

Belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere, aralarında ilişkili ve etkileşimli elemanlar kümesine sistem denir. Bir sistem elemanlarıyla sınırları içinde bir bütün

oluşturur. Bu sınırın dışına, sistemin çevresi denilir. Sistem çevresinden etki alır ve onu etkiler.



Şekil 2.1: Sistem Kavramı

Çeşitli alanlarla ilgili sistemler vardır. Bunlar biyolojik, fizyolojik, sosyo-ekonomik ve mühendislik sistemleridir.

Mühendislik sistemleri, insan yapısı olan elemanlardan meydana gelen teknolojik sistemlerdir. Bu sistemlerde, teknolojik kontrol sayesiyle, üretimin istenen şartlarda ekonomik olarak yapılması sağlanırken, çalışma sırasında doğabilecek tehlikelerde önlenir.

2.3.a : Transfer fonksiyonu

Çıkış fonksiyonunun Laplace Dönüşümünün, giriş fonksiyonunun Laplace Dönüşümüne oranına transfer fonksiyonu adı verilir. Birimsiz bir fonksiyondur ama on tabanında logaritmasının yirmi katına dB adı verilir.

2.4 : Kontrol sistemi

Bir sistemin çıkısındaki büyüklükleri, çıkıştaki davranışları, bozucu değişkenlerin etkisine rağmen, öngörülen değerlerde tutmak üzere kurulan sisteme kontrol sistemi denir. Kontrol sistemi, asıl sisteme ilave edilir ve onunla bir bütün oluşturur ve otomatik kontrollü sistem oluşur.

Kurulu teknolojik bir sistemin çalışması sırasında, sistemin dışında kalan, sadece sistemi denetleyen ve gereken kumandaları yapan elemanlar kümesine kontrol mekanizması denir. Bu sayede çalışan bir sistemle ilgili, öngörülen büyüklükler, bozucu etkilere karşı korunmuş olur. Bu fizik büyüklüklere kontrol büyüklükleri denir.

Kontrol sisteminde ölçme, karşılaştırma ve kumanda işlemleri gerçekleşir.

Ölçme ile sistem değerleri gözetim altına alınmış olur. Sistem çıkışının fiziksel büyüklüklerinin belirlenmesini sağlayan ölçme aletleri kullanılır. Fizik büyüklükler ya doğrudan veya dolaylı olarak ölçülebilir. Elde edilen ölçü değerleri aletlerin hassasiyetine bağlıdır.

Ölçülen büyüklüklerin, asıl elde edilmesi düşünülen büyüklüklerle karşılaştırılması sonucunda hata miktarı belirlenir.

Belirlenen hatanın düzeltilmesi için, sistem girişine etki ederek değişimi sağlayan elemanlar vardır. Kumanda devresinde kullanılan elemanların, aldıkları etkileri sistem girişine iletebilmeleri için, uyum içinde çalışmaları gerekir. Gereğinde bu elemanlar arasında etki yükseltici yardımcı elemanlar da kullanılır.

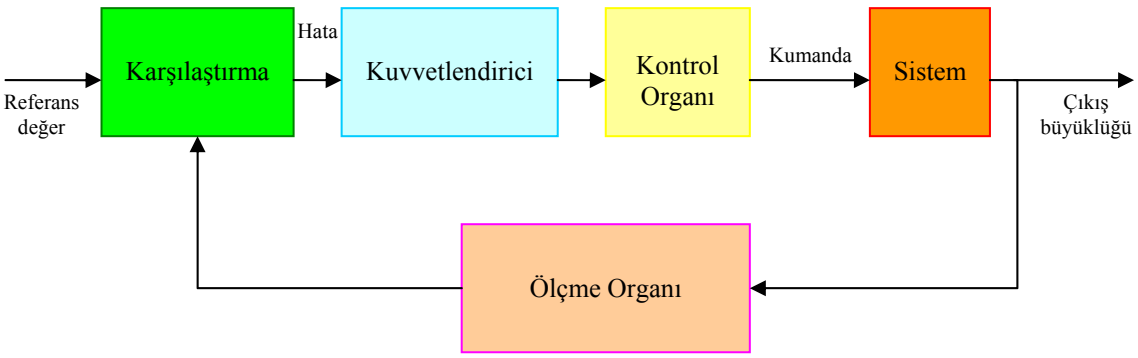
LQR (İkinci dereceden doğrusal düzenleyici), Kayan Kipli ve PID (Orantı+İntegral+Türev) tipi kontrolcüler, mekanizmalar ve binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4.a : Açık çevrimli kontrol sistemi

Bir otomatik kontrollü sistemde, sistem çıkışından elde edilen fizik büyüklüklerin, sistem girişine etkileri olmuyorsa, bu tür sistemlere açık çevrimli kontrol sistemi denilir. Bu tür sistemlere örnek olarak çeşitli buzdolapları ve yüksek binalarda kullanılan hidrofor sistemleri gösterilebilir.

2.4.b : Kapalı çevrimli kontrol sistemi

Kapalı çevrimli kontrol sisteminde, sistem çıkışında elde edilen büyüklükler, sürekli olarak ölçülüp, referans değerle karşılaştırılıp (±) hata miktarı belirlenir. Bu farkı sönümlemek üzere, sistem girişine gerekli etki uygulanır. Böylece, bu sistemde, sistem çıkışı büyüklüğü, sistem girişini ara elemanlar üzerinden, etkisi altına almış bulunur. Kapalı çevrimli bir otomatik kontrol sisteminde blok diyagramı şekil 2.2'de gösterilmiştir.



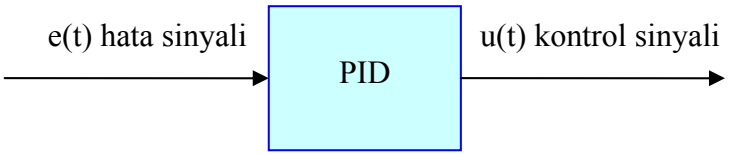
Şekil 2.2: Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi [6]

Kapalı devre otomatik – şamandıralı hidrolik devre ve otomatik kontrollü ısıtma sistemi kapalı çevrimli kontrol sistemine örnek olarak gösterilebilir.

2.5 : PID (Orantı+İntegral+Türev) tipi kontrolcüler

PID kontrolcü, günümüzde sık kullanılan geri beslemeli 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 lineer bir kontrolcüdür. Kontrol sinyali denklem 2.1'de belirtildiği gibidir. Laplace dönüşümü yapıldıktan sonra denklem 2.2 elde edilmiştir.



Şekil 2.3: PID kontrolcünün blok diyagramı

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \tag{2.1}$$

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), T_i (İntegral zamanı) ve T_d (Türev zamanı) kontrolcü katsayılarıdır. PID kontrolcünün performansı bu katsayıların iyi ayarlanmasına bağlıdır.

$$U(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)E(s) \tag{2.2}$$

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 oluşturmasıdır. Türev(D) işlemi, sönümleme kararlılığı için iyidir, fakat yüksek frekanslarda salınım daha olasıdır.[7]

2.6 : LQR (İkinci dereceden doğrusal düzenleyici) tipi kontrolcüler

Bir dinamik sistem aşağıdaki şekilde düşünülebilir.

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2.3}$$

$$x(t_0) = x_o \tag{2.4}$$

Amaç, T anında x(t)'yi orijin noktasının çok küçük bir komşuluğuna çeken $[t_o,T]$ zaman aralığında tanımlanmış bir u(t) fonksiyonunu bulmaktır.

$$J = \frac{1}{2}\int_0^{\infty}[x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \qquad (2.5)$$

Yukarıdaki amaç fonksiyonunu en aza indirecek bir u(t) değeri bulunması gereklidir. Q, sadece diyagonal terimleri sıfırdan farklı olan bir kare matristir. R matrisi ve Q matrisinin tüm diyagonal değerleri, kontrol enerjisinin sonlu olduğunu göstermek için pozitif değer seçilmelidir. Kolaylık açısından R matrisi, B matrisi boyutunda birim kare matris seçilir.

$$u(t) = R^{-1}B^T Px(t) \qquad (2.6)$$

$$A^T P - PBR^{-1}B^T P + PA + Q = 0 \qquad (2.7)$$

Denklem 2.7 olarak verilen Riccati denkleminden P değeri elde edilir ve 2.6 numaralı denklemden ise optimum u(t) değeri elde edilir. [8,9]

2.7 : Kayan Kipli Kontrolcü

Lineer olmayan bir kontrolcüdür. Amacı, parametre belirsizliklerine (kütle özellikleri ve yüklerdeki belirsizlikler, sürtünme) ve modellenmemiş özelliklere (yapının rezonans şekilleri, ihmal edilen zaman gecikmeleri) karşın etkin bir kontrol sistemi tasarlamasıdır. Yöntem, n. dereceden bir izleme problemini birinci dereceden kararlılık problemine dönüştürmeye dayanır. [9]

BÖLÜM 3: YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ

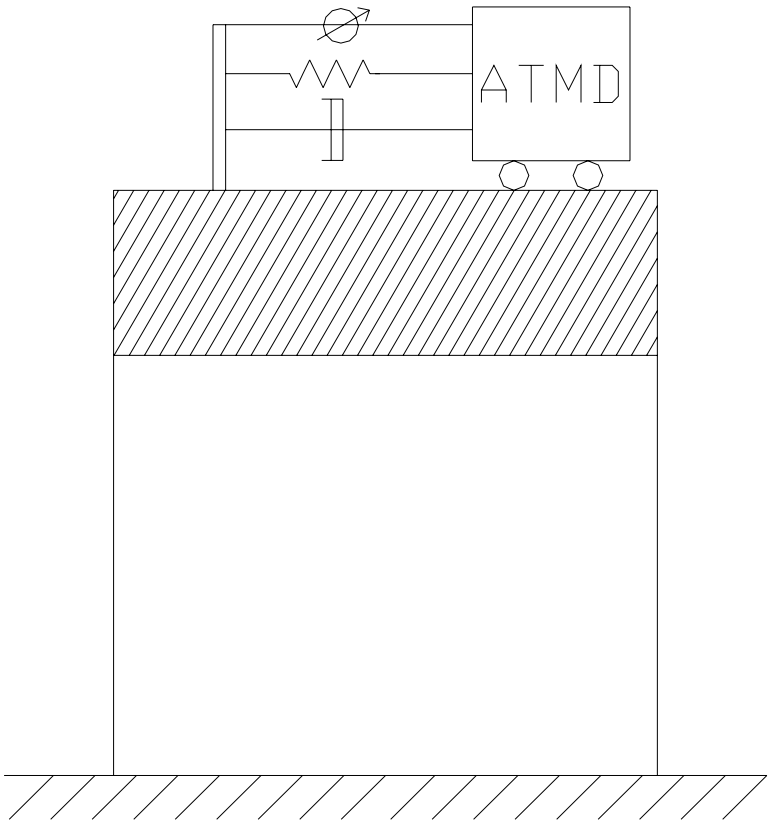
3.1 : Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemlerinde dış güç kaynağı tarafından kontrol edilen aktivatör binaya kuvvet uygular. Bu kuvvet binaya enerji eklemek veya enerjisini sönümlemek için kullanılabilir. Aktif geri beslemeli kontrol sistemlerinde, fiziksel sensörler ile ölçülen sistemin tepkisinin fonksiyonu, sinyal olarak kontrol aktivatörüne gönderilir. Bu sistemler iç ve dış etkiden gelen tepkileri kontrol edebilir. Bu sistemlerde güvenlik ve konfor en önemli unsurdur.

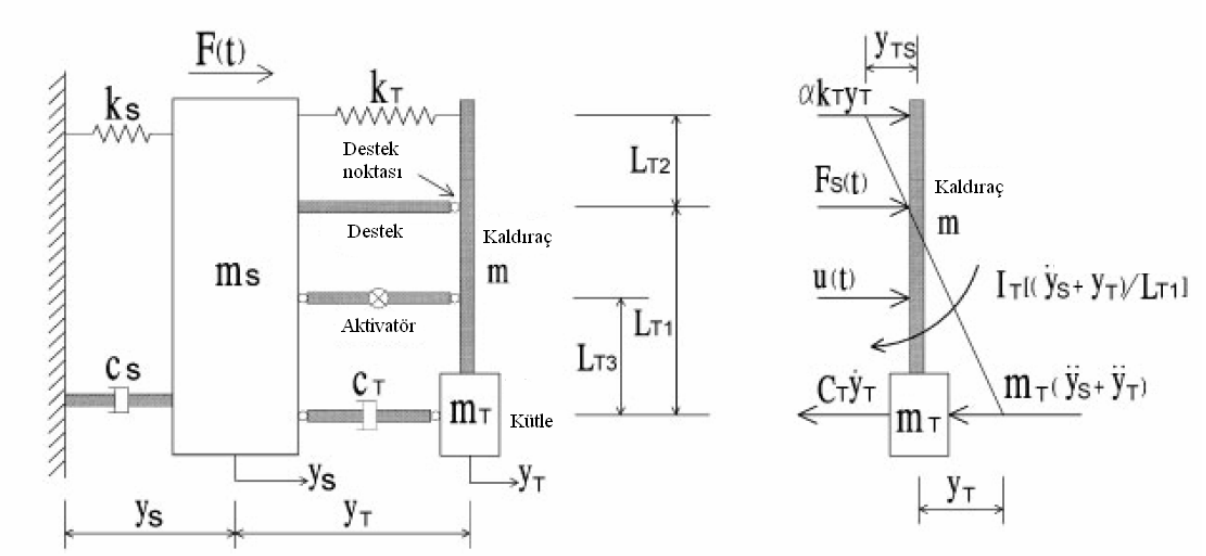
En önemli aktif kontrol sistemleri aktif ayarlı kütle sönümleyicileri (ATMD) ve aktif tendon sistemleridir. Ayrıca binalar, zeminden aktif olarak kontrol edilebilirler. Aktif tendon sistemlere alternatif olarak aktif destek sistemleri bulunmaktadır.

3.1.a : Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (ATMD)

Aktif ayarlı kütle sönümleyicileri(ATMD:Active Tuned Mass Damper) aktivatörlü kütle sönümleyicisinden meydana gelir. Bu sistem yay veya sönümleyici içermez. Fakat fiziksel modellemesi yapılırken sönümleyici ve yay elemanından meydana geliyormuş gibi analiz edilir. Mükemmel titreşim sönümleme kapasitesi olmasına rağmen yüksek binalarda çok miktarda operasyon gücü gerektirir. Yüksek maliyeti ve masrafından dolayı günümüzde sadece önemli yüksek binalarda kullanılabilmektedir. Kaldıraç (level) seklinde aktif kütle sönümleyicileri de vardır.



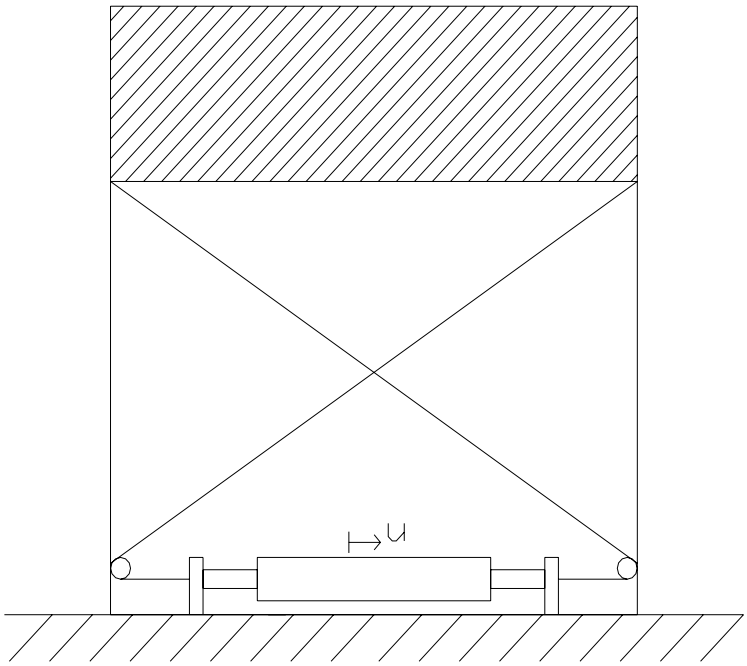
Şekil **3.1:** Aktif ayarlı kütle sönümleyicili sistem



Şekil **3.2:** Kaldıraç tipi aktif ayarlı kütle sönümleyici [10]

3.1.b : Aktif Tendonlar

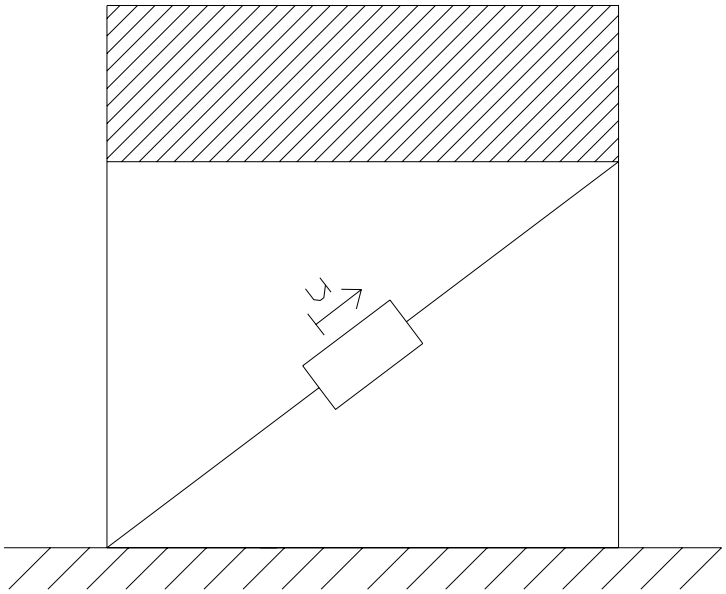
Aktif tendon kontrolü dört öngerilmeli kablo, iki aktivatör ve kontrol elemanından meydana gelir. Bu kabloların ikisi çapraz olarak aktivatöre bağlı şekilde binanın bir yüzünde bulunurken, diğer ikisi ise diğer yüzde bulunur. Aktivatörler tarafından verilen deplasmanla, kablolardaki gerilme kuvvetlerinin değişmesi sağlanır ve bu kuvvet değişimlerinin yatay bileşenlerinin katlara etkisi ile sistemin serbestliklerinin kontrolü sağlanmış olur. Binanın iki yatay yönde de kontrol edilmesi isteniyor ise, kat başına sekiz kablo ve dört aktivatöre ihtiyaç vardır.



Şekil 3.3: Aktif tendon kontrollü sistem

3.1.c : Aktif destekler (brace)

Çapraz olarak binaya yerleştirilen destek, aktivatör ile verilen kuvveti katlara iletir. Tendonlara göre uygulaması daha zordur.

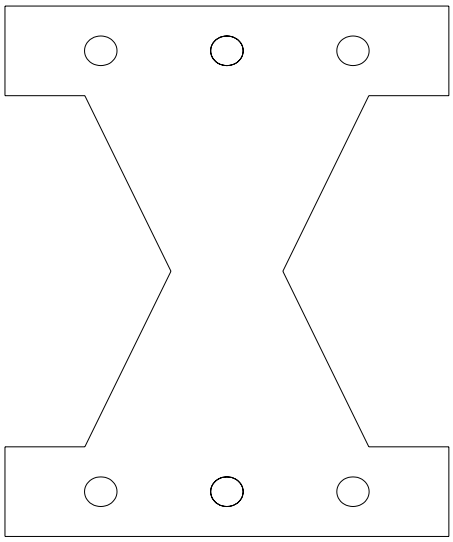


Şekil 3.4: Aktif destek kontrollü sistem

3.2 : Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemleri dış güç kaynağı gerektirmez. Bu sistemler mekanik kuvvetler ile binayı kontrol altına alır. Pasif kontrol, binanın dizaynına ve binaya eklenen viskoelastik malzemelere bağlıdır.

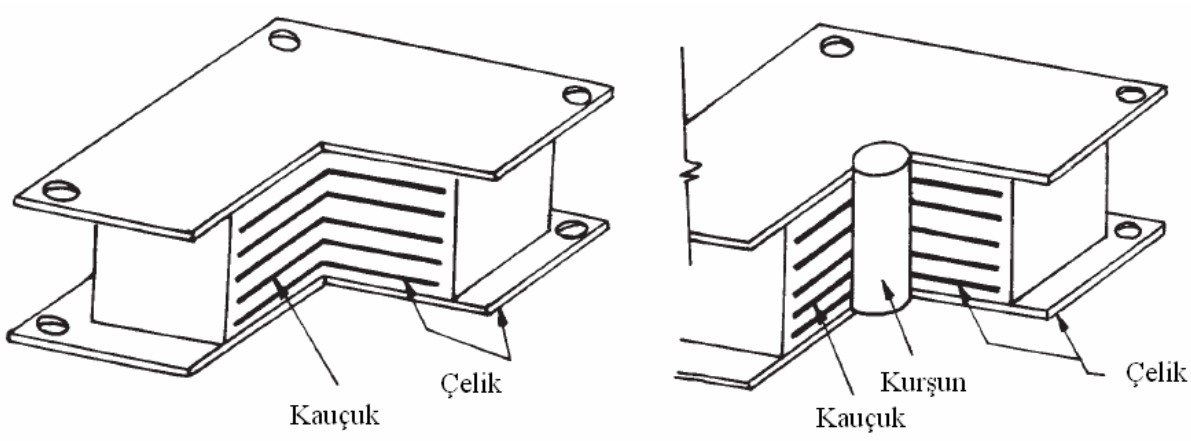
Eğilmeli çelik sönümleyiciler elastik olmayan deformasyon yapması sonucunda enerjiyi yutarlar. Deformasyon sonrası yıpranan araçlar daha sonra yenisiyle değiştirilebilir.



Şekil 3.5: Eğilmeli çelik sönümleyiciler

Taban izolasyon sistemleri de günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler yapının temelden ayrılmasını sağlar ve böylelikle zeminin hareketine izin verilmiş olur. Bu durumda dinamik etki sonucunda yapıya gelen ivme azalmış olur. Tabakalı kauçuk mesnetler bu sistemlere örnek gösterilebilir.

Elastik mesnet kullanılarak titreşim izolasyonunu gerçekleştirmek, pasif kontrol sistemlerinin en popüler olanlarından biridir. Kauçuk yaprak ve çelik plakalar içeren elastik mesnet, deprem karşısında iyi sonuç verebilmektedir.



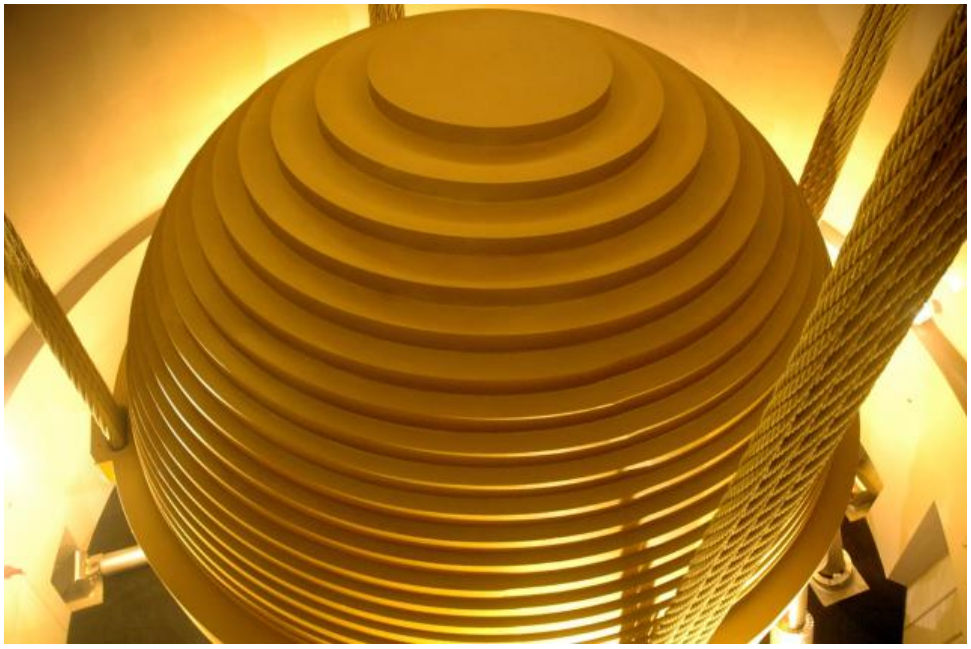
Şekil 3.6: Tabakalı Kauçuk Mesnet [11]

Pasif kütle sönümleyici sistemler, pasif kütle sönümleyicileri (TMD:Passive Tuned Mass Damper) ve ayarlı sıvı sönümleyicileridir. (TLD:Tuned Liquid Damper)

3.2.a : Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi (TMD)

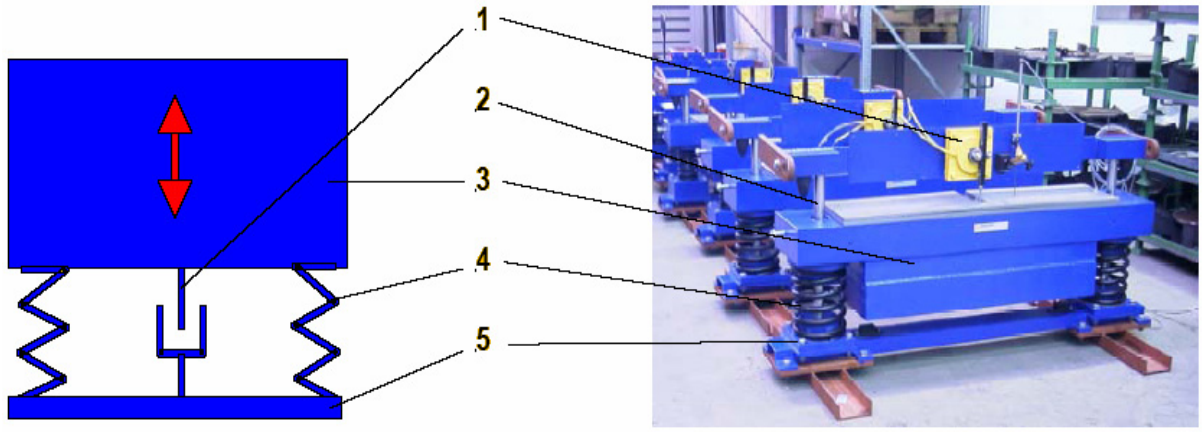
Pasif ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD) genel olarak binaya bağlı bir kütleden, yay ve viskoz sönümleyiciden meydana gelir fakat farklı çeşitleri de bulunmaktadır. Bunlar, sarkaç tipi, pandül tipi ve izolatör üzerinde bulunan sönümleyicilerdir.

1971'den beri bir çok binaya TMD yüklenmiştir. Bunlardan bazıları Citicorp Center (New York City), John Hancock Tower (Boston) ve Fukuoka Tower (Japonya) olarak gösterilebilir. Sarkaç tipi kütle sönümleyicilerine örnek olarak dünyanın en yüksek yapısı olan Taipei 101'deki kütle sönümleyici gösterilebilir. Ayrıca bu sönümleyici dünyadaki en büyük ve en ağır sönümleyicidir. 730 ton ağırlığındaki bu kütle sönümleyicisi, beş kat boyunca uzanmaktadır.



Şekil 3.7: Taipei 101'deki kütle sönümleyicisi [12]

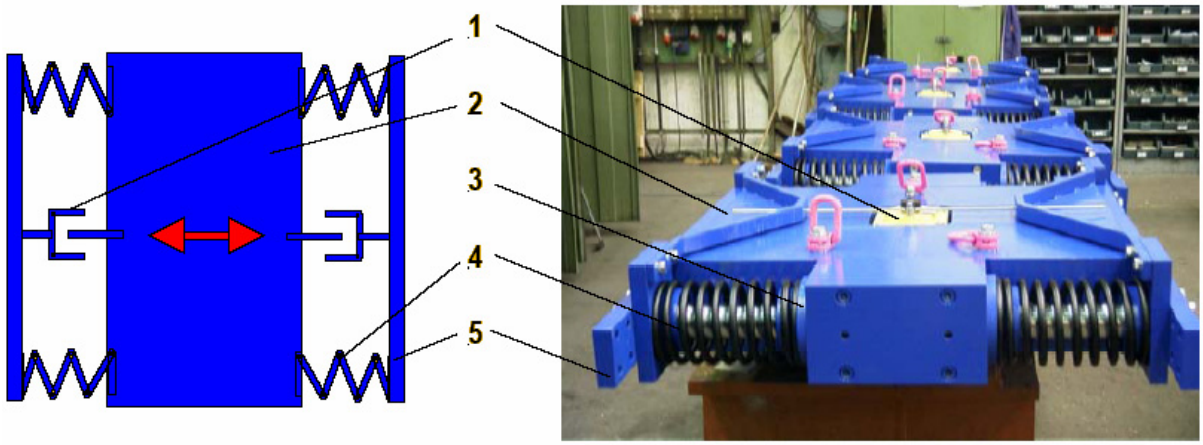
İki tür TMD vardır. Yatay titreşim hareketini sönümlemek için TMD-H ve dikey titreşimi sönümlemek için TMD-V kullanılır. [1]



Şekil 3.8: TMD-V [1]

Şekil 3.7'de düşey sönümleme yapan pasif kütle sönümleyicisi görülmektedir. Elemanları şekildeki numaralara göre aşağıda açıklanmıştır.

1) Ayarlanabilen sönümleme elemanı
2) Kütle kılavuz sistemi
3) Ayarlanabilen çelik kütle
4) Dikey çalışan çelik yaylar
5) Ayarlanabilen zemin plakası



Şekil 3.9: TMD-H [1]

Şekil 3.8'de yatay sönümleme yapan pasif kütle sönümleyicisi görülmektedir. Elemanları şekildeki numaralara göre aşağıda açıklanmıştır.

1) Ayarlanabilen sönümleme elemanı
2) Ayarlanabilen çelik kütle
3) Kütle kılavuz sistemi
4) Yatay çalışan çelik yaylar
5) Ayarlanabilen zemin plakası

Pasif ayarlı kütle sönümleyicileri, binalarda en çok titreşimin olduğu yere konulmalıdır. Bu durumda en iyi verimi sağlayacaktır.

Pasif Kütle Sönümleyicilerinin verimi üç orana göre belirlenir. Bu oranlar kütle, ayar ve sönümleme oranlarıdır. [13]

$f = \omega_t / \omega_o$ (Ayar Oranı) (3.1)

ω_{topt} = Optimum değerler için TMD'ın doğal frekansı

ω_o = Binanın kritik doğal frekansı

ω_t = TMD'ın doğal frekansı

$\mu = m / M$ (Kütle Oranı) (3.2)

m = TMD kütlesi

M = Tek serbestlik dereceli binanın kütlesi veya çok serbestlik dereceli bina için genelleştirilmiş kütle

$[M]$ = Binanın kütle matrisi

$\xi_d = c_t / 2m\omega_t$ (Sönümleme oranı) (3.3)

c_t= TMD'ın sönümleme katsayısı

c_{opt}= TMD'ın optimum sönümleme katsayısı

Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyicilerinin parametrelerinin bulunması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisi Den Hartog metodu olarak bilinmektedir. [13]

[K] = Binanın rijitlik matrisi

k_{opt} = TMD'ın optimum yay sabiti

$f_{opt}=1/(1+\mu)$ (3.4)

$$\xi_{d_{opt}} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}} \quad (3.5)$$

$\omega_{topt} = \sqrt{k_{opt}/m}$ (3.6)

$\omega_o = \sqrt{[K]/[M]}$ (3.7)

$$f_{opt} = \frac{\omega_{t_{opt}}}{\omega_0} = \frac{\sqrt{k_{opt}/m}}{\omega_0} \quad (3.8)$$

$$k_{opt} = f_{opt}^2 \omega_0{}^2 m \quad (3.9)$$

$$\xi_{d_{opt}} = \frac{c_{opt}}{c_t} = \frac{c_{opt}}{2\omega_t m} \quad (3.10)$$

$$c_{opt} = 2\xi_{opt} f_{opt} \omega_0 m \quad (3.11)$$

Kütle oranı bilindiği durumda ayar ve sönüm oranı hesaplanabilir. Kütle oranından TMD'ın kütlesi bulunabilir. Binanın kritik doğal frekansı bulunur ve optimum c_t ve k değerleri bulunur.

3.3 : Karışık (Hybrid) Kontrol Sistemleri

Adından da anlaşılacağına göre hem aktif, hem de pasif sönümleyici özelliği taşıyan sistemlerdir. Aktif kütle sönümleyicileri ile arasındaki tek fark gereken dış enerji miktarıdır. Ayrıca binanın güç kaynağı kesildiği durumda karışık kütle sönümleyicileri, mekanik elemanları yardımıyla işlevine devam eder.

Karışık kütle sönümleyicilerinin (HMD) AC servomotor ve doğrusal-indüksiyon servomotor kullanan türleri vardır. Şekil olarak A ve B olmak üzere iki tipi vardır.(Şekil 3.4) A ve B arasındaki tek fark, yardımcı kütlenin farklı yönde yerleştirilmesidir. Hangi modelin kullanılacağı binanın şekline göre belirlenir. [14]

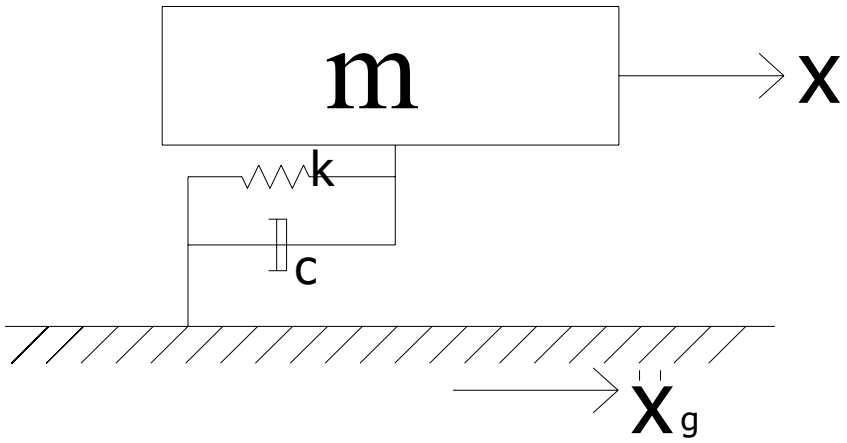
3.4 : Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı aktif kontrol sistemleri, aktif kütle sönümleyicilerinin bir sınıfı olarak ele alınabilir. Aktif kontrol sistemlerine göre daha az büyüklükte enerji gerektirir. Bu sistemler pil ile çalıştırılabilmektedir ve binadaki elektrik kesintilerinden etkilenmez. Aktif kütle sönümleyicilerinde de olduğu gibi mekanik elemanlar içermezler.

BÖLÜM 4: SİSTEMLERİN HAREKET DENKLEMLERİ

4.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemlerinin bulunması

4.1.a : Kontrolsüz halde



Şekil 4.1: Tek serbestlik dereceli sistemin fiziksel modeli

$$q_1 = x \longrightarrow Q_1 = -m\ddot{x}_g \tag{4.1}$$

Kinetik, potansiyel ve sönümleme enerjileri sırasıyla;

$$K = \frac{1}{2} m\dot{x}^2 \tag{4.2}$$

$$P = \frac{1}{2} k(x)^2 \tag{4.3}$$

$$D = \frac{1}{2} c(\dot{x})^2 \tag{4.4}$$

Lagrange denkleminin genel ifadesi:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial K}{\partial q_i}+\frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i}+\frac{\partial P}{\partial q_i}=Q_i \tag{4.5}$$

$q_1 = x \longrightarrow Q_1 = -m\ddot{x}_g$ için;

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}} = m\dot{x} \tag{4.6}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}}\right) = m\ddot{x} \tag{4.7}$$

$$\frac{\partial K}{\partial x} = 0 \tag{4.8}$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = kx \tag{4.9}$$

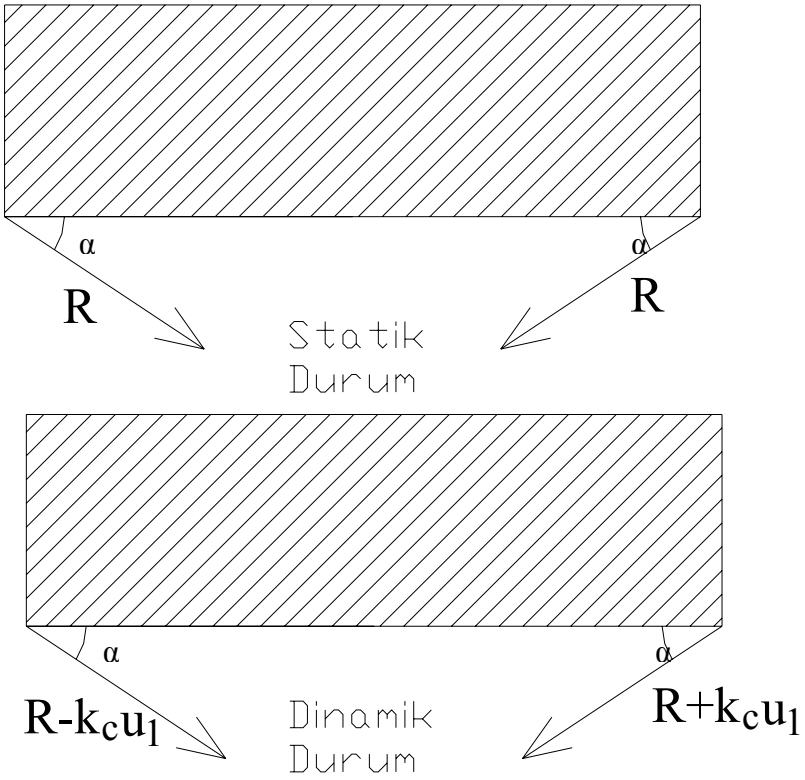
$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}} = c\dot{x} \tag{4.10}$$

Sistemin hareket denklemi;

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \tag{4.11}$$

4.1.b : Aktif tendonlu halde

Statik halde, bir tendonun yapıya etki ettirdiği öngerilme kuvvetini R kadar olduğunu düşünelim. Aktivatör, u_1 kadar deplasman yaptığı zaman tendonlardaki gerilme $R+k_cu_1$ ve $R-k_cu_1$ olarak değişir. Tendonun rijitlik sabiti k_c olarak gösterilmiştir. Dört tendon tarafından kütleye etkiyen kuvvetin yatay bileşeni eksi yönde olup, $4k_cu_1(\cos\alpha)$ büyüklüğündedir.



Şekil 4.2: Tek serbestlik dereceli sistem için tendonlardan gelen kuvvetler

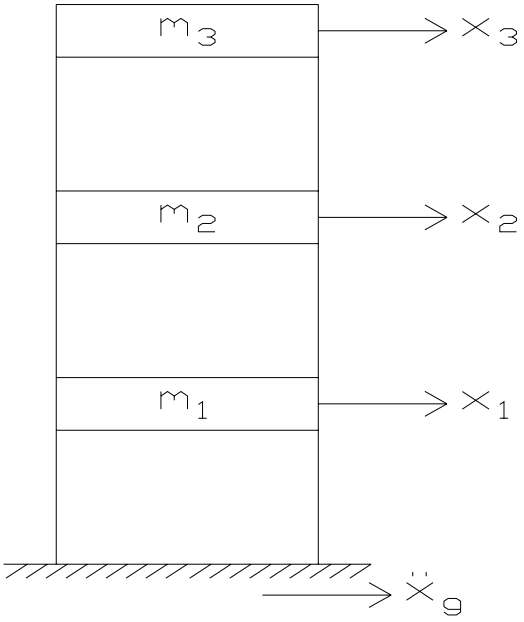
$$q_1 = x \longrightarrow Q_1 = -m\ddot{x}_g - 4k_c u_1 \cos\alpha \tag{4.12}$$

Sistemin hareket denklemi;

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g - 4k_c u_1 \cos\alpha \tag{4.13}$$

4.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin hareket denklemlerinin bulunması

4.2.a : Kontrolsüz halde



Şekil 4.3: Üç serbestlik dereceli sistemin serbestliklerini gösteren model

[M] : Kütle matrisi (3x3)

[K] : Üç yatay deplasmana indirgenmiş rijitlik matrisi (3x3)

[C] : Üç yatay deplasmana indirgenmiş sönüm matrisi (3x3)

$\underline{X}$: Deplasman vektörü (3x1)

$\underline{\dot{X}}$: Hız vektörü (3x1)

$\underline{\ddot{X}}$: İvme vektörü (3x1)

$$\underline{X} = [\, x_1\ x_2\ x_3\ ]^T \tag{4.14}$$

$$\underline{\dot{X}} = [\, \dot{x}_1\ \dot{x}_2\ \dot{x}_3\ ]^T \tag{4.15}$$

$$\underline{\ddot{X}} = [\, \ddot{x}_1\ \ddot{x}_2\ \ddot{x}_3\ ]^T \tag{4.16}$$

$$[1] = [1\ \ 1\ \ 1]^T \tag{4.17}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \tag{4.18}$$

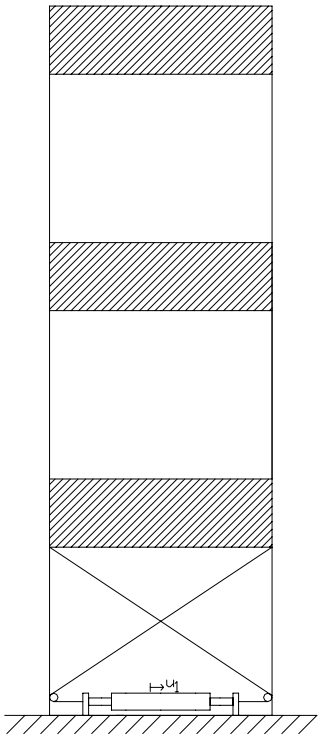
$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \tag{4.19}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \tag{4.20}$$

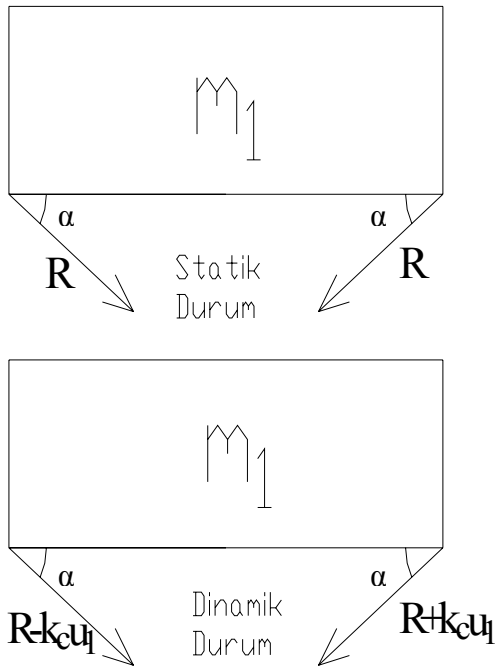
Sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$[M]\underline{\ddot{X}} + [C]\underline{\dot{X}} + [K]\underline{X} = -[M][1]\ddot{x}_g \tag{4.21}$$

4.2.b : Sadece alt katta aktif tendonlar olduğu halde



Şekil 4.4: Üç serbestlik dereceli sistemin tek kat kontrollü modeli

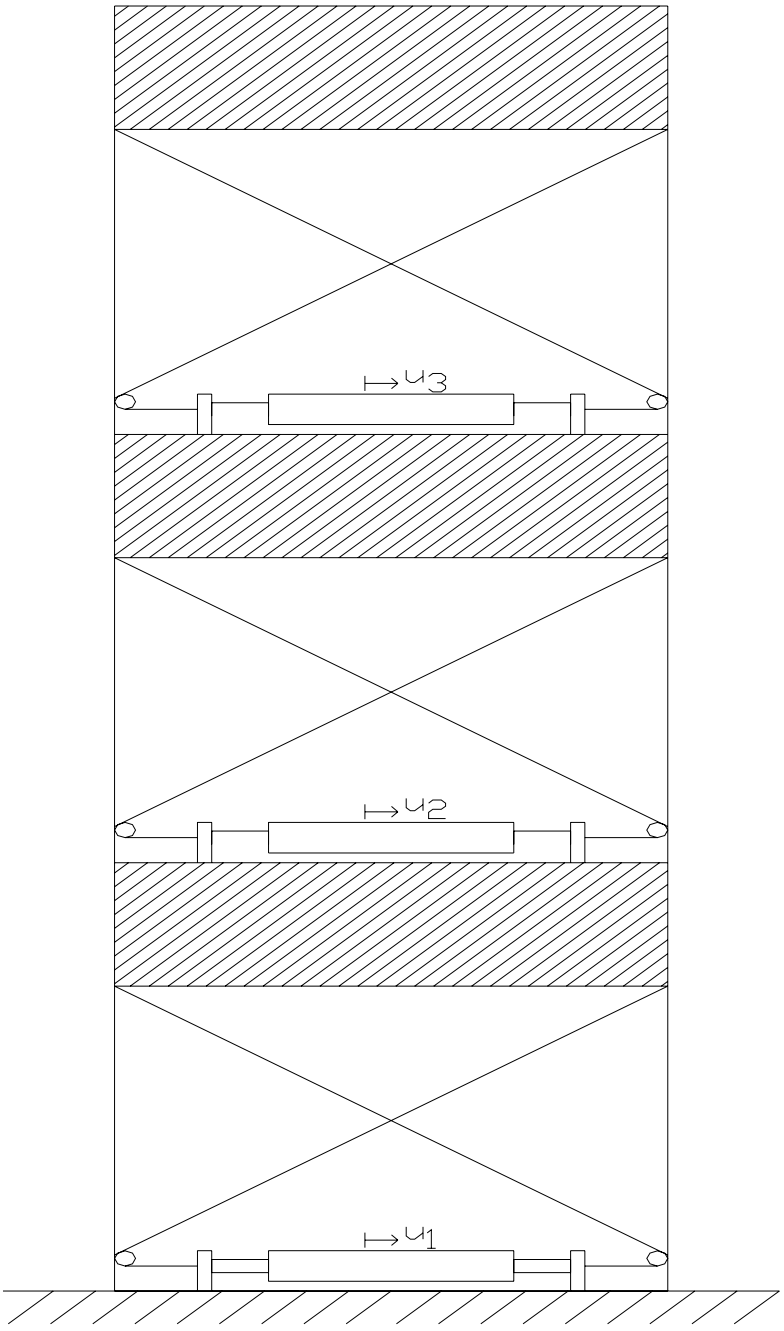


Şekil 4.5: Sadece aşağı katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler

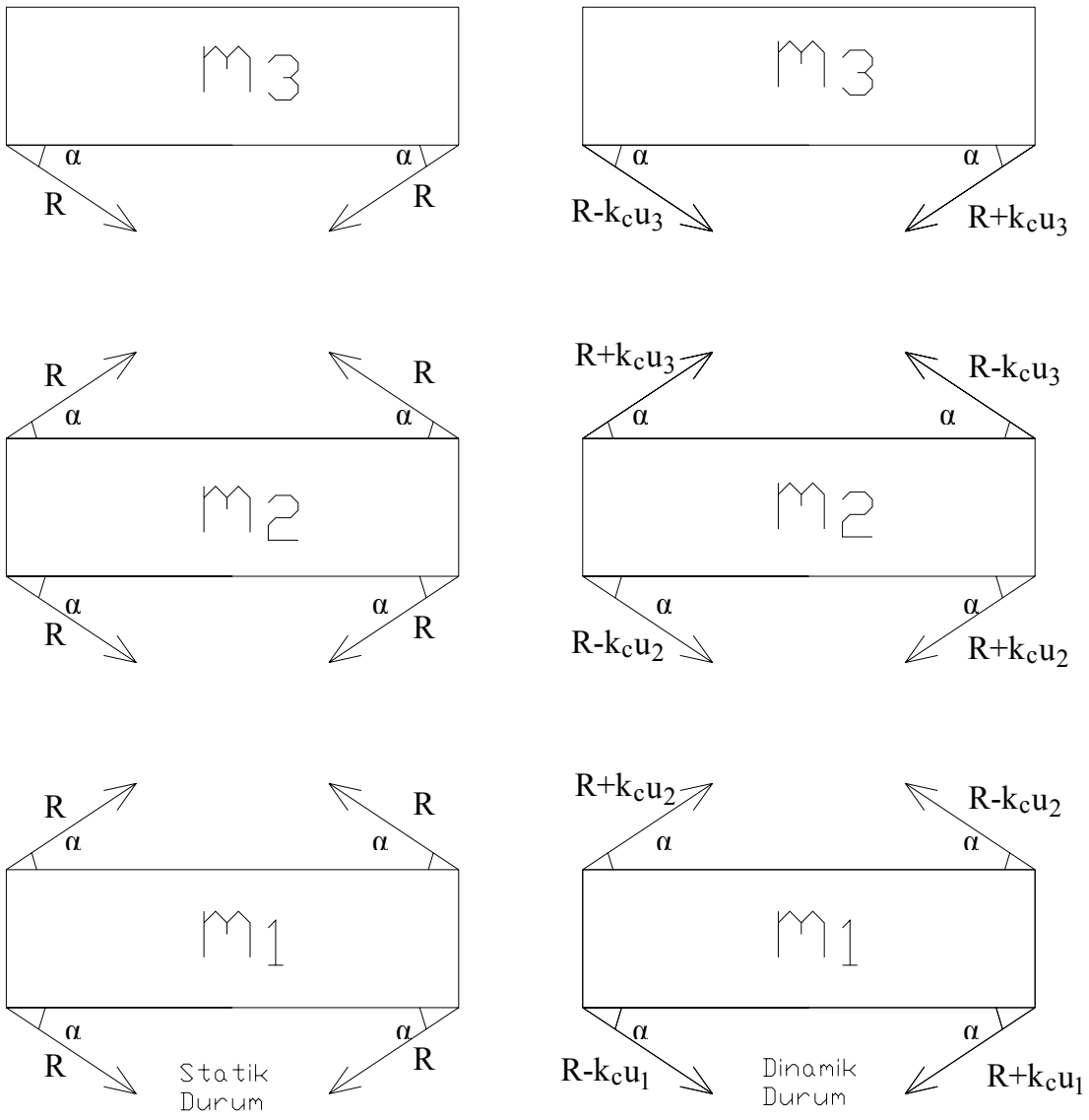
Şekil 4.5 dikkate alınarak, sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$[M]\underline{\ddot{X}} + [C]\underline{\dot{X}} + [K]\underline{X} = -[M][1]\ddot{x}_g - 4k_c \cos\alpha \begin{bmatrix} u_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.22}$$

4.2.c : Tüm katlarda aktif tendonlar olduğu halde



Şekil 4.6: Üç serbestlik dereceli sistemin her kat kontrollü modeli



Şekil 4.7: Her katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler

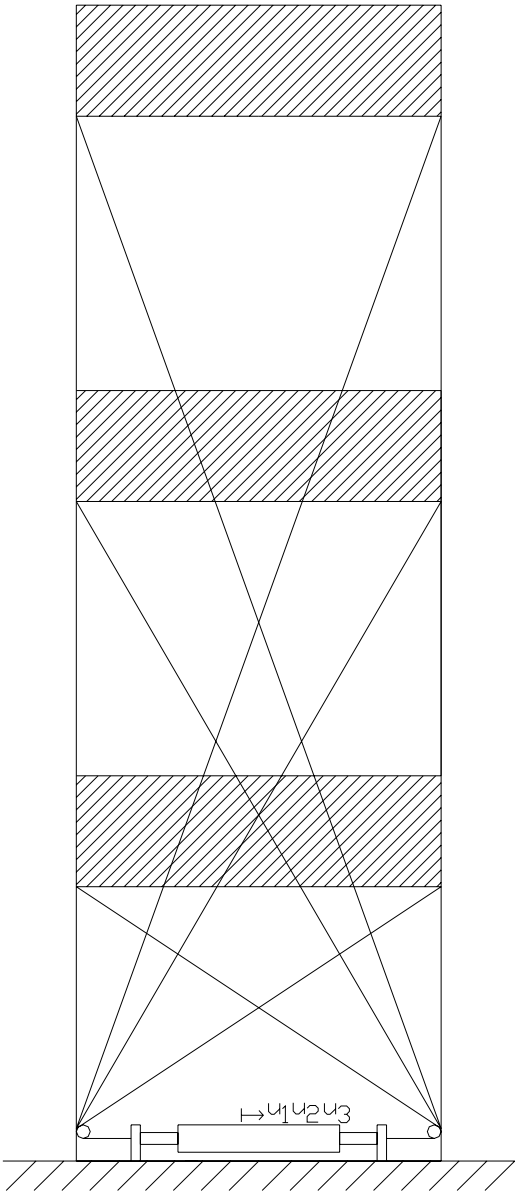
Bu durumda tendon kuvvetlerinin reaksiyonunun da dikkate alınması gerekir. Denklem 4.23'te hareket denklemi verilmiştir.

$$[M]\underline{\ddot{X}} + [C]\underline{\dot{X}} + [K]\underline{X} = -[M][1]\ddot{x}_g + 4k_c \cos\alpha \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \qquad (4.23)$$

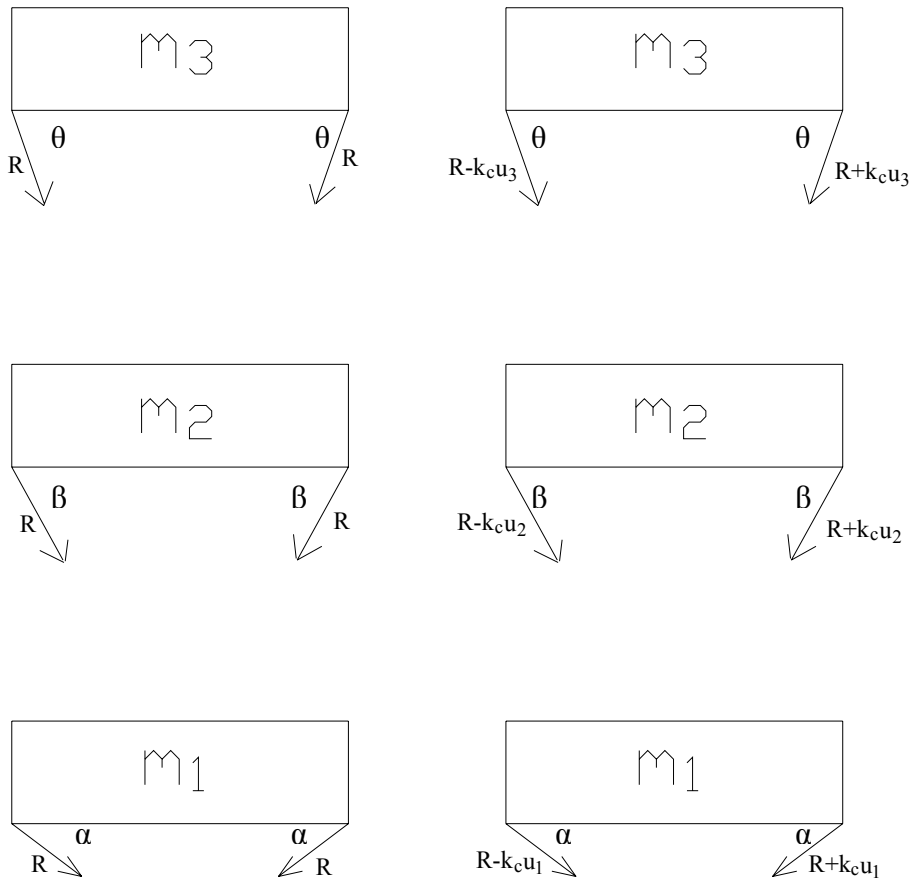
4.2.d : Aşağı kattan tüm katlara uzanan tendonlar olduğu halde

Önceki bölümde açıklanan modele alternatif olarak aşağıdaki model incelenmiştir. Sedarat ve Kosut, bu modeli ve önceki modeli karşılaştırmıştır. [15]

Uzun kabloların kullanılmasından ve aşağı katta üç aktivatör bulunmasından dolayı uygulama açısından zordur. Tüm tepki kuvvetleri zemine iletilmektedir. Buna rağmen kabloların açı değişimi dolayısıyla kosinüs değerleri düştüğü için üst katlarda etkisi azalmaktadır. Sinüs değerleri ise arttığı için, kolonlara gelen yük artmaktadır.



Şekil 4.8: Üç serbestlik dereceli sistemin her kat kontrollü alternatif modeli



Şekil 4.9: Her katta tendonlar olması halinde gelen kuvvetler (Alternatif durum)

Bu durumda hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[M]\underline{\ddot{X}} + [C]\underline{\dot{X}} + [K]\underline{X} = -[M][1]\ddot{x}_g - 4k_c \begin{bmatrix} u_1 \cos\alpha \\ u_2 \cos\beta \\ u_3 \cos\theta \end{bmatrix} \tag{4.24}$$

BÖLÜM 5: SİSTEMLERİN ANALİZİ

Sistemlerinin analizi, Matlab 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.

Zaman cevaplarını ve frekans cevabını almak için iki ayrı blok diyagramı hazırlanmıştır. Tek serbestlik dereceli sistem için blok diyagramları ve m-file dosyaları bu bölümde verilmiş ve açıklanmıştır. Diğer sistemlere ait dosyalar ekler kısmında verilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi olarak Dördüncü Dereceden Runge-Kutta Metodu seçilmiştir. Adım aralığı 1e-3 olarak seçilmiştir.

Dördüncü Dereceden Runge-Kutta Metodu, dört adımdan oluşur. Bilinen bir değerden yola çıkarak, bir sonraki değer bulunur. Q değerleri, dört adımın fonksiyonları ve h, adım olmak üzere değerler aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_{1K} = f(x_{K,} y_K) \tag{5.1}$$

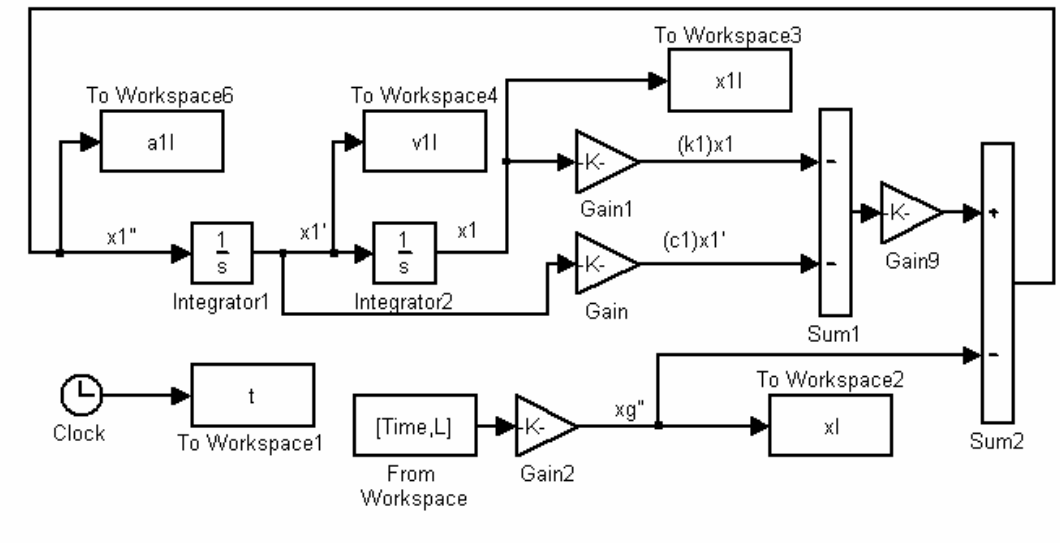
$$Q_{2K} = f(x_K + \frac{h}{2}, y_K + \frac{h}{2} Q_{1K}) \tag{5.2}$$

$$Q_{3K} = f(x_K + \frac{h}{2}, y_K + \frac{h}{2} Q_{2K}) \tag{5.3}$$

$$Q_{4K} = f(x_K + h, y_K + hQ_{1K}) \tag{5.4}$$

$$y_{k+1} = y_k + \frac{h}{6}(Q_{1K} + 2Q_{2K} + 2Q_{3K} + Q_{4K}) \tag{5.5}$$

5.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin blok diyagramı

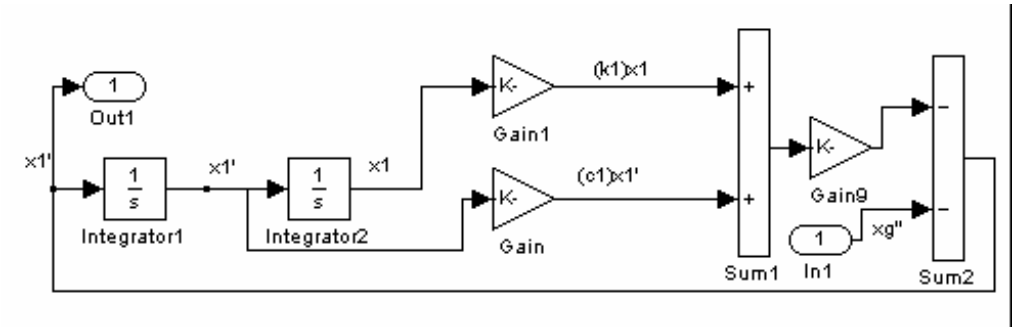


Şekil 5.1: Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin blok diyagramı

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, c_1 ile çarpılmıştır. Aynı şekilde $\dot{x}_1$, k_1 ile çarpılmıştır. $c_1\dot{x}_1$ ve k_1x_1 değerleri eksi işaretli olarak sum bloğu ile toplanmışlardır ve gain bloğu ile $1/m_1$ ile çarpılmıştır.

From Workspace bloğu ile 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 çalışma alanında tanımlanmıştır. To Workspace blokları ile sayısal değerleri elde edilmek istenen değerler çalışma alanına aktarılmıştır.



Şekil 5.2: Kontrolsüz tek serbestlik dereceli modelin frekans cevabı için blok diyagramı

Frekans cevabı için ayrı bir blok diyagramı hazırlanmıştır. Burada fark olarak, zaman içeren tüm bloklar kaldırılmıştır. Sistemin girişine In, çıkışına ise out bloğu bağlanmıştır.

5.2 : PID(Orantı+İntegral+Türev) Kontrolcünün parametrelerinin belirlenmesi

Hata sinyali, kontrol edilmek istenen değerin istenen referans değerden çıkarılmasıyla elde edilir. Birinci serbestlik derecesinin değeri 0 yapılmak istenmiştir ve x_r değeri sıfır alınmıştır.

$$e(t) = x_r - x_1 \tag{5.6}$$

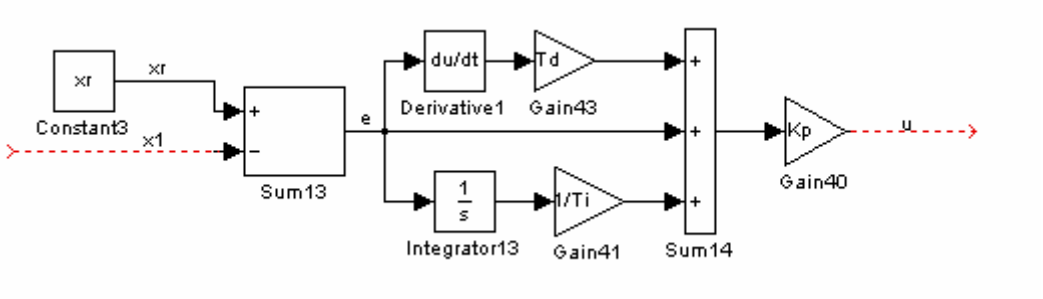
Kontrolcünün parametreleri deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Orantı işleminde K_p değerine mutlak değerce büyük değerlerde verildiğinde, binanın rijitliğinin oldukça arttırdığı gözlenmesinden dolayı bu değer küçük alınmıştır. Türev işleminin deplasmanlarının sönümü üzerinde etkisi olmuştur. İntegral işlemi ise transfer fonksiyonlarının değerlerinin düşmesinde oldukça etkili olmuştur.

Tablo 5.1: PID Kontrolcü Katsayıları (tek serbestlik kontrol edildiği zaman)

K_p	-0.6
T_d	0.6 s
T_i	0.01 s

Her katta tendonlar kullanıldığı zaman, tepki kuvveti de göz önüne alındığı zaman her katta aynı kuvveti etki ettiren tendonlar kullanılamaz. Bundan dolayı en alt kattaki tendonlardan gelen kuvvet, en üst kattakilerin üç katı olması istenmiştir. İkinci kattakiler ise iki kat olarak ayarlamıştır. Onun için K_p değerleri kat sırasına göre 3, 2 ve 1 kat alınmıştır. Tablo 5.1'de verilen K_p değeri bir kat olan kuvvet içindir. Alternatif olarak aşağıdan tüm katların kontrol edildiği sistemde ise yaklaşık olarak tüm katları aynı oranda kontrol etmek için K_p değerleri, uzandığı katların sırasına göre 1,1.4 ve 1.9 kat alınmıştır.

PID kontrolcünün Matlab programındaki blok diyagramı şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 PID Kontrolcünün Matlab Programındaki Blok Diyagramı

5.3 : Sistemlerin sayısal değerleri

5.3.a : Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri

Tablo 5.2: Tek serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri [2]

m_1 (kg)	2924
k_1 (N/m)	1390000
c_1 (Ns/m)	1581
Tendon açısı, α (°)	36
Tendon rijitliği, k_c (N/m)	372100

Yukarıdaki tablodaki değerler, Chung, Reinhorn ve Soong tarafından 1988 yılında yapılan deneysel çalışmadan alınmıştır. [2]

5.3.b : Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri

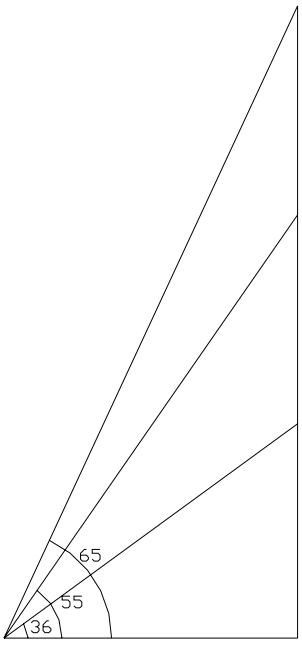
Bu sistemde kullanılan tendon özellikleri, tek serbestlik dereceli sistem ile aynıdır. Üç serbestlik dereceli sistemin sayısal değerleri, Chung, Reinhorn, Lin ve Soong tarafından 1989 yılında yapılan çalışmadan alınmıştır. [M], [K] ve [C] matrisleri aşağıdaki gibidir. [3]

$$[M] = \begin{bmatrix} 981 & 0 & 0 \\ 0 & 981 & 0 \\ 0 & 0 & 981 \end{bmatrix} \text{(kg)} \qquad (5.7)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 2741700 & -1641600 & 369100 \\ -1641600 & 3022200 & -1624800 \\ 369100 & -1624800 & 1333600 \end{bmatrix} \text{(N/m)} \qquad (5.8)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 382.8 & -57.3 & 61.7 \\ -57.3 & 456.9 & -2.6 \\ 61.7 & -2.6 & 437.5 \end{bmatrix} \text{(Ns/m)} \qquad (5.9)$$

Aşağıdan tüm katlara uzanan tendonlu sistemde her katın eşit yükseklikte olması halinde tendonların açıları şekil 5.4'te gösterilmiştir.

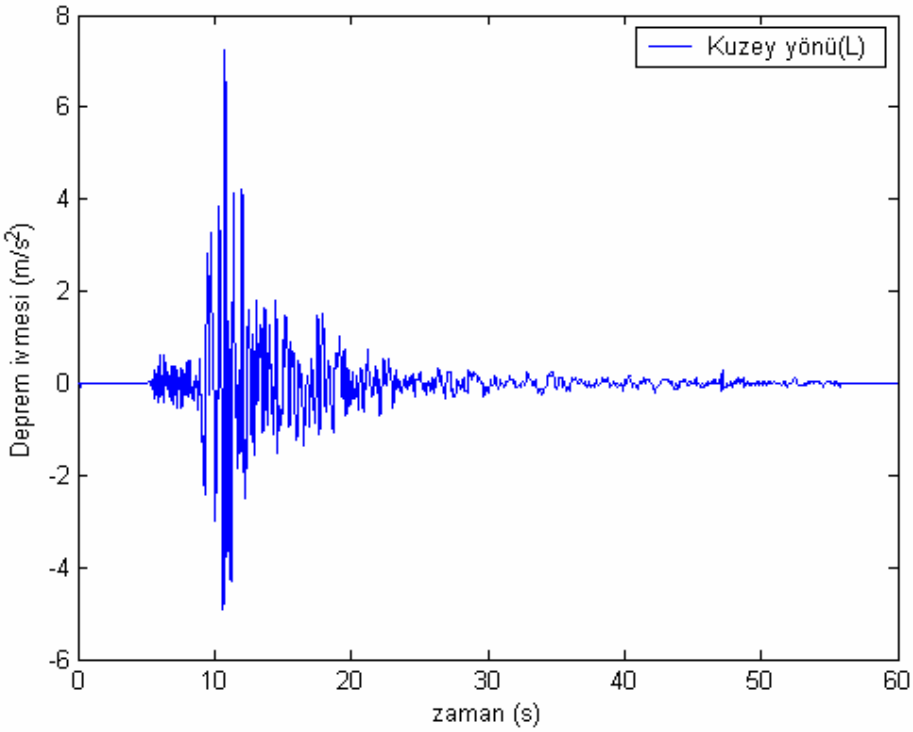


Şekil 5.4 Alternatif durumda tendonların açıları

5.4 : Deprem ivme dataları

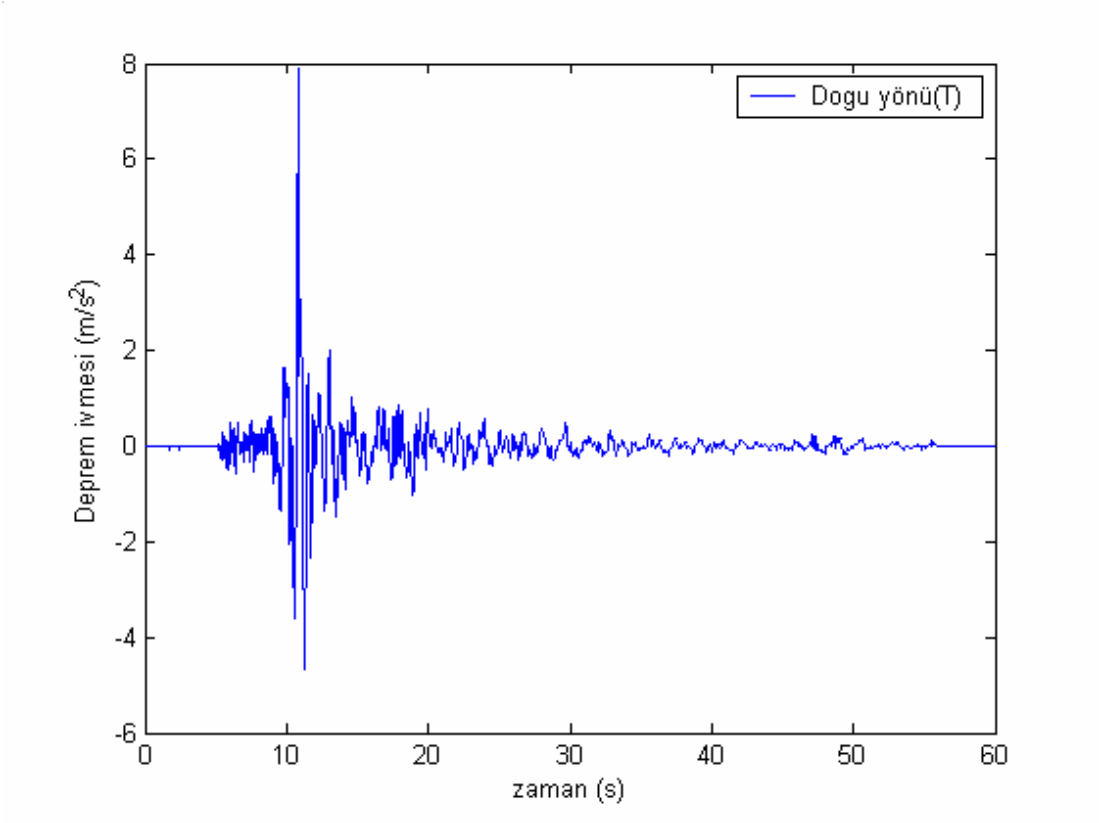
Bu çalışmada Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nin www.deprem.gov.tr internet sitesinde yer alan Düzce(1999) depreminin Bolu, Sakarya ve İstanbul ivme kayıtlarından yararlanılmıştır.[16] Ayrıca Erzincan(1992) depreminin Erzincan ivme kaydı da incelenmiştir. Matlab programında Import Data komutu kullanılarak, deprem ivme dataları matris olarak çalışma alanına aktarılmıştır.

5.4.a : Düzce depremi-Bolu kaydı



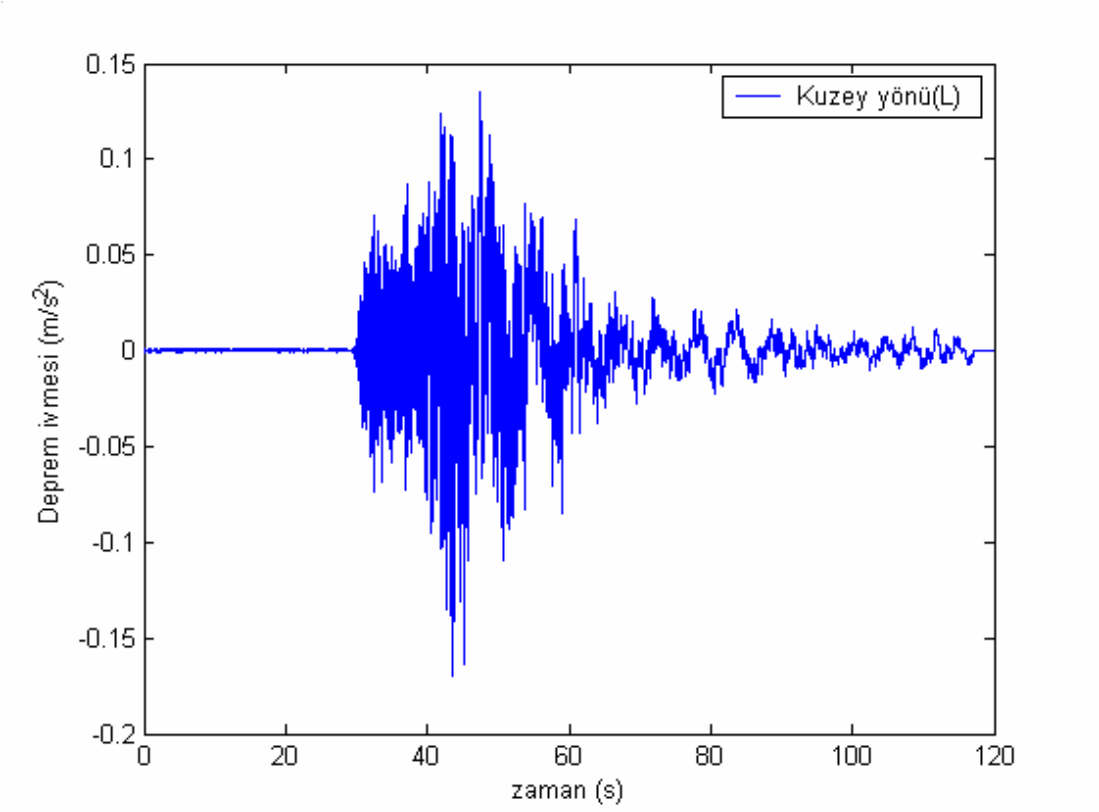
Şekil 5.5 Düzce depreminin Bolu ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi

Maksimum ivme 8 m\s^2 ve doğu yönündedir. Datanın süresi 55.92 saniyedir. Merkez üstüne uzaklığı yaklaşık olarak 50 km'dir.



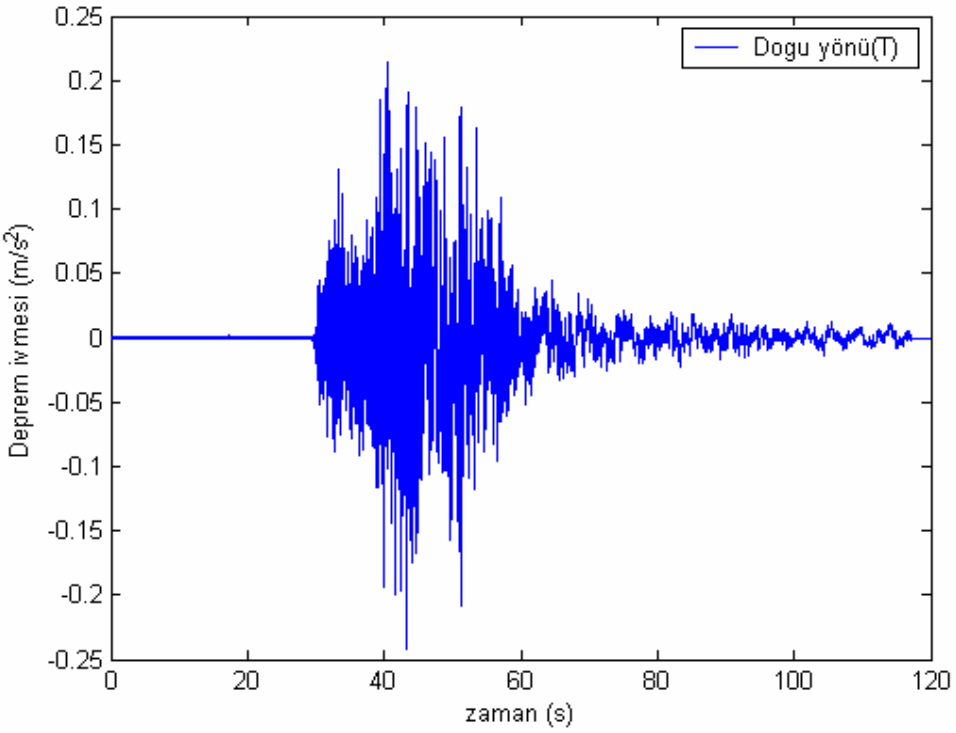
Şekil 5.6 Düzce depreminin Bolu ivme kaydının T (doğu) bileşkesi

5.4.b : Düzce depremi-Sakarya kaydı



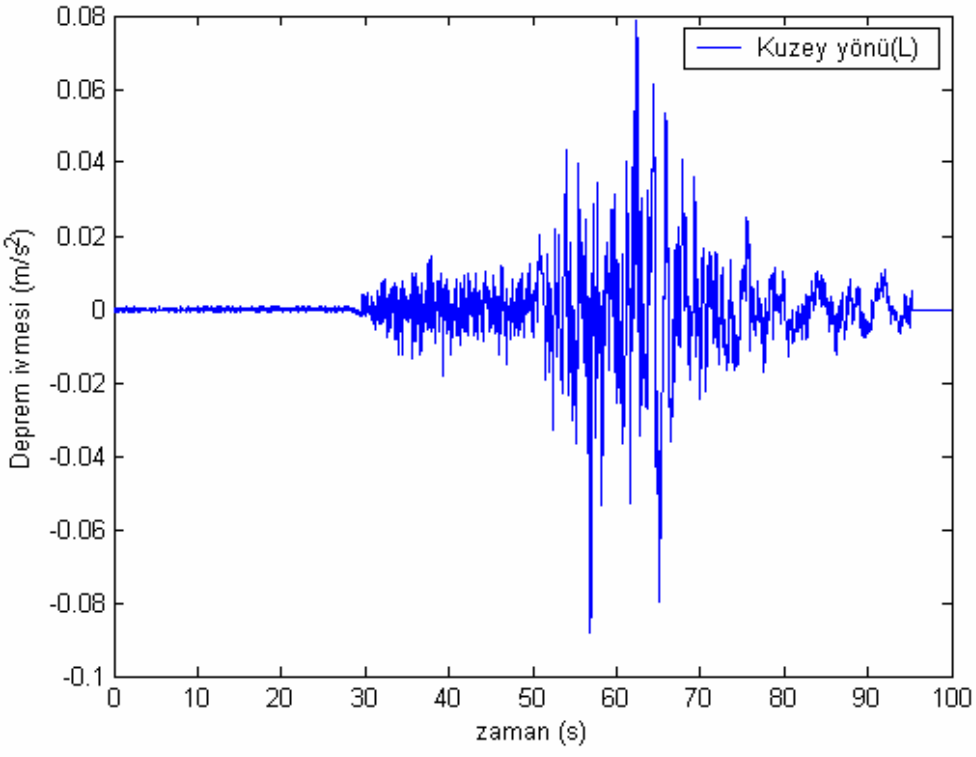
Şekil 5.7 Düzce depreminin Sakarya ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi

Maksimum ivme 0.25 m\s^2 ve batı yönündedir. Zeminin yumuşak olmasından dolayı datanın süresi 117.15 saniyedir. Merkez üstüne uzaklığı yaklaşık olarak 60 km'dir.



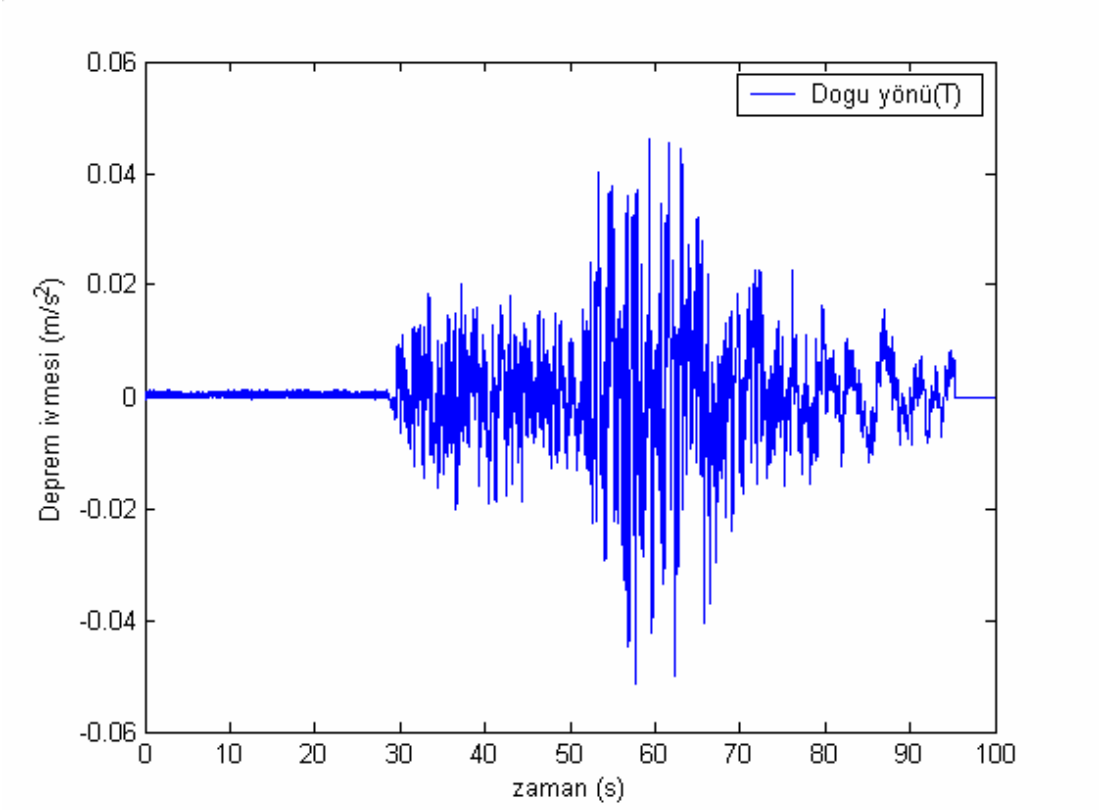
Şekil 5.8 Düzce depreminin Sakarya ivme kaydının T (doğu) bileşkesi

5.4.c : Düzce depremi-İstanbul kaydı



Şekil 5.9 Düzce depreminin İstanbul ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi

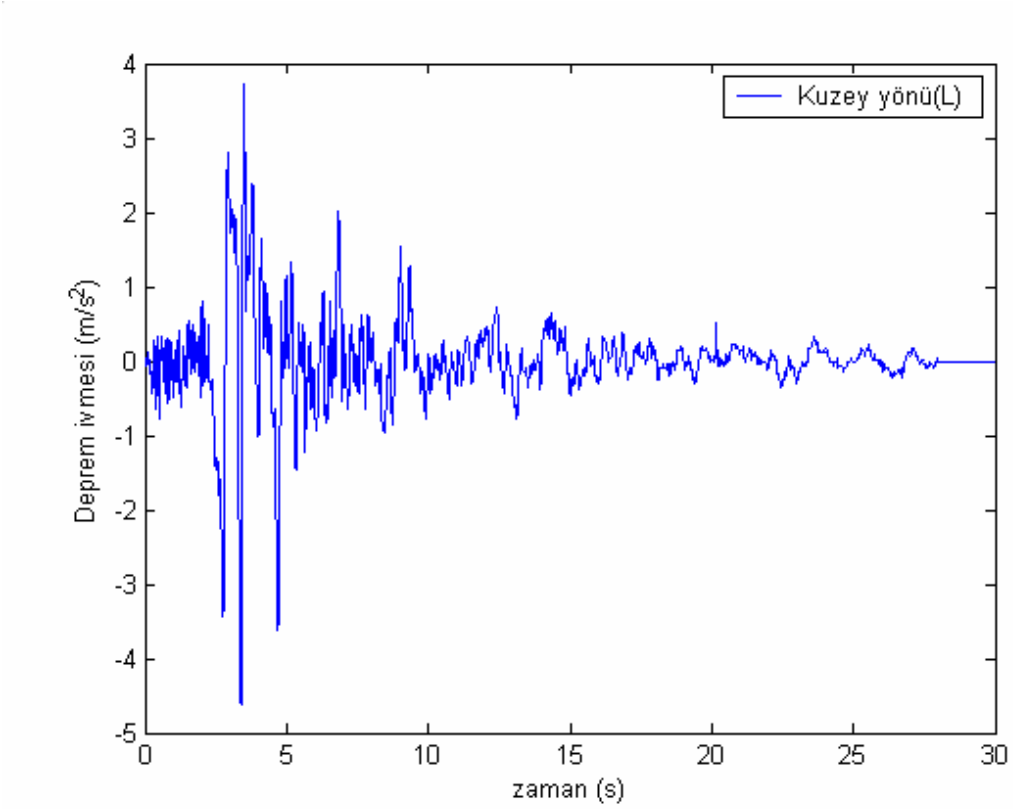
Maksimum ivme 0.09 m\s^2 ve güney yönündedir. Datanın süresi 95.23 saniyedir. Merkez üstüne uzaklığı yaklaşık olarak 195 km'dir.



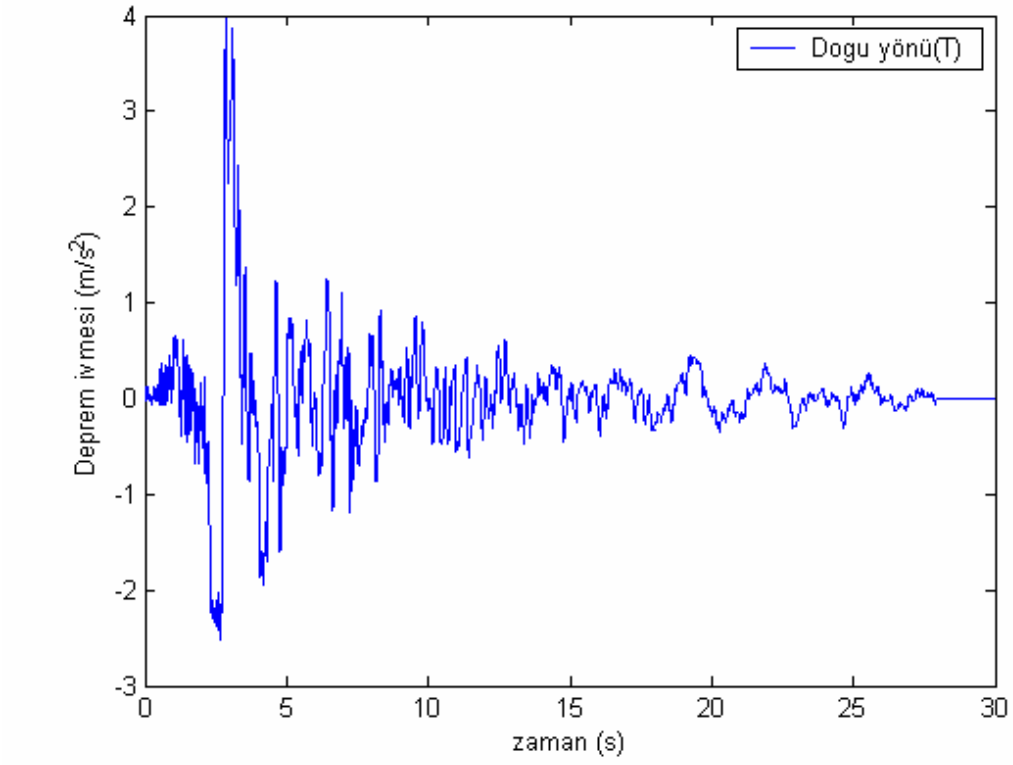
Şekil 5.10 Düzce depreminin İstanbul ivme kaydının T (doğu) bileşkesi

5.4.d : Erzincan depremi-Erzincan kaydı

Maksimum ivme yaklaşık olarak 4.65 m/s^2 ve güney yönündedir. Özellikle doğu – batı yönünde, 2.5 ve 5 saniye aralığında salınımlar sıfır noktasından geçmeden devam etmiştir. Bir anda büyük bir ivme değişimi de bu an içinde görülmektedir. Datanın süresi 27.9650 saniyedir.



Şekil 5.11 Erzincan depreminin Erzincan ivme kaydının L (kuzey) bileşkesi



Şekil 5.12 Erzincan depreminin Erzincan ivme kaydının T (doğu) bileşkesi

5.5 : Tek serbestlik dereceli sistem için M-file dosyası ve açıklaması

Tek serbestlik dereceli sistem ve Bolu ivme kaydı için hazırlanmış M-file dosyasının çeşitli kısımları bu bölümde açıklanmıştır.

```
m1=2924;
k1=1390000;
c1=1581;
kc=372100;
a=0.6283185307;
K=-0.6;
Td=0.6;
Ti=0.01;
Time = bolutime
```

Bu kısımda bilinen sayısal değerler girilmiş ve Matlab çalışma alanına aktarılmıştır.

```
L = bolu(:,1)
T = bolu(:,2)
```

Bolu matrisinin birinci sütünü L, ikinci sütünü T matrisi olarak tanımlanmıştır.

```
sim sdof;
figure (3)
plot (t,x1l);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,x1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
```

Sim komutu ile ismi geçen blok diyagramı çalıştırılmıştır. Figure komutu ile bir sonra çizdirilecek grafiğin verilen numaralı figür olması sağlanmıştır. Bunun nedeni birden fazla grafik çizdirildiğinde, önceki grafiklerin silinmeden ayrı bir pencerede görülmesinin istenmesidir. Plot komutu ile grafiklerin çizdirilmesi sağlanmıştır. Hold on komutu aynı figüre birden fazla grafik çizdirmeye yarar ve hold off komutu bu durumu iptal eder. Title komutu, figüre başlık koymaya yarar. Xlabel ve ylabel komutları ile koordinatlara isim verilir. Legend komutu ile grafikler için açıklayıcı bilgi verilir.

```
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('sdof_fre');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag));
```

Bu kısımda ilk iki komut frekans ve transfer fonksiyonunu elde etmek içindir. Semilogx komutu, x eksenini logaritmik olarak grafiğin çizilmesine imkan sağlar.

5.6 : Doğal frekans ve mod şekilleri

5.6.a : Tek serbestlik dereceli sistem için;

Sistemin doğal(w) ve sönümlü(w_D) frekansı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$w = \sqrt{k/m} = \sqrt{1390000/2924} = \sqrt{475.3762} = 21.8031 rad/s = 3.47 Hz \quad (5.10)$$

$$w_D = w\sqrt{1-\zeta_d^{\,2}} = 21.8031\sqrt{1-(\frac{1581}{2x2924x21.8031})^2} = 21.8014 rad/s = 3.4698 Hz \quad (5.11)$$

5.6.b : Üç serbestlik dereceli sistem için;

Sistemin doğal frekansları(w_i), mod şekilleri(ϕ_i), genelleştirilmiş kütlesi(M^*) ve normalleştirilmiş mod şekilleri(ϕ_{ni}) mathcad programı ile hesaplanmıştır. Program ekler kısmında verilmiştir. Sonuçlar bu bölümde gösterilmiştir.

Tablo 5.3: Sistemin doğal frekansları

	Rad/s	Hz
w_1	14.054	2.237
w_2	42.754	6.804
w_3	72.178	11.487

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} 0.36 \\ 0.783 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{5.12}$$

$$\phi_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.423 \\ -0.691 \end{pmatrix} \tag{5.13}$$

$$\phi_3 = \begin{pmatrix} -0.772 \\ 1 \\ -0.506 \end{pmatrix} \tag{5.14}$$

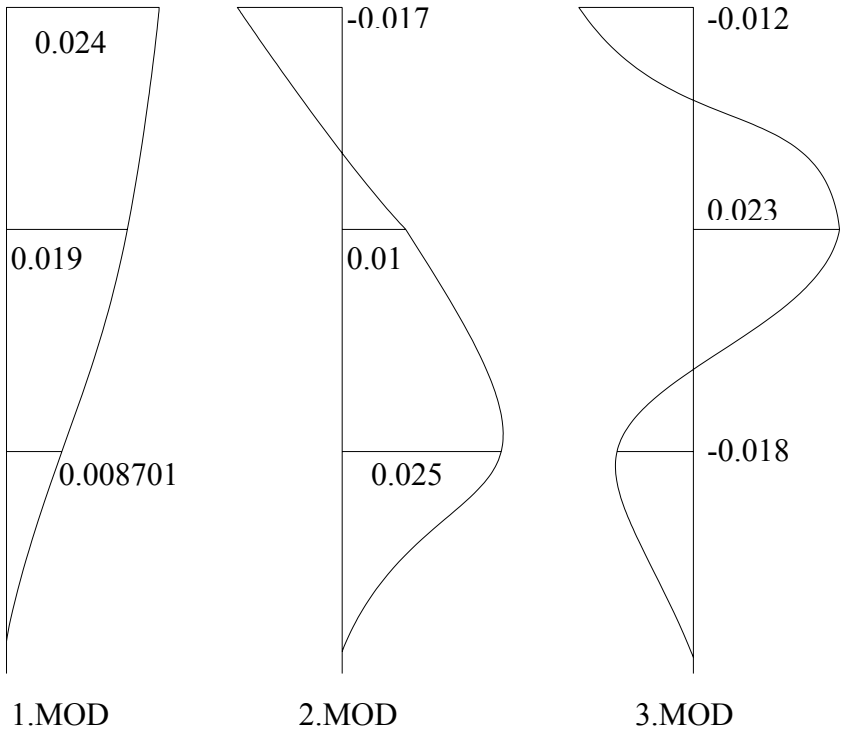
$$M^* = \phi_1^T [M] \phi_1 = \phi_2^T [M] \phi_2 = \phi_3^T [M] \phi_3 = 1710kg \tag{5.15}$$

$$\phi_{ni} = \frac{\phi_i}{\sqrt{M^*}} \tag{5.16}$$

$$\phi_{n1} = \begin{pmatrix} 8.701x10^{-3} \\ 0.019 \\ 0.024 \end{pmatrix} \tag{5.17}$$

$$\phi_{n2} = \begin{pmatrix} 0.025 \\ 0.01 \\ -0.017 \end{pmatrix} \tag{5.18}$$

$$\phi_{n3} = \begin{pmatrix} -0.018 \\ 0.023 \\ -0.012 \end{pmatrix} \tag{5.19}$$

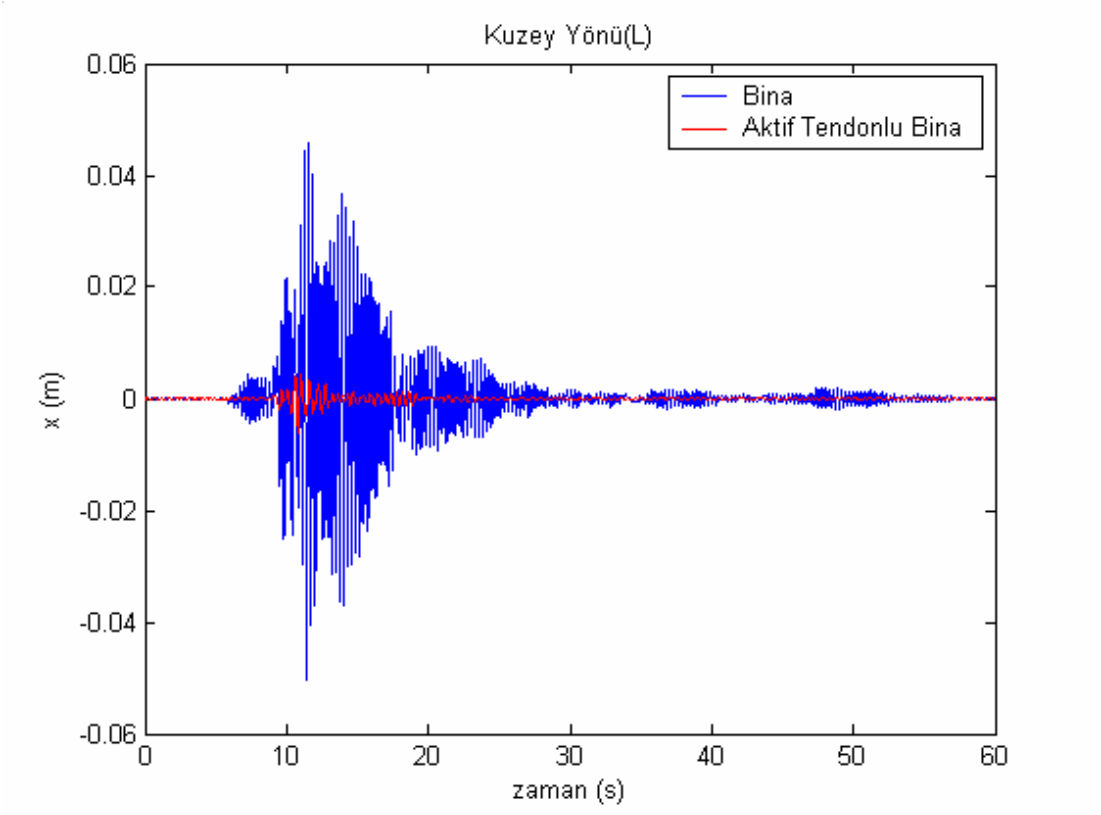


Şekil 5.13: Normalleştirilmiş mod şekilleri

BÖLÜM 6: SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu bölümde çeşitli grafikler verilmiş ve bu grafikler yorumlanmıştır. Aynı özellikleri gösteren grafikler ekler kısmında sunulmuştur. Karşılaştırma yapılmış olan grafiklerde koyu mavi ile kontrolsüz bina, kırmızı ile aktif tendonlarla kontrol edilen binanın durumu gösterilmiştir.

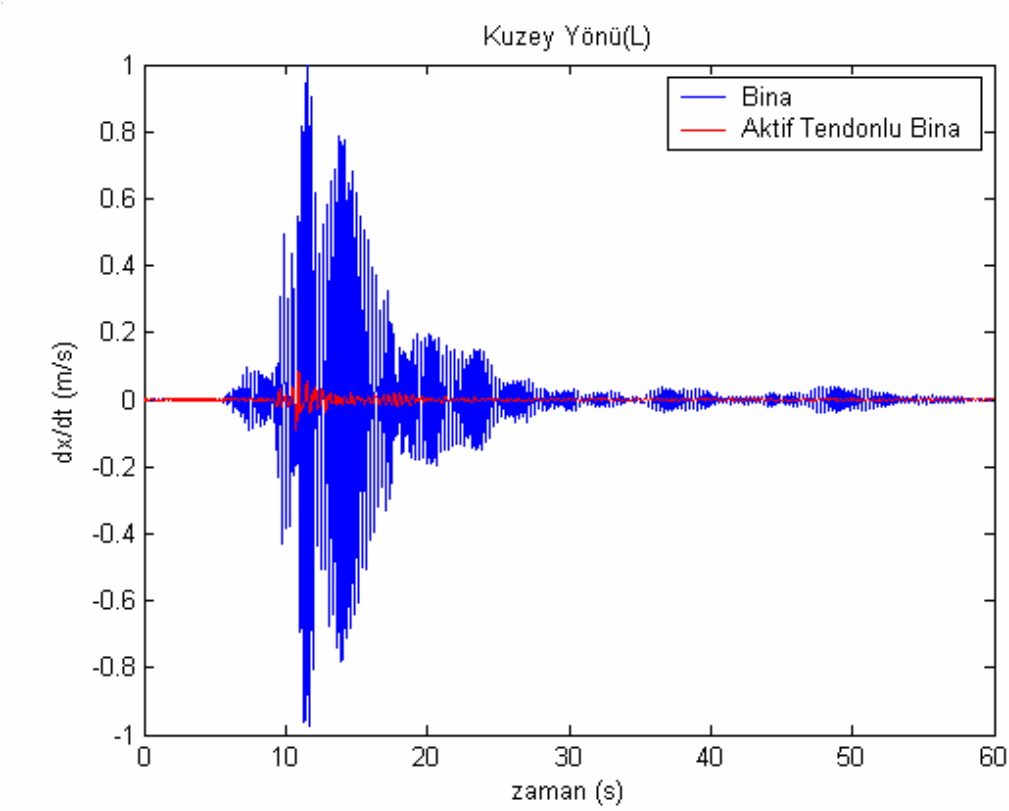
6.1 : Tek serbestlik dereceli sistemin sonuçları:



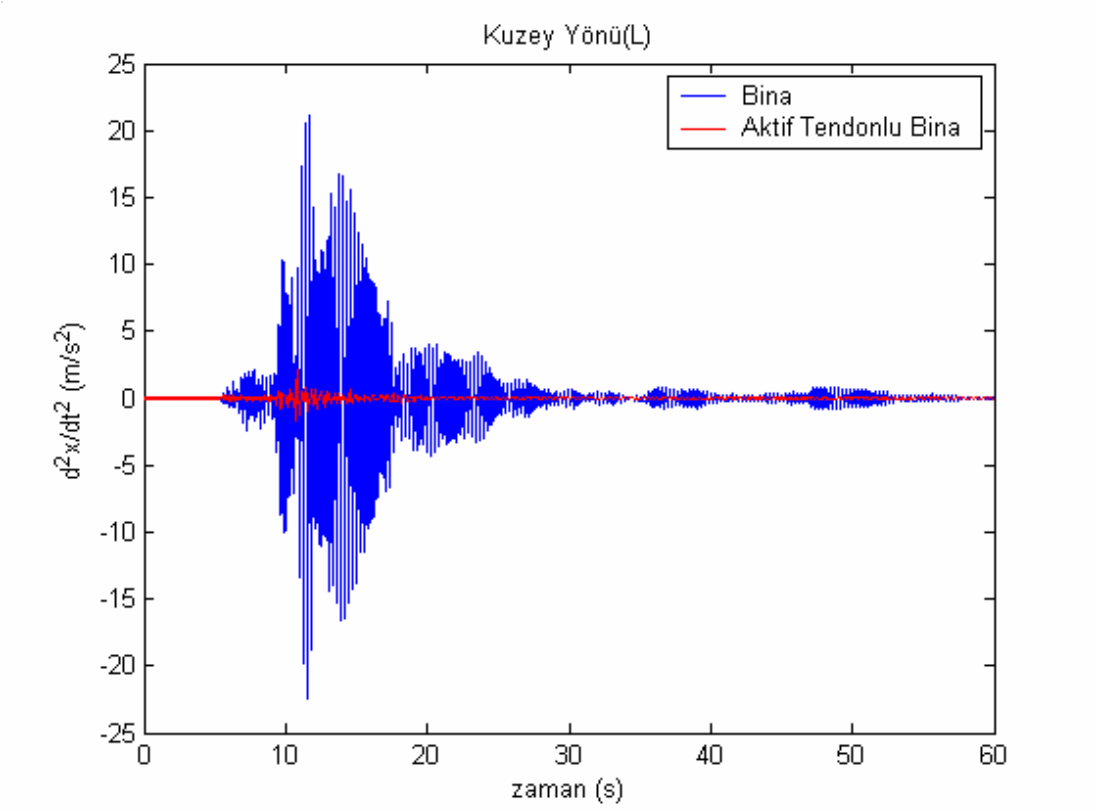
Şekil 6.1: Tek serbestlik dereceli sistemin deplasman grafiği(Bolu kaydı-L yönü)

Yukarıdaki deplasman grafiğinde görüldüğü gibi, aktif tendonlar titreşimin sönümlenmesinde büyük ölçüde etkili olmuştur. Aynı şekilde bu durum hız ve ivme grafiklerinde de gözlenmektedir. Meydana gelen büyük deplasman, hız ve ivme

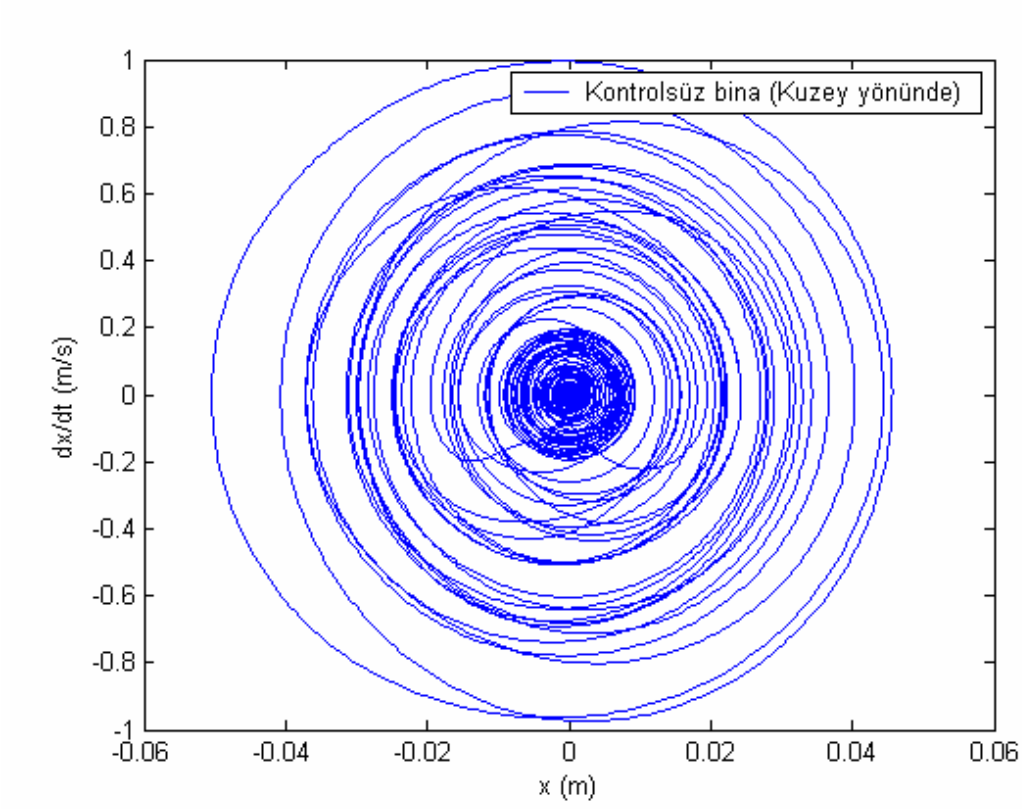
değerlerinde, kontrol oldukça iyi etkili olmuştur. Ayrıca oldukça kısa olan titreşim periyotları, kontrollü sistemde yükselmiştir.



Şekil 6.2: Tek serbestlik dereceli sistemin hız grafiği(Bolu kaydı-L yönü)

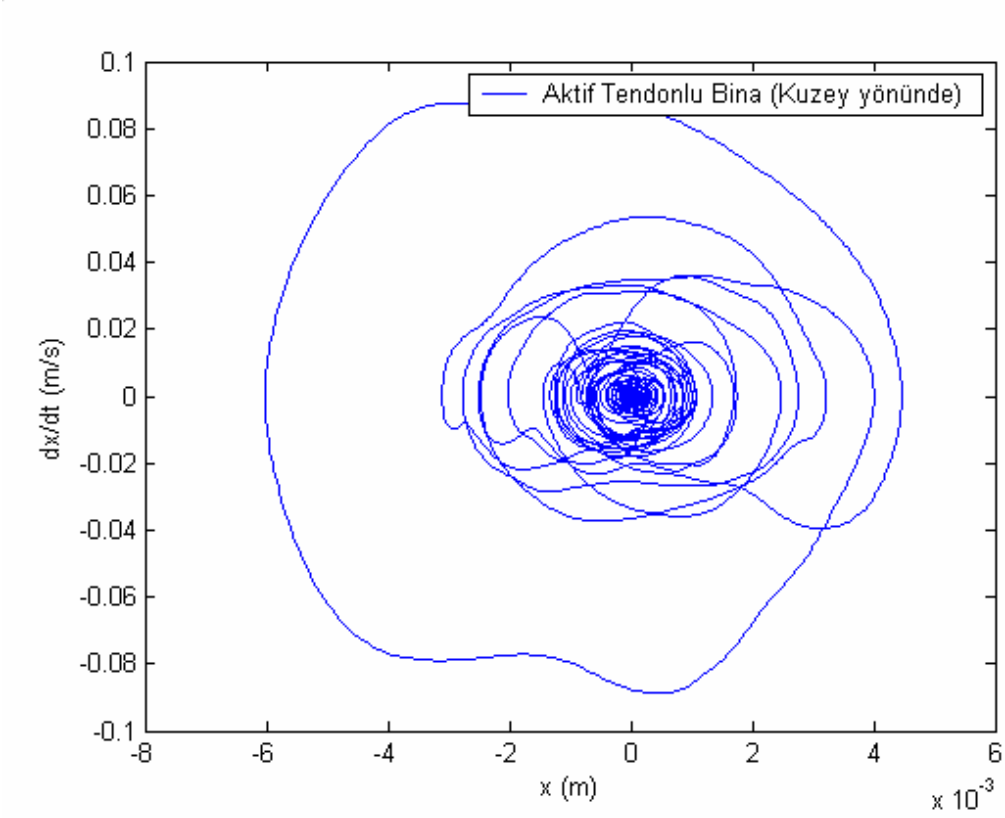


Şekil 6.3: Tek serbestlik dereceli sistemin ivme grafiği(Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.4: Tek serbestlik dereceli sistemin faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)

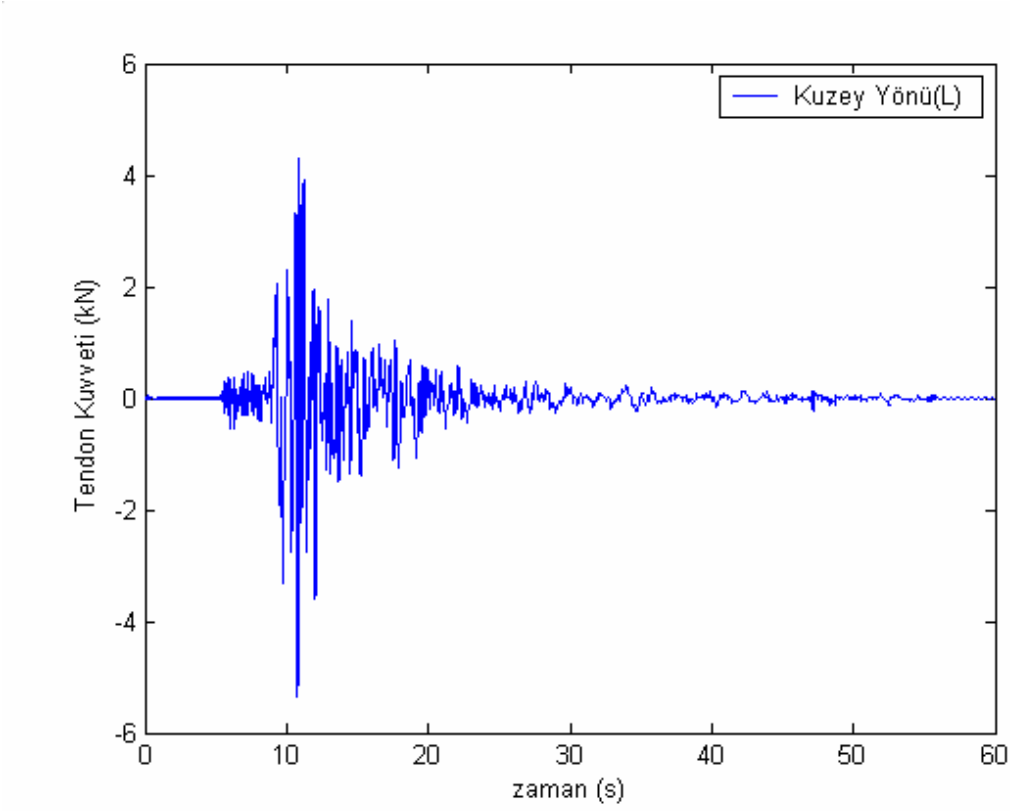
Şekil 6.4'deki grafikte kontrolsüz sistemin faz planı görülmektedir. Eğer faz planı başlangıç noktasında sona eriyor ise sistem kararlıdır. Tüm olumsuz koşullara rağmen kontrolsüz sistem kararlıdır. Şekildeki yoğun görünümün nedeni sistemin çok fazla salınım yapmasıdır. Aktif tendonlu sistemde bu yoğunluk daha azdır. Aşağıda, aktif tendonlu sistemin faz planı verilmiştir ve beklenildiği gibi kararlıdır.



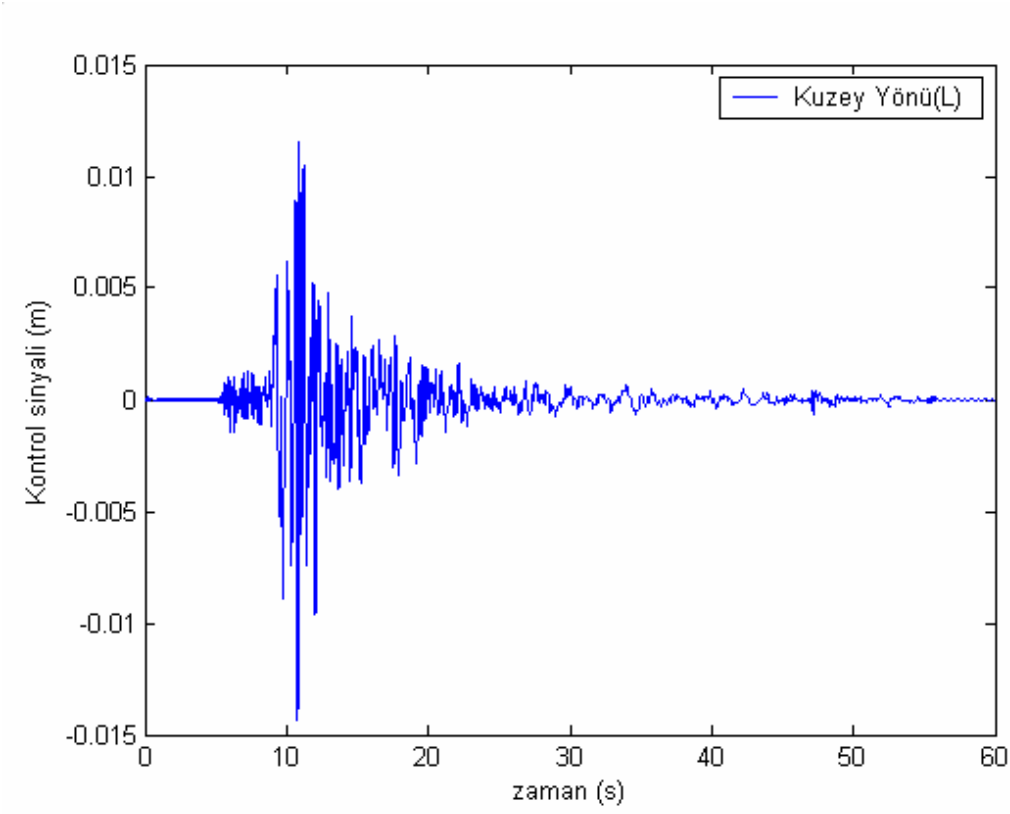
Şekil 6.5: Tek serbestlik dereceli sistemin faz planı (Kontrollü-Bolu kaydı-L yönü)

Şekil 6.6'da tek aktif tendondaki kuvvet değişimi gösterilmiştir. Tendondaki gerilme hiçbir zaman sıfır olmamalıdır. Onun için tendondaki öngerilme yaklaşık olarak 6 kN veya daha fazla olmalıdır.

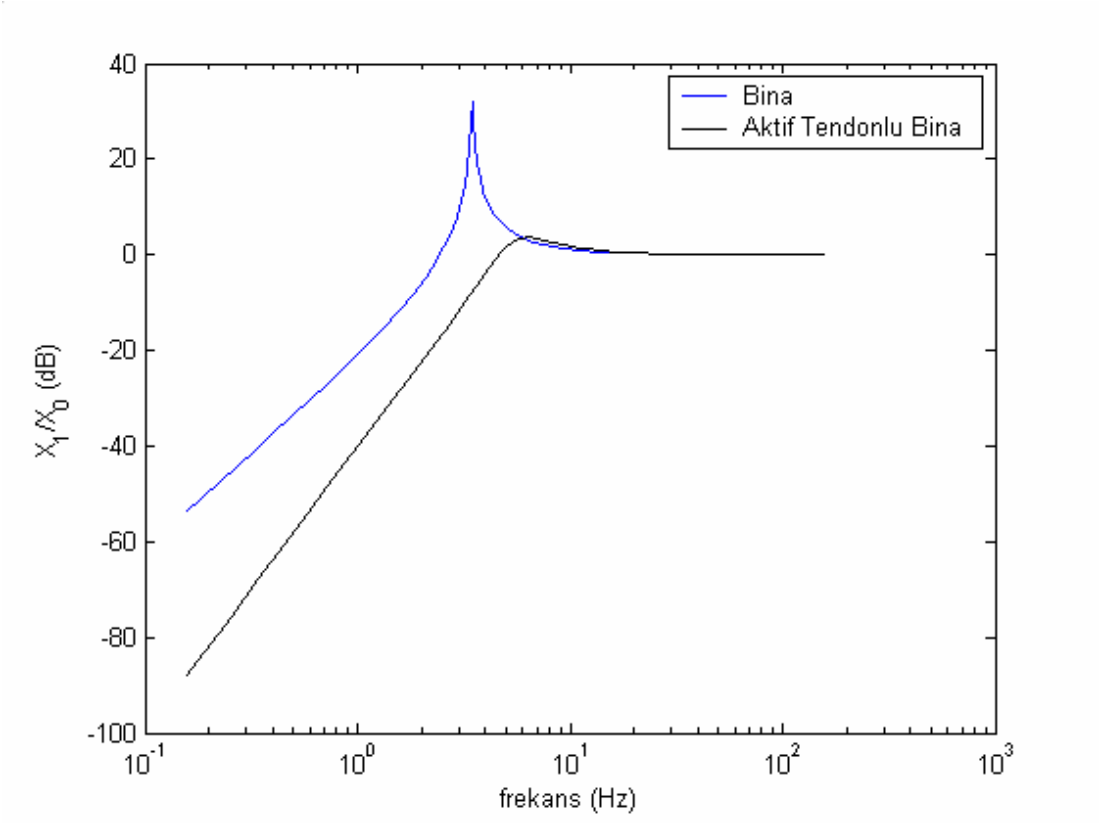
Şekil 6.7'de ise aktivatörün ne kadar deplasman ilettiğini gösteren, kontrol sinyali-zaman grafiği sunulmuştur.



Şekil 6.6: Tek serbestlik dereceli sistemde tendon kuvvetinin değişimi (Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.7: Tek serbestlik dereceli sistemde kontrol sinyali (Bolu kaydı-L yönü)



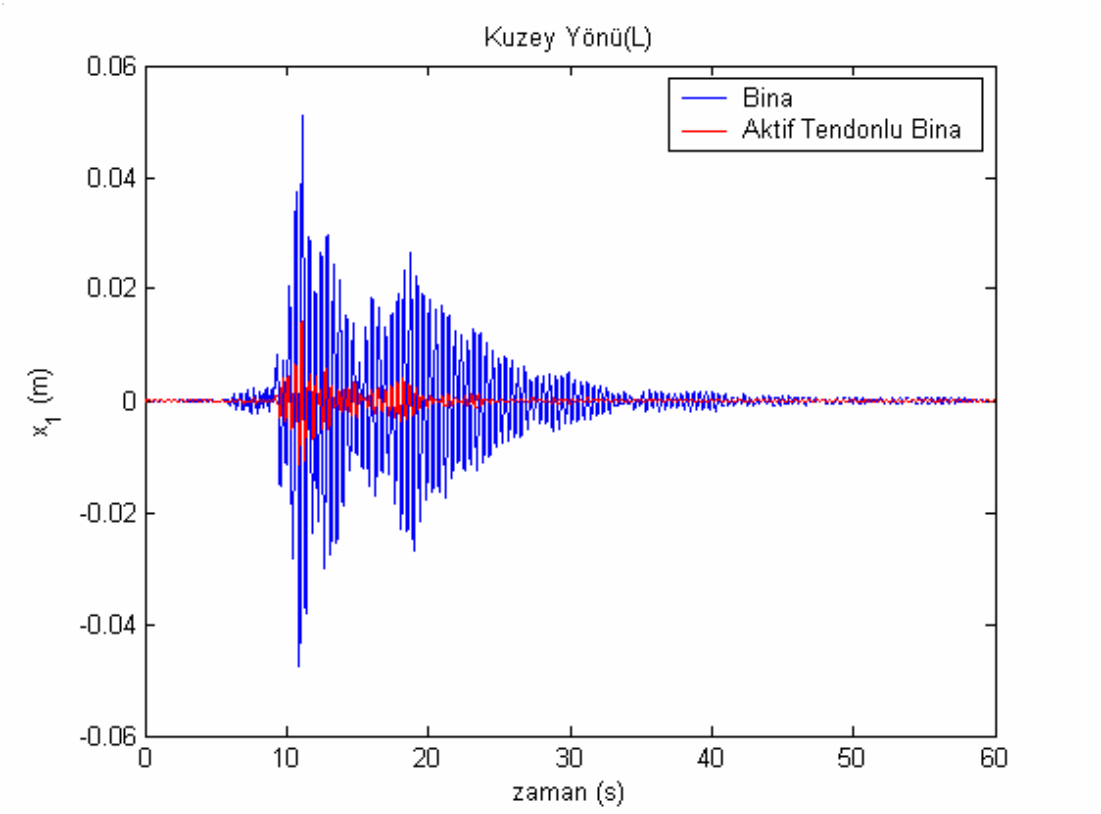
Şekil 6.8: Tek serbestlik dereceli sistemde frekans cevabı

Yukarıda transfer fonksiyonu-frekans grafiği verilmiştir. Değişimlerin daha iyi gözlenmesi için x ekseni logaritmik olarak çizilmiştir. Tepe noktaları rezonans halini ve doğal frekansın değerini göstermektedir. Aktif tendonlu sistemde doğal frekans yükselmiştir ve sistem daha rijit bir hale gelmiştir. Rezonans noktasında transfer fonksiyonu değerinde oldukça önemli bir azalma gerçekleşmiştir.

Diğer tüm grafikler ekler kısmında bulunmaktadır. Diğer deprem ivme datalarının, faya ve merkez noktasına olan uzaklığından dolayı değerleri Bolu kaydına nazaran oldukça azdır. Doğal olarak sistemde oluşan değerler çok daha az ve kontrolü daha kolaydır.

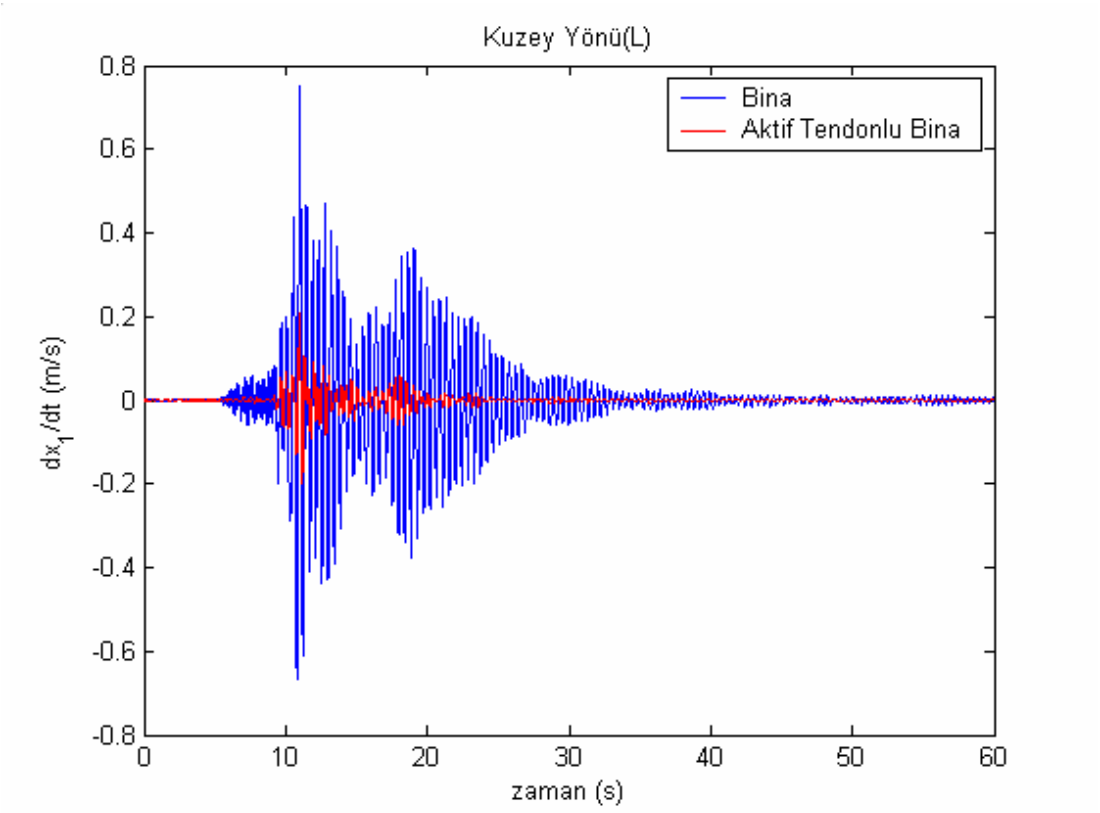
6.2 : Üç serbestlik dereceli sistemin sonuçları:

6.2.a : Sadece alt katta aktif tendon kontrolü olması hali

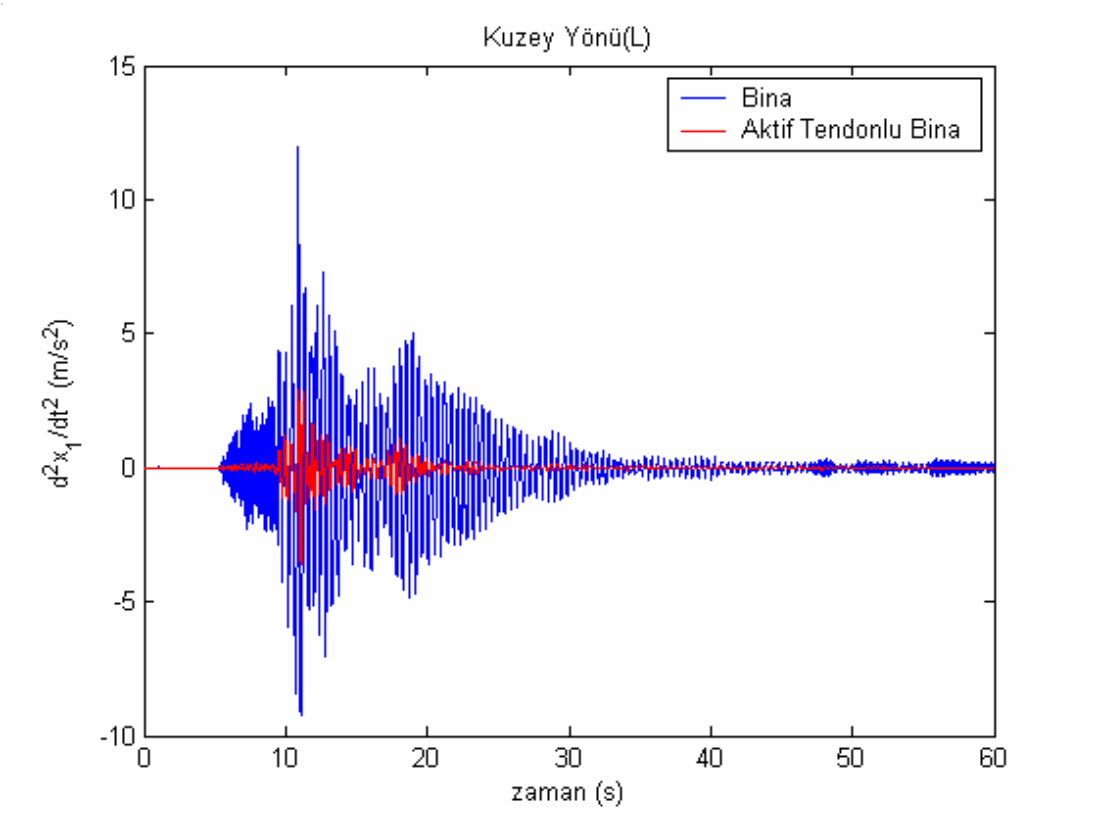


Şekil 6.9: Birinci katın deplasman grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

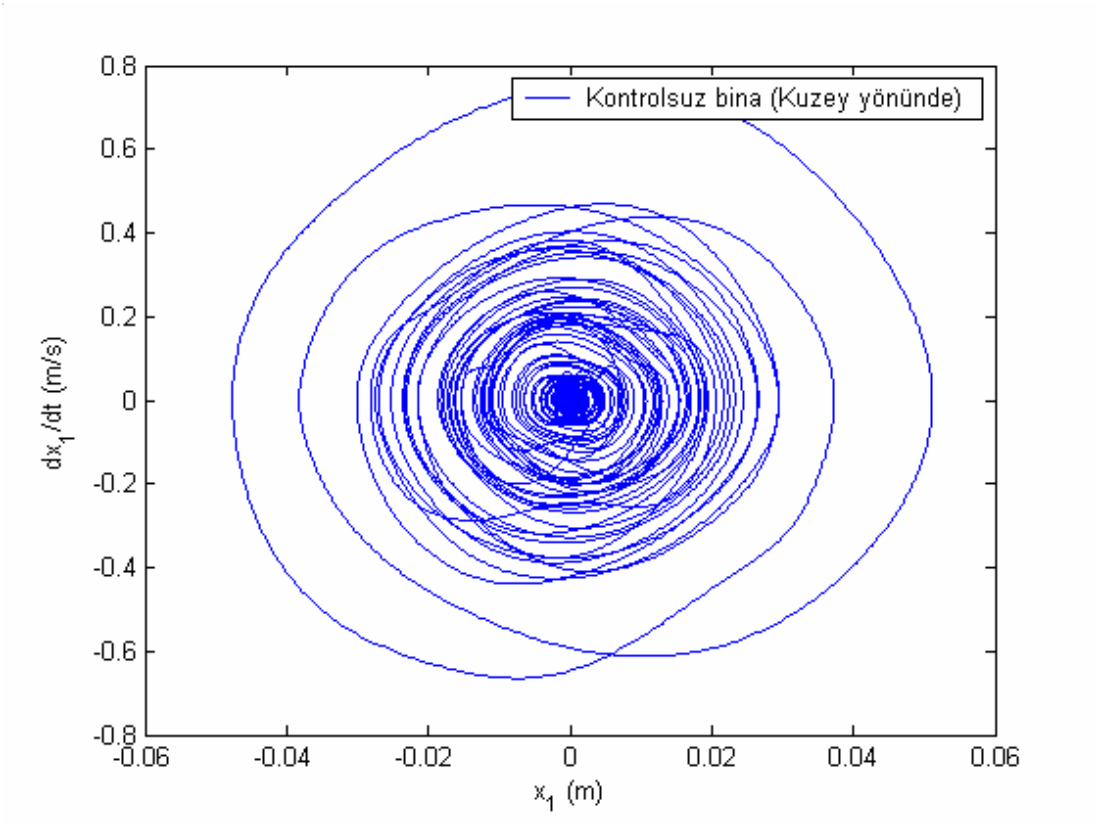
Bu sistemde sadece birinci kat kontrol edilmektedir. Birinci katın deplasman, hız ve ivme değerlerinde, tek serbestlik dereceli sistemdeki kadar olmasa bile, iyi bir oranla azalma sağlanmıştır. Bu durumda aktif tendonlar, bu sistemde birinci kat açısından oldukça faydalıdır.



Şekil 6.10: Birinci katın hız grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

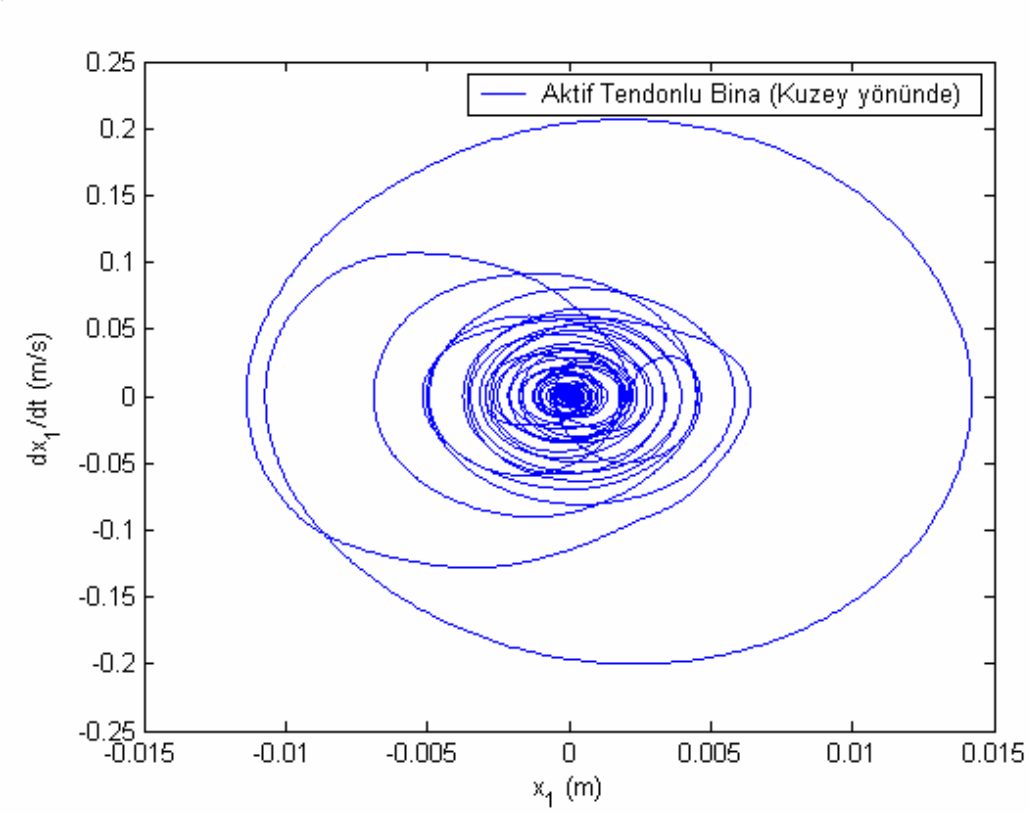


Şekil 6.11: Birinci katın ivme grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

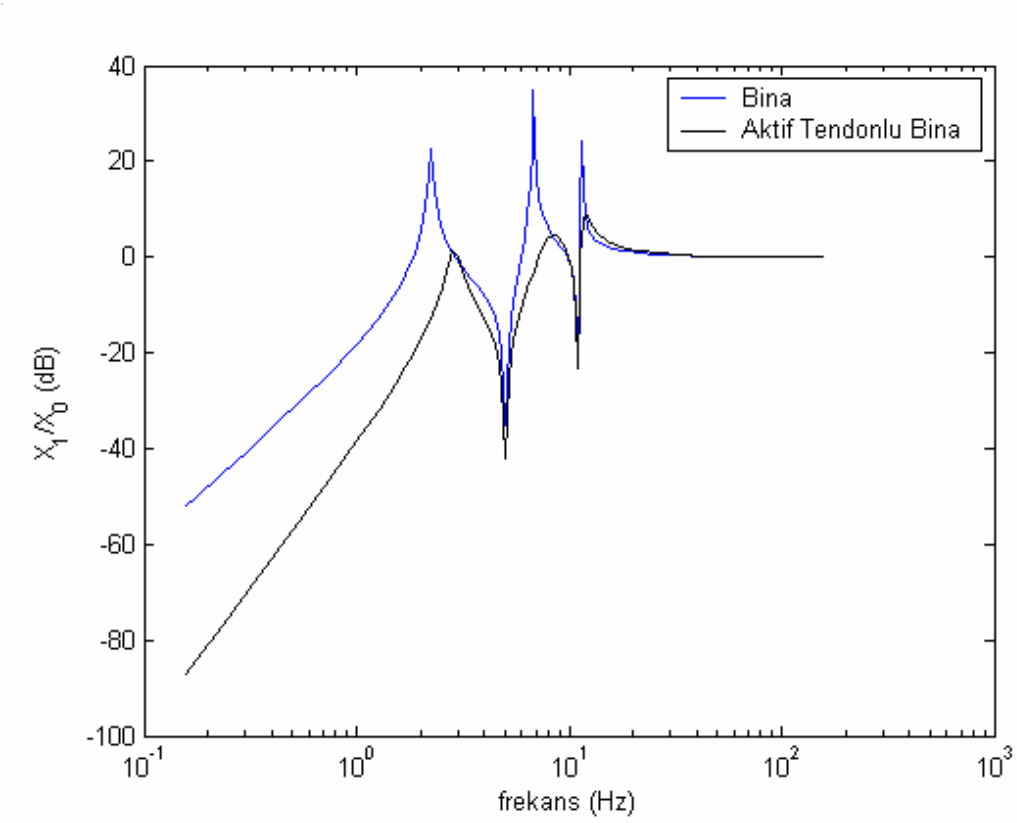


Şekil 6.12: Birinci katın faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)

Yukarıda kontrolsüz binanın birinci katının faz planı verilmiştir. Aynı tek serbestlik dereceli sistemde olduğu gibi kararlı fakat salınım fazlalığından dolayı yoğun bir görünüm içerisindedir. Bir sonraki sayfada aktif tendonlu sistemin birinci katının faz planı sunulmuştur. Burada salınım sayısı azaldığı için yoğun olmayan bir şekil ortaya çıkmıştır. Bu durumdan dolayı sistemin kararlılığı daha kolay anlaşılmaktadır.

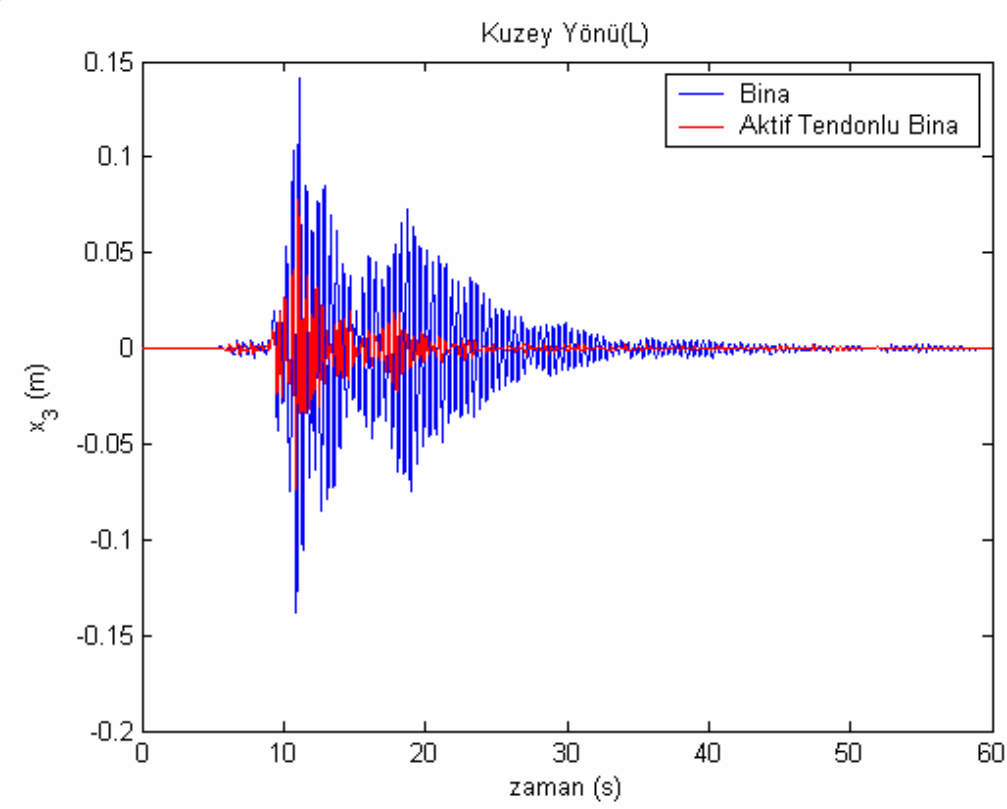


Şekil 6.13: Birinci katın faz planı (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



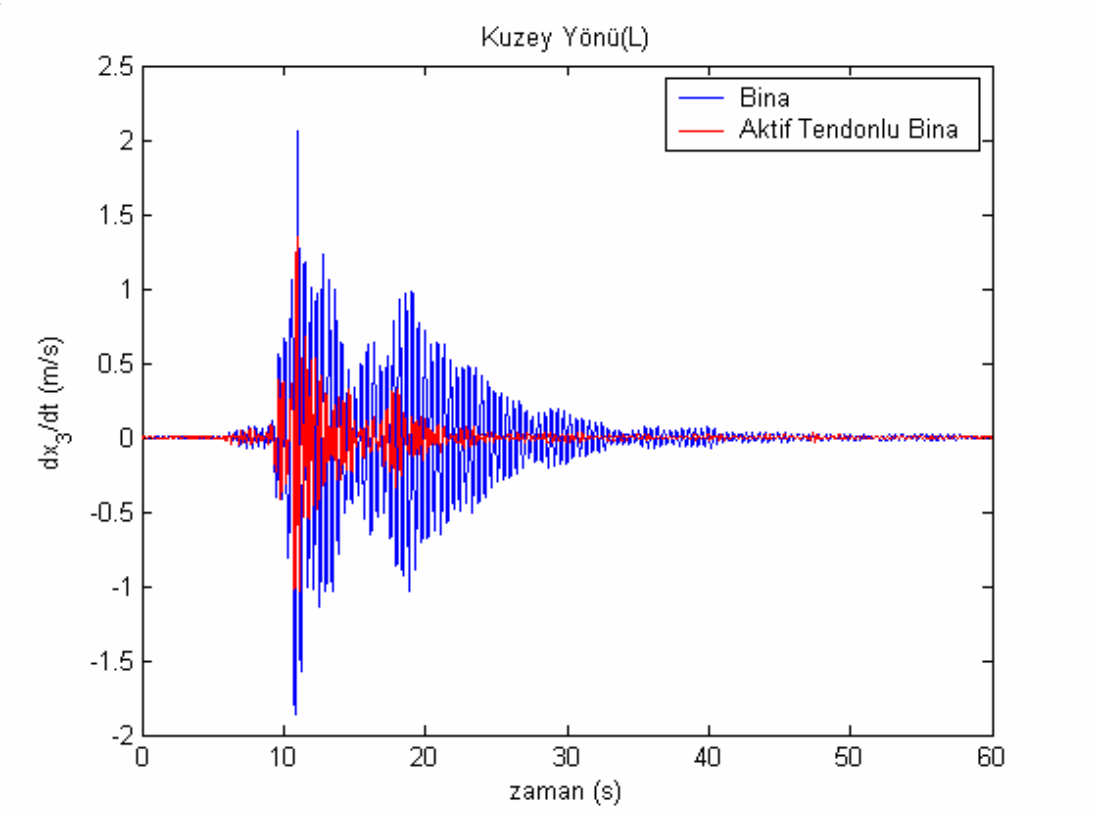
Şekil 6.14: Birinci katın frekans cevabı (Birinci katta kontrol)

Birinci katın frekans cevabında, aktif tendonların etkisi tüm rezonans tepeciklerinde etkili olmuştur. Sistemin bir miktar rijitleşmesinden dolayı doğal frekanslar bir miktar artmıştır. Kritik olan ikinci doğal frekans noktasında, transfer fonksiyonu istenildiği gibi aşağıya çekilmiştir. Bununla beraber birinci ve üçüncü rezonans tepecikleri de oldukça aşağıya çekilmiştir.

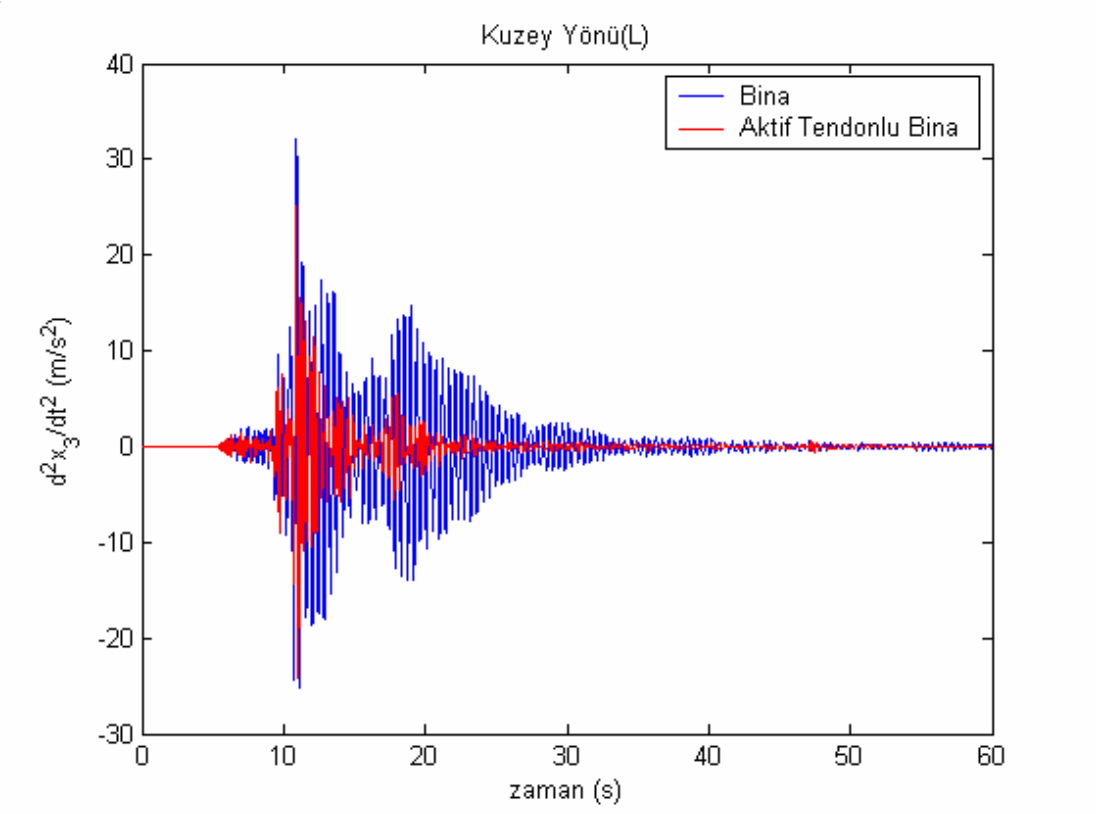


Şekil 6.15: Üçüncü katın deplasman grafiği
(Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

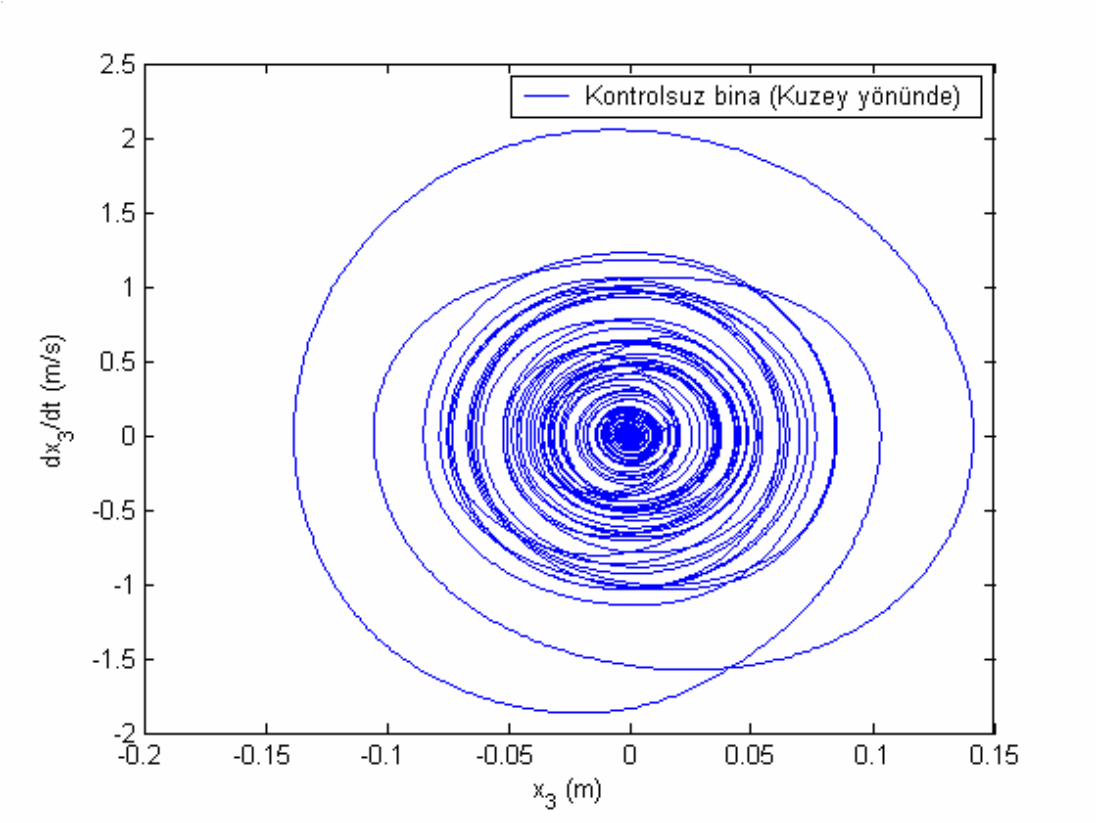
Yukarıda üçüncü katın zamana göre deplasman grafiği bulunmaktadır. Bu grafikte üçüncü katın iyi kontrol edilemediği anlaşılmaktadır. Maksimum deplasmanın görüldüğü yerde kontrollü sistemde bile salınım periyotları oldukça kısadır. Bu durum sistemin hızının oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Bir sonraki sayfada görüldüğü gibi hız grafiğinde de bu durum mevcuttur ve sistemdeki ivme değerinin büyük olması kaçınılmazdır ve şekil 6.17, bize bu durumu ispatlamaktadır. Neredeyse maksimum ivme değerinde bir azalma meydana gelmemiştir. Ekte sunulmuş olan ikinci kat verilerinde de bu duruma, üçüncü kattaki kadar olmasa bile rastlanmaktadır.



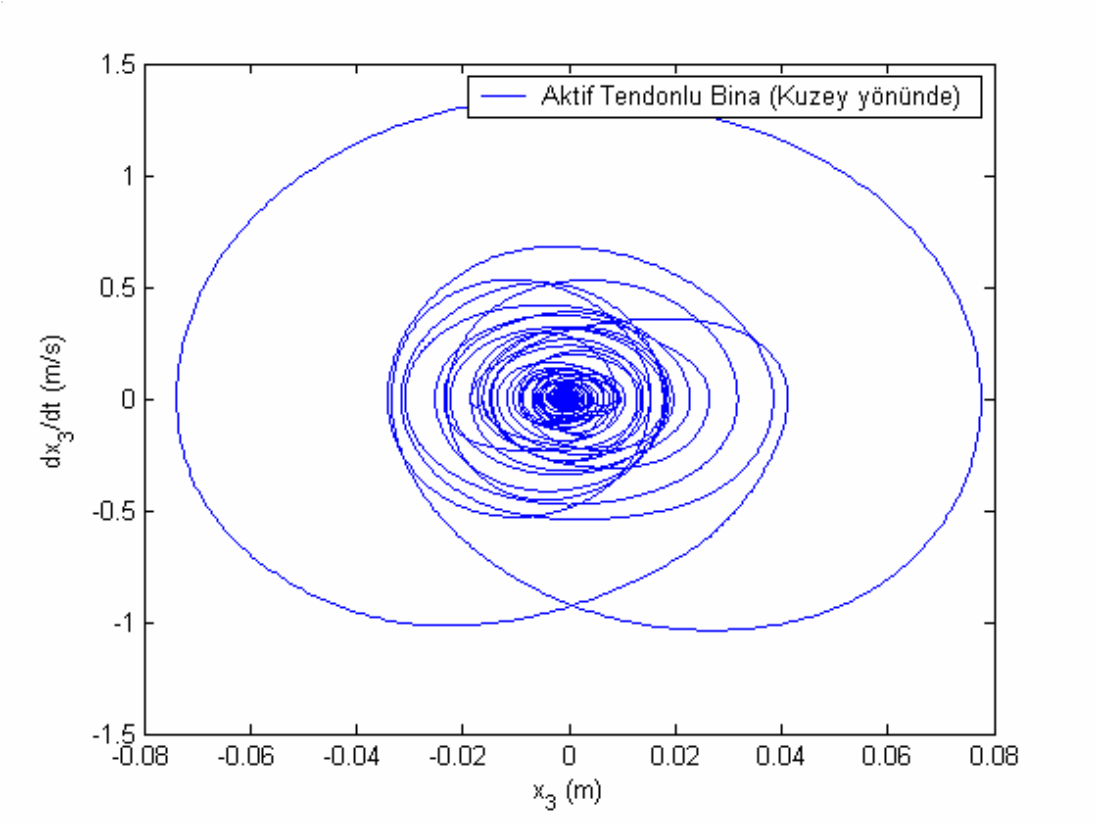
Şekil 6.16: Üçüncü katın hız grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.17: Üçüncü katın ivme grafiği (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

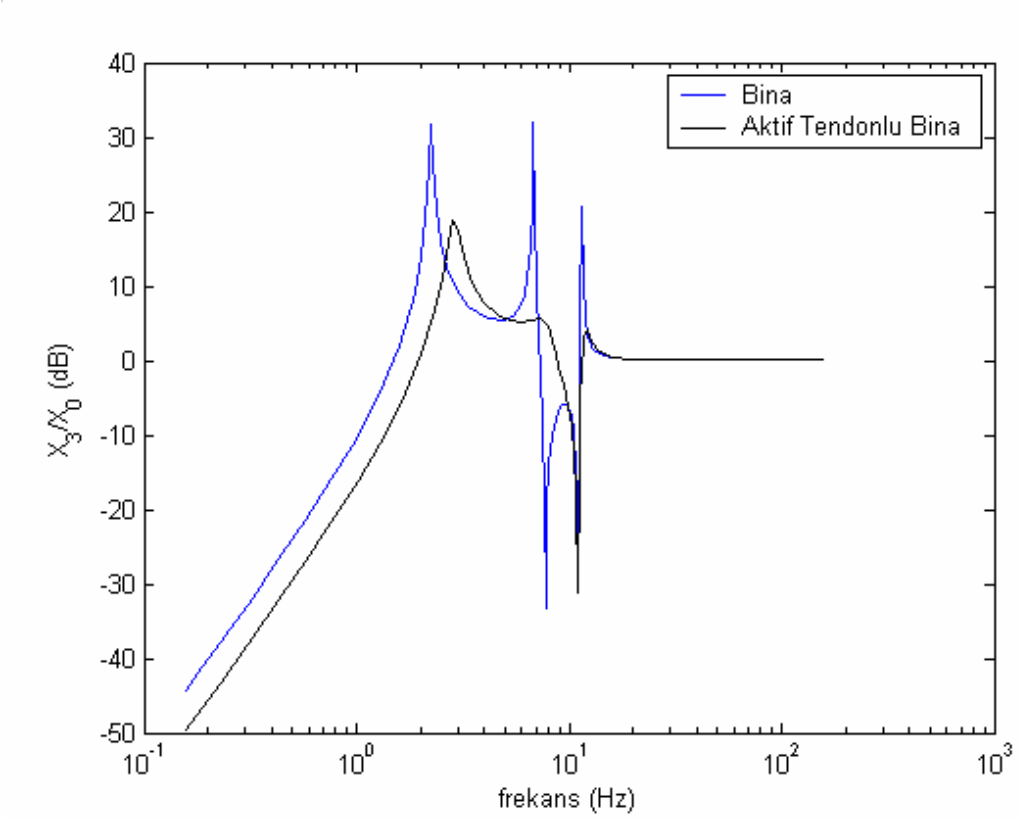


Şekil 6.18: Üçüncü katın faz planı (Kontrolsüz-Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.19: Üçüncü katın faz planı (Birinci katta kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

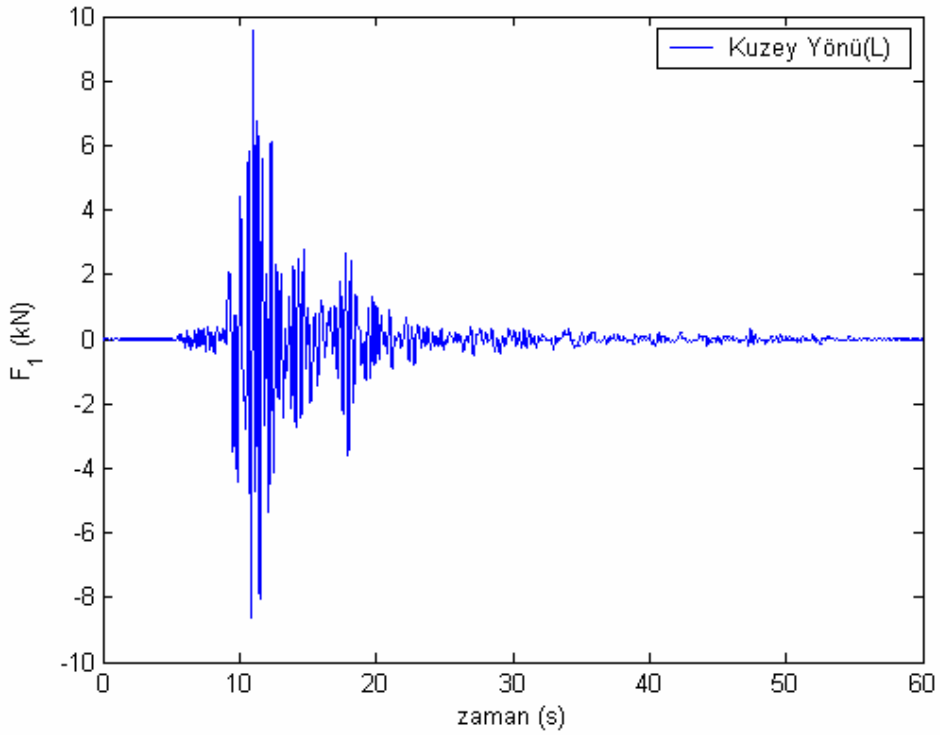
Alt kattaki aktif tendonların, üçüncü kata yeteri kadar etkili olmadığı faz planlarından da anlaşılmaktadır. Kontrollü ve kontrolsüz haldeki binanın faz planlarında bariz görünen yoğunluk farkı burada daha azdır.



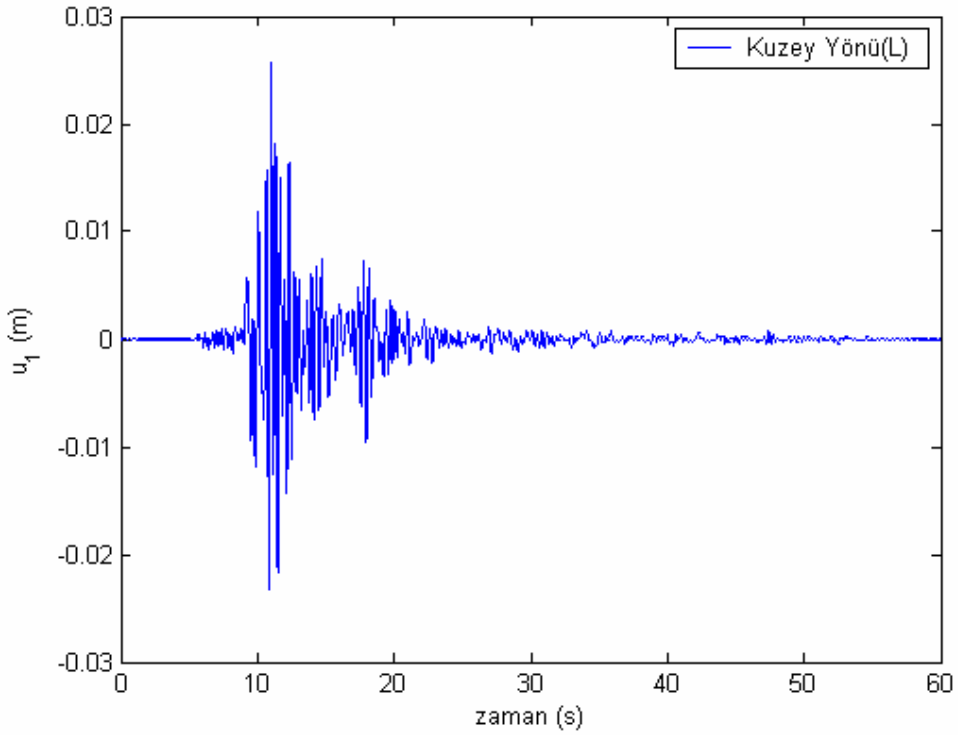
Şekil 6.20: Üçüncü katın frekans cevabı (Birinci katta kontrol)

Üçüncü katta, kritik doğal frekansa karşı gelen transfer fonksiyonu değerinde oldukça iyi bir azalma olmuştur. Diğer frekanslara karşı gelen değerlerdeki azalma da iyi sayılır. Bu durum kontrol sisteminin oldukça iyi ayarlanmış olduğunu göstermektedir. Sönüm yönünden iyi olmamasının nedeni ise, sadece aşağı kattan kontrol etmenin yetersiz olmasıdır. Bu durumda alt kat daha statik hale geldiği için üsteki iki kat, iki serbestlik dereceli kontrolsüz bir sisteme benzetilebilir.

Bir sonraki sayfada ise bir tendonun kuvvet değişimi ve kontrol sinyali grafikleri görülmektedir.



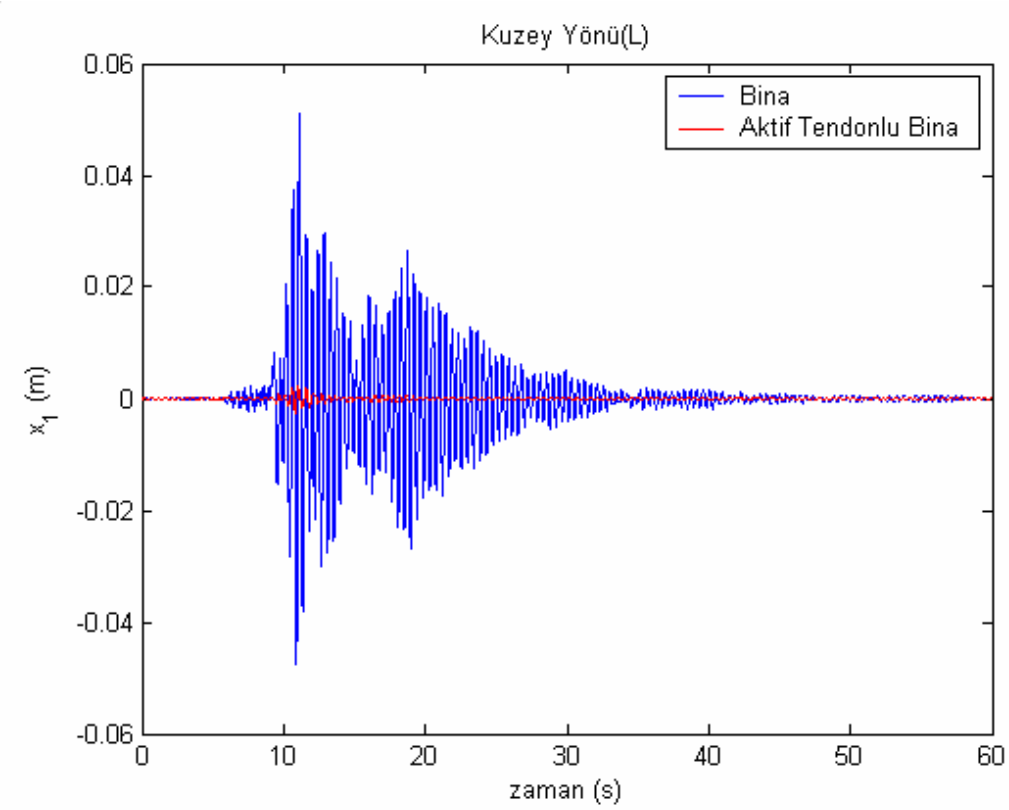
Şekil 6.21: Üç serbestlik dereceli sistemde sadece birinci katın kontrol edilmesi halinde tendon kuvvetinin değişimi (Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.22: Üç serbestlik dereceli sistemde sadece birinci katın kontrol edilmesi halinde kontrol sinyali (Bolu kaydı-L yönü)

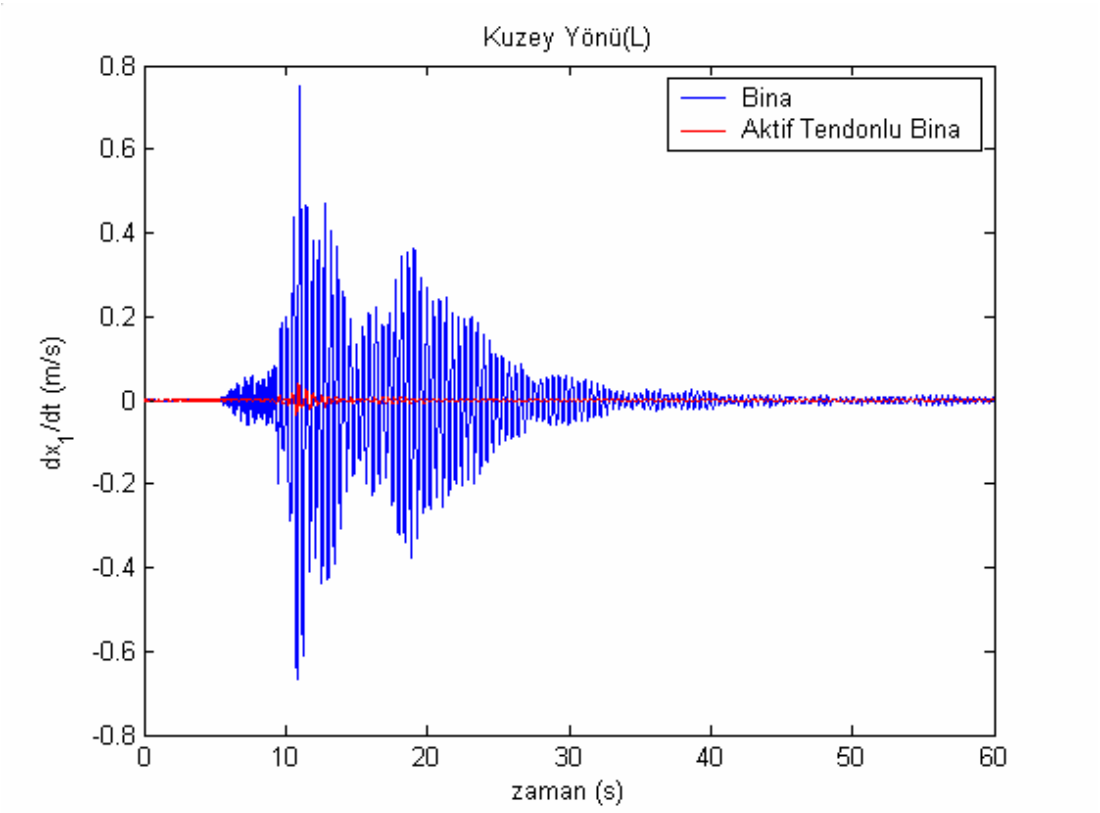
6.2.b : Tüm katlarda aktif tendon kontrolü olması hali

Sadece aşağı kattan etki eden kontrol kuvveti, tüm serbestliklerin kontrolünde etkili olamamıştır. Bu yüzden, tüm katlara aktif tendonlar yerleştirilmiştir. Kontrolcüler, tüm katlara aynı miktarda kontrol kuvveti etki ettirmek için ayarlanmıştır.

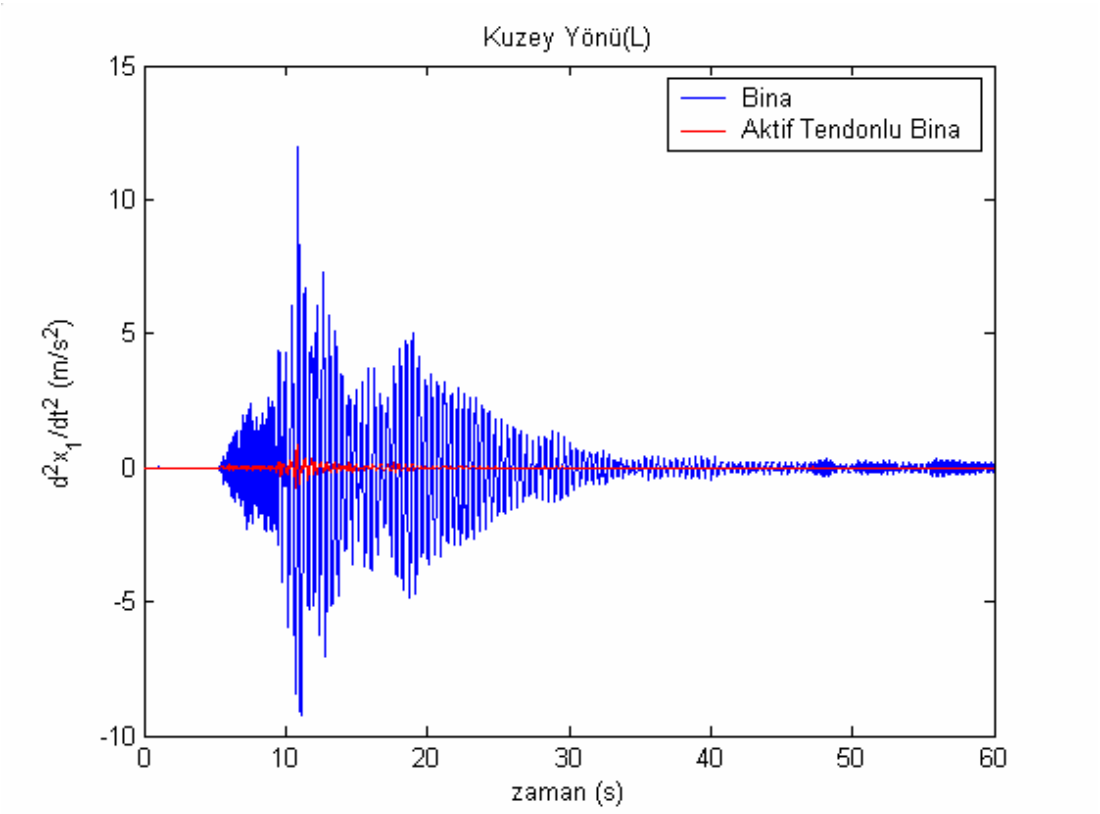


Şekil 6.23: Birinci katın deplasman grafiği
(Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

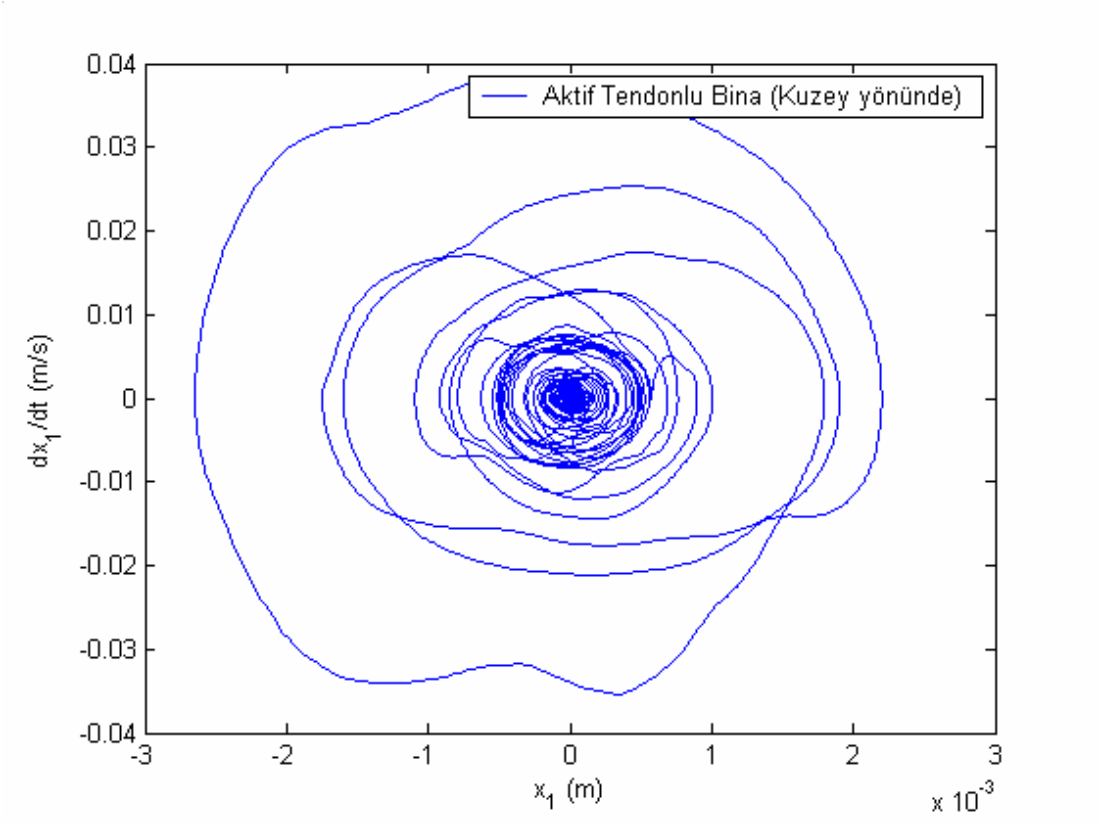
Yukarıda birinci katın deplasman grafiği görülmektedir. Titreşim neredeyse tamamen sönümlenmiştir. Ayrı durum birinci katın hız ve ivme değerleri için de geçerlidir. Sadece aşağı katta aktif tendonlar içeren sisteme göre oldukça iyi bir davranış göstermektedir.



Şekil 6.24: Birinci katın hız grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



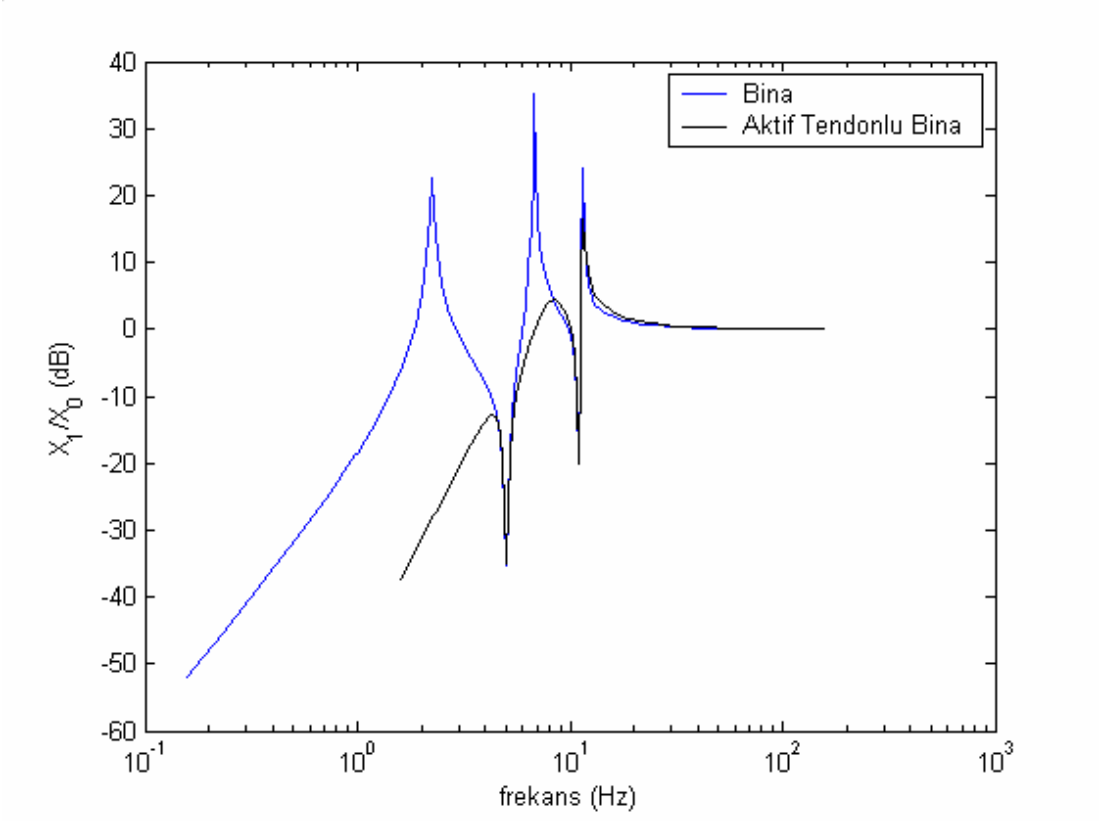
Şekil 6.25: Birinci katın ivme grafiği (Tüm katlarda kontrol -Bolu kaydı-L yönü)



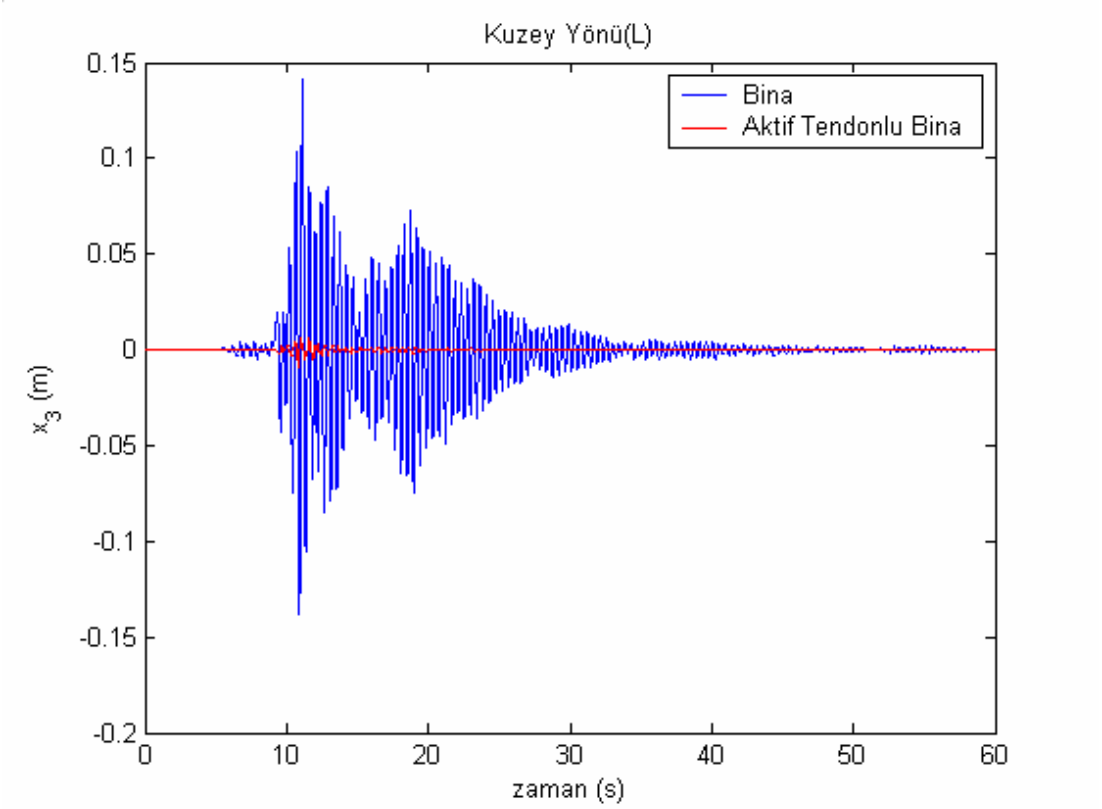
Şekil 6.26: Birinci katın faz planı (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

Tüm katlardan kontrollü olan sistemin birinci katının faz planı sadece orijin noktasında yoğunluk göstermektedir. Bunun nedeni ise, çok küçük deplasman değerlerine sahip olması ve çok küçük salınım yapmasıdır.

Birinci ve kritik olan ikinci doğal frekans değerlerindeki rezonans tepecikleri oldukça azalmıştır. Üçüncü tepecikte de azalma gerçekleşmiştir.



Şekil 6.27: Birinci katın frekans cevabı (Tüm katlarda kontrol)

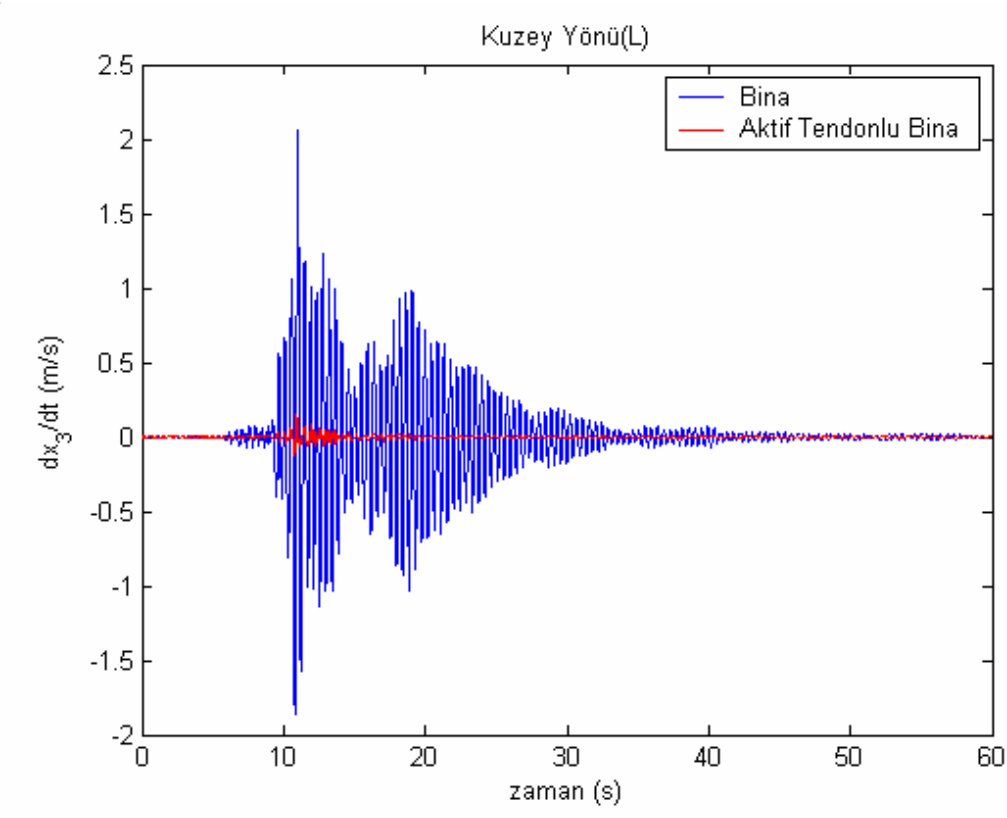


Şekil 6.28: Üçüncü katın deplasman grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

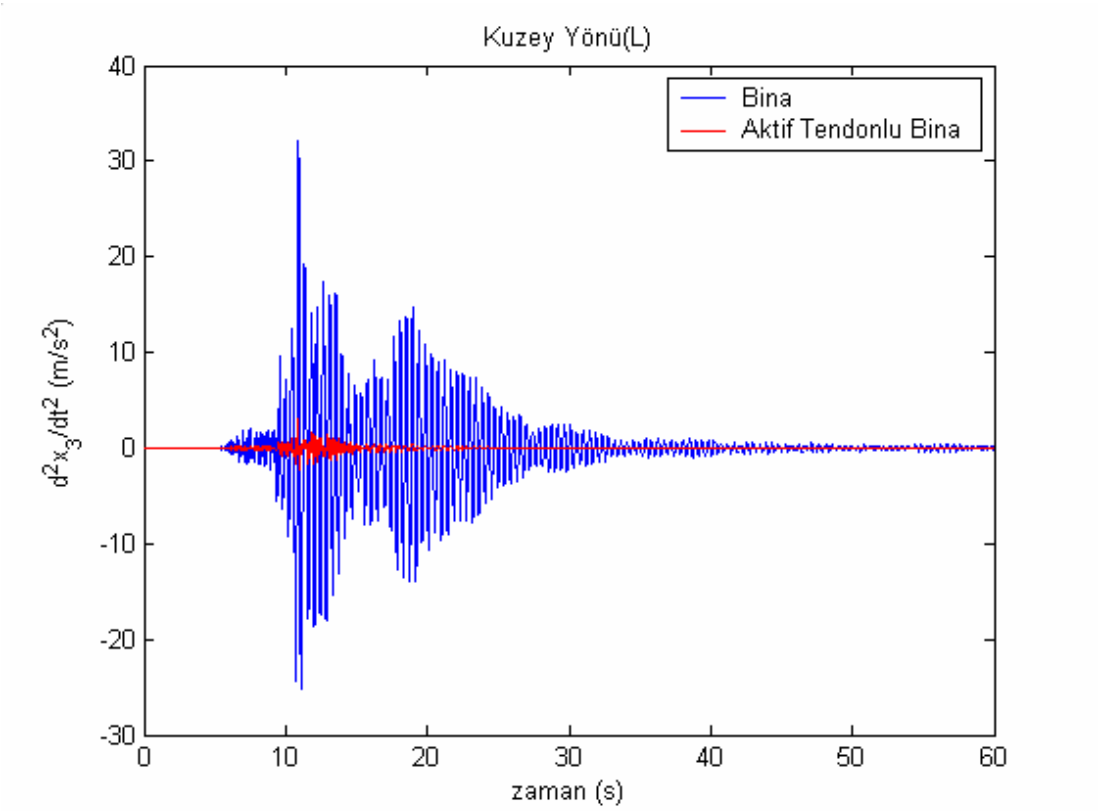
Önceki sayfada üçüncü katın deplasman grafiği verilmiştir. Aynen birinci katta olduğu gibi titreşim neredeyse tamamen sönümlenmiştir. Hız ve ivme grafikleri de aynı durumdadır. Sonuçlar son derece başarılıdır.

Faz planı, birinci katta olduğu gibi çok küçük değerlerde yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni neredeyse tüm zamanlarda titreşimin çok küçük olmasıdır.

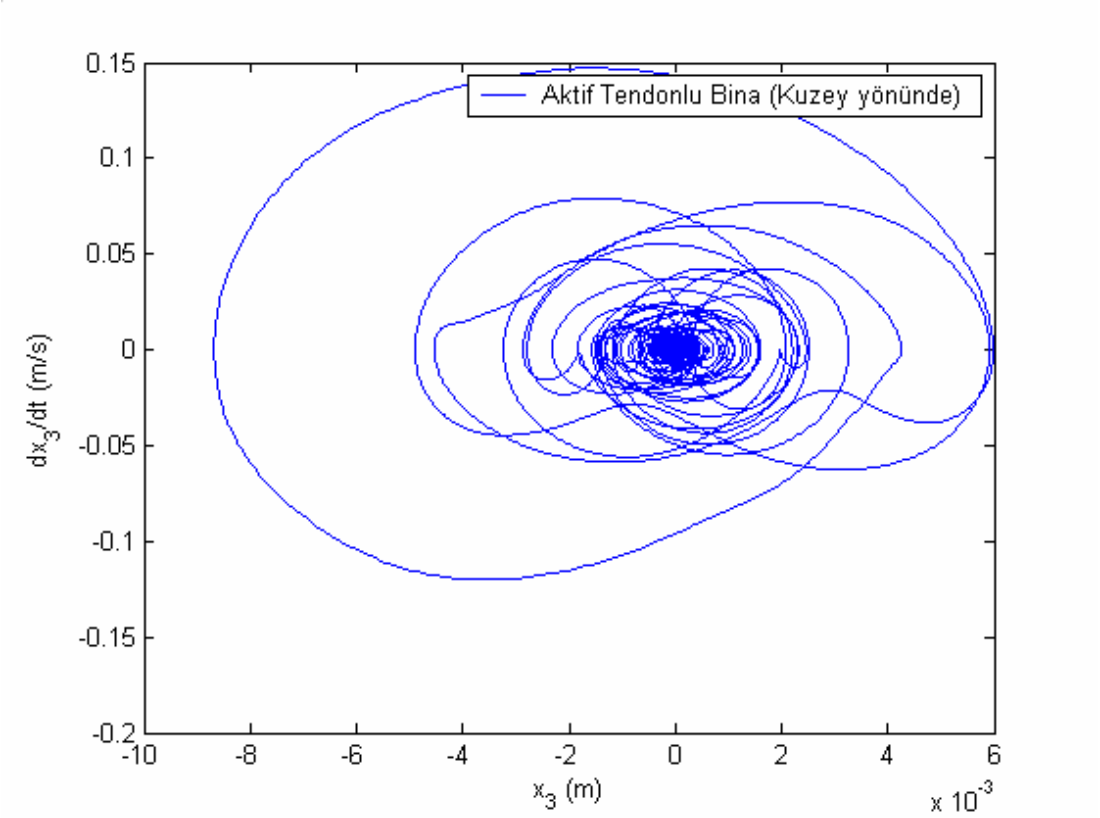
Ekler kısmında verilen ikinci kat verileri de aynı şekilde başarılıdır.



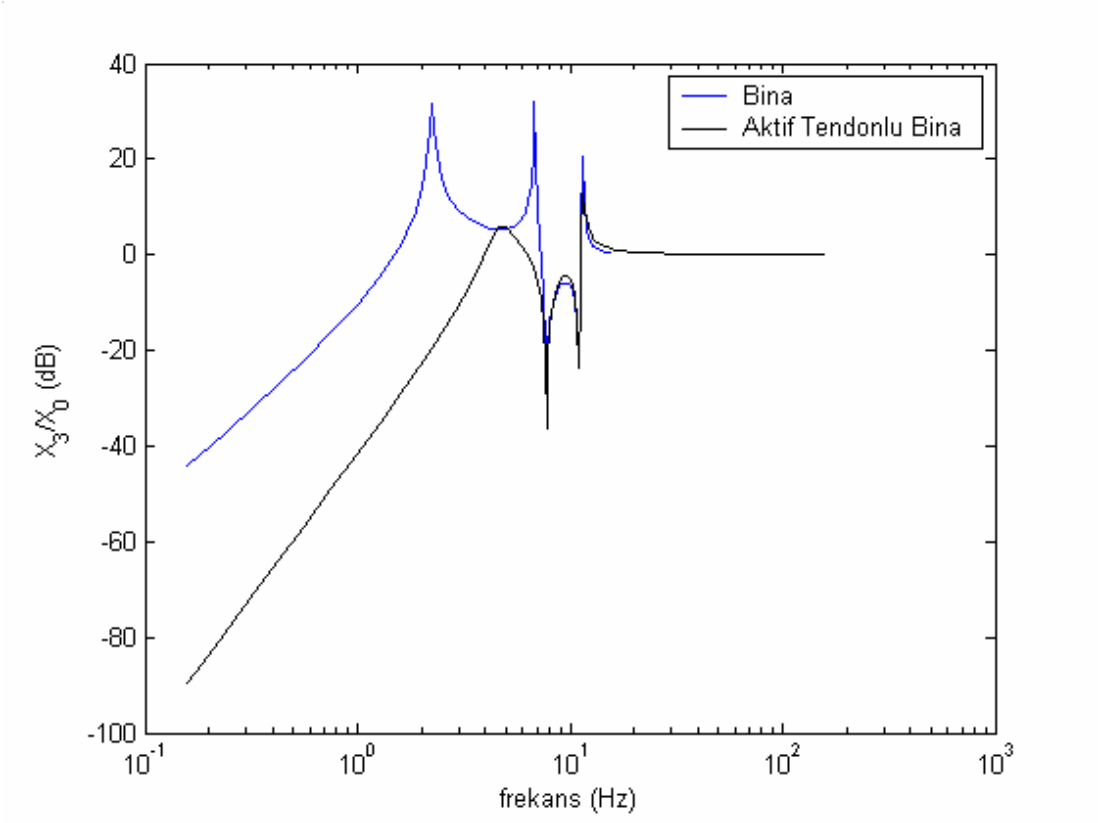
Şekil 6.29: Üçüncü katın hız grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.30: Üçüncü katın ivme grafiği (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



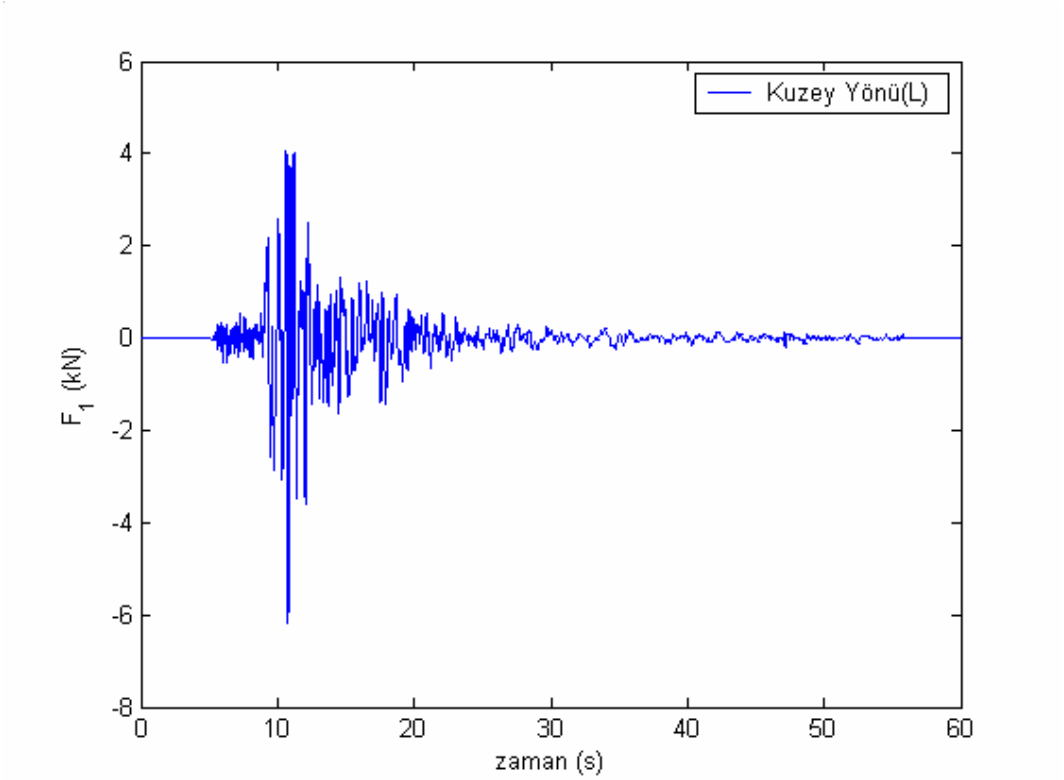
Şekil 6.31: Üçüncü katın faz planı (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



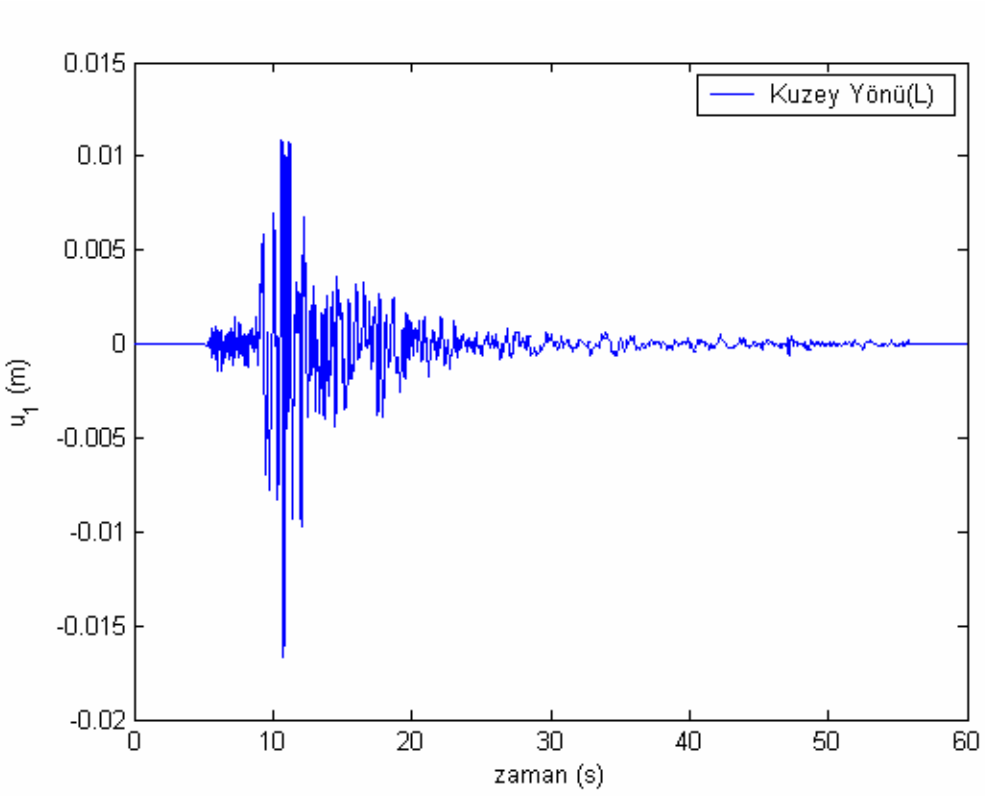
Şekil 6.32: Üçüncü katın frekans cevabı (Tüm katlarda kontrol)

Üçüncü katın frekans cevabında, transfer fonksiyonu değerleri oldukça düşmüştür. Son rezonans değerinde azalma az olmuştur. Aynen kütle sönümleyicilerinde de bu durum meydana gelmektedir.

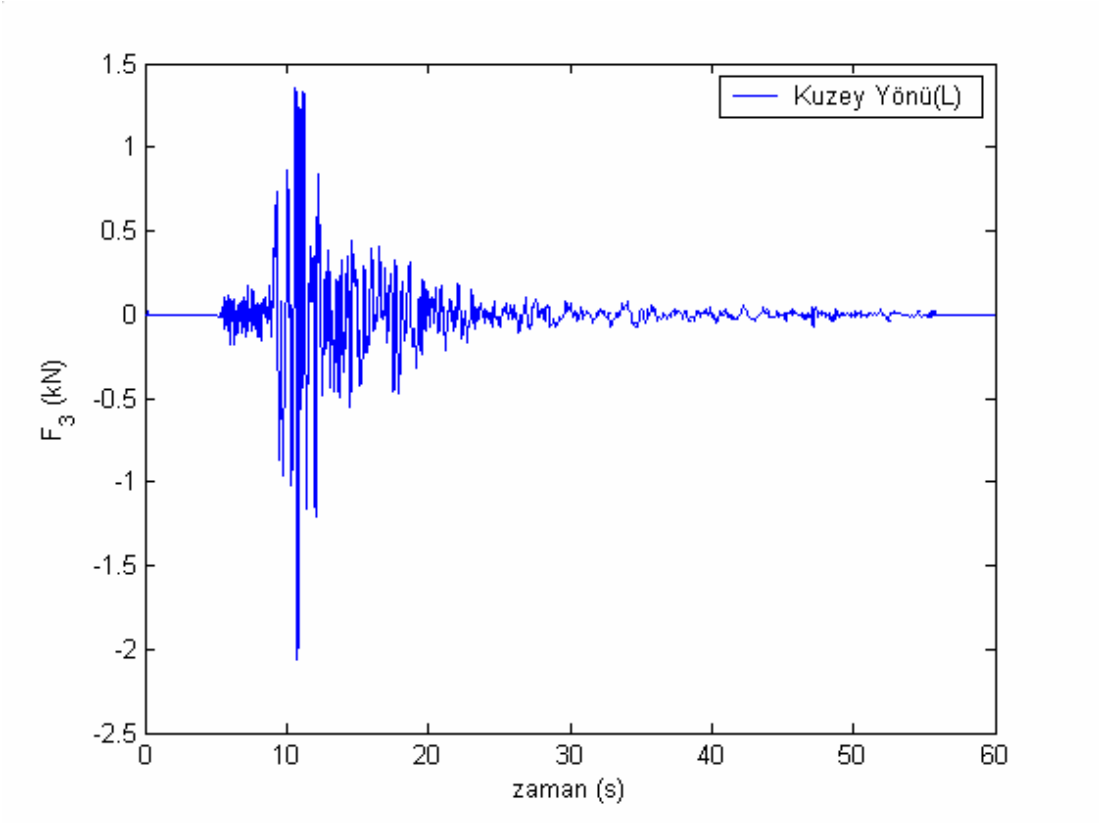
Bir sonraki sayfada, birinci kata etkiyen bir tendonun kuvvet değişimi ve kontrol sinyali verilmiştir. Ondan sonraki sayfada ise aynı tür grafiklerin üçüncü kat için olanları verilmiştir. Bulunan değerler, sadece birinci kattan kontrol edilen sisteme göre oldukça düşüktür.



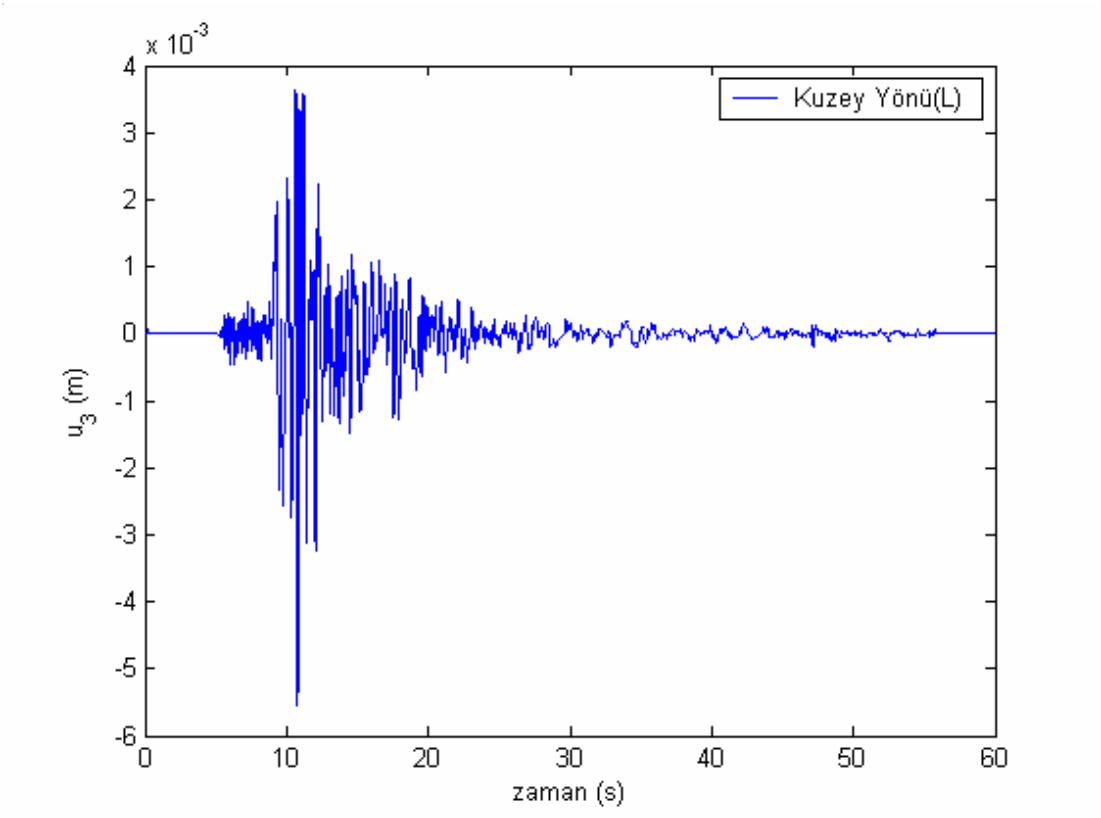
Şekil 6.33: Birinci katta bulunan bir tendonun kuvvetinin değişimi (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.34: Birinci kattaki kontrol sinyali (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



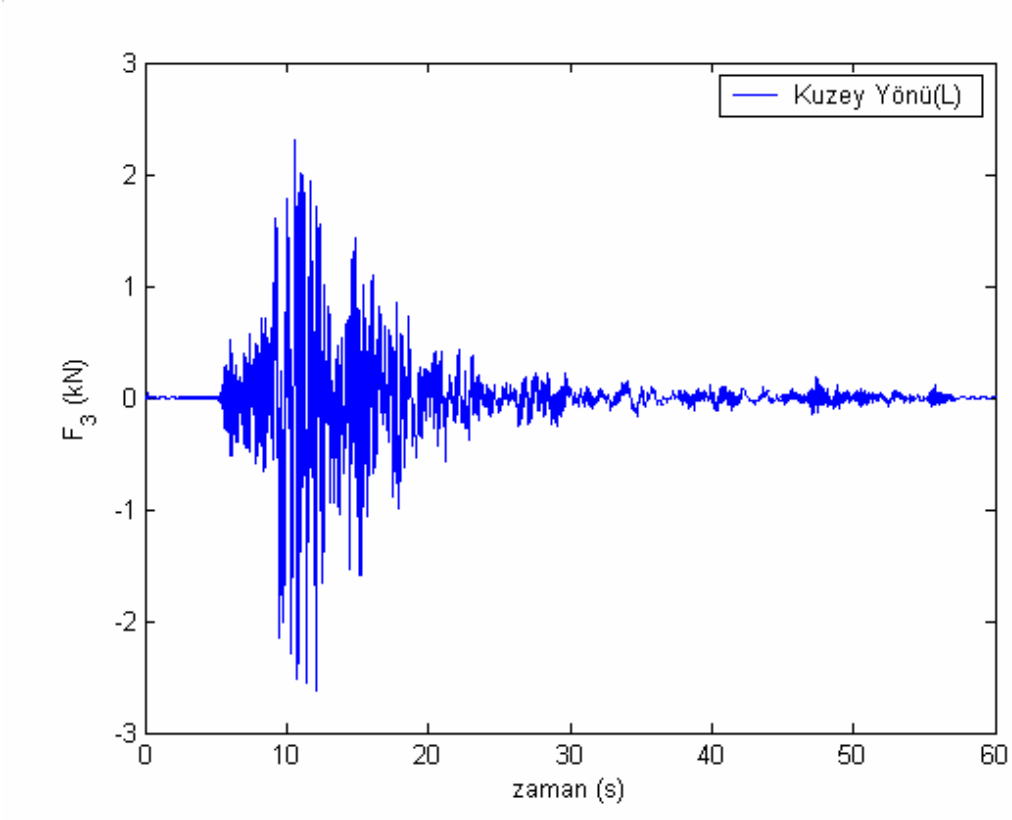
Şekil 6.35: Üçüncü katta bulunan bir tendonun kuvvetinin değişimi (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



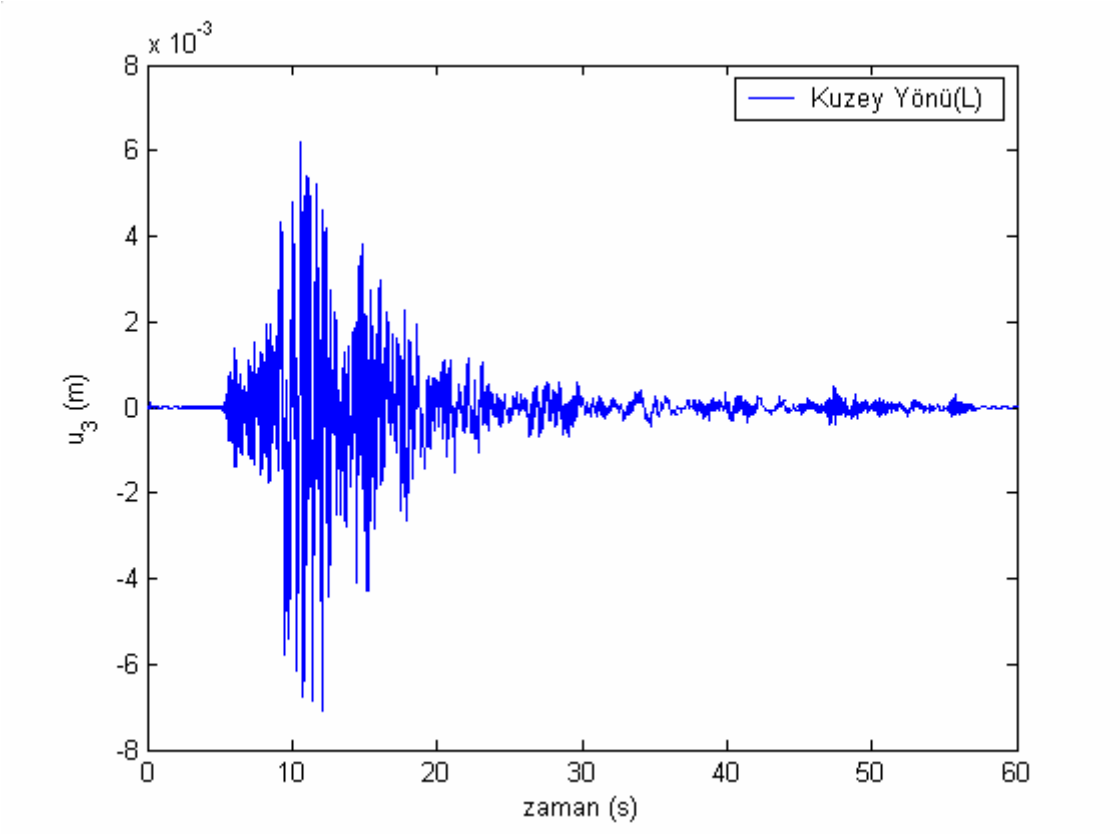
Şekil 6.36: Üçüncü kattaki kontrol sinyali (Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

6.2.c : Aşağı kattan tüm katlara uzanan tendonlar olduğu halde

Bu durumda kontrol kuvvetleri, tüm katlarda aktif tendon kontrolü olması halinde elde edilen kontrol kuvvetleri ile aynı olması kontrolcü katsayıları ile sağlanmıştır. Onun için, tendonlardaki kuvvet değişimleri ve kontrol sinyalleri hariç tüm veriler aynıdır. En yüksek kontrol sinyali ve tendon kuvveti değişimi, üçüncü kata uzanan tendonda görülmektedir. Bu uygulamanın çok dezavantajı olduğu halde, tendondaki kontrol değişimleri ve kontrol sinyalleri oldukça azdır.



Şekil 6.37: Üçüncü kata uzanan bir tendonun kuvvetinin değişimi
(Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)



Şekil 6.38: Üçüncü katı kontrol etmek için kontrol sinyali
(Tüm katlarda kontrol-Bolu kaydı-L yönü)

KAYNAKLAR

[1] İSİMSİZ ANONİM "Maurer Tuned Mass Dampers - Technical Information and Products", Maurer Söhne

[2] Chung L. L., Reinhorn A. M., Soong T. T., "Experiments on Active Control of Seismic Structures", Journal of Engineering Mechanics Volume 114, No 2, (February 1988) (241-255)

[3] Chung L. L., Lin R. C., Reinhorn A. M., Soong T. T., "Experimental Study of Active Control for MDOF Seismic Structures", Journal of Engineering Mechanics Volume 115, No 8, (August 1989) (1609-1627)

[4] Betti R., Panariello G. F., "Active Tendon Control Systems for Structures Subjected to Multiple Support Excitation", Smart Materials and Structures Volume 4, Number 3, (1995) (153-163)

[5] Yalçın K., "Mekanik Titreşimler", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları, 2002-2003

[6] Yalçın K., "Sistem Dinamiği (Otomatik-Kontrol)", İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları, 2002-2003

[7] De Cock K., De Moor B., Minten W., Van Brempt W., Verrelst H., "A Tutorial on PID-control", Katholieke Universiteit Leuren Department of Electrical Engineering ESAT-SISTA /TR 1997-08 (1997)

[8] Yağız N., Güçlü R., Yüksek İ., "Aktif Kütle Sönümleyicili Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Depreme Karşı LQR Kontrolü", Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı:498, Temmuz 2001.

[9] Ertal C., "Deprem Karşısında Bina Titreşimlerinin Analizi ve Kontrolü", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (2001)

[10] Li C., “Evaluation of the lever-type active tuned mass damper for structures”, Structural Control and Health Monitoring Volume 11, (2004) (259–271)

[11] Data T. K., “A State-of-the-art Review on Active Control of Structures”, Journal of Earthquake Technology Volume 40, No 1, (March 2003) (1-17)

[12] www.cs.columbia.edu, Computer Science at Columbia University

[13] Den Hartog J. P., “Mekanik Titreşimler”, Sayfa 117-141, İTÜ Matbası, İstanbul, 1949

[14] Saito T., Shiba K., Tamura K. “Vibration control characteristics of a hybrid mass damper system installed in tall buildings”, Earthquake Engineering & Structural Dynamics Volume 30, Issue 11, (November 2001) (p 1677-1696)

[15] Sedarat H., Kosut R., “Active Control in Structures”, 13th ASCE Engineering Mechanics Division Conference, Baltimore, (June 13-16 1999)

[16] www.deprem.gov.tr, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi

[17] Chung L. L., “Modified Predictive Control of Structures”, Engineering Structures Volume 21, (1999) (p 1076-1085)

[18] Chung L.L., Wang Y. P., Tung C. C., “Instantaneous Control of Structures with Time-Delay Consideration”, Engineering Structures Volume 19, No 6, (1997) (p 465-475)

[19] Chung L.L., Wu L. Y., Jin T. G., “Acceleration Feedback Control of Seismic Structures ”, Engineering Structures Volume 20, No 1-2, (1998) (p 62-74)

[20] Mei G., Kareem A., Kantor J. C., “Model Predictive Control of Structures under Earthquakes using Acceleration Feedback”, Journal of Engineering Mechanics Volume 128, No 5, (May 2002) (p 574-585)

[21] Lu J., Skelton R. E., “Optimal Hybrid Control for Structures”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Volume 13, (1998) (p 405-414)

[22] Spencer B.F., Dyke S. J., Deoskar H. S., "Benchmark Problems in Structural Control: Part II – Active Tendon System", Earthquake Engineering and Structural Dynamics Volume 27, (1998) (p 1141-1147)

[23] Lin C.-C., Wang J.-F., Ueng J.-M., "Vibration control identification of seismically excited m.d.o.f. structure-PTMD systems", Journal of Sound and Vibration (2001) 240(1), (p87-115)

[24] Hill M., Wilson C., Abdullah M. M., "Determination of natural frequencies and mode shapes of multi-degree of freedom structures", University Consortium on Instructional Shake Tables

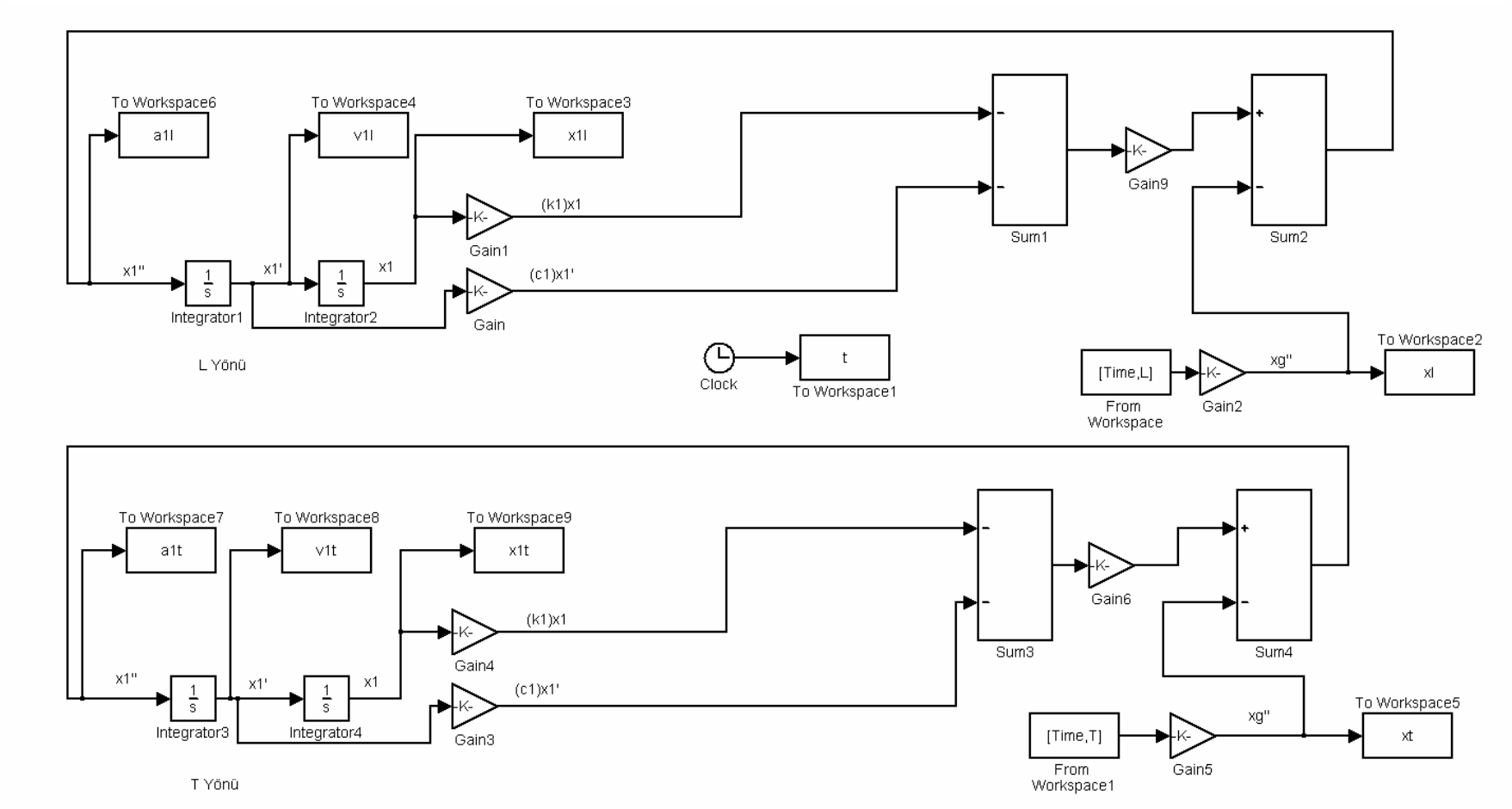
[25] Sadek F., Mohraz B., Taylor A. W., Chung R. M., "A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications", Earthquake Engineering & Structural Dynamics Volume 26 (1997) (p 617-635)

[26] Seto W. W., "Theory and Problems of Mechanical Vibrations", Mc Graw Hill Schaum's Outline Series, Haziran 1983

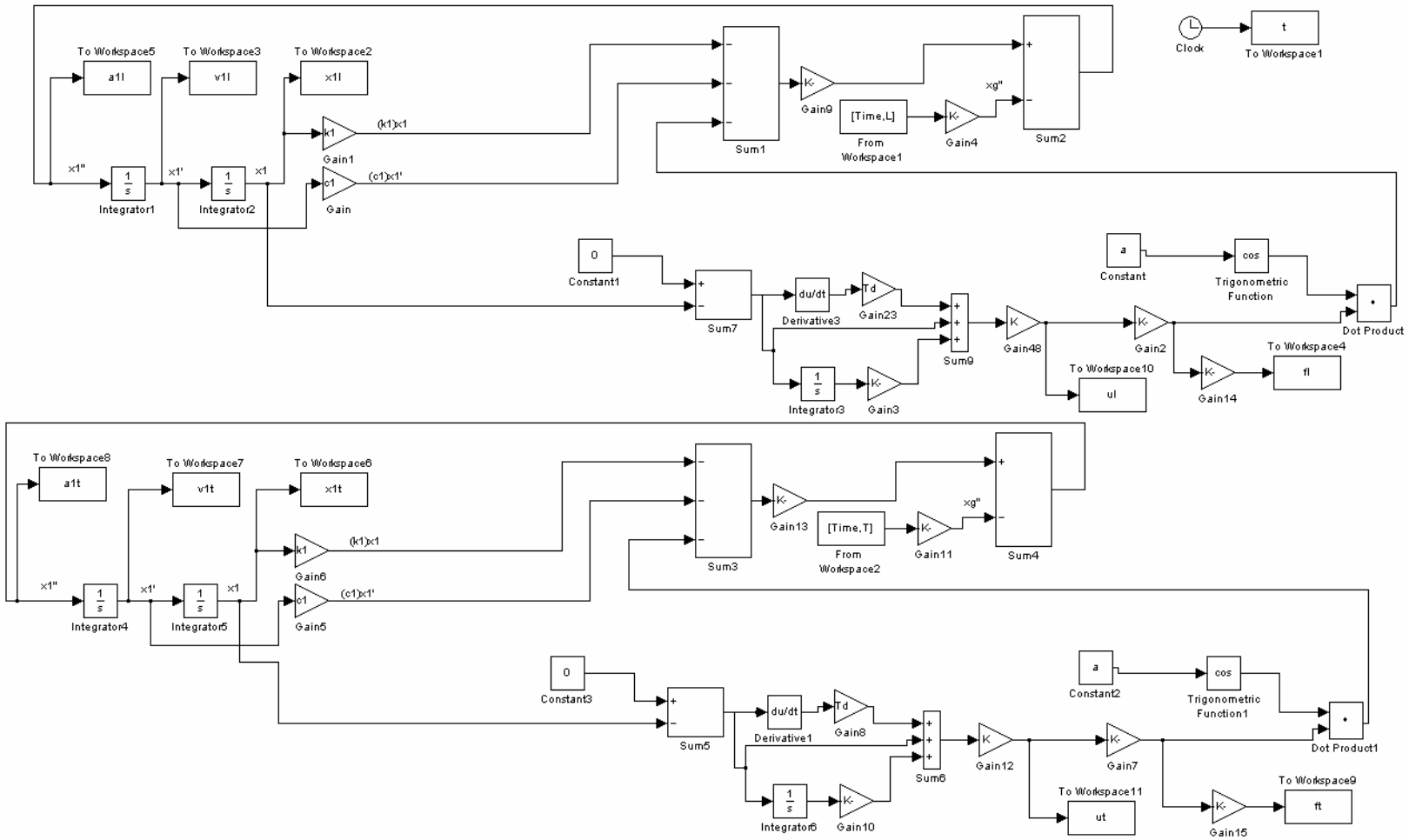
[27] Allemang R. J., "Vibration Control Notes", University of Cincinnati, Nisan 94

EK 1

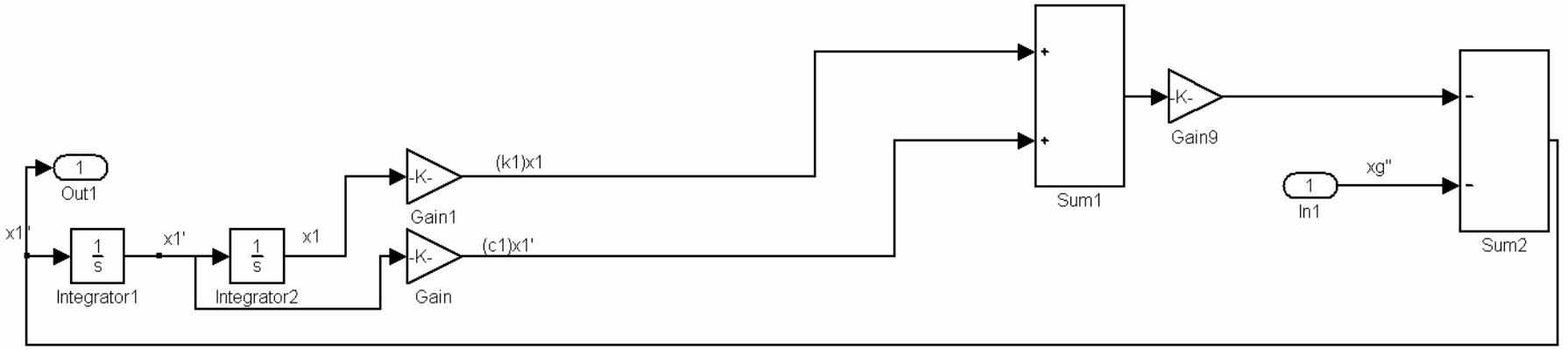
Simulink Blok Diagramları



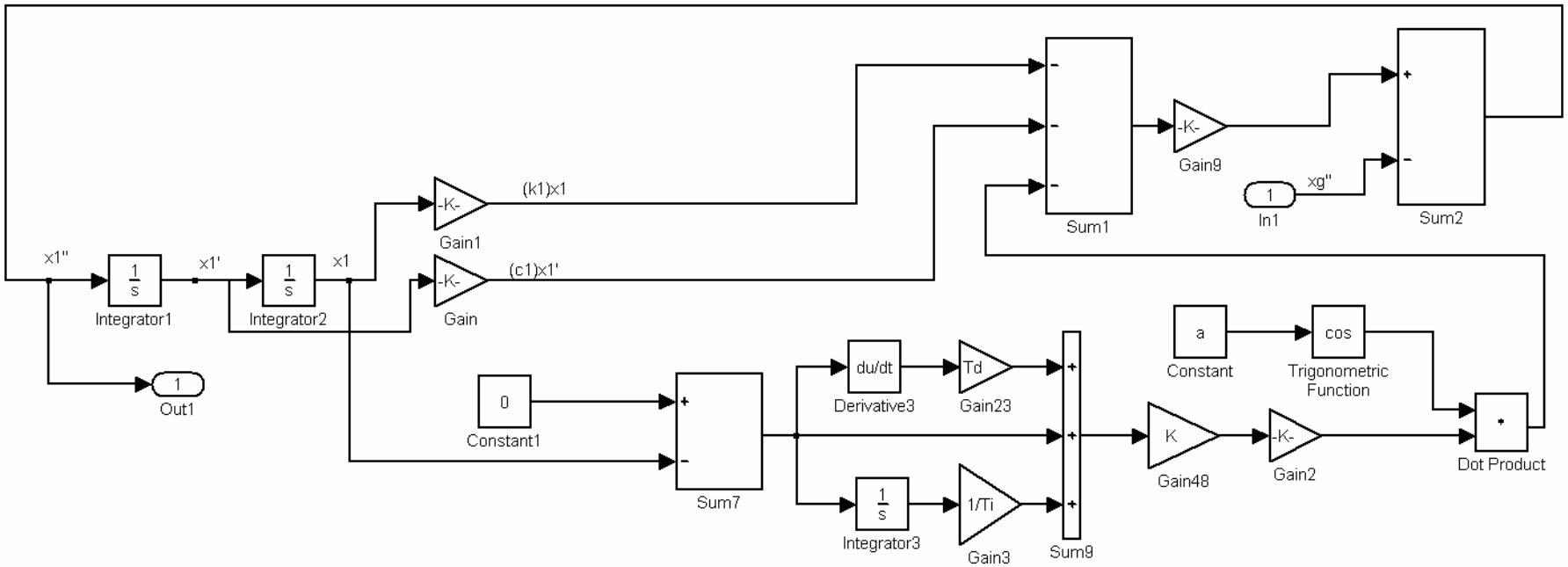
Tek Serbestlik Dereceli Kontrolsüz Binanın Blok Diyagramı



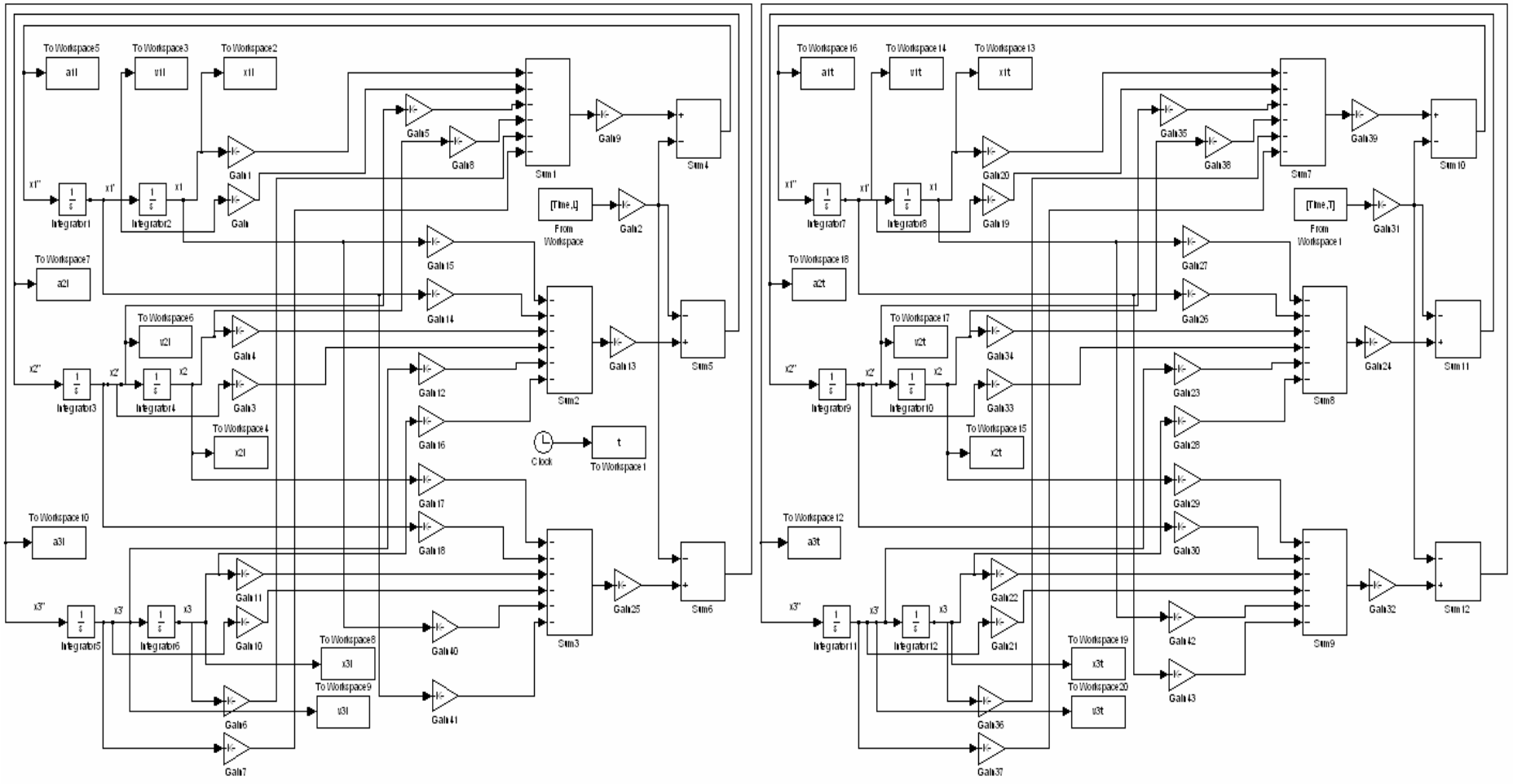
Tek Serbestlik Dereceli Aktif Tendonlu Binanın Blok Diyagramı



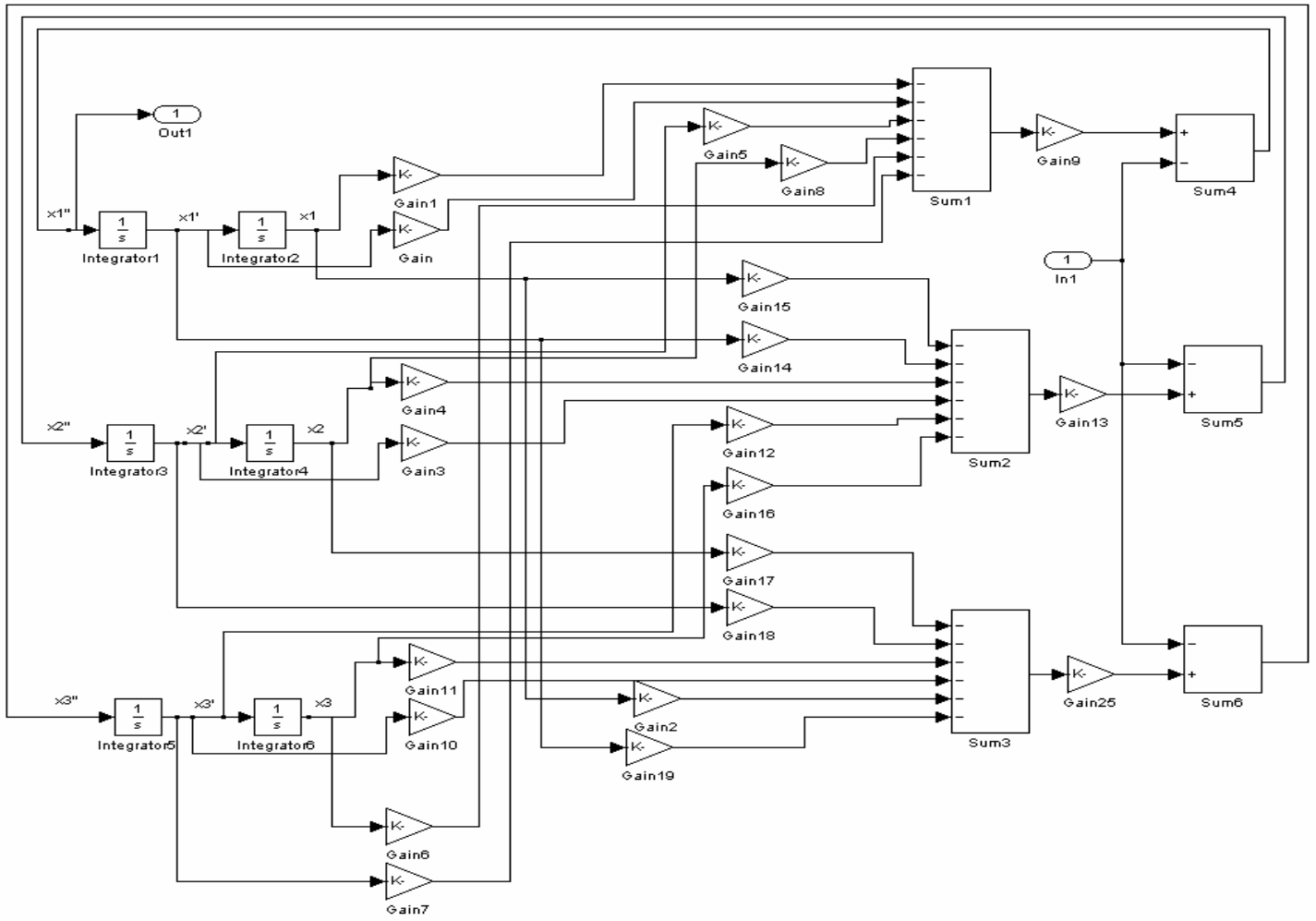
Tek Serbestlik Dereceli Kontrolsüz Binanın Frekans Cevabı için Blok Diyagramı



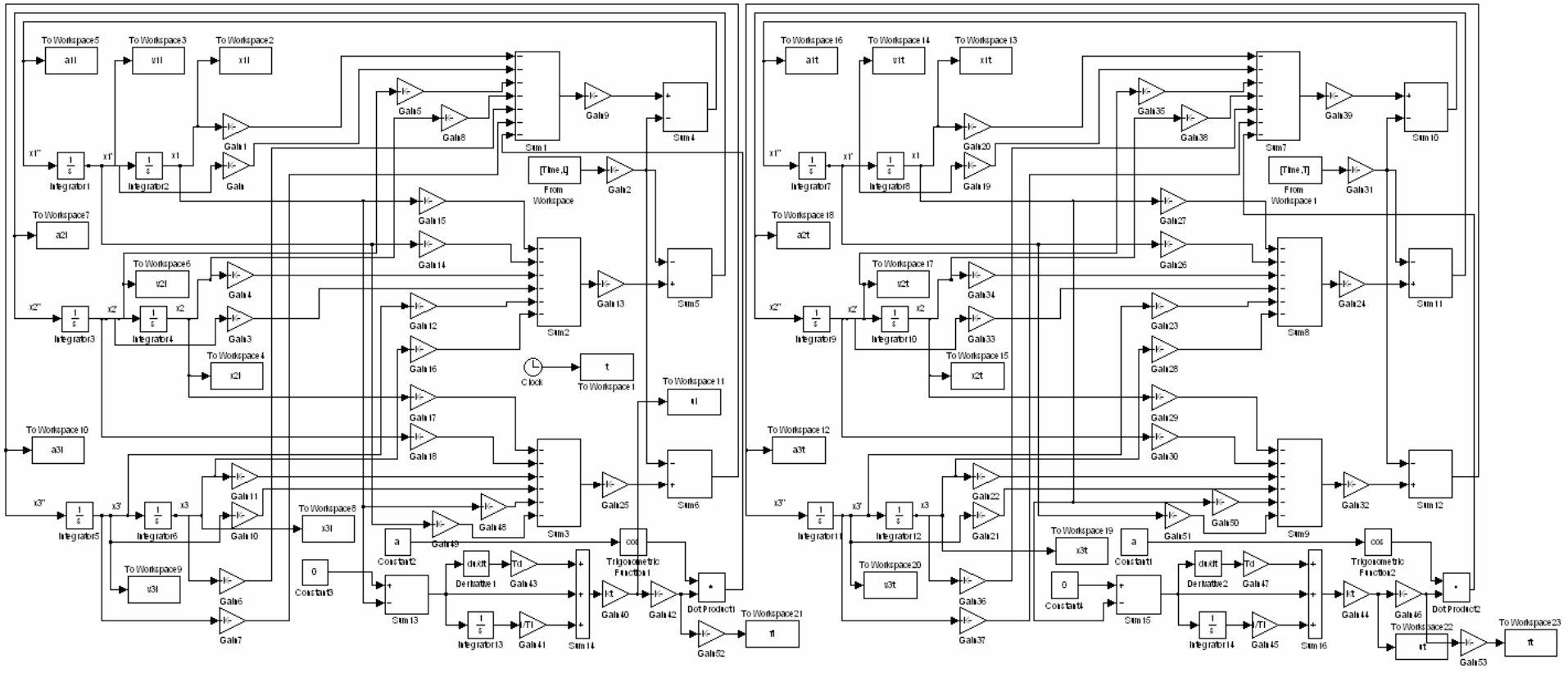
Tek Serbestlik Dereceli Aktif Tendonlu Binanın Frekans Cevabı için Blok Diyagramı



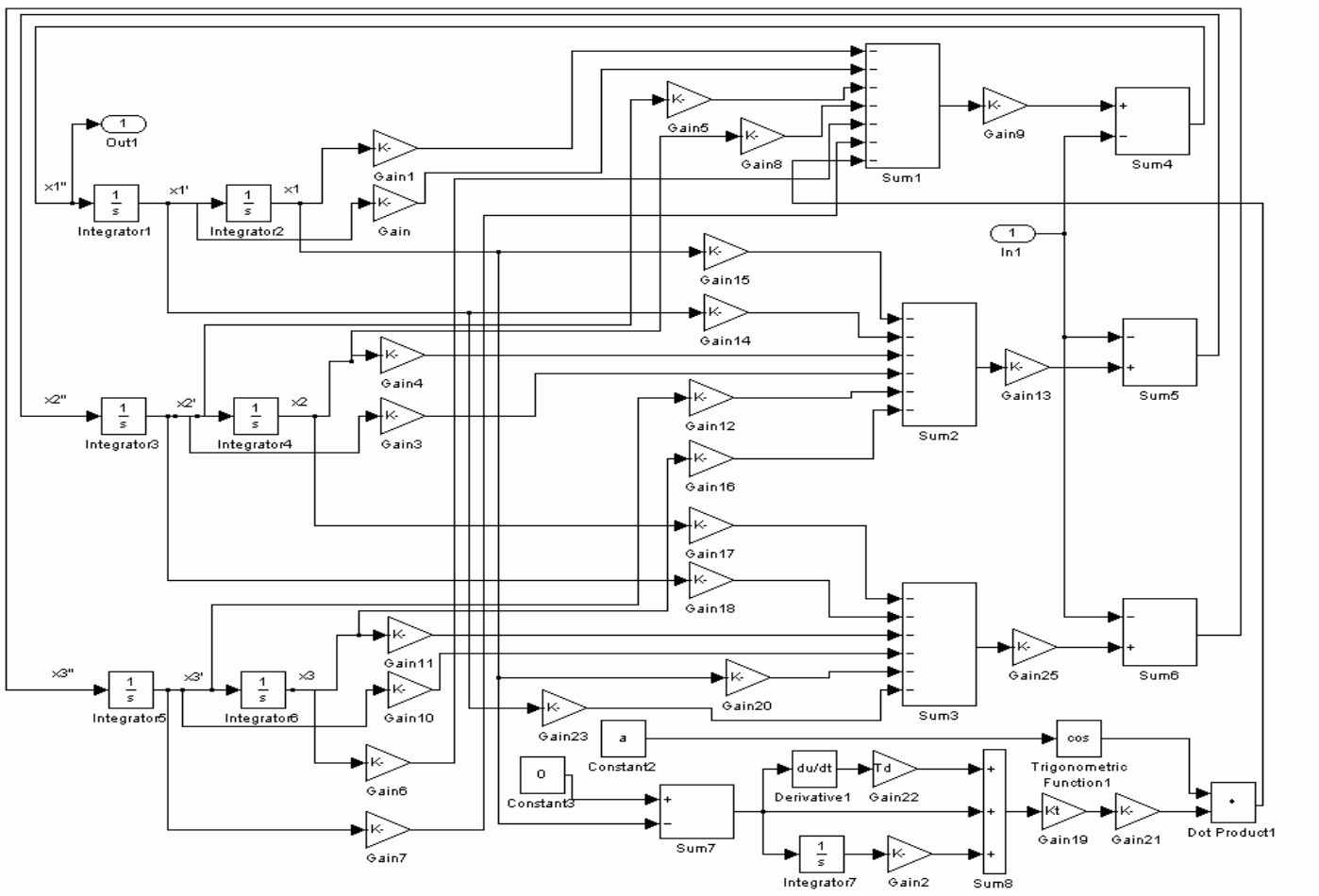
Üç Serbestlik Dereceli Kontrolsüz Binanın Blok Diyagramı



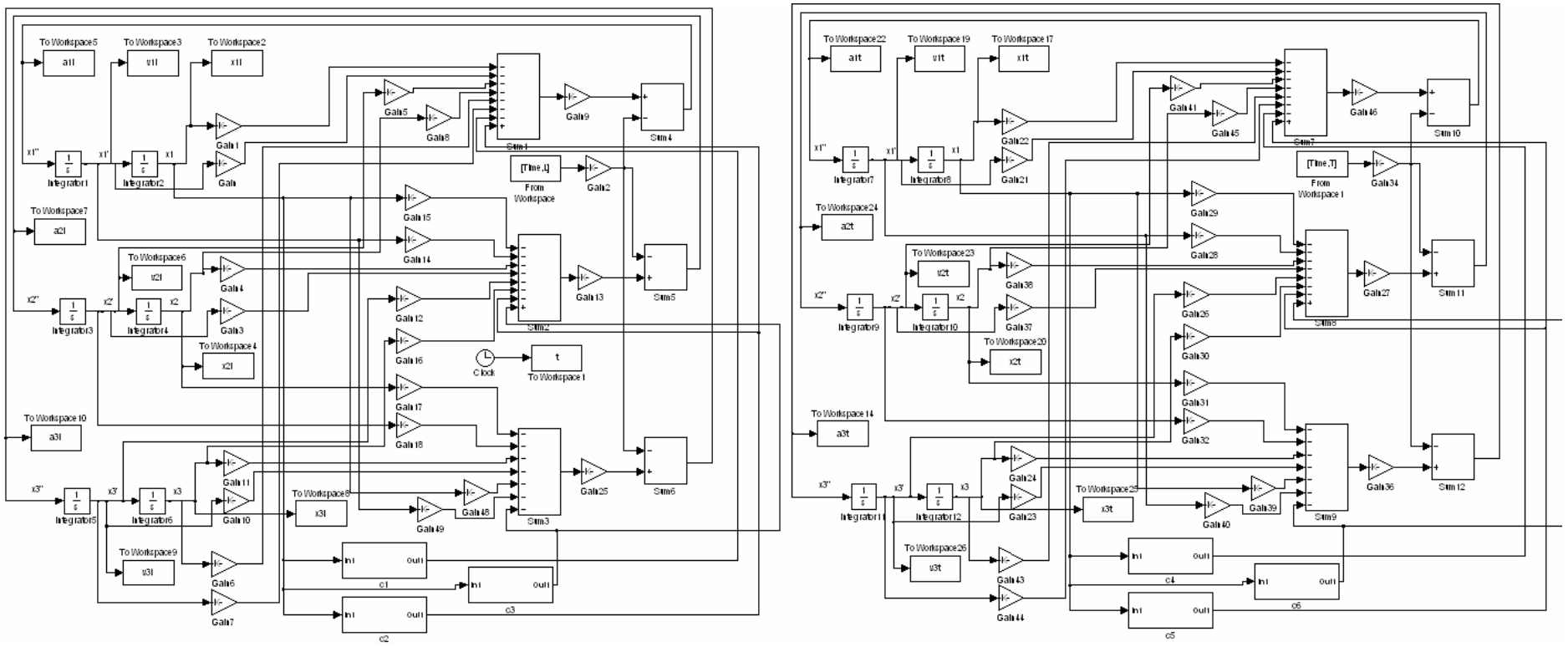
Üç Serbestlik Dereceli Kontrolsüz Binanın Birinci Katının Frekans Cevabı için Blok Diyagramı



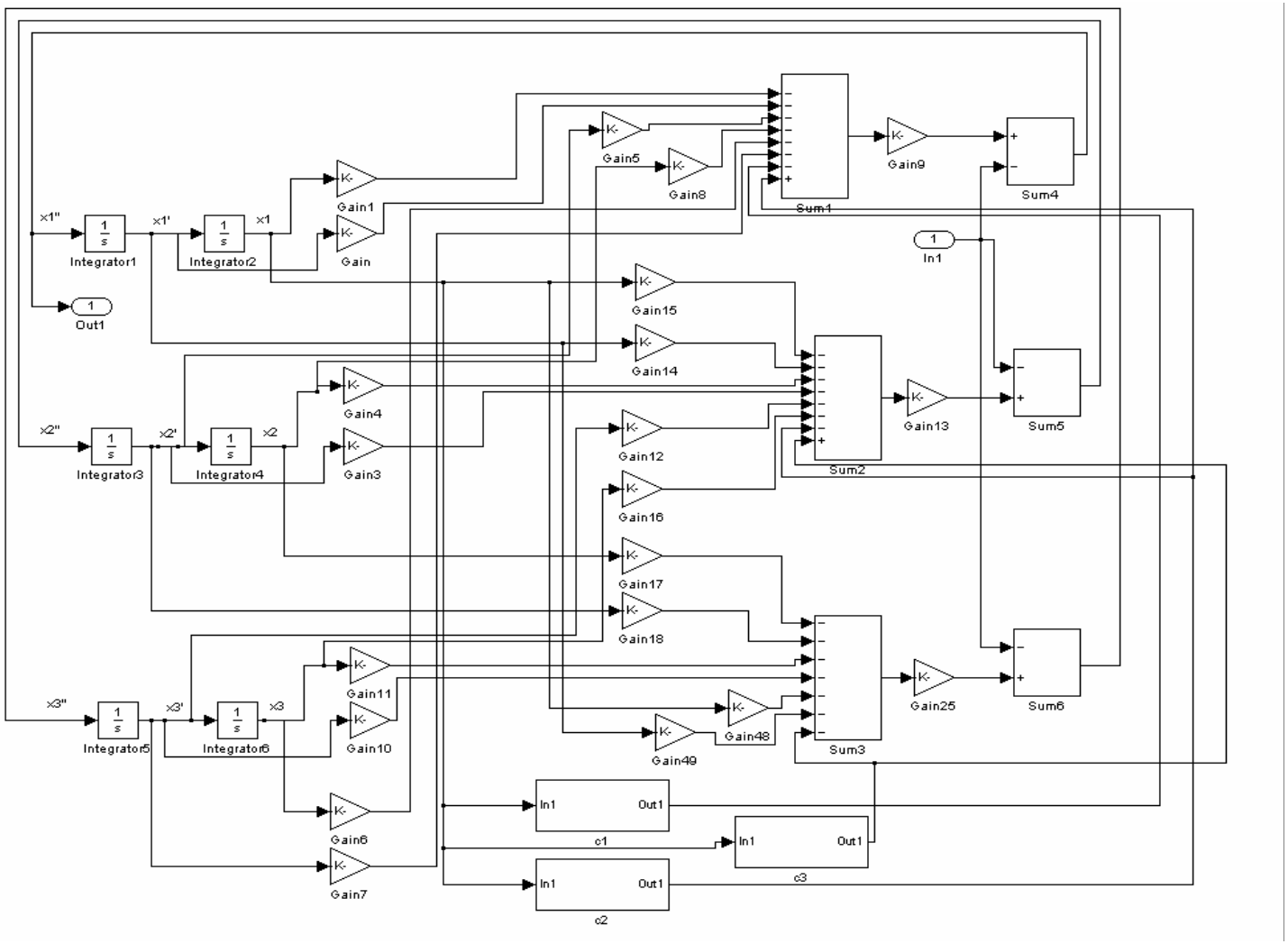
Üç Serbestlik Dereceli Sadece İlk Kat Kontrollü Binanın Blok Diyagramı



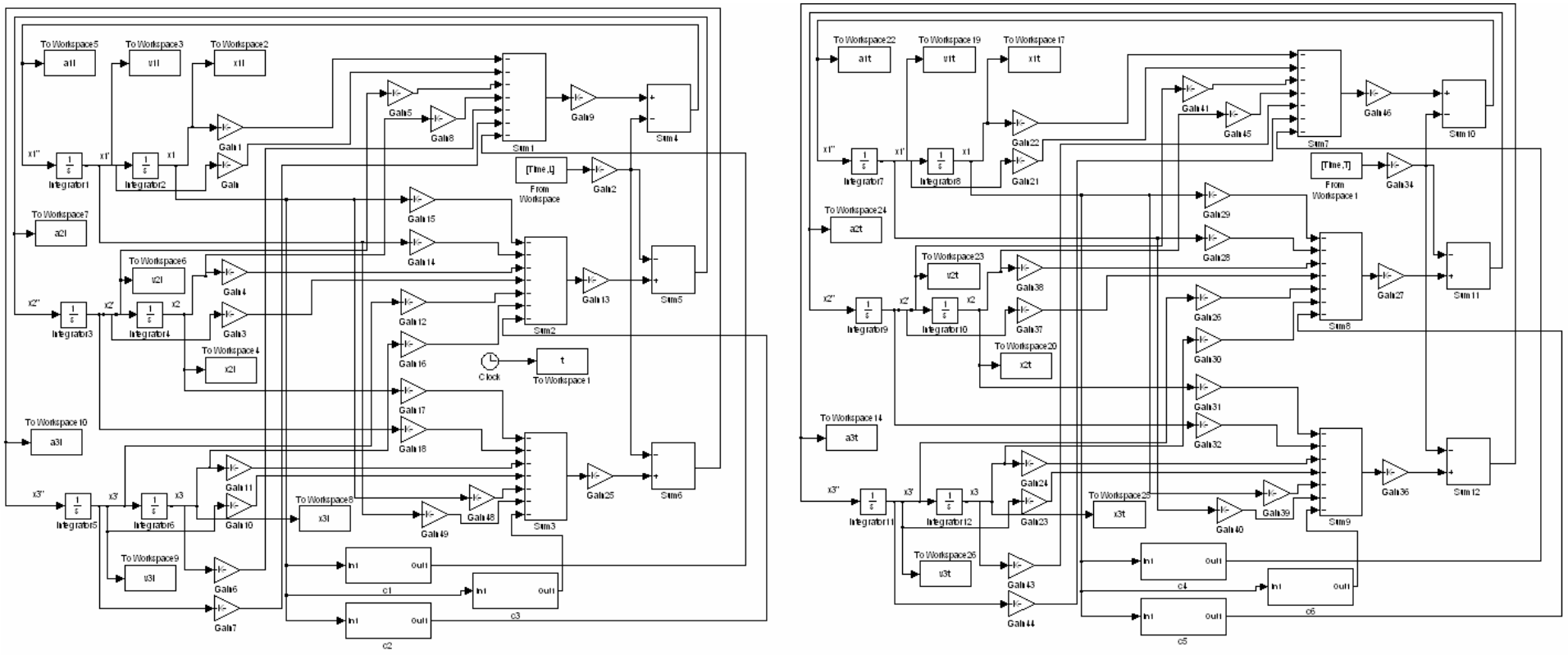
Üç Serbestlik Dereceli Sadece İlk Kat Kontrollü Binanın Birinci Katının Frekans Cevabı için Blok Diyagramı



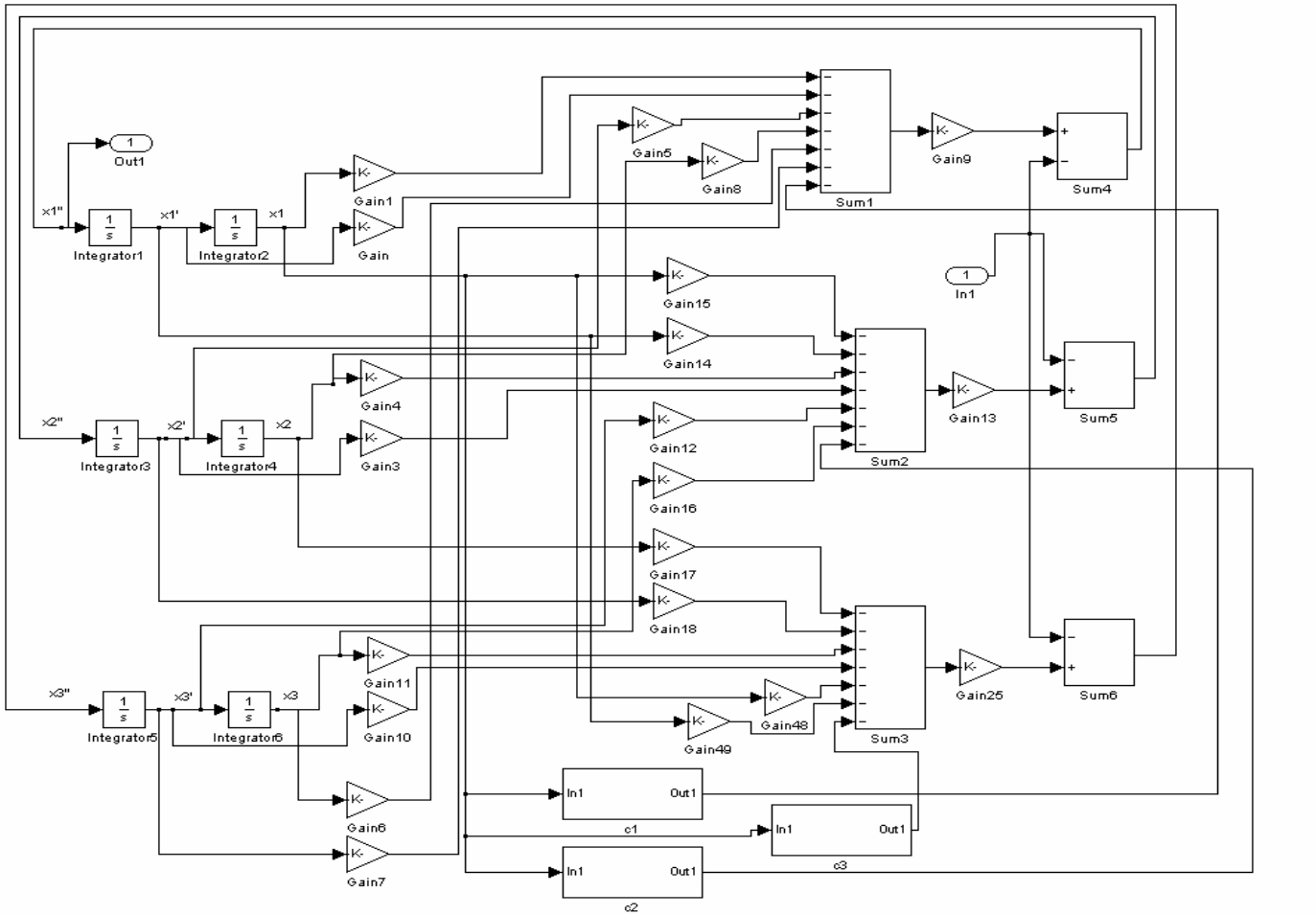
Üç Serbestlik Dereceli Tüm Katlarda Aktif Tendon Kontrollü Binanın Blok Diyagramı



Üç Serbestlik Dereceli Tüm Katlarda Aktif Tendon Kontrollü Binanın Birinci Katının Frekans Cevabı için Blok Diyagramı



Üç Serbestlik Dereceli Tüm Katlara Aşağıdan Aktif Tendon Uzanan Binanın Blok Diyagramı



Üç Serbestlik Dereceli Tüm Katlara Aşağıdan Aktif Tendon Uzanan

Binanın Birinci Katının Frekans Cevabı için Blok Diyagramı

EK 2

Matlab M-File Dosyaları

Tek Serbestlik Dereceli Sistem ve Sakarya Kaydı için M-file dosyası

```
m1=2924;
k1=1390000;
k2=0;
c1=1581;
c2=0;
kc=372100;
a=0.6283185307;
K=-0.6;
Td=0.6;
Ti=0.01;
Time = saktime
L = sak(:,1)
T = sak(:,2)

sim sdof;
figure (1)
plot (t,xl);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Deprem ivmesi (m/s^2)')
legend('Kuzey yönü(L)')
sim sdof;
figure (2)
plot (t,xt);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Deprem ivmesi (m/s^2)')
legend('Dogu yönü(T)')
sim sdof;
figure (3)
plot (t,x1l);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,x1l,'r');
```

```
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (4)
plot (t,x1t);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,x1t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (5)
plot (t,v1l);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,v1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (6)
plot (t,v1t);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,v1t,'r');
hold off
```

```
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (7)
plot (t,a1l);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,a1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (8)
plot (t,a1t);
hold on
sim sdof_tendon;
plot (t,a1t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim sdof;
figure (9)
plot (x1l,v1l);
ylabel('dx/dt (m/s)')
xlabel('x (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde) ')
sim sdof;
figure (10)
```

```
plot (x1t,v1t);
ylabel('dx/dt (m/s)')
xlabel('x (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Dogu yönünde) ')
sim sdof_tendon;
figure (11)
plot (x1l,v1l);
ylabel('dx/dt (m/s)')
xlabel('x (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde) ')
sim sdof_tendon;
figure (12)
plot (x1t,v1t);
ylabel('dx/dt (m/s)')
xlabel('x (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde) ')
sim sdof_tendon;
figure (13)
plot (t,fl);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Tendon Kuvveti (kN)')
legend('Kuzey Yönü(L)')
sim sdof_tendon;
figure (14)
plot (t,ft);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Tendon Kuvveti (kN)')
legend('Dogu Yönü(T)')
figure (15)
plot (t,ul);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Kontrol sinyali (m)')
legend('Kuzey Yönü(L)')
sim sdof_tendon;
```

```
figure (16)
plot (t,ut);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Kontrol sinyali (m)')
legend('Dogu Yönü(T)')
% frekans cevabı
figure (17)
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('sdof_fre');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag));
hold on
% frekans cevabı
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('sdof_fre_tendon');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag),'k');
xlabel('frekans (Hz)')
ylabel('X_1/X_0 (dB)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
```

Üç Serbestlik Dereceli Sistem ve İstanbul Kaydı için M-file dosyası

```
m1=981;
m2=981;
m3=981;
K=[2741700      -1641600      369100
   -1641600     3022200       -1624800
   369100       -1624800       1333600];
C=[382.8    -57.3    61.7
   -57.3    456.9   -2.6
   61.7     -2.6    437.5];
kc=372100;
a=0.6283185307;
Kt=-0.6;
Td=0.6;
Ti=0.01;
Time = isttime
L = ist(:,1)
T = ist(:,2)

sim mdof;
figure (1)
plot (t,x1l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_1 (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (2)
plot (t,x1t);
```

```
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x1t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_1 (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (3)
plot (t,v1l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (4)
plot (t,v1t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v1t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (5)
plot (t,a1l);
hold on
```

```
sim mdof_tendon;
plot (t,a1l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_1/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (6)
plot (t,a1t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,a1t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_1/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (7)
plot (x1l,v1l);
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
xlabel('x_1 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof;
figure (8)
plot (x1t,v1t);
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
xlabel('x_1 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Dogu yönünde) ')
sim mdof_tendon;
figure (9)
plot (x1l,v1l);
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
```

```
xlabel('x_1 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof_tendon;
figure (10)
plot (x1t,v1t);
ylabel('dx_1/dt (m/s)')
xlabel('x_1 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde) ')
% frekans cevabı
figure (11)
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_fre1');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag));
hold on
% frekans cevabı
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_tendon_fre1');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag),'k');
xlabel('frekans (Hz)')
ylabel('X_1/X_0 (dB)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')

sim mdof;
figure (12)
plot (t,x2l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x2l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_2 (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
```

```
figure (13)
plot (t,x2t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x2t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_2 (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (14)
plot (t,v2l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v2l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (15)
plot (t,v2t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v2t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (16)
```

```
plot (t,a2l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,a2l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_2/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (17)
plot (t,a2t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,a2t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_2/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (18)
plot (x2l,v2l);
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
xlabel('x_2 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof;
figure (19)
plot (x2t,v2t);
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
xlabel('x_2 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Dogu yönünde) ')
sim mdof_tendon;
figure (20)
```

```
plot (x2l,v2l);
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
xlabel('x_2 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof_tendon;
figure (21)
plot (x2t,v2t);
ylabel('dx_2/dt (m/s)')
xlabel('x_2 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde) ')
% frekans cevabı
figure (22)
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_fre2');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag));
hold on
% frekans cevabı
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_tendon_fre2');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag),'k');
xlabel('frekans (Hz)')
ylabel('X_2/X_0 (dB)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')

sim mdof;
figure (23)
plot (t,x3l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x3l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_3 (m)')
```

```
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (24)
plot (t,x3t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,x3t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('x_3 (m)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (25)
plot (t,v3l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v3l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (26)
plot (t,v3t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,v3t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
```

```
sim mdof;
figure (27)
plot (t,a3l);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,a3l,'r');
hold off
title('Kuzey Yönü(L)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_3/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (28)
plot (t,a3t);
hold on
sim mdof_tendon;
plot (t,a3t,'r');
hold off
title('Dogu Yönü(T)')
xlabel('zaman (s)')
ylabel('d^2x_3/dt^2 (m/s^2)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')
sim mdof;
figure (29)
plot (x3l,v3l);
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
xlabel('x_3 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof;
figure (30)
plot (x3t,v3t);
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
xlabel('x_3 (m)')
legend('Kontrolsuz bina (Dogu yönünde) ')
```

```
sim mdof_tendon;
figure (31)
plot (x3l,v3l);
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
xlabel('x_3 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde) ')
sim mdof_tendon;
figure (32)
plot (x3t,v3t);
ylabel('dx_3/dt (m/s)')
xlabel('x_3 (m)')
legend('Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde) ')
% frekans cevabı
figure (33)
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_fre3');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag));
hold on
% frekans cevabı
[Ac,Bc,Cc,Dc]=linmod('mdof_tendon_fre3');
[mag,phase,w]=bode(Ac,Bc,Cc,Dc);
semilogx(w/2/pi,20*log10(mag),'k');
xlabel('frekans (Hz)')
ylabel('X_3/X_0 (dB)')
legend('Bina','Aktif Tendonlu Bina')

sim mdof_tendon;
figure (34)
plot (t,fl);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Tendon Kuvveti (kN)')
legend('Kuzey Yönü(L)')
sim mdof_tendon;
figure (35)
```

```
plot (t,ft);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Tendon Kuvveti (kN)')
legend('Dogu Yönü(T)')
figure (36)
plot (t,ul);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Kontrol sinyali (m)')
legend('Kuzey Yönü(L)')
sim mdof_tendon;
figure (37)
plot (t,ut);
xlabel('zaman (s)')
ylabel('Kontrol sinyali (m)')
legend('Dogu Yönü(T)')
```

EK 3

Üç Serbestlik Dereceli Sistemde Doğal Frekans ve Mod Şekillerini Elde Etmek için Hazırlanmış Mathcad Programı

$$m := \begin{pmatrix} 981 & 0 & 0 \\ 0 & 981 & 0 \\ 0 & 0 & 981 \end{pmatrix} \qquad k := \begin{pmatrix} 2741700 & -1641600 & 369100 \\ -1641600 & 3022200 & -1624800 \\ 369100 & -1624800 & 1333600 \end{pmatrix}$$

$ndof := 3$

$i := 0 .. ndof - 1$

$\omega_i := \sqrt{genvals(k, m)_i}$

$$w_i := \frac{\sqrt{genvals(k, m)_i}}{2 \cdot \pi}$$

$\phi := genvecs(k, m)$ $\qquad \phi = \begin{pmatrix} 0.567 & 0.777 & 0.273 \\ -0.735 & 0.328 & 0.593 \\ 0.372 & -0.537 & 0.757 \end{pmatrix}$

$\omega_i =$

72.178
42.754
14.054

$w_i =$

11.487
6.804
2.237

$$\phi 3 := \frac{\phi}{-0.735} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \phi 2 := \frac{\phi}{0.777} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \phi 1 := \frac{\phi}{0.7575} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\phi 1 = \begin{pmatrix} 0.36 \\ 0.783 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \phi 2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.423 \\ -0.691 \end{pmatrix} \qquad \phi 3 = \begin{pmatrix} -0.772 \\ 1 \\ -0.506 \end{pmatrix}$$

$mstar1 := \phi 1^T \cdot m \cdot \phi 1$ $\qquad mstar2 := \phi 2^T \cdot m \cdot \phi 2$ $\qquad mstar3 := \phi 3^T \cdot m \cdot \phi 3$

$mstar1 = 1.71 \times 10^3$ $\qquad mstar1 = 1.71 \times 10^3$ $\qquad mstar1 = 1.71 \times 10^3$

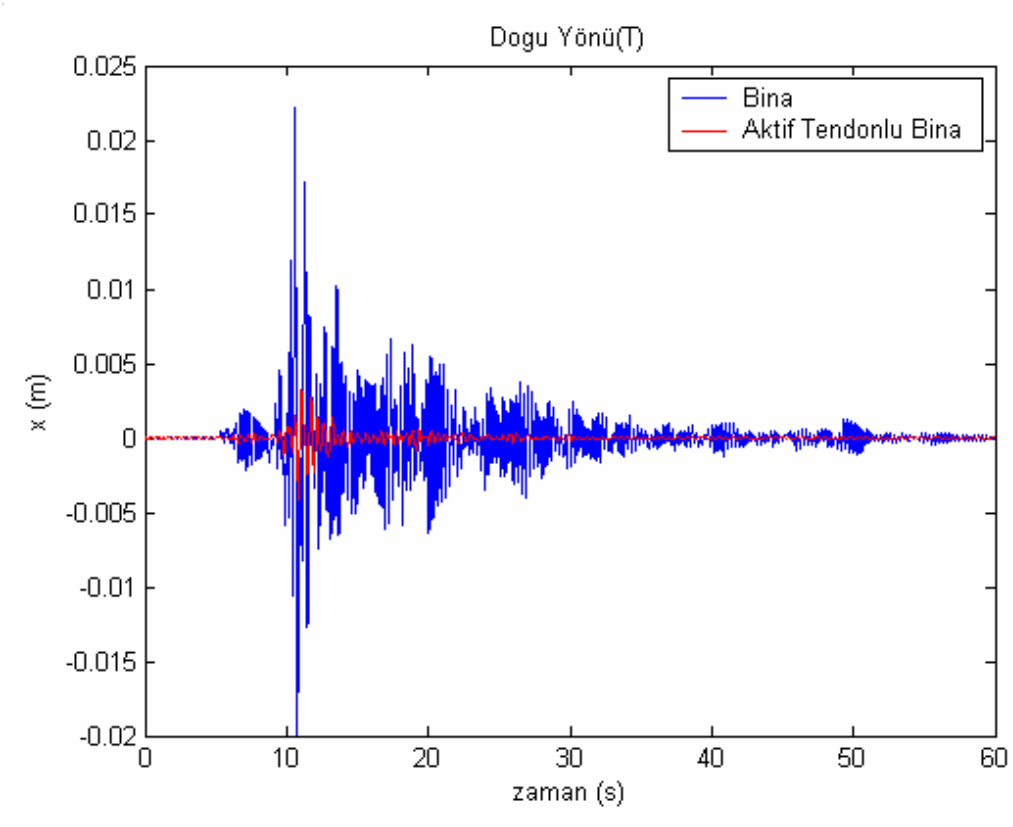
$$\phi n1 := \frac{\phi 1}{\sqrt{mstar1}} \qquad \phi n2 := \frac{\phi 2}{\sqrt{mstar2}} \qquad \phi n3 := \frac{\phi 3}{\sqrt{mstar3}}$$

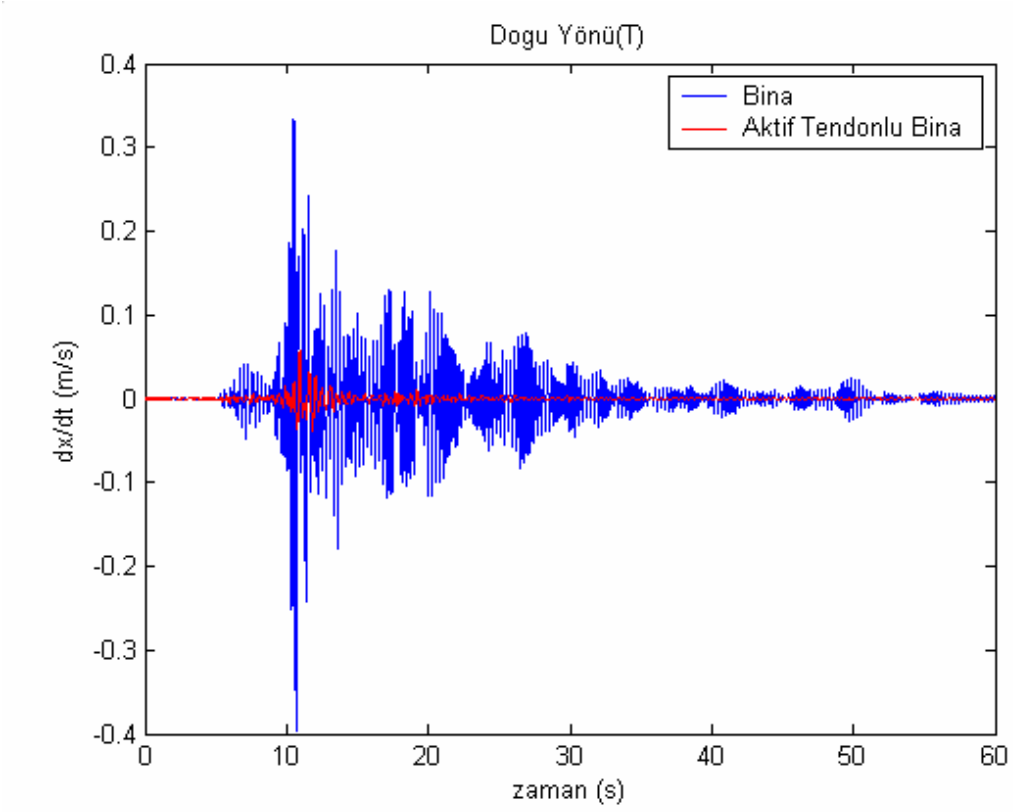
$$\phi n1 = \begin{pmatrix} 8.701 \times 10^{-3} \\ 0.019 \\ 0.024 \end{pmatrix} \qquad \phi n2 = \begin{pmatrix} 0.025 \\ 0.01 \\ -0.017 \end{pmatrix} \qquad \phi n3 = \begin{pmatrix} -0.018 \\ 0.023 \\ -0.012 \end{pmatrix}$$

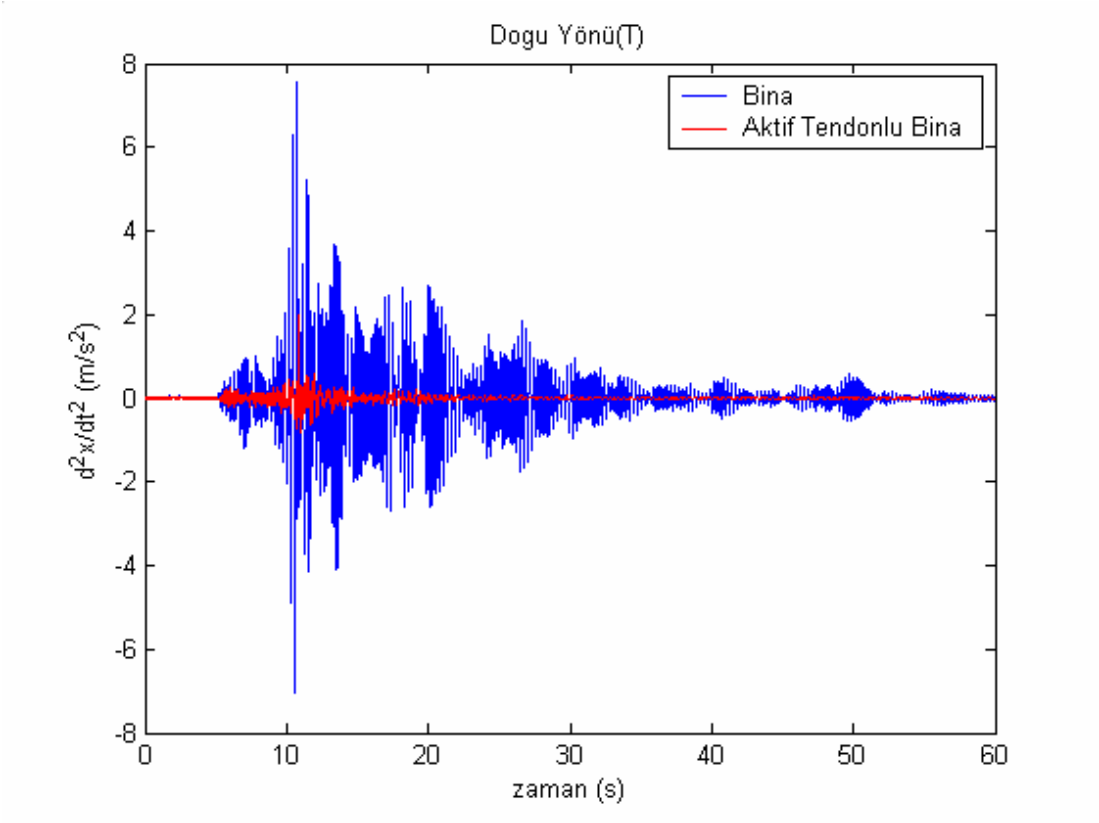
EK 4

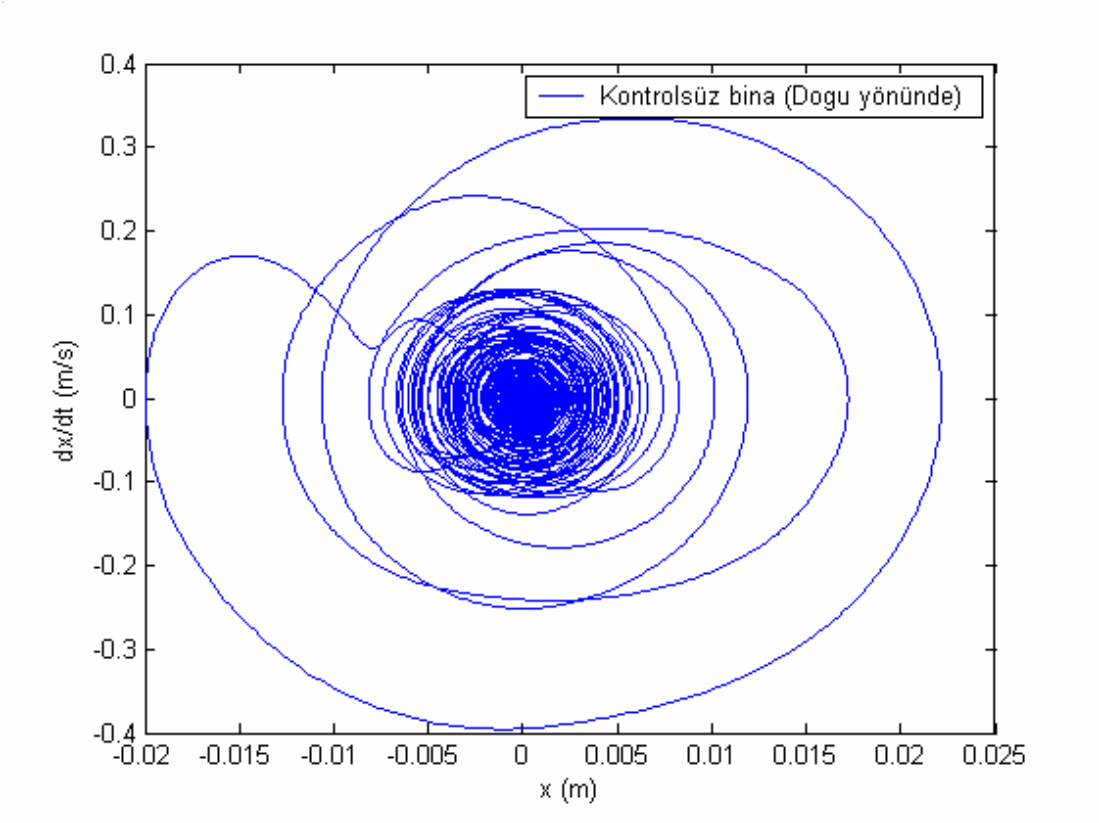
Düzce(1999) Depremi Bolu Kaydı için Grafikler

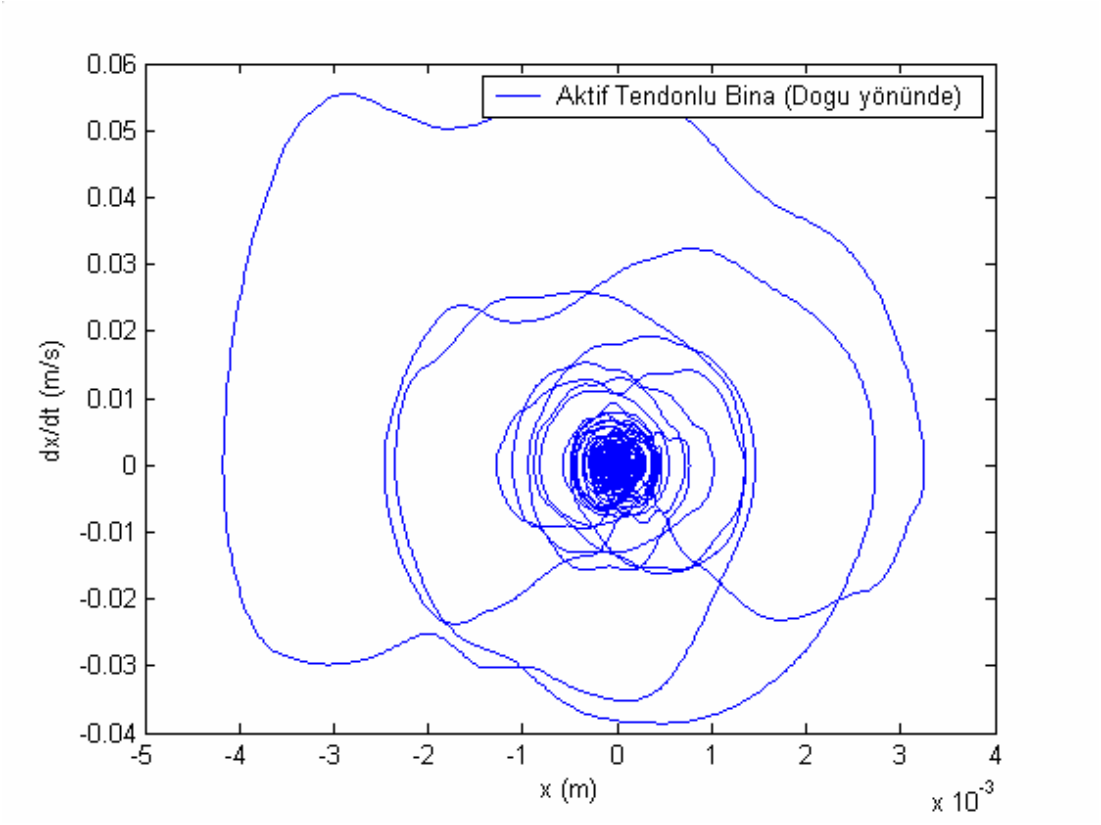
EK 4a: Tek Serbestlik Dereceli Sistem

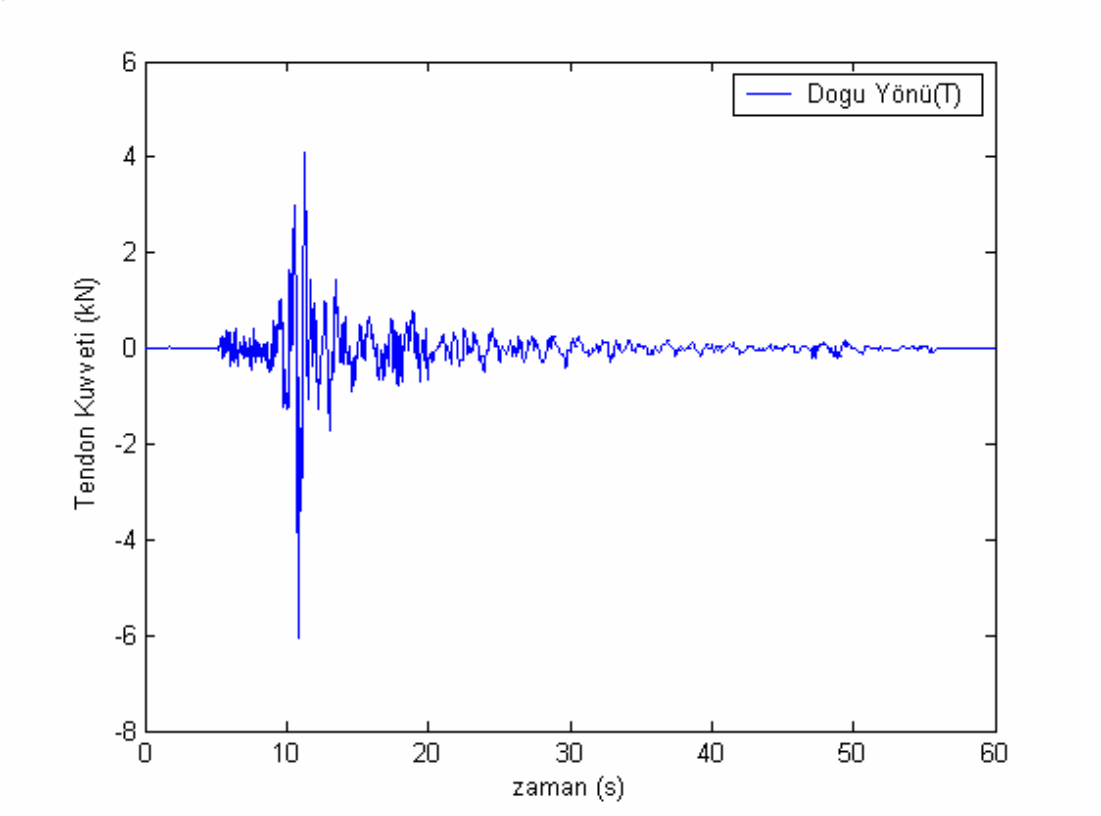


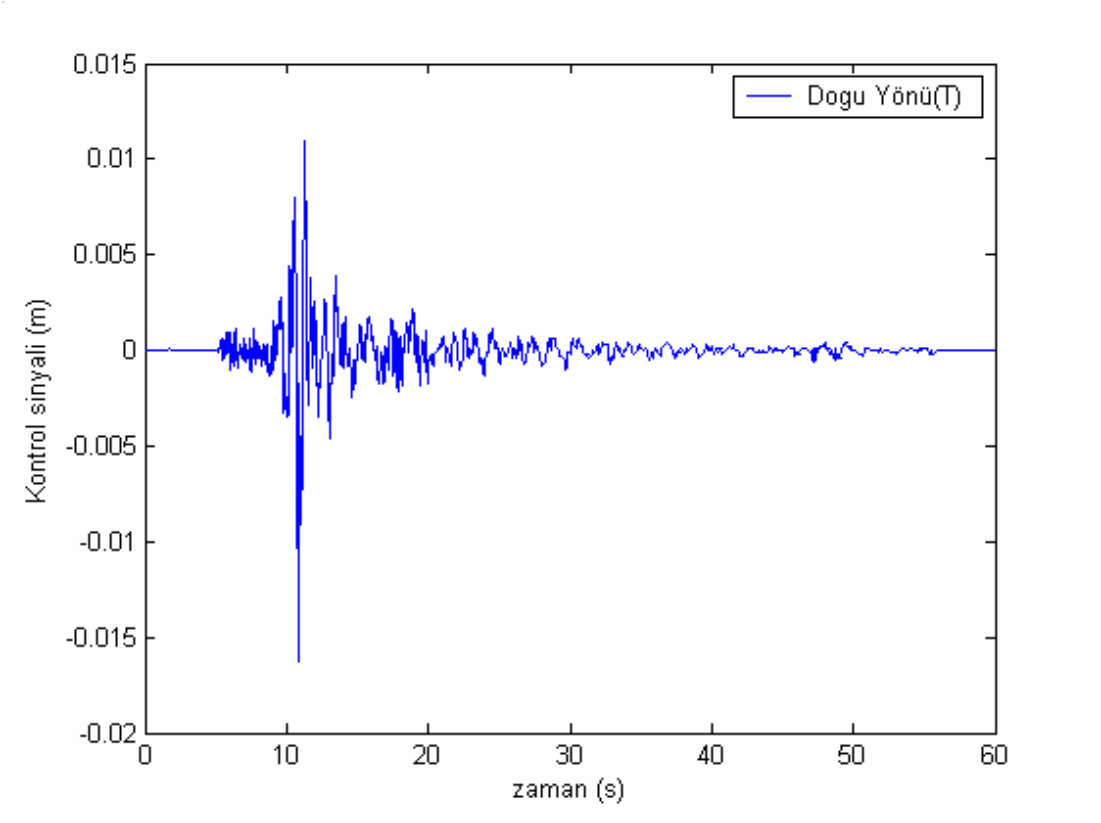



Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d2x/dt2 (m/s2)
zaman (s)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
0
10
20
30
40
50
60

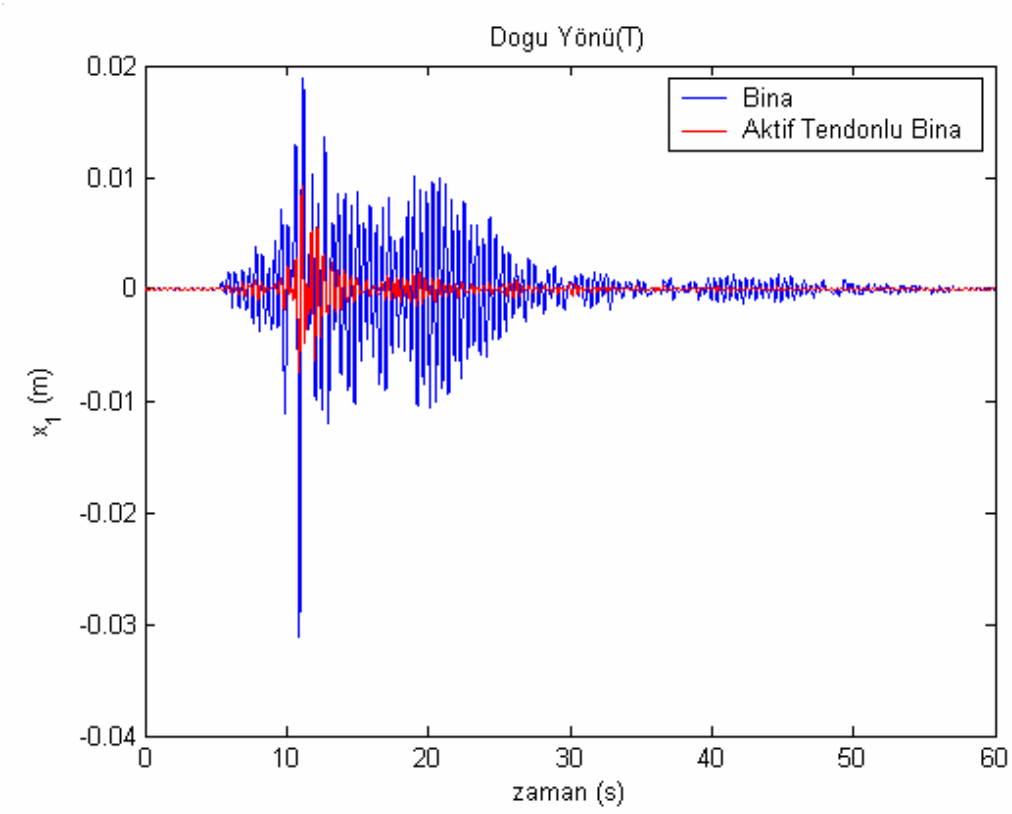

Kontrolsüz bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.02
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025

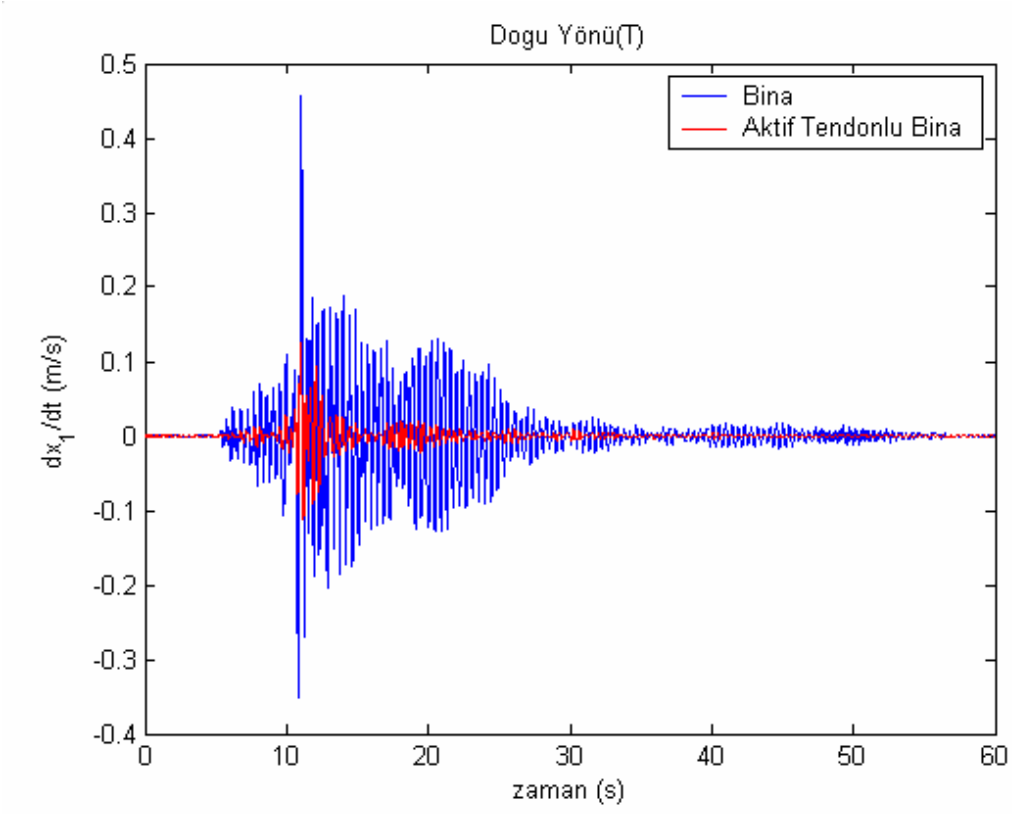

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-3

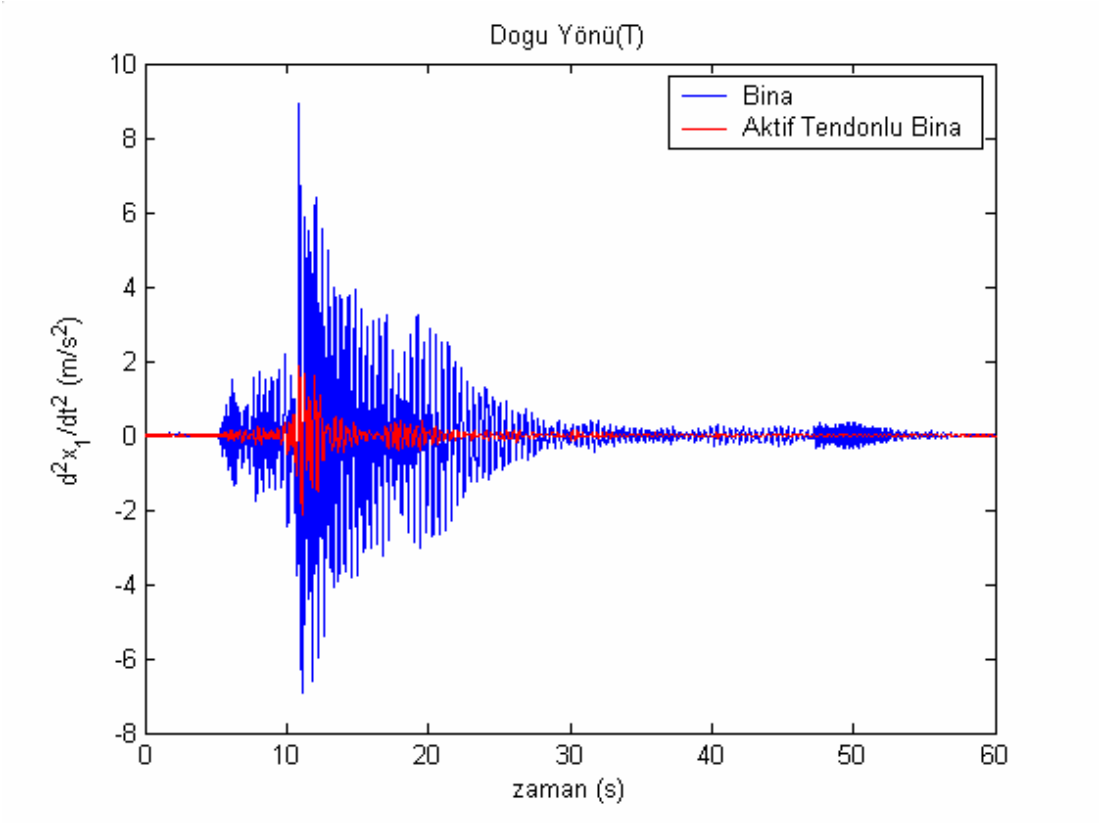

Dogu Yönü(T)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)

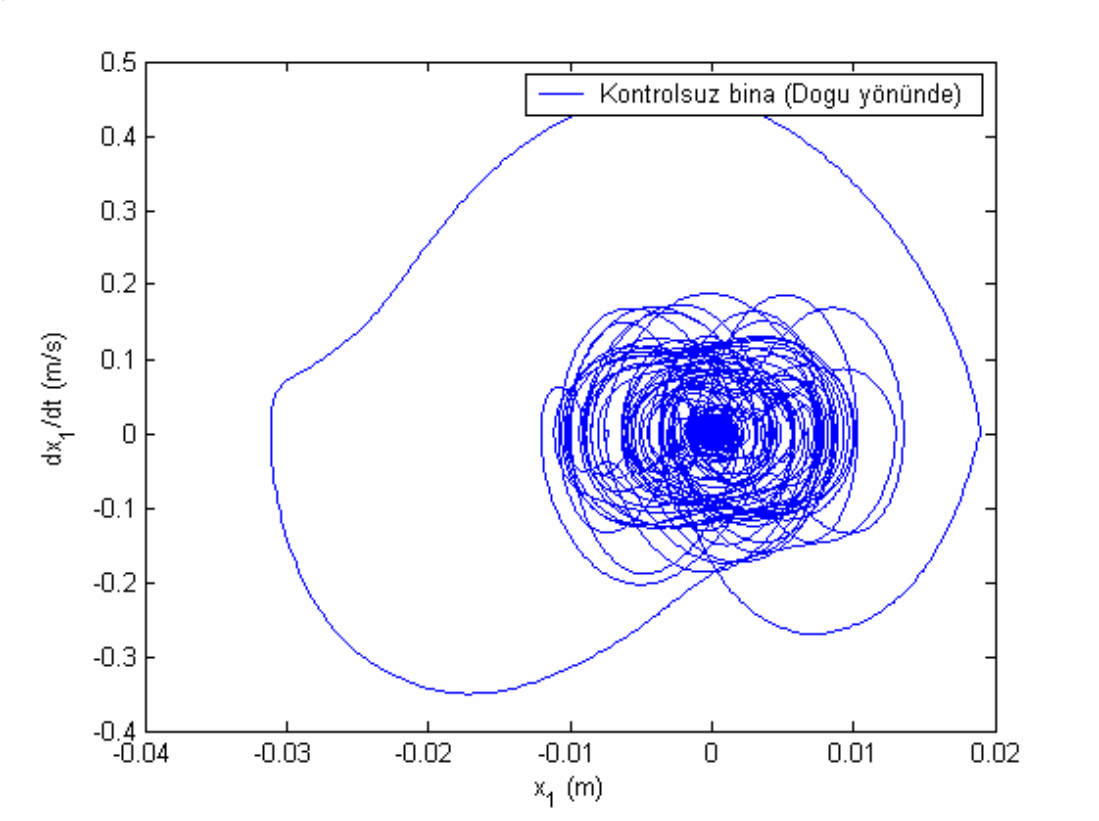

Dogu Yönü(T)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
0
10
20
30
40
50
60

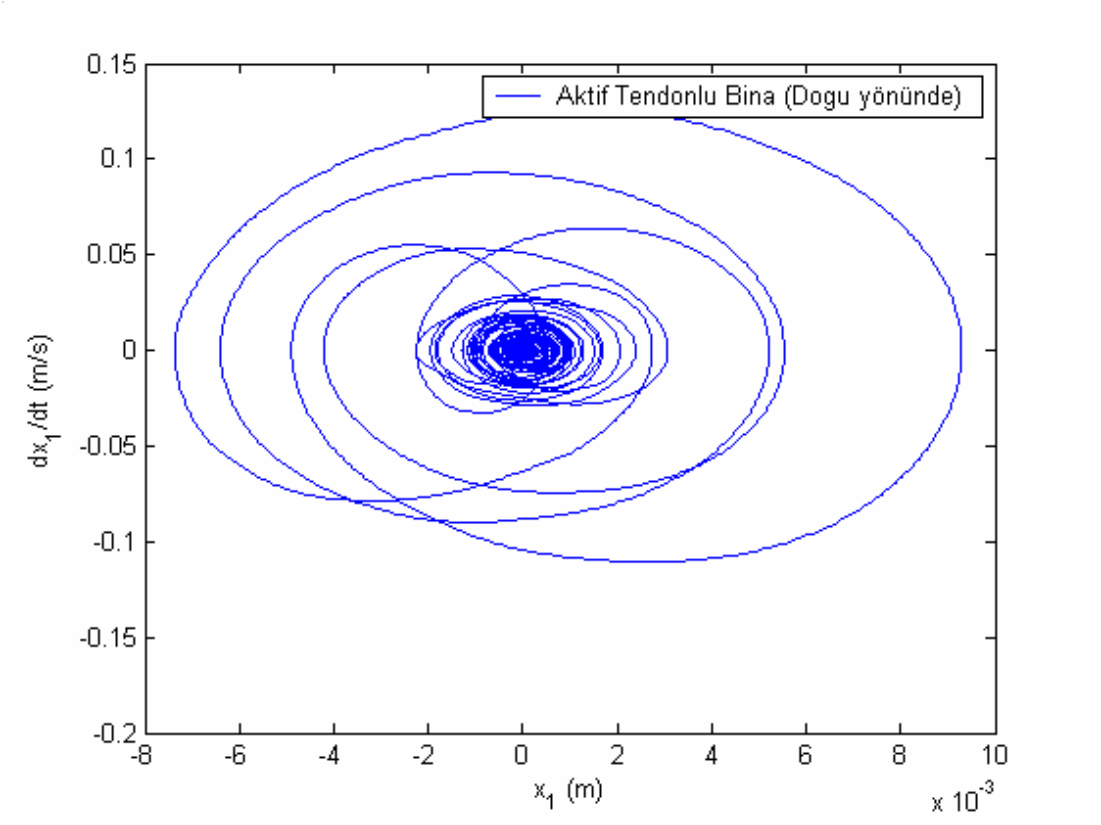
EK 4b: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Sadece Birinci Kattan Kontrollü)

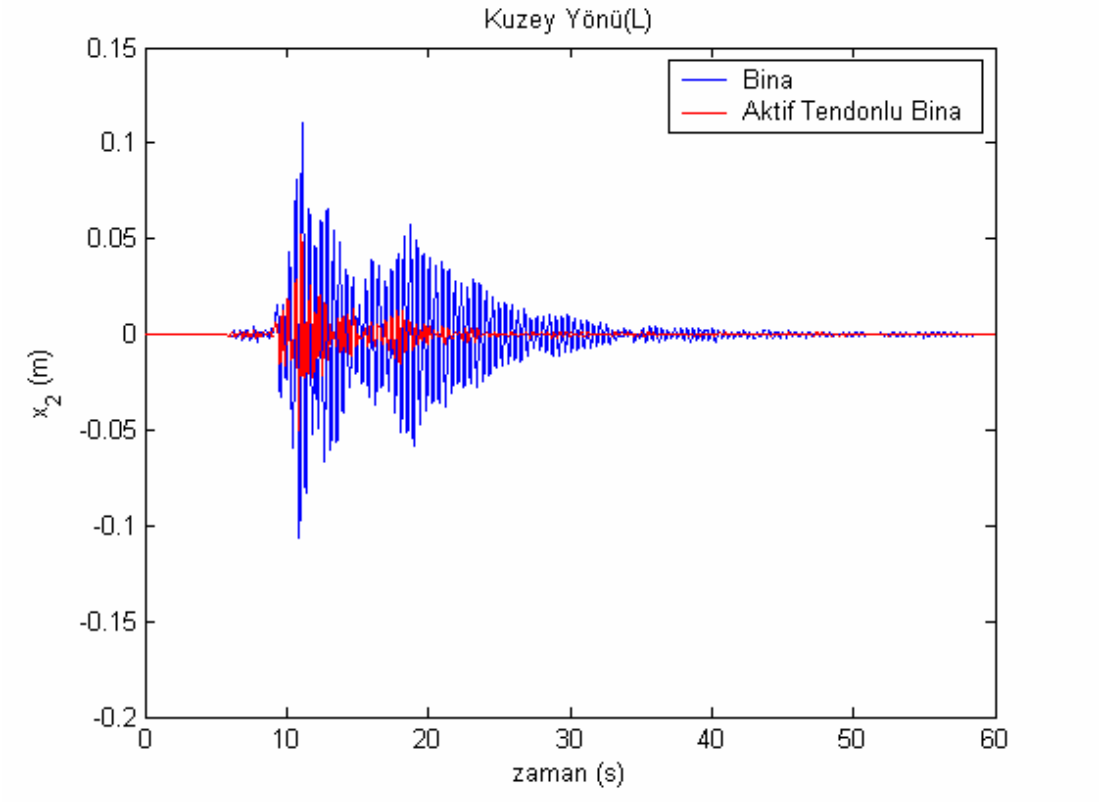


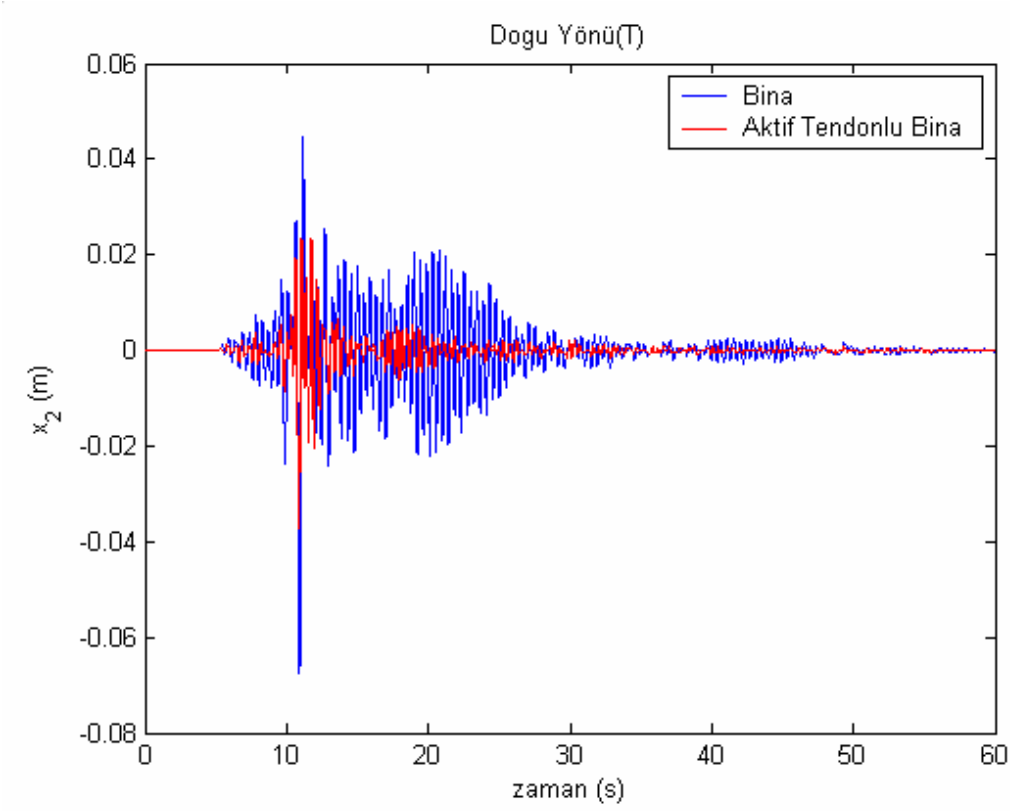


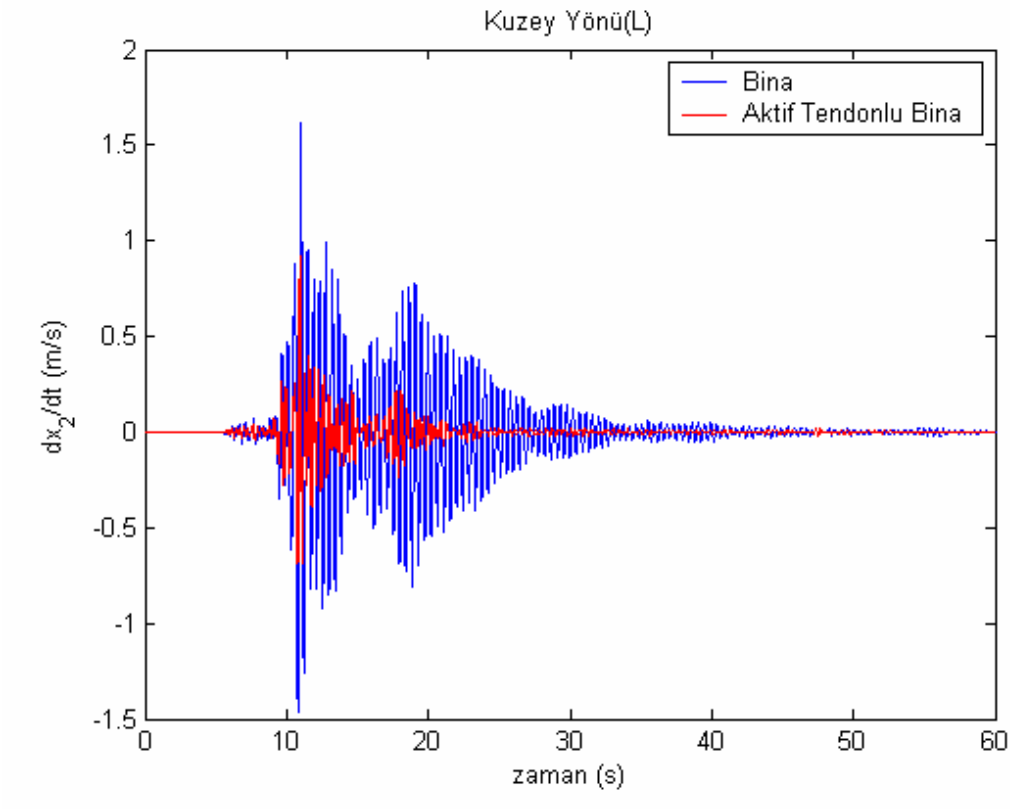

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₁/dt² (m/s²)
zaman (s)

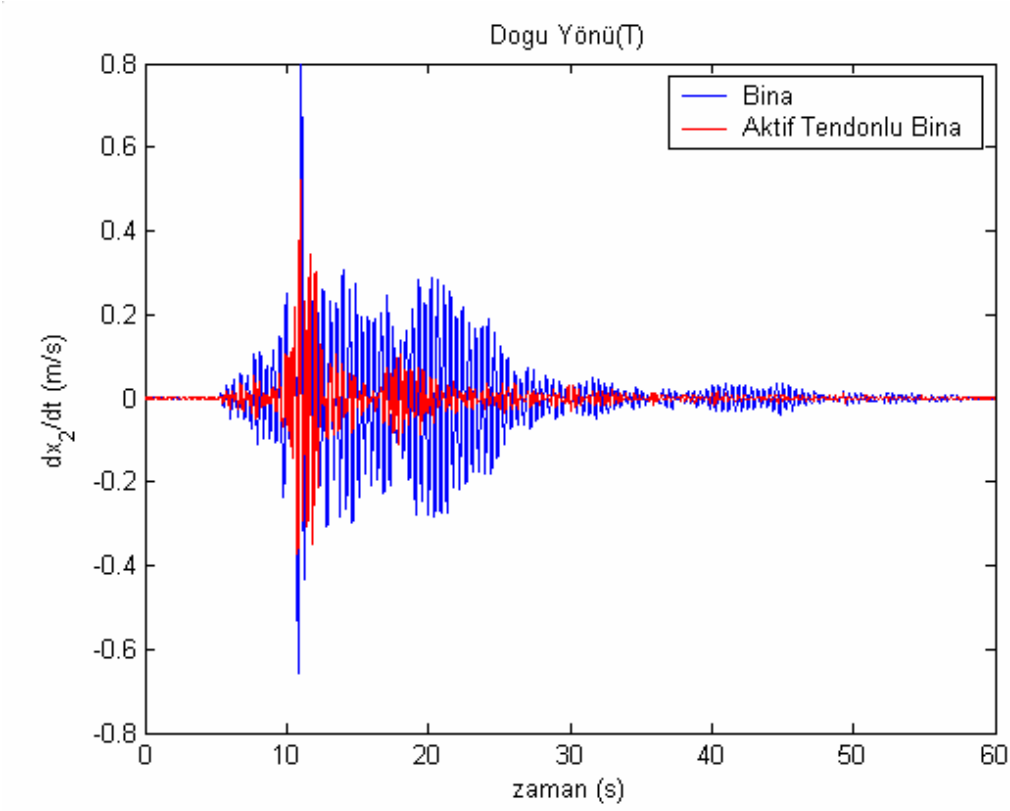

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx₁/dt (m/s)
x₁ (m)

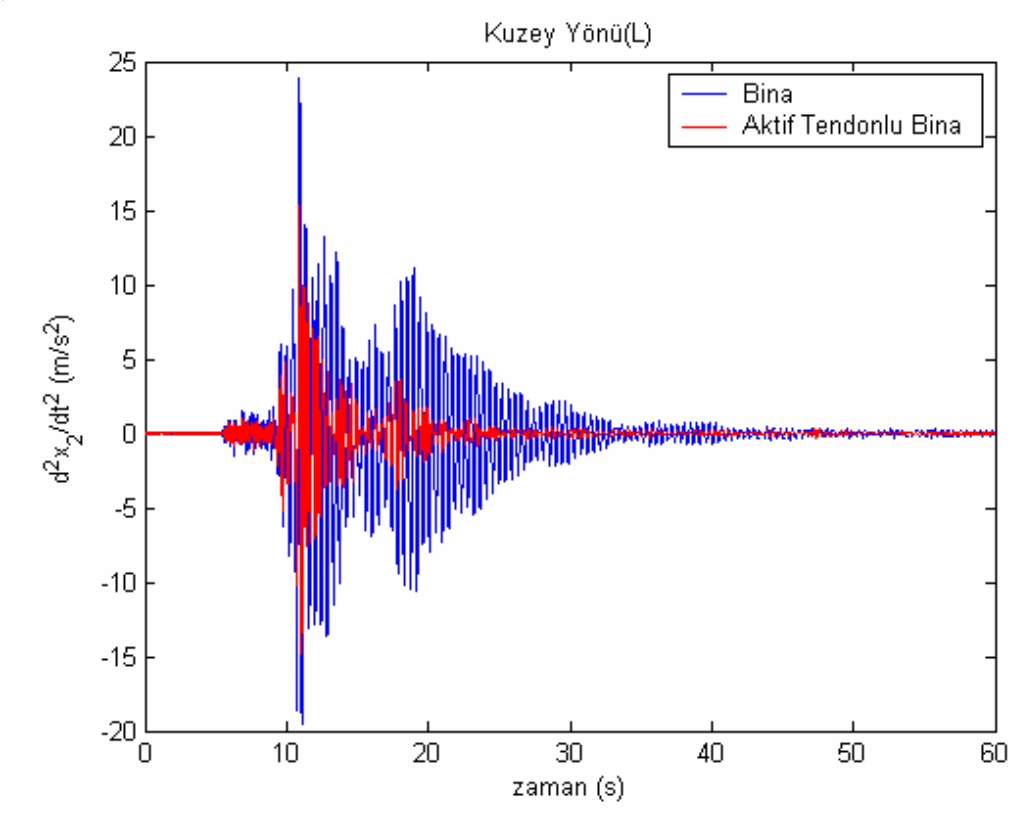

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10-3

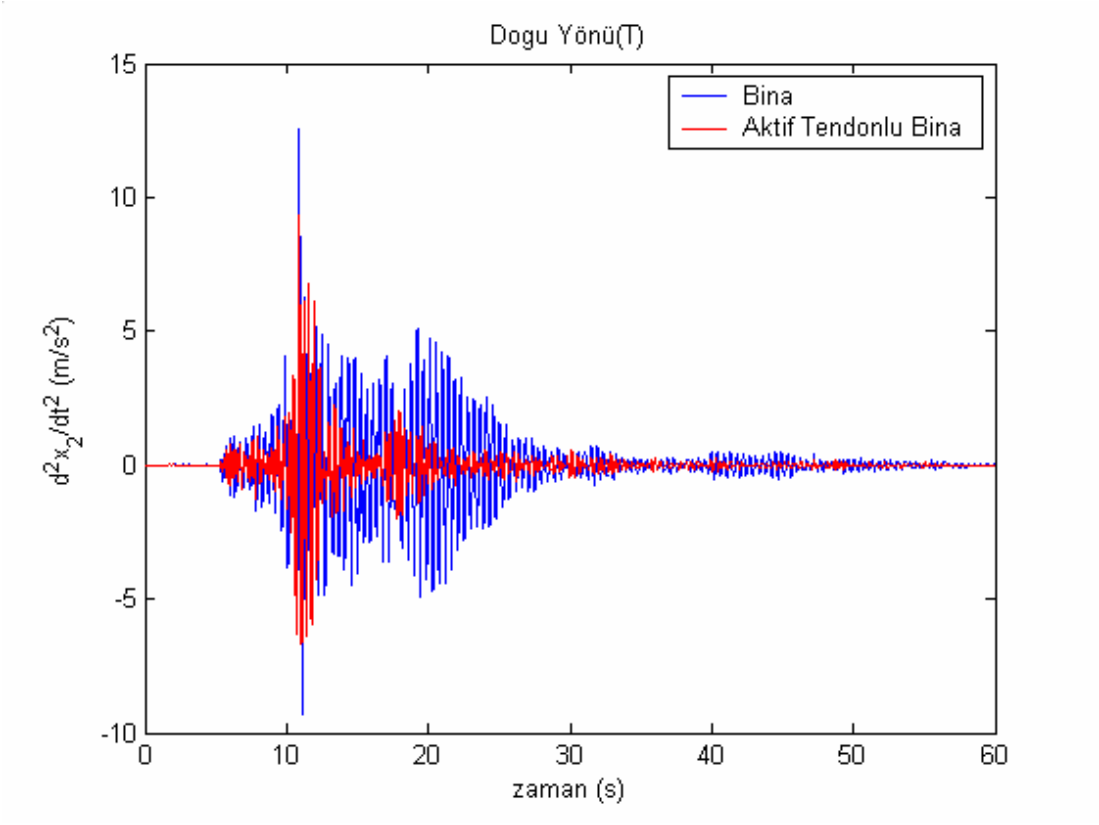

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

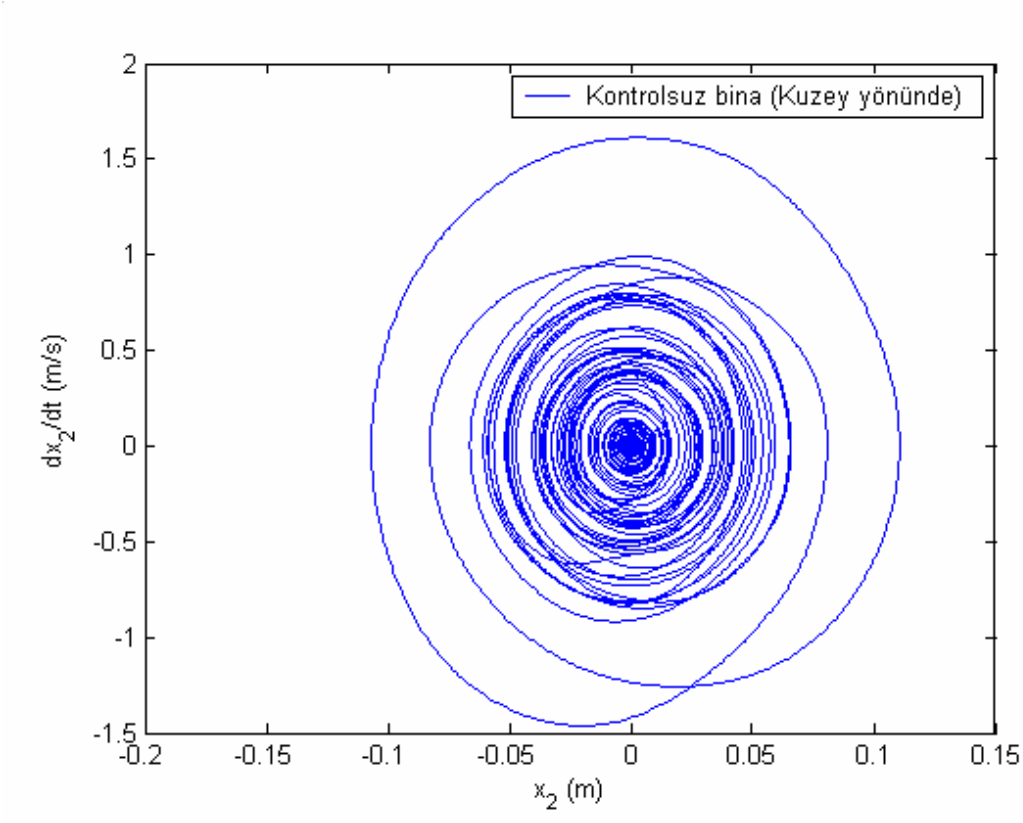

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
x2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

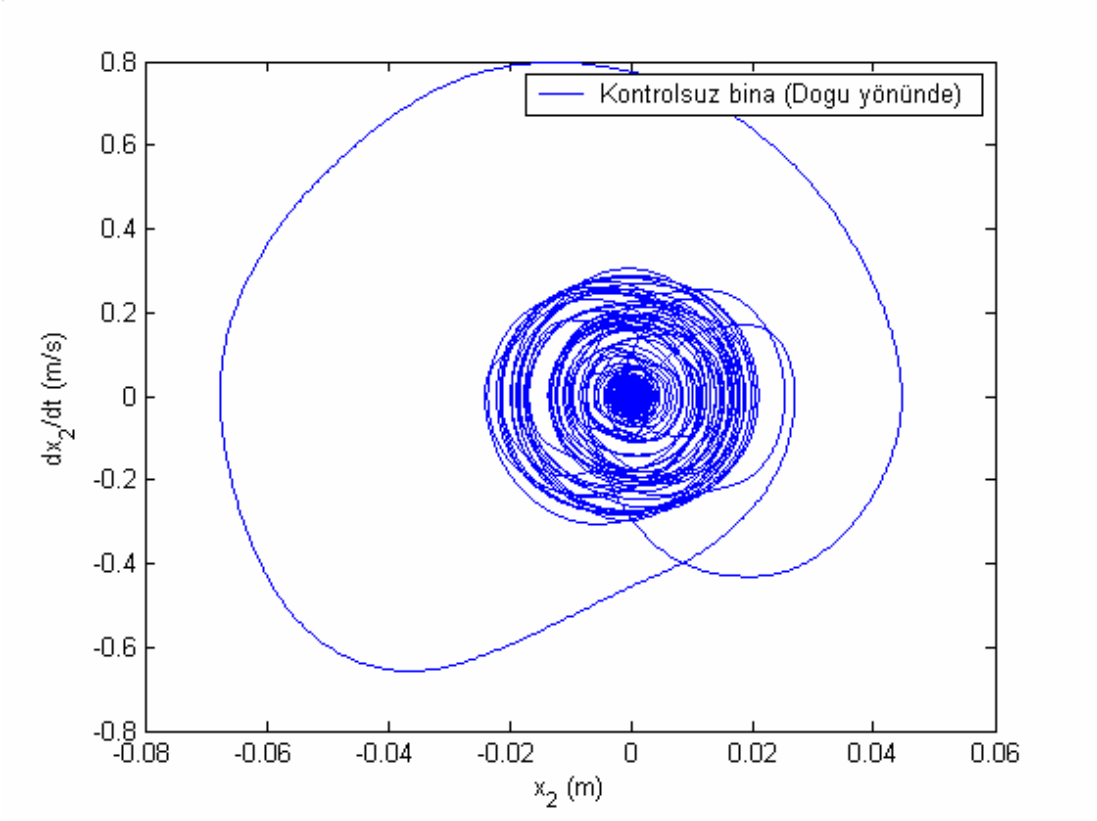

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
dx2/dt (m/s)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

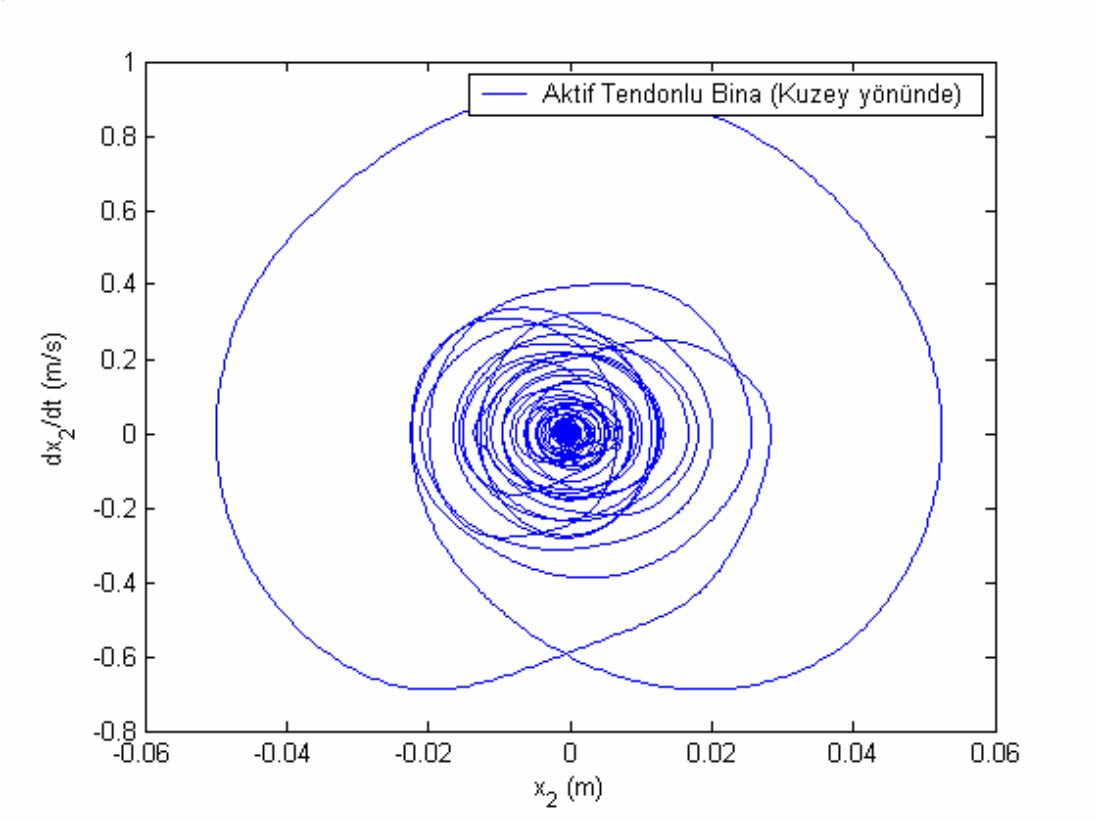

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
10
20
30
40
50
60

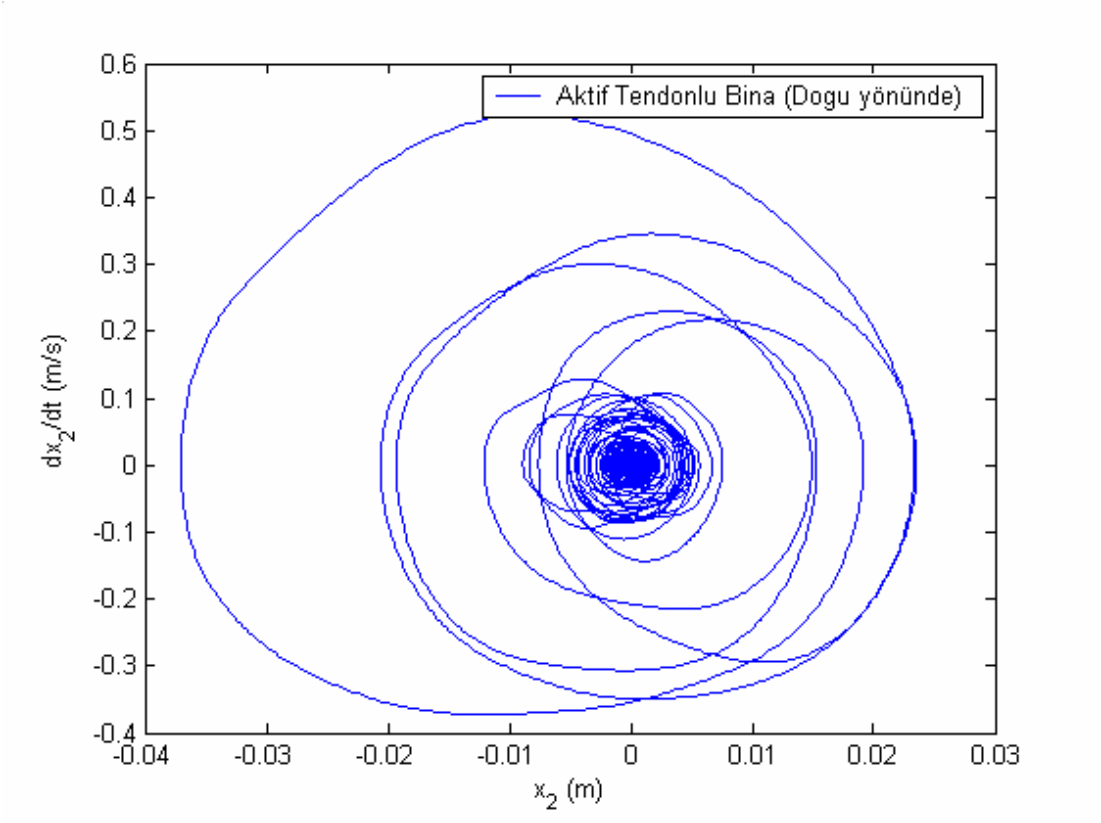

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d2x2/dt2 (m/s2)
zaman (s)
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
0
10
20
30
40
50
60

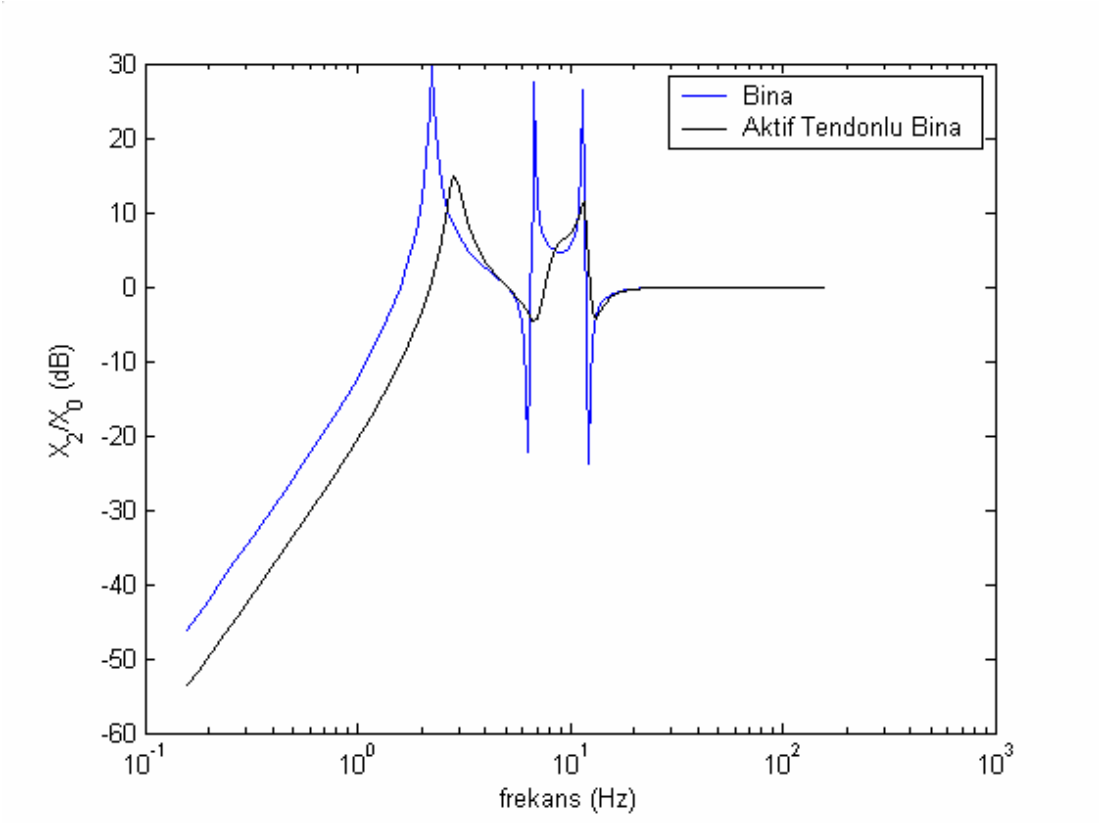

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d^2x_2/dt^2 (m/s^2)
zaman (s)
15
10
5
0
-5
-10
0
10
20
30
40
50
60

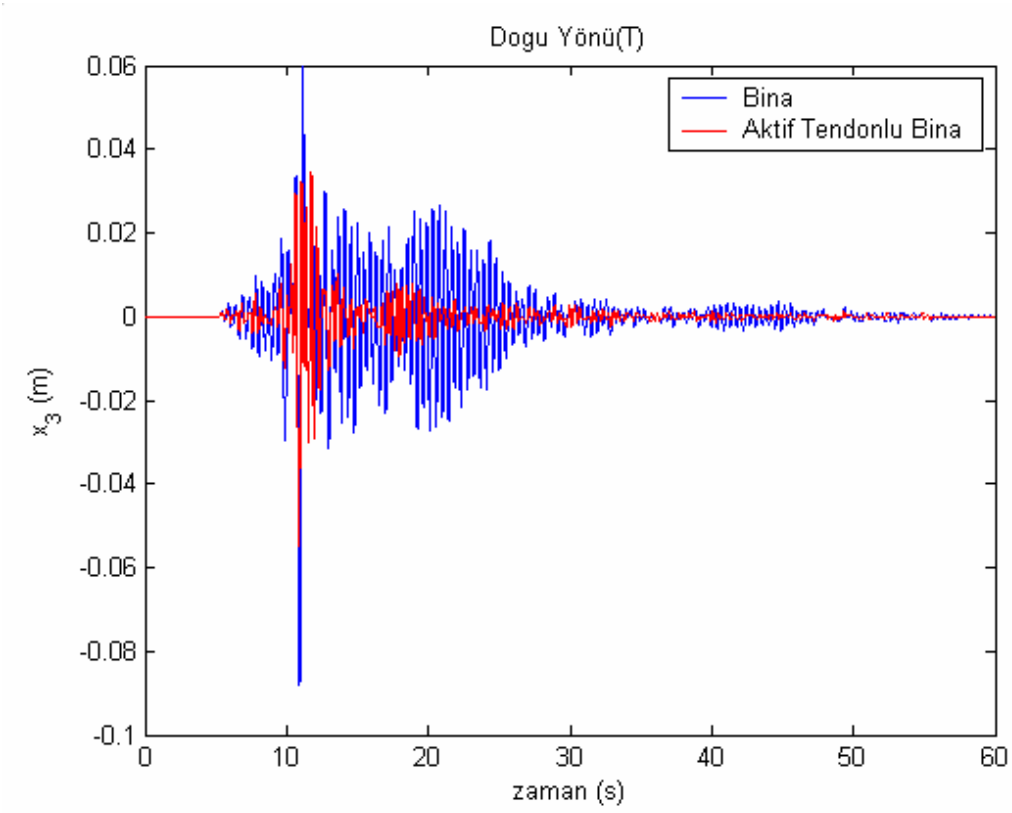

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
dx_2/dt (m/s)
x_2 (m)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-0.2
-0.15
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1
0.15

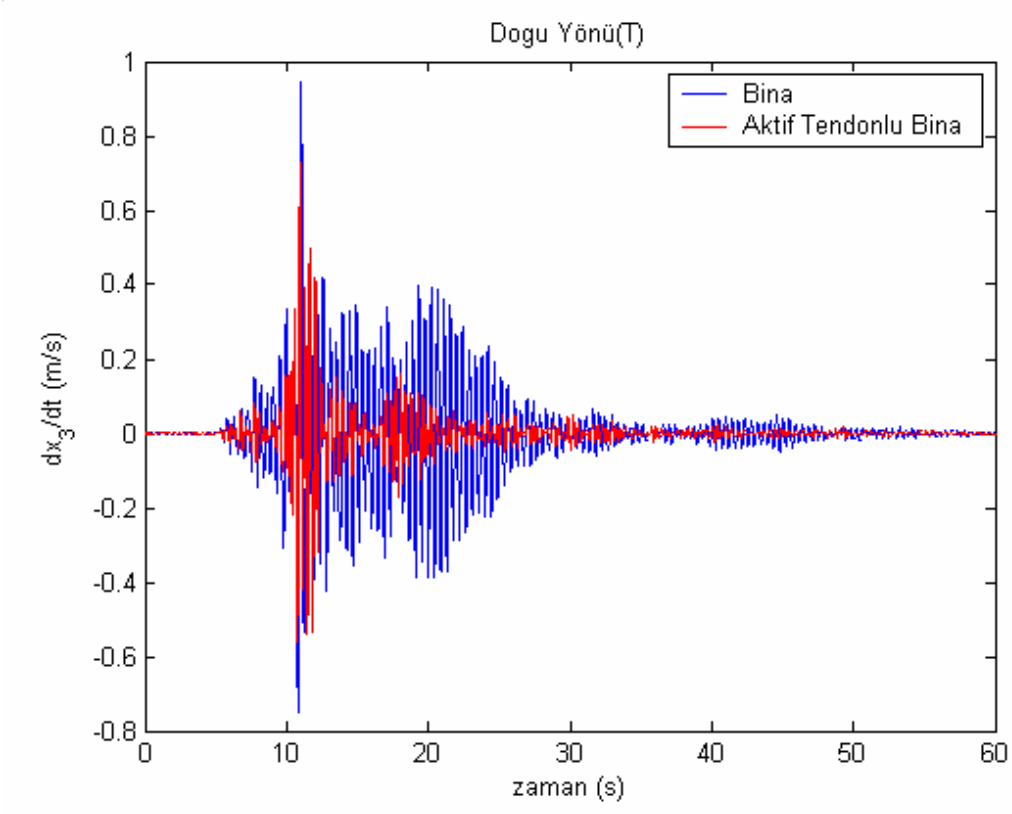

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.08
-0.06
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04
0.06

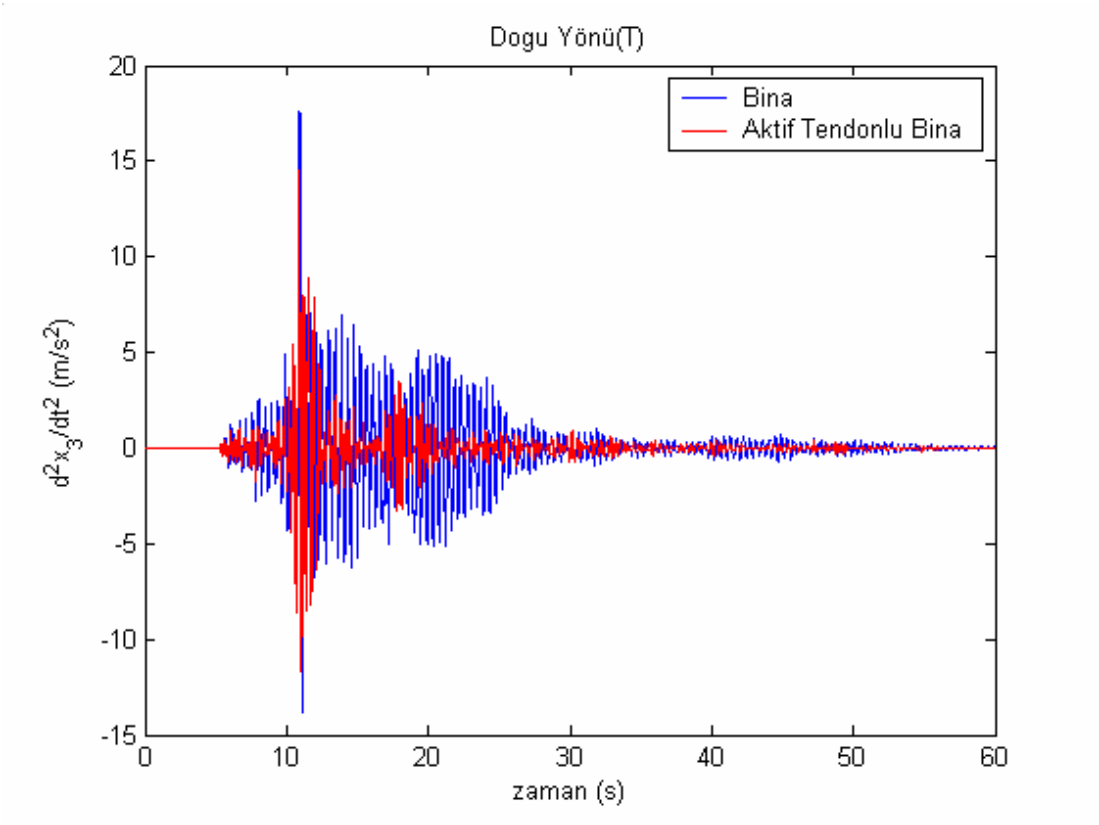

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.06
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04
0.06

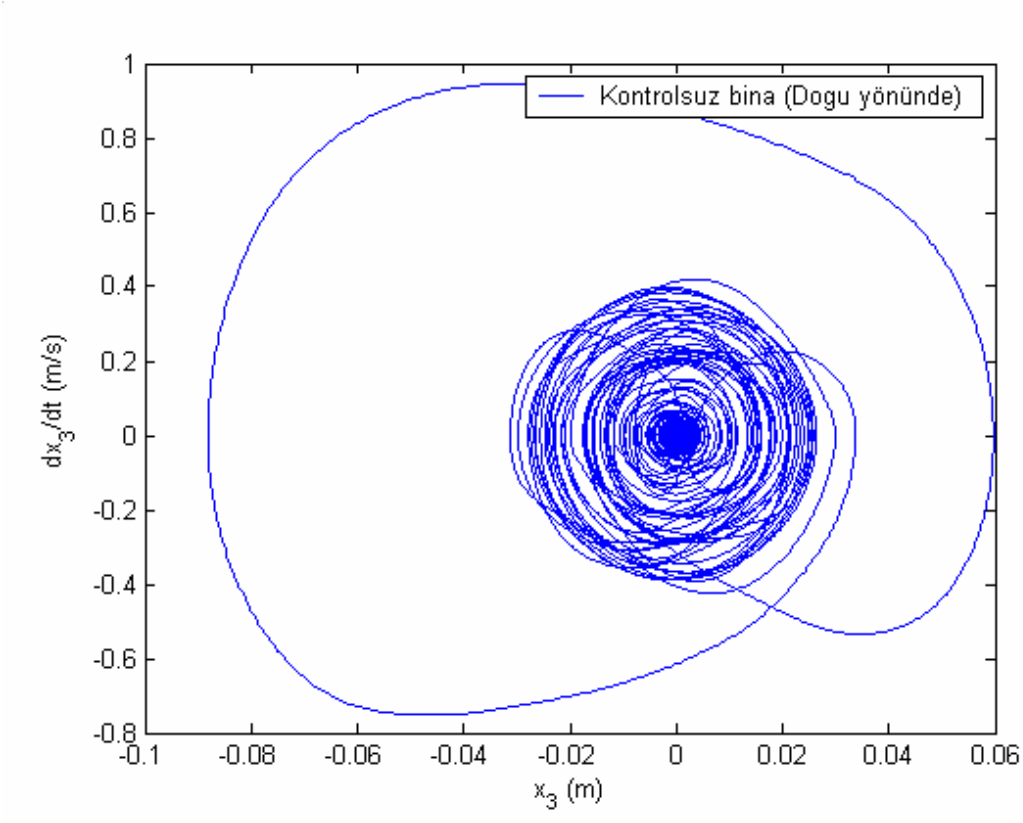

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03

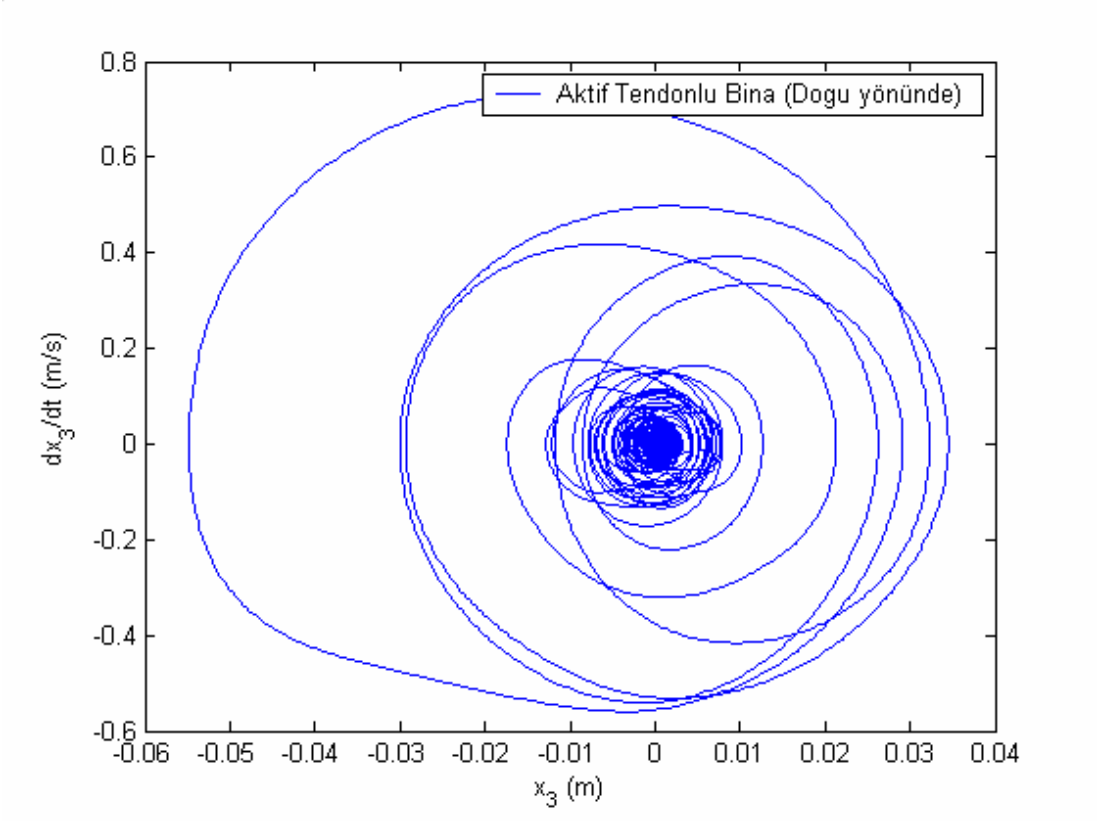

Bina
Aktif Tendonlu Bina
X2/X0 (dB)
frekans (Hz)
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
10-1
100
101
102
103

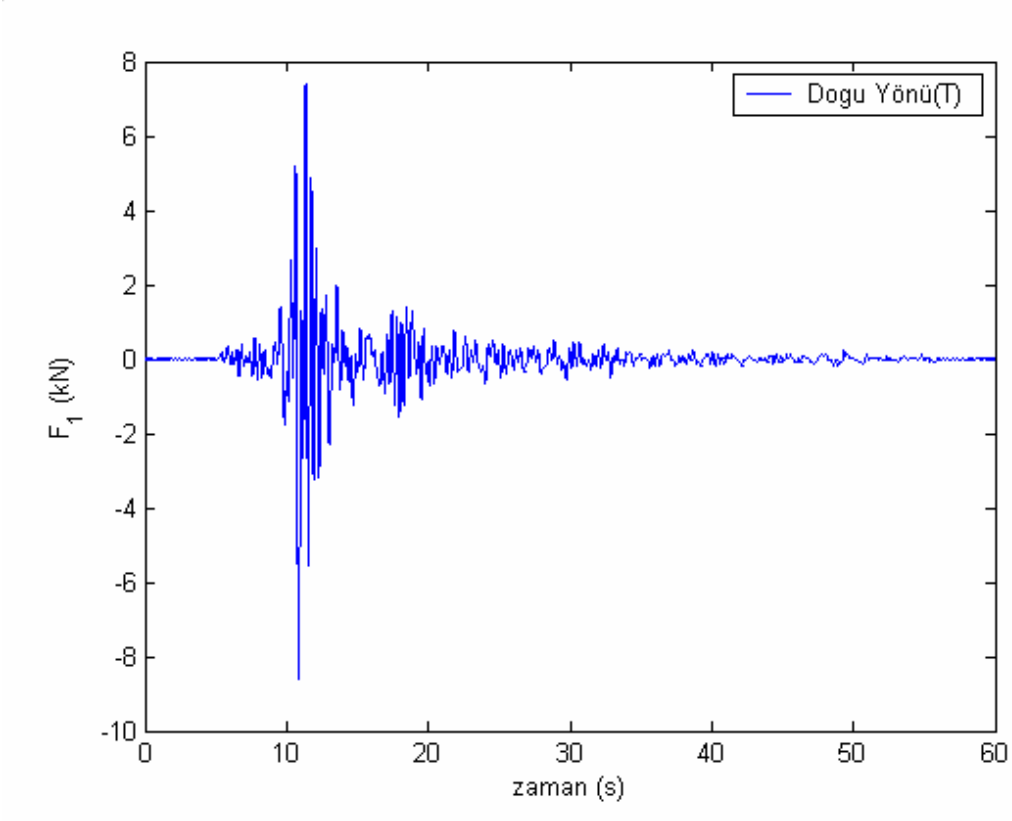

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
-0.1
x_3 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

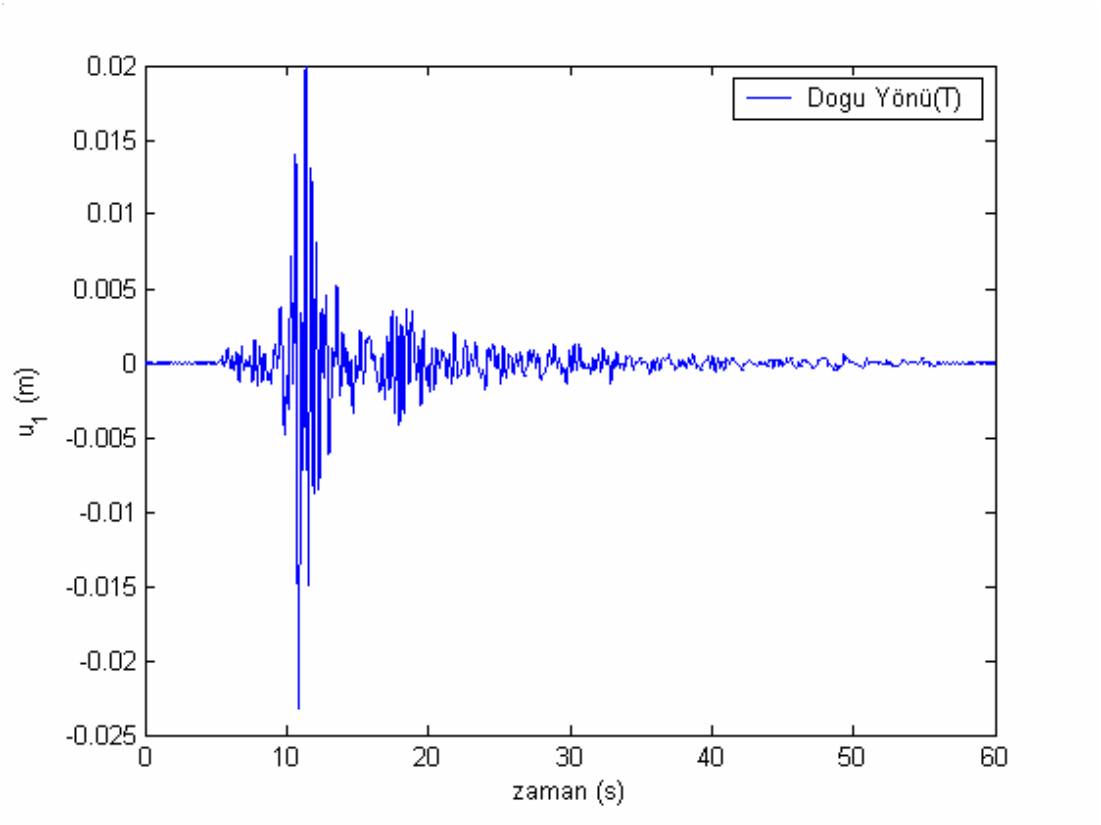

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
dx_3/dt (m/s)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)


Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
0
10
20
30
40
50
60

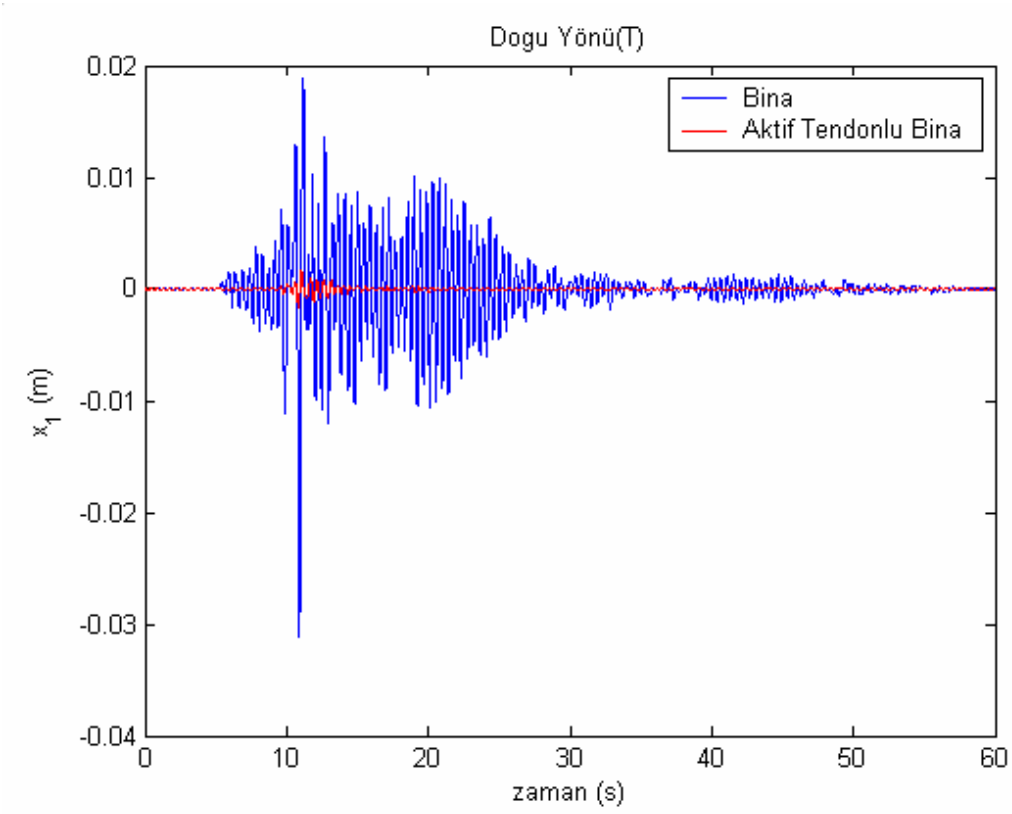

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.1
-0.08
-0.06
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04
0.06

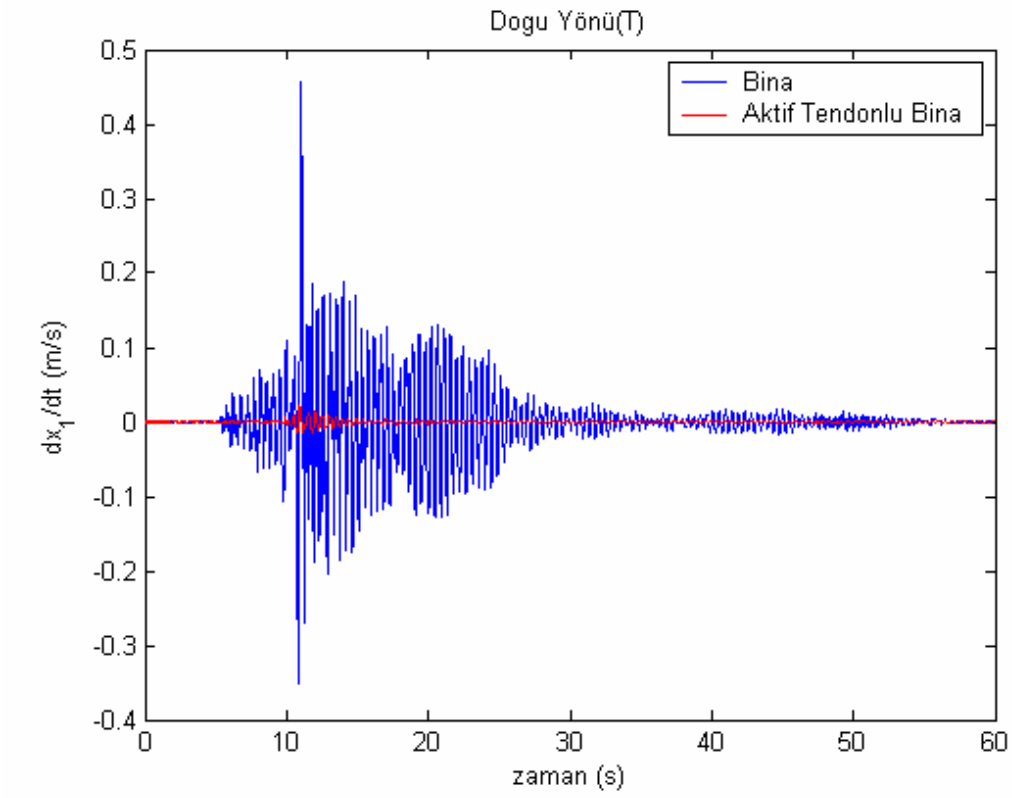

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.06
-0.05
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04

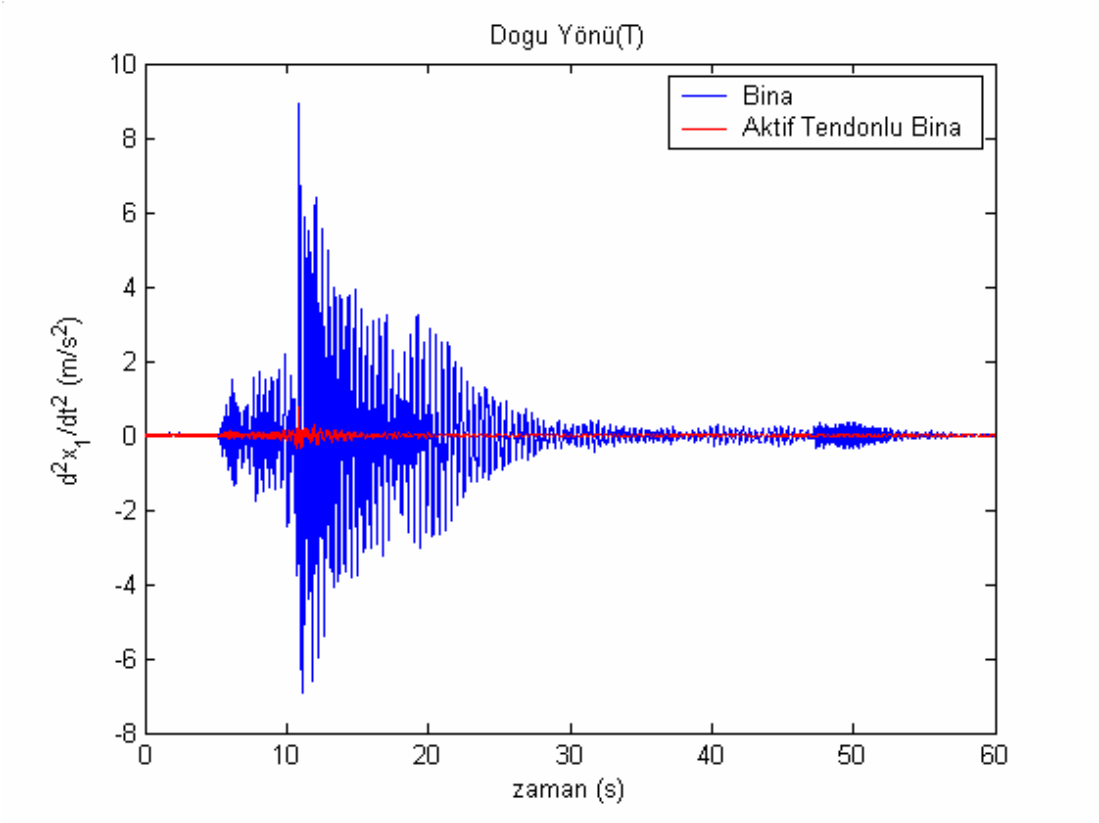

Dogu Yönü(T)
F1 (kN)
zaman (s)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
0
10
20
30
40
50
60

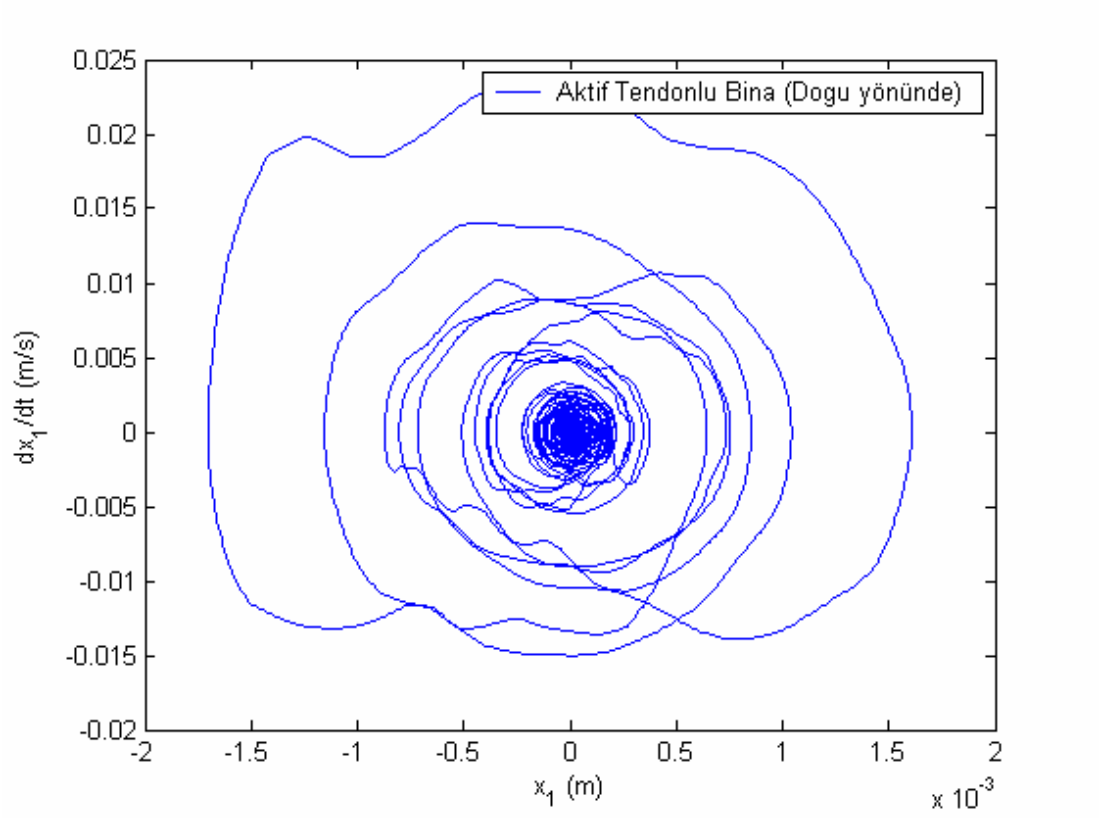

Dogu Yönü(T)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
u_1 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

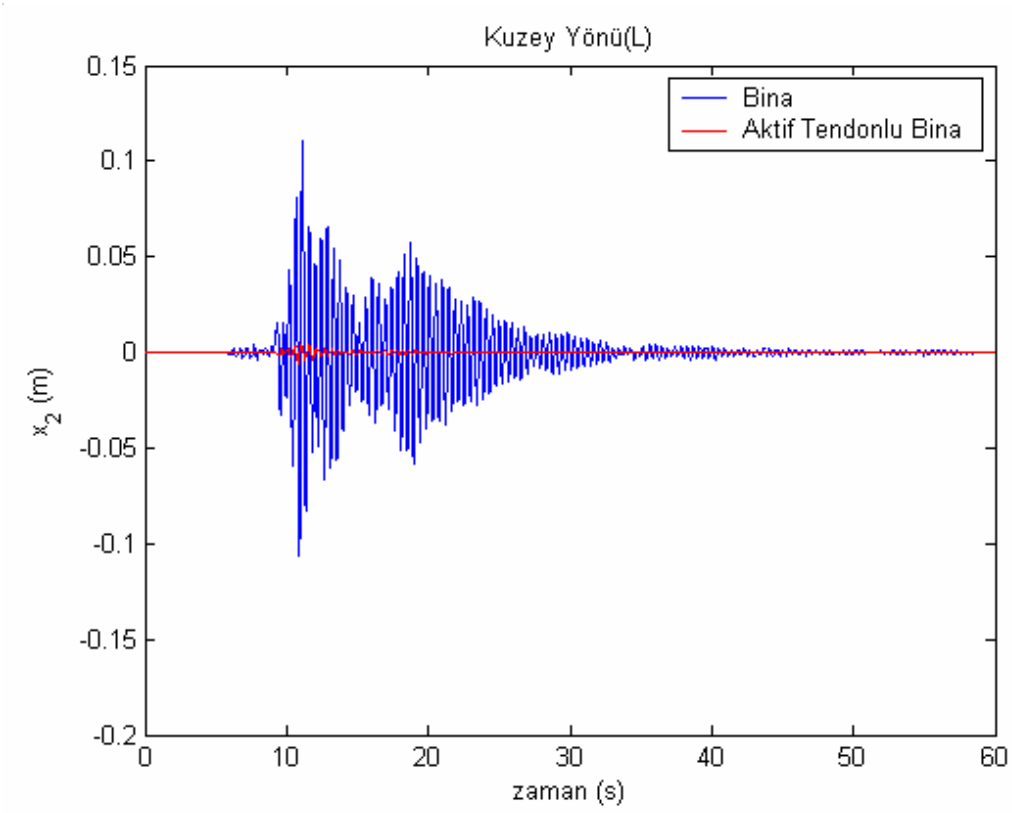
EK 4c: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Tüm Katlardan Kontrollü)

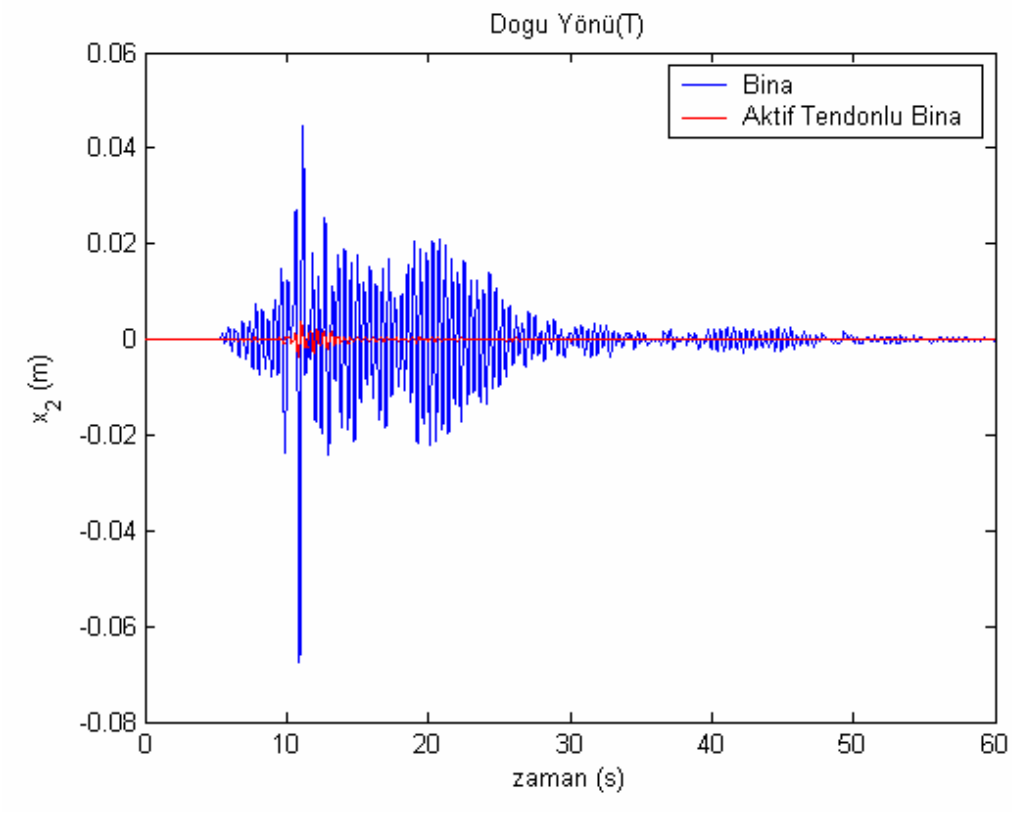


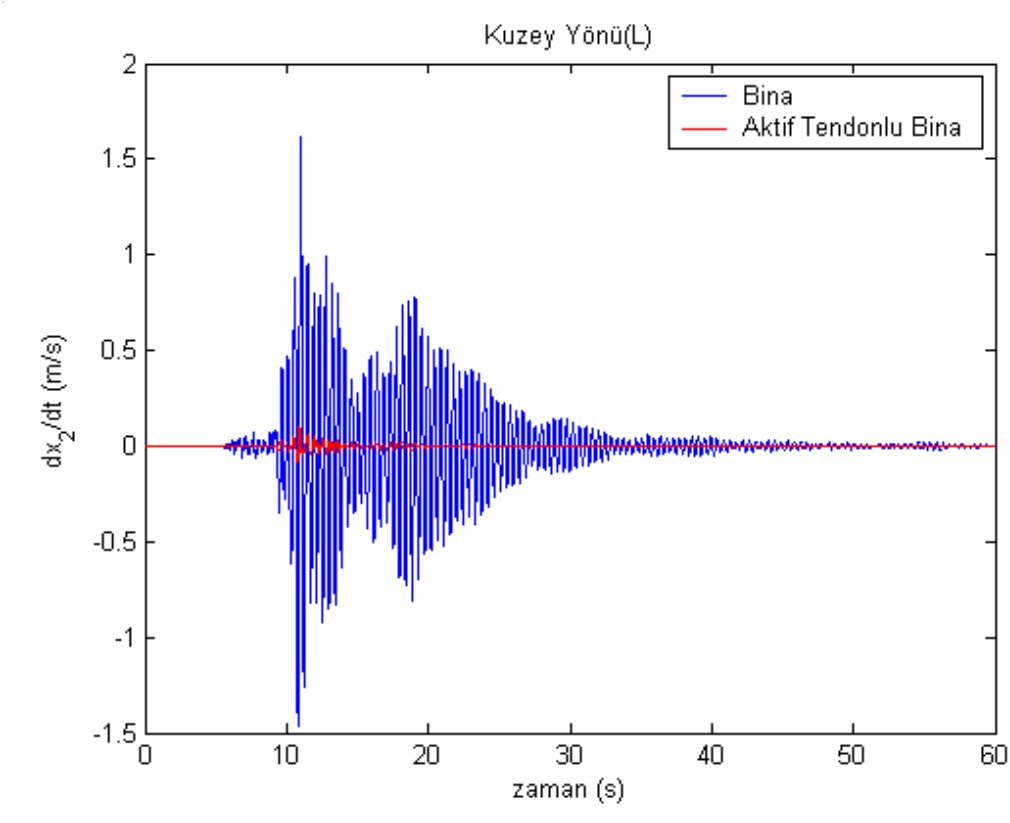


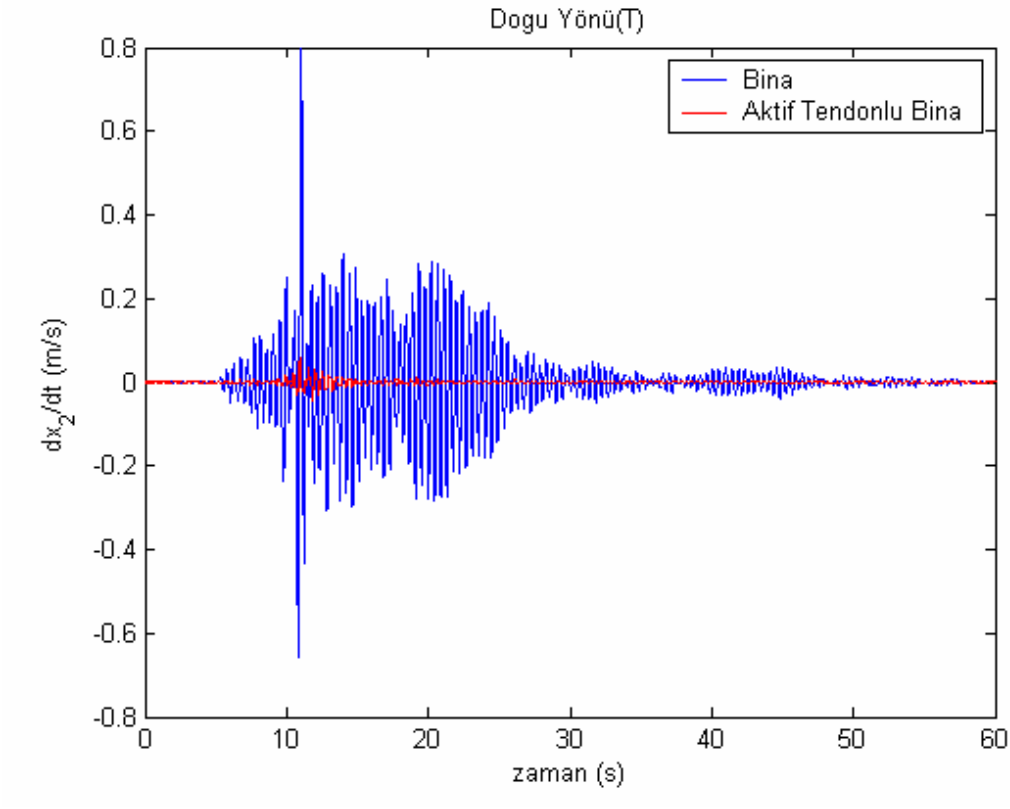

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₁/dt² (m/s²)
zaman (s)

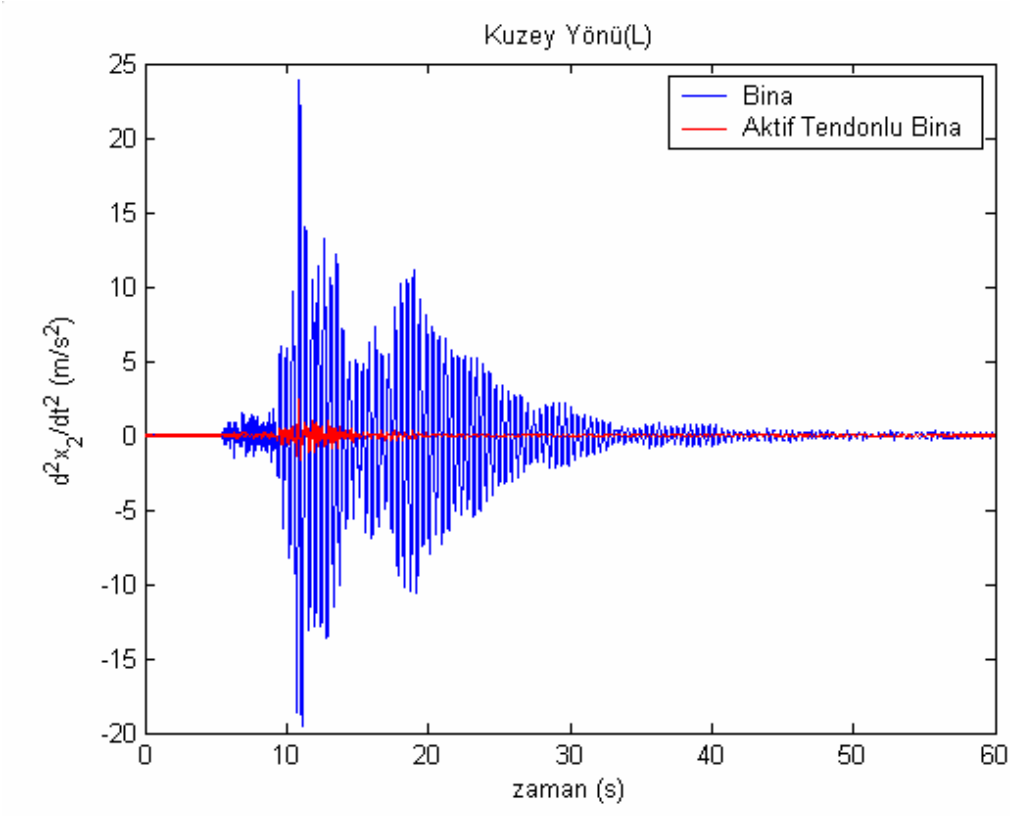

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx₁/dt (m/s)
x₁ (m)
x 10⁻³

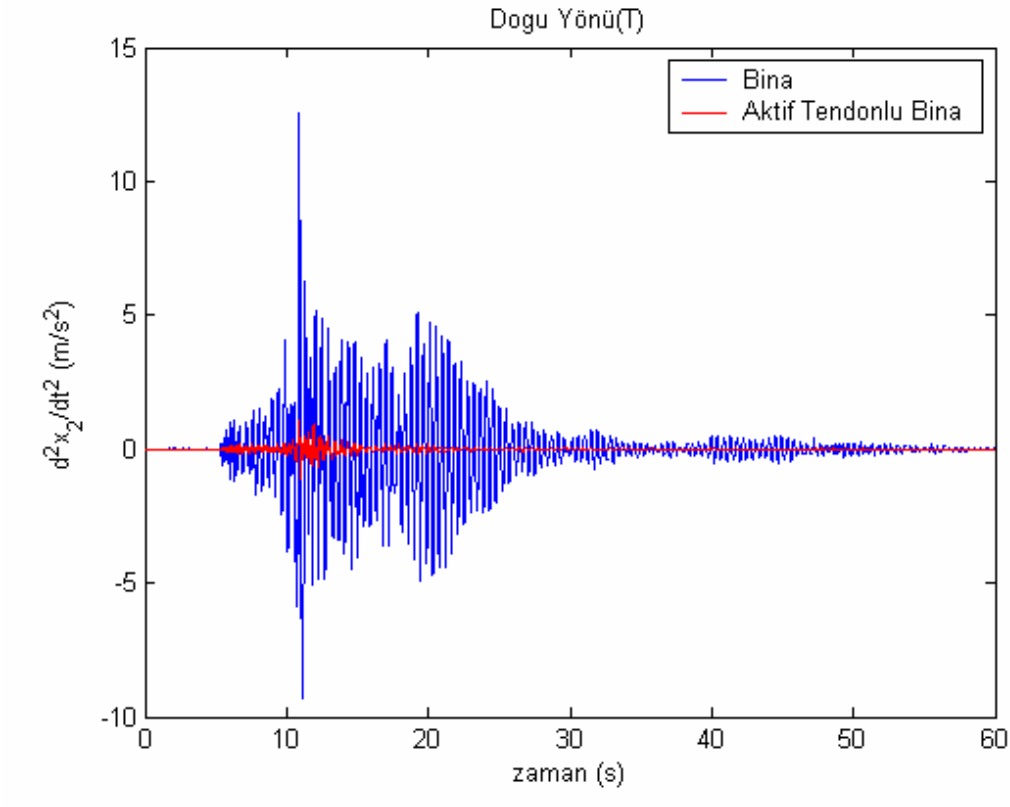

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
x2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

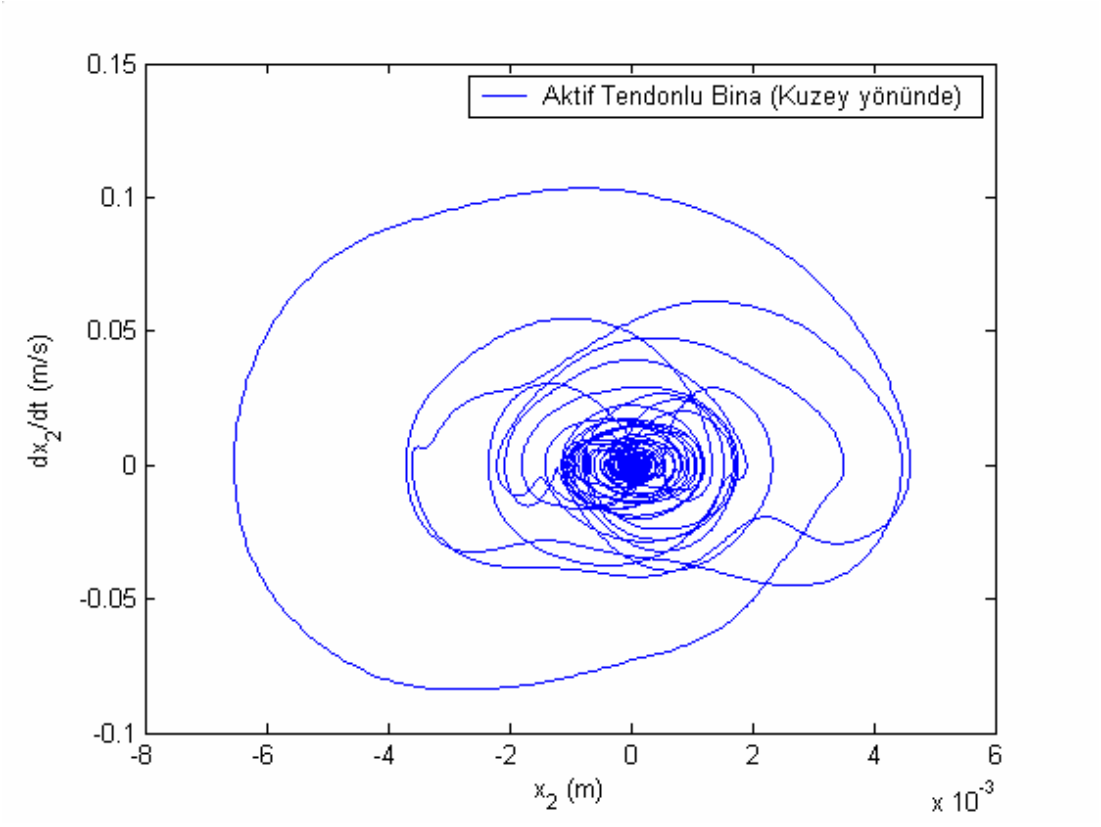

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
x2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

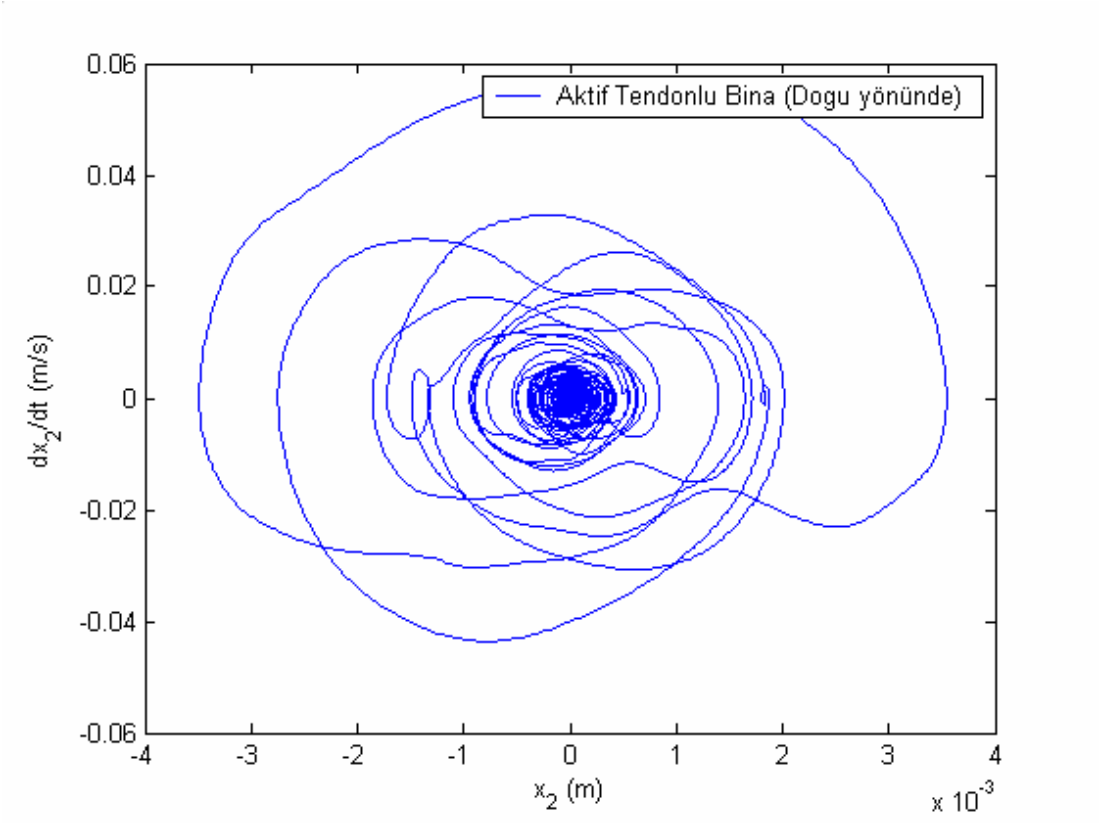

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
10
20
30
40
50
60

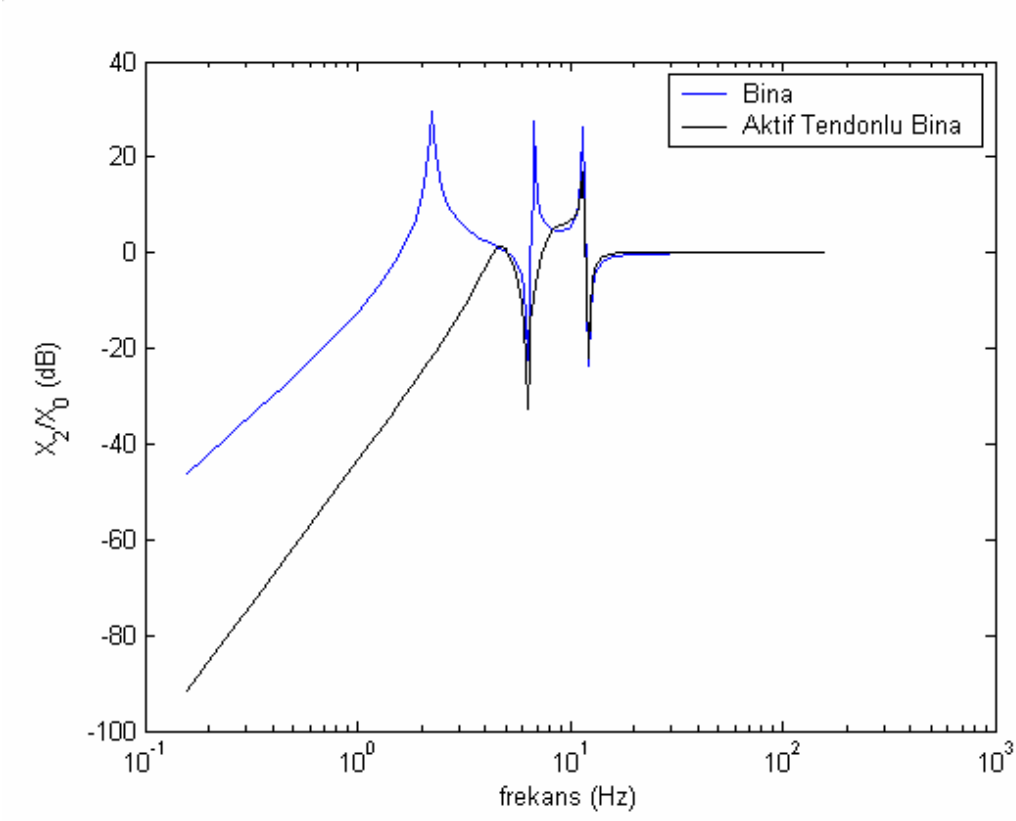

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
10
20
30
40
50
60

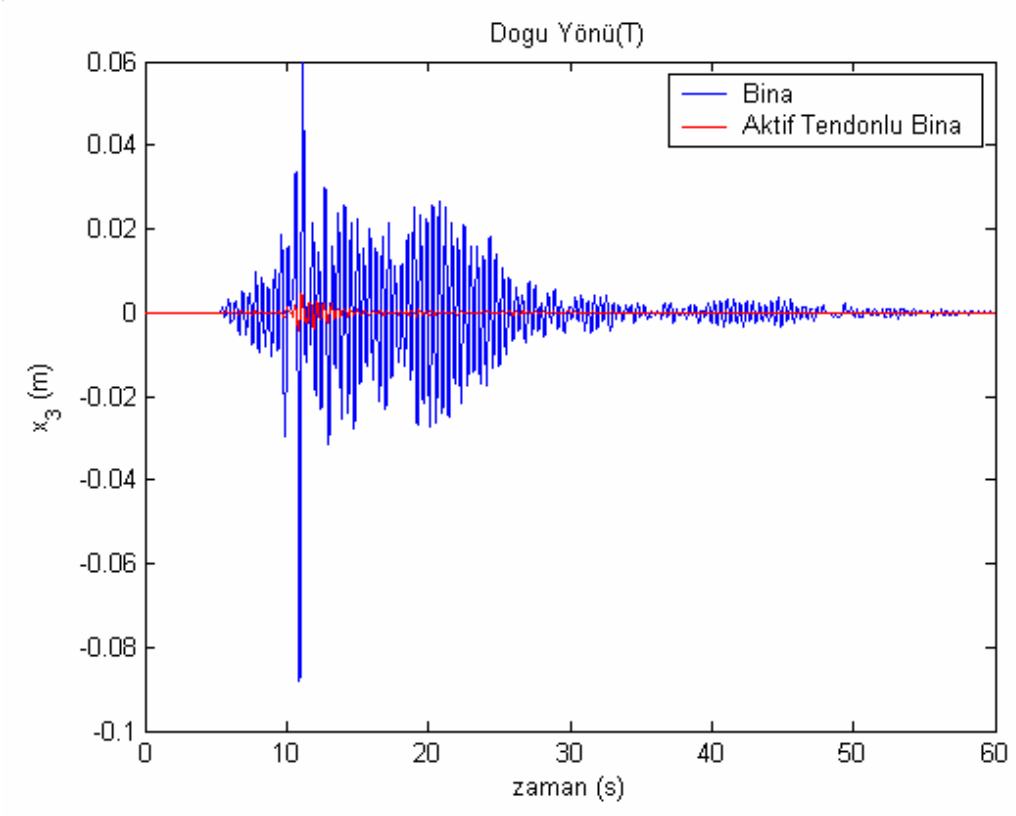

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
0
10
20
30
40
50
60

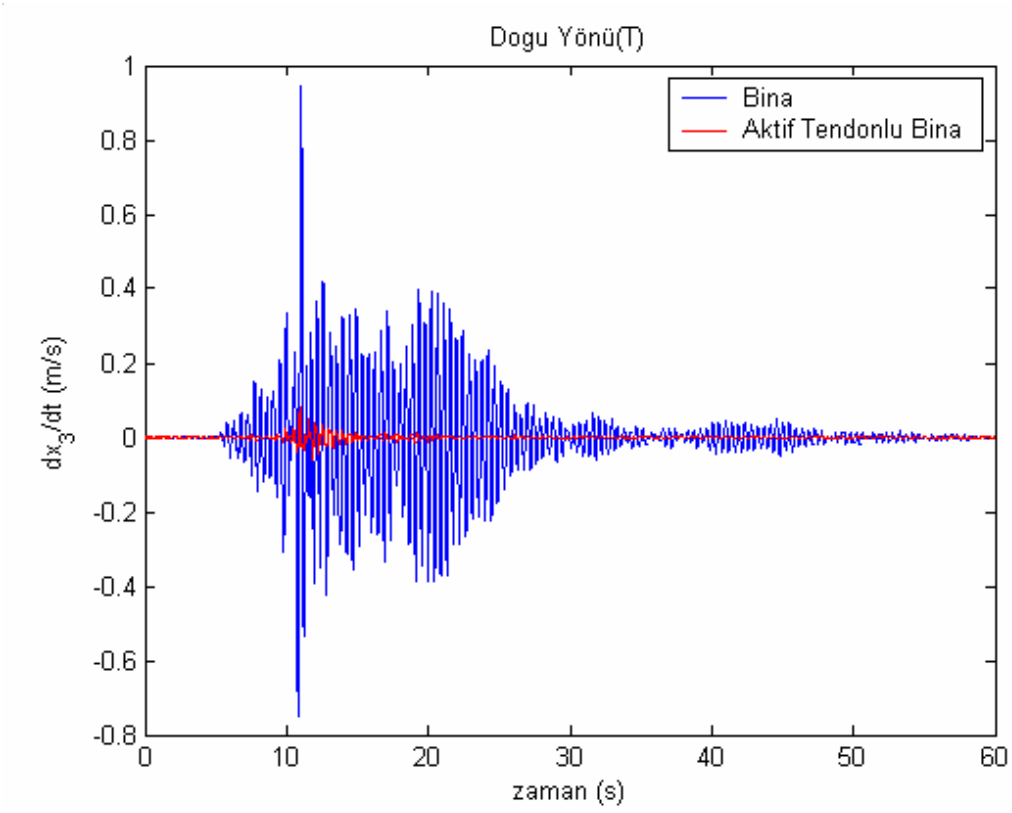

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)
15
10
5
0
-5
-10
0
10
20
30
40
50
60

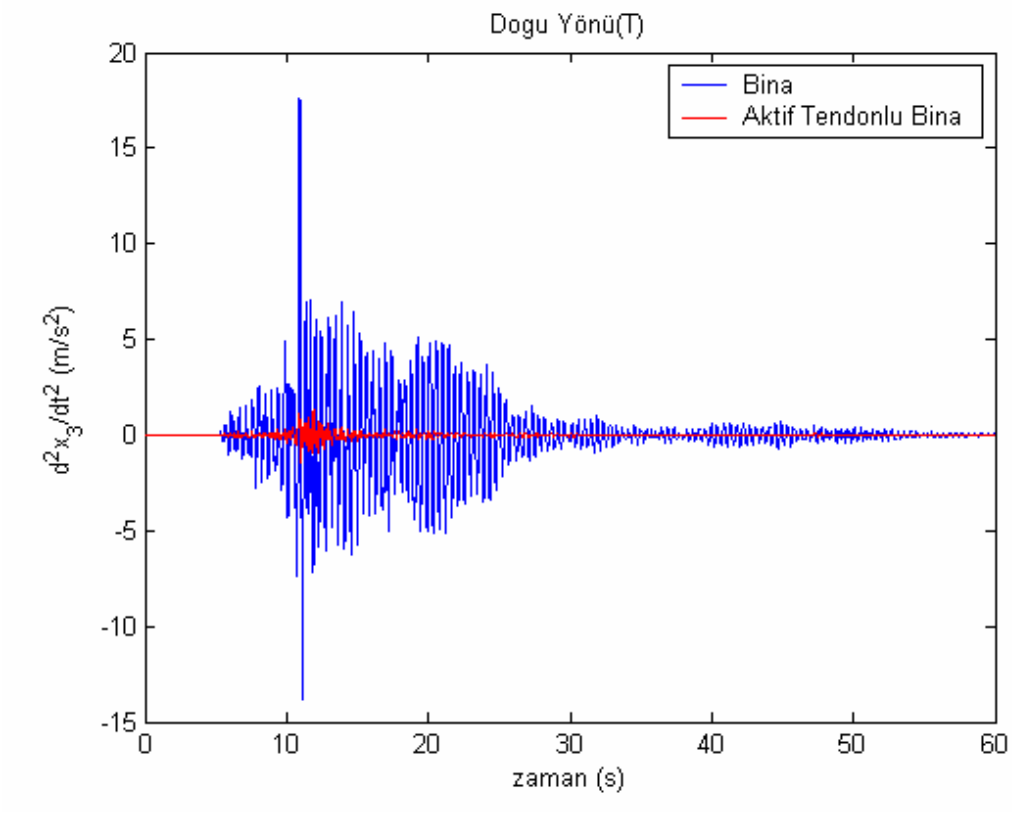

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10-3

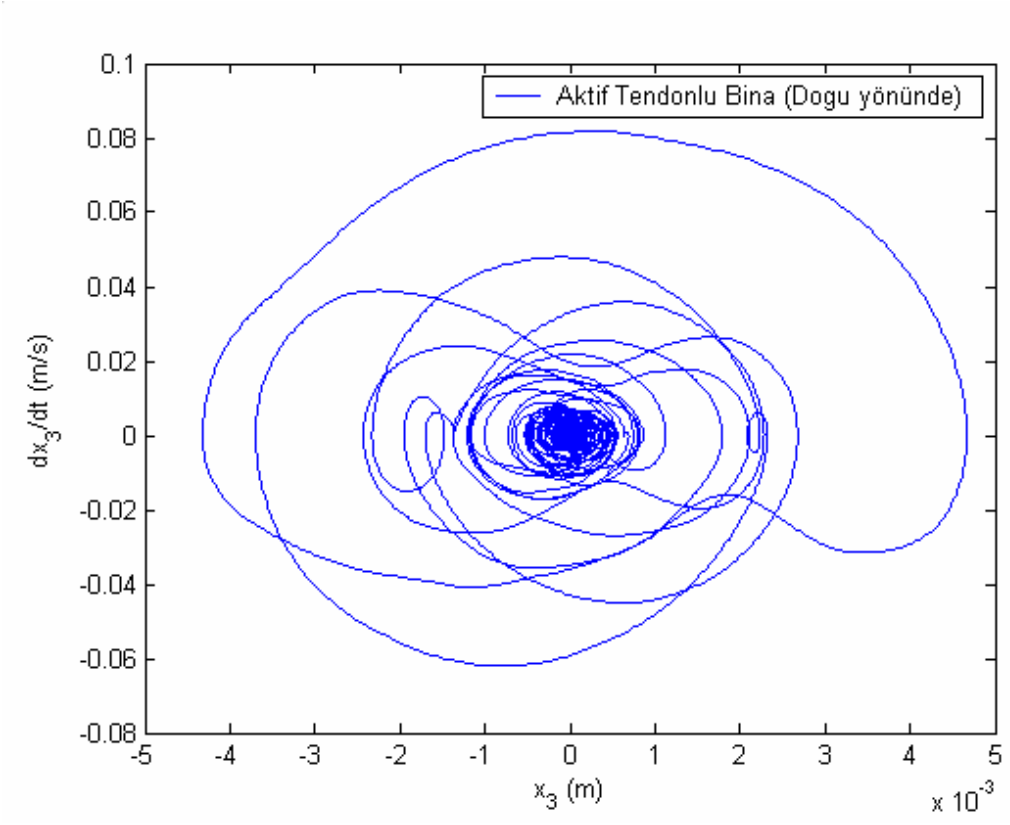

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10-3

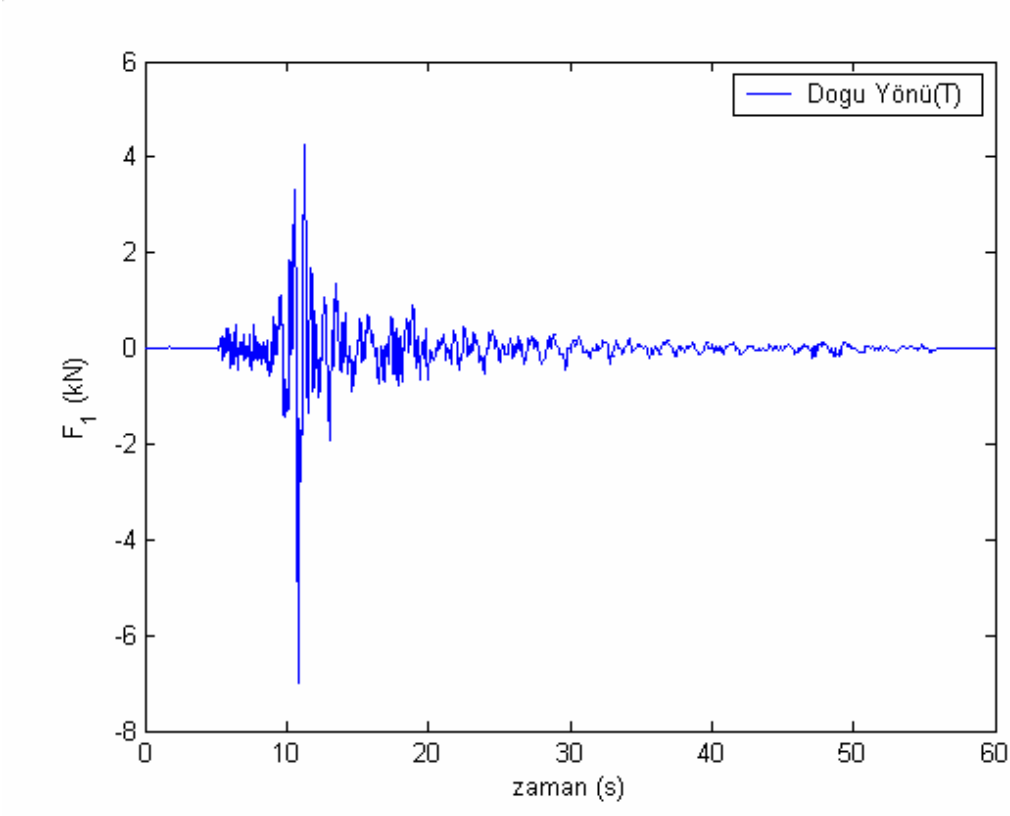

Bina
Aktif Tendonlu Bina
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
X_2/X_0 (dB)
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
frekans (Hz)

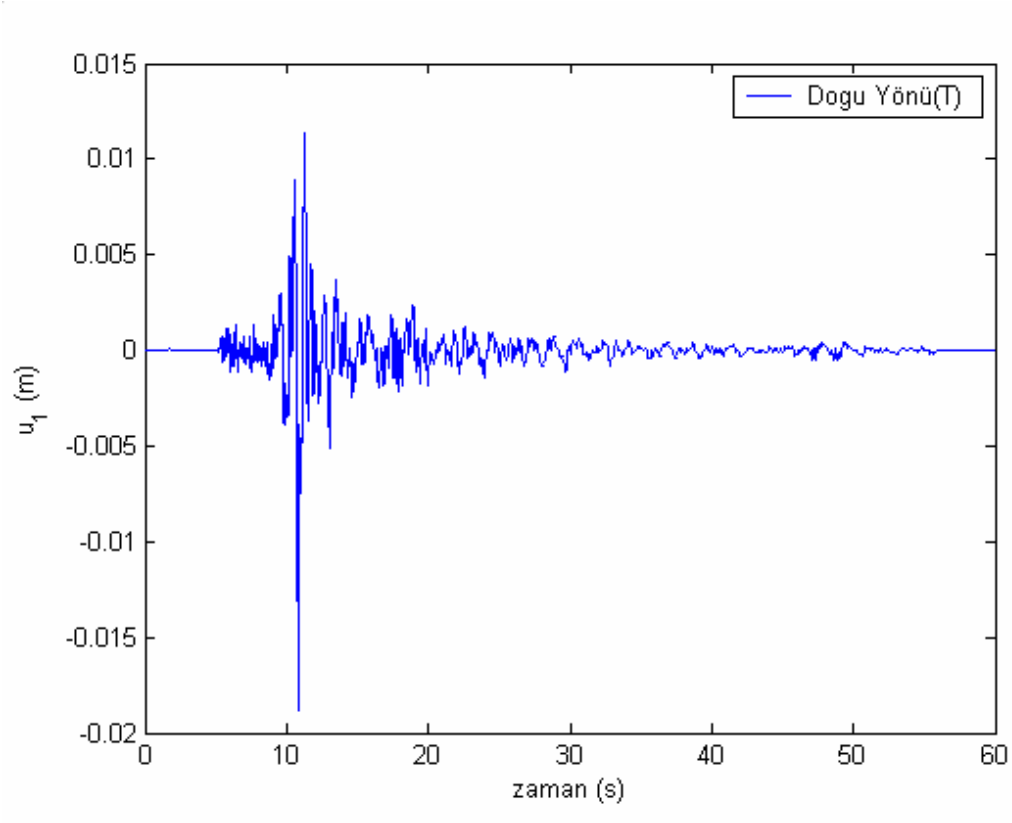

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
-0.1
x_3 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

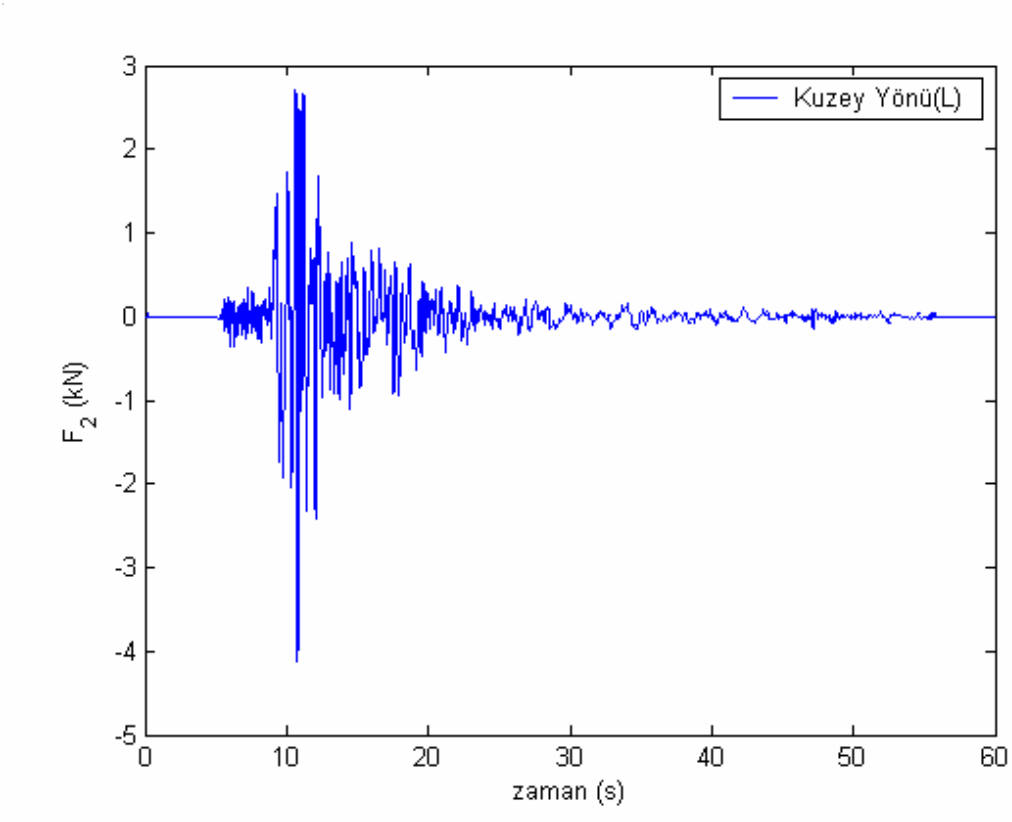

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
10
20
30
40
50
60

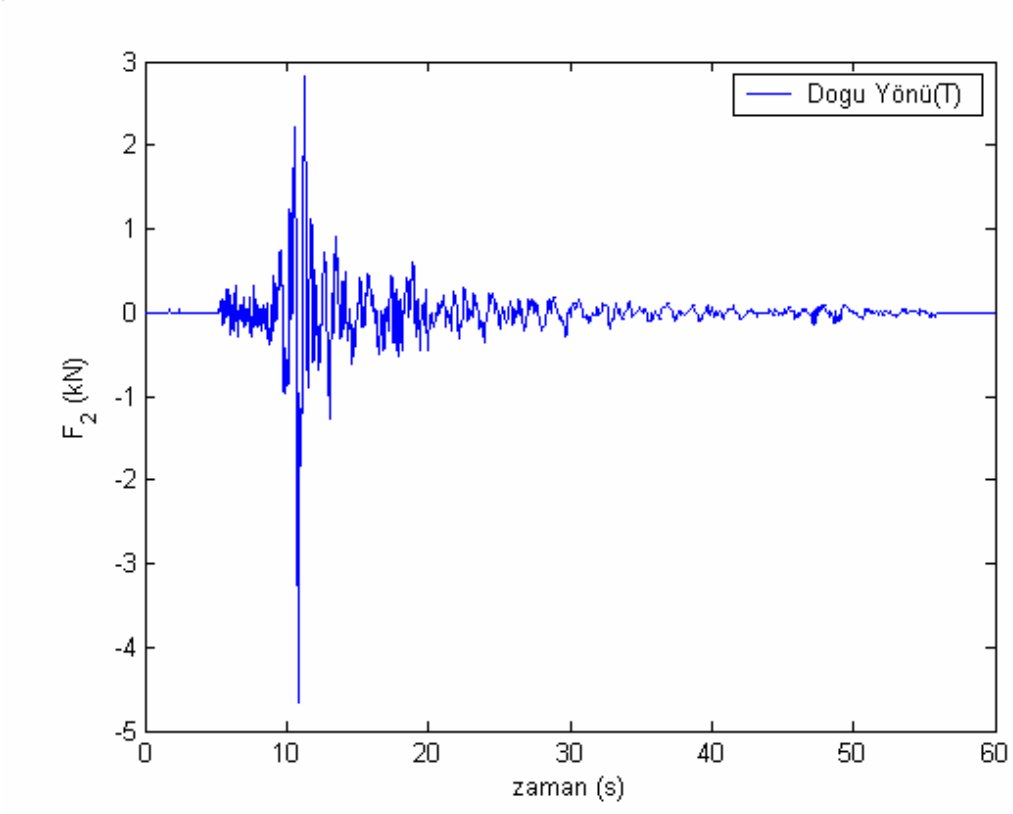

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d2x3/dt2 (m/s2)
zaman (s)
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
0
10
20
30
40
50
60

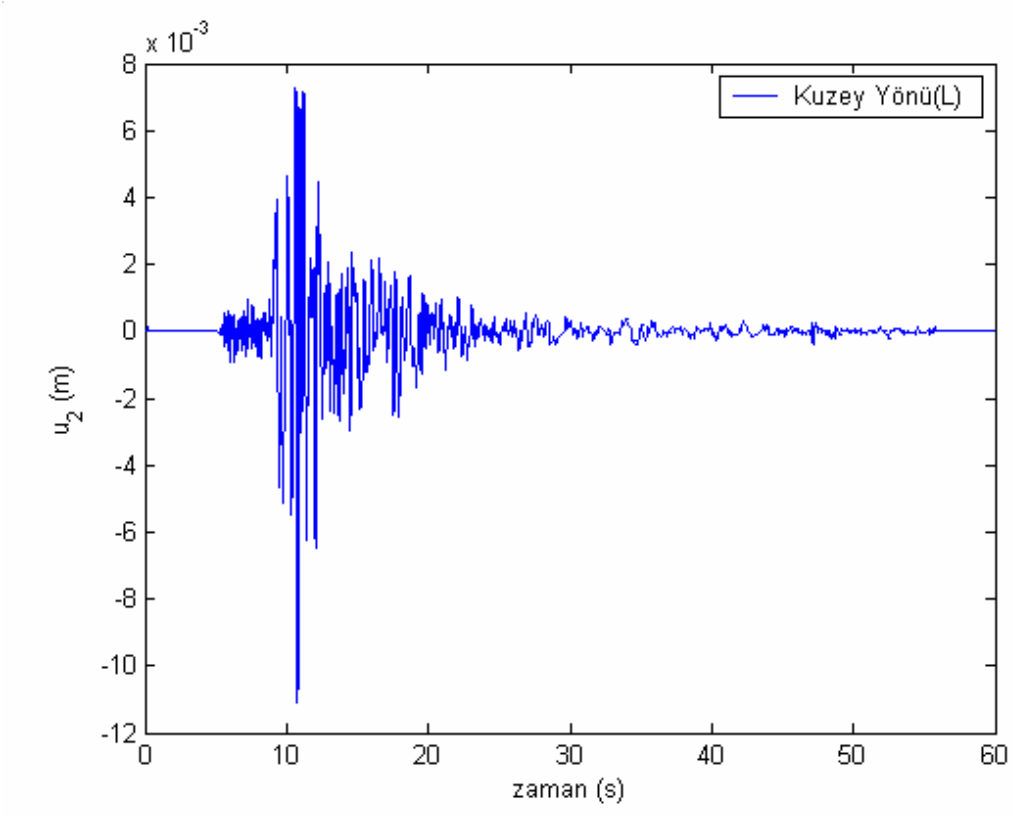

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10-3
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5

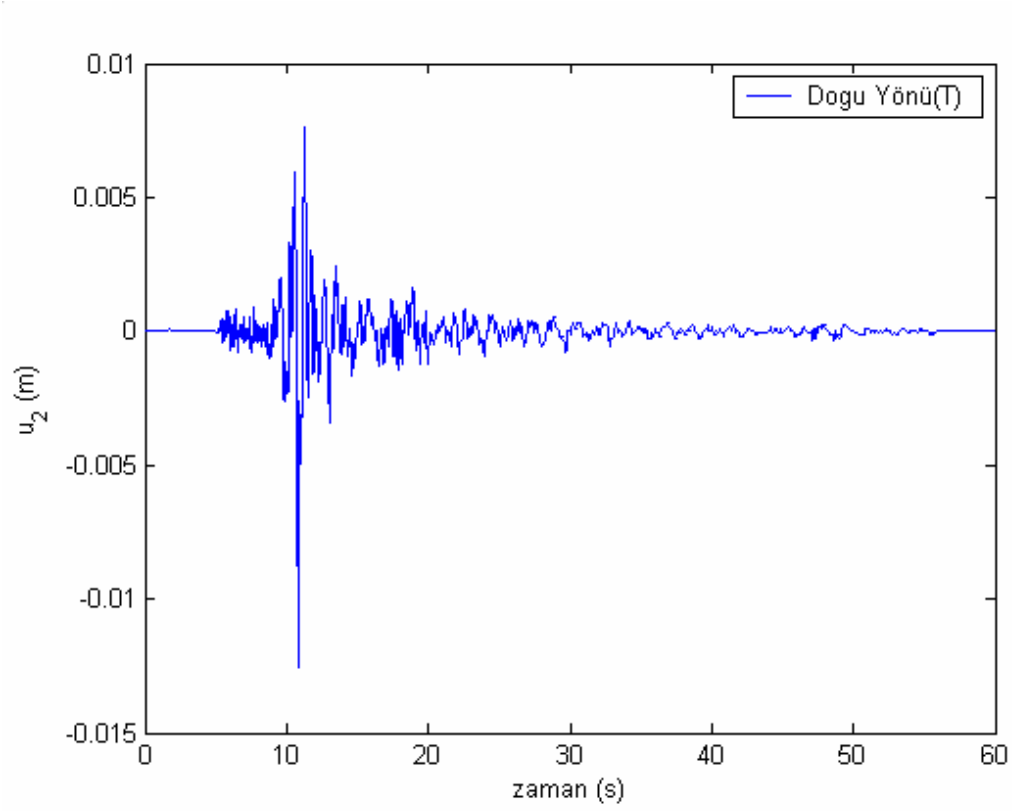

Dogu Yönü(T)
F1 (kN)
zaman (s)
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
0
10
20
30
40
50
60

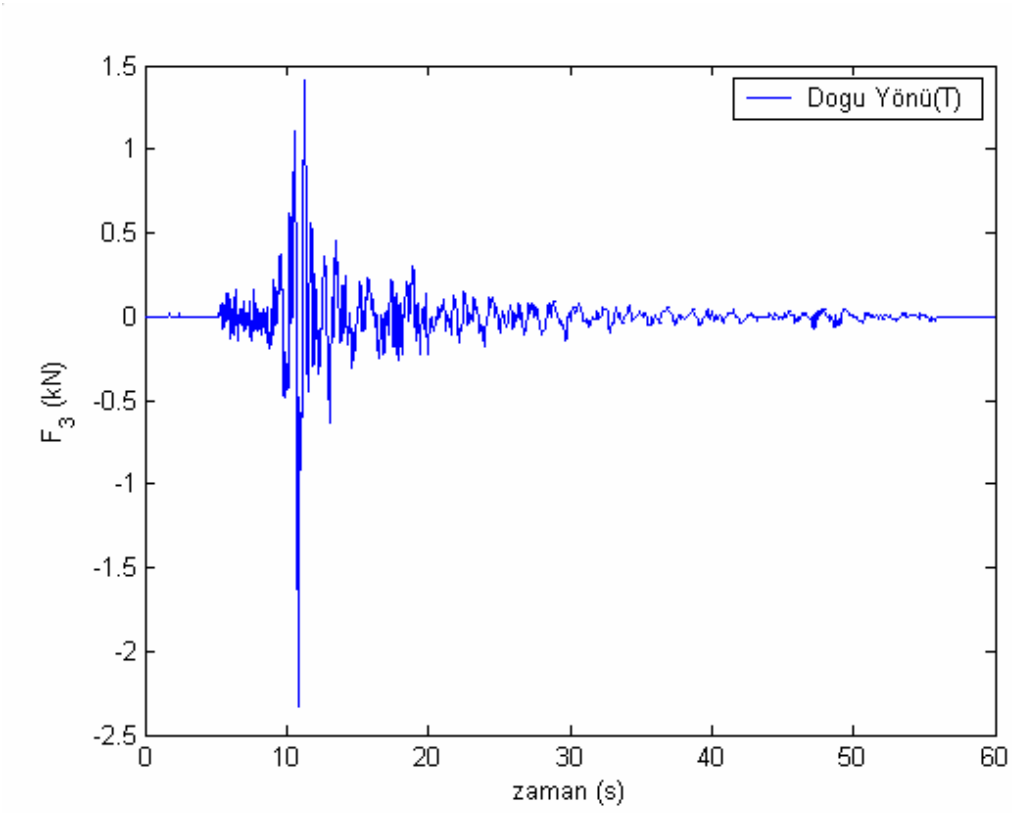

Dogu Yönü(T)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
u1 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

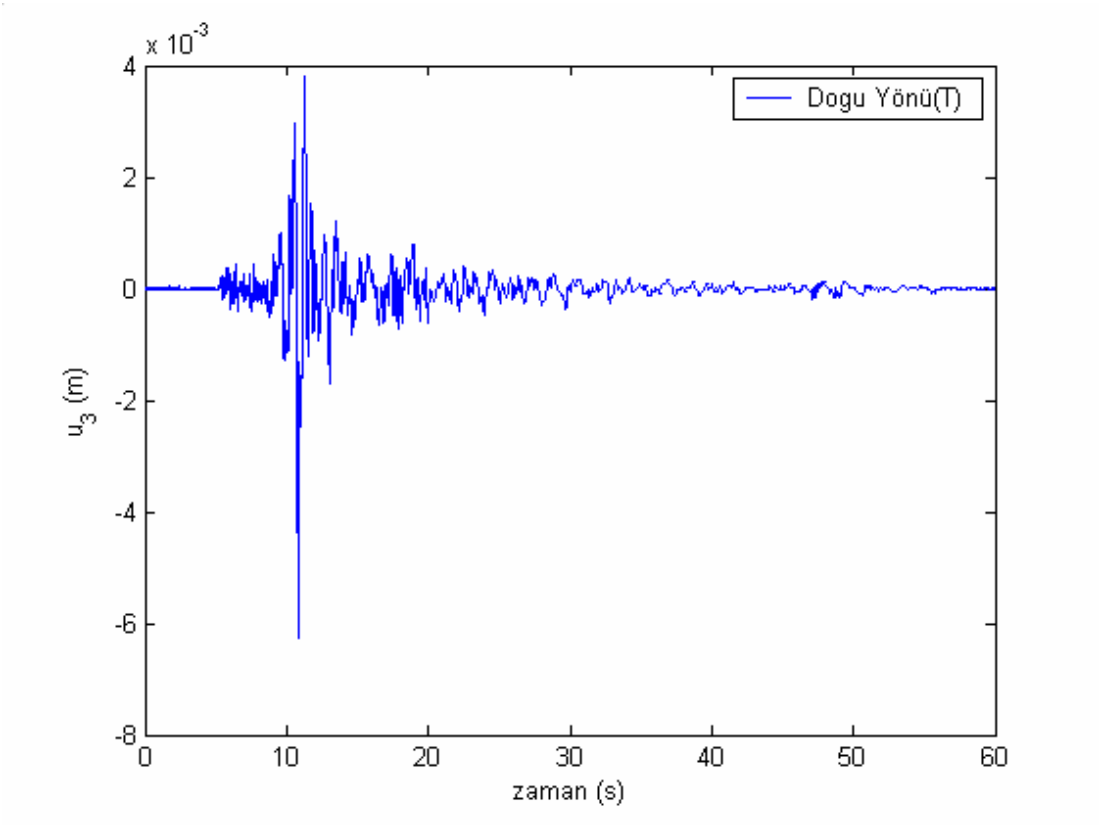

Kuzey Yönü(L)
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
F2 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)


Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)

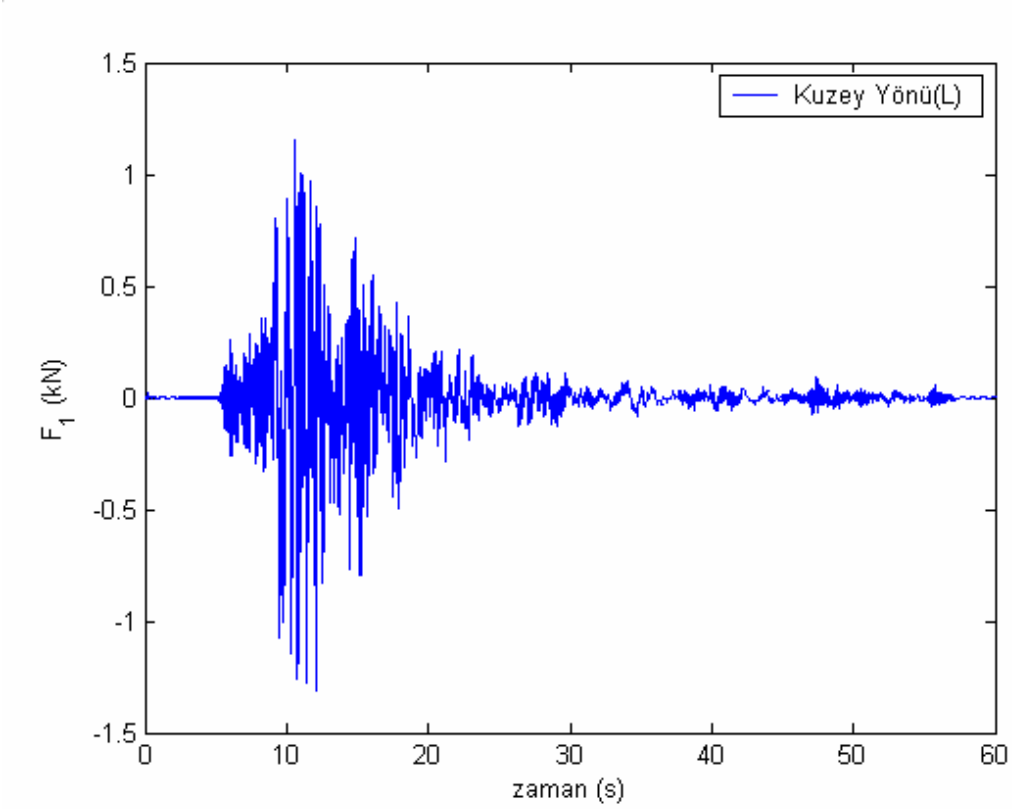

x 10-3
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)

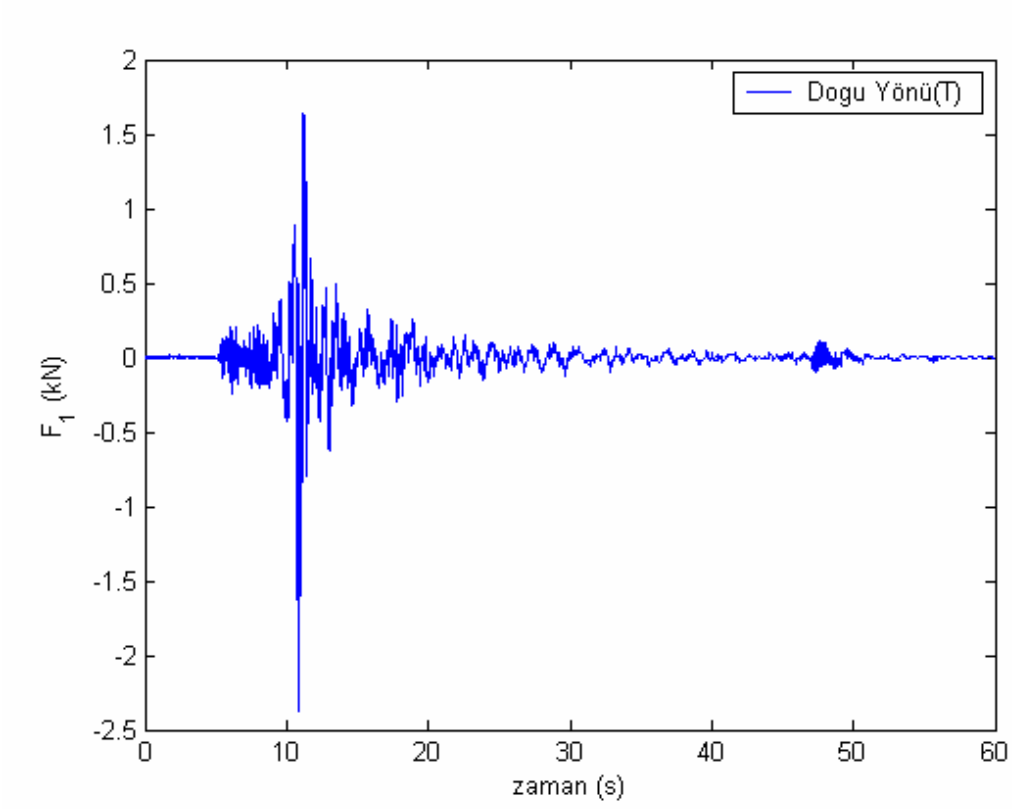

Dogu Yönü(T)
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
u_2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

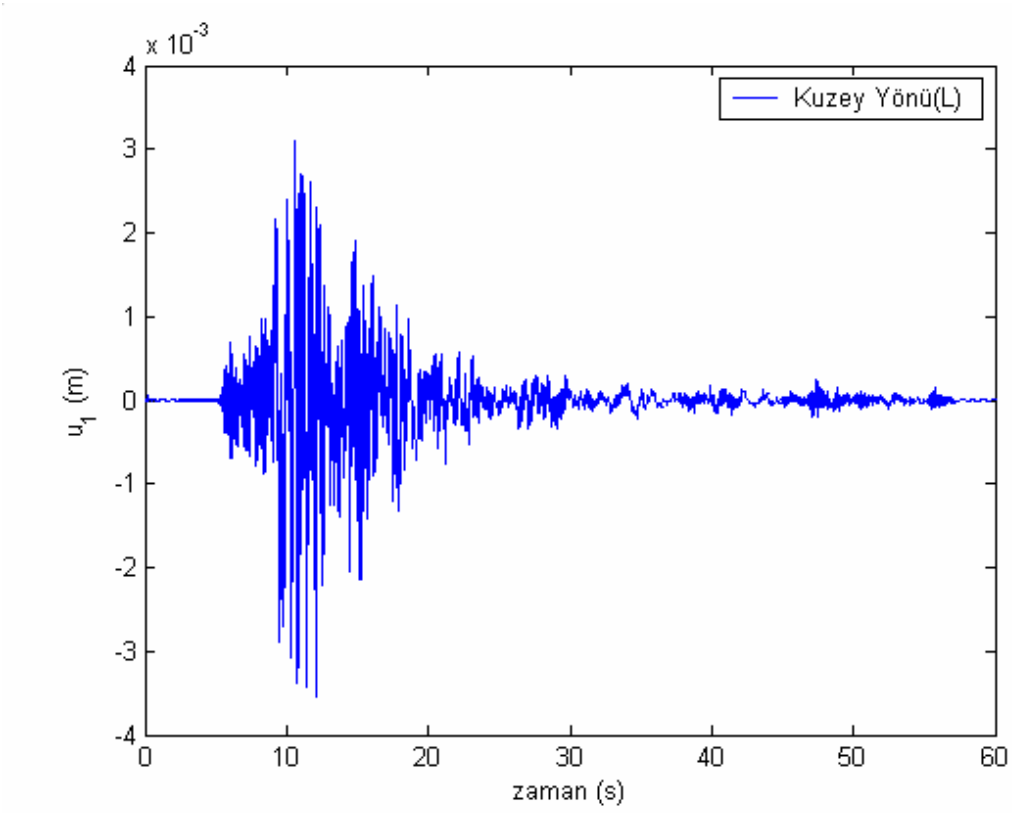

Dogu Yönü(T)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
F_3 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
zaman (s)

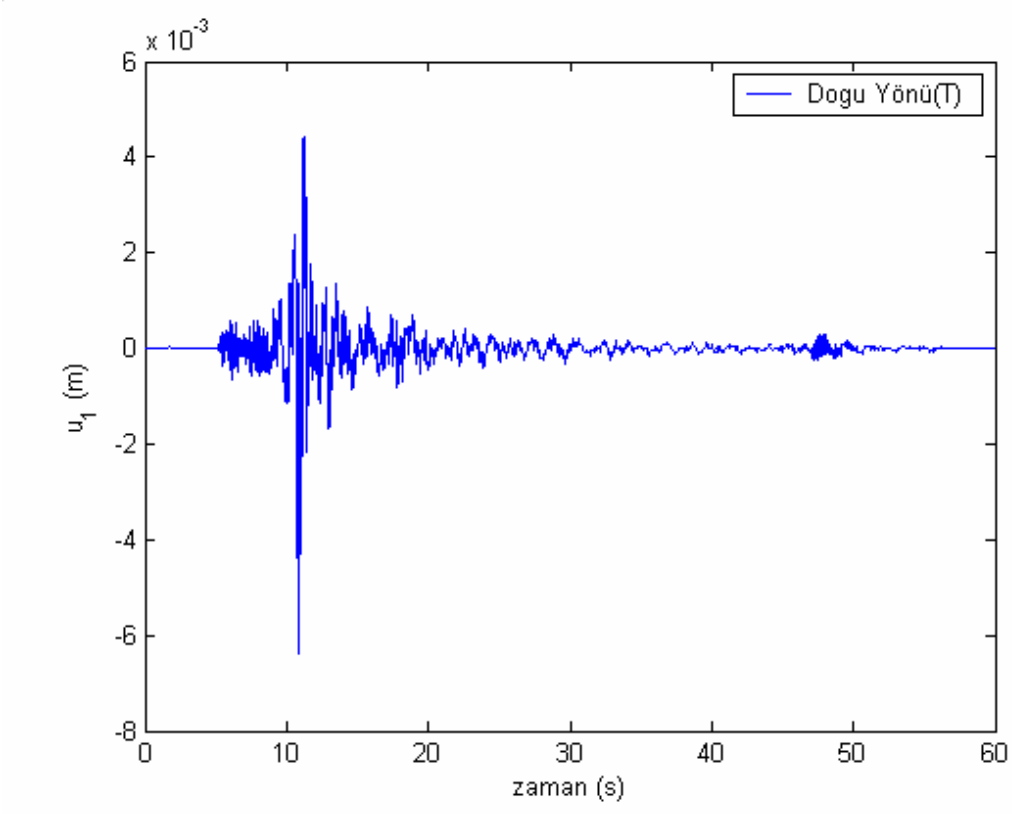

x 10^-3
4
2
0
-2
-4
-6
-8
0
10
20
30
40
50
60
u3 (m)
zaman (s)
Dogu Yönü(T)

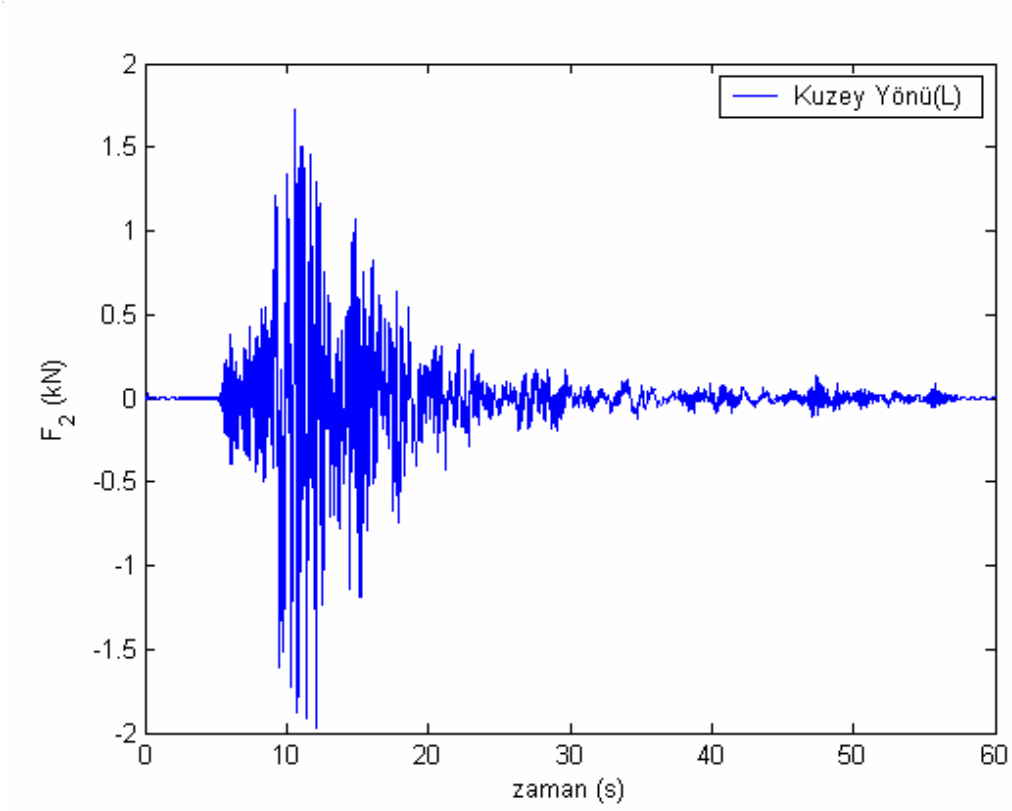
EK 4d: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Aşağıdan Uzanan Tendonlar ile Kontrol)

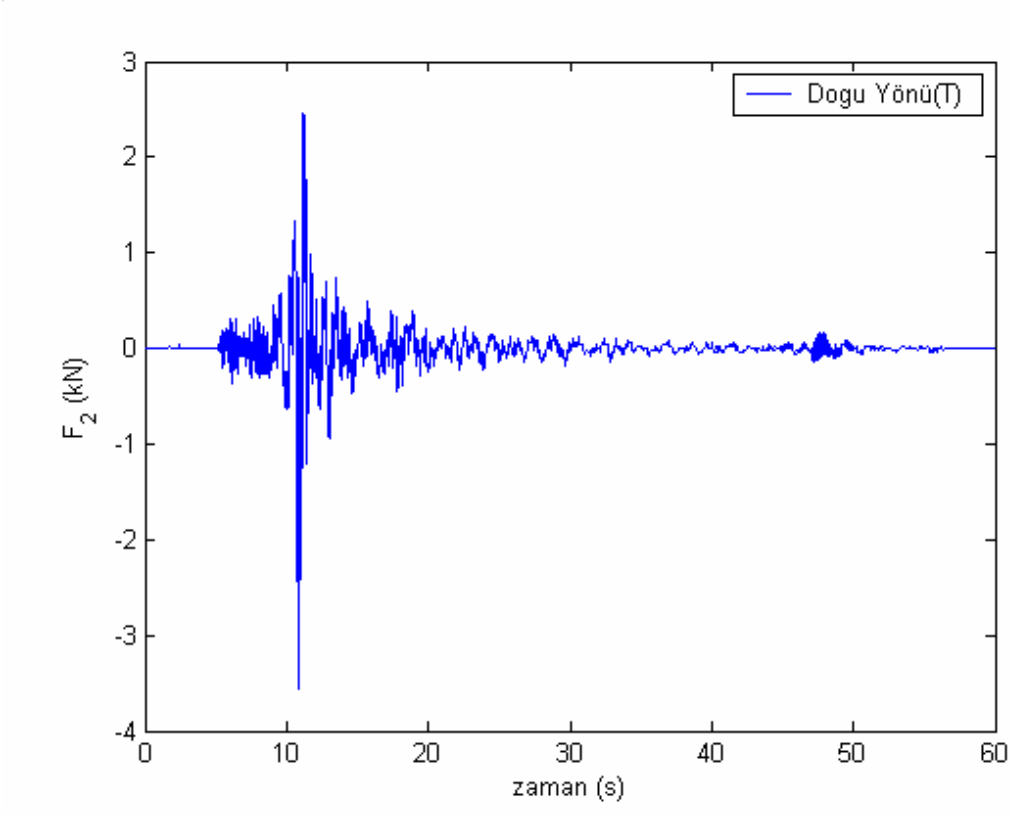


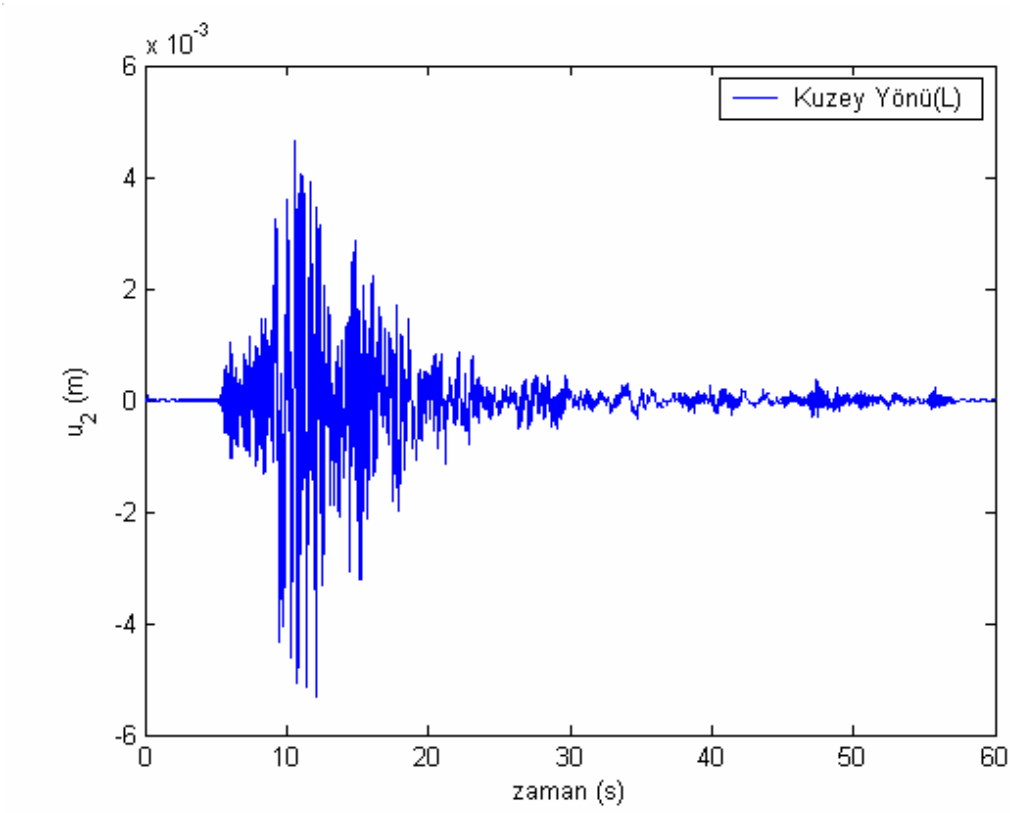


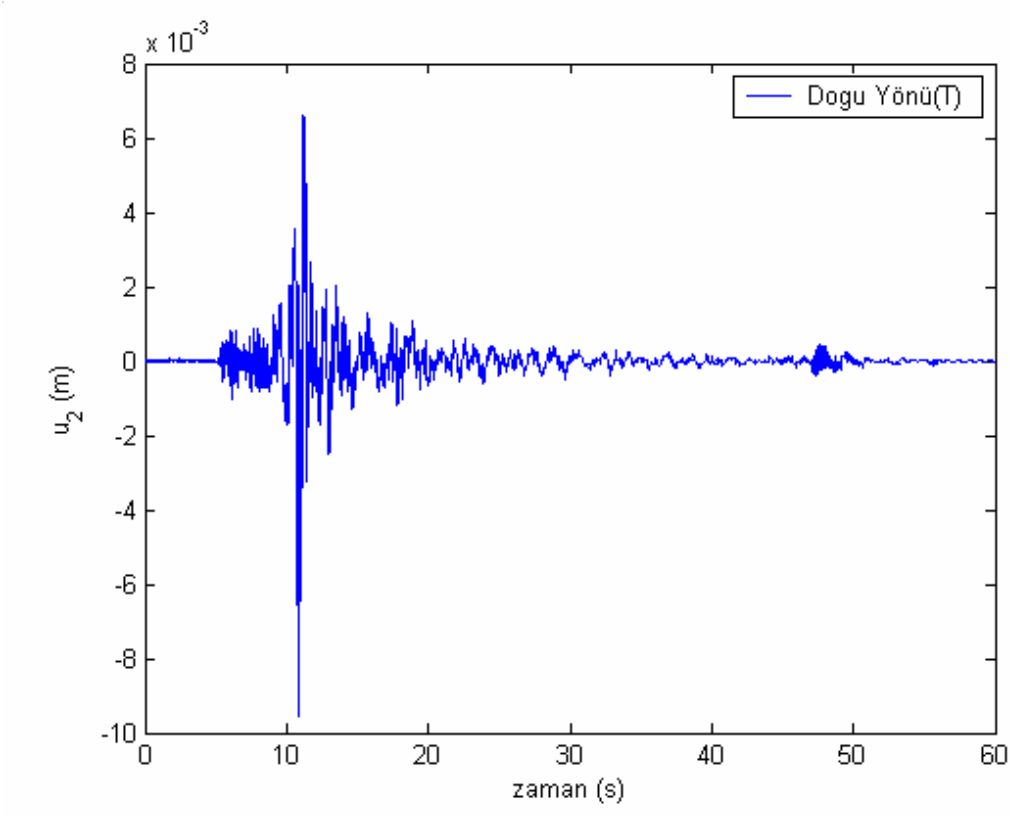

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

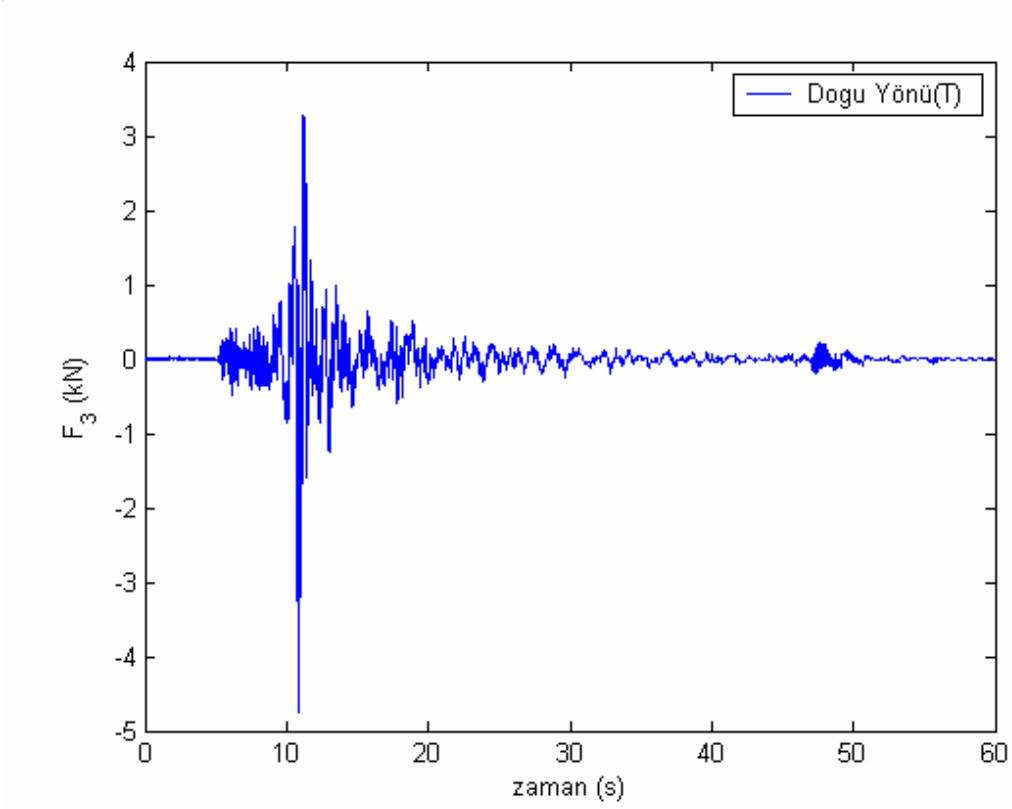

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

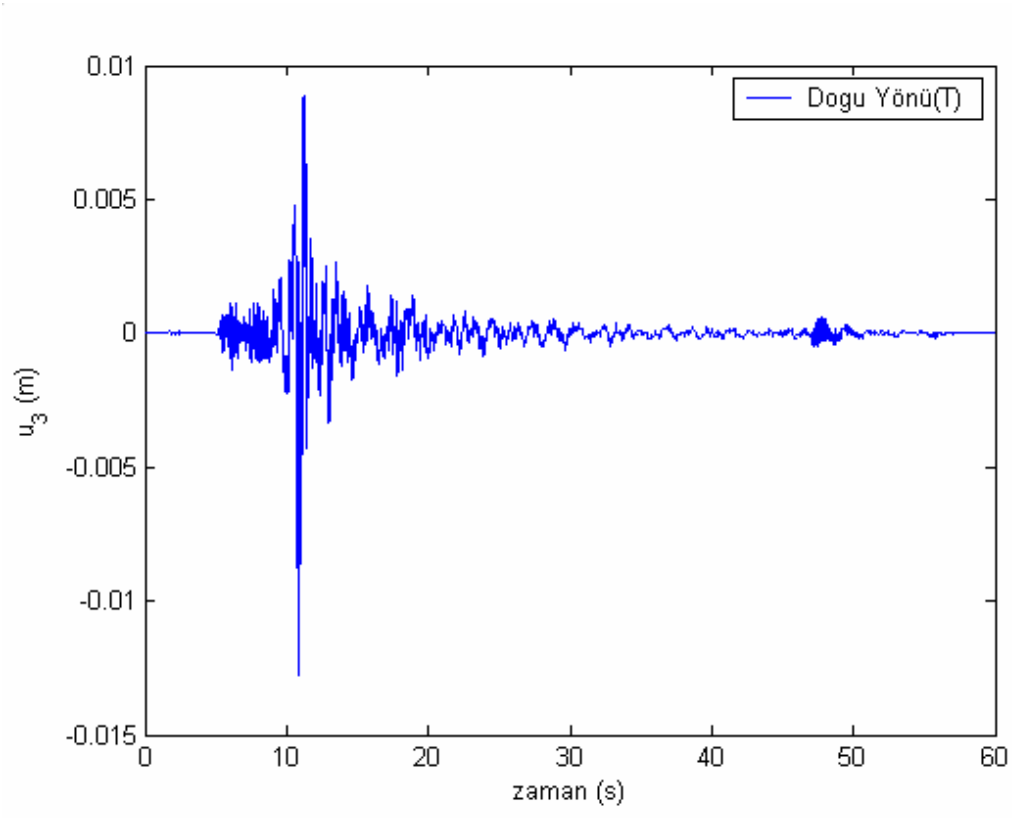

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
0
10
20
30
40
50
60


Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
10
20
30
40
50
60


x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)

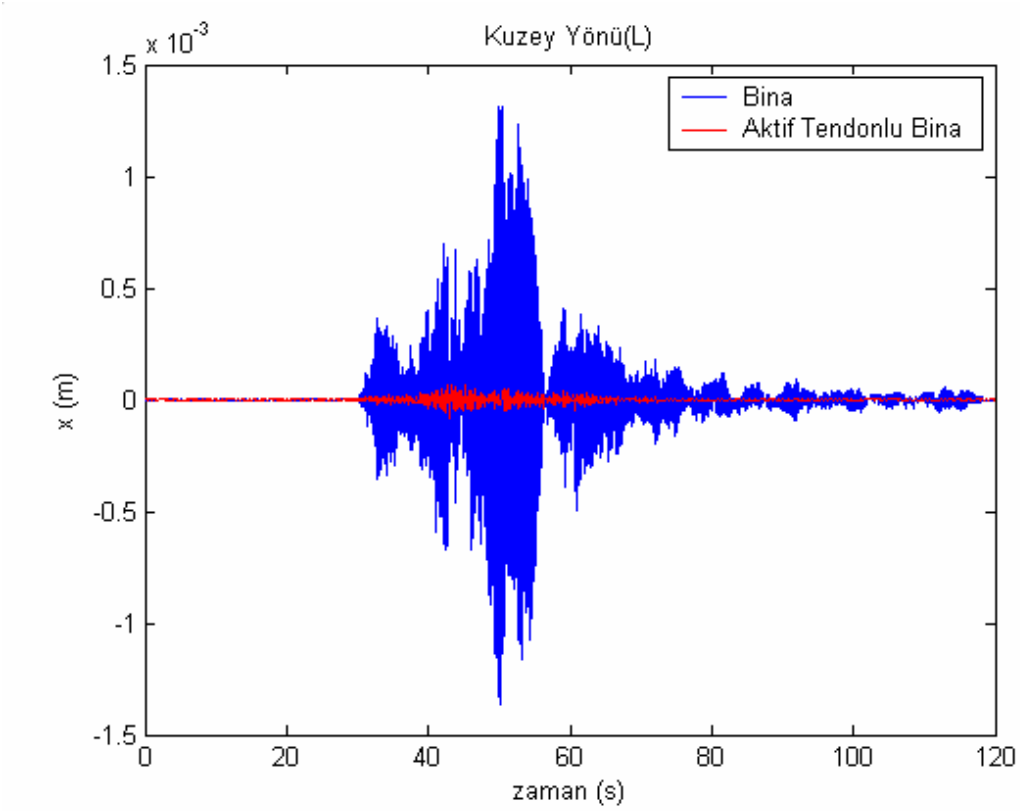

Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
0
10
20
30
40
50
60

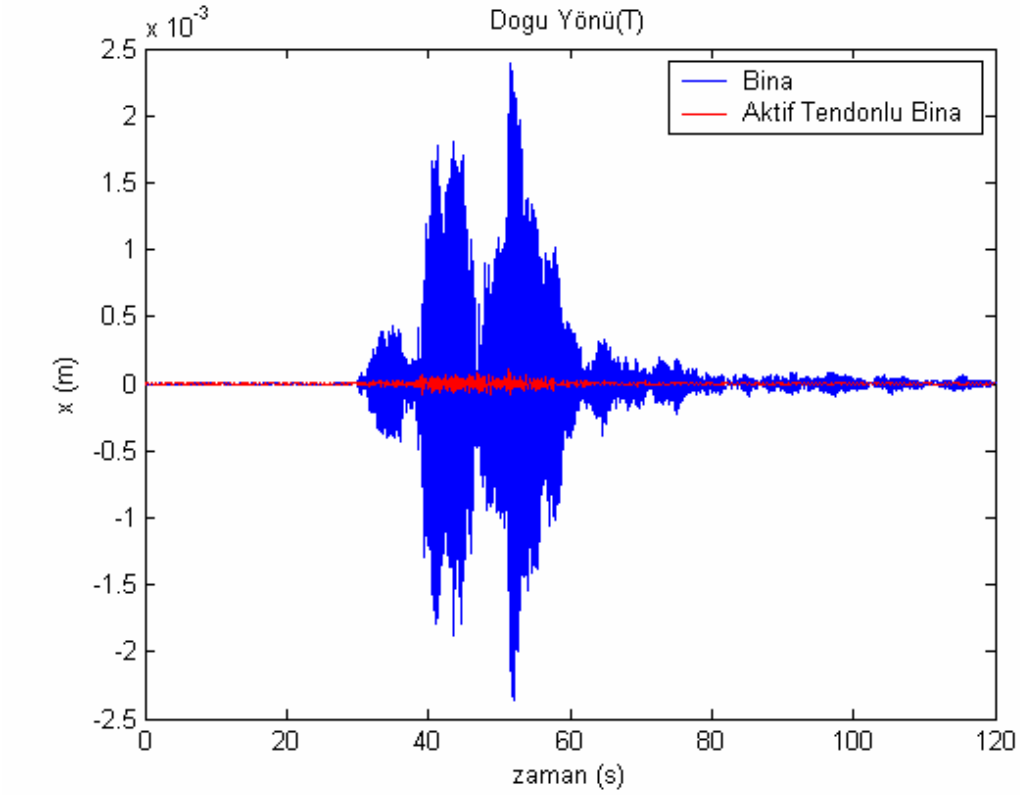

Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
0
10
20
30
40
50
60

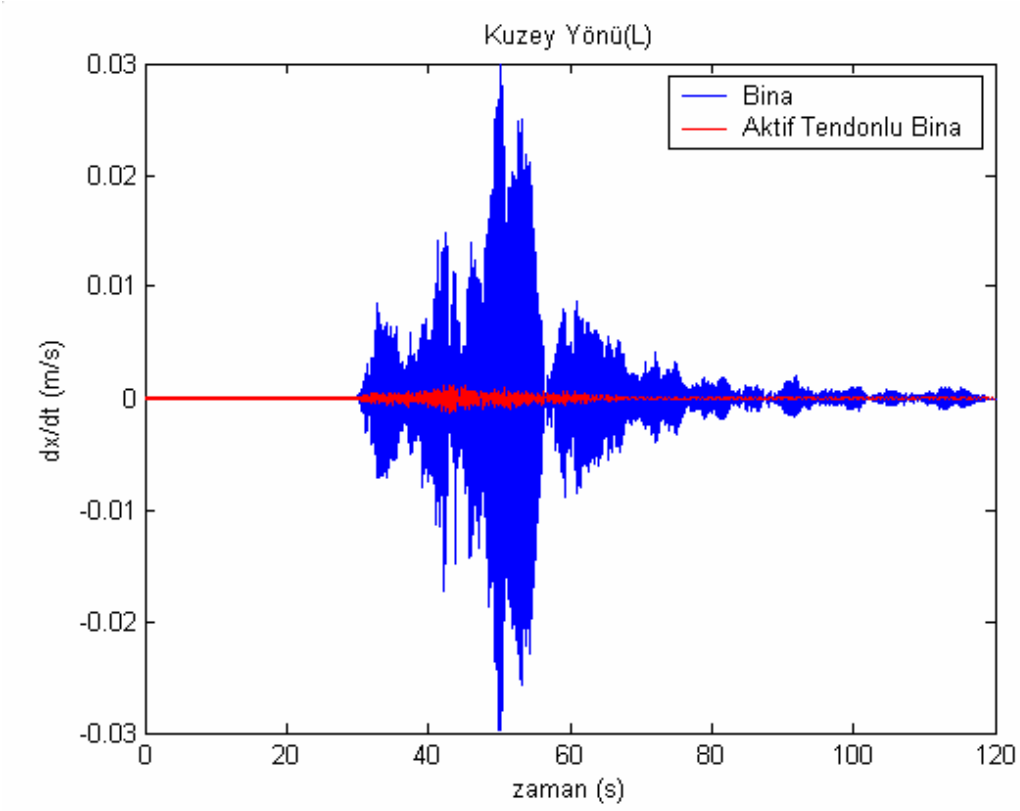
EK 5

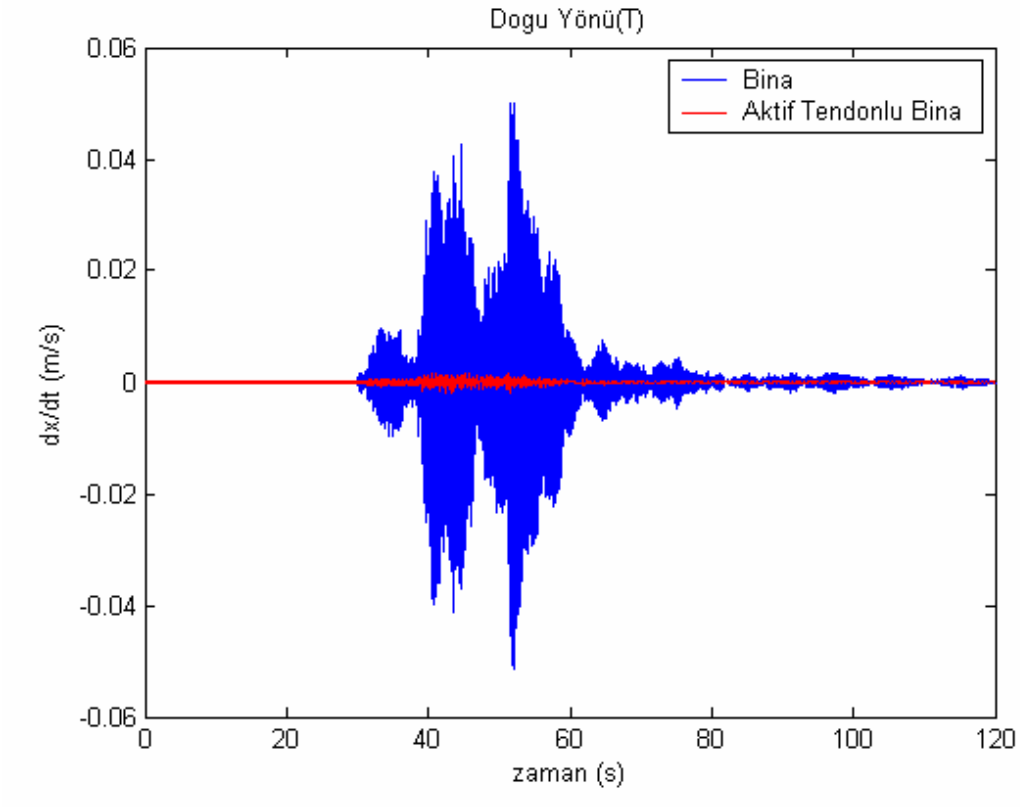
Düzce(1999) Depremi Sakarya Kaydı için Grafikler

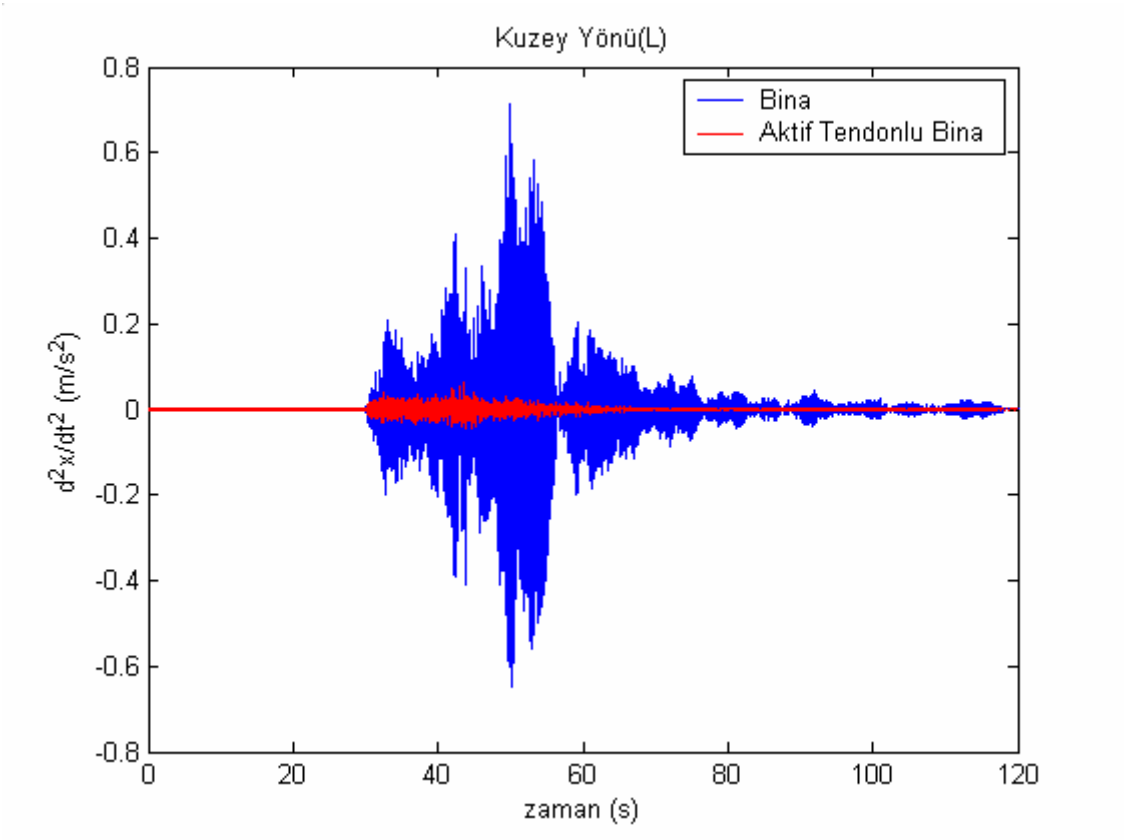
EK 4a: Tek Serbestlik Dereceli Sistem

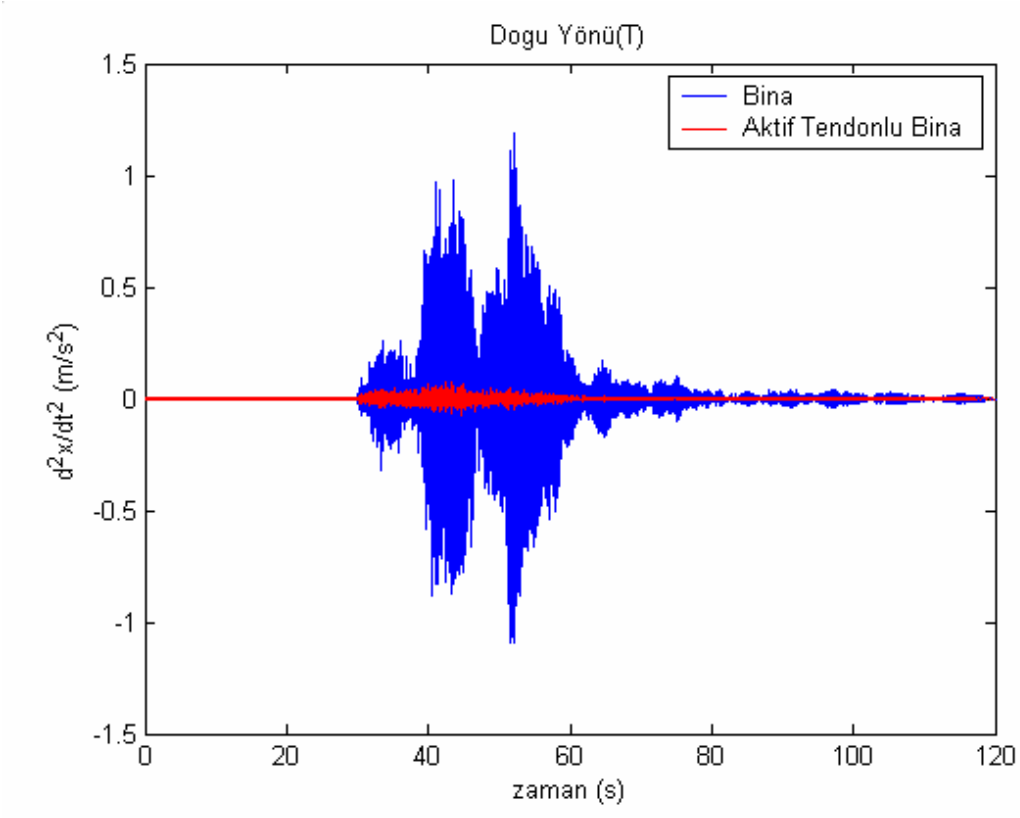


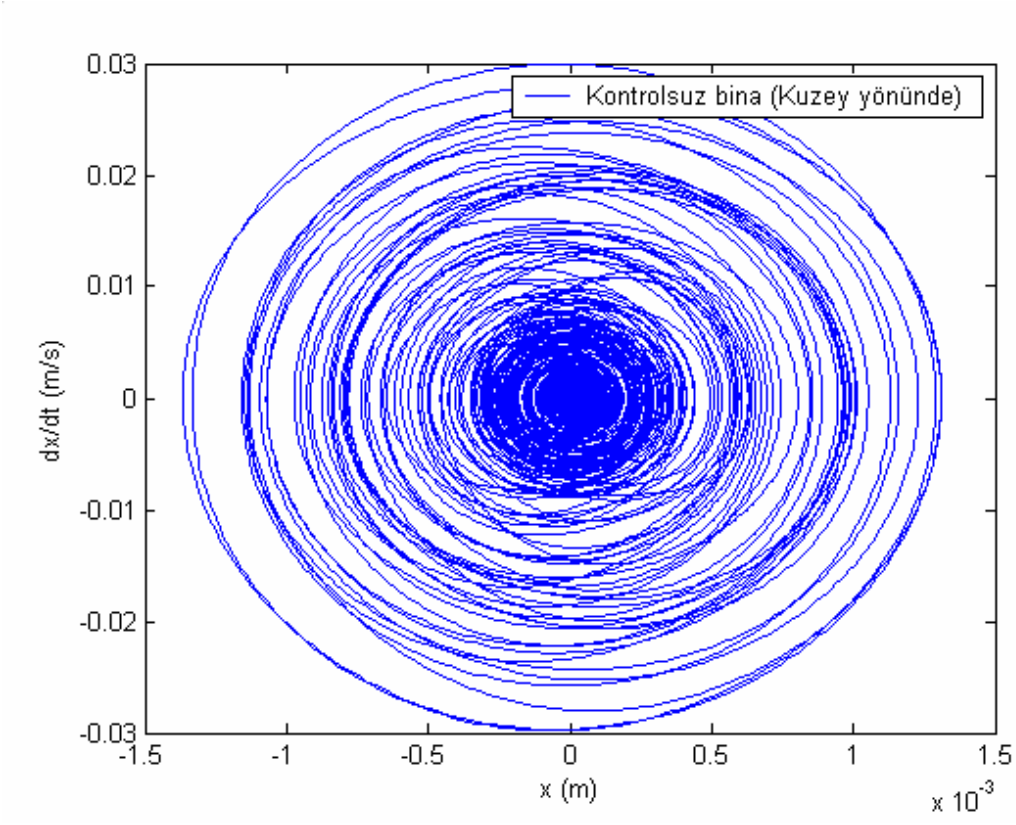


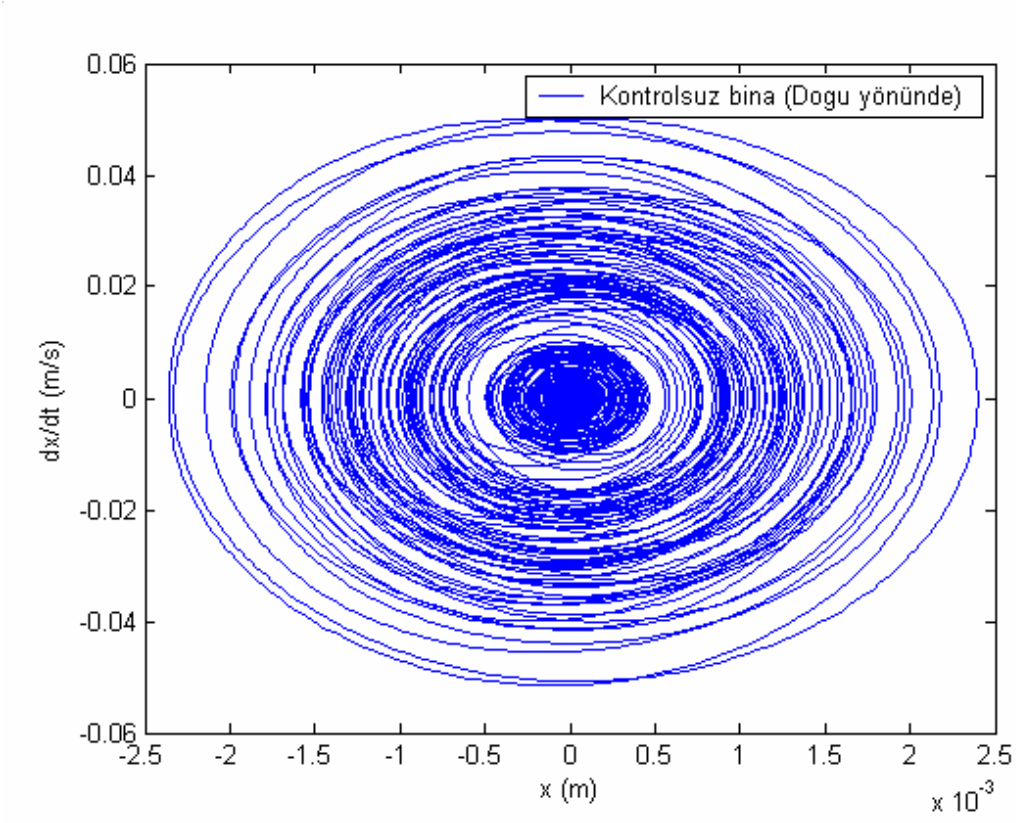

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
0
20
40
60
80
100
120

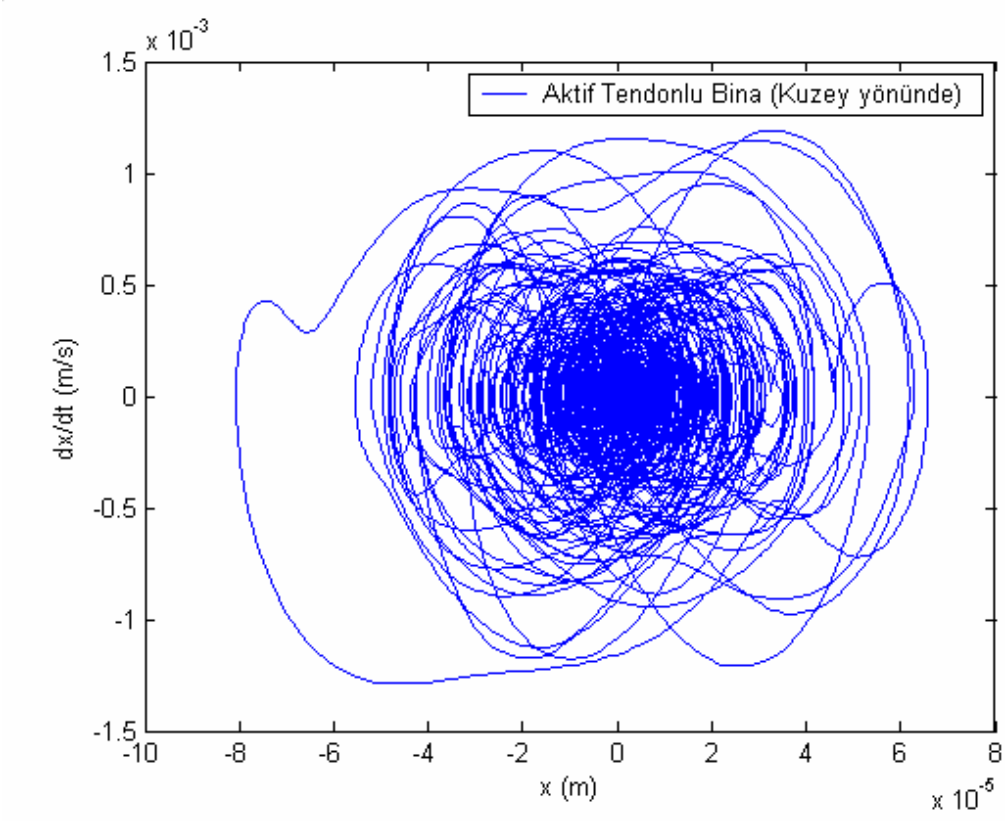

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
0
20
40
60
80
100
120

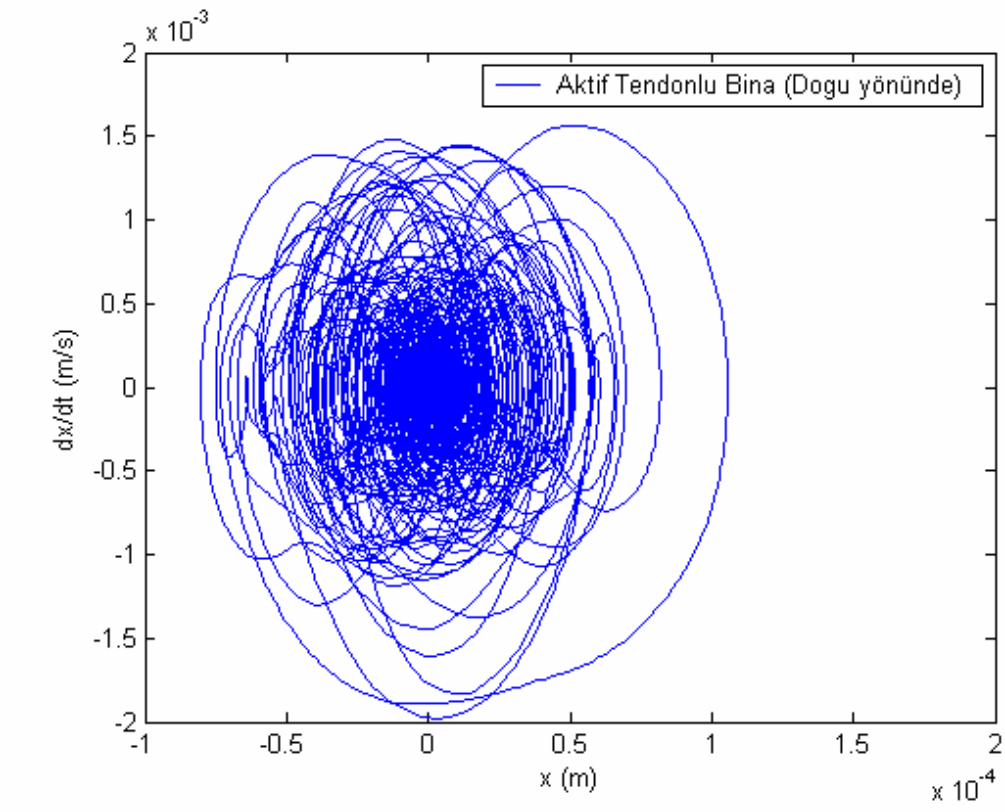

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x/dt² (m/s²)
zaman (s)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120

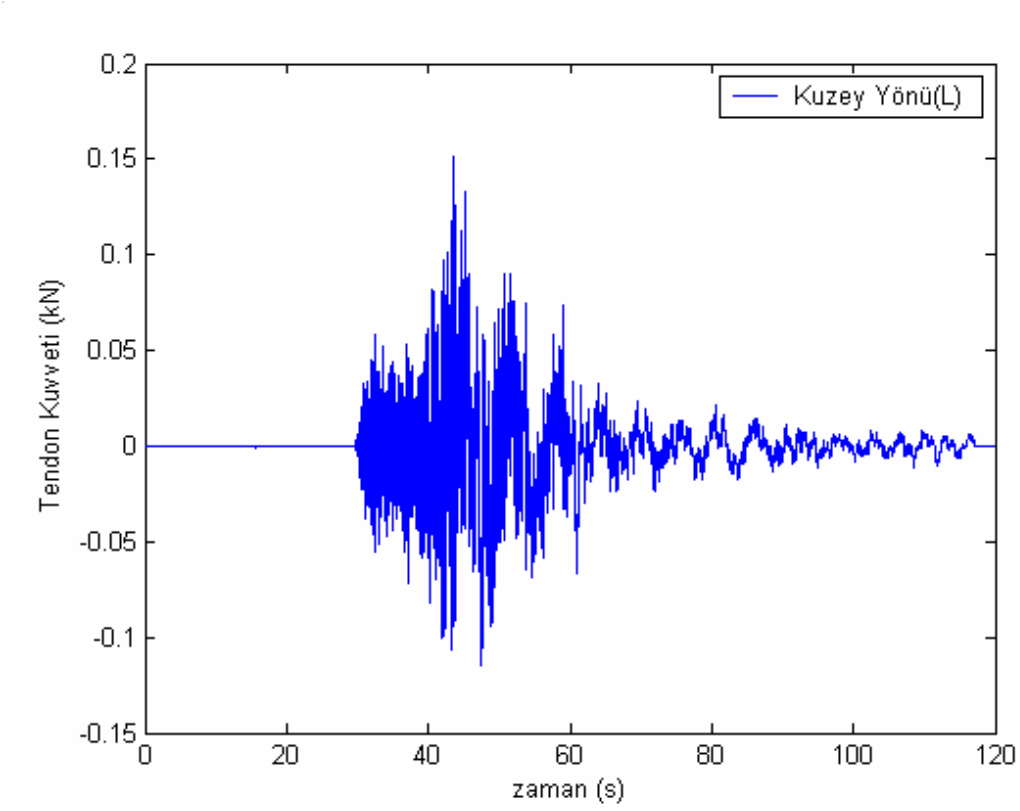

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x/dt² (m/s²)
zaman (s)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
20
40
60
80
100
120

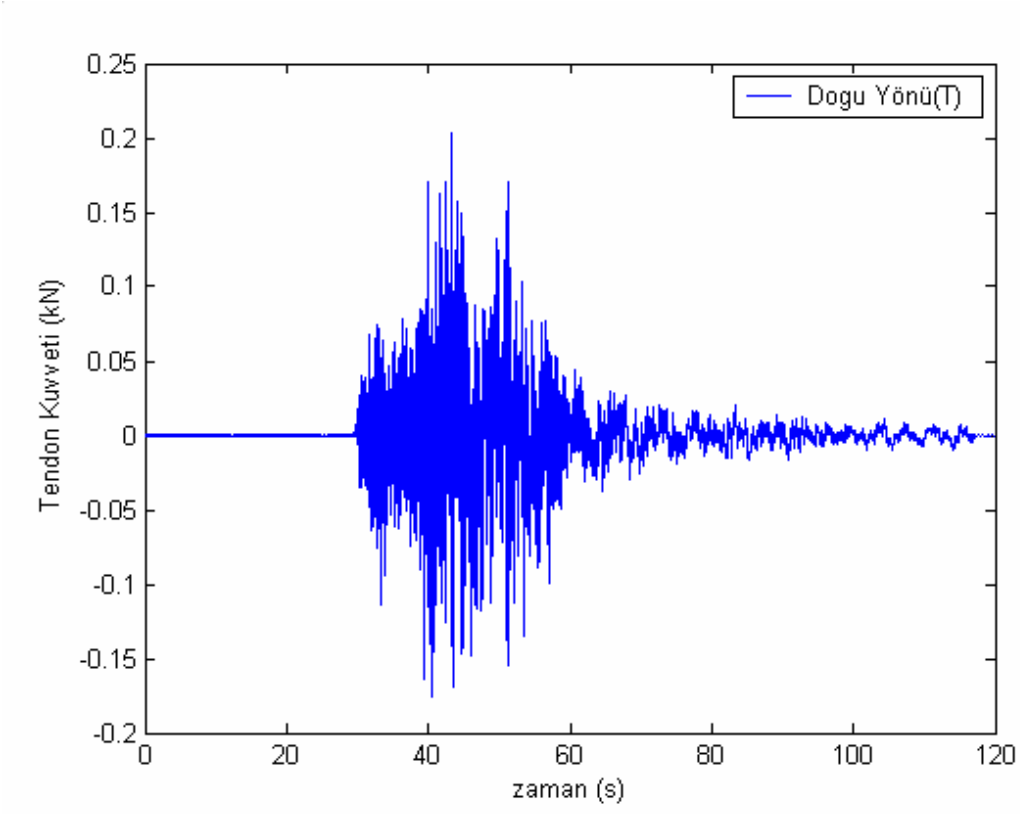

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-3
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5

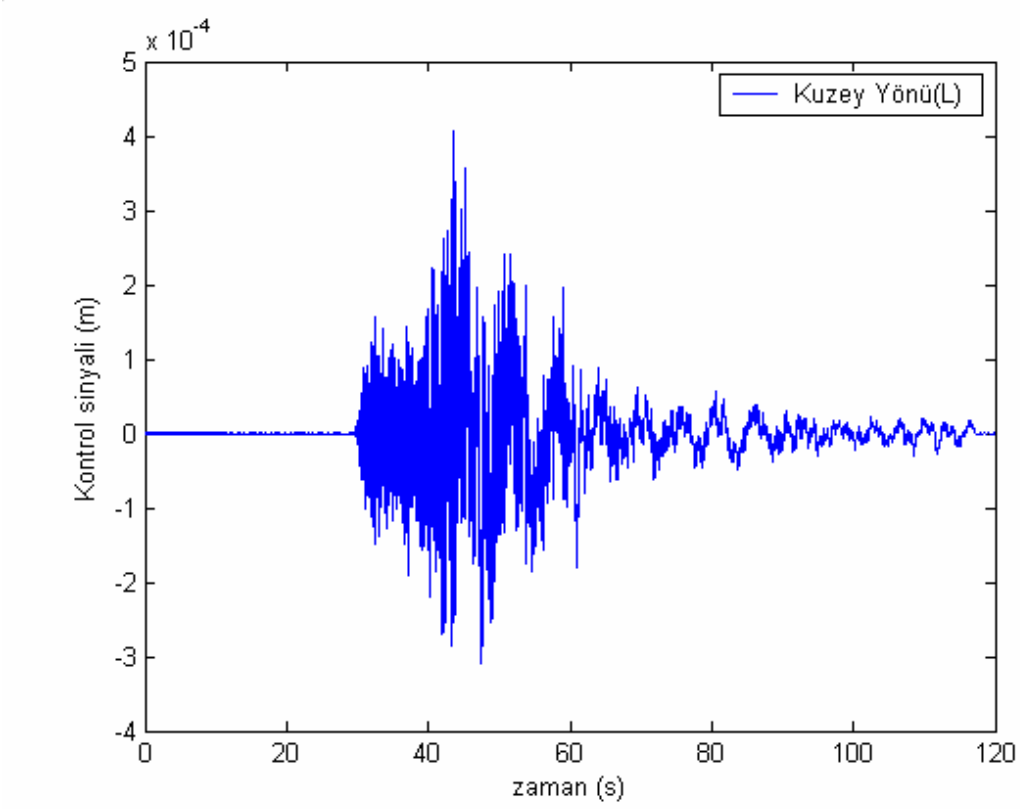

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-3
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5

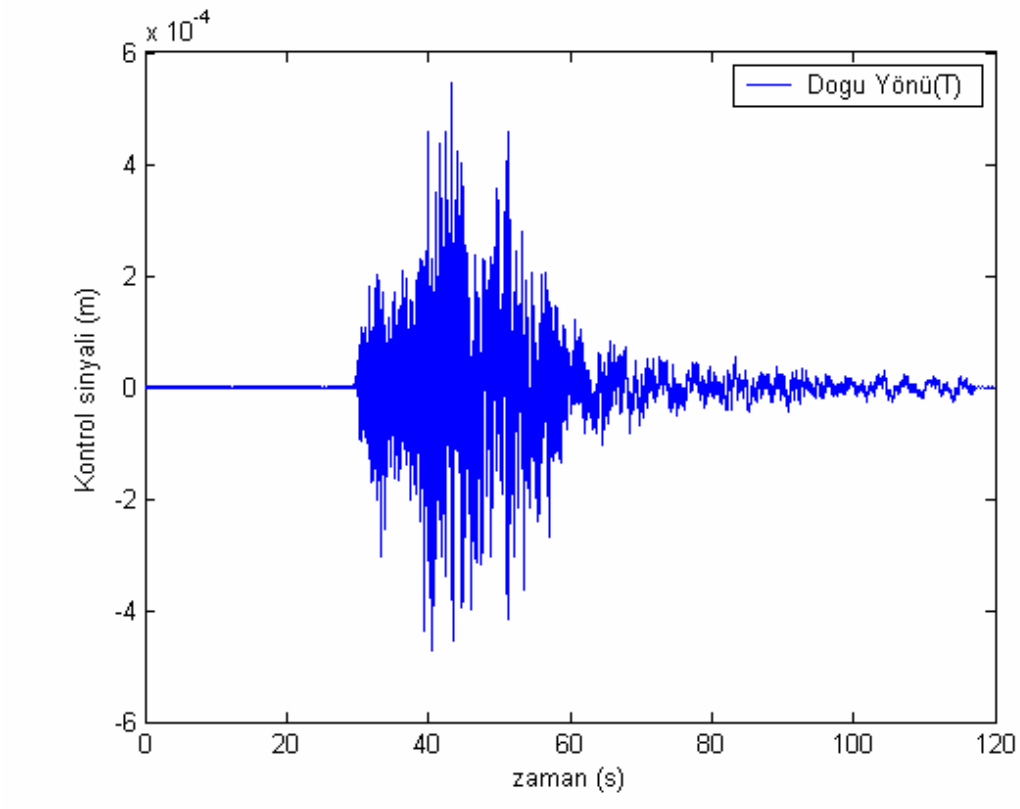

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-5


x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-4

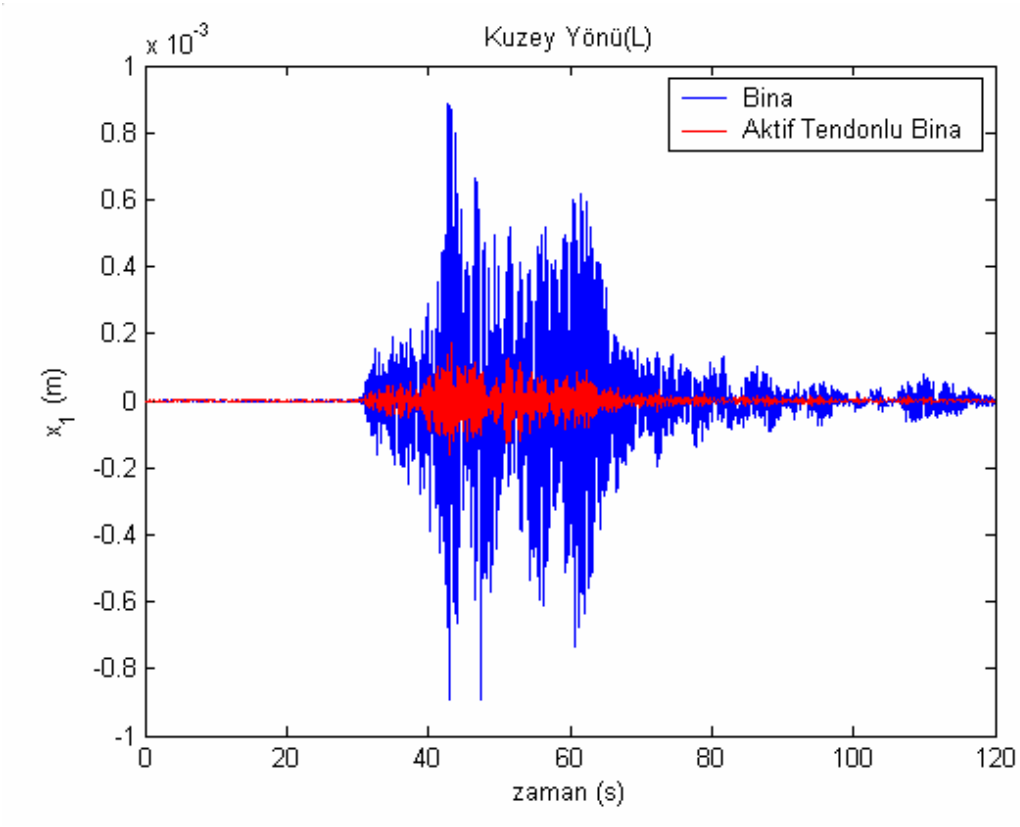

Kuzey Yönü(L)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
0
20
40
60
80
100
120

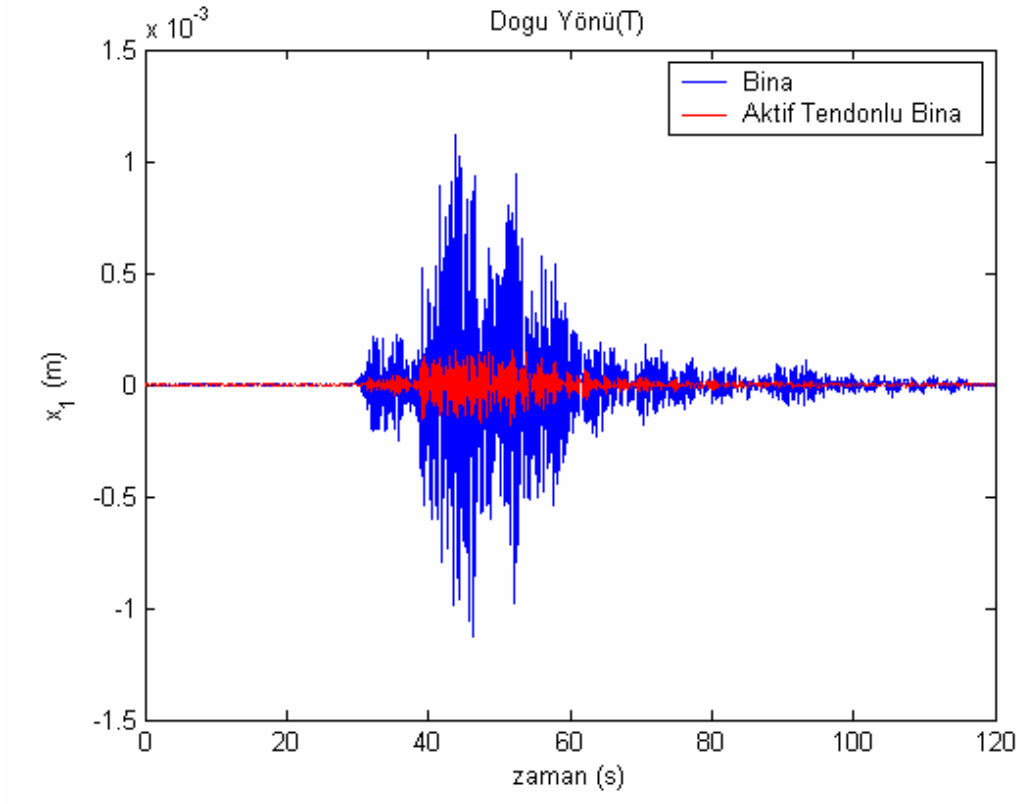

Dogu Yönü(T)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
20
40
60
80
100
120

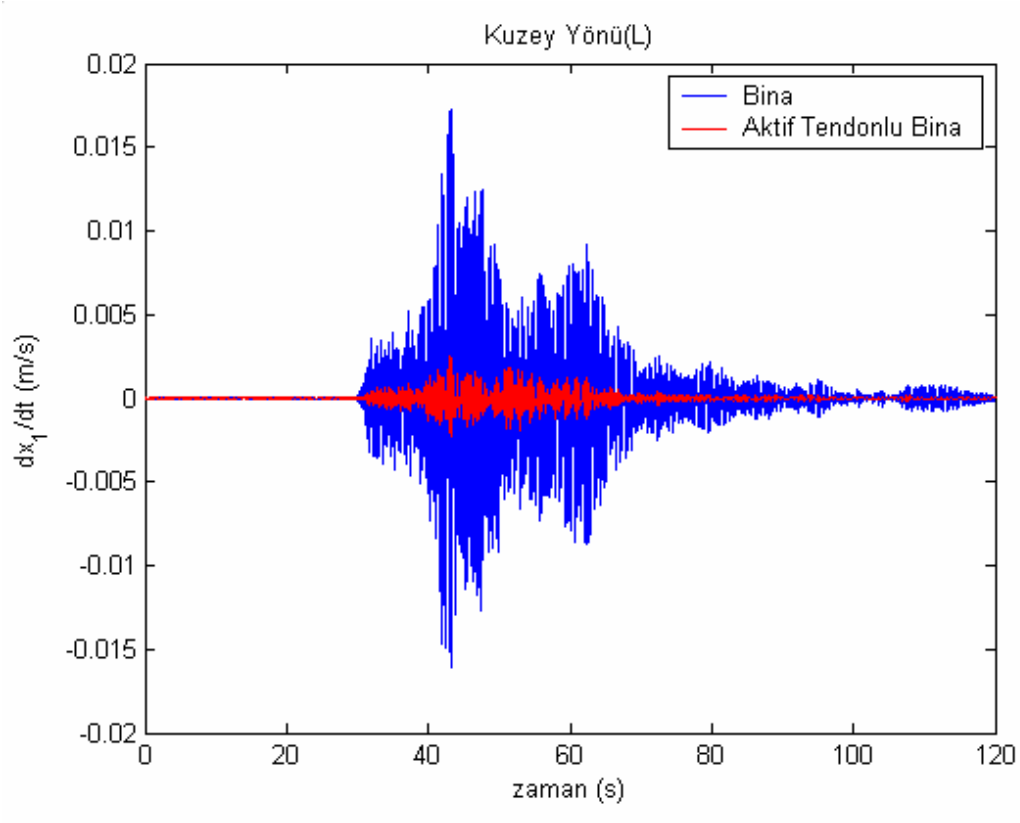

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

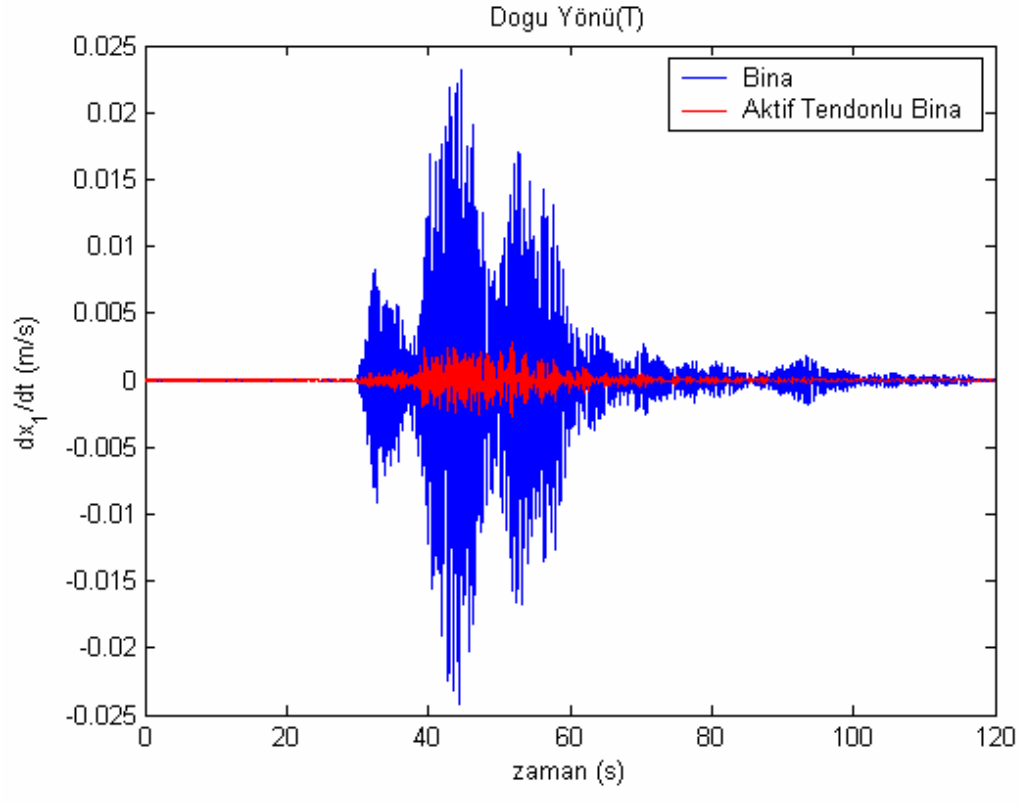

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

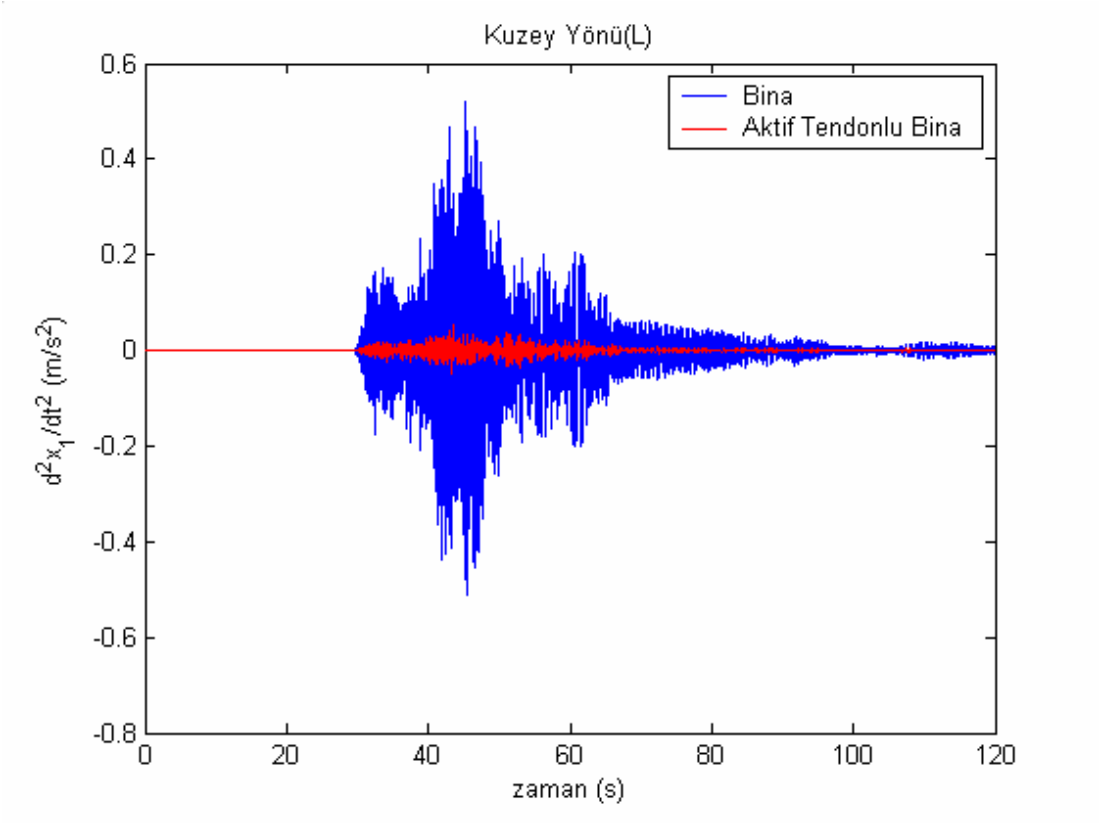
EK 4b: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Sadece Birinci Kattan Kontrollü)

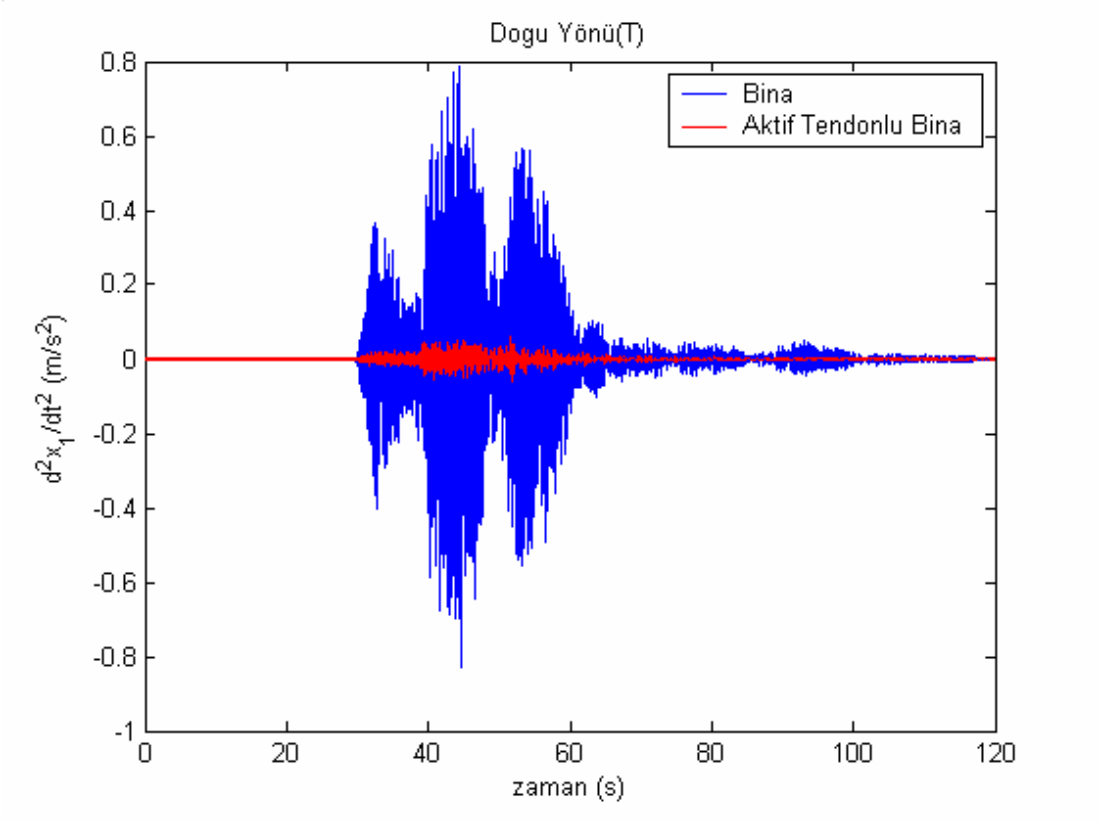


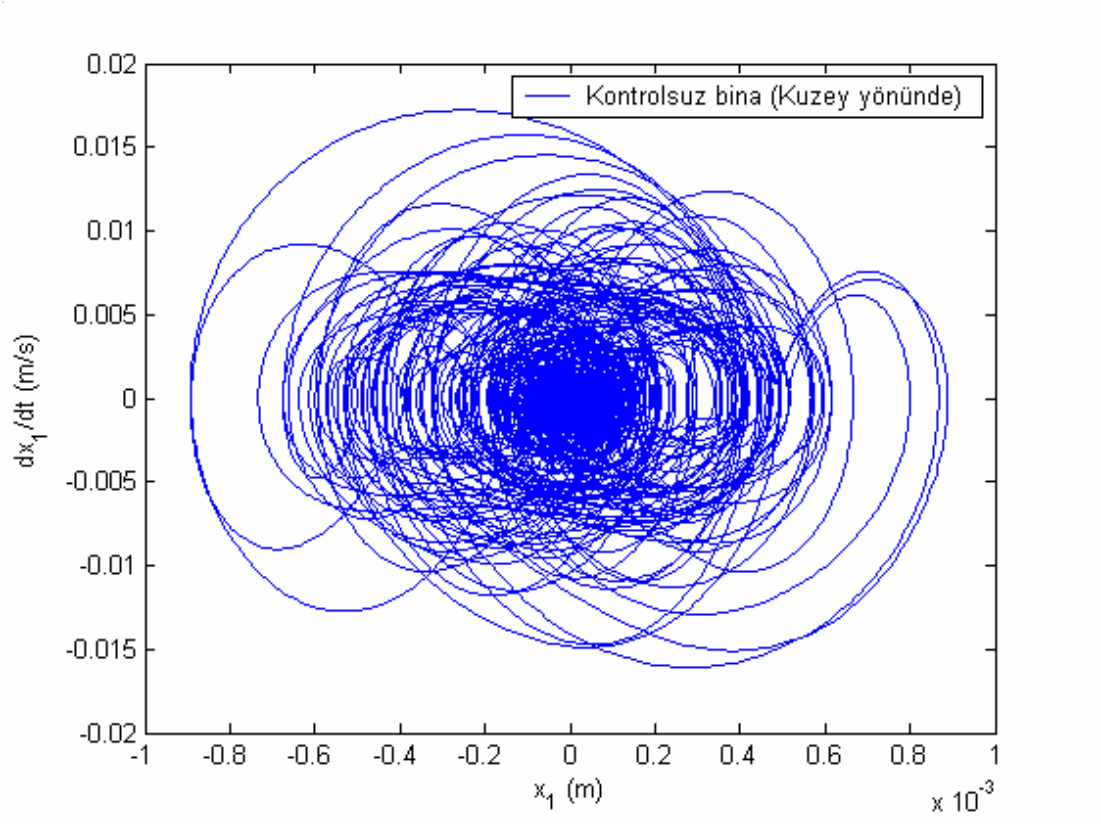


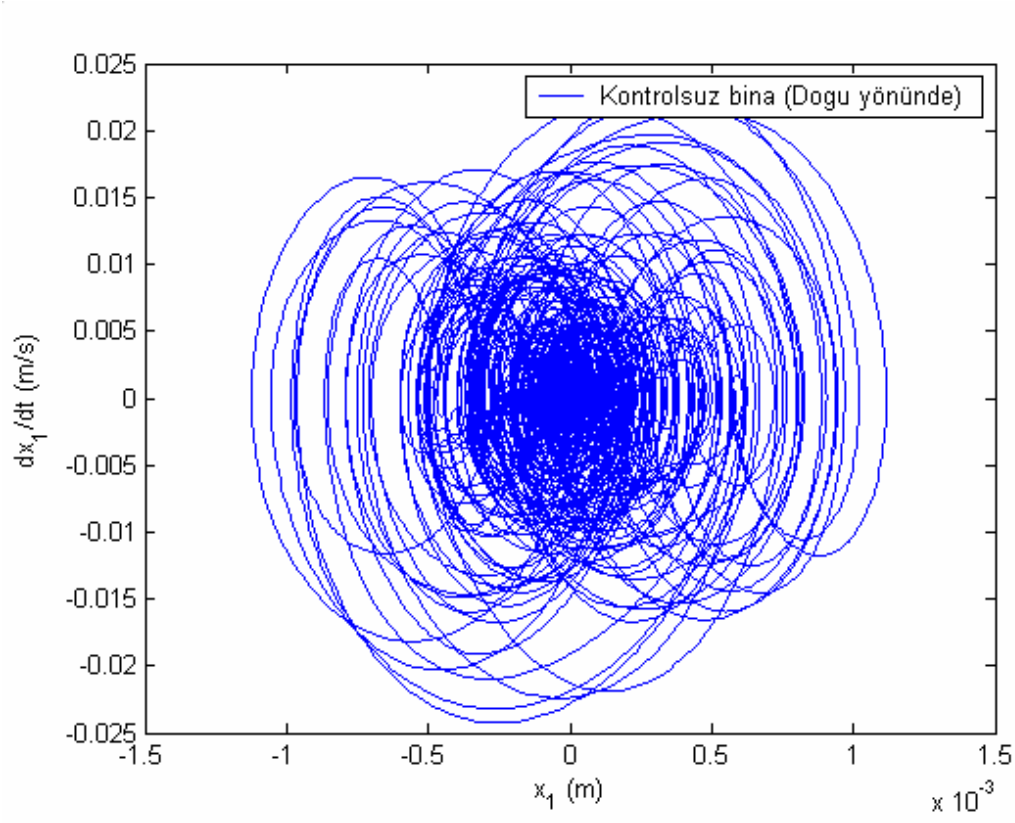

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
0
20
40
60
80
100
120

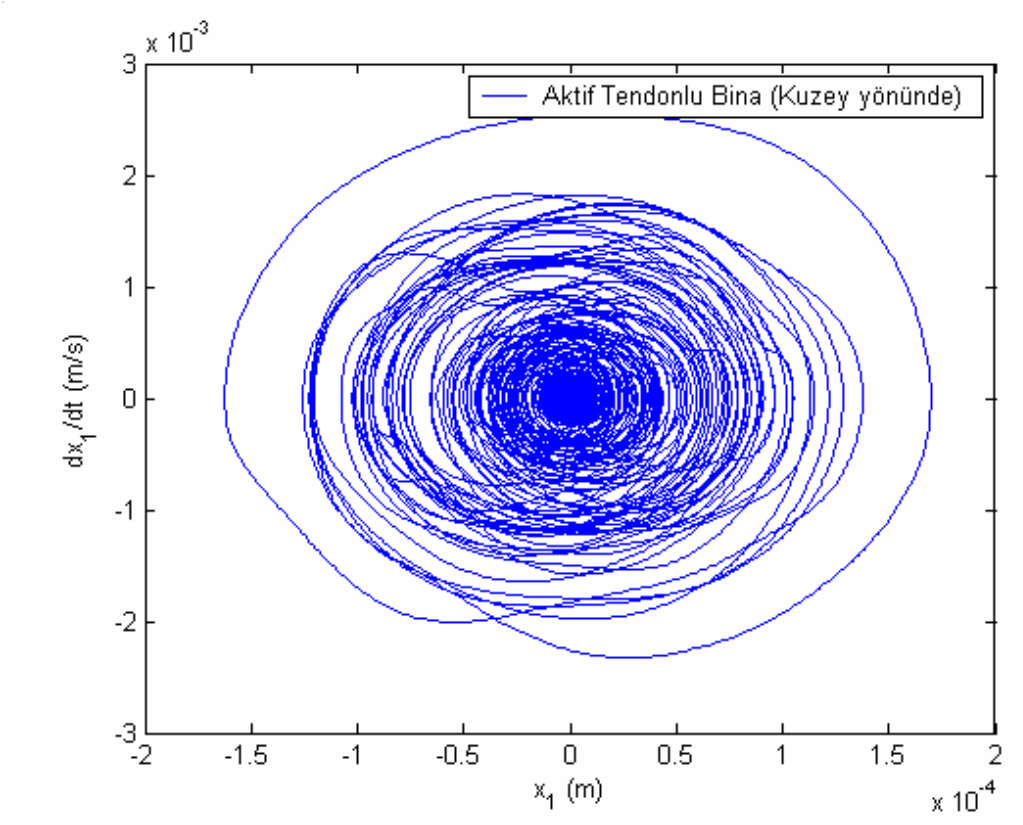

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
20
40
60
80
100
120

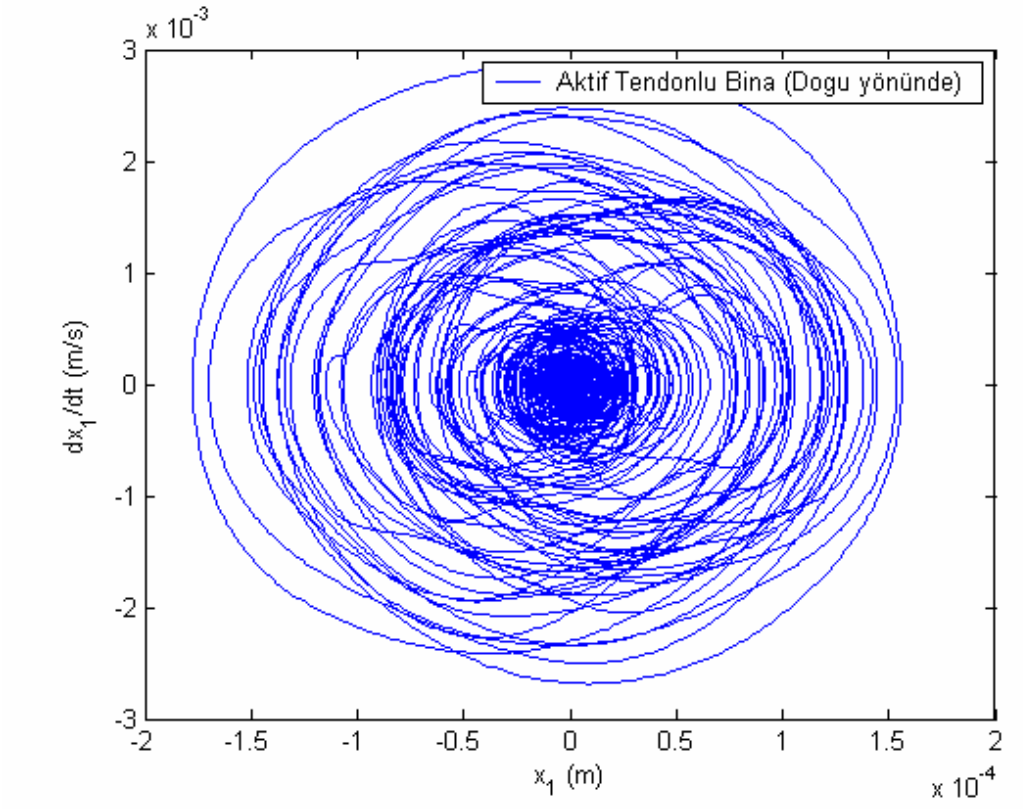

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

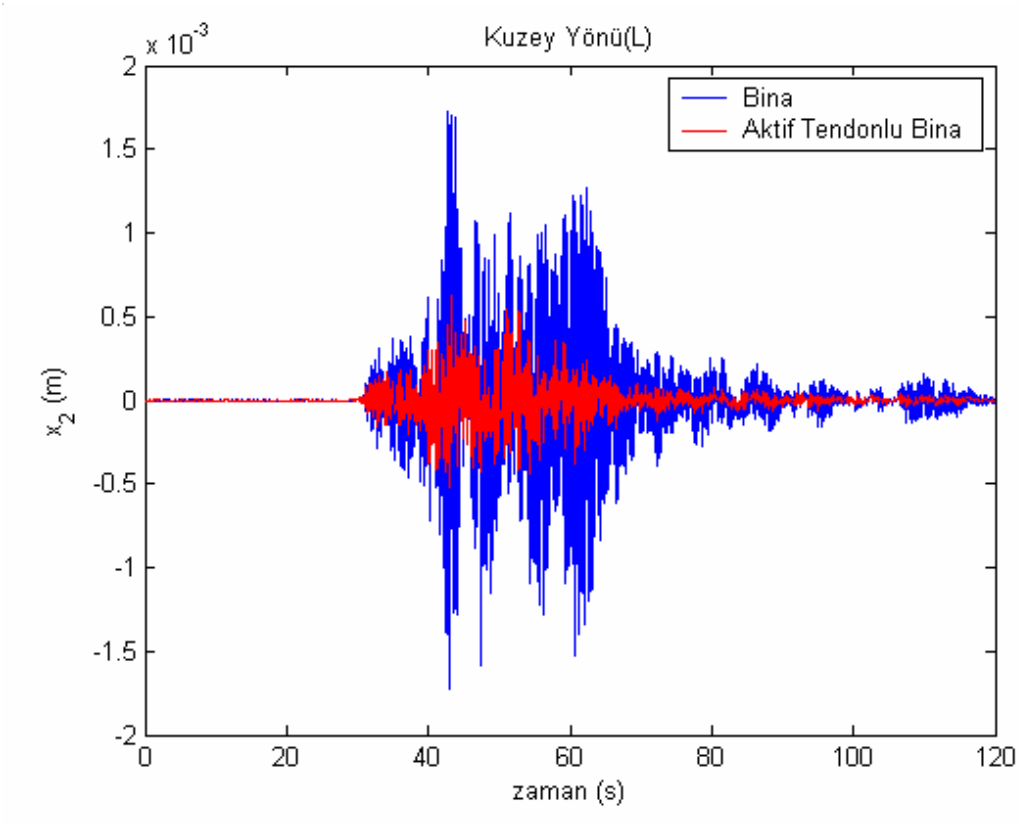

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

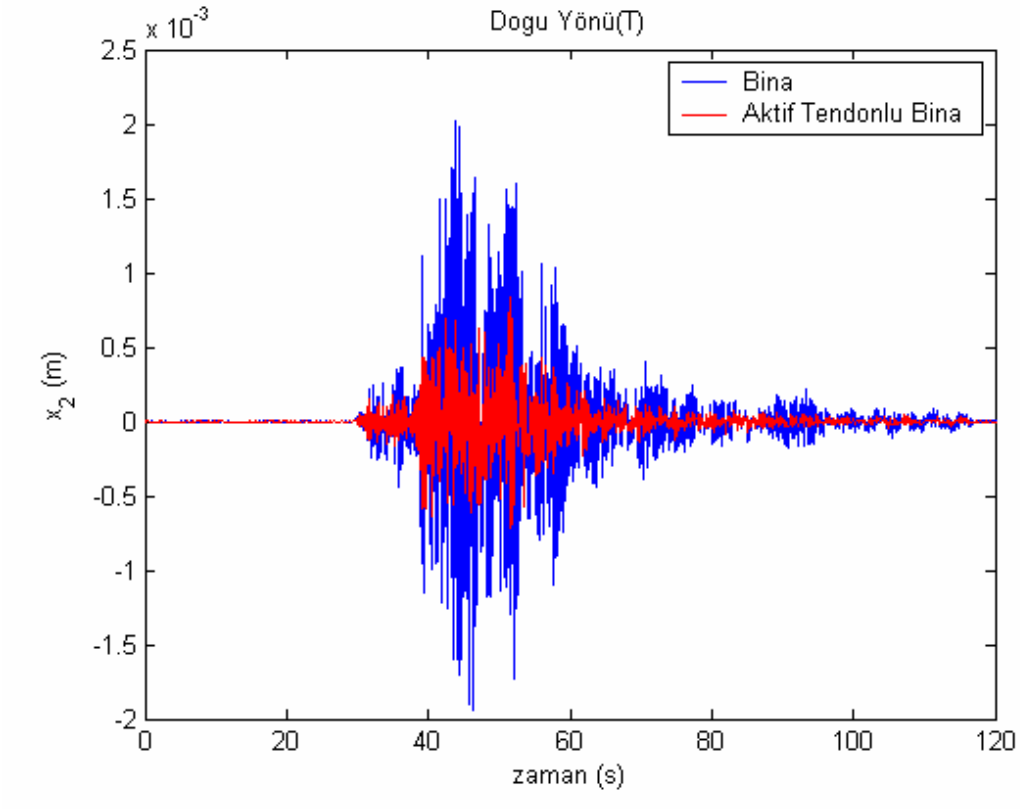

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
dx1/dt (m/s)
-1
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
x1 (m)
x 10-3

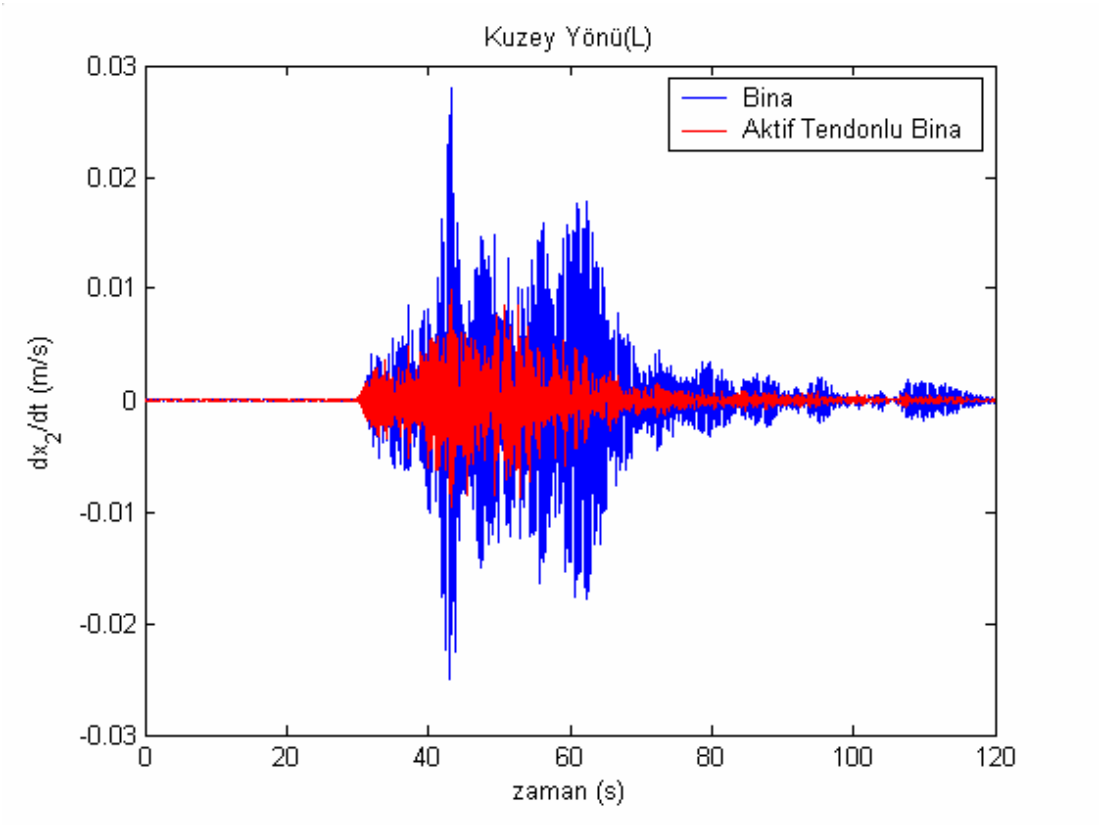

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
dx1/dt (m/s)
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
x1 (m)
x 10-3

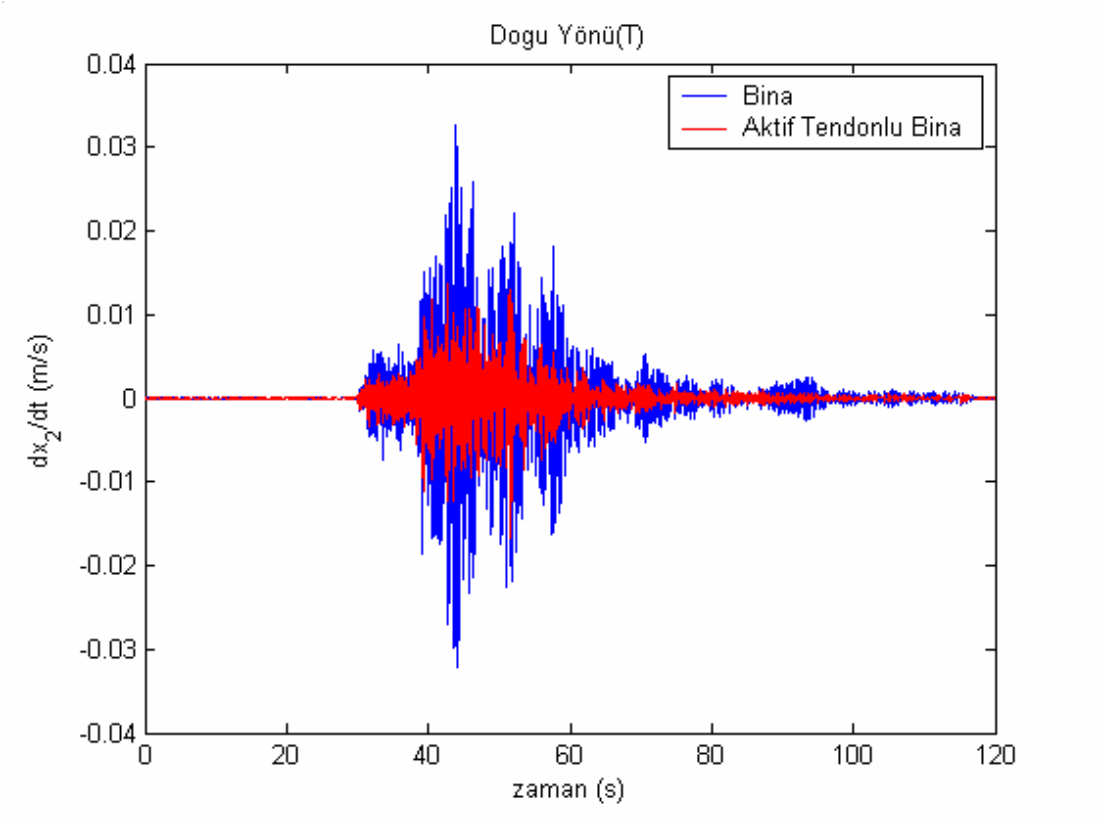

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-4

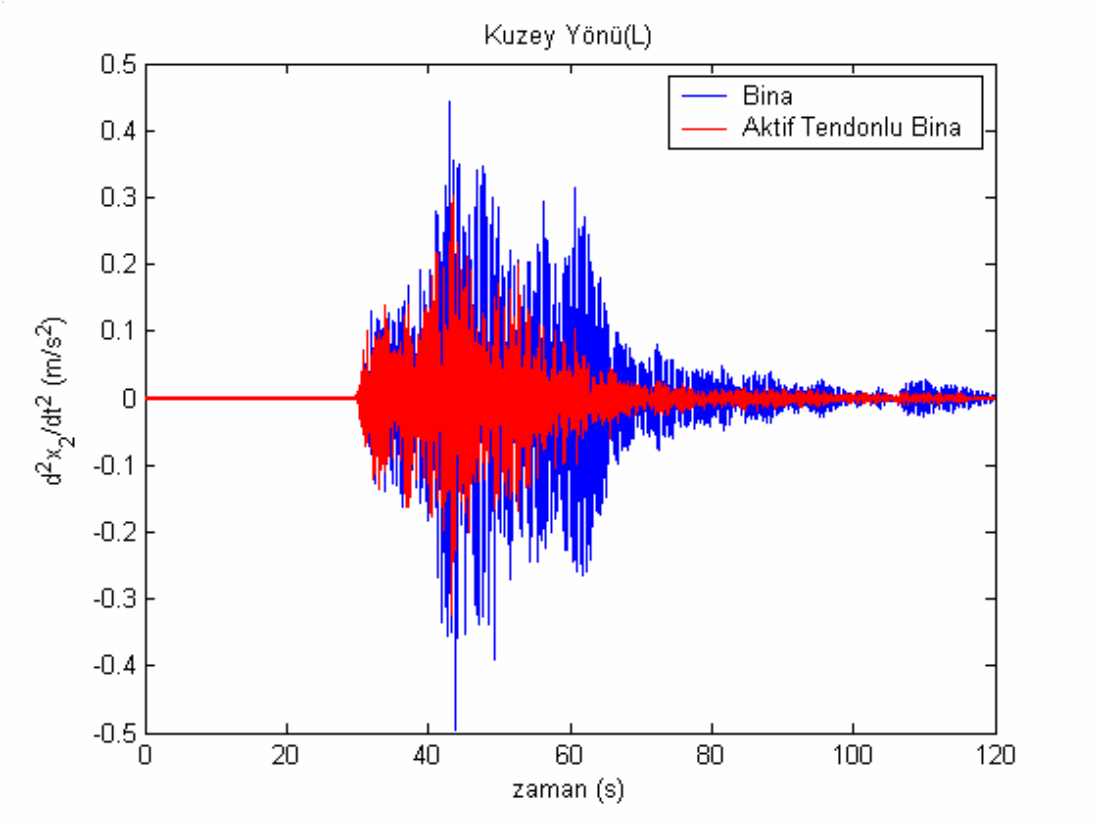

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-4

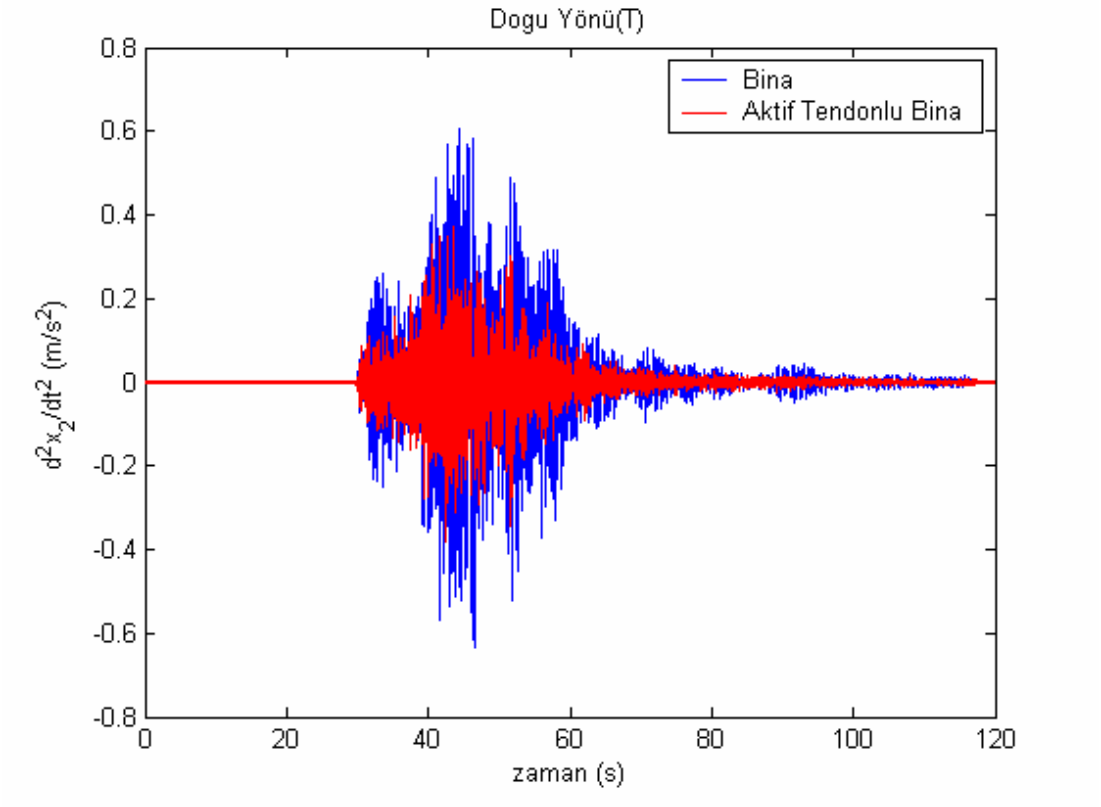

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

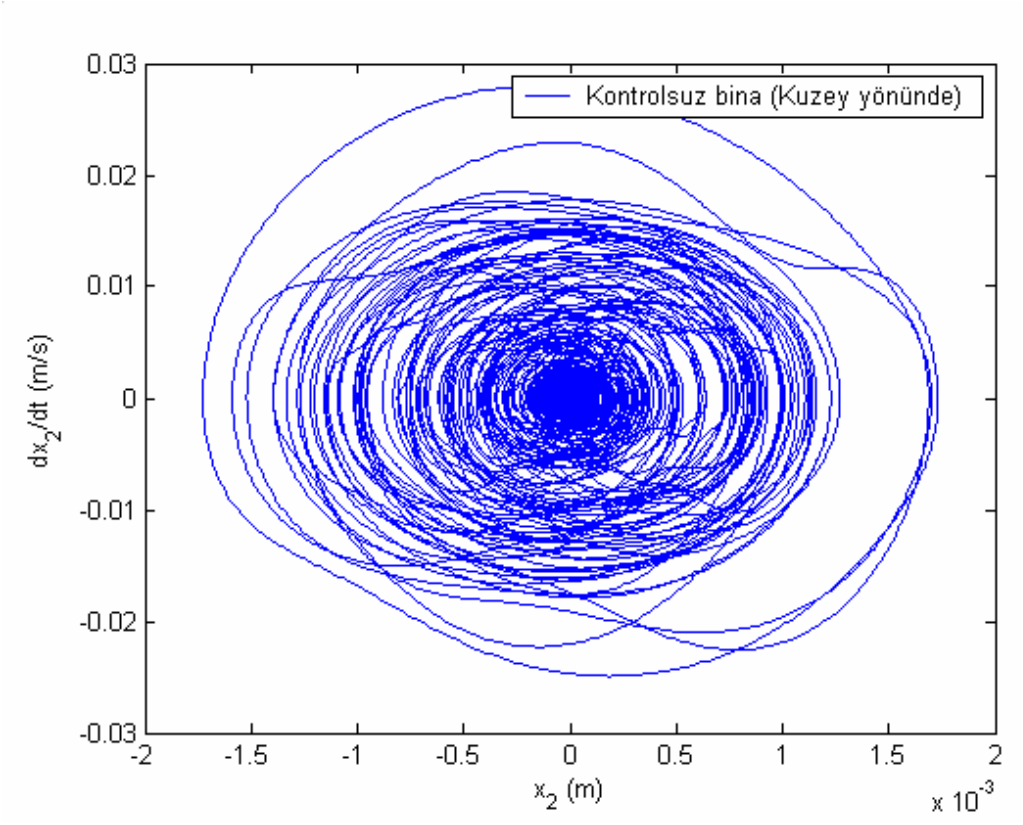

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

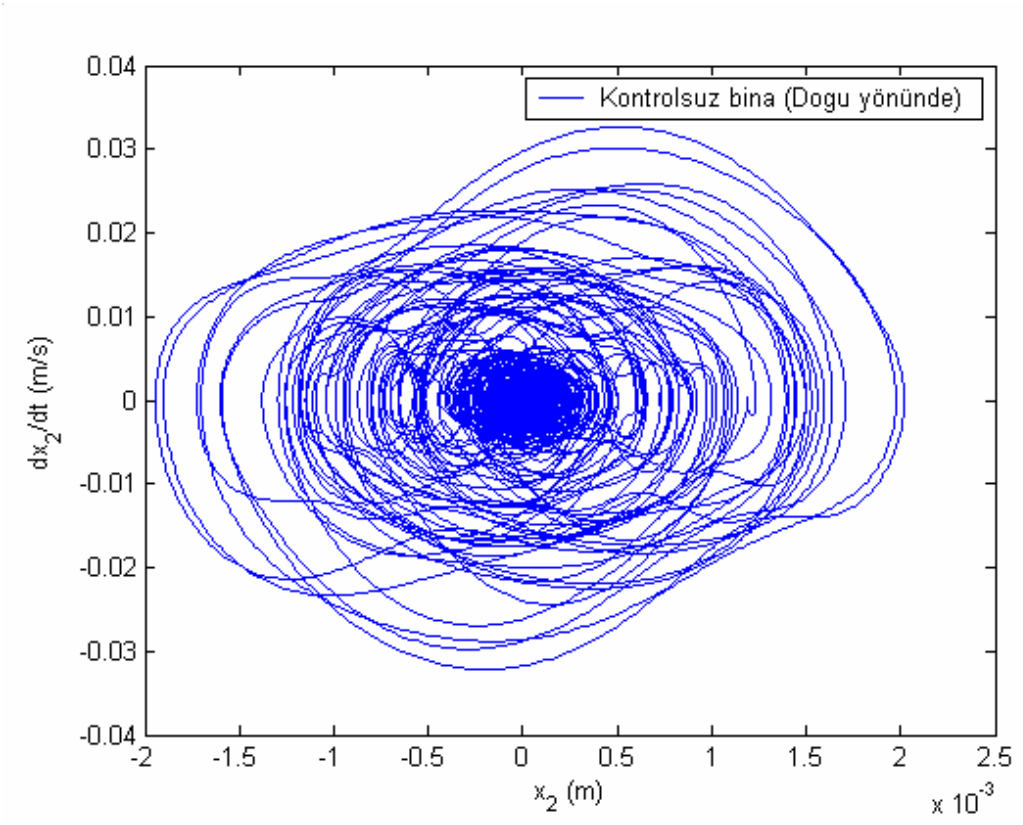

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
dx2/dt (m/s)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

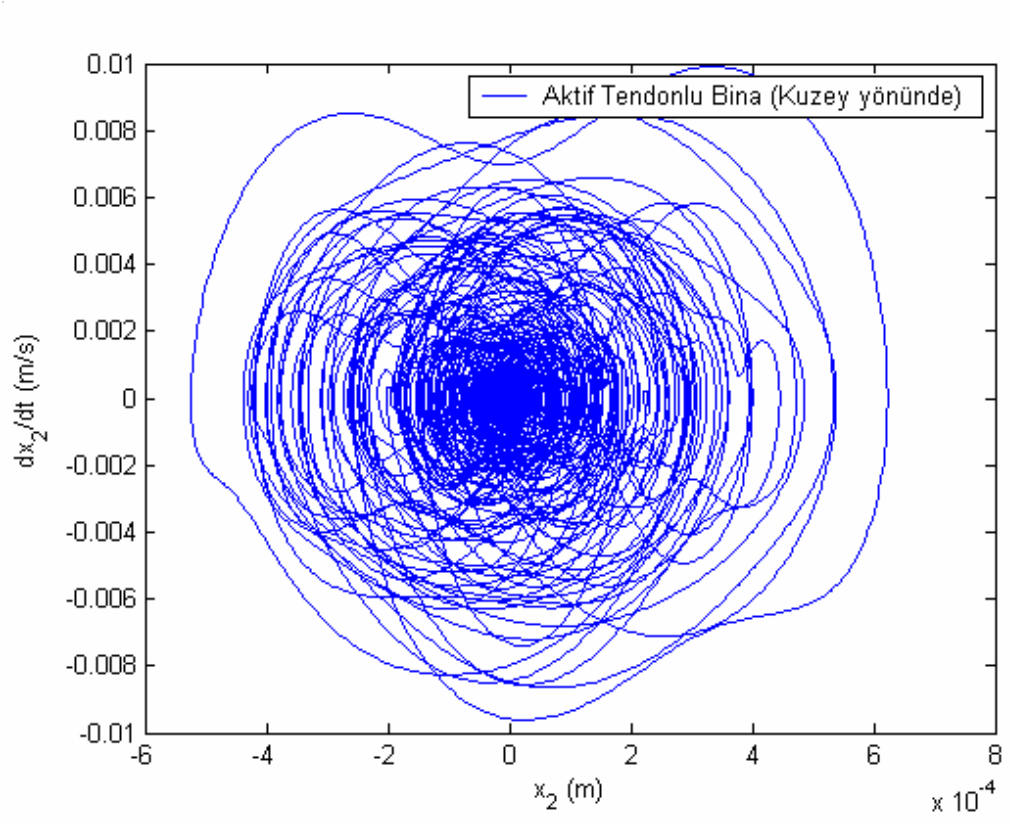

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
dx2/dt (m/s)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

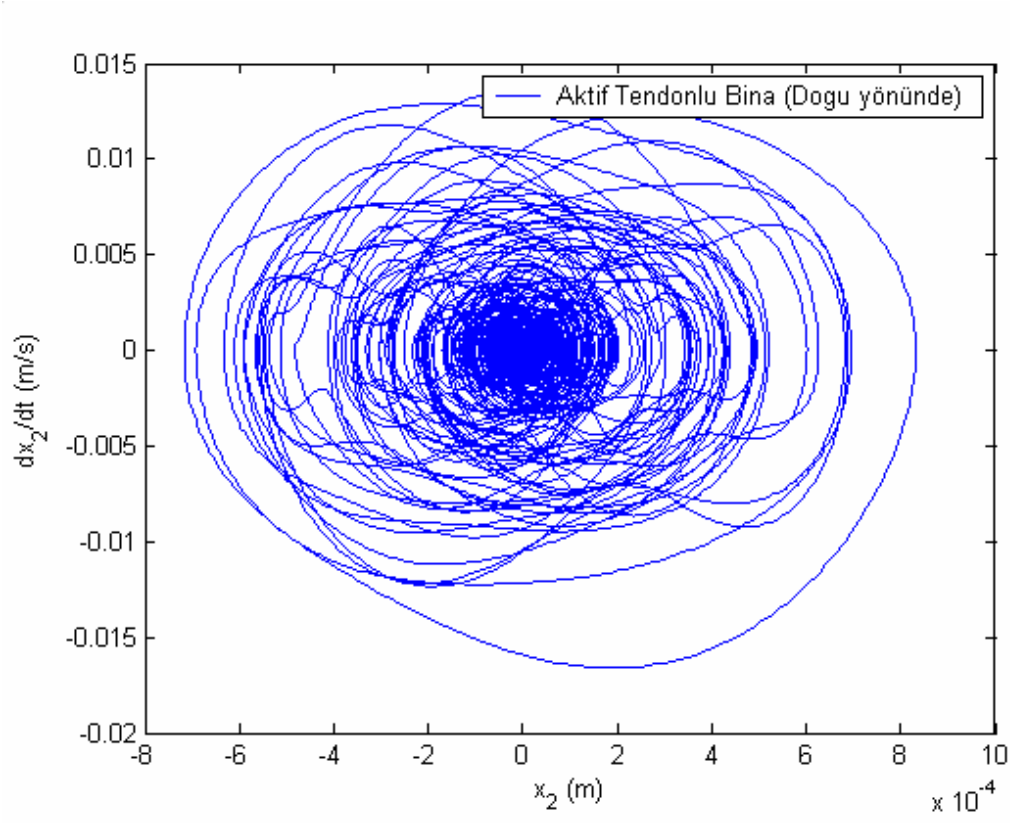

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x₂/dt² (m/s²)

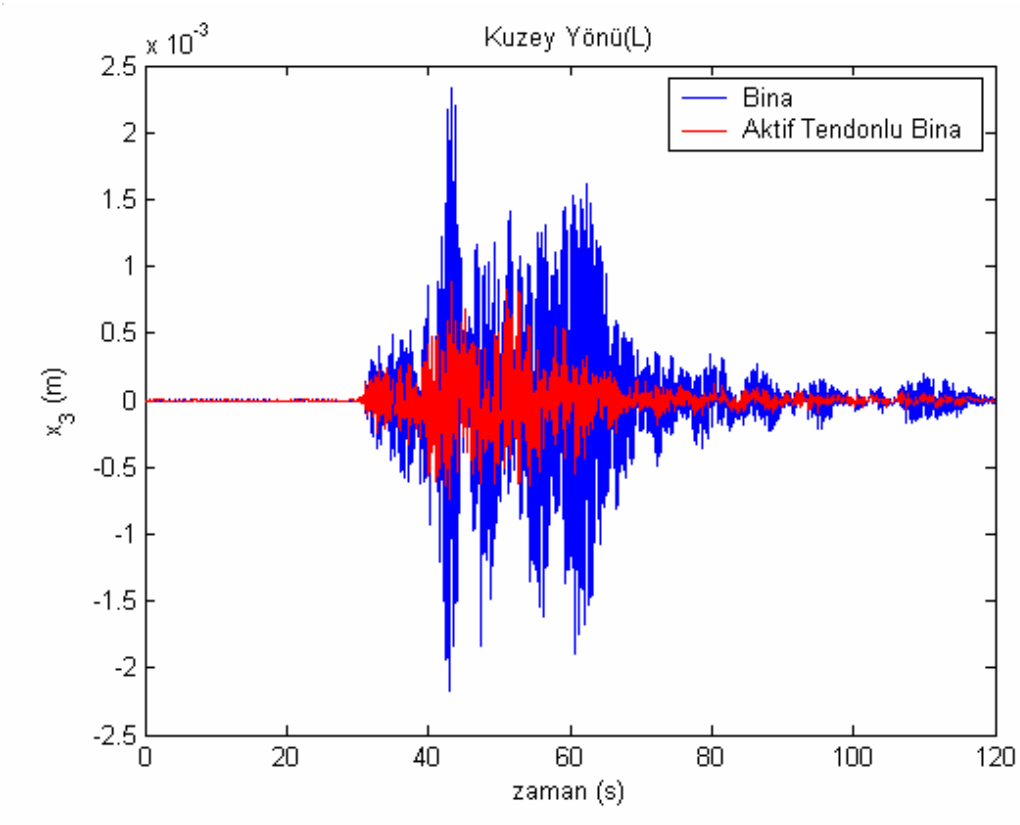

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x₂/dt² (m/s²)

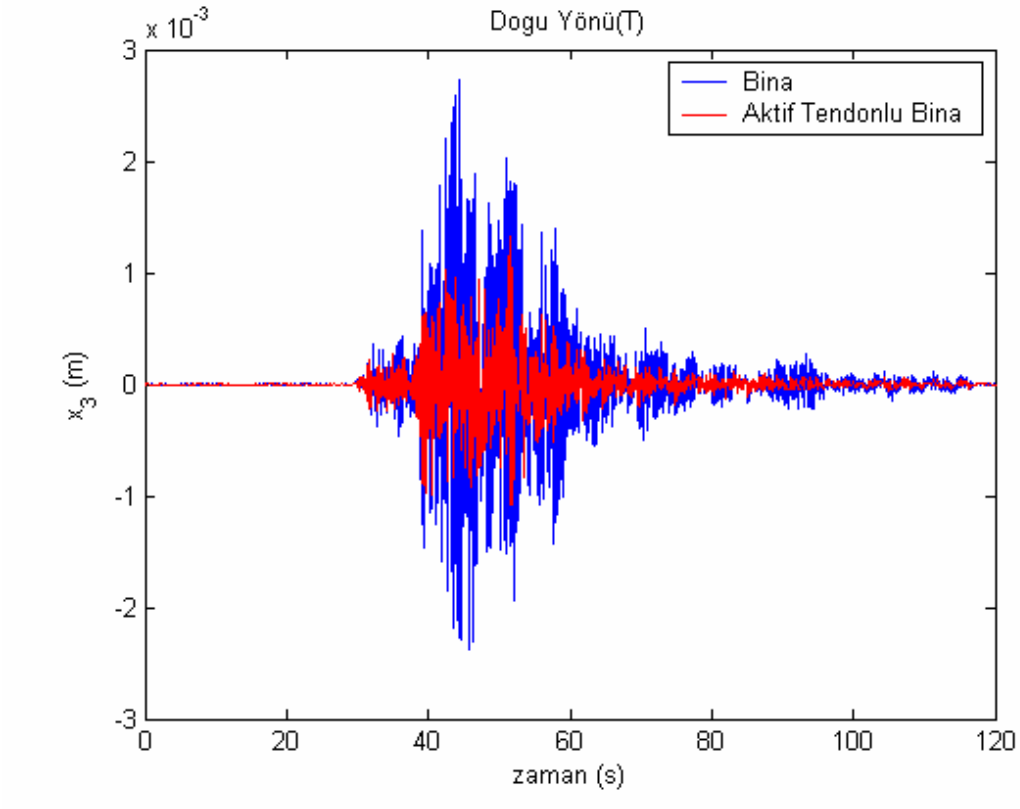

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
dx2/dt (m/s)
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
x2 (m)
x 10-3

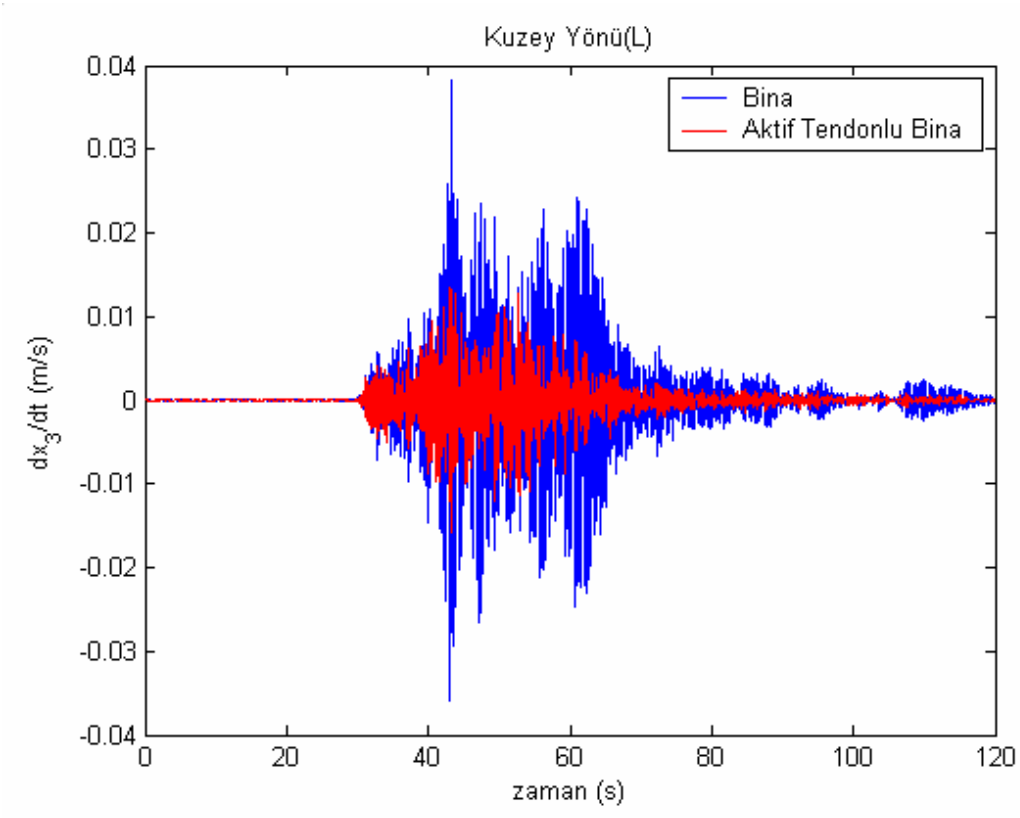

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
dx2/dt (m/s)
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
x2 (m)
x 10-3

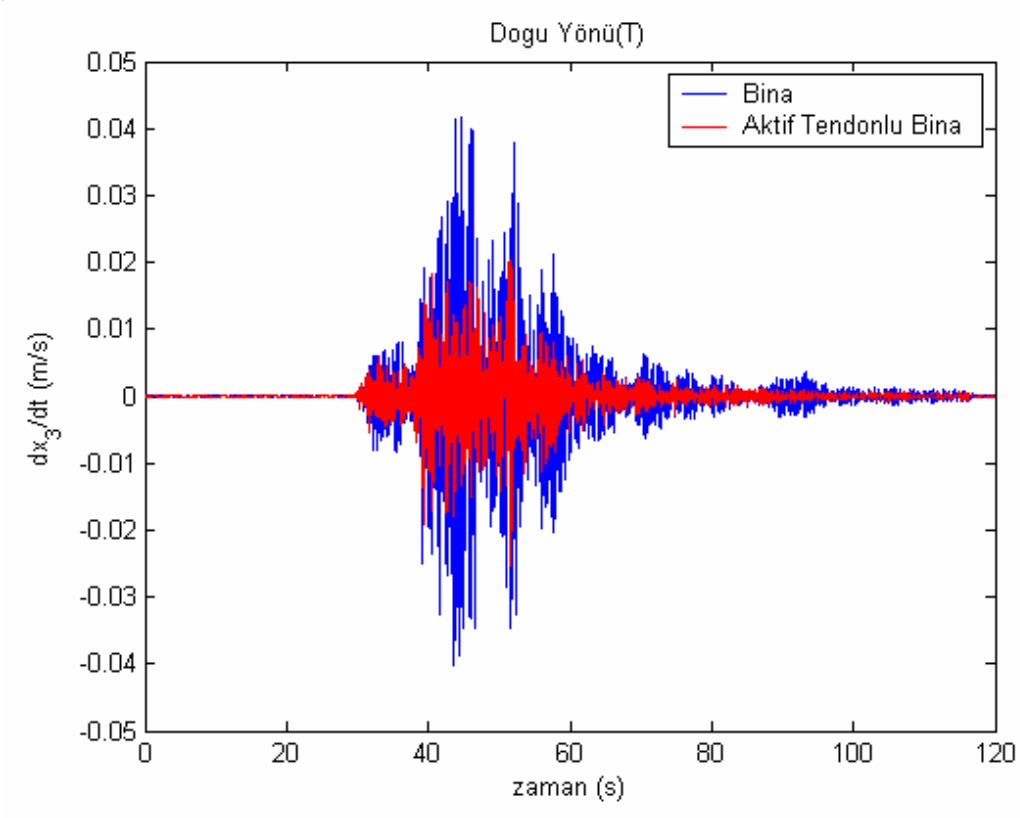

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10-4

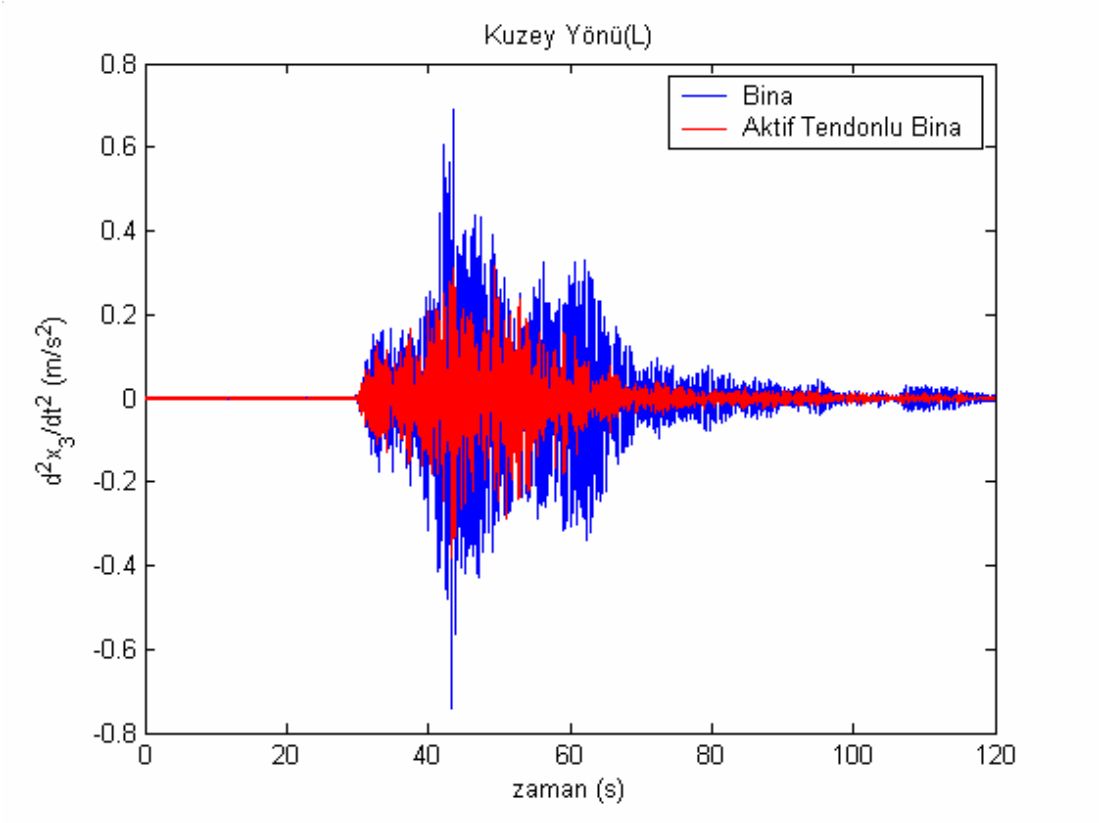

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10-4

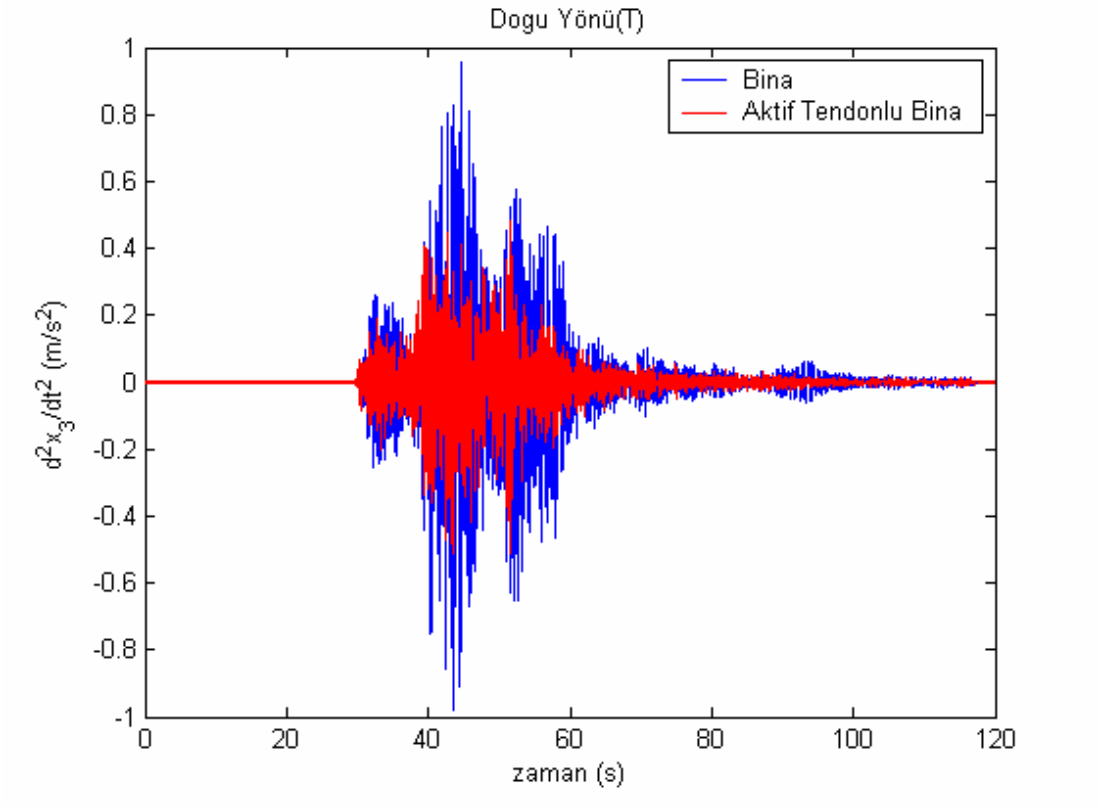

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

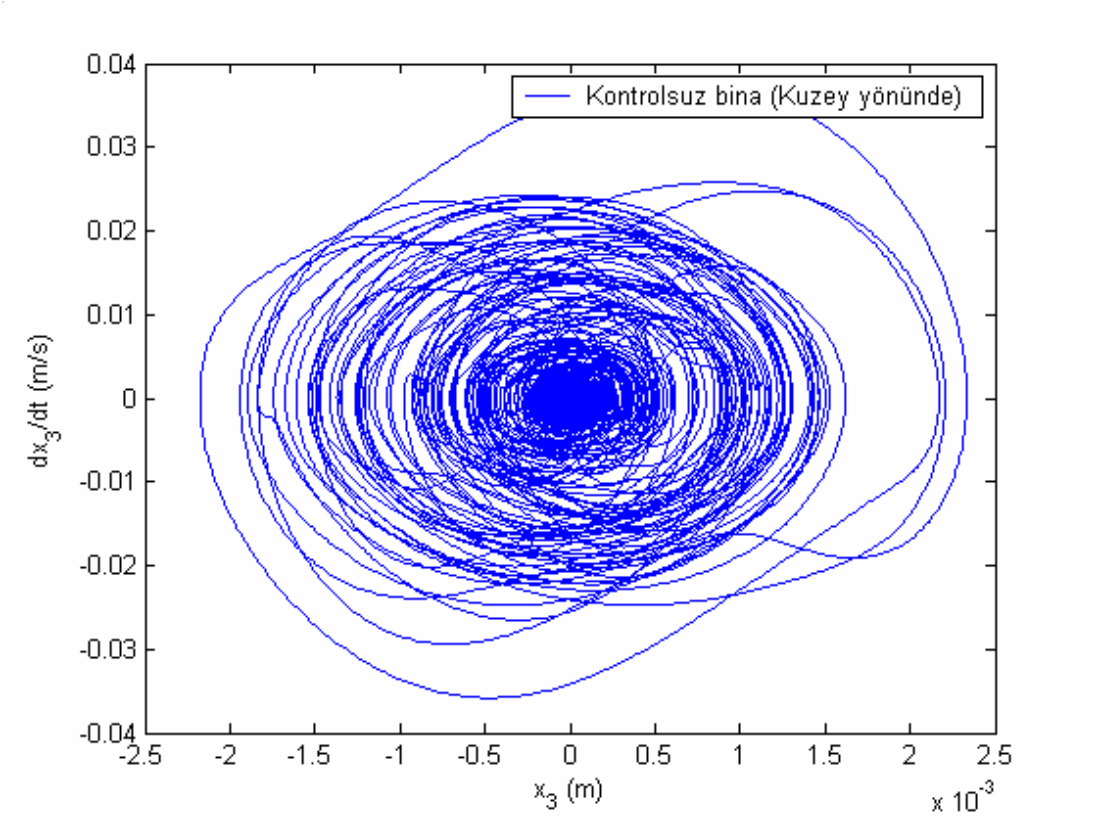

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

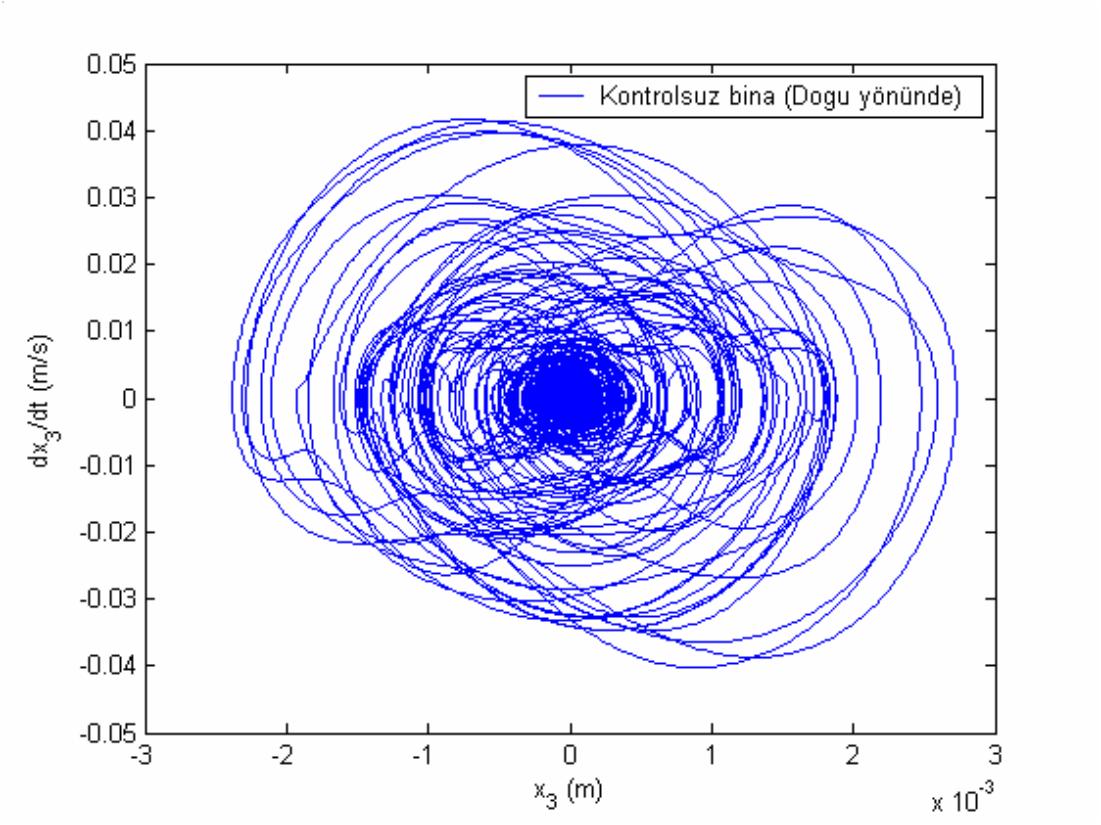

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
0
20
40
60
80
100
120

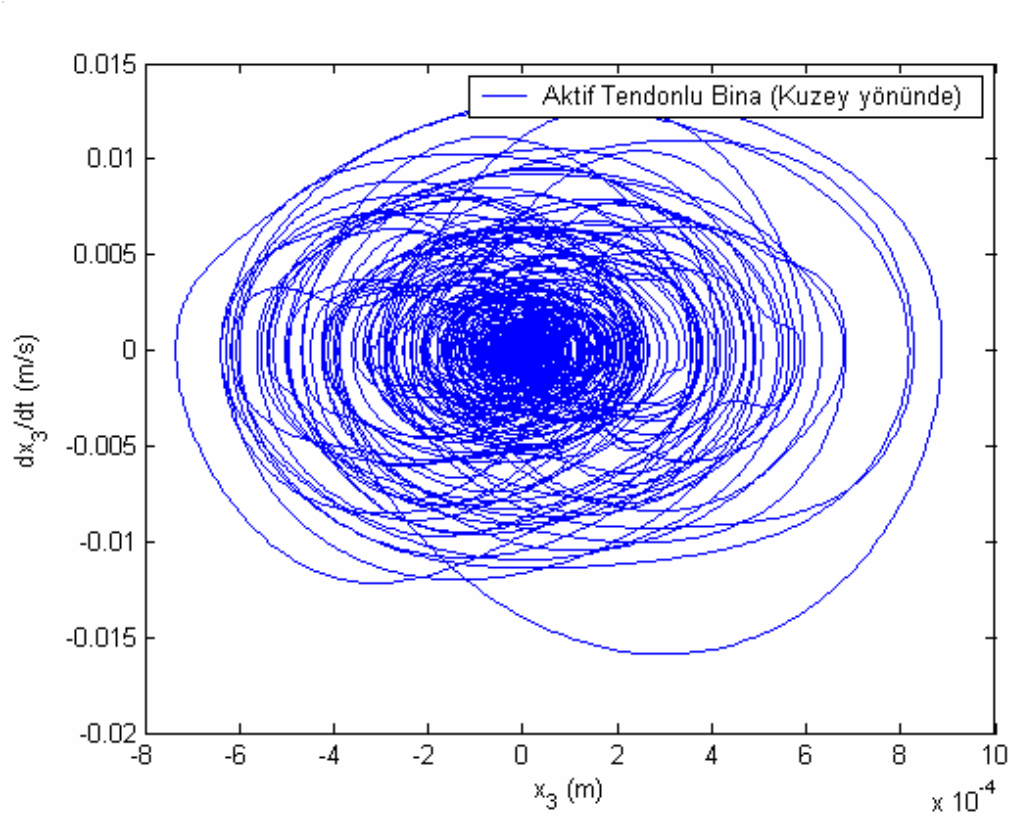

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
0
20
40
60
80
100
120

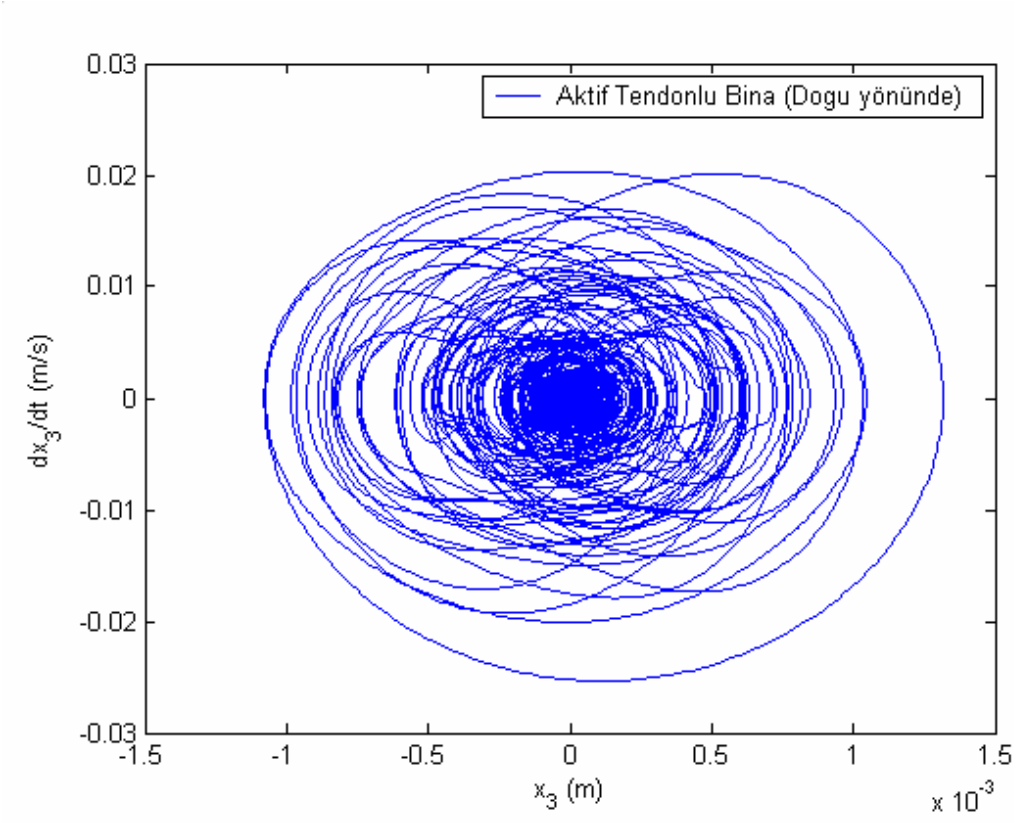

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120

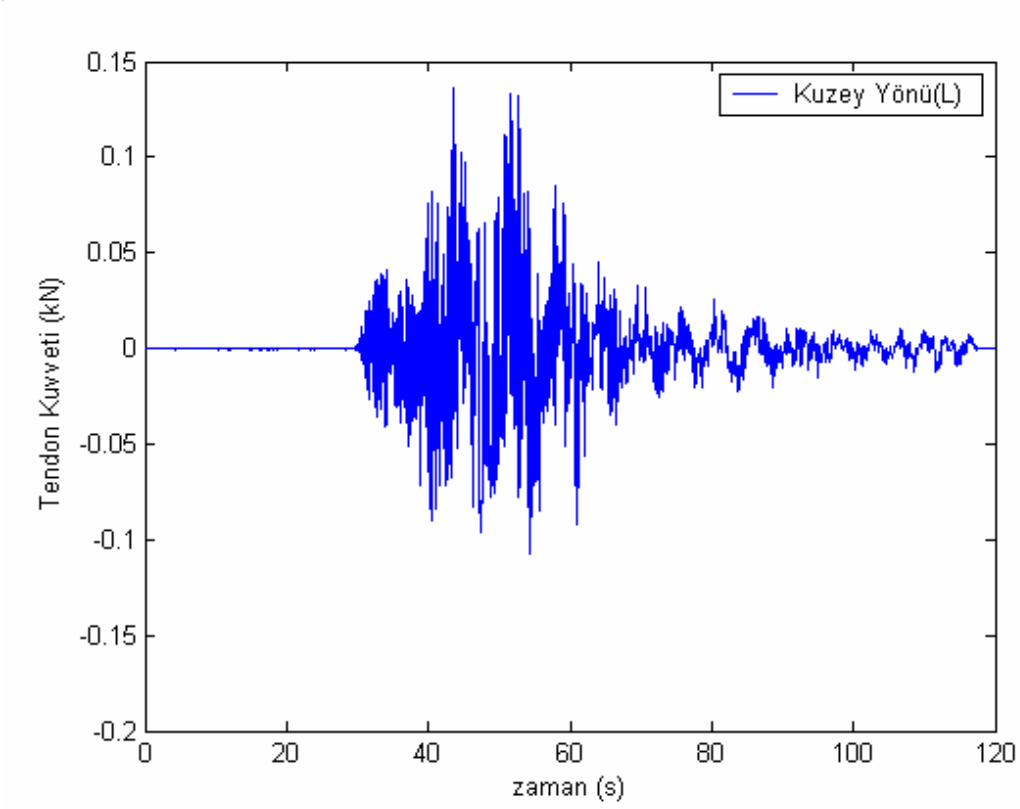

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
20
40
60
80
100
120

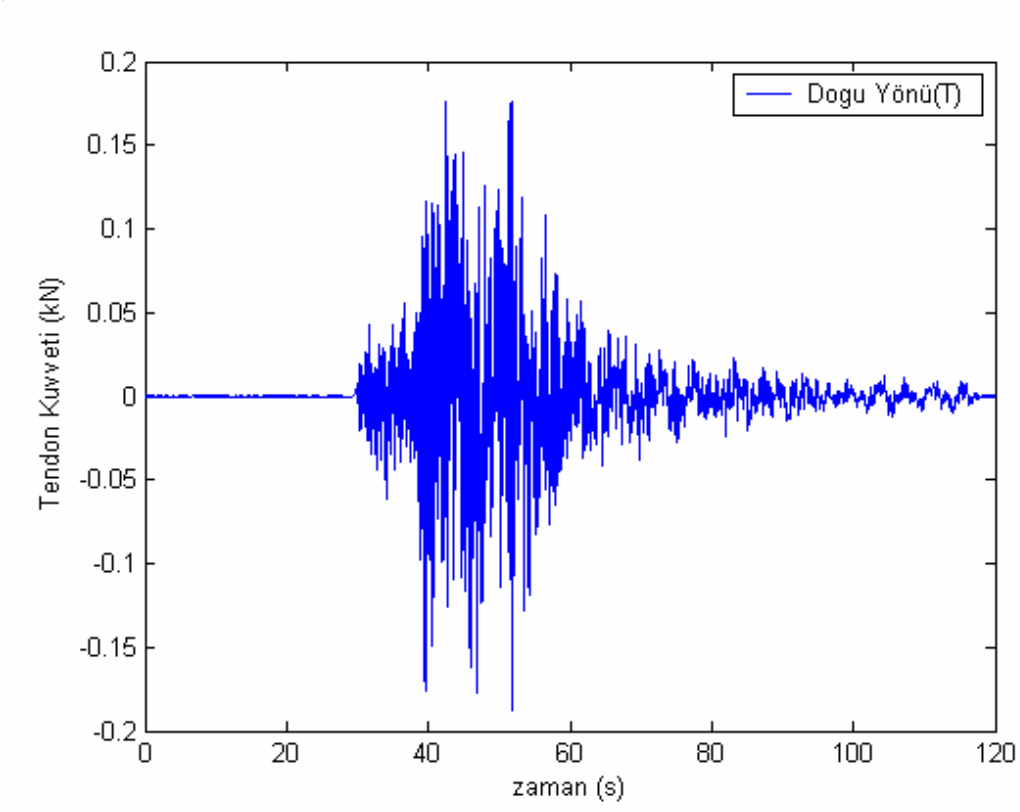

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
dx3/dt (m/s)
-2.5
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
x3 (m)
x 10-3

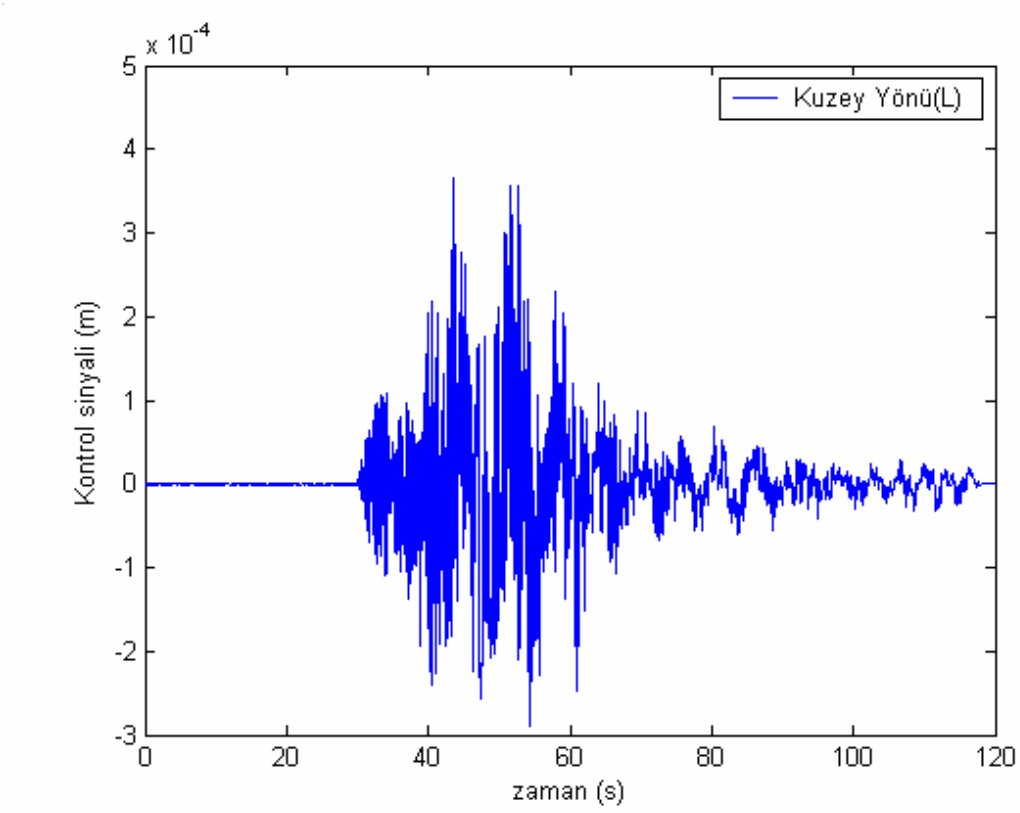

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
dx3/dt (m/s)
-3
-2
-1
0
1
2
3
x3 (m)
x 10-3

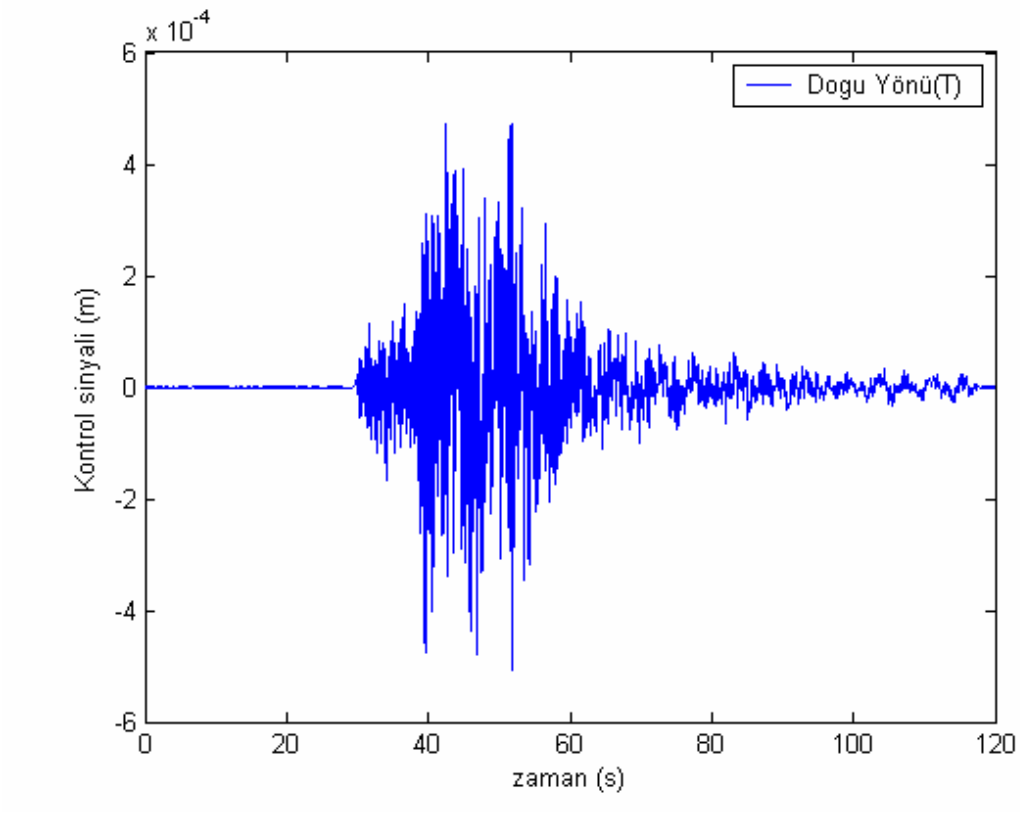

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10-4


Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10-3

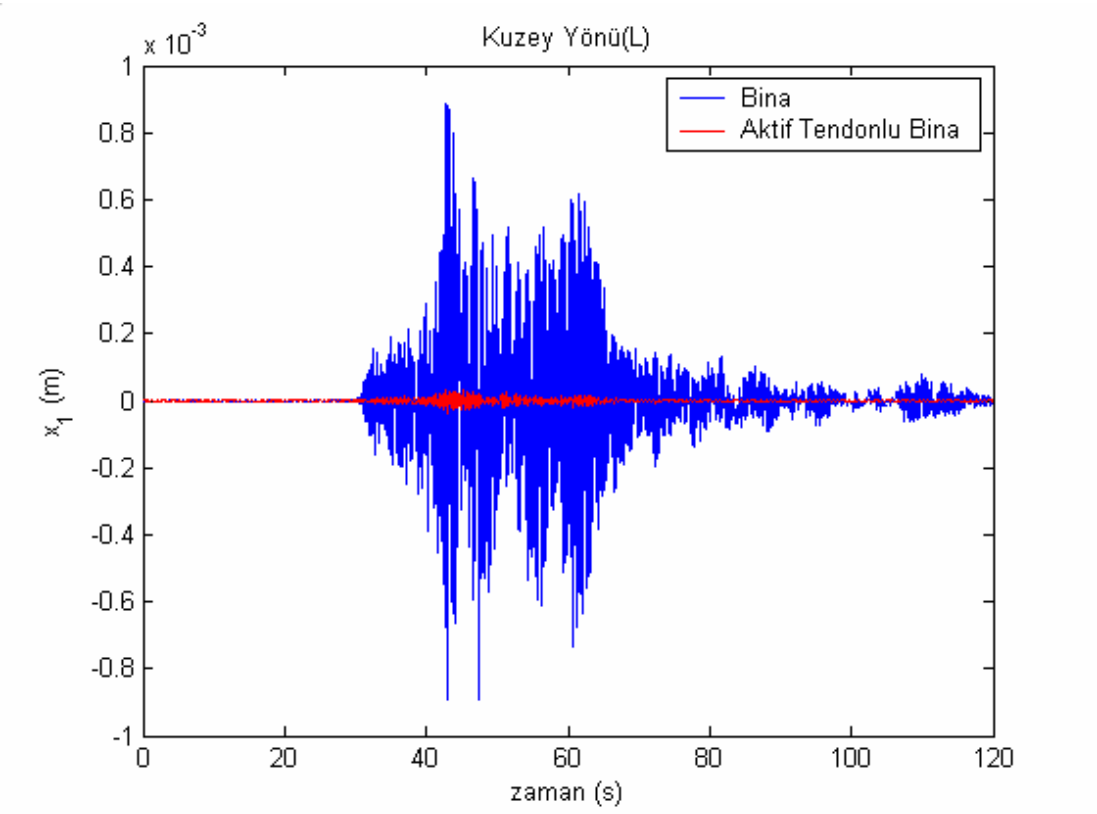

Kuzey Yönü(L)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
20
40
60
80
100
120

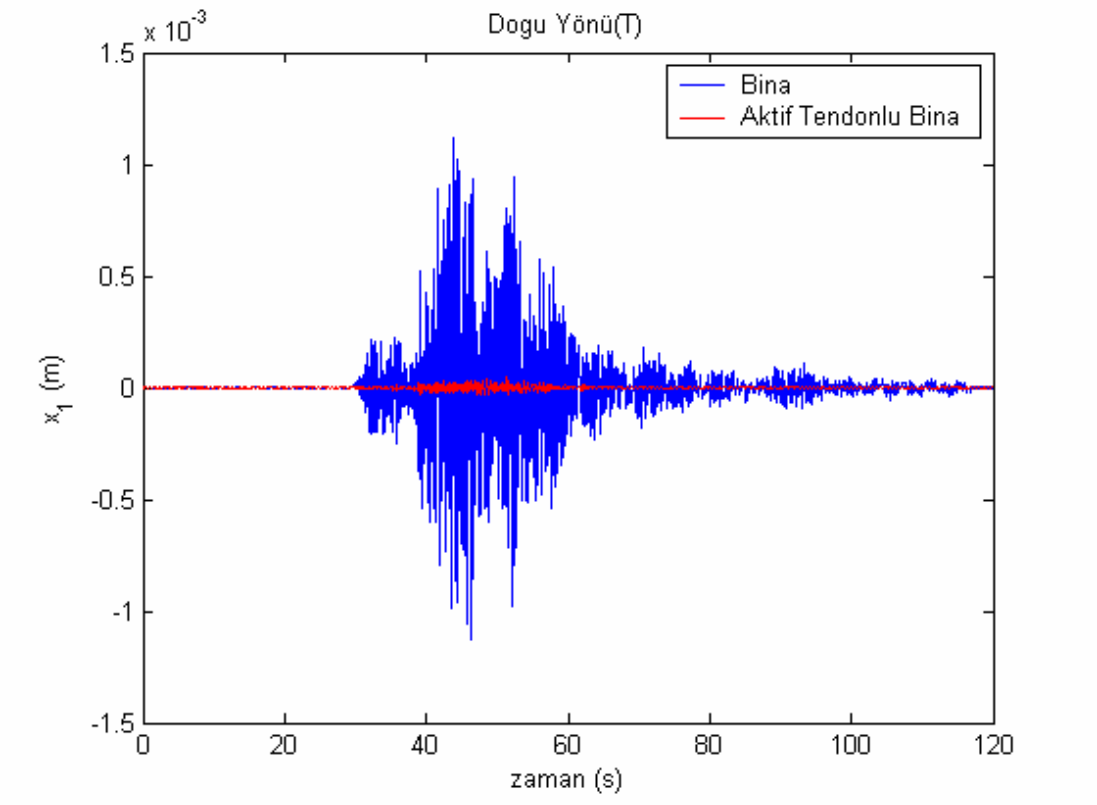

Dogu Yönü(T)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
20
40
60
80
100
120

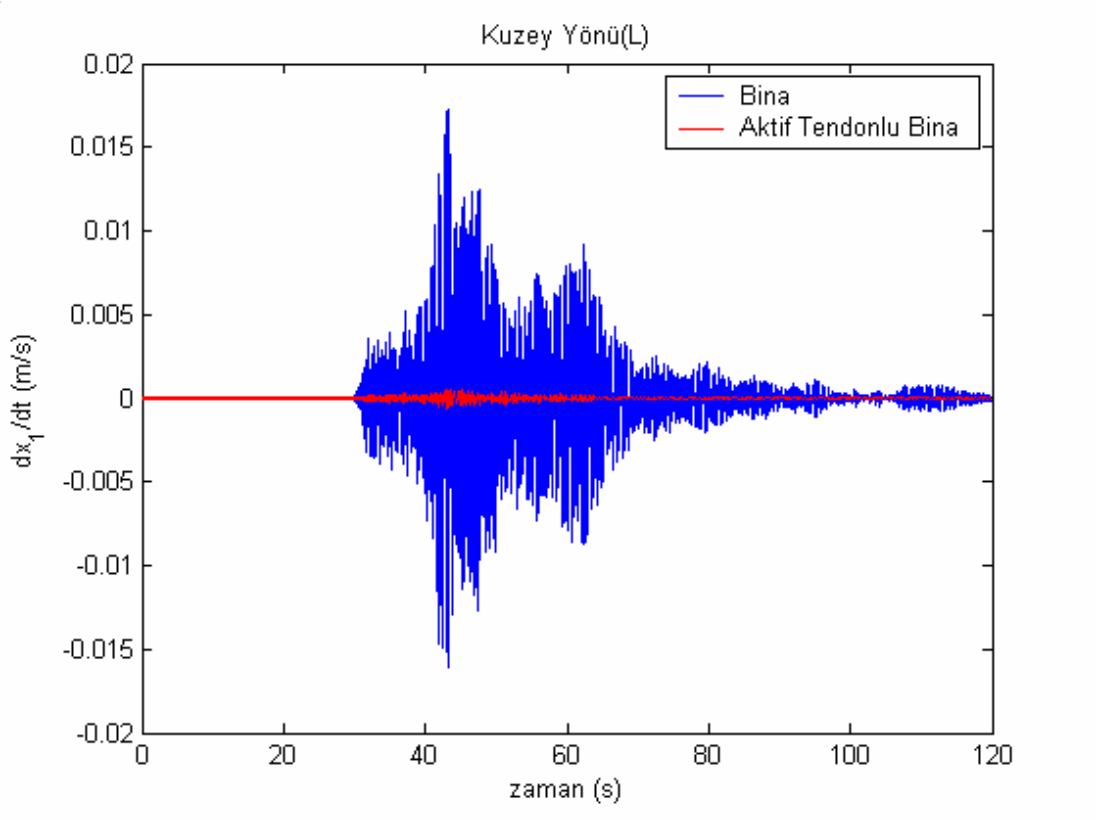

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

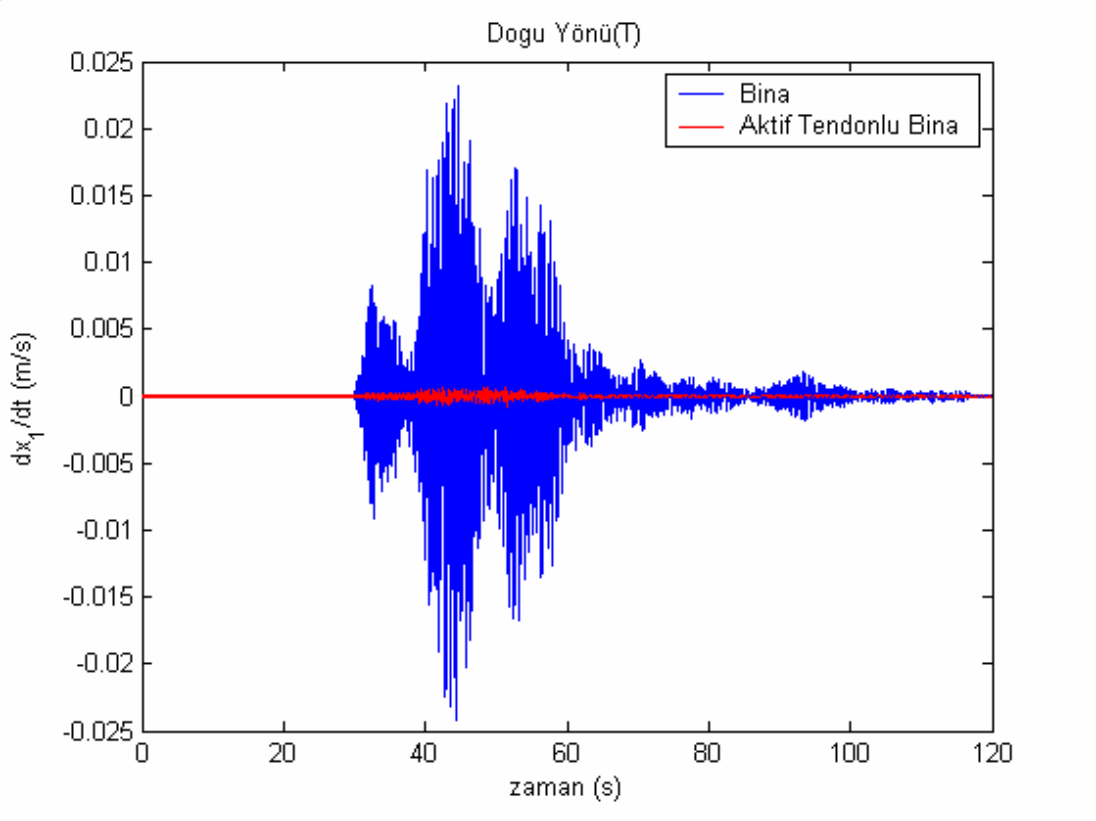

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

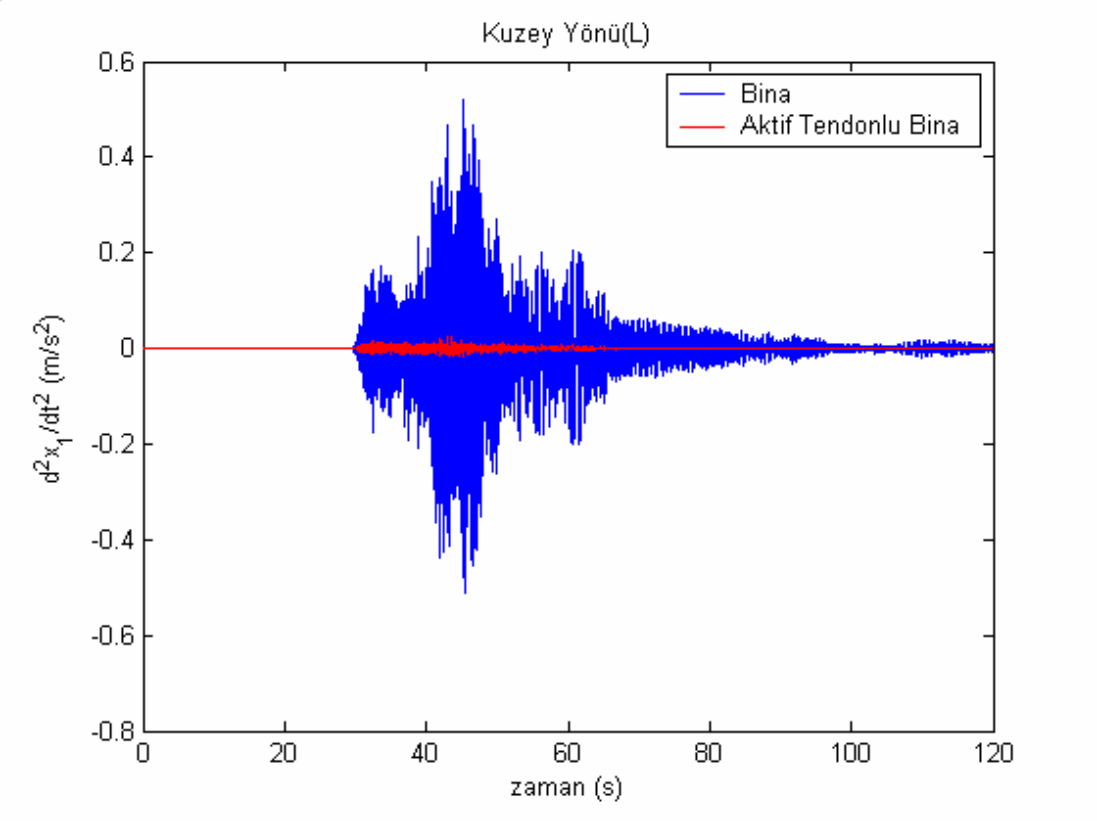
EK 4c: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Tüm Katlardan Kontrollü)

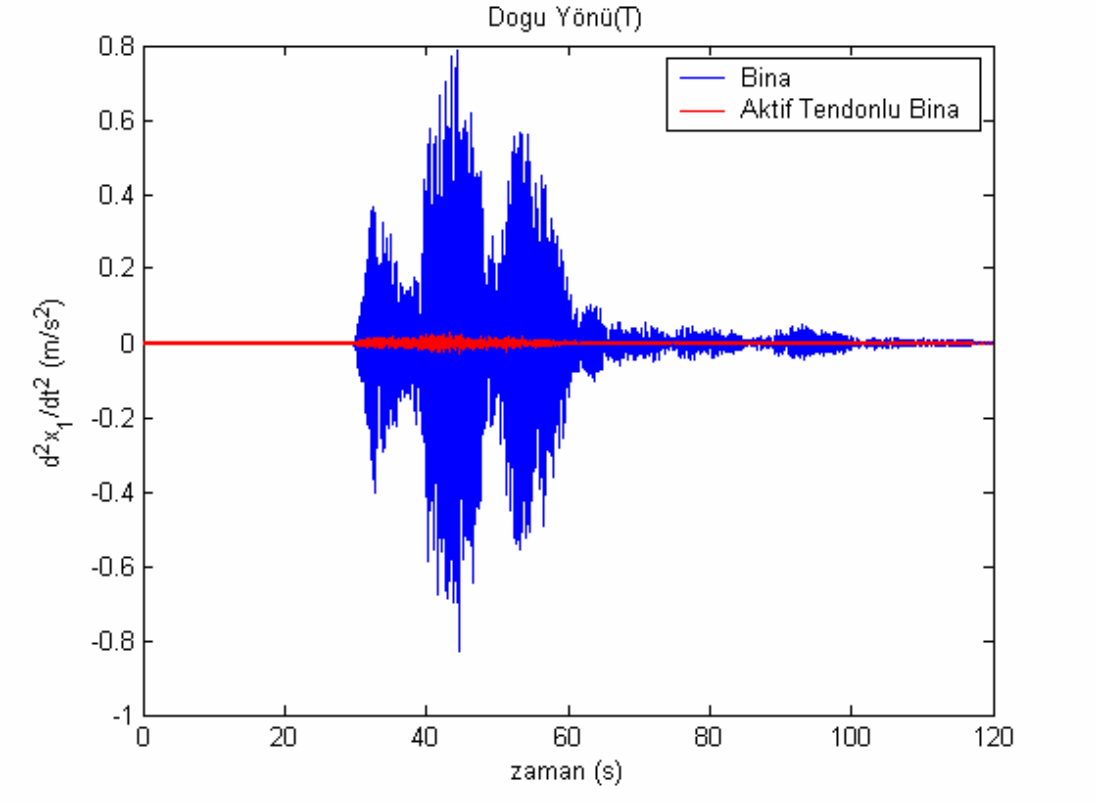


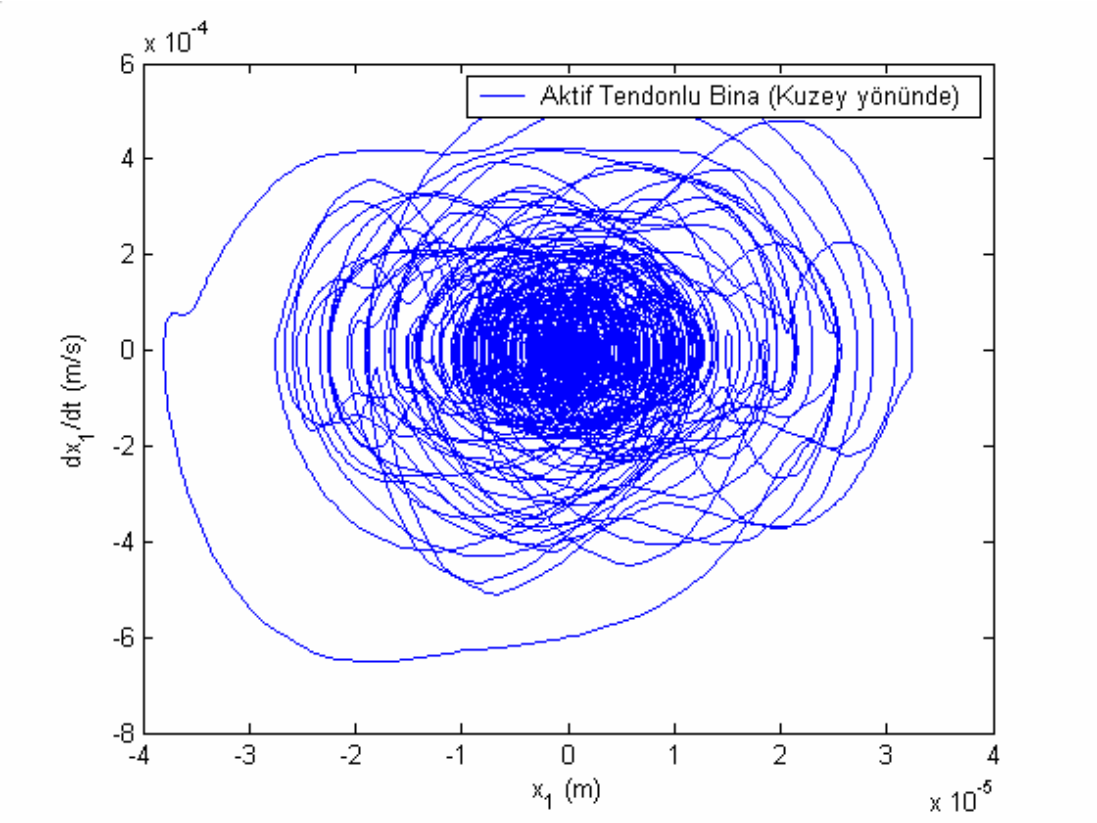


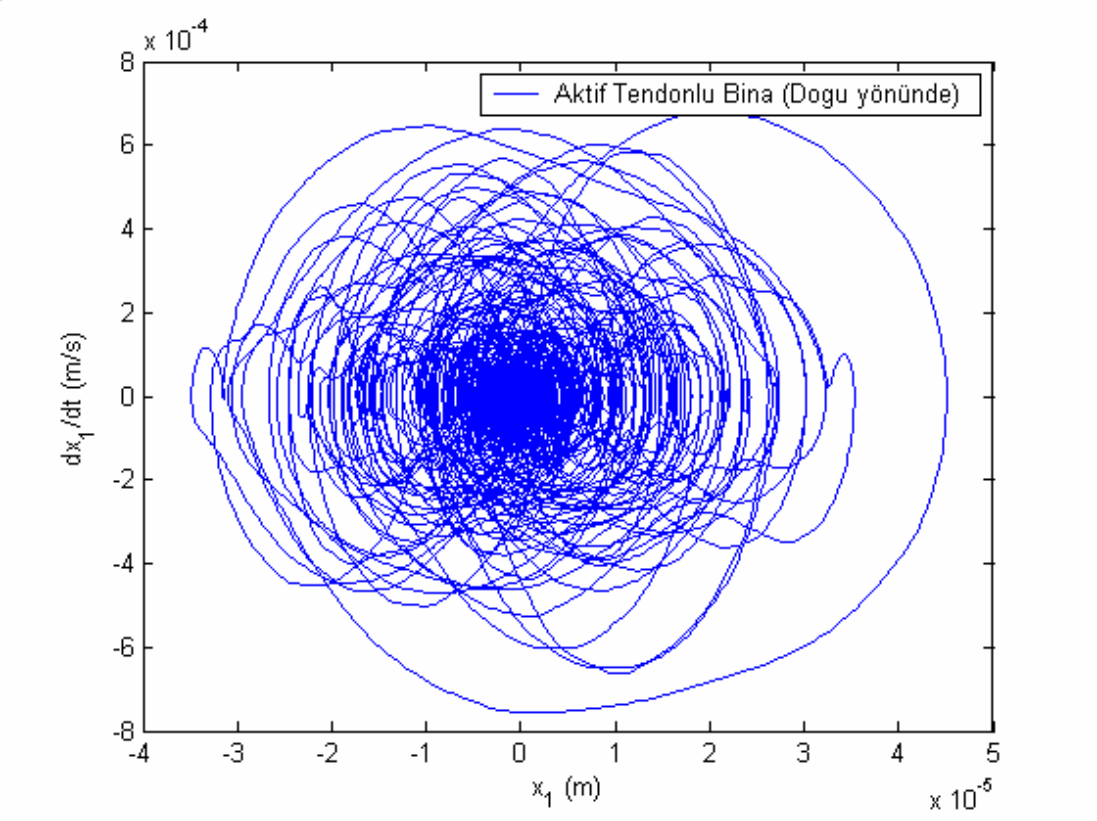

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
0
20
40
60
80
100
120

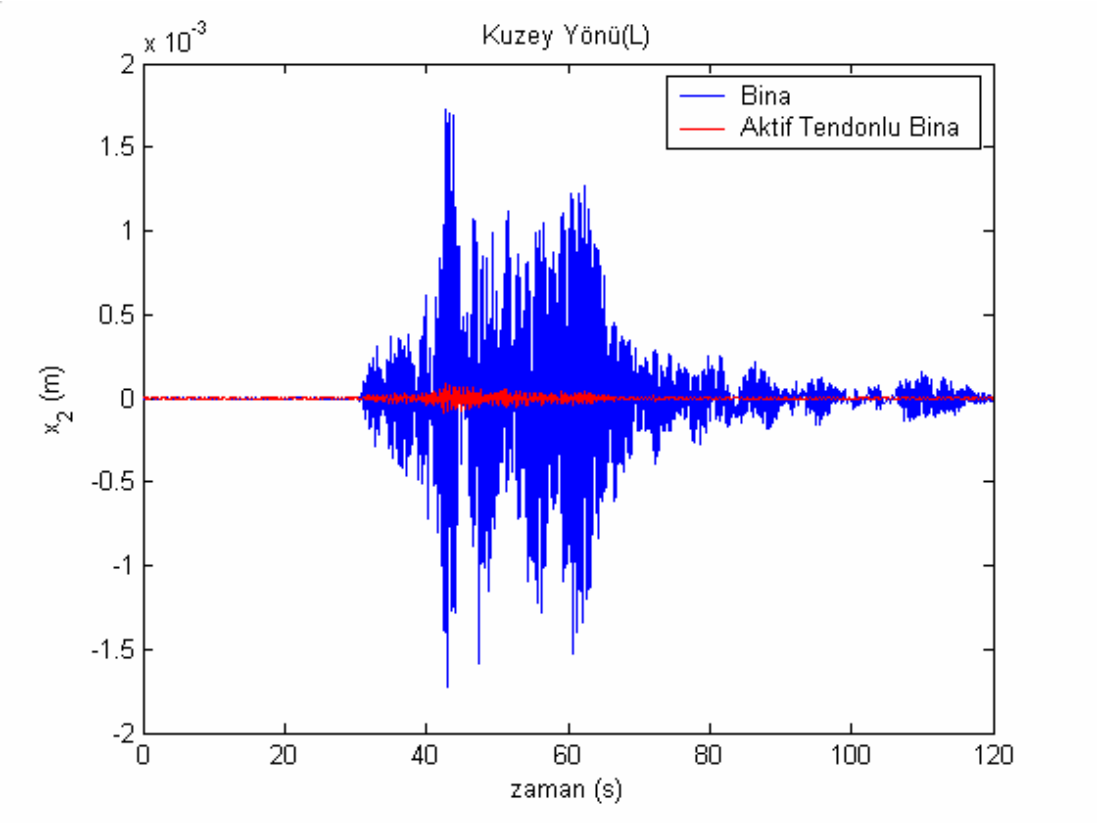

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
20
40
60
80
100
120

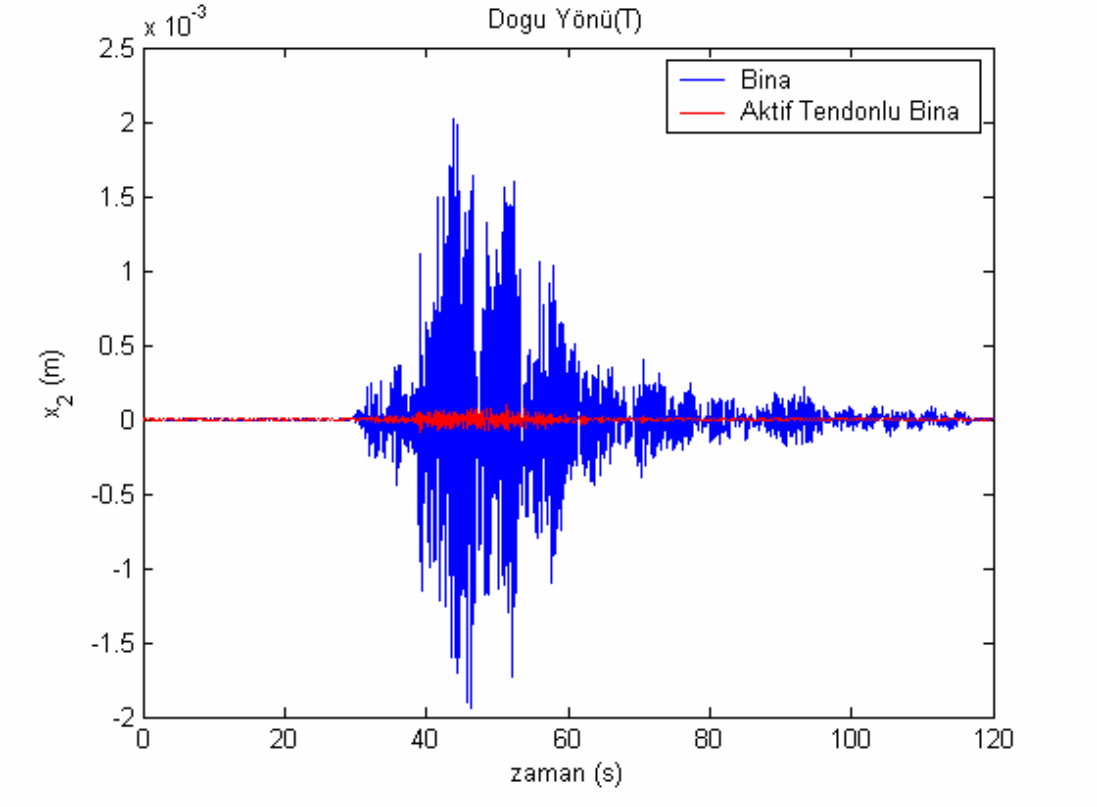

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d2x1/dt2 (m/s2)

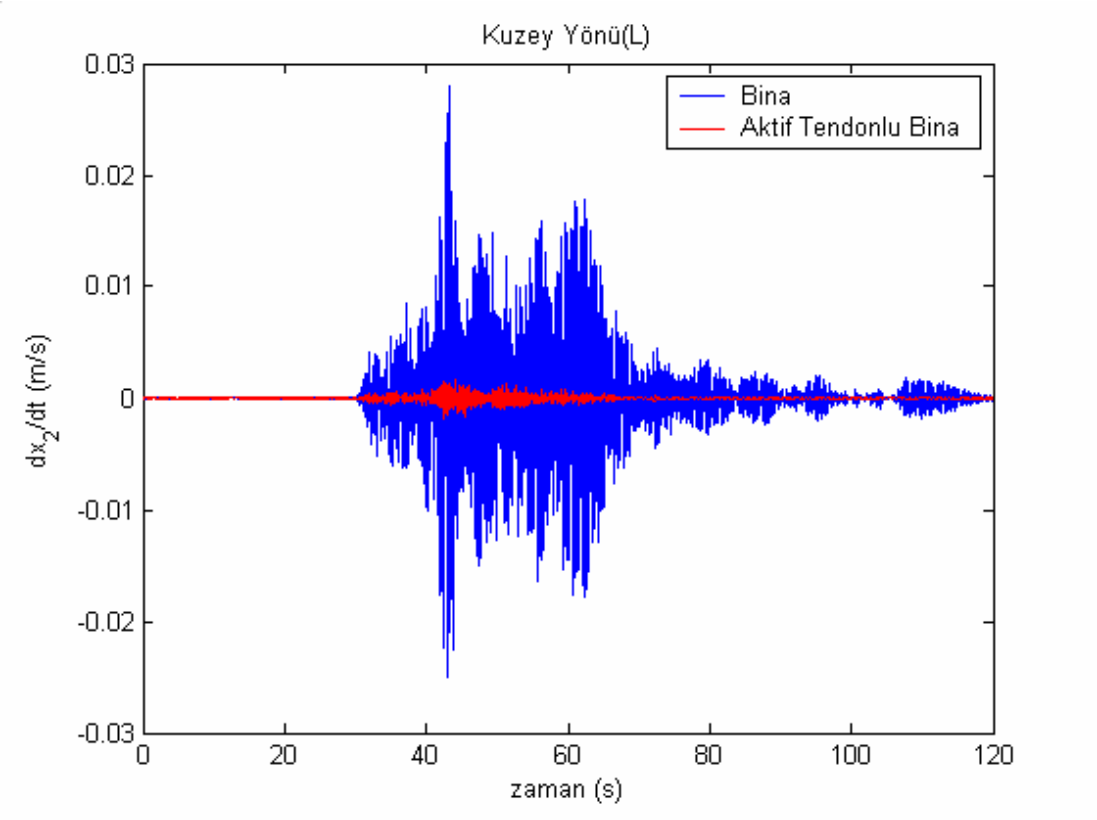

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d2x1/dt2 (m/s2)

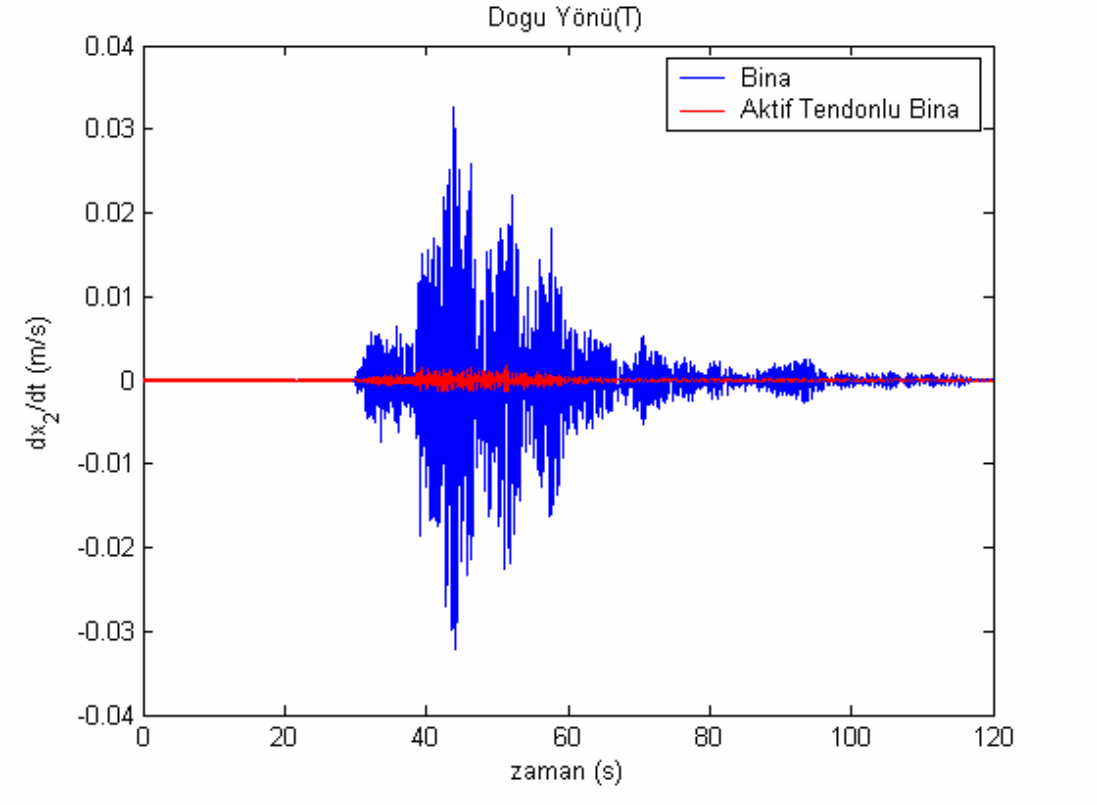

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
x 10^-4
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-5

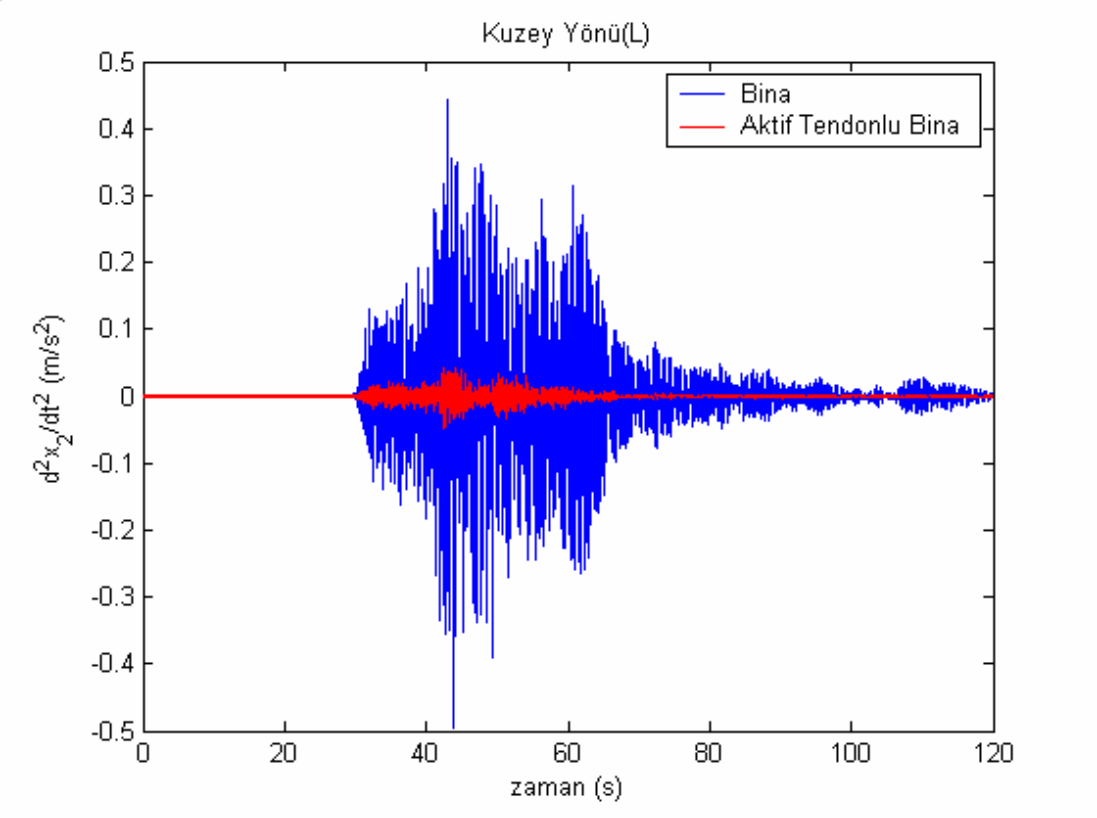

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
x 10^-4
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-5

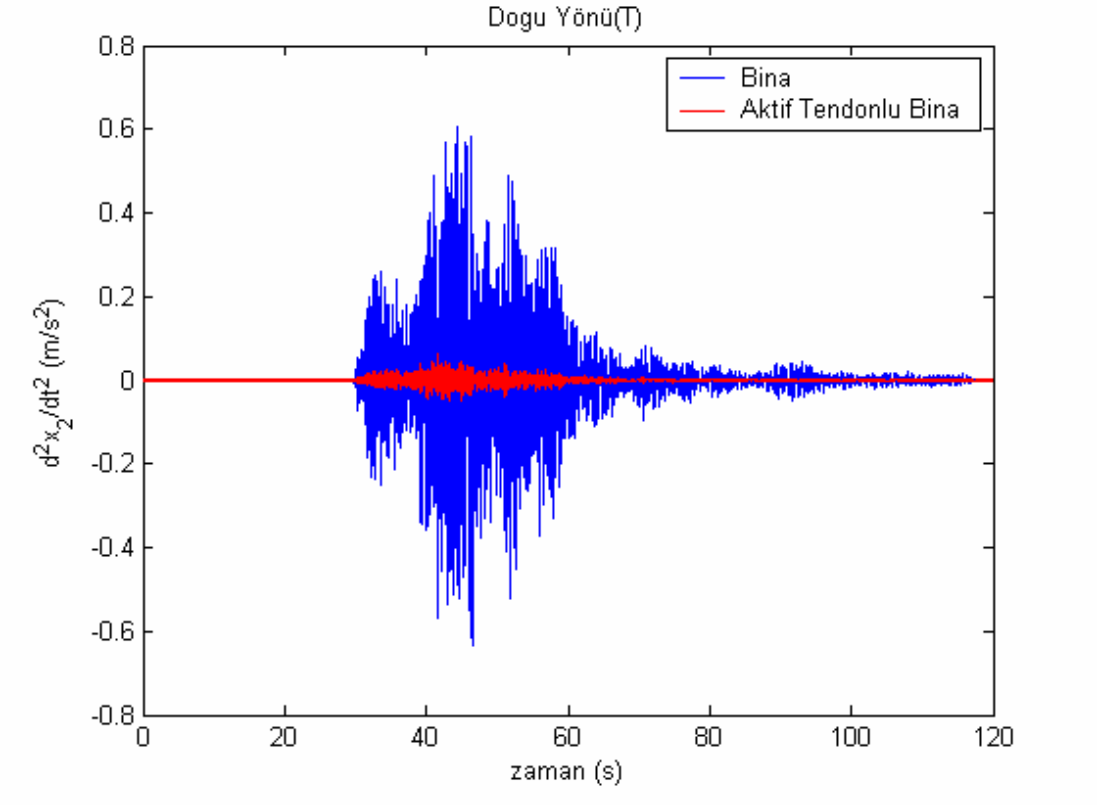

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

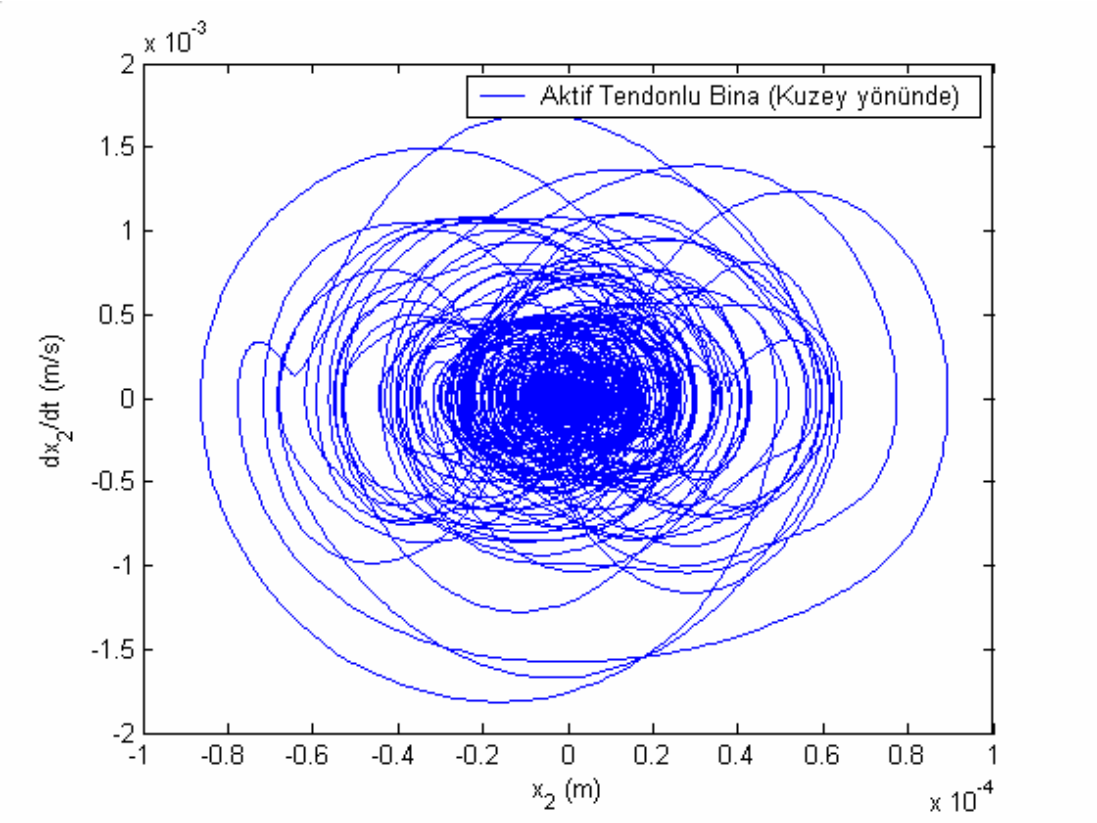

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

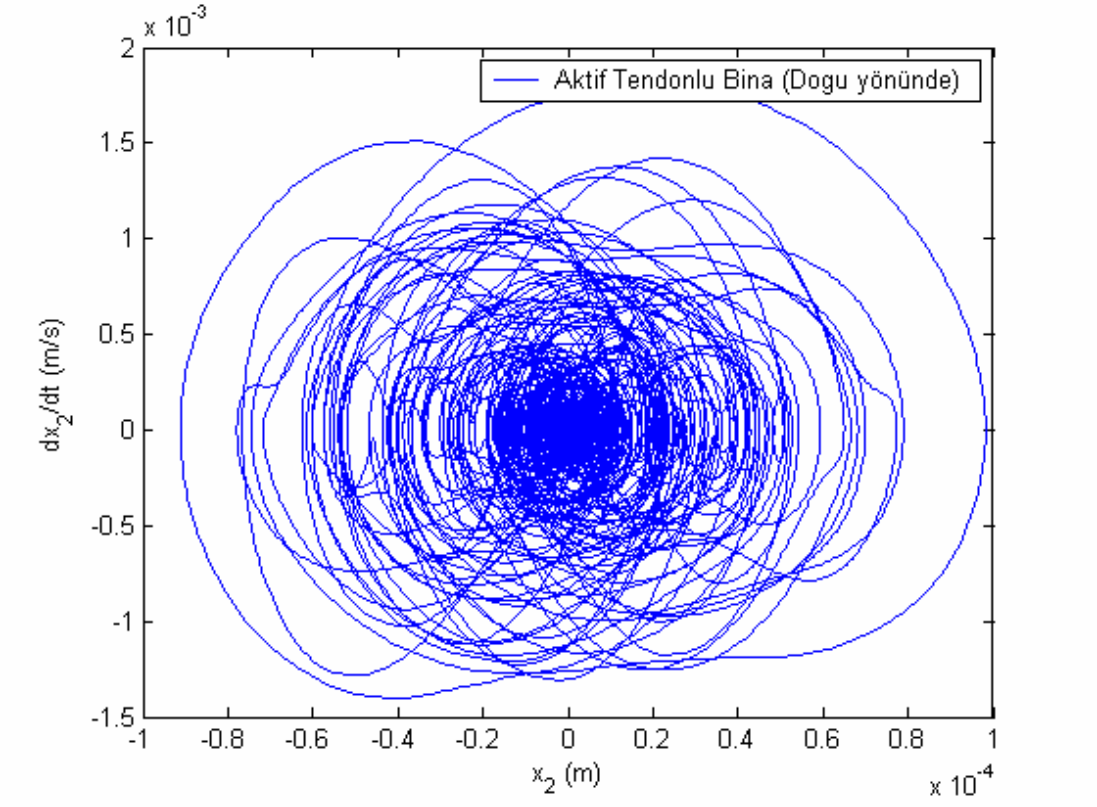

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
0
20
40
60
80
100
120

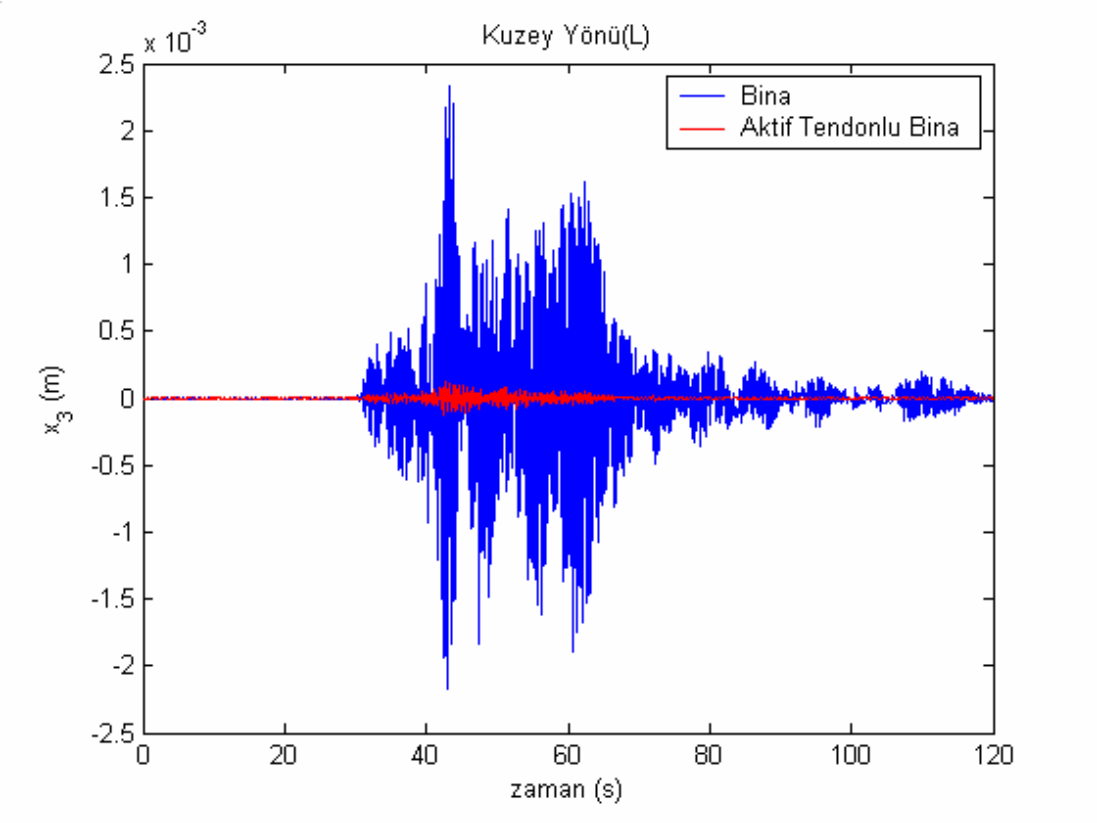

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
0
20
40
60
80
100
120

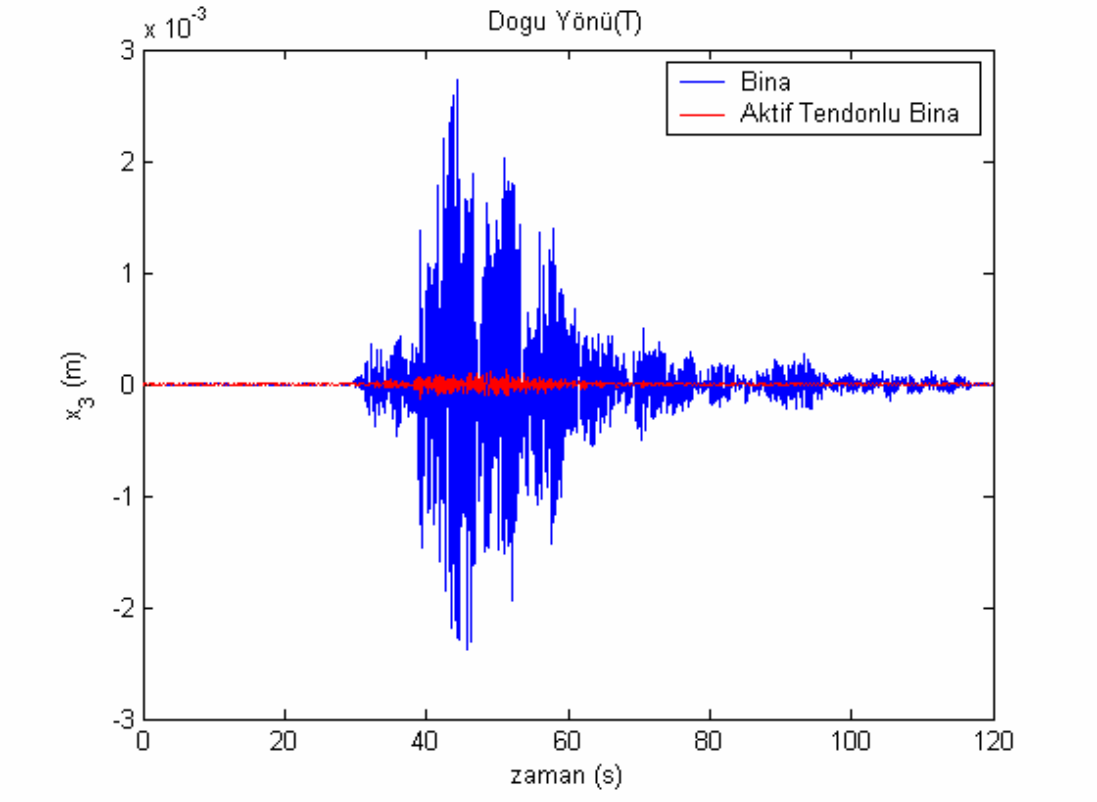

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d2x2/dt2 (m/s2)

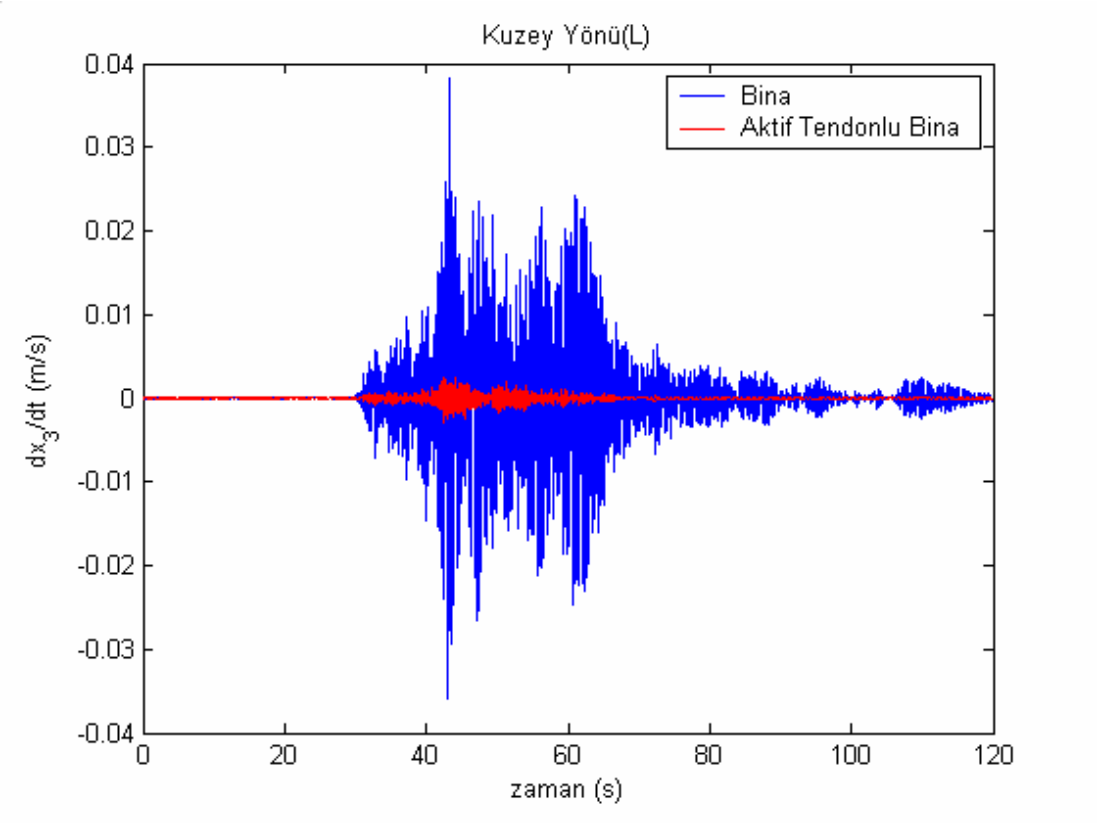

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d2x2/dt2 (m/s2)

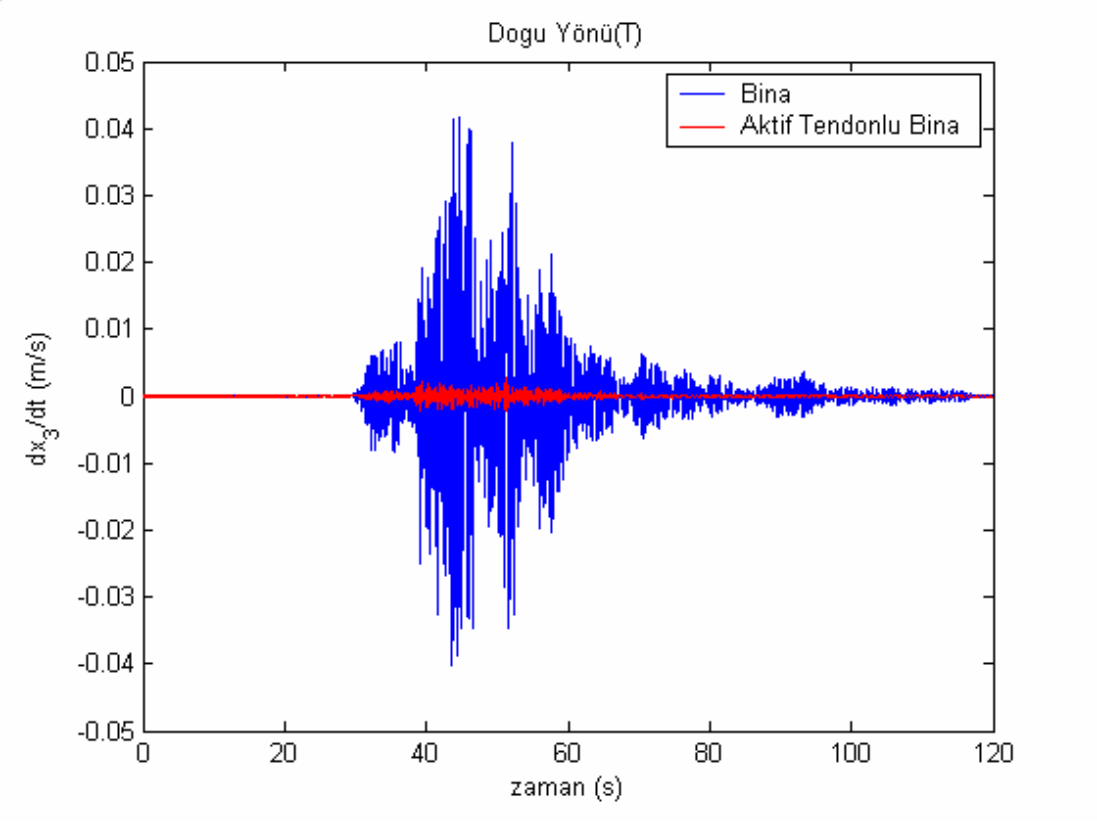

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-4

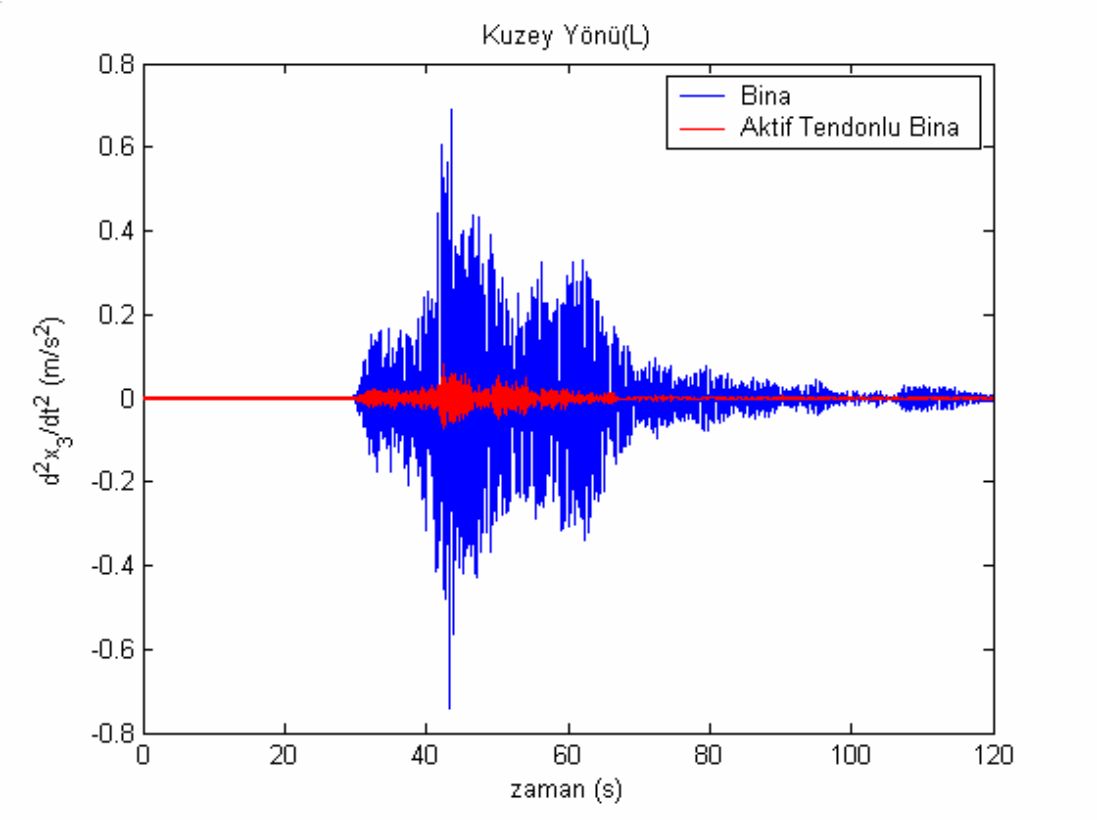

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-4

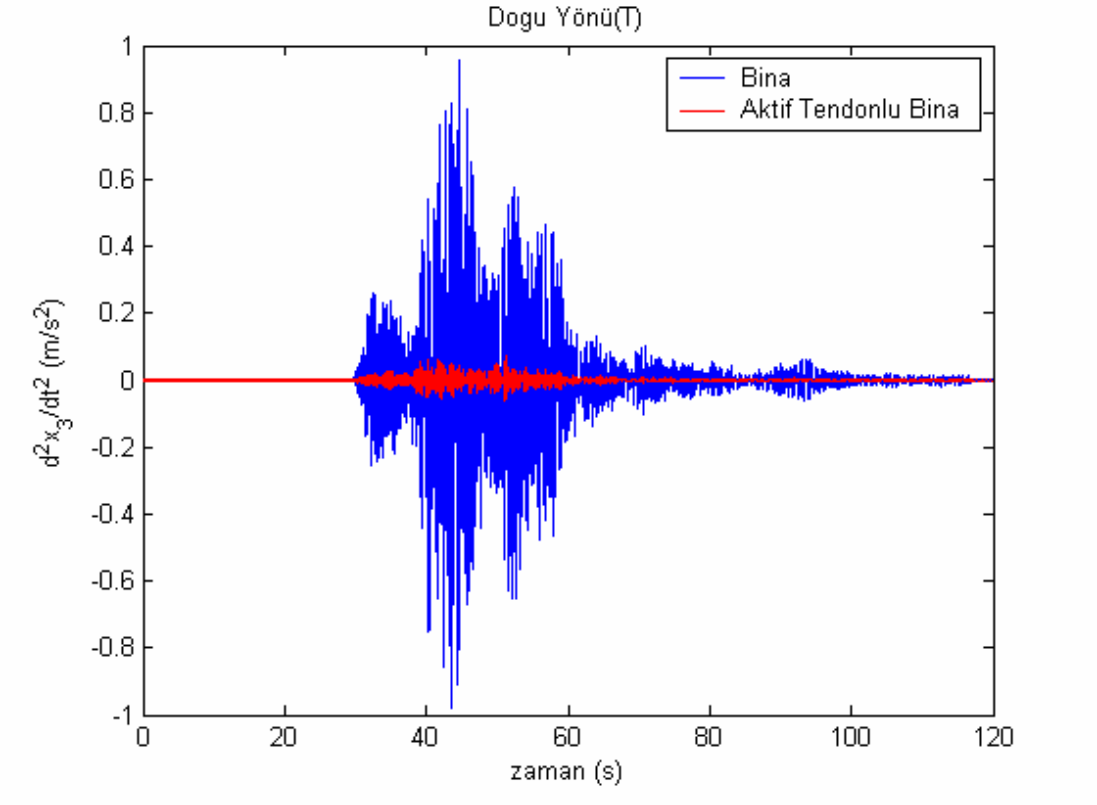

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

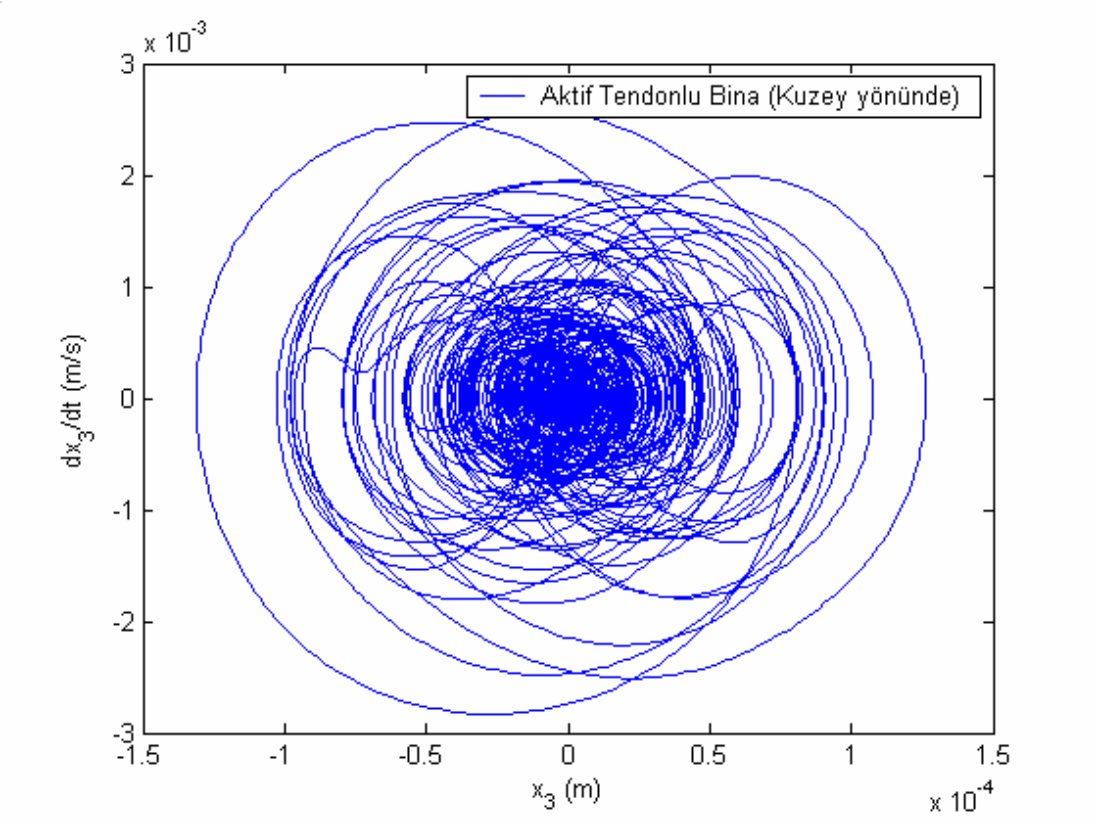

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

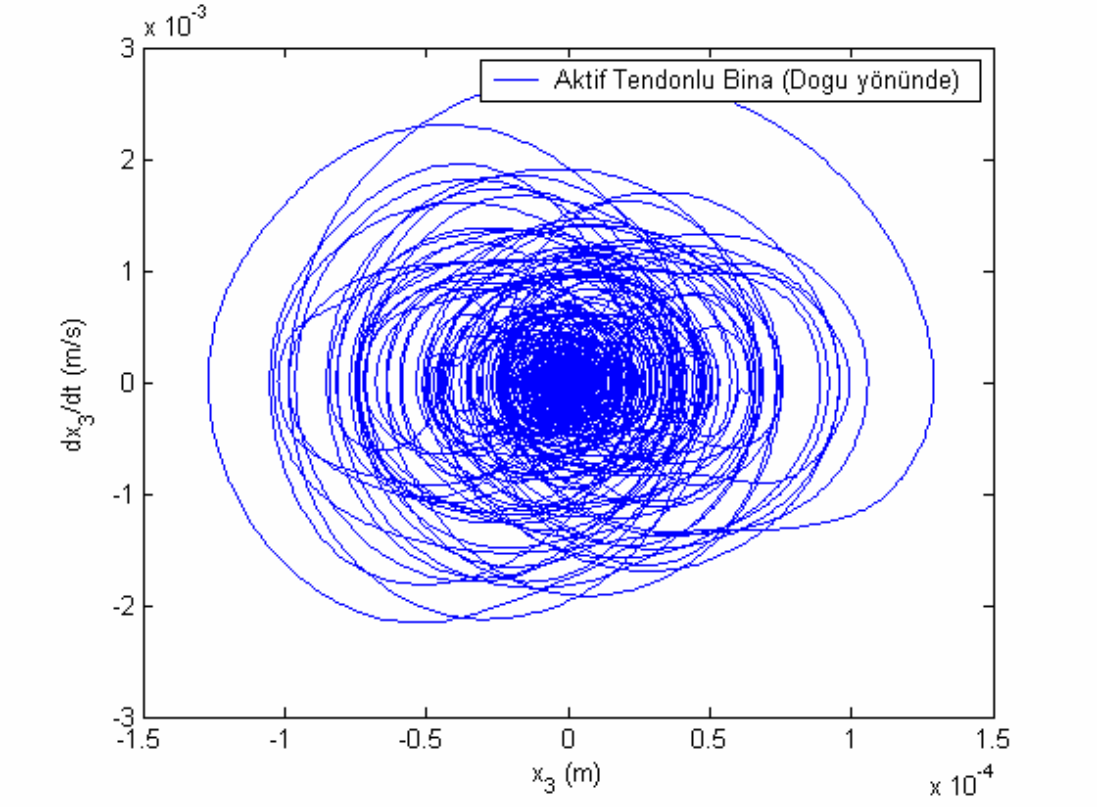

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
0
20
40
60
80
100
120

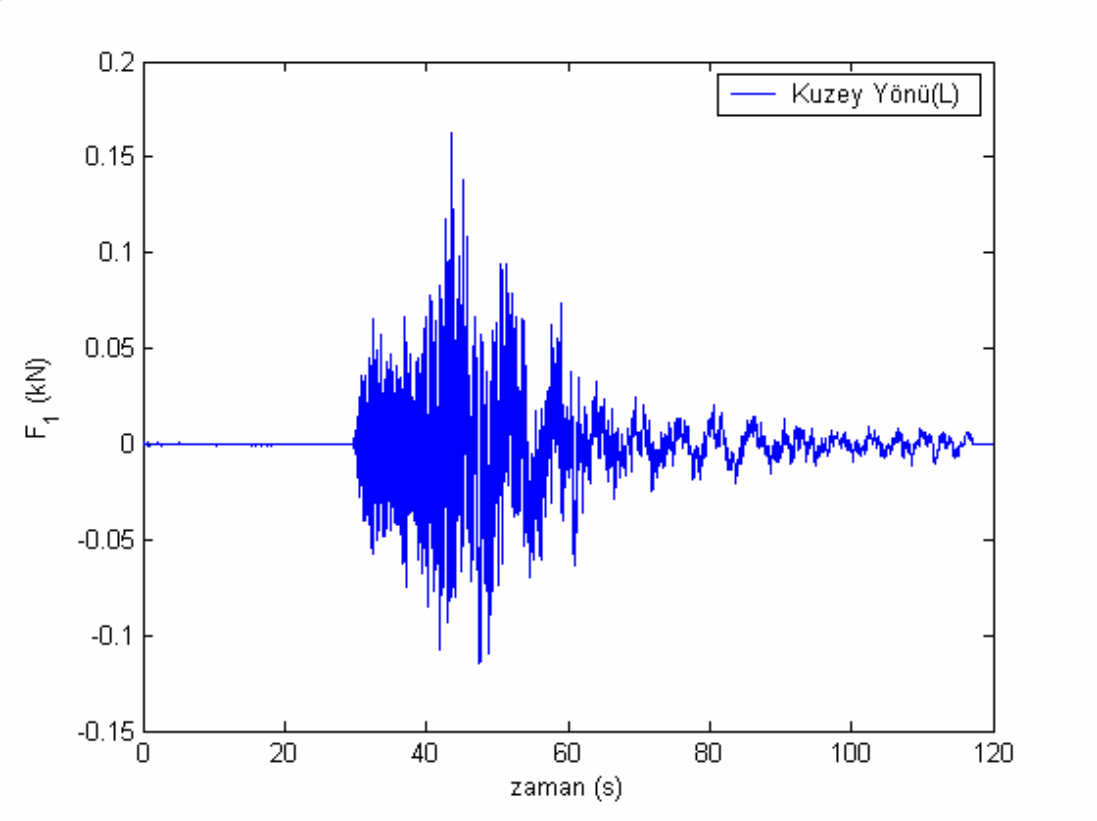

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
0
20
40
60
80
100
120

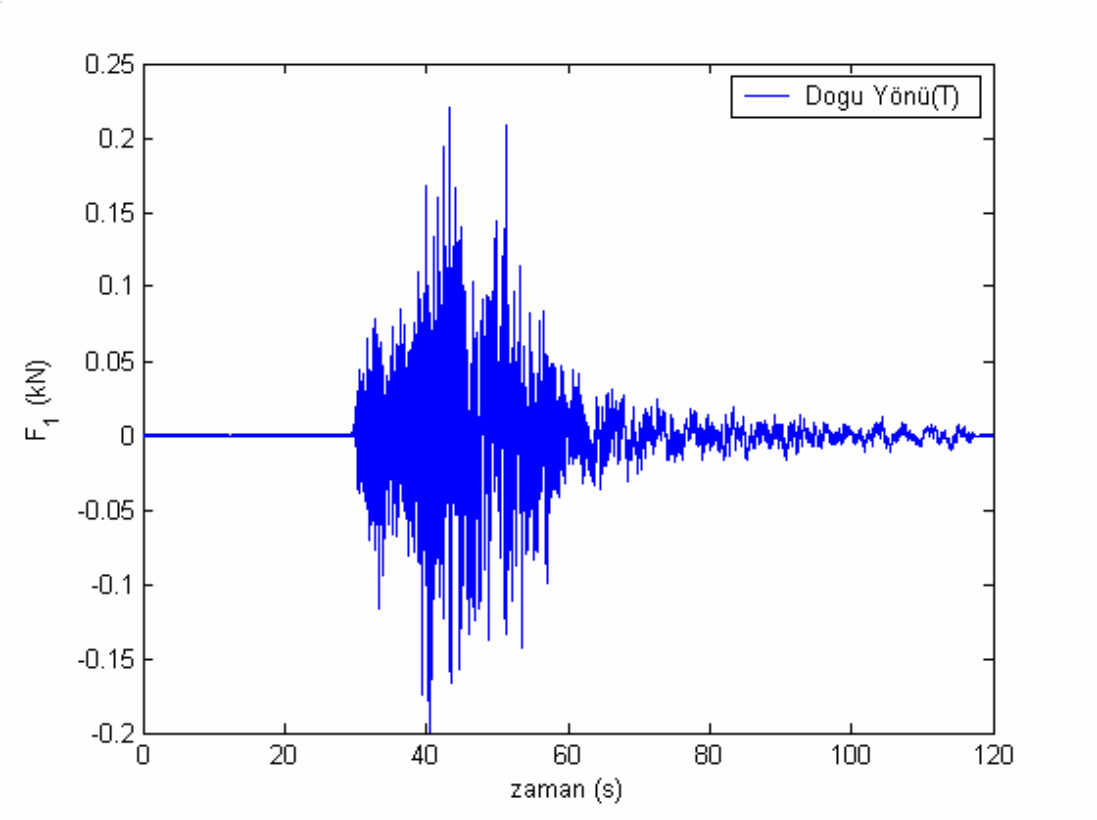

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x3/dt² (m/s²)

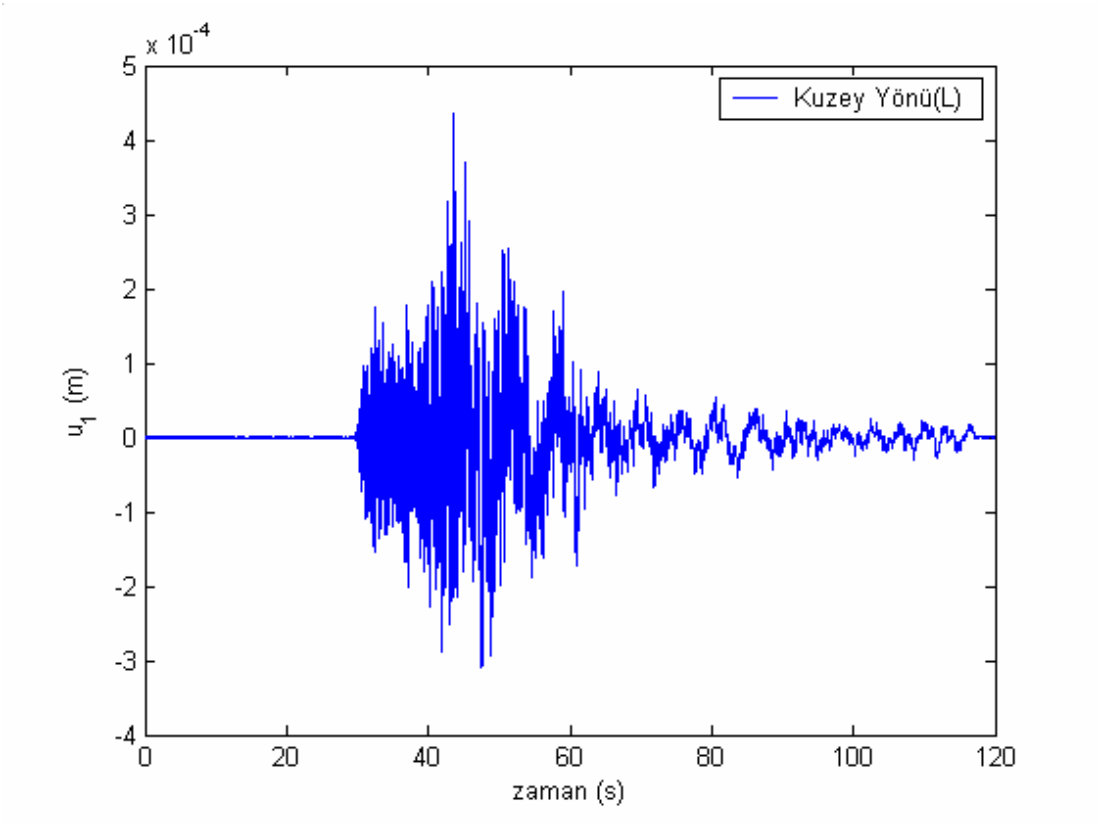

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)
d²x3/dt² (m/s²)

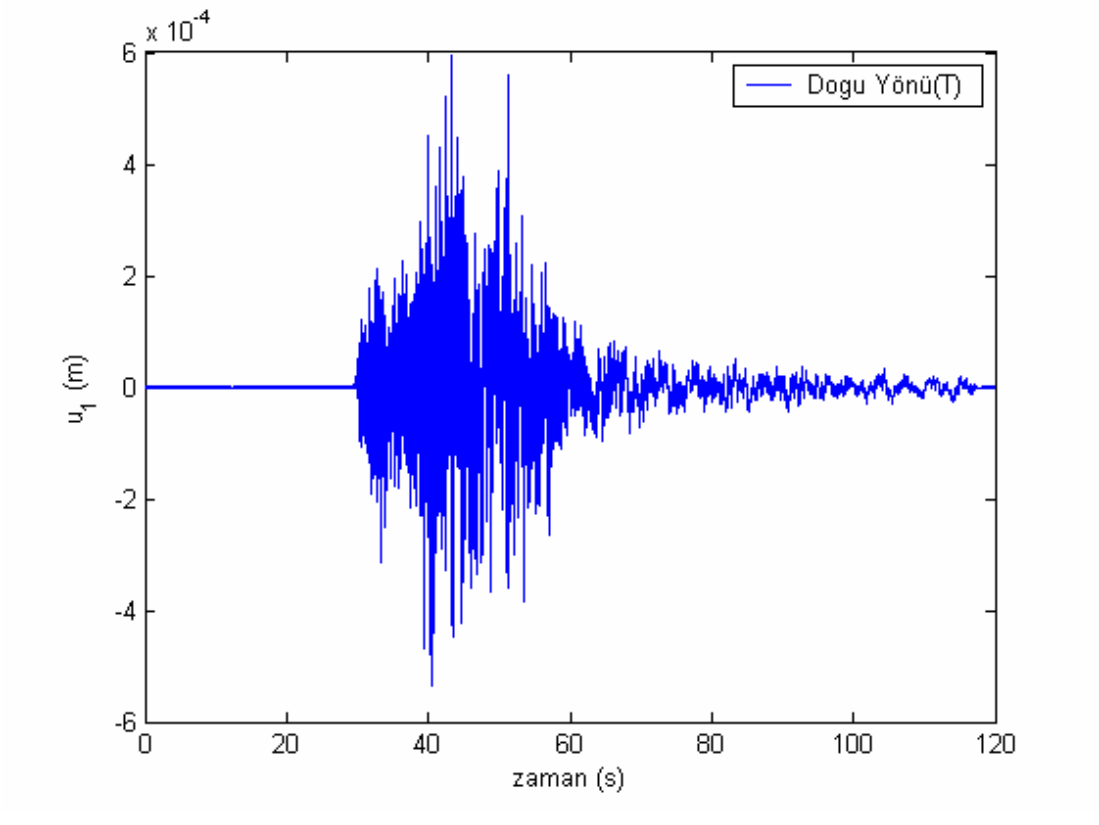

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10^-4

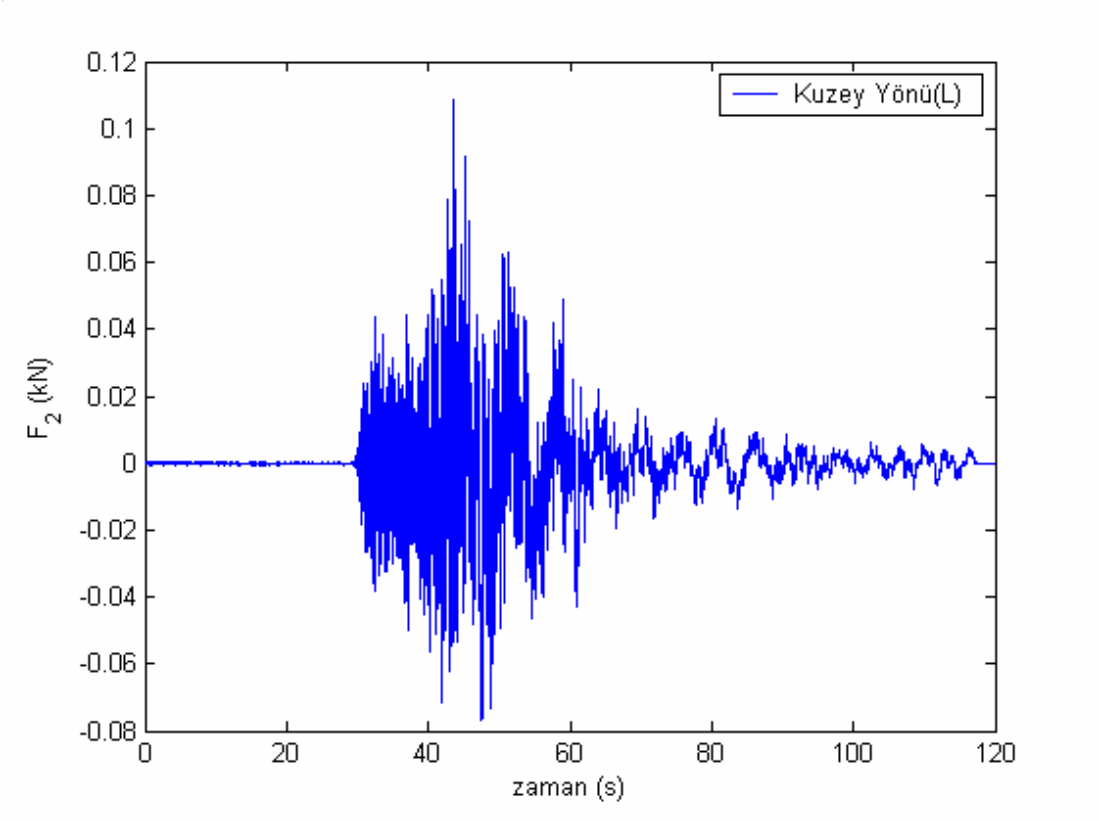

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10^-4

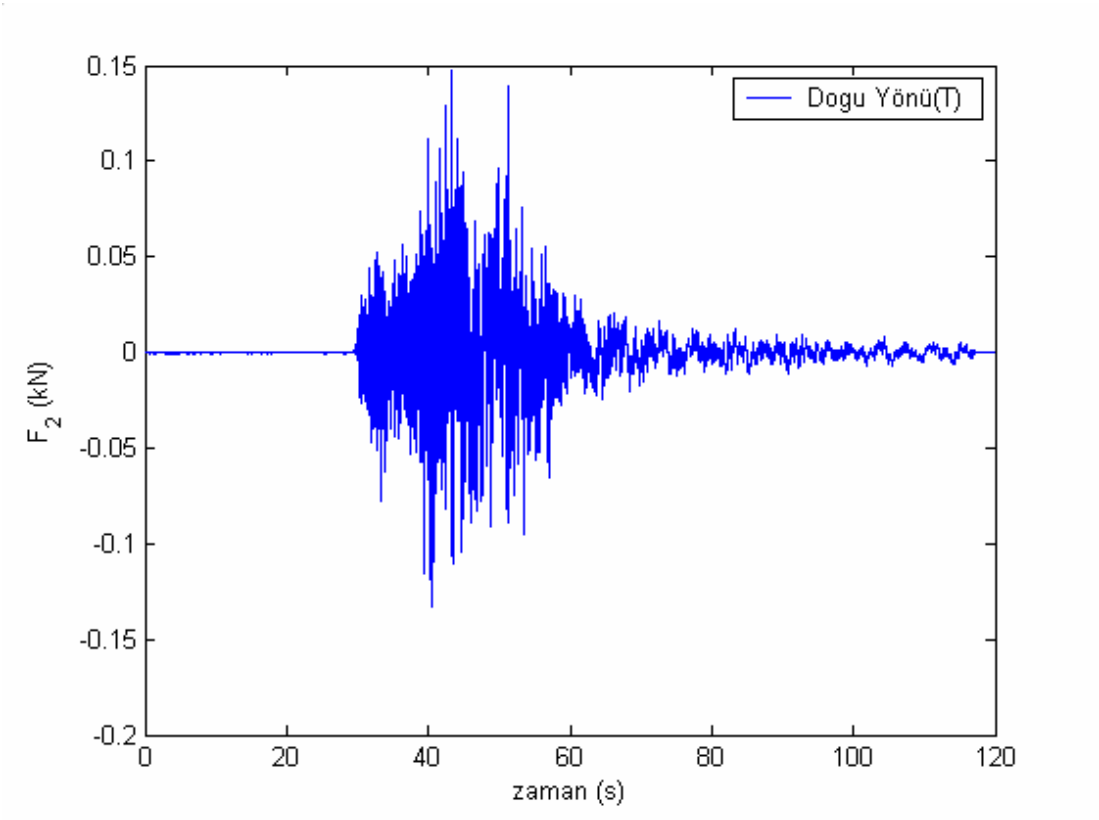

Kuzey Yönü(L)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
F1 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

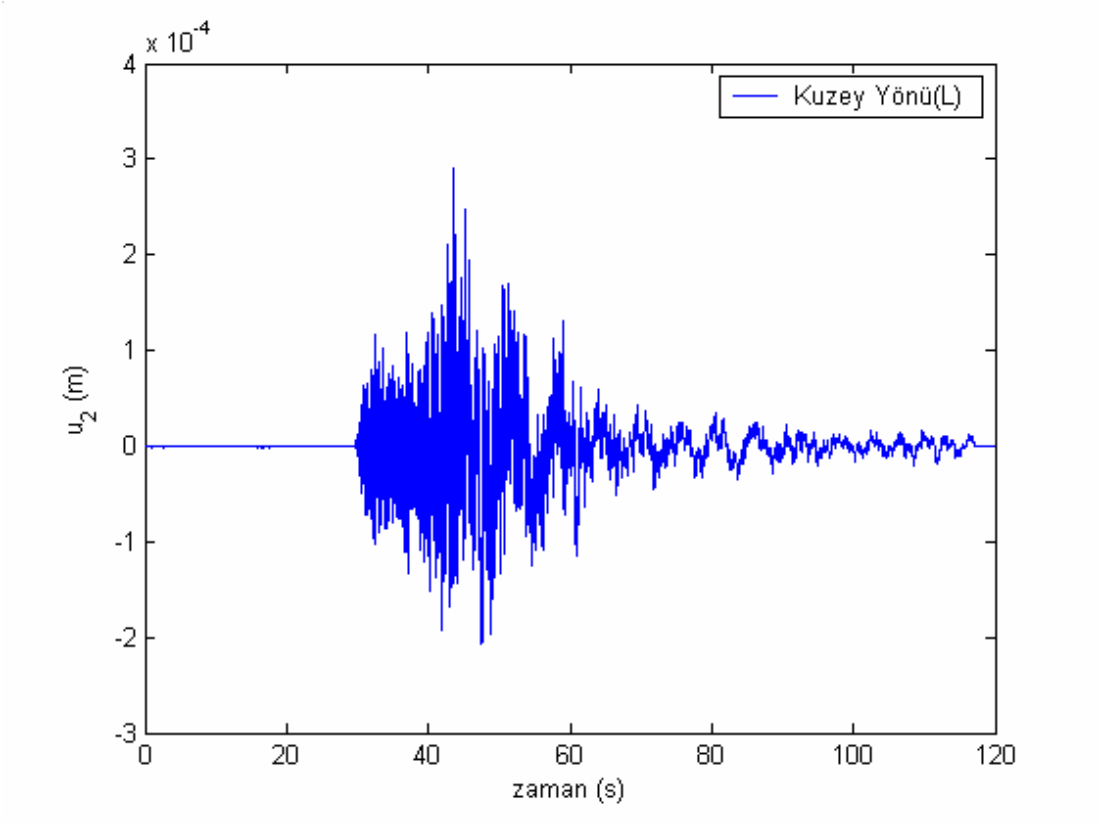

Dogu Yönü(T)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
F1 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

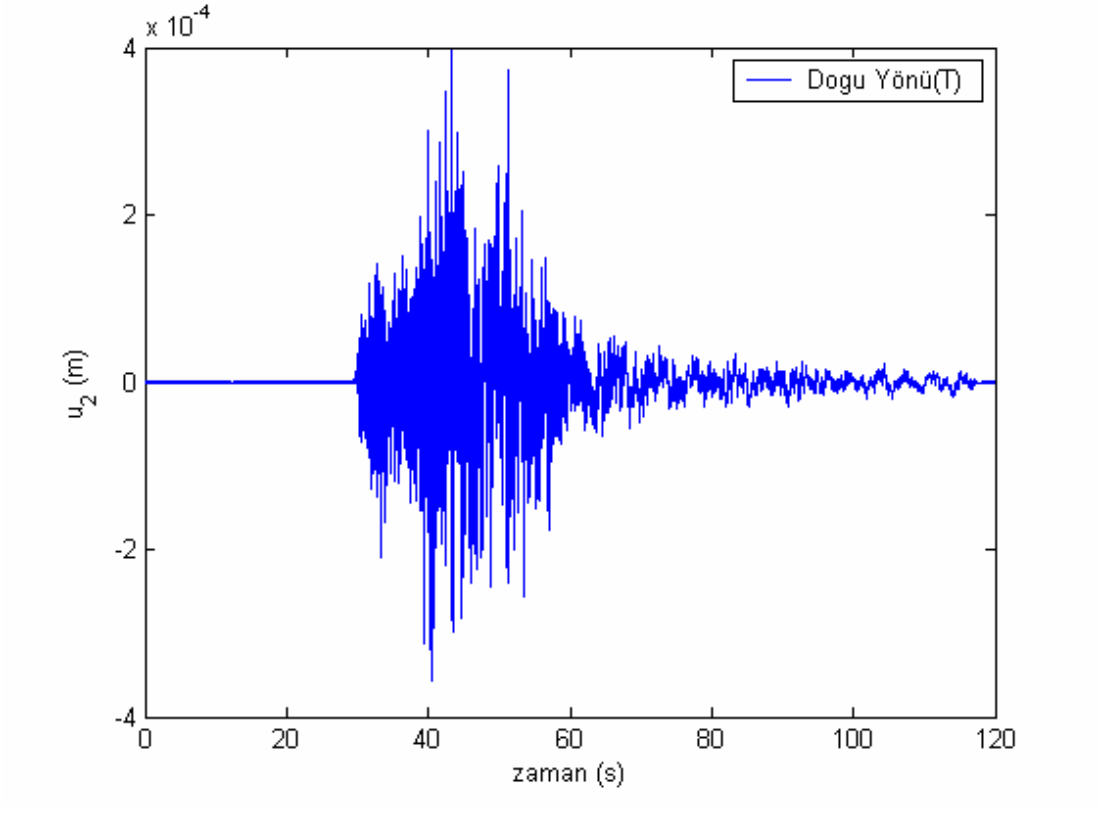

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

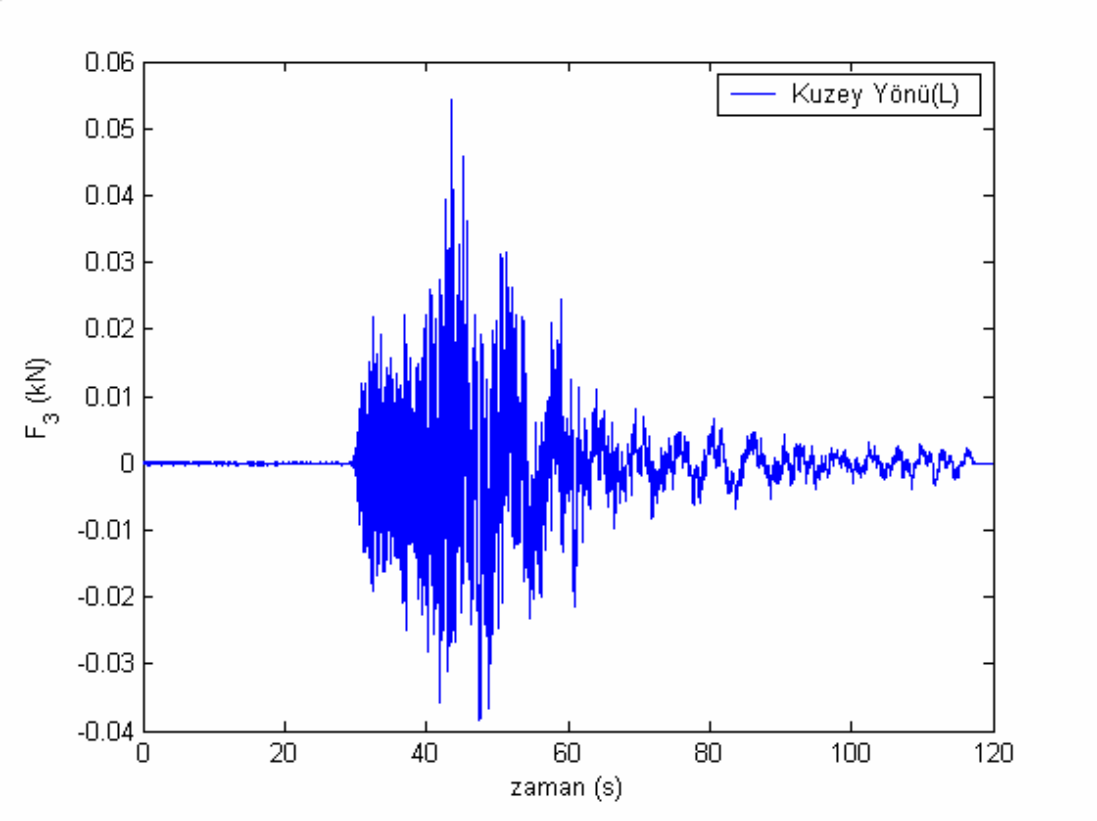

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

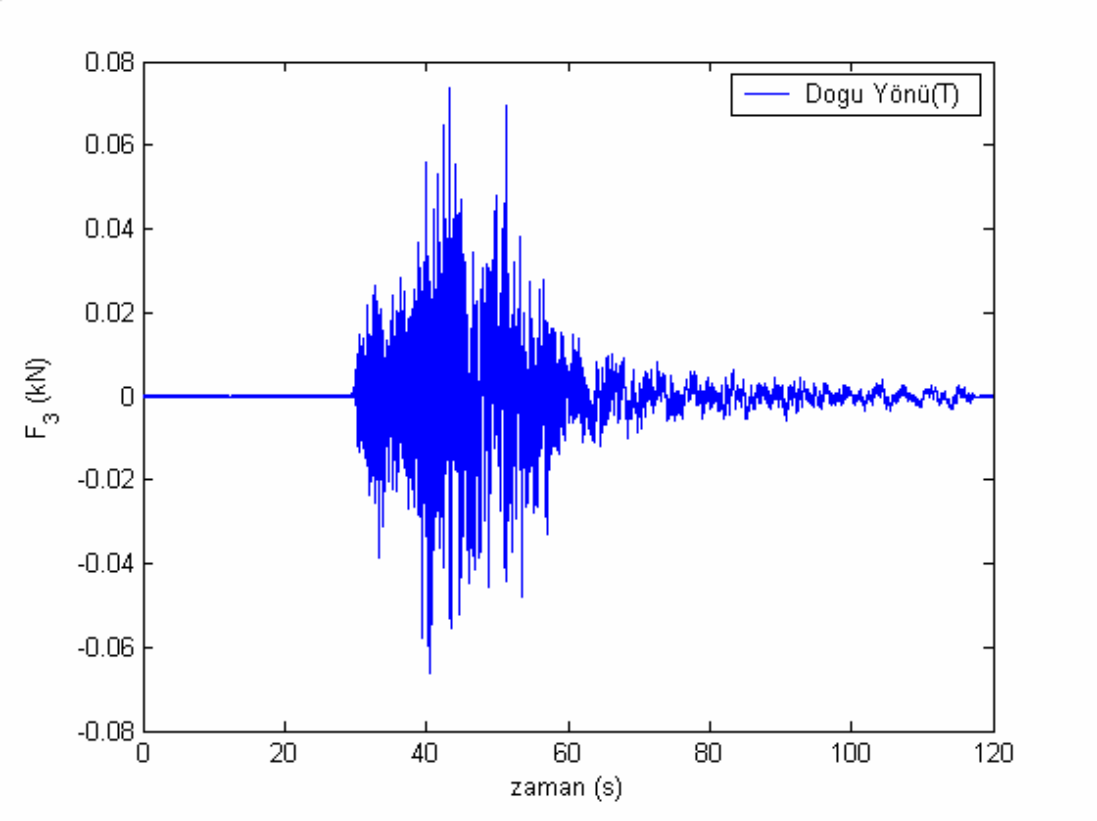

Kuzey Yönü(L)
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
F2 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

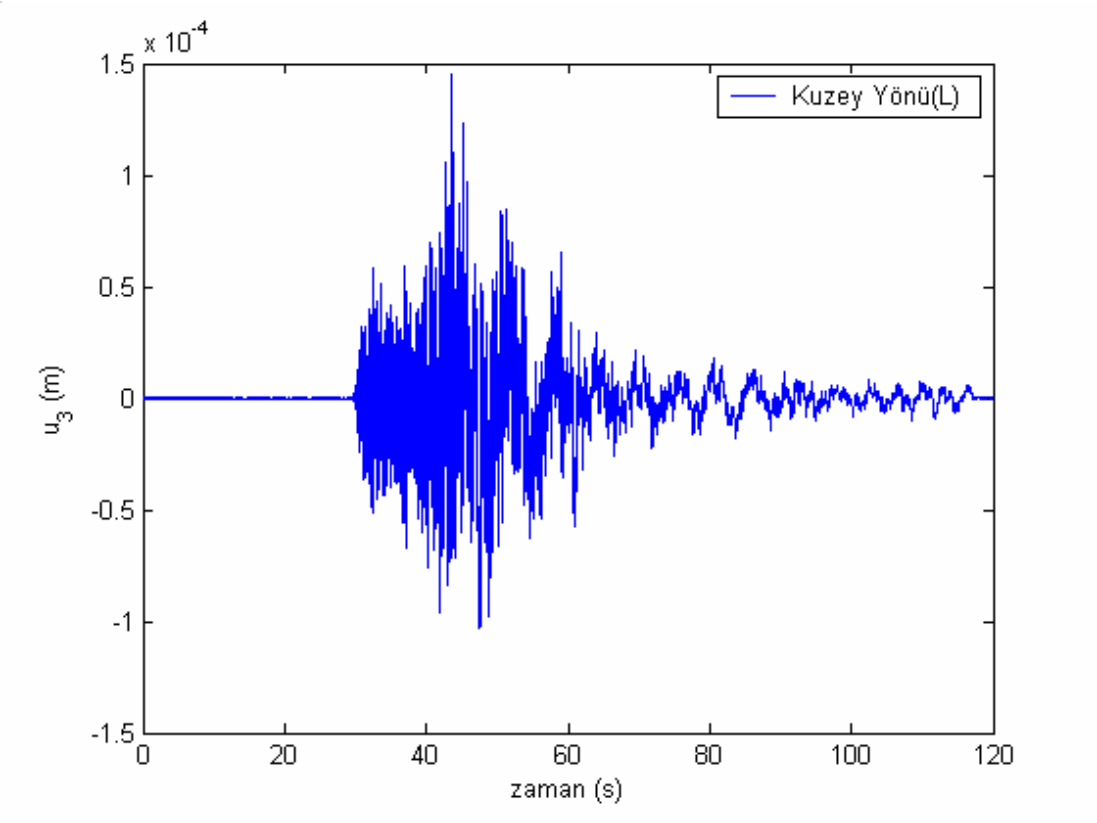

Dogu Yönü(T)
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
F2 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

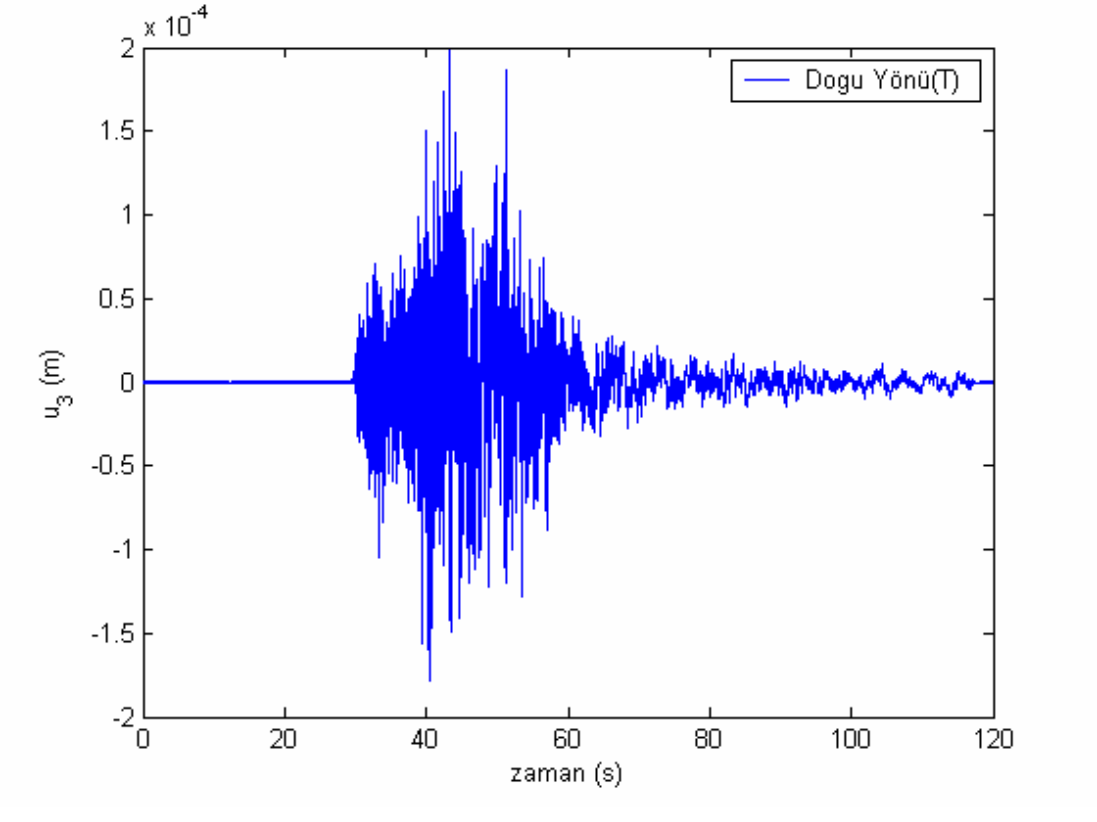

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)

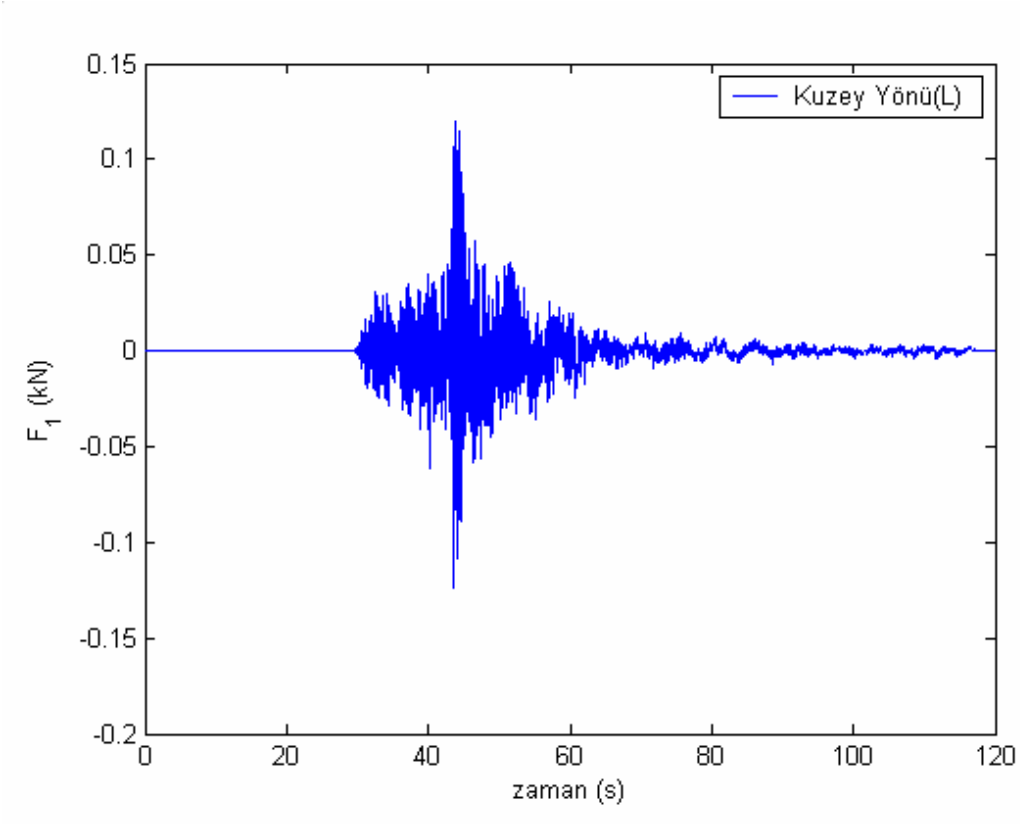

Kuzey Yönü(L)
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
F3 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

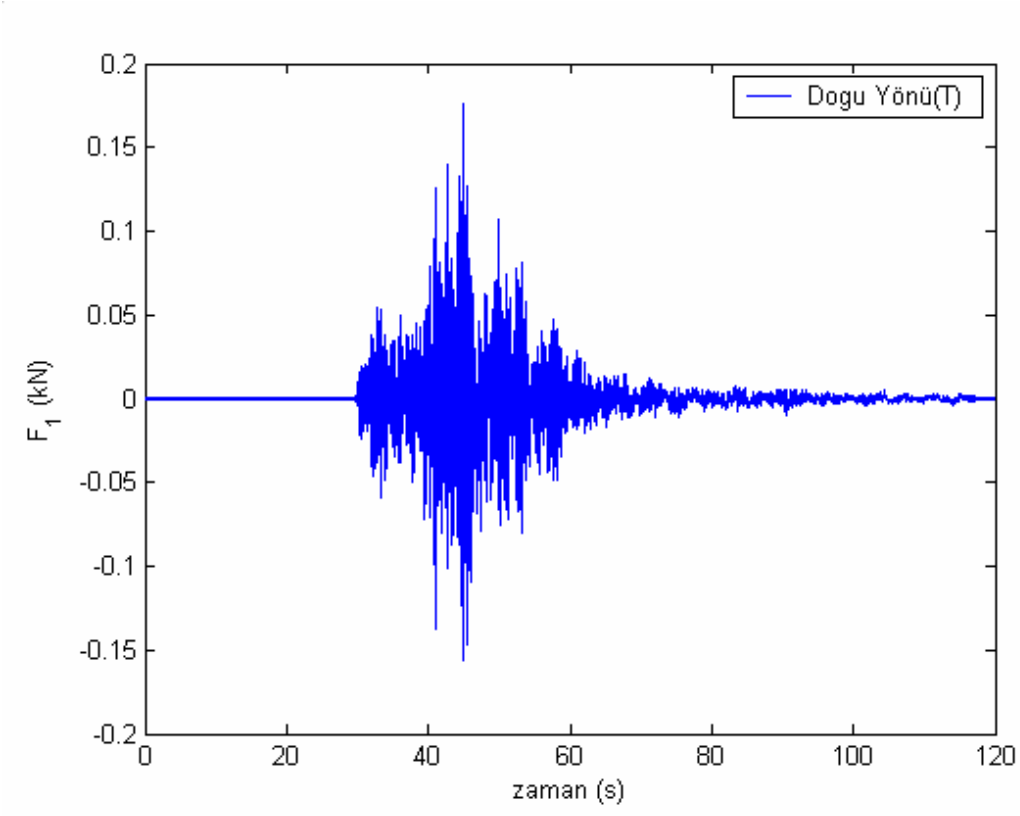

Dogu Yönü(T)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
F3 (kN)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

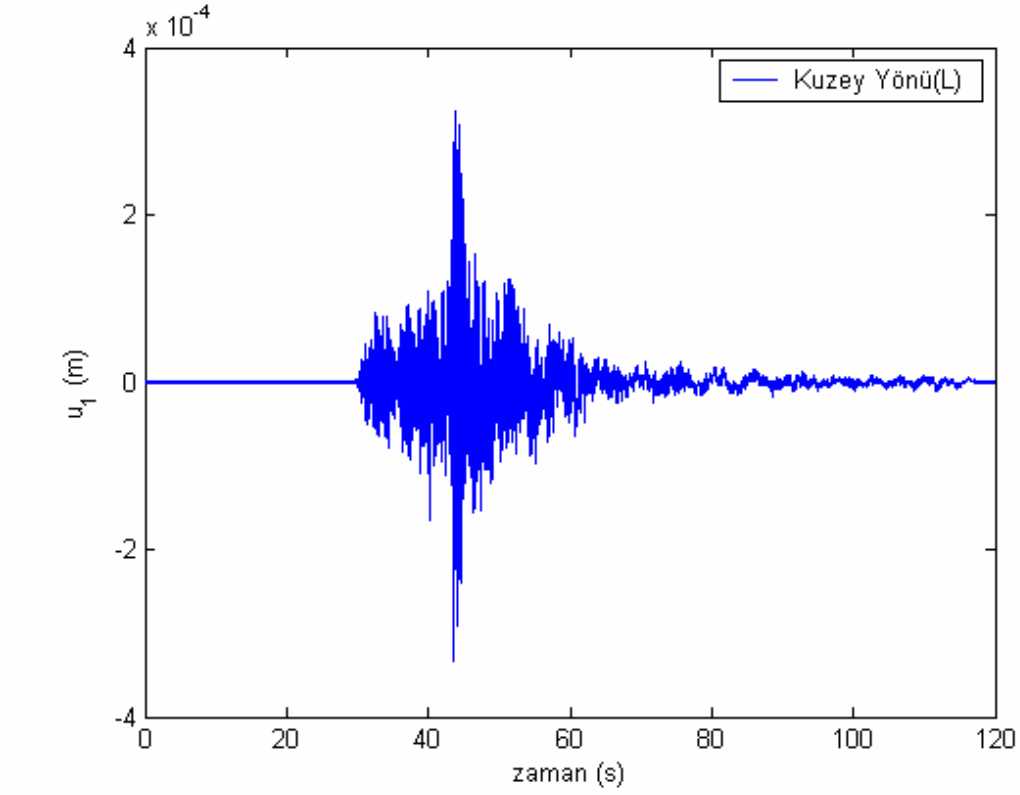

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

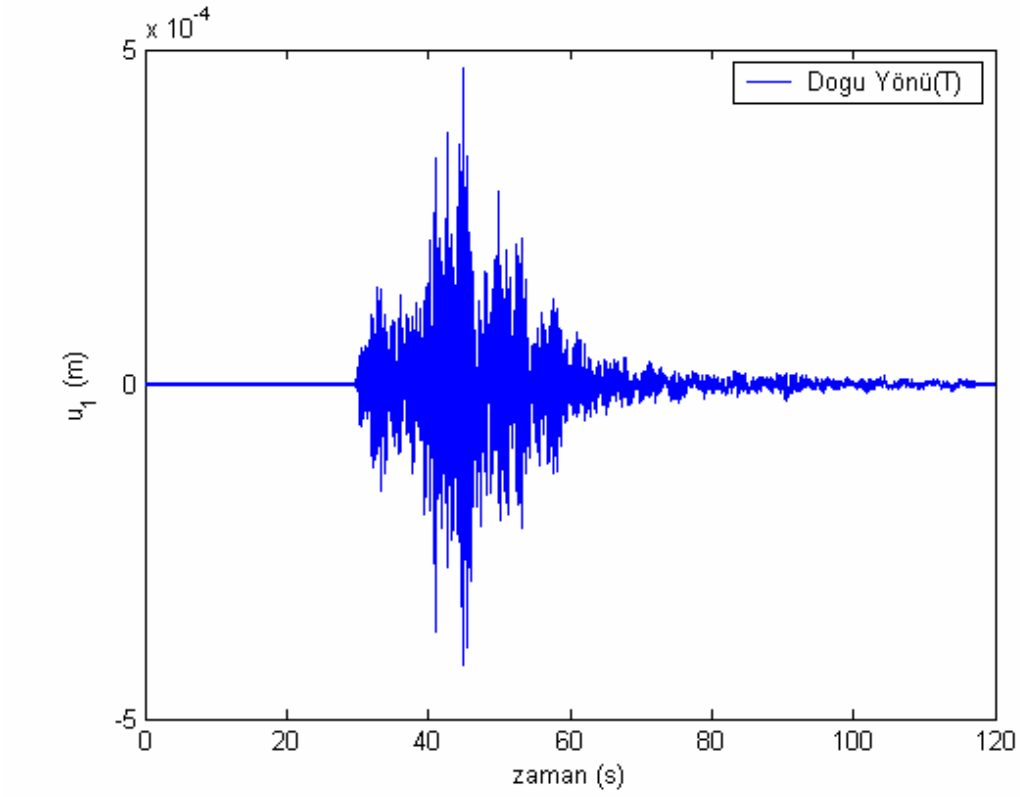

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

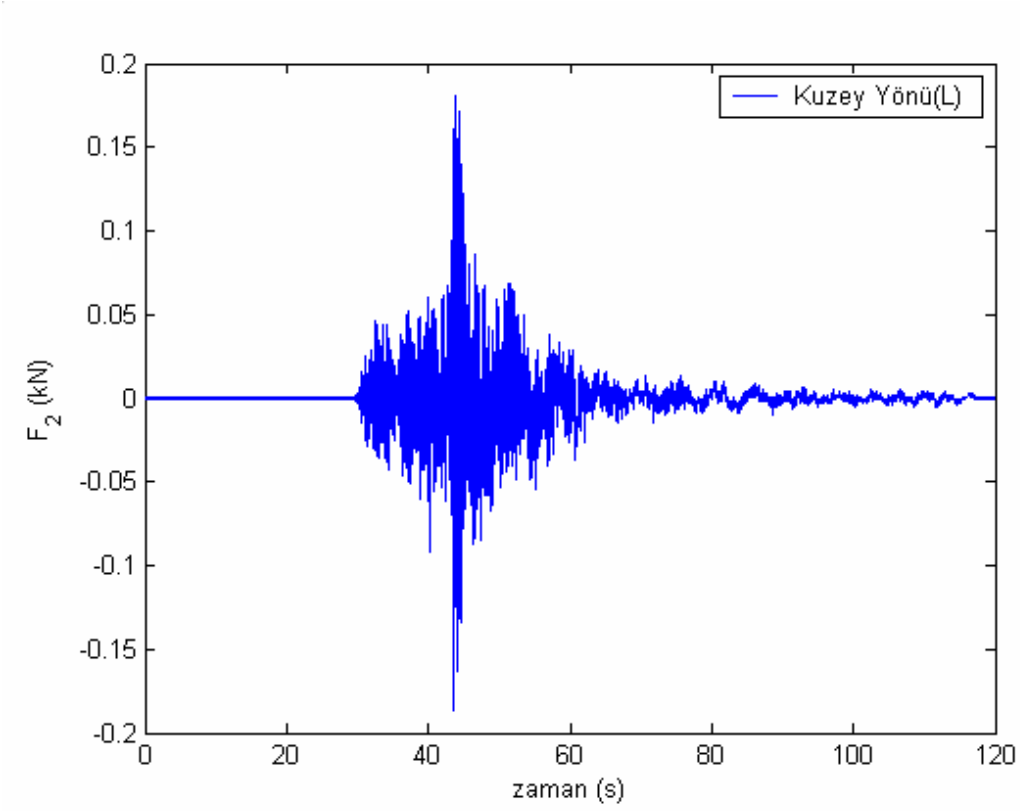
EK 4d: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Aşağıdan Uzanan Tendonlar ile Kontrol)

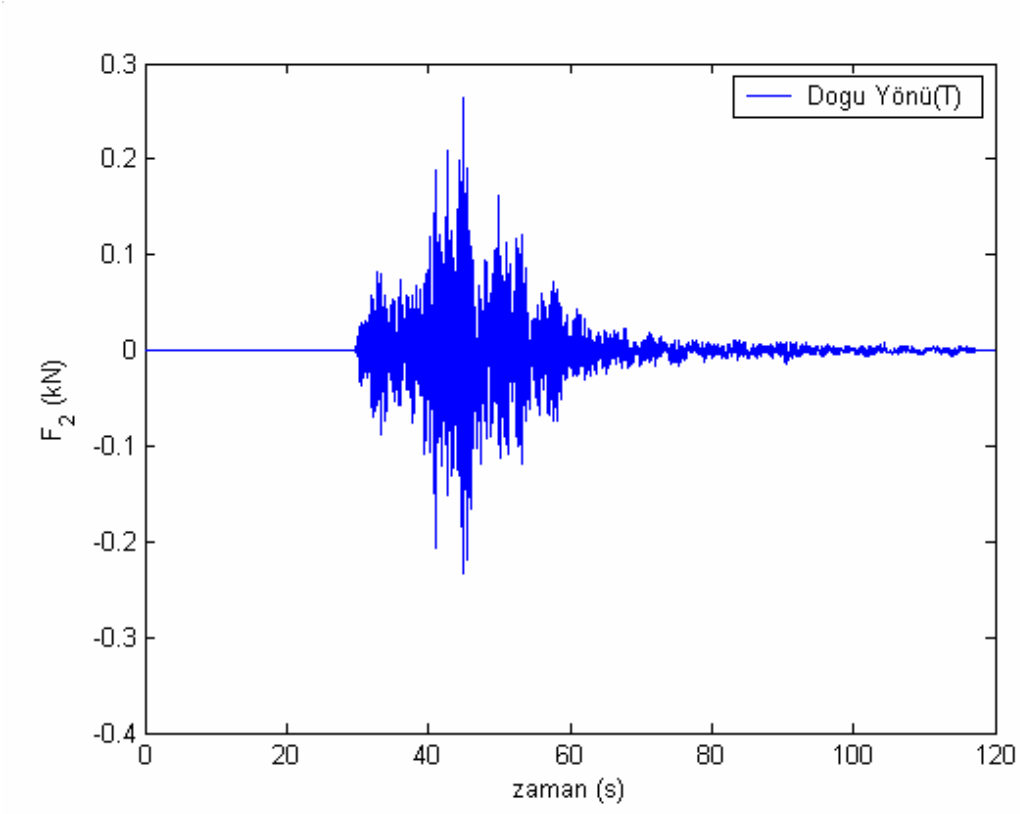


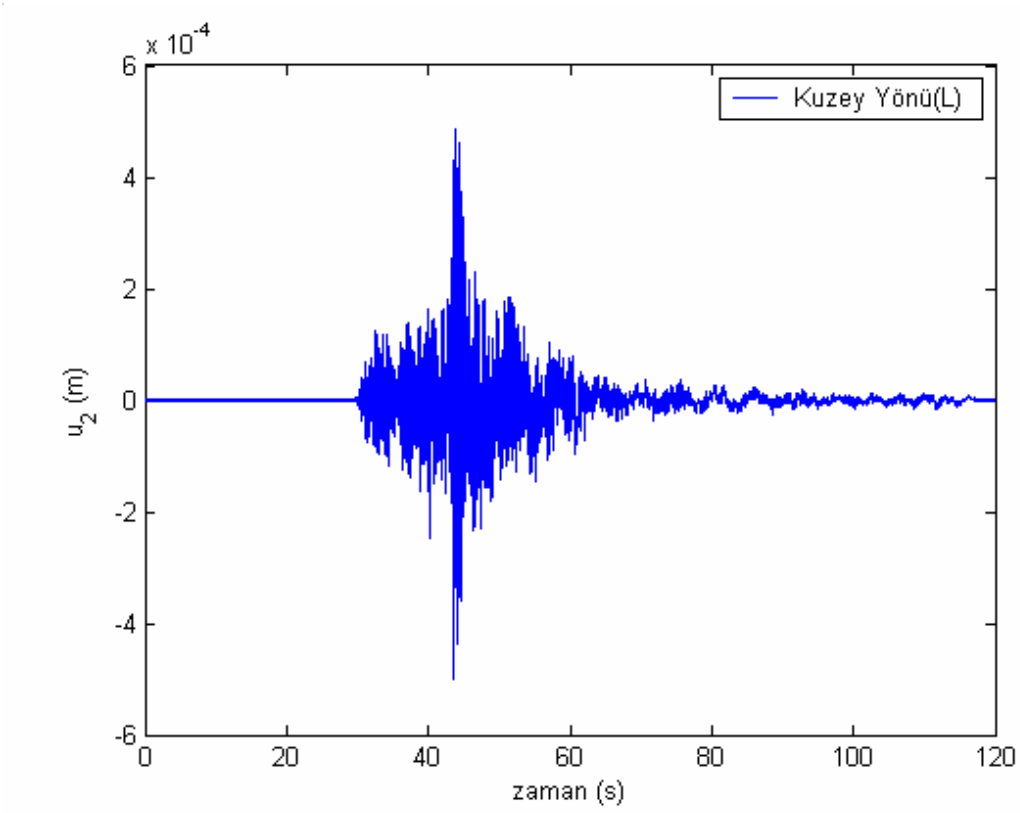


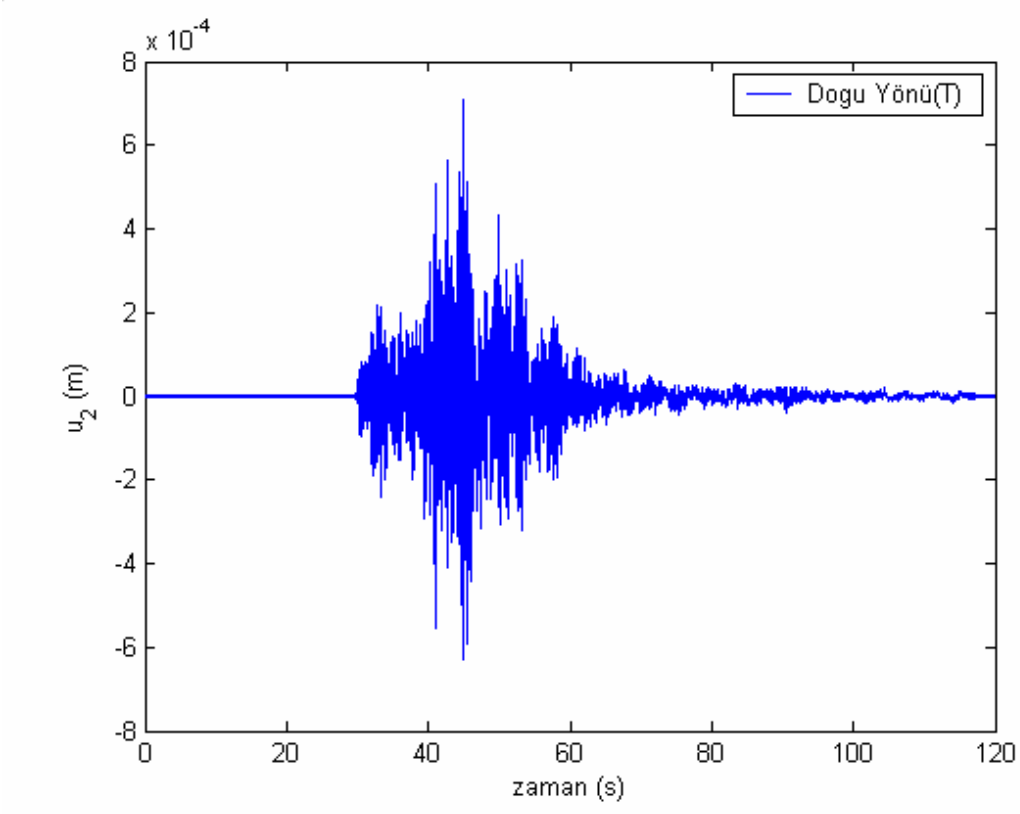

x 10^-4
4
2
0
-2
-4
u1 (m)
Kuzey Yönü(L)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

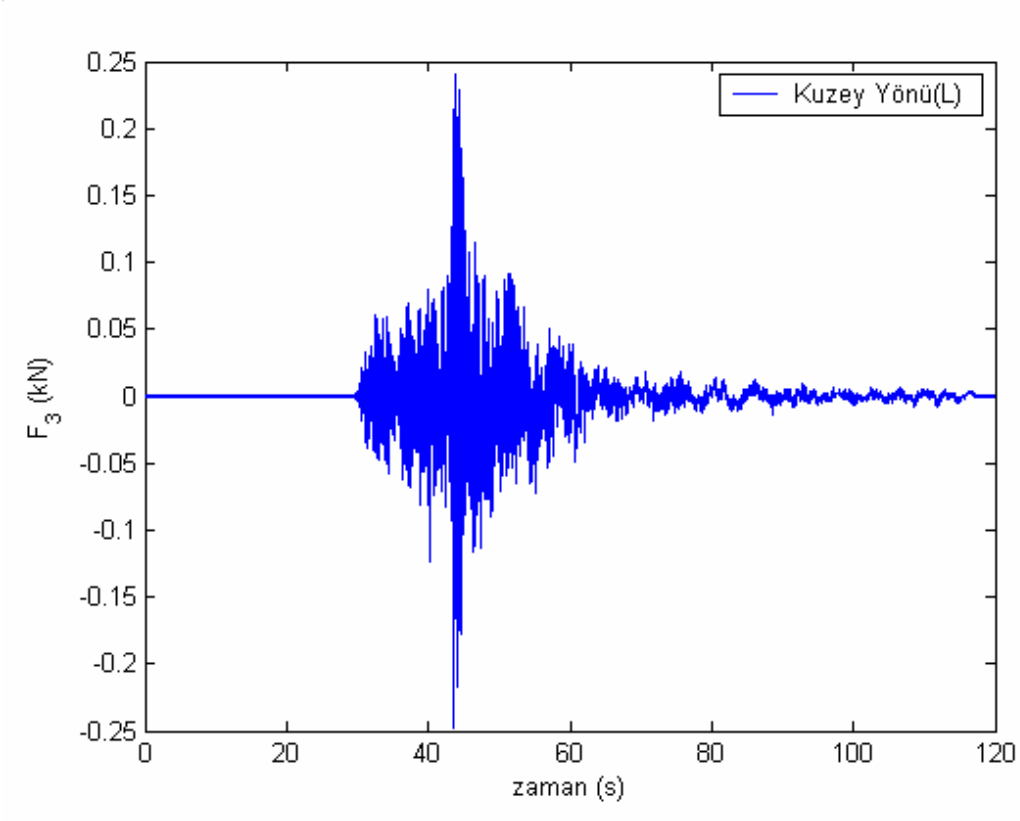

x 10^-4
5
0
-5
u1 (m)
Dogu Yönü(T)
0
20
40
60
80
100
120
zaman (s)

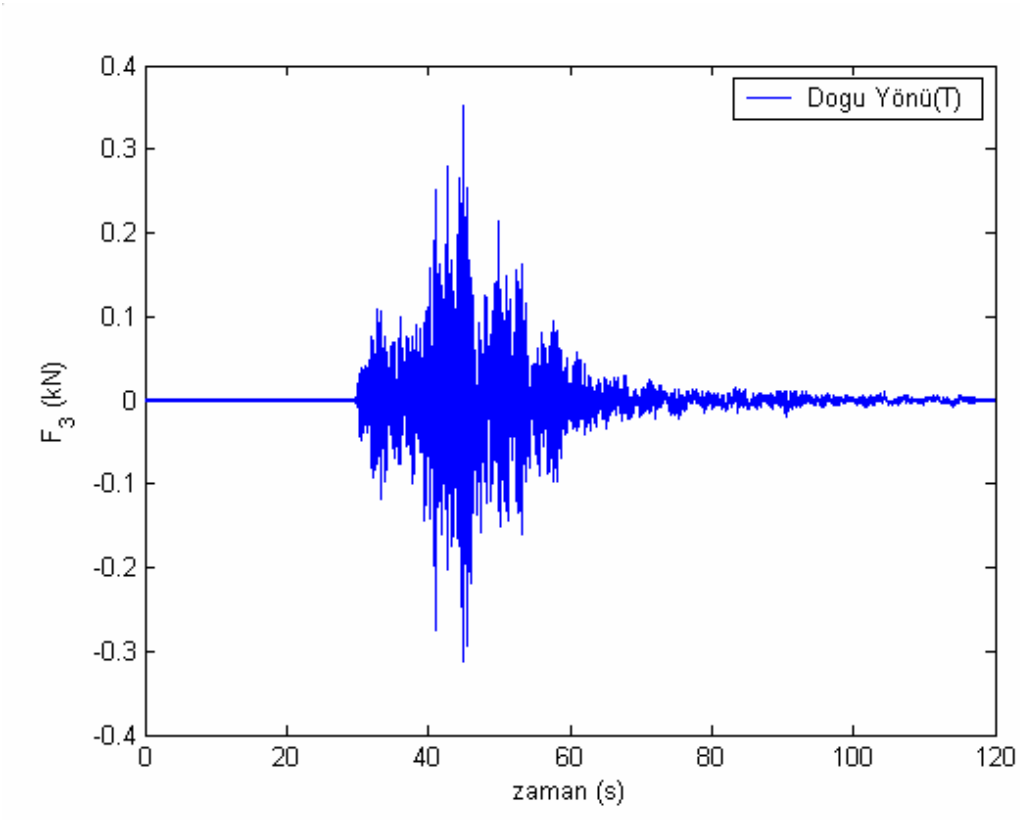

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
20
40
60
80
100
120

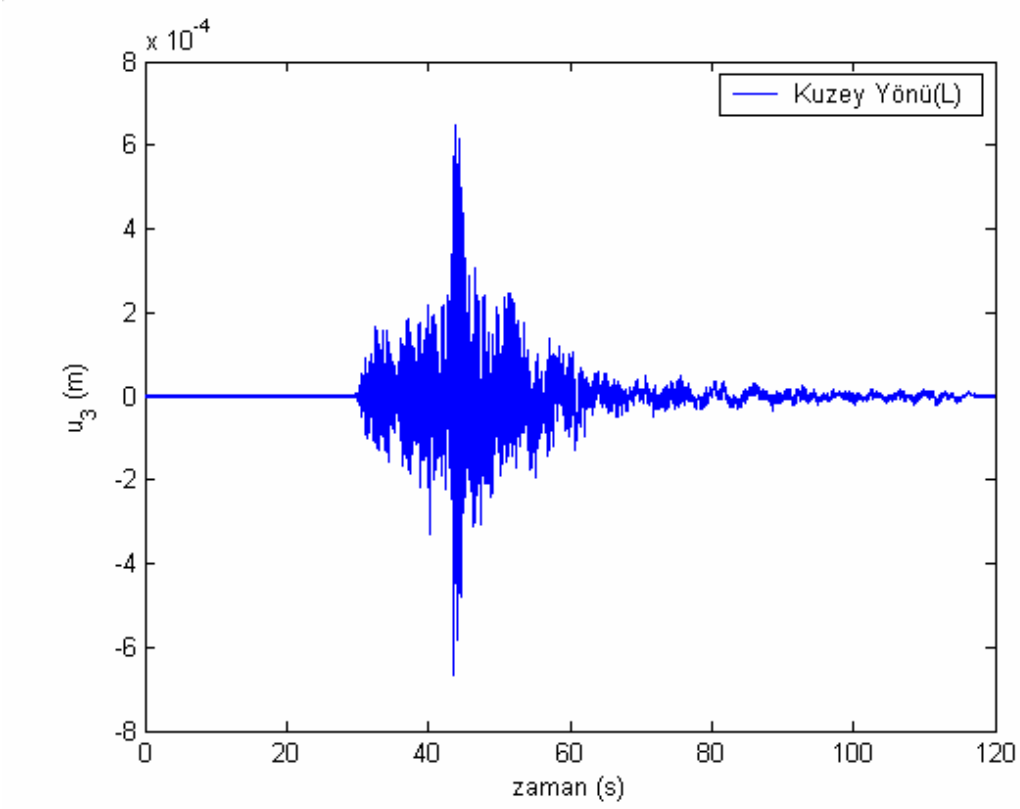

Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
20
40
60
80
100
120

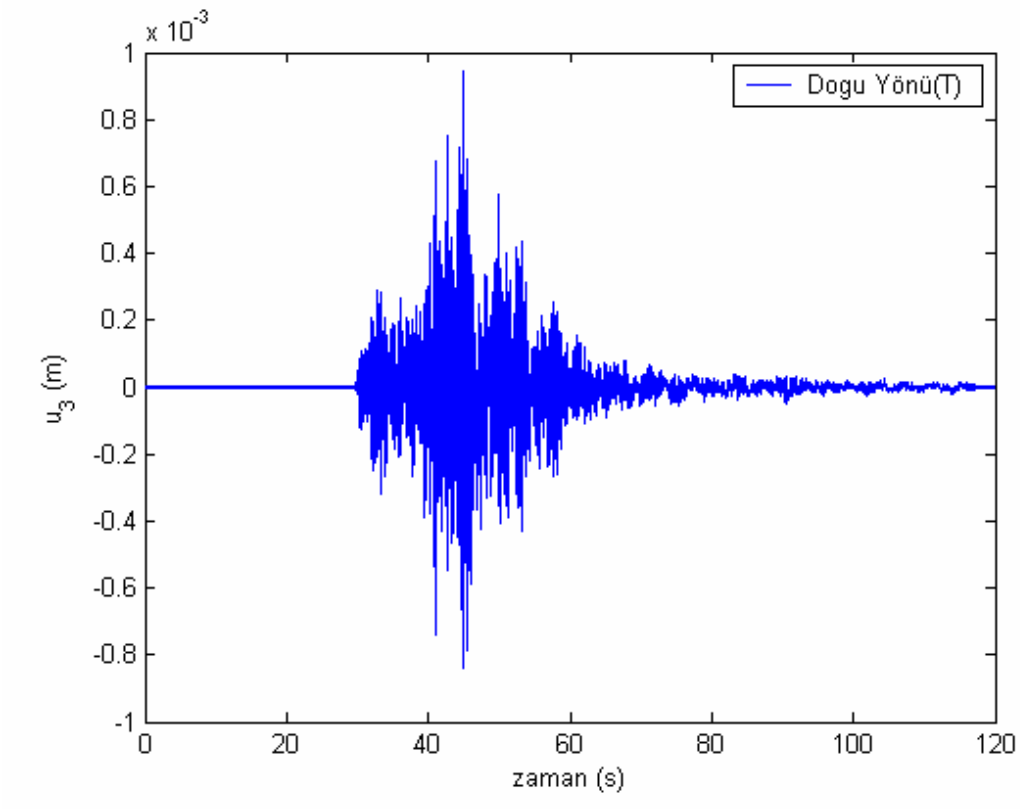

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)


Kuzey Yönü(L)
F3 (kN)
zaman (s)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
0
20
40
60
80
100
120


Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
20
40
60
80
100
120

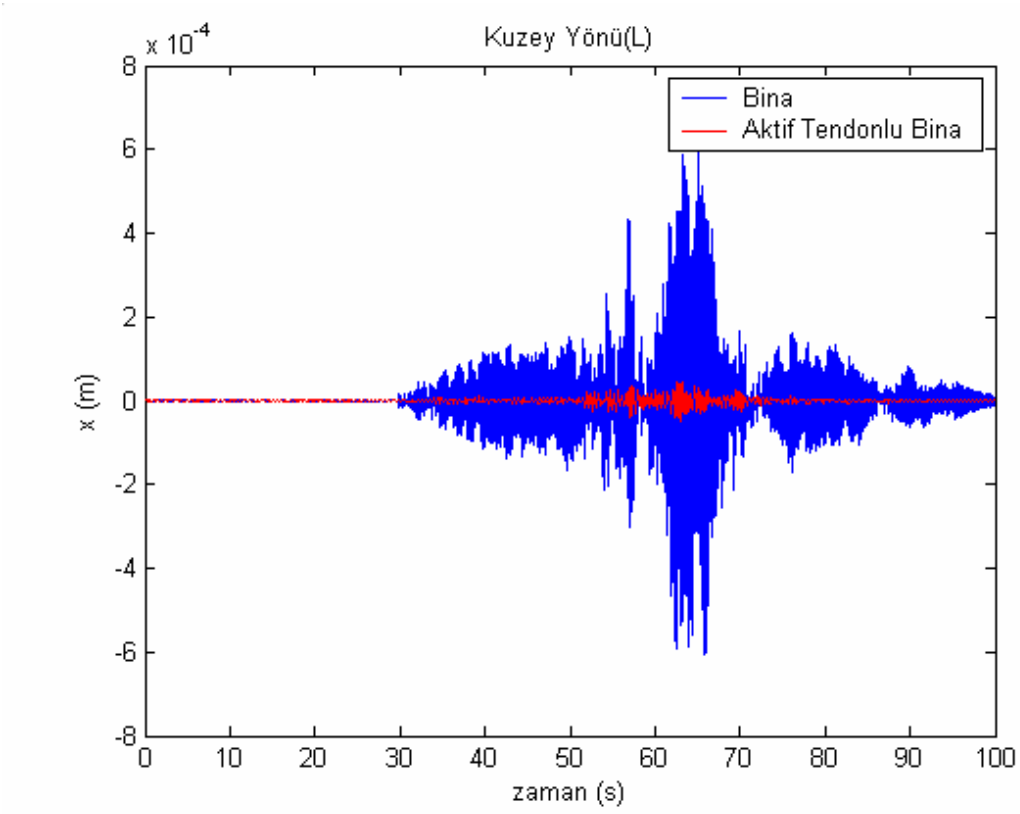

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

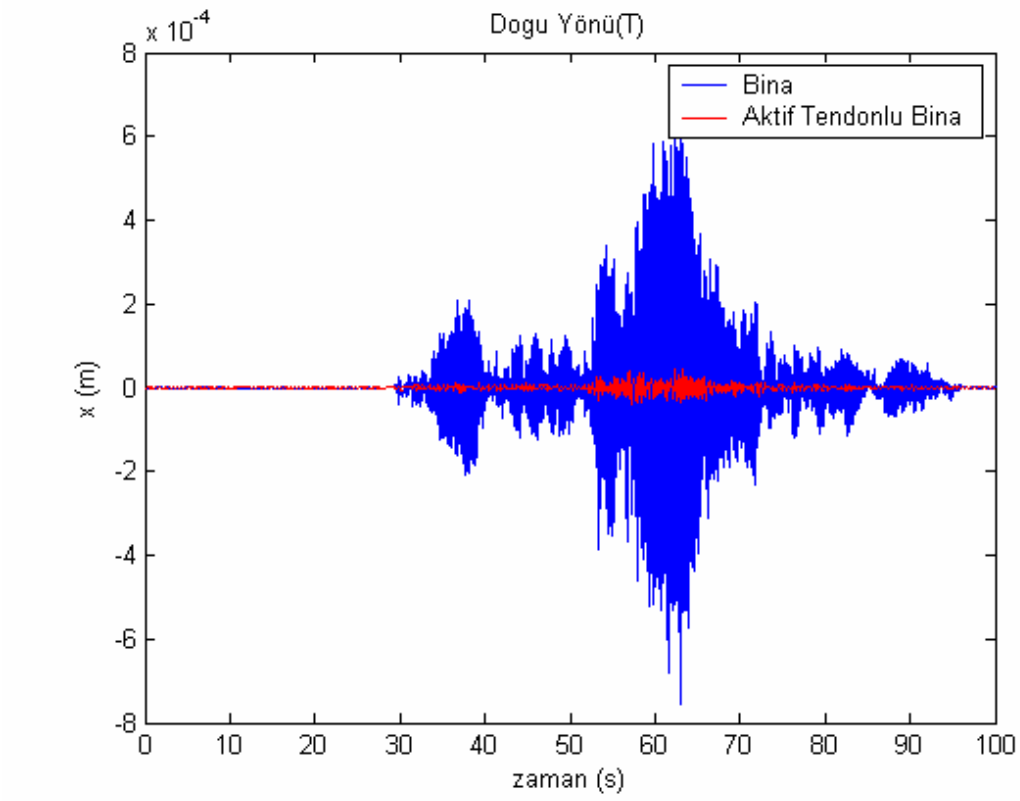

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

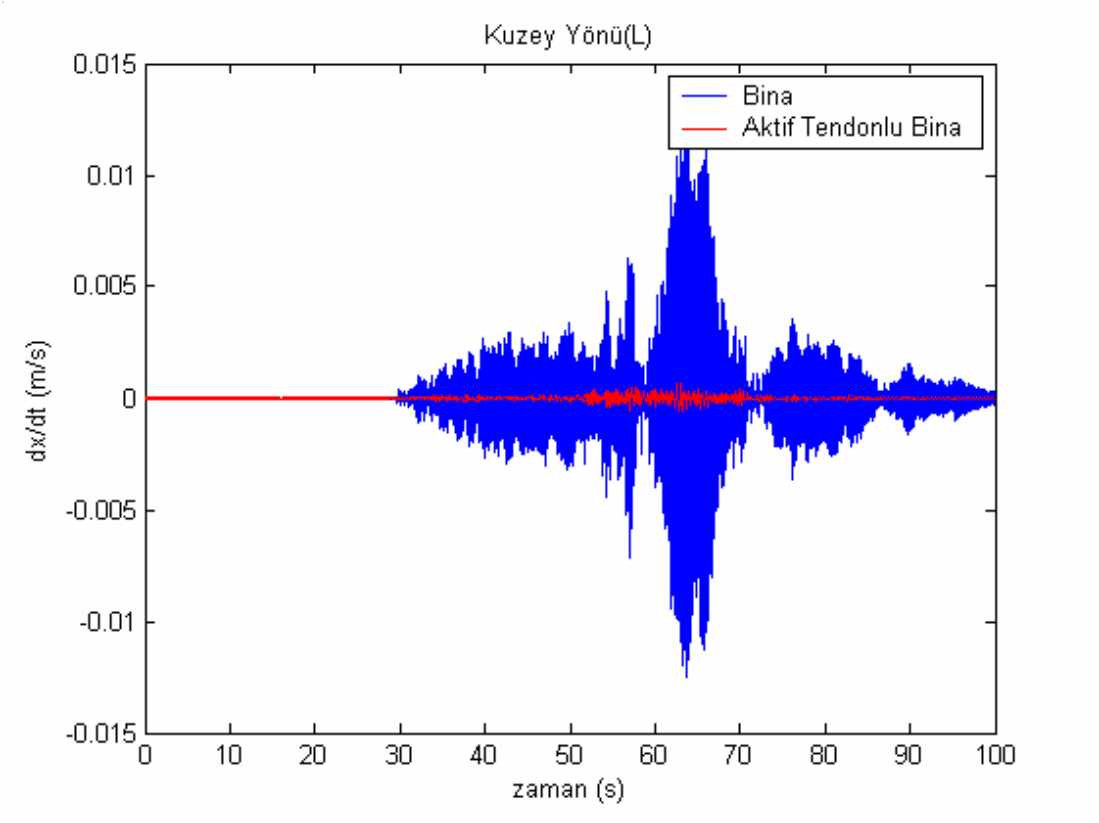
EK 6

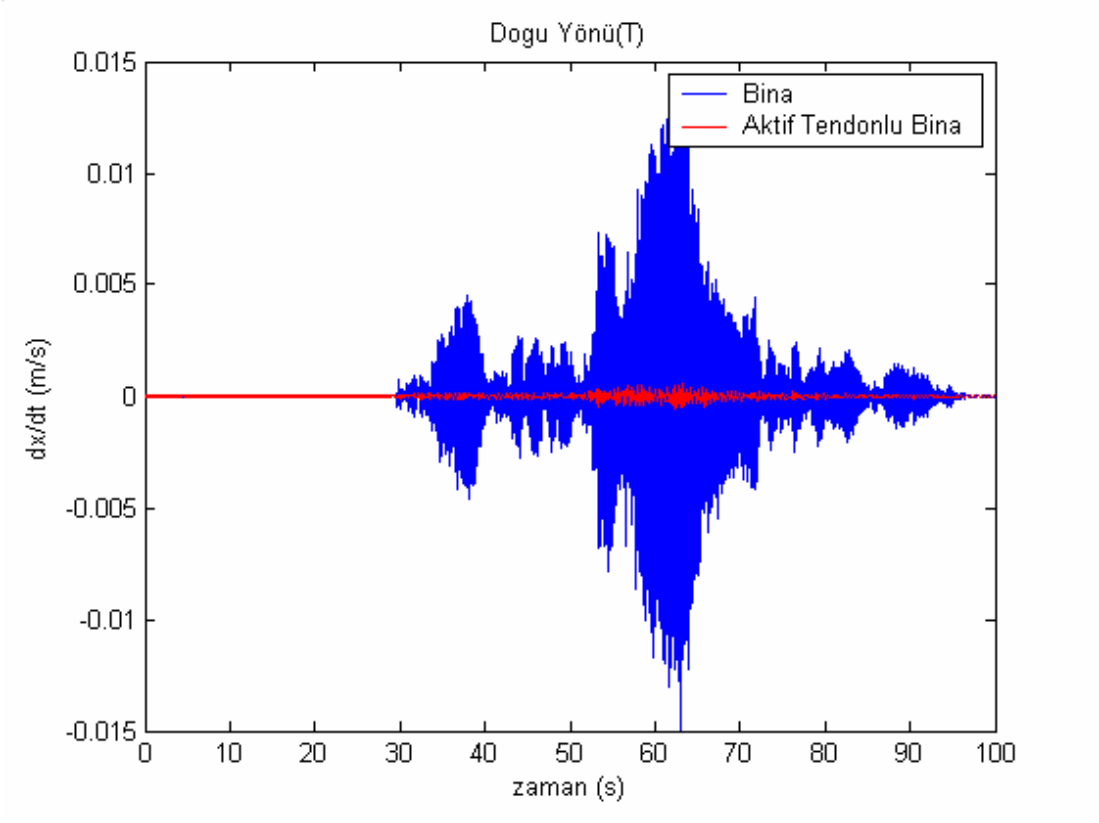
Düzce(1999) Depremi İstanbul Kaydı için Grafikler

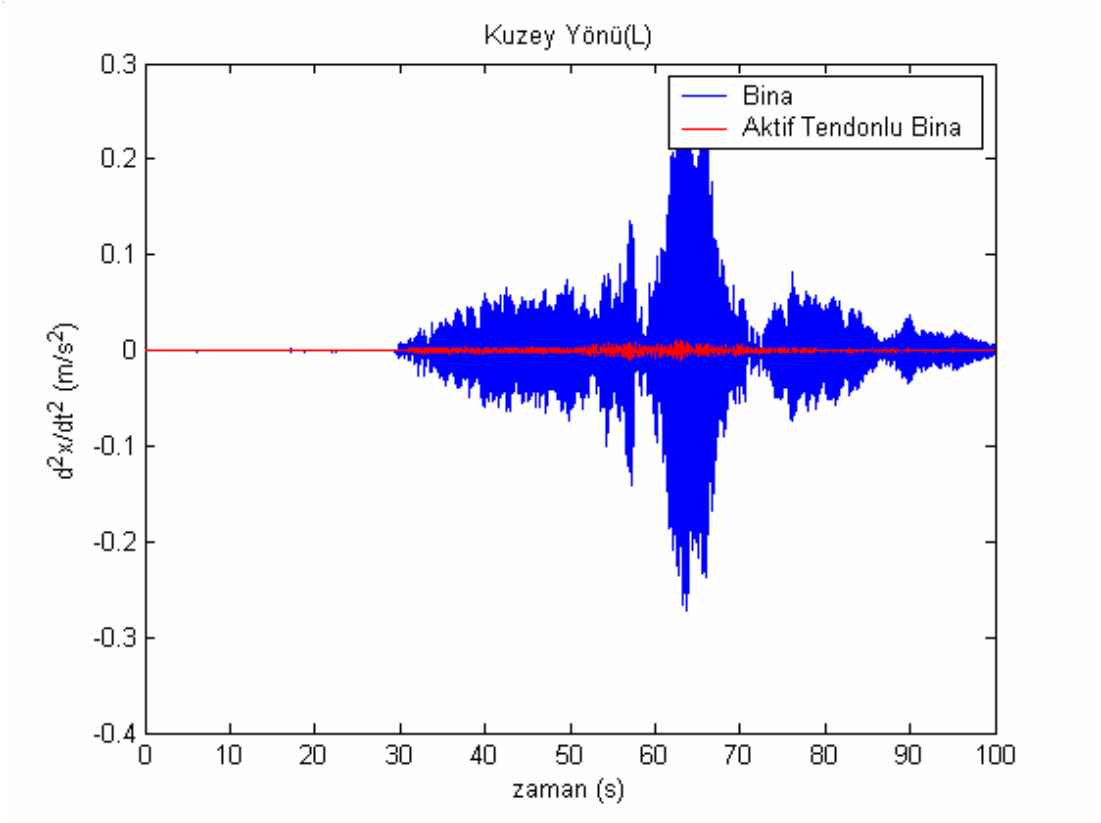
EK 4a: Tek Serbestlik Dereceli Sistem

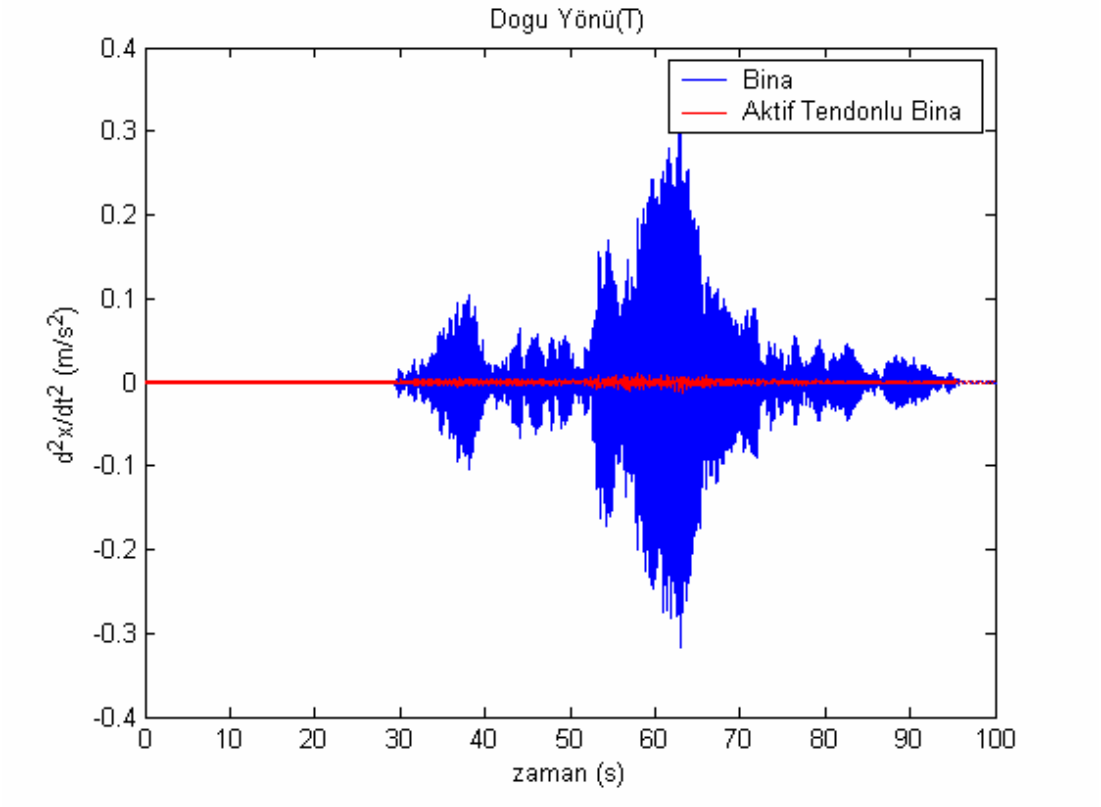


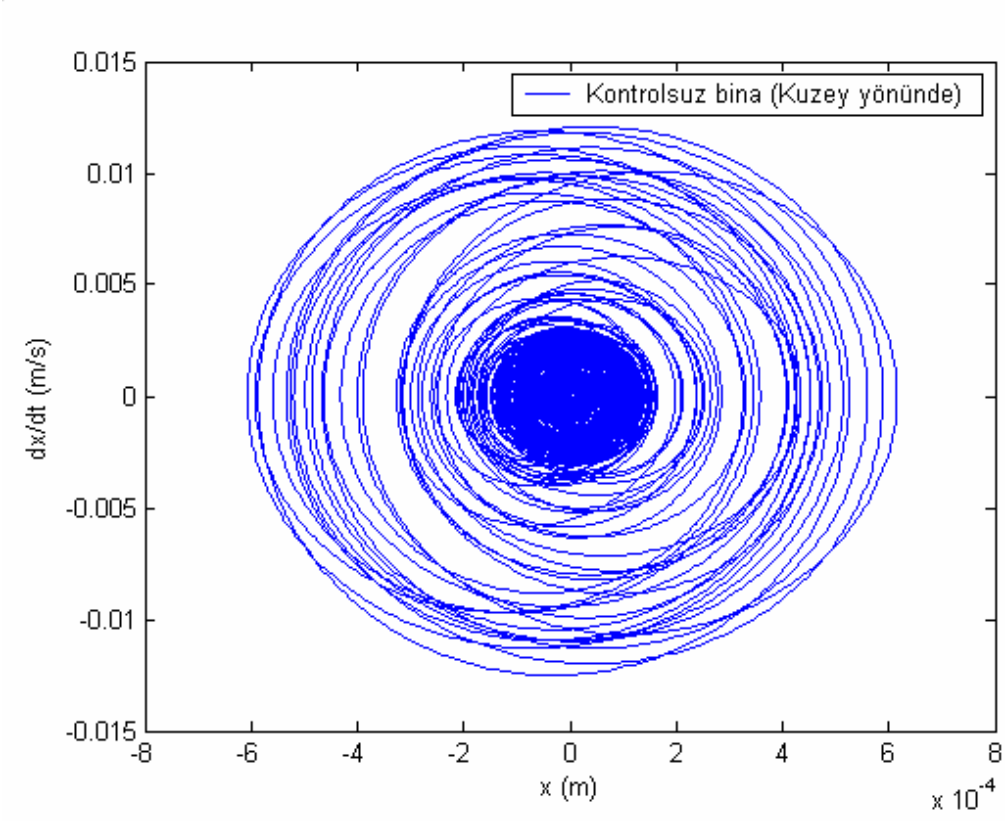


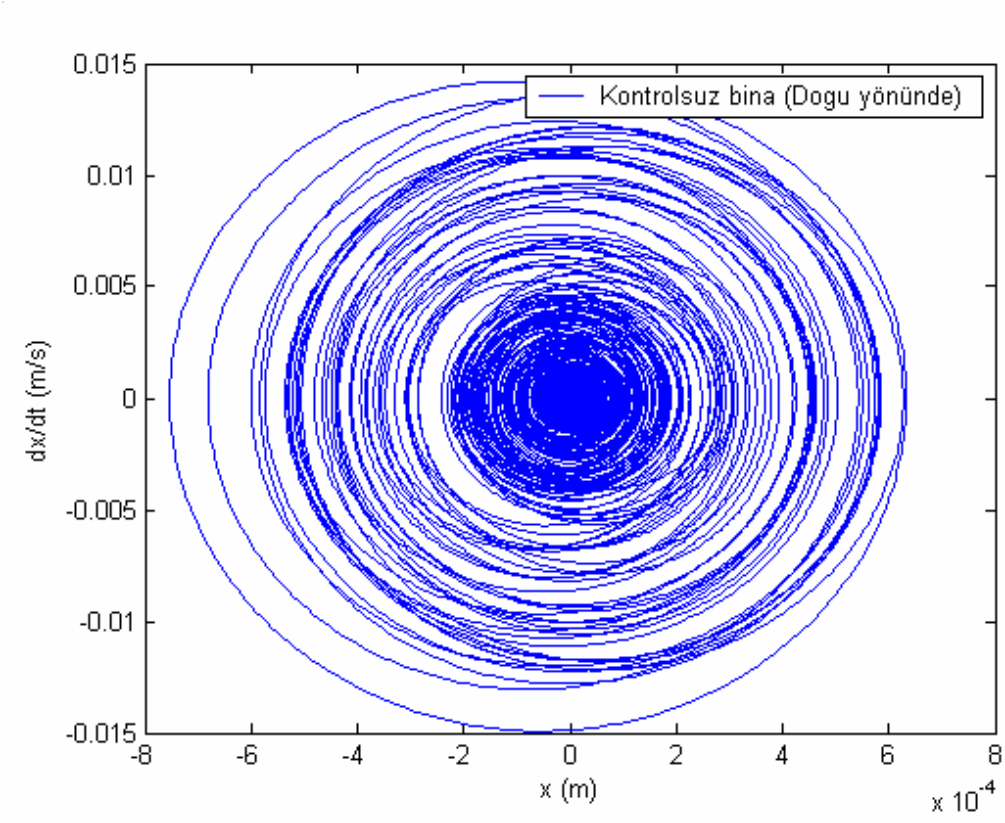

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

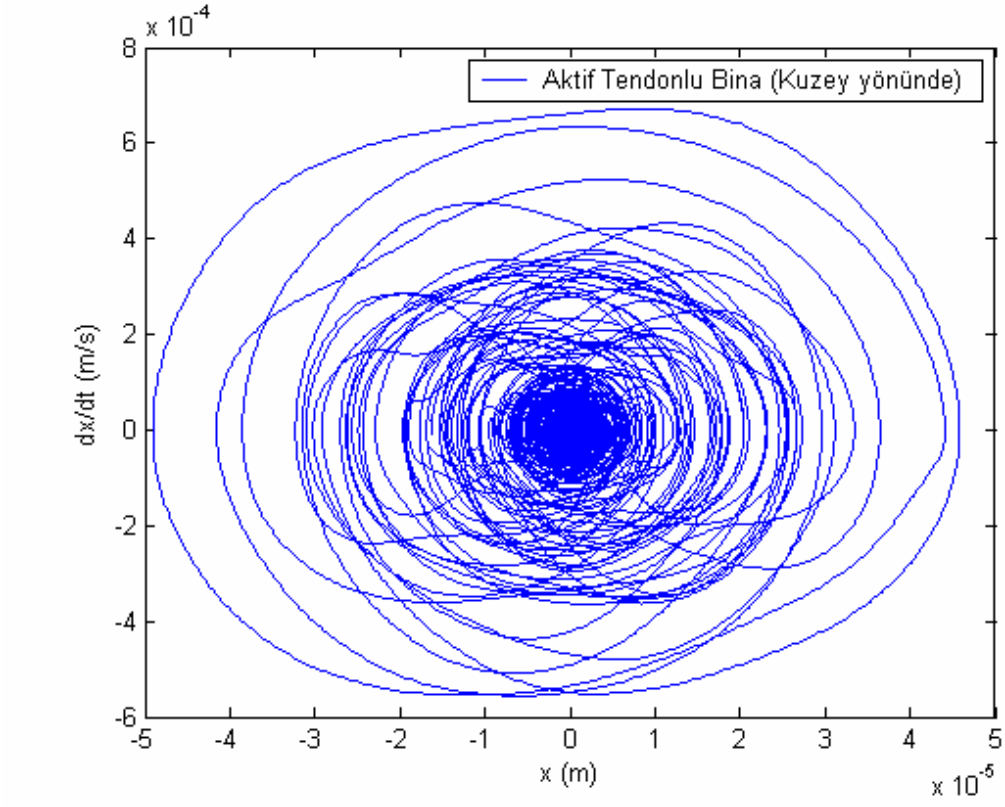

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

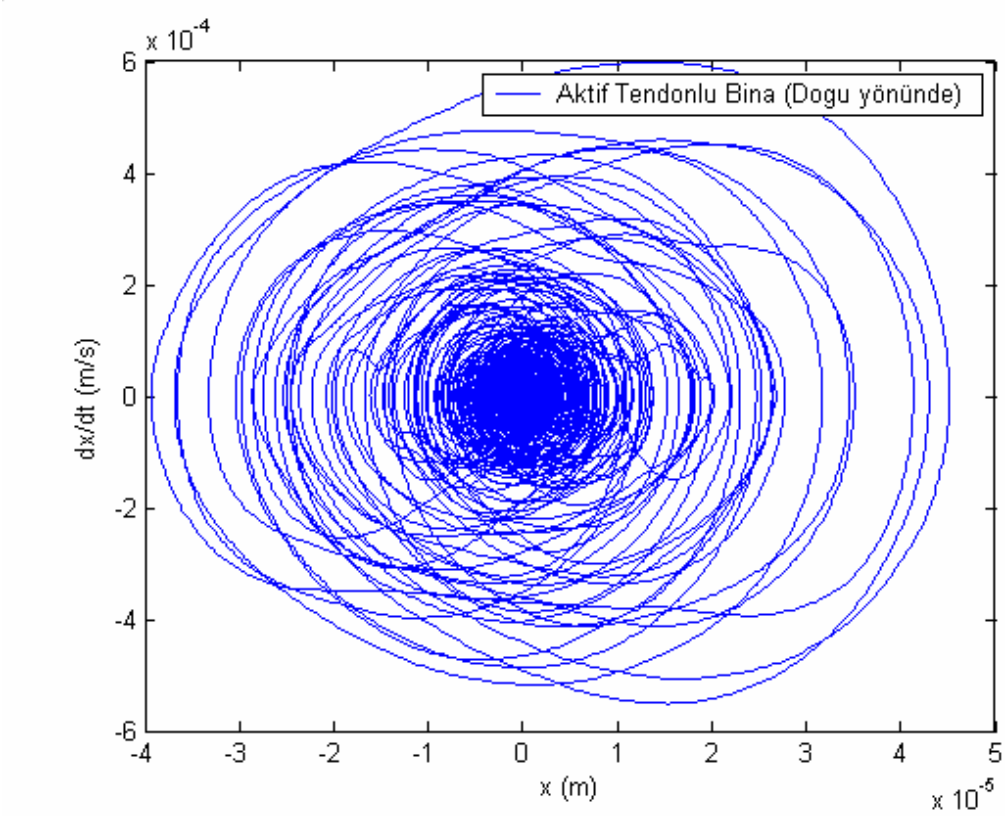

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x/dt² (m/s²)
zaman (s)
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

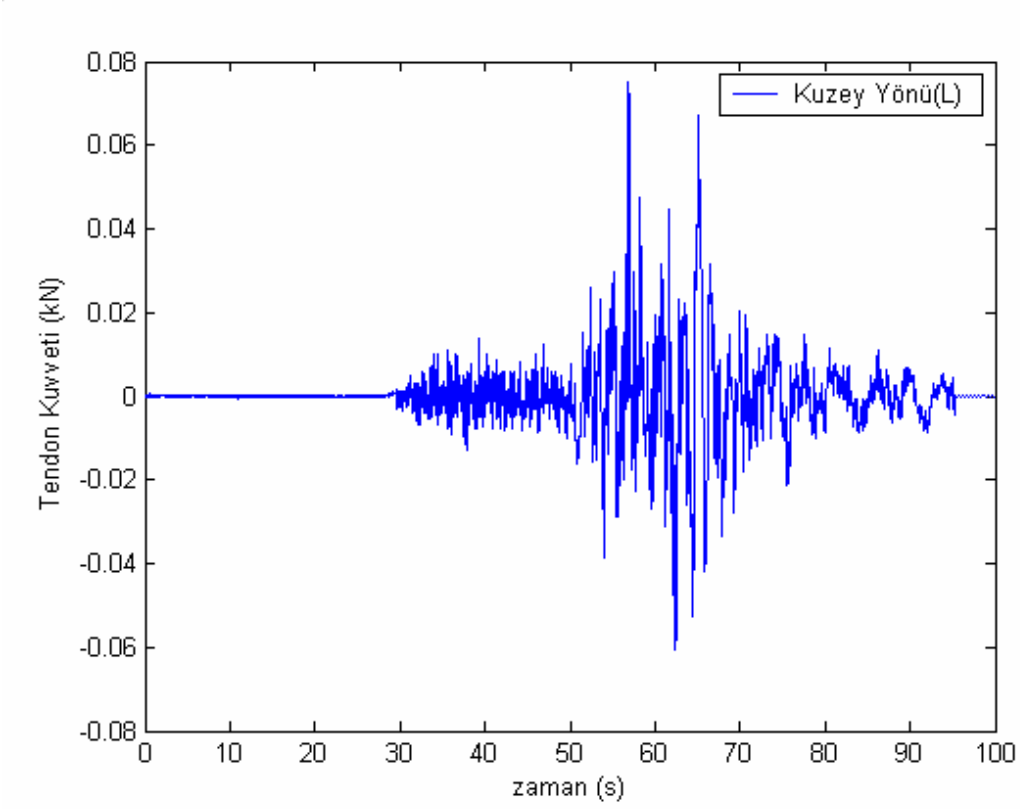

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x/dt² (m/s²)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

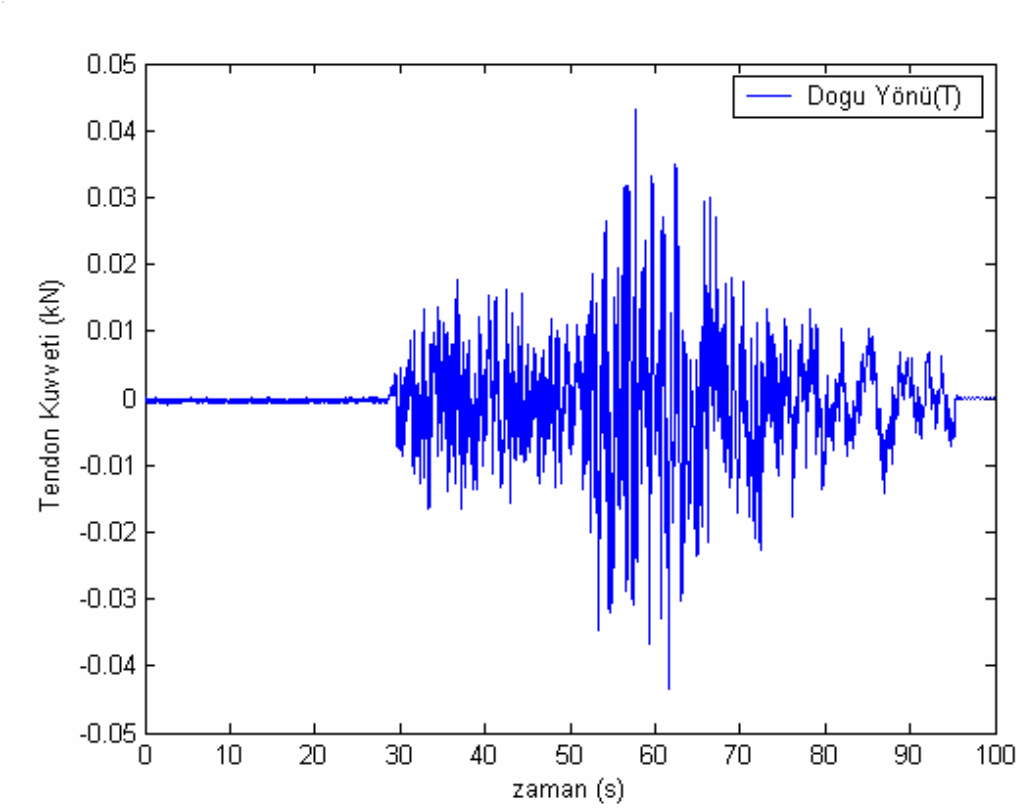

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-4
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8

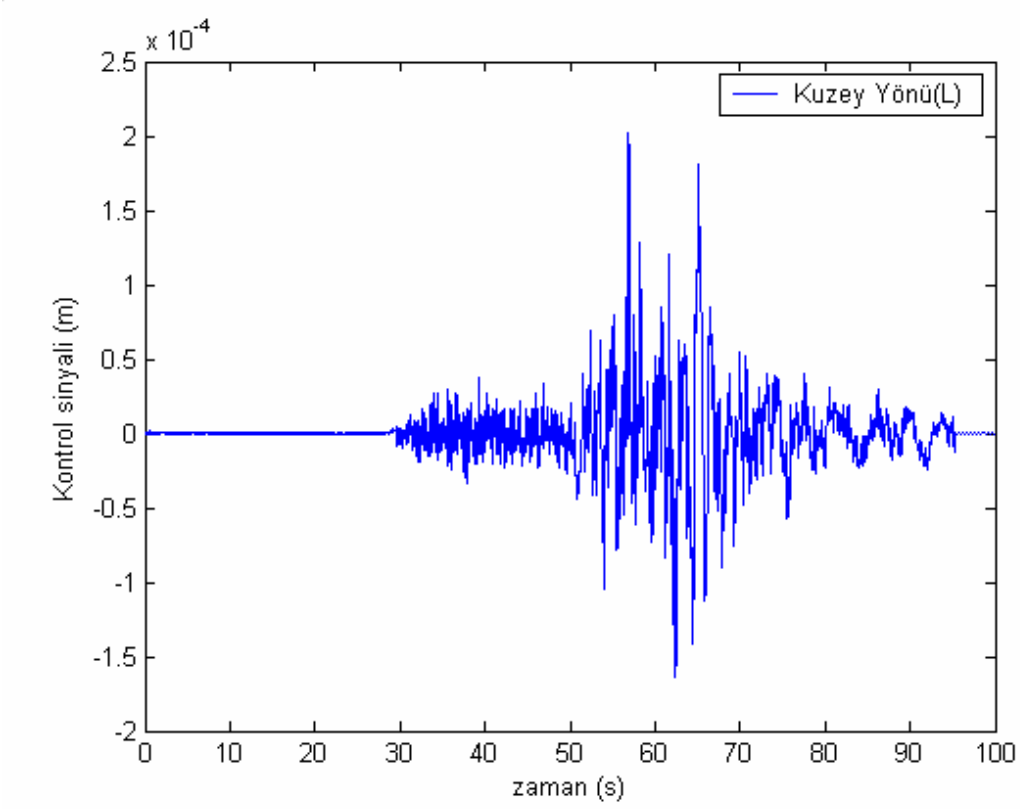

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-4
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8

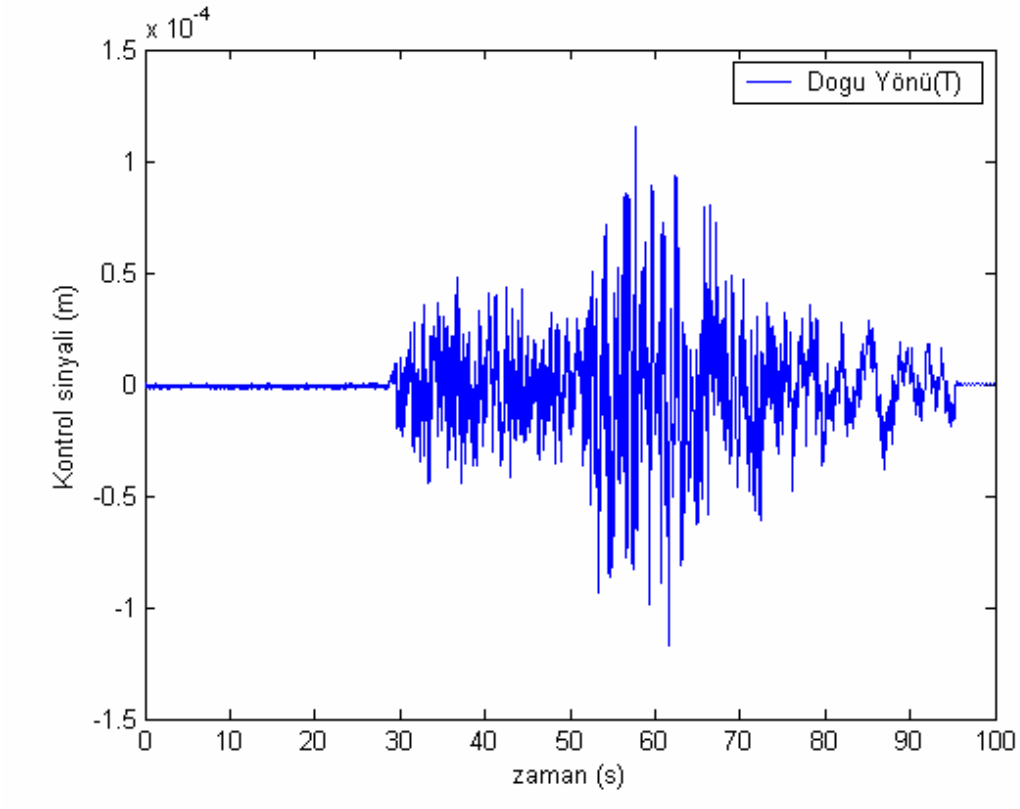

x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-5


x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-5

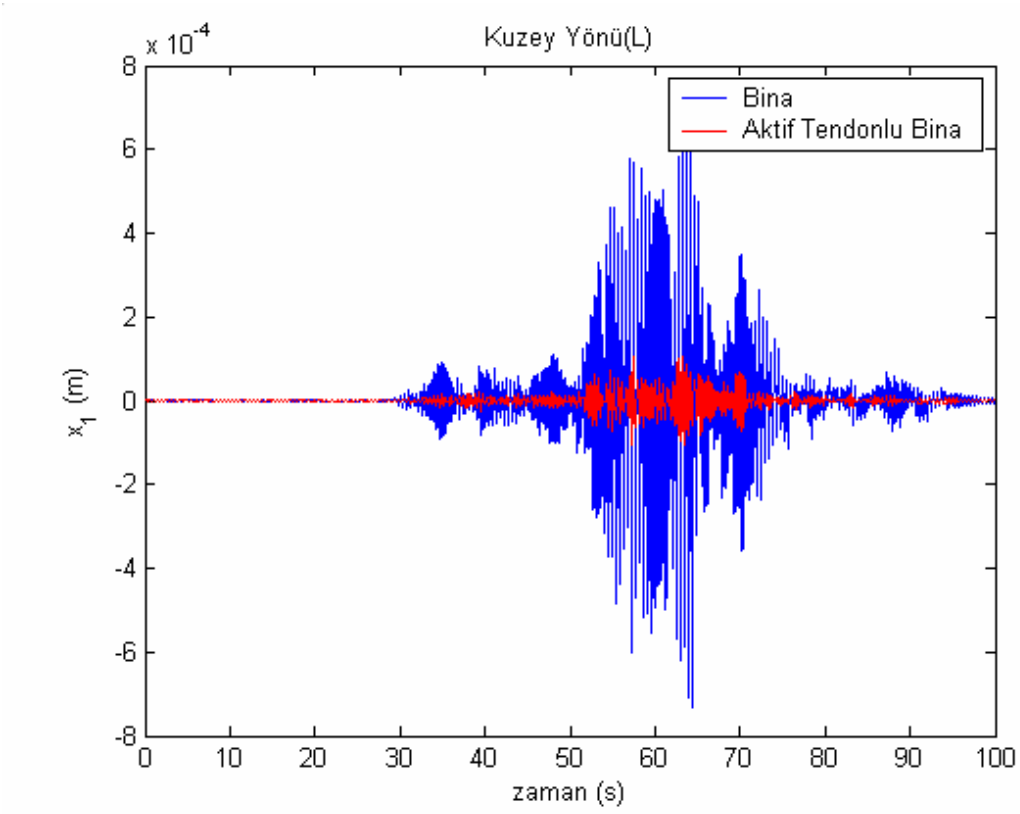

Kuzey Yönü(L)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

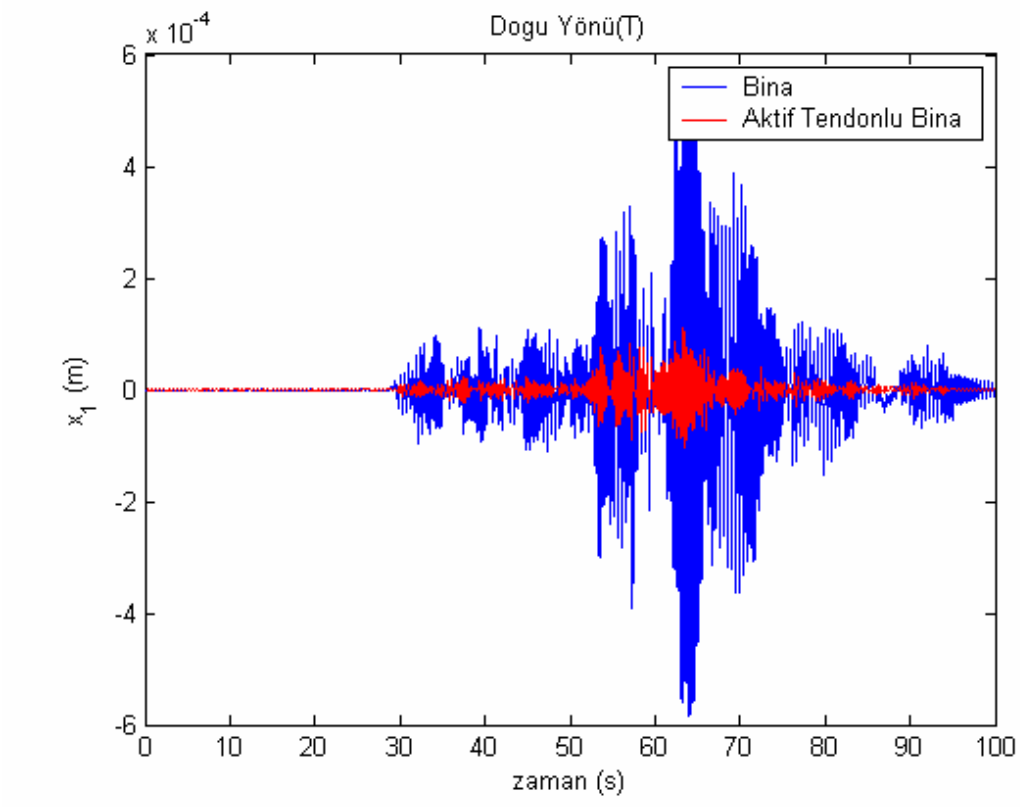

Dogu Yönü(T)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

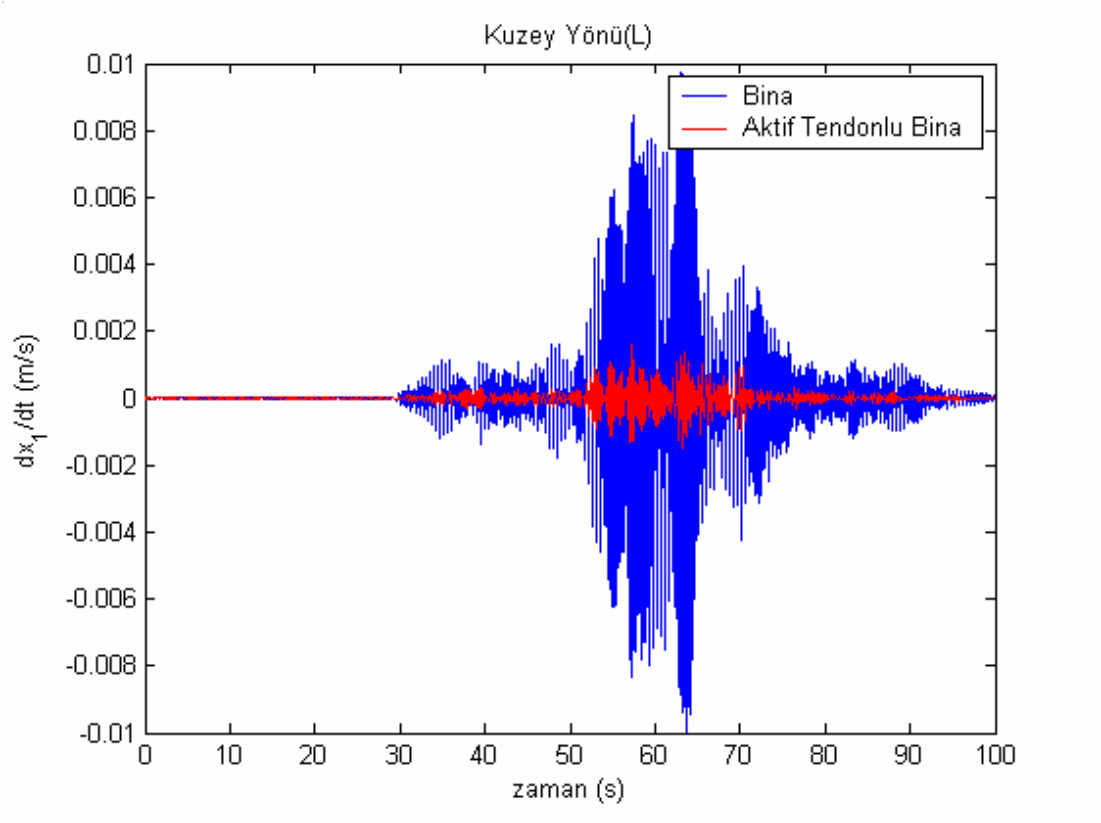

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

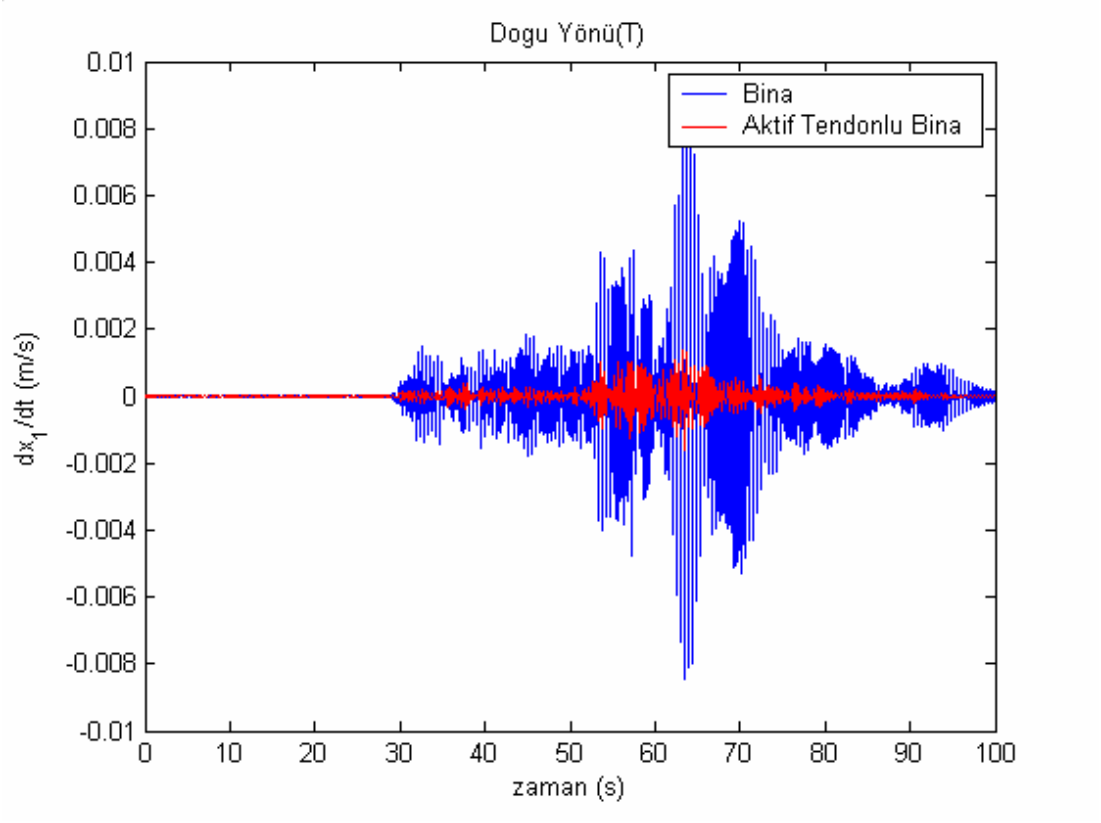

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)

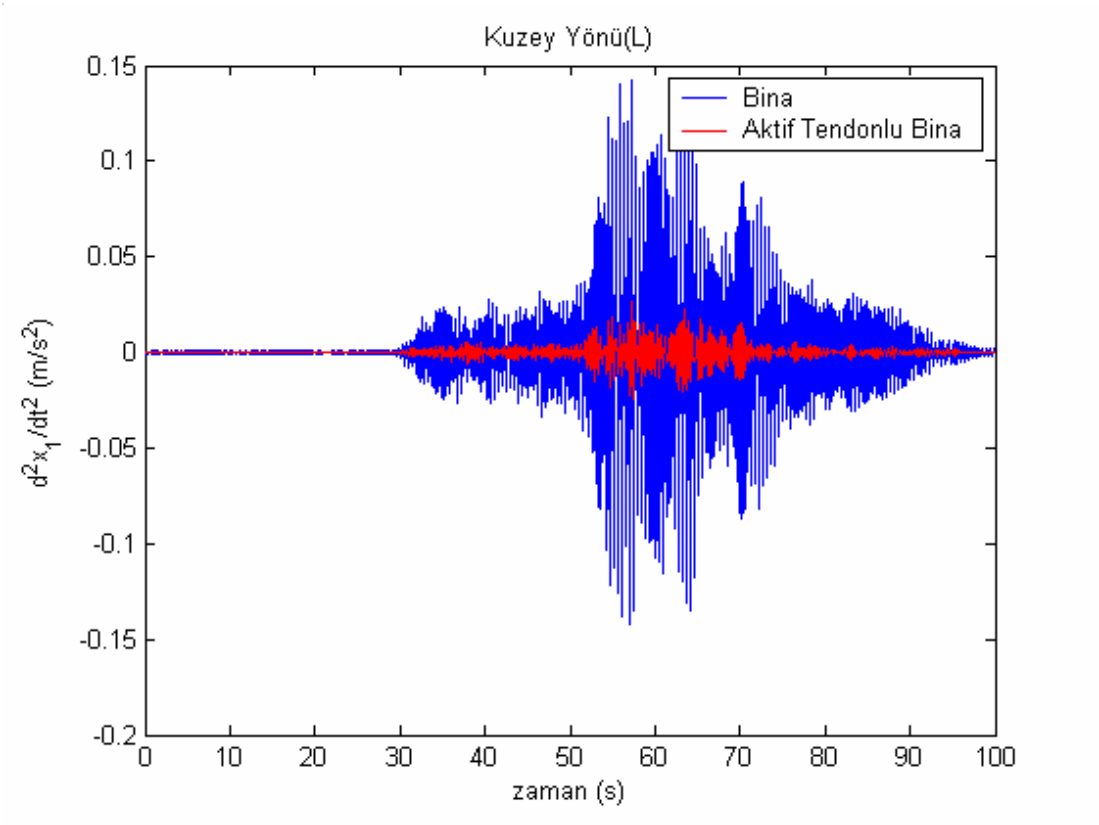
EK 4b: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Sadece Birinci Kattan Kontrollü)

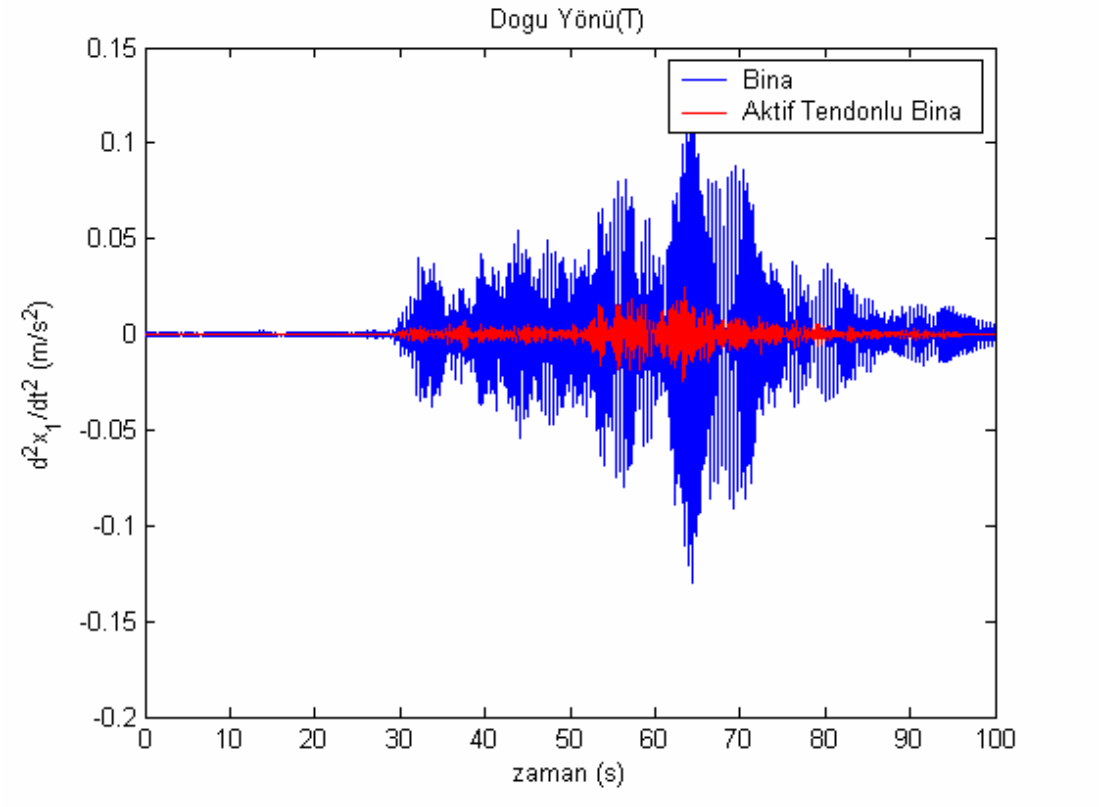


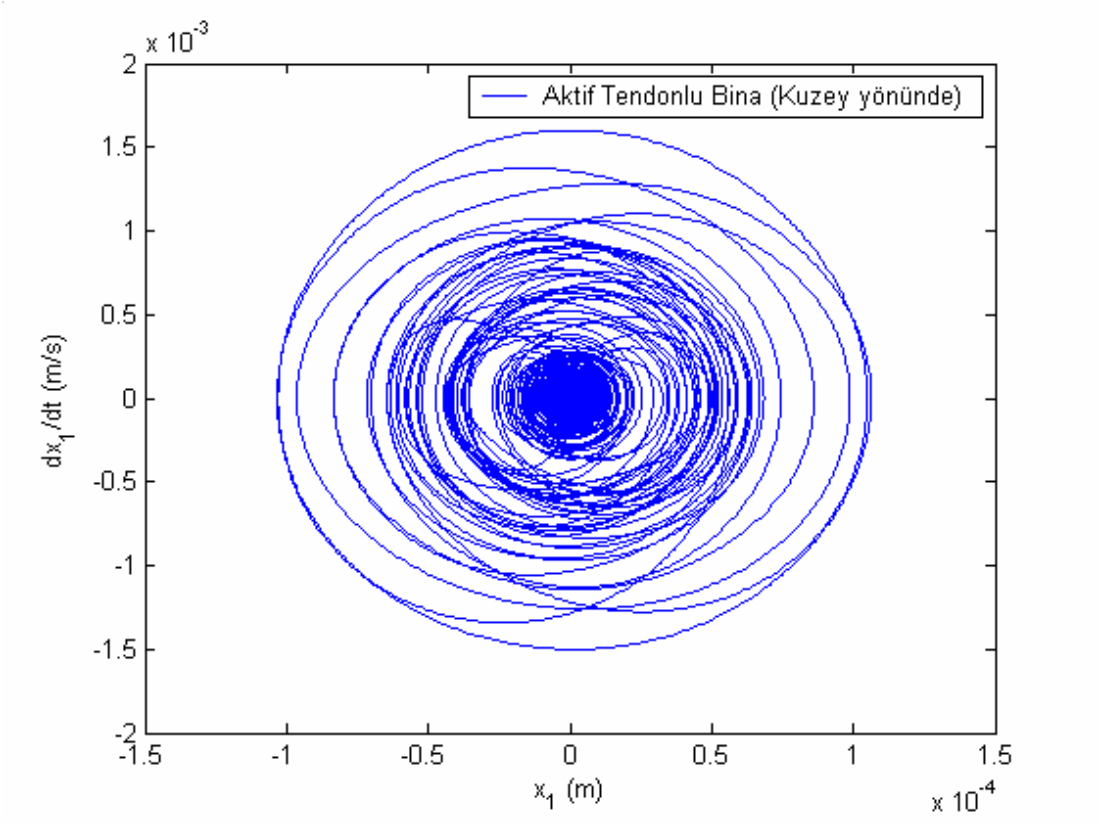


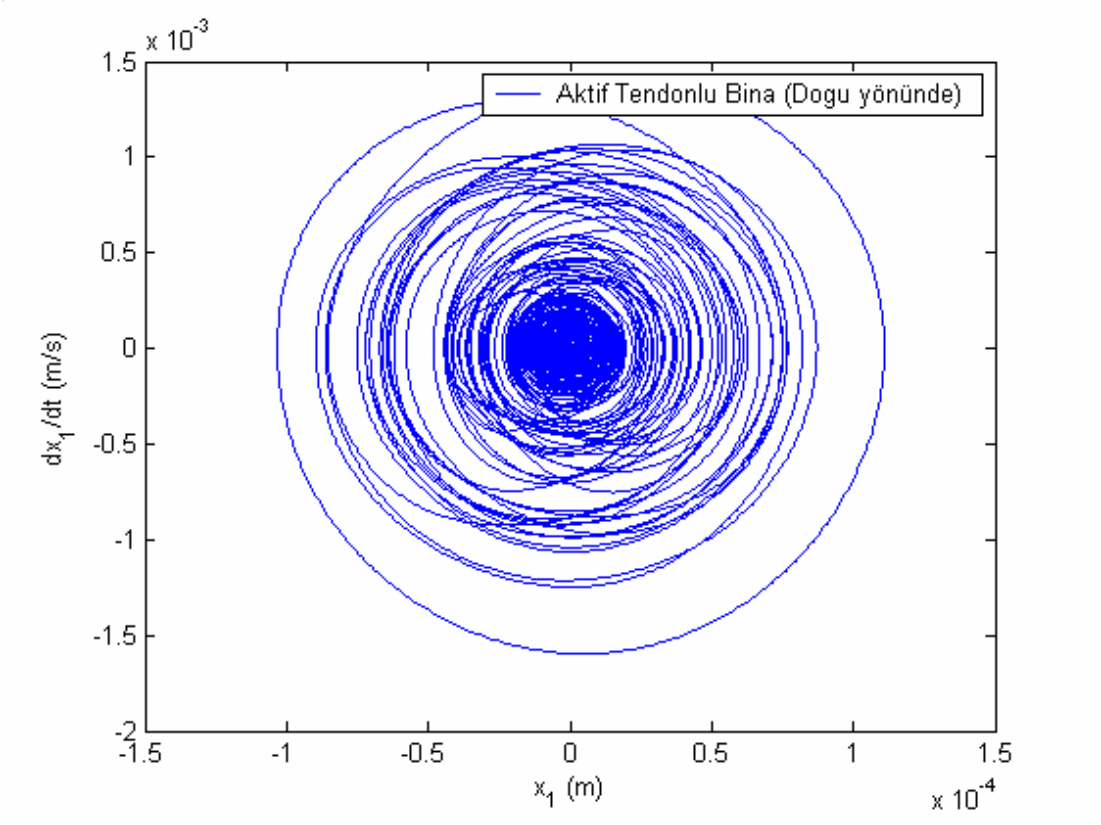

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

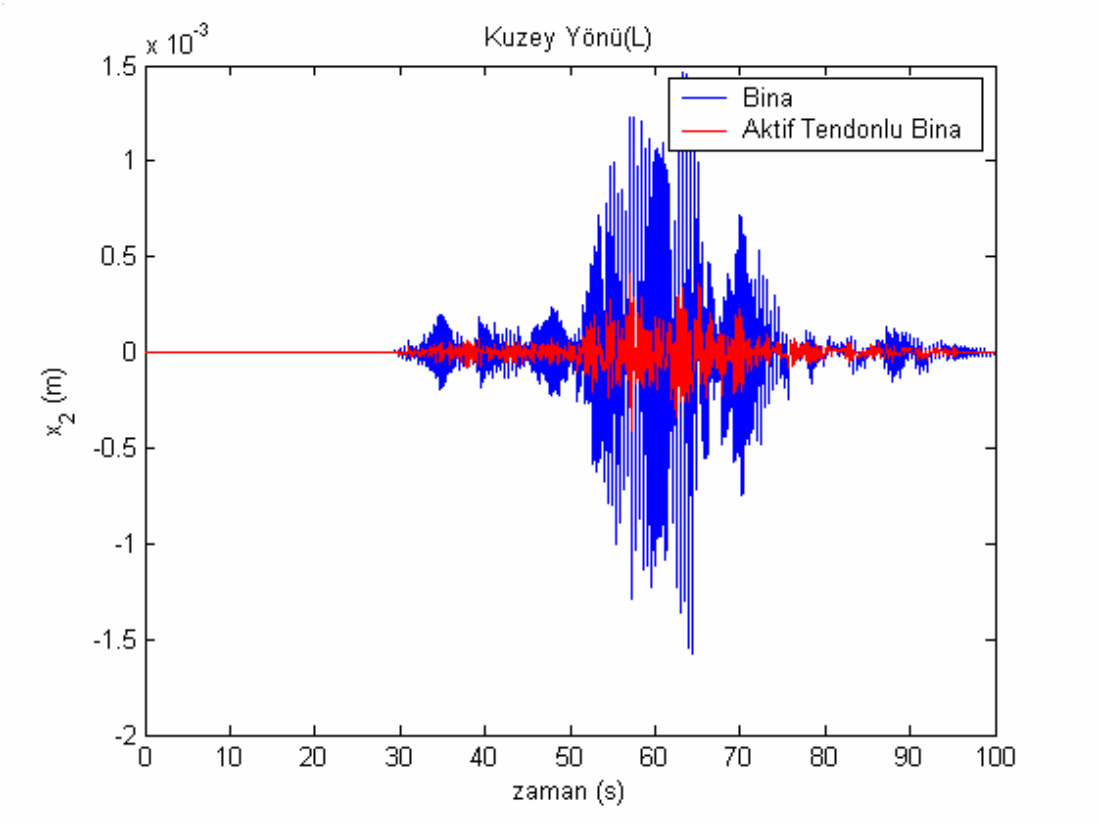

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

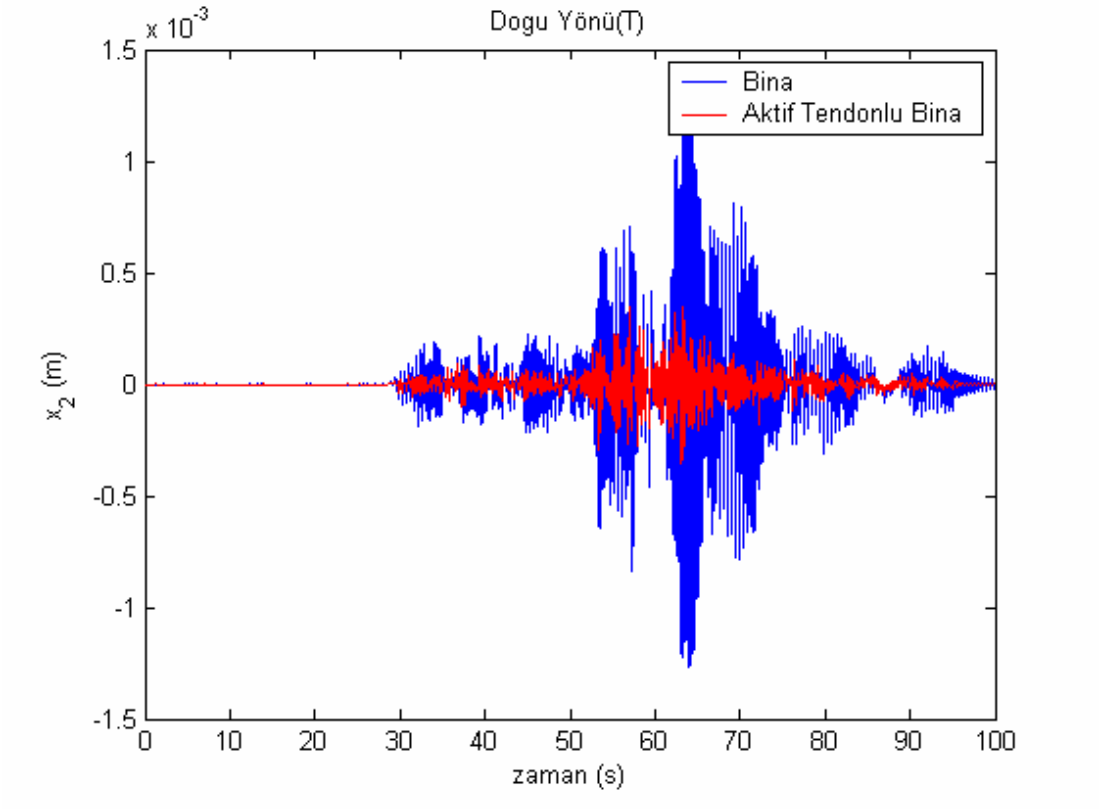

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

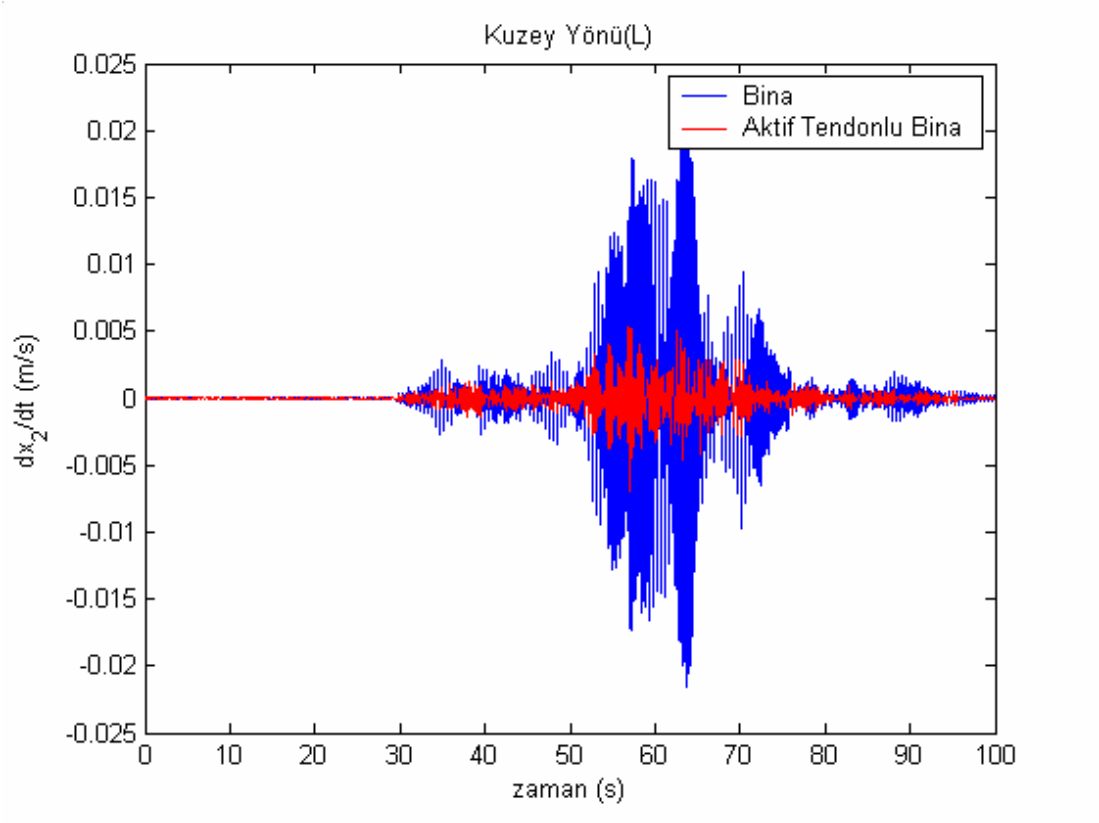

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

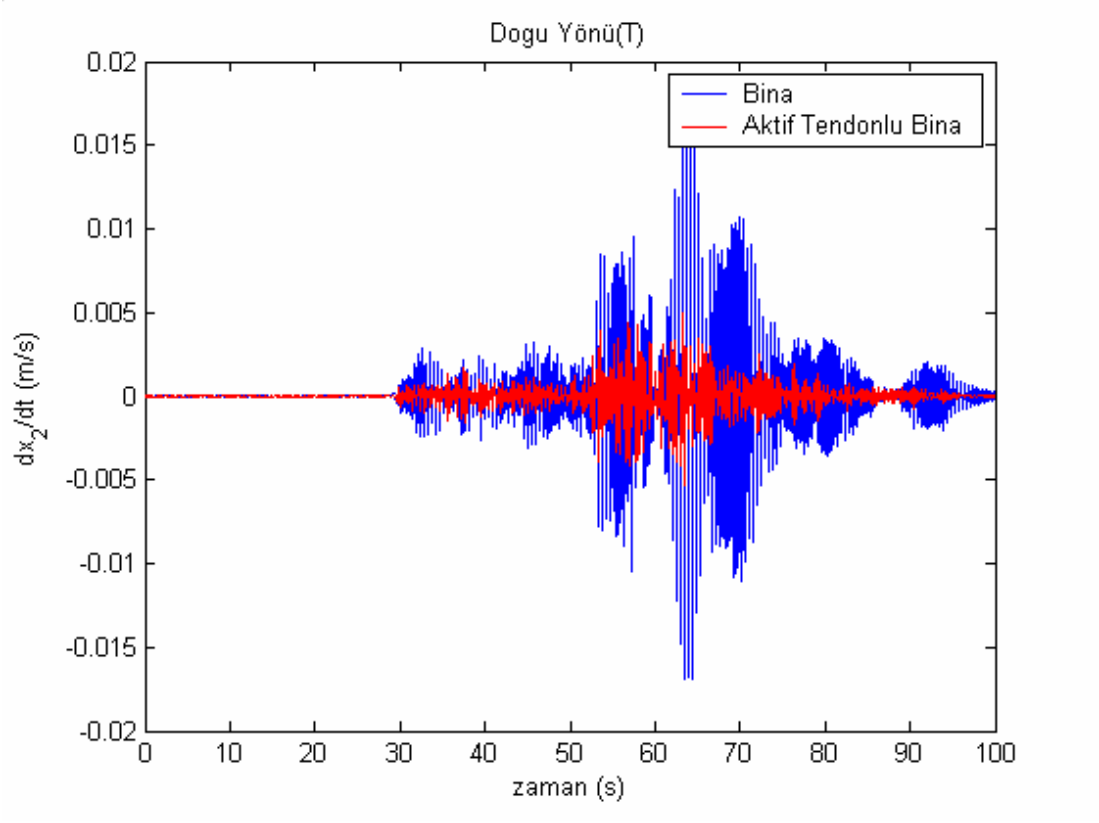

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-4

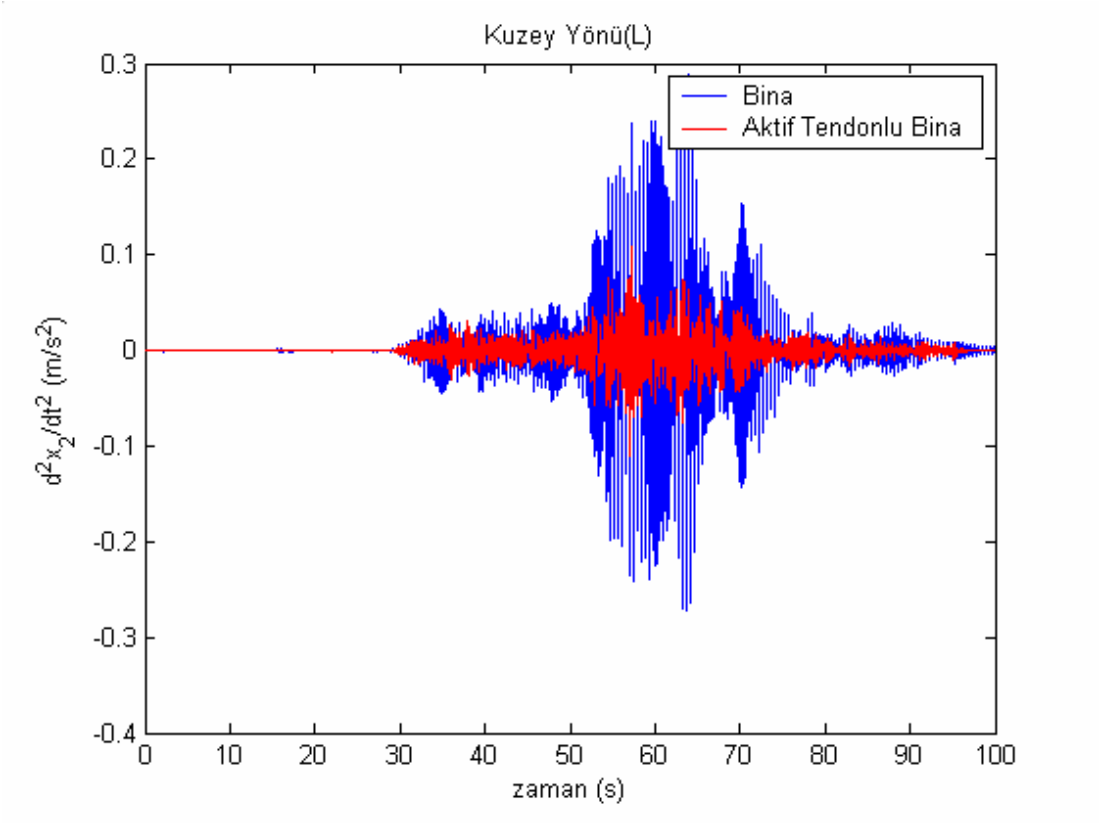

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-4

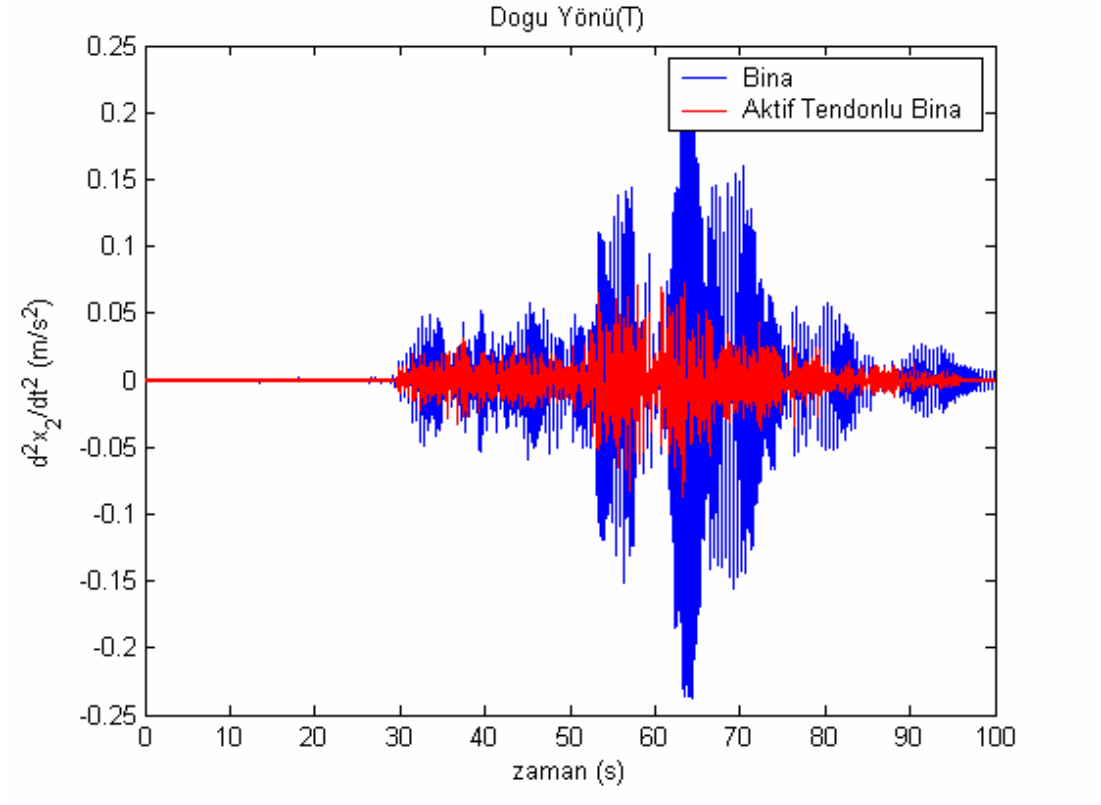

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

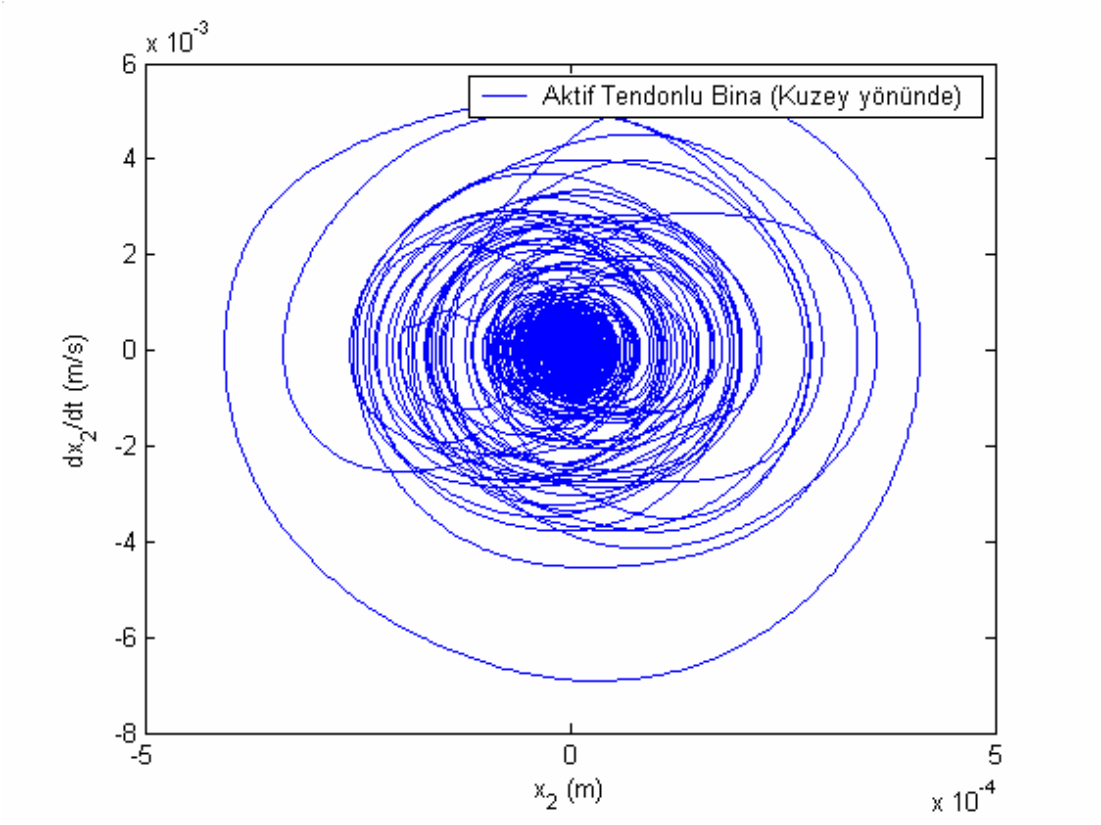

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

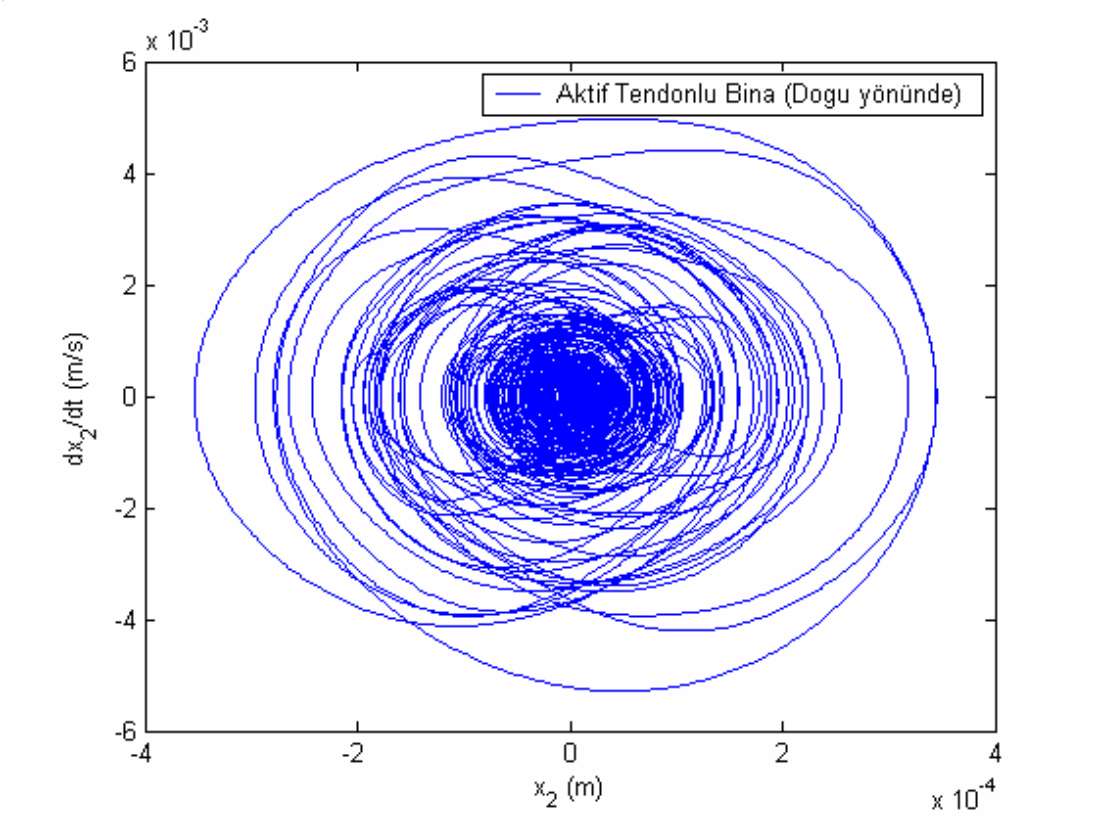

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

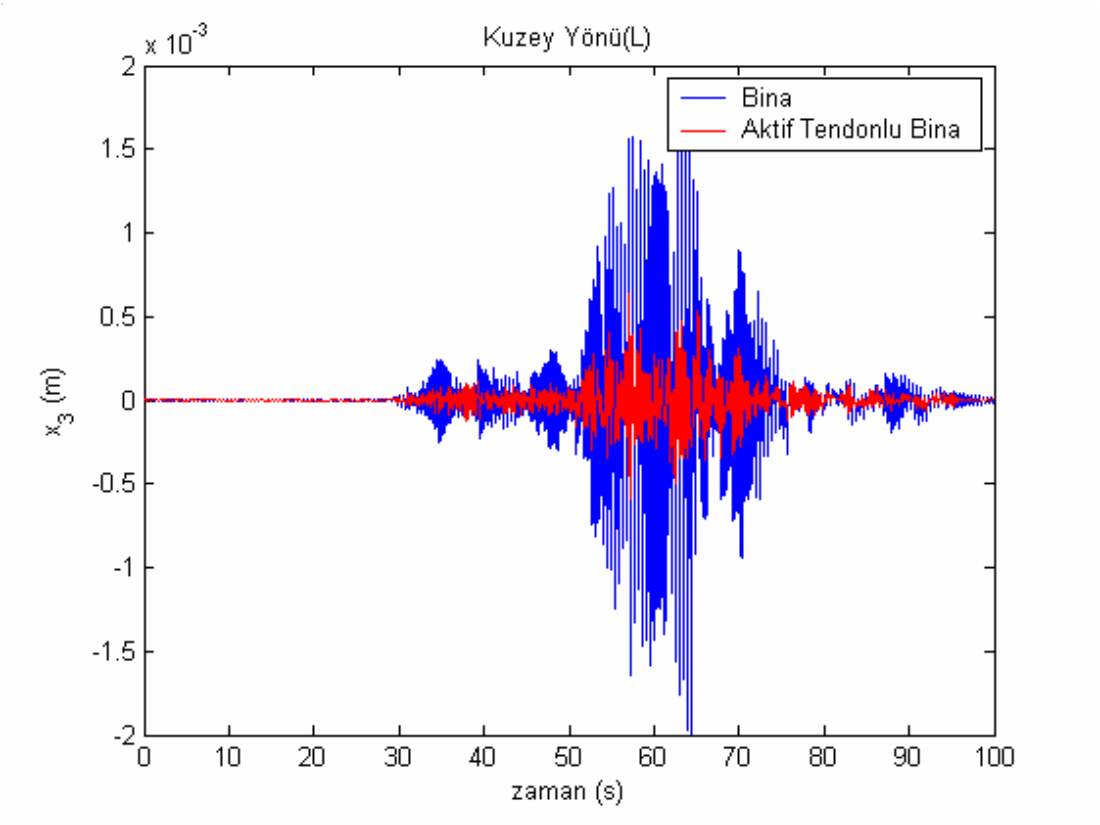

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

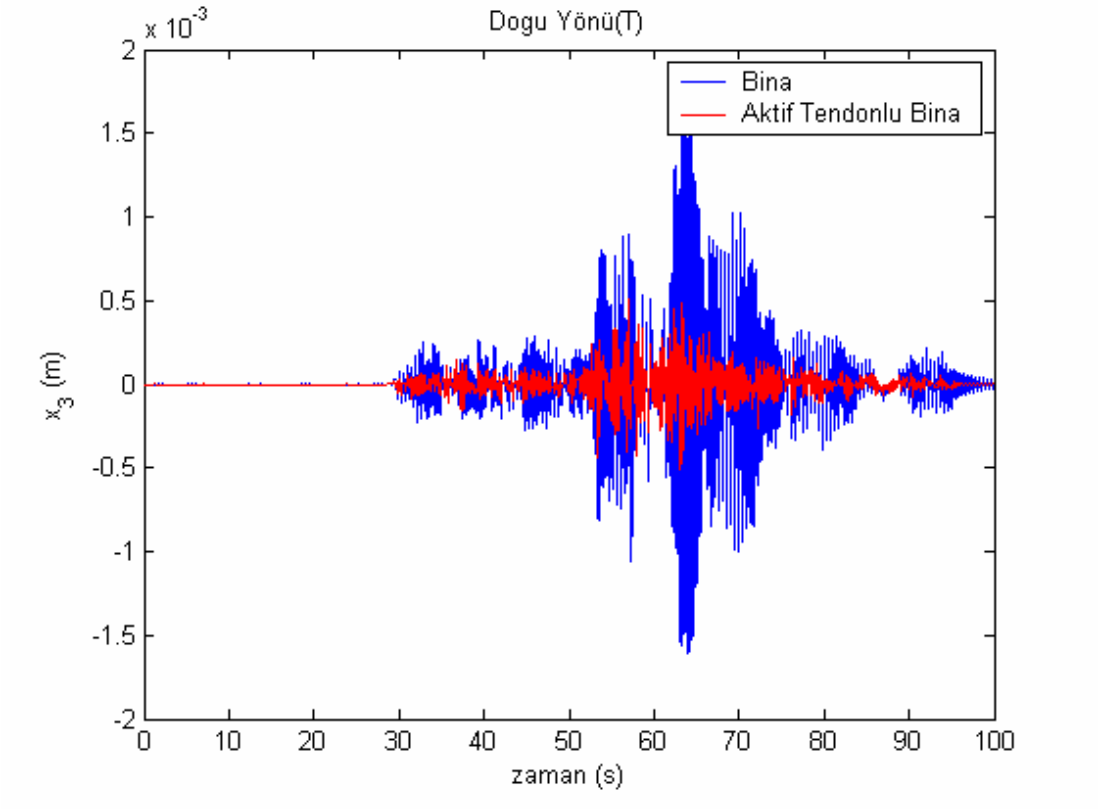

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

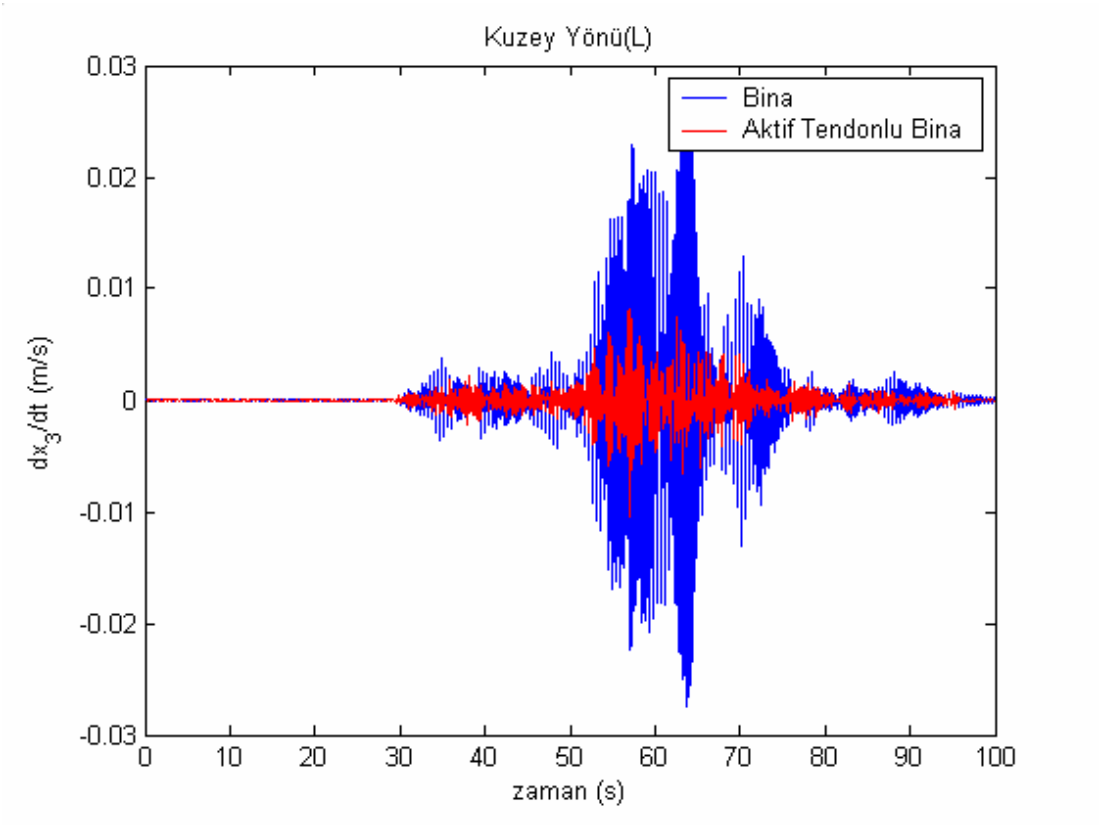

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

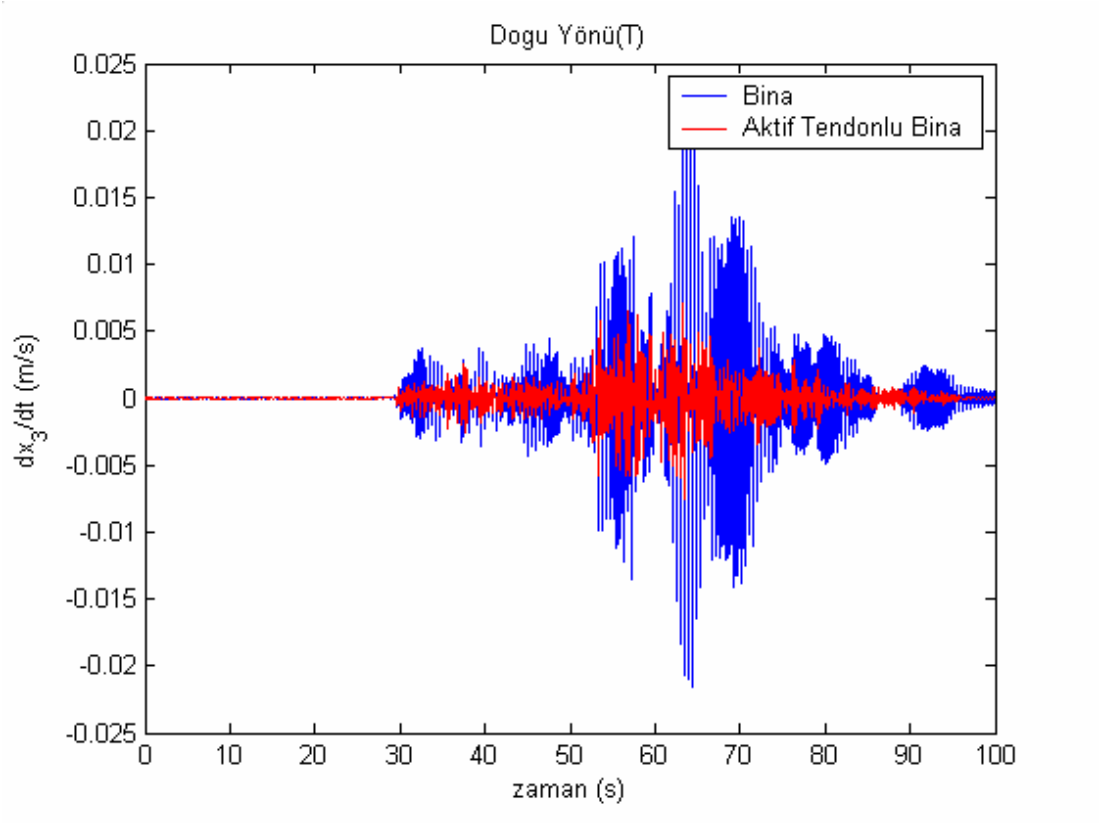

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-4

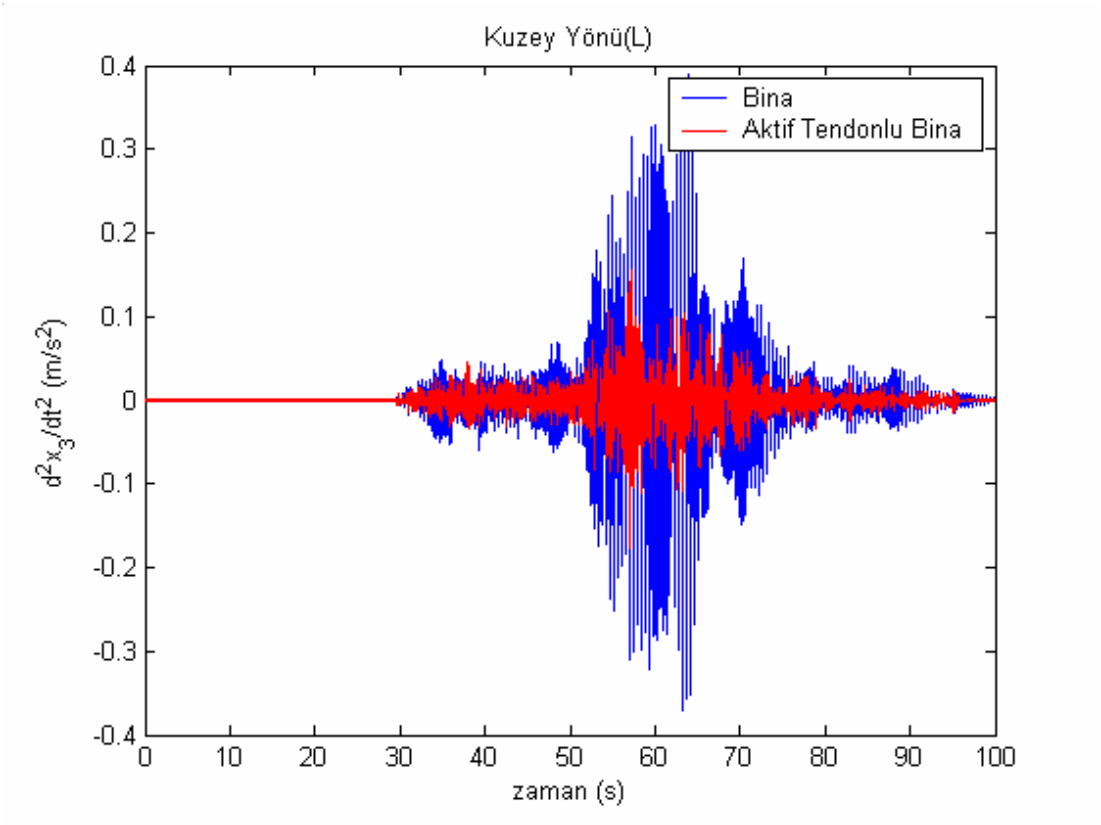

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-4

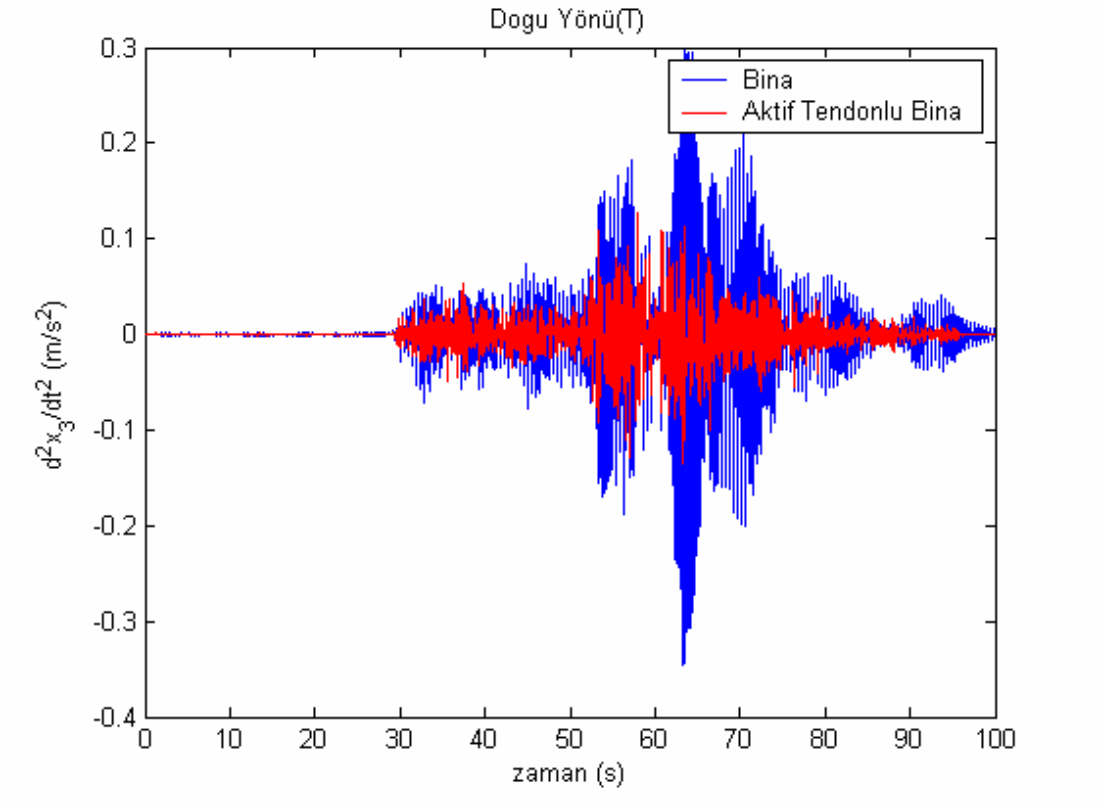

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

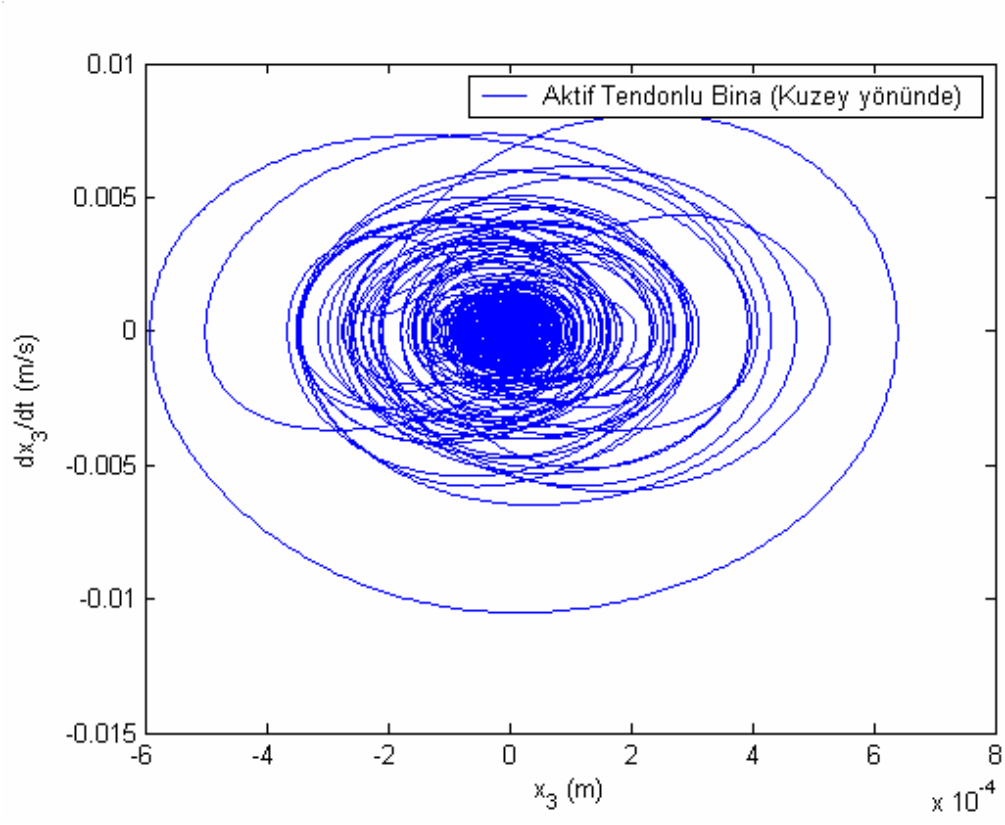

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

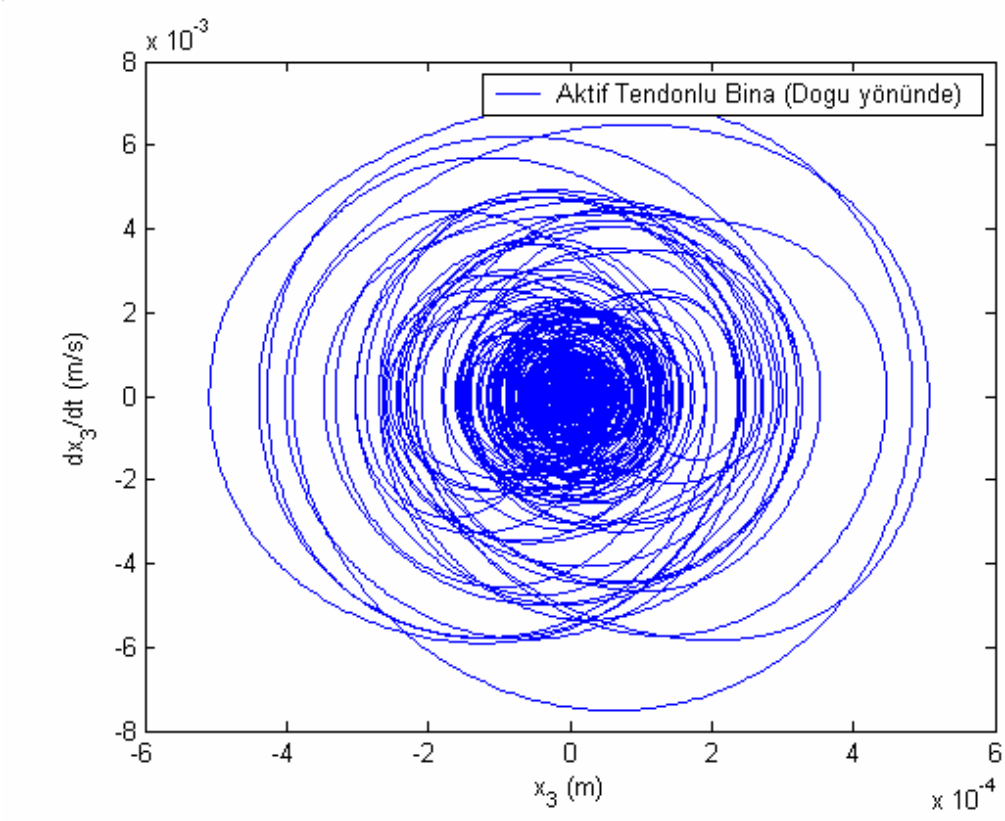

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

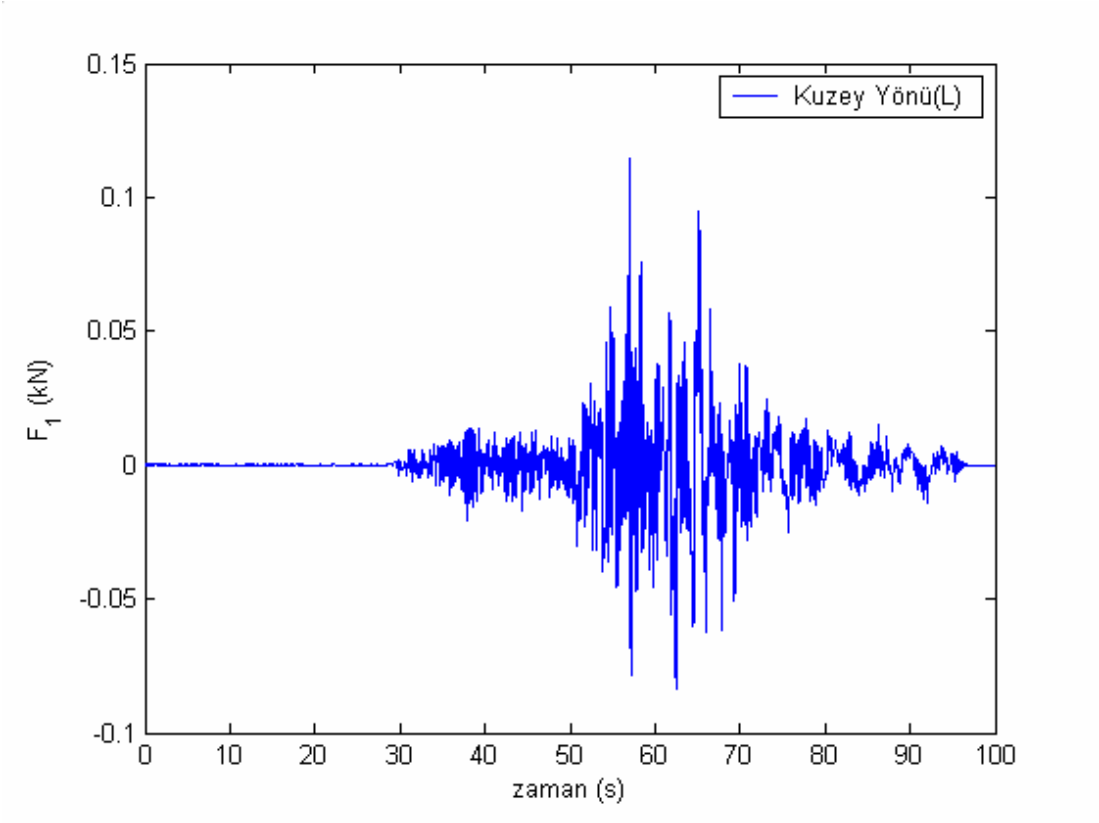

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

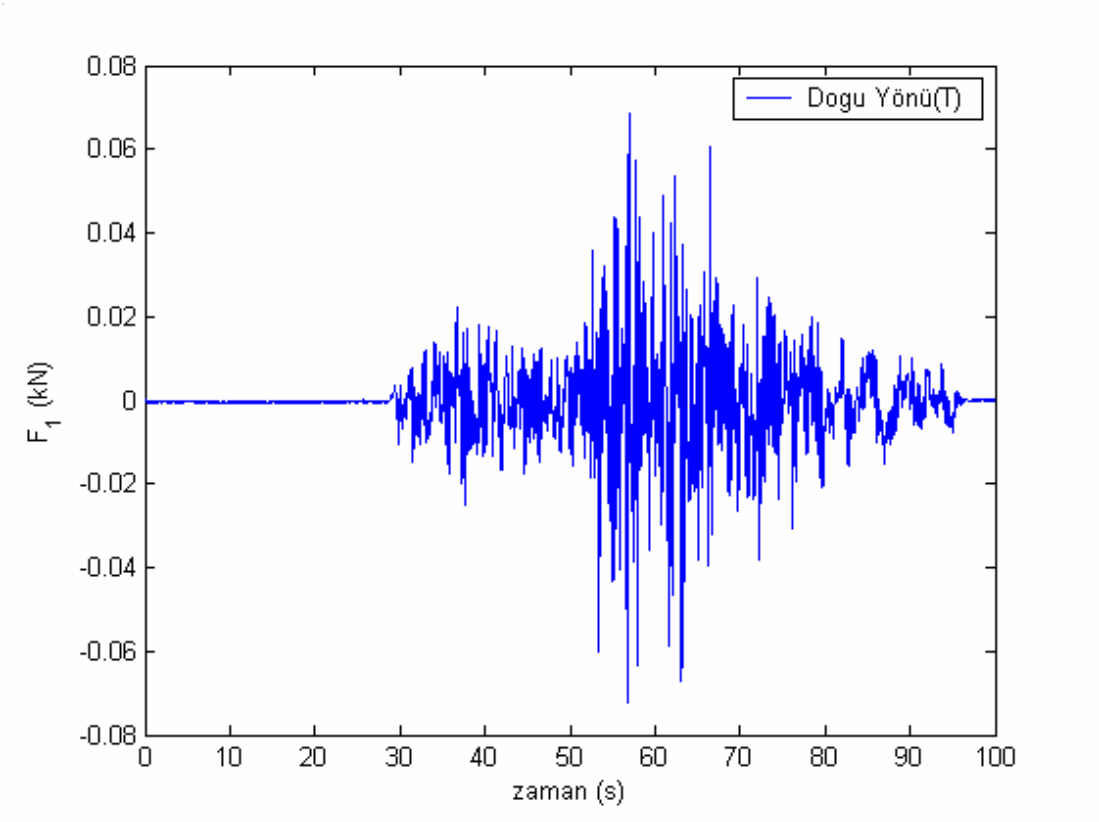

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

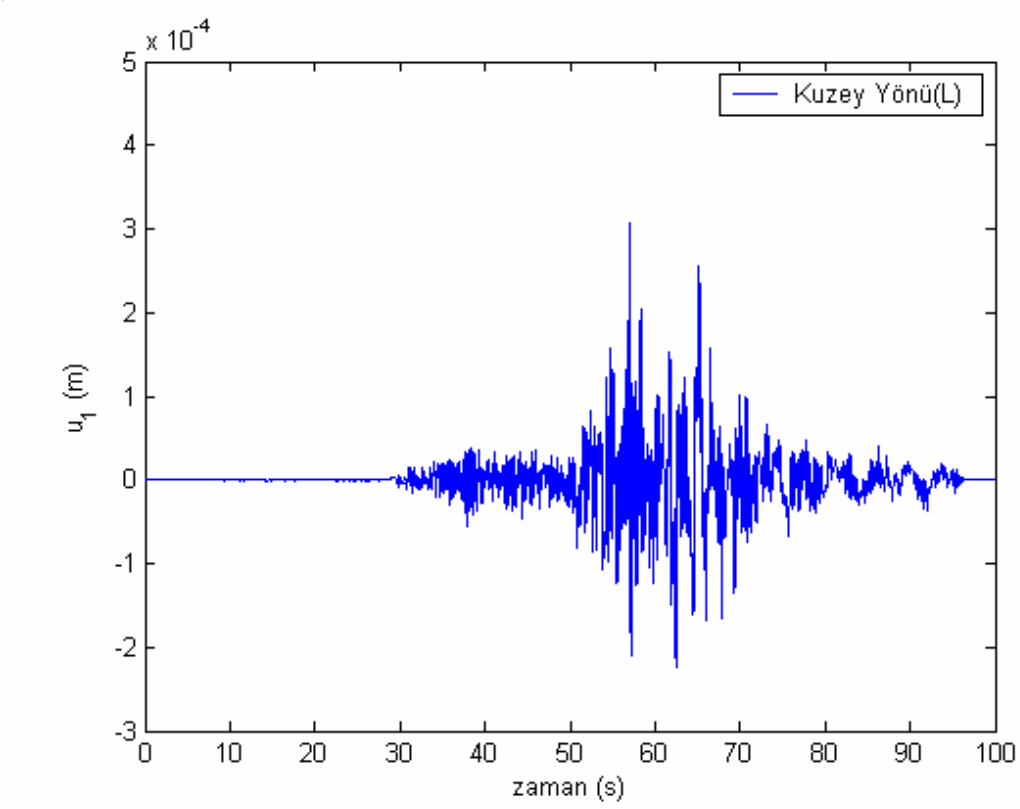

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

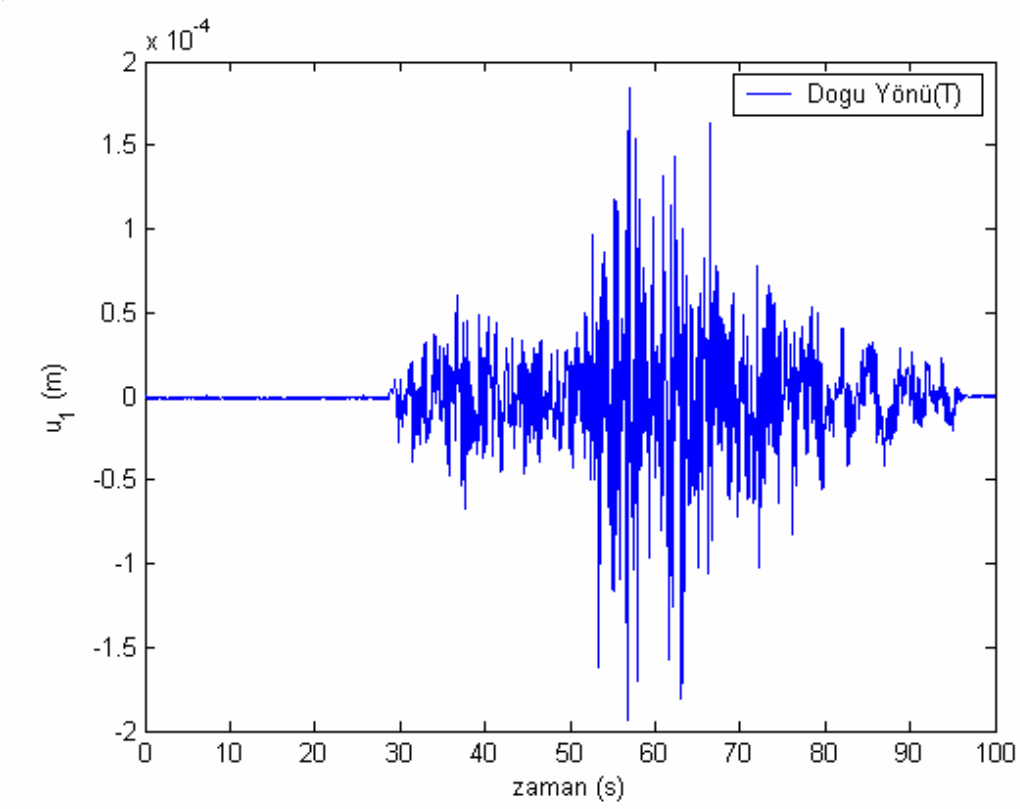

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10-4

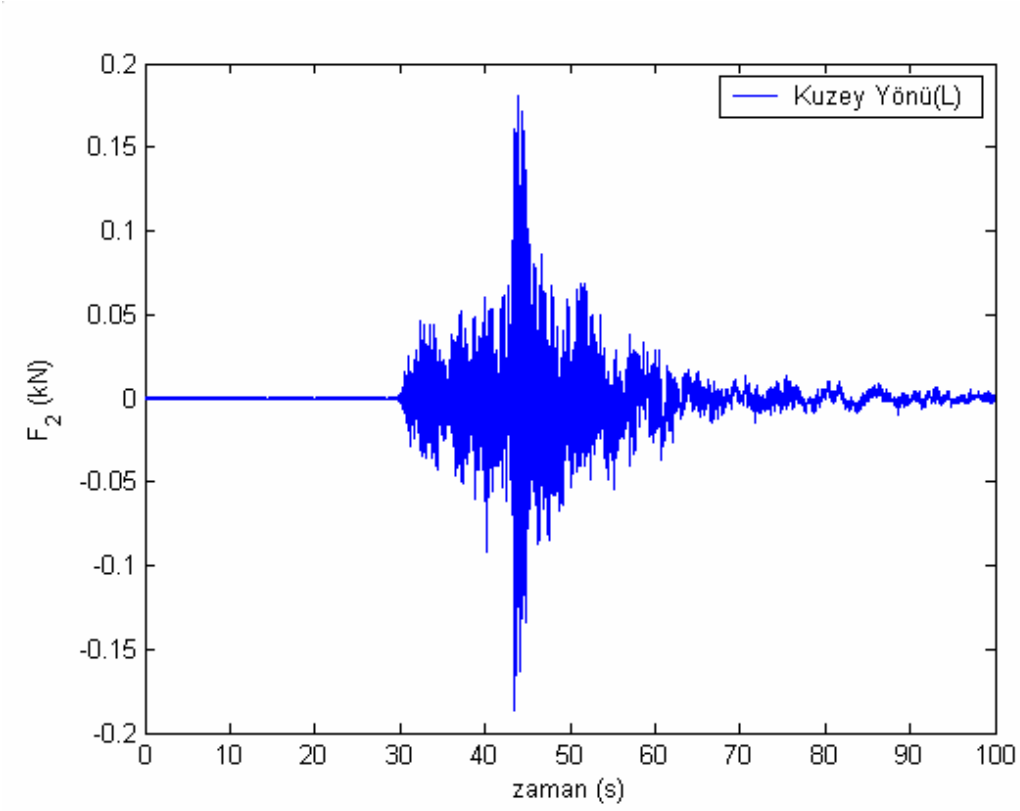

x 10-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10-4

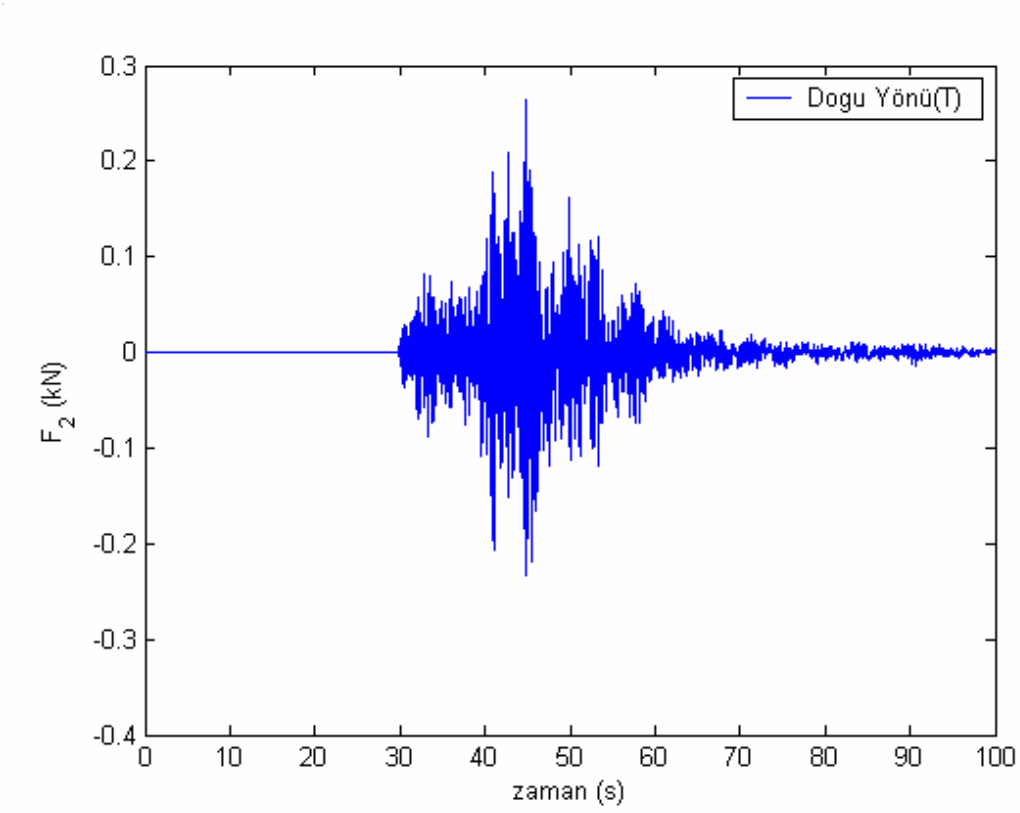

Kuzey Yönü(L)
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
F1 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

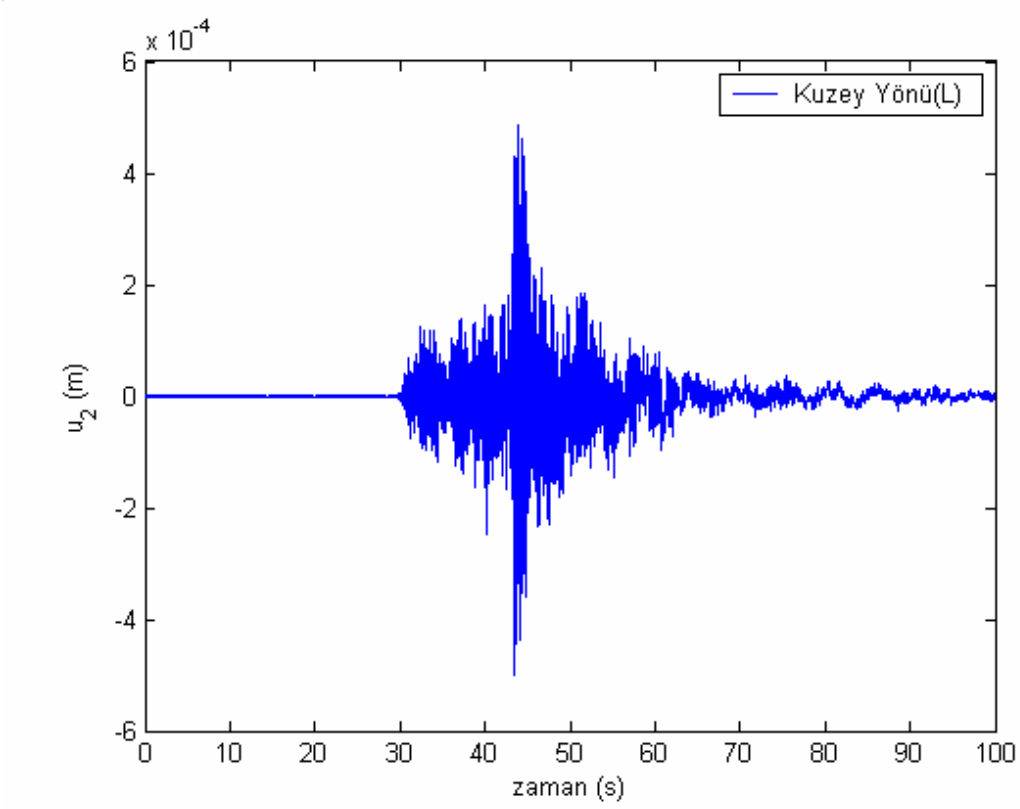

Dogu Yönü(T)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
F1 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

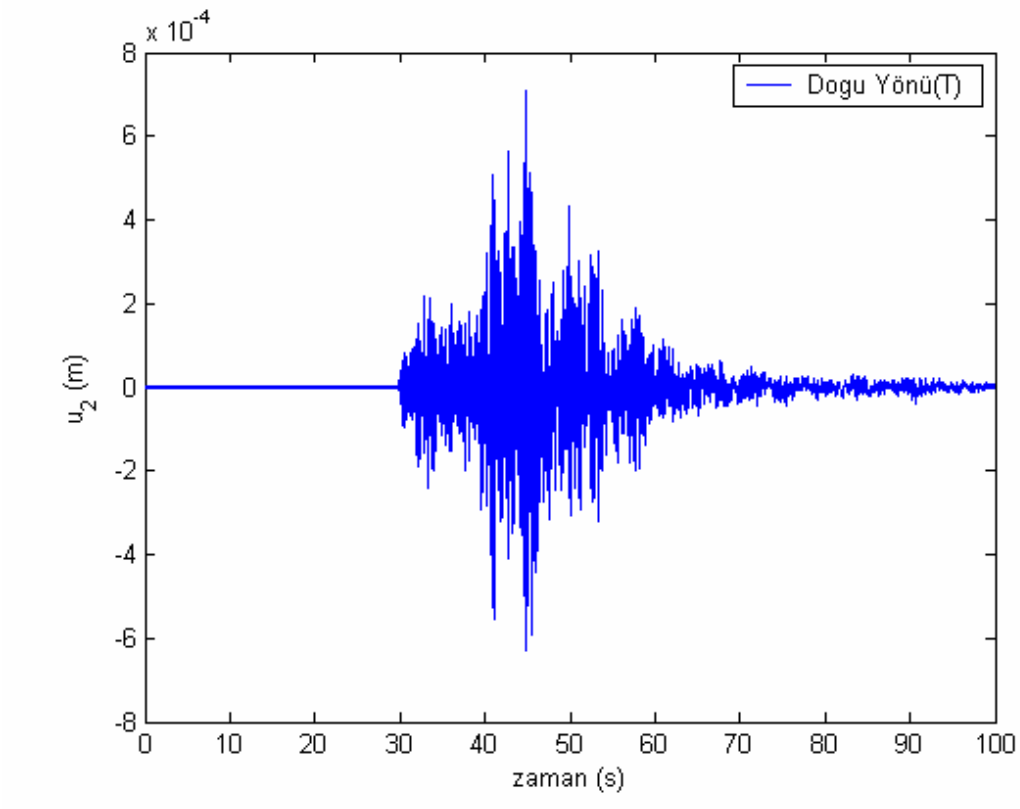

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

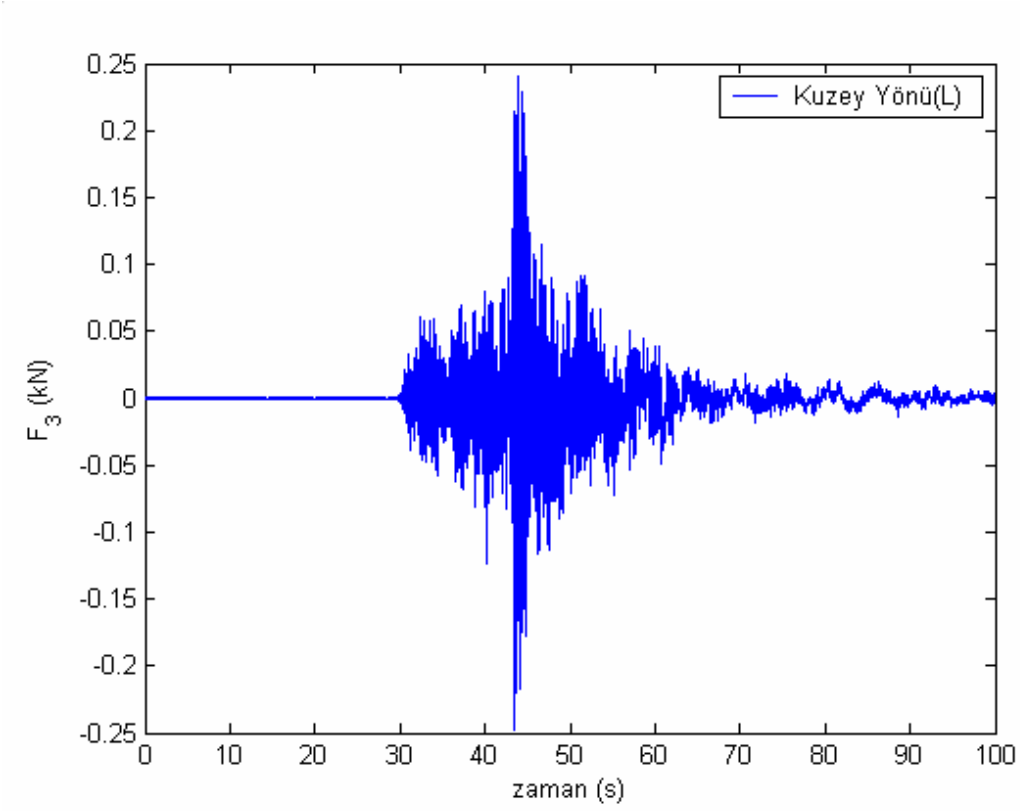

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

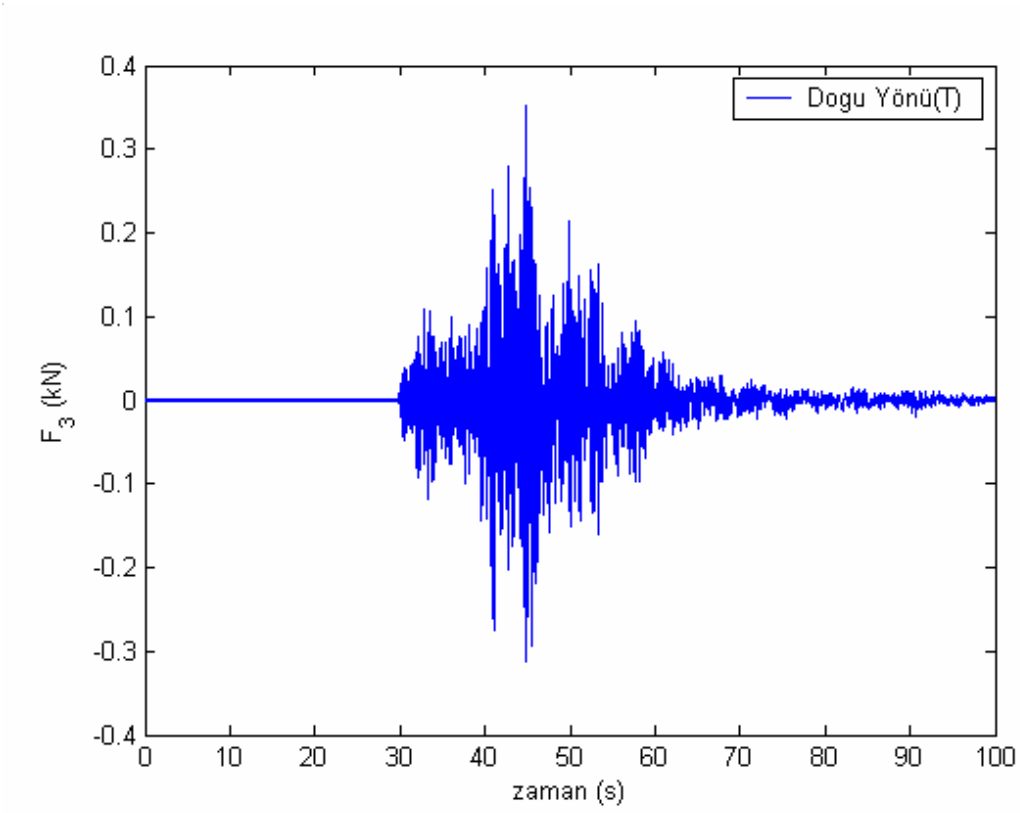

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

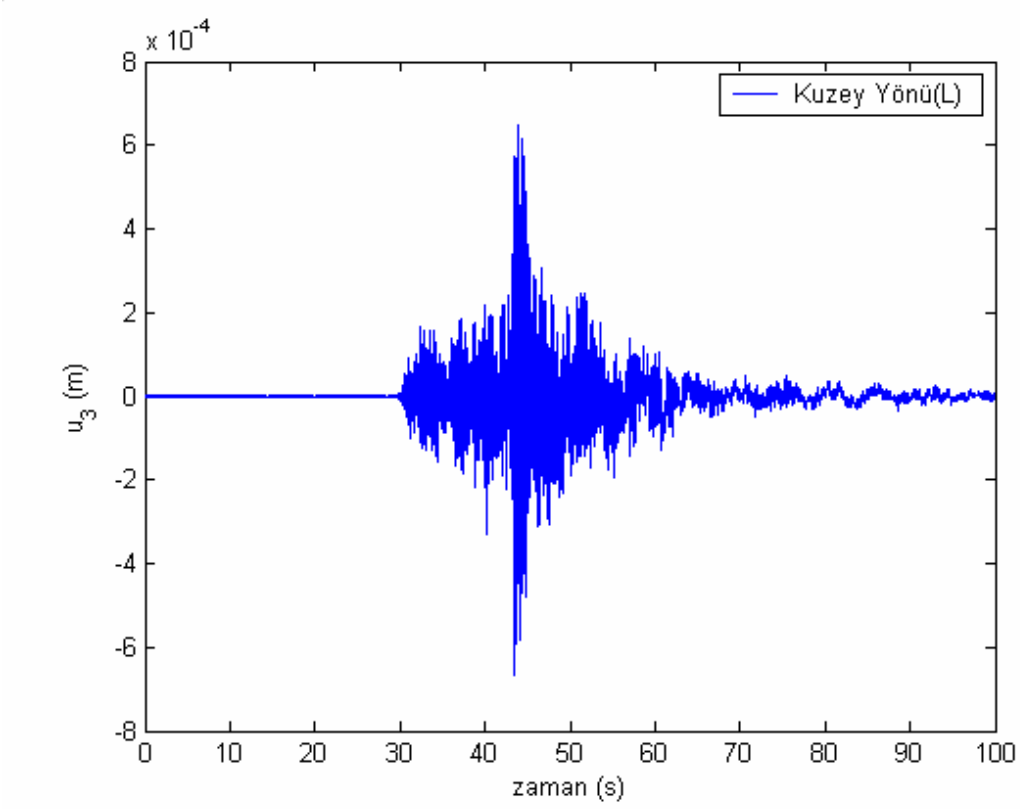

Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

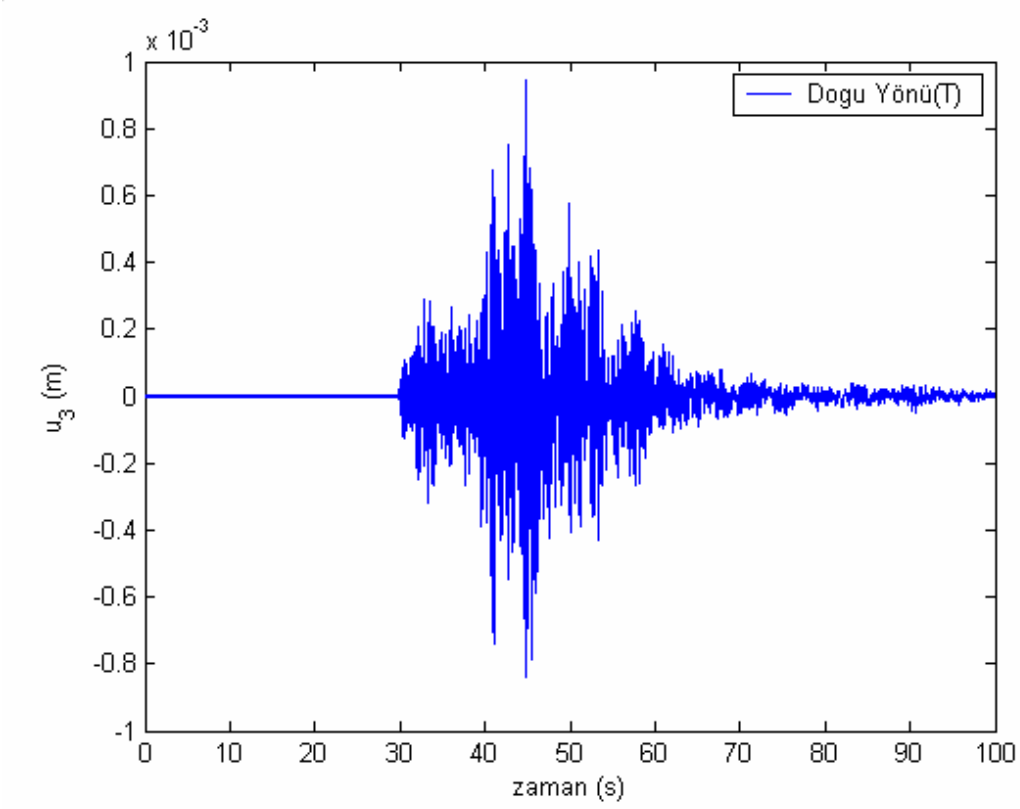

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)

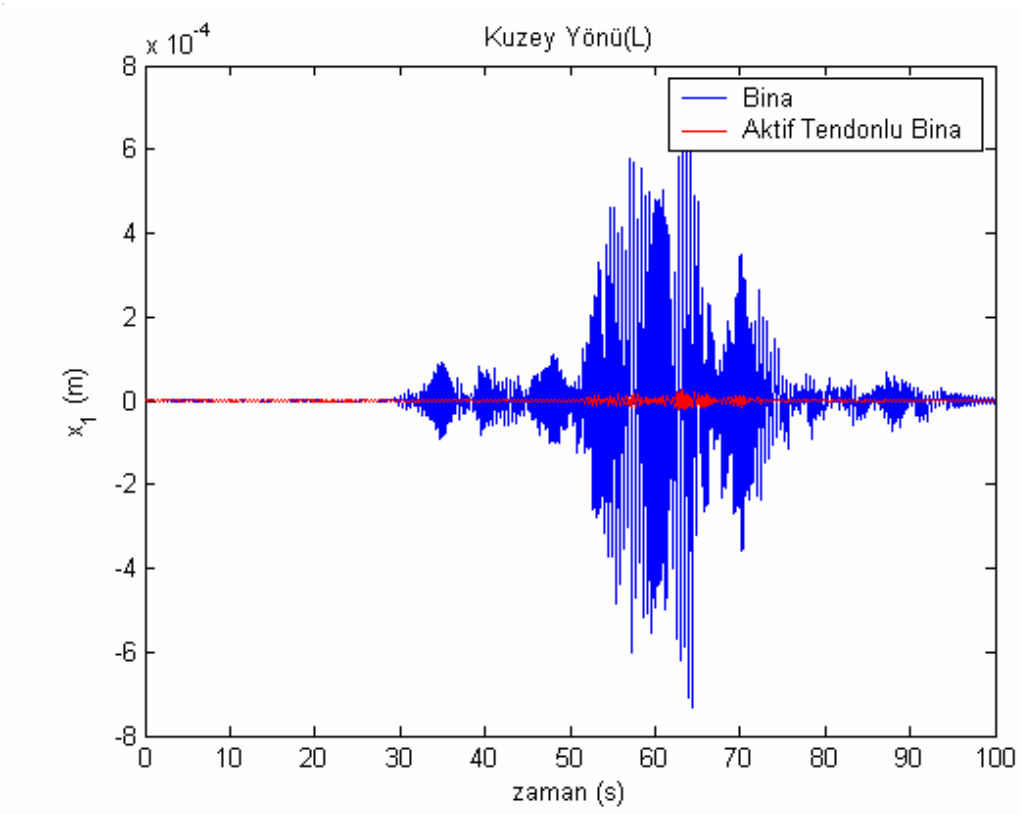

Kuzey Yönü(L)
F3 (kN)
zaman (s)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

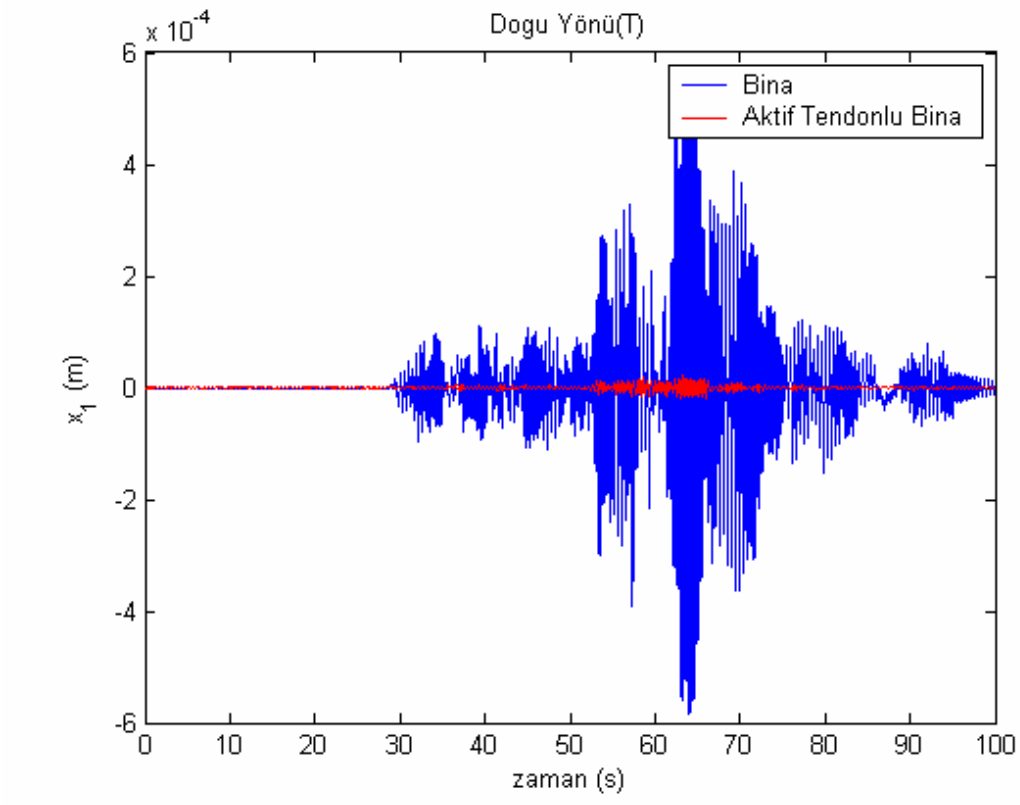

Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

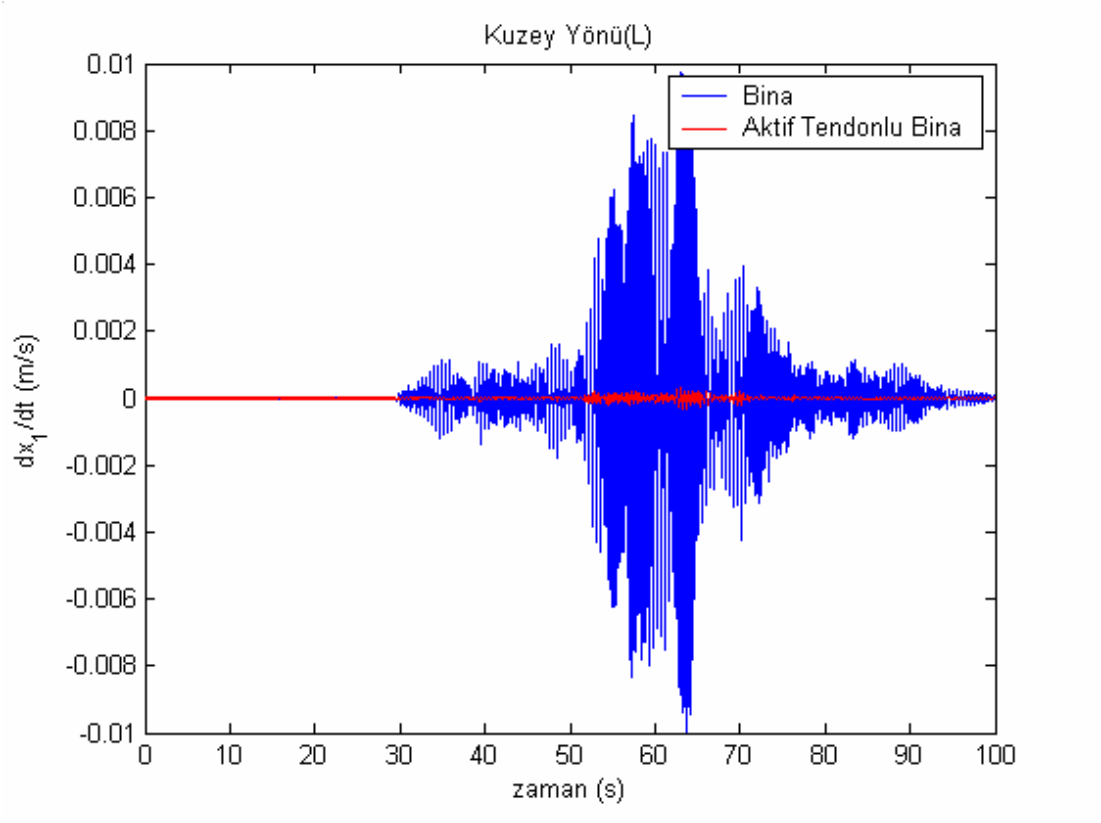

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

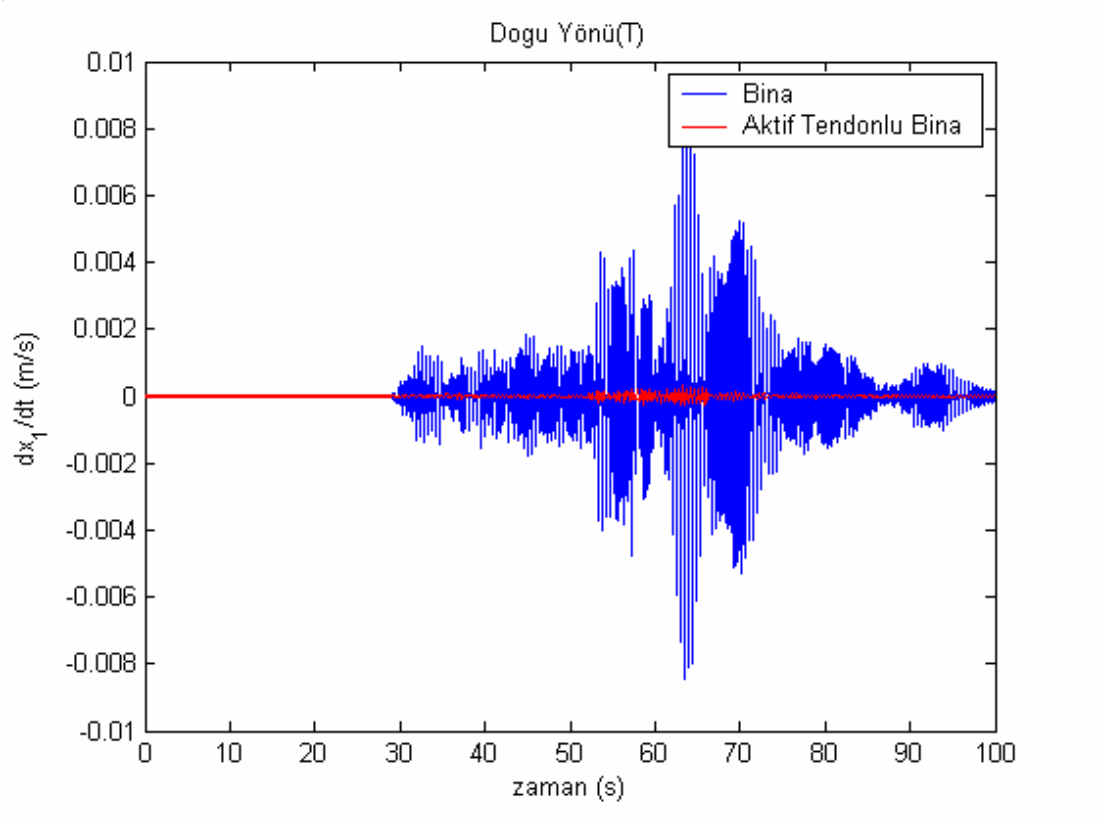

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

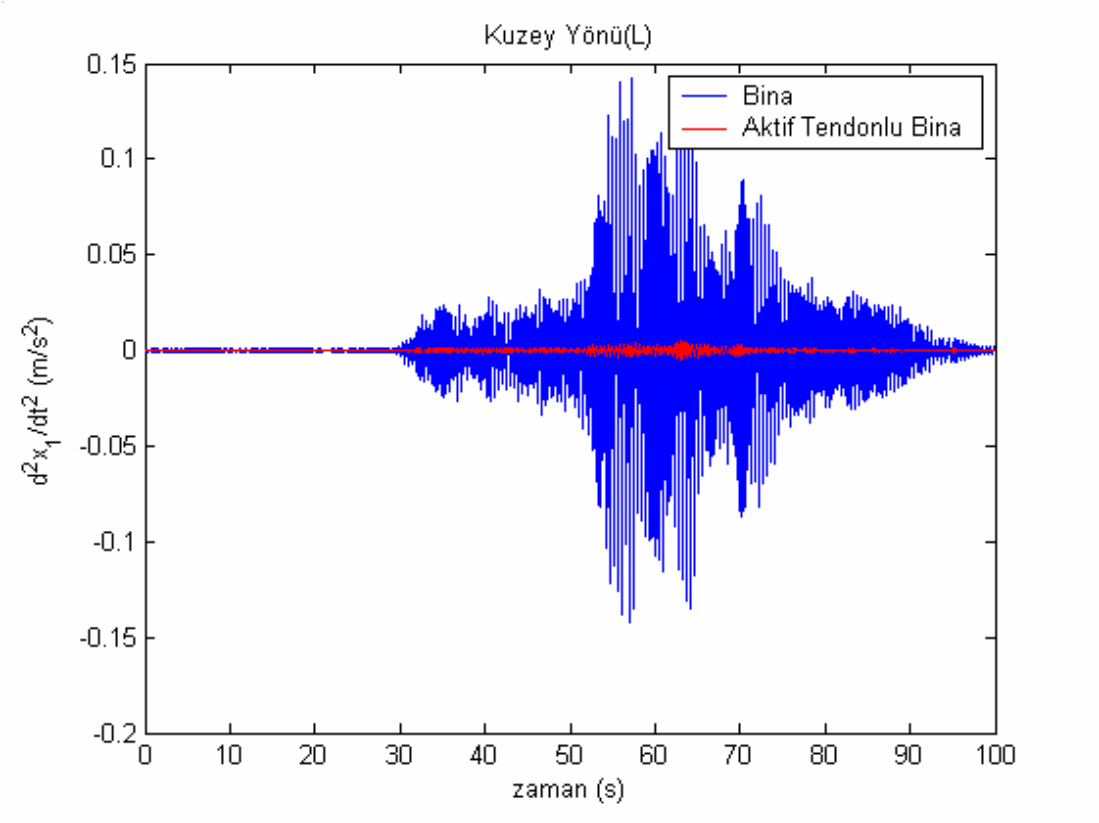
EK 4c: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Tüm Katlardan Kontrollü)

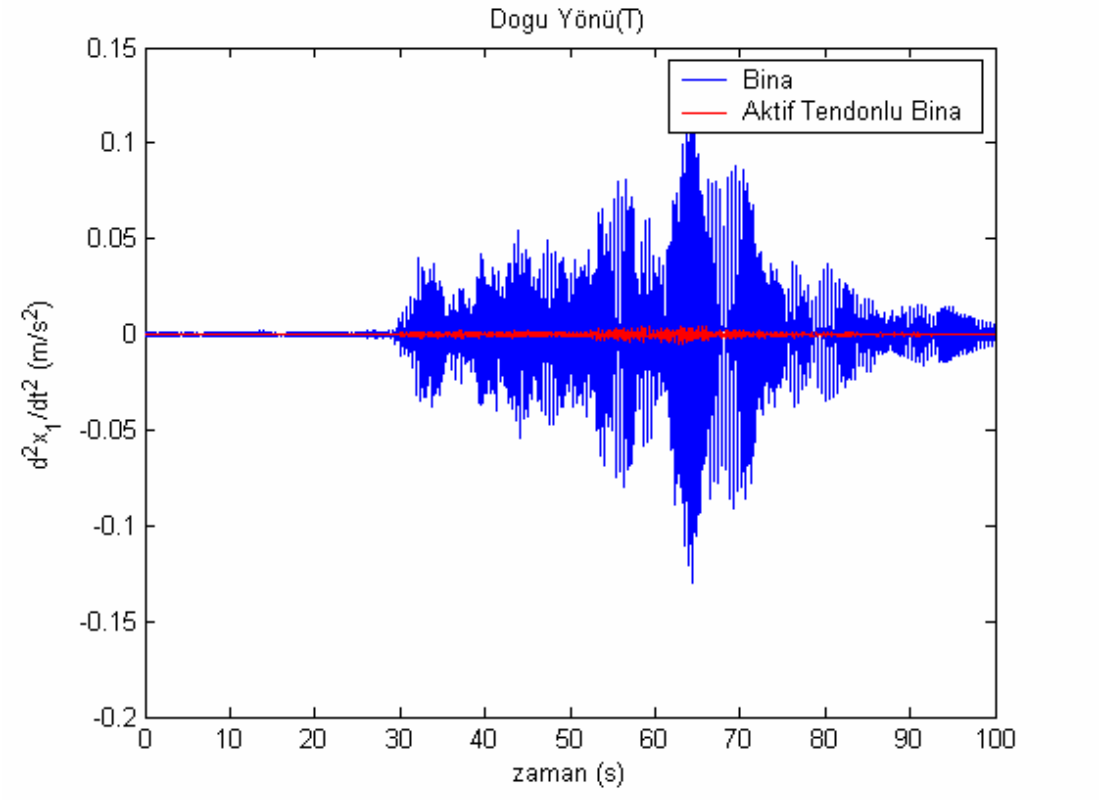


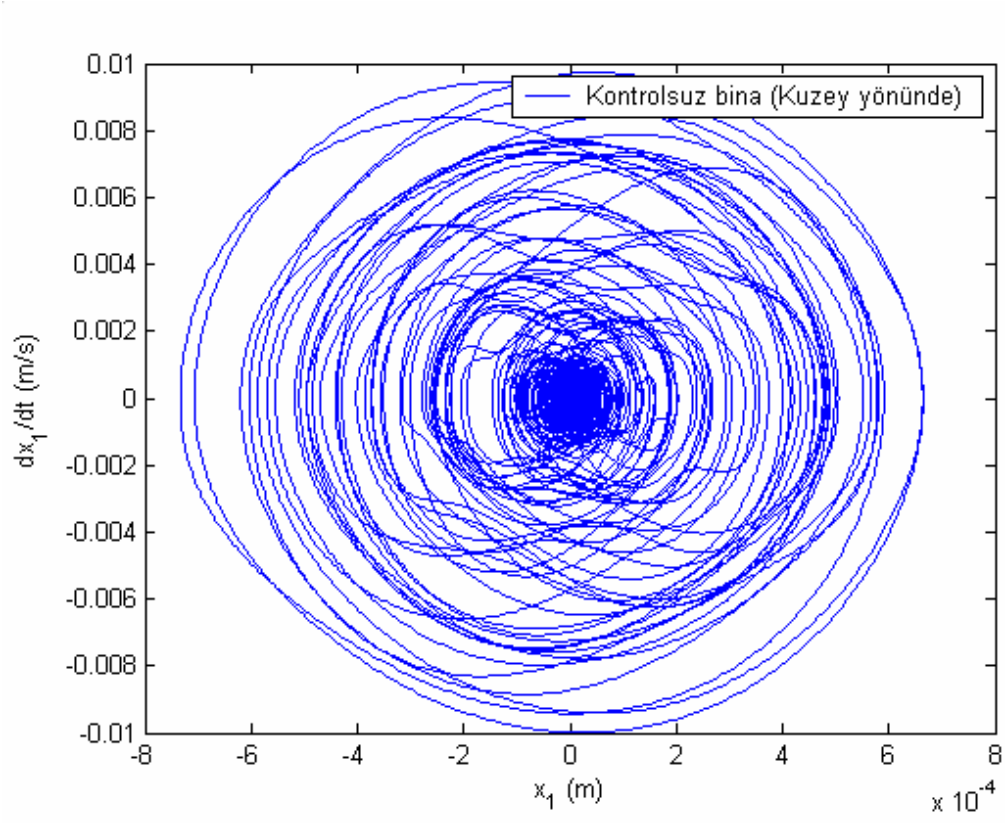


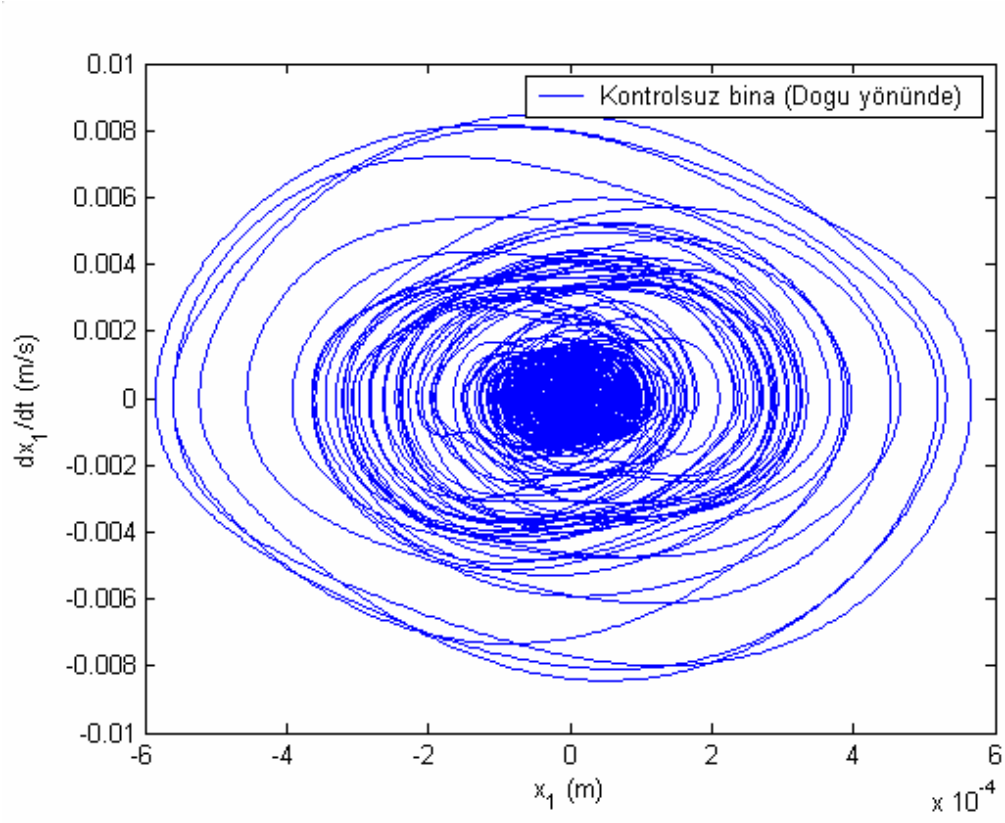

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

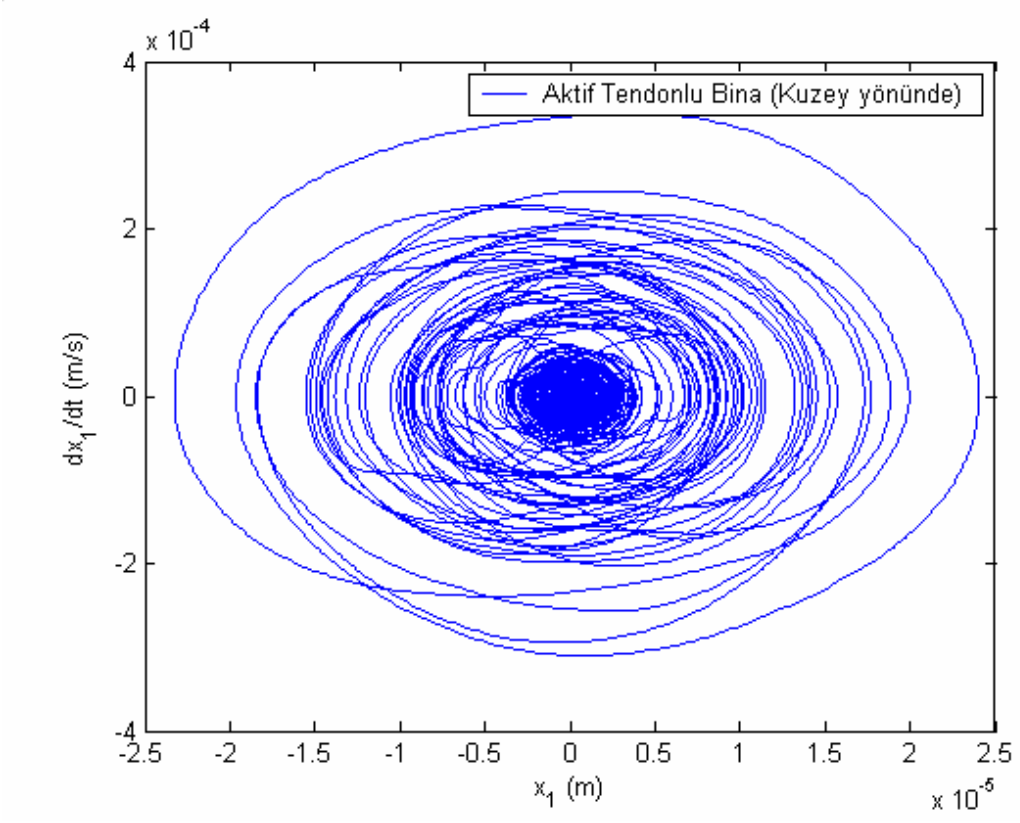

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

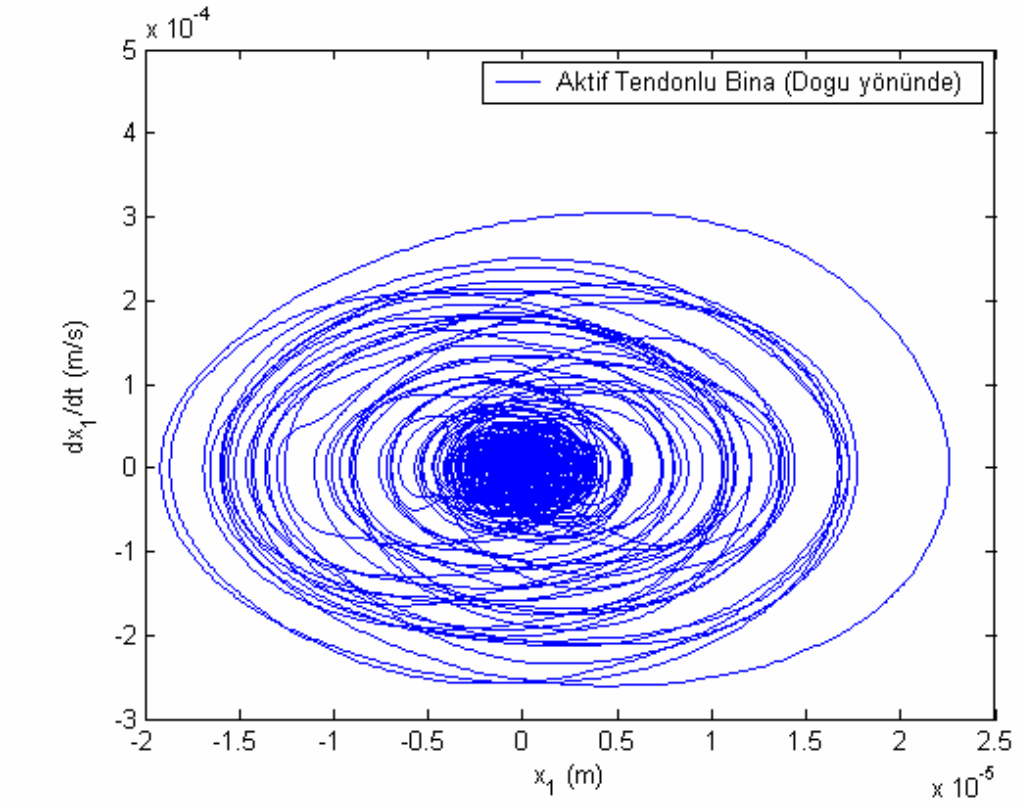

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

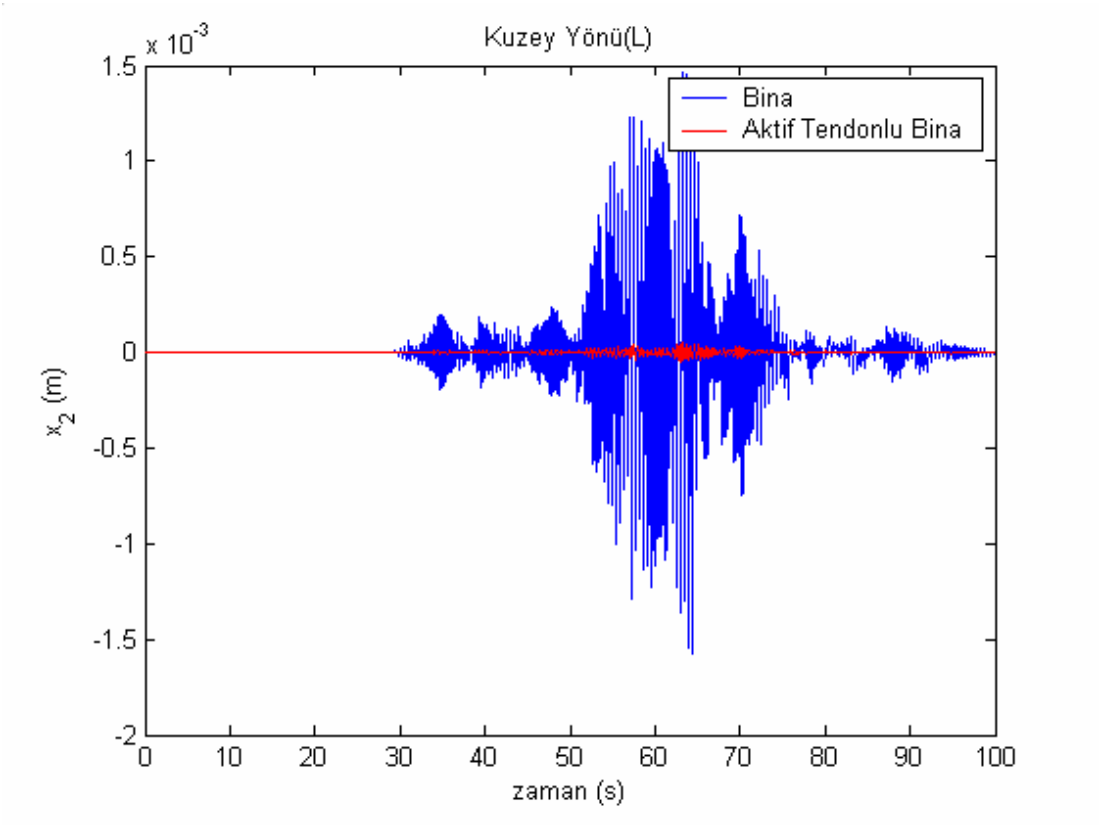

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
d²x₁/dt² (m/s²)

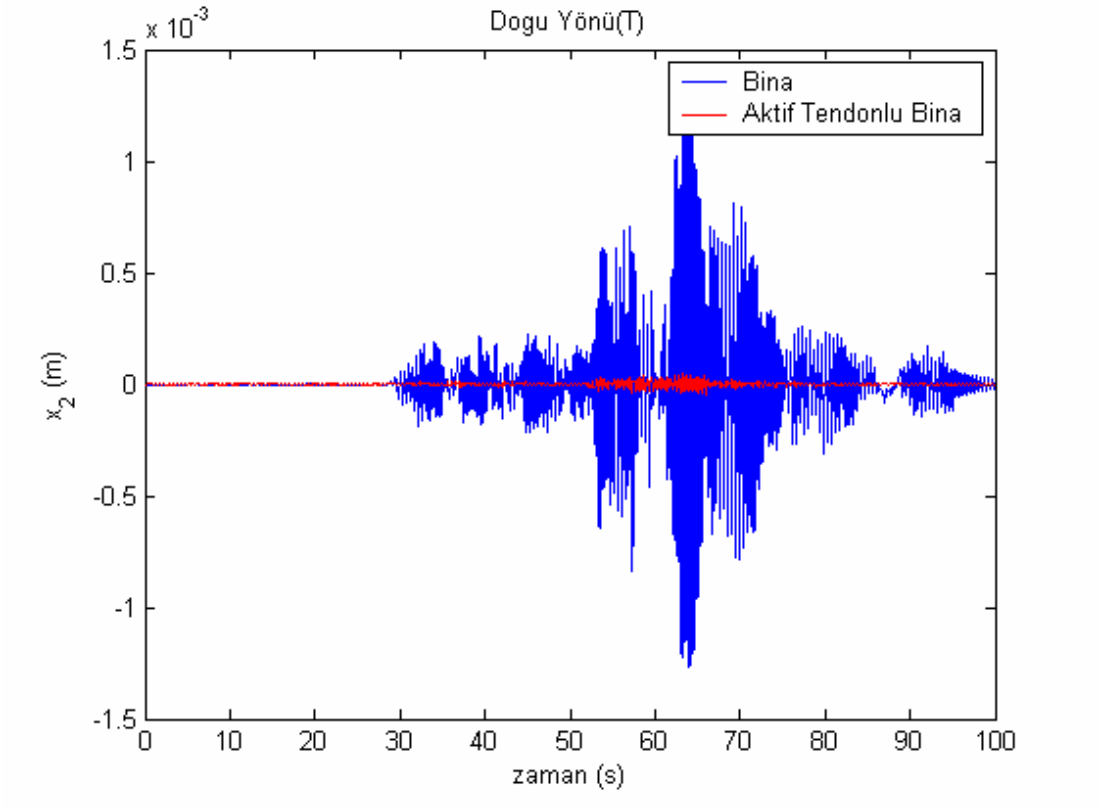

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
dx1/dt (m/s)
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
x1 (m)
x 10-4

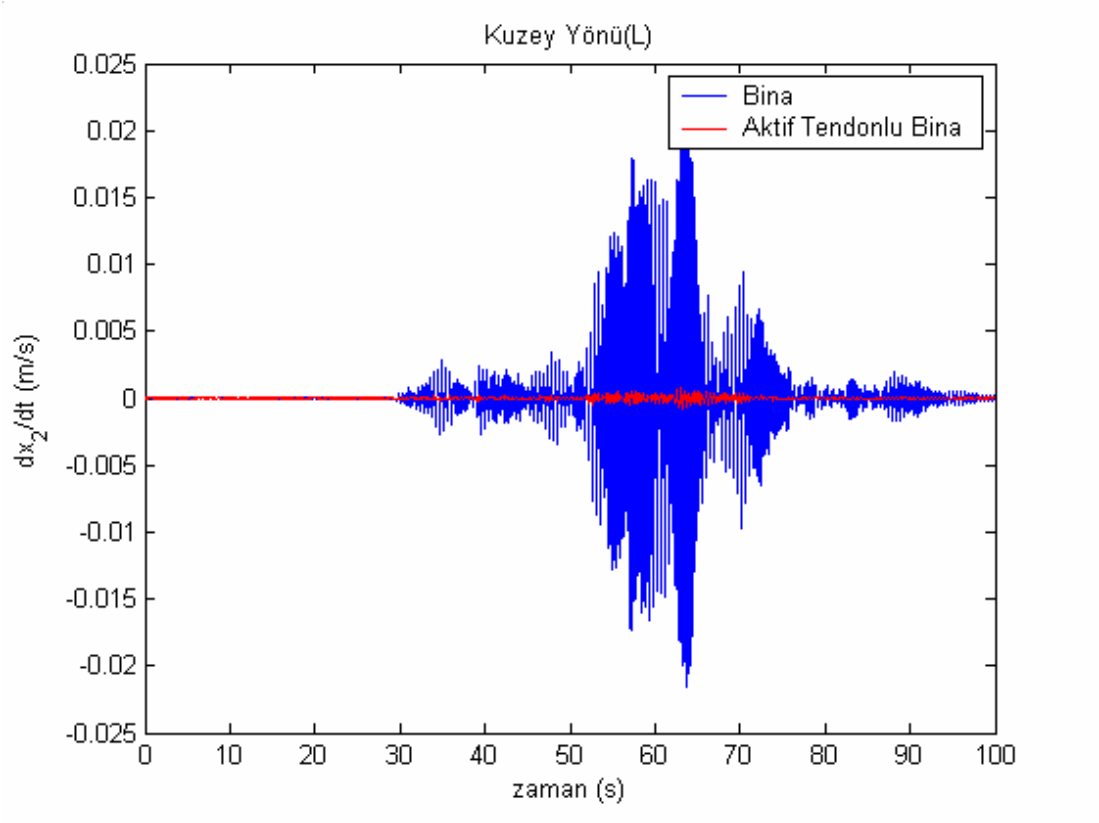

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
dx1/dt (m/s)
-6
-4
-2
0
2
4
6
x1 (m)
x 10-4

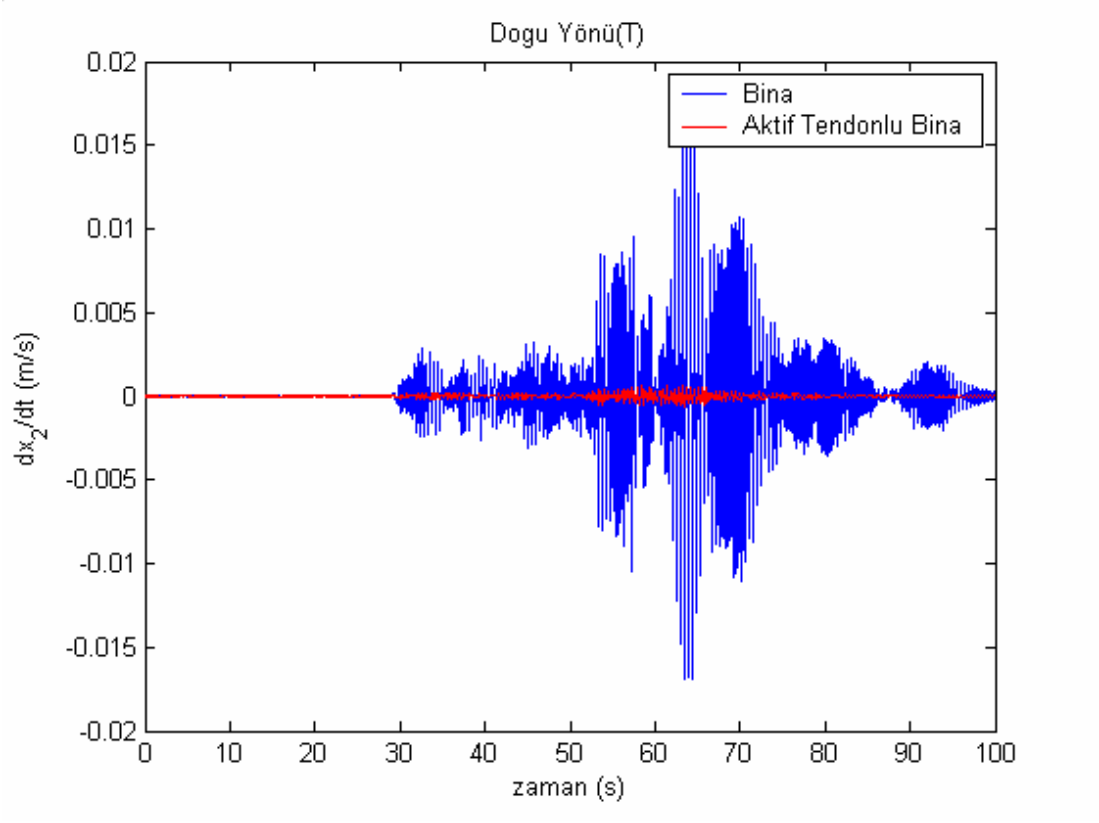

x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-5

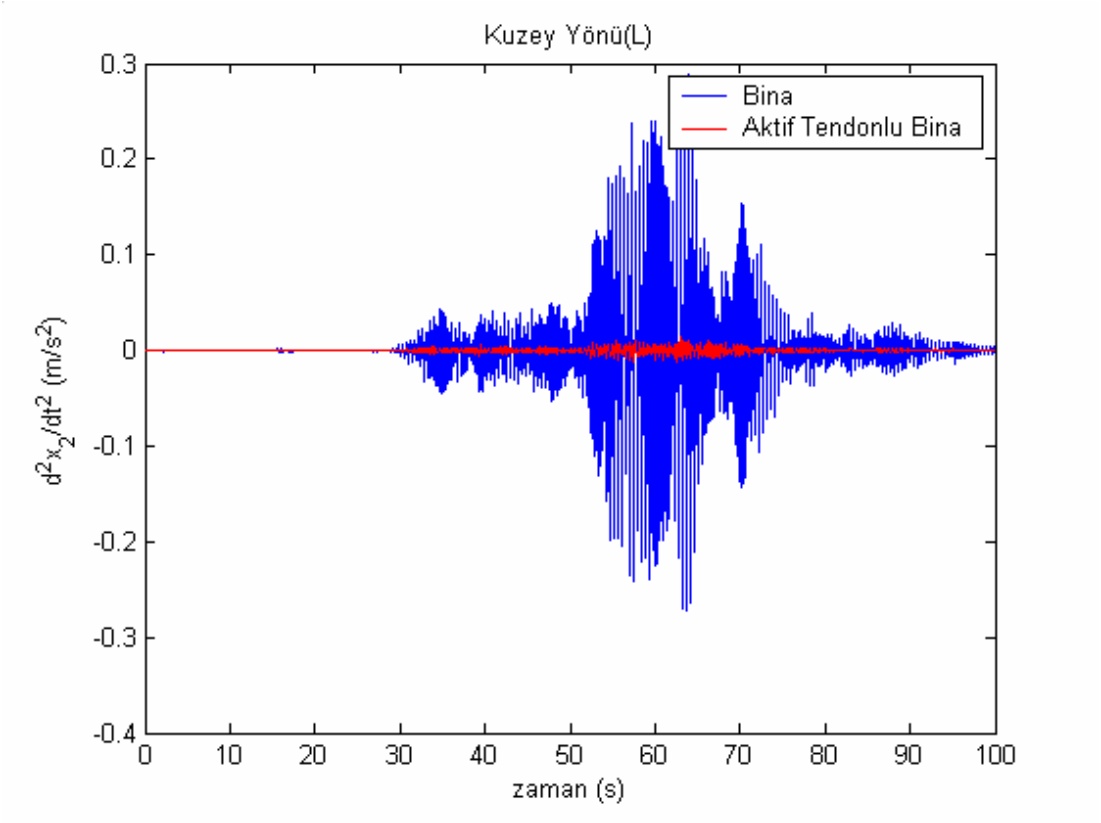

x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx1/dt (m/s)
x1 (m)
x 10^-5

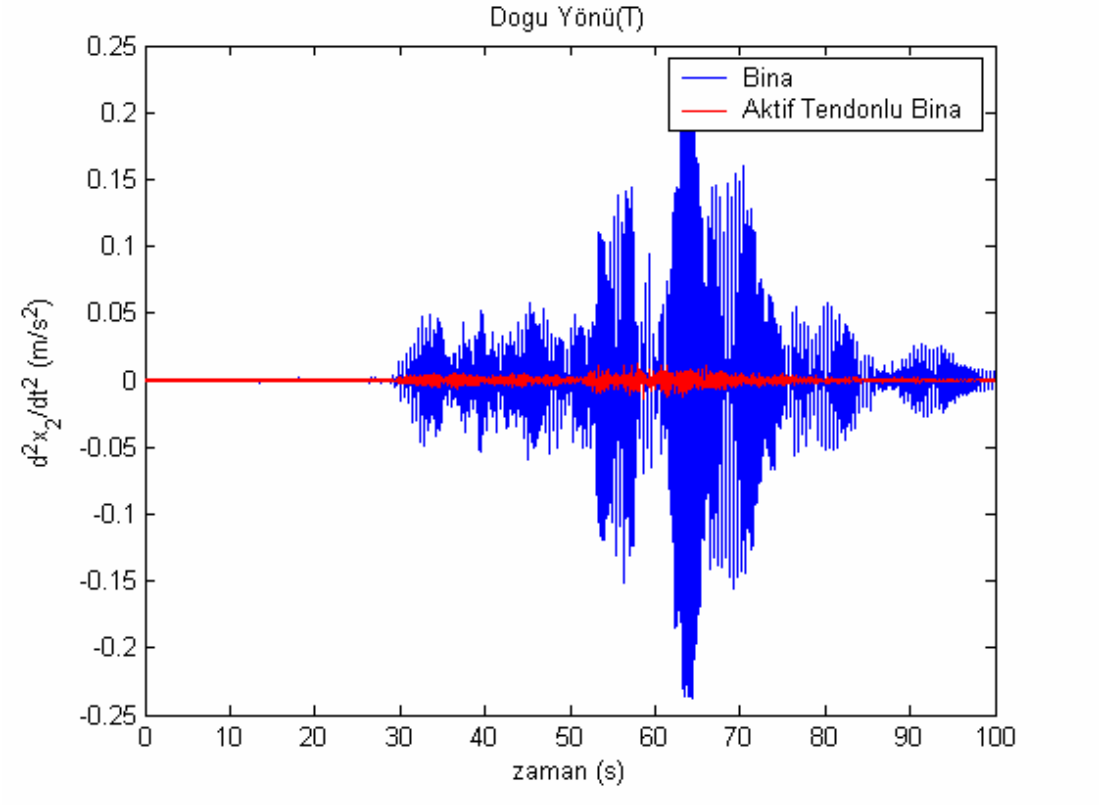

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

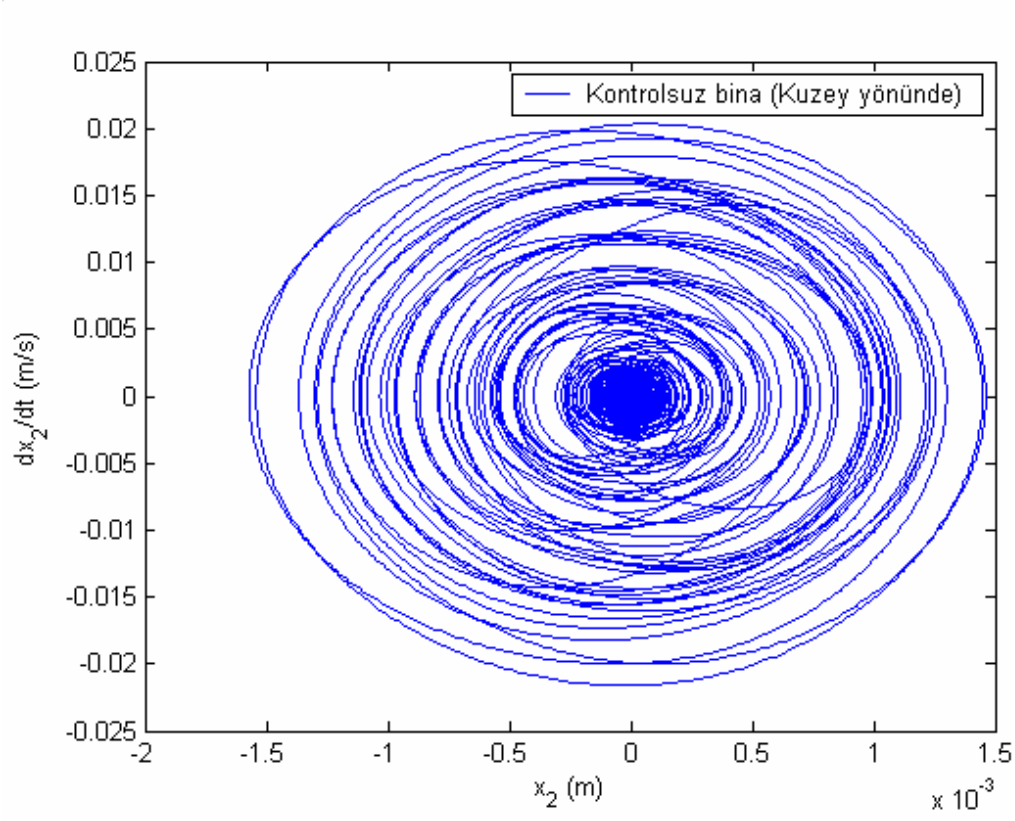

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x2 (m)
zaman (s)

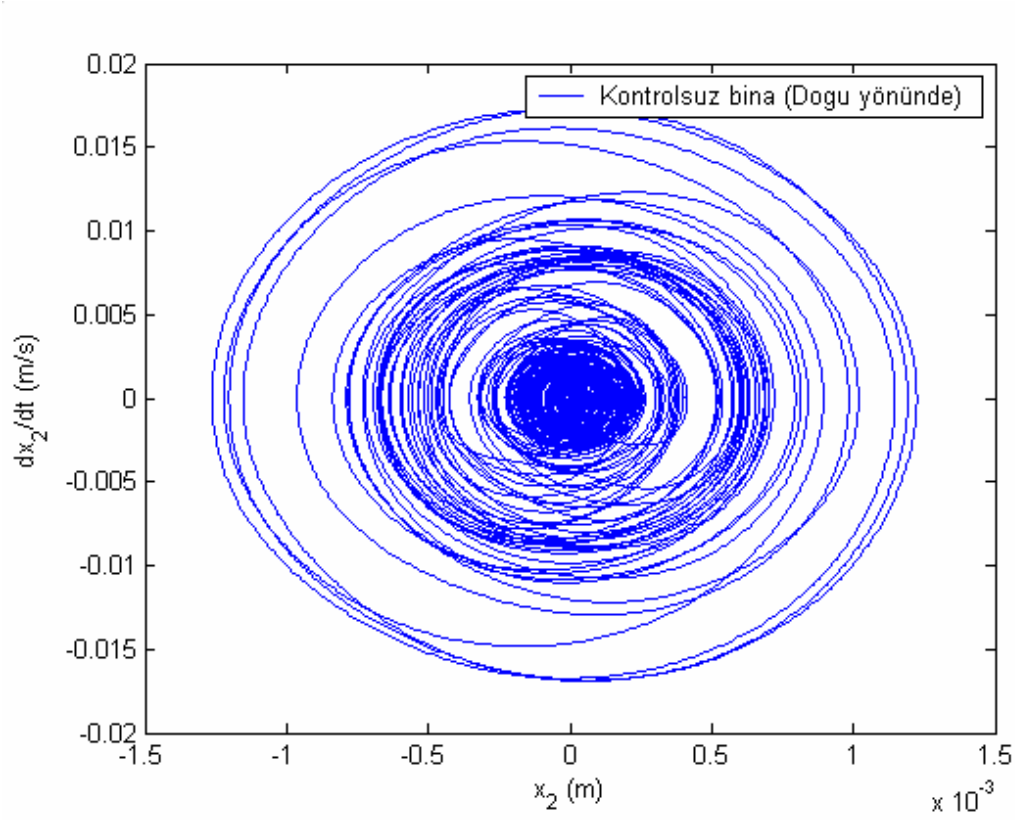

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

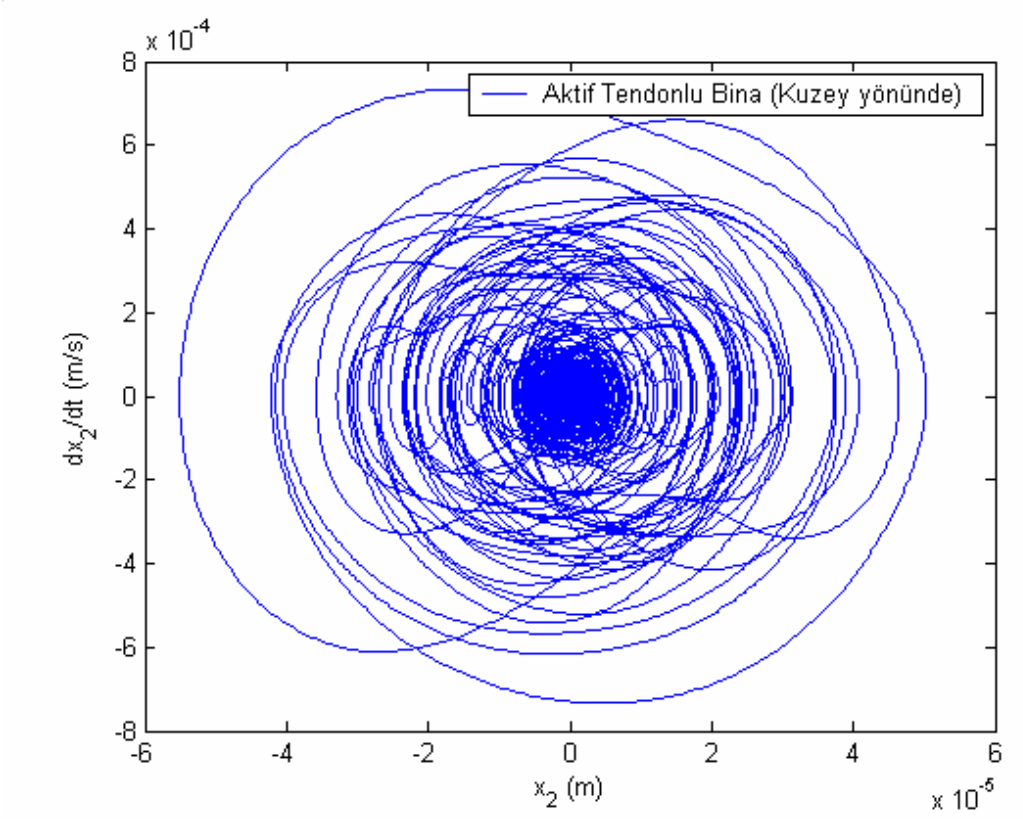

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

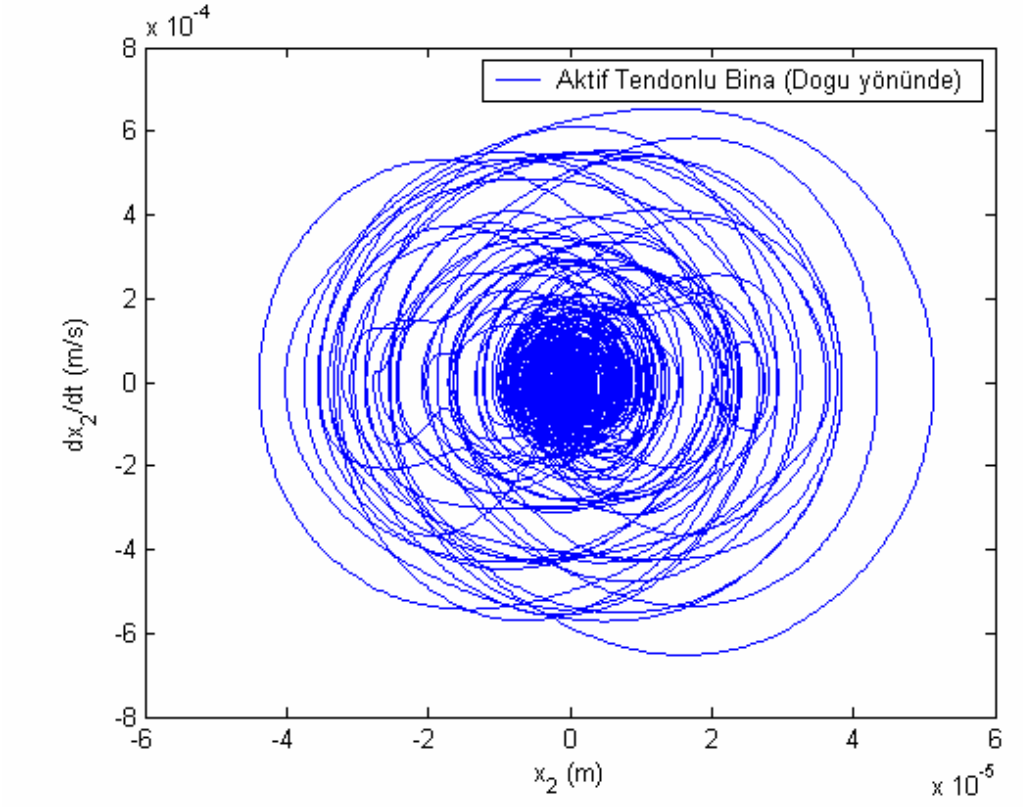

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

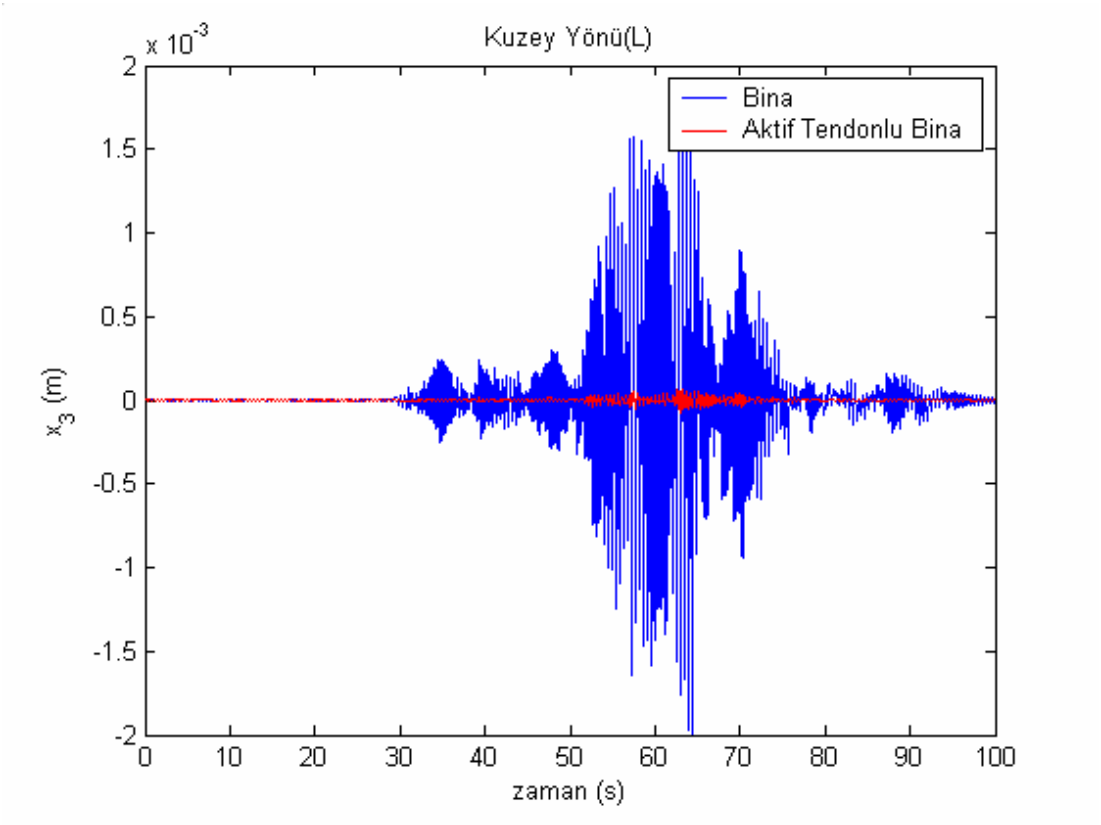

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

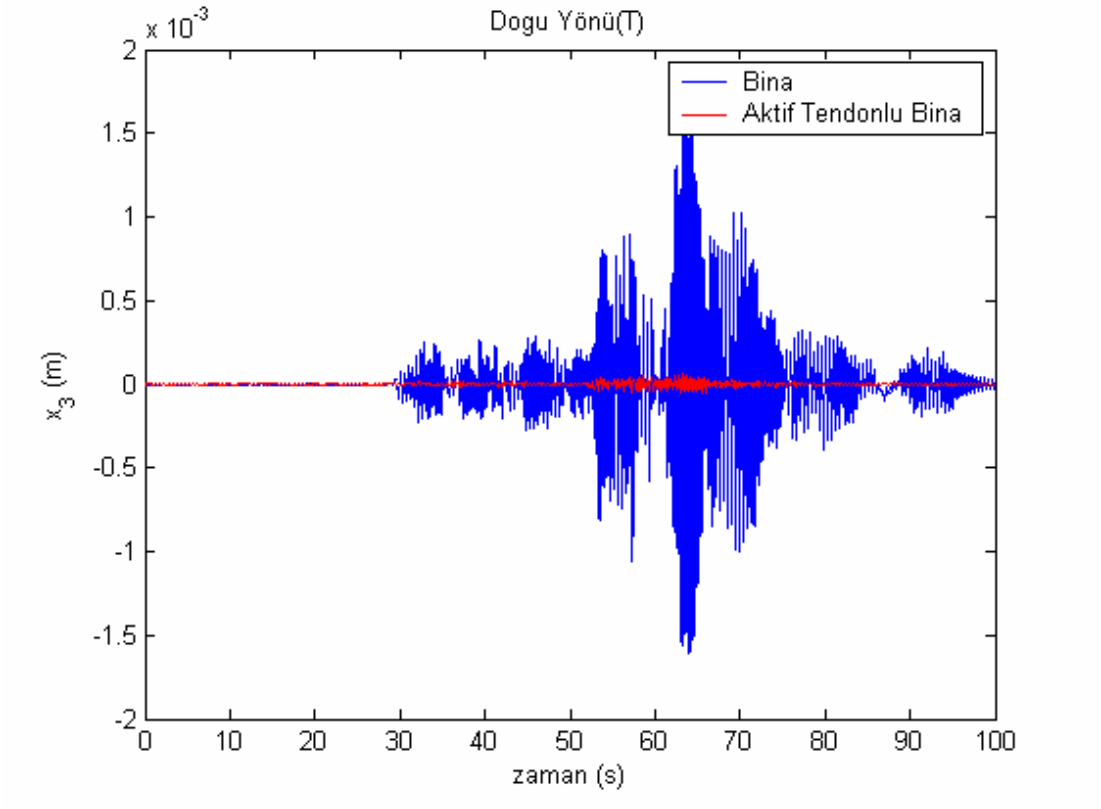

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
dx2/dt (m/s)
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
x2 (m)
x 10-3

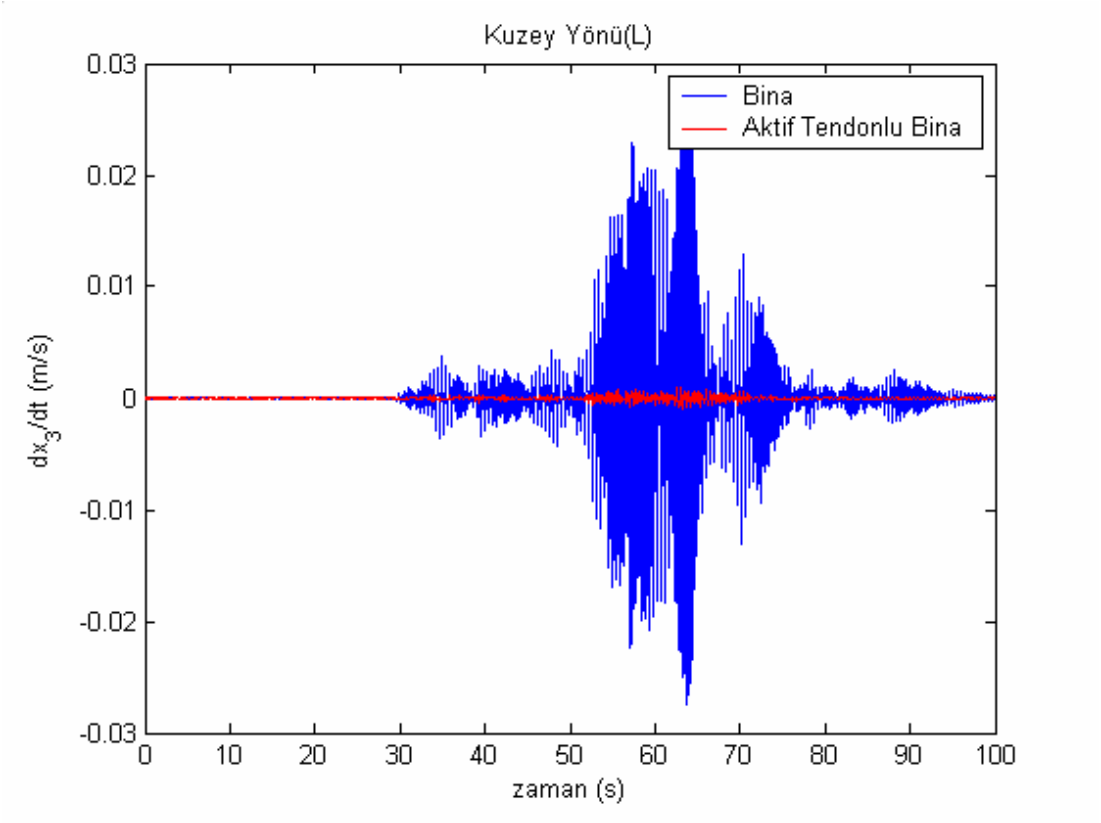

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
dx2/dt (m/s)
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
x2 (m)
x 10-3

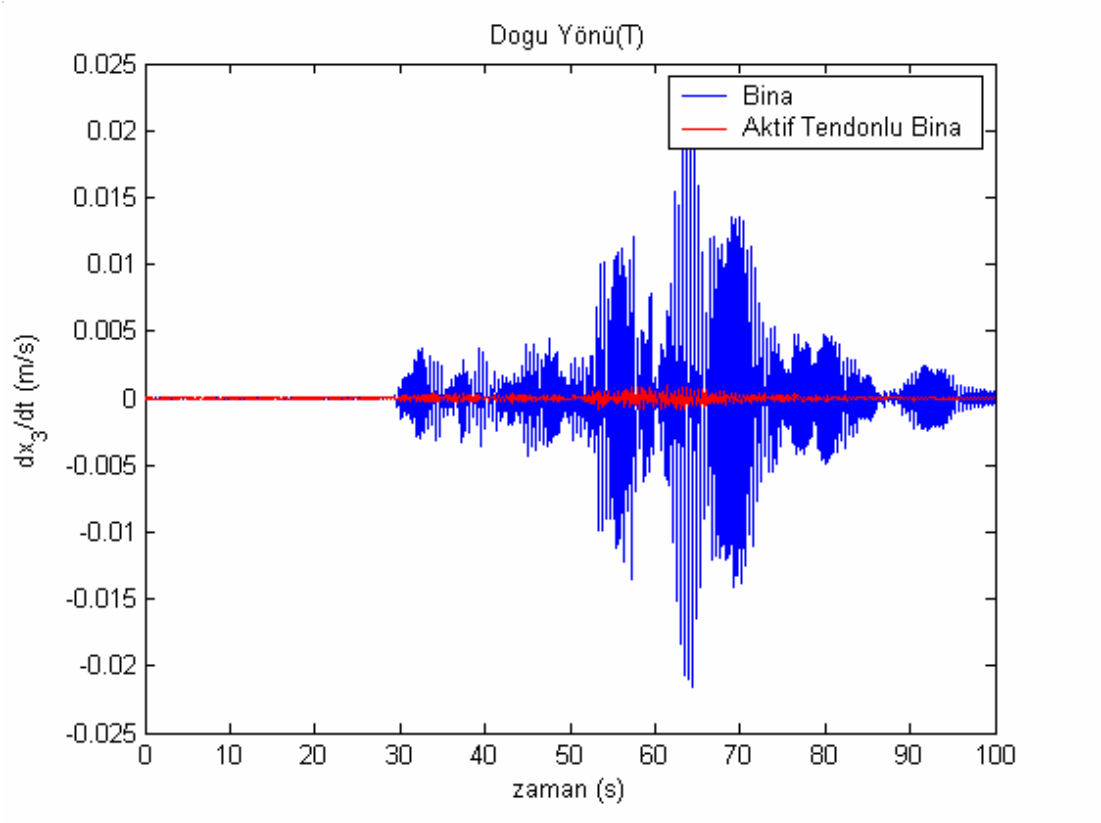

x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-5

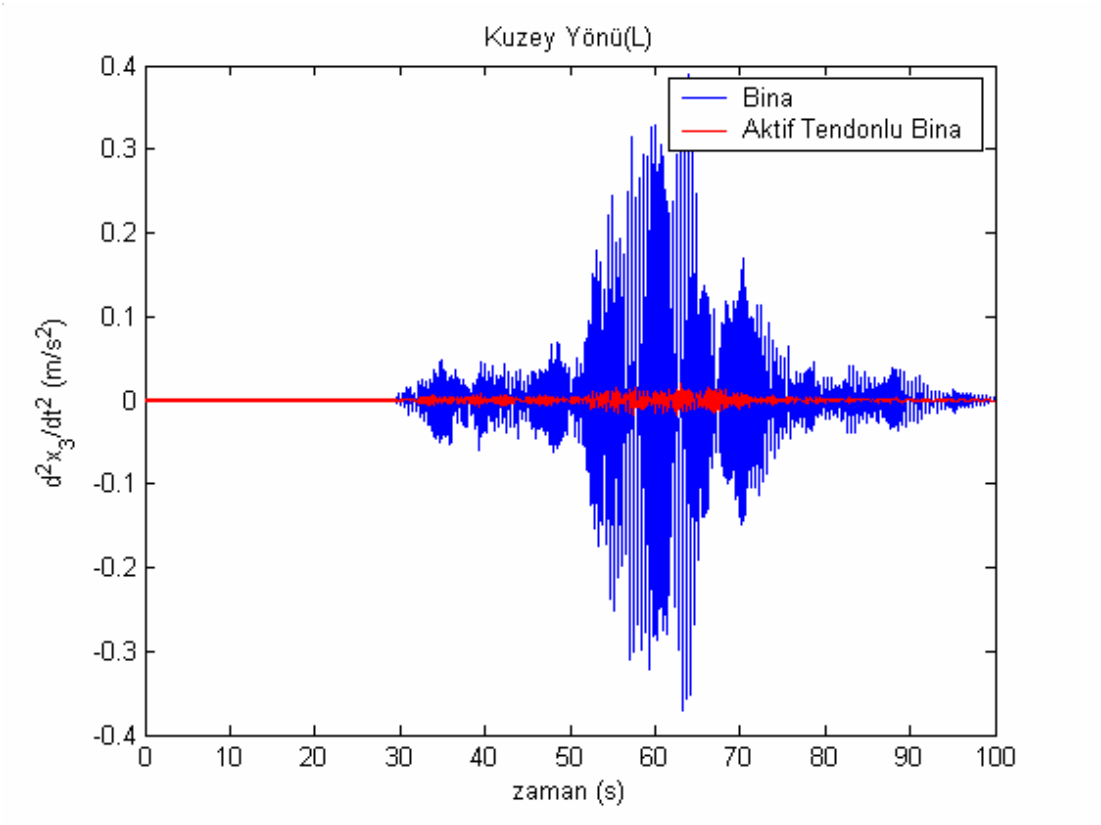

x 10^-4
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
x 10^-5

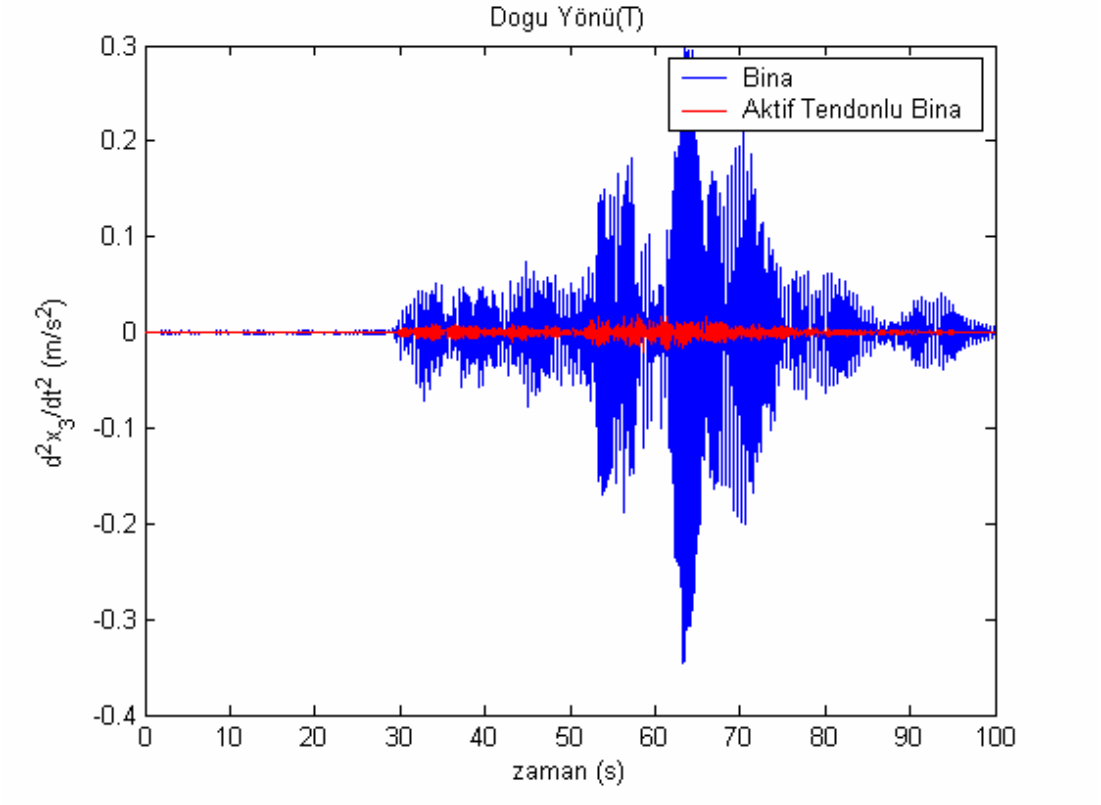

Kuzey Yönü(L)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

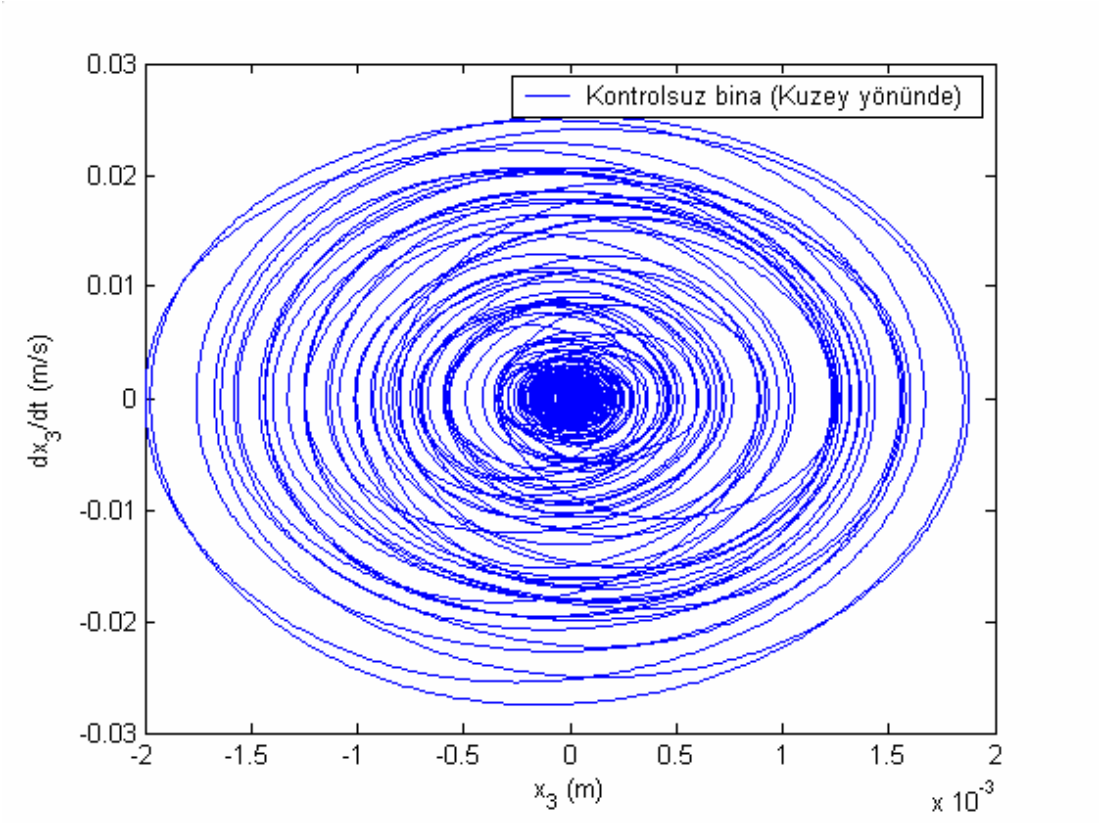

Dogu Yönü(T)
x 10^-3
Bina
Aktif Tendonlu Bina
x3 (m)
zaman (s)

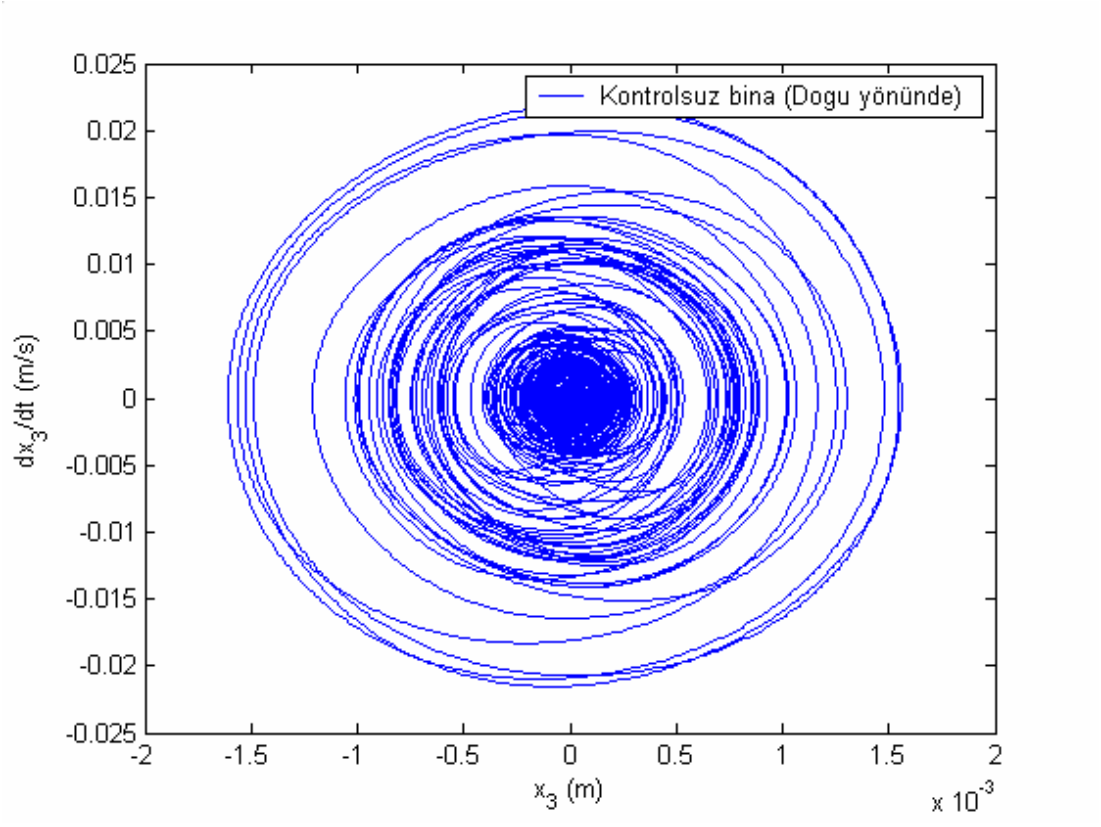

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

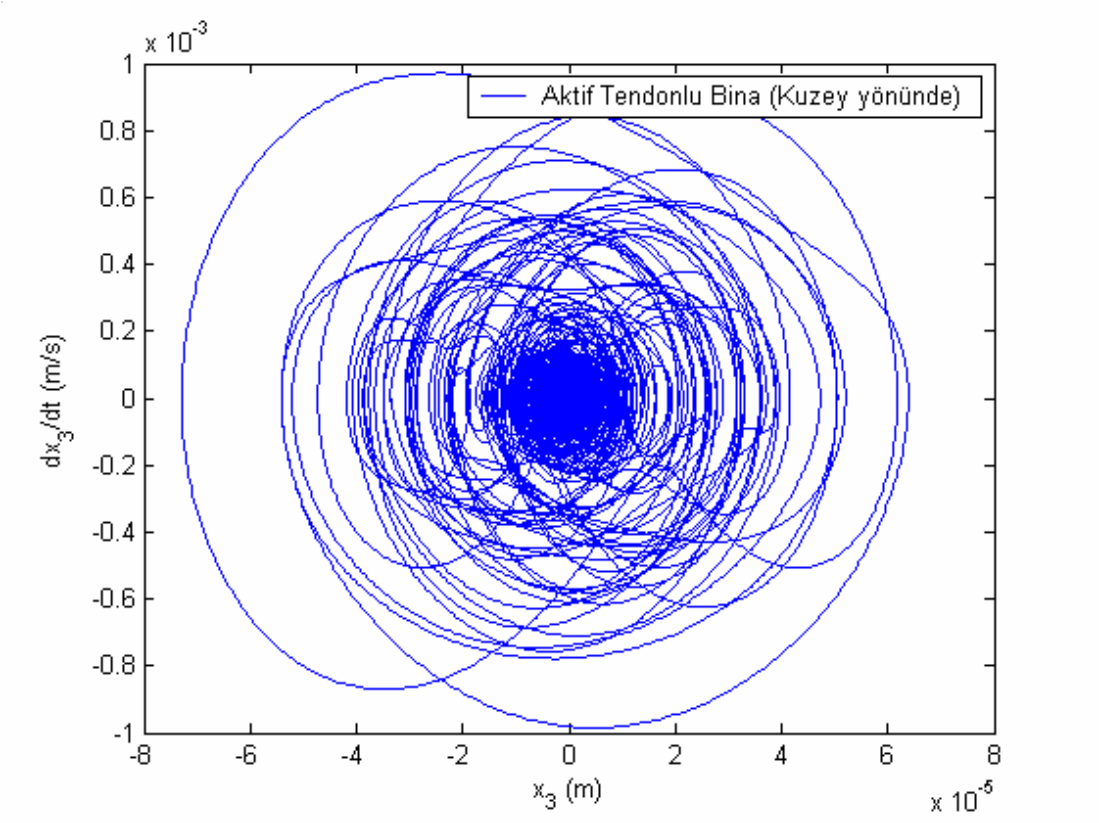

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

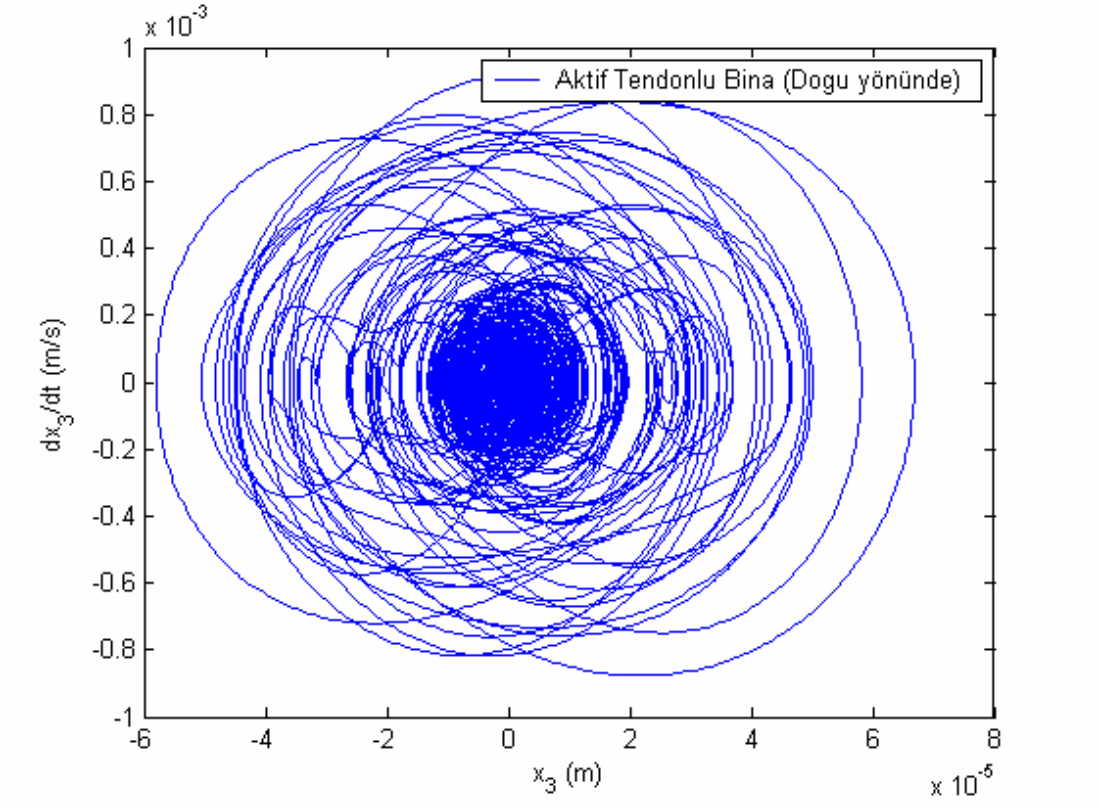

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

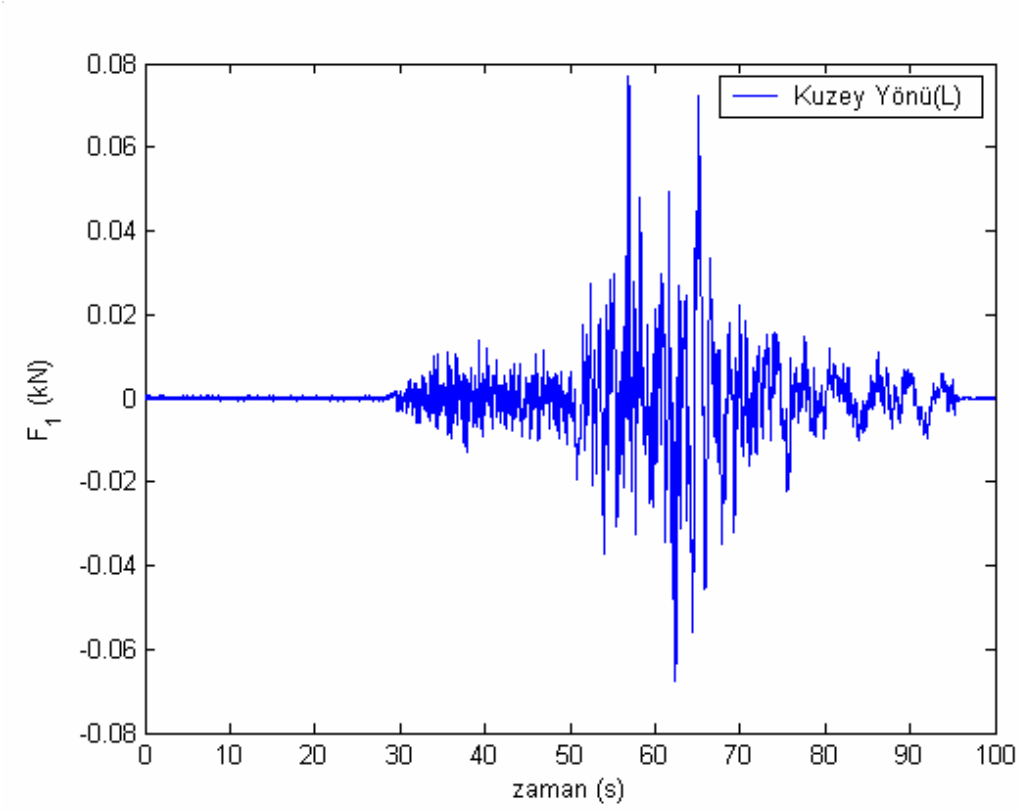

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

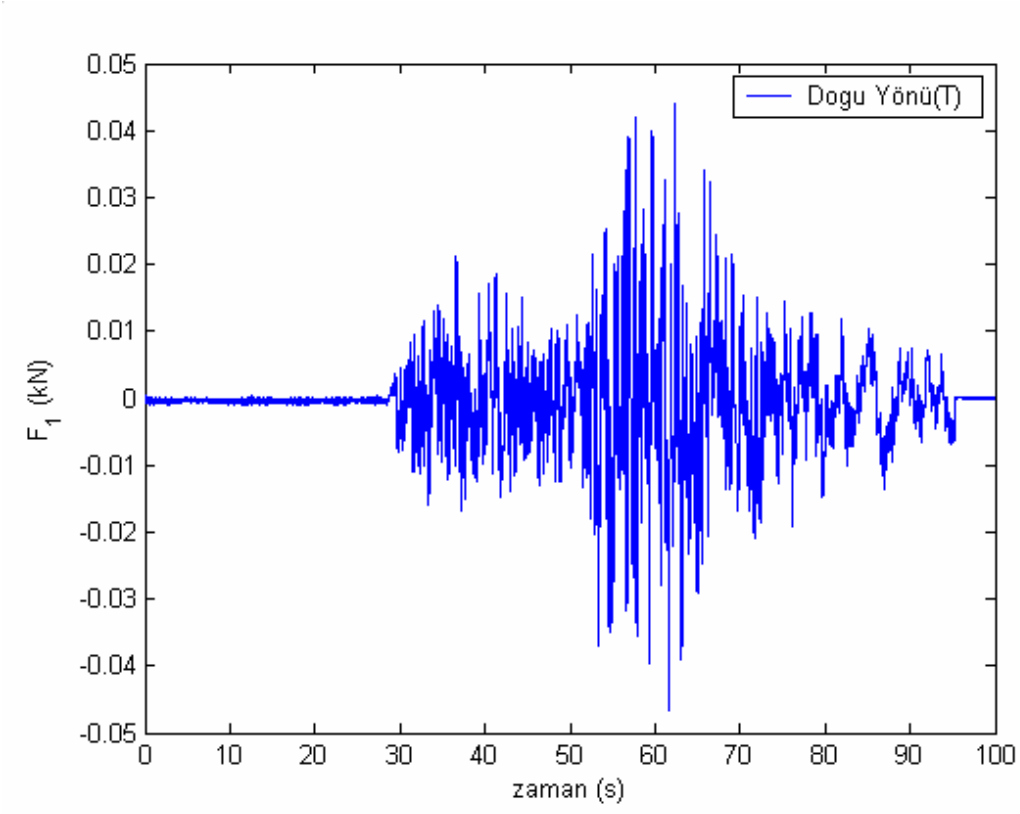

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
dx3/dt (m/s)
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
x3 (m)
x 10-3

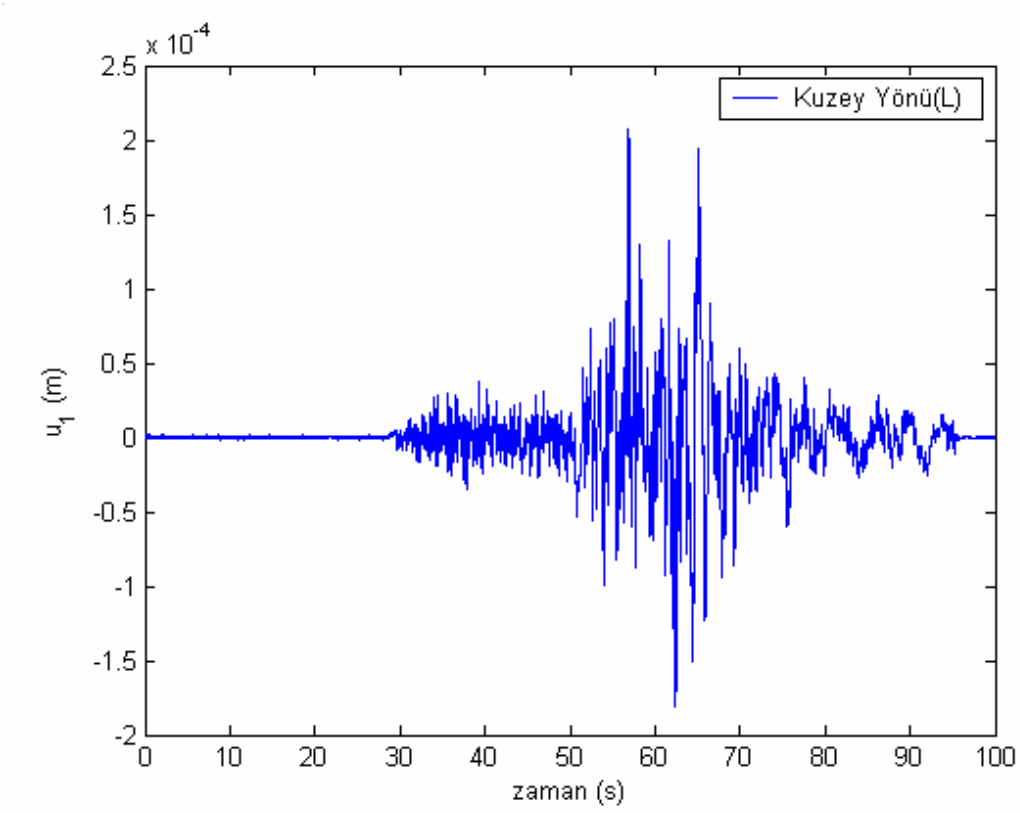

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
dx3/dt (m/s)
-2
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
x3 (m)
x 10-3

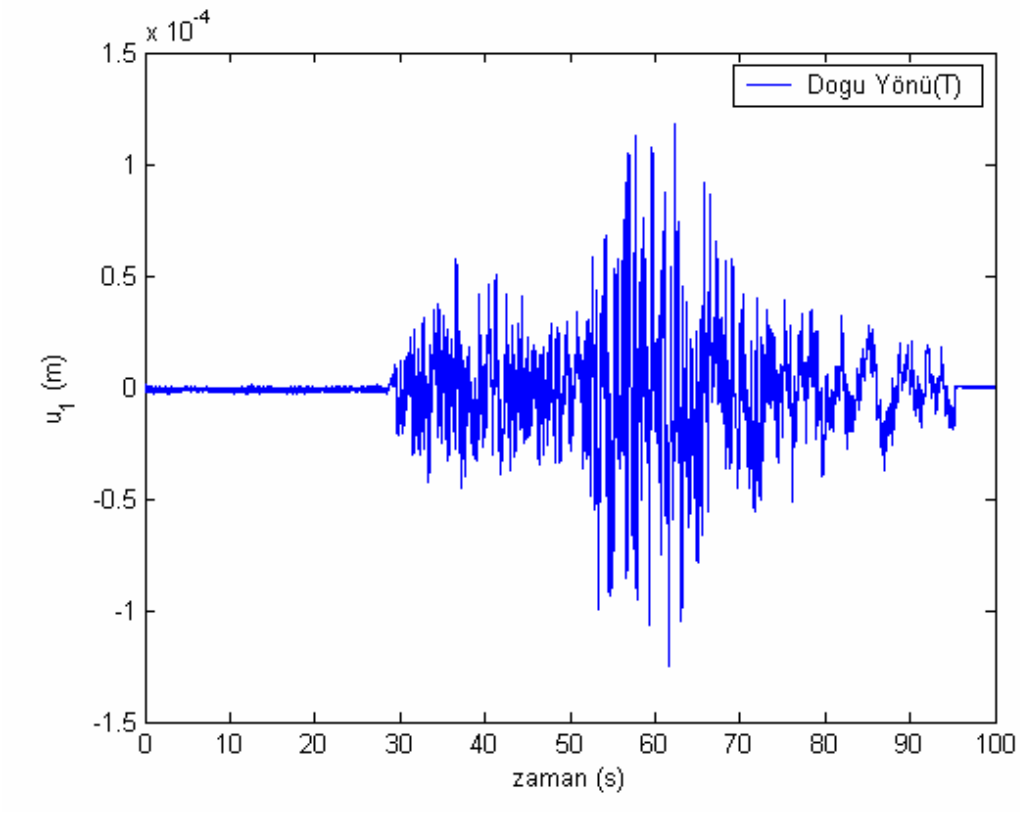

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10^-5

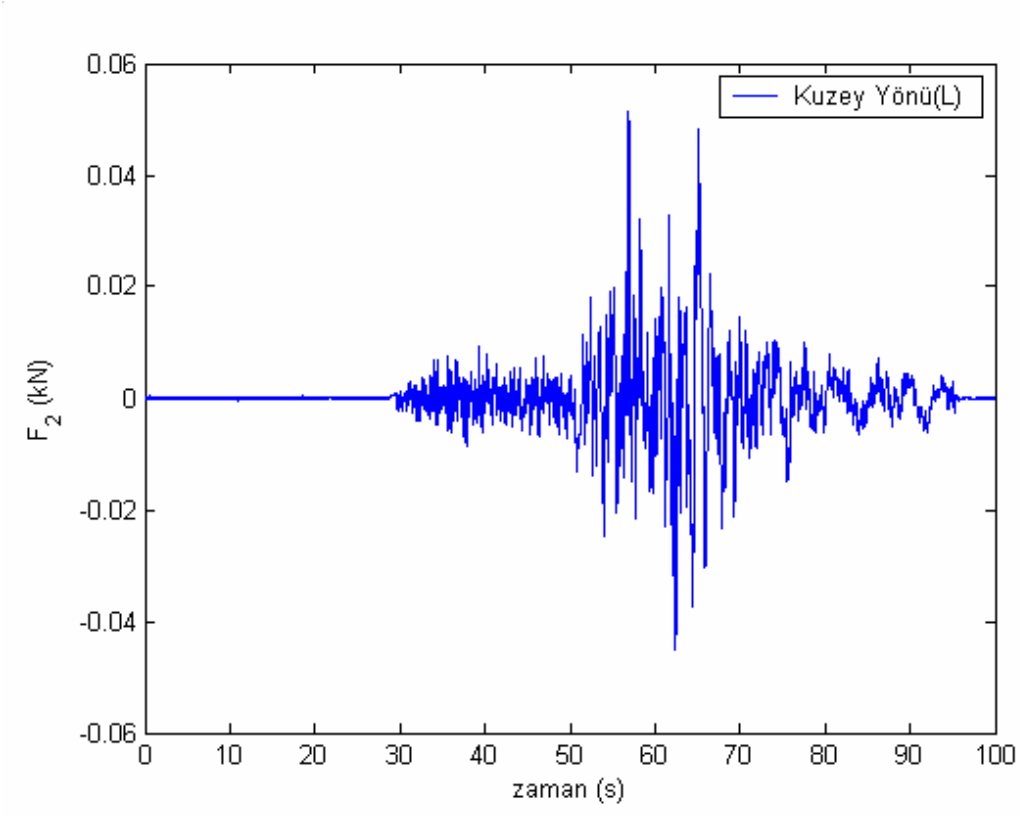

x 10^-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx3/dt (m/s)
x3 (m)
x 10^-5

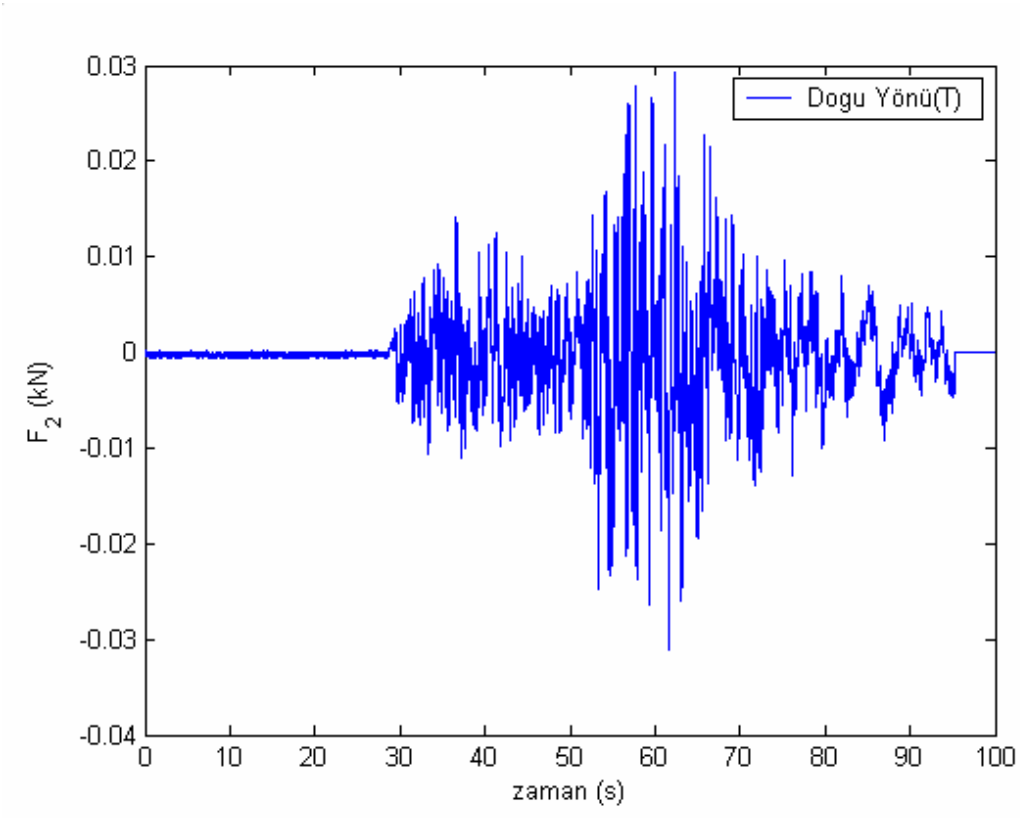

Kuzey Yönü(L)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
F1 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

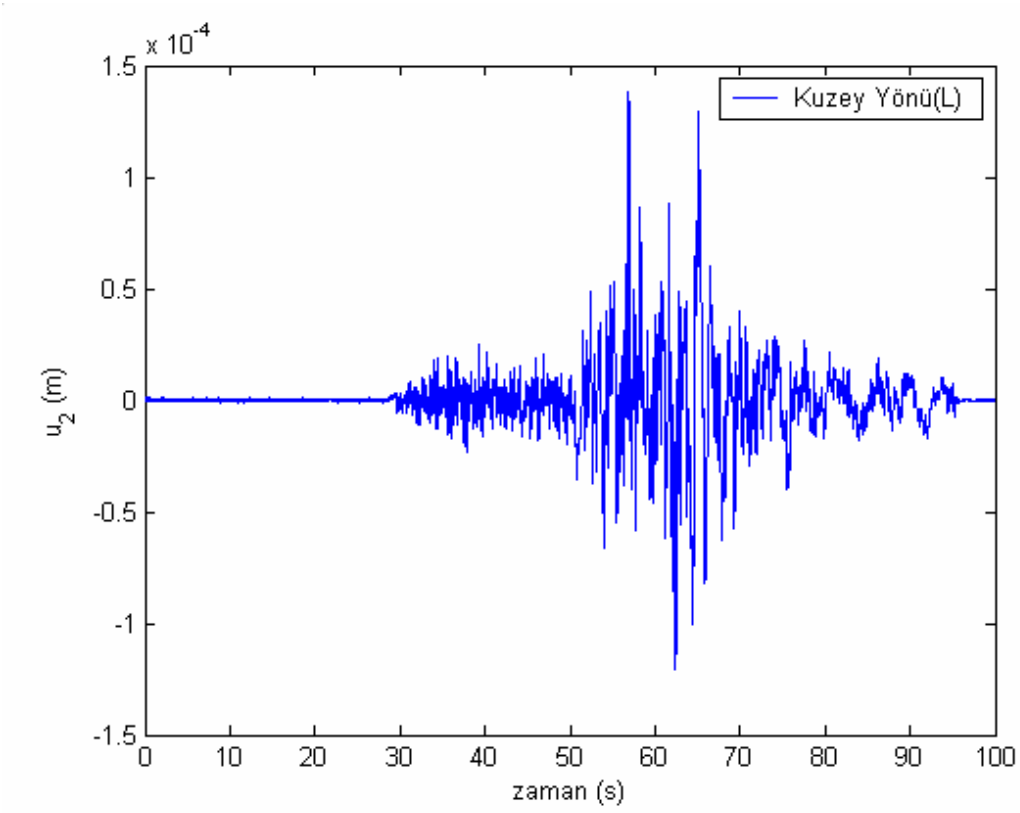

Dogu Yönü(T)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
F1 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

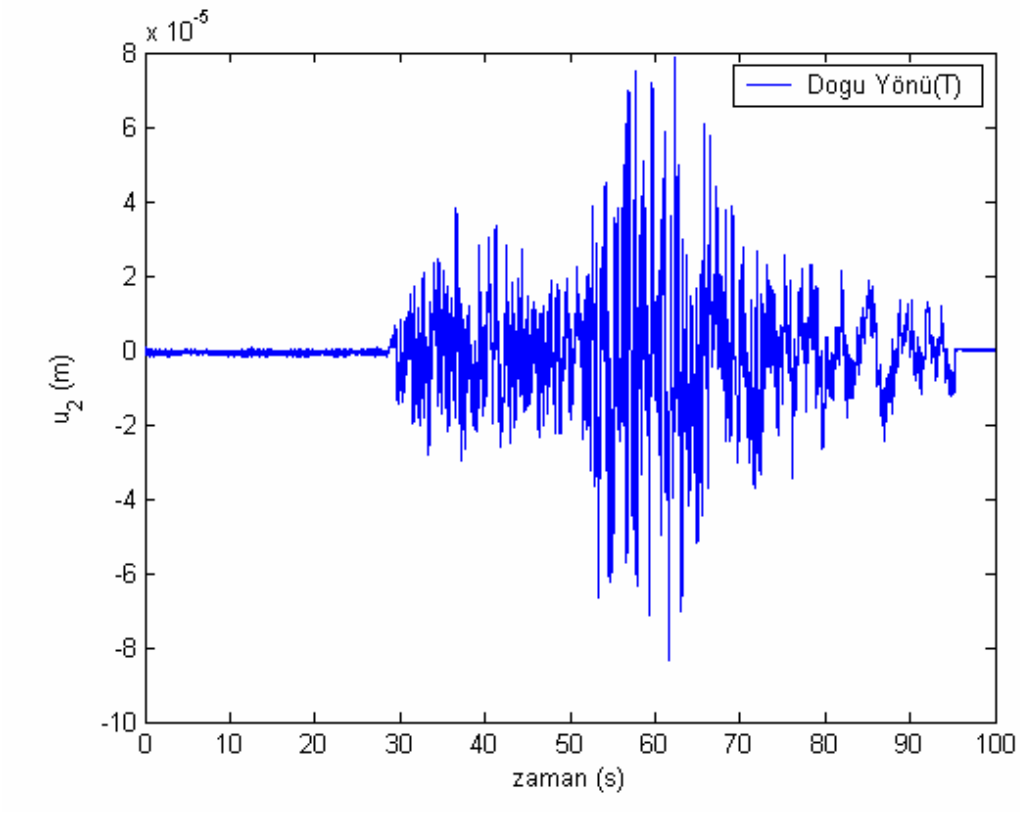

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

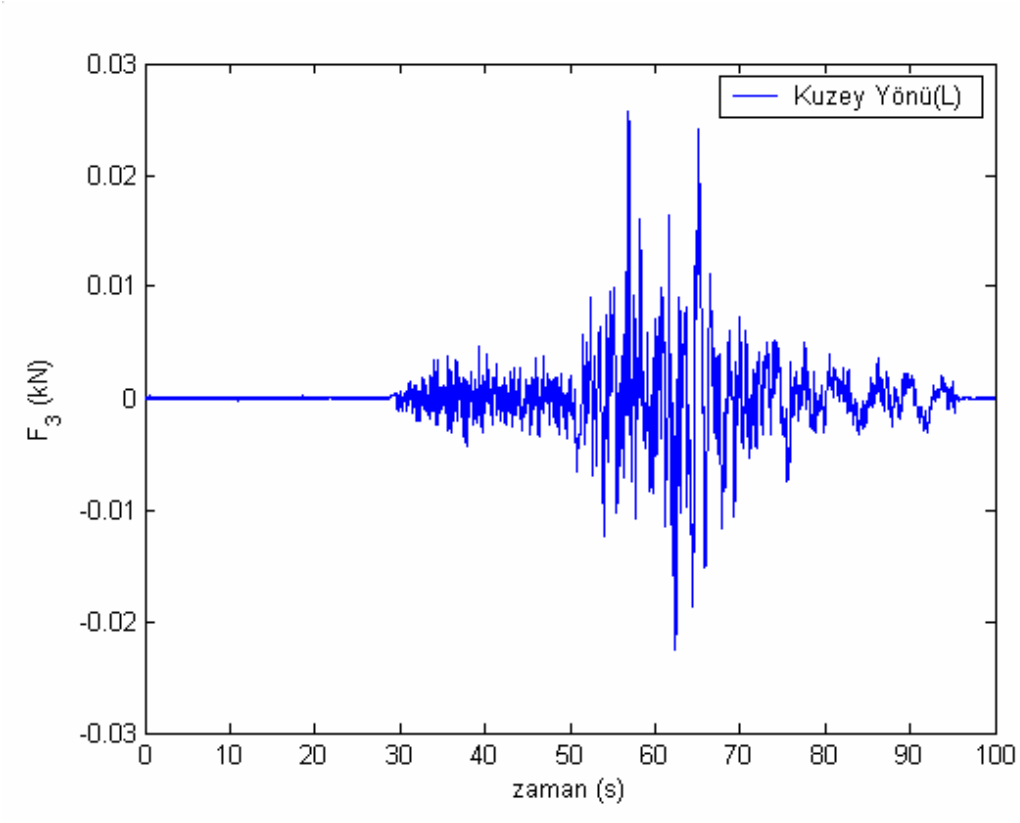

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

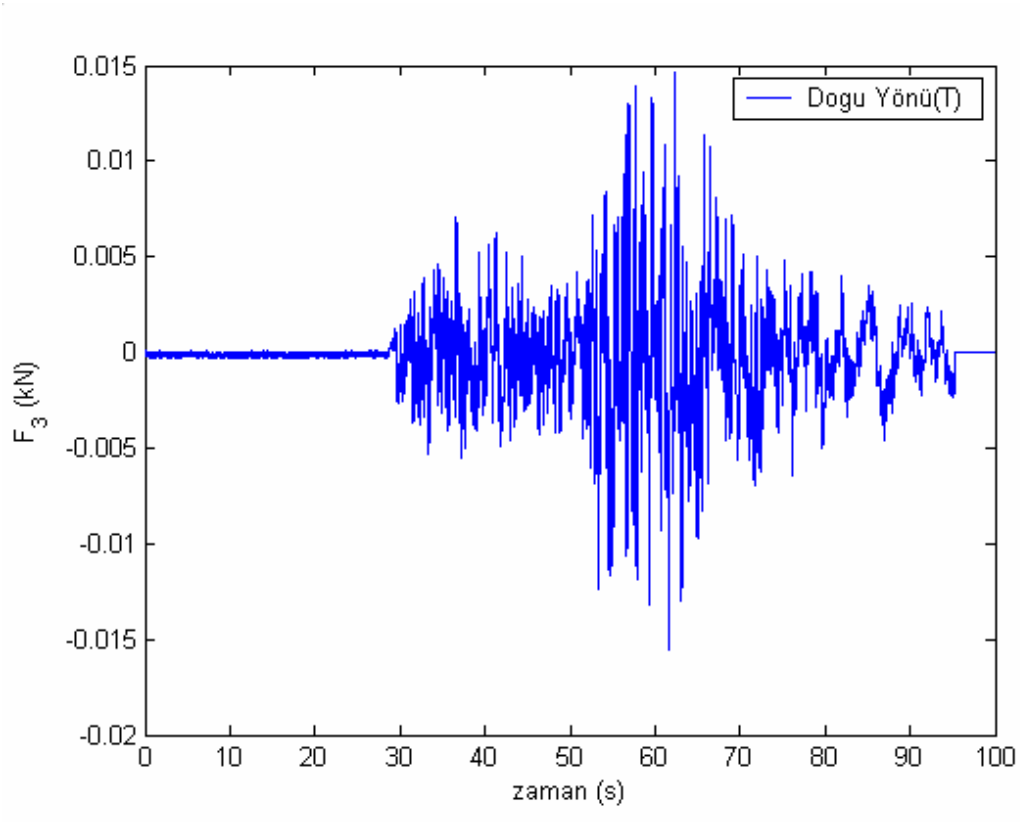

Kuzey Yönü(L)
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
F2 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

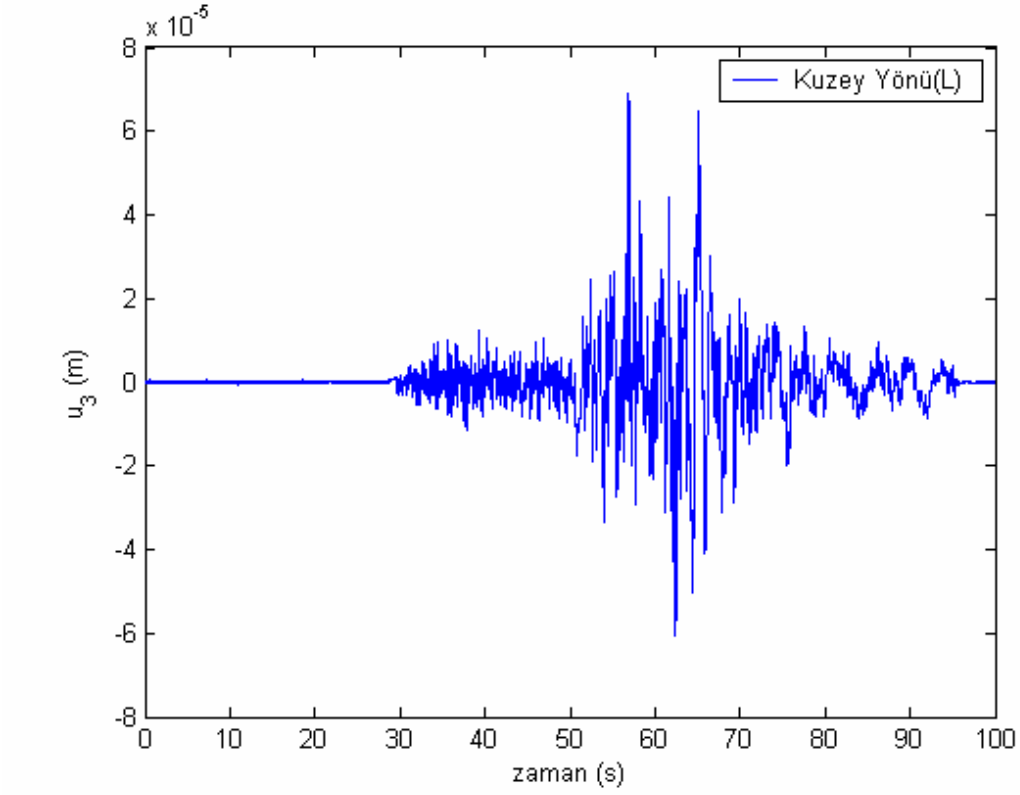

Dogu Yönü(T)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
F2 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

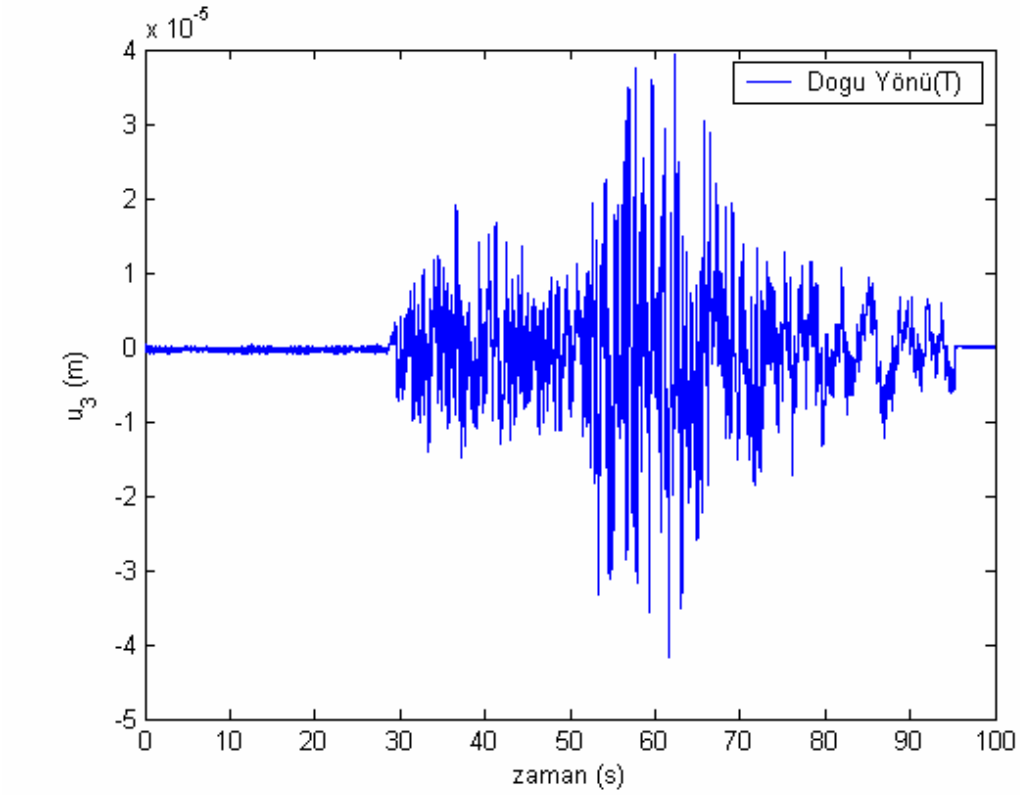

x 10^-4
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
u2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
Kuzey Yönü(L)


x 10^-5
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
u2 (m)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)
Dogu Yönü(T)

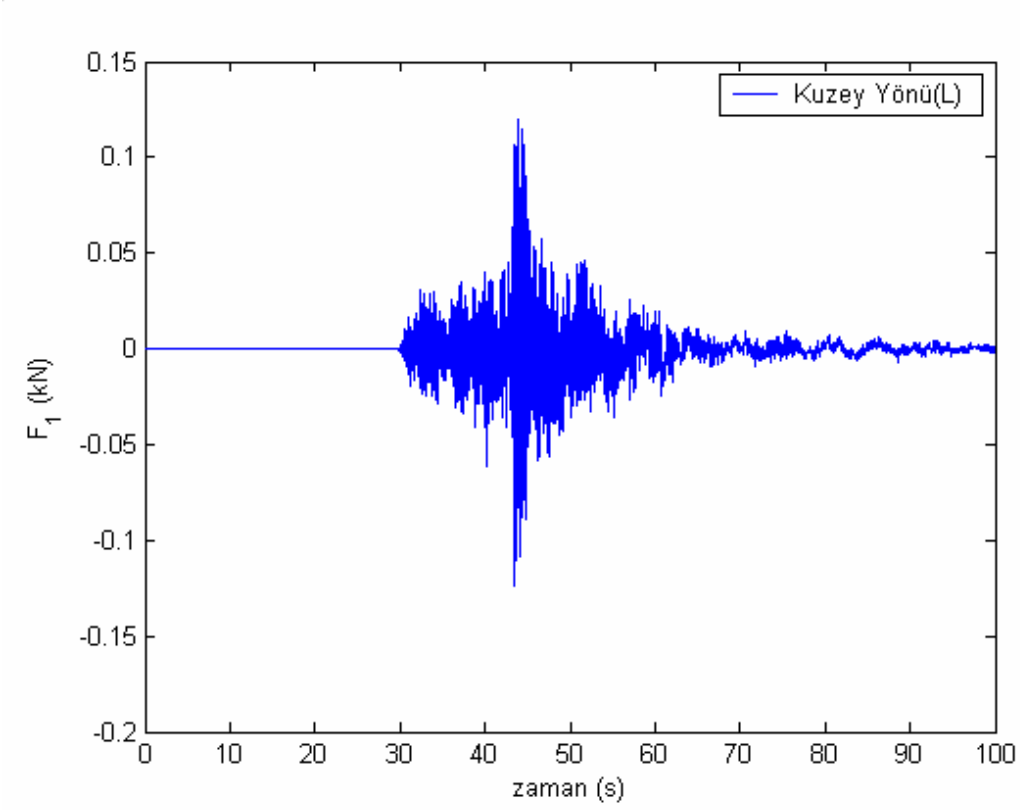

Kuzey Yönü(L)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
F3 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

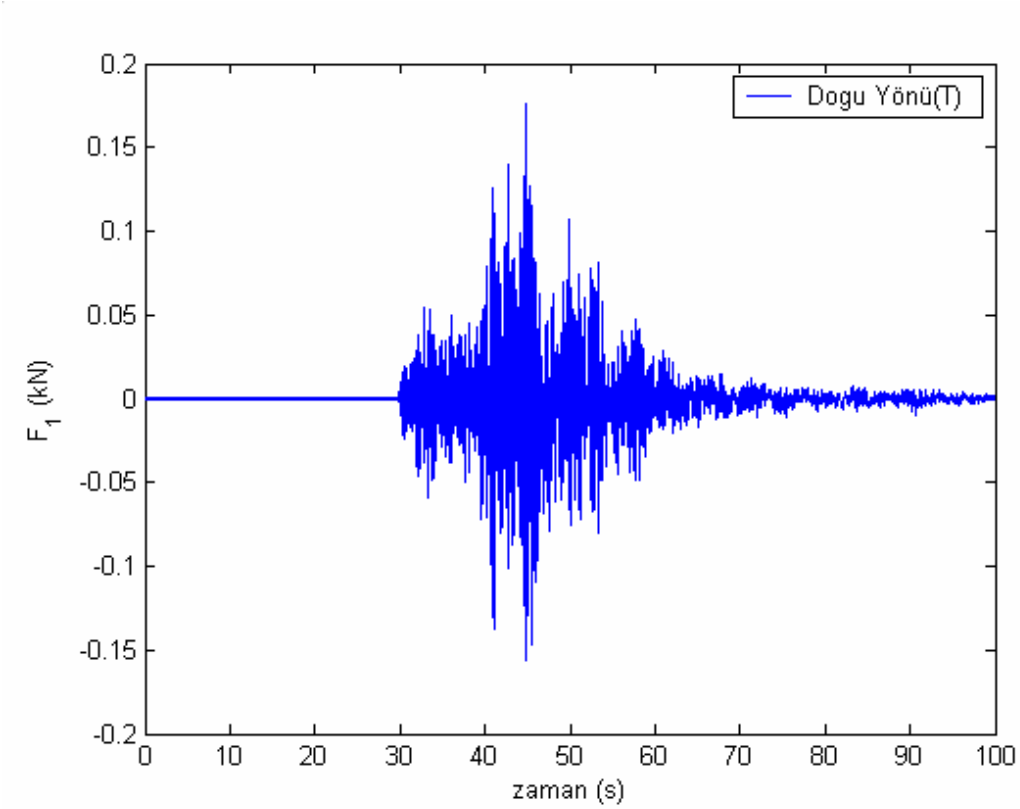

Dogu Yönü(T)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
F3 (kN)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
zaman (s)

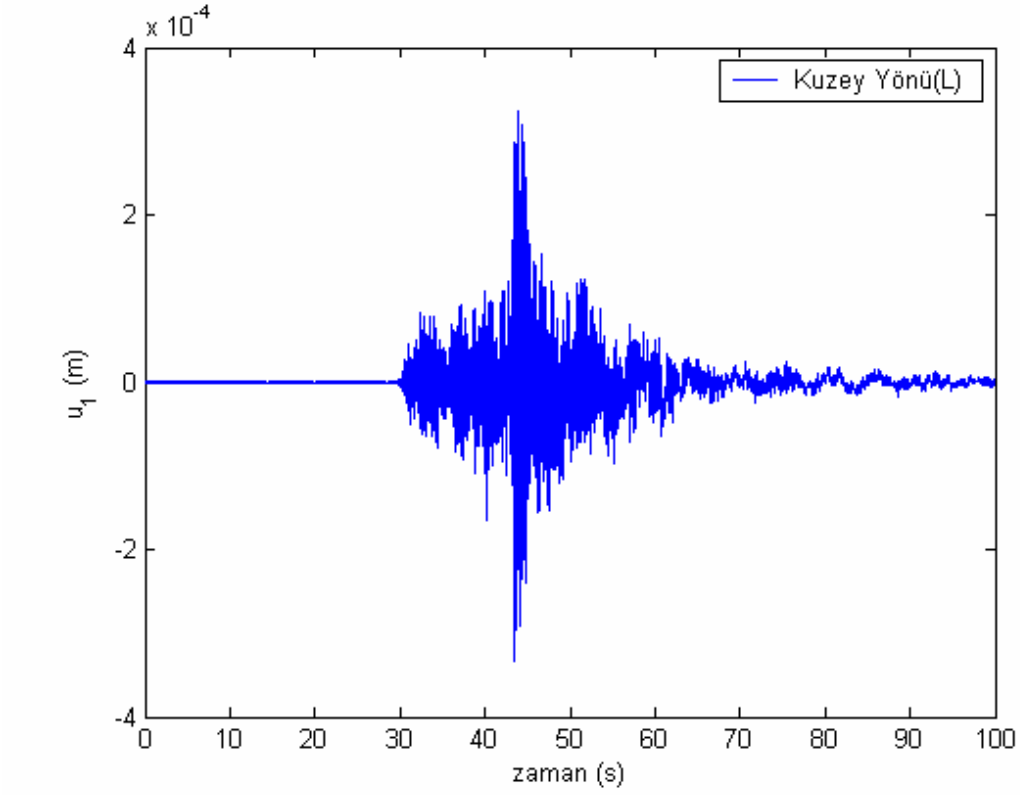

x 10^-5
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

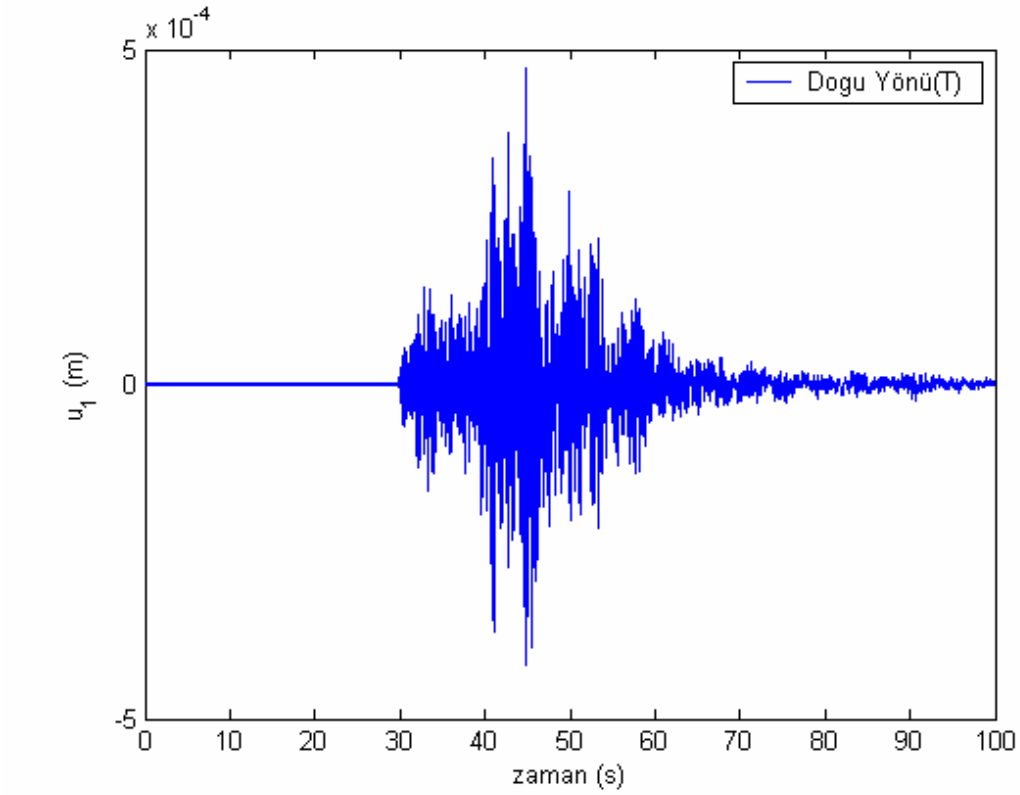

x 10^-5
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

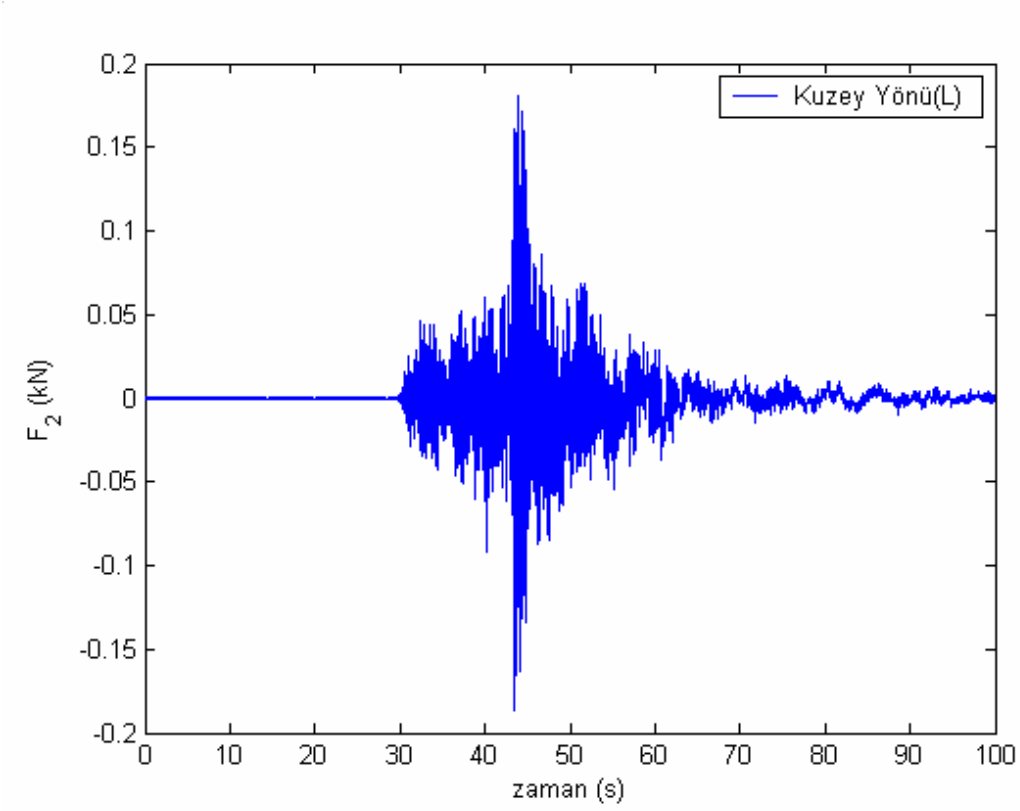
EK 4d: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Aşağıdan Uzanan Tendonlar ile Kontrol)

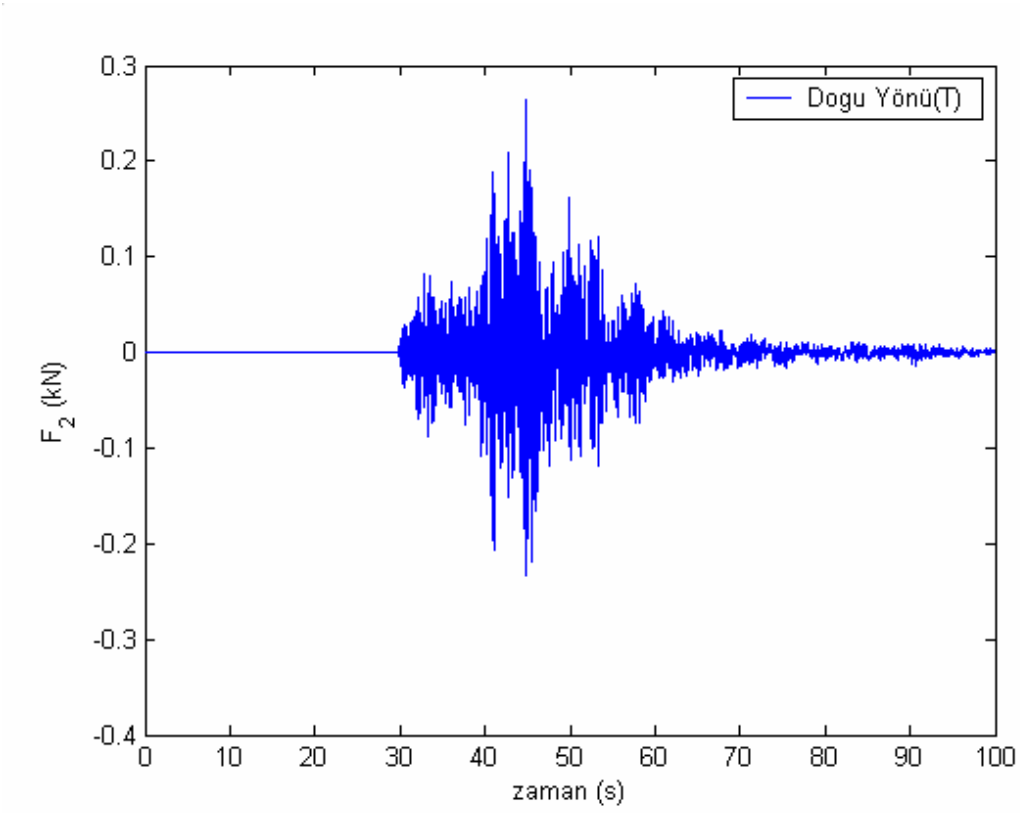


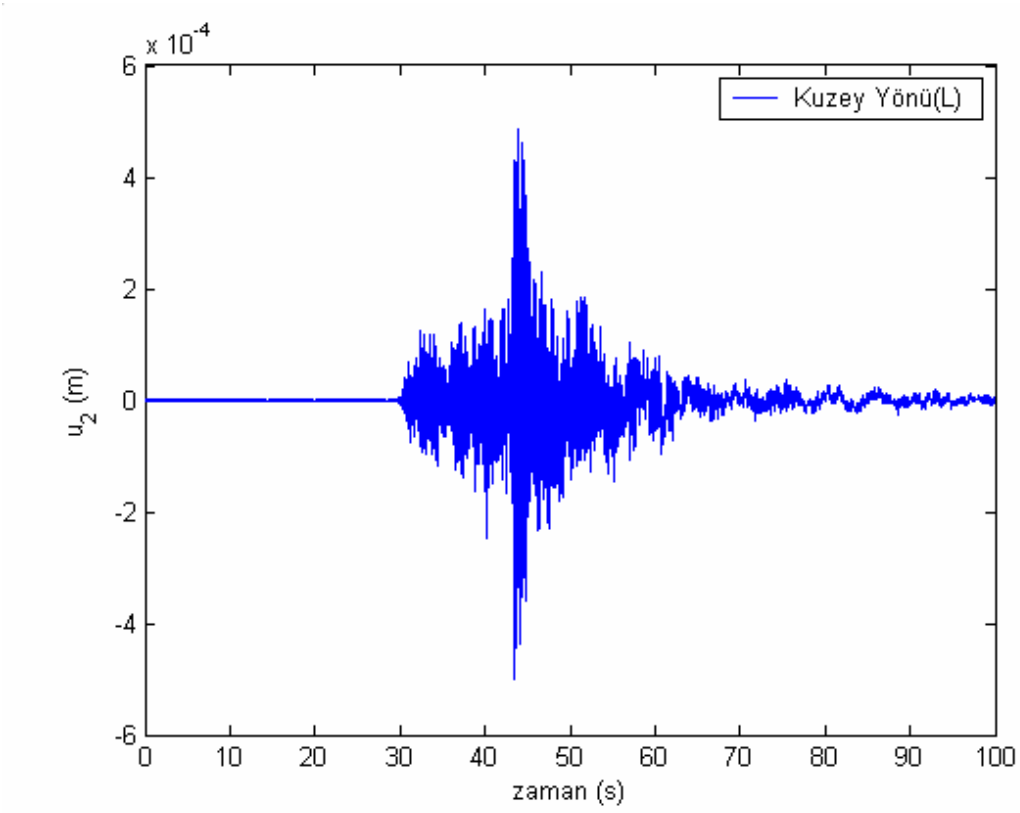


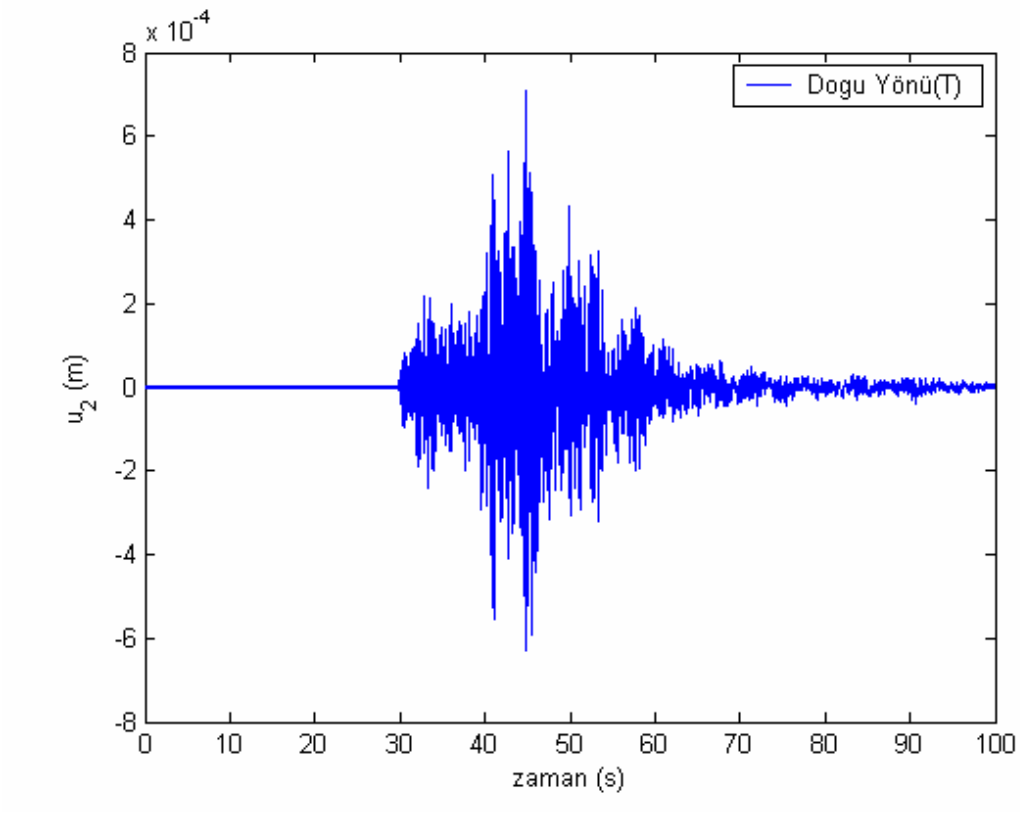

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

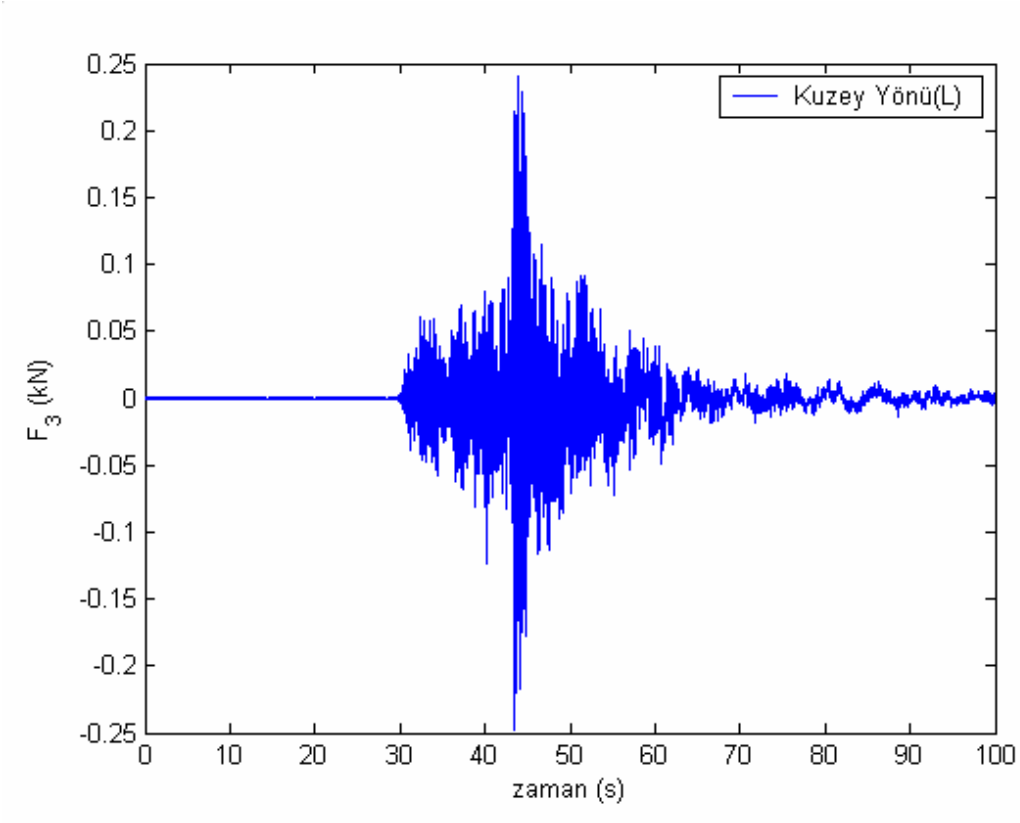

x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

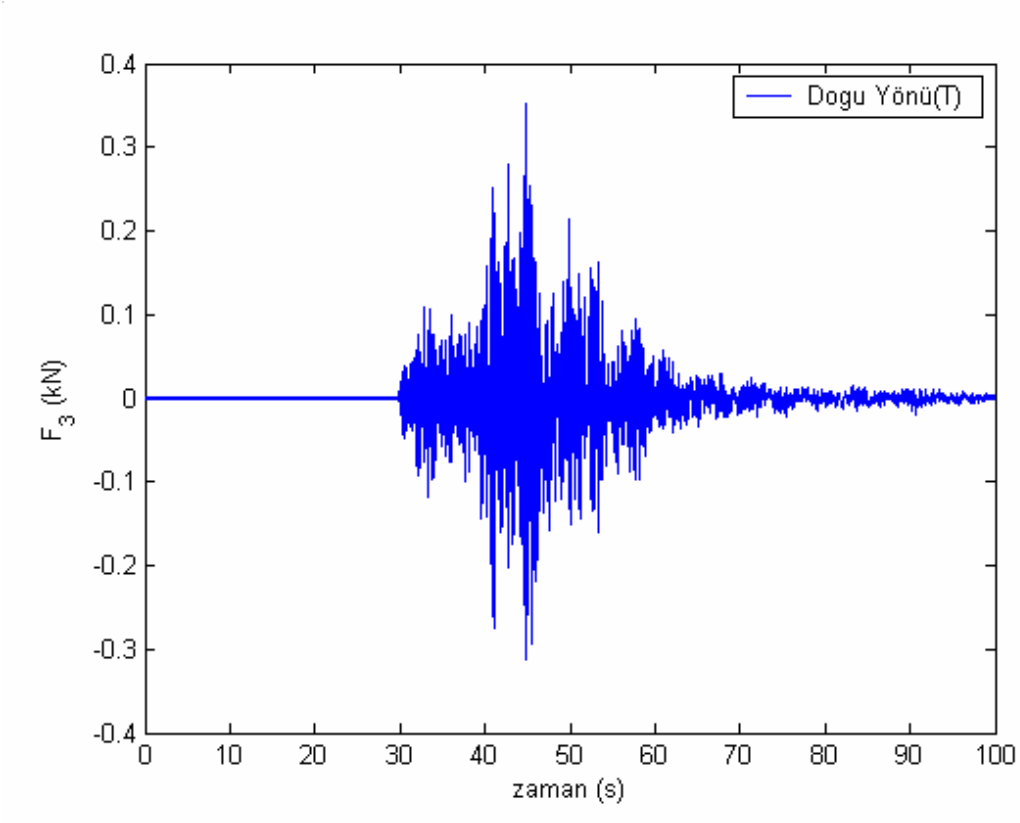

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

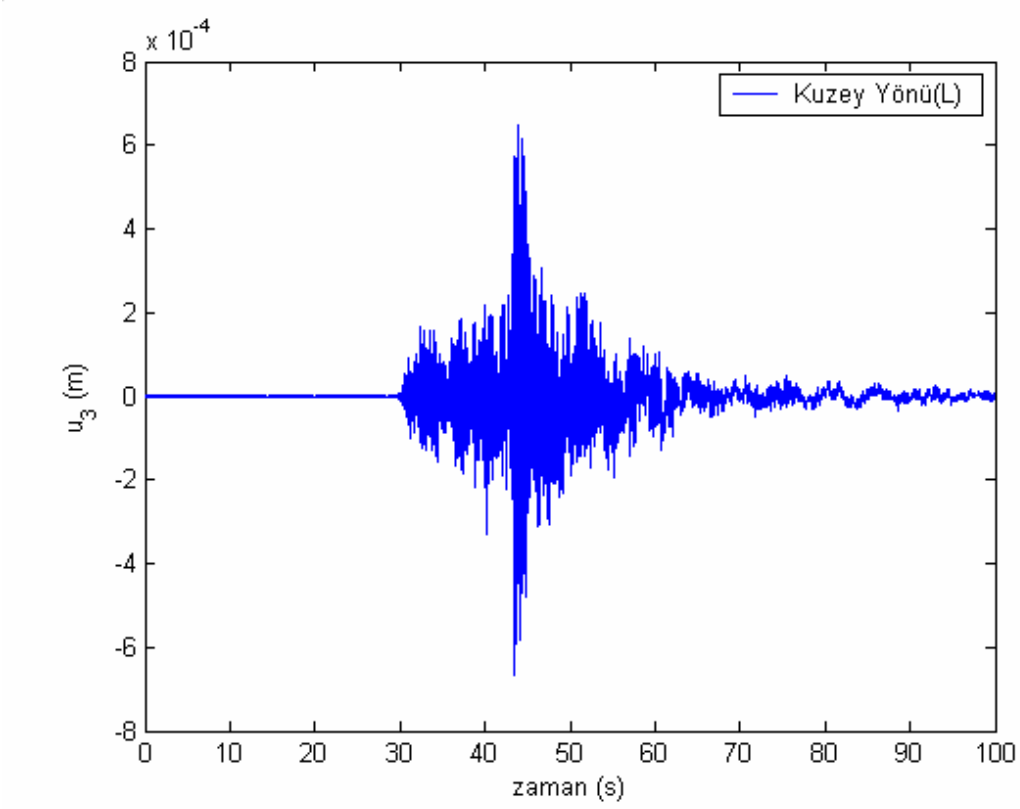

Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

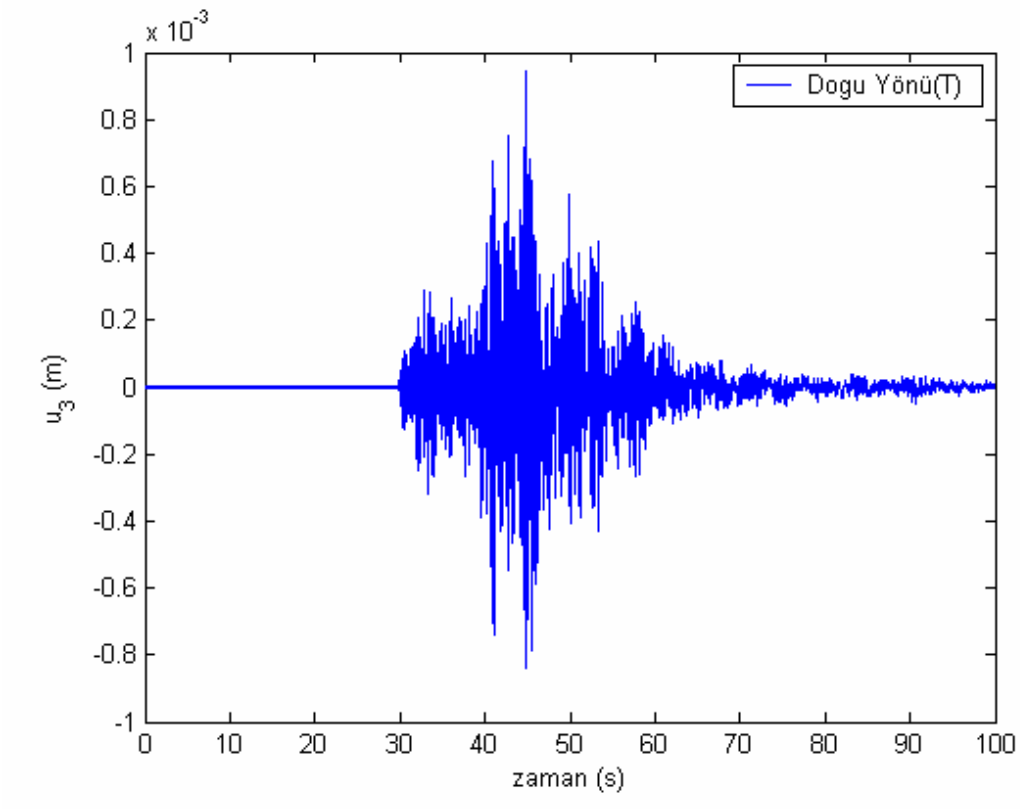

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-4
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)


Kuzey Yönü(L)
F3 (kN)
zaman (s)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

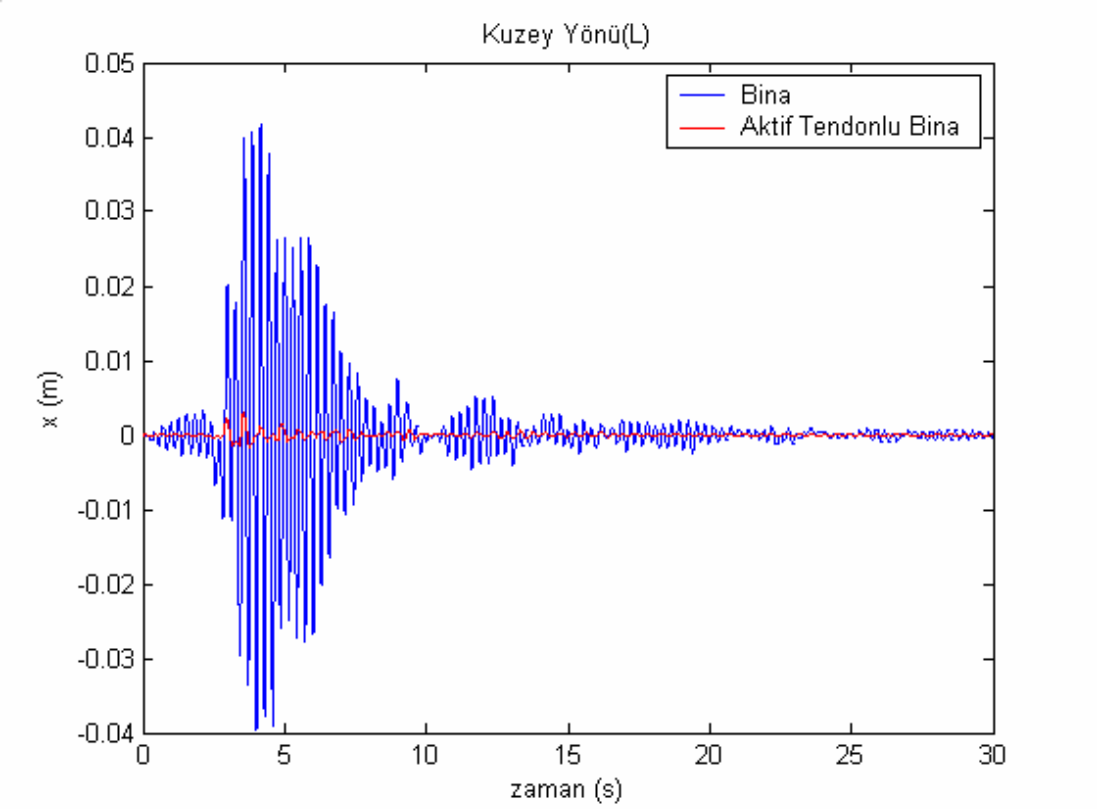

x 10^-4
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

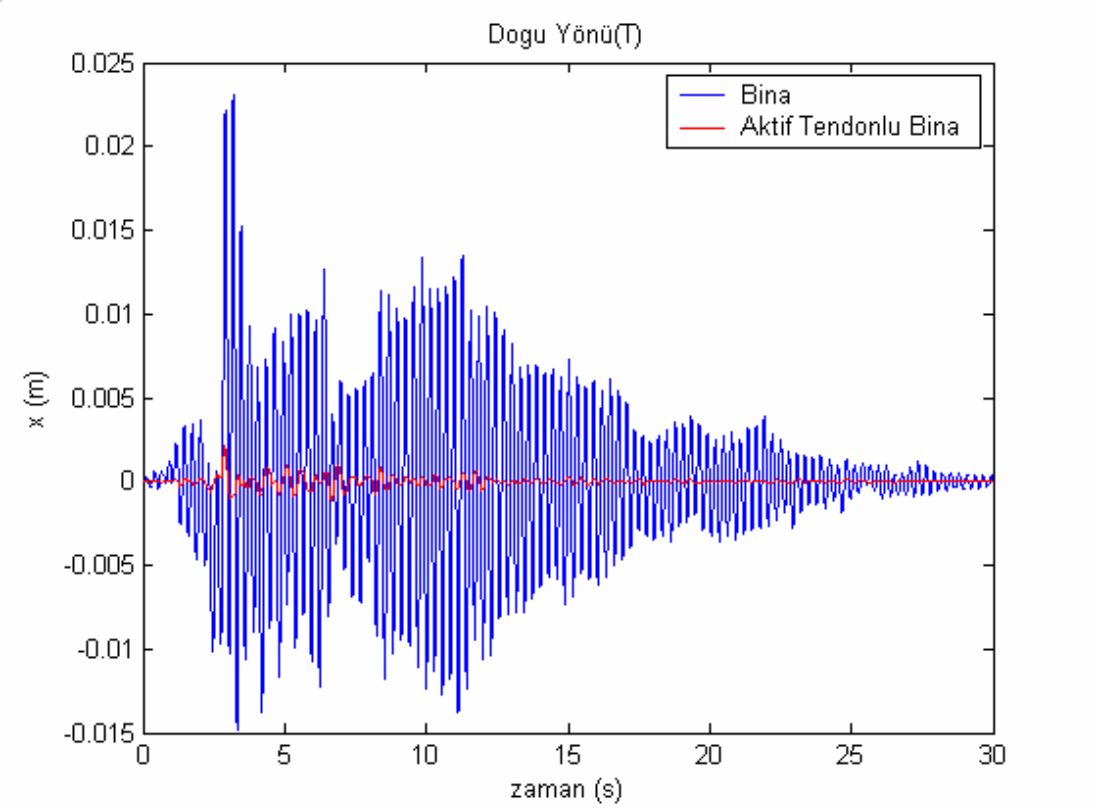

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

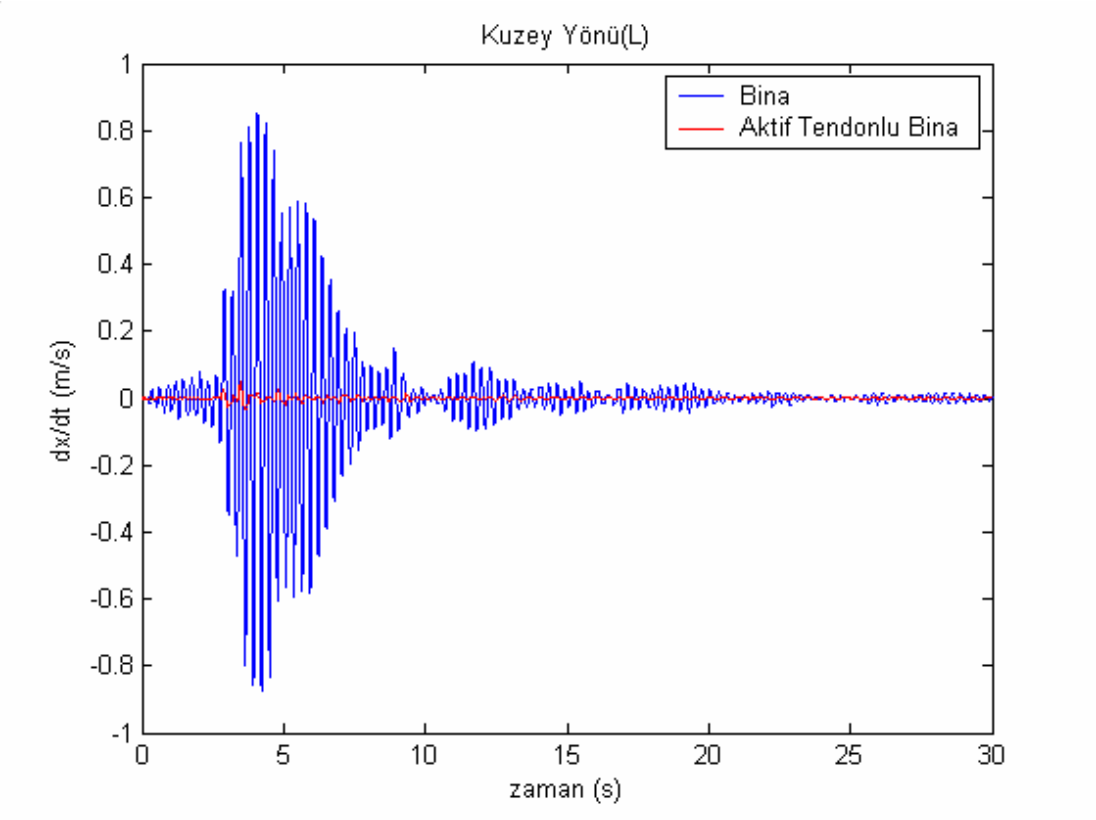
EK 7

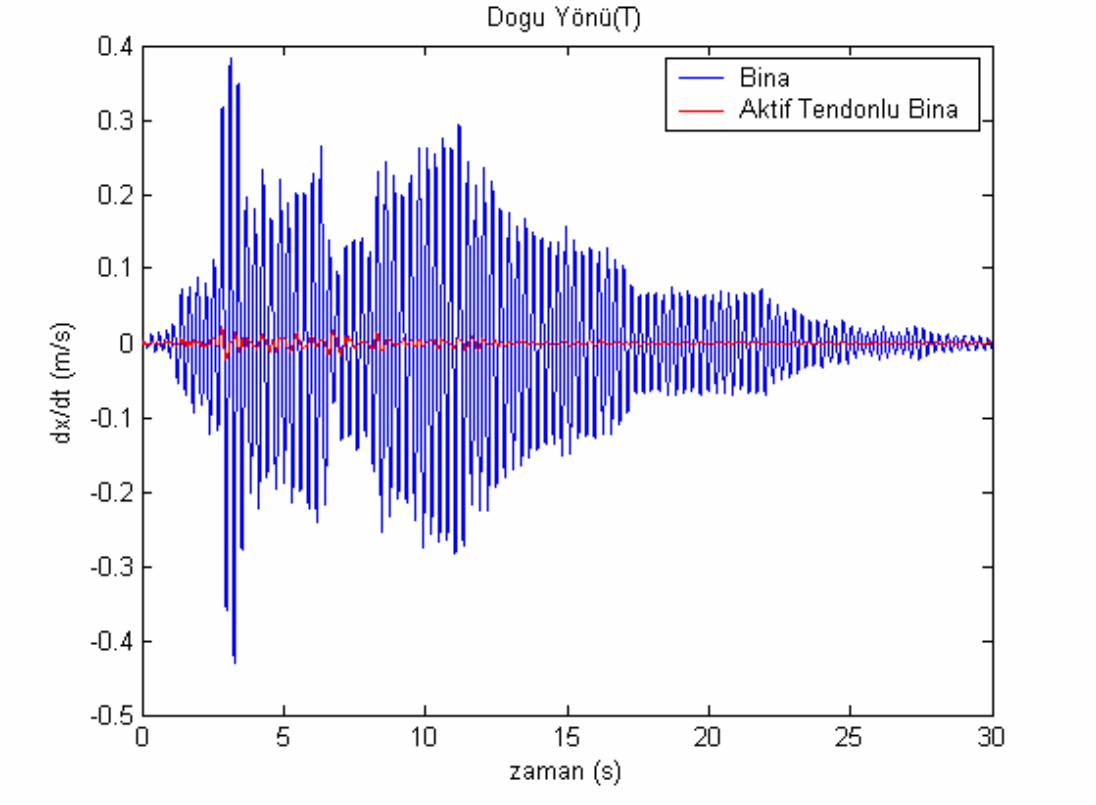
Erzincan(1992) Depremi Erzincan Kaydı için Grafikler

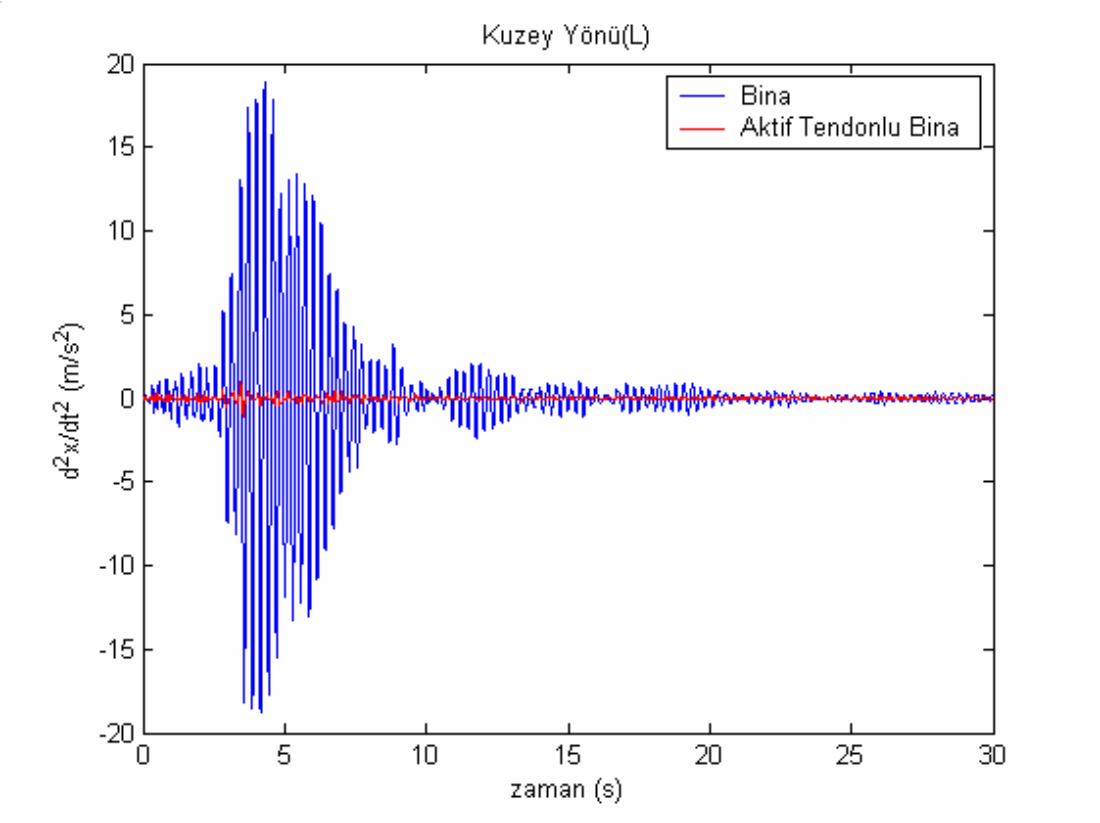
EK 4a: Tek Serbestlik Dereceli Sistem

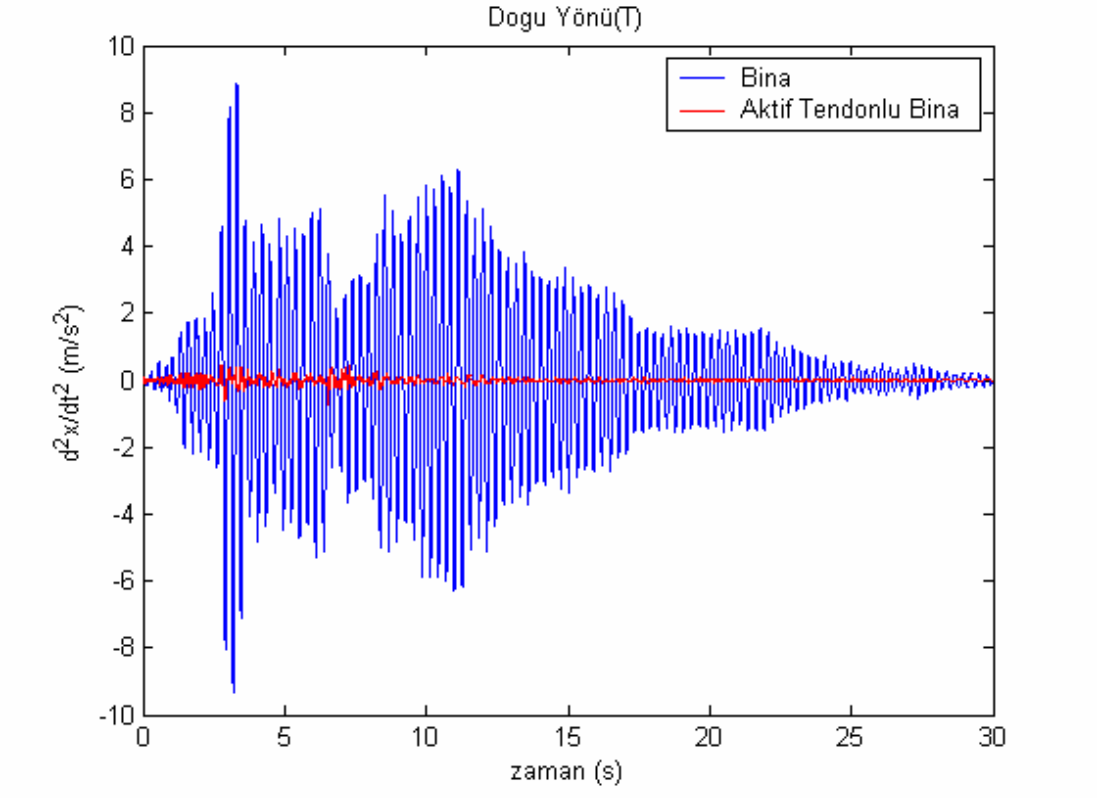


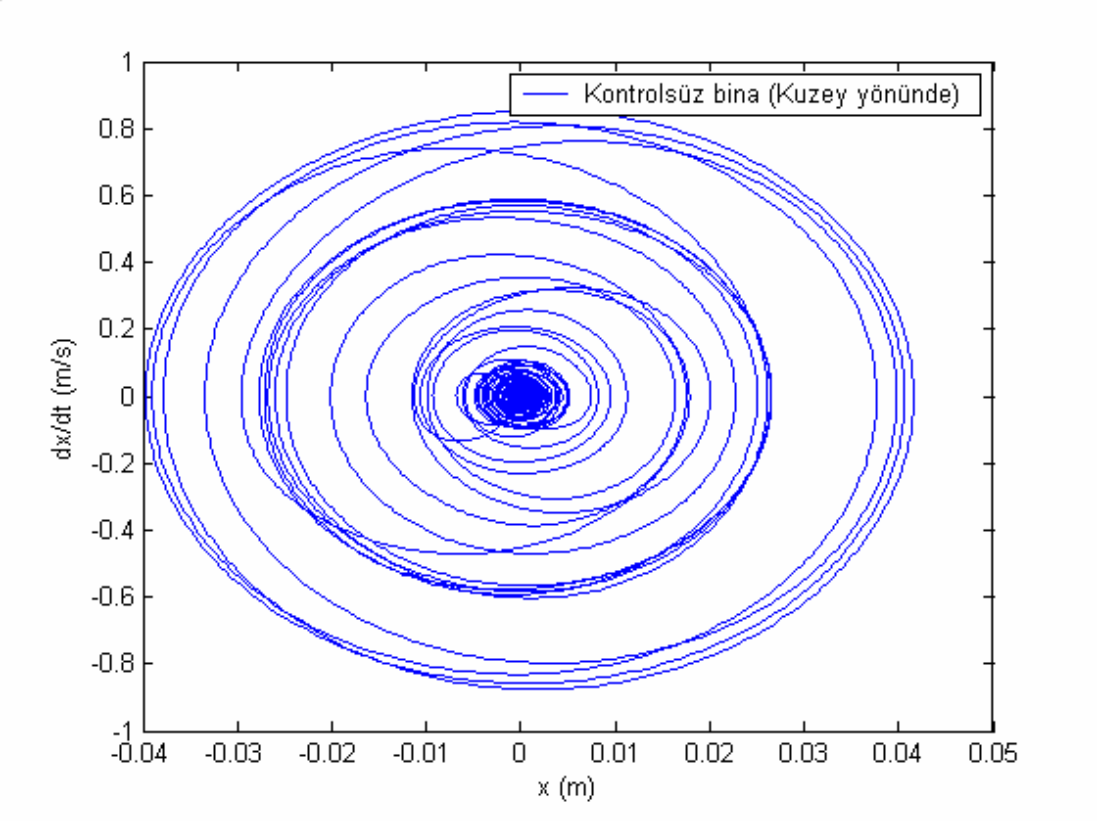


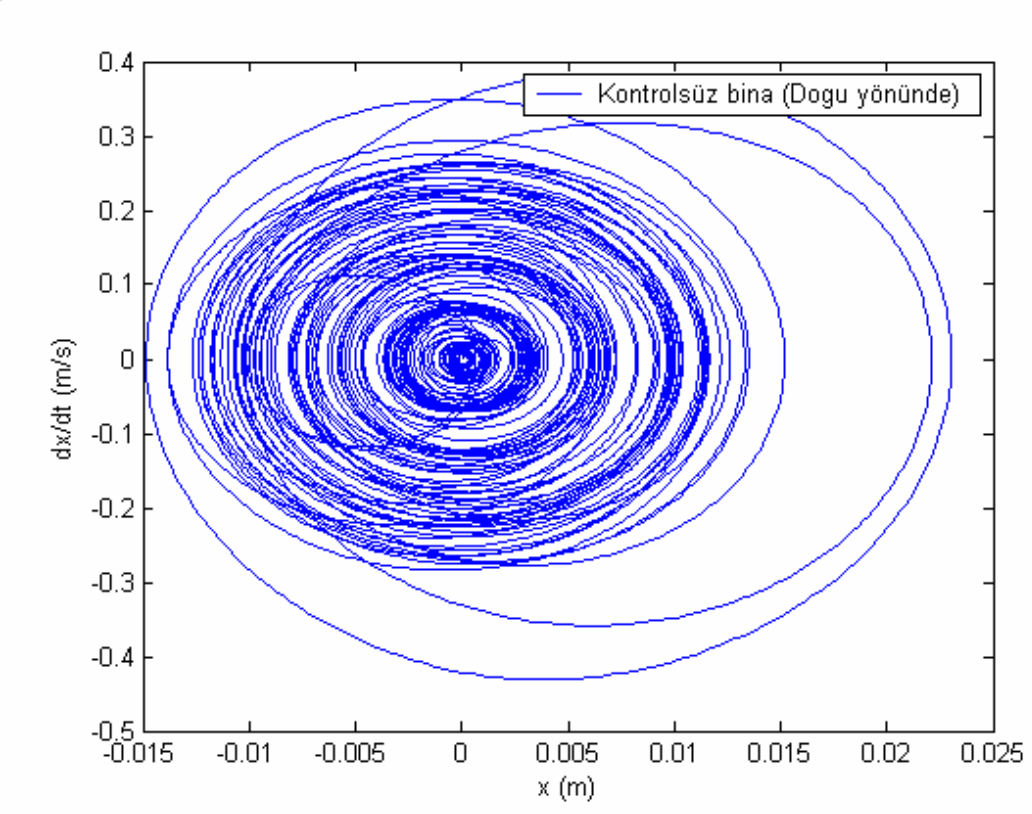

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
5
10
15
20
25
30

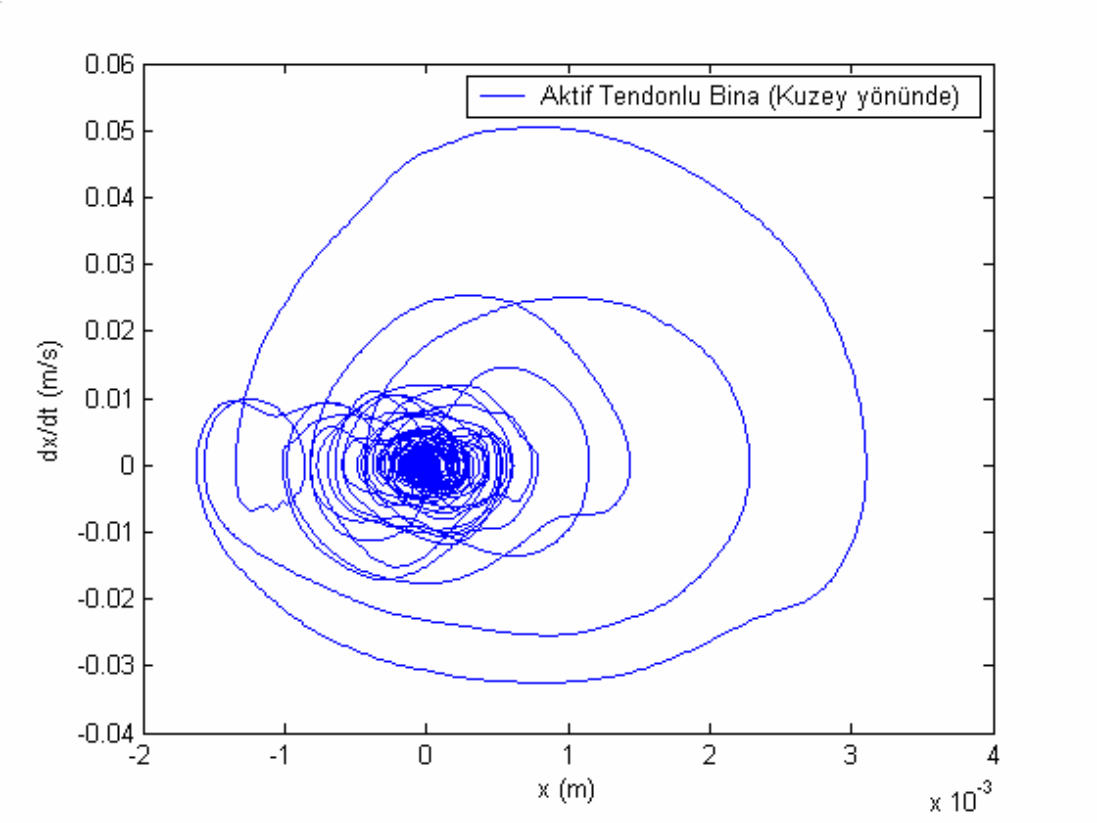

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx/dt (m/s)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
5
10
15
20
25
30

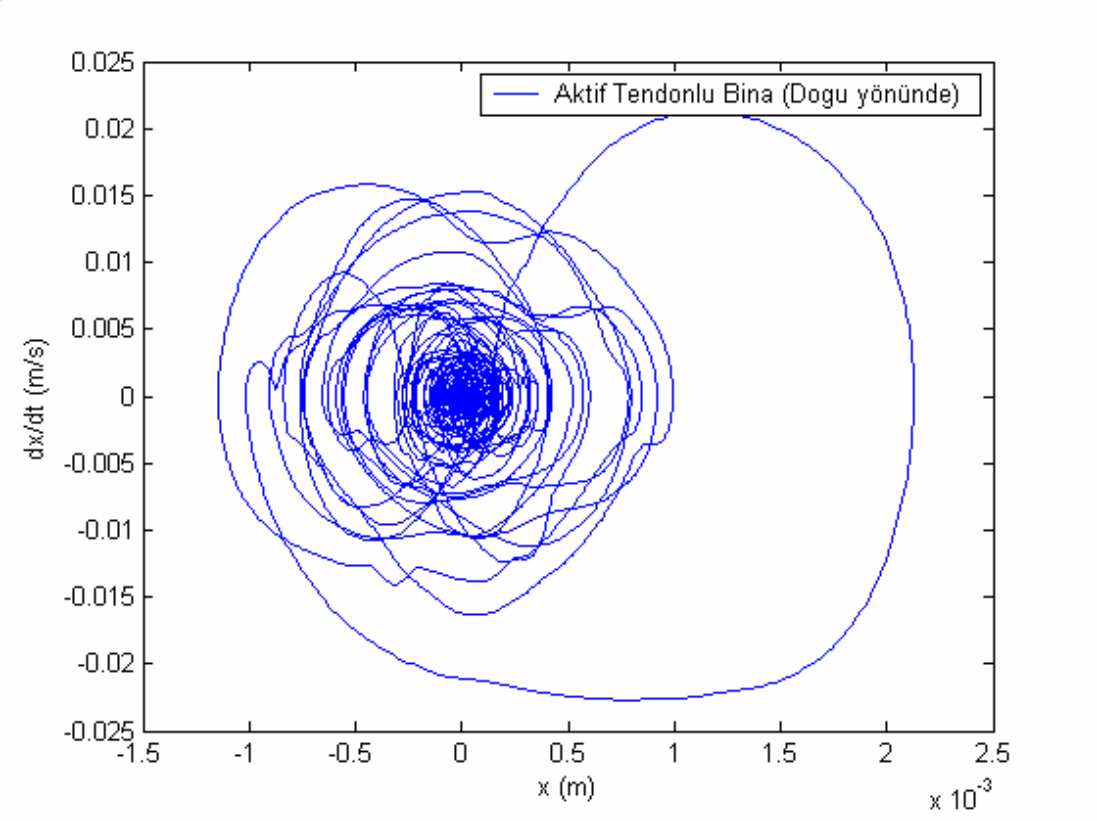

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d2x/dt2 (m/s2)
zaman (s)

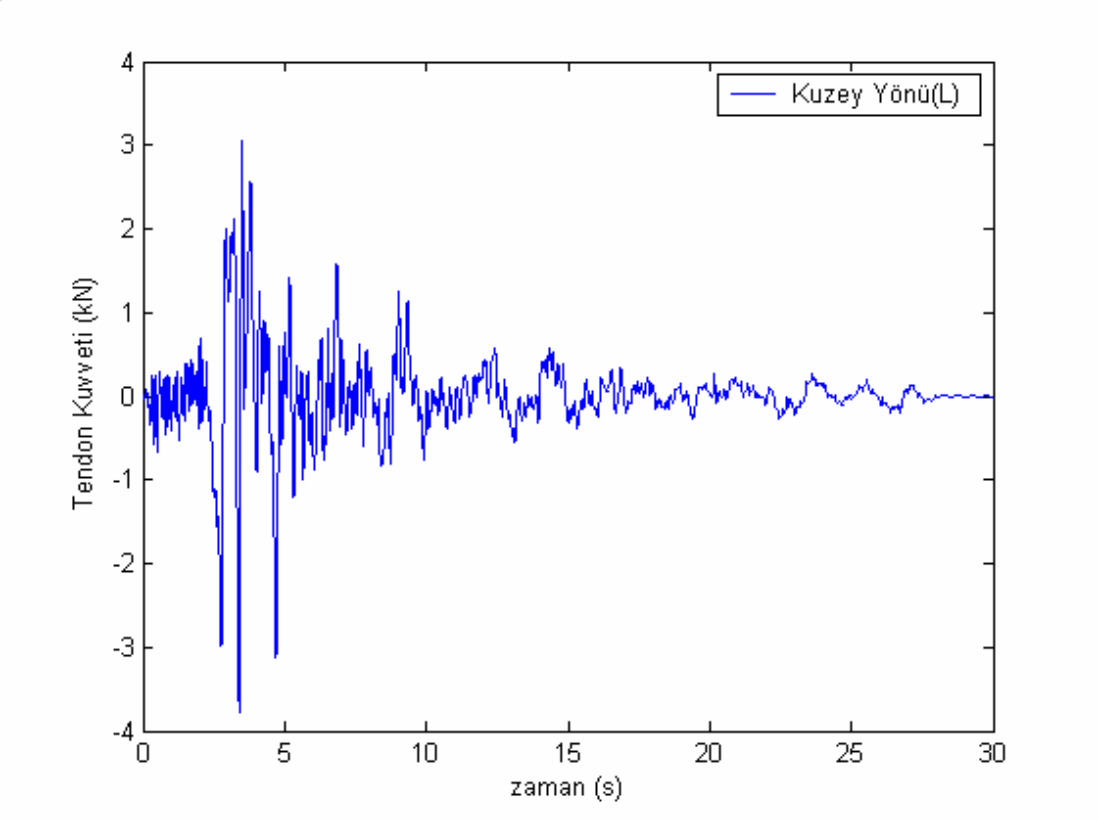

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d2x/dt2 (m/s2)
zaman (s)

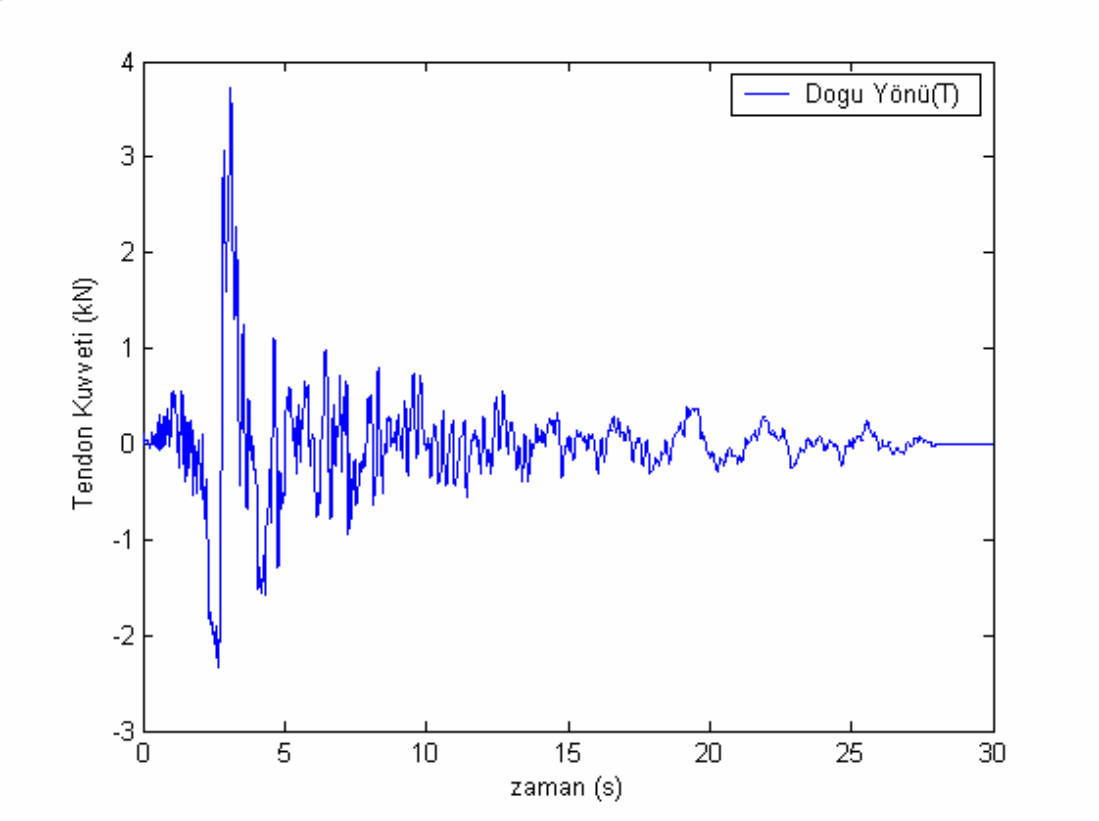

Kontrolsüz bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05

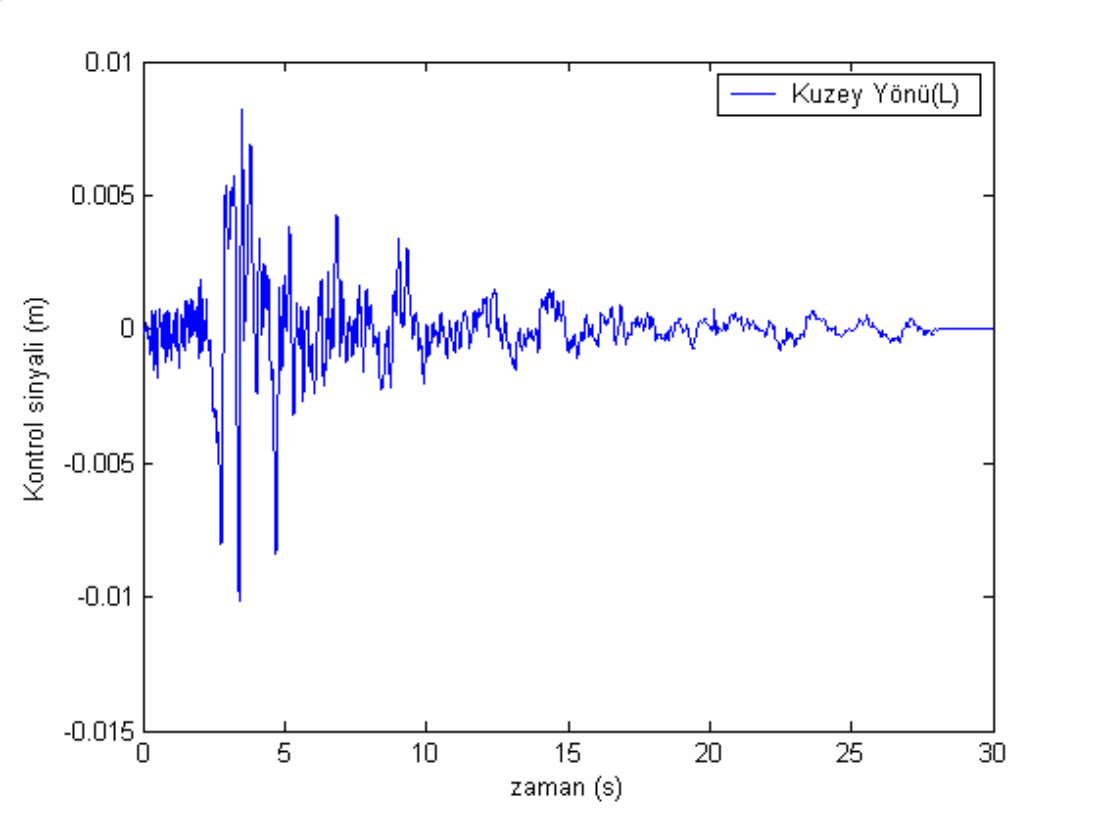

Kontrolsüz bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025

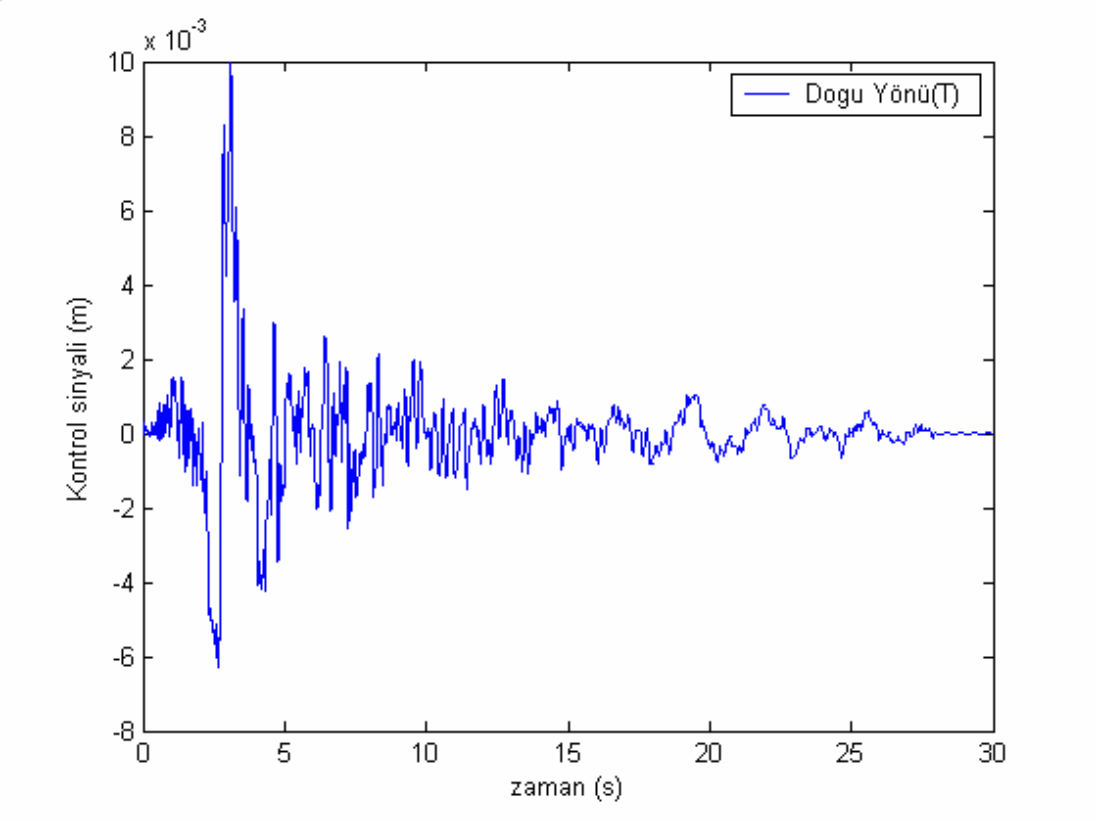

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-3


Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
dx/dt (m/s)
x (m)
x 10^-3

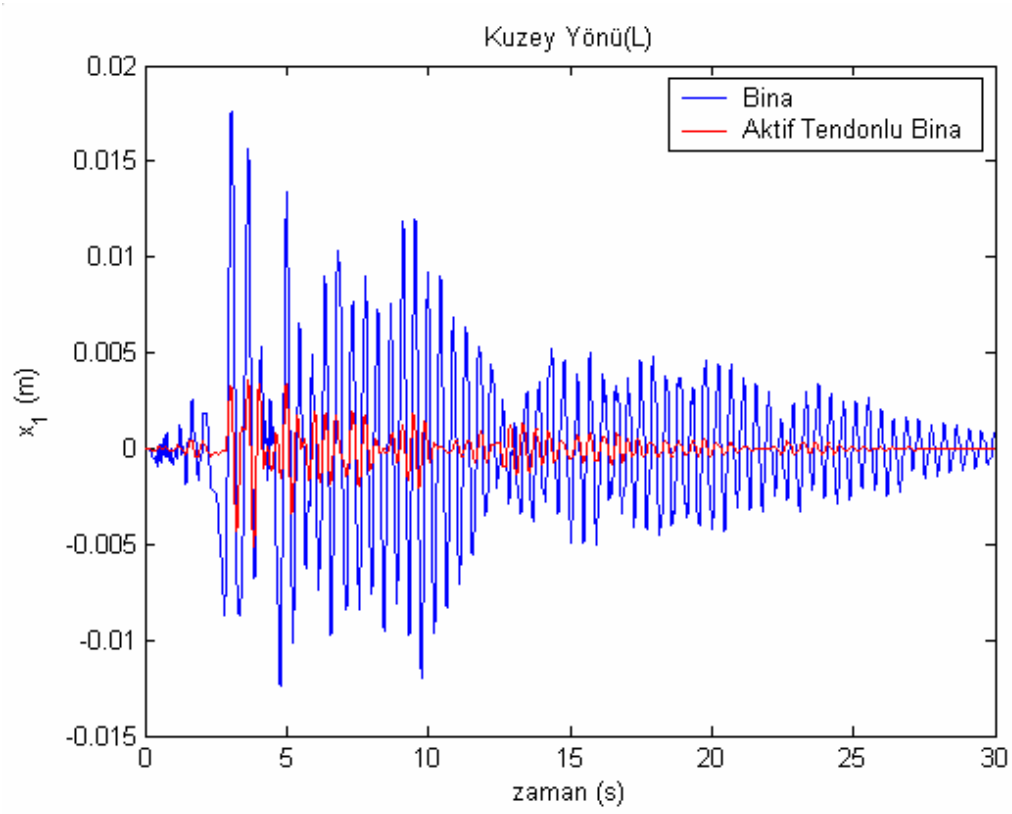

Kuzey Yönü(L)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0
5
10
15
20
25
30

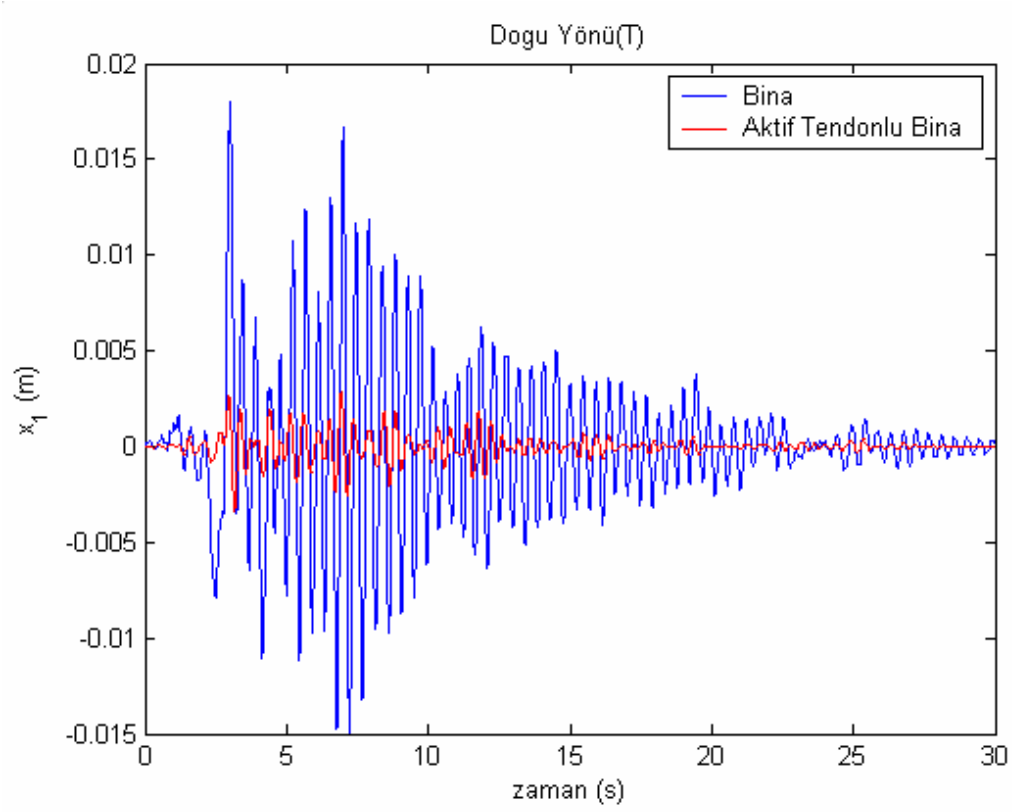

Dogu Yönü(T)
Tendon Kuvveti (kN)
zaman (s)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
5
10
15
20
25
30

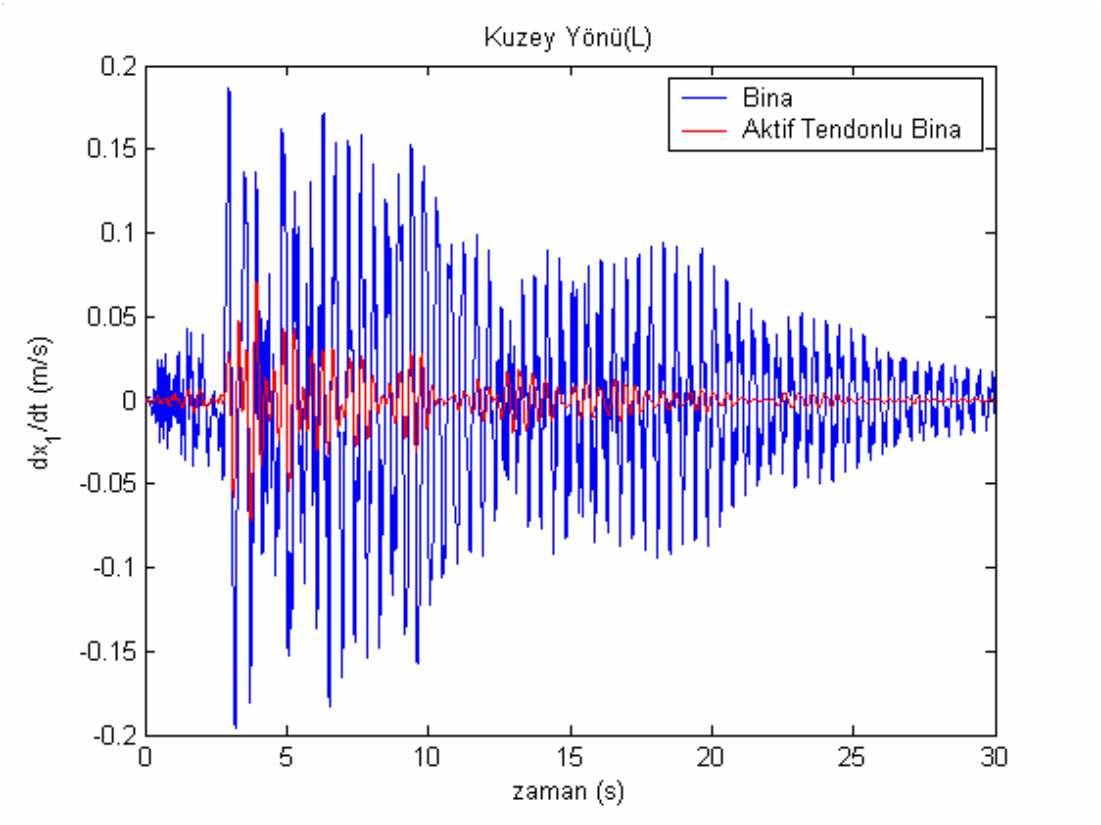

Kuzey Yönü(L)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
0
5
10
15
20
25
30

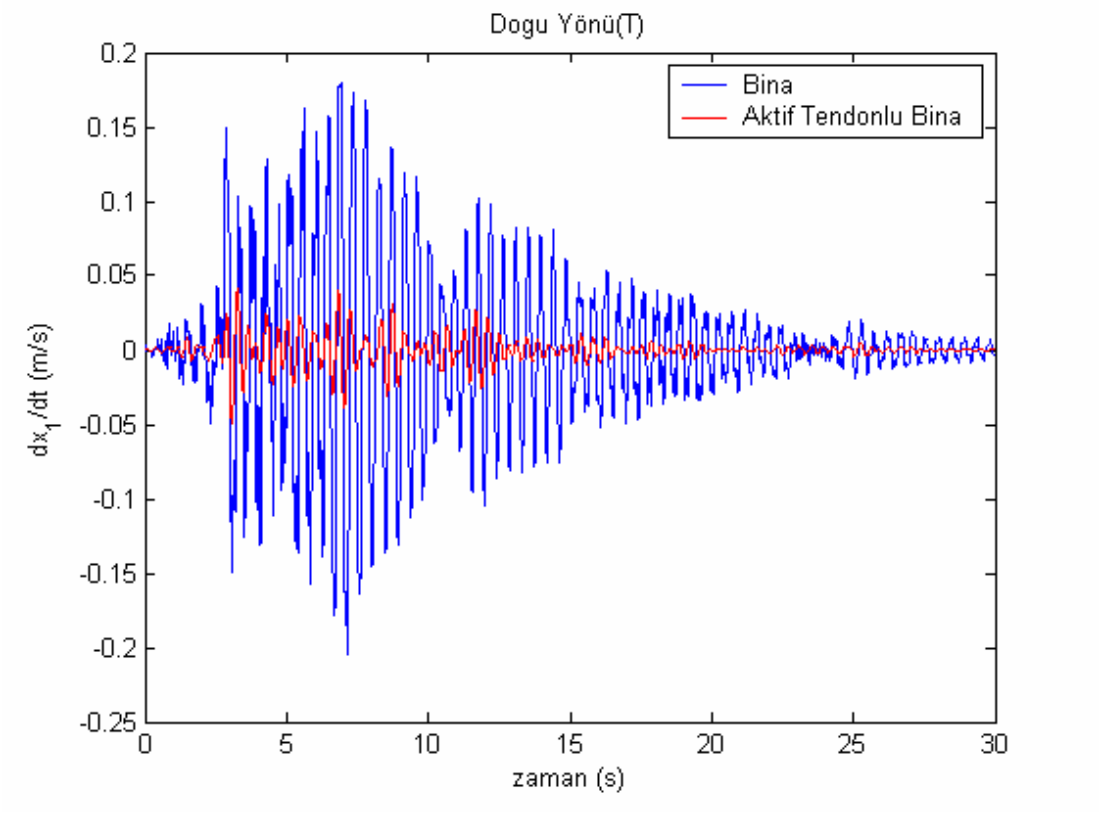

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
Kontrol sinyali (m)
zaman (s)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
0
5
10
15
20
25
30

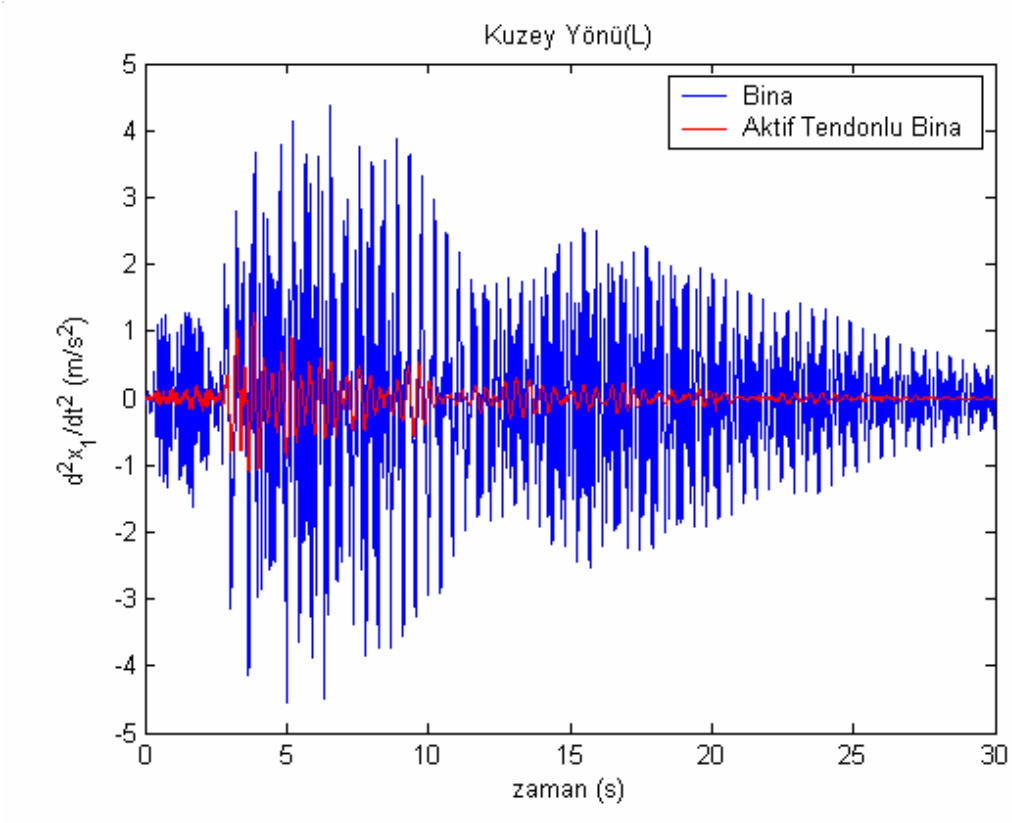
EK 4b: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Sadece Birinci Kattan Kontrollü)

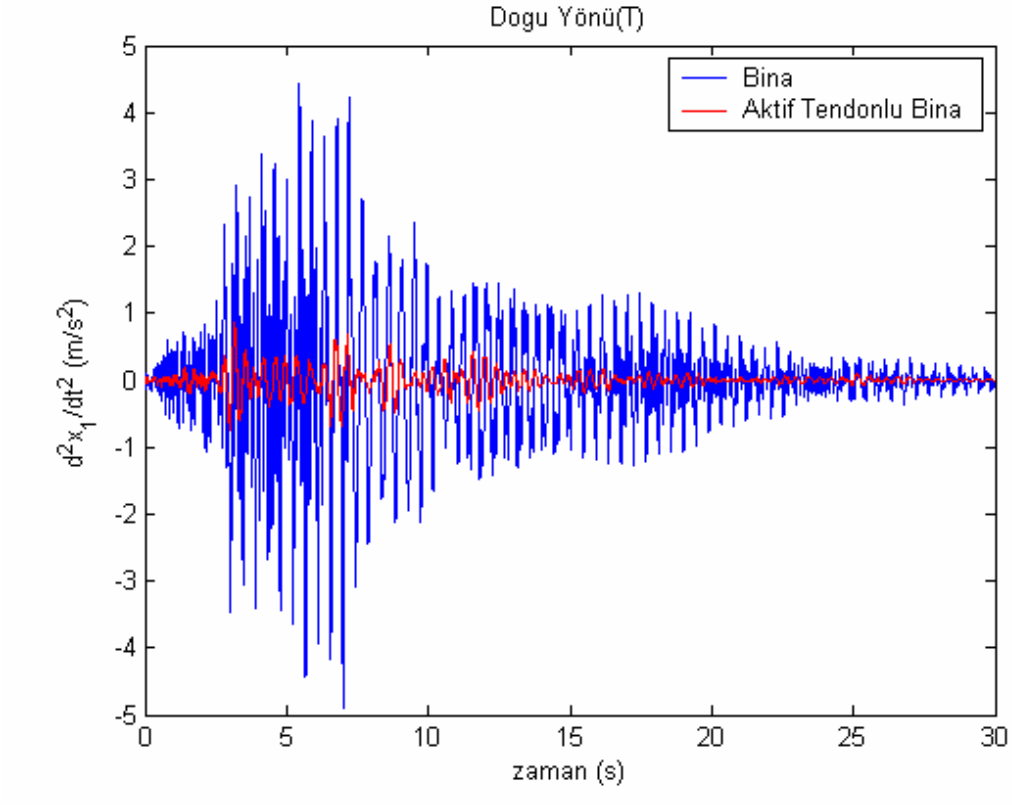


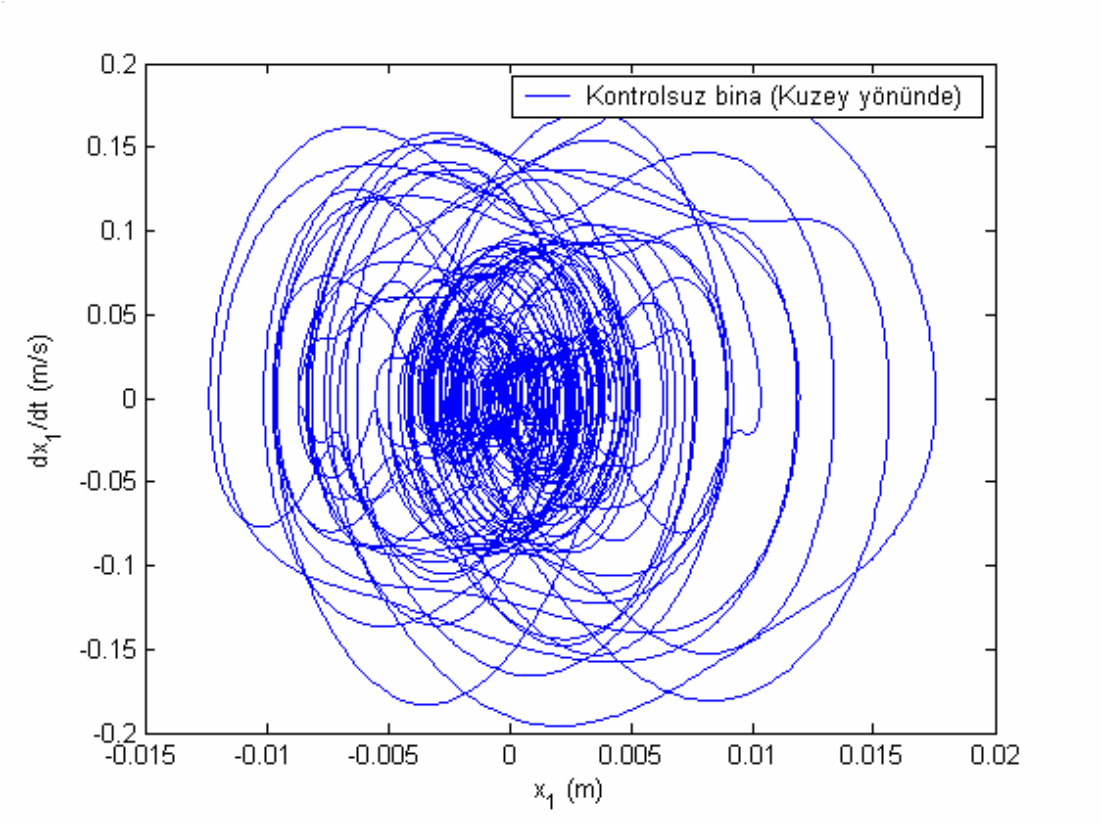


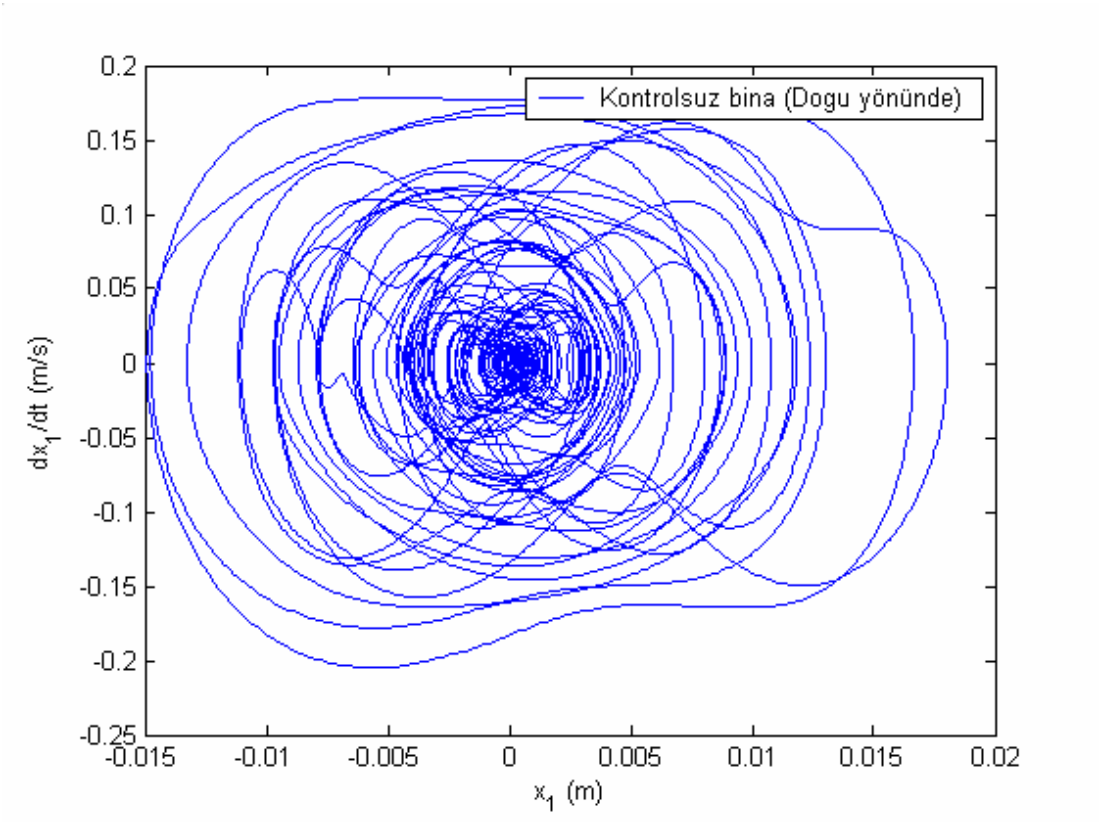

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
5
10
15
20
25
30

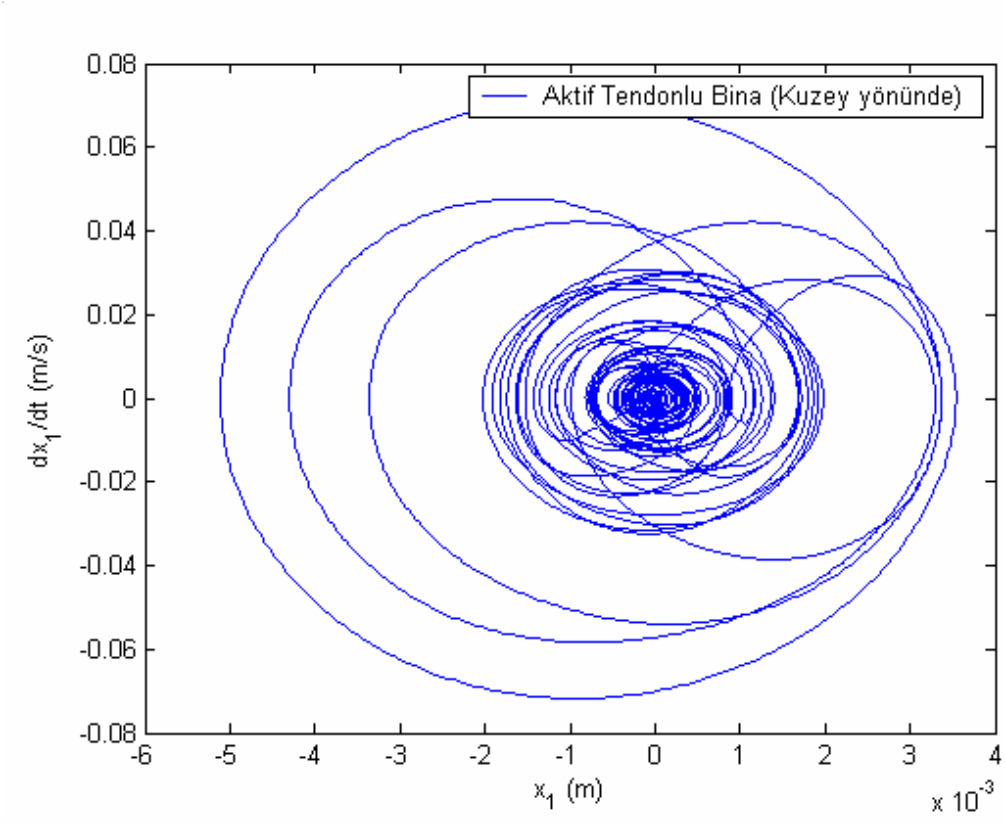

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
0
5
10
15
20
25
30

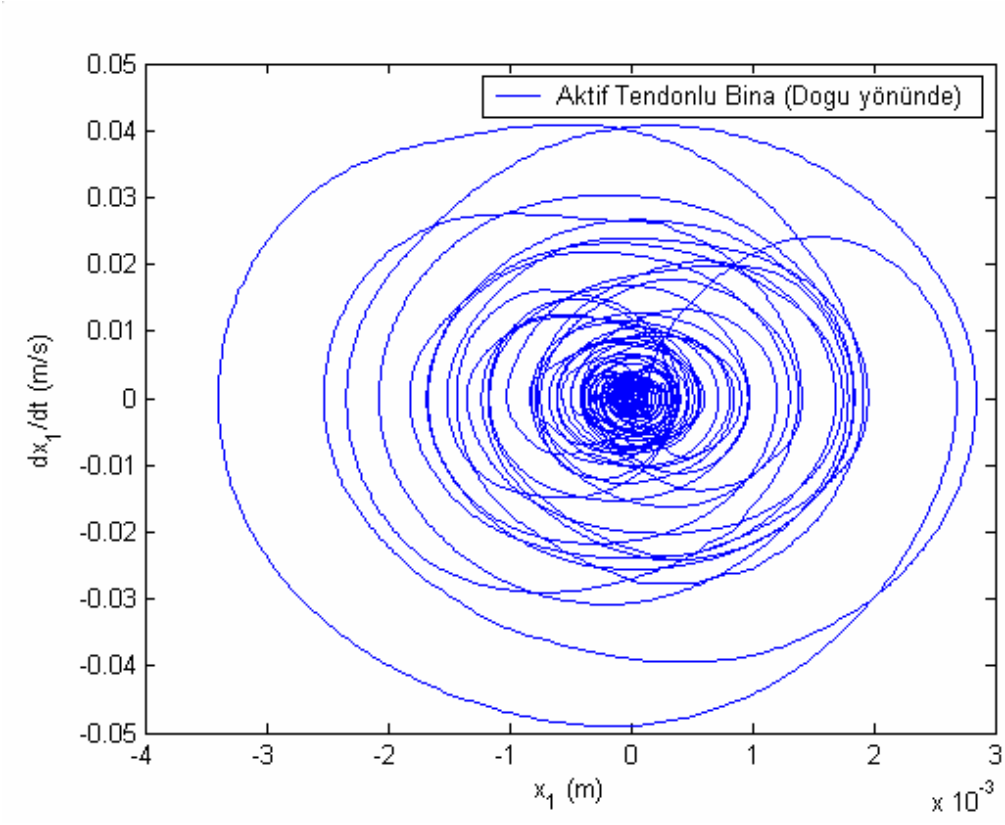

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x1/dt² (m/s²)
zaman (s)

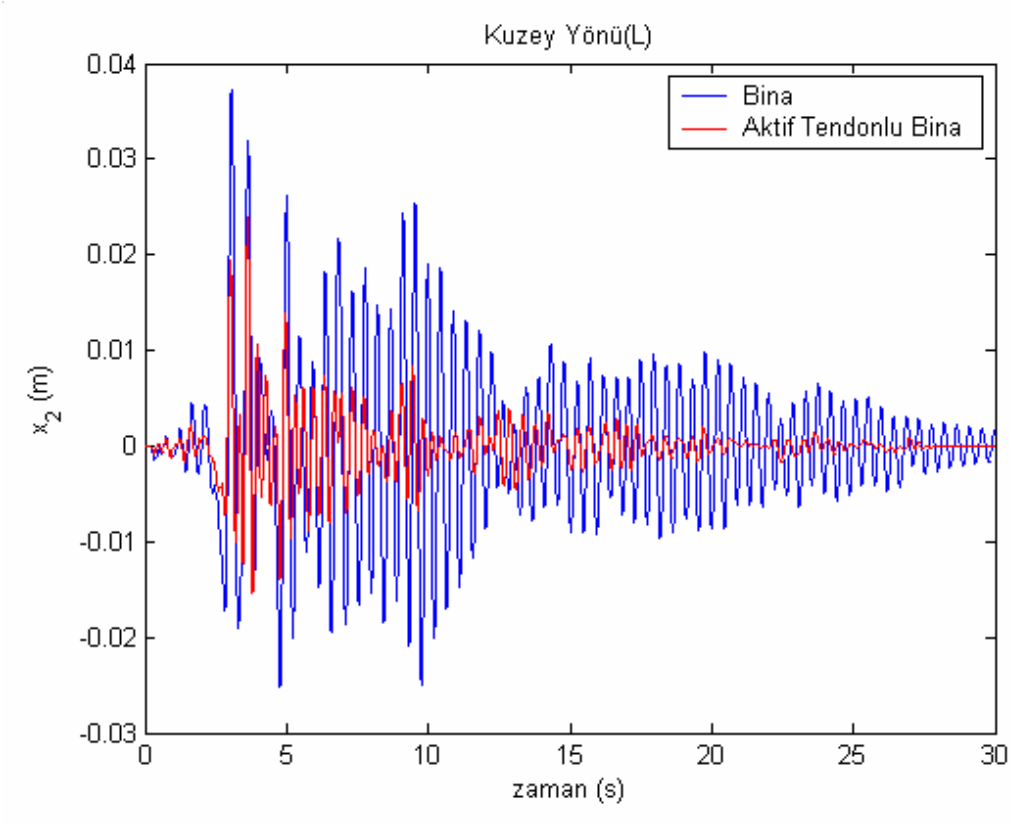

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x1/dt² (m/s²)
zaman (s)

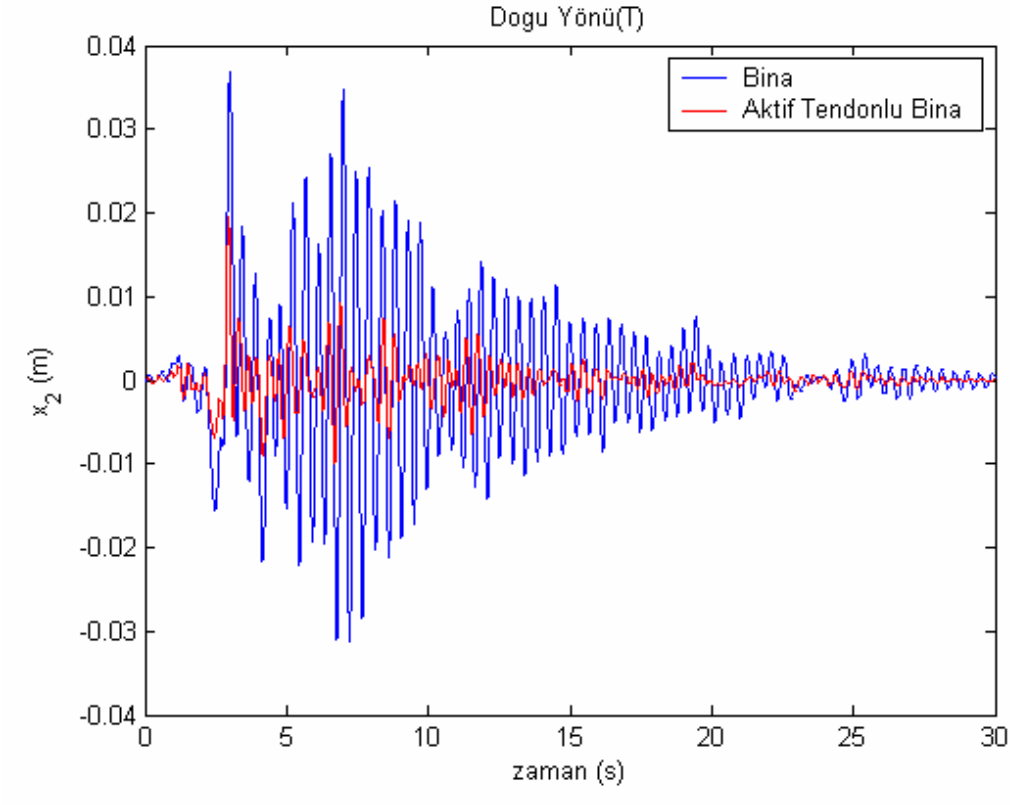

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
dx1/dt (m/s)
x1 (m)

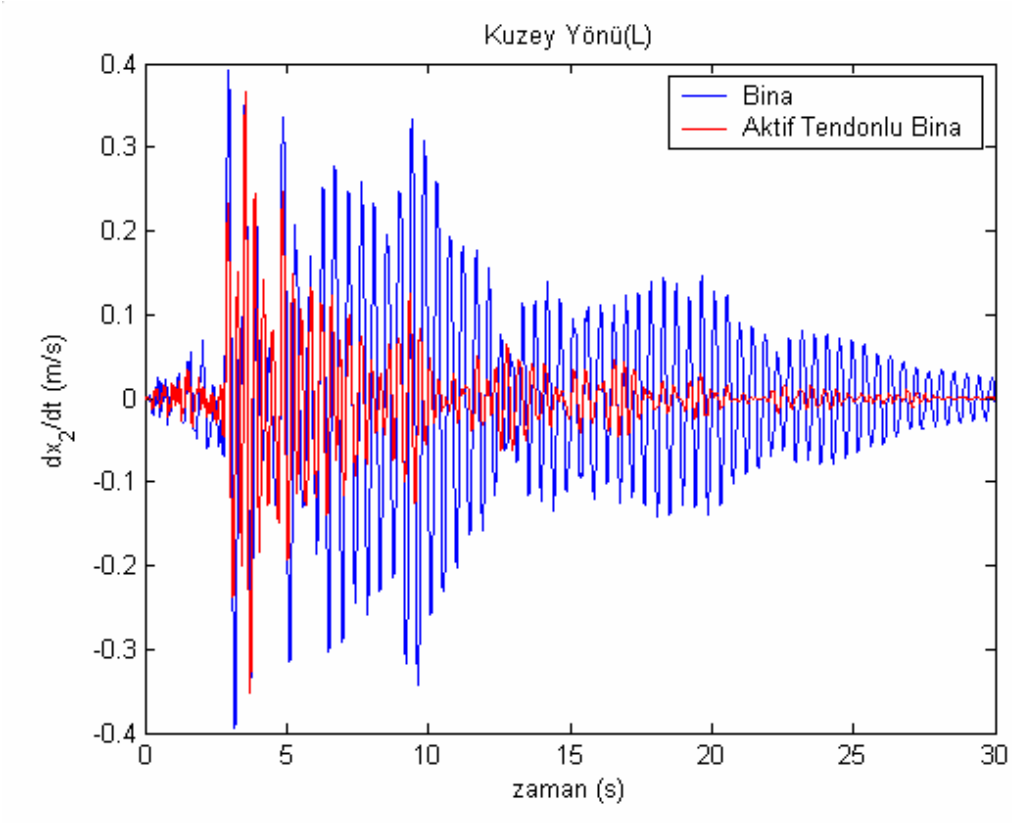

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
dx1/dt (m/s)
x1 (m)

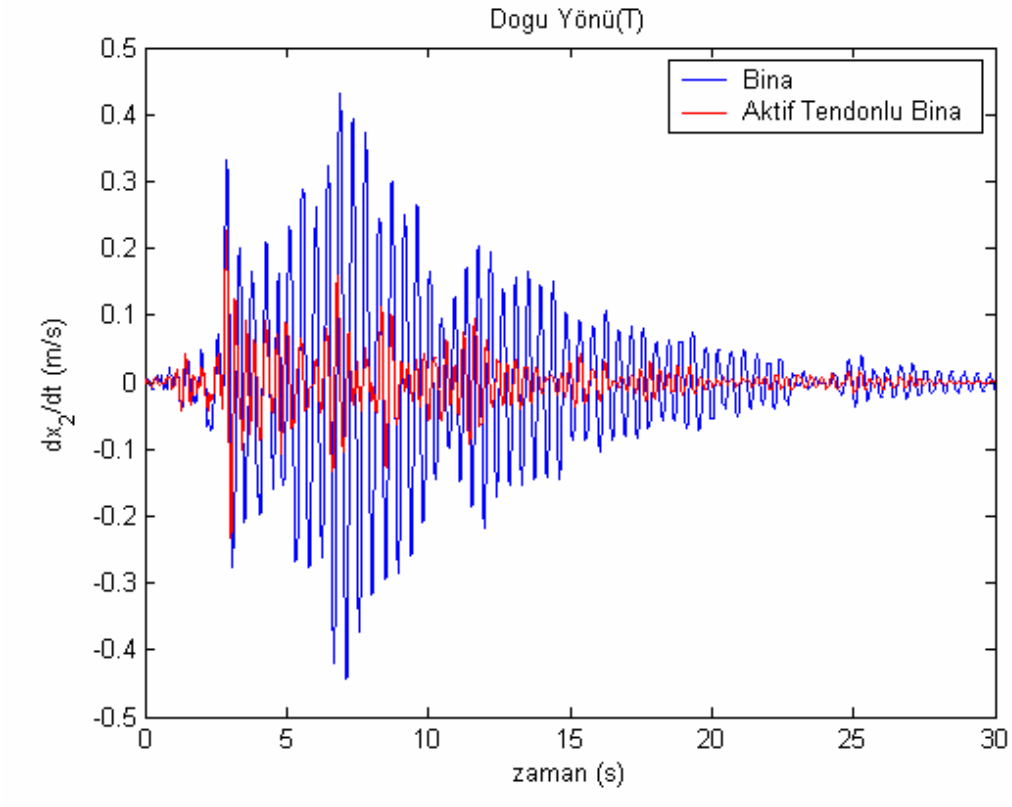

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
dx1/dt (m/s)
-6
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
x1 (m)
x 10-3

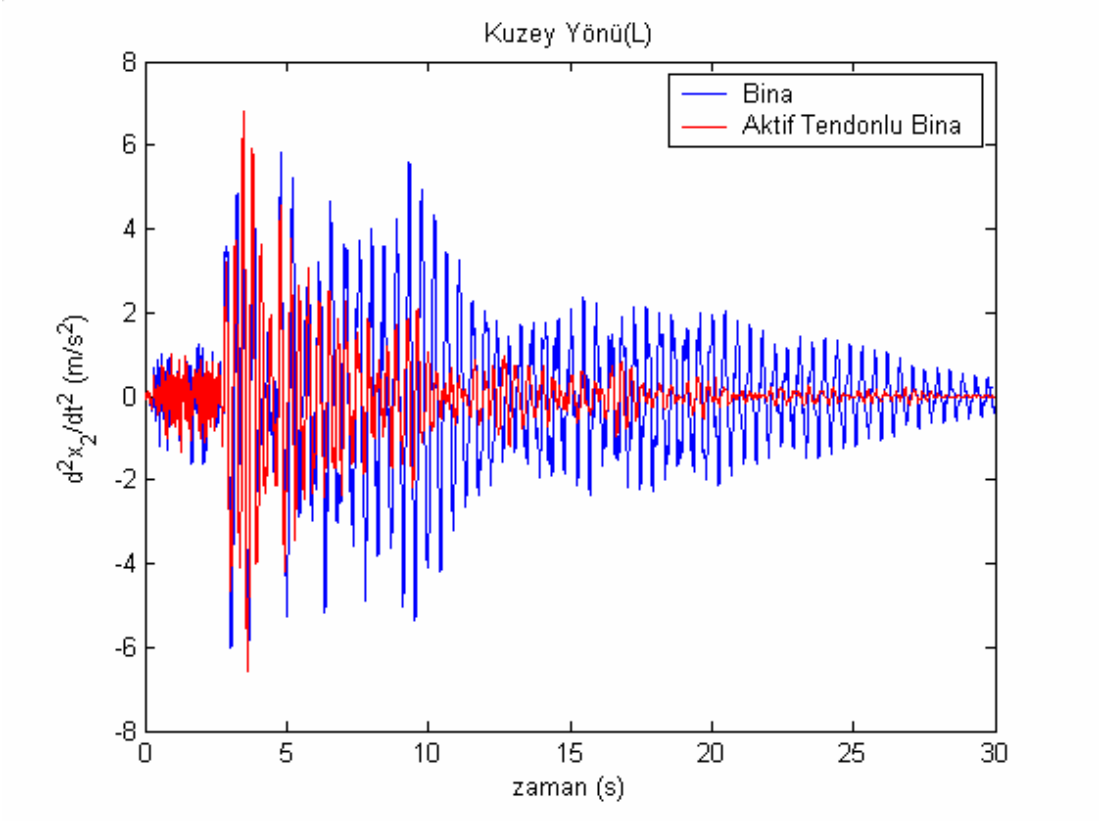

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
dx1/dt (m/s)
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
x1 (m)
x 10-3

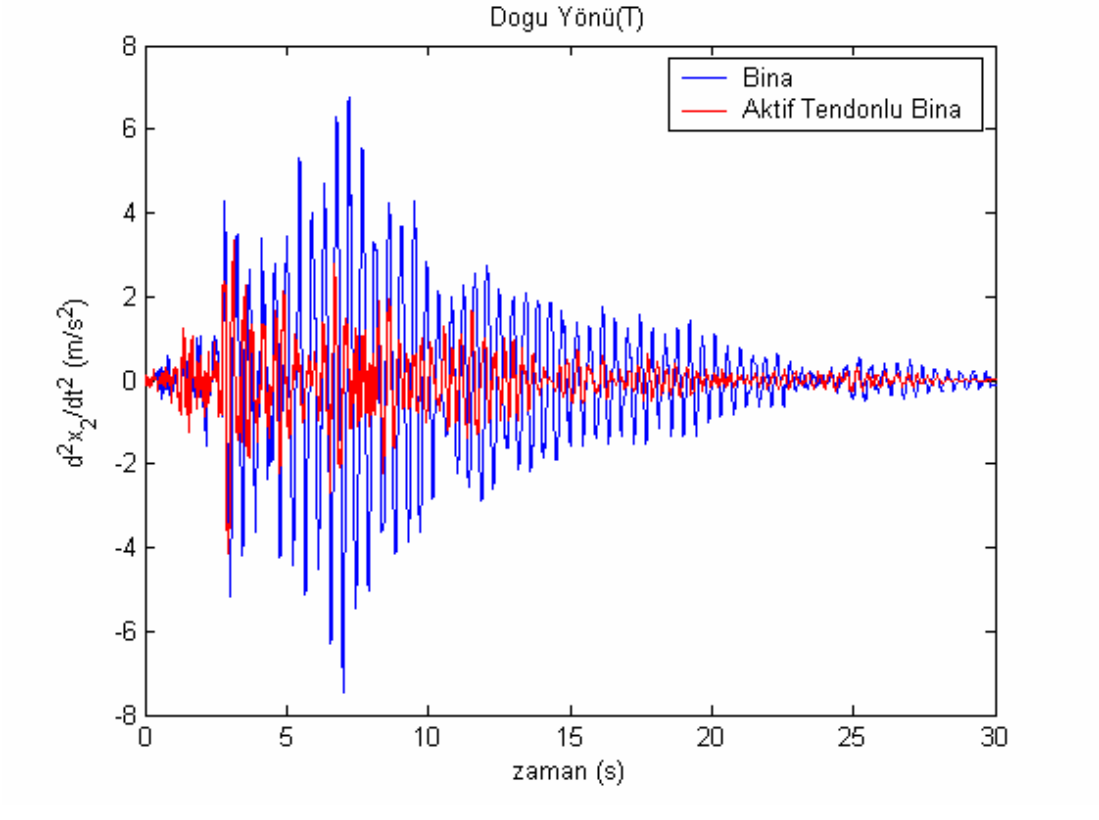

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
x2 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

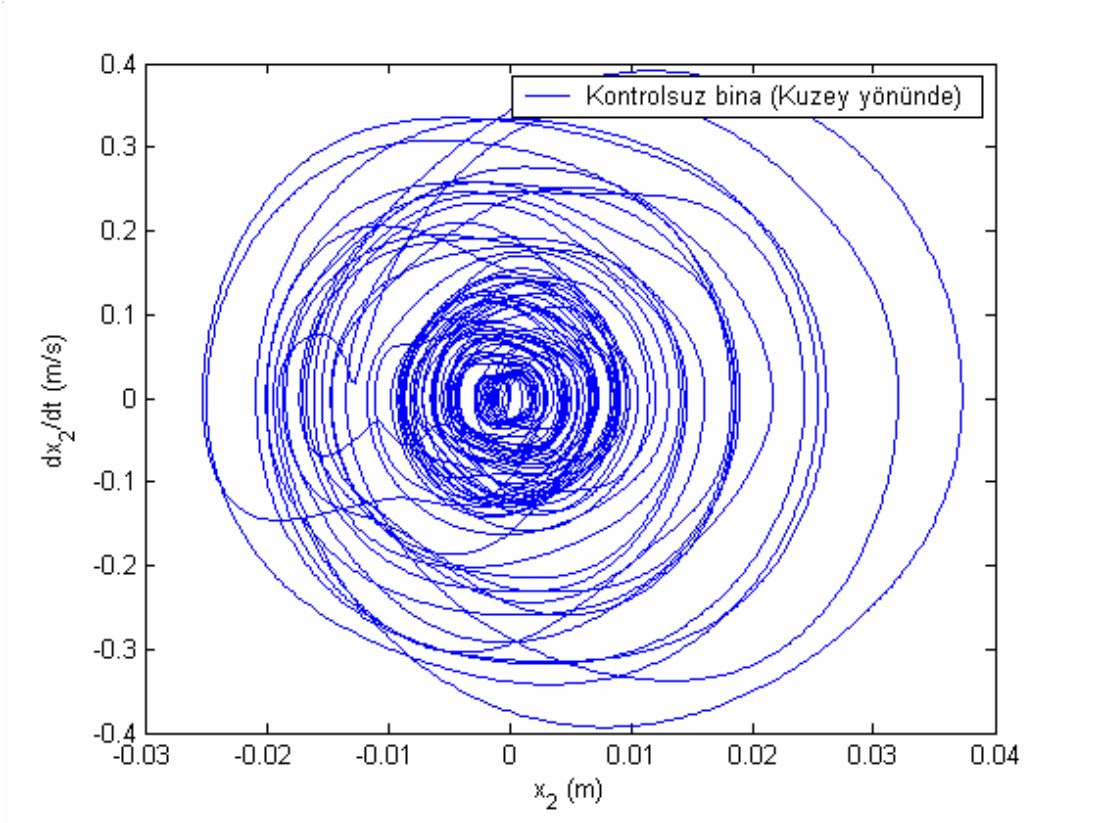

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x2 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

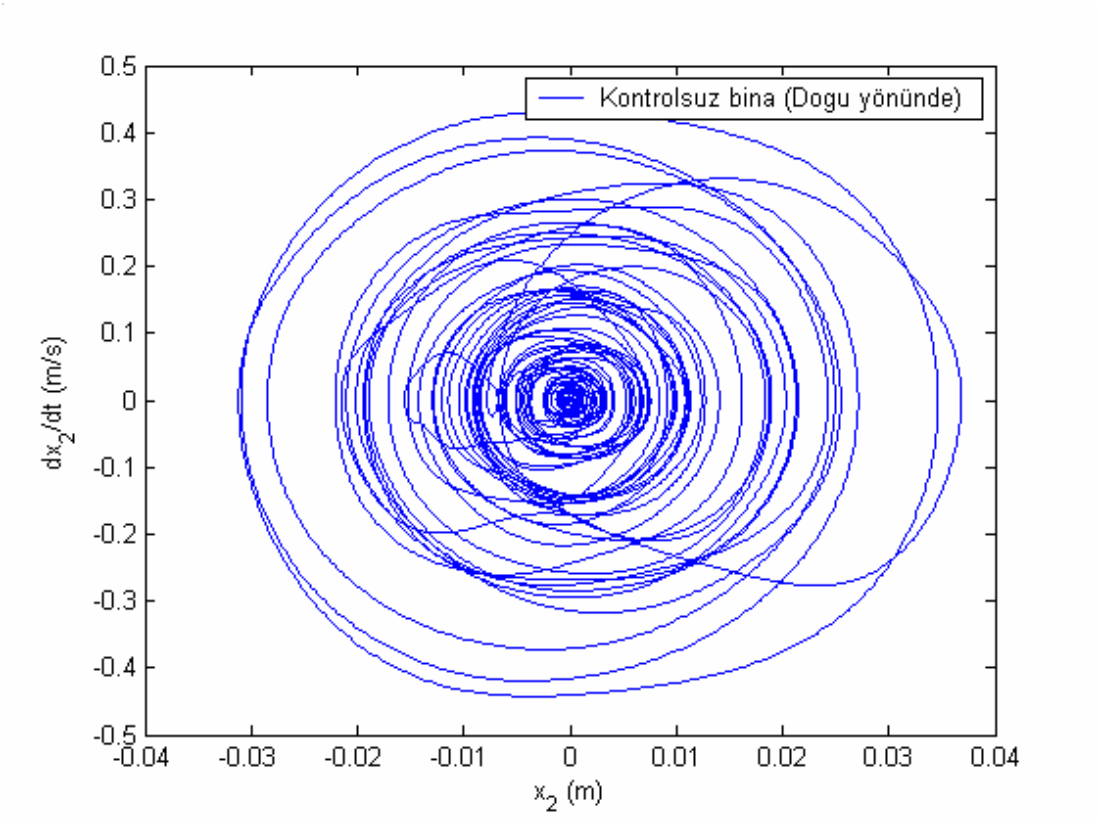

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
5
10
15
20
25
30

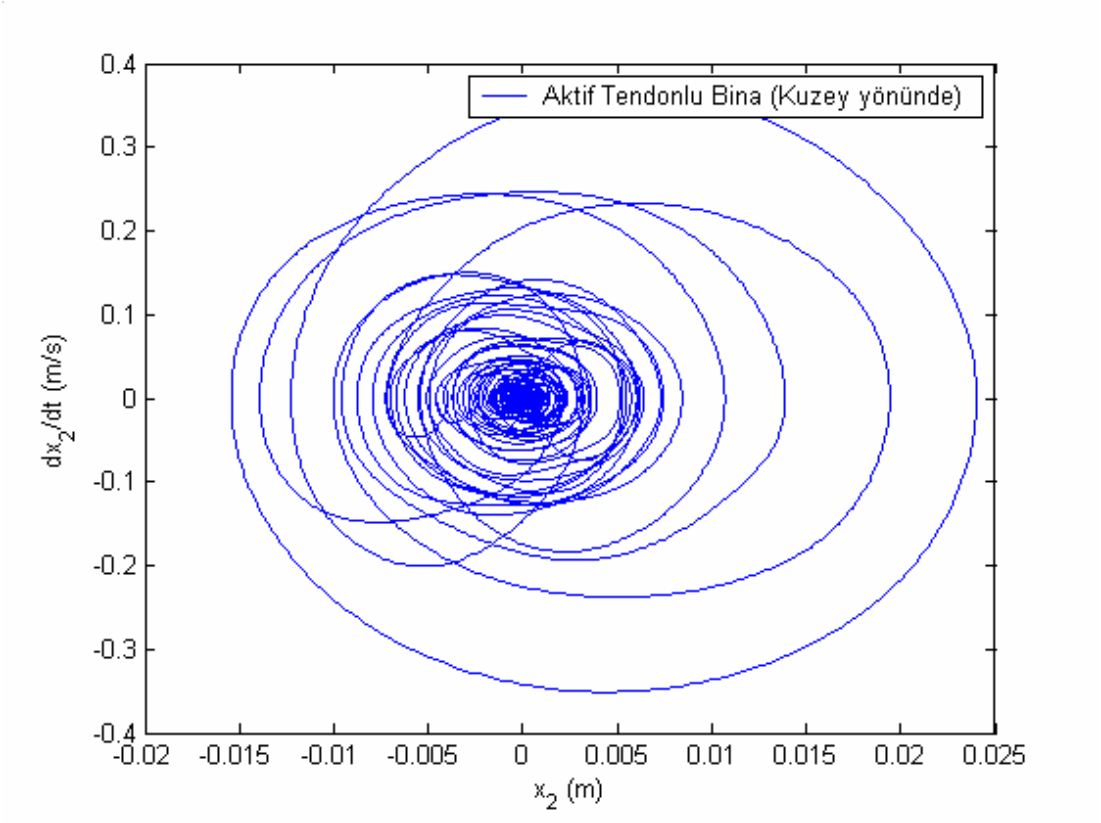

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
5
10
15
20
25
30

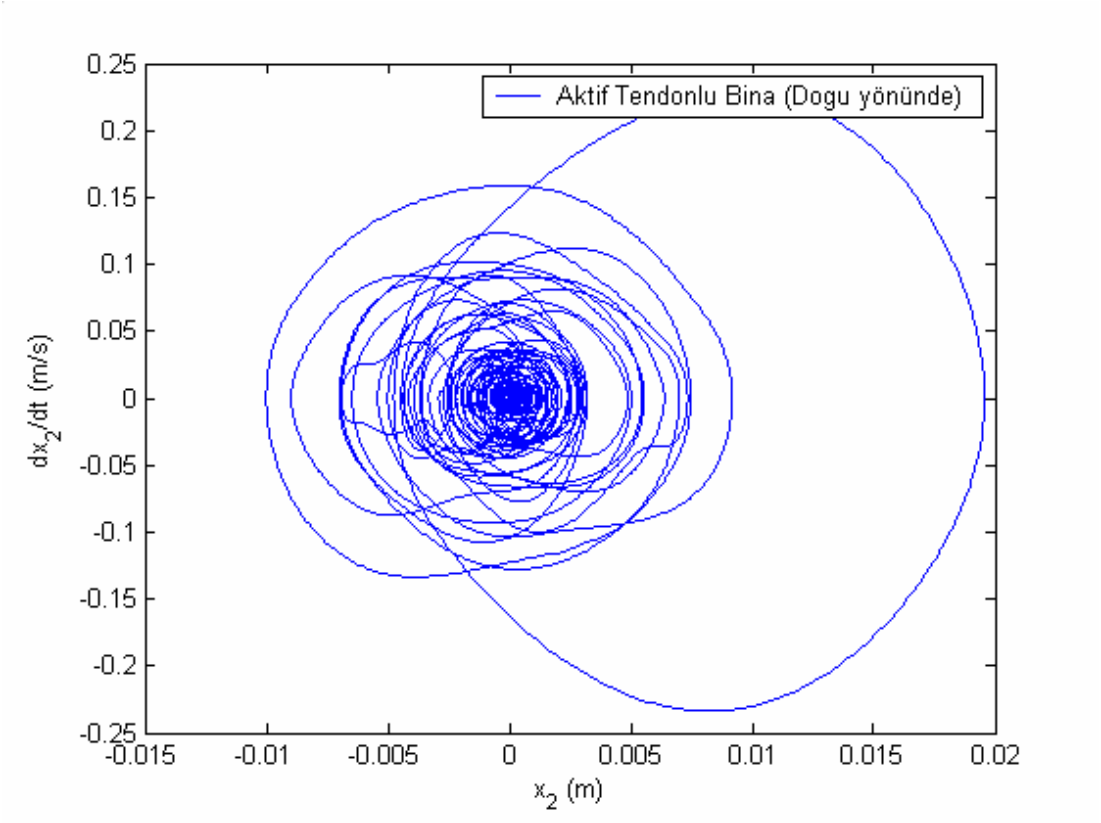

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

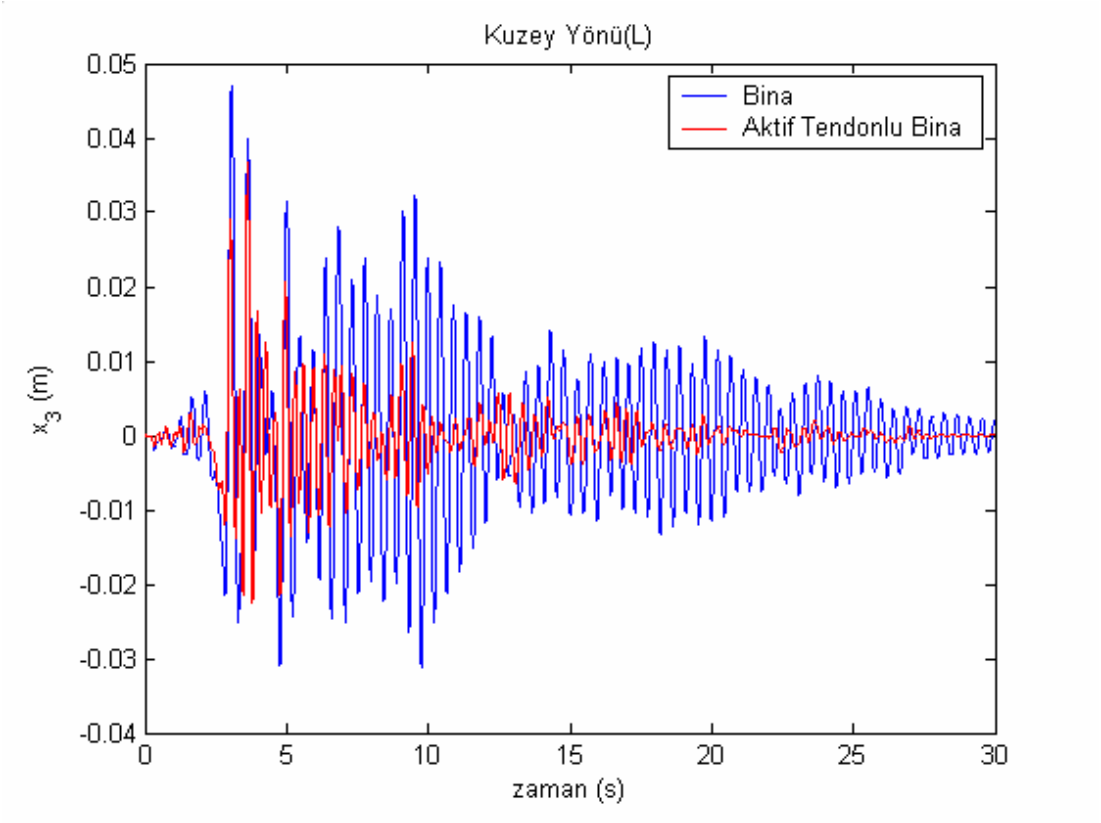

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

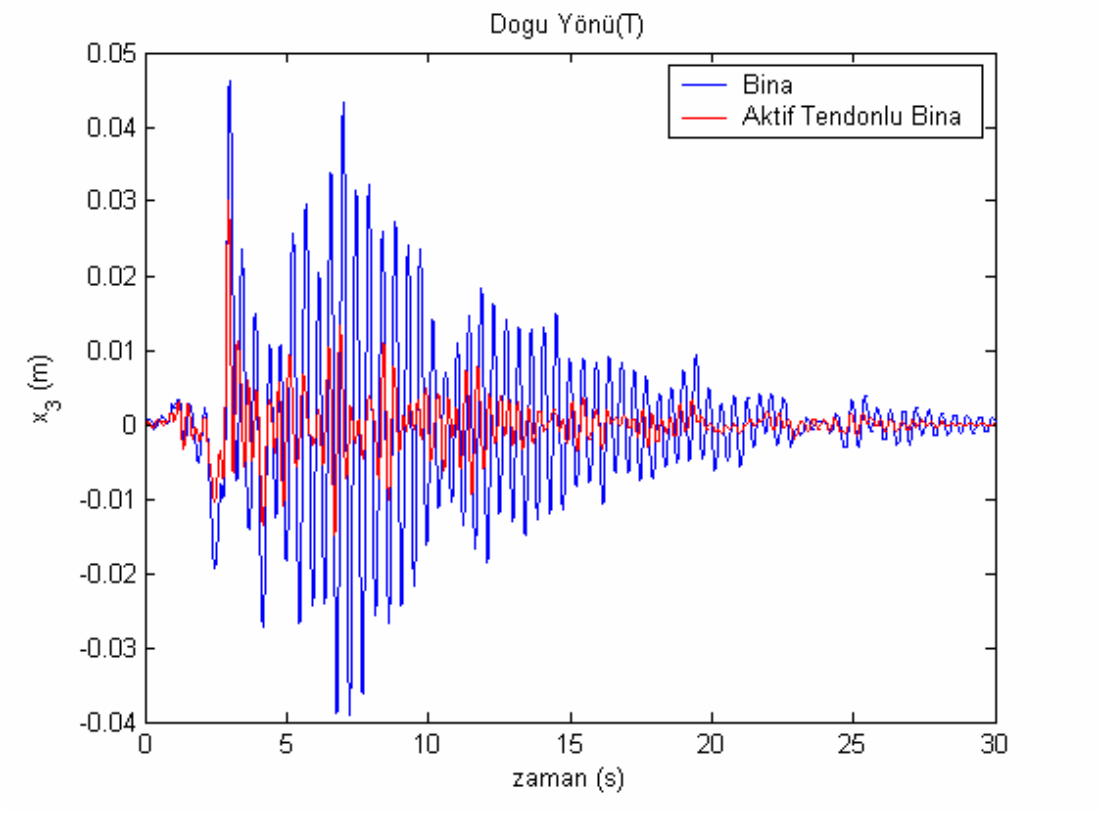

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04

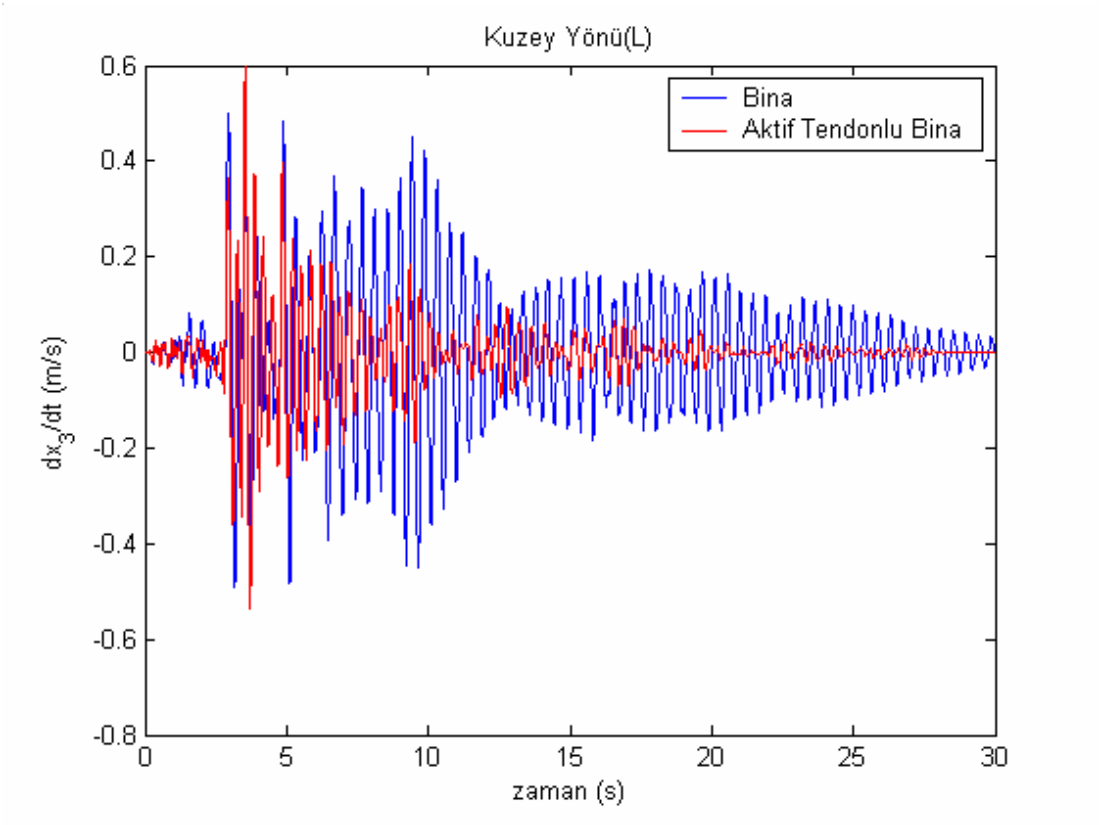

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
dx2/dt (m/s)
x2 (m)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04

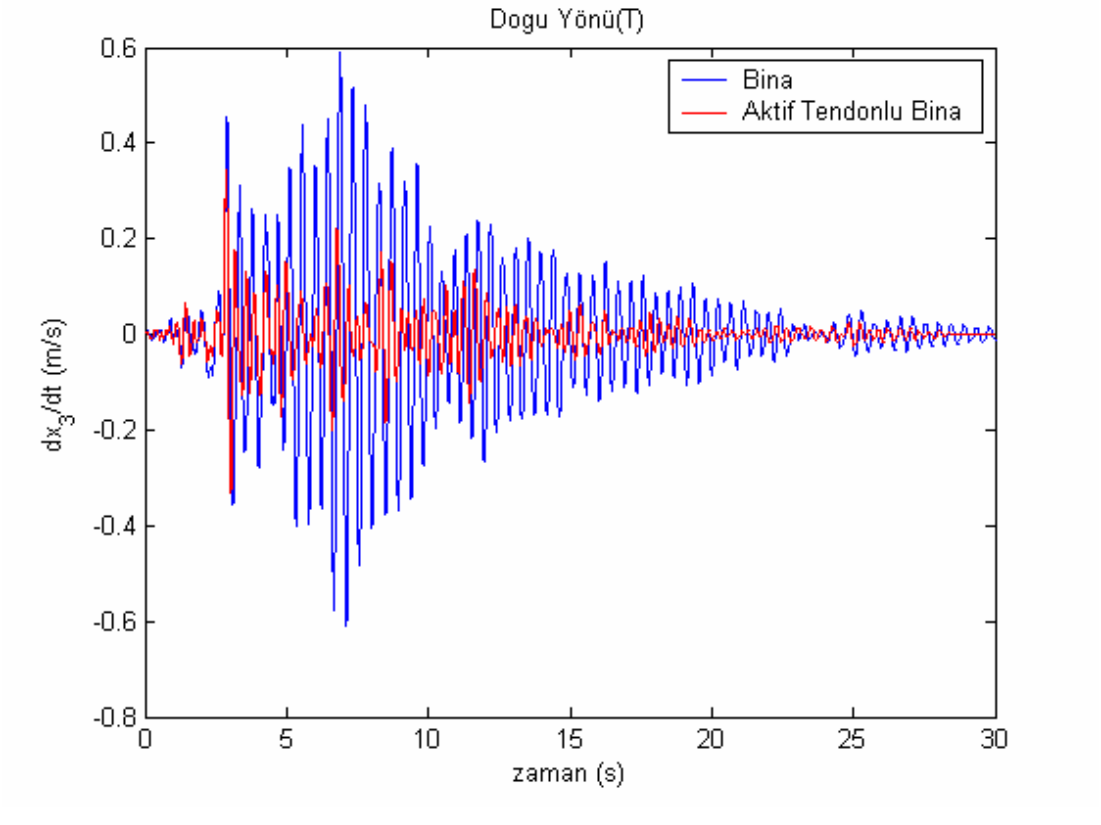

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
dx2/dt (m/s)
-0.02
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
x2 (m)

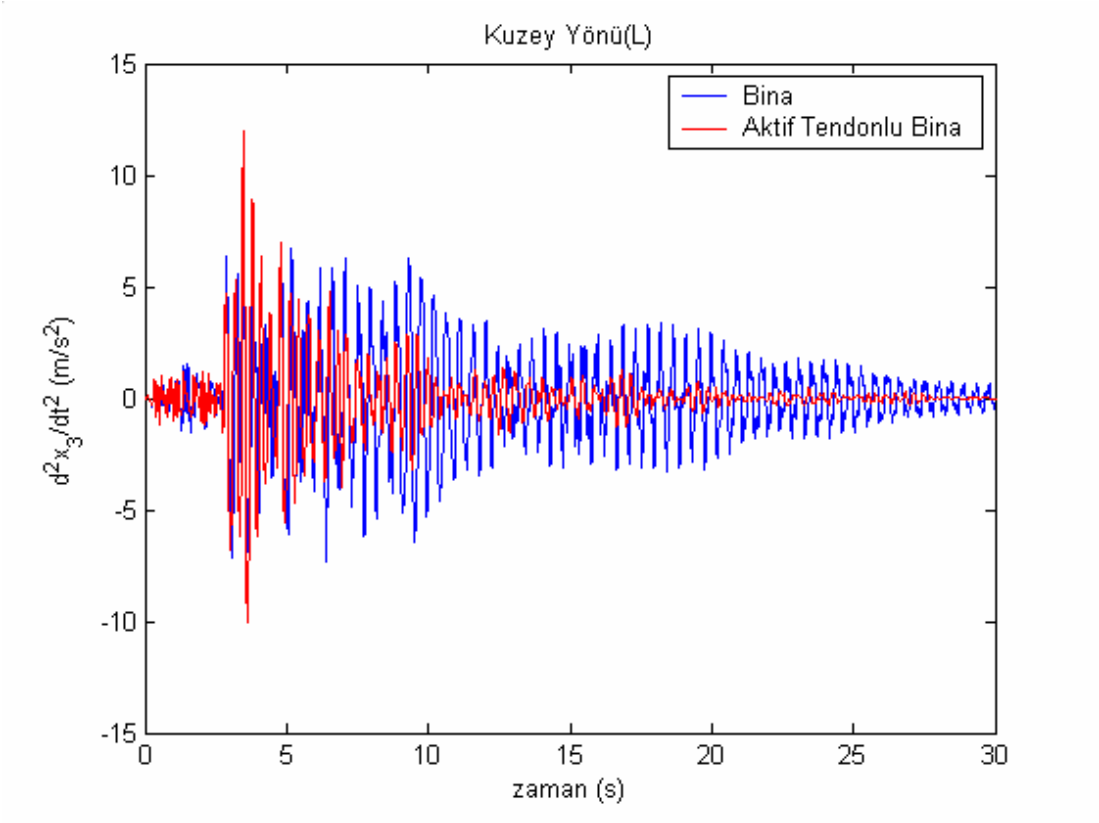

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
dx2/dt (m/s)
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
x2 (m)

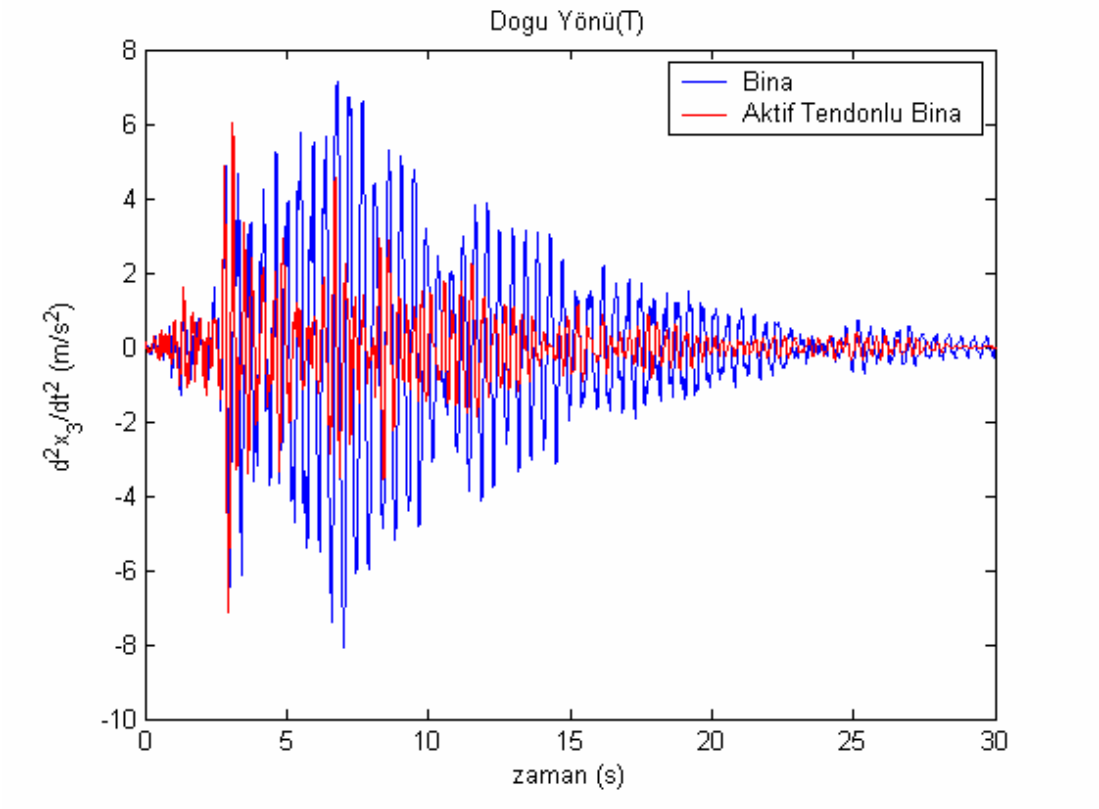

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x3 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

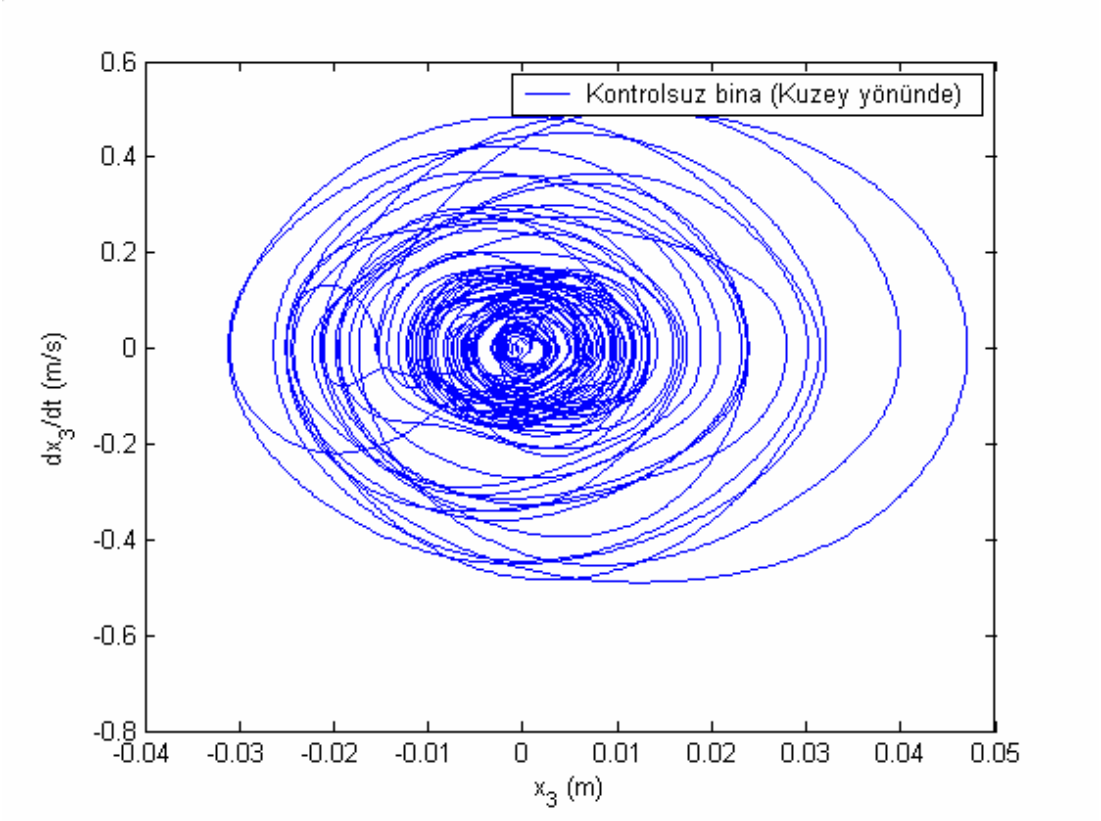

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x3 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

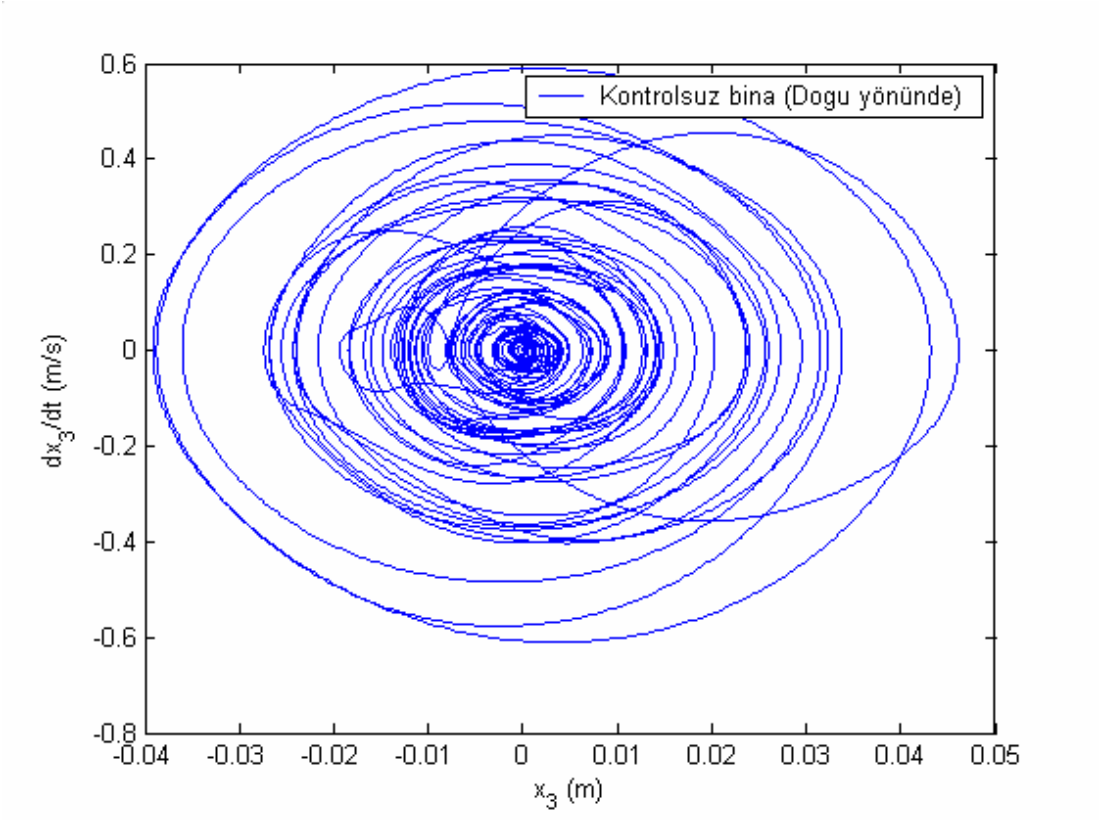

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
5
10
15
20
25
30

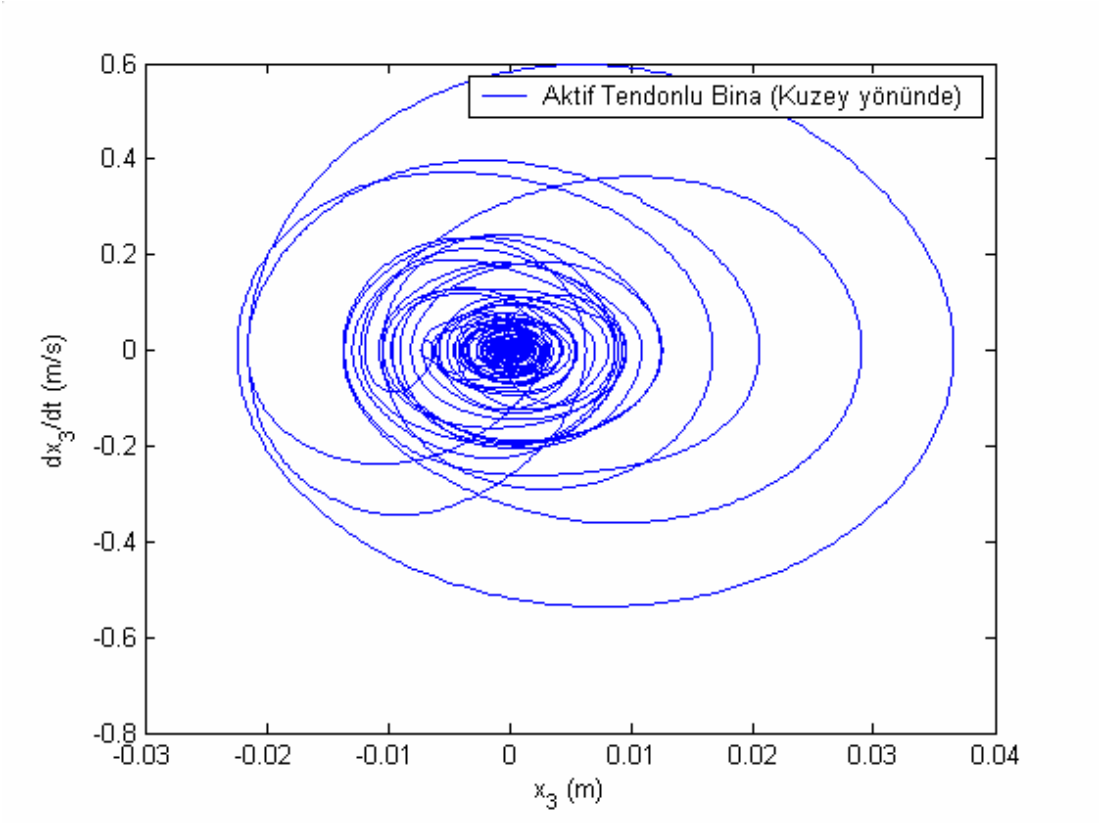

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
5
10
15
20
25
30

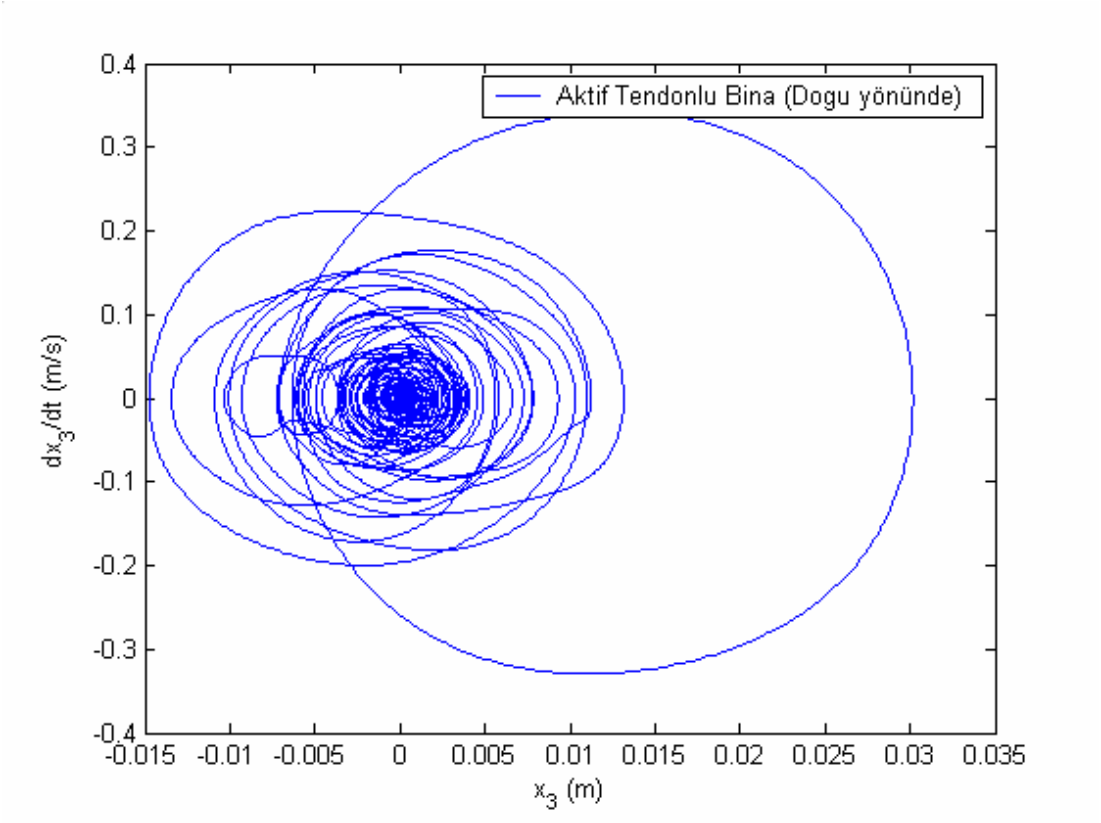

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
15
10
5
0
-5
-10
-15
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)
d²x3/dt² (m/s²)

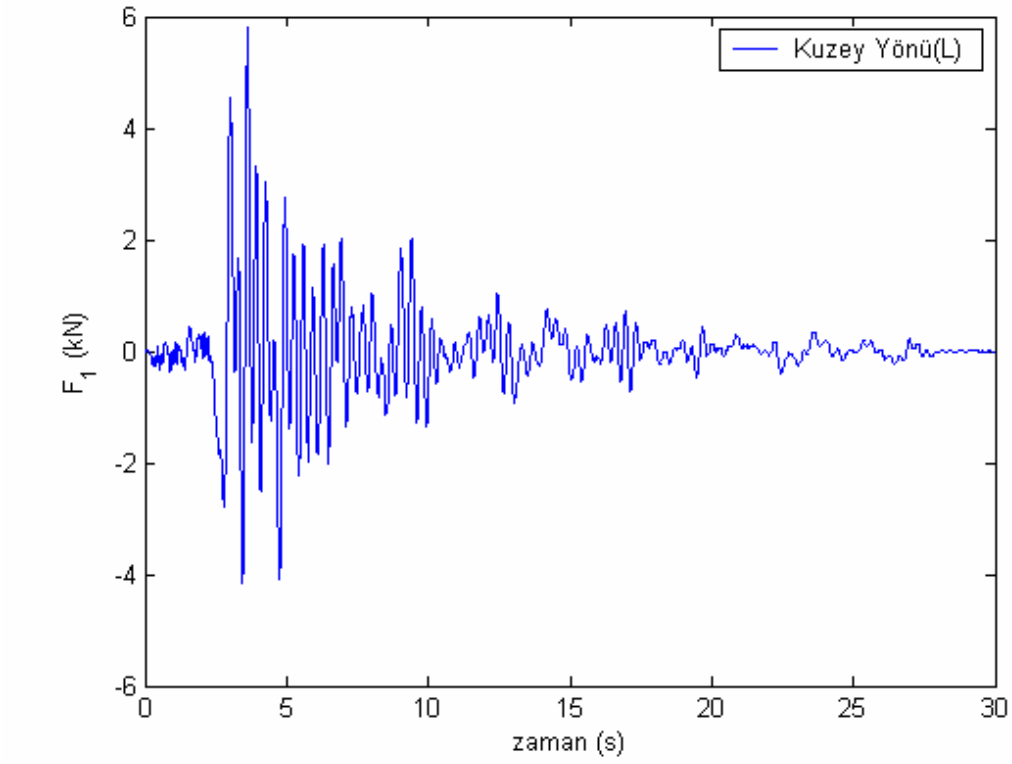

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)
d²x3/dt² (m/s²)

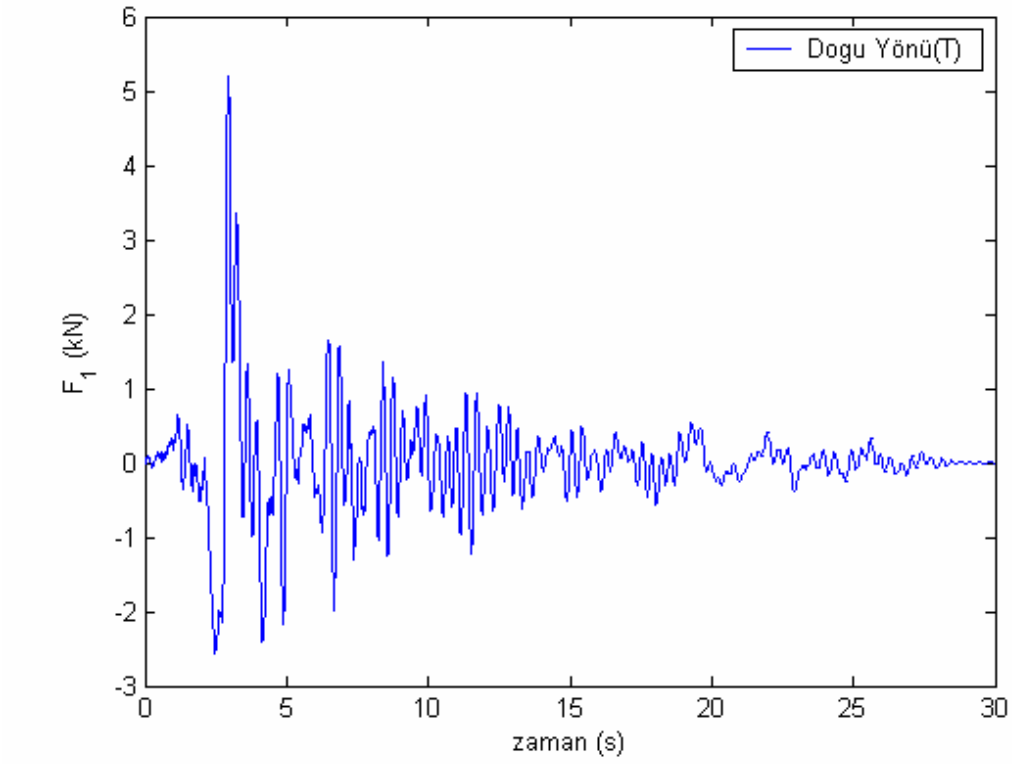

Kontrolsuz bina (Kuzey yönünde)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
dx3/dt (m/s)
x3 (m)

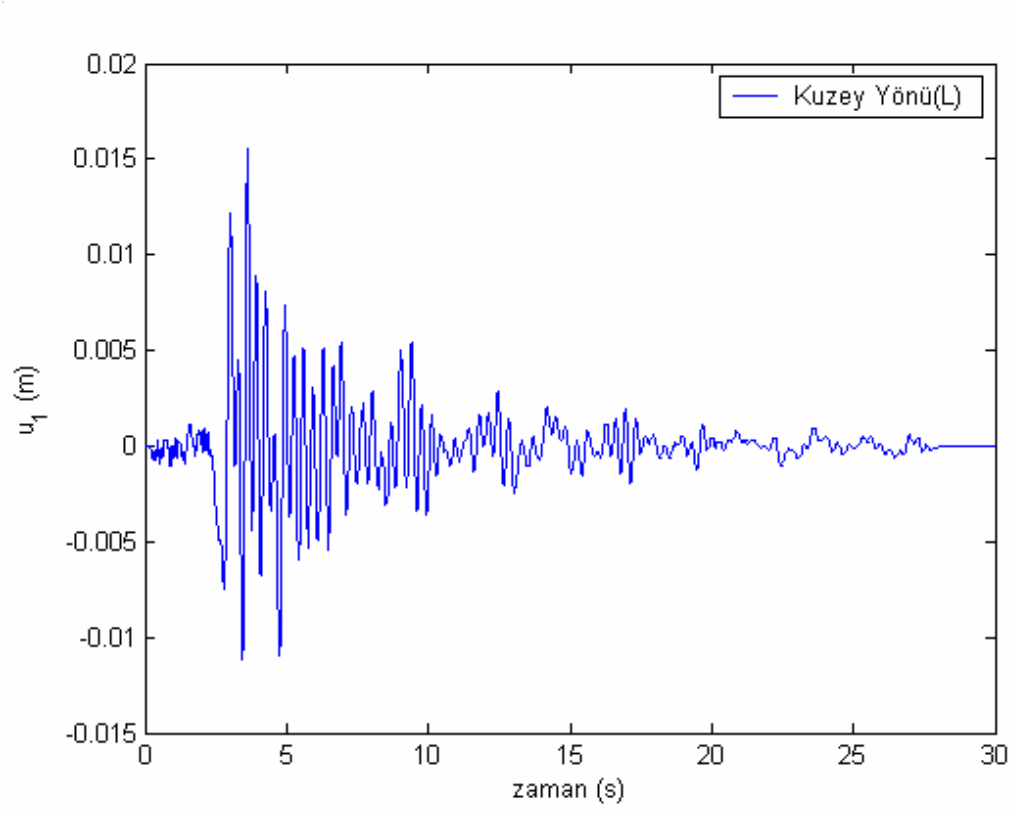

Kontrolsuz bina (Dogu yönünde)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.04
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
dx3/dt (m/s)
x3 (m)

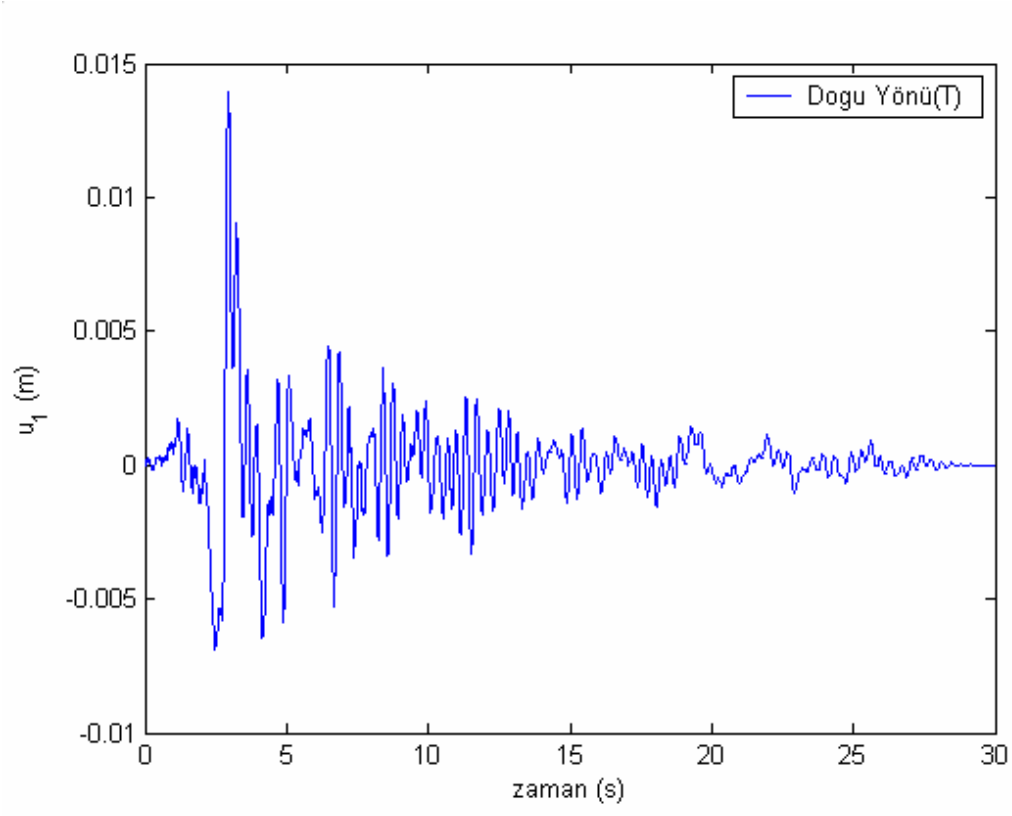

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-0.03
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
dx3/dt (m/s)
x3 (m)


Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.015
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
dx3/dt (m/s)
x3 (m)

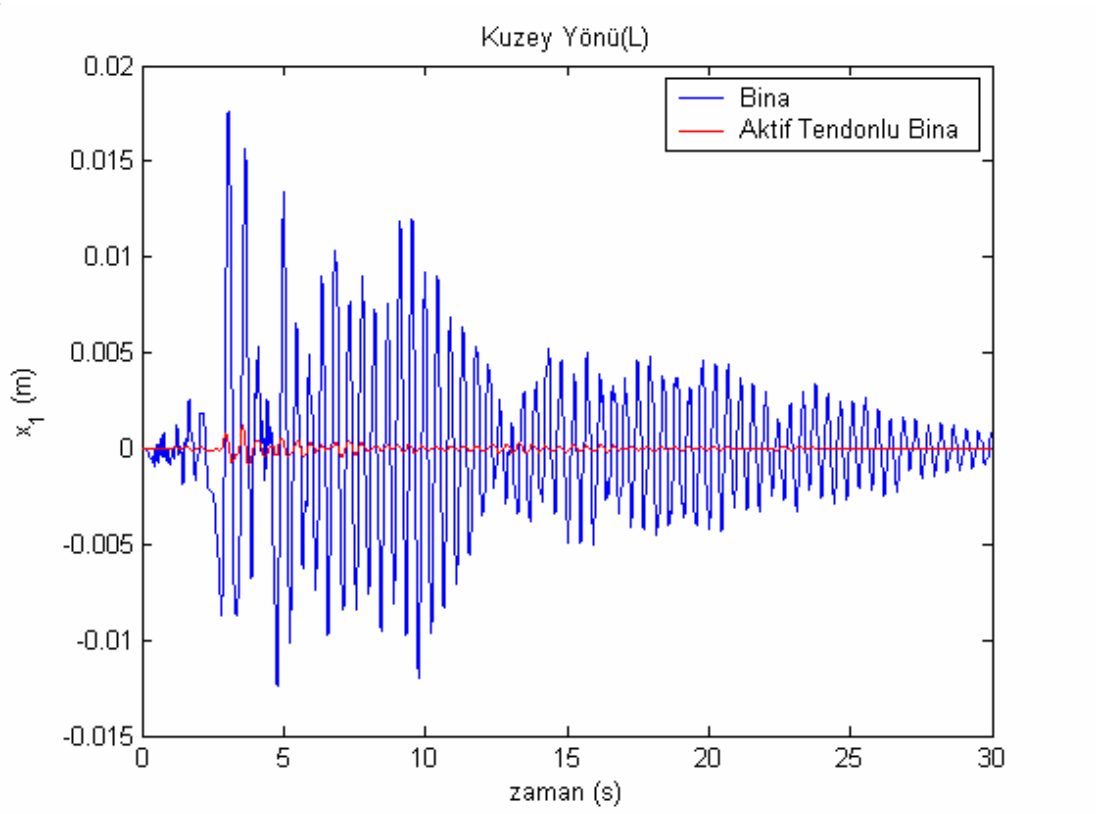

Kuzey Yönü(L)
F1 (kN)
zaman (s)
6
4
2
0
-2
-4
-6
0
5
10
15
20
25
30


Dogu Yönü(T)
F1 (kN)
zaman (s)
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
5
10
15
20
25
30

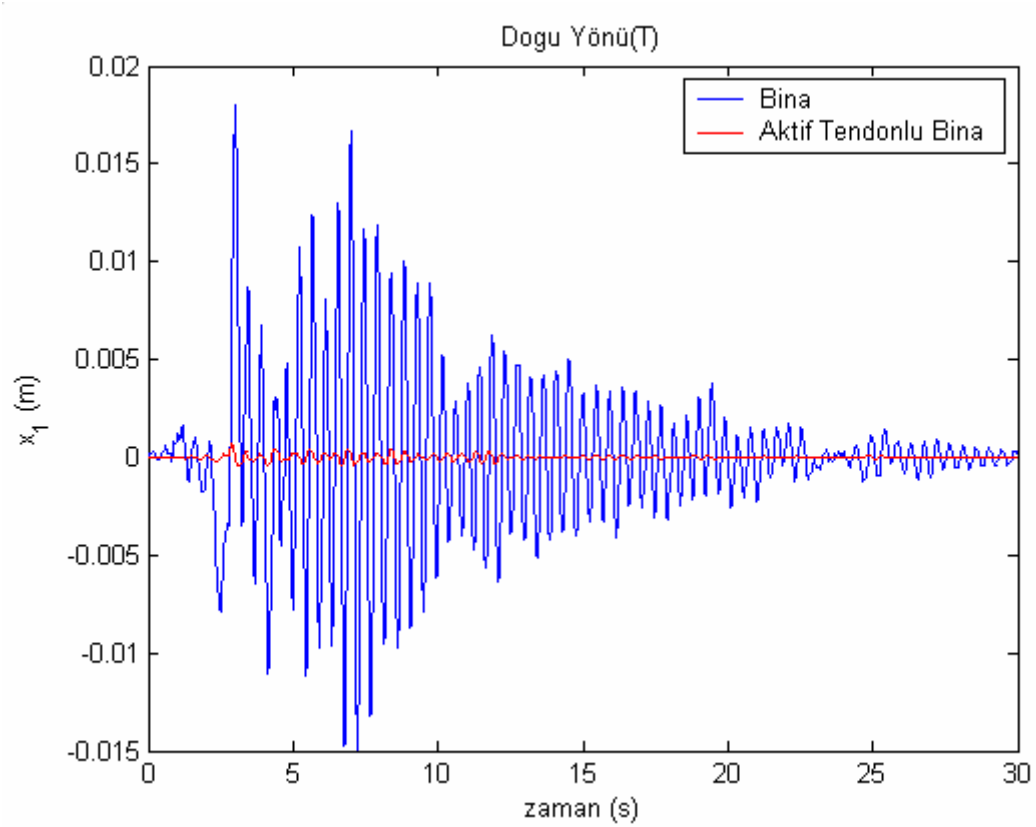

Kuzey Yönü(L)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
u1 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

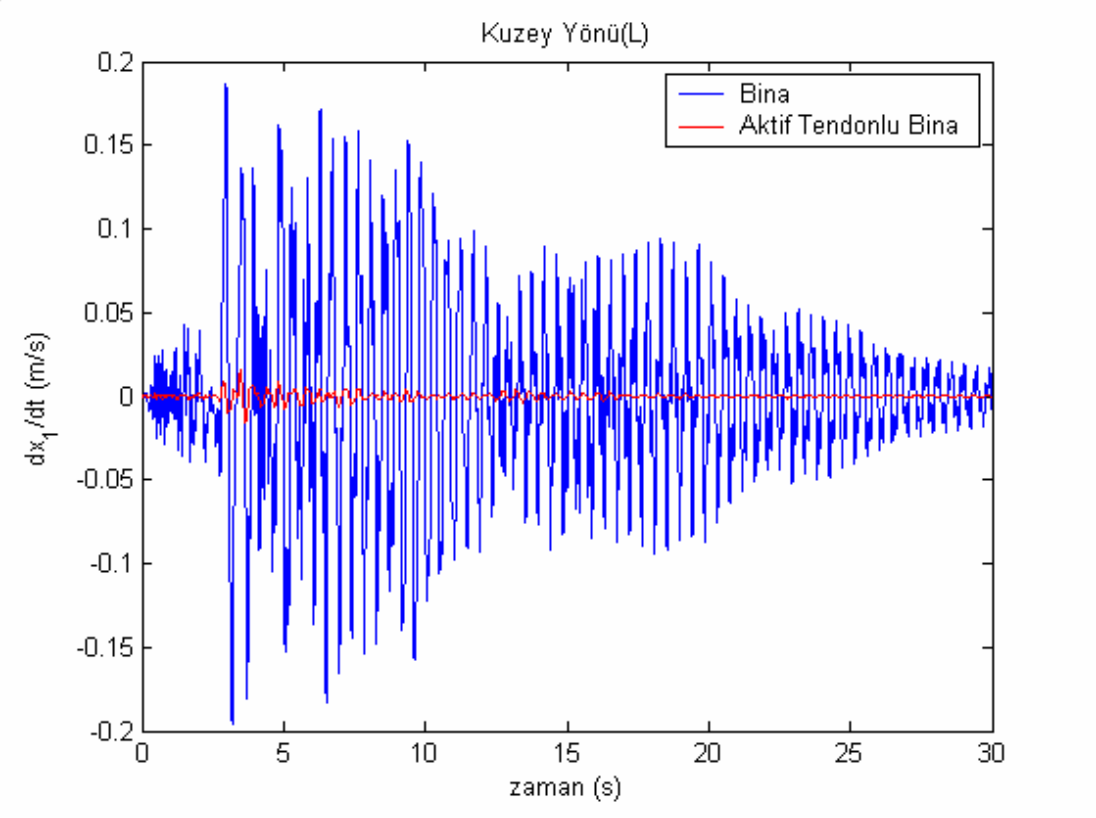

Dogu Yönü(T)
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
u1 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

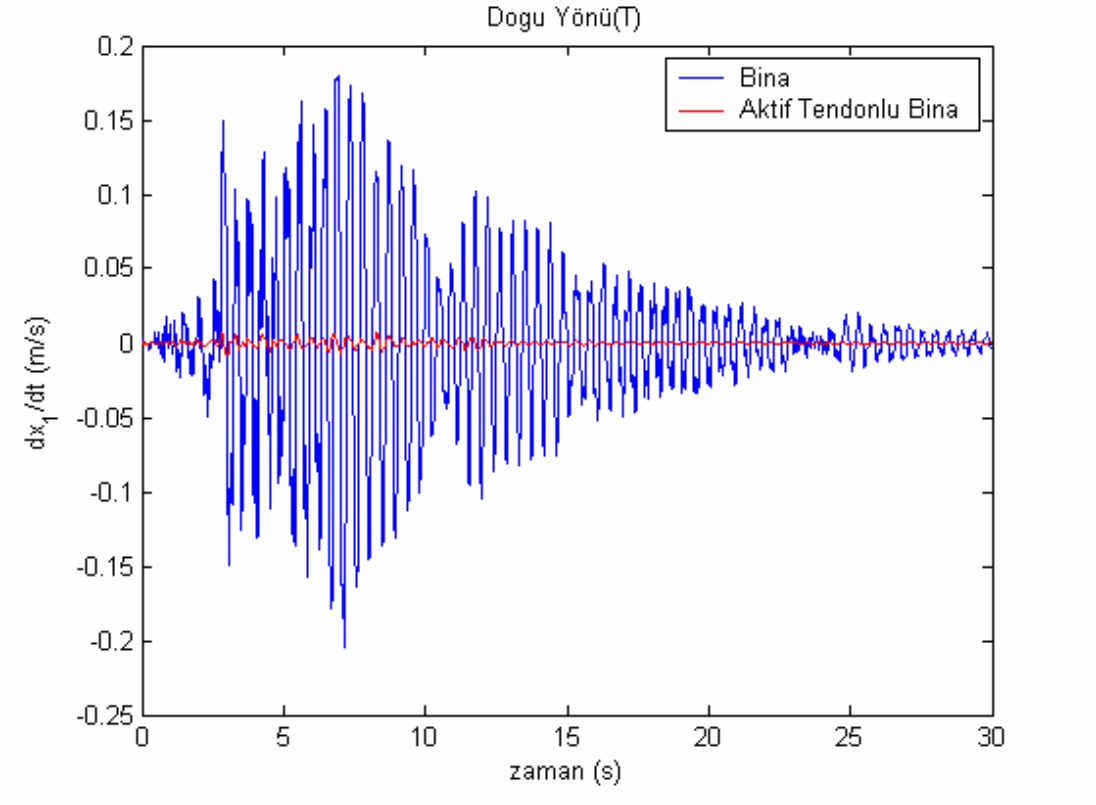
EK 4c: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Tüm Katlardan Kontrollü)

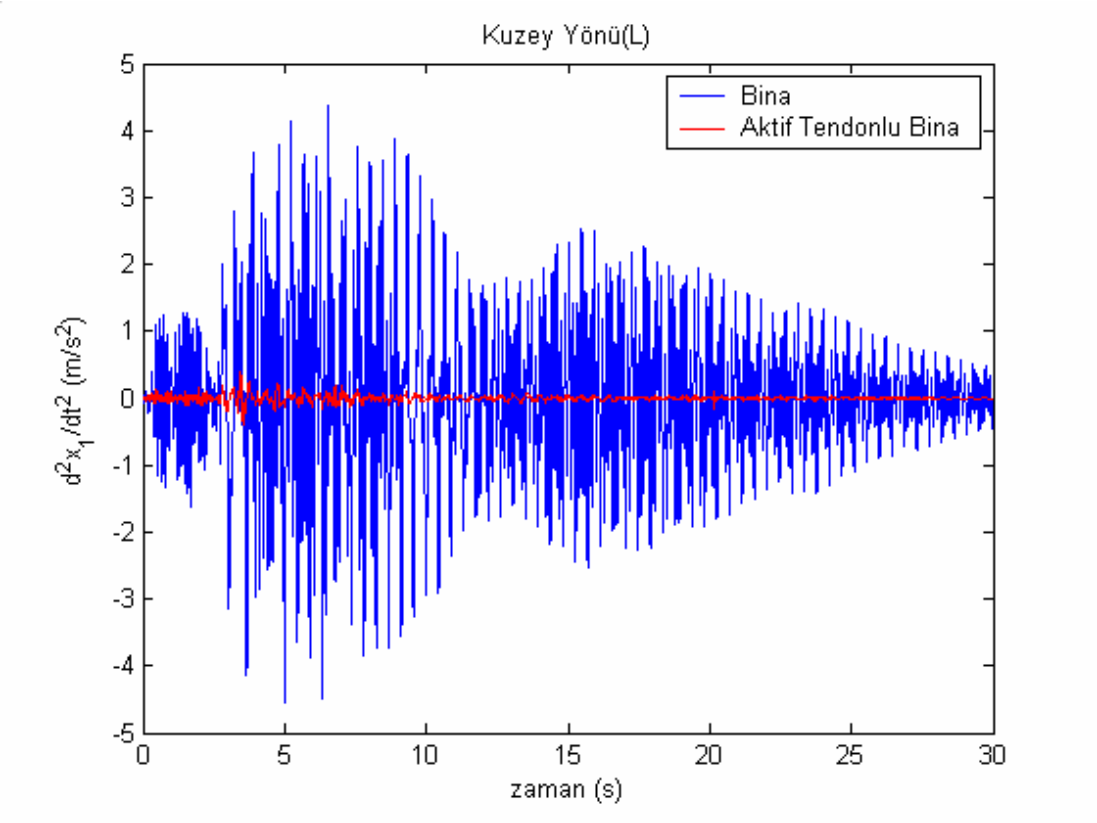


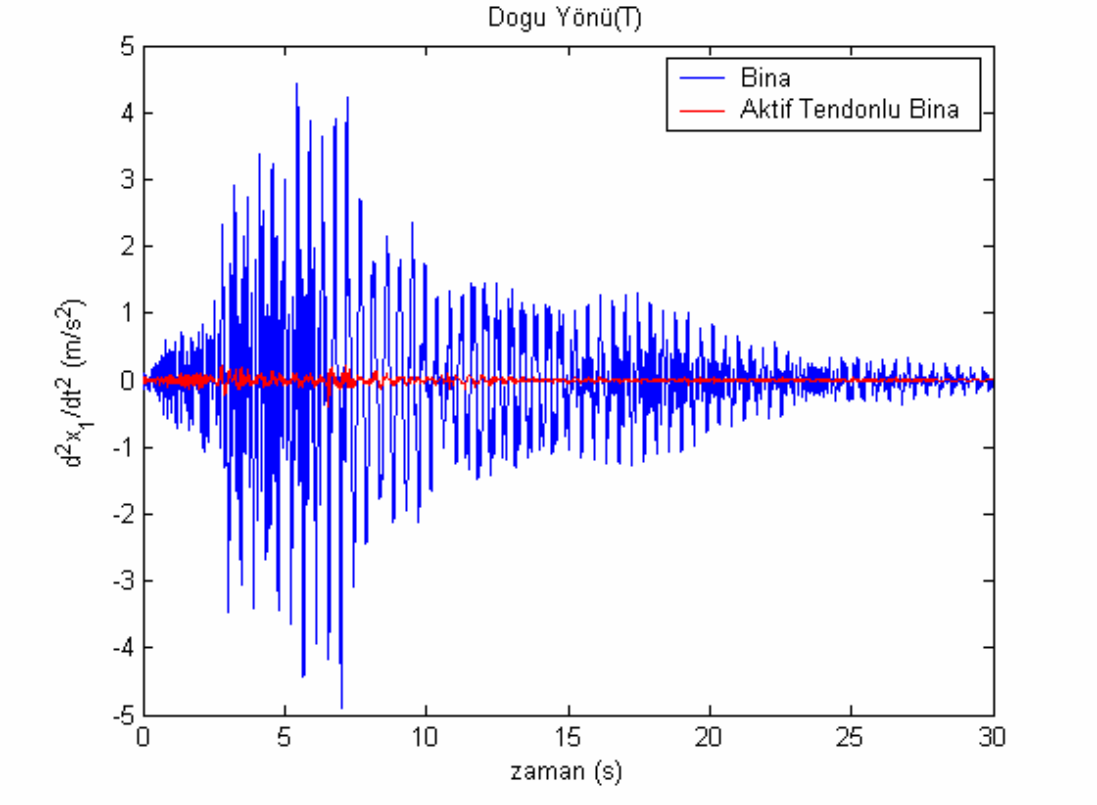
,

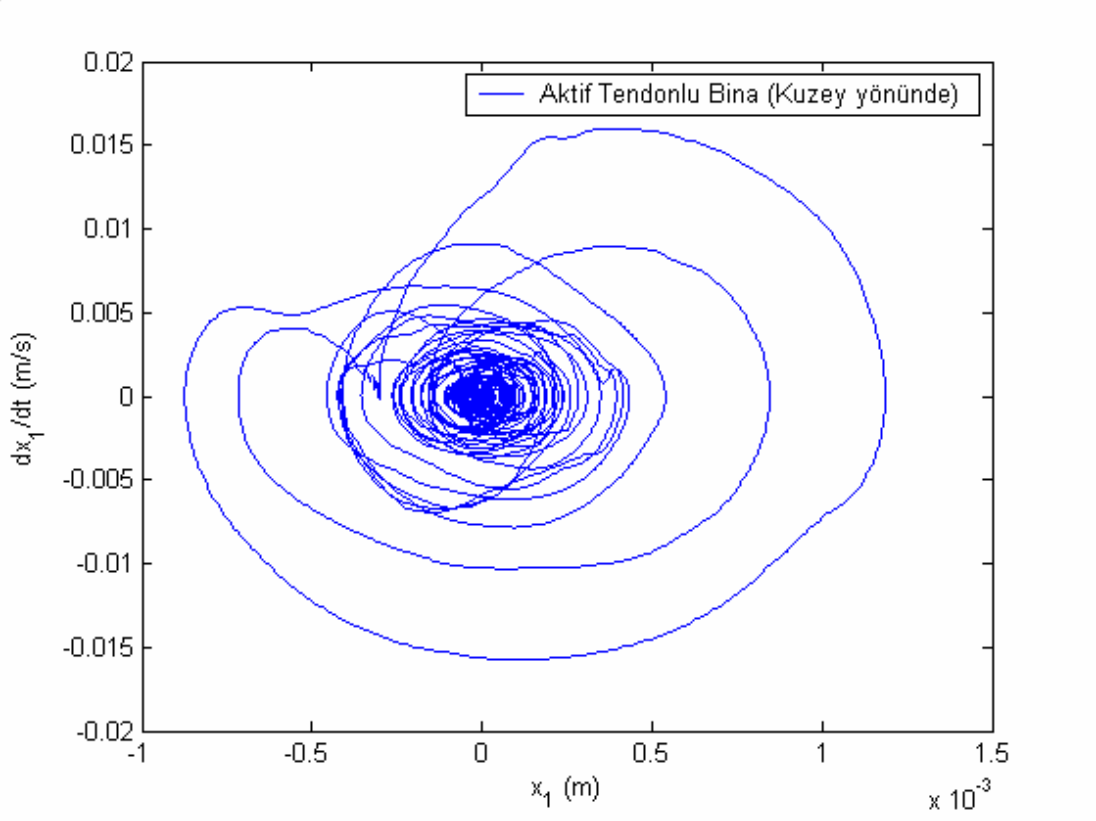


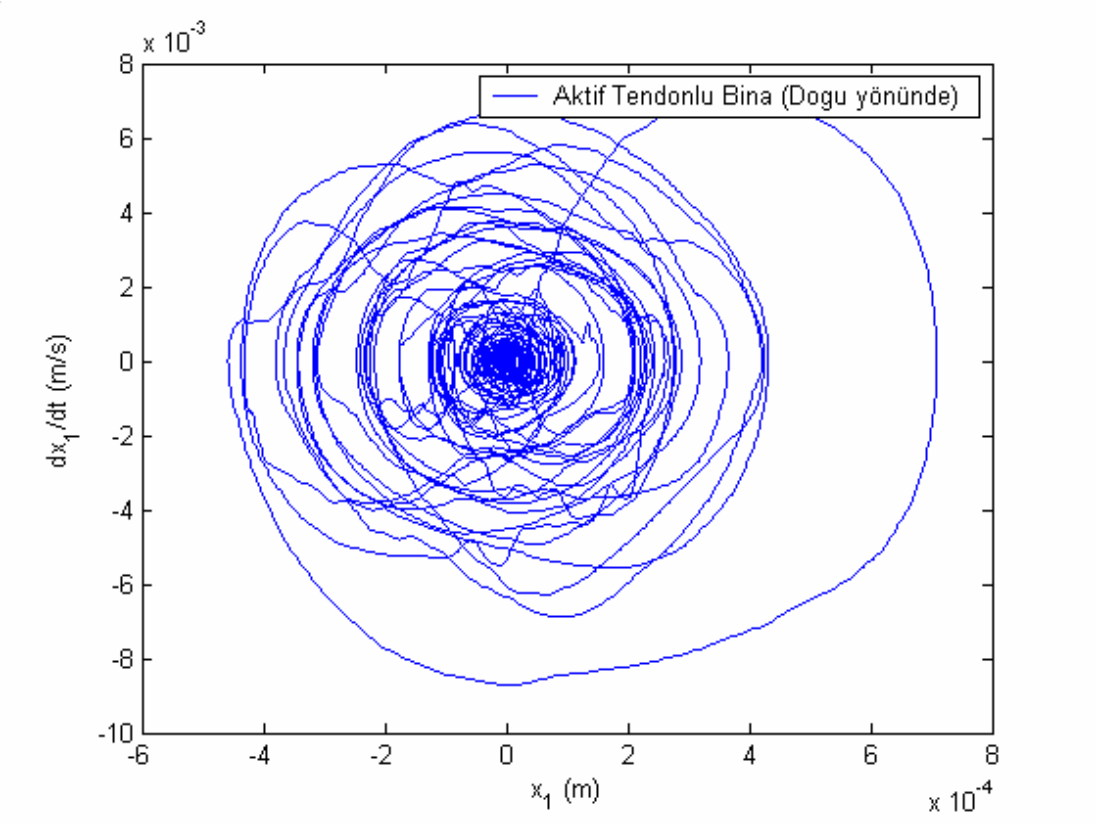

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
0
5
10
15
20
25
30

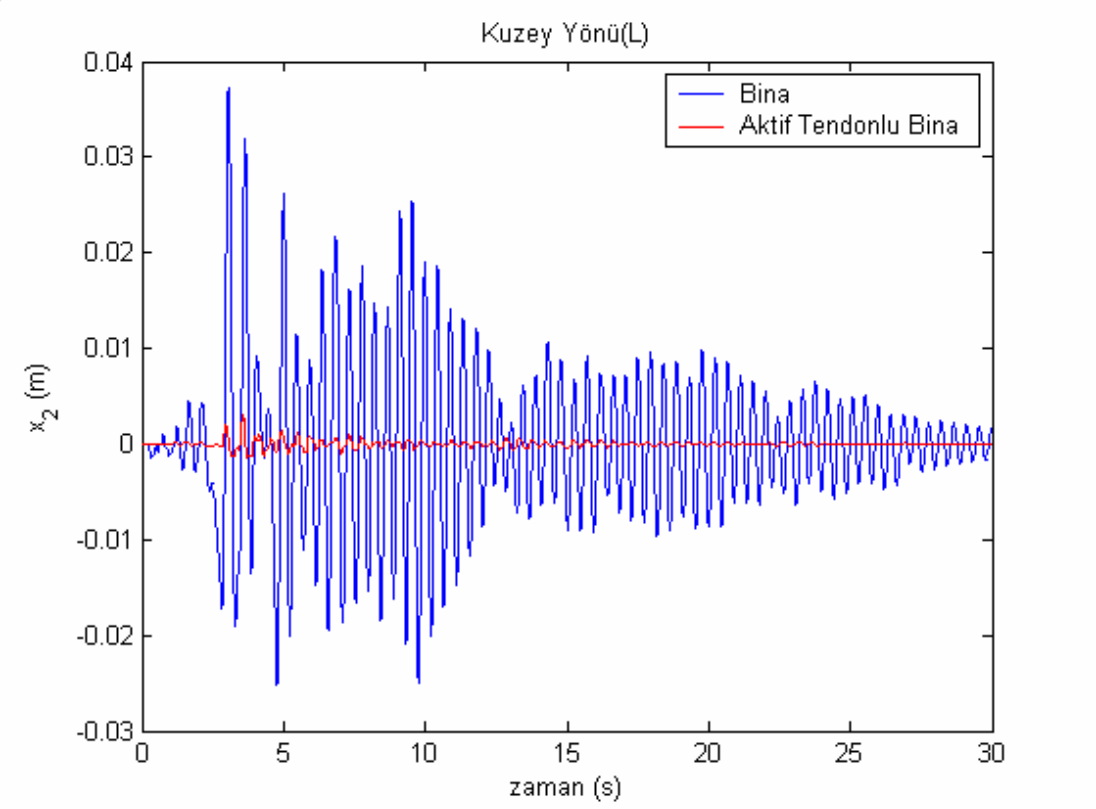

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx1/dt (m/s)
zaman (s)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.15
-0.2
-0.25
0
5
10
15
20
25
30

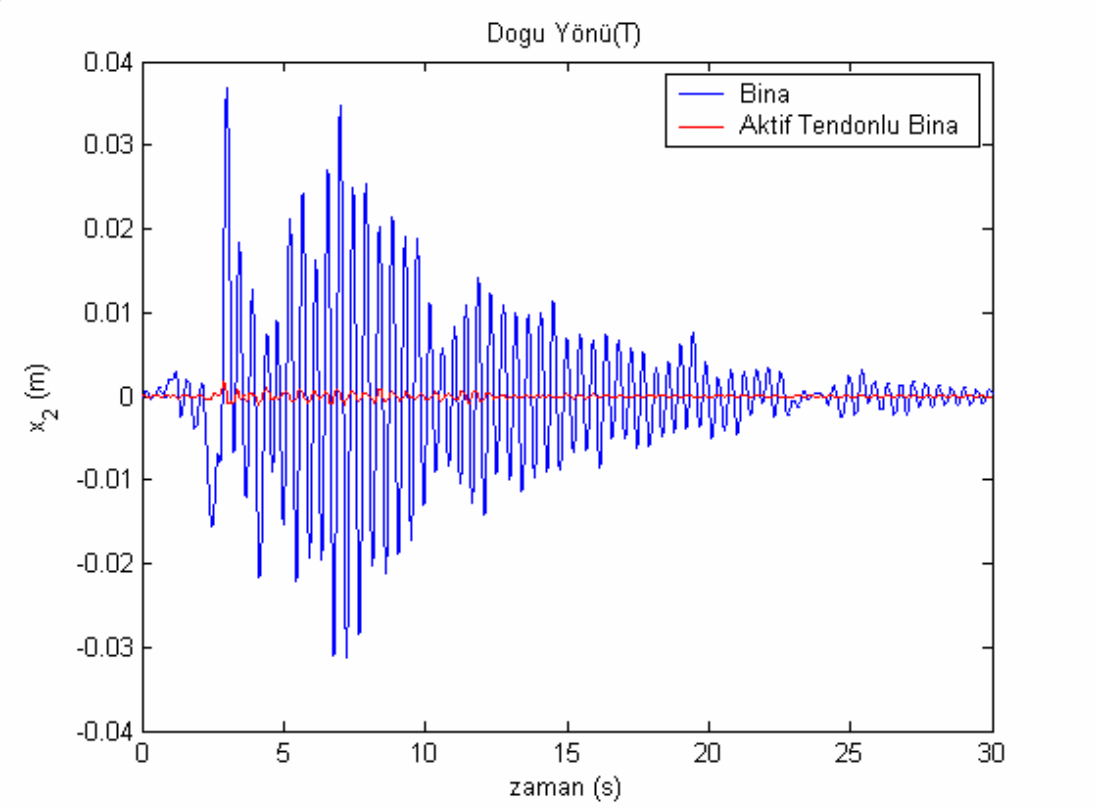

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x1/dt² (m/s²)
zaman (s)

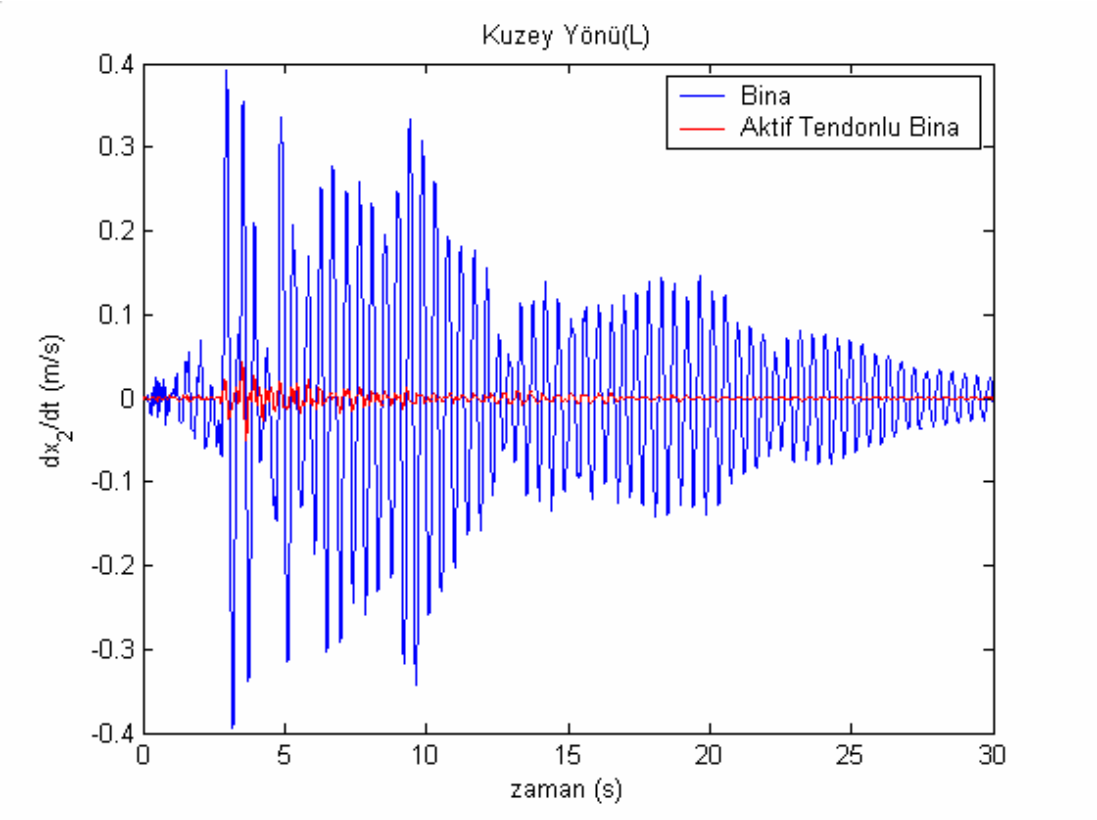

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x1/dt² (m/s²)
zaman (s)

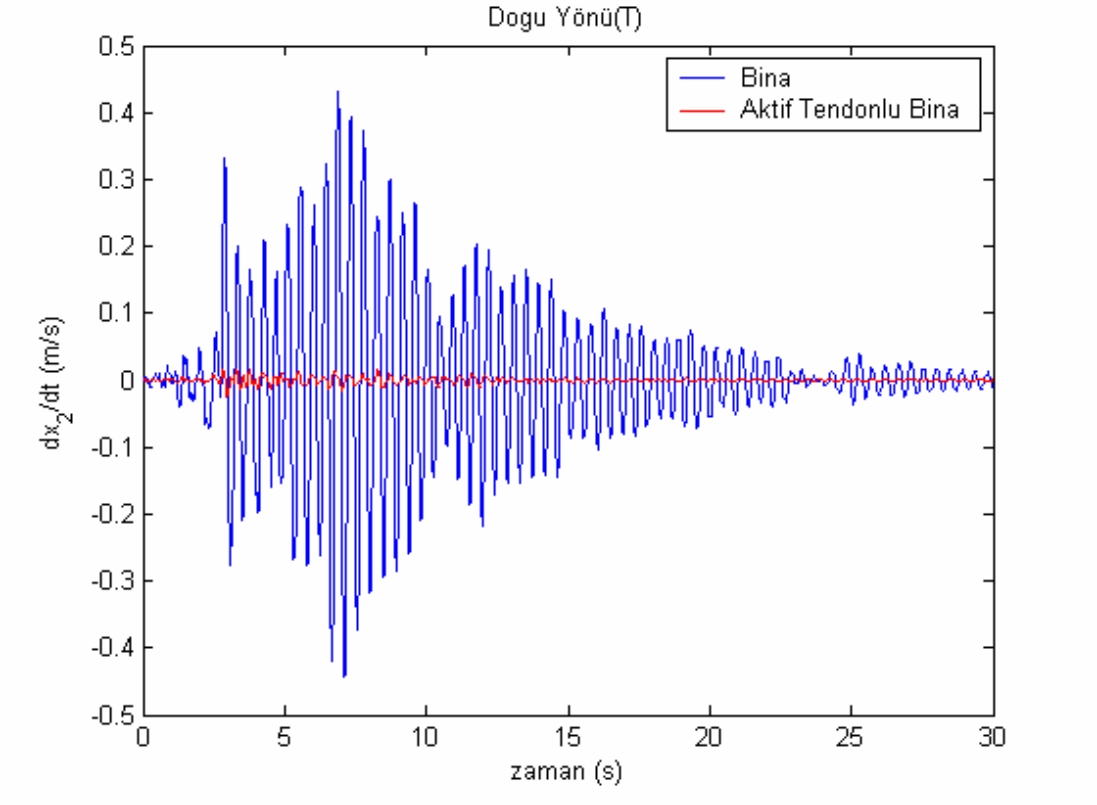

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
dx1/dt (m/s)
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
x1 (m)
x 10-3

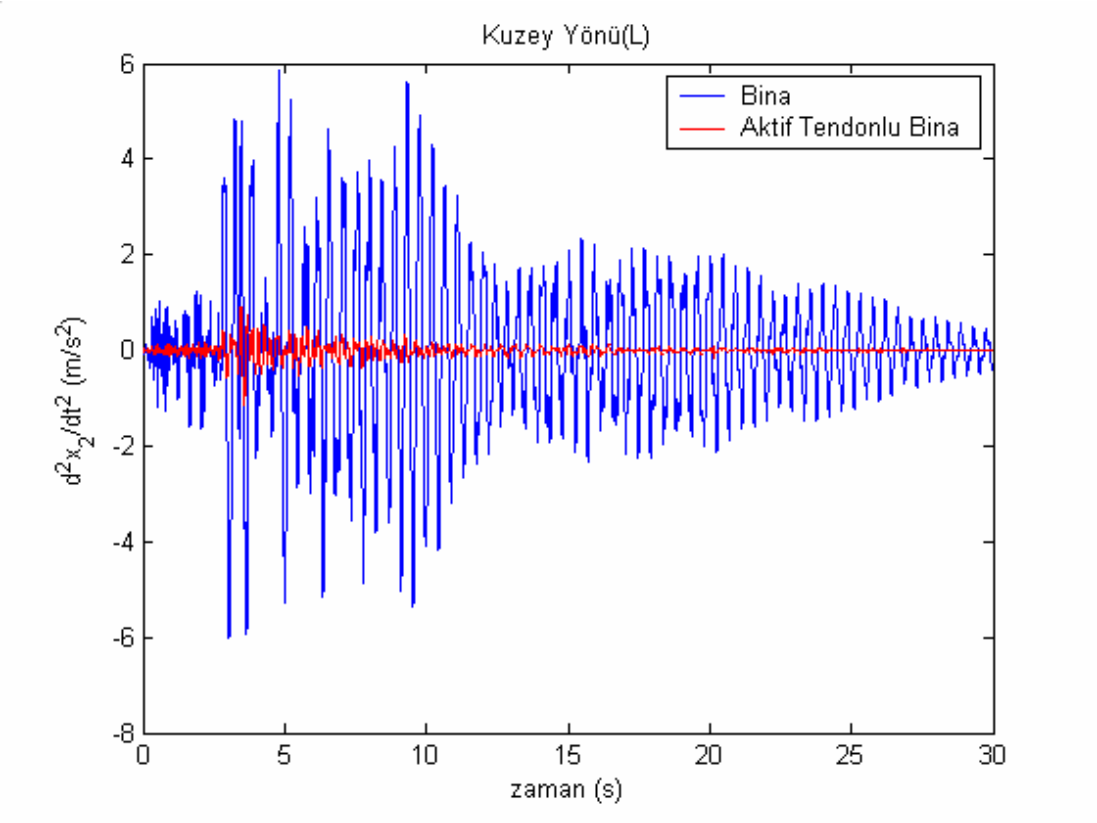

x 10-3
Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
dx1/dt (m/s)
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
x1 (m)
x 10-4

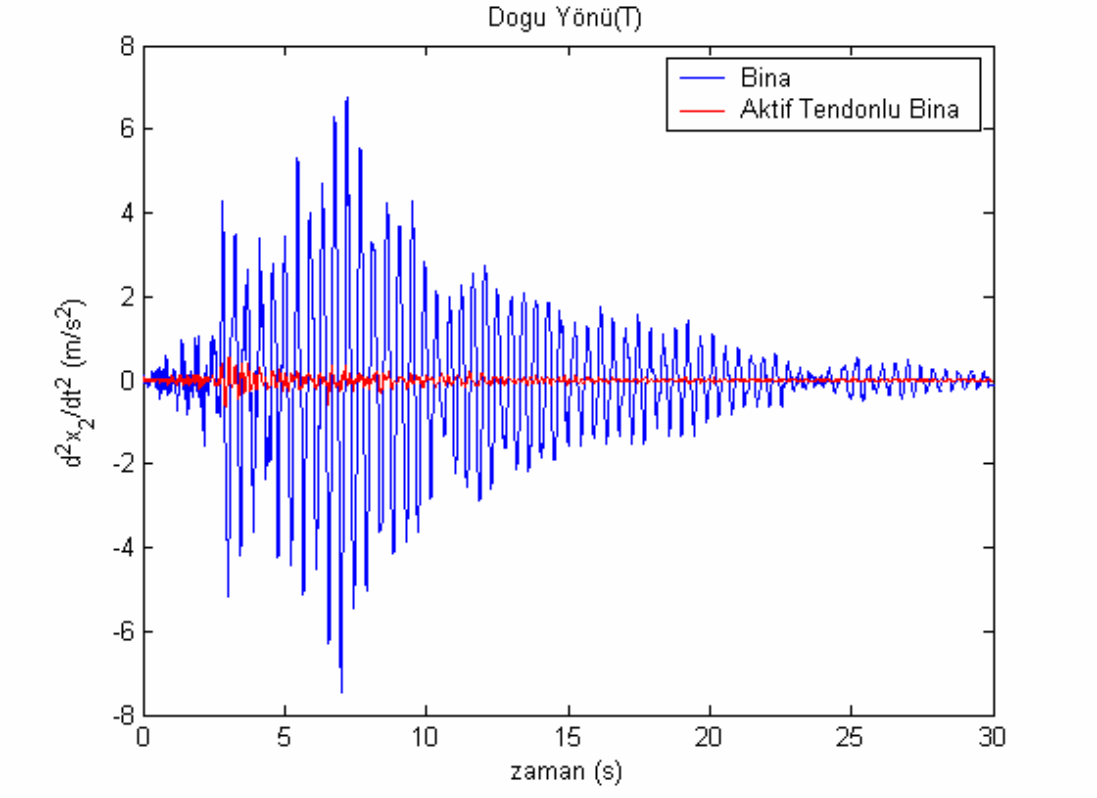

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
x_2 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

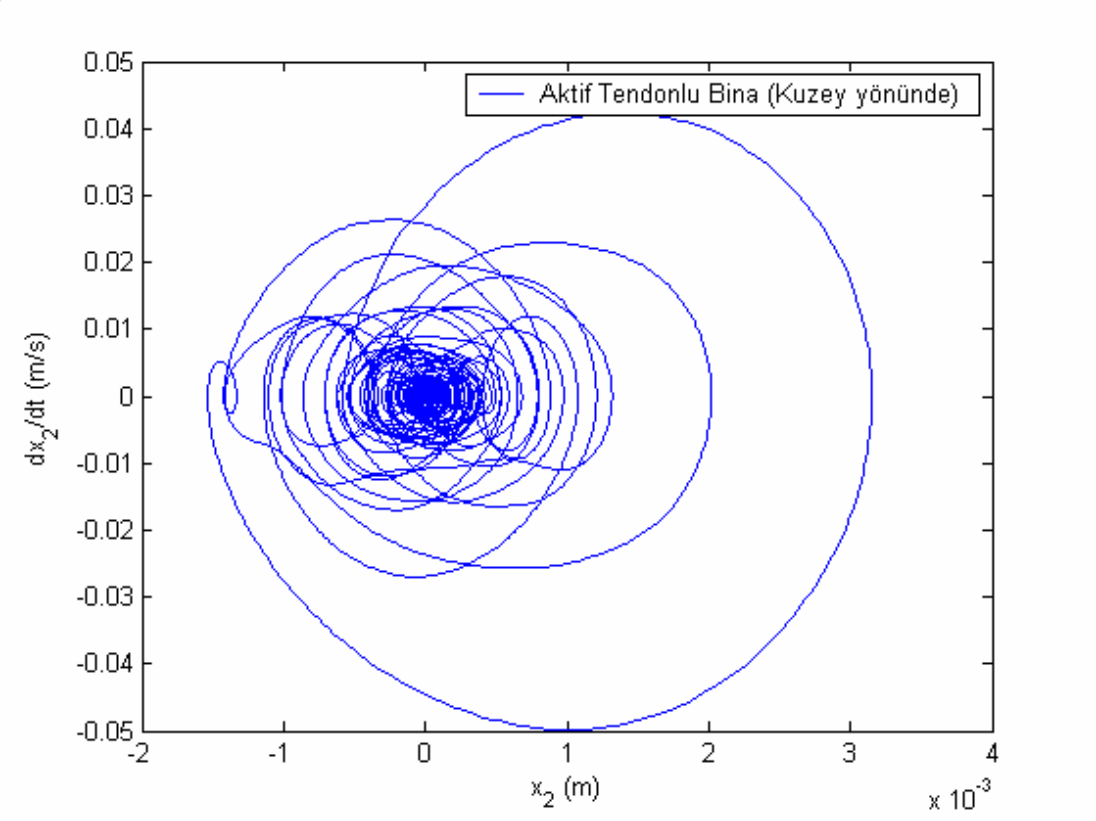

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x_2 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

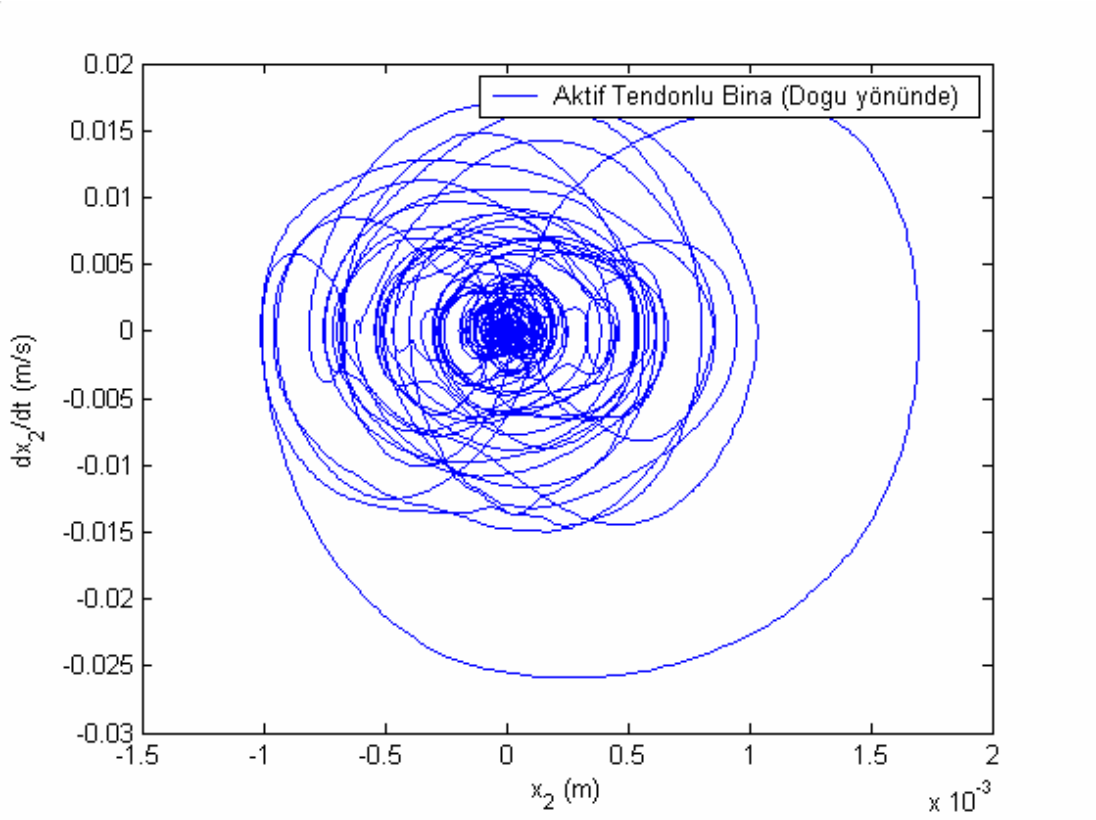

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0
5
10
15
20
25
30

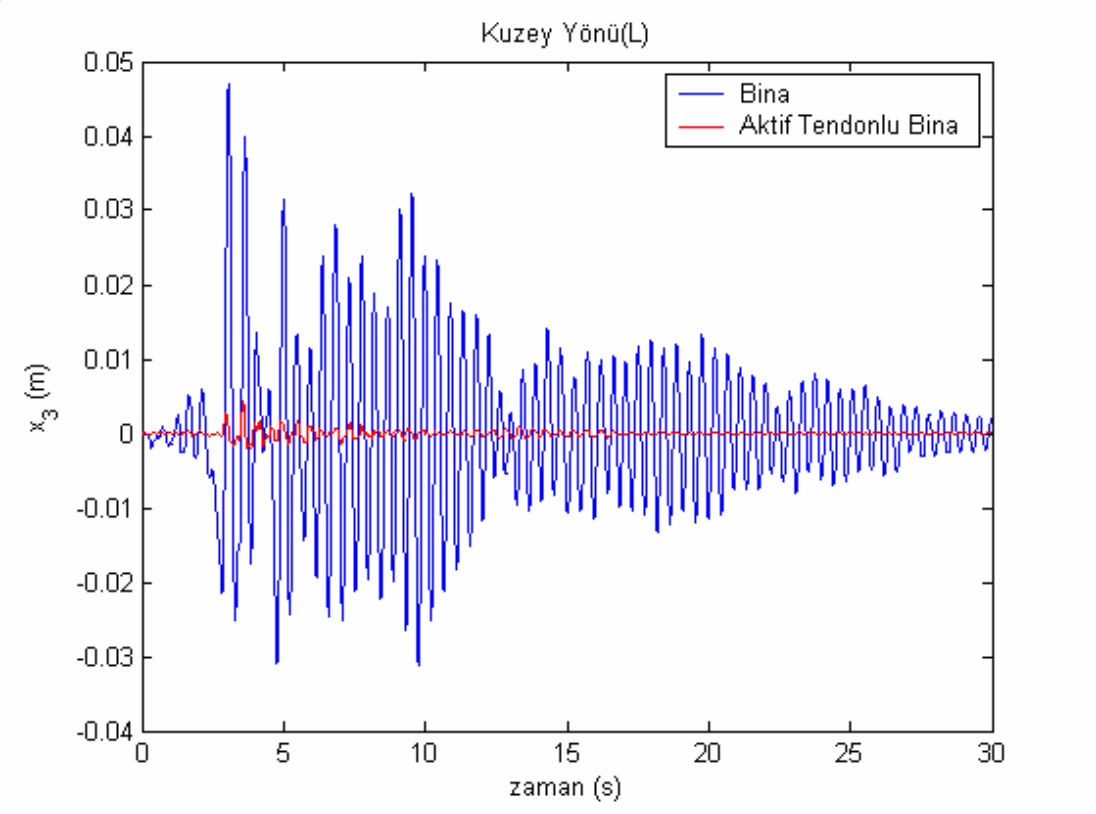

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx2/dt (m/s)
zaman (s)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
5
10
15
20
25
30

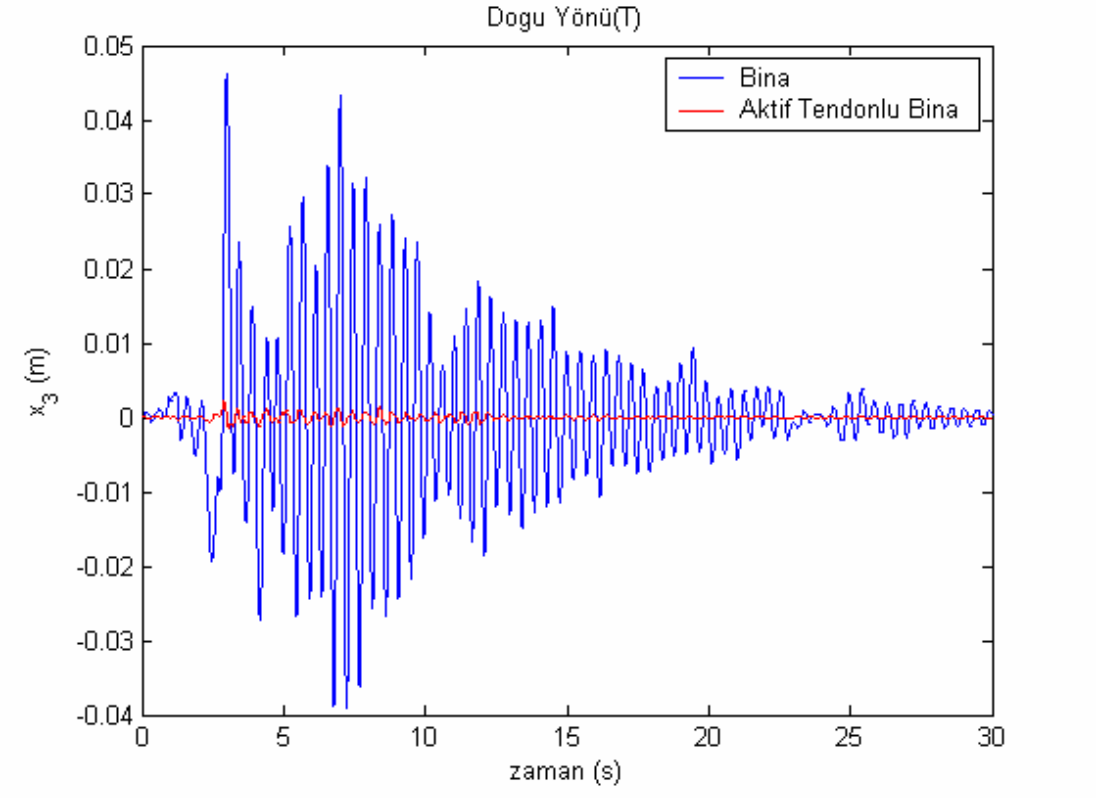

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

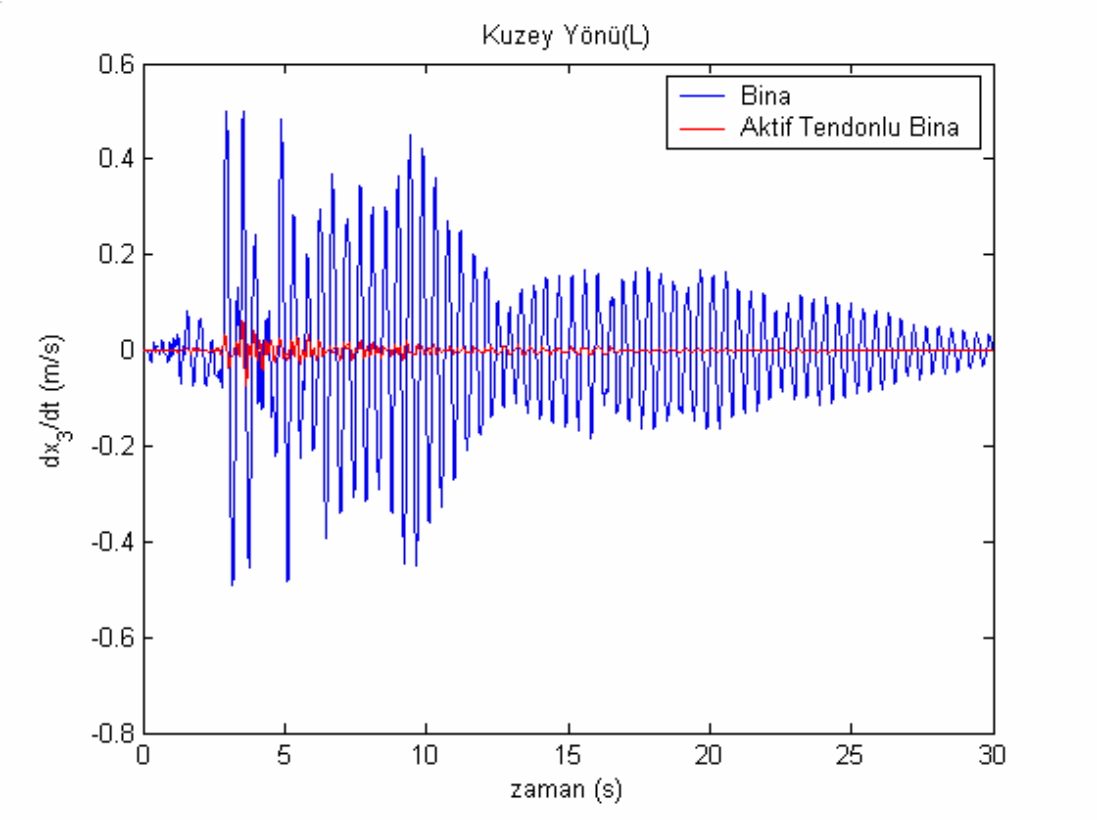

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x₂/dt² (m/s²)
zaman (s)

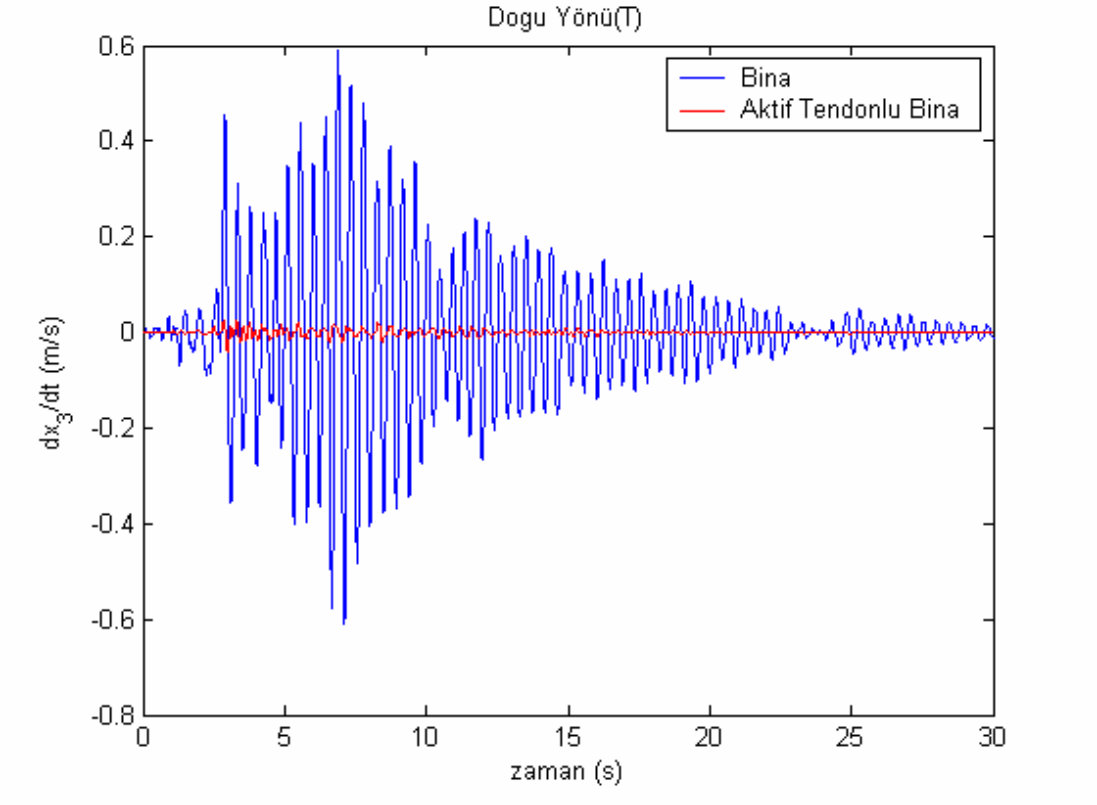

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
dx2/dt (m/s)
-2
-1
0
1
2
3
4
x2 (m)
x 10-3

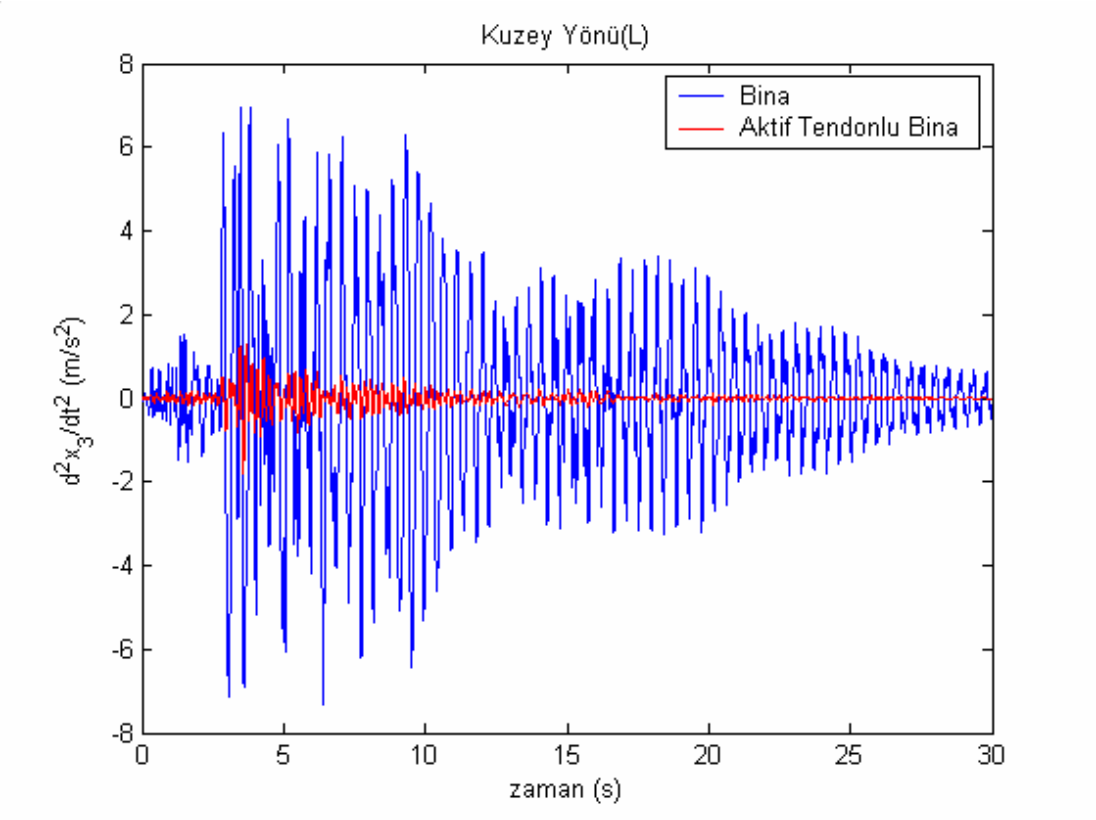

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
-0.03
dx2/dt (m/s)
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
x2 (m)
x 10-3

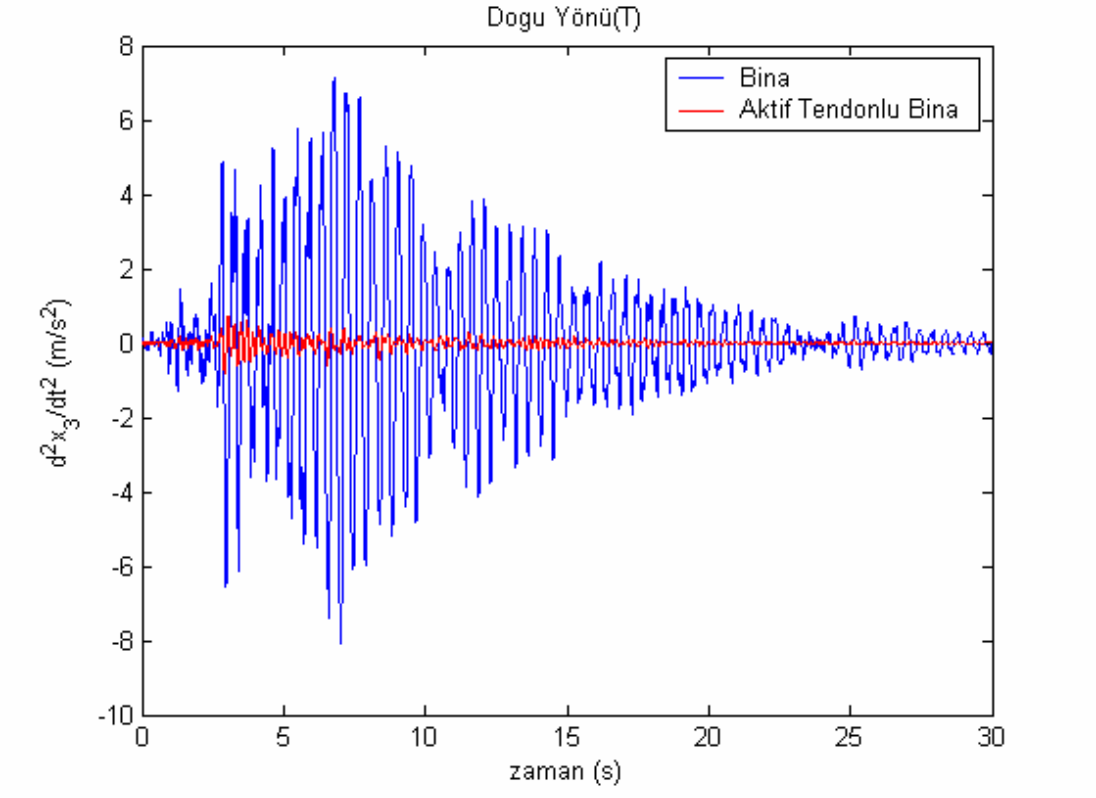

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x_3 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

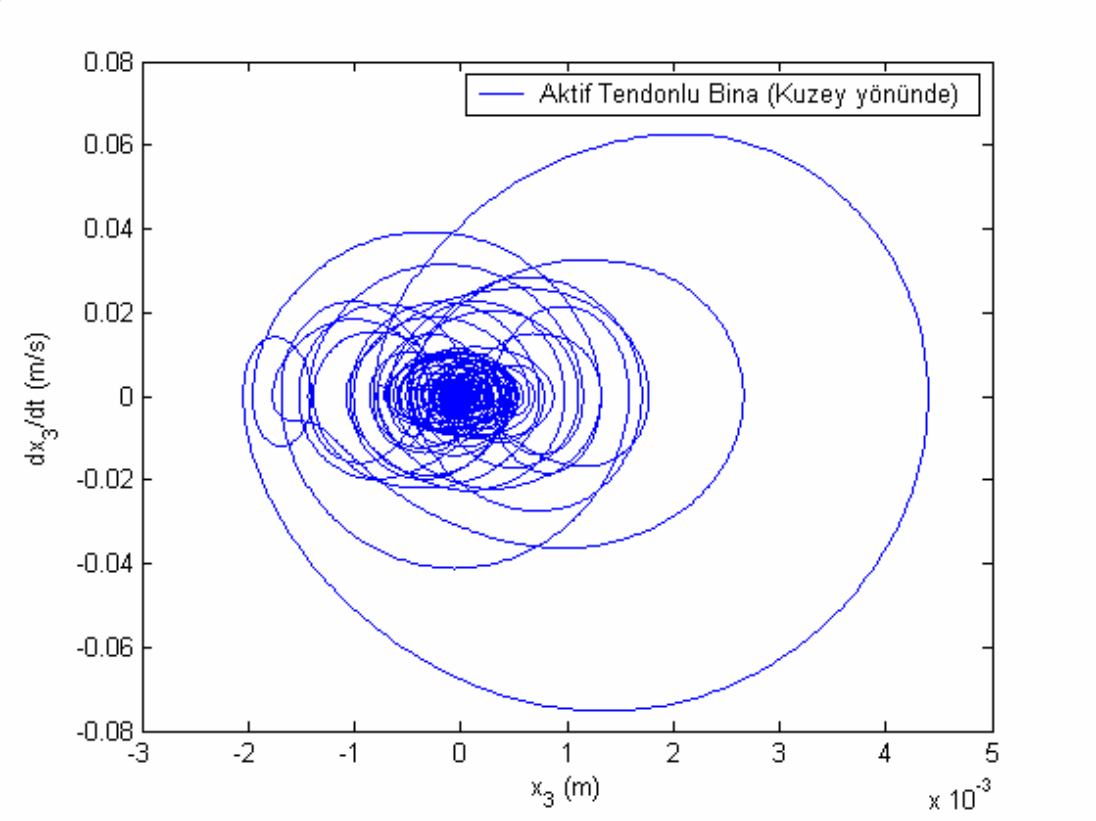

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
x_3 (m)
0
5
10
15
20
25
30
zaman (s)

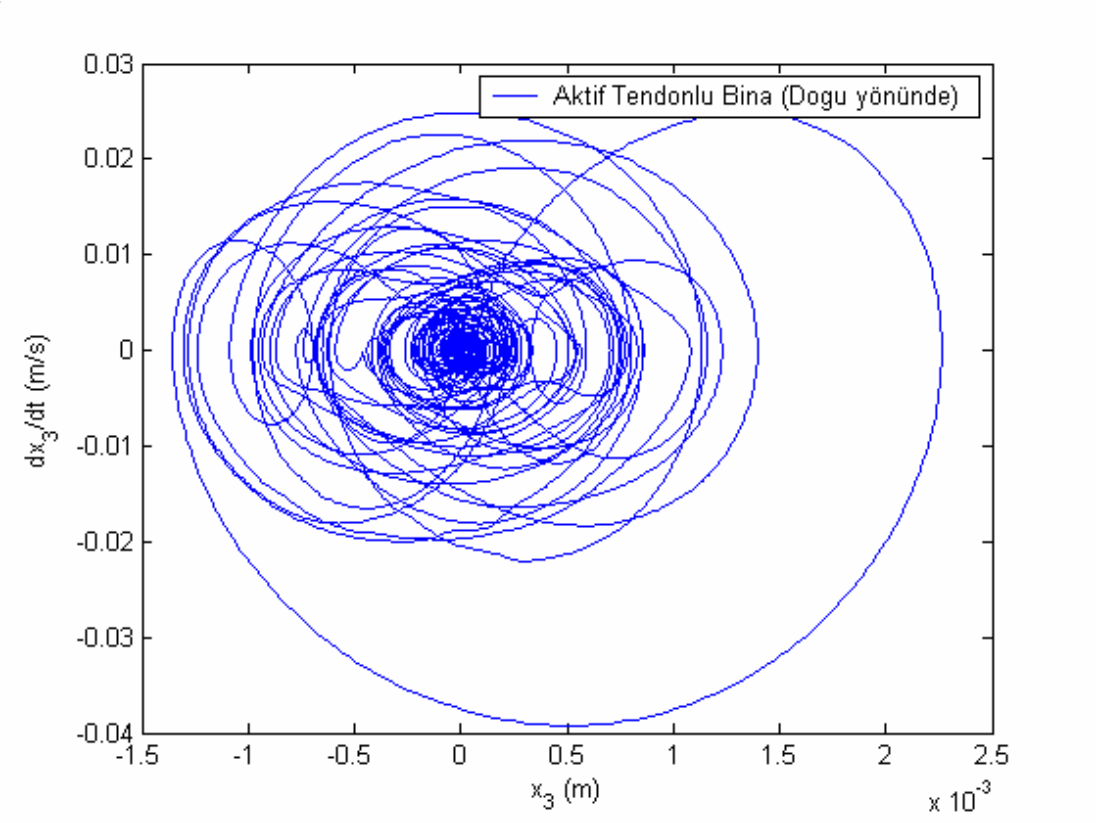

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
5
10
15
20
25
30

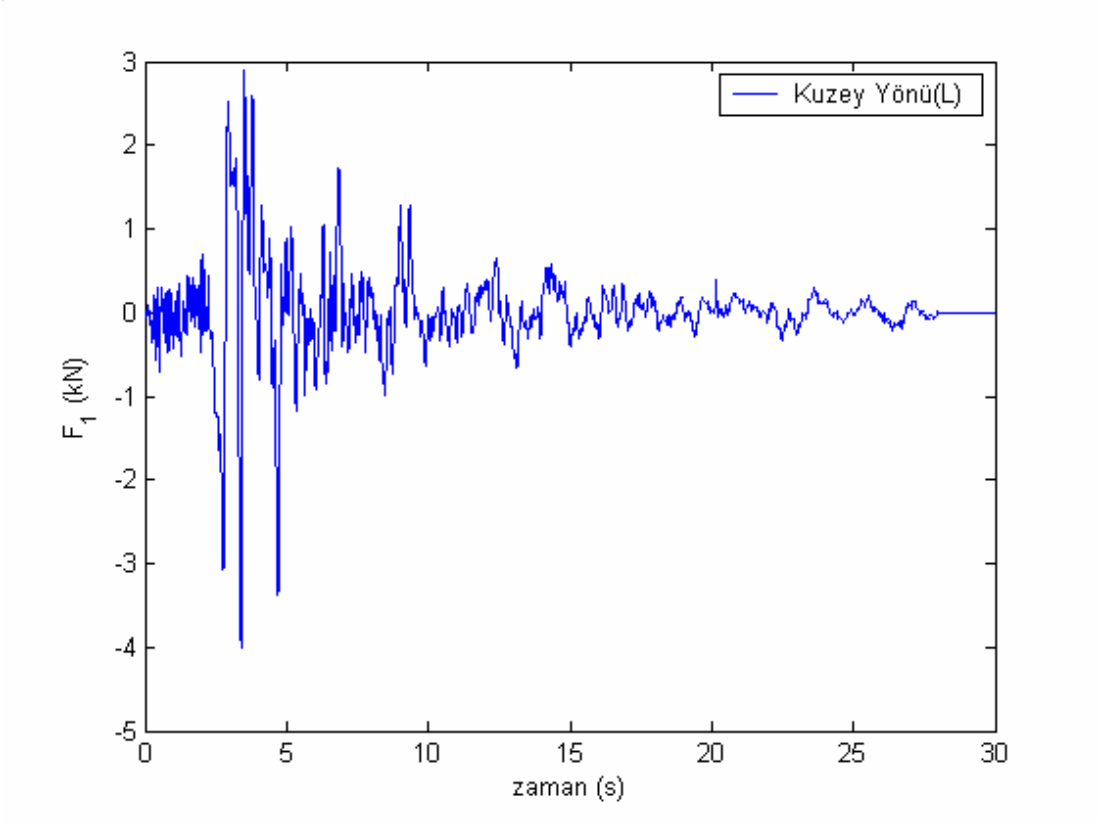

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
dx3/dt (m/s)
zaman (s)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
5
10
15
20
25
30

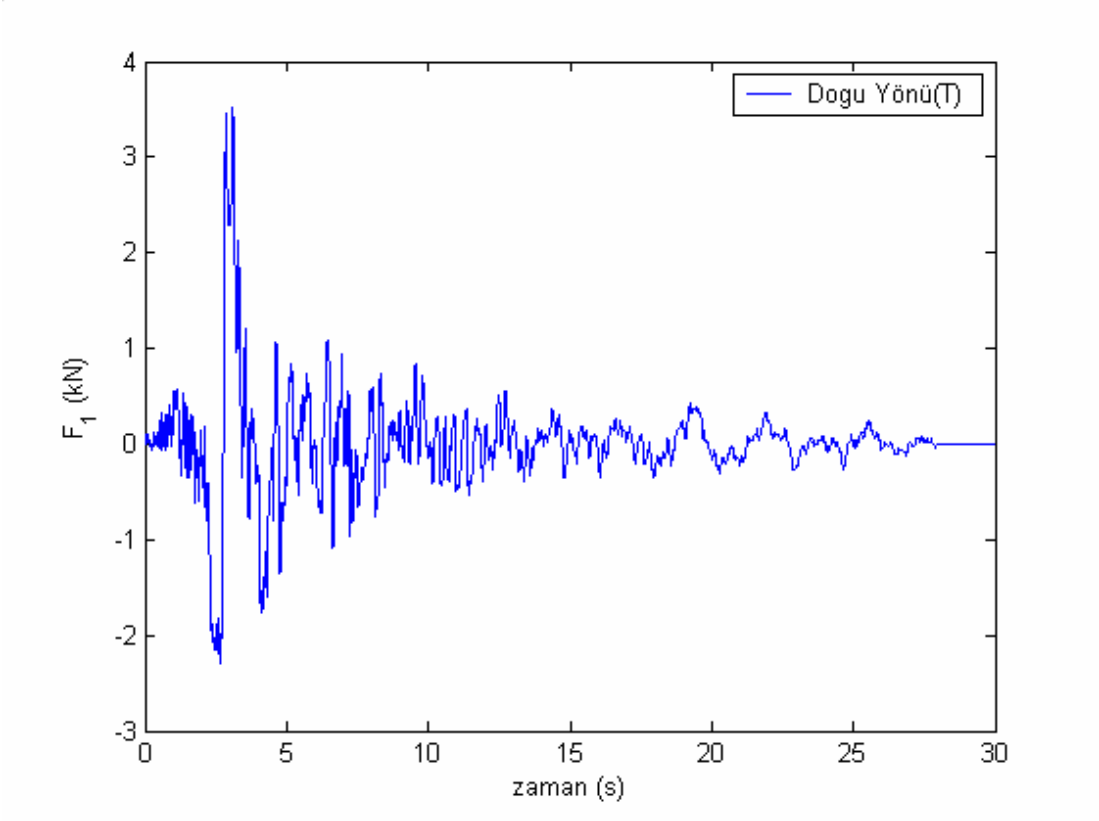

Kuzey Yönü(L)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

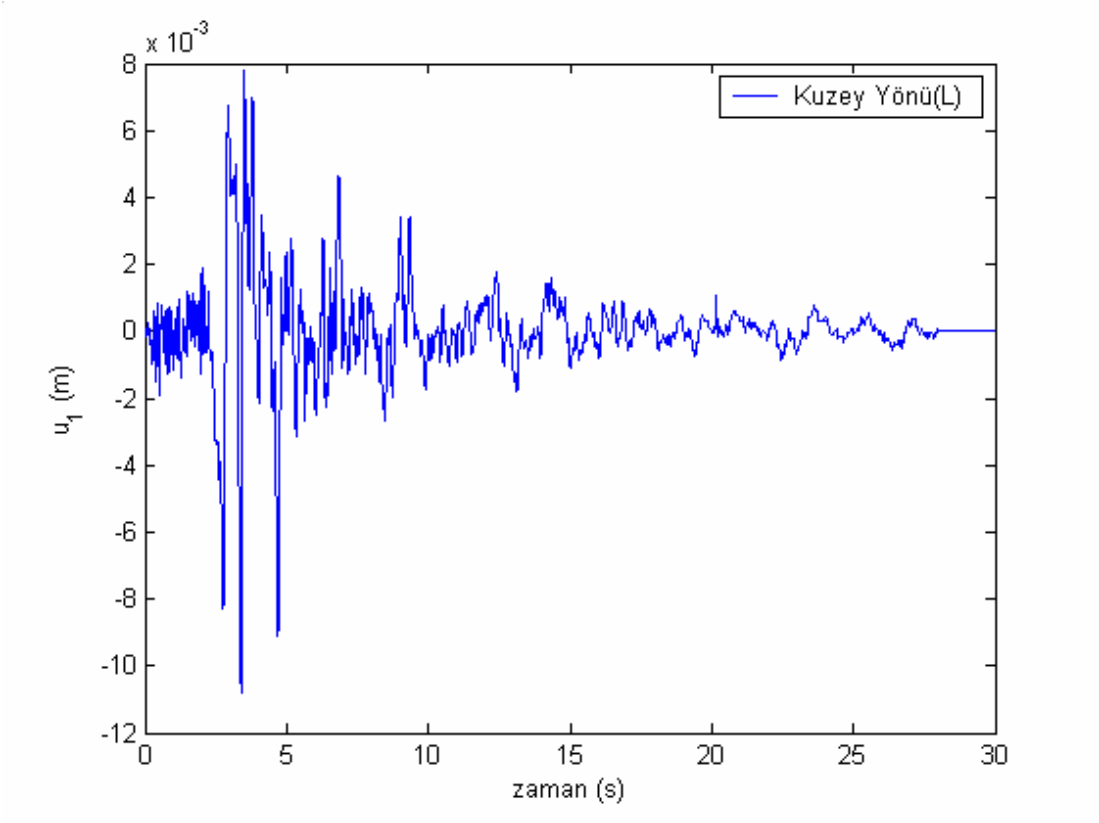

Dogu Yönü(T)
Bina
Aktif Tendonlu Bina
d²x3/dt² (m/s²)
zaman (s)

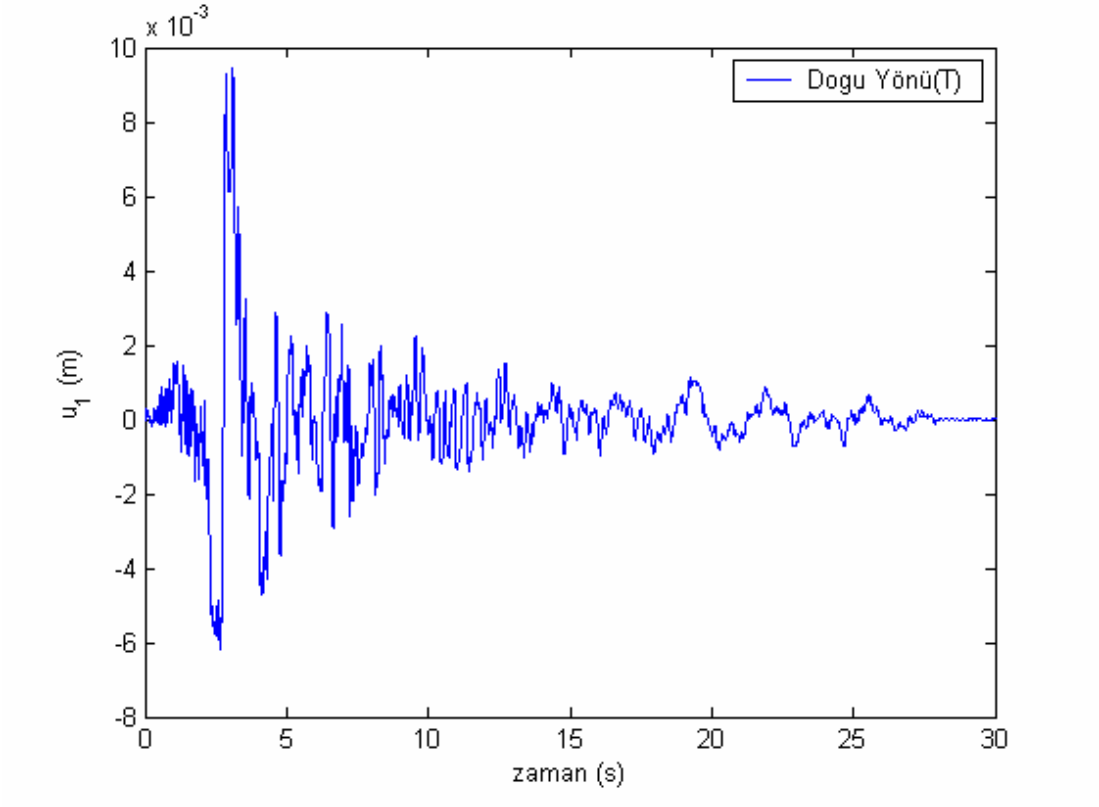

Aktif Tendonlu Bina (Kuzey yönünde)
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
dx3/dt (m/s)
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
x3 (m)
x 10-3

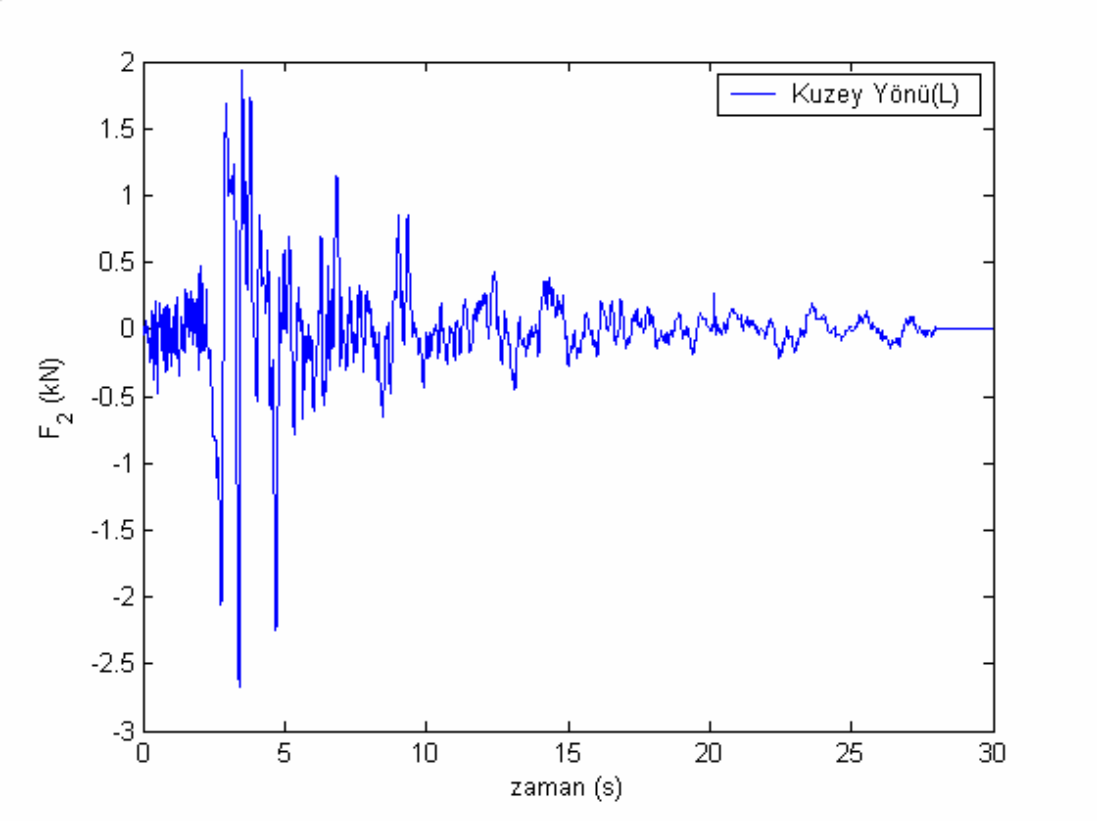

Aktif Tendonlu Bina (Dogu yönünde)
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
dx3/dt (m/s)
-1.5
-1
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
x3 (m)
x 10-3

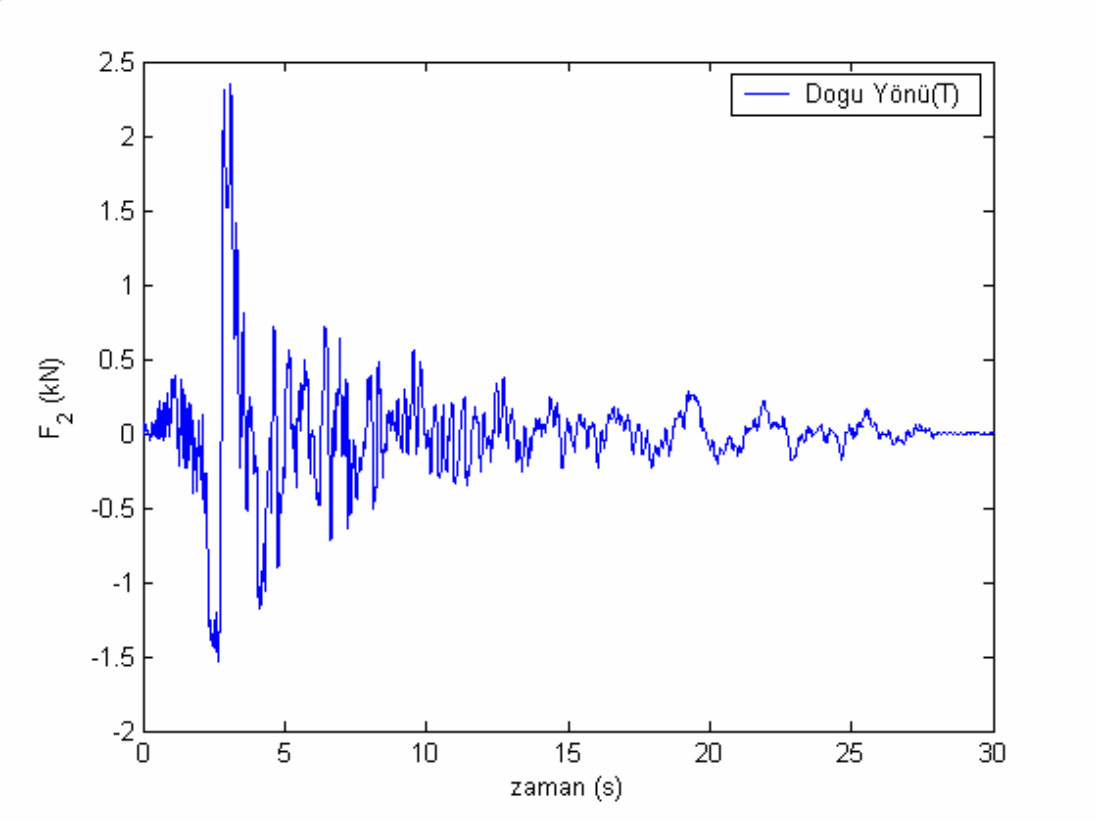

Kuzey Yönü(L)
F1 (kN)
zaman (s)
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
0
5
10
15
20
25
30

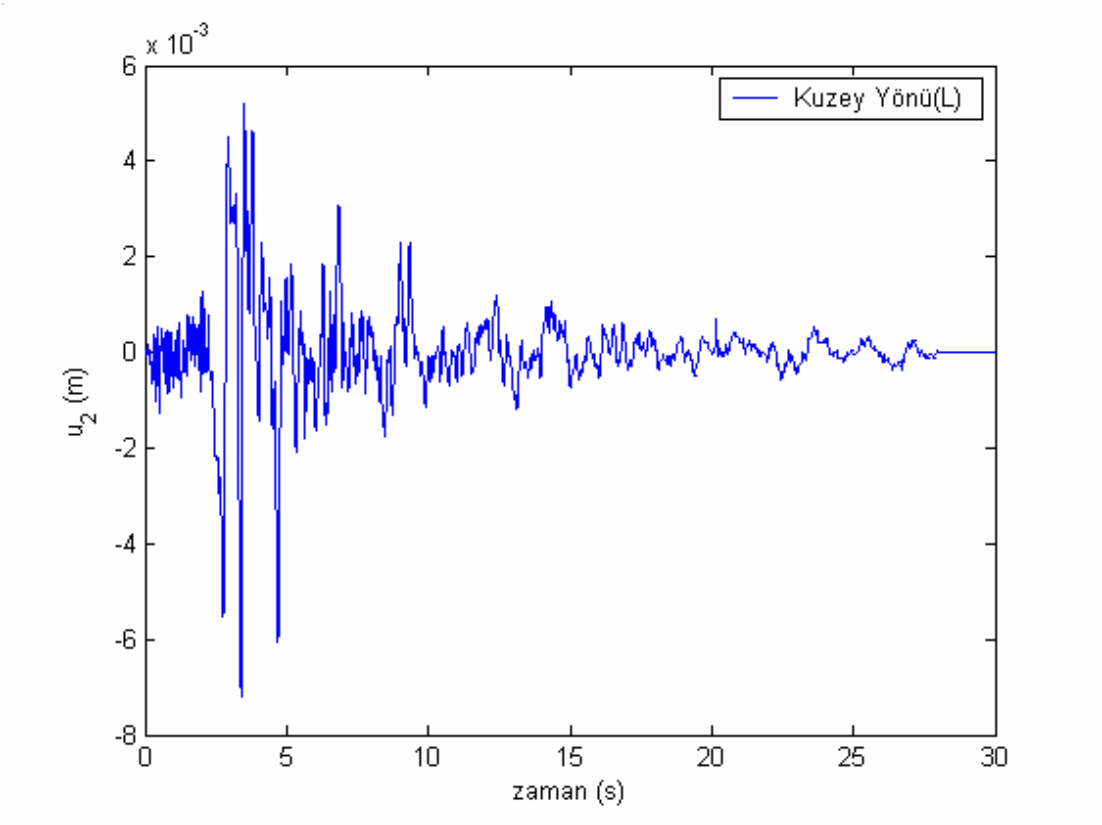

Dogu Yönü(T)
F1 (kN)
zaman (s)
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
5
10
15
20
25
30

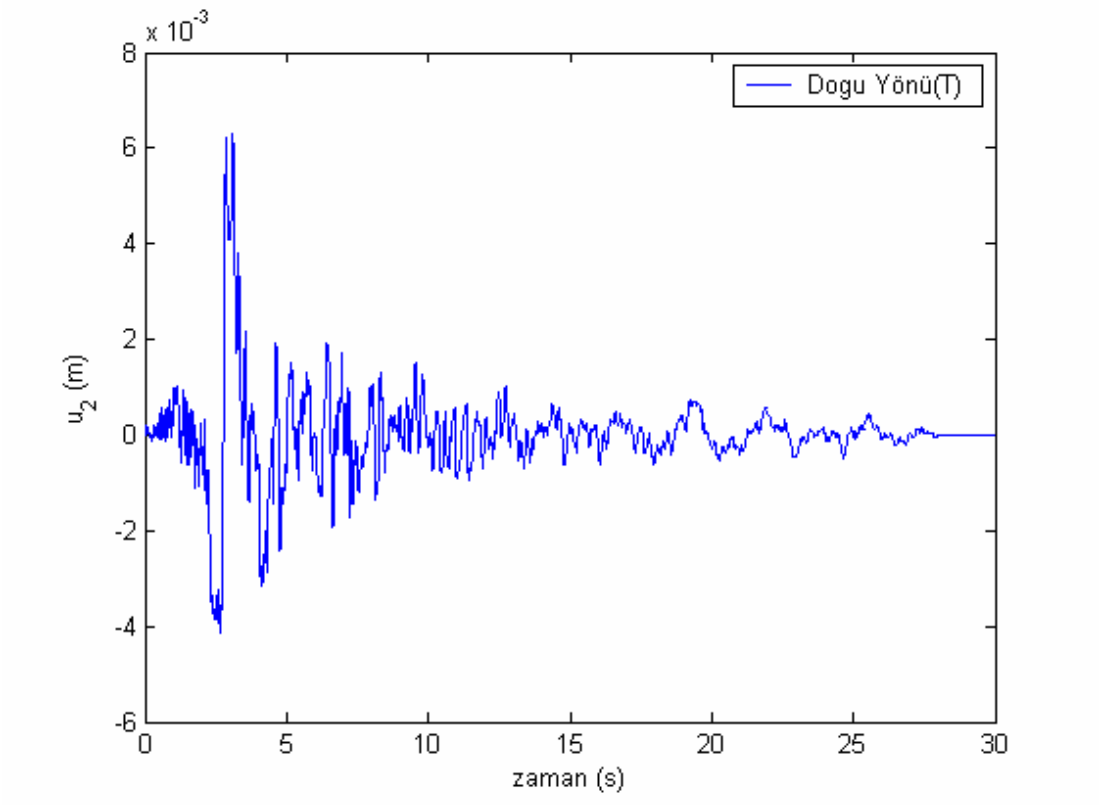

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

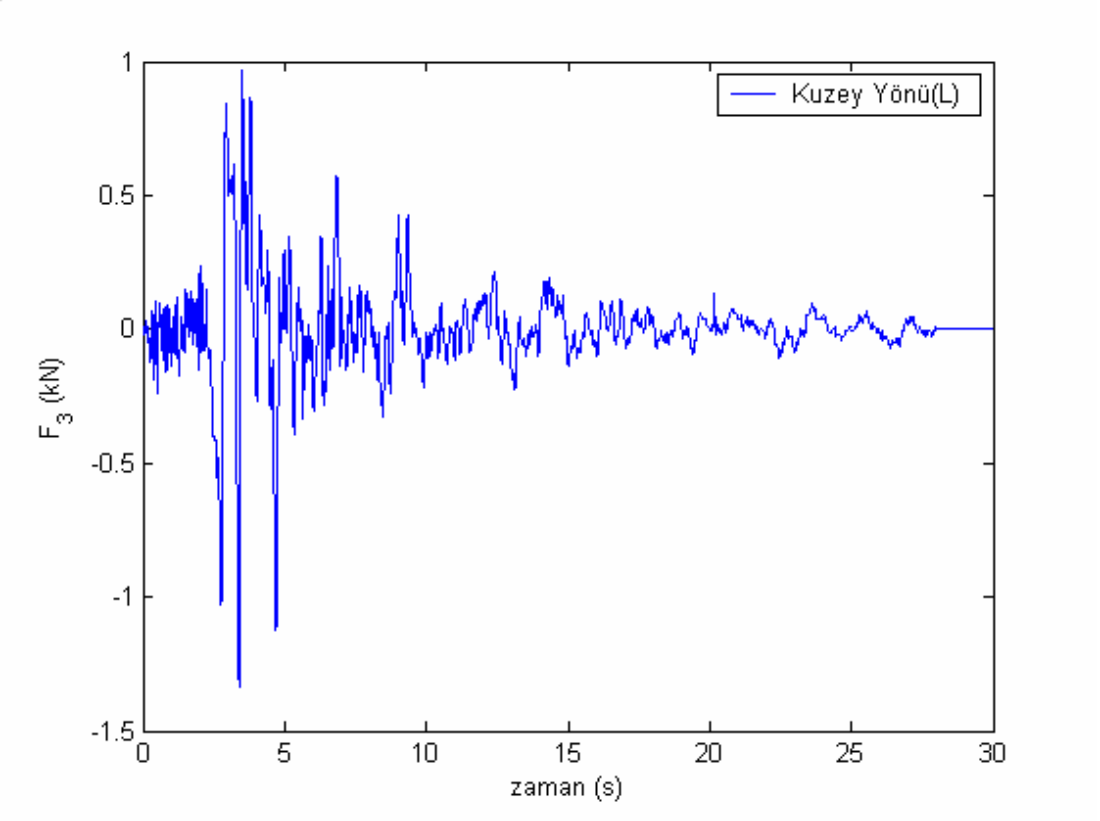

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

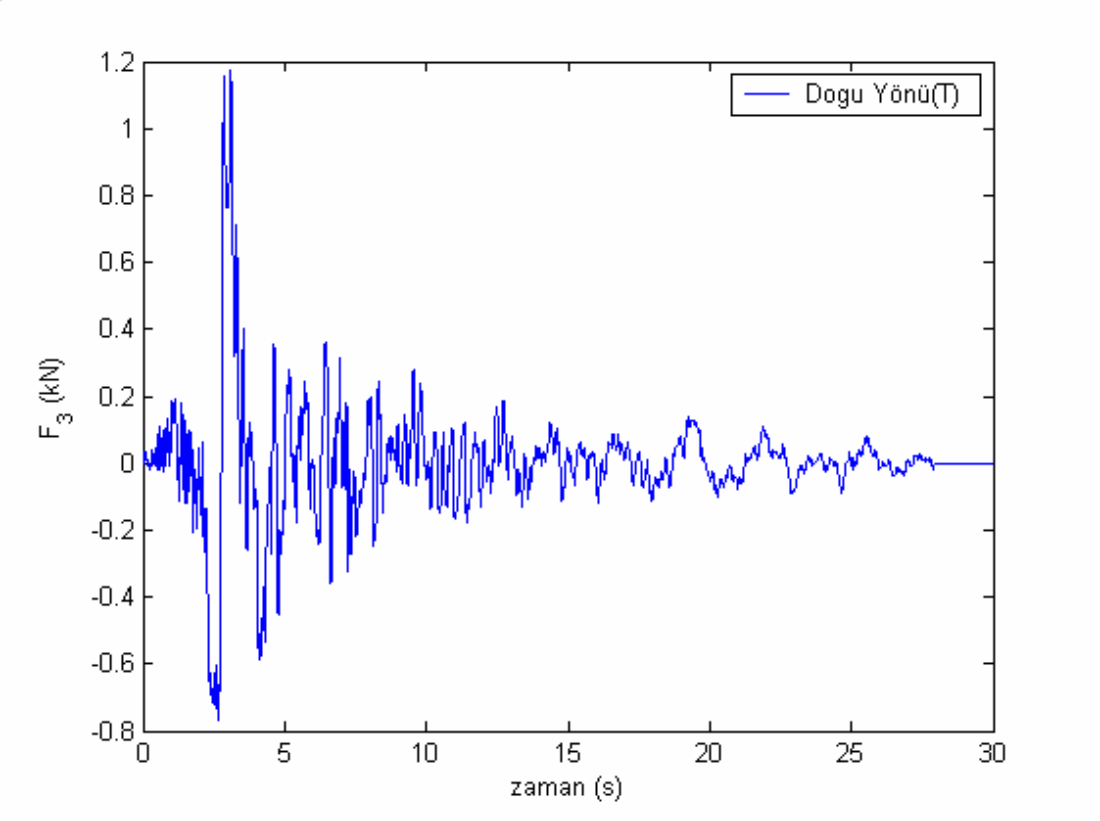

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
0
5
10
15
20
25
30

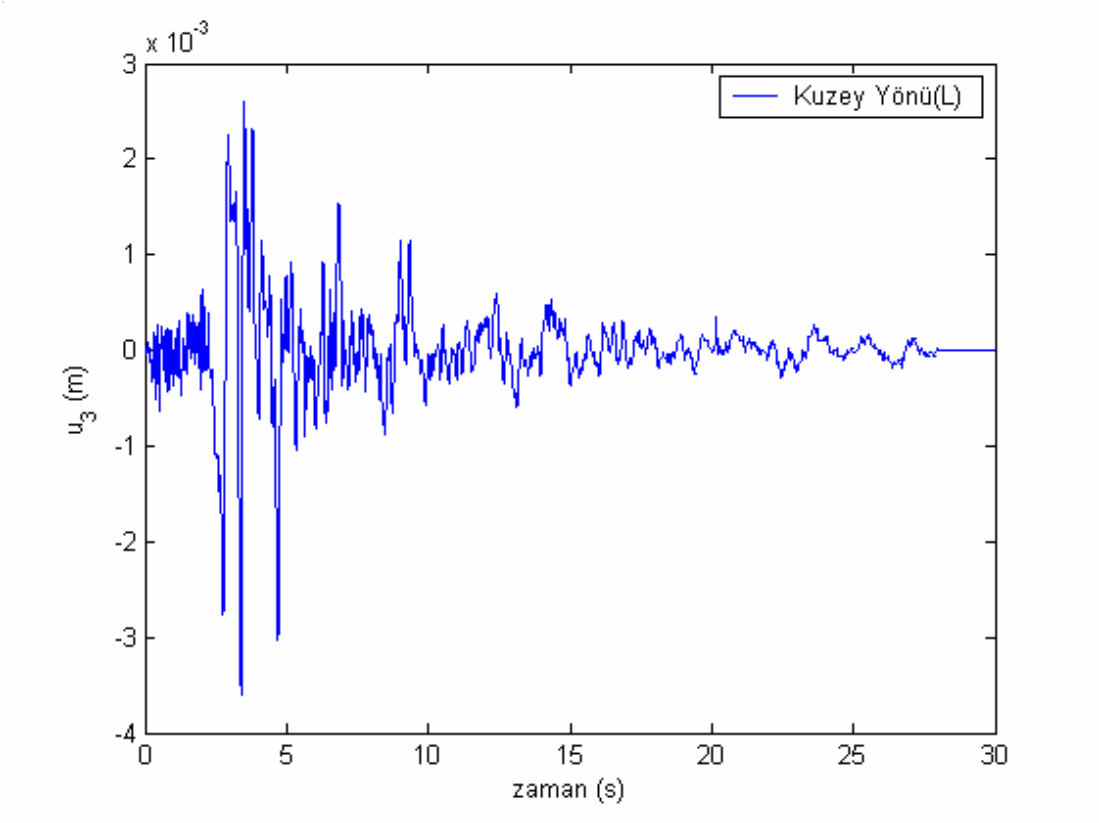

Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
0
5
10
15
20
25
30

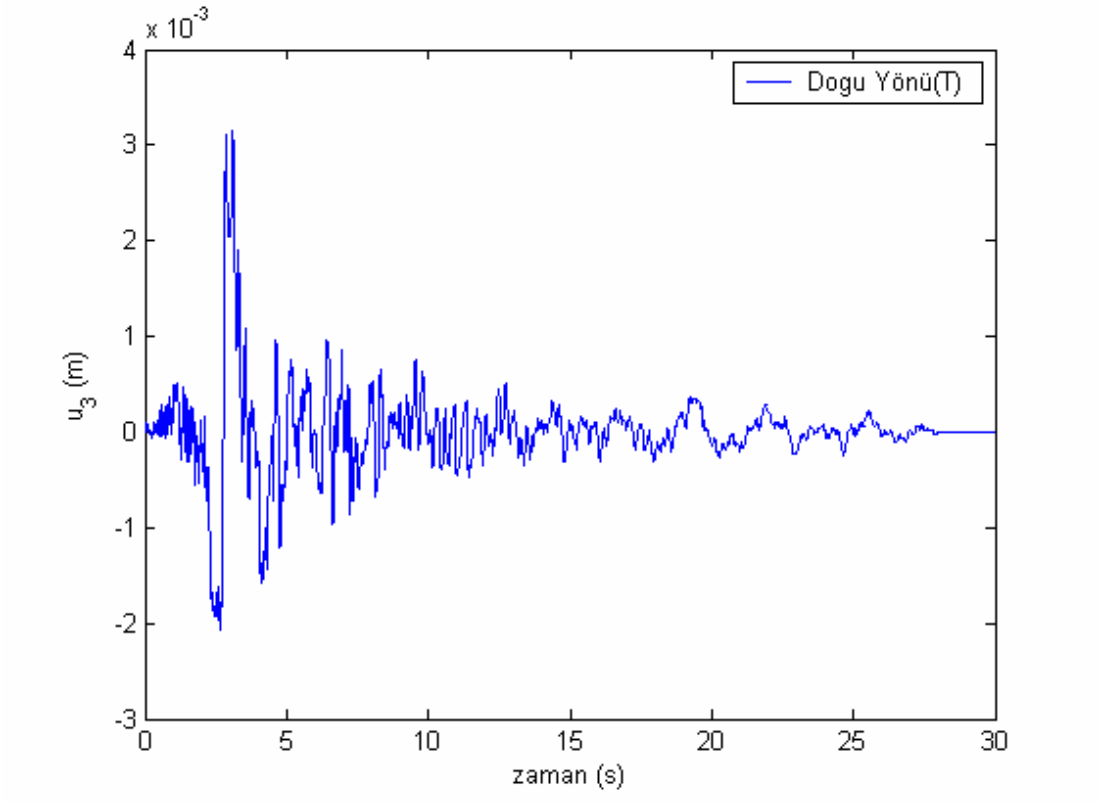

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)

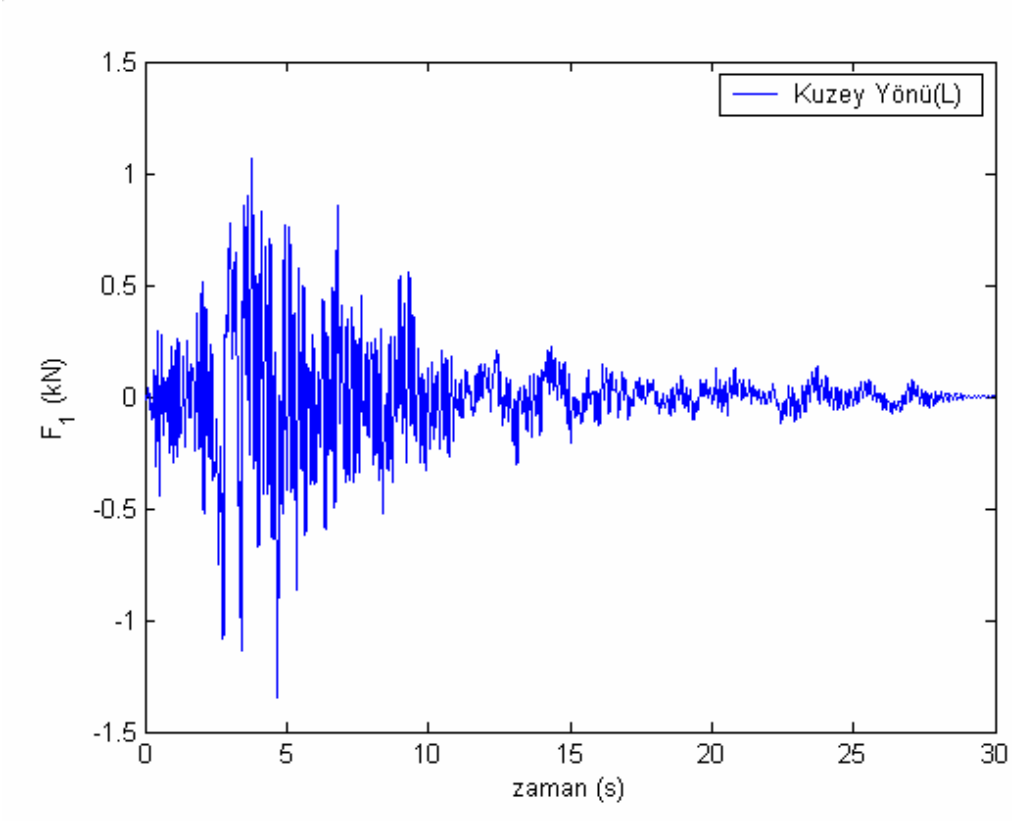

Kuzey Yönü(L)
F3 (kN)
zaman (s)
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
5
10
15
20
25
30

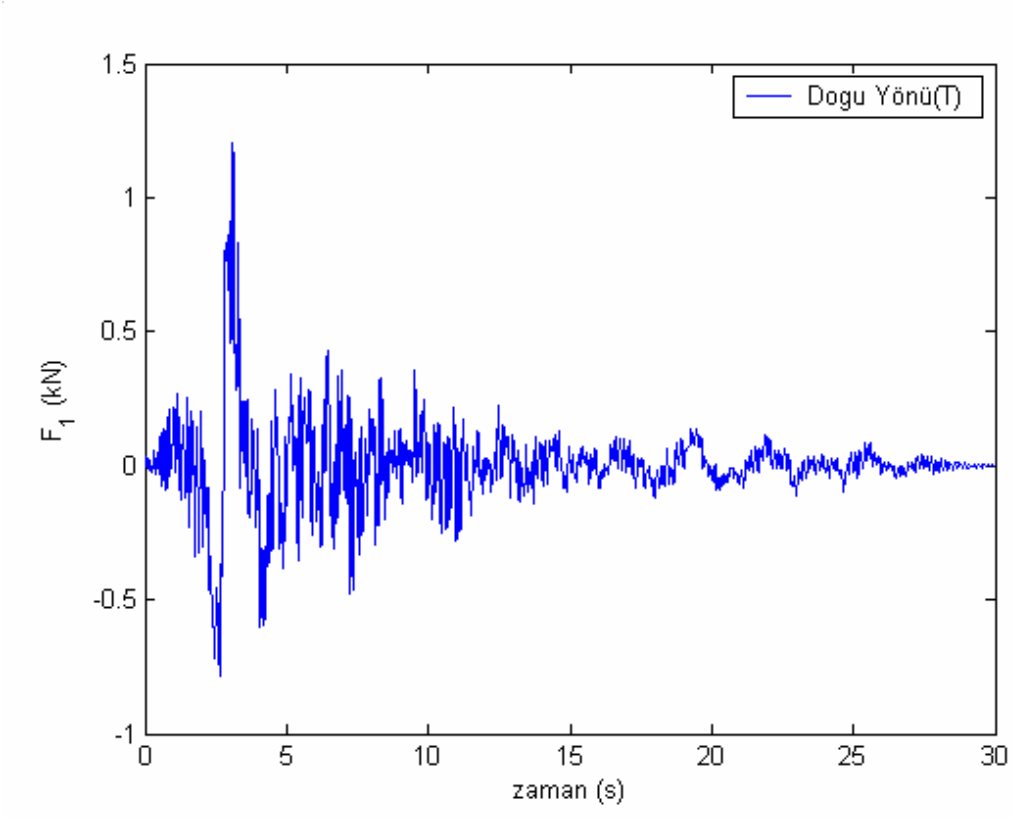

Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
0
5
10
15
20
25
30

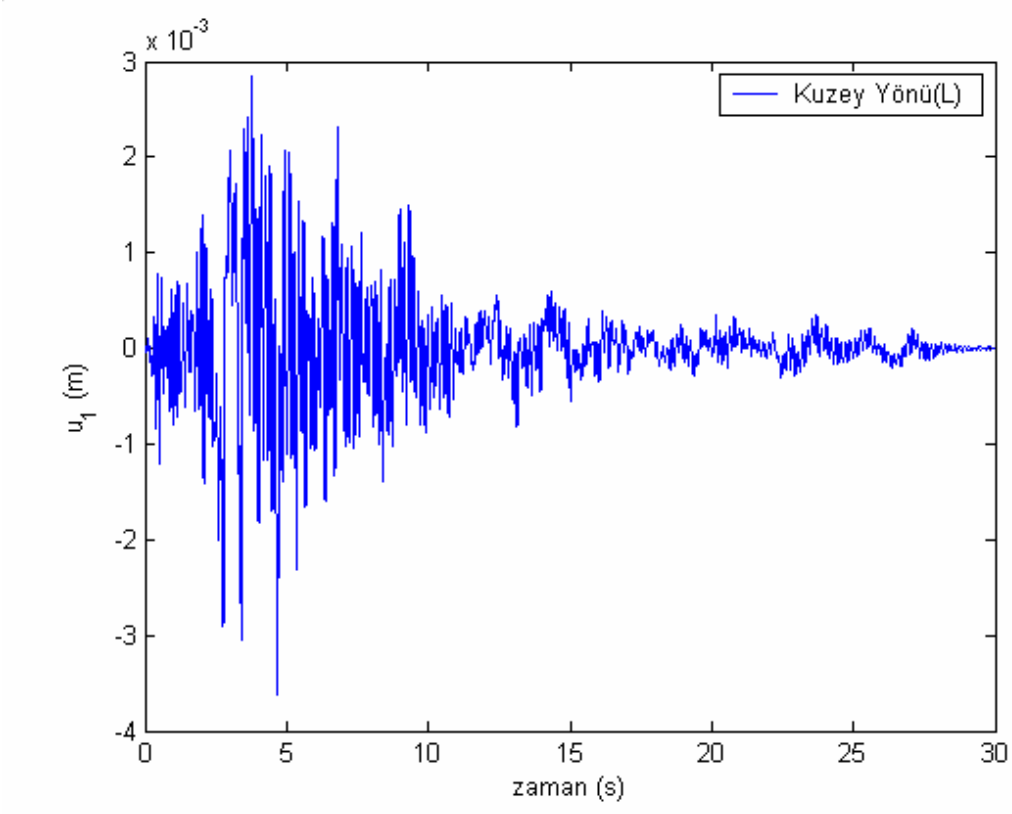

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)

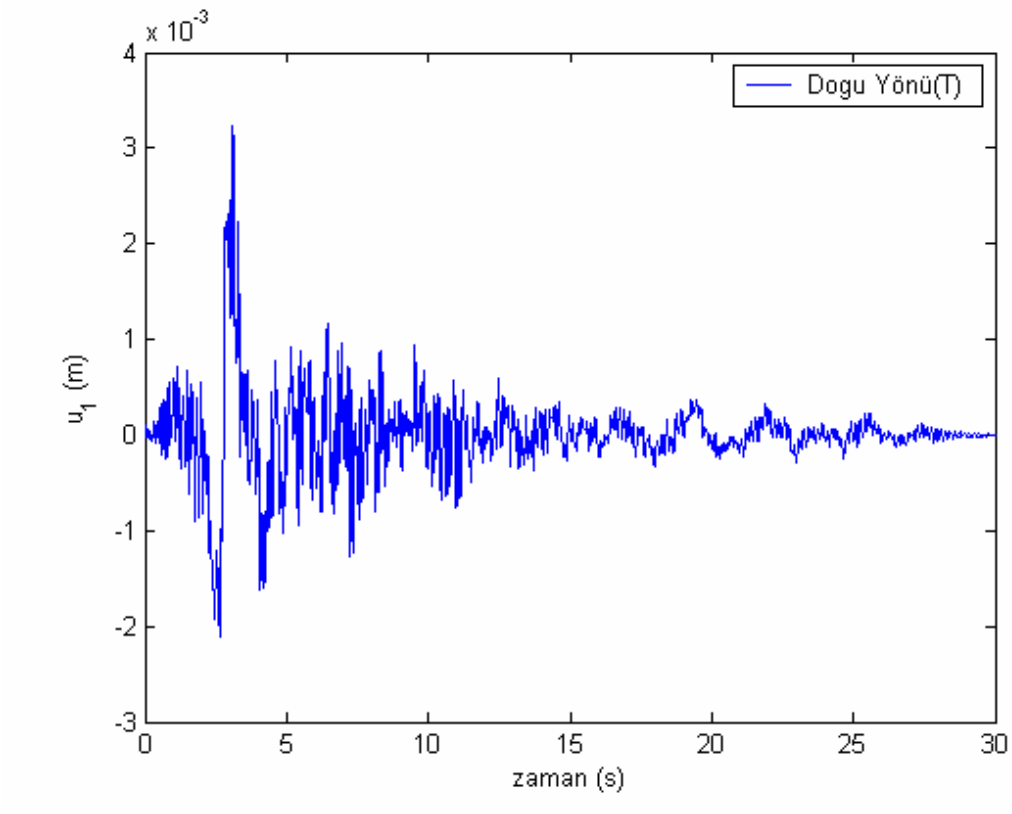

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

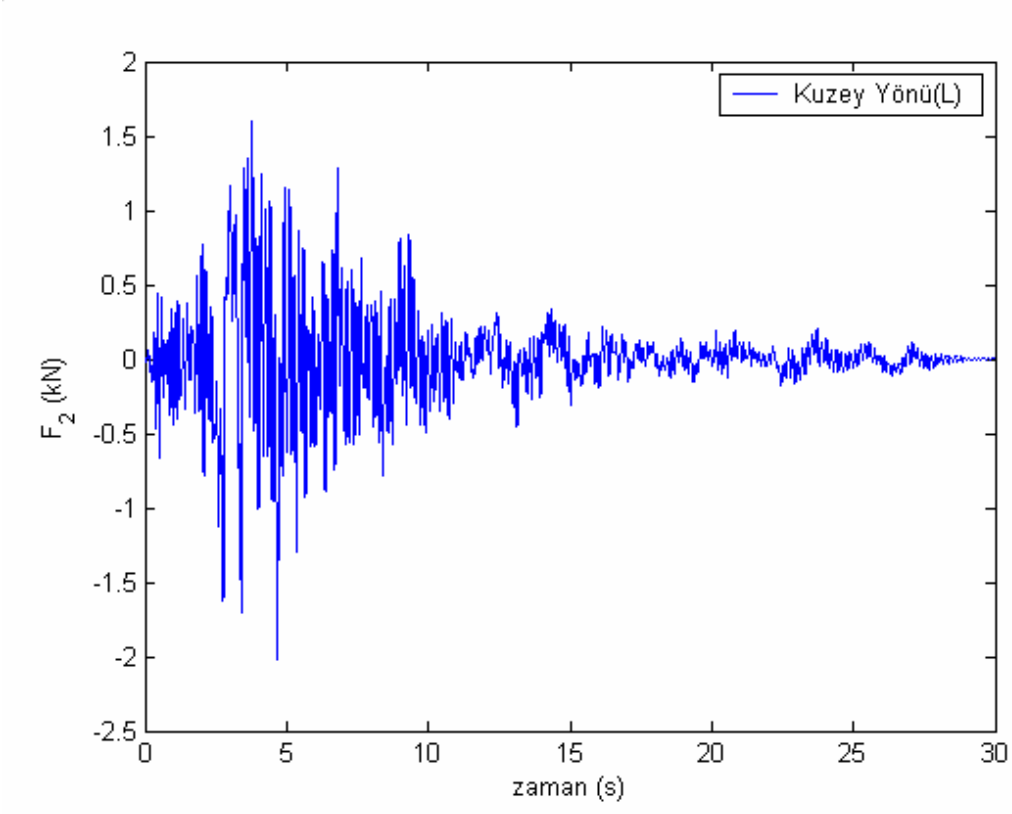
EK 4d: Üç Serbestlik Dereceli Sistem (Aşağıdan Uzanan Tendonlar ile Kontrol)

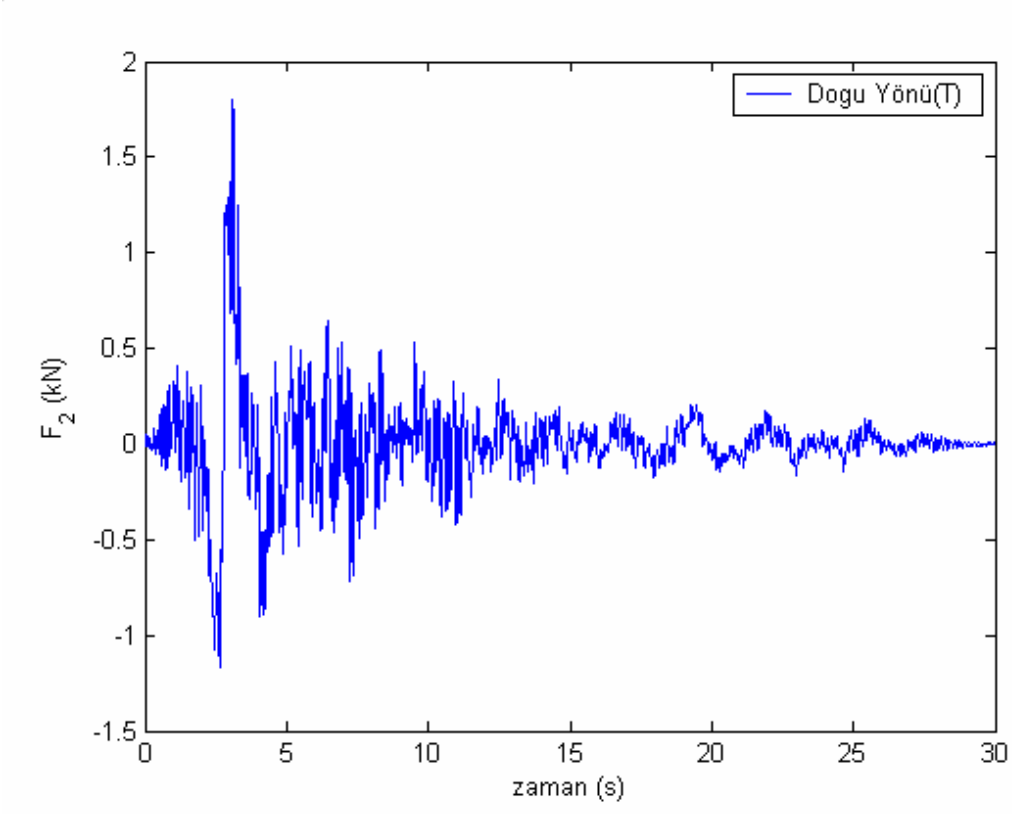


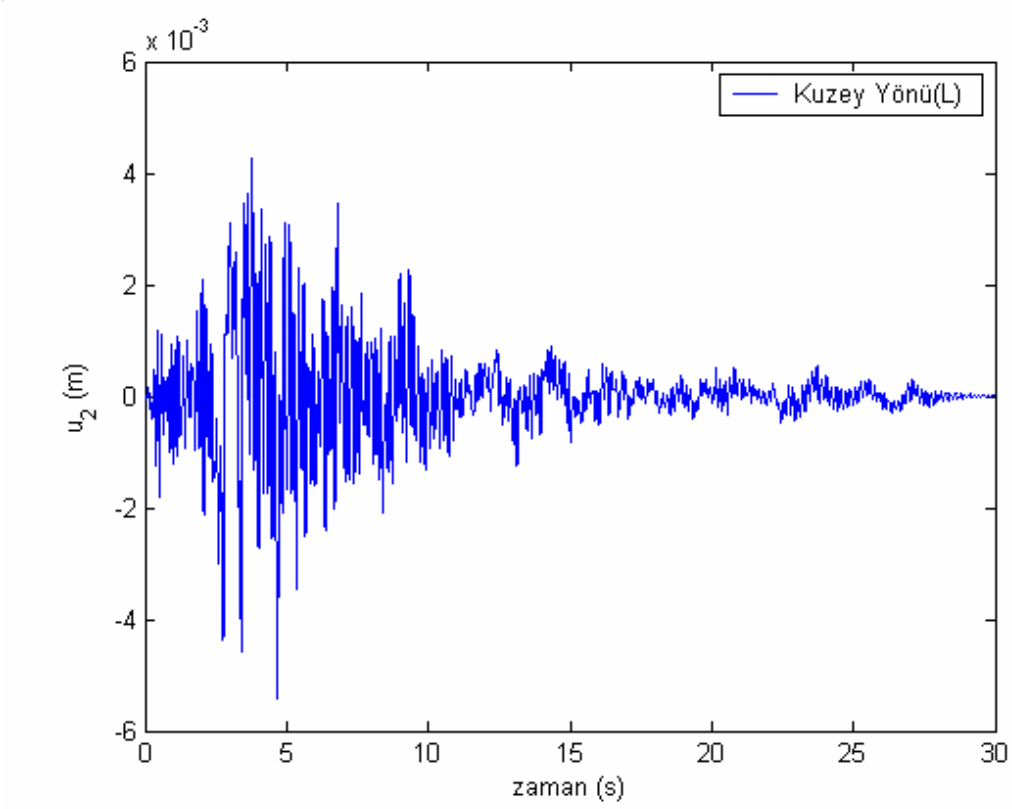


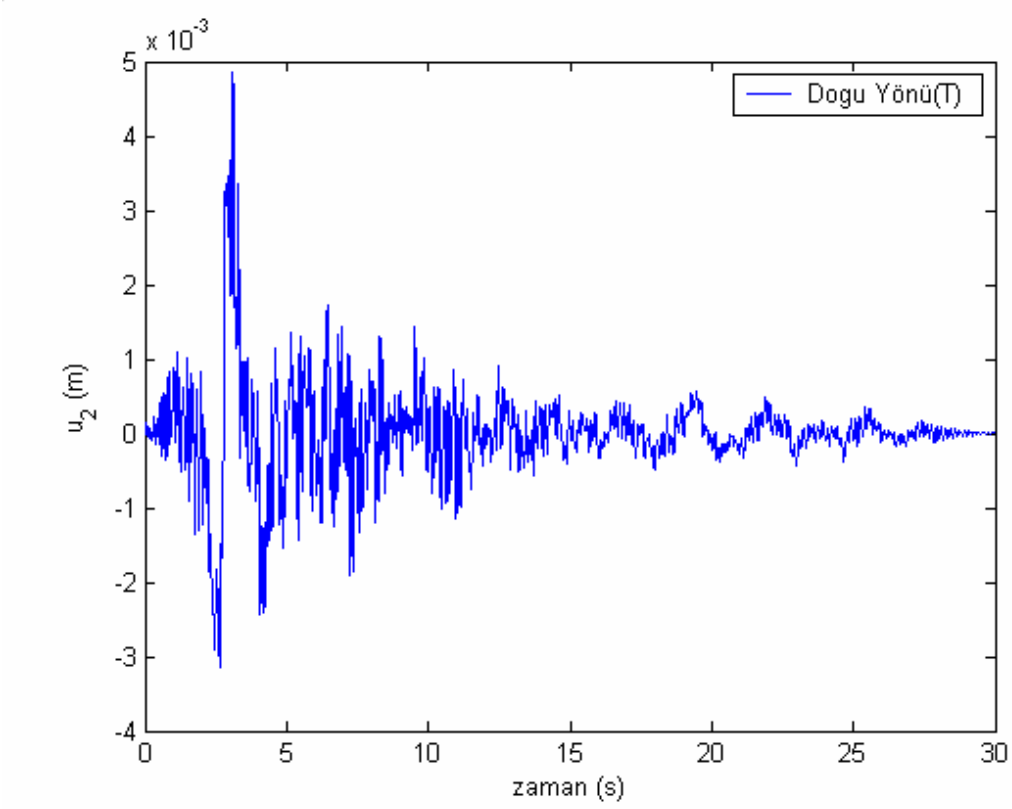

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u1 (m)
zaman (s)

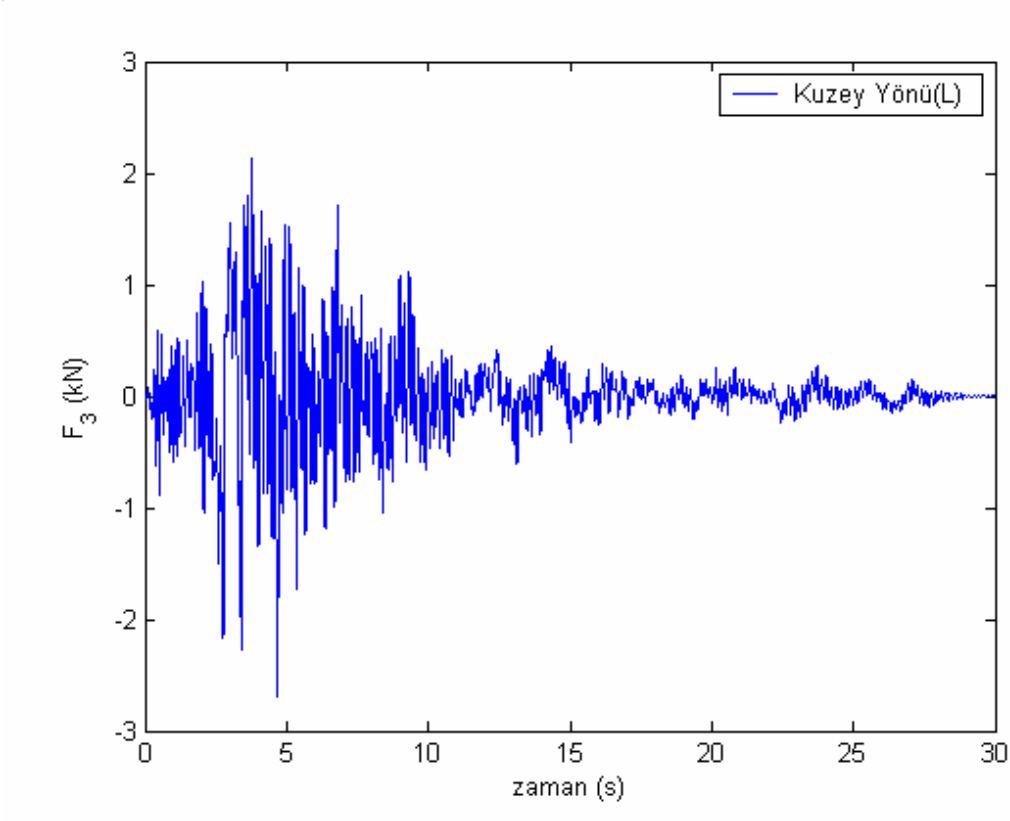

x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u1 (m)
zaman (s)

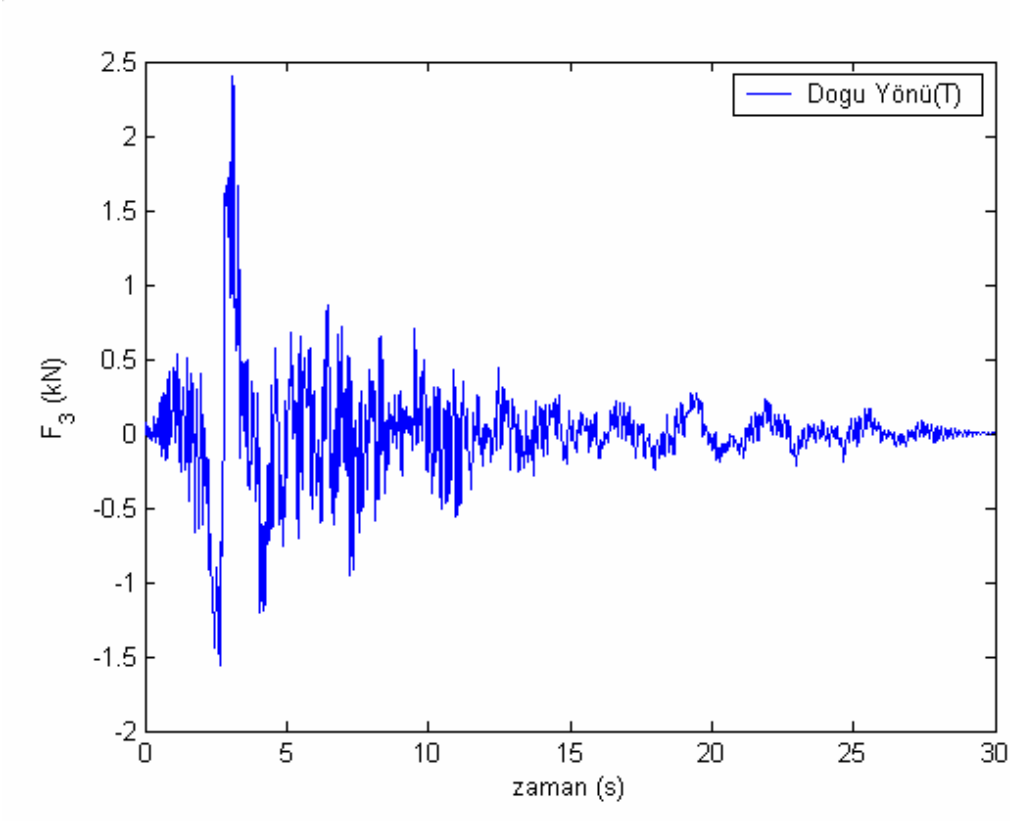

Kuzey Yönü(L)
F2 (kN)
zaman (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
0
5
10
15
20
25
30

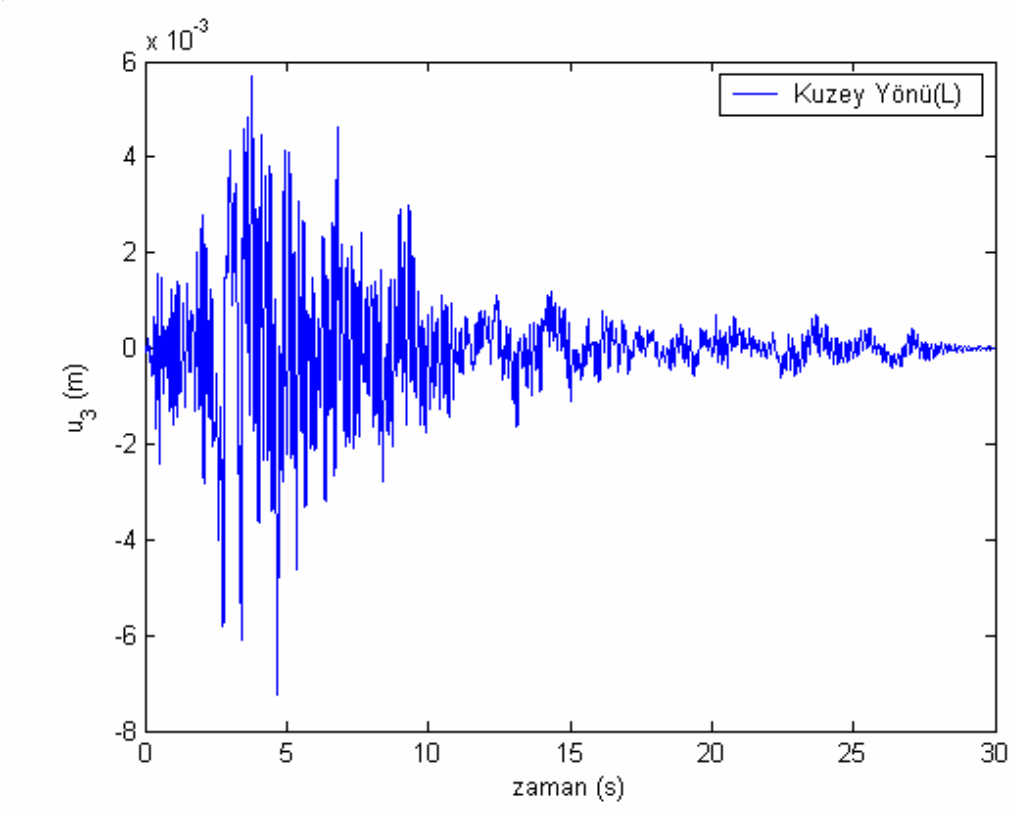

Dogu Yönü(T)
F2 (kN)
zaman (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
5
10
15
20
25
30

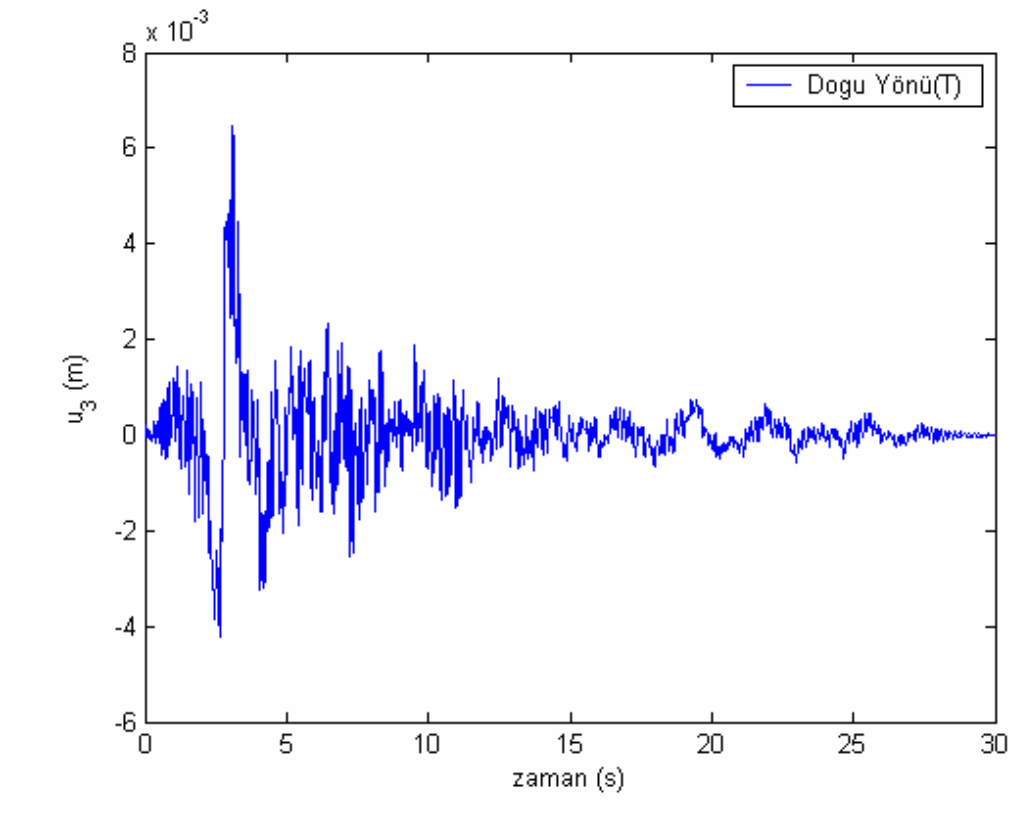

x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u2 (m)
zaman (s)


x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u2 (m)
zaman (s)


Kuzey Yönü(L)
F3 (kN)
zaman (s)
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
5
10
15
20
25
30


Dogu Yönü(T)
F3 (kN)
zaman (s)
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
0
5
10
15
20
25
30


x 10^-3
Kuzey Yönü(L)
u3 (m)
zaman (s)


x 10^-3
Dogu Yönü(T)
u3 (m)
zaman (s)

ÖZGEÇMİŞ

Sinan Melih Niğdeli, 29 Ekim 1982'de İstanbul'da doğmuştur. İlkokulu Yeşilköy Hamdullah Suphi Tanrıöver İlköğretim Okulu'nda, ortaokul ve liseyi ise İstek Vakfı Florya Bilge Kağan Lisesi'nde okumuştur. 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2001 yılında , bölümde elde ettiği yüksek not ortalaması ile yine aynı fakültenin Makine Mühendisliği Bölümünde çift anadal okuma hakkını kazanmıştır. 2004 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 2005 yılında ise İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programına girmiştir.

İnşaat Mühendisliği Bölümünde, Bitirme Projesi olarak betonarme yüksek yapılar üzerinde çalışmış ve kullanım amacı hastane olan 10 katlı betonarme yapıyı projelendirmiştir.

Makine Mühendisliği Bölümünde, Makine Projesi I dersi kapsamında santrifüj pompalar üzerinde çalışmıştır. 82 m^3/saat debi istenen 8 katlı bir bina için bir santrifüj pompa tasarlamıştır. Makine Projesi II dersi kapsamında bilgisayar destekli tasarım üzerinde çalışmıştır ve SolidWorks 2004 yazılımı kullanılmıştır. Bitirme Projesi olarak, yapıların titreşimi ve kontrolü üzerinde çalışmıştır. Aktif ve pasif kütle sönümleyicileri üzerinde çalışma yapmıştır. Bu sayede Matlab ve Mathcad programları öğrenilmiştir.

Adres: ALKENT 2000 Çamlıca Sitesi
Ortanca Sokak No 4
BÜYÜKÇEKMECE\İSTANBUL

Telefon : 0 212 889 18 85
0 533 323 50 75
E-mail : melihnig@yahoo.com