İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARIN OPTİMAL YARI-AKTİF KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Melih ÖZDİLİM

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI (DEPREM) MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARIN OPTİMAL YARI-AKTİF KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Melih ÖZDİLİM
(501011032)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Kasım 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Aralık 2005

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ünal ALDEMİR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Reha ARTAN (İ.T.Ü.)
Yr. Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ (Y.T.Ü.)

ARALIK 2005

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında ilgileri, yardımları, uyarıları ve hoşgörülerini esirgemeyerek tezimi tamamlamamda büyük katkıları olan değerli hocam Doç. Dr. Ünal ALDEMİR'e

Sabır ve desteklerini her zaman hissettiğim babam Zeki ÖZDİLİM, annem Seher ÖZDİLİM, Uğur ve Şerife ÖZDİLİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2005 Melih ÖZDİLİM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. YAPISAL KONTROL **3**
2.1. Yapısal Kontrol Sistemleri 4

3. AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ **6**

4. PASİF KONTROL SİSTEMLERİ **9**
4.1. Pasif Sönümleyiciler 11
4.1.1. Metalik akma sönümleyiciler 11
4.1.2. Sürtünmeli sönümleyiciler 12
4.1.3. Viskoelastik sönümleyiciler 14
4.1.4. Viskoz akışkan sönümleyiciler 15
4.1.5. Ayarlı kütle sönümleyiciler 16
4.1.6. Ayarlı akışkan sönümleyiciler 16
4.2. Taban İzolasayon Sistemi ve Türleri 16
4.2.1. Kauçuk esaslı sistemler 18
4.2.1.1. Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler 18
4.2.1.2. Kurşun çekirdekli izolatörler 19
4.2.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler 20
4.2.2. Kayma esaslı izolasyon sistemleri 21
4.2.2.1. Sürtünmeli sarkaç sistemler 21
4.2.2.2. Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemleri 22
4.2.2.3. Electicite de france sistemi 23
4.2.2.4. EERC birleşik sistemi 24
4.2.2.5. TASS sistemi 24

5. HİBRİD (KARMA) KONTROL SİSTEMLERİ **25**
5.1. Hibrid Kütle Sönümleyicileri 26
5.2. Hibrid Taban İzolasyonu 28

6. YARI-AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ **29**
6.1. Değişken Boşluklu Sönümleyiciler 30
6.2. Değişken Sürtünmeli Sönümleyiciler 31
6.3. Rijitlik Kontrollü Sönümleyiciler 31
6.4. Ayarlanabilir Kütle Sönümleyiciler 33
6.5. Kontroledilebilir Akışkan Sönümleyiciler 33
6.5.1. Elektroreolojik akışkanlar (ER sıvılar) 34
6.5.2. Magnetoreolojik akışkanlar (MR sıvılar) 36
6.5.2.1. MR akışkan fren sistemi 38
6.5.2.2. MR akışkan lineer sönümleyici 39
6.5.2.3. MR akışkan sönümleyicilerin ticari uygulamaları 41
6.5.2.4. Sismik kontrol için MR akışkan sönümleyici 41

7. OPTİMAL KONTROL **43**
7.1. Optimal Çözüm İçin Gerekli Şartlar 45
7.2. Optimal Çözüm İçin Yeterli Şartlar 50
7.3. Minimum Prensibi 53
7.4. Hamilton-Jacobi-Bellman Eşitliği 54
7.5. Sayısal Optimizasyon 57
7.5.1. Penaltı fonksiyonu 59
7.5.2. Dinamik programlama 59
7.5.3. Komşu ekstremler metodu 60
7.5.4. Kuasi-doğrusallaştırma metodu 60
7.5.5. Gradyan metodu 62

8. TEK SERBEST DERECELİ YAPI İÇİN YARI-AKTİF KONTROL UYGULAMALARI **64**
8.1. Çözüm İçin Kullanılan Kontrol Yöntemleri ve Analiz Sonuçları 65
8.1.1. Sürekli skyhook kontrolü 65
8.1.2. Açık-kapalı denge kontrolü 66
8.1.3. Bang-bang kontrol 68
8.1.4. Analiz için kullanılan deprem kayıtları 68
8.1.5. Analiz sonuçları 72
8.2. Diferansiyel Denklem Çözümü (Dördüncü Mertebe Runge-Kutta Yöntemi) 77
8.3. Analiz İçin Kullanılan MATLAB Programları 78
8.3.1. 'Sa_melih' dosyası 78
8.3.2. 'eq_ssmelih' dosyası 80
8.3.2. 'systemsim' dosyası 81
8.3.4. 'grafmelih' dosyası 81

9. SONUÇLAR **83**

KAYNAKLAR **84**

EKLER **87**

ÖZGEÇMİŞ **160**

KISALTMALAR

AMD	: Aktif Kütle SönümleyicisiTetrahidrofuran
TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyicileri
HMD	: Hibrid Kütle Sönümleyicileri
ER	: Elektroreolojik Akışkanlar
MR	: Magnetoreolojik Akışkanlar
ELCEW	: El Centro depremi Doğu-Batı Kaydı
ELCNS	: El Centro depremi Kuzey-Güney Kaydı
KOBEEW	: Kobe depremi Doğu-Batı Kaydı
KOBENS	: Kobe depremi Kuzey-Güney Kaydı
RİEW	: Northridge depremi Rinaldi Doğu-Batı Kaydı
RİNS	: Northridge depremi Rinaldi Kuzey-Güney Kaydı
SYEW	: Northridge depremi Sylmar kaydı Doğu-Batı Kaydı
SYNS	: Northridge depremi Sylmar kaydı Kuzey-Güney Kaydı

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 7.1.	Sayısal optimizasyon metodlarının karşılaştırılması ……	58
Tablo 8.1.	El-Centro Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları ……..	73
Tablo 8.2.	El-Centro Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları …….	73
Tablo 8.3.	Kobe Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları …….....	74
Tablo 8.4.	Kobe Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları …….	74
Tablo 8.5.	Rinaldi Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları ……...……	75
Tablo 8.6.	Rinaldi Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları …….	75
Tablo 8.7.	Sylmar Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları ……...…	76
Tablo 8.8.	Sylmar Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları …….	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Yapısal kontrol sistemleri..... 5
Şekil 3.1 : Aktif kontrol sistemi diyagramı..... 6
Şekil 3.2 : Kyobashi seiwa binası ……..... 7
Şekil 4.1 : Pasif kontrol sistemi diyagramı……..... 9
Şekil 4.2 : Pasif kontrol…… 11
Şekil 4.3 : X şekilli plak sönümleyici……..... 12
Şekil 4.4 : Pall sürtünme sönümleyici uygulaması..... 13
Şekil 4.5 : Pall sürtünme sönümleyici detayı.....13
Şekil 4.6 : Viskoelastik sönümleyici…….....15
Şekil 4.7 : Viskoz sıvı sönümleyicisi……..... 16
Şekil 4.8 : Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sistemi..... 19
Şekil 4.9 : Kurşun çekirdekli izolatör sistemi..... 20
Şekil 4.10 : Sürtünmeli sarkaç sistemin kesiti…… 22
Şekil 4.11 : Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi..... 23
Şekil 5.1 : V şekilli hibrid kütle sönümleyici..... 27
Şekil 5.2 : DUOX sistemi 28
Şekil 6.1 : Yarı-aktif kontrol sistemi diyagramı..... 29
Şekil 6.2 : Değişken boşluklu sönümleyici …….....31
Şekil 6.3 : Rijitlik kontrol sönümleyici detayı..... 32
Şekil 6.4 : Rijitlik kontrol sönümleyici deneme yapı konfigürasyonu..... 32
Şekil 6.5 : Ehrgott tarafından kullanılan ER sönümleyici..... 35
Şekil 6.6 : MR sönümleyici…….. 37
Şekil 6.7 : Çin Hunan'da uygulanan MR sönümleyici..... 37
Şekil 6.8 : MR fren sistemi..... 39
Şekil 6.9 : MR akışkan lineer sönümleyici..... 40
Şekil 6.10 : Sismik kontrol için MR sönümleyici.....41
Şekil 7.1 : Mayer amaç fonksiyonu..... 44
Şekil 7.2 : Lagrange amaç fonksiyonu..... 45
Şekil 7.3 : Bolza amaç fonksiyonu……..... 45
Şekil 7.4 : İki konveks Hamilton ve birinci ile ikinci türleri..... 51
Şekil 7.5 : Odak noktası ve minimum yol iin örnek…….. 52
Şekil 7.6 : Amaç ve değer fonksiyonlarının karşılaştırılması..... 55
Şekil 7.7 : Gradyan metot akış şeması..... 62
Şekil 8.1 : Tek serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yapı..... 64
Şekil 8.2 : El-Centro depremi kayıtları ivme-zaman grafikleri.....69
Şekil 8.3 : Kobe depremi kayıtları ivme-zaman grafikleri.....70
Şekil 8.4 : Rinaldi depremi kayıtları ivme-zaman grafikleri..... 71
Şekil 8.5 : Slymar depremi kayıtları ivme-zaman grafikleri..... 72

SEMBOL LİSTESİ

x(t) : durum vektörü
f : durum vektörünün bir fonksiyonu
u(t) : kontrol vektörü
p(t) : dış etkiler vektörü
t : zaman
L : Lagrangian
J : Amaç Fonksiyonu
$\mathbf{J_A}$: Yardımcı Amaç Fonksiyonu
λ(t) : eşdurum vektörü
H : Hamiltonian
F : $\partial f / \partial x$ Jacobian matris
G : $\partial f / \partial u$ Jacobian matris
$\mathbf{F_{sky}}$: skyhook sönümleme kuvveti
$\mathbf{C_{sky}}$: skyhook sönümleyicisinin sönüm katsayısı
$\mathbf{f_a}$: sürekli skyhook kontrolü
$\mathbf{f_b}$: açık-kapalı balans kontrolü
$\mathbf{f_c}$: bang-bang kontrolü
$\mathbf{f_o}$: optimal kontrol

DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARIN OPTİMAL YARI-AKTİF KONTROLÜ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında tek serbestlik dereceli bir yapıda deprem kuvvetinin neden olduğu titreşimlerin azaltılabilmesi için uygulanabilen kontrol sistemlerinden yarı-aktif kontrol sistemi incelenmiştir. Yapısal kontrol sistemleri günümüz yapı dizaynında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Deprem ve rüzgar yükleri gibi dış yüklerin istenmeyen etkilerini karşılamak için kullanılan bu sistemlerin inşaat mühendisliğinde kullanımı yakın bir geçmişte başlamıştır. Maliyet etkisi ve güvenirlilik, mekanik olarak basitlik ve düşük enerji hedefi doğrultusunda kontrol sistemleri sürekli olarak geliştirilmiştir. Çalışma prensibi, dışa bağımlılığı, herhangi bir dış kontrol merkezi tarafından karşı koyucu bir kuvvet temin edilip edilmemesi gibi kriterler yapısal kontrol sistemlerini 4 ayrı gruba ayırmıştır.

Dinamik yüklere maruz kalan bir sistemde titreşim kontrol yöntemleri olan pasif kontrol, aktif kontrol, karmaşık (hibrid) kontrol ve yarı-aktif kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Daha sonra 3 ayrı yarı-aktif kontrol sistemi kullanılarak tek serbest dereceli bir yapıya etkiyen 8 ayrı deprem için kontrol uygulaması yapılıp, çıkan sonuçların değerlendirilmesi için kontrolsüz çözüm ve optimal çözüm bulunmuştur. Bu sonuçlar bilgisayar ortamında MATLAB programı kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar bulunduktan sonra kontrolsüz çözüm, kontrol sistemleri ile çözüm ve optimal çözüm karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak beklenen yarı-aktif kontrol sistemleri ile elde edilen sonuçların kontrolsüz duruma göre daha iyi olması ve optimal çözüme yaklaşması durumu gerçekleşmiştir.

OPTİMAL SEMİ-ACTİVE CONTROL FOR THE STRUCTURES UNDER THE EARTHQUAKE EFFECTS

SUMMARY

In this study, semi-active control system (a part of structural control system) which can be used to minimize the vibration occured because of the earthquakes and winds, was analysed. Structural control systems are very important for the structural design. Using these system for the civil engineering is not far away and development of these systems continues to minimize the cost, to make more simplicity, more secure and need low energy. These systems are classified in 4 groups by their working principle, amount of control energy and need outer actuators.

First of all, structural control systems which are active control, passive control, hybrid control and semi-active control has been told for the vibrations control for the structures under dynamic loads.

After the information, 3 different kinds of semi-active control system will be used to solve the effect of 8 different earthquakes to a single degree of freedon system. To discuss the results of this problem, solutions of optimal control and without any control have been found. All this solutions have been solved by MATLAB computer programming. The Matlab files that were used for solving problem are given.

Finally all solutions compared with eachother. The expecting result is using semi-active control systems for the effects of lateral loads to the structures are better than the case of without any control and should approach to the optimal control results, have been achieved.

1. GİRİŞ

Pekçok yapı sisteminde gürültüye, istenmeyen yapısal hareketlere, sistem elemanlarındaki malzeme yorulmalarına, yine yapı elemanlarında kırılmalara neden olan titreşimler, aynı zamanda enerji kayıplarına ve verim düşüşlerine de yol açtığından arzu edilmezler.

Bu yüzyılın başlarına kadar kirişler, döküm bloklar halinde oldukça büyük kütlelere ve sönümlere sahipti. Genel olarak büyük sönümlere sahip bu sistemlerin dinamik etkilere karşı cevapları da istenen seviyelerde olmamaktaydı.

Malzeme özelliklerinin iyileştirilmesiyle mukavemeti daha yüksek olan hafif metaller üretildi ve buna bağlı olarak analiz ve tasarım teknikleri zaman içerisinde geliştirildi. Böylece yapısal sistemlerin kütleleri azaldı ve yapılar eskisine göre daha esnek bir duruma geldi. Günümüz teknolojisinde yaşanan oldukça hızlı gelişmelerin sonucunda, uzay araştırmaları başta olmak üzere bir çok alanda titreşim ciddi bir problem olarak ortaya çıktı. Bir sistemde neden olabileceği bir rezonans olayı sebebiyle sistemin ve çevresinin emniyetini tehdit eder durumu geldi. Belli bir süre boyunca rezonansta çalışan yapısal elemanlarda yorulma sebebiyle ortaya çıkan hasarlar önemli boyutlara ulaştı. Bu nedenle, yapısal sistemin tasarımı aşamasında titreşim analizinin hesaba katılması bir zorunluluk, bir gereksinim olarak ortaya çıktı.

Ancak, sistemin maruz kalabileceği dinamik zorlanmaların, tasarım aşamasında doğru olarak tahmin edilmesi mümkün değildir. Ayrıca uygun şekilde tasarlanmamış ya da çalışma fonksiyonlarında değişiklikler yapılmış mevcut sistemlerde de aynı problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, titreşim kontrolü için geliştirilen tekniklerin, uygulanacak çözümlerin tasarım aşamasında olduğu kadar mevcut sistemlerin kontrolü aşamasında da uygulanabilir özelliklerde olması gerekir.

Yapılarda tasarım tarihi üç ana bölümden oluşmaktadır. Klasik dönemde mühendislik yapılarında sadece statik yükler dikkate alınarak tasarım yapılırdı. Modern dönemde yapı tasarımına sönümü ve mod şekillerini dikkate alan dinamik yükler eklendi. Günümüzde mühendislik yapıları zemin yapı etkileşimini dikkate alan statik ve dinamik etkileri gözönünde bulunduran standartlara göre tasarlanmaktadır.

Postmodern dönemde ise dinamik etkileri dikkate alan standartlara yapıdaki tüm değişimleri rijitlik dayanım sönüm noktasında her an takip edebilecek geri dönüşüm kontrolü eklemektedir. Geri dönüşüm cihazları yardımıyla yapı hakkında elde edilebilecek en son ve en yeni bilgiler sayesinde yapının davranışı dışardan istenilen şekilde kontrol edilebilecektir. Postmodern dönemindeki tasarımın ana hedefi yapının kullanım süresini içerisindeki tüm araç ve ekipmanlarla birlikte en elverişsiz yer sarsıntısı ve rüzgar yüklerine rağmen uzatmaktır.

2. YAPISAL KONTROL

Yapısal kontrol sistemleri yapının depreme karşı verdiği tepkiyi ve bu durumla bağlantılı olarak meydana gelecek hasarı azaltırlar. Sistemin ana hedefi; içerisindeki tüm ekipmanlarla birlikte meydana gelebilecek en elverişsiz şartlardaki deprem ve rüzgar yüklerine rağmen yapının servis süresini uzatmaktır.

Yapısal kontrolün inşaat mühendisliği üzerindeki evrimi oldukça hızlı ve dikkat çekicidir. Yapısal kontrolun kökleri havacılık araştırmalarına ve esnek uzay yapılarına dayanır. Bu teknoloji daha sonra hızlı bir şekilde inşaat mühendisliğinin ilgi alanına girmiş ve özellikle yapıları deprem ve rüzgarın ekstrem yüklerinden korumak icin kullanılmıştır.

Deprem veya rüzgarın neden olduğu yapısal titreşimlerin kontrolü rijitliğin, kütlenin, sönümün, veya şeklin modifiye edilmesi ve pasif veya aktif kuvvetlerin sağlanması şeklinde yapılabilir. Günümüzde pek çok metod başarıyla uygulanmaktadır. Kabul edilen gerçek ise yapısal kontrol yeni yapıların dizaynında, mevcut yapıların deprem ve rüzgar etkilerine karşı iyileştirilmesinde oldukça önem taşımaktadır.

Son yıllarda rüzgar ve sismik yüklerin yapılara etkisini azaltmak icin pek çok araştırma ve geliştirme yaşandı. Geleneksel yaklaşım, sismik etkilerin verdiği zararları azaltmak icin yapı dizaynı sırasında yeterli kuvvetin gözönüne alınmasıydı. Yapısal kontrolun yeni konseptleri yani aktif ve pasif kontrol sayesinde yapıdaki inelastik deformasyonların oluşmasına engel olundu.

Gerçekte yapının kuvvetli ve güvenli olması icin istenenler çatışabilir. Yapıyı sadece kuvvetli dizayn etmek güvenliği kesinleştirmez. Mesela 1989 Lome-Prieta depreminde 47 katlı bir binanın alt katlarında 10%g lik bir ivme saptanırken üst katlarda 45%g lik bir ivme oluşmuştur [1]. Buda üst katlar için güçlü yer ivmesinden dolayı zararlı ivmeler oluşturur. Böyle istenmeyen durumlar icin yapının

direncini arttırırken aktif, pasif, yarı aktif veya hibrid kontrol sistemleri kullanılarak arzu edilen dinamik özellikler korunabilir.

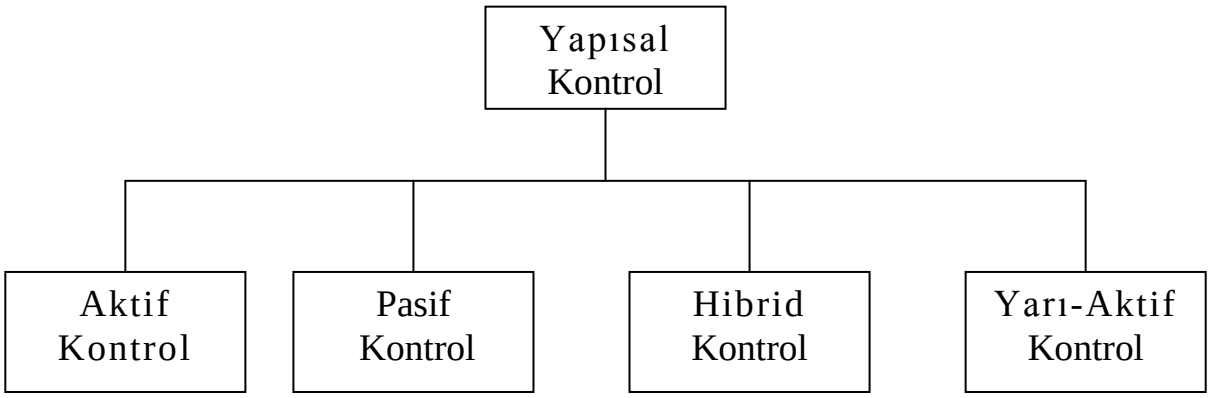
1972 yılında Yao tarafından yapılan çalışmalar [2], 1994 teki 1. Dünya Yapısal Kontrol Konferansında iyice olgunlaşmıştır [1]. Son yıllarda özellikle Japonyada iyice gelişmiş ve pek çok binada aktif kontrol sistemleri kullanılmıştır. Zamanla pasif taban izolatörleri sismik etkiye karşı alçak ve orta yükseklikteki yapılarda kabul edilir olmuştur.

Fakat maliyet etkisi ve güvenilir olma faktörü daha farklı arayışları beraberinde getirdi. Mekanik olarak basitlik, düşük enerji ihtiyacı ve kontrol edilebilir büyük kuvvet kapasitesi sayesinde aktif ve pasif sistemlerin uzlaşmasi denilebilecek, yarı aktif sistemler aktif ve hibrid (karısık) kontrol sistemlerine alternatif olarak ortaya çıktı. Yarı aktif kontrol sistemi pasif kontrol sisteminin güvenilirliğini sağlarken aktif kontrol sistemin uyumlu karakteristik parametrelerini almaktadır.

2.1 Yapısal Kontrol Sistemleri

Dinamik yükler yapısal sistemlerde şiddeti oldukça büyük geçici titreşimlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Büyük hasarlara neden olabilecek bu titreşimlerin etkisinin en aza indirilebilmesi için gerekli kontrol sistemlerinin, yapının maruz kalabileceği olası darbesel yükler de gözönüne alınarak tasarlanması gerekir. Bununla beraber, bu yükler genellikle gelişigüzel bir karakterdedir ve bu nedenle kontrol sistemi tasarım parametrelerinin belirlenmesinde zorluklarla karşılaşılır.

Dinamik yüklere maruz kalan bir sistemde titreşim kontrol yöntemleri çeşitli şekillerde uygulanabilir. Bu yöntemleri en genel halde pasif, aktif, karmaşık(hibrid) ve yarı-aktif titreşim kontrolleri olmak üzere toplam dört grupta incelemek yerinde olacaktır. Şekil 2.1 de yapısal kontrol sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yapısal Kontrol Sistemleri

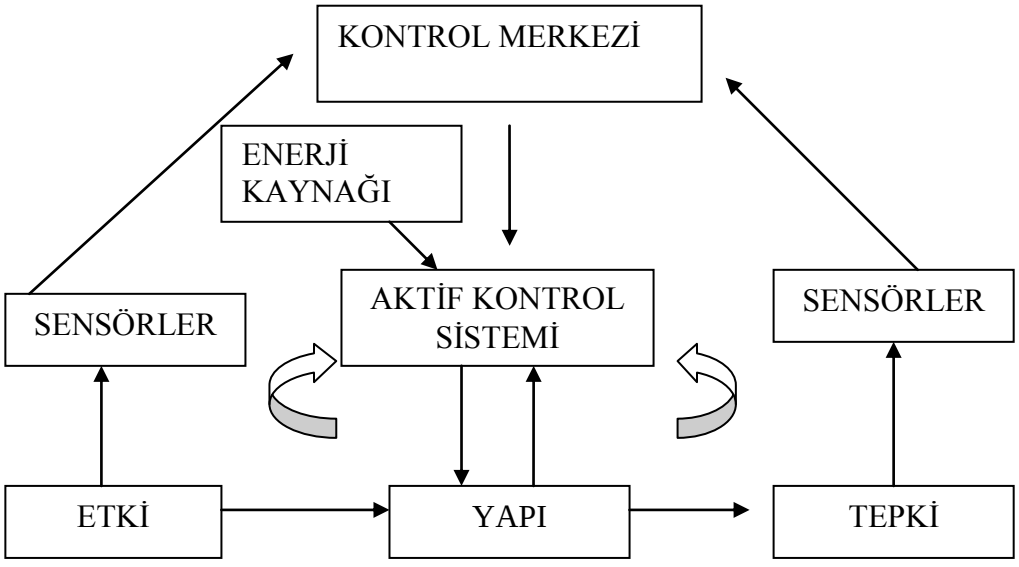
Yapısal kontrol sistemleri şekil 2.1 de görüldüğü gibi 4 ana başlıkta toplanmıştır. Bu ayrım kontrol sistemin çalışma prensibi, dışa bağımlılığı, herhangi bir dış kontrol merkezi tarafından karşı koyucu bir kuvvet temin edilip edilmemesi. Edilecek ise temini için gerekli olan enerji ve uygulama çeşitliliği gibi kriterlere göre yapılmaktadır.

Bunların yanısıra daha önceden de belirtildiği gibi maliyet etkisi ve güvenirlilik, mekanik olarak basitlik ve düşük enerji hedefi doğrultusunda kontrol sistemleri sürekli olarak geliştirilmiştir. İlerki bölümlerde bu sistemler ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3. AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

Kontrol sisteminin özellikleri gelen yüklemeye bağlı olarak değiştirilebiliyorsa Aktif Kontrol Sistemi, değiştirilemiyorsa Pasif Kontrol Sistemi olarak adlandırılır.

Aktif kontrol sistemi, kullandığı dış güç kaynağı ile sistemi harekete geçiren ve yapının tasarım aşamasına tayin edilen davranışı göstermesini sağlayan karşı koyucu kuvvetler üreten bir sistemdir. Şekil 3.1 de aktif kontrol sisteminin diyagramı gösterilmiştir.

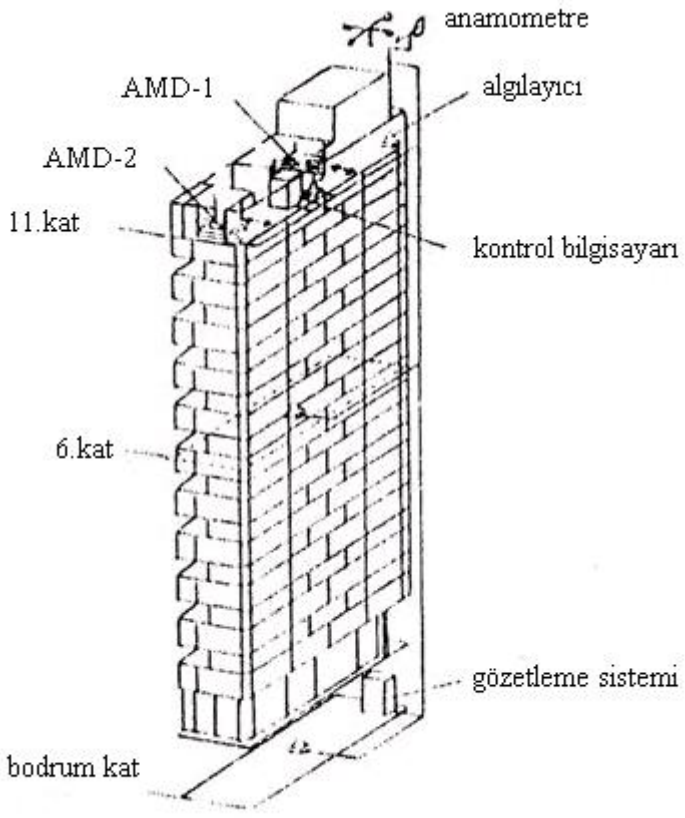


Şekil 3.1 : Aktif Kontrol Sistemi Diyagramı

Aktif kontrol sistemlerinde yapının iç veya dış sarsıntılara verdiği tepki kontrol edilmektedir. Bu sarsıntılar makine titreşimleri, makine gürültüsü, trafik gürültüsü, rüzgar etkisi ve depremler olabilir. Kontrolün mertebesi ve konfor seviyesi yapıda bulunanlar tarafından rahatlıkla belirlenebilir.

Aktif kontrolün en büyük avantajlarından biri tek bir aktif cihazla birçok titreşim moduna müdahale edilebilecek tasarımlar yapılabilmesidir.

Tüm kaynaklar kullanılarak yapılan ilk tam ölçekli aktif kontrol 1989 yılında Japonyada kullanılmıştır [1,3-4]. Şekil: 3.1 de Kyobashi Seiwa binası gösterilmiştir. Bina 2 adet AMD bulundurmaktadır. 1. AMD 4 ton ağırlığa sahiptir ve büyük şiddetteki titreşimleri kontrol etmek amacıyla en üst katta yapının merkezine yerleştirilmiştir, l ton ağırlığındaki 2. AMD binanın narin şeklinden dolayı meydana gelebilecek burulma titreşimlerim azaltmak için kullanılmaktadır. Sistemin amacı güçlü rüzgar ve depremlerde titreşimi azaltarak konforu artırmaktır



Şekil 3.2: Kyobashi Seiwa binası

Aktif sistemin rolü kuvvetli rüzgarlar ve depremin neden olduğu titreşimleri azaltmak ve yapıda yaşayanların konfor ve güvenliğini sağlamaktır.

Aktif kontrol sistemlerinde yapıdan bağımsız bir güç kaynağı tarafından yapıya bir kuvvet uygulanır. Mesela elektrohidrolik malzemeler ufak yapılarda onlarca kilovat enerjiye ihtiyaç duyarken bu rakam yüksek yapılarda bir kaç megavatla ifade edilir

[5]. Yapılan bazı deneyler sonucunda aktif kontrolün ilk etkisi ufak rijitlik iyileştirmesi ile sönüm seviyesini arttırmak olmuştur [6-7]. Bu kuvvet yapıya enerji verici veya enerji sönümleyici şekilde olabilir. Aktif kontrol sistemlerinde çeşitli sensör sistemleri ile (mekaniksel, elektriksel vb.) yapının verdiği tepki fonksiyonu güç kaynağına aktarılır.

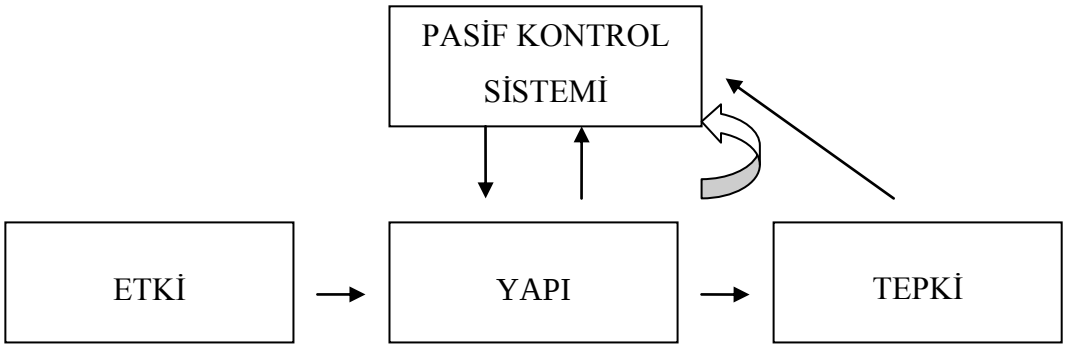
Aktif kontrol sistemlerinde aktif kütle sönümleyiciler, hibrid kütle sönümleyiciler hidrolik veya elektomagnetik mekanizmalarla çalışan sistemler kullanılır. Aktif kontrolün en belirgin özelliği kontrolün dışardan kontrol edilen bir güç kaynağı ile oluşturulan bir kuvvet sayesinde sağlanmasıdır. Bu durum büyük bir deprem esnasında kaynağının kesilmesi ve sistemin çalışmaması riskini ortaya çıkarmaktadır. Halbuki arzu edilen sistemin deprem esnasında çalışmasıdır.

Aktif kontrolün daha büyük depremlere karşı kullanılması birçok sebepten dolayı tartışma konusu olmuştur. Büyük ölçekli depremlerde, depreme karşı koyacak kuvvet oldukça büyük olacağından elde etmesi zordur. Bu zorluk hem maliyet açısından, hem böyle bir kuvveti oluşturacak enerji açısından, hemde oluşturulsa bile bu kuvvetin kontrolü açısından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan bu kuvvet elde edilse dahi yapının taşıyıcı sistemi ve stabilitesi üzerindeki etkisi depremin etki ettiği kuvvet kadar zorlayıcı olacaktır. Bu yüzden aktif kontrol sistemi ile bir yapının ömrü boyunca denetlenmesi pek sağlıklı olmayacaktır.

4. PASİF KONTROL SİSTEMLERİ

Bütün yapılar yapıya aktarılan enerjiyi plastik deformasyonlar, çatlaklar, sürtünme gibi etkiler sayesinde sönümler. Büyük enerji sönümleme kapasitesi ve küçük genlikli titreşimler istenen en iyi durumdur. Bazı yapılar kritik sönümün %1'i mertebesinde sönüm oranına sahiptir ve bunun sonucu olarak büyük depremlerde büyük genlikleri olan titreşimler meydana getirirler. Enerji sönümleme kapasitesini artırmak yapıdaki titreşim genliklerini küçültmekle mümkün olur. Sönüm oranını artırmanın birçok yolu mevcuttur.

Pasif sönümleyicilerin (taban izolasyon sistemi, viskoelastik damperler, ayarlı kütle damperleri vs..) sisteme etkiyen yüklerin etkisini azalttığı mühendis çevrelerince kabul edilmiştir. Fakat bu sistemler yapısal değişikliklere uyum sağlayamadıkları gibi kullanılan model ve yük koşullarınada adapte olamazlar.
Şekil 4.1 de pasif kontrol sisteminin diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Pasif Kontrol Sistemi Diyagramı

Pasif sistemlerde önemli miktarda sismik enerji sönümlenebildiği gibi yapının rijitliği ve dayanımı arttırılabilir [8]. Bu sistemler doğal etkenlerin neden olduğu hasarların azaltılmasında kullanılabildiği gibi yetersiz ve eski yapıların

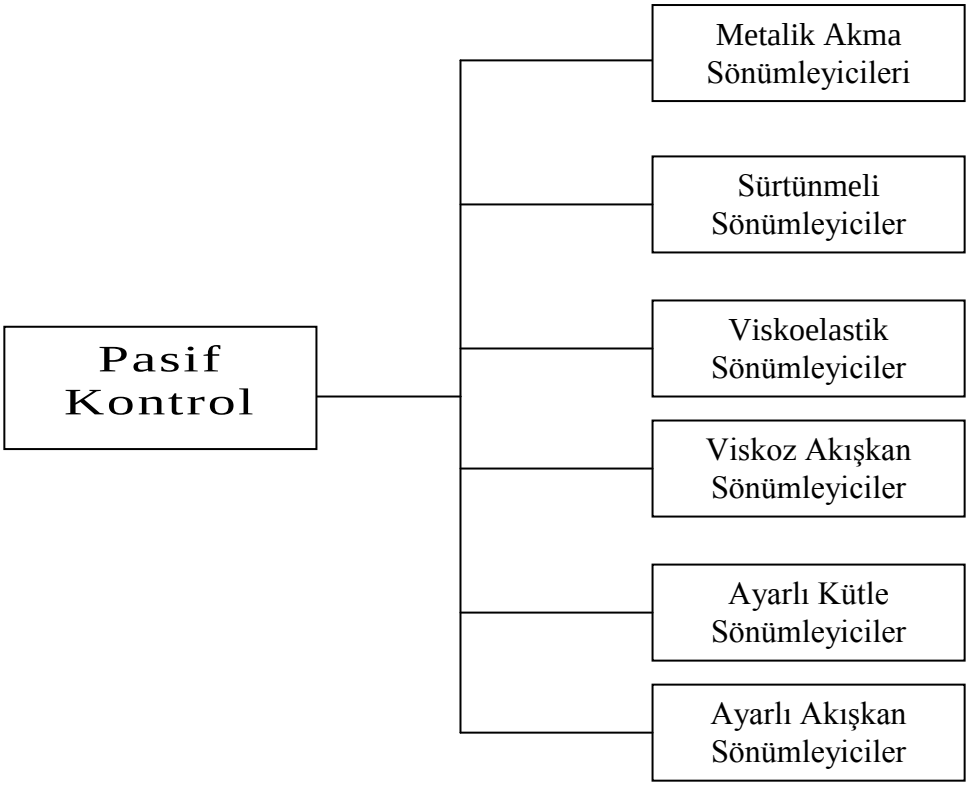
rehabilitasyonu için de uygulanabilir. Pasif sistemlerde esnek bir izolasyon sistemi temel ve yapı arasına sistemin doğal periyodunu yükseltmek için yerleştirilir. Yapıdaki esnekliğin artmasıyla yerdeğiştirme artarken ivme azaltılmış olur [9].

Pasif kontrol sistemlerinde yapıdan bağımsız bir güç kaynağına ihtiyaç yoktur. Pasif kontrol cihazları sayesinde yapı sisteminin davranışı kontrol edilebilir. Pasif kontrol uygulanan yapıda pasif kontrol cihazları ile enerji arttırımı yapılamaz.

Pasif Kontrol yapının başlangıç tasarımında dikkate alınan ve viskoelastik malzemelerden oluşan kütle sönümleyicilerin yapıya eklenmesi ile oluşturulur. Yapı tasarımında pasif kontrol alt katlara gittikçe azalan rijitlik ve kütle değişimi ile veya taban izolasyonu tekniği ile alt katın yataydaki rijitliğinin üst katlara göre daha çok olarak tasarlanması ve bu sayade üst katlara aktarılmış olan kuvvetlerin azaltılması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinin avantajlarını 4 ayrı başlıkta sayabiliriz; pahalı değildir, dışardan bir enerjiye ihtiyac duymaz, Cihazlar stabilitelerini sürekli olarak korur ve sistem büyük depremlerde iyi sonuçlar verir.

Pasif enerji sönümleyici sistemler birçok çeşit malzeme kullanılarak, sönüm rijitlik ve dayanım iyileştirmesine ihtiyaç duyulan birçok yapıda kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılardaki istenmeyen enerjinin sönümlenmesi teknolojisinin gelişmesi icin pek cok araştırmalar yapılmış ve birçok yapıda uygulaması gerçekleştirilmiştir [9]. Genel olarak yapılan uygulamalarda bu cihazlar yapının enerji sönümleme kapasitesini artıracak özelliklerde seçilmiştir. Bunun sağlanmasıda kinetik enerjinin ısıya veya titreşim modları üzerinde transfer edilmesi ile olmuştur. İlk metod sürtünmeli kayma, metallerin akması, metalde faz transformasyonu, viskoelastik malzeme veya sıvıların deformasyonu ile sağlanır. İkinci metod ise titreşimi sönümleyen bir osilator ile sağlanır.

Pasif enerji sönümleyiciler şekil 4.2. de görüldüğü gibi şu başlıklar altında toplanabilir.



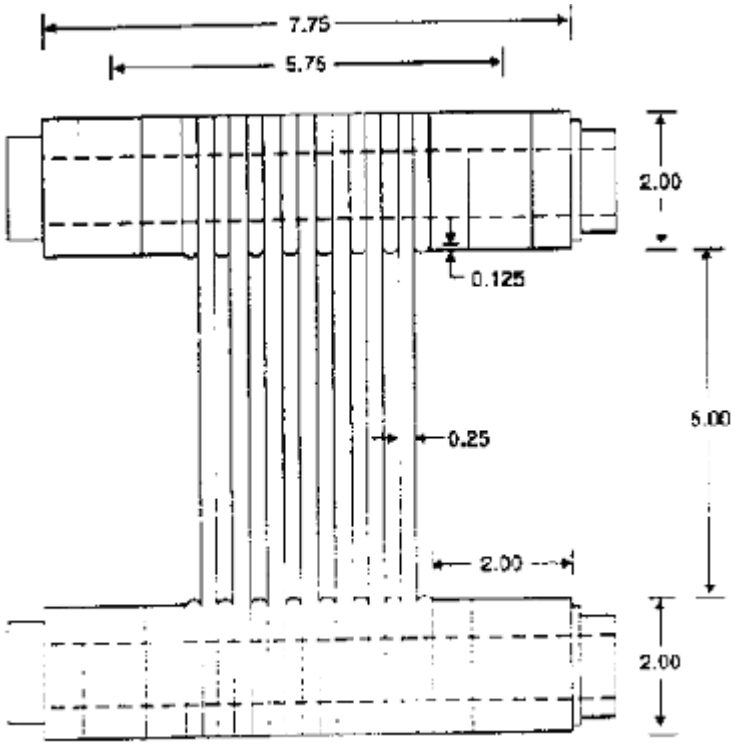
Şekil 4.2. Pasif Kontrol

4.1 Pasif Sönümleyiciler

4.1.1. Metalik akma sönümleyicileri

Metallerin inelastik deformasyonu sayesinde depremden kaynaklanan enerjinin sönümlenmesi etkili olabilen bir mekanizmadır. Metalik enerji sönümleyicileri yapıya uygulayıp sismik enerjinin absorbe edilmesi için kullanılma fikri Kelly (1972) ve Skinner (1975) [1] tarafından düşünülmüştür. Kullanılan aletlerin büyük bir bölümü üçgen veya kum saati şeklinde çelik levhalardı. Bu sayede akma düzenli olmaktaydı.

Şekil 4.3. de X şeklinde plak sönümleyici (ADAS –sönümleme ve rijitlik eklenmiş alet) görülmektedir.



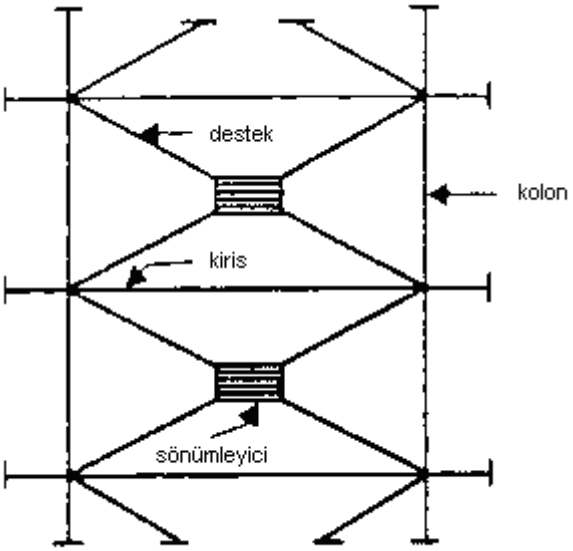
Şekil 4.3. : X şekilli plak sönümleyici

Metalik akma sönümleyicileri ile ilgili ilk uygulam Yeni Zelanda da [1] yapılmıştır. ADAS aletleri İtalya Naples te 29 katlı çelik bir binda kullanılmıştır. Mexico City de betonarme binaların güçlendirilmesinde de uygulanmıştır. Japonya da pek çok binada kullanılmıştır.

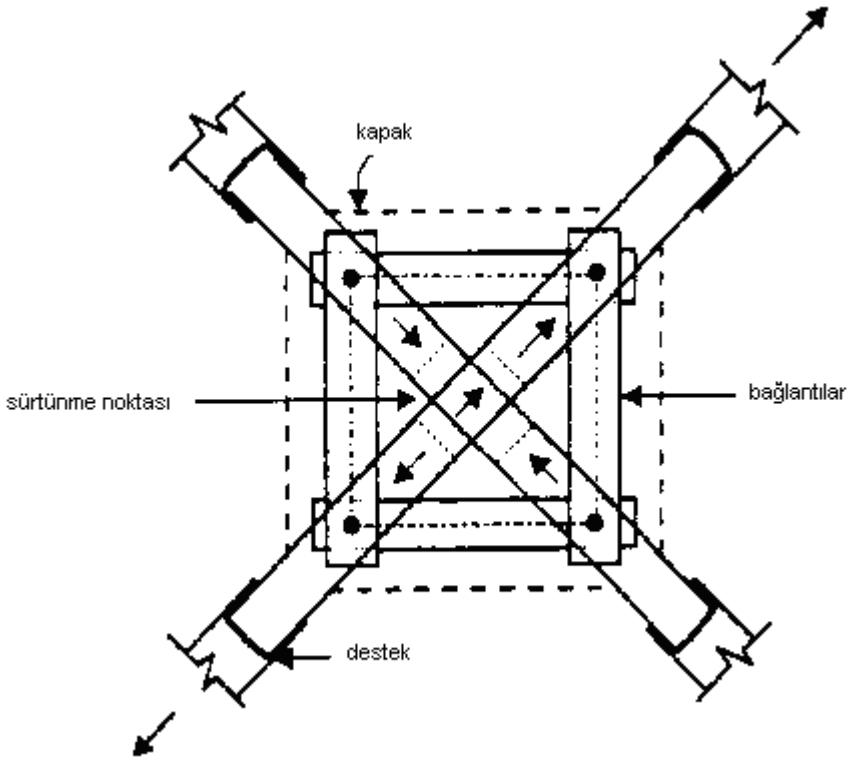
4.1.2. Sürtünmeli sönümleyiciler

Sürtünme enerji sönümlenmesinde etkili bir yoldur ve yıllardır otomobil frenlerinde kinetik enerjinin sönümlenmesinde kullanılmaktadır. Yapısal mühendislikte bu aygıtların pek çok çeşidi geliştirilmiştir.

Pall aleti sürtünme prensibini kullanan bu çeşitte bir sönümleme sistemidir. Şekil 4.4. ve şekil 4.5 de görüldüğü gibi yapıya uygulanır [1]. Sönümleyiciler, rüzgar ve deprem esnasında düşmeyecek şekilde dizayn edilir. Fakat bazı hallerde (ağır yükleme koşullarında) yapı elemanlarında akma oluştuğunda sönümleyici zarar görebilir, yerinden kayabilir.



Şekil 4.4 : Pall Sürtünme Sönümleyici Uygulaması



Şekil 4.5.: Pall Sürtünme Sönümleyici Detayı

Son yıllarda yapılara etkileyecek sismik etkilerden korunmak için sürtünmeli sönümleyicilerden faydalanılmıştır. Pall aleti pek çok ueni ve mevcut yapıda özellikle Kanada ve Japonyada kullanılmıştır.

Bu çeşit sönümleyiciler yapıda yerdeğiştirmeyi azaltırken, ivmeyi aynı seviyede tutmaktadır [1].

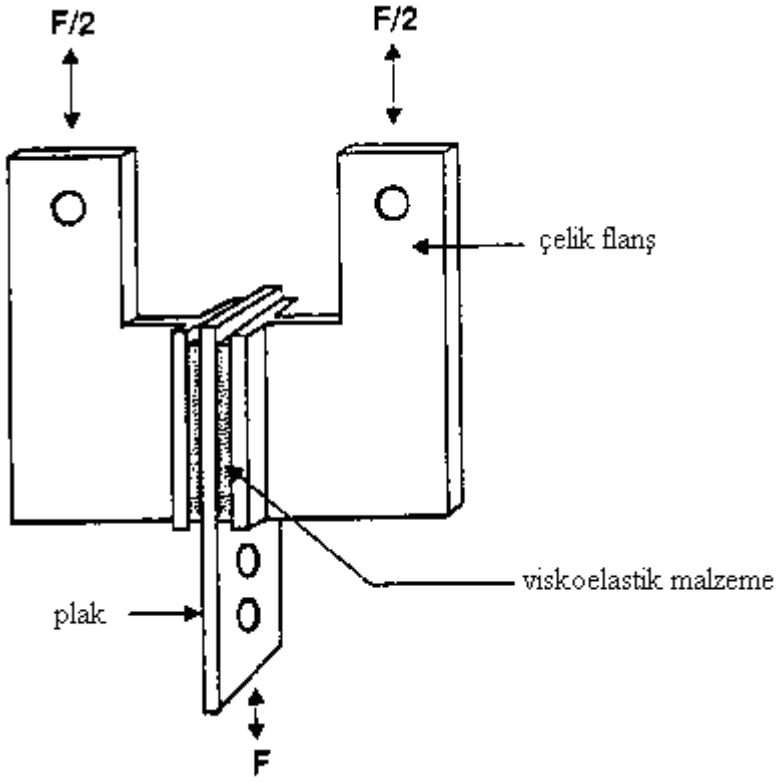
4.1.3. Viskoelastik sönümleyiciler

Sismik uygulamalar icin metalik ve sürtünmeli sönümleyiciler ilk seçenek olarak tercih edilmektedir. Diğer taraftan ise viskoelastik malzemeler her türlü deformasyon seviyesinde enerji sönümü icin kullanılmaktadır. Viskoelastik Sönümleyiciler rüzgar ve sismik etkilere karşı uygulanmaktadır.

Viskoelastik malzemeler 1950 lerde uçaklar için kullanılmaya başlandı. İnşaat Mühendisliği için kullanılmaya başlanması 1969 yılına rastlar. Dünya Ticaret Merkezi binalarında rüzgarın neden olduğu titreşimleri azaltmak için yaklaşık 10.000 viskoelastik sönümleyici kullanıldı [1].

Güçlendirilmiş yapılarda kullanıldığında viskoelastik sönümleyiciler güçlendirilmiş elemanlar çatlamaya başladığında enerjiyi yutarak hasarın artmasını engeller.

Tipik bir viskoelastik sönümleyici Şekil 4.6 de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Viskoelastik sönümleyici

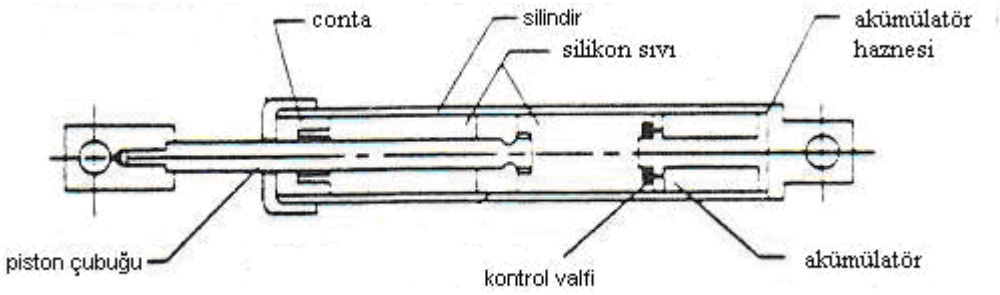
4.1.4 Viskoz akışkan sönümleyiciler

Sıvılarda sönümlemede kullanılan başka bir metotdur. Bu çeşit sönümleyiciler daha çok uzay ve askeri alanlarda uygulanmaktadır. Zamanla yapısal kontrol için de kullanılmaya başlanmıştır [10].

Viskoz akışkan sönümleyiciler silikon veya yağ dolu bir haznesi ve haznenin içerisinde hareket eden bir piston içerir. Eğer sıvı tamamen viskoz ise sönümleyicinin dış kuvveti pistonun hareketi ile doğrudan orantılıdır.

1994 yılında San Berdardino Sağlık Merkezi binalarında toplam 233 adet kullanılmıştı ve her biri yaklaşık 320.000 lbs output kuvvete sahipti.

Şekil 4.7 de bu çeşit sönümleyici görülmektedir.



Şekil 4.7 :Viskoz sıvı sönümleyicisi

4.1.5 Ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD)

Bu tip sönümleyicilerin tarihi 1940 lara dayanmaktadır [1]. İkinci bir kütle ana yapının sönümünü arttıracak olan isteğe bağlı frekans sağlar. Rüzgardan kaynaklanan titreşimin azaltılmasındaki başarısı kanıtlanmıştır.

Yapılan deneyle ve nümerik çözümler göstermiştir ki ayarlı kütle sönümleyicileri farklı depremlerin aynı yapıya ve aynı depremlerin farklı yapılara değişik etkiler vermesine neden olmuştur [1].

4.1.6 Ayarlı akışkan sönümleyiciler.

Ayarlı akışkan sönümleyiciler enerjiyi sıvının viskoz hareketleri ile sağlar. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar Ayarlı akışkan sönümleyicilerin rüzgarın neden olduğu titreşimin kontrolünde pratik olduğunu göstermiştir [1].

4.2 Taban İzolasyon Sistemi ve Türleri

Taban izolasyon sistemi; yapı ile temeli arasına eklenen düşük yatay rijitliği olan yapı elemanları vasıtasıyla yapıyı, yer hareketinin yatay bileşenlerinden ayırmaktatır. Taban izolasyonu uygulaması yapılmış yapının birinci dinamik modu sırasında yer değiştirme sadece izolasyon sisteminde olur. Üstyapı neredeyse tamamen rijit davranış göstermektedir. Yapıda yer değiştirme üreten üst modlar, birinci moda dolayısıyla yer hareketine ortogonaldirler. Bu üst modların harekete

katılımı düşüktür. Böylelikle yüksek frekanslardaki yer hareketinin büyük enerjisi yapıya aktarılmamaktadır.

Taban izolasyonu, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmaktan daha ziyade yapının depreme karşı tepkisini azaltma esasına dayanan bir tür depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımıdır.

Taban izolasyonu uygulaması depreme karşı dayanıklılık sağlamak üzere yapılan sistemlerdir. Daha önceden de belirtildiği gibi yeni elemanlar yardımıyla dayanım sağlanmaya çalışılır. Halbuki ankastre temelli yapı tasarımında, yapıya üstün nitelikli bir sismik performans kazandırmak üzere yapı sistemini sağlamlaştırmak; yapının daha rijit olmasına yol açmakta, bu durum yapının ve ona bağlı diğer taşıyıcı elemanlarının daha fazla kuvvet almasına neden olmaktadır..

Bir binaya depreme karşı dayanım kazandırmak göreli kat ötelemesini ve kat ivmelerini minimize etmektir. Büyük göreli kat ötemeleri katları birbirine bağlayan yapı elemanlarında hasara neden olmaktadır. Yapıyı daha rijit hale getirerek, göreli kat ötelemeleri azaltılabilir. Ancak bu yöntem, yer hareketi etkisinin büyümesine ve yüksek kat ivmelerinin meydana gelmesine neden olacaktır. Kat ivmeleri ise sistemi daha esnek yaparak azaltılabilir. Fakat bu durum da büyük göreli kat ötemelerine yol açacaktır. Göreli kat ötemelesini ve kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltabilmenin tek uygulanabilir yolu taban izolasyon sistemi kullanmaktır.

Taban izolasyonlu sistemlerin pratikte çok başarılı uygulamalar olmakla birlikte, birtakım sınırlamalar söz konusudur. Herşeyden önce taban izolasyon sistemleri, değişen deprem kuvvetlerine karşı kendini adapte edebilme kabiliyetinden mahrum olduğundan, genel olarak aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılan ve yapıları deprem gibi sürekli değişen dinamik etkilere karşı korumak için geliştirilen sistemler içinde pasif sistemler girmektedir.

Taban izolasyon sistemleri, esas olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi kauçuk esaslı izolasyon sistemleri, bir diğeri ise kayma esaslı taban izolasyon sistemleridir. Kauçuk esaslı izolatörlerde ya doğal kauçuk ya da suni kauçuk (neopren) malzemeleri elastomer malzeme bulunmaktadır. Kayıcı

mesnetlerin, 3 kayıcı yüzeyi çoğu zaman teflon ve paslanmaz çelik olmakla birlikte başka kayıcı yüzeylerde kullanılmıştır.

a) Kauçuk Esaslı Sistemler

- Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler
- Kurşun Çekirdekli İzolatörler
- Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler

b) Kayma Esaslı Sistemler

- Sürtünmeli Sarkaç Sistemler
- Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi
- Electricite-de-France Sistemi
- EERC Birleşik Sistemi
- TASS Sistemi

4.2.1 Kauçuk esaslı sistemler

Kauçuk izolasyon sisteminin bir bianyı depremlerden korumak üzere ilk kullanımı, 1969 yılında Makedonya'nın başkenti Üsküp'teki bir ilkokul binasında olmuştur. Pestalozzi ilkokulu üç katlı betonarme bir bina olup İsviçreli mühendisler tarafından inşa edilmiştir. Kauçuk esaslı sistemler aşağıda açıklanmıştır [11].

4.2.1.1 Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler

Bu tarz izolatörlerin şekil 4.8 da gösterildiği gibi, iki adet kalın çelikten uç levhası ve bununla birlikte bu levhaların arasında da çok sayıda ince çelikten ara sac levhaları bulunmaktadır. Kauçuk malzeme, bir kalıp içinde uygulanan sıcaklık ve basınç altında tek bir işlem dahilinde çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara saclar, kauçuk malzemenin iki yanından şişmesi yani yanal deformasyonyapmasını önlemekte ve yüksek bir düşey rijitlik sağlamaktadır.

Ancak bununla birlikte çelik ara sacların yatay rijitlik üzerinde h,çb,r etkisi bulunmamaktadır. Yatay rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır.

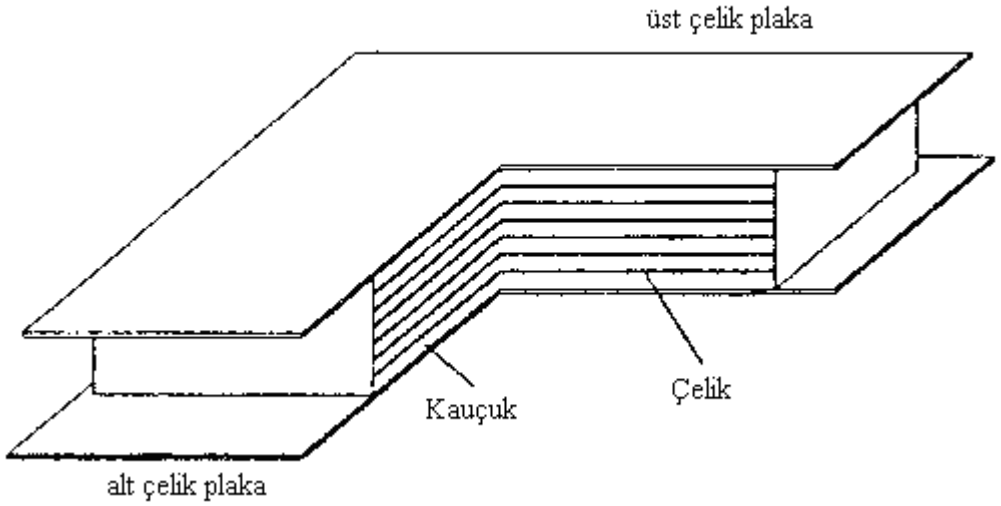
Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlein pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar sırasılya şöyledir.

a) İmal edilmesi basittir.

b) Modellenmesi kolaydır

c) Mesnetlerin mekanik davranışı hız sıcaklık ve zamanla eskime gibi faktörlerden etkilenmemektedir.

Tek bir dezavantajları bulunmaktadır. O da ek bir sönüm sistemine ihtiyaçları olmasıdır.

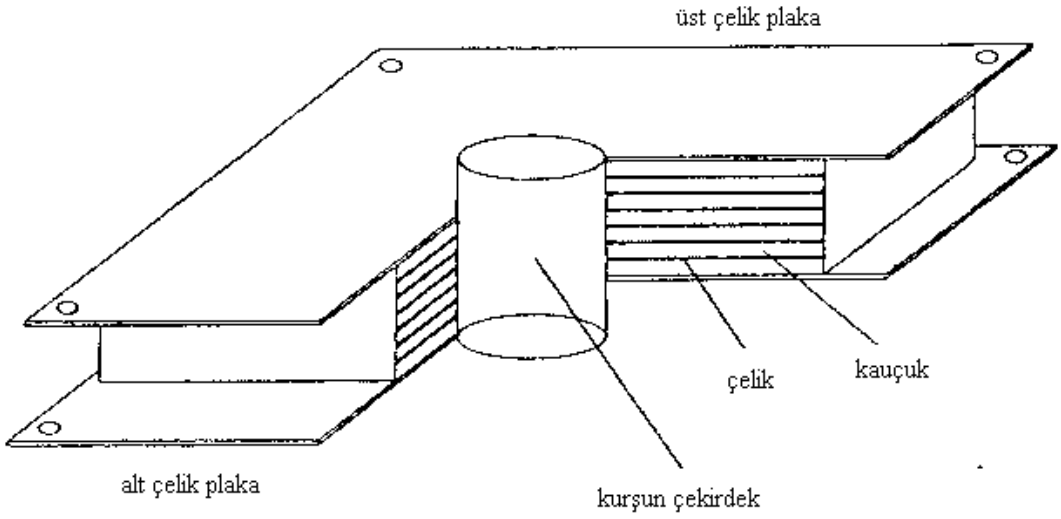


Şekil 4.8: Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sistemi

Söz konusu izolatörler ilk olarak 1970'li yıllarda Yeni Zelanda'da geliştirilmiştir. Kurşun çekirdekli izolatör türü şu anda en yaygın kullanılan izolasyon sistemidir [11].

4.2.1.2 Kurşun çekirdekli izolatörler

Kurşun çekirdekli izolatörler, düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzer olarak, ince tabakalara ayrılmış kauçuk izolatörlerdir. Ancak bu izolatörlerin düşük sönümlü kauçuk iolatörlerden farkı şekil 4.9 de gösterildiği gibi deliklerin arasına sokulmuş bir tane veya daha fazla sayıda kurşun çekirdeklerin olmasıdır.bu izolatör sisteminin en önemli sakıncası, şiddetli yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir.



Şekil 4.9 : Kurşun çekirdekli izolatör sistemi

Bu izolatörlerle taban izolasyonu yapılan binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi bir performans sergilemişlerdir [11].

4.2.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler

İngiltere'ye bağlı Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPA) kurumu tarafından 1982 yılında, ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek üzere, yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuk bir bileşimin geliştirilmesi başarılmıştır. Sönüm miktarı, aşırı saf karbon blok, yağlar veya reçineler ve diğer patentli katkı maddeleri eklenilmesi suretiyle arttırılmaktadır.

İzolatörlerdeki sönüm ne viskoz nede histerik karakterlidir. Ancak ikisinin arasındadır. Tamamıyla lineer viskoz bir elemandaki enerji yutulması, yer değiştirme durumunda kuadratiktir. Histeretik sistemde ise enerji yutulması, yer değiştirme durumunda lineer olma eğilimindedir.

Yüksek sönümlü doğal kauçuk sistmein bir diğer avantajı çevresel titreşimin azaltılmasında bir aşama sağlamasıdır. İzolatörler, trfaik ya da yakınında bulunan bir metro hattı nedeniyle meydana gelebilecek yüksek frekanslı düşey titreşimleri dışarı süzmek için harekete geçmektedir. Bu sonuç 1985 yılında Earthquake Engineering

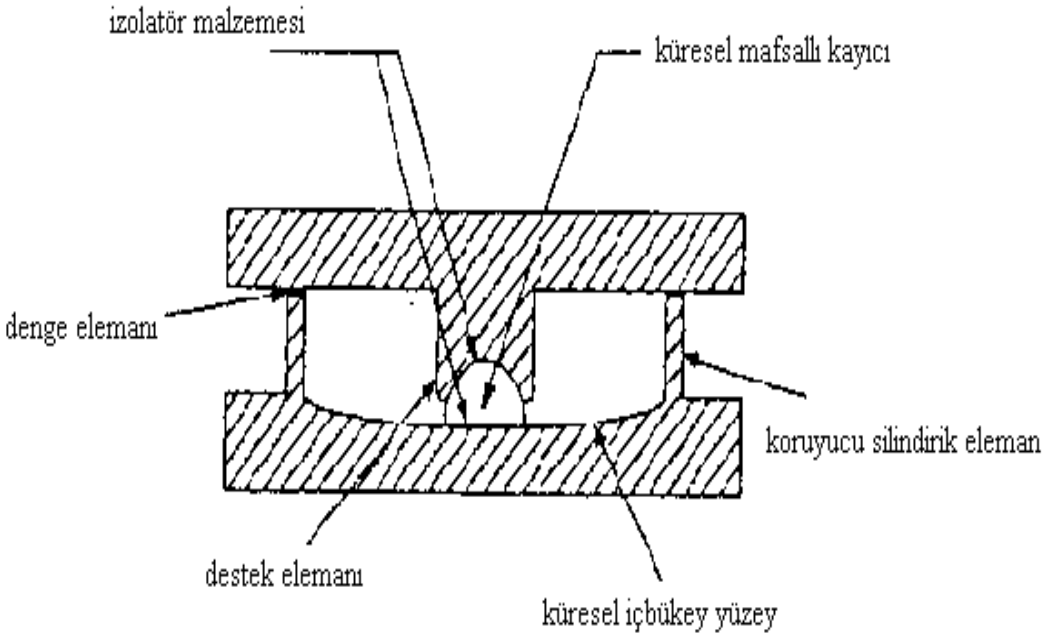
Research Center da uygulanan bir sarsma masası test programında gösterilmiştir [11].

4.2.2. Kayma esaslı izolasyon sistemleri

Tamamı ile kayıcı bir sistem, önerilen en eski ve en basit taban izolasyon sistemidir. Yalnızca kaymayı kullanan bir sistem, Johannes Avetican Calantarients adında, İngiltere'de yaşayan bir tıp doktoru tarafından 1909 yılında önerilmiştir. Johannes talktan bir tabak yardımı ile yapıyı temelden ayırmayı önermiştir. Bina ile temeli arasında oluşabilecek büyük yer değiştirmeler pahasına da olsa, izolasyon sistemin taban izolasyonlu binadaki ivmeleri azalttığını açık bir şekilde anlamıştır.

4.2.2.1. Sürtünmeli sarkaç sistemler

Şekil 4.10 de şematik olarak gösterilen Sürtünmeli Sarkaç Sistemler izolatörü, paslanmaz çelikten küresel bir yüzey üzerinde hareket eden, mafsallı kayıcıya sahiptir. Kayıcı küresel yüzey üzerinde hareket ettikçe taşınan kütlenin yükselmasine yol açmakta ve sistem için geri dönüş kuvveti sağlamaktadır. Mafsallı kayıcı ve küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörlerde sönüm meydana getirmektedir. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolatör ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir.



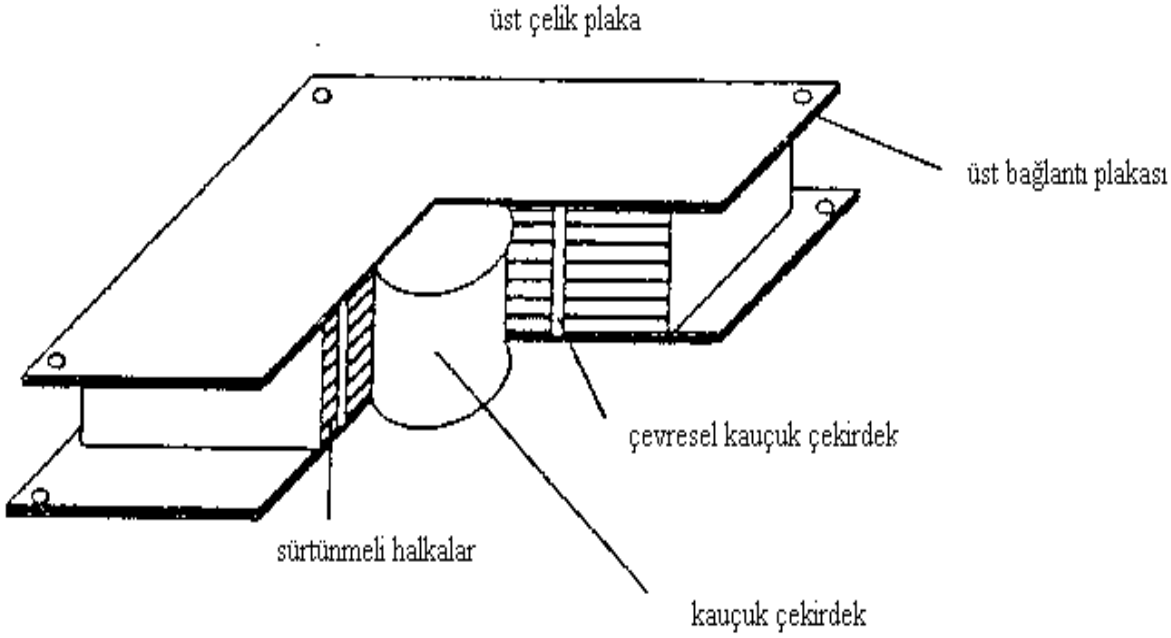
Şekil 4.10 : Sürtünmeli sarkaç sistemin kesiti

Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece, sarkaç sistemlerle mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyoduna karşılık gelen bir tepki gösterecektir [11].

4.2.2.2. Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi

Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi, yüksek kayma hızlarında paslanmaz çelik üzerindeki teflonun yüksek sürtünme katsayısı probleminin üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Bunun için tek bir izolatör içinde çok sayıda kayıcı ara yüzeyler kullanma yöntemine gidilmektedir. Bu sayede düşük bir sürtünme katsayısı korunarak, her bir yüzdeki hız değeri küçük olmaktadır. Kayıcı elemanlara ek olarak, hiç düşey yük taşımayan ancak geri dönüş kuvveti sağlayan merkezi bir kauçuk çekirdek bulunmaktadır. Bu sistem üzerinde yapılan testlerde kauçuk çekirdeğin, yer değiştirmenin tek bir ara yüzeyde toplanmasını önleyemediği görülmüştür. Bu nedenle kauçuk çekirdeğin içine kayıcı tabakalar arasındaki yer değiştirme dağılımını düzelten, merkezi bir çelik çubuk koyulmuştur.

Aşağıdaki şekil 4.11 da geri şekillenen taban izolasyon sisteminin sırasıyla kesit ve elemanları şematik modeli ve kuvvet yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi

4.2.2.3. Electricite de france sistemi

Bu sistem nükleer elektrik santrali tesisleirnde yapılacak uygulama için 1970'li yılların başlarında geliştirilmiştir. Sistem tabakalı suni kauçuk (neopren) izolatörleri, paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun-bronz alaşımı ile birleştirmektedir. Sistemin kayıcı yüzeyi ise elastomerik izolatörün üstüne oturtulmaktadır

Sistem şimdiye kadar sadece bir kez Güney Afrika Cumhuriyeti'ne bağlı Koeberg şehrinde inşa edilen büyük bir nükleer elektrik santralinde uygulanmıştır [11].

4.2.2.4. EERC birleşik sistemi

Kauçuk esaslı ve kayıcı sistemlerin birleştirilmiş bir modeli geliştirilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları teflon malzeme ile kaplama çelikten yapılmış kayıcı elemanlar ile taşıttırılmıştır. Binanın dış kolonlar ise, düşük sönümlü doğal kauçuk izolatöler ile taşıttırılmıştır. Kauçuk izolatörler yapının yeniden merkezlenmesi yeteneğini sağlamakta ve yapının burulma davranışım kontrol etmektedir. Buna karşın kayıcı elemanlar ise sönümü sağlamaktadır. Bu sistemin bir başka şekli hem Nevada Üniversitesi Maden Fakültesi binası, hemde Kaliforniya'da inşa edilen M.L.King Travma Teşhis ve Tanı Merkezi Hastanesi binasının, güçlendirilmesi için kullanılmıştır [11].

4.2.2.5. TASS sistemi

TASS sistemi Japonya'daki TAİSEİ firması tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde düşey yükün tamamı teflon-paslanmaz çelik elemanların üzerinde taşınmaktadır. Buna ilave olarak, hiç yük taşımayan tabakalı suni kauçuk (neopren) izolatörler yapıyı yeniden merkezlendirecek kuvvetleri sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sistemin dezavantajları olarak şunları söyleyebiliriz;

Kauçuk izolatörler, düşey yük taşımamakta ve yalnızca çekmeye çalışmaktadırlar. Ayrıca kayıcı yüzeyin kayma hızına karşı duyarlılığı, sistemin modellenmesi oldukça zor hale getirmektedir.

5. HİBRİD (KARMA) KONTROL SİSTEMLERİ

Aktif ve Pasif kontrol sistemlerinin başarısının yanında bazı çözülmesi gereken problemler bulunmaktadır. Bu problemler

- kontrol aktüatörlerinin daha büyük depremlere karşı kuvvet üretebilecek şekilde geliştirilmesi
- üretim ve bakım masraflarının azaltılması
- dış kuvvete olan bağımlılığın azaltılması
- sistemlerin güvenirliğinin arttırılması
- bu sistemlerden en fazla yararın sağlanması

Hibrid ve Yarı-aktif kontrol sistemleri ile bu sorunlara çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Hibrid kontrol sistemleri pekçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve uygulandıkları yapılardaki güvenirliliği ve etkiyi arttırma potansiyelleri araştırılmıştır [12]. Hibrid kontrol sistemleri basit bir tarifle aktif ve pasif kontrol sistemlerinin kombinasyonudur. Viskoelastik sönümleyicilerin yapı üzerinde aktif bir kütle ile kullanılması veya taban izolasyonu sistemlerinin yapının performansını kontrol eden bir güç kaynağı ile birlikte kullanıldığı durumlar Hibrid kontrol yöntemine örnek gösterilebilir.

Herhangi bir sistem yalnız çalıştığında meydana gelen sınırlandırmayı hibrid kontrol sistemi hafifletmektedir. Böylece daha yüksek performanslara ulaşılabilir. Sonuç olarak hibrid kontrol sistemin aktif kontrol sistemine göre daha komplike olmasına rağmen daha güvenilir olduğu görülmüştür.

Hibrid Kontrol sistemleri pasif kontrol sisteminin performansını artırabilmek içn aktif kontrol cihazlarının kullanılması ile oluşur. Bu sisteme ek olarak pasif kontrol sistemi de aktif kontrolün ihtiyaç duyduğu enerjinin küçültülmesi için kullanılarak bir hibrid kontrol sistemi oluşturulur. Hibrid kontrol ile aktif kontrol arasındaki

belirgin en büyük fark sisteme dışardan etkitilen kuvvet ile ilgilidir. Hibrid kontrol sistemleri çoğu zaman aktif ve pasif kontrol sistemlerinin ayrı ayrı uygulandıklarında varolan sınırlandırmaları azaltarak daha iyi bir sonuç elde edilmesini sağlar. Hibrid kontrol sistemlerinin diğer bir faydası, yalnız aktif kontrol sistemlerinin uygulandığı durumda meydana gelebilecek güç kesilmesi durumunda pasif kontrol bileşenleri ile devam edebilmesidir [1].

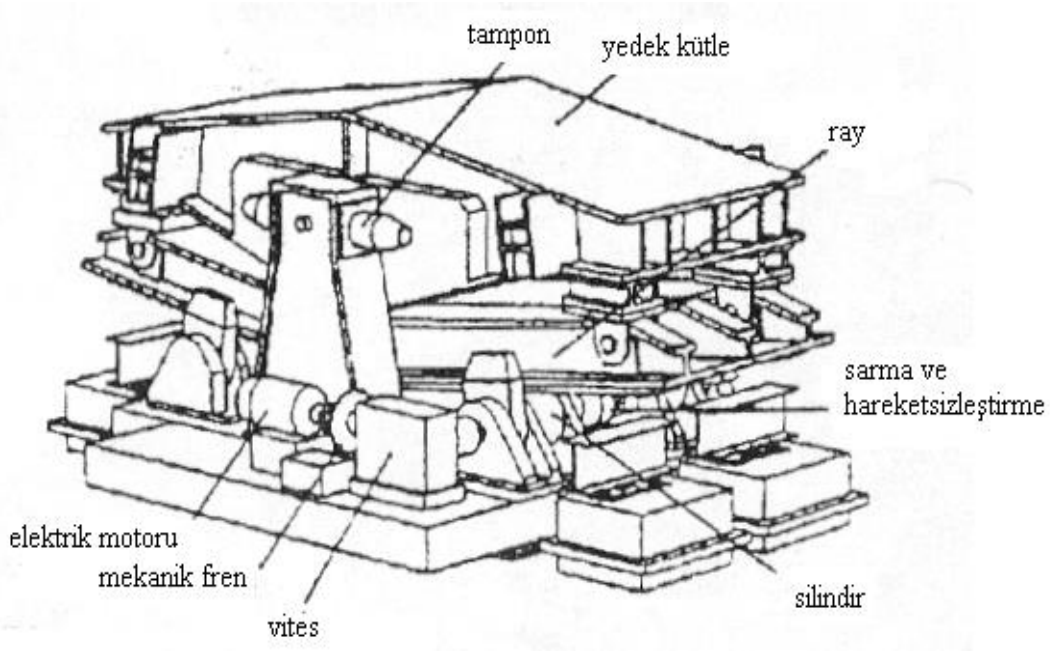
Hibrid kontrol sistemleri iki çeşitüzerine odaklanmıştır. Bunlar

1) hibrid kütle sönümleyicileri (HMD)
2) hibrid taban izolasyonu

5.1 Hibrid Kütle Sönümleicileri

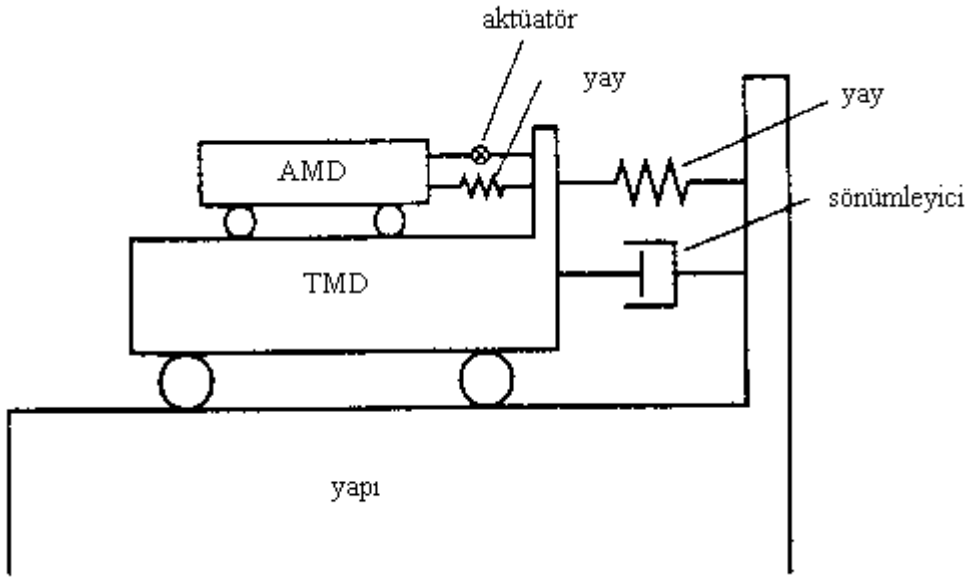
Hibrid kütle sönümleyicileri TMD ve aktif bir kütle aktüatörün birleşimidir. HMD yi kontrol etmek için gerekli kuvvet ve enerji aktif sistemlere göre çok daha azdır. Pek çok araştırmacı HMD ler üzerine çalışmış ve ilerleme sağlanmıştır. Örneğin yay şekilli HMD pek çok binada, köprülerde ve gemilerde (yalpalamaya karşı) kullanılmıştır [13]. Japonya Tokyo'da bir köprüde 7 m/sn hızındaki rüzgarın oluşturacağı titreşimi karşılamak için HMD kullanılmıştır [14].

Yay şekilli HMD nin geliştirilmişi olan V şekilli HMD ise Japonya'da Shinkuku Park Binasında kullanılmıştır. Bu tarz HMD lerin avantajı ana periyoda çok kolay adapte olmasıdır [15]. şekil 5.1 de V şekilli hibrid kütle sönümleyici gösterilmiştir.



Şekil 5.1: V Şekilli Hbirid Kütle Sönümleyici

Şekil 5.2 de gösterilen DUOX HMD ler yine Japonya'da birkaç binada kulanılmıştır. Ufak bir aktüatör kuvveti ile yüksek kontrol etkinliği sağlamaktadır [4].



Şekil 5.2: DUOX Sistem

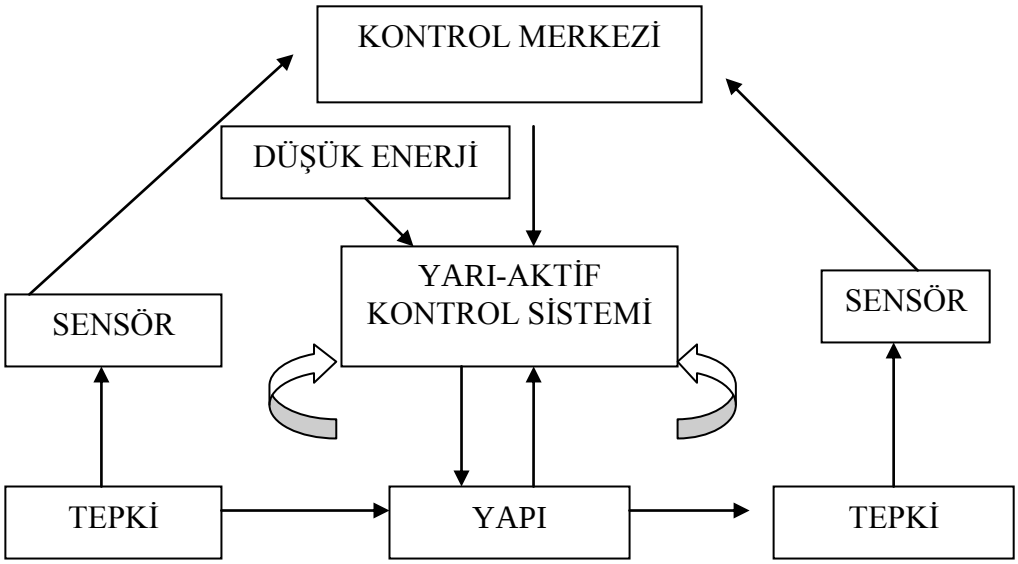
5.2. Hibrid Taban İzolasyonu

Hibrid kontrol sistemlerinin bir diğer çeşidi olan hibrid taban izolasyonlarında pasif taban izolasyonu bir aktüatörle birleştirilmiştir. Taban izolasyonları basitliği, güvenilir olmaları ve etkinlikleri ile dünyanın pek çok yerinde kullanılmıştır. Fakat bu sistemler pasif sistemlerdir ve yapının vereceği tepkinin değişiklik göstermesine adapte olması zordur. Aktif kontrol aygıtının eklenmesiyle maliyette çok fazla bir artış olmadan yüksek bir performans elde edilir [16].

6. YARI-AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

Yarıaktif kontrol cihazları büyük güç kaynakları gerektirmeyen aktif kontrol cihazları olarak uyarlanabilmesi ile dikkat çekmektedir. Yarıaktif kontrol cihazları mekanik enerjiyi kontrol edilen yapı sistemine aktarmaz. Ayrıca sistemin vereceği cevabı optimum olacak derecede küçültebilecek şekilde kontrol edilebilen özelliklere sahiptir. Bu nedenle aktif kontrol cihazlarının aksine yapı sisteminin stabilitesini değiştirme potansiyeli yoktur.

Yarıaktif kontrol sistemleri pasif sistemin güvenirliliği ile aktif sistemin çok yönlülüğü ve adaptebilirliğini sadece pil enerjisi ile sağlayabilmektedir. Başka bir deyişle yarı aktif kontrol sistemleri aktif ve pasif kontrol sistemlerin en iyi özelliklerinin birleşimidir. Yapılan çalışmalar yarıaktif sönümleyicilerin aktif ve pasif sönümleyicilere göre daha iyi performans verdiğini göstermektedir. Şekil 6.1 de yarı-aktif kontrol sisteminin diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.1 : Yarı-Aktif Kontrol Sistemi Diyagramı

Aradaki en önemli fark yapının ihtiyaç duyduğu sisteme etki ettirilecek dış kuvvetin büyüklüğünün aktif kontrole göre daha küçük olmasıdır. Yarıaktif kontrol cihazları yapıya mekanik bir enerji eklemediklerinden dolayı yapıda herhangi bir stabilite sorunu oluştuma durumu söz konusu değildir. Yarıaktif Kontrol cihazları kontrol edilebilen pasif cihazlar olarak bilinir.

Yarıaktif sistemlerin pek çoğu pil enerjisi ile çalışabilmesi deprem esnasında oldukça kritik bir durumdur. Çünkü ana enerji kaynağı sismik etkilerden çökebilir. Yapılan deneyler ve test çalışmaları yarıaktif kontrol sistemlerinin pasif ve aktif sistemlere göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur [17].

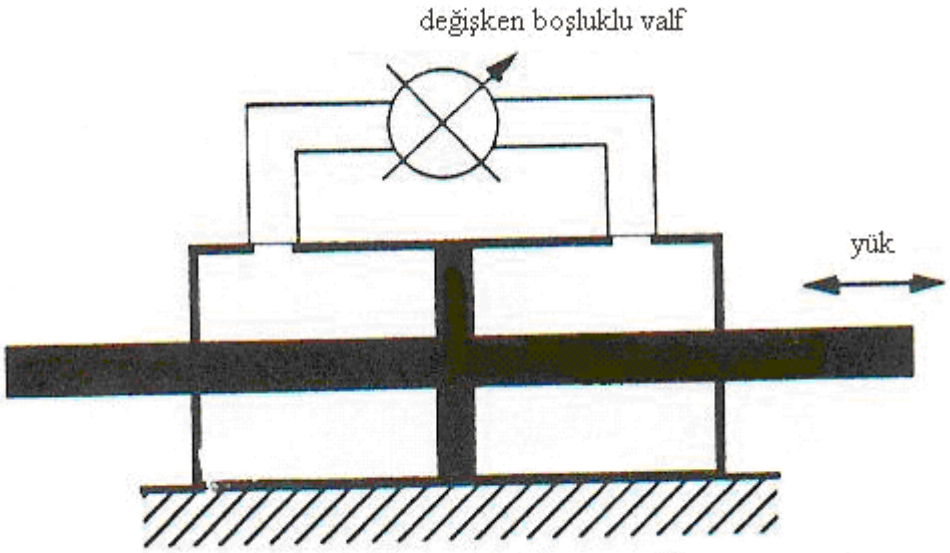
Genel olarak yarı-aktif kontrol sistemlerinin karakteristik özelliklerini şu şekilde yazabiliriz.

- Kontrol aygıtı ayarlandığında daha az bir enerjiyle büyük bir kontrol kuvveti oluşturulabilir.
- Kontrol aygıtı dış görünüş itibariyle daha uhak ve yoğundur. Buda yapıya aygıtın daha rahat monte edilmesini sağlar.
- Aygıt bakımı aktife göre çok daha kolaydır.
- Ortaya çıkacak herhangi bir problemde binanın stabilitesini bozmadan sistem yüksek güvenirlilik gösterir [18].

Yarı-Aktif enerji sönümleyiciler şu başlıklar altında toplanabilir.

6.1. Değişken Boşluklu Sönümleyiciler

Değişken boşluklu cihazlardan kastedilen; kontrol edilebilir elektromekanik ve değişken boşluklu siboplar (valf) sayesinde klasik hidrolik akışkan sönümleyicilerin akış direncini değiştirebilmektir. Bu sönümleyiciler köprülerin sismik yükler altındaki davranışı incelenirken Feng ve Shinozuka [1] tarafından araştırılmıştır. Newyork Ulusal Deprem Araştırma merkezinde test edilmiş ve çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6.2. de bu tarz sönümleyiciler gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Değişken boşluklu sönümleyici

6.2 Değişken Sürtünme Sönümleyiciler

Yüzey sürtünmesi sayesinde titreşim enerjisini sönümleyen çeşitili yarıaktif cihazlarla ilgili birçok araştırma yapılmıştır [19]. yapı çapraz elemanlarına rijit olarak bağlı bir sürtünme şaftı içeren değişken sönümleyici tanımlamışdır. Yaptıkları çalışmalarda sürtünme yüzeyindeki kuvveti dışardan kontrol edilebilmektdir.

6.3. Rijitlik Kontrol Sönümleyiciler

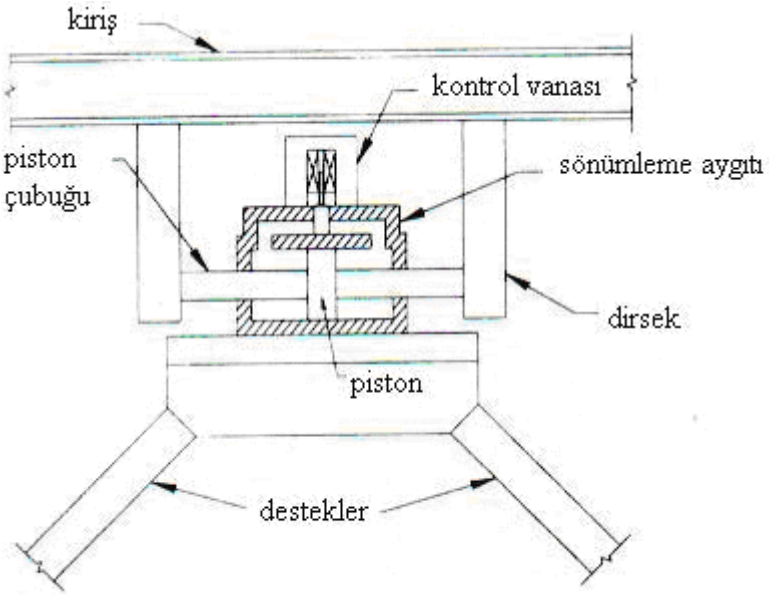
Yarı aktif rijitlik kontrol aygıtları yapının rijitlik ve doğal titreşim özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Bu tarz sistemler [20] tarafından detaylı olarak tanımlanmıştır. Sistem öncelikle deprem esnasında non-resonan durumu sağlayabilmek için yapının rijitliğini kontrol eder.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4de görülen [20] tarafından denenmiş düzenekte solenoid vana kapalı olduğunda sıvı akamaz ve kirişi aşağıdaki destekler sabitler. Vana açıkken

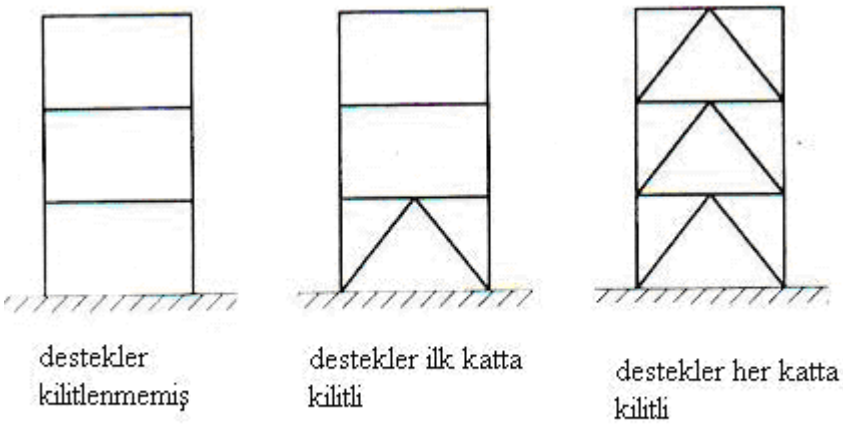
sıvı serbestçe akar ve kiriş-destek birleşimini gevşetir. Bu sistemin ihtiyaç duyduğu enerji yaklaşık olarak 20W dır.

Bu tarz bir sistem tokyo japonyada aynı ölçülerde 3 katlı çelik bir yapıda hazırlanmış ve üç farklı rijitlik konfigürasyonu kullanılmıştır [21].

1- destekler kilitlenmemiş
2- destekler sadece ilk katta kilitlenmiş
3- destekler her üç katta kilitlenmiş



Şekil 6.3 : Rijitlik kontrol sönümleyici detayı



Şekil 6.4: Rijitlik kontrol sönümleyici tam ölçekli deneme yapı konfigürasyonları

sonuçta doğal frekans serbest halden tamamı kilitli hale kadar yaklaşık 1 Hz ve 2.5Hz aralığında bulunmuştur [21]. Daha sonra bu sistem magnitütleri 4.9 ve 5.7 olan depremlere tabi tutulmuştur. Neticede yarı aktif kontrol kullanıldığında çıkan sonuç, chevron destekler kirişe direk bağlandığındaki sonuçtan daha iyi olduğu görülmüştür. Desteklerin deprem sırasında sabitlenmeden bırakılarak yapılan kontrolde resonant tipteki hareketten kaçan esnek bir yapı ortaya çıkmıştır.

6.4. Ayarlanabilir Kütle Sönümleyiciler

Değişken rijitlikte yarı-aktif ayarlanabilir kütle sönümleyicileri (STMD) pasif TMD ye etkileyici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. STMD nin etkinliği Nagarajaiah ve Varadarajan tarafından 3 katlı bir yapı modelinin üzerinde test edilmiştir [22].

6.5. Kontroledilebilir Akışkan Sönümleyiciler (Akıllı Malzemeler)

Buraya kadar anlatılan tüm yarı-aktif kontrol cihazları elektrik ihtiyacı duyan bir mekanizma veya vana ile kontrol edilmektedir. Bu tarz mekaniksel bileşenler kontrol sürekliliğini ve verimini azaltmaktadır. Bir başka yarı-aktif kontrol cihazları olna kontrol edilebilen akışkan sönümleyicilerin avantajı bir piston dışında hareket eden bir parçalarının bulunmamasıdır. Bu durum bu cihazları daha güvenilir yapmaktadır.

Kontrol edilebilir sıvıların en temel özelliği; elektrik veya magnetik alana maruz bırakıldıklarında viskoz bir akışkandan kontrol edilebilir bir akma dayanımı olan yarı-katı bir malzemeye dönüşebilmeleridir. Bu dönüşüm oldukça kısa bir süre içerisinde milisaniye seviyelerinde oluşmaktadır. Maruz bırakıldıkları alan türü dolayısı ile iki tip olarak adlandırılmaktadırlar.

1. Elektroreolojik (ER) akışkanlar (Elektrik Alan)
2. Magnetoreolojik (MR) akışkanlar (Magnetik Alan)

Bu akışkanlar elektronik ve mekanik kontrol sistemleri arasında çok hızlı ve kesin çözümler vermektedir. Bu özelliklerinden dolayı hareketli bir parçası olayan semiaktif sistemlerde çok önemli yer tutmaktadırlar [1].

ER ve MR akışkan sönümleyici cihazların sönüm ve rijitlik özellikleri uygun alan yardımı ile kolaylıkla değiştirilebilmeleri titreşim kontrolü için çok önemli bir durumdur. Bu özellikleri sayesinde akıllı malzemeler dış yükler nedeniyle yapının verdiği yanıtı hertürlü şekilde değiştirilebilmektedir. Ayrıca çok iyi sonuçlar veren kontrol stratejileri geliştirebilmek için bu malzemelerin nonlineer davranışının çok iyi bilinmesi gereklidir.

6.5.1 Elektroreolojik akışkanlar (ER sıvılar)

ER malzemeler temelinde düşük viskoziteli ve içerisinde 1-10 mikrometre çapında yalıtkan parçacıklar bulunduran sıvılardır. Elektriksel alana maruz kaldıklarında bu parçacıklar kutuplaşır ve malzemeyi katılaştırır. Başka bir deyişle ER malzemeler elektriksel alana maruz tabi tutulduklarında akmaya karşı direnç sağlayacak şekilde karakterlerinde değişiklik yaparlar. Bu sayede kontrollü bir sönümleme sistemi elde edilebilir.

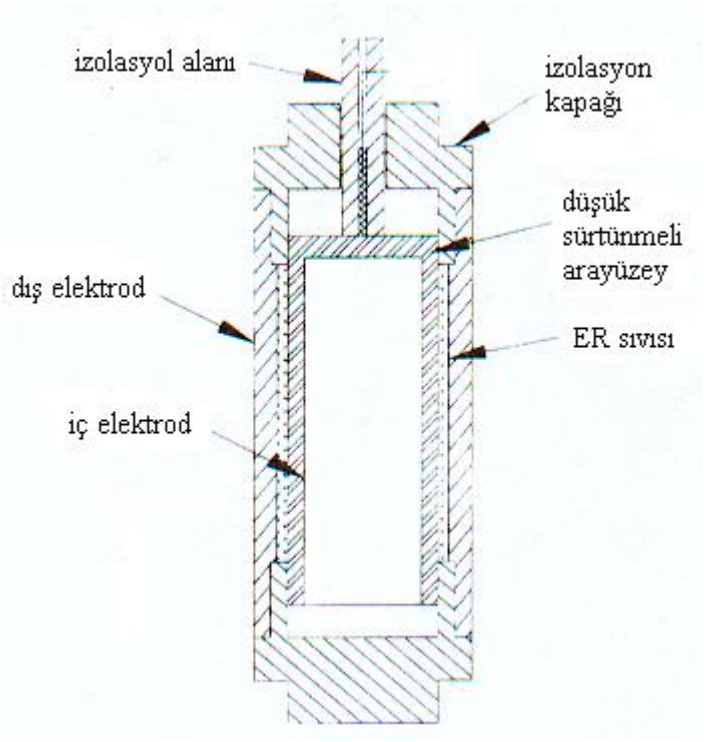
ER akışkanlar kullanılan bir sönüm sisteminde çeşitli katı parçacıklar yalıtım amaçlı yağ içinde çözünerek bir karışım elde edilir. Bu karışım akışkan özellikler taşımaktadır. Elektriksel alan uygulandığında ise karışımın içindeki parçacıklarda kutuplaşma meydana gelir. Böylece karışımın viskozitesi büyük ölçüde değişirken katılaşma meydana gelir. Elektriksel alan kaldırıldığında ise karışım tekrar eski haline döner. Bu olayın gerçekleşmesi için birkaç milisaniye yeterlidir [1].

Burada sönüm kuvvetine etkiyen en önemli parametre karışımda meydana gelen kayma gerilmesidir.(τ_y) Kayma gerilmesi elektriksel alana doğrudan bağlıdır ve ne kadar büyük olursa ER akışkanın etkisi o kadar fazla olur. Oluşum aşamasındaki en önemli parametrelerelektriksel alanın özellikleri (yoğunluk, frekans, AC, DC), sıvının akışı, ısı, parçacıkların geometrik özellikleri, kutupsallaşmanın hız ve yönü olarak söylenebilir.

Elektroreolojik etki hakkında ilk çalışmalar 1940 lı yıllarda Winslow tarafından yapılmıştır. Winslow bu öncü araştırmasında değişik tipte mineral yağlar içerisinde nişasta ve alçıtaşı gibi pek çok katı parçacıklar kullanmıştır [23].

Winslow'un çalışmasında sonra elektroreolojik etki gösteren pek çok sıvı keşfedilmiştir. Bu sıvılar arasındaki temel fark sıvının içerisindeki katı parçacıklardır [23-25]. Organik ve inorganik maddeler, karbon asitler kullanılan katı parçacıklardır. Bu parçaların tipine göre mineral veya silikon yağlar temel sıvı olarak kullanılır.

Şekil 6.5 de Ehrgott tarafından kullanılmış ER sönümleyici görülmektedir [26].



Şekil 6.5: Ehrgott tarafından kullanılan ER sönümleyici

İlk ER ler içindeki parçacıklar kutupsallaşabilmek için az miktarda suya ihtiyaç duyardı. Su olmadığı zaman yeterli kuvvet elde edilemezdi. Çok fazla su olduğunda ise daha çok enerjiye ihtiyaç duyuyordu. ER ler öncelikle debriyaj ve frenlerde, subaplarda kullanılmıştır. Daha sonraları ise robotik aygıtlarda, uzay yapılarında ve yapısal titreşim sönümleyicileri olarak ta kullanılmıştır. Bu uygulamaların bir

çoğunda ER sıvıları basınç eğimini ayarlamakta (sönümleyiciler vs) veya momentum transferini sağlar (debriyaj ve frenler vs) [27].

Modern malzemeler kuvveti arttırdığı gibi daha az elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Yine de ileri gelişmeler ihtiyaç vardır. Çünkü malzeme güvenirliliği hala kritik bir problemdir.

Araştırmacılar ER lerin elektriksel alana tepkisini hala tam anlamıyla açıklayamamışlardır. Fakat etkin bir mekanizma olabilmek için kutupsallaşmanın olduğu görülmektedir. Bu tepkinin tam olarak anlaşılamaması farklı sistemler için optimal çözümü zorlaştırmaktadır. Yine de bu aletlerin uygulanmasına bir engel taşımaz.

6.5.2 Magnetoreolojik akışkanlar (MR Sıvılar)

MR akışkanlar ER akışkanlara göre çok daha az bilinir. MR akışkanlar mikron ölçekli paramagnetik partiküllrin nonkolloidal ortamda askıda kalması ile elde edilir. MR akışkanlar içerisindeki partikülleri MR akışkanlara göre 1000 kat daha küçük olan kolloidal ferro akışkankar ile karıştırmamalıdır. MR ve ER akışkanlar 1940'lı yıllarda keşfedildi ve araştırmaların çoğu ER akışkanlar üzerinde devam etti. MR akışkanlar ise [1,28-29] tarafından yapılan çalışmalarla semiaktif titreşim kontrol sistemlerinde kullanılabilmesi ile yeniden gündeme geldi.

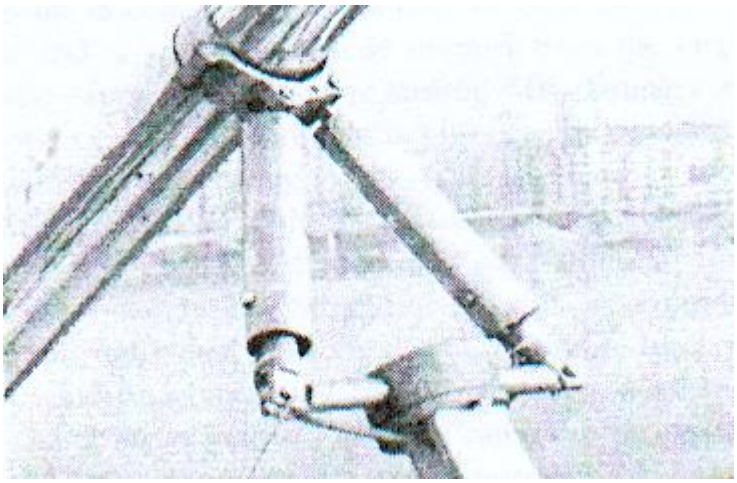
Son zamanlarda MR akışkanlar ER akışkanların çok iyi bir alternatifi olarak kontrol edilebilir akışkan sönümleyici cihazlarda kullanılmaktadır [29]. MR akışkanlar, ER akışkanların mikron ölçekli magnetik ortamda polarize olabilen partiküllerin silikon yağı vb. bir ortamda karıştırılması ile elde edilir. MR akışkanlar magnetik bir ortama maruz bırakıldıklarında partiküller zincir formunda birbirine bağlanır ve sıvı yarı-katı bir görünüş alarak tıpkı ER akışkanlar gibi viskoplastik bir davranış gösterir. Bu geçiş birkaç milisaniye içerisinde gerçekleşir. Şekil 6.6 de MR sönümleyici görülmektedir.



Şekil 6.6 : MR sönümleyici

Ayrıca Carlsson ve Weiss [29] yaptıkları çalışmalarla MR akışkanlar ile elde edilen akma dayanımının ER ile elde edilenden çok daha fazla olduğunu ve -40^0 C ile $+150^0$ C arasında akma dayanımının değişmediğini göstermişlerdir [1]. MR akışkanlar kullanımdan veya üretimden dolayı zamanla oluşacak partiküler kirliliklere karşıda duyarlı değildir. Verim artırıcı birçok katkı maddesi ile birlikte özelliklerinde hiçbirşey kaybetmeden kullanılabilmektedir. Çünkü elektrokimyasal özellikler, magnetik polarizasyon mekanizmasını etkilememektedir. MR akışkanlar 12-24 V ile düşük voltajda kontrol edilebilir ve güç kaynağı 1-2 A olabilir. Kontrol edilebilir MR akışkan sönümleyici cihazların inşaat mühendisliği uygulamalarında geleceği oldukça parlak görülmektedir.

Şekil 6.7 de kullanılan ilk MR sönümleyicilerden biri gözükmektedir [22].



Şekil 6.7 : Çin Hunan ‘da Dongting Lake Köprüsünde uygulanan MR sönümleyici

ER ve MR akışkanlar arasındaki temel farklılıkar;

1. MR akışkanların magnetik alan altındaki akma dayanımları ER akışkanların elektrik alan altındaki akma dayanımlarından 20-50 kat daha büyüktür.

2. MR akışkanlar için düşük voltajlı güç kaynağı yeterlidir.

3. MR akışkanlar katkı maddelerine ve sıcaklığa çok daha az duyarlıdır.

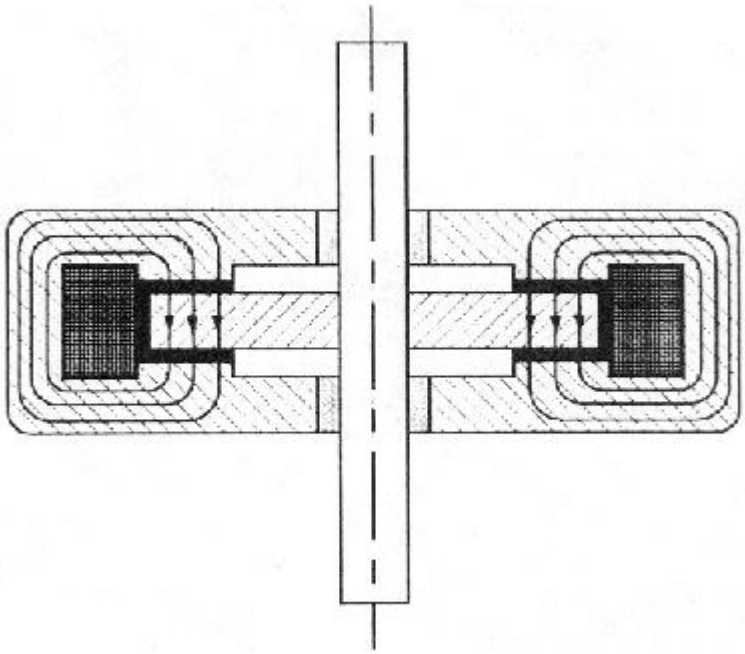
4. ER akışkanların dinamik akma dayanımları 2-5 kpa dır. (Elektrik alanı 3-5 kV/mm, plastik viskozite oranı 0,20-0,30 pa-s , sıcaklık 25^0 C). MR akışkanlar 50-100 kpa akma dayanımı gösterir. (Magnetik alan 150-250 kA/m, plastik viskozite oranı 0,20-0,30 pa-s , sıcaklık 25^0 C) [1].

5. MR akışkanların maksimım akma dayanımı magnetik doygunlukla sınırlıdır. -50^0 C ile +150^0 C arasında aktive olabilirler. Katkı maddelerinde kir ve pisliklerden etkilenmezler.Tüm bu özelliklerinden uygulamada tercih edilmektedirler.

Kontrol edilebilir akışkan sönümleyici cihazların akışkan parametreleri η_p ve τ_y ile tanımlanır.

6.4.2.1.MR akışkan fren sistemi

Lord firması tarafından üretilen ve proramlanabilen spor aletlerinde kullanılan bir üründür. Bu cihaz 9,2 cm çapında ve 0-6 Nm büyüklüğünde sönümleyici torku kontrol imkanı sağlar [1]. Şekil 6.8 de MR akışkan fren sistemi verilmiştir.

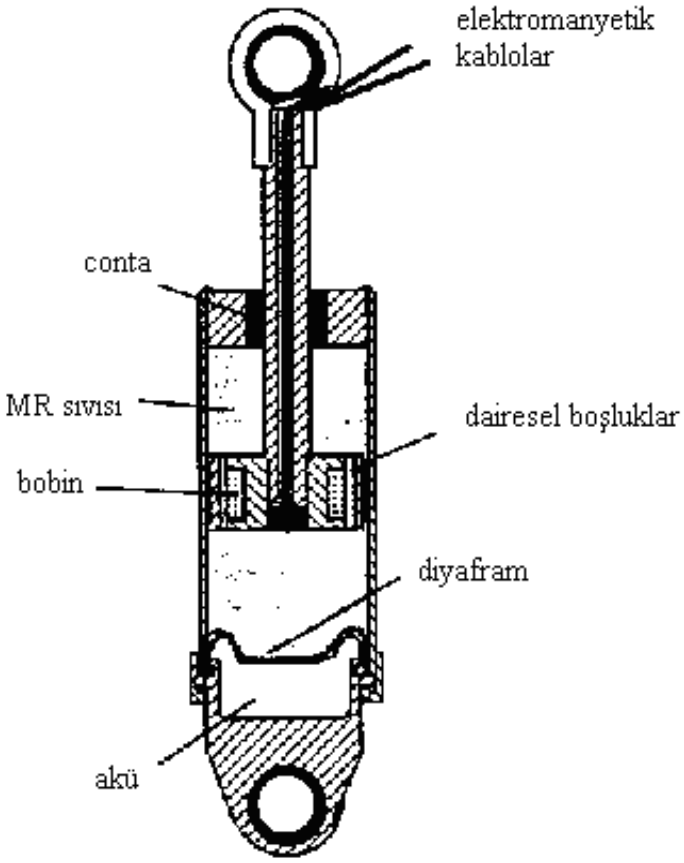


Şekil 6.8: MR fren sistemi

6.4.2.2. MR akışkan lineer sönümleyici

Lord firması tarafından karayolu araçları için semiaktif koltuk süspansiyonu olarak kullanılmak üzere üretilmiş 3,8 cm çapında 21,5 cm uzunluğunda ve 12,5 cm vuruş yüksekliğine sahip bir cihazdır [1].

MR akışkan valfleri ve piston magnetik devre ile bağlıdır.Akım uzun şaft vasıtası ile elektromagnetik devreye iletilir. Cihazın çalışması için 1 amper akım ve 4W güç gereklidir ve 50 cm^3 MR akışkan içerir. Şekil 6.9 te MR akışkan lineer sönümleyici gözrülmektedir.



Şekil 6.9 : MR akışkan lineer sönümleyici

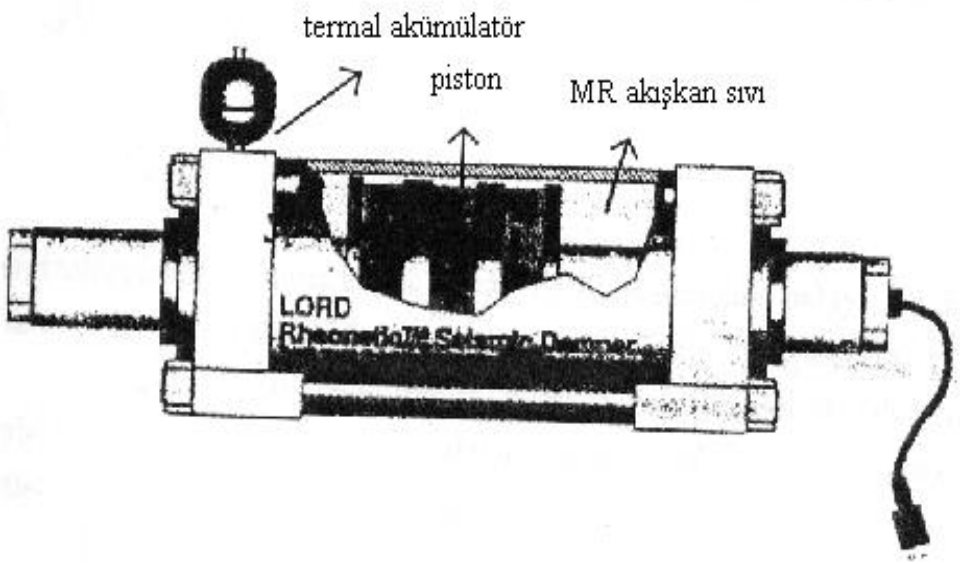
Tek serbestlik dereceli süspansiyon sisteminde 2,5 hz frekansta rezonans durumu gerçekleşmektedir.Eğer koltuk düşük sönüm seviyelerine sahip olursa yüksek frekans izolasyonu iyi konfor oluşturmaktadır. Yüksek sönüm oranlarında rezonans durumu kontrol altına alınmata fakat konfor durumunu ve yüksek frekans izolasyonunu oldukça azaltmaktadır. MR akışkan sönümleyicinin performansı "kontrollü sönüm"ile gösterilmiştir. Basit bir geri dönüşüm kontrol sistemi ile rezonans durumu yok edilmiş ve yüksek frekans izolasyonu korunmuştur.

6.4.2.3. MR akışkan sönümleyicilerin ticari uygulamaları

ER akışkan sönümleyici cihazlarla ilgili birçok araştırma ve uygulama mevcuttur. MR akışkan sönümleyicilerle ilgili ancak birkaç tane uygulama bulunabilir. MR akışkan sönümleyici cihazlar Amerikan Lord firması tarafından Rheonetic markası altında üretilmiştir. Bu cihazlar tüm uygulamalarda ihtiyaç duyulan özellikleri karşılayabilecek niteliktedir.

6.4.2.4.Sismik kontrol için MR akışkan sönümleyici

Yapılan çalışma ve testler MR sönümleyicilerin semiaktif kontrol sistemlerinde çokyararlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur [1]. MR akışkan lineer sönümleyici üzerinde yapılan ve ivmesel geri dönüşüm stratejileri dikkate alınarak yapılan çalışmalar bunların pasif sönümleyici sistemlerin çok ötesinde iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Şekil 6.10. da bu tip sönümleyici görülmektedir.



Şekil 6.10 : Sismik kontrol için MR sönümleyici

Dyke et al.(1996a-c) [17] tarafından yapılan numerik örneklerle aktif kontrol sisteminin ihtiyaç duyduğu gücün yalnızca bir kısmına ihitiyaç duymasına rağmen lineer aktif kontrol sistemlerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır

Amerikan Lord firması tarafından semiaktif MR akışkan sönümleyici teknolojisini sergileyebilmek ve mühendislik yapılarında uygulanabilirliğini göstermek amacı ile teorisi Carlson ve Spencer (1994) [30] tarafından geliştirilen tam ölçekli ve 20 tonluk bir MR akışkan sönümleyici tasarımı yapılmıştır.

Üretilen sönümleyici basit bir gometriye sahiptir ve dış kısmında magnetik devrenin bir parçası olan silindirik kabuk mevcuttur. Piston üç bölümden oluşan basit bir bobin içermektedir. Piston dış çapı ile yuvası arasındaki tüm halkasal boşluklar efektif akışkan boşluklarını oluşturmaktadır. Pistonun hareketi akışkanın tüm halkasal boşluklu bölgeye akışını sağlar. Piston bir şaft vasıtası ile iki ucundan mesnetlidir.

Elektromagnetik bobin 3 bölüm halinde pistonu çevrelemiştir. Bu durum 4 adet efektf valf bölgesinden akışkanın akışını sağlamaktadır. Bobin 1,5 km uzunluğunda magnetik tel içermektedir. Detayları Carlson (1994) [28] tarafından gerçekleştirilen cihaz MR akışkan sönümleyicilerin başarılı bir uygulaması olmuştur.

Tasarımı yapılan sönümleyici 1m uzunluğunda, 250 kg ağırlığında 5 litre MR akışkan içeren bir cihazdır. Yalnızca 90 cm^3 akışkan magnetik alana maruz bırakılmaktadır.

7. OPTİMAL KONTROL

Başlangıç değerinden son değerine kadar etki eden bu süreçte amaç fonksiyonunu minimum yapan kontrol vektörünü bulmak optimal kontrolün amacıdır. [u(t) için $t_o \leq t \leq t_f$]

Birinci mertebeden diferansiyel denklem olarak modellenmiş kontrol edilebilen doğrusal olmayan bir sistem düşünelim. Bu sistem, kontrol etkileri u(t), dış etki (deprem) p(t) ve x_o başlangıç koşuluna tabi olsun.

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), p(t), t] \qquad x(t_o) = x_o \qquad \textbf{(7.1)}$$

x(t) = durum vektörü
f = durum vektörünün bir fonksiyonu
u(t) = kontrol vektörü
p(t) = dış etkiler vektörü
t = zaman

Bu durumda en genel halde amaç fonksiyonu

$$J = F[x(t_f), p(t_f), t_f] + \int_{to}^{tf} L[x(t), u(t), p(t), t]dt \qquad \textbf{(7.2)}$$

şeklinde tanımlanabilir [31].

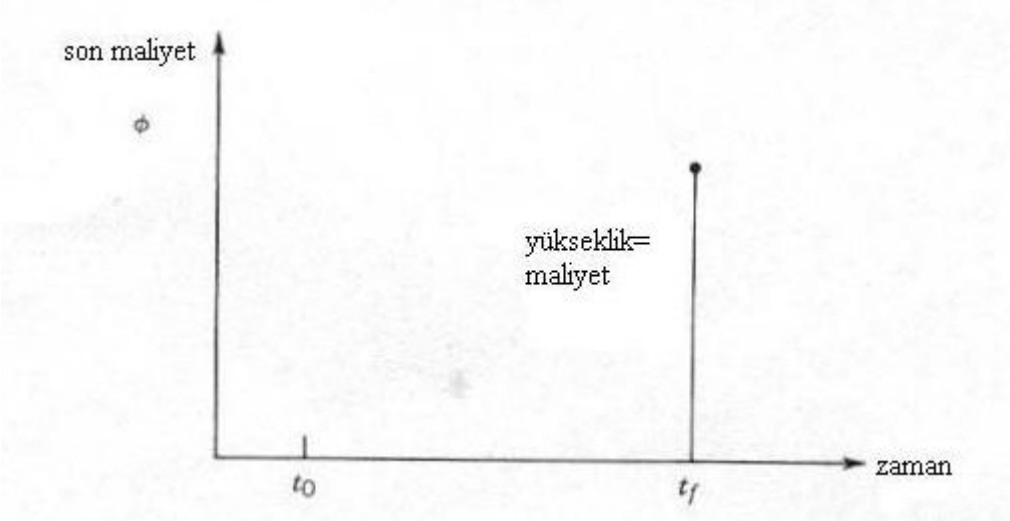
Ø = son durumun ($x(t_f)$) skaler bir fonksiyonu
L = skaler büyüklük (Lagrangian)

Genelliği bozmadan 7.1 ve 7.2 nolu denklemler aşağıdaki şekilde tanımlanabilir. [31,32]

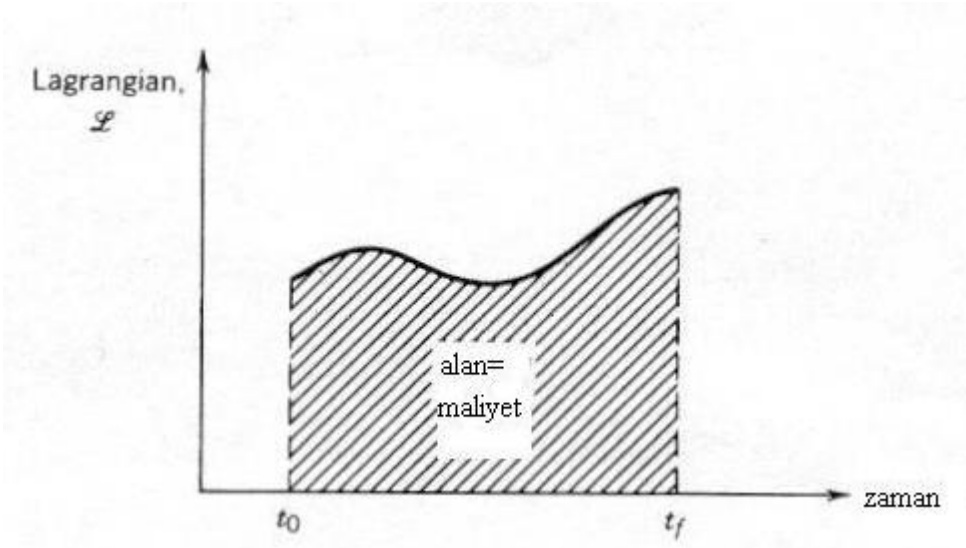
$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t] \qquad x(t_o) = x_o \tag{7.3}$$

$$J = F[x(t_f), t_f] + \int_{to}^{tf} L[x(t), u(t), t]dt \tag{7.4}$$

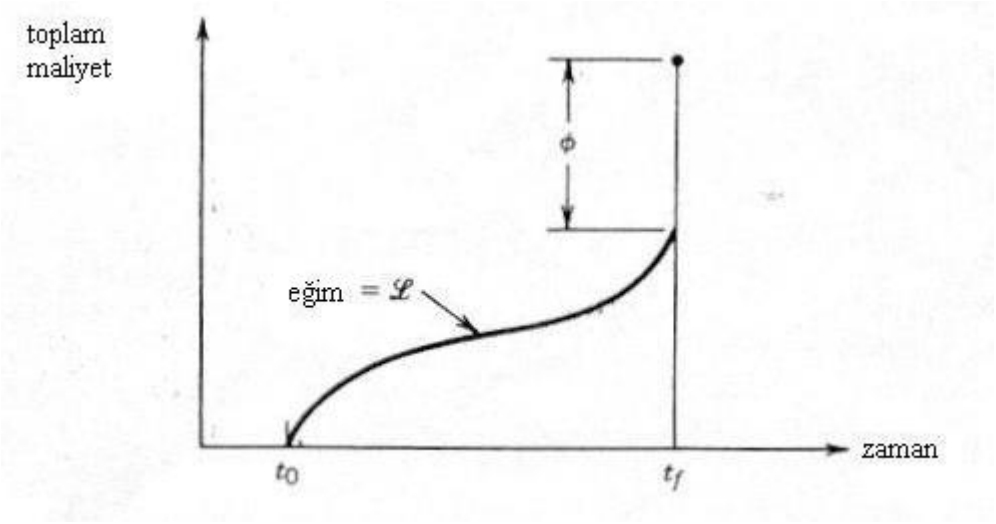
Amaç fonksiyonunda skaler kısım ve integral kısım birlikte doğal çözüm kabul edilir. Fakat ikisinin birden bulunması şart değildir. Sadece skaler kısım bulunuyorsa Mayer tipi, sadece integral kısım var ise Lagrange tipi ve eğer her ikiside var ise Bolza tipi olarak adlandırılır. Şekil 7.1 şekil 7.2 ve şekil 7.3 te bu üç amaç fonksiyonu görülmektedir [33].



Şekil 7.1: Mayer amaç fonksiyonu



Şekil 7.2: Lagrange amaç fonksiyonu



Şekil 7.3: Bolza amaç fonksiyonu

7.1. Optimal Çözüm İçin Gerekli Şartlar

(7.3) nolu dinamik sistem eşitliğinin zorlamasına bağlı olarak (7.4) nolu denklemde belirtilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesiyle yardımcı amaç fonksiyonu oluşur [31].

$$J_A = F[x(t_f), t_f] + \int_{to}^{tf} [L(x(t), u(t), t)d + l^T(f(x(t), u(t), t) - \dot{x}(t))]dt \quad \textbf{(7.5)}$$

Burada λ(t) eşdurum vektörü olarak adlandırılır. Amacı (7.3) nolu dinamik sistem eşitliğinin minimize edilme işleminde hesaba katılmasını sağlamaktır. Çıkacak sonuçları özetleyebilmek için Hamilton denkleminden yararlanılabilir.

$$H(x(t), u(t), \lambda(t), t) = L(x(t), u(t), t) + \lambda^T f(x(t), u(t), t) \quad \textbf{(7.6)}$$

(7.5) ve (7.6) nolu denklemleri birlikte yazdığımızda

$$J_A = F[x(t_f), t_f] + \int_{0}^{tf} [H(x(t), u(t), l(t), t) - l^T(t)\dot{x}(t)]dt \quad \textbf{(7.7)}$$

elde edilir [31].

Optimal çözüm için gerekli şartlarda yardımcı amaç fonksiyonu (J_A) nun sonucunun sıfır olması için yapılan ilk varyasyon Euler-Lagrange eşitlikleri olarak bilinir [33].

$$\dot{l}(t) = (-\frac{\partial H}{\partial x})^T = -[\frac{\partial f(x,u,t)}{\partial x}]l(t) - [\frac{\partial L(x,u,t)}{\partial x}]^T, \quad t_0<t<t_f \quad \textbf{(7.8)}$$

$$\frac{\partial H}{\partial u} = l^T(t)\frac{\partial f(x,u,t)}{\partial u} + \frac{\partial L(x,u,t)}{\partial u} = 0 \qquad t_0<t<t_f \quad \textbf{(7.9)}$$

$$[\frac{\partial F[x(t_f), t_f]}{\partial x} - l(t_f)]^T dx(t_f) + [H(x(t_f), u(t_f), l(t_f), t_f) + \frac{\partial F[x(t_f), t_f}{\partial t}]dt_f = 0 \quad \textbf{(7.10)}$$

$\int u\,dv = uv - \int v\,du$ integral dönüşümünü kullandığımız zaman (7.7) nolu denklemin integral kısmı

$$\int_{t_0}^{tf} l^T(t)\dot{x}(t)dt = l^T(t)x(t)\Big|_{t_0}^{t_f} - \int_{t_0}^{t_f} l^{.T}(t)x(t)dt \quad \textbf{(7.11)}$$

şeklinde yazılabilir.

Böylece amaç fonksiyonu

$$J = \mathrm{F}[x(t_f),t] + [l^T(t_0)x(t_0) - l^T(t_f)x(t_f)] + \int_{t_0}^{t_f} \{H[x(t),u(t),l(t),t] + l^{\cdot T}(t)x(t)\}dt \quad \textbf{(7.12)}$$

olacaktır.

Amaç fonksiyonunun elemanlarının ilk varyasyonu şu şekildedir

$$\mathrm{D}(\cdot) = \frac{\partial(\cdot)}{\partial u}\mathrm{D}u + \frac{\partial(\cdot)}{\partial x}\mathrm{D}x(\mathrm{D}u) \quad \textbf{(7.13)}$$

$\Delta x(\Delta u)$; Δu nedeniyle oluşan durumdaki değişimi belirtmektedir. [Δx (t_o, t) içinde (Δu) ya bağlıdır]. Kontrol aralığının son noktasının belirlendiğini düşünelim. Bu durumda amaç fonksiyonunun ilk varyasyonu;

$$\mathrm{D}J = \left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial x} - l^T\right)\mathrm{D}x(\mathrm{D}u)\Big|_{t=t_f} + l^T\mathrm{D}x(\mathrm{D}u)\Big|_{t=t_0} + \int_{t_0}^{t_f}\left(\frac{\partial H}{\partial u}\mathrm{D}u + \left(\frac{\partial H}{\partial x} + l^{\cdot T}\right)\mathrm{D}x(\mathrm{D}u)\right)dt \quad \textbf{(7.14)}$$

olarak elde edilir.

Burada $\Delta u(t)$, $t_0 \le t \le t_f$ rasgele seçilmiş bir fonksiyondur.

İlk kontrolün başlangıç şartlarına etkisinin olmadığını düşünürsek $\Delta J(t_0) = 0$ olur. Eşdurum vektörünü seçerek ΔJ nin Δu ve $\Delta x(\Delta u)$ değerlerinden etkilenmemesini isteriz. Bu nedenle $\lambda(t)$ aşağıda verilen diferansiyel eşitliği sağlayabilecektir.

$$l^{\cdot T}(t) = -\frac{\partial H[x(t),u(t),l(t),t]}{\partial x} \quad \textbf{(7.15)}$$

Bu diferansiyel denklemin sınır koşulu son noktada elde edilir.

$$l^T(t_f) = \frac{\partial \mathrm{F}[x(t),t]}{\partial x}\Big|_{t=t_f} \quad \textbf{(7.16)}$$

$\Delta J(t_f)$ (7.16) eşitliği sayesinde 0 olacaktır. $\Delta J(t_0, t_f)$ nin 0 olması için ise (7.15) nolu denklem ve aşağıdaki denklem sağlanmalıdır.

$$\frac{\partial H[x(t),u(t),\lambda(t),t]}{\partial u} = 0 \qquad \textbf{(7.17a)}$$

bu optimal çözüm koşulu şu şekilde de tanımlanabilir.

$$\left[\frac{\partial H[x(t),u(t),\lambda(t),t]}{\partial u}\right]^T = 0 \qquad \textbf{(7.17b)}$$

(7.15) ve (7.17) nolu denklemler Euler-Lagrange eşitlikleridir. t_f zamanı belirlendiğinde optimal çözüm için gerekli koşullardır.

Optimal yörünge nin oluşabilmesi için (7.3) ; (7.15) ; (7.17) eşitliklerinin (t_0, t_f) zaman aralığı içerisinde eşzamanlı olarak sağlanmalıdır.

Hamilton'un gradienti şu şekilde elde edilir ;

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial L}{\partial x} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial x} \qquad \textbf{(7.18a)}$$

$$\left[\frac{\partial H}{\partial x}\right]^T = \left[\frac{\partial L}{\partial x}\right]^T + F^T\lambda \qquad \textbf{(7.18b)}$$

$$\frac{\partial H}{\partial u} = \frac{\partial L}{\partial u} + \lambda^T \frac{\partial f}{\partial u} \qquad \textbf{(7.18c)}$$

$$\left[\frac{\partial H}{\partial u}\right]^T = \left[\frac{\partial L}{\partial u}\right]^T + G^T\lambda \qquad \textbf{(7.18d)}$$

Burada $\partial f / \partial x$ ve $\partial f / \partial u$ Jacobian matrisleridir, F ve G olarak sembolize edilmişlerdir.

Eşdurum vektörü lineer ve zamana bağlı diferansiyel denklemin integre edilmesiyle bulunur.

$$\dot{l}(t) = -F^T(t)l(t) - \left[\frac{\partial L(t)}{\partial x}\right]^T \quad \textbf{(7.19)}$$

Denkleme ait sınır koşulu aşağıda verilmiştir.

$$l(t_f) = \frac{\partial F[x(t),t]^T}{\partial x}\Big|_{t=t_f} \quad \textbf{(7.20)}$$

$\lambda(t)$ yi elde ettiğimizde (t zamanı; $t_0 \leq t \leq t_f$ aralığında) (7.21) denklemi çözüldüğünde u(t) için optimal kontrol hesaplanmış olur

$$\left[\frac{\partial L(t)}{\partial u}\right]^T + G^T(t)l(t) = 0 \quad \textbf{(7.21)}$$

Eşdurum vektörün optimal kontroldeki rolü şu şekilde açıklanabilir. $\lambda(t)$; amaç fonksiyonuna etkiyen dinamik zorlamalara bitişik durumdadır. Buda amaç fonksiyonunun dinamik etkilere olan duyarlılığını gösterir. Bu duyarlılık zaman sona erdiğinde $\partial Ø / \partial x$ olarak tanımlanır. Bundan dolayı $\lambda(t_f)$ son durum varyasyonlarının amaç fonksiyonuna etkilerini dengeler.

$[t_0, t_f]$ zaman aralığında eşdurum vektörün etkisi 2 farklı şekilde hissedilir. (7.19) nolu denklemde $\lambda(t)$, $(\partial L / \partial x)^T$ tarafından zorlanan F^T nin bir fonksiyonu olacak şekilde kendi değerinin etkili olmasını sağlar. Zaman aralığı içerisinde değeri bilinen $\lambda(t)$ gerekli kontrol miktarıyla orantılıdır. Bu miktar H_u yu sıfır yapar. (7.21)

Optimal çözüm bir labirent içerisinde ilerlemeye benzer. Bir tarafa dönmeye karar verdiğinizde sonraki dönüşlerin gerçek yol üzerinde getireceği etkileri bilmeye yardımcı olur. Optimal çözümde eşdurum vektör bu bilgiyi sağlar.

$\partial f(x, u) / \partial x$ gibi kısmi türevler sadece açıkça belirtilmiş değerler için çözülebilir ($x = x_0$; $u = u_0$). $x_0(t)$ ve $u_0(t)$ optimal durum ve kontrol sürecini göstermektedir.

Kontrol boyunca $x^*(t)$ ve $u^*(t)$ ($x^*(t)$ ve $u^*(t)$ optimal kontrol sürecinde bulunan miktarlardır) değerleri bulunur. En genel nonlineer durumda $x^*(t)$ ve $u^*(t)$ nin bulunma amacı başarılı yaklaşımlar için gerekli metodu kullanmaktır. Gerçek kabul edilecek cevap için makul bir tahmin yapmak ve doğru cevap için iterasyon yapabilmektir. Diğer taraftan lineer bir dinamik sistem için böyle problem yoktur, çünkü bütün kısmi türevler durum ve kontrol pertürbasyonlardan bağımsızdır.

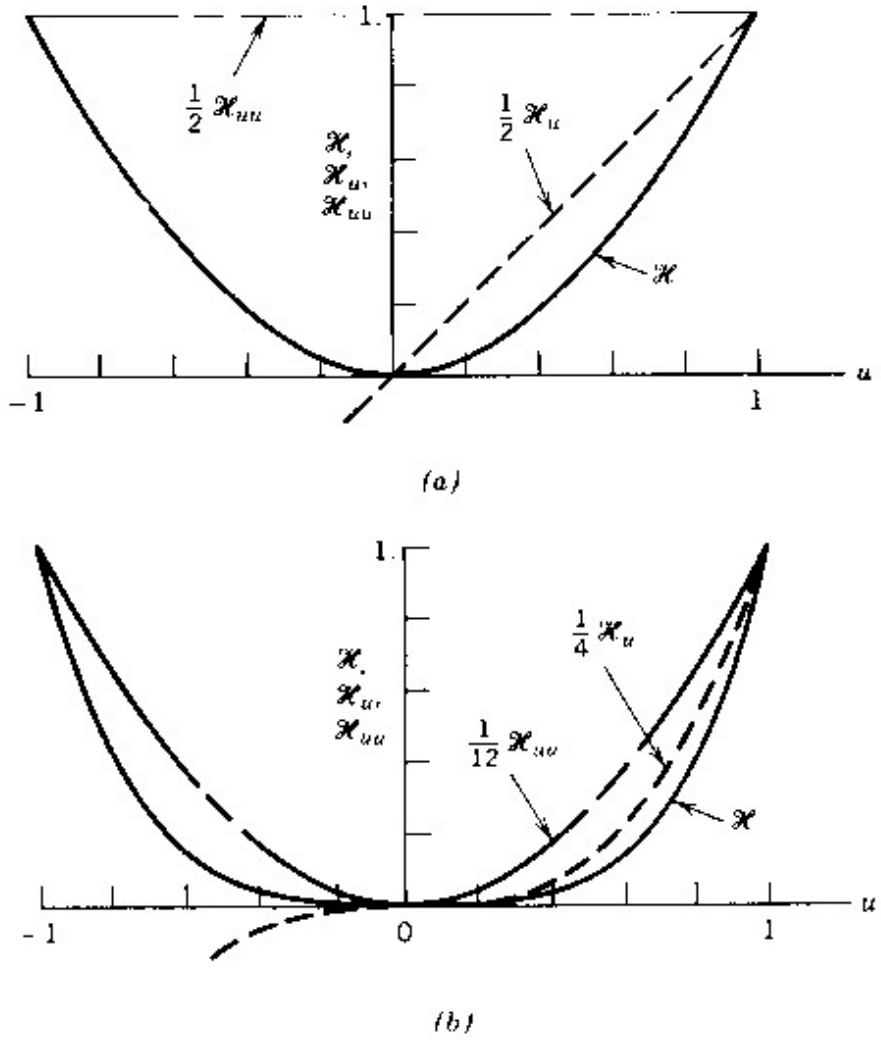
7.2. Optimal Çözüm İçin Yeterli Şartlar

Gerekli şartlar sağlanmış ve kontroldeki herhangi bir değişiklik sadece maliyeti arttırıyorsa, bu bilgiler optimal yörünge için yeterlidir. Sistemin başlangıç koşullarındaki değişiklikler optimal kontrol boyunca yeni tanımlamalara neden oluyorsa gerçek optimal yörünge tektir. Pek çok kontrol probleminde sistem hakkında yeterli bilgi ve amaç fonksiyonu seçiminde esneklik vardır. Sistemde optimal çözümü sağlayacak yeterli şartlar 3 ayrı test içerir [33].
En önemli olanı Legendre-Clebsch şartıdır.

$$\frac{\partial^2 H}{\partial u^2}\left[x^*(t), u^*(t), l^*(t), t\right] = H_{uu} > 0 \qquad \textbf{(7.22)}$$

[(t_0, t_f) zaman aralığındaki her bir t için]

Hamiltonian ın ikinci türevi $x^*(t)$ ve $u^*(t)$ (optimal yörünge –kontrol çifti) için pozitif değerdir. Optimal yörünge çevresinde dördüncü dereceden $\Delta u^T(t) H_{uu}(t)\, \Delta u(t)$ konveks biçimde şekilde görüldüğü gibi yuvarlak bir kase olarak tanımlanabilir. Konvekslik yüksek mertebeli türev ($\partial^4 H / \partial u^4$) sayesinde kanıtlanabilir.



Şekil 7.4 : iki konveks hamilton ve birinci ile ikinci türevleri
a) $H(u)=u^2$ b) $H(u)=u^4$

Kontrol edilebilir sistemler için (7.22) denklemine uygunluk optimal çözüm için yeterlidir. Yalnız unutulmamalı ki lokal bir ölçüttür. $H_{uu}(t)$, optimal yörünge boyunca u' ya bağlı H(t) nin eğimi ile doğru orantılıdır.

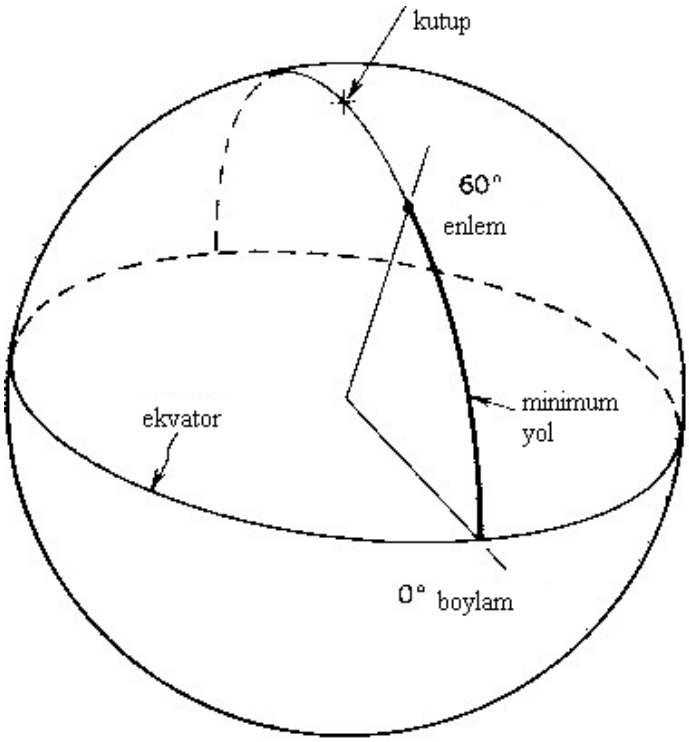
Bu şart $x^*(t)$ ve $u^*(t)$ nin en yakın komşuluğunda uygulanır. Ancak özellikle lineer olmayan sistemlerde H_{uu} pozitif olmayabilir ve bu da nümerik çözüm için dikkate değer bir sorundur.

Öncelikle optimal komşuluk yol ve non-optimal komşuluk yolu ayırt etmek gerekirse; $x_a(0)$ başlangıç koşulu için optimal yörünge ve kontrolü [$x_a^*(t)$ ve $u_a^*(t)$]

hesaplandığını varsayalım. Kontrol süreci $u_a^*(t)$ olarak düzenlendiğinde $x_b^*(0)$ için başlangıç koşulunda ufak miktarda bir değişiklik yapılırsa; yeni durum $x_b(t)$ (7.3) nolu denklemden türetilebilir. Fakat amaç fonksiyonunun (7.3) denklemini minimize edilmesini kabul edebileceğimiz bir neden yoktur. Bu durumda $[x_b^*(t)$ ve $u_b^*(t)]$ optimal olmayan bir çifttir. Diğer taraftan yeni başlangıç koşuluyla (7.3) ü integre ederken (7.15) ve (7.17) denklemlerini sağladığımızda amaç fonksiyonunu minimize edecek yeni bir optimal kontrol süreci $u_b^*(t)$ oluşur. Burada $[x_b^*(t)$ ve $u_b^*(t)]$ komşu-optimal çifttir [33].

Normallik koşulu komşuluk optimal yörünge nin mevcut olduğu ve son zorlamaların sağlandığı zamanki durum ve koşulları ifade eder. Sistemin kontrol edilebilir bir sistem olması gerekir. Aynı zamanda Legendre-Clebsch şartının sağlanmış olduğunu varsayar.

Eğer ki optimal yörüngeler kesişirse optimal çözüm için belirsizlik söz konusu olur. Kuzey kutbundan ekvatora olan en yakın uzaklığı ne kadar iyi tanımlasanız da minimum yolda bir belirsizlik söz konusudur. Çünkü herhangi bir boylamı takip ettiğinizde aynı mesafeyi alırsınız. Bu nedenle kuzey kutbu odak noktası adını alır. Bu öyle bir noktadır ki minimize edecek yollar eşit uzaklıktadır.



Şekil 7.5: odak noktası ve minimum yol için örnek

Yeterli şartlardan biri olan Jacobi koşulunda optimal çözüm yolu boyunca hiç odak noktası bulunmaz. Bu durumda optimal yol tektir.

7.3. Minimum Prensibi

Hamiltoniyen in birinci ve ikinci türevlerinin ;

$$\frac{\partial H}{\partial u}\left(x^*(t), u^*(t), l^*(t), t\right) = 0 \qquad \textbf{(7.23)}$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial u^2}\left(x^*(t), u^*(t), l^*(t), t\right) \geq 0 \qquad \textbf{(7.24)}$$

$[t_0, t_f]$ zaman aralığında $x^*(t)$ ve $u^*(t)$ nin optimal çözümü için gerekli ve yeterli şartları sağladığını görmüştük. (eğer ki sistem normal ve optimal çözüm yolunda odak noktası yoksa). $x^*(t)$ ve $\lambda^*(t)$ nin herhangi bir t anındaki parametreler olduğunu ele alırsak, bunların u' ya bağlı minimum H ' ın şartları olduğu görülür. Böylece ;

$$H^* = H\left(x^*(t), u^*(t), l^*(t), t\right) \leq H\left(x^*(t), u(t), l^*(t), t\right) \qquad \textbf{(7.25)}$$

($[t_0, t_f]$ zaman aralığında)

Burada u(t) makul bir komşuluk (optimal olmayan) kontrol sürecidir. Bu eşitlik optimal çözüm için minimum prensibi'i belirtmektedir. 1950 lerde Pontryagin ve yardımcıları tarafından geliştirilmiştir [33]. Eğer H durağan ve konveks ise minimum prensibi sağlanır. Eğer herhangi biri yok ise (7.25) sağlanamaz.

Minimum prensibi optimal çözüm için kabul gören bir kriter sağlamakta kullanılır. Aynı sınırlı şartların geçerli olduğu iki optimal yol için düşük H düşük maliyet demektir.

7.4. Hamilton-Jacobi-Bellman Eşitliği

Kısaltılmış zaman aralığı $[t_1, t_f]$ içerisinde amaç fonksiyonu ile ilişkilendirilmiş bir değer fonksiyonunun minimize edilmesini düşünelim. t_1 biliniyor ve $t_0 \le t_1 \le t_f$ aralığında ayrıca kontrol sınırlandırılmamış olsun.

$[t_1, t_f]$ aralığında $u(t) = u^*(t)$ optimal çözümü bulunduğunda değer fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$V^*[x^*(t_1),t_1] = F\left[x^*(t_f),t_f\right] + \int_{t_1}^{t_f} L\left[x^*(t),u^*(t),t\right]dt$$

$$= F\left[x^*(t_f),t_f\right] - \int_{t_f}^{t_1} L\left[x^*(t),u^*(t),t\right]dt$$

$$= \min_u \left\{ F\left[x^*(t_f),t_f\right] - \int_{t_f}^{t_1} L\left[x^*(t),u^*(t),t\right]dt \right\} \qquad \textbf{(7.26)}$$

Dinamik zorlamaların sağlandığı düşünülürse;

$$\dot{x}^*(t) = f\left[x^*(t),u^*(t),t\right] \qquad x^*(t_1) = t_1 \qquad \textbf{(7.27)}$$

elde edilir.

Bu durumda değer fonksiyonunun zamana bağlı türevi

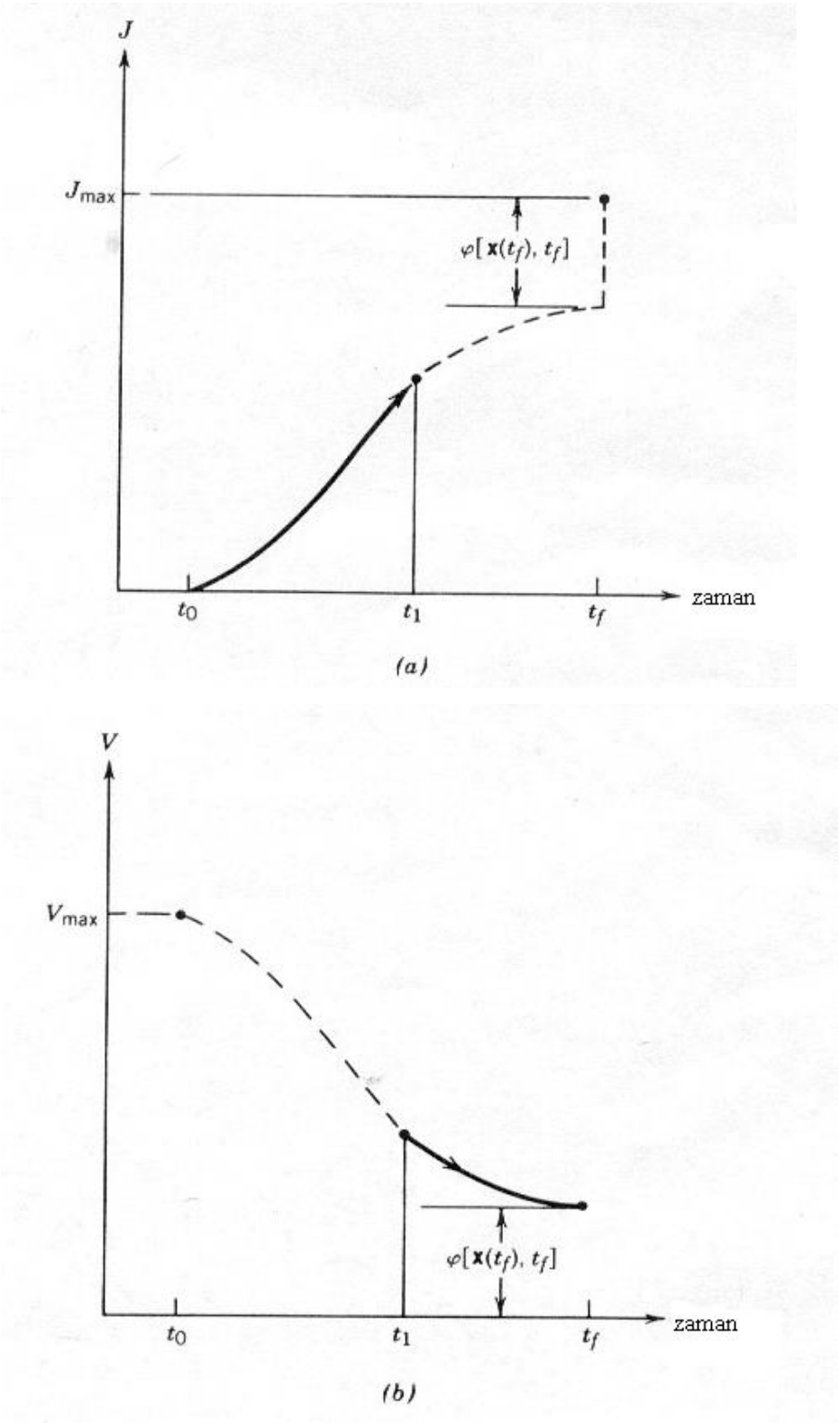
$$\frac{\partial V^*}{\partial t}\Big|_{t=t_1} = -L\left[x^*(t_1),u^*(t_1),t_1\right] \qquad \textbf{(7.28)}$$

olarak bulunur.

Eşitliğin sol tarafındaki (-) uygundur çünkü V^* nin minimum değeri t_f anında maksimum değeri de t_0 anında oluşur.

Değer fonksiyonu V ile amaç fonksiyonu J arasındaki farkı şu şekilde özetleyebiliriz. V maksimum değerini t_0 anında minimum değerini t_f anında alır. J ise tam tersidir. Her ikisi de pozitif değerdir ve verilen bir yörünge için $V_{max} = J_{max}$

dur. İki fonksiyon arasındaki farkı aşağıdaki şekilde ve denklemlerde görmek mümkündür.



Şekil 7.6 : Amaç ve Değer fonksiyonlarının karşılaştırılması

$$V(t) = \begin{cases} J_{\max} - J(t), \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots t < t_f \\ V_{\min} = F[x(t_f), t_f], \ldots\ldots t = t_f \end{cases} \quad \textbf{(7.29)}$$

$$J(t) = \begin{cases} V_{\max} - V(t), \ldots\ldots\ldots t < t_{f-} \\ V_{\max} - V_{\min}, \ldots\ldots\ldots t = t_{f-} \\ V_{\max}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots t = t_{f+} \end{cases} \quad \textbf{(7.30)}$$

V^* nin t ve x e bağlı kısmi türevlerinin türevin tamamı tarafından kapsandığını düşünürsek;

$$\frac{dV^*}{dt}\Big|_{t=t_1} = \left(\frac{\partial V^*}{\partial t} + \frac{\partial V^*}{\partial x}\dot{x}\right)_{t=t_1}$$

$$= \left(\frac{\partial V^*}{\partial t} + \frac{\partial V^*}{\partial x} f\right)_{t=t_1} \quad \textbf{(7.31)}$$

denklemleri birleştirdiğimizde;

$$\frac{\partial V^*}{\partial t}[x^*(t_1), t_1] = -L[x^*(t_1), u^*(t_1), t_1] - \frac{\partial V^*}{\partial t}[x^*(t_1), t_1] f[x^*(t_1), u^*(t_1), t_1] \quad \textbf{(7.32)}$$

f nin L ye $\partial V / \partial x$ ile eşdurumu olacak şekilde hamiltoniyen i yeniden tanımlarsak

$$\frac{\partial V^*}{\partial t}[x^*(t_1), t_1] = -H\left[x^*(t_1), u^*(t_1), \frac{\partial V^*}{\partial t}[x^*(t_1), t_1]\right]$$

$$= -\min_u H\left[x^*(t_1), u^*(t_1), \frac{\partial V^*}{\partial t}[x^*(t_1), t_1]\right] \quad \textbf{(7.33)}$$

denklemi elde edilir.

Bu eşitlik Hamilton-Jacobi-Bellman eşitliği olarak bilinir. HJB eşitliği yeterli şarttır. Gerekli bir şart değildir. Değer fonksiyonu parçalı diferansiyel denklemi çözmek için gerekli olan diferansiyellik ve süreklilik koşullarını sağlayacakken hata

verebilir. Yeterliliğin oluşması için H nın minimum değerini (her x ve t için u ya bağlı) tek olması gerekir [33].
Birkaç istisnai durum dışında, HJB eşitliği Euler- Lagrange denklemlerine göre çözümü daha zor denklemlerdir. HJB denklemi yeterlilik için kontrol amaçlı kullanılması daha doğrudur [33]. sonuç olarak minimum principle ve HJB denklemi optimal çözüm için tamamlayıcı araçlar denilebilir.

7.5. Sayısal Optimizasyon

Karmaşık problemler sistemin diferansiyel denklemlerinin doğrusal olmaması durumuyla birleştiğinde çok boyutlu veya ayrık nokta tabloları olarak tasvir edilir. Bu tarz denklemleri entegre ederken, Euler-Lagrange denklemleri için gerekli parçalı türevlerin çözümü ile optimal çözümün bulunabilmesi için bilgisayar yardımına ihtiyaç duyulur.

Bütün dijital hesaplamalar için sistemin diferansiyel eşitliği başlangıçtan sona kadar belirli zaman artımları içerisinde iterasyon yapılır. Eşdurum diferansiyel denklemde ise sondan başa zaman artırımları içerisinde iterasyon yapılır ve optimal çözüm amaç fonksiyonunu azaltacak şekilde sonuçlandırılır.

Optimal kontrol süreci $u^*(t)$ $t_0 \leq t \leq t_f$ ve karşı gelen durum vektörü, x(t) nin bulunması için yapılan iterasyon teknikleri n bileşenli diferansiyel denklemler için çözüm sağlamalıdır.

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t] \qquad \textbf{(7.34)}$$

Amaç fonksiyonunu minimize ederken $x(t_0)$ için başlangıç koşullarını uygularsak;

$$J = F[x(t_f), t_f] + \int_{to}^{tf} L[x(t), u(t), t]dt \qquad \textbf{(7.35)}$$

elde edilir.

Eşdurum vektör ise aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\dot{l}(t) = -\left[\frac{\partial H[x(t),u(t),l(t),t]}{\partial x}\right]^T \qquad \textbf{(7.36)}$$

Son olarak optimallik şartı hesaplanır.

$$0 = \frac{\partial H[x(t),u(t),l(t),t]}{\partial u} \qquad \textbf{(7.37)}$$

ve böylece yeterli şartlar kanıtlanmış olur.

Sayısal çözüm Penaltı Fonksiyonu, Dinamik Programlama, Komşu Ekstremler, Kuasi-doğrusallaştırma ve Gradyan Metodu kullanılarak bulunabilir [33]. Bu metodlar arasındaki başlıca farklar; çözümün iterasyon ile yapılması ve problemin formulasyonunun değişiklik göstermesidir. Tablo 7.1 de nümerik çözüm metodları karşılaştırılmıştır.

Tablo 7.1 : Sayısal optimizasyon metodlarının karşılaştırılması

sayısal optimizasyon metodları	**optimal çözümün sonucu**	**çözüm metodu**			**iterasyon değişkenleri**
		x(t)	**λ(t)**	**u(t)**	
parametrik	yaklaşık	DD	-	iter	$u(k_u, t)$
penaltı fonksiyonu	yaklaşık	iter	-	iter	$x(k_x, t)$ $x(k_u, t)$
dinamik programlama	kesin	DD	KDD	iter	u(t)
komşu ekstremler	kesin	DD	DD	$H_u = 0$	$\lambda(t_o)$
kuasi-doğrusallaştırma	kesin	iter	iter	$H_u = 0$	x(t), λ(t)
gradyan	kesin	DD	DD	iter	u(t)

DD = diferansiyel denklem

KDD = kısmi diferansiyel denklem HJB denklemi, tek bağlı değişken (v), (n+1) bağımsız değişken (x,t)

İter = iterasyon

7.5.1. Penaltı fonksiyonu

Penaltı Fonksiyonu metodu amaç fonksiyonuna etkiyen dinamik zorlamalara katılmaktadır [33].

$$J = \mathrm{F}[x(t_f),,t_f] + \int_{to}^{tf} \{L[x(t),u(t),t] + \frac{1}{\mu}\left[\dot{x}(t) - f[x(t),u(t),t]\right]^T \left[\dot{x}(t) - f[x(t),u(t),t]\right] \quad \textbf{(7.38)}$$

Є küçük, pozitif ve x(t) ve u(t) önceden seçilmiş zamanın bilinen fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonlar sonuç şartlarını tam olarak sağlarlar.

$$x(t) = x(k_x,t) \quad \textbf{(7.39)}$$

$$u(t) = u(k_u,t) \quad \textbf{(7.40)}$$

k_x ve k_u parametre vektörleridir. Örneğin x(t) ve u(t) nin başlangıç değerleri t anında lineer olabilir. x(t) nin optimal çözümün her anında bilindiği sürece $\dot{x}(t)$ hesaplanabilir. Böylece (7.38) denklemi (7.34) ün integre edilmesine gerek kalmadan hesaplanabilir. Yinede durum denkleminin sağlanması garanti değildir. İterasyon J minimum olana kadar k_x ve k_u üzerindeki değişiklikler yapılarak ilerlemektedir. J nin doğru bir şekilde çözümü sadece (7.39) ve (7.40) denklemlerinin kesin çözüm vermesine bağlıdır [33].

7.5.2. Dinamik programlama

Dinamik programlama iterasyon için Euler-Lagrange denklemleri (7.36) ve (7.37) yerine HJB denklemlerini (7.32) ve (7.33) kullanır.

x için n. dereceden diferansiyel denklem dinamik zorlamalara bağlı olarak parçalı diferansiyel denklemin integrali J ‘yi minimum yapmalıdır. Parçalı diferansiyel denklemin tek bir çözümü olduğu halde; (n+1) adet bağımsız değişkeni (x,t) vardır ve nümerik çözümü zordur [33].

7.5.3. Komşu ekstremler metodu

Komşu ekstremler yaklaşımında $\lambda(t_0)$ 'ın başlangıç değerleri tahmin edilir ve (7.34) ve (7.36) denklemleri t_0 dan t_f ye (7.37) kullanılarak integre edilir.

$$u(t) = u[x(t), l(t), t] \qquad \textbf{(7.41)}$$

(7.37) den u(t) için elde edilecek sonuç detaylı bir hesaplamaya gerek duyacağından iterasyona bağlı sıfır bulma algoritması gerekli olabilir. Bu algoritmayla H_u 'nun her bileşenini sıfır yapacak u(t) vektörü bulunabilir. Sonuç ekstrem yörünge dir [33]. (çünkü Euler-Lagrange denklemlerini sağlamaktadır.) Son şartları [$\lambda(t_f)$ ve $x(t_f)$] yi sağlayamayabilir. λ ' nın başlangıç değerleri sondaki bazı hatalardan dolayı bozulabilir ve bu durumda optimizasyon tekrarlanmalıdır. Bu durum shooting method olarak adlandırılır. x ve λ nın bütün bileşenleri başlangıç durumundan hedef durumuna doğru yönlendirilmiştir.

7.5.4. Kuasi-doğrusallaştırma metodu

Bu metotta başlangıçta bir tahmin yapılmalıdır. Bu tahmin sadece durum vektörü x(t) ve başlangıç anındaki eşdurum vektörü $\lambda(t_0)$ için yeterli değildir. Tüm eşdurum vektörü $\lambda(t)$ için tahmin yapılmalıdır. [t_0, t_f] zaman aralığında verilen $x_0(t)$ ve $\lambda_0(t)$ değerleri ile (7.41) nolu denklemi kullanarak $u_0(t)$ 'yi hesaplanabilir. Bu durumda durum denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f[x(t), u_0(t), t] \\ &= f'[x(t), l_0(t), t] \end{aligned} \qquad \textbf{(7.42)}$$

Yine de keyfi olarak seçilmiş $x_0(t)$ ve $\lambda_0(t)$ nin (7.42) yi sağlaması garanti değildir. Benzer şekilde (7.41) ' de sağlanamayabilir. Şans yardımıyla doğru değerler seçildiğinde [$x_0(t)$ ve $\lambda_0(t)$] ve [x*(t) ve u*(t)] arasındaki fark modellenebilir.

(7.34) ve (7.35) denklemlerinin her iki tarafını genişletirsek

$$\dot{x}_0(t) - f'[x(t), l_0(t), t] @ - D\dot{x}_0(t) + \left[\frac{\partial f'}{\partial x} Dx_0(t) + \frac{\partial f'}{\partial l} Dl_0(t)\right]_{x = x_0; l = l_0} \quad \textbf{(7.43)}$$

$$\dot{l}_0(t) + H_x^T[x_0(t), l_0(t), t] @ - D\dot{l}_0(t) - \left[\frac{\partial}{\partial u} H_x^T Dx_0(t) + \frac{\partial'}{\partial l} H_x^T Dl_0(t)\right]_{x = x_0; l = l_0} \quad \textbf{(7.44)}$$

H = Hamilton (L ve f' için)

H^T_x = x ' e bağlı eğimi

[$x_0(t)$ ve $\lambda_0(t)$] aralığındaki gerekli çözümler yapıldığında

$$D\dot{x}_0(t) = F(t)Dx_0(t) + G(t)Dl_0(t) \quad \textbf{(7.45)}$$

$$D\dot{l}_0(t) = H(t)Dx_0(t) + K(t)Dl_0(t) \quad \textbf{(7.46)}$$

[t_0, t_f] aralığındaki $\Delta x(t)$ ve $\Delta\lambda(t)$ elde edilecek şekilde çözülebilir.

x*(t), u*(t) ve λ*(t) yi bulmak için yapılan iterasyon durum ve eşdurum sürecinin bir sonraki değerlerinin başarısına bağlıdır [33].

$$\begin{bmatrix} x_{k+1}(t) \\ l_{k+1}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k(t) \\ l_k(t) \end{bmatrix} + \varepsilon \begin{bmatrix} Dx_k(t) \\ Dl_k(t) \end{bmatrix} \quad \textbf{(7.47)}$$

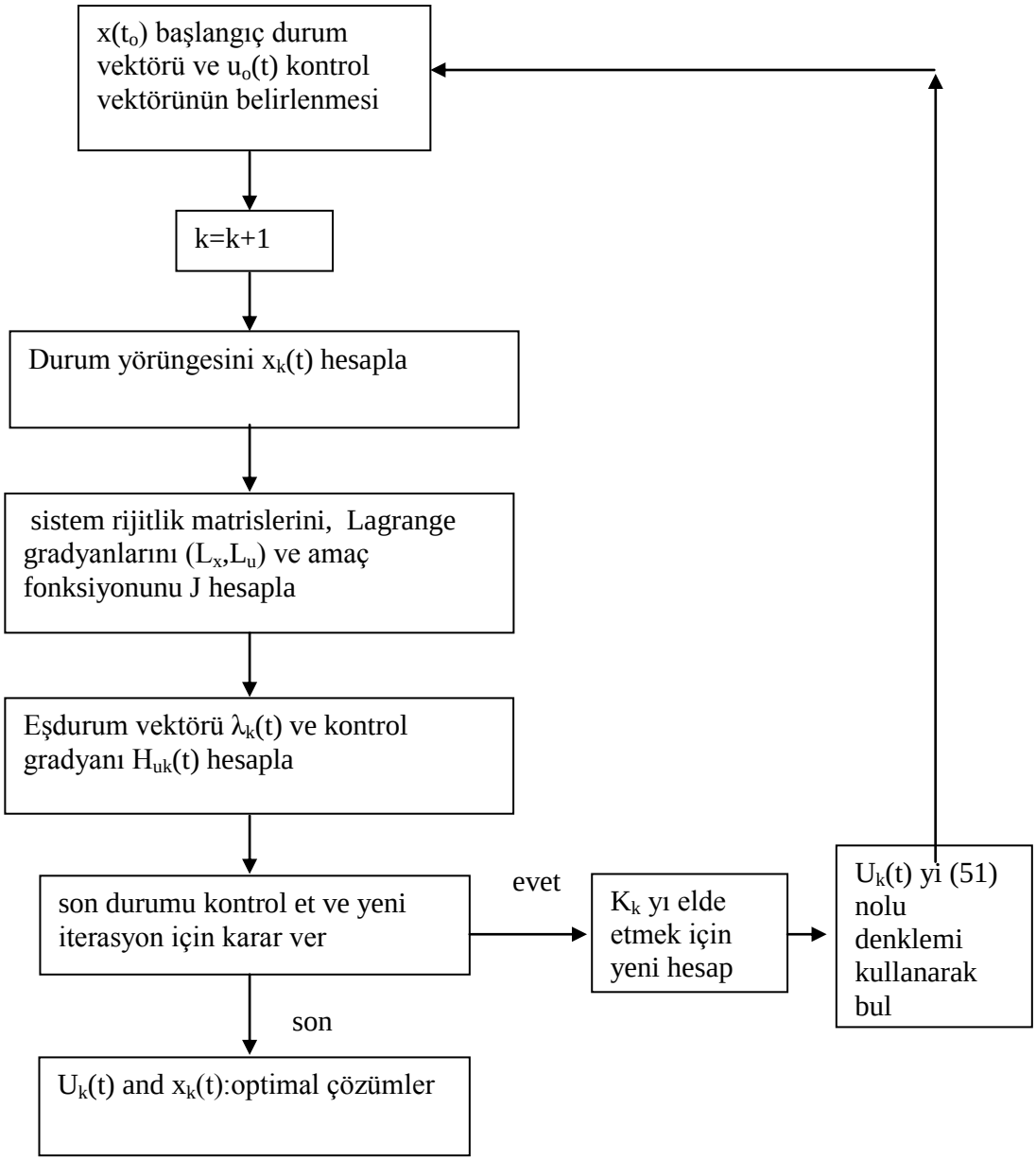
(7.37) deki kontrolü de eklersek

$$u_{k+1}(t) = u[x_{k+1}(t), l_{k+1}(t), t], \quad \textbf{(7.48)}$$

ε<1 (iterasyonda yakınsamayı erken sağlamak için) kabul edilir. k ise optimizasyon basamağıdır. F(t), G(t), H(t) ve K(t) her adımda değişen x ve λ değerlerini hesaplamak için tekrar çözülür.

7.5.5 Gradyan metodu

Bu metotta dinamik sistem denklemi her iterasyon için tam olarak çözülür. Başka bir deyişle bu metotta bir iterasyondan diğerine sistemin dinamik etkisi çeşitli kontrol süreçlerinde taklit edilir ve optimal çözümün fiziksel etkileri her basamakta görülür [33]. Şekil 7.7 de gradient metotun şeması verilmiştir.



Şekil 7.7: Gradyan metod akış şeması

Başarılı bir iterasyon başlangıç yörünge den son yörünge e kadar adım adım ilerleme ile amaç fonksiyonunu azaltacak ayarlamalara bağlıdır. İşlem başlangıç koşulları ile kontrol sürecinin belirtilmesi ile başlar. $x_0(t)$ yi elde etmek için t_0 dan t_f ye (7.34) i integre edilirr. Aynı anda F(t) ve G(t) ile Lagrangian gradients [$L_x(t)$ ve $L_u(t)$] çözülür. Burada aşağıdaki jacobian matrisleri kullanılır.

$$\frac{\partial F(t)}{\partial v} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(t)}{\partial x}_{nxn} & \frac{\partial f(t)}{\partial u}_{nxm} \\ \frac{\partial L(t)}{\partial x}_{1xn} & \frac{\partial L(t)}{\partial u}_{1xm} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(7.49)}$$

Buradaki F değeri

$$F = \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{J} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x(t),u(t),t) \\ L(x(t),u(t),t) \end{bmatrix} \qquad v = \begin{Bmatrix} x \\ u \end{Bmatrix} \qquad \textbf{(7.50)}$$

(7.49) daki kısmi türevler sadece x(t) = $x_0(t)$ ve u(t) = $u_0(t)$ olduğu durumlarda hesaplanabilir.∂f / ∂x, ∂f / ∂u, ∂L / ∂x ve ∂L / ∂u değerlerinin (7.49) ve (7.50) nolu denklemlerinin hesaplanmasıyla eşdurum vektörü $\lambda_0(t)$ (7.8) ün integrasyonuyla elde edilir. ∂H / ∂u değeride (7.9) den bulunur. Kontrol yörünge $u_k(t)$ şu durumda steepest descent doğrultusunda yenilenir.

$$u_{k+1}(t) = u_k(t) - K_k \frac{\partial H}{\partial u_k}(t) \qquad \textbf{(7.51)}$$

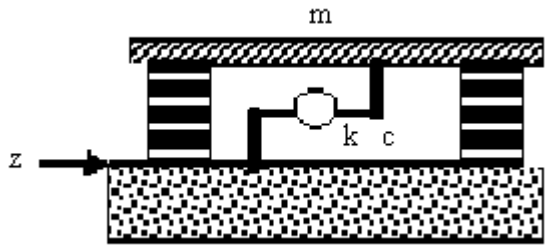
Burada K_k skaler gradyan kazancıdır. K_k nın uygun seçimi optimal kontrol yörünge için hızlı birleşimleri başarmak açısından çok önemlidir.

Kontrol süreci ve çözüm, optimal durum için yeterli olana kadar tekrar edilir. Pek çok durumda yeterliliğin her bir iterasyon için kanıtlanmasına gerek yoktur. Böylece H_{uu} nun hesaplanması isteğe bağlı olur. İterasyon işlemini durdurma koşulunun seçimi çeşitlilik gösterir ve rastgele yapılır. Eğer ki amaç fonksiyonu J yi minimize edecek değeri biliniyorsa, iterasyon bu bilinen değere yakın, kabul edilebilecek bir değer hesaplandığında iterasyon durdurulabilir. Öteki türlü kontrol eğiminin fonksiyonu $H_u(t)$ 0 a yakın olduğunda iterasyon bitirilebilir.

8. TEK SERBEST DERECELİ YAPI İÇİN YARI-AKTİF KONTROL UYGULAMALARI

Taban izolasyonu uygulanmış yapılarda oluşabilecek büyük yatay deplasmanlar sistemde depremden sonra kalıcı deformasyonlar oluşturabilmekte ve bu deformasyonlar zaman içerisinde sistemi devre dışı bırakabilirler. Bu olumsuz etkilerin giderilebilmesi için taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları yerleştirilerek sistemin enerji sönümlemesi arttırılabilir.

Bu çalışmada tek serbestlik dereceli bir yapıda farklı yarı-aktif kontrol uygulamaları ile optimal kontrolün yapı üzerindeki etkileri araştırılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.1: tek serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yapı

Şekil de belirtilen sistemde

m = 100,000 kg

k = 3,948,000 N/m

c = 62,800 N/m/sn

w_n = 2Π rad/sn

olarak kabul edilmiştir. Sistemin hareket denklemi

$$m\ddot{r} + kr + c_0\dot{r} + f = -m\ddot{z}(t) \qquad \textbf{(8.1)}$$

Bu bölümde yukarıda ki sistemi 3 farklı yarı-aktif kontrol sistemi ile çözülüp çıkan sonuçlar optimal çözüm sonucuyla karşılaştırılacaktır.

8.1. Çözüm İçin Kullanılan Kontrol Yöntemleri ve Analiz Sonuçları

8.1.1 Sürekli skyhook kontrolü

Tek serbestlik dereceli bir sistem düşünelim. Bu sistemde bir skyhook sönümleyici bulunsun. Bu durumda sönümleme kuvveti şu şekilde yazılabilir

$$F_{sky} = c_{sky}\dot{x} \qquad \textbf{(8.2)}$$

F_{sky} = skyhook sönümleme kuvveti

$\dot{x}$ = kütleye etkiyen hız

C_{sky} = skyhook sönümleyicisinin sönüm katsayısı

Bu sistemde amaç taban ile kütle arasına konmuş geleneksel yani pasif bir kontrol sisteminde elde edilecek kuvveti yarı aktif bir sönümleyici olarak yerine getirilmesidir. Yarı-aktif sönümleme $\dot{x}-\dot{x}_0$ kuvveti, F_{sa}, relatif hız aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır [33].

$$F_{sa}(\dot{x}-\dot{x}_0) \geq 0 \qquad \textbf{(8.3)}$$

İstenen kuvvet $c_{sky}\dot{x}$ dır. Yalnız yarı-aktif sönümleyici bu kuvveti sadece $\dot{x}$ ve $\dot{x}-\dot{x}_0$ aynı işaretli olduklarında sağlar. Eğer zıt işaretli olurlarsa yarı-aktif sönümleyici istenen kuvvete karşı bir kuvvet sağlar. Böyle bir durumda kuvvet oluşturmamak en iyisidir. Sonuç olarak ortaya çıkan sürekli yarı-aktif skyhook kontrol algoritması aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$F_{sa} = \begin{cases} c_{sky}\dot{x}, & \dot{x}(\dot{x}-\dot{x}_0) \geq 0 \\ 0, & \dot{x}(\dot{x}-\dot{x}_0) < 0 \end{cases} \qquad \textbf{(8.4)}$$

Sönümleyici açık olduğunda sönümleme kuvveti;

$$F_{sa} = c_{sa}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \tag{8.5}$$

c_{sa} yarı-aktif sönümleme katsayısıdır. (8.4) ve (8.5) den

$$c_{sa} = \begin{cases} \dfrac{c_{sky}\,\dot{x}}{\dot{x} - \dot{x}_0}, & \dot{x}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \geq 0 \\ 0, & \dot{x}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) < 0 \end{cases} \tag{8.6}$$

(8.6) da görüldüğü üzere relatif hız küçüldüğü zaman gerekli sönümleme katsayısı aniden yükselmekte ve sonsuzluğa yönelmektedir. Fakat pratikte bu katsayı sönümleyicinin fiziksel özellikleriyle sınırlanmıştır [33]. Bunun anlamı üst, c_{maks}, ve alt, c_{min} sınırları olduğudur. Böylece (8.6) yı yeniden yazarsak

$$c_{sa} = \begin{cases} \max\left[c_{\min}, \min\left[\dfrac{c_{sky}\,\dot{x}}{\dot{x} - \dot{x}_0}, c_{maks}\right]\right] & \dot{x}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \geq 0 \\ \min, & \dot{x}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) < 0 \end{cases} \tag{8.7}$$

8.1.2. Açık-kapalı denge kontrolü

Balans kontrol de yay kuvveti ortadan kaldırılmaya çalışır. Relatif kontrol olarak da adlandırılır. Bunun nedeni şartın relatif yerdeğiştirme ve relatif hıza bağlı olmasıdır [34].

Zemine yerleştirilmiş pasif bir S.D.O.F. sistem düşünelim. Şu durumda etki eden ivme

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m}\left(F_k + F_d\right) \tag{8.8}$$

F_k ve F_d sırasıyla yay kuvveti ve sönüm kuvvetidir.

$$F_k = k(x - x_0) \tag{8.9}$$

$$F_d = c\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \tag{8.10}$$

Kütleye etki eden ivmenin değerini yay ve sönüm kuvvetleri cinsinden yazarsak

$$|\ddot{x}| = \begin{cases} \dfrac{|F_k| + |F_d|}{m} & t_0 < t < t_0 + \dfrac{t}{4} \\ & t_0 \dfrac{t}{2} < t < t_0 + \dfrac{3t}{4} \end{cases} \tag{8.11}$$

$$|\ddot{x}| = \begin{cases} \dfrac{|F_k| - |F_d|}{m} & t_0 \dfrac{t}{4} < t < t_0 + \dfrac{t}{2} \\ & t_0 \dfrac{3t}{4} < t < t_0 + t \end{cases} \tag{8.12}$$

Burada t_0 değeri $\ddot{x} = 0$ olduğu an, t ise titreşim periodudur.(8.11) görüldüğü üzere sönümleme kuvveti dairenin iki çeyreğinde ivmeyi arttırmaktadır [33]. Kalan bölümlerde (8.12) de açıkça belli olduğu üzere yavaşlama söz konusudur.

Yay ve sönümleme başka bir deyişle relatif hız ve relatif yerdeğiştirme aynı işaretli olduğu zaman sönümleme kuvveti ivmeyi arttırmaktadır.

$$F_{sa} = \begin{cases} c_{on}\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right), & (x - x_0)\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \leq 0 \\ 0, & (x - x_0)\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) > 0 \end{cases} \tag{8.13}$$

c_{on} sönümleyicinin açık haldeyken sönümleme katsayısıdır. Sönümleme katsayısı ;

$$c_{sa} = \begin{cases} c_{\max}, & (x - x_0)\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) \leq 0 \\ c_{\min}, & (x - x_0)\left(\dot{x} - \dot{x}_0\right) > 0 \end{cases} \tag{8.14}$$

8.1.3. Bang-bang kontrol

Bir sistemde Bang-Bang sönümleyici bulunduğunda sönümleme kuvveti şu şekilde yazılabilir.

$$F = c_s \dot{x} v \qquad \textbf{(8.18)}$$

F = Bang-Bang sönümleme kuvveti

$\dot{x}$ = kütleye etkiyen hız

C = Bang-Bang sönümleyicisinin sönüm katsayısı

V = valf kontrolü

Vananın davranışını temsil ede diferansiyel denklem aşağıda verilmiştir.

$$\dot{v} = \left(\frac{1}{T_v}\right)\left(v - H\left(f * \left(\dot{r} + \dot{z}\right)\right)\right) \qquad \textbf{(8.19)}$$

T_v = 0,04 sn olarak kabul edilmiştir. Sönümleyicinin kuvveti üretmesindeki zaman gecikmesini ifade etmektedir.

8.1.4. Analiz için kullanılan deprem kayıtları

ELCEW = Imperial Valley depremi El-Centro kaydı 18 Mayıs 1940

ELCNS = Imperial Valley depremi El-Centro kaydı 18 Mayıs 1940

KOBEEW = Kobe depremi Kobe Kaydı 17 Ocak 1996

KOBENS = Kobe depremi Kobe Kaydı 17 Ocak 1996

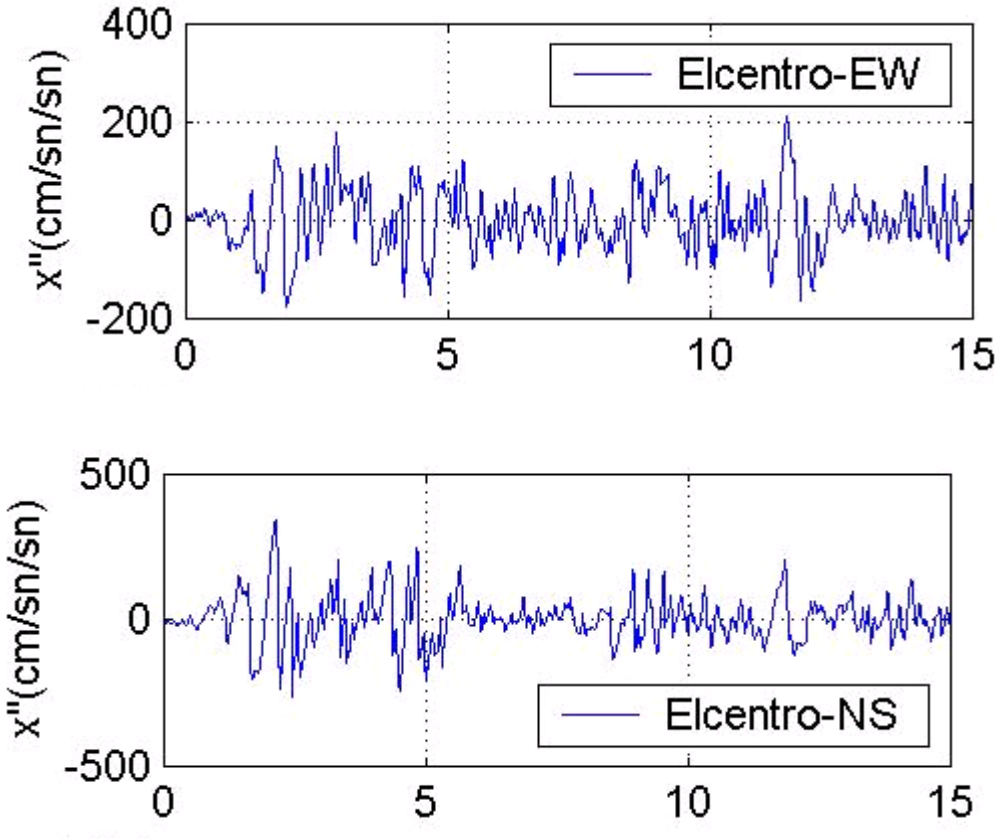
RIEW = Northridge depremi Rinaldi kaydı 17 Ocak 1994

RINS = Northridge depremi Rinaldi kaydı 17 Ocak 1994

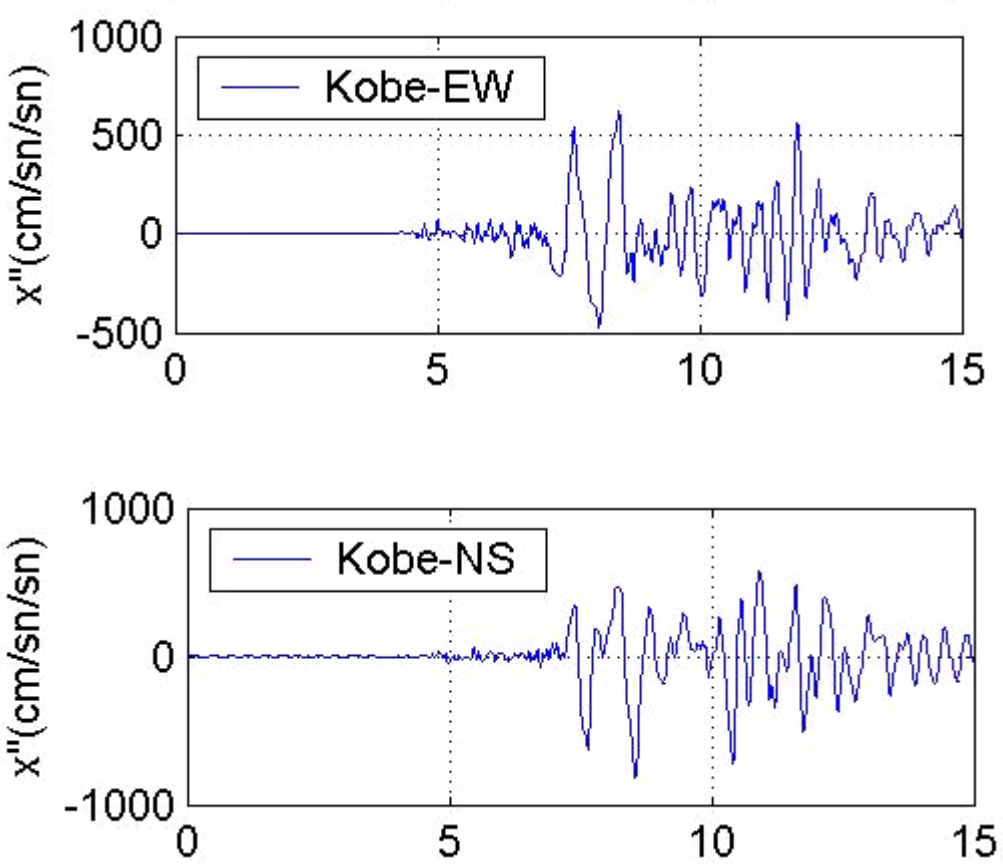
SYEW = Northridge depremi Sylmar kaydı 17 Ocak 1994

SYNS = Northridge depremi Sylmar kaydı 17 Ocak 1994

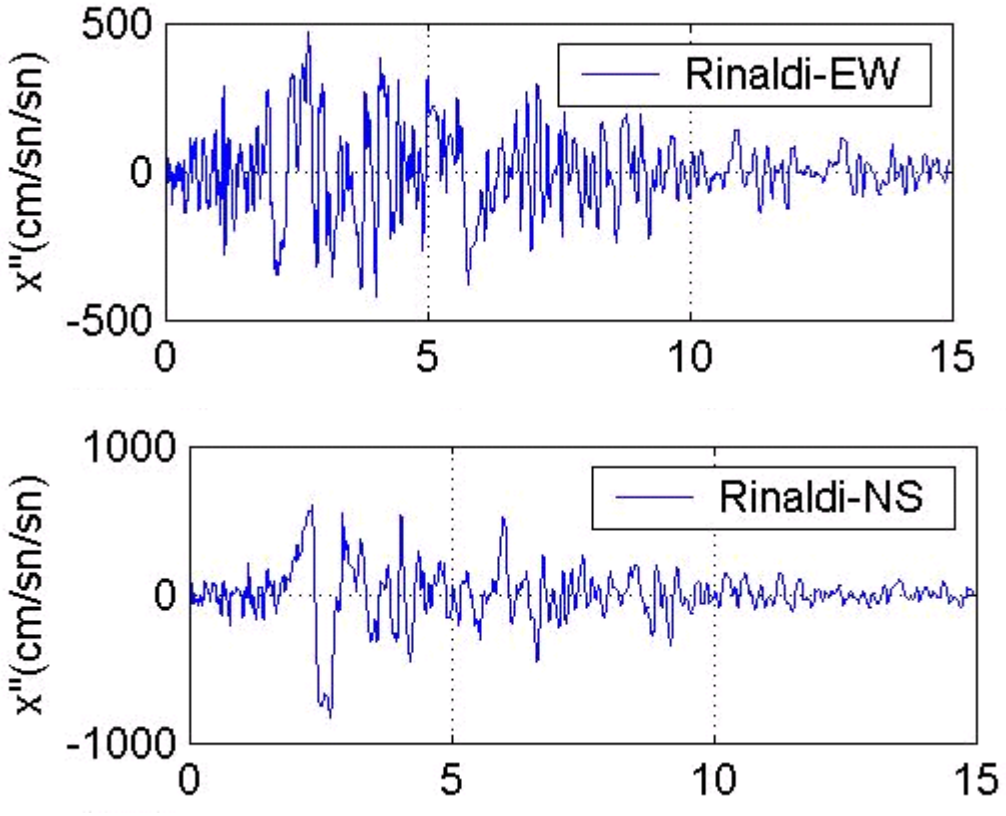
Analiz için kullanılan depremlerin ivme-zaman grafikleri Şekil 8.2., Şekil 8.3, Şekil 8.4 ve Şekil 8.5 de verilmiştir.



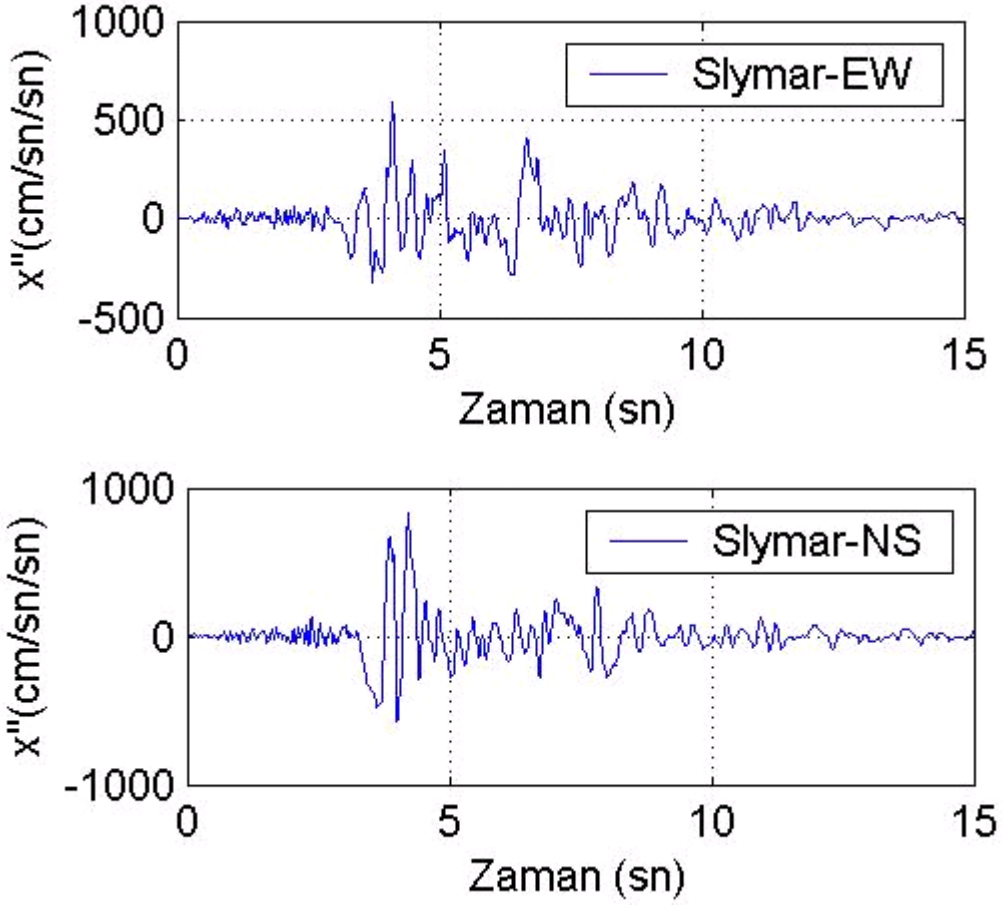
Şekil 8.2 El-Centro depremi doğu-batı ve kuzey-güney deprem kayıtları ivme-zaman grafikleri



Şekil 8.3: Kobe depremi doğu-batı ve kuzey-güney deprem kayıtları ivme-zaman grafikleri



Şekil 8.4: Rinaldi depremi doğu-batı ve kuzey-güney deprem kayıtları ivme-zaman grafikleri



Şekil 8.5: Slymar depremi doğu-batı ve kuzey-güney deprem kayıtları ivme-zaman grafikleri

8.1.5. Analiz sonuçları

Yukarıda kayıtları verilmiş olan depremlere karşı yapılmış olan kontrol sonuçları aşağıdaki Tablo 8.1 - 8.8 karşılaştırılmıştır. Tablolardaki;

f_a = sürekli skyhook kontrolü

f_b = açık-kapalı balans kontrolü

f_c = bang-bang kontrolü

f_o = optimal kontrol

sonuçlarını göstermektedir. Tablolardaki sonuçların grafikleri Ekler bölümünde verilmiştir.

Tablo 8.1: El-Centro Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları

E L C E W		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,069	0,065	0,063	0,065	0,024
Hız	$\dot{r}$	0,44	0,38	0,39	0,41	0,202
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	64,99	48,47	48,48	48,46	47,12
İvme	$\ddot{r}$	3,10	3,39	3,30	3,28	2,66
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	297,27	207,74	207,85	207,88	114,27
Kuvvet	f	1,12e+04	2,38e+04	2,42e+04	1,64e+04	1,42e+04

Tablo 8.2: El-Centro Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları

E L C N S		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,128	0,091	0,087	0,098	0,035
Hız	$\dot{r}$	0,906	0,63	0,64	0,71	0,28
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	97,66	37,92	37,93	37,91	32,63
İvme	$\ddot{r}$	7,13	5,15	5,18	5,72	3,603
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	562,94	338,01	338,13	337,97	152,66
Kuvvet	f	0,00	3,95e+04	3,99e+04	2,82e+04	2,47e+04

Tablo 8.3: Kobe Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları

K O B E E W	**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**

Yerdeğiştirme	r	0,304	0,254	0,252	0,269	0,083
Hız	$\dot{r}$	2,14	1,87	1,849	1,954	0,66
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	205,69	74,79	74,90	74,81	50,67
İvme	$\ddot{r}$	15,23	12,877	12,467	13,068	7,98
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	1362,30	608,85	609,72	608,87	349,48
Kuvvet	f	5,38e+04	1,17e+05	1,16e+05	7,89e+04	5,91e+05

Tablo 8.4: Kobe Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları

K O B E N S		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,37	0,315	0,313	0,335	0,085
Hız	$\dot{r}$	2,449	2,141	2,107	2,263	0,63
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	245,59	90,68	90,81	90,77	64,88
İvme	$\ddot{r}$	19,35	15,918	15,698	16,608	8,57
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	1705,60	807,57	808,66	807,96	439,78
Kuvvet	f	6,15e+04	1,34e+05	1,32e+05	8,98e+04	6,99e+04

Tablo 8.5: Rinaldi Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları

R I E W		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,203	0,166	0,163	0,176	0,046
Hız	$\dot{r}$	1,17	0,971	0,941	1,039	0,396

Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	146,79	77,44	77,45	77,41	78,25
İvme	$\ddot{r}$	10,75	9,671	9,388	9,965	5,125
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	903,43	470,25	470,60	470,57	275,71
Kuvvet	f	2,94e+04	6,09e+04	5,91e+04	4,38e+04	3,77e+04

Tablo 8.6: Rinaldi Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları

R I N S		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,45	0,369	0,364	0,393	0,115
Hız	$\dot{r}$	2,97	2,319	2,323	2,527	0,75
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	285,49	172,22	172,31	172,28	153,29
İvme	$\ddot{r}$	20,79	18,886	18,038	19,102	10,90
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	1969,20	824,45	825,52	825,36	701,75
Kuvvet	f	7,47e+04	1,45e+05	1,45e+05	1,05e+05	1,01e+05

Tablo 8.7: Sylmar Depremi Doğu-Batı Kaydı Analiz Sonuçları

S Y E W		**kontrolsüz**	**f_a**	**f_b**	**f_c**	**f_o**
Yerdeğiştirme	r	0,153	0,144	0,141	0,148	0,051
Hız	$\dot{r}$	0,884	0,785	0,765	0,814	0,353
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	113,19	77,09	77,12	77,04	67,62

İvme	$\ddot{r}$	7,429	7,093	6,771	6,997	4,834
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	681,35	585,54	585,86	585,64	283,23
Kuvvet	f	2,22e+04	4,93e+04	4,8e+04	3,36e+04	4,43e+04e

Tablo 8.8: Sylmar Depremi Kuzey-Güney Kaydı Analiz Sonuçları

S Y N S		**kontrolsüz**	$\mathbf{f_a}$	$\mathbf{f_b}$	$\mathbf{f_c}$	$\mathbf{f_o}$
Yerdeğiştirme	r	0,215	0,191	0,186	0,199	0,102
Hız	$\dot{r}$	1,601	1,467	1,473	1,539	0,668
Mutlak hız	$\dot{r}+\dot{z}$	187,39	128,51	128,61	128,57	112,29
İvme	$\ddot{r}$	11,87	12,515	11,578	12,159	10,47
Mutlak ivme	$\ddot{r}+\ddot{z}$	894,75	824,75	825,05	825,58	488,42
Kuvvet	f	4,02e+04	9,21e+04	9,25e+04	5,51e+04	4,61e+04

8.2. Diferansiyel Denklemin Çözümü (Dördüncü Mertebe Runge-Kutta Yöntemi)

Bu çalışmada kurulmuş olan diferansiyel denklemlerin çözümü için MATLAB [35] bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu program diferansiyel denklemlerin çözümü için dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemini kullanmaktadır.

Dördüncü mertebe Runge-Kutta yönteminde bilinmeyen fonksiyonun dördüncü dereceden Taylor serisine açılmasıyla elde edilmiş olduğundan dördüncü mertebe olarak adlandırılır. Bu açılım sonunda sabit elemanların seçiminde denklem sayısı sabit sayısından az olduğundan birden fazla dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi

bulunmaktadır. Bunlar arasından en çok kullanılanlardan biri olan Runge katsayılı Runge-Kutta yöntemi olarak bilinen yöntem açıklanmıştır.[36]

Öncelikle dv/dx=f(v,x) denkleminin çözümünü görelim. Bilinmeyen fonksiyon v nin i noktasındaki değeri (v_i) bilindiğinde i+1 noktasındaki değeri (v_{i+1}) değeri

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \quad (8.20)$$

$$k_1 = f(v_i, x_i) \quad (8.21)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1/2, xi + h/2) \quad (8.22)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2/2, x_i + h/2) \quad (8.23)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3, x_i + h) \quad (8.24)$$

bağıntıları ile bulunur. Başlangıçta i = 0 için v_0 değeri bilndiğinden v_i değeri bulunur. v_i değeri bulunduktan sonra bütün noktalardaki v değerleri bulunabilir.

Bilinmeyen fonksiyon f = f(x) ise problem integrasyon işlemine indirgenir. Bu integrasyon işlemine dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi uygulanırsa Simpson kuralına dönüşür. Diferansiyel denklemin iki denkleme indirgenmiş halinin ayrık [f(v,y,t)] olmaması halinde v_{i+1} ve y_{i+1} değerlerinin v_i ve y_i değerlerinde bulunuşu aşağıda verilmiştir.

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \quad (8.25)$$

$$y_{i+1} = y_i + h(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) / 6 \quad (8.26)$$

$$k_1 = f(v_i,y_i) \qquad m_1 = v_i \quad (8.27)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1/2, y_i + hm_1/2, x_i + h/2) \qquad m_2 = v_i + hm_1/2 \quad (8.28)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2/2, y_i + hm_2/2, x_i + h/2) \qquad m_3 = v_i + hm_2/2 \quad (8.29)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3/2, y_i + hm_3, x_i + h) \qquad m_4 = v_i + hm_3 \quad (8.30)$$

Başlangıçta i = 0 da v_0 ve y_0 değerleri bilindiğinden, yukarıda verilen bağlantılar yardımı ile v_1 ve y_1 değerleri bulunur. v_1 ve y_1 bulunduktan sonra v_2 ve y_2 bulunarak adım adım bütün noktalardaki v ve y değerleri bulunur.

8.3 Analiz İçin Kullanılan Matlab Programları

Bu bölümde analiz sonuçlarını bulmak için kullanılan programlar anlatılmıştır. % işaretinden sonra gelen bmlümler açıklama olup programıda kullanılmamaktadır. Sa_melih programının çalıştırılmasıyla sonuçlar alınır. Örnek programda El-Centro Doğu-Batı kaydı kullanılmıştır.

" load elcew
dep= elcew" satırındaki elcew değişken olup deprem kayıtlarını belirtir.

"x = system_sim ('eq_ssmelih', 2)" satırında ise eq_ssmelih dosyasını kullanarak bu dosya içinde formülize edilmiş kontrol yöntemi ile sonucu verir. Sonuçlar "fp = fopen('xx98','w')" satırındaki xx98 veya herhangi bi isimdeki dosyaya kaydedilir.

Eq_ssmelih dosyasındaki "f = Cs*x(2); % semiactive damper force" satırındaki f sönümleyicinin kuvveti olup istenilen sönümleyici için değiştirilir.

Grafmelih dosyası kullanılarak ta her kontrol yöntemi için istenilen depremdeki grafikler elde edilir.

8.3.1. "Sa_melih" dosyası

```
%  ---- structure properties and device force
        global  m Ks Cs  dof   f  v_dat

global x                              % states and cost

global Time points delta_t            % discrete times at which data is
                                        taken
global Xctn                           % earthquake acceleration at discrete times, p


 % ---------------- structure parameters ...     units: kN cm sec

        dof = 1;
        n   = 2*dof ;             % number of states in the system


        m    = 100000;                  % kg
        Ks  =  3940000;               %N/m
        Cs  =  62800;                 %N/m/s

        delta_t = 0.005;        % time step value

%       read earthquake excitation data
       load elcew
       dep= elcew;
```

```
  Xctn =dep(1:3000,1);
v_dat =dep(1:3000,2);
points=length(Xctn);

   Time  =   delta_t:delta_t:delta_t*points;  %  discrete  time  data

%--------------------------------------------------
x = zeros(2*dof,points);

x = system_sim ( 'eq_ssmelih', 2 );     % simulate the system


% Save results to a data file

   fp = fopen('xx98','w');

   for k=1:points

  f(k)=Cs*x(2,k);

  rdd(k)=-(1/m)*Ks*x(1,k) - (1/m)*Cs*x(2,k) - (1/m)*f(k) - 0.01*Xctn(k);

  absvel(k)=x(2,k)+v_dat(k);

  absacc(k)=rdd(k)+Xctn(k);

  fprintf (fp,'%12.5f  %12.5f  %12.5f   %12.5f  %12.5f  %12.5f   %12.5f\n'...
     ,Time(k),x(1,k),x(2,k), absvel(k),rdd(k),absacc(k),f(k));


end

   fclose(fp);

 plot(Time,x(1,:))
 max(abs(x(1,:)))

 %   plot(Time,x(1,:),Time,x(2,:))
```

8.3.2. “Eq_ssmelih” dosyası

```
% state-space model for controlled earthquake structural response
function x_dot = eq_ssmelih(t_now,x)
% ---- structure properties  and device force
 global  m Ks Cs  dof   f   v_dat
```

```
global Time;
global Xctn;

% ------------------------------  definition of the states
 sd = x(1);                      % structural displacements     cm
 sv = x(2);                      % structural velocities        cm/sec

% f=0;  % uncontrolled case
%   if x(1)*x(2)<=0
%     f=Cs*x(2);
%   else
%     f = Cs*x(2);  % semiactive damper force
%     end

f = Cs*x(2);  % semiactive damper force

  sd_dot = sv;
 sv_dot = -(1/m)*Ks*sd - (1/m)*Cs*sv - (1/m)*f - 0.01*linterp(Time,Xctn,t_now);

 x_dot = [ sd_dot;                    % structural displacements
          sv_dot ];                   % structural velocities
% endfunction
```

8.3.3. "System sim" dosyası

```
function x = system_sim ( dyn_system, states )
% function x = system_sim ( dyn_system, states )
% General purpose function to simulate a dynamic system of 'states' first order
% differential equations, given in function 'dyn_system'
% Returns a matrix of dimension 'states' by 'length(Time)' of the dynamic states
% sampled at the discrete points given by Time

 global Time                          % vector of time axis data
```

```
points = length(Time);
x = zeros(states,points);              % allocate memory for the state array

delta_t = Time(2) - Time(1);           % uniform delta_t
more off
for k=2:points                         % start the main loop
        if ( rem(k,500)==0)
                k
        end
%       delta_t = Time(k) - Time(k-1);         % non-uniform delta_t

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

end                                    % end the main loop
more on
 % endfunction # ------------------------------------------------
SYSTEM_SIM
```

8.3.4.“Grafmelih” dosyası

```
load xx98
data = xx98;
t=data(:,1);
r1=data(:,2);
r1d=data(:,3);
av=data(:,4);
r1dd=data(:,5);
aacc=data(:,6);
f=data(:,7);
subplot(3,2,1);plot(t,r1)
grid on

subplot(3,2,2);plot(t,r1d)
```

```
grid on

subplot(3,2,3);plot(t,av)
grid on

subplot(3,2,4);plot(t,r1dd)
grid on

subplot(3,2,5);plot(t,aacc)
grid on

subplot(3,2,6);plot(t,f)
grid on

r1m = max(abs(data(:,2)))
r1dm = max(abs(data(:,3)))
avm = max(abs(data(:,4)))
r1ddmm = max(abs(data(:,5)))
aaccm = max(abs(data(:,6)))
fm = max(abs(data(:,7)))
```

9. SONUÇLAR

Tek serbestlik dereceli bir yapıya uygulanan 3 farklı yarı-aktif kontrol uygulamaları sekiz farklı deprem etkisi altında incelenmiştir. Sonuçlar 8. bölümde tablo halinde verilmiş elde edilen grafikler ise Ek-A da gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara aşağıda değinilmiştir.

- 3 farklı yarı-aktif kontrol uygulaması 8 farklı deprem etkisinde kontrolsüz duruma göre daha iyi netice vermiş olup kontrol sistemleri başarılı olmuştur.
- Kontrolsüz duruma göre daha az yerdeğiştirme sağlanmış olup yapıya etkiyen mutlak ivme değerlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur.
- Sonuçların birbirine yakın olduğu görülmekle beraber her bir kontrol sisteminin daha iyi sonuç verdiği parametreler bulunduğu gözlemlenmiştir. Örneğin Bang-bang kontrol sisteminin yerdeğiştirmesi her depremde diğer kontrol sistemlerine göre biraz daha fazla olmasına rağmen gerek duyduğu kuvvetin daha az olduğu ortadadır. Yarı-aktif kontrol uygulamasında kullanılacak olan kontrol sistemi sonuçları etkilemektedir.
- Teorik olarak en iyi sonuç vermesi beklenen optimal çözümün sonucunda bu beklenti gerçeğe dönüşmüştür. Uygulanmış olan yarı-aktif kontrol uygulamalarına göre çok daha iyi sonuç veren optimal çözüm olabilecek en iyi çözüm olarak görülmektedir. Yalnız tabi ki bu çözümü pratikte uygulamak imkansızdır. Bu çözüm sırasında sisteme etki edecek depremin bilindiği varsayılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. ve Yao, J.T.P, 1997. Structural Control:Past, Present and Future, *Journal of Engineering Mechanics* **123,** 897-943

[2] Yao, J.T.P. 1972, Concept of Structural Control *J.Struc.Div. ASCE,* **98,** 1567-1574

[3] Kobori, T. 1990, Technology Development and Forecast of Dynamical İntelligent Building, *Intelligent Structure Elsevier Appl. Sci. New York* 42-59

[4] Kobori, T. 1994 Future Direction on Research and Development of Seismic-Response-Controlled Structure, *First world Conf. On Structural Control* 19-34

[5] Soong, T.T., Reinhorn, A.M., ve Wang, Y.P. 1991. Full-scale implementation of active control. I: Design and simulation *Journal of structural engineering* **117**, 3516-3536

[6] Dyke, S.J., Spencer, B.F., Sain, M.K. ve Carlson, J.D. 1996 Experimental verification of semi-active structural control strategies using acceleration feedback. Proceeding of third International Conference on Motion and Vibration Control, **Vol.III** Chiba, Japan 291-296

[7] Soong, T.T., Active structural control: theory and practice *Longman Wiley,London*

[8] ATC 1994 guidelines and commentary for the seismic rehabilitation of the buildings . report no 33-02, *Applied Technology Council*

[9] Soong, T.T. ve Constantinou, M.C. 1994 Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer, New York

[10] Constantinou, M.C., Symans MD., 1993 Experimental study of seismic response of buildings with supplemental fluid dampers , *Journal of Structural Design of Tall Buildings* 93-132

[11] Naeim, F., Kelly, J.M. , 1999 Designed of Seismic İsolated structures from theory to practice *John A. Martin and Associates, Inc, University of California*

[12] Soong, T.T., Reinhorn, A.M., 1993 An overwiew of active and hybrid structural control research in the USA, *The Structural Design of Tall Buildings* **2** 192-209

[13] Tanida, K. , Koike, Y. , Mutaguchi, K., Uno, N. , 1991 Development of hybrid active-passive damper *Active and Passive Damping 2 PVP*- **211**, 21-26

[14] Tanida, K. , Active control of bridge towers during erection, *Third Collequim on Vibration Control of Strucure* Part A 173-184

[**15] Koike, Y., Murata, T., Tanida, K., Kobori, T., Ishii, K., Takeneka, Y. ,** 1994 Development of V-shaped hybrid mass damper and its application to high rise buildings *First World Conference Structural Control*

[16] Reinhorn, A.M. , Soong, T.T., Wen,C.Y. , 1987 Base isolated structures with active control *ASME PVP conference PVP-127, 413-420*

[17] Dyke, S.J., Spencer, B.F., Quast, P., Sain, M.K. ve Kaspari, D.C. 1996. Acceleration feedbackcontrol of MDOF structures. *Journal of Engineering Mechanics* **122** 907-918

[18] Kurata, N., Kobori,T., Koshika, N., 2002 Performance-based design with semi-active structural control technique, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **31** :445-458

[19] Akbay, Aktan, 1991 Actively regulated friction slip braces. Proceding of Sixth Canadian Conference on Earthquake Engineering. Toronto, Canada, 367-374

[20] Kobori, T., Takahashi, M., Nasu, T.i Niwa, N., Ogasawara, K., 1993, Seismic response controlled structure with active variable stiffness system, *Earthquake Engineering And Structure Dyn.* **22**, 925-941

[21] Symans, M.D. , Constantinou, M.C., 1999, Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state of the art rewiew, *Engineering Structures* **21**, 469-487

[22] Spencer, B.F. ve Nagarajaiah, S. 2003. State of the Art of Structural Control *Journal of Structural Engineering July 2003* 845-856

[23] Moosheimer, J., Waller, H., 2000, Reduction of vibrations by bang-bang controlled electrorheological dampers, *Archive of Applied Mechanics* **70**, 715-737

[24] Bares, J.E., Carlsson, J.D., 1989, electrorheological fluid design: an overwiew, *Proceedings of Second International Conferenceon ER fluids,* 93-114

[25] Bullough, W.A. , 1996, electrorheological fluids and associated technology, *Proceedings of the Fiftth International Conference*

[26] Ehrgott, R.C., Masri, S.F., Use of ER materials in intelligent systems *Symposium on Structural control and intelligent systems Italy,* 87-100

[27] Carlsson, J.D., Catanzarite, D.M., St.Clair, K.A., 1995, Commercial MR fluids devices , *Proceedings of the Fiftth International Conference on ER fluids UK*

[**28] Carlsson, J.D.,** 1994, The promise of controllable fluids, *Proceeding of Actuator 94 AXON Technologie Consult* 266-270

[29] Carlsson, J.D., Weiss, K.D., 1994, A growing attraction to magnetic fluids , *Machine Design August* 61-64

[30] Carlsson, J.D., Spencer, B.F., 1996, MR fluid dampers for semi active seismic control, *Proceedings of the third International Conference on motion and vibration control*

[31] Aldemir, Ü. , 2003, Optimal control of structures with semiactive tuned mass dampers, *Journal of Sound and Vibration* **266**, *847-874*

[32] Dorato, P., Abdallah, C., Cereno, V., 1995, Linear Quadratic control, *Prentice Hall New Jersey*

[33] Stengel,. R.F., 1994, Optimal control and estimation, *Dower PublicationsInc. New York*

[34] Liu, Y., Waters, T.P., Brennan, M.J., 2003, A comparison of semi active damping control strategies for vibration isolation of harmonic disturbances, *Journal of Sound and Vibration*

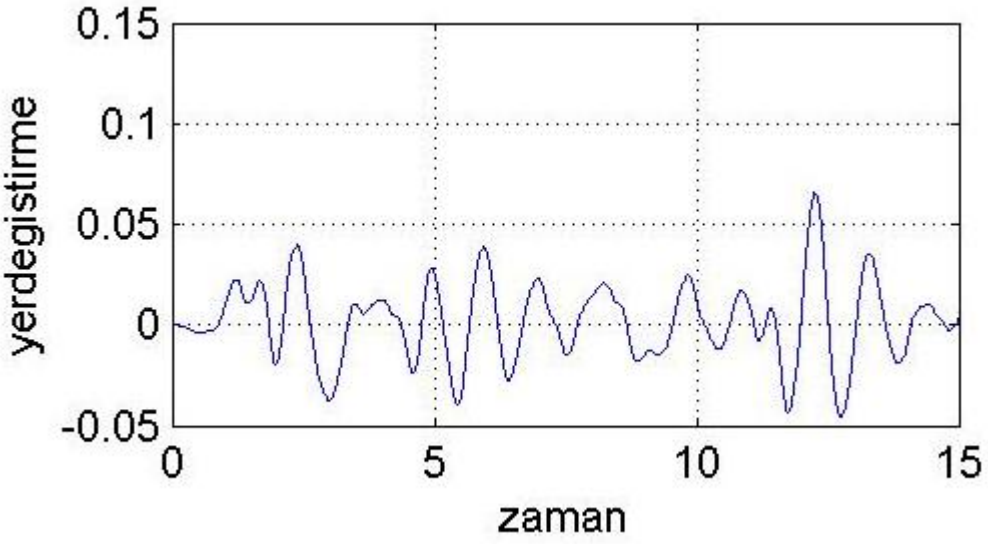
[35] MATLAB 1994 The Mathworks Inc., Natick, MA

[36] Bakioğlu, M., Sayısal Analiz, 1990, Birsen Yayınevi, 330-340

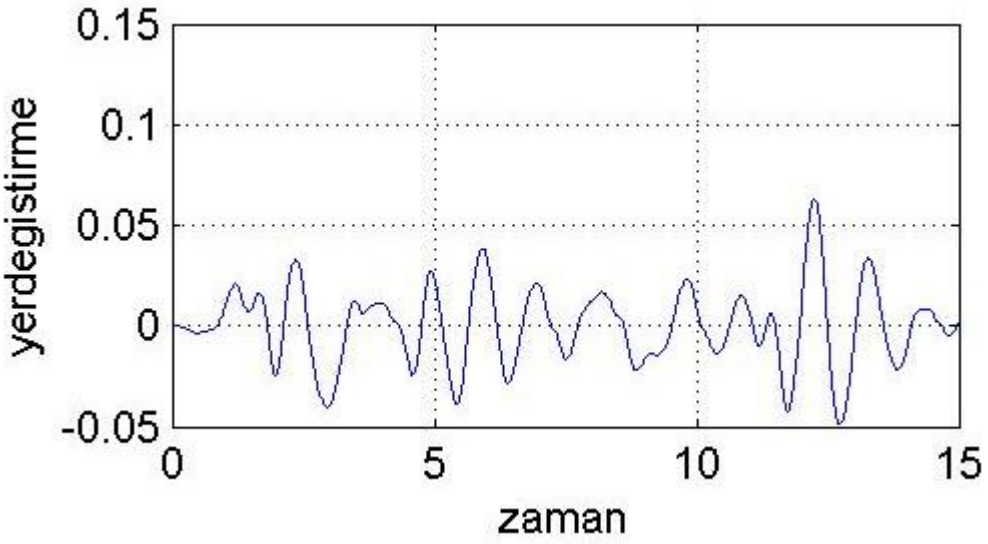
EKLER

Depremlerin Yerdeğiştirme Grafikleri

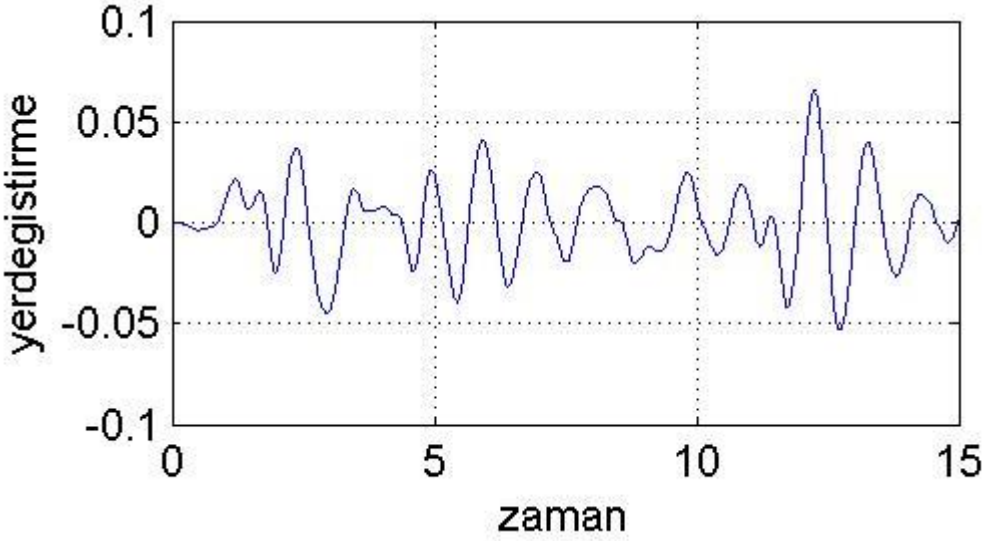
ELCEW için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.1: sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

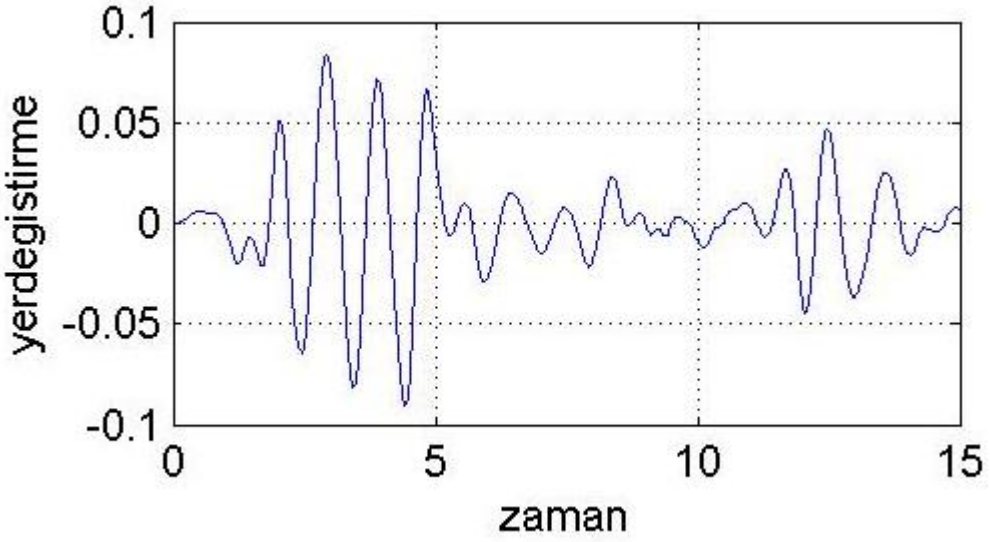


Şekil A.2 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

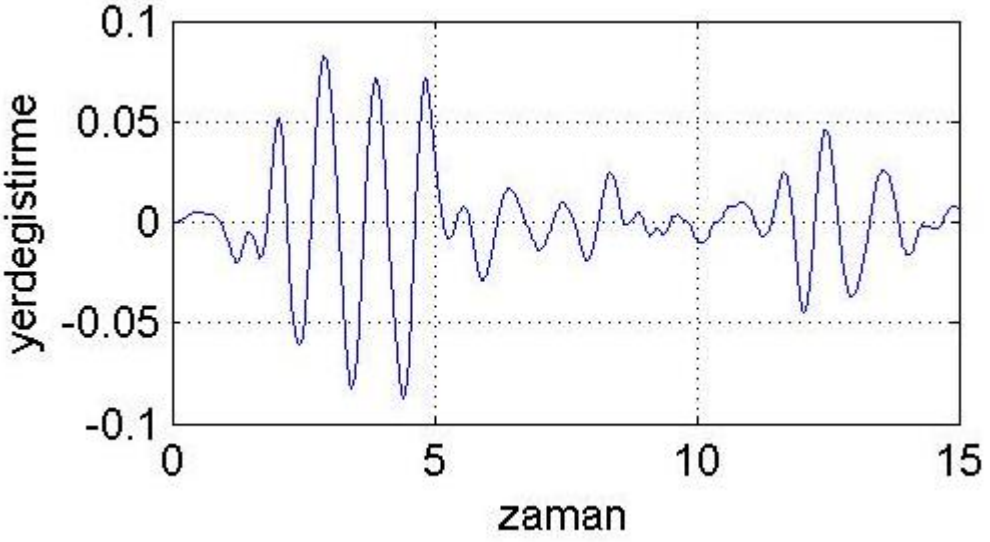


Şekil A.3 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

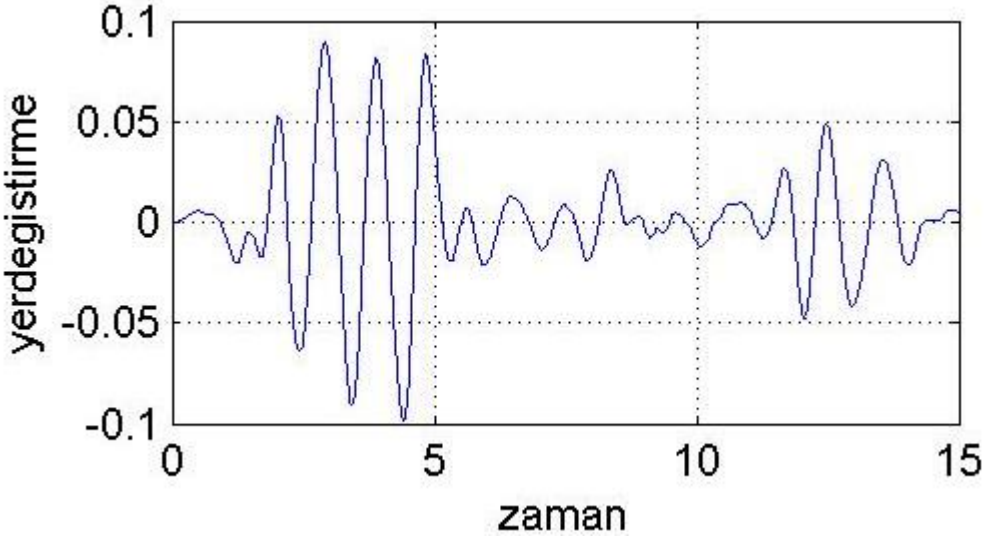
ELCNS için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.4 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

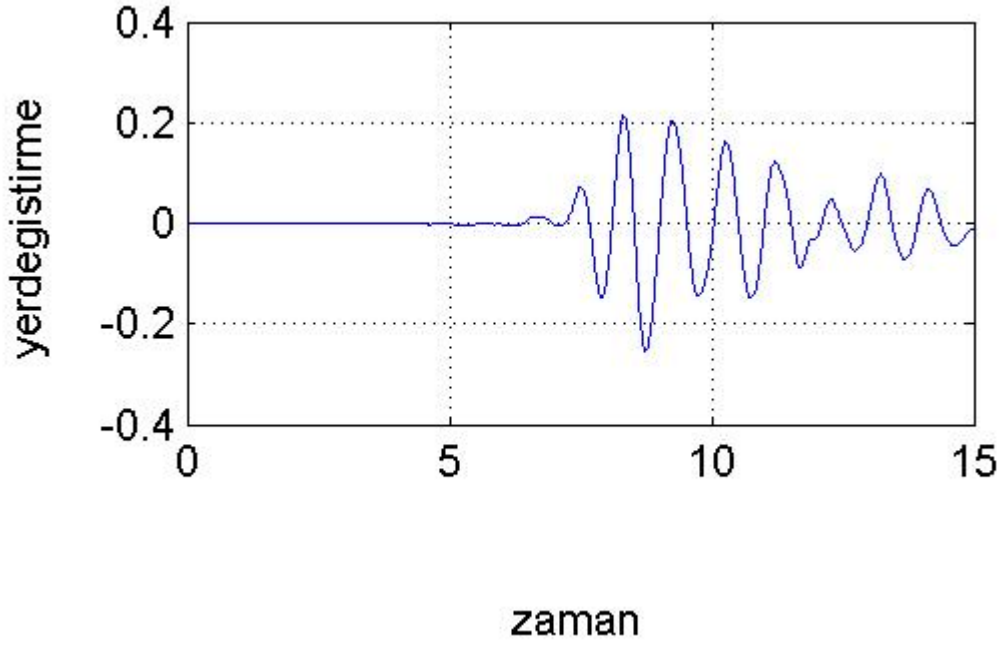


Şekil A.5 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

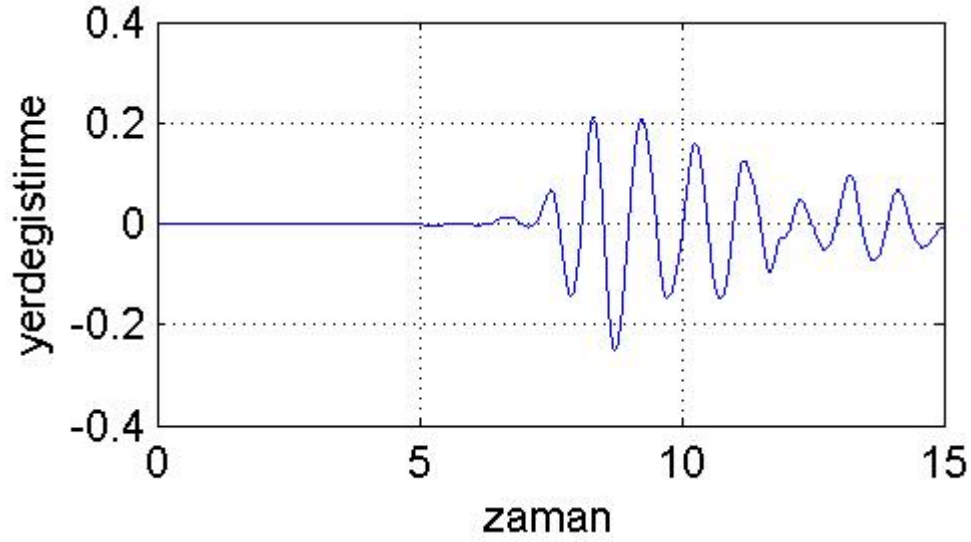


Şekil A.6 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

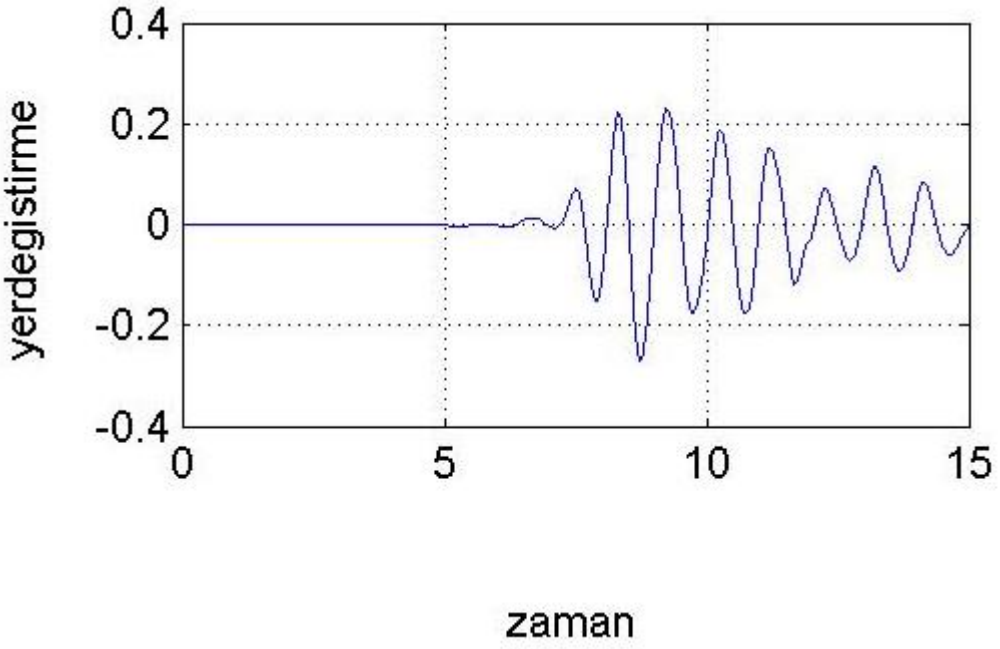
KOBEEW için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.7 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

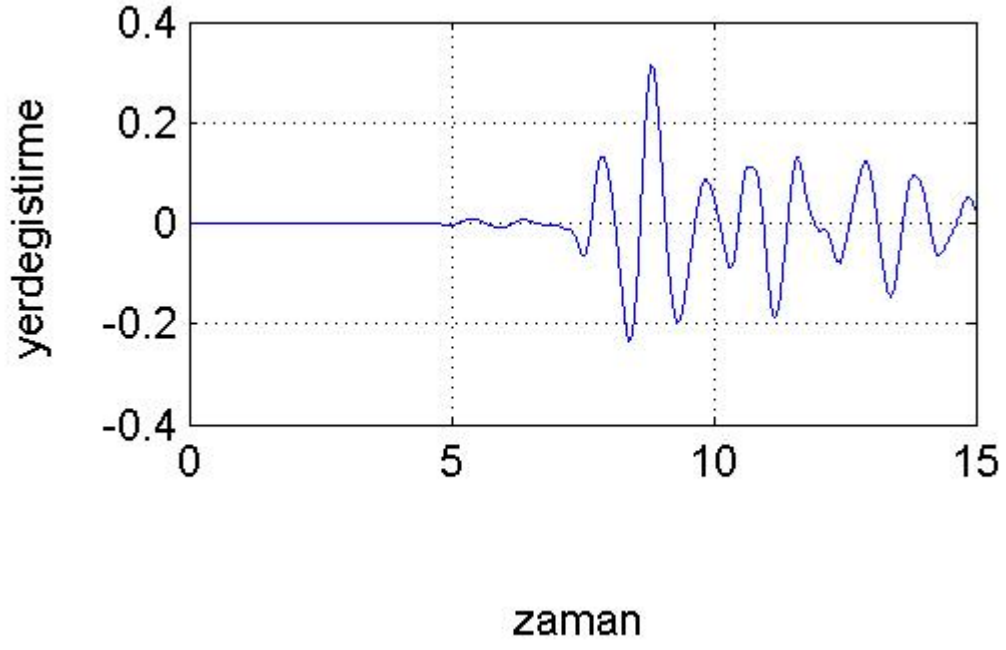


Şekil A.8 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

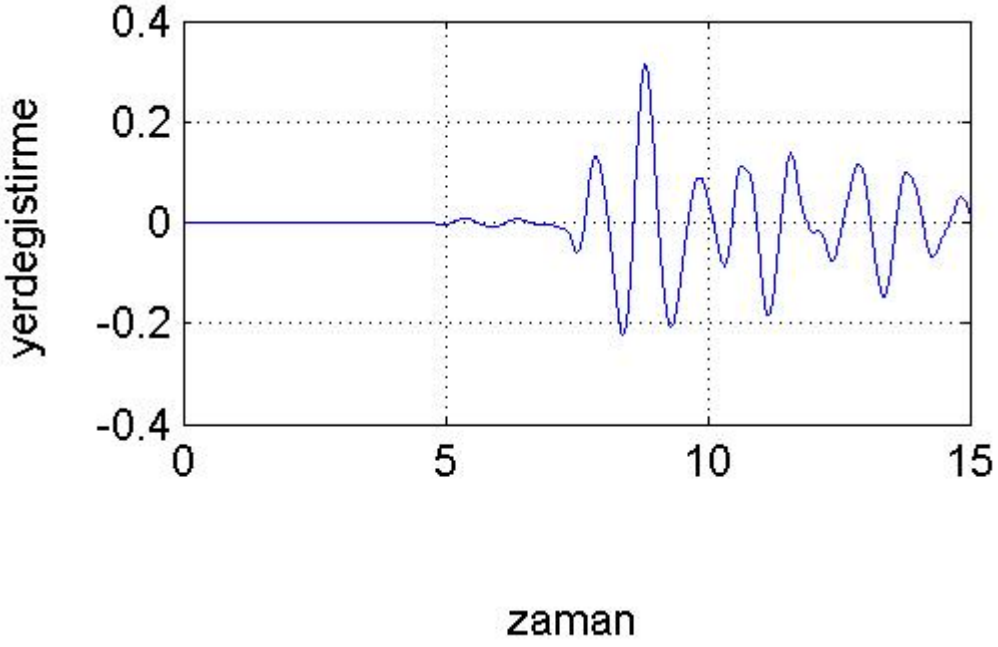


Şekil A.9 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

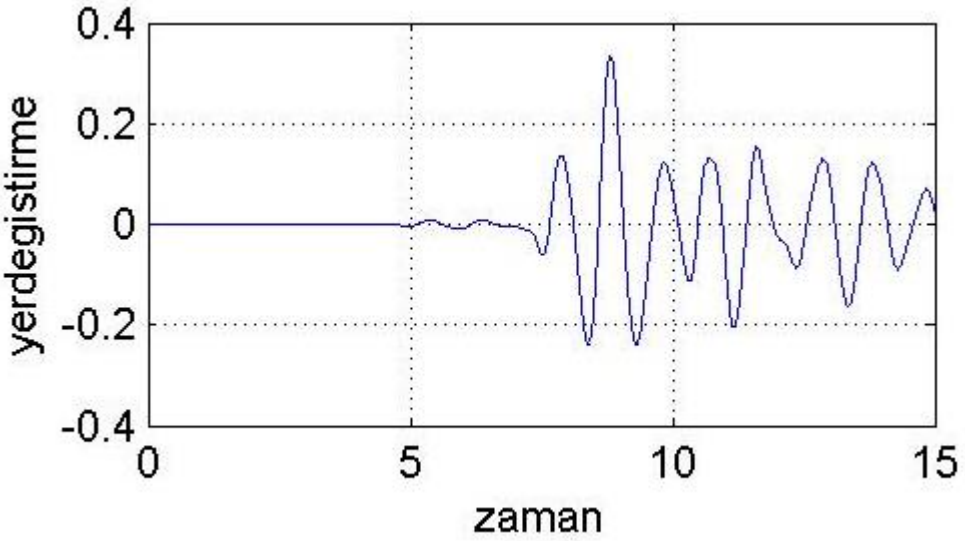
KOBENS için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.10 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

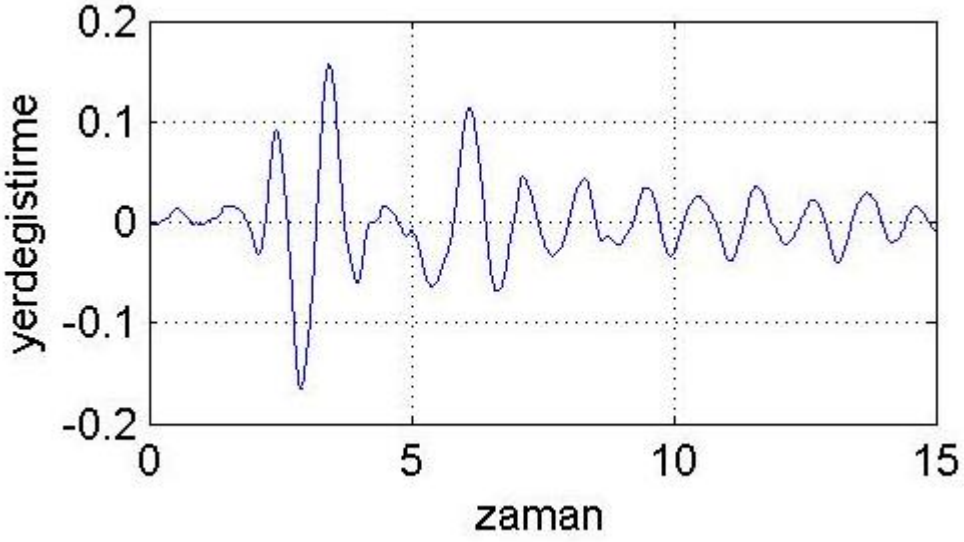


Şekil A.11 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

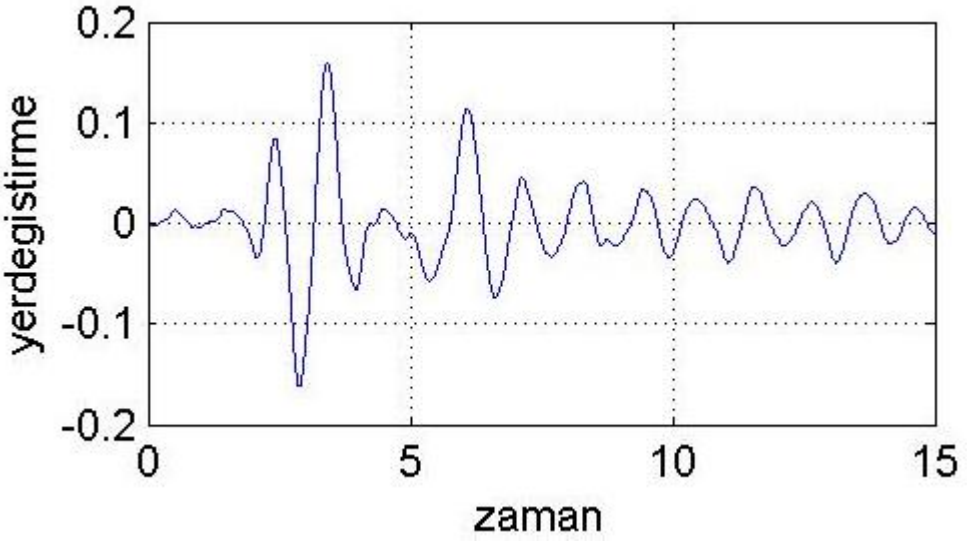


Şekil A.12 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

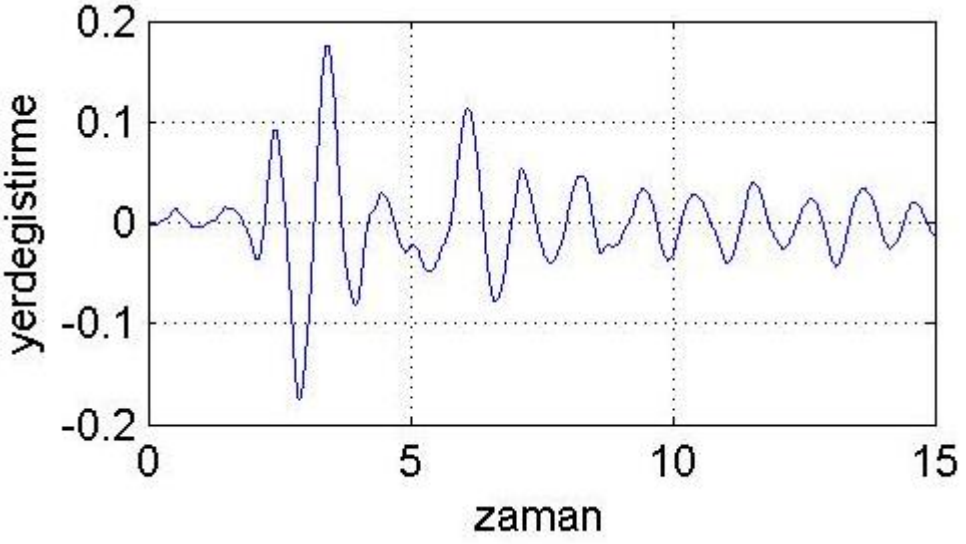
RİNALDİEW için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.13 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

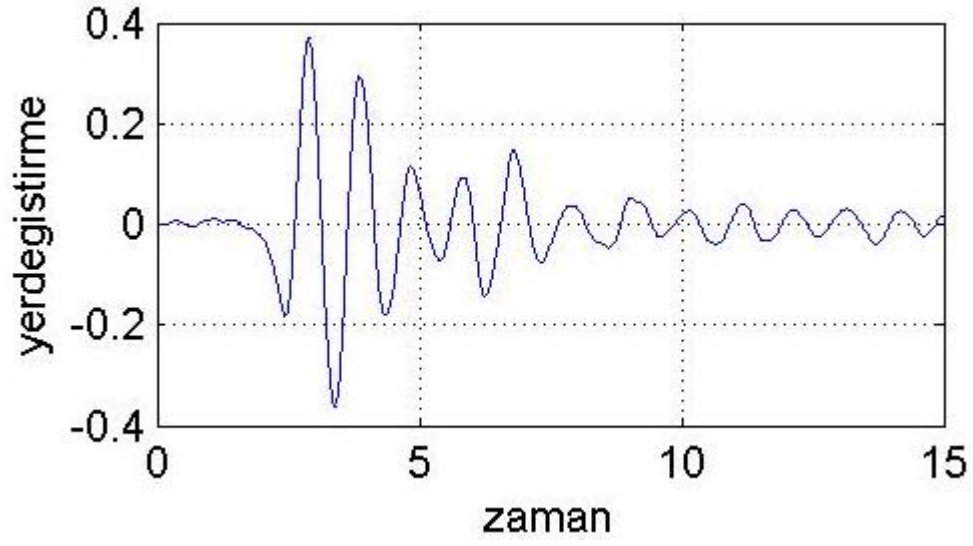


Şekil A.14 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

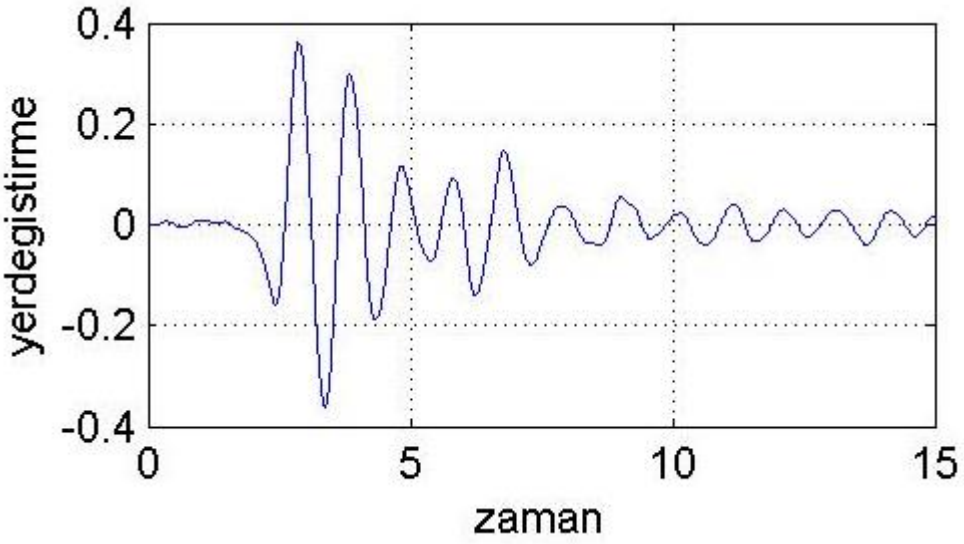


Şekil A.15 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

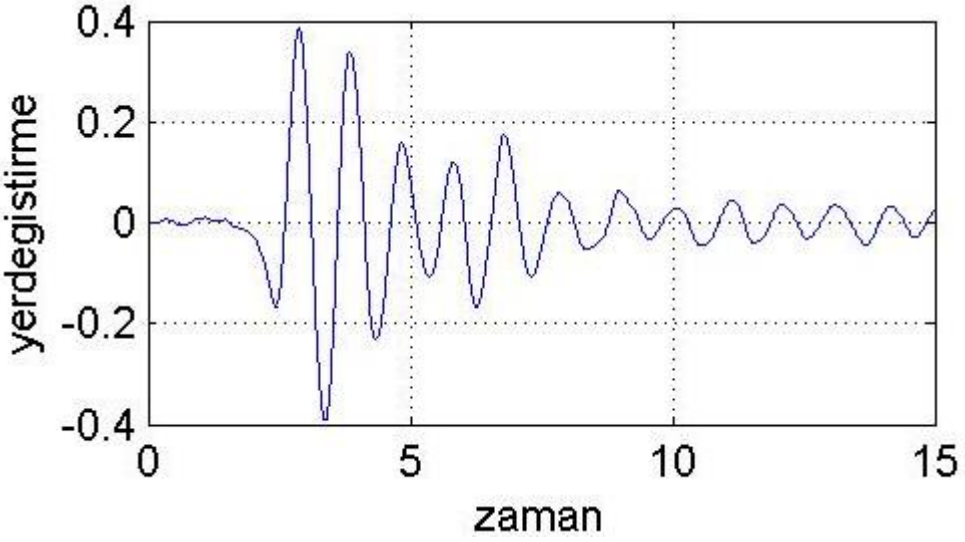
RİNALDİNS için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.16 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

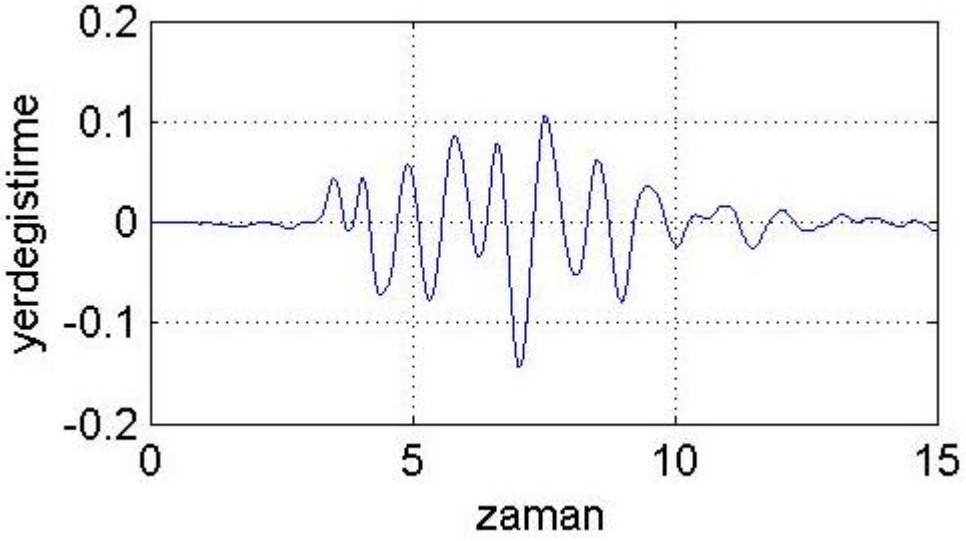


Şekil A.17 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

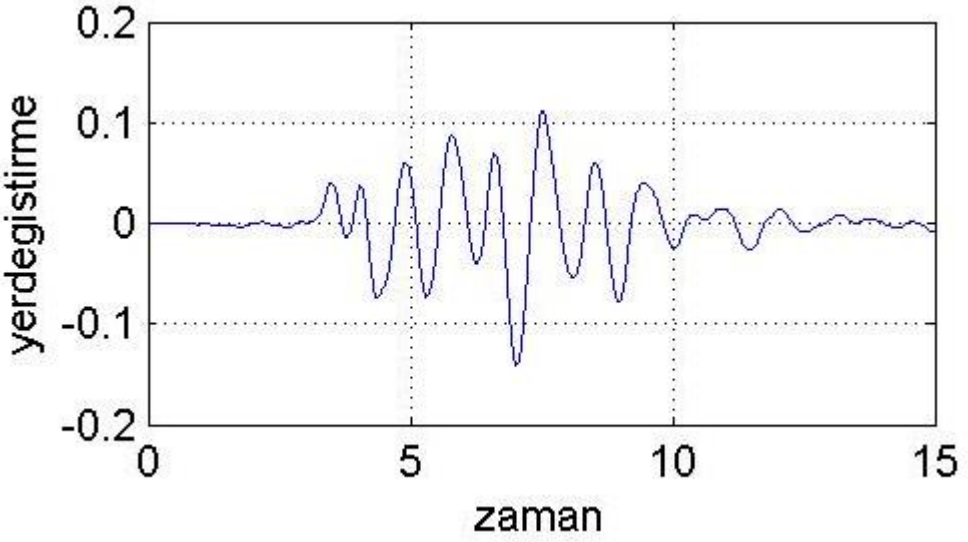


Şekil A.18 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

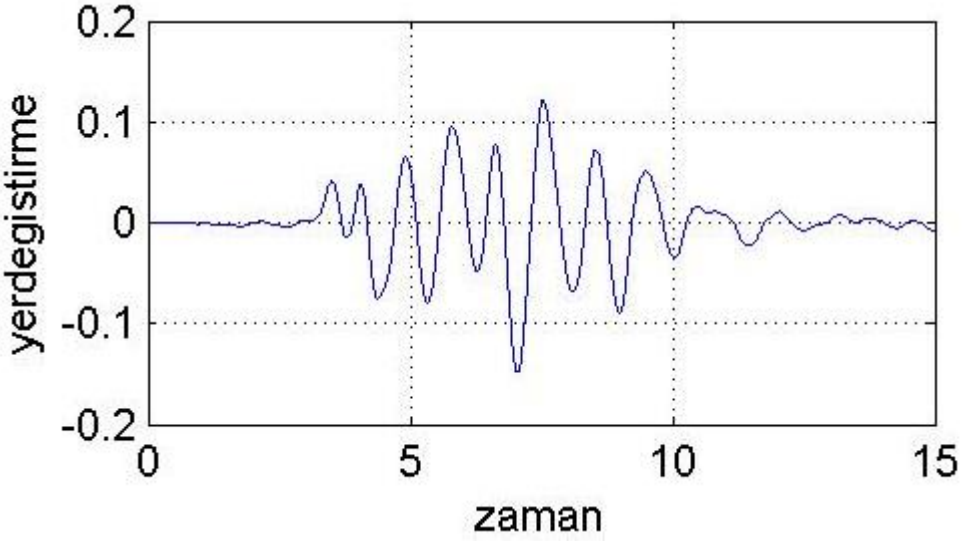
SYLMAREW için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.19 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

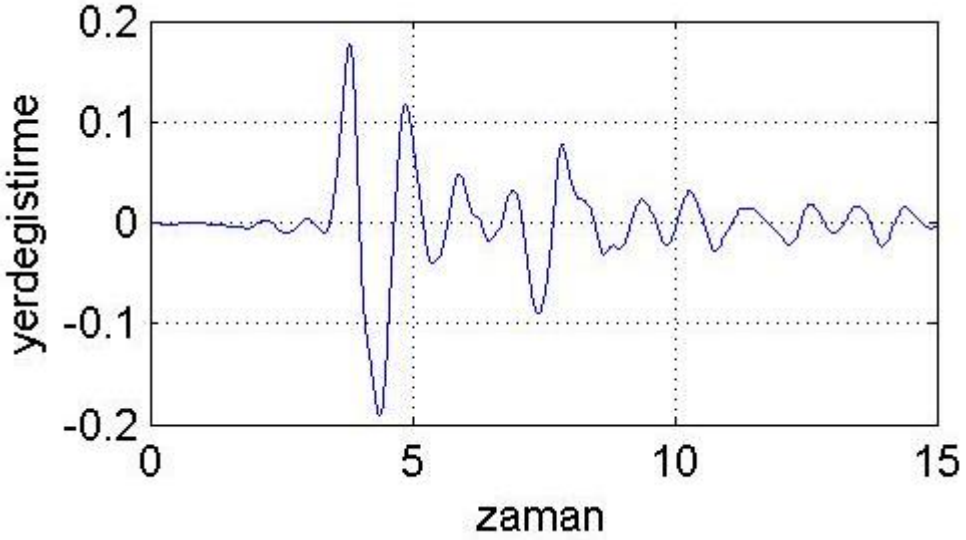


Şekil A.20 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

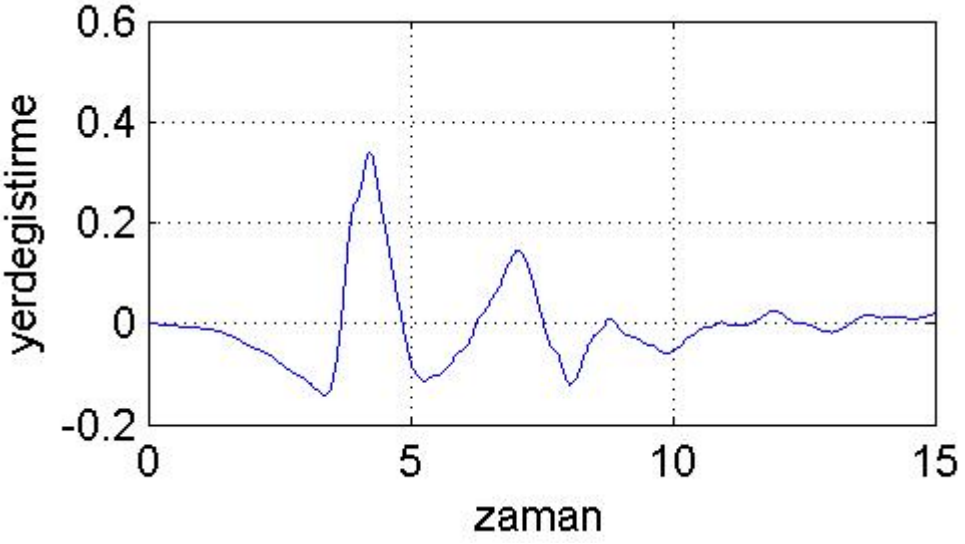


Şekil A.21 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

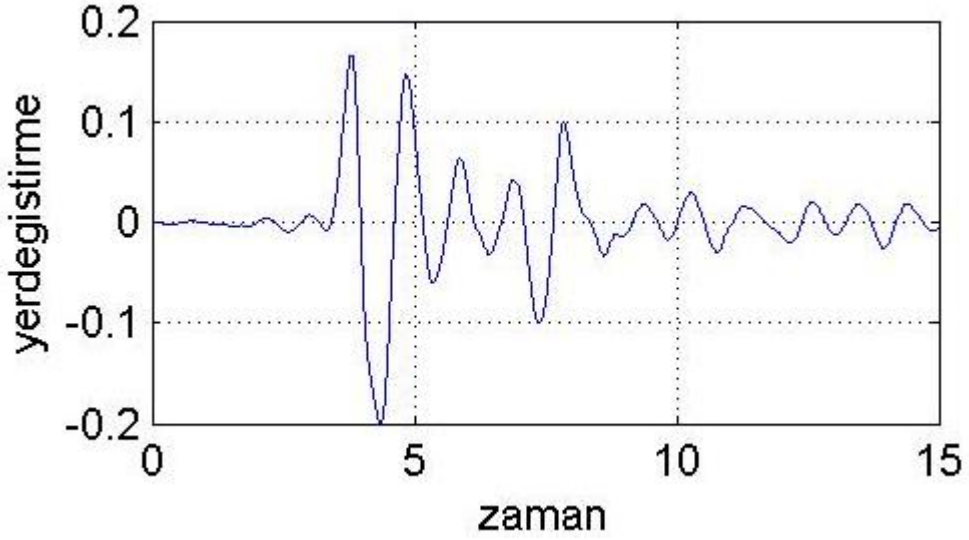
SYLMARNS için yerdeğiştirme grafikleri



Şekil A.22 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği



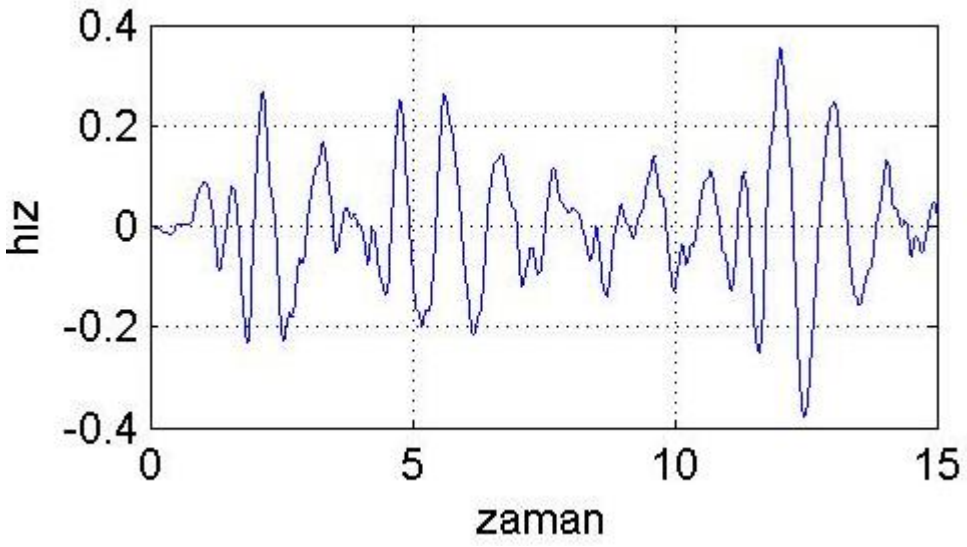
Şekil A.23: açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği



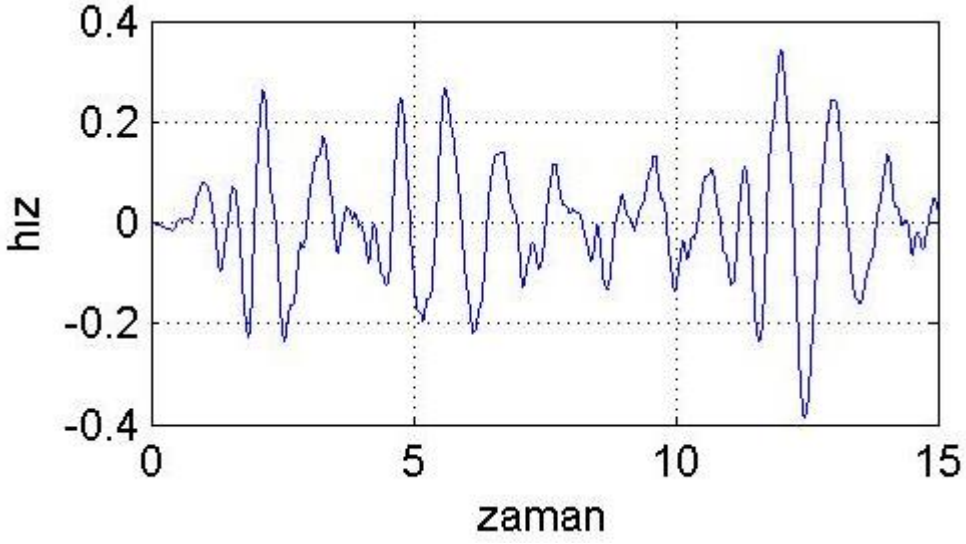
Şekil A.24 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan yerdeğiştirme-zaman grafiği

DEPREMLERİN HIZ GRAFİKLERİ

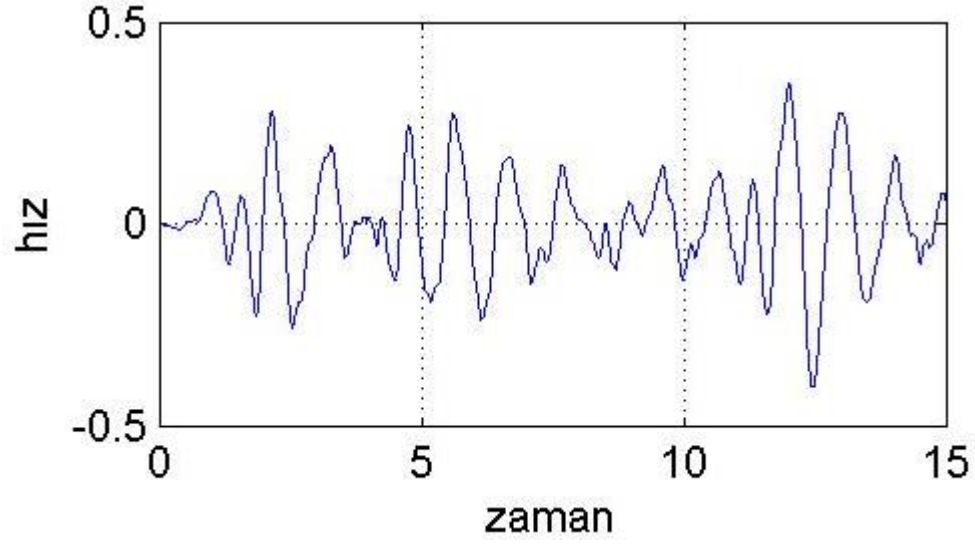
ELCEW için hız grafikleri



Şekil A.25 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

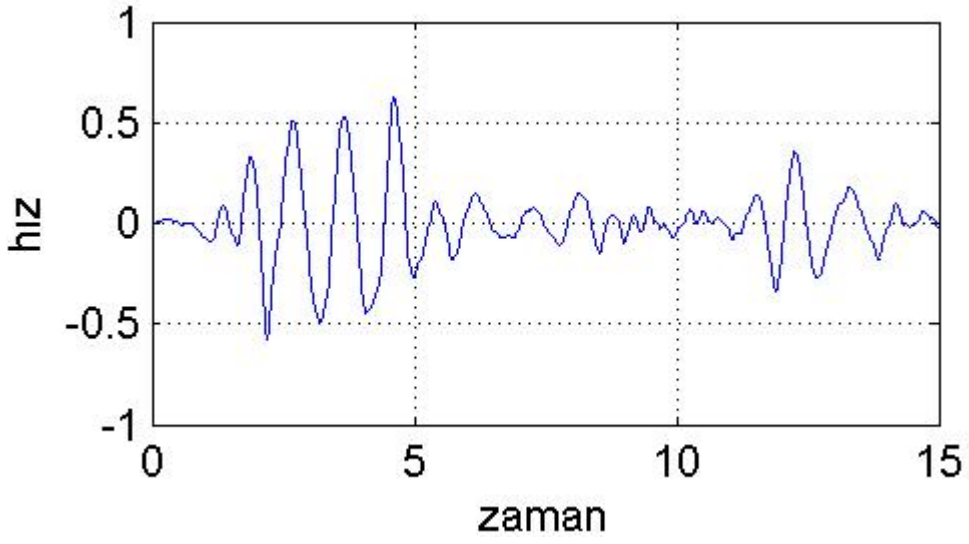


Şekil A.26 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

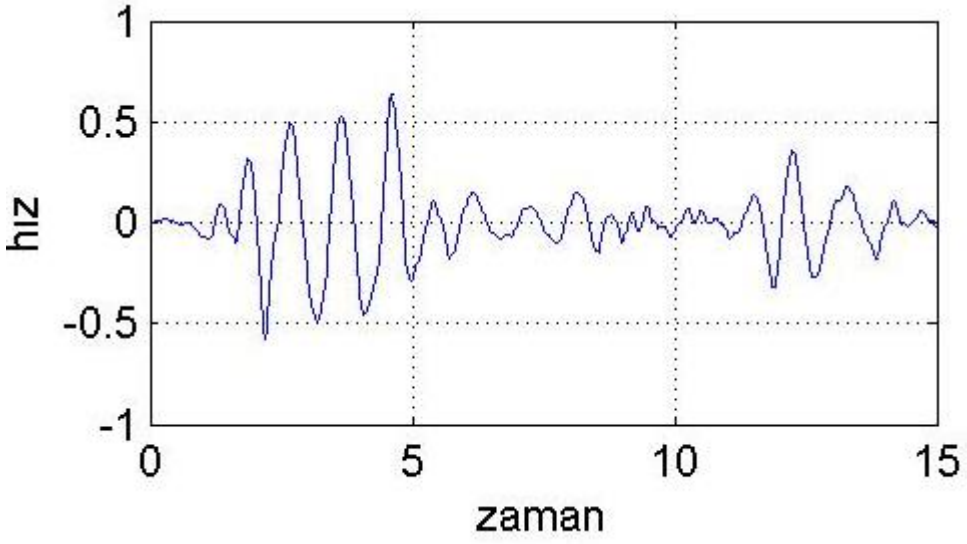


Şekil A.27 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

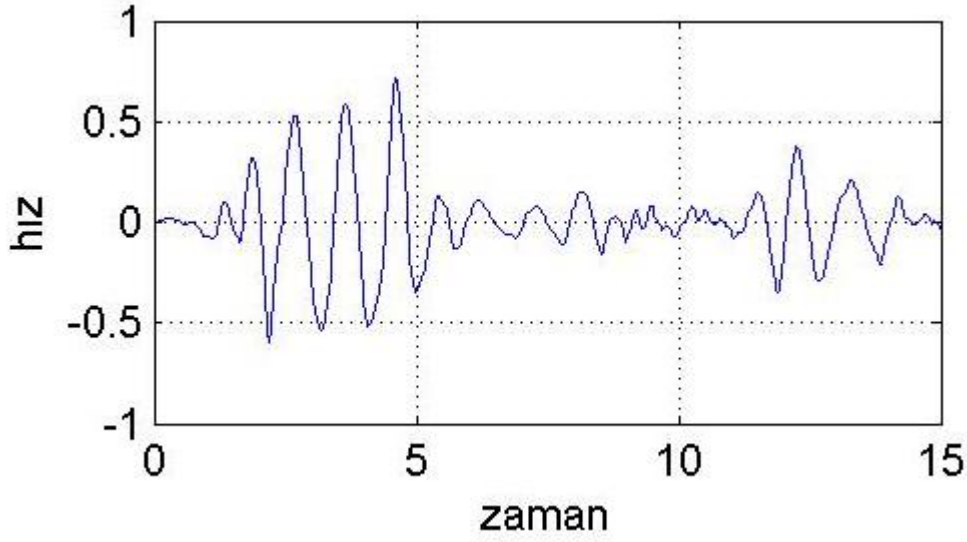
ELCNS için hız grafikleri



Şekil A.28 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

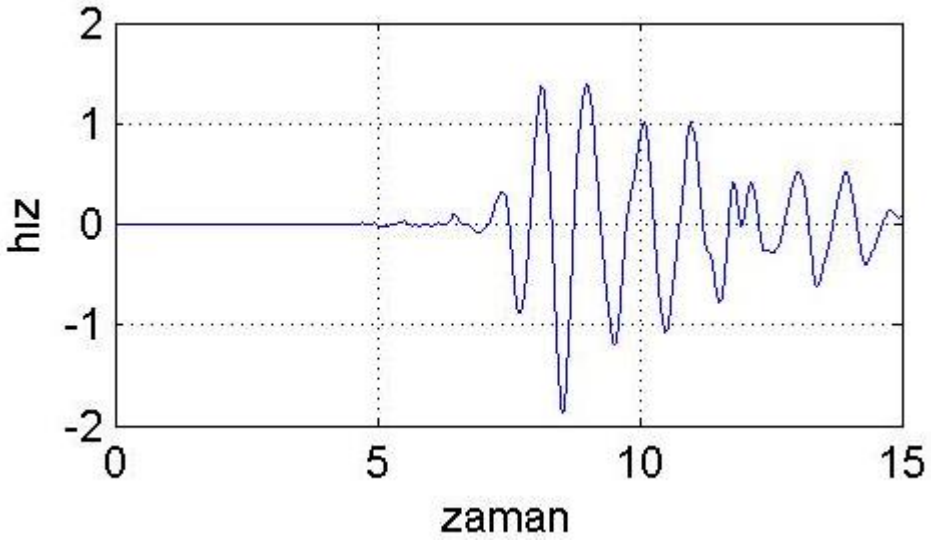


Şekil A.29 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

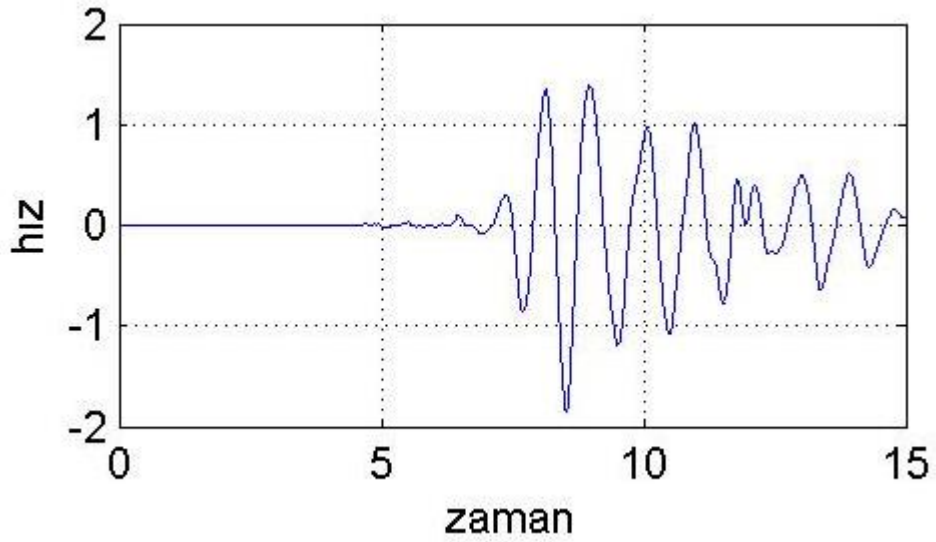


Şekil A.30 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

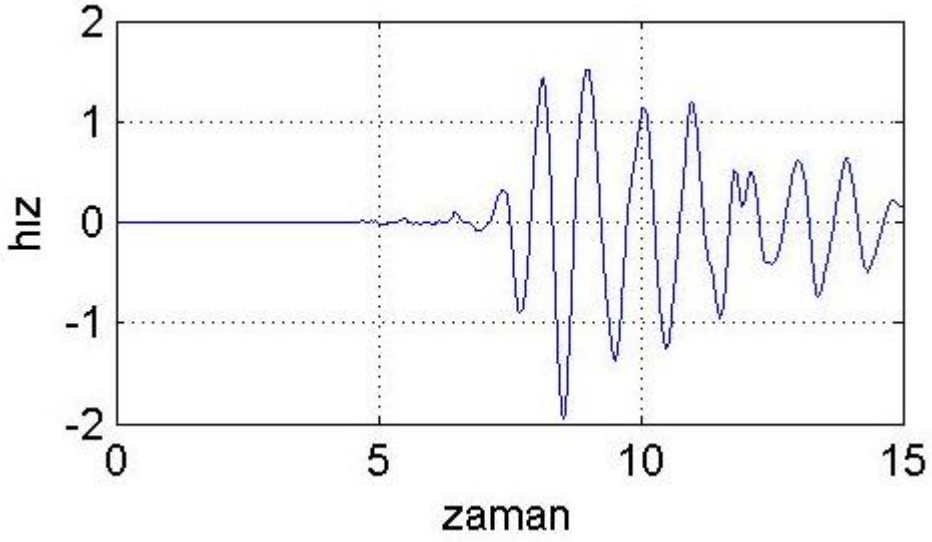
KOBEEW için hız grafikleri



Şekil A.31 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

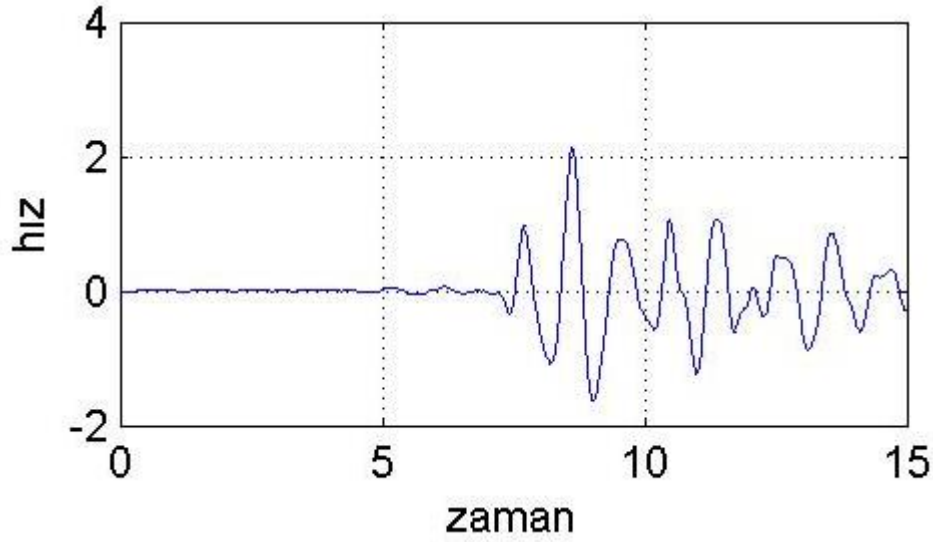


Şekil A.32 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

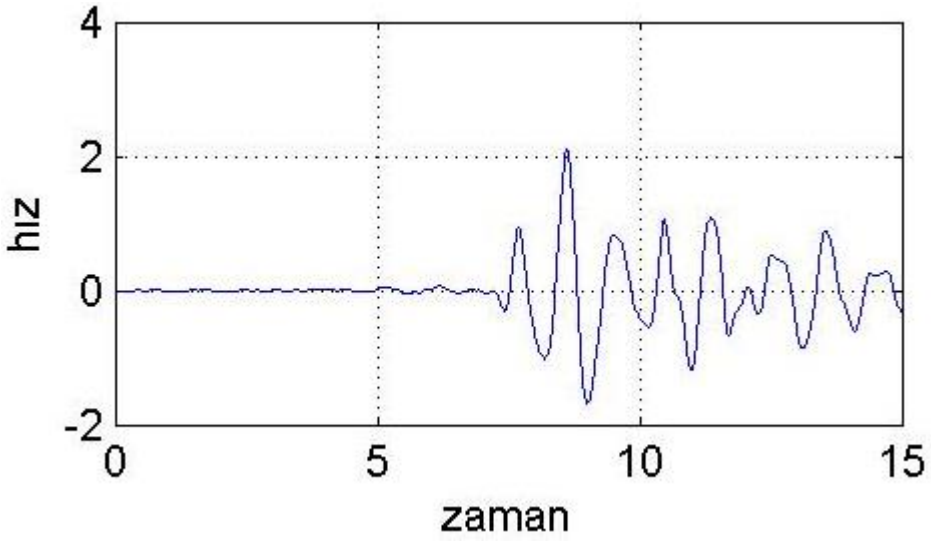


Şekil A.33 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

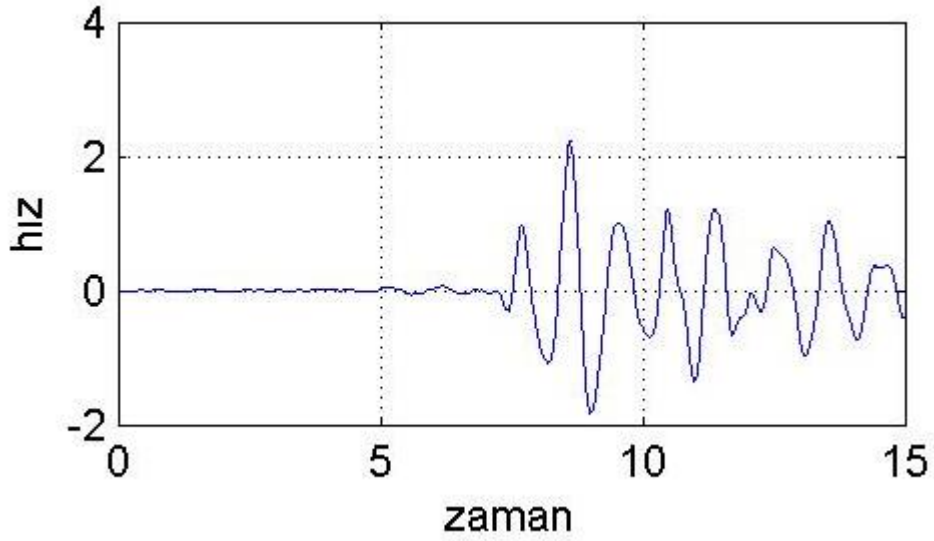
KOBENS için hız grafikleri



Şekil A.34 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

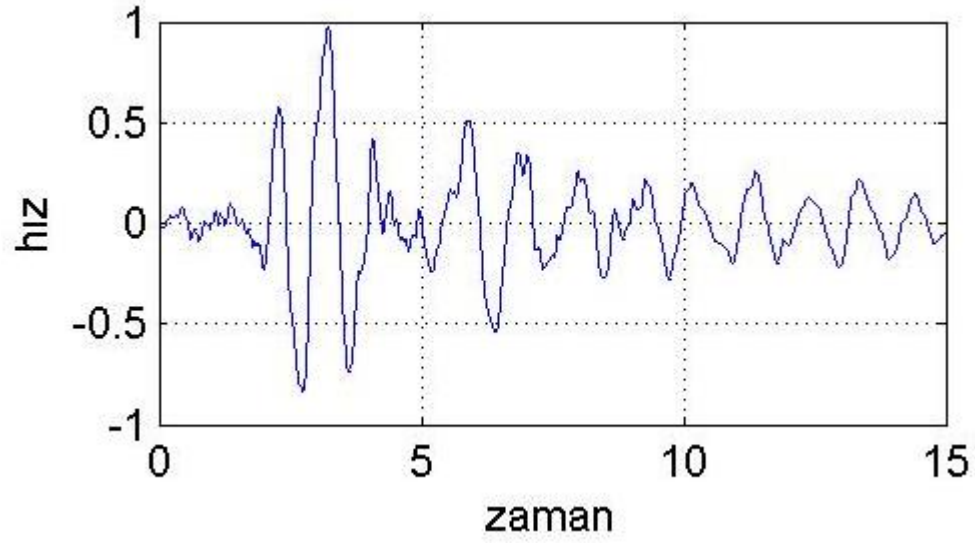


Şekil A.35 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

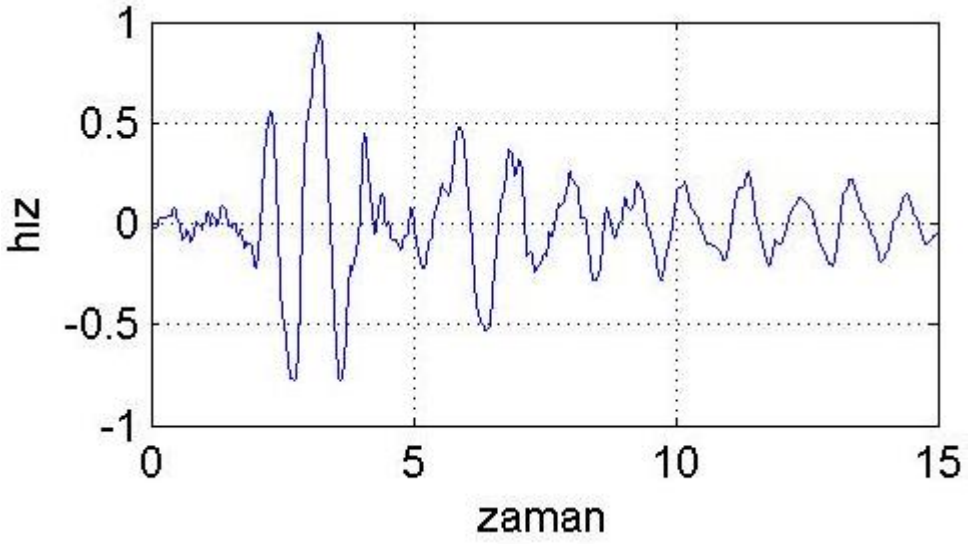


Şekil A.36 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

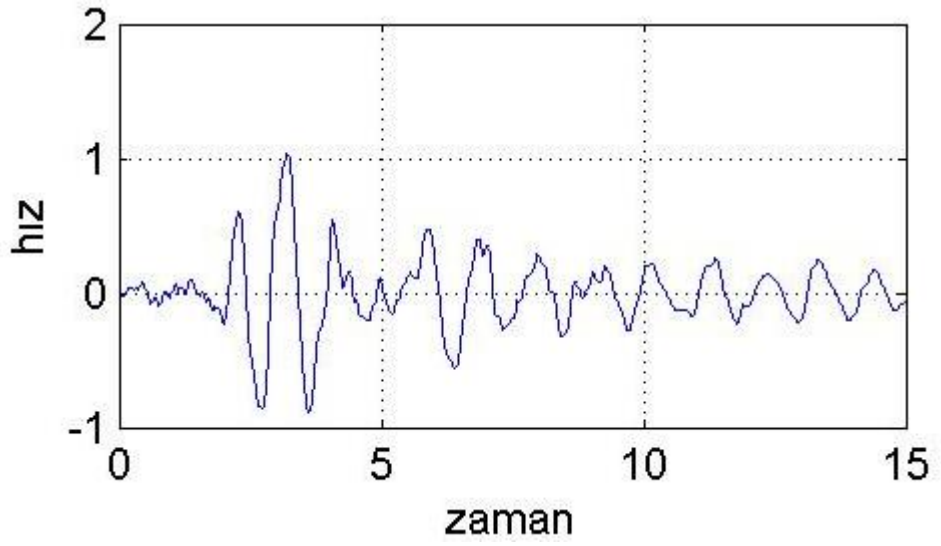
RİNALDİEW için hız grafikleri



Şekil A.37: sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

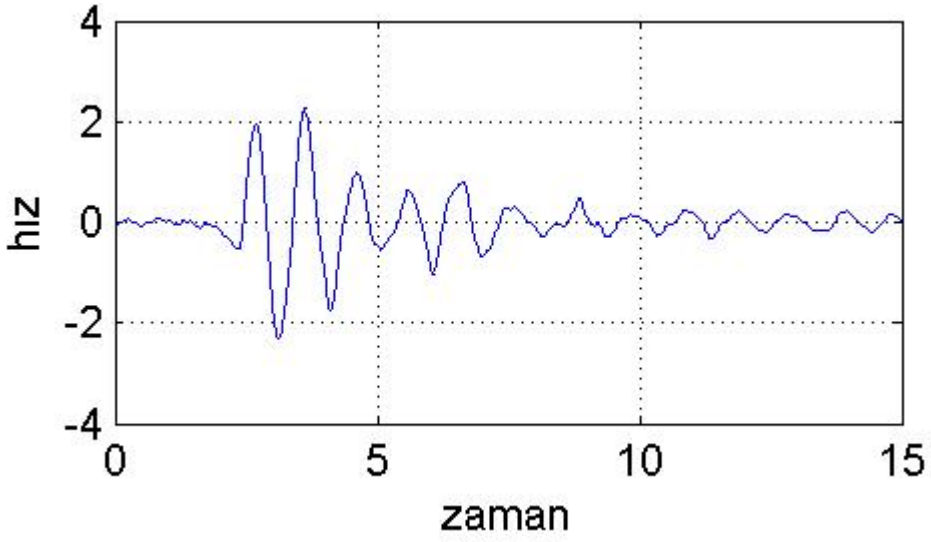


Şekil A.38 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

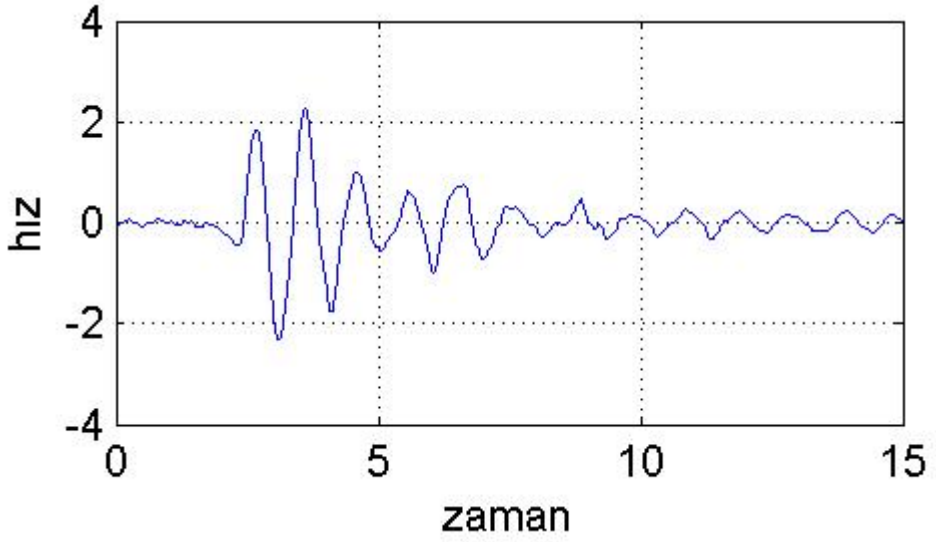


Şekil A.39 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

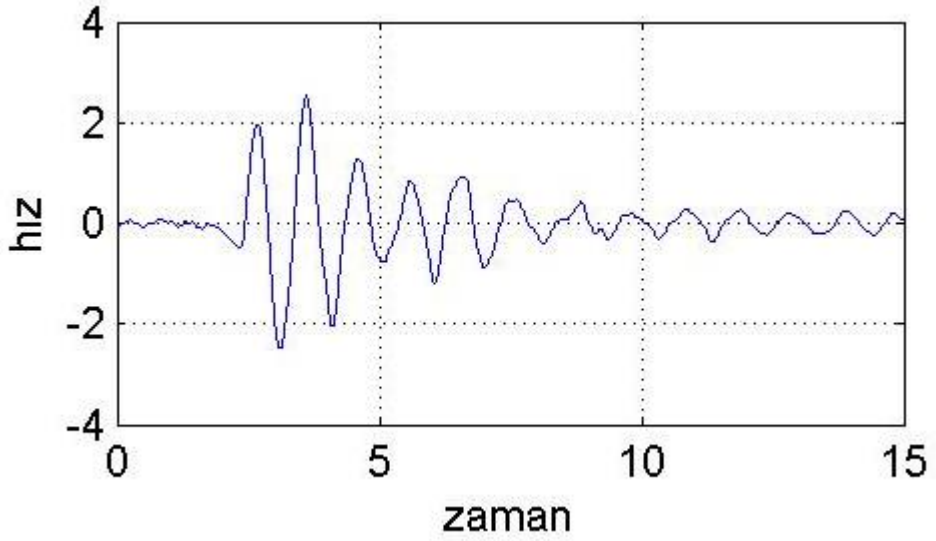
RİNALDİNS için hız grafikleri



Şekil A.40 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

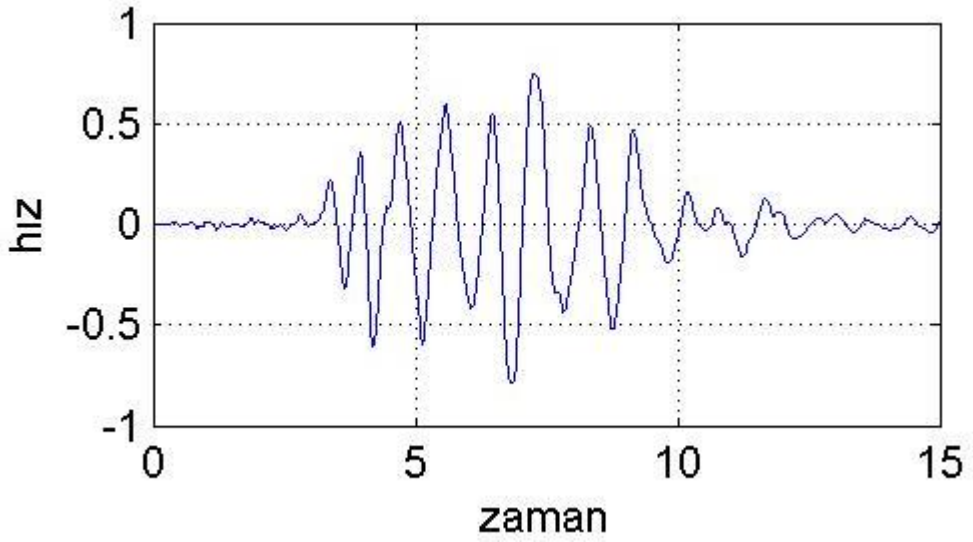


Şekil A.41 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

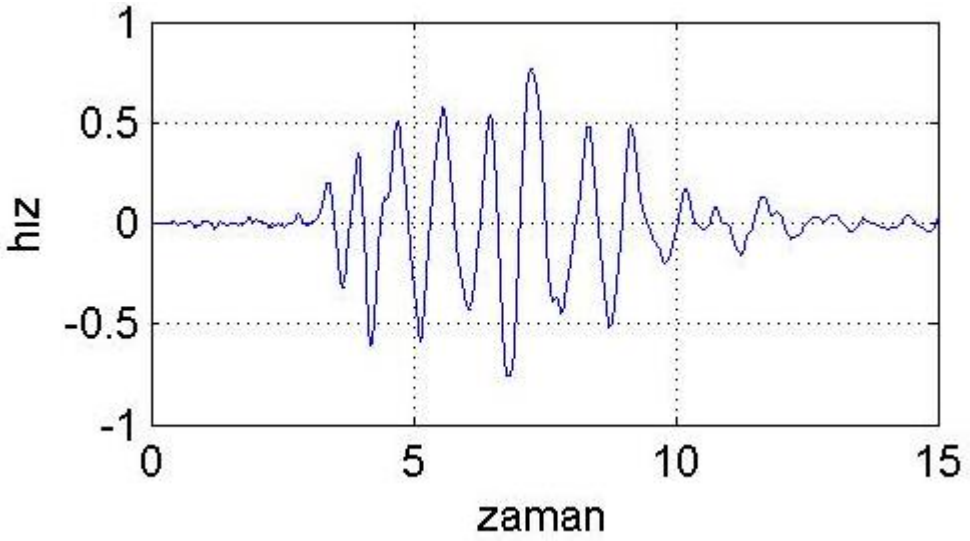


Şekil A.42 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

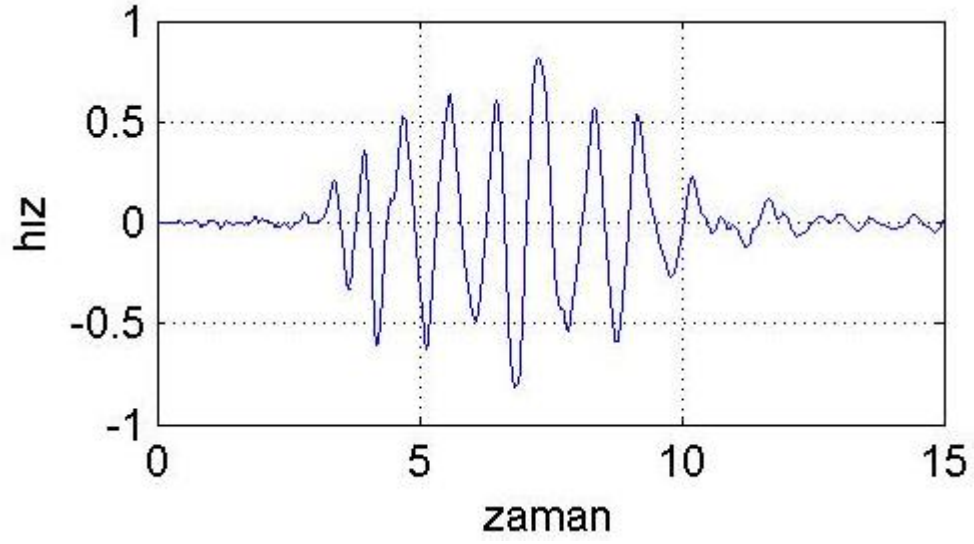
SYLMAREW için hız grafikleri



Şekil A.43 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

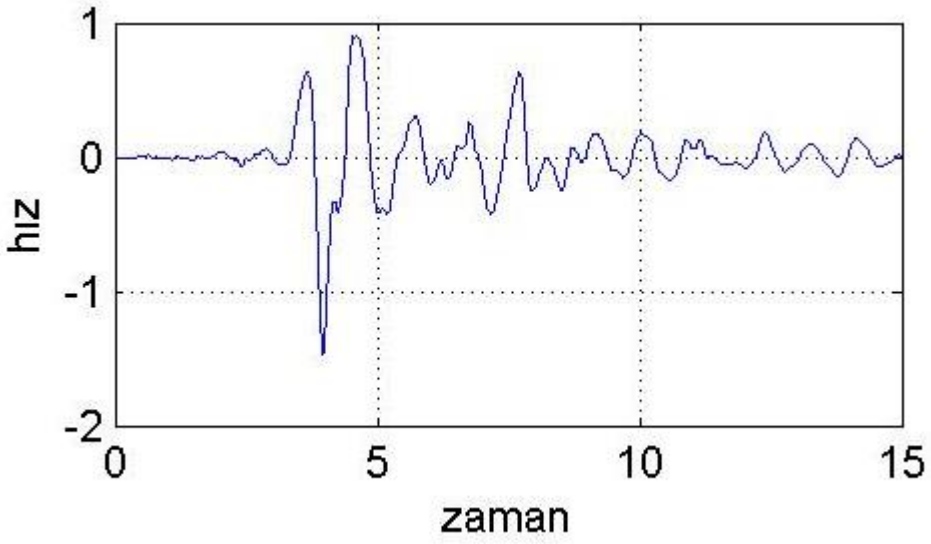


Şekil A.44 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

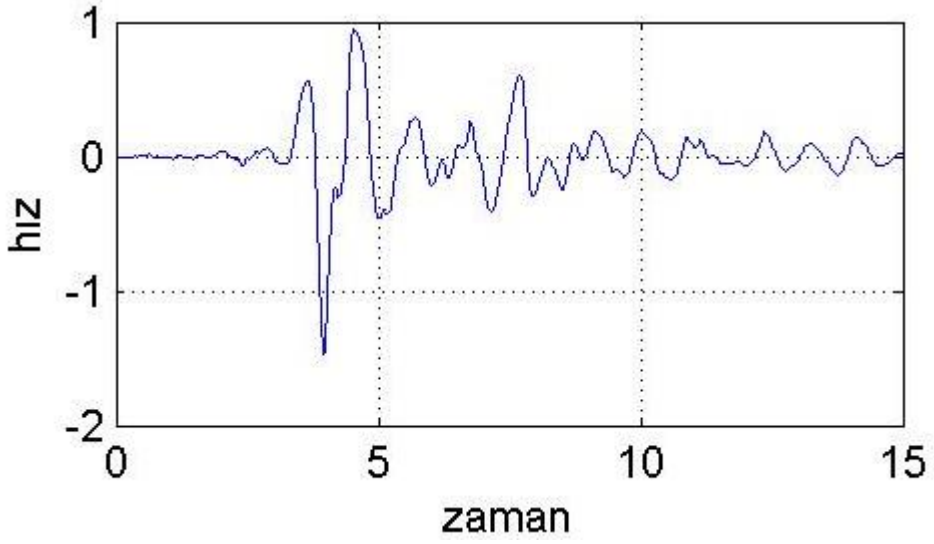


Şekil A.45 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

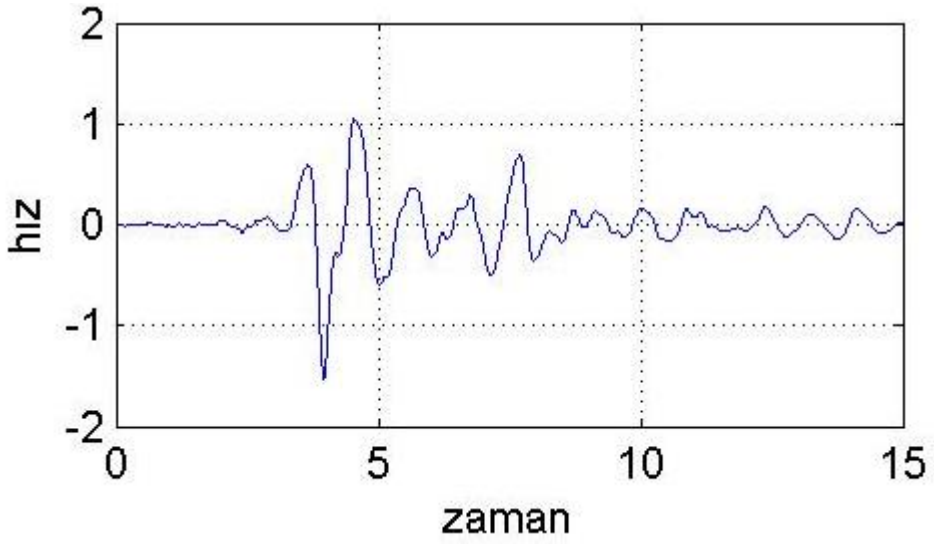
SYLMARNS için hız grafikleri



Şekil A.46 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği



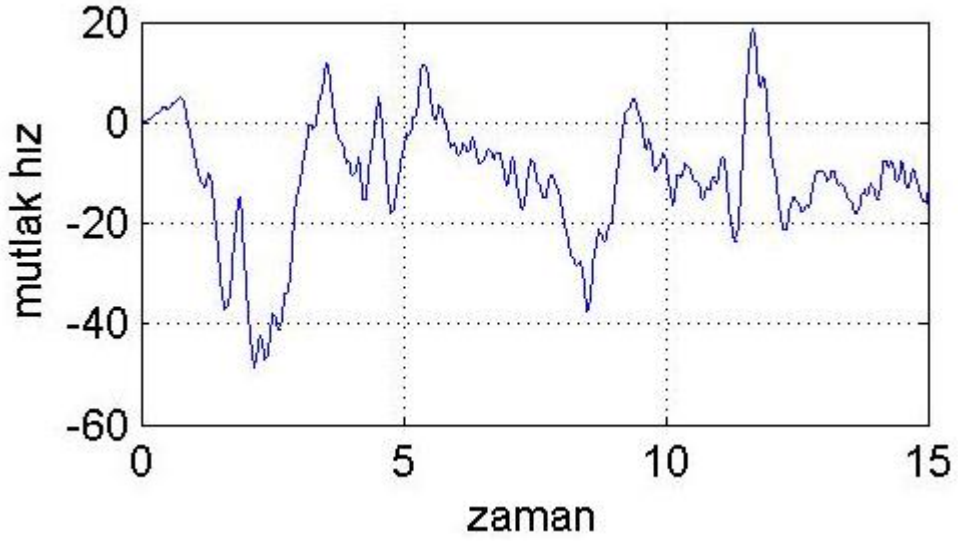
Şekil A.47 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği



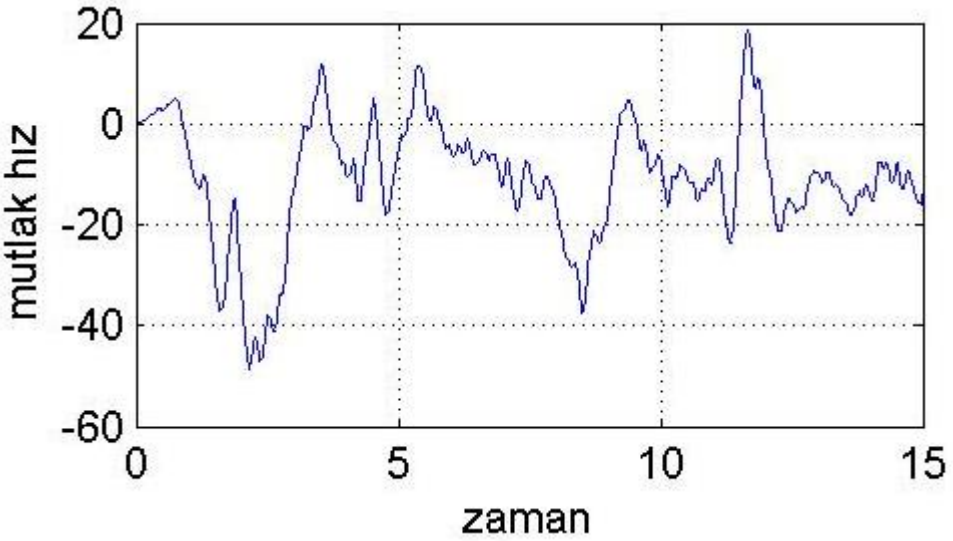
Şekil A.48 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

DEPREMLERİN MUTLAK HIZ GRAFİKLERİ

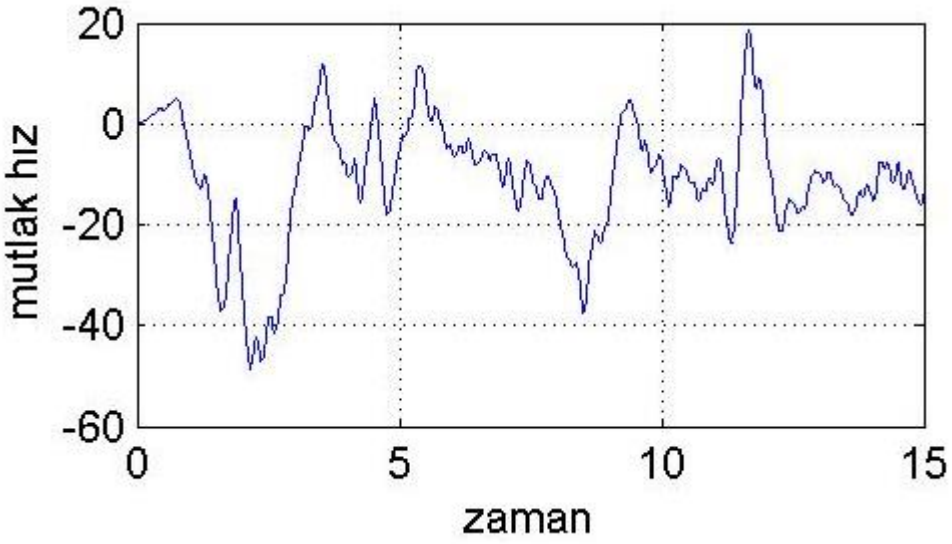
ELCEW için mutlak hız grafikleri



Şekil A.49 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

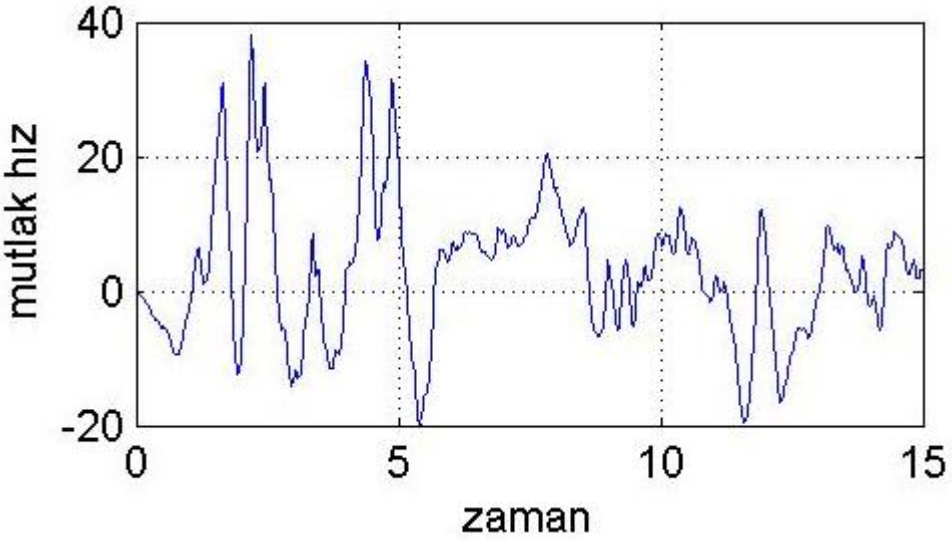


Şekil A.50 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

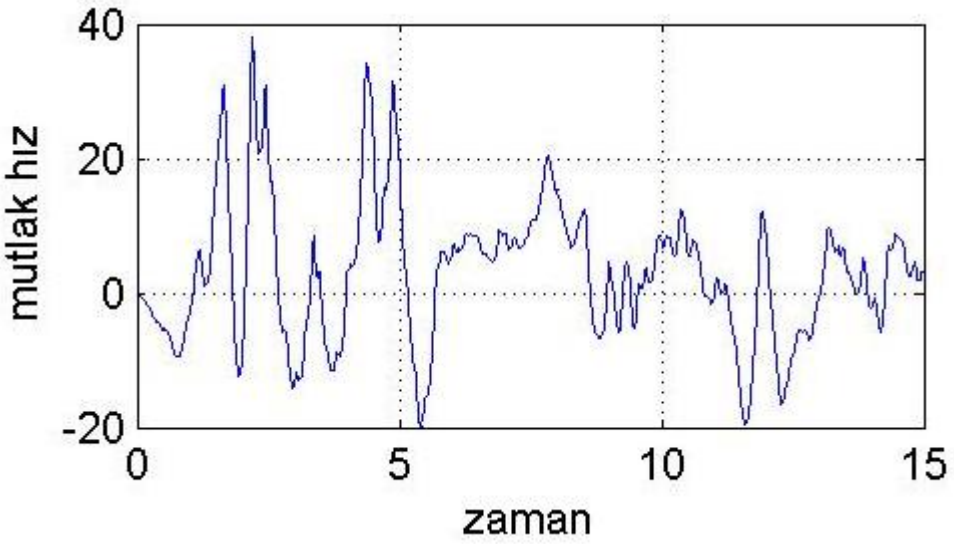


Şekil A.51 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan hız-zaman grafiği

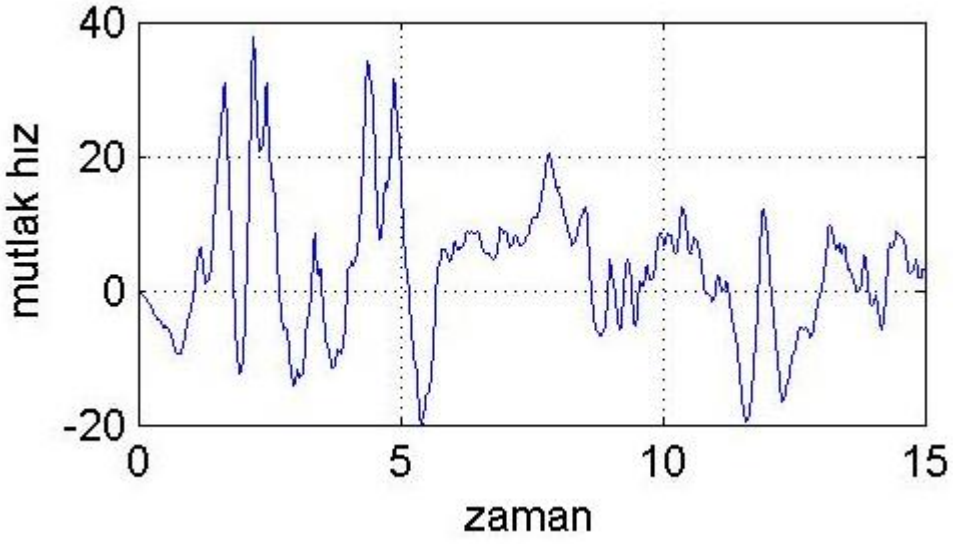
ELCNS için mutlak hız grafikleri



Şekil A.52 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

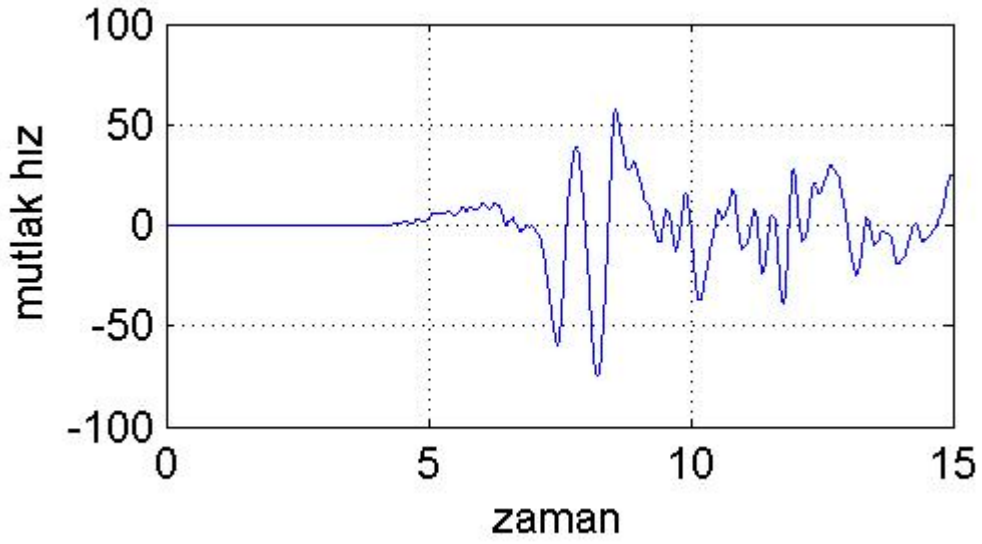


Şekil A.53 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

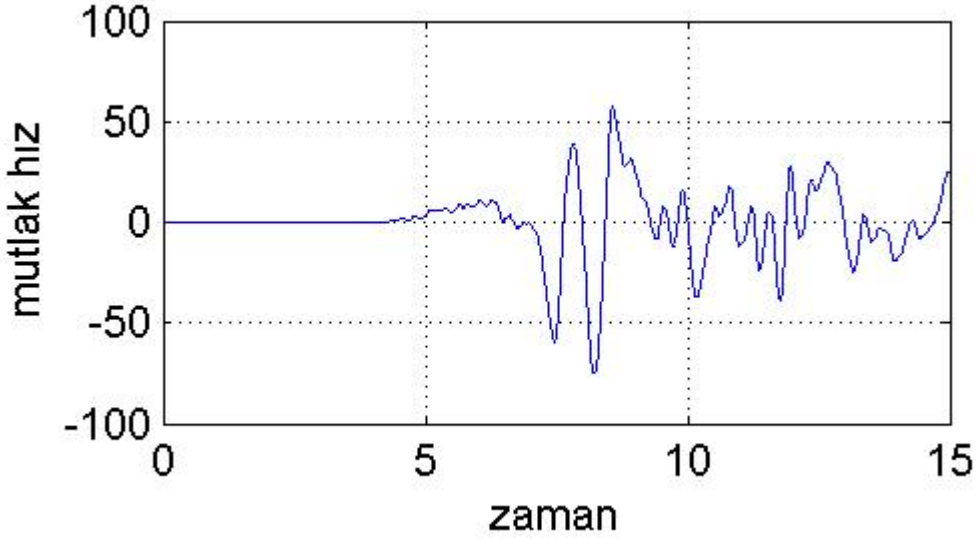


Şekil A.54: bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

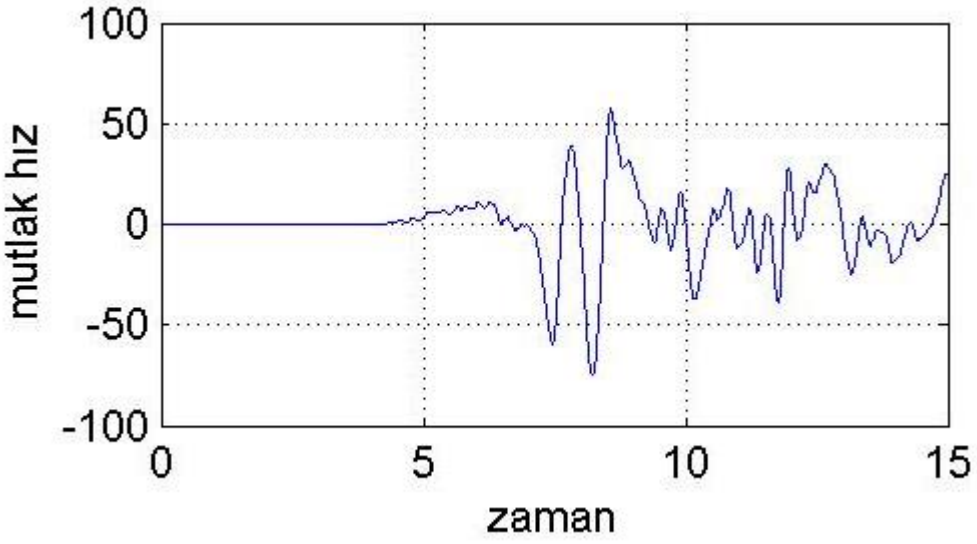
KOBEEW için mutlak hız grafikleri



Şekil A.55 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

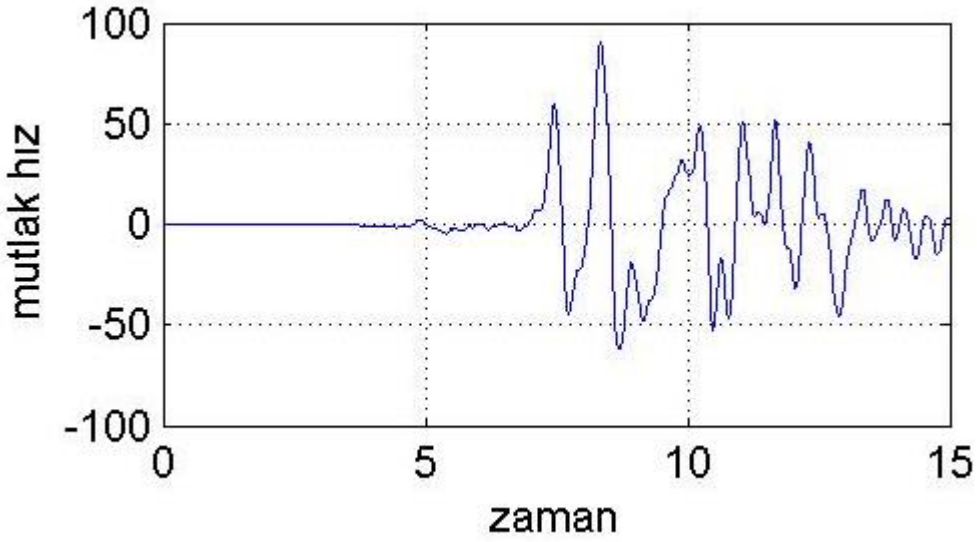


Şekil A.56 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

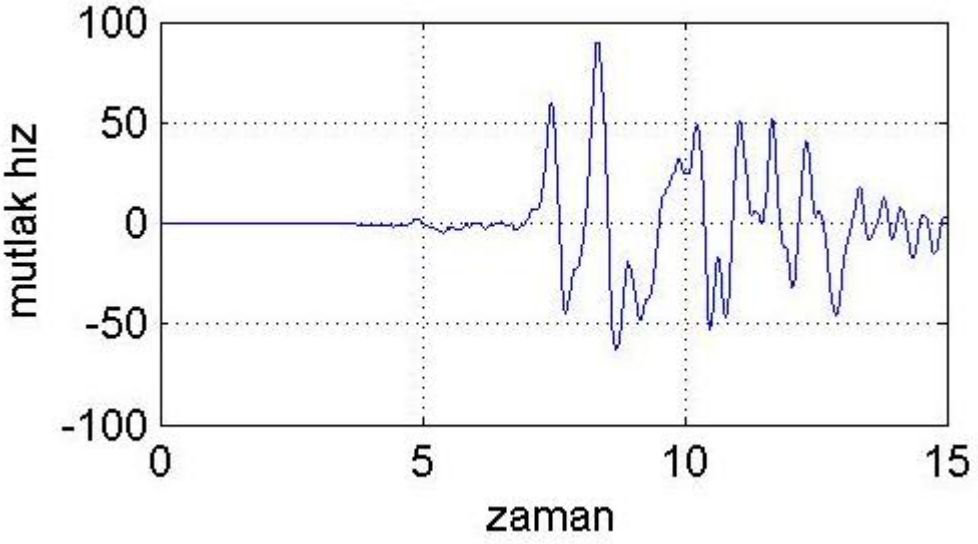


Şekil A.57 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

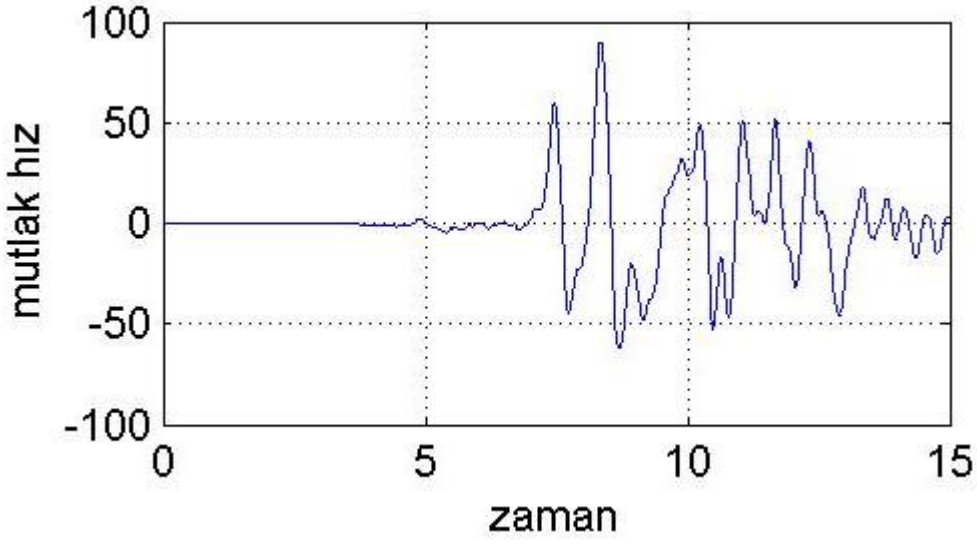
KOBENS için mutlak hız grafikleri



Şekil A.58 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

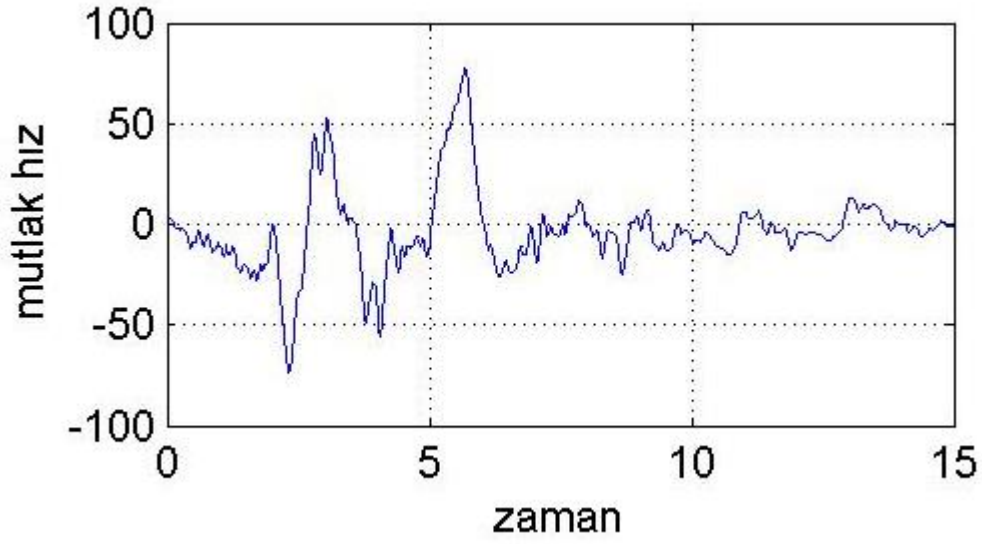


Şekil A.59: açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

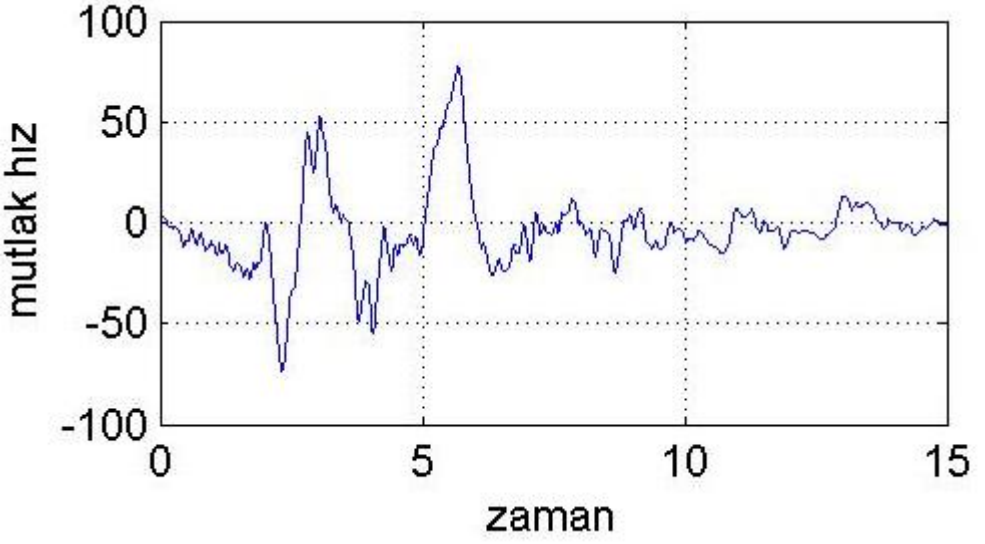


Şekil A.60 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

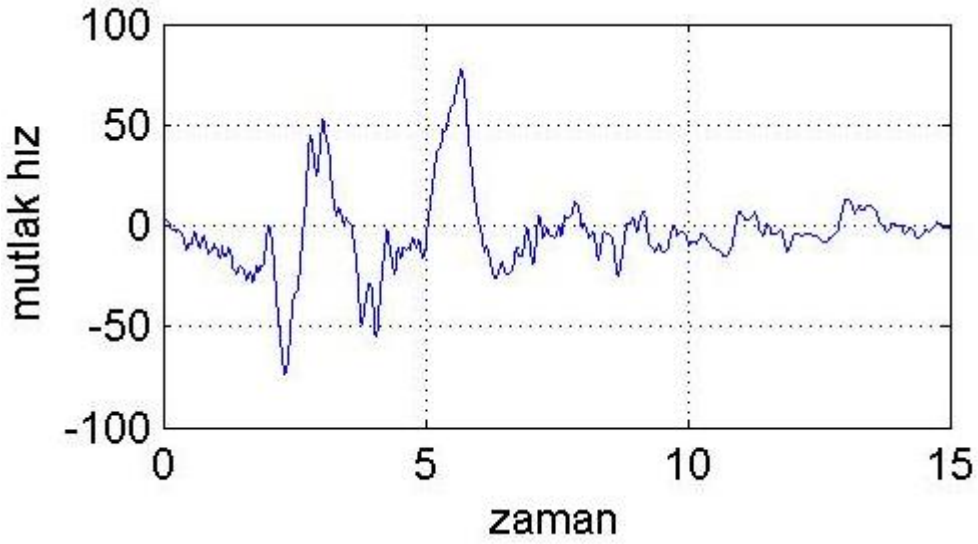
RİNALDİEW için mutlak hız grafikleri



Şekil A.61 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

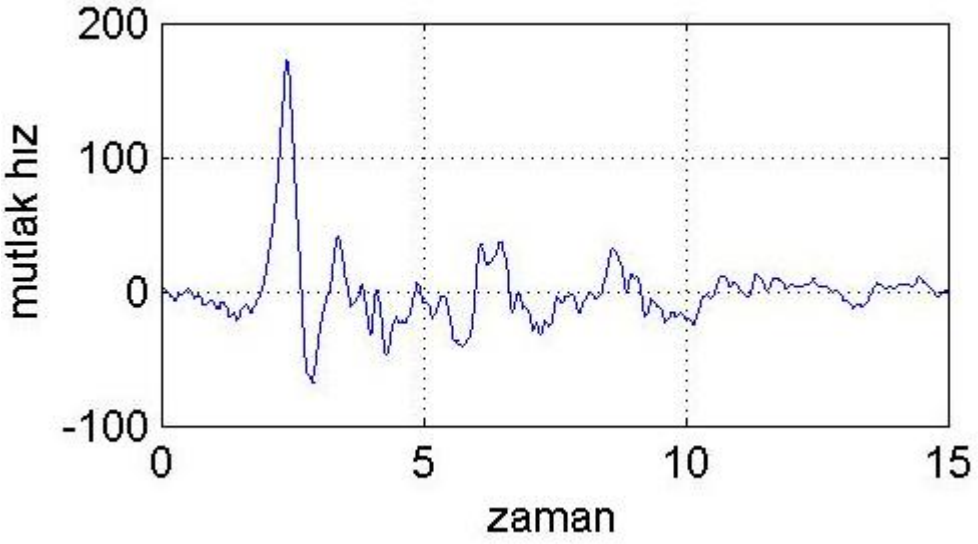


Şekil A.62 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

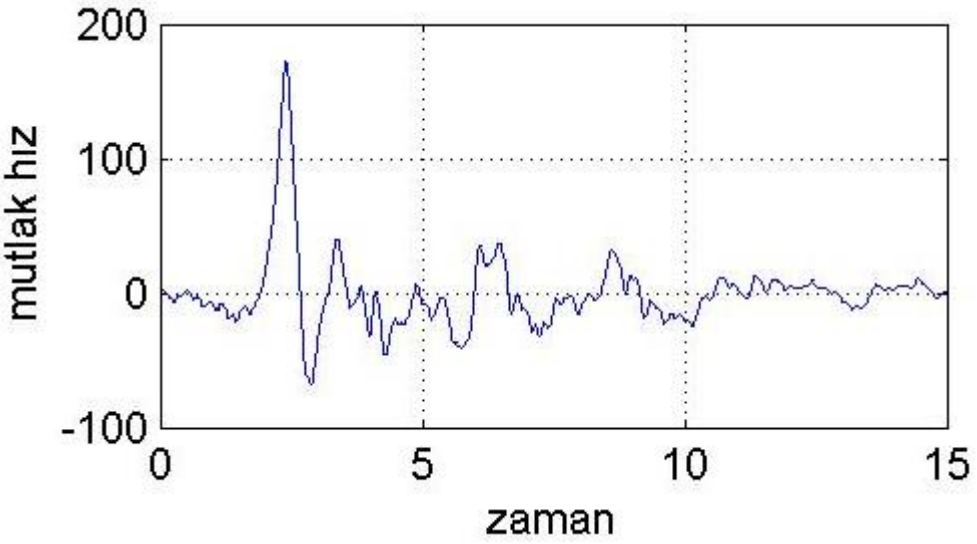


Şekil A.63 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

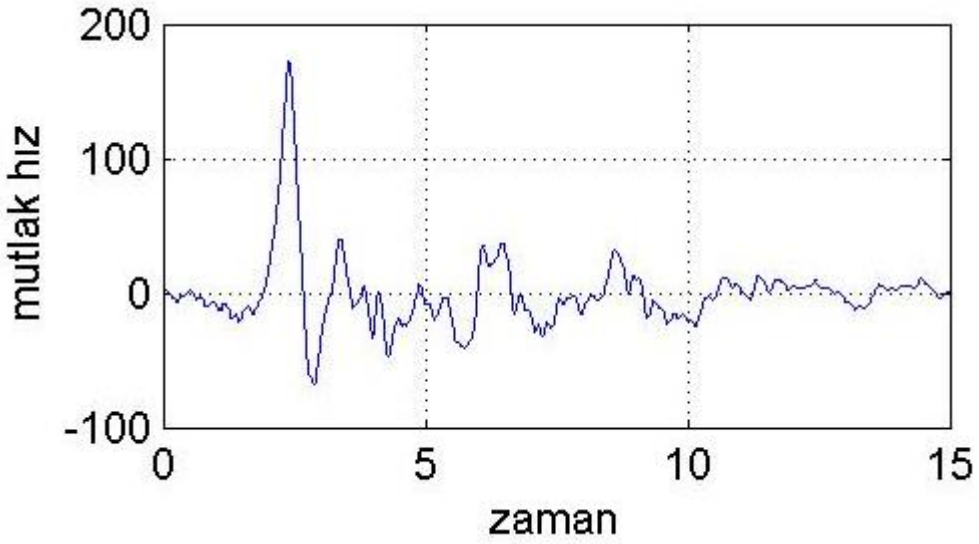
RİNALDİNS için mutlak hız grafikleri



Şekil A.64 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

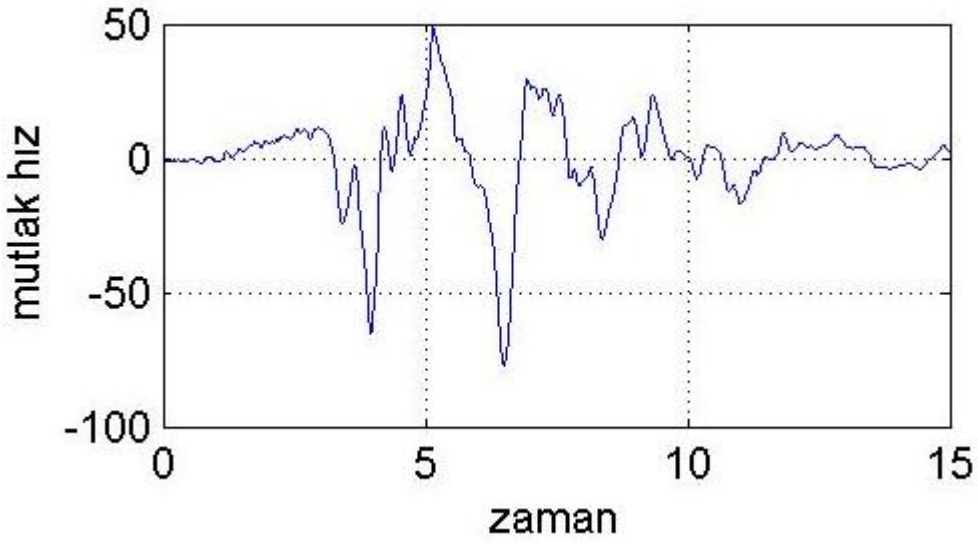


Şekil A.65 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

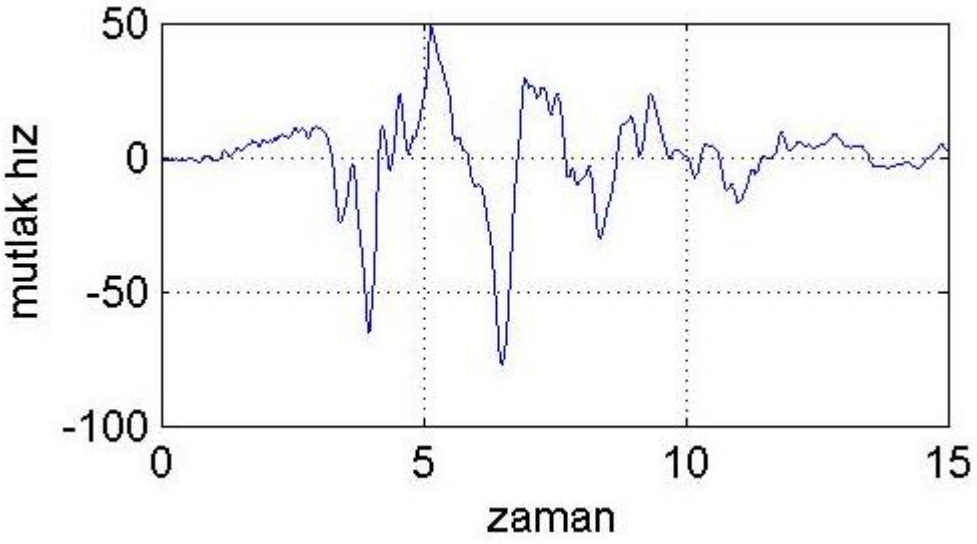


Şekil A.66 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

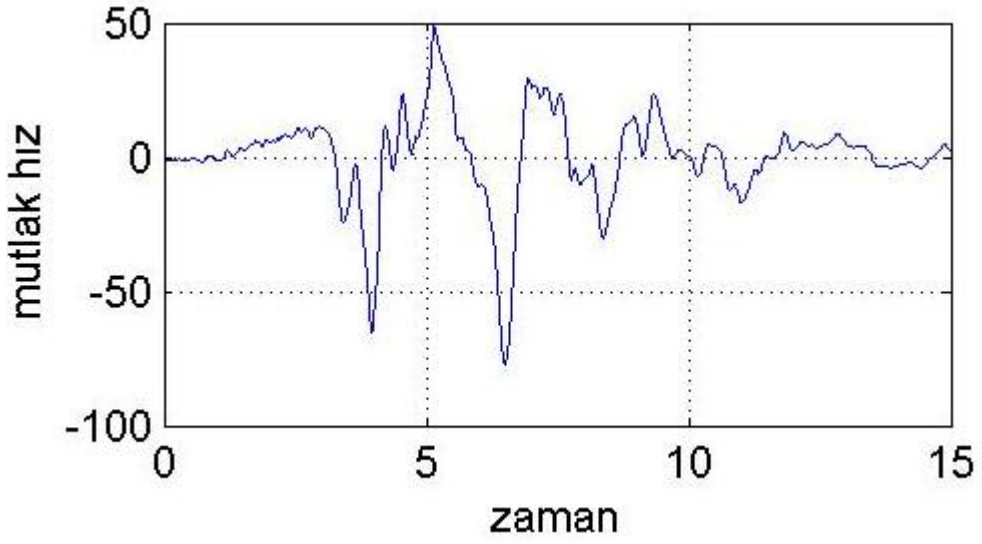
SYLMAREW için mutlak hız grafikleri



Şekil A.67 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

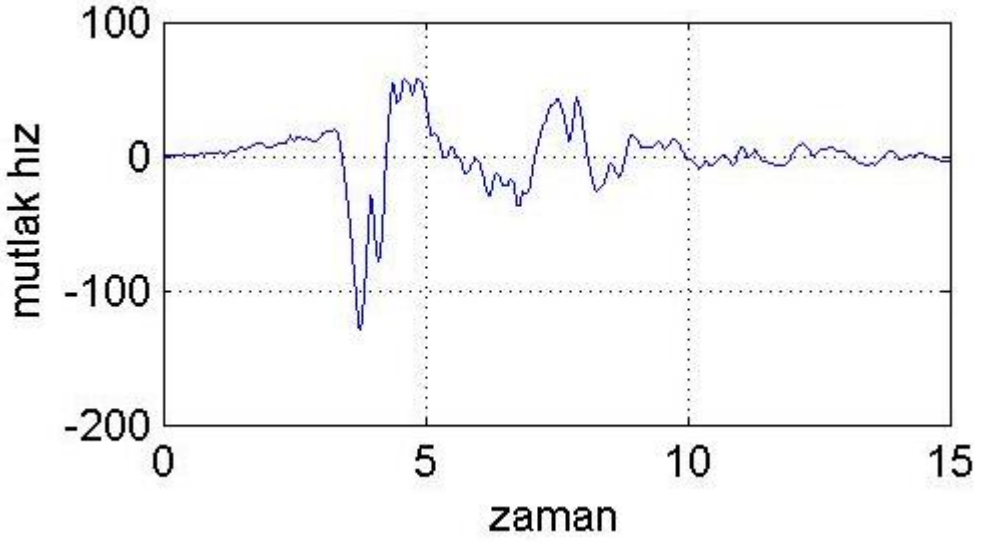


Şekil A.68 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

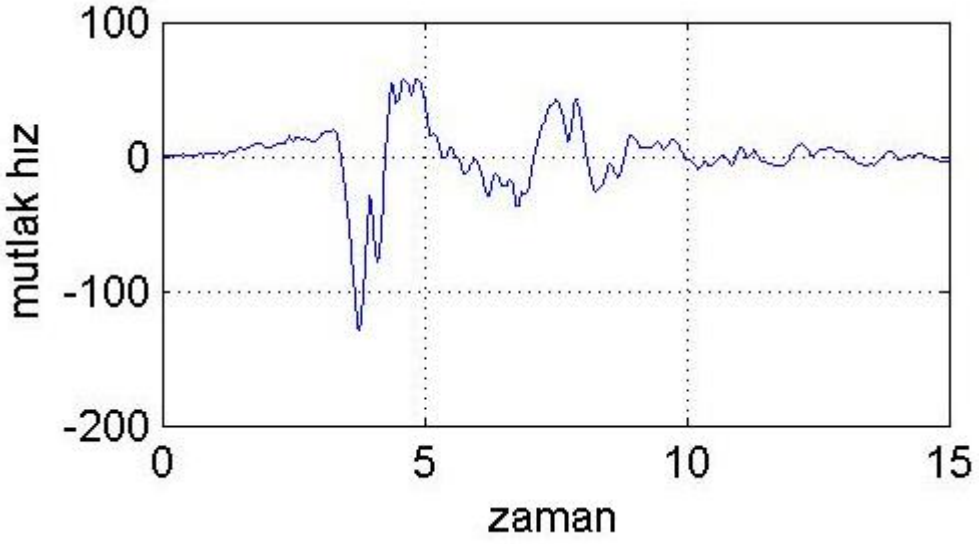


Şekil A.69 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

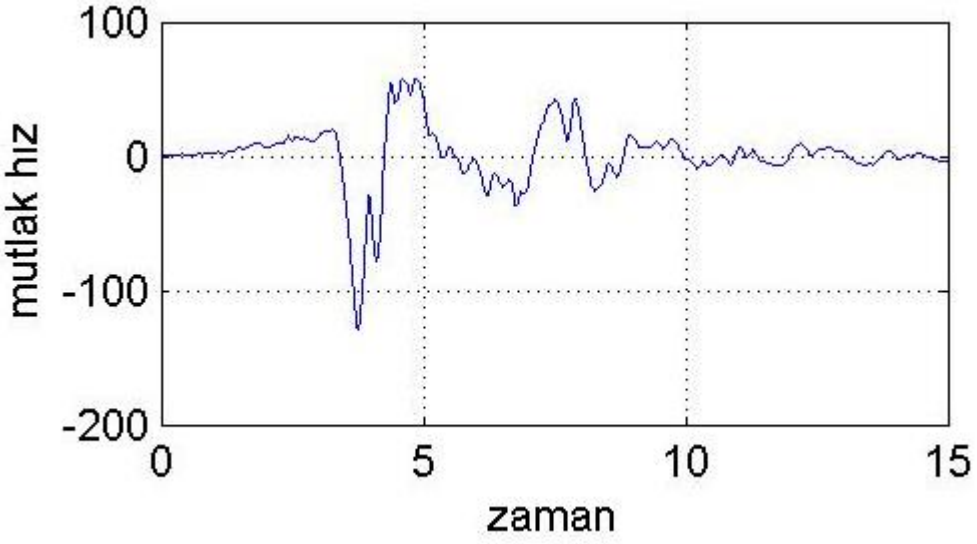
SYLMARNS için mutlak hız grafikleri



Şekil A.70 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği



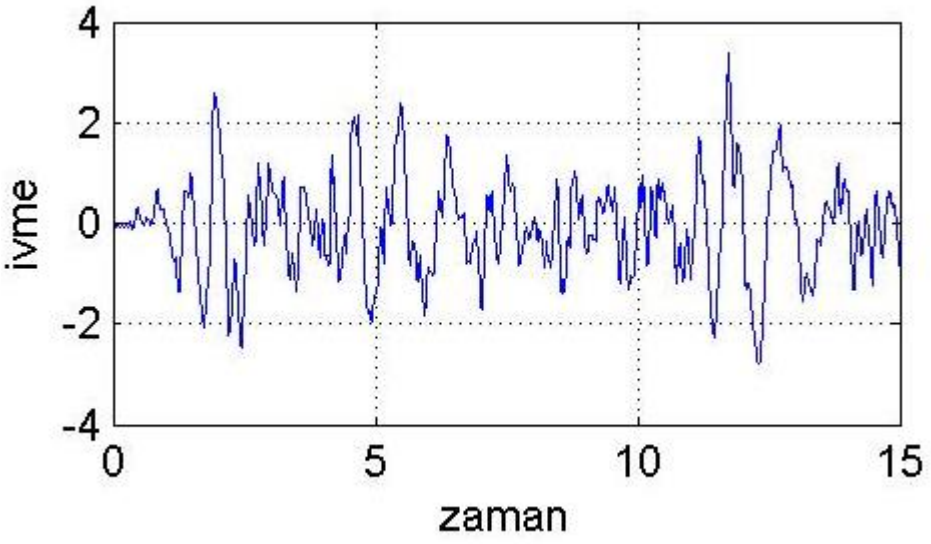
Şekil A.71 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği



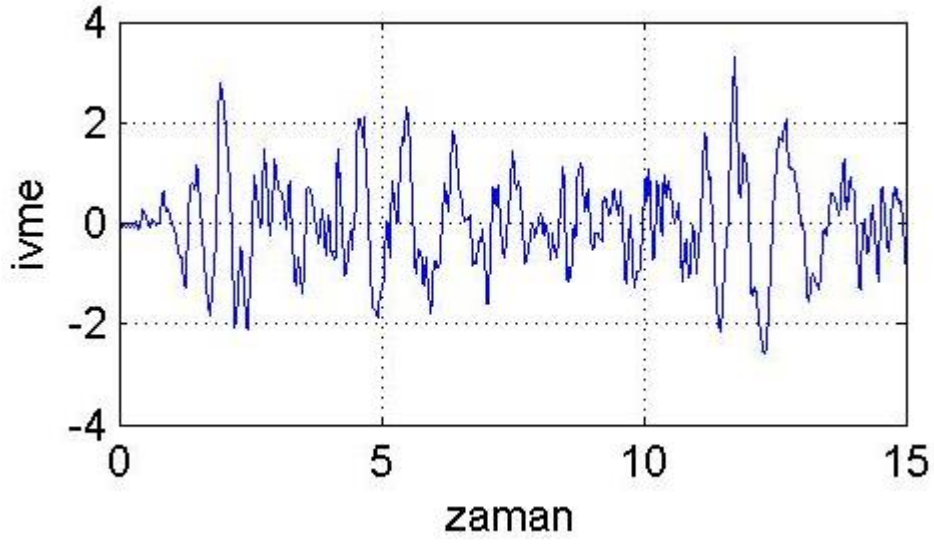
Şekil A.72 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak hız-zaman grafiği

DEPREMLERİN İVME GRAFİKLERİ

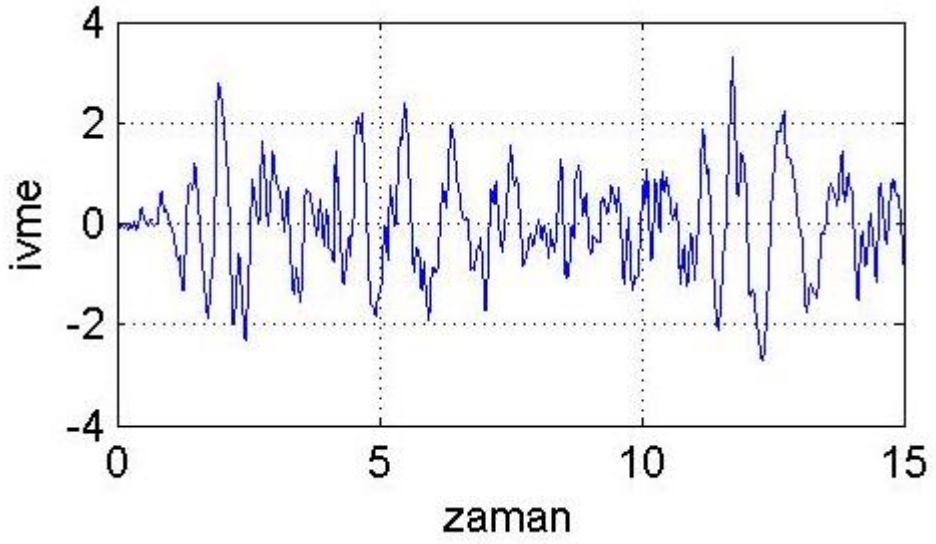
ELCEW için ivme grafikleri



Şekil A.73 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

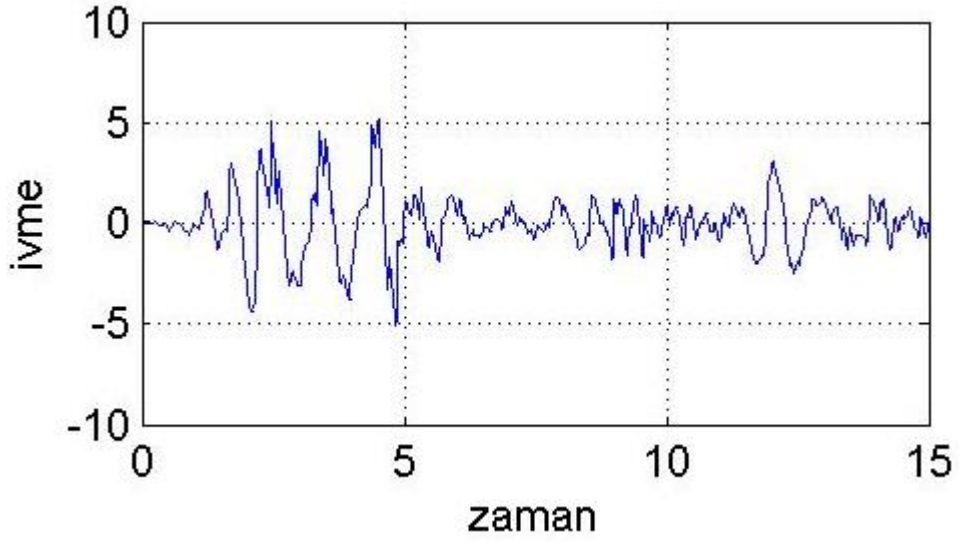


Şekil A.74 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

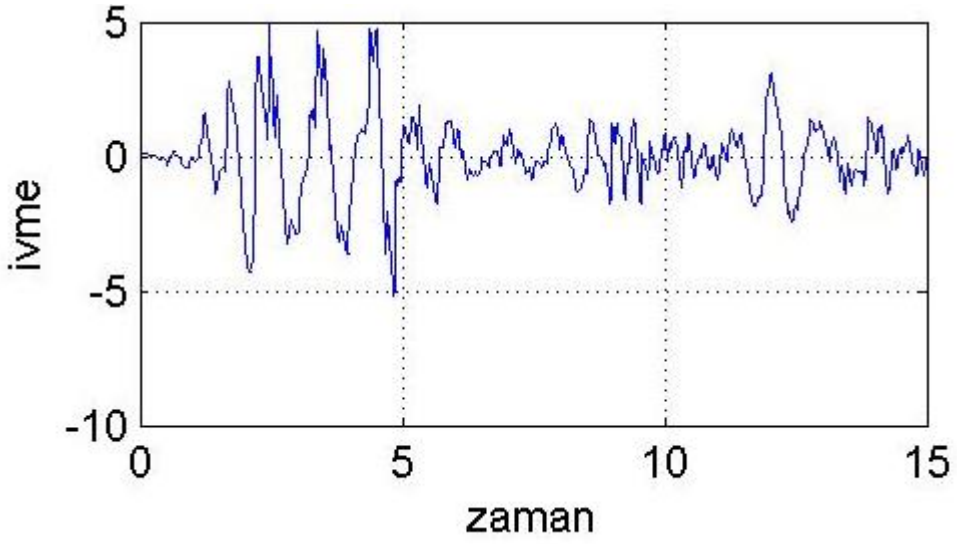


Şekil A.75 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

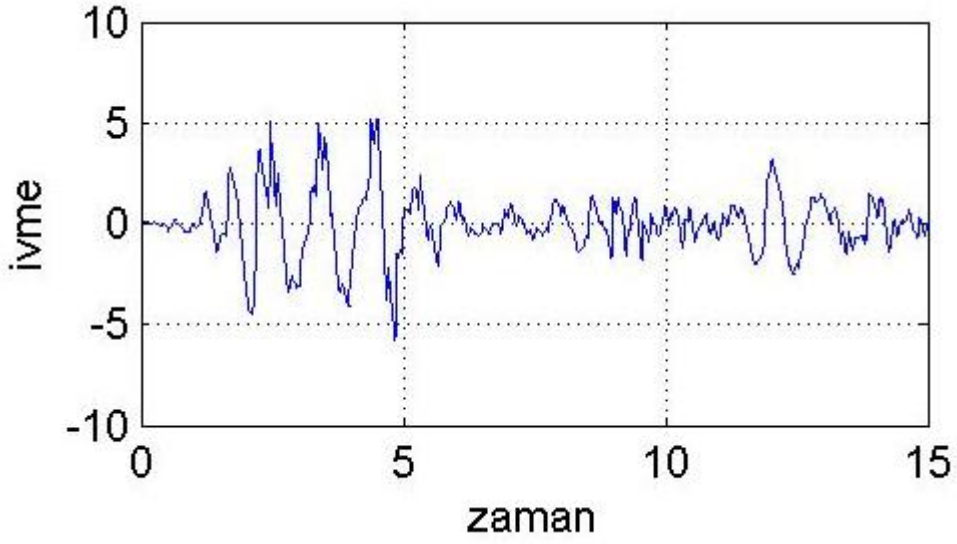
ELCNS için ivme grafikleri



Şekil A.76 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

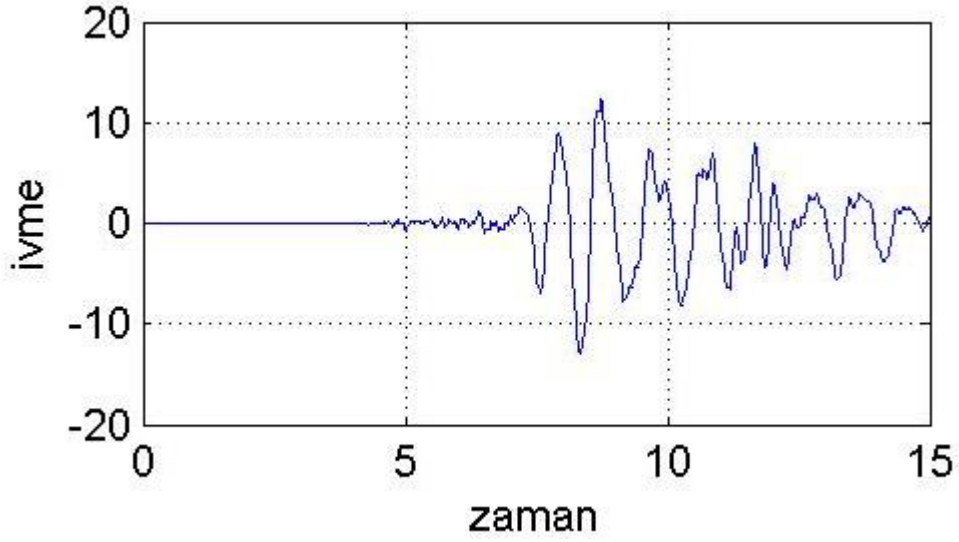


Şekil A.77 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

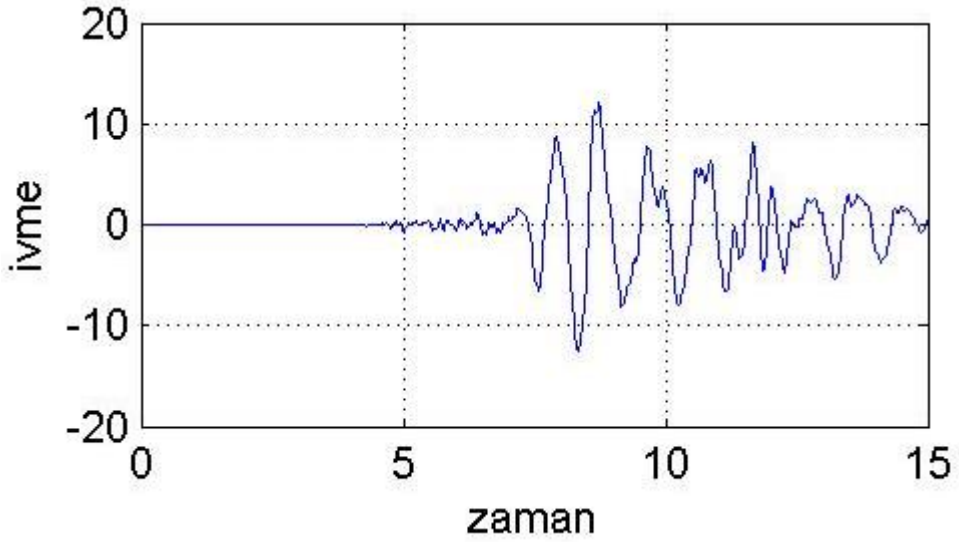


Şekil A.78 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

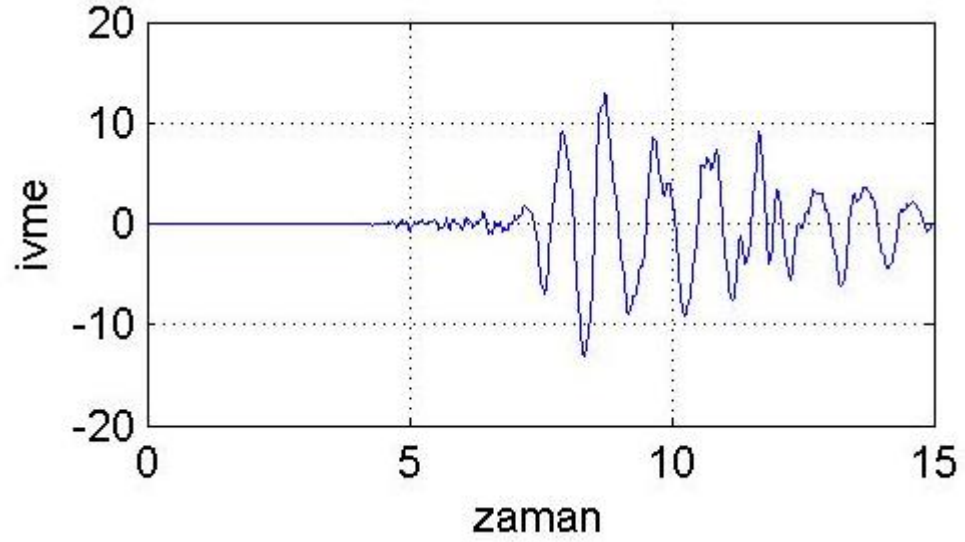
KOBEEW için ivme grafikleri



Şekil A.79 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

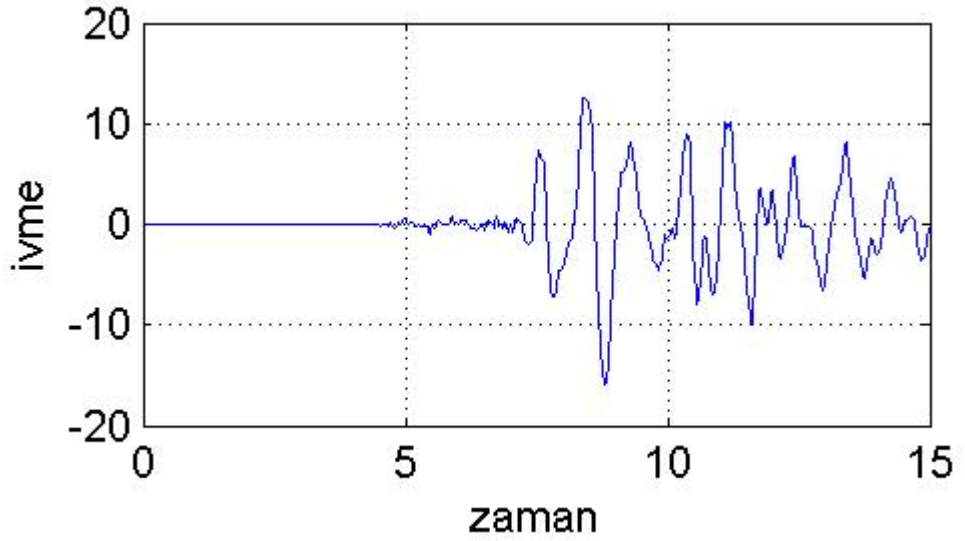


Şekil A.80 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

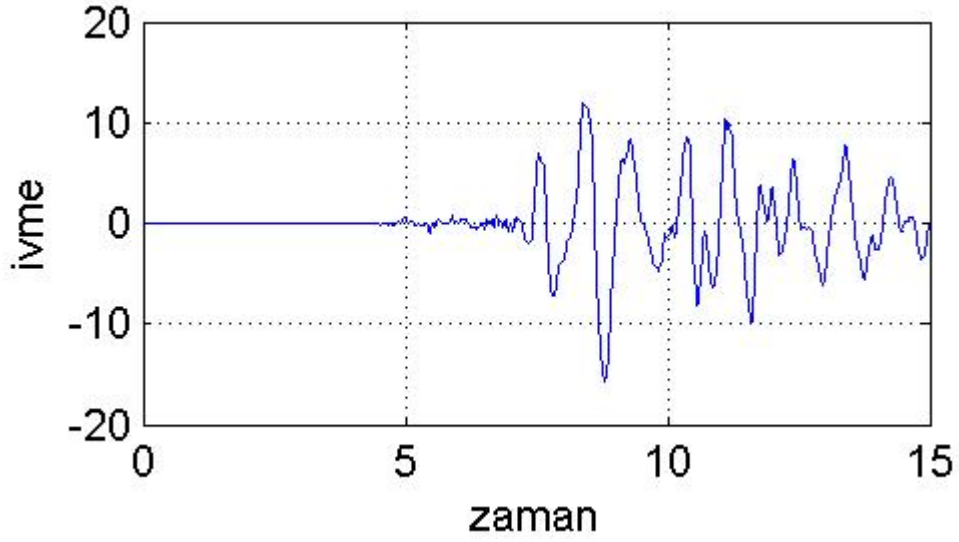


Şekil A.81 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

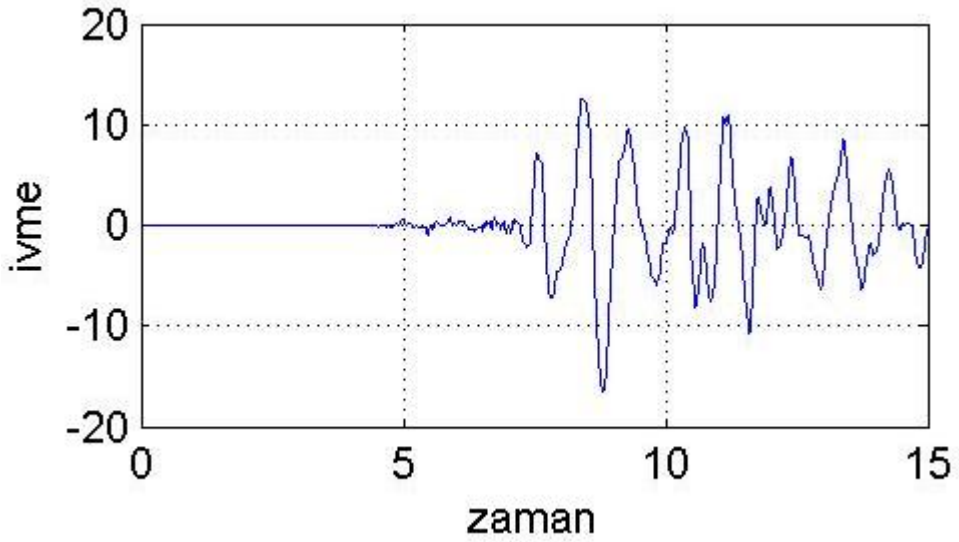
KOBENS için ivme grafikleri



Şekil A.82 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

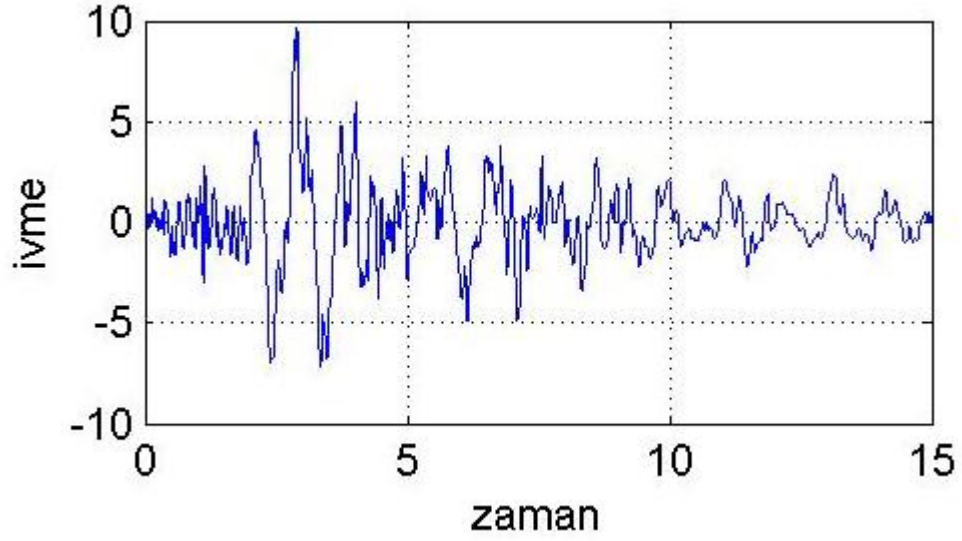


Şekil A.83 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

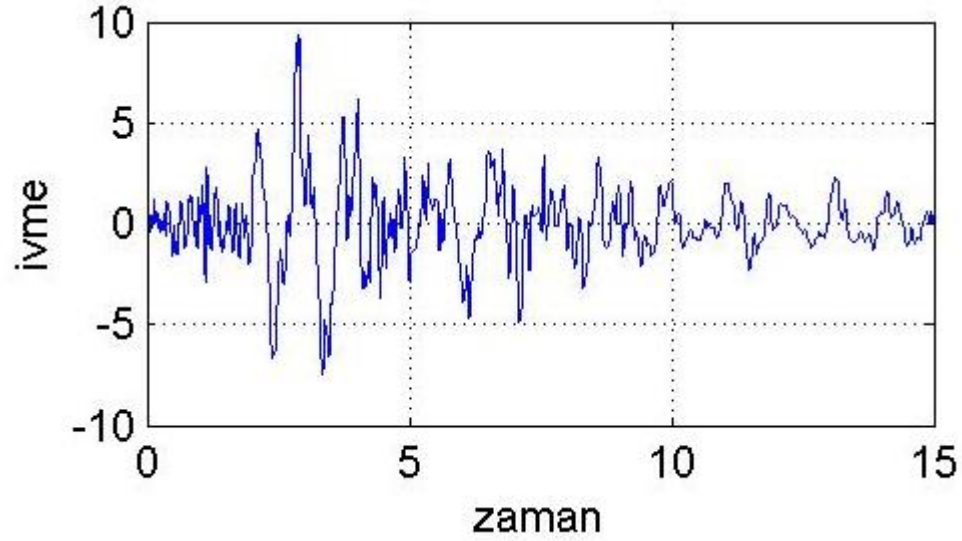


Şekil A.84 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

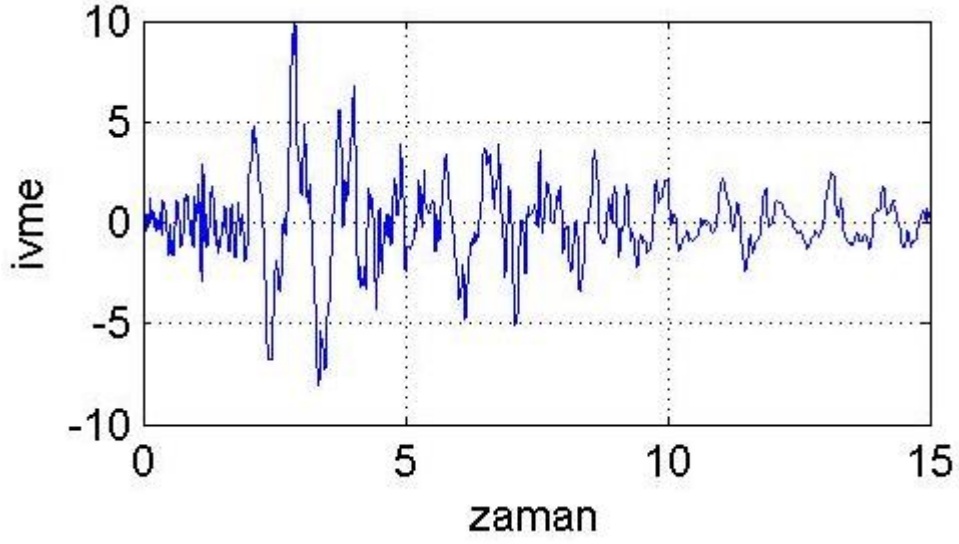
RİNALDİEW için ivme grafikleri



Şekil A.85 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

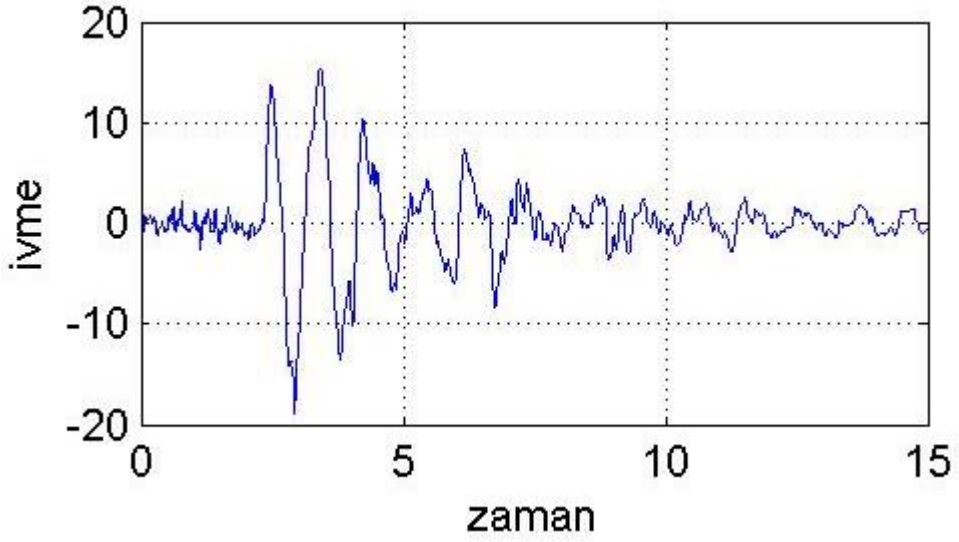


Şekil A.86 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

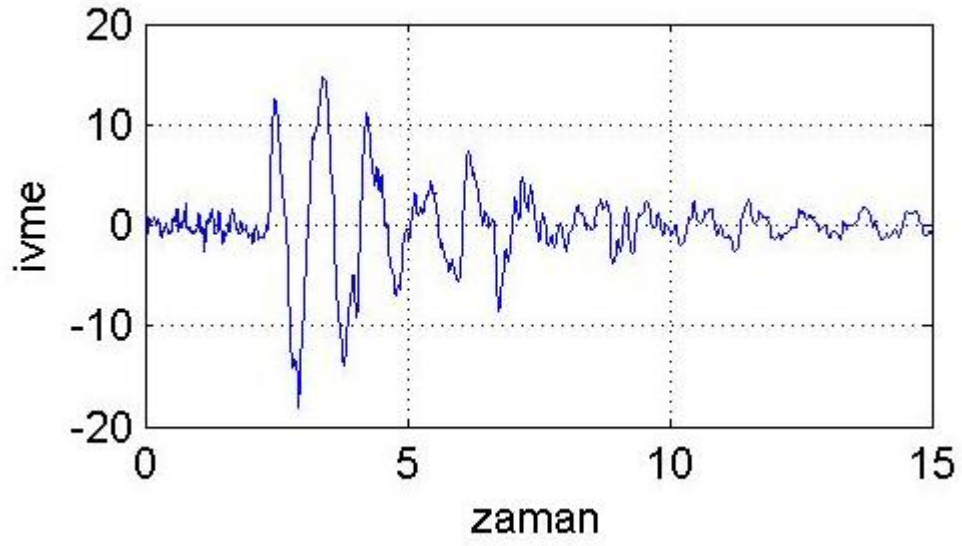


Şekil A.87 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

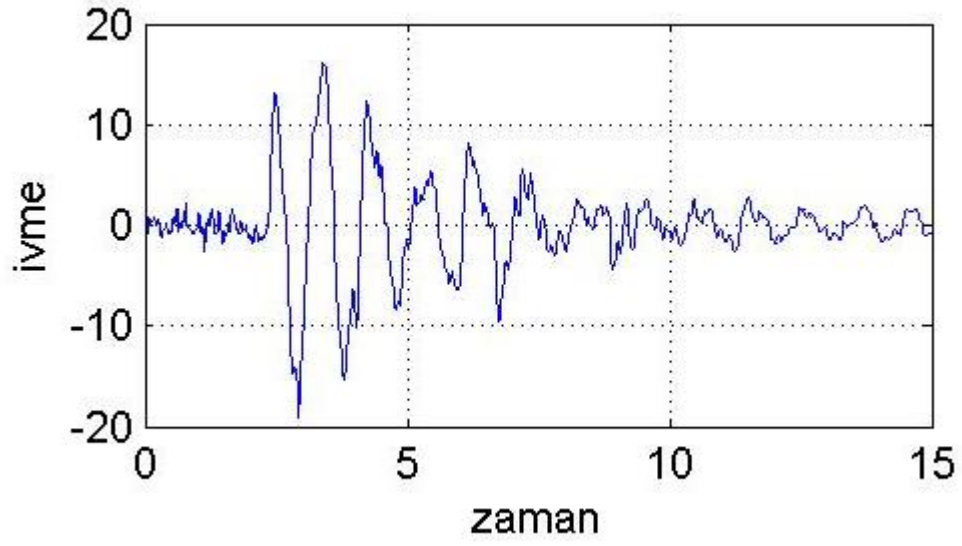
RİNALDİNS için ivme grafikleri



Şekil A.88 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

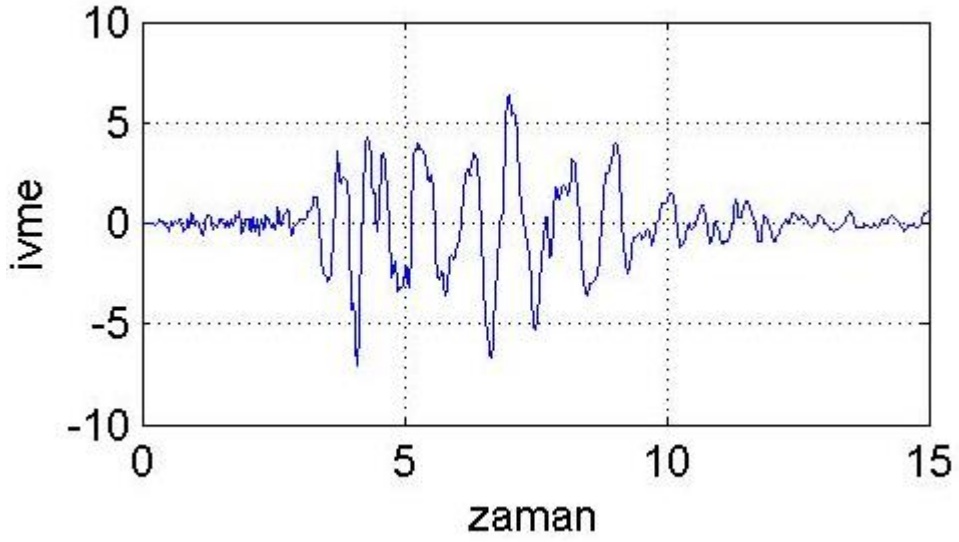


Şekil A.89 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

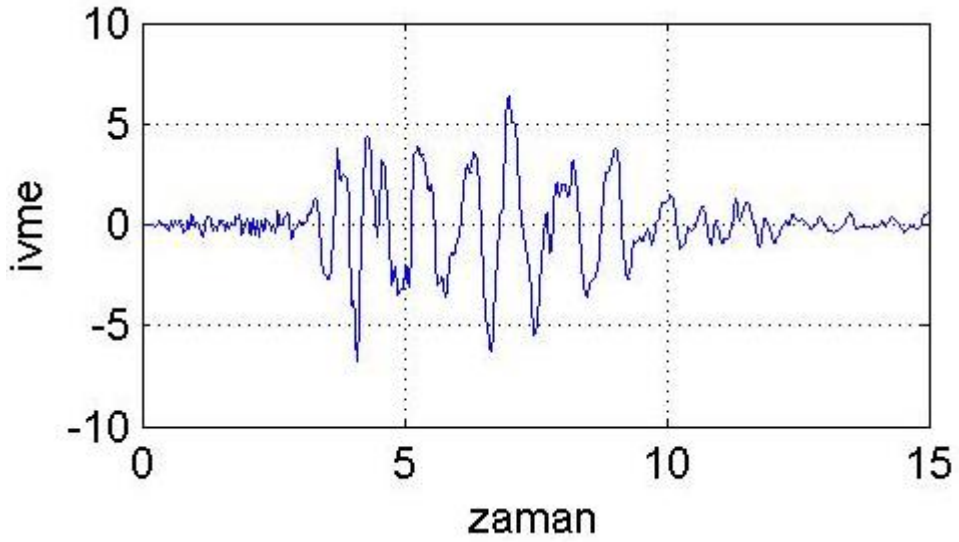


Şekil A.90 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

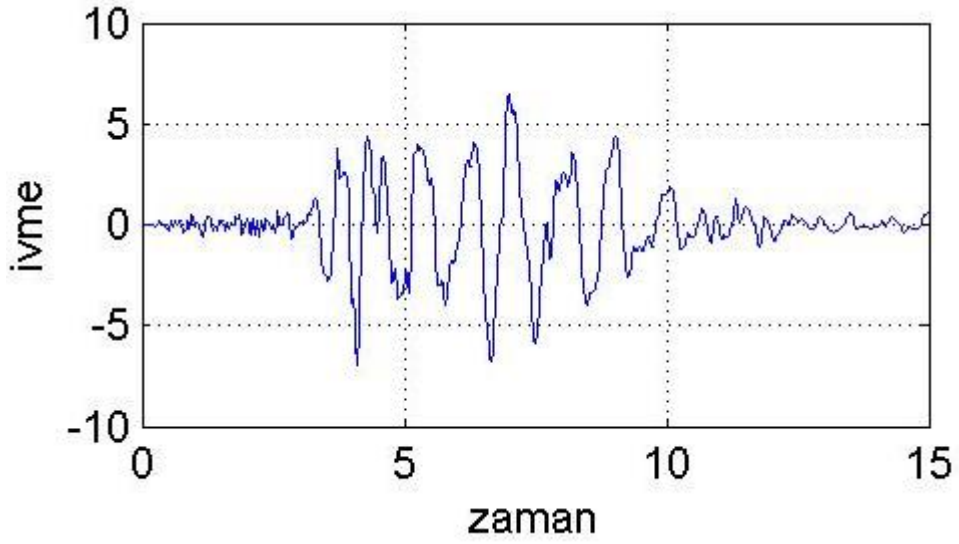
SYLMAREW için ivme grafikleri



Şekil A.91 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

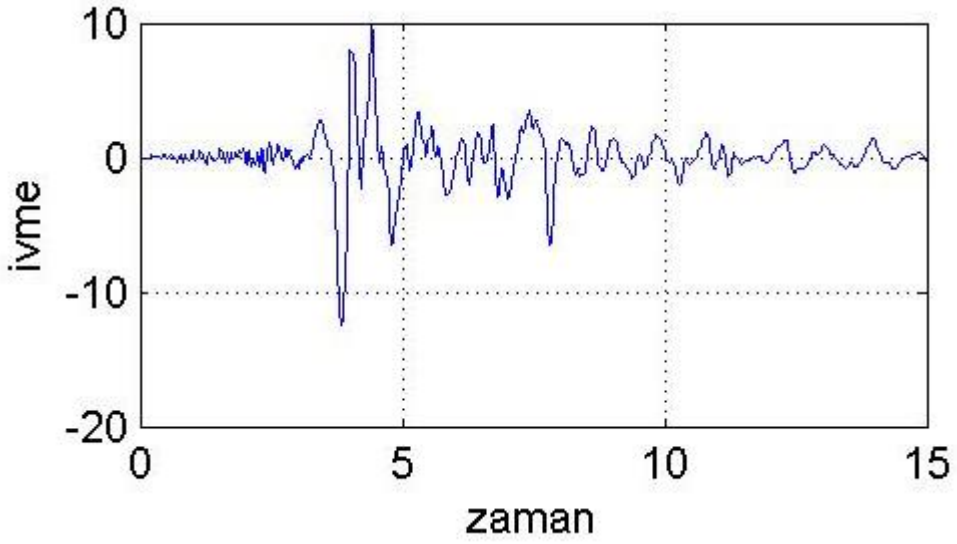


Şekil A.92 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

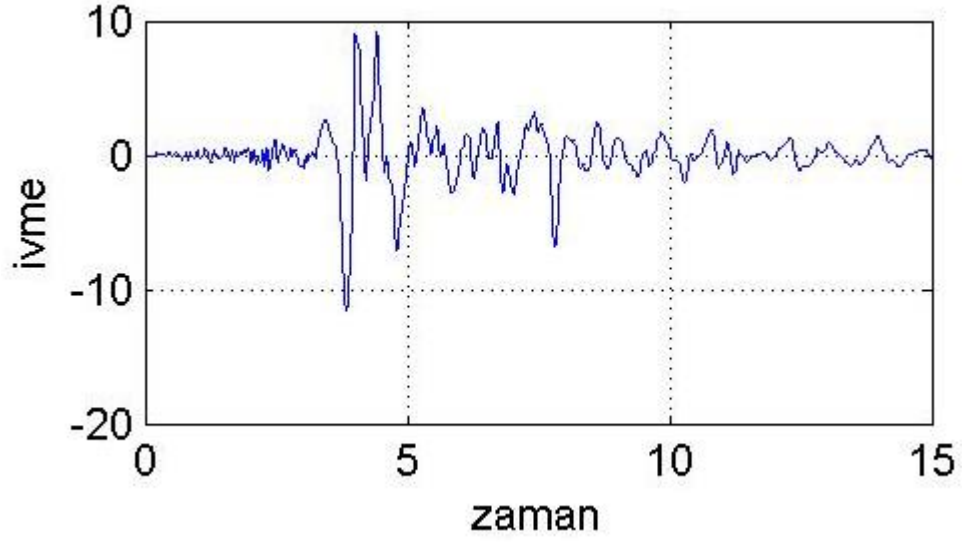


Şekil A.93 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

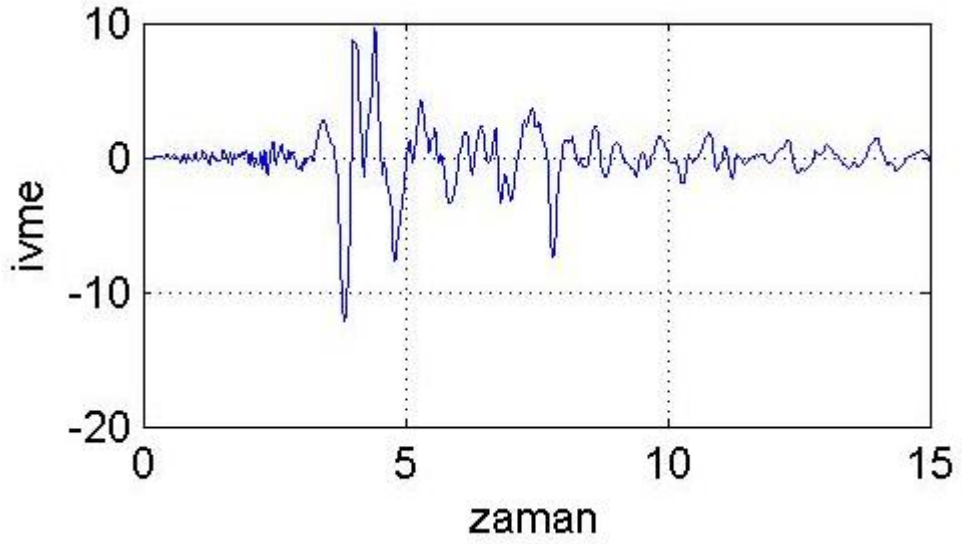
SYLMARNS için ivme grafikleri



Şekil A.94 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği



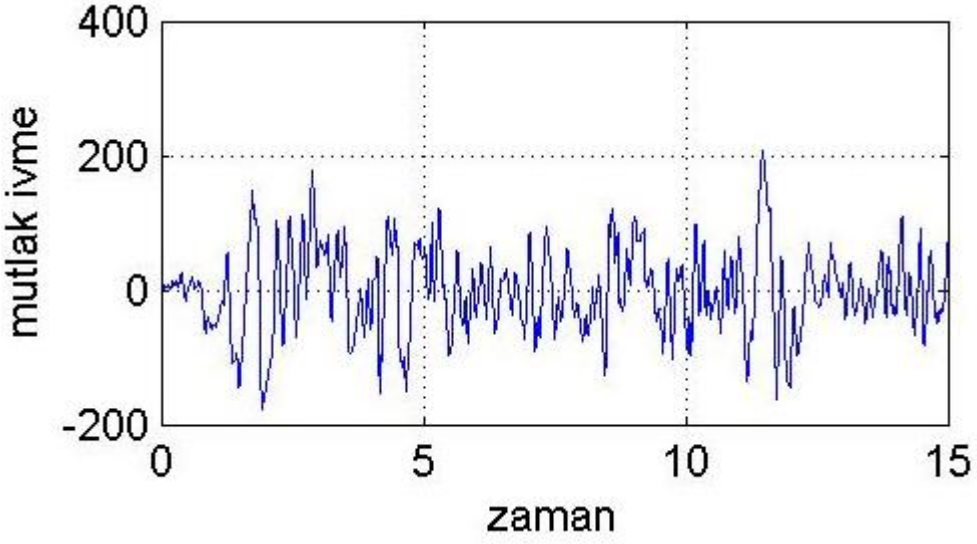
Şekil A.95 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği



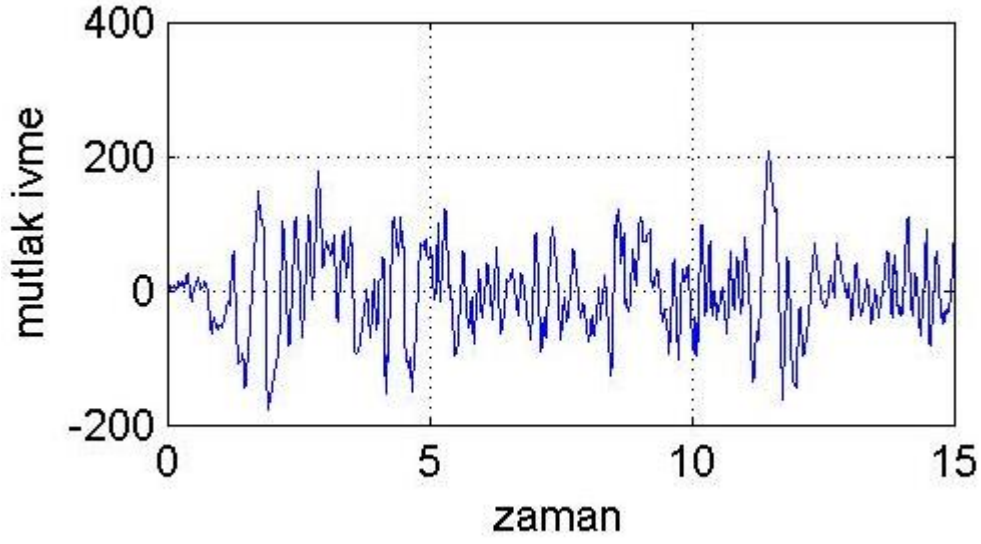
Şekil A.96 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan ivme-zaman grafiği

DEPREMLERİN MUTLAK İVME GRAFİKLERİ

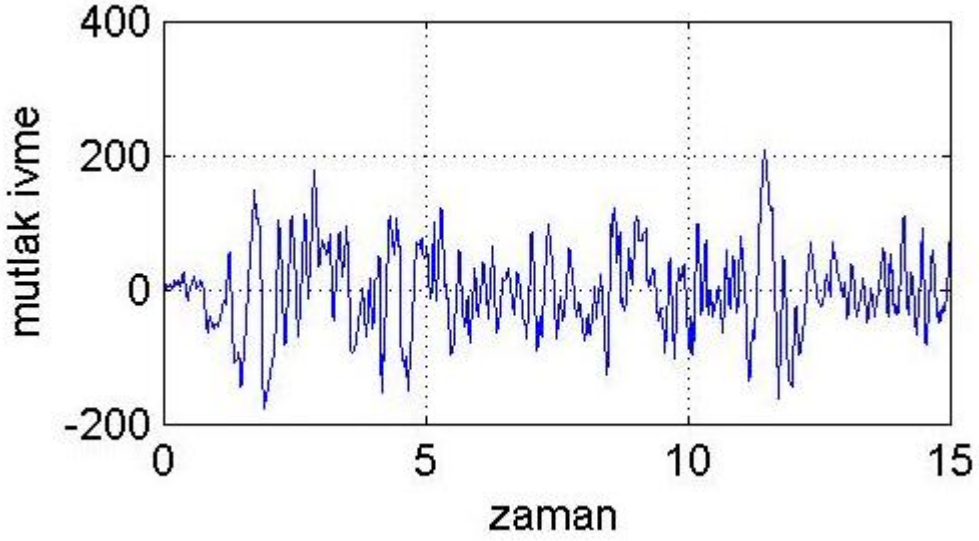
ELCEW için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.97 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

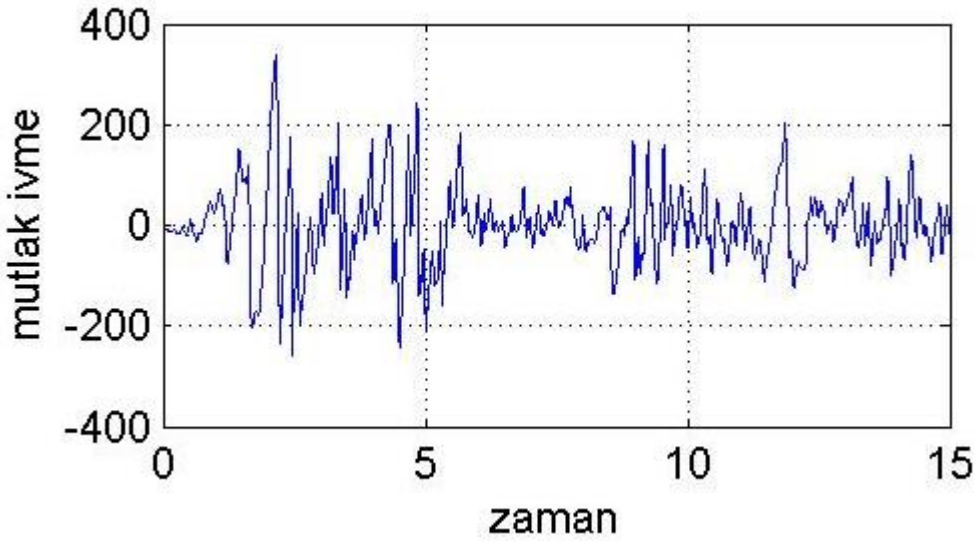


Şekil A.98 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

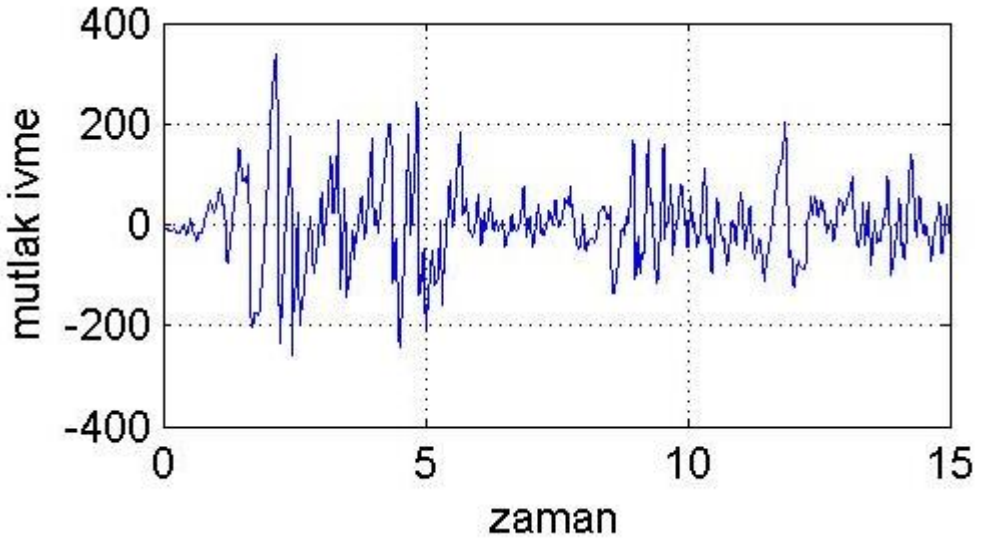


Şekil A.99 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

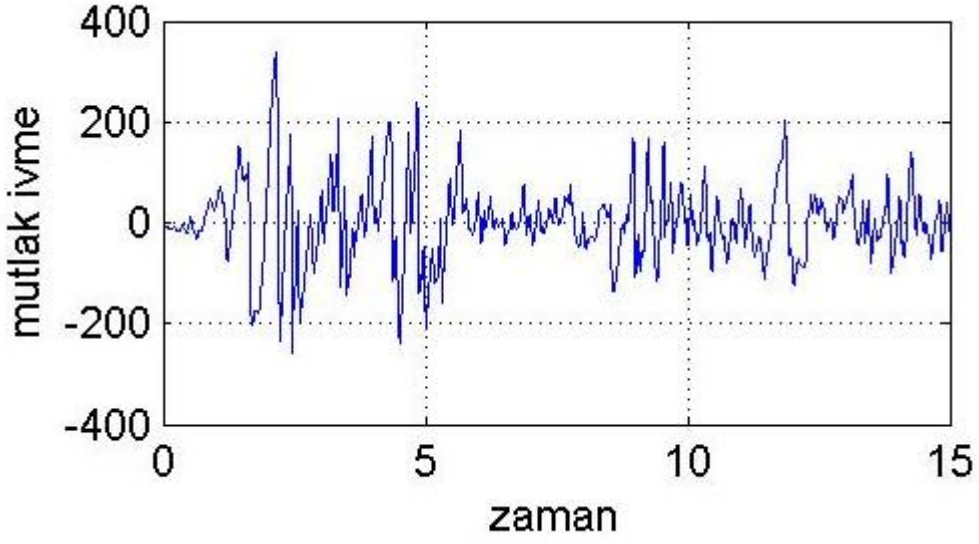
ELCNS için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.100 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

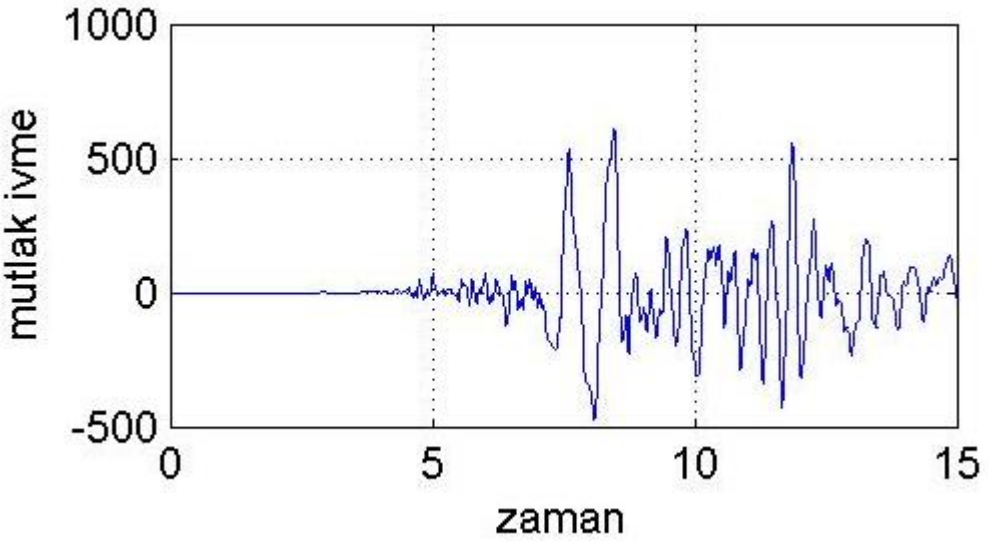


Şekil A.101 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

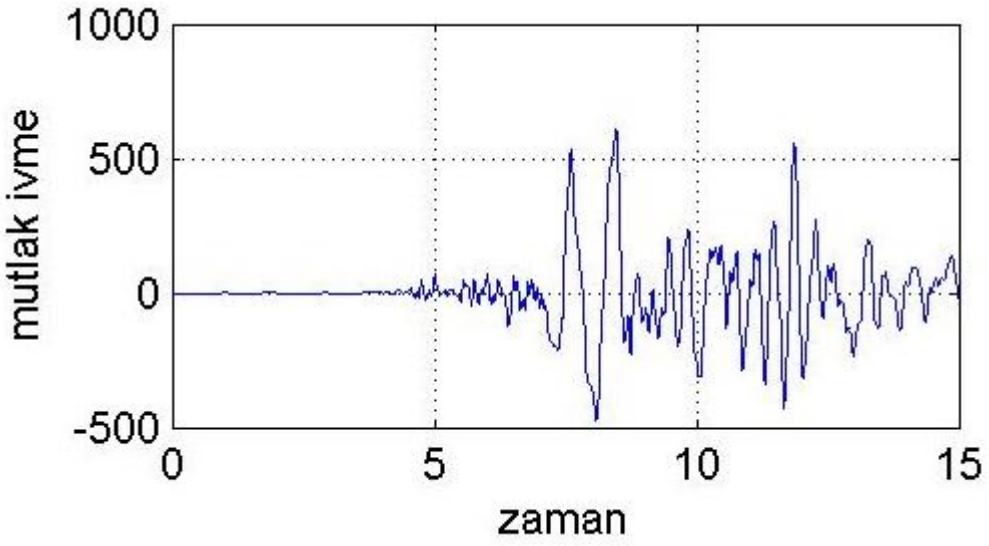


Şekil A.102 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

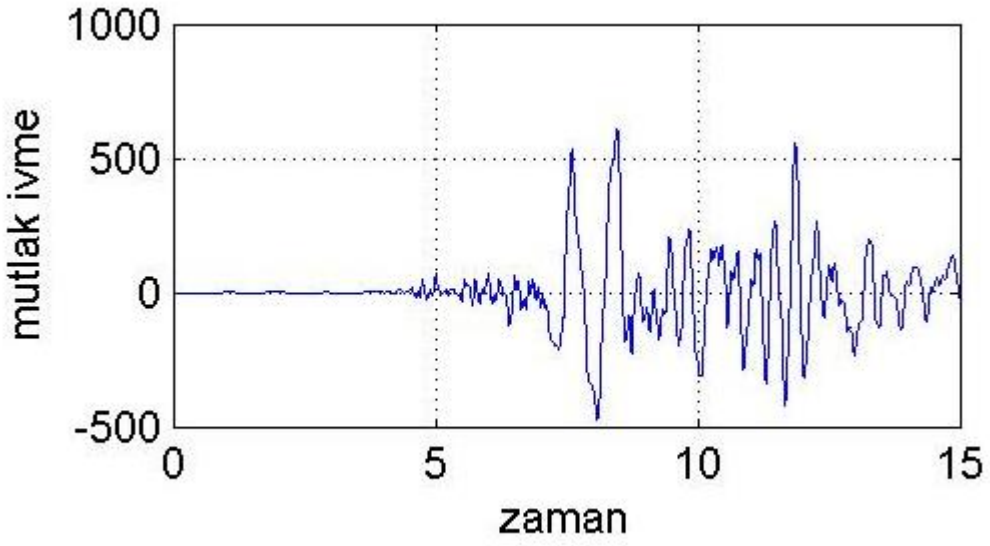
KOBEEW için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.103: sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

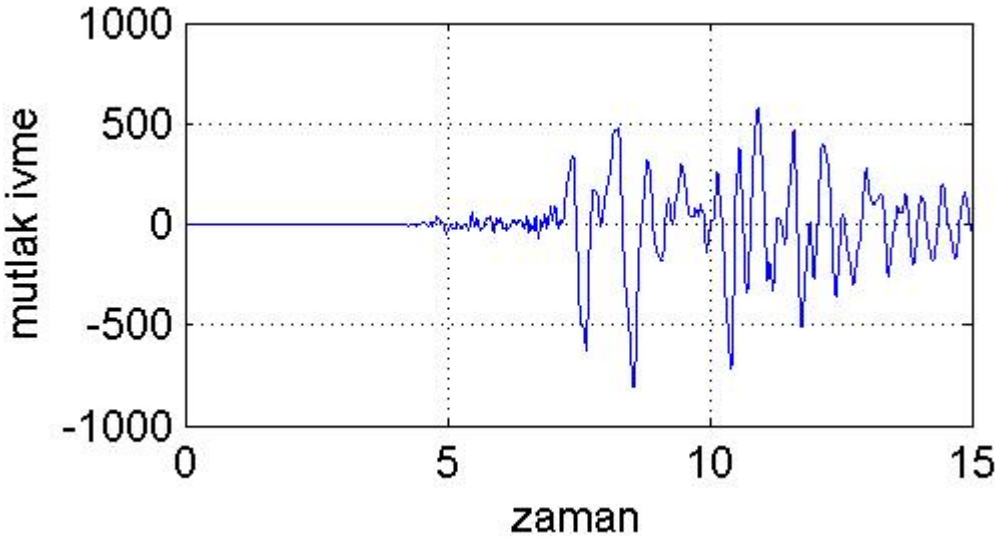


Şekil A.104 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

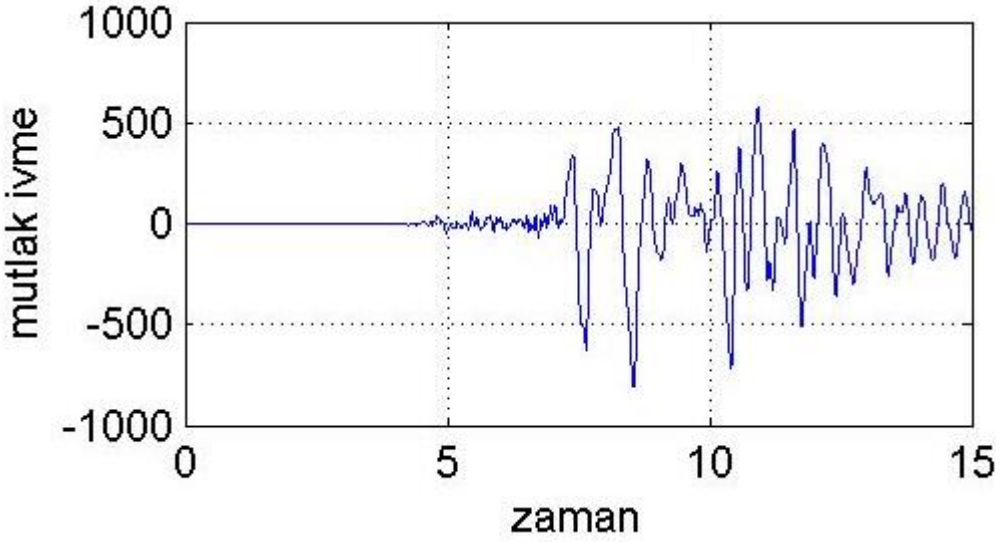


Şekil A.105 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

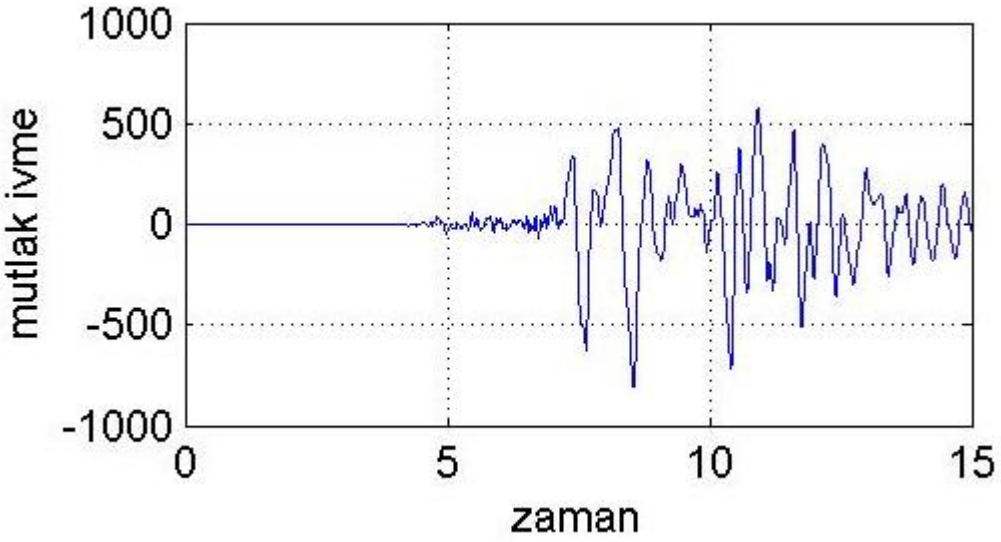
KOBENS için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.106 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

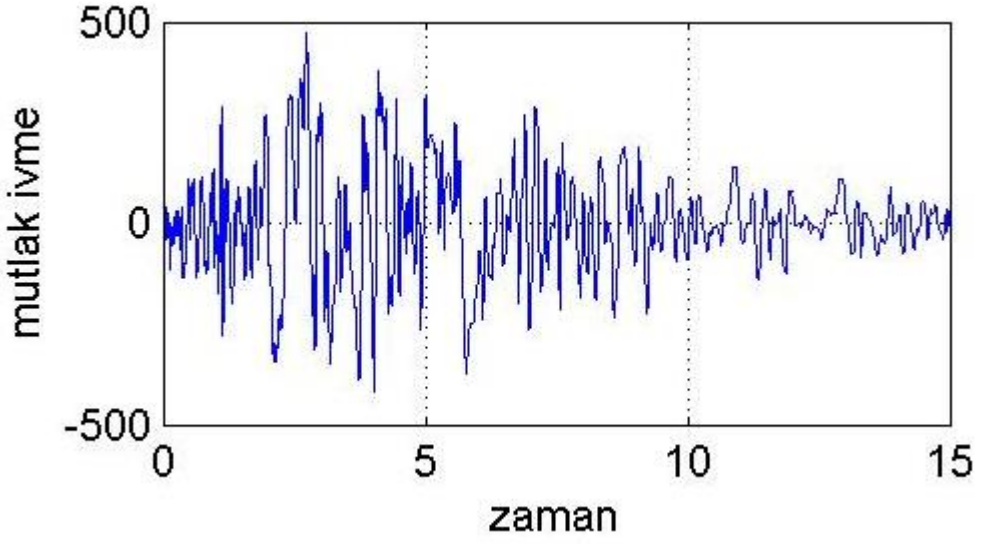


Şekil A.107 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

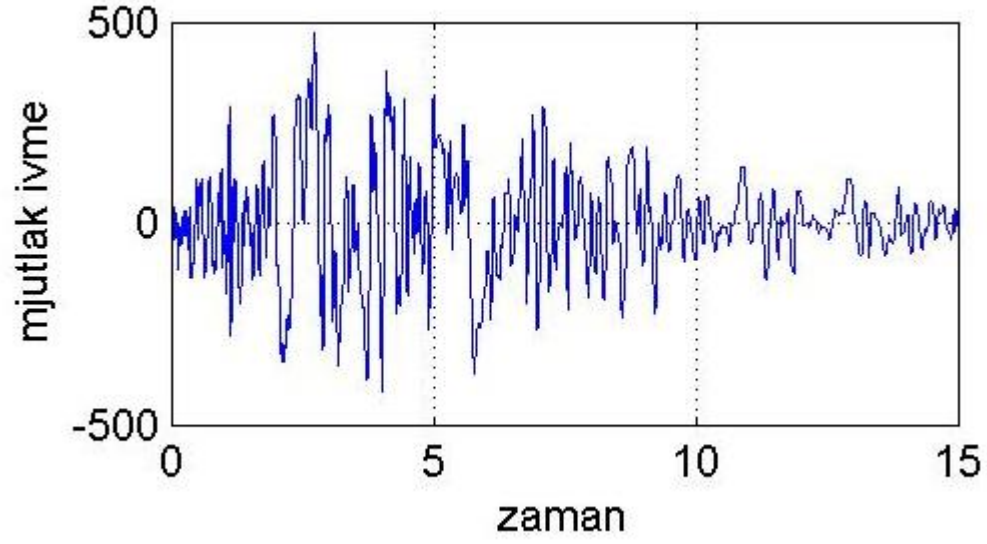


Şekil A.108 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

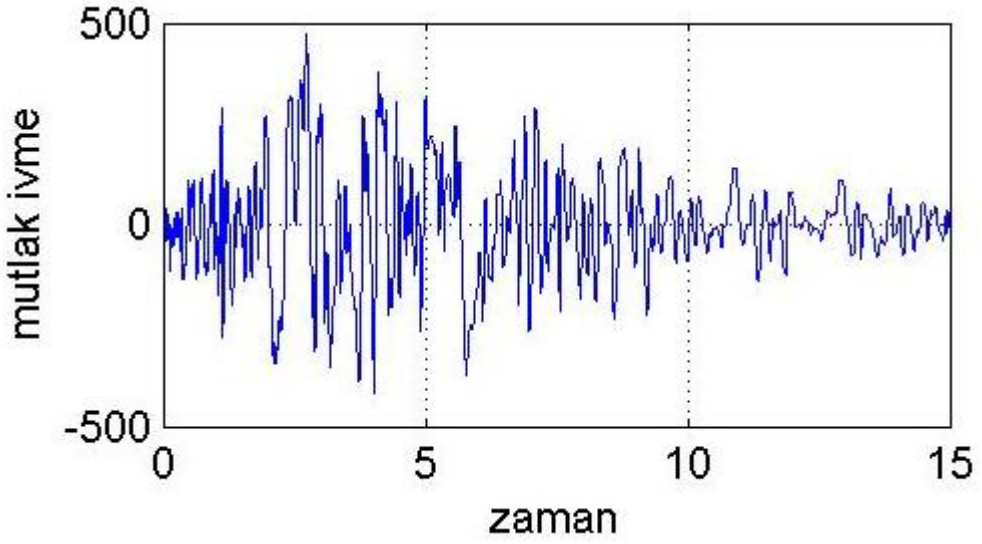
RİNALDİEW için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.109 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

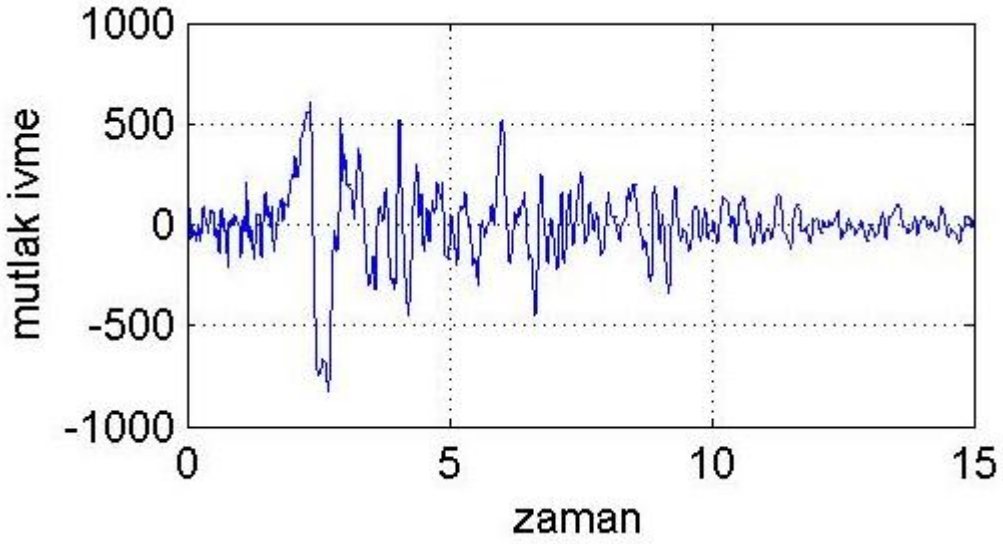


Şekil A.110 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

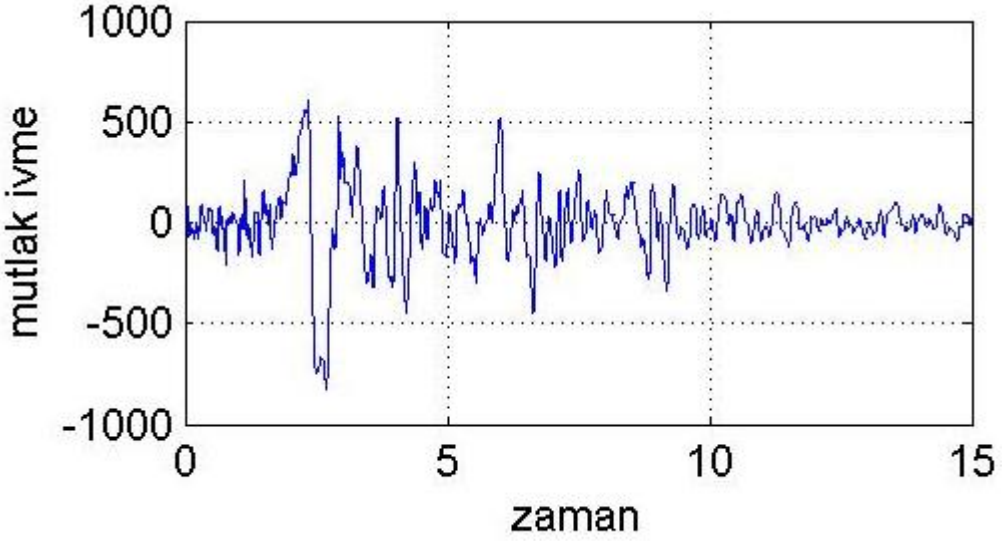


Şekil A.111 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

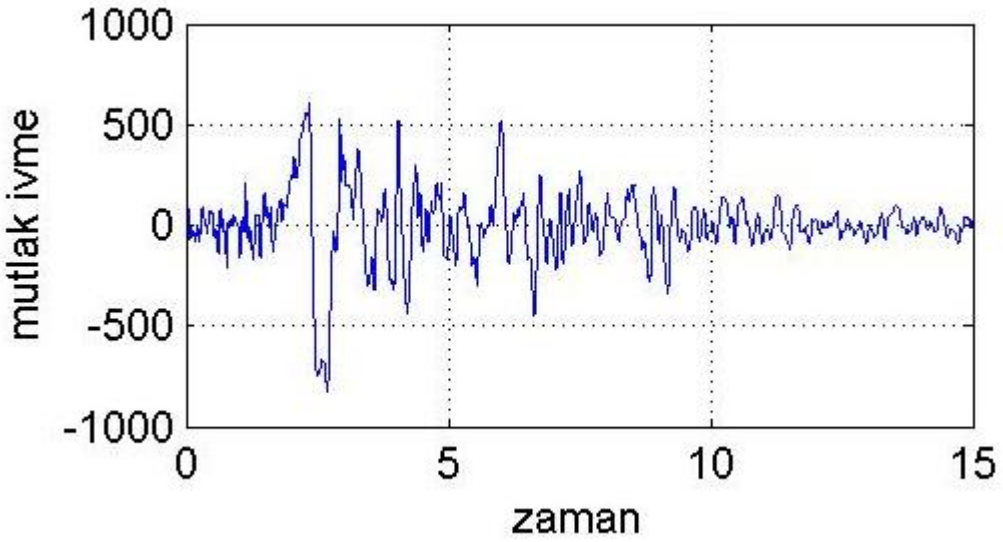
RİNALDİNS için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.112 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

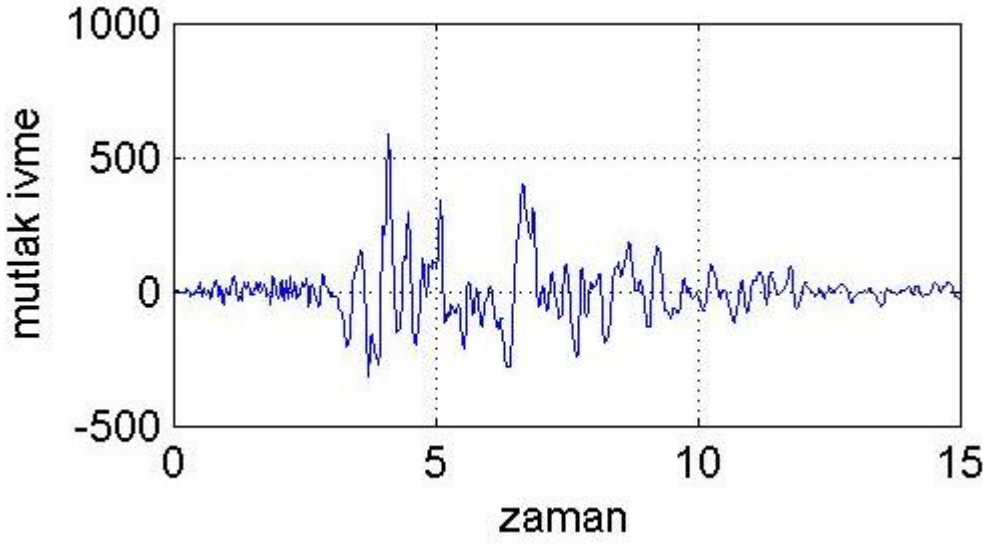


Şekil A.113: açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

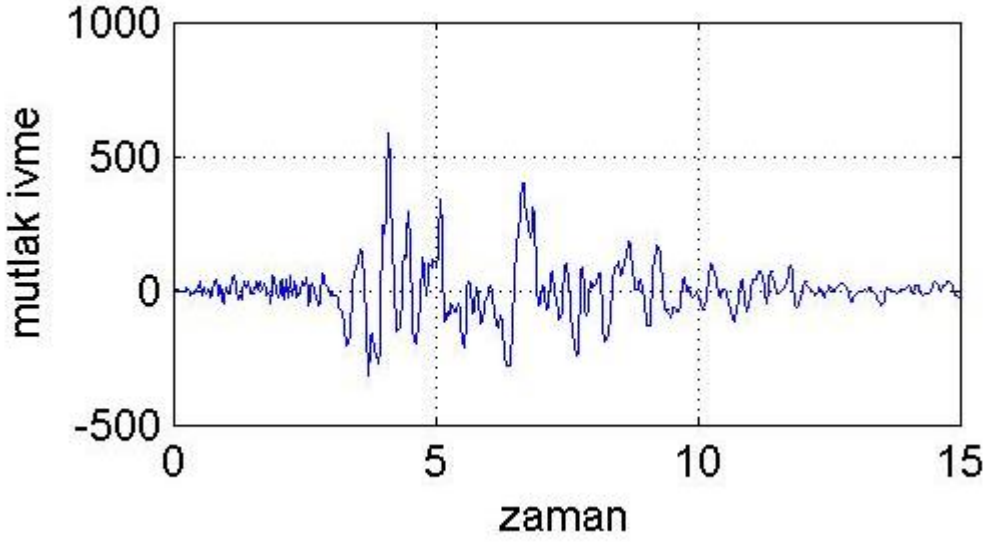


Şekil A.114 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

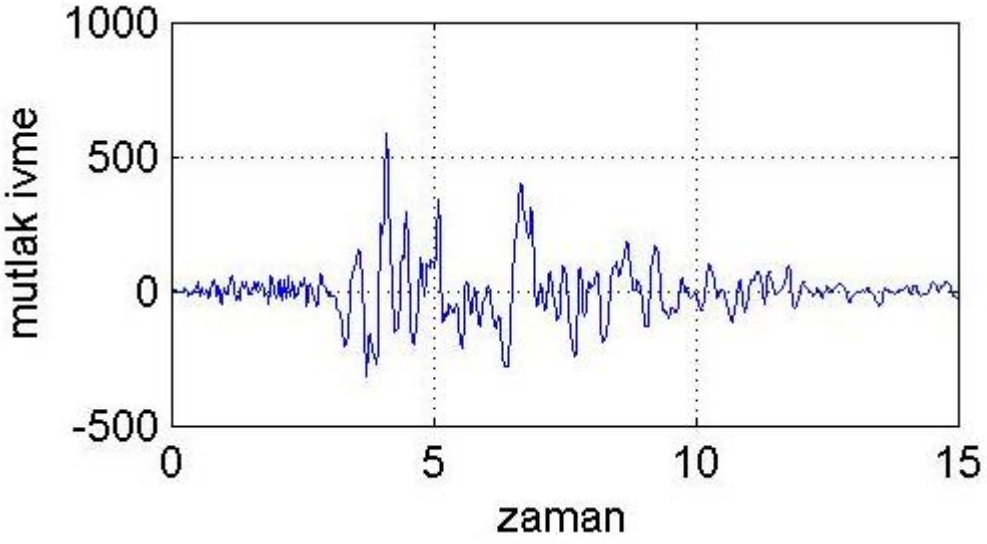
SYLMAREW için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.115 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

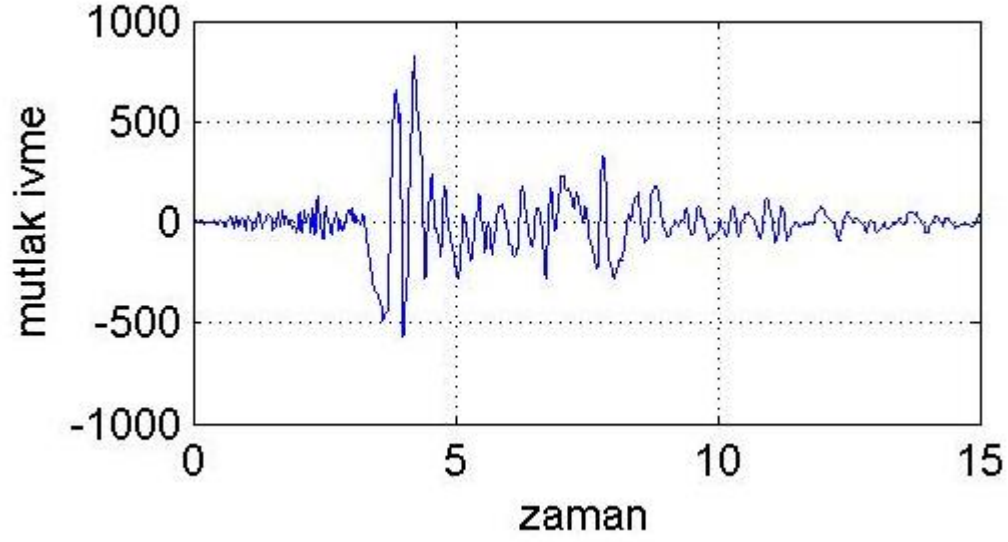


Şekil A.116 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

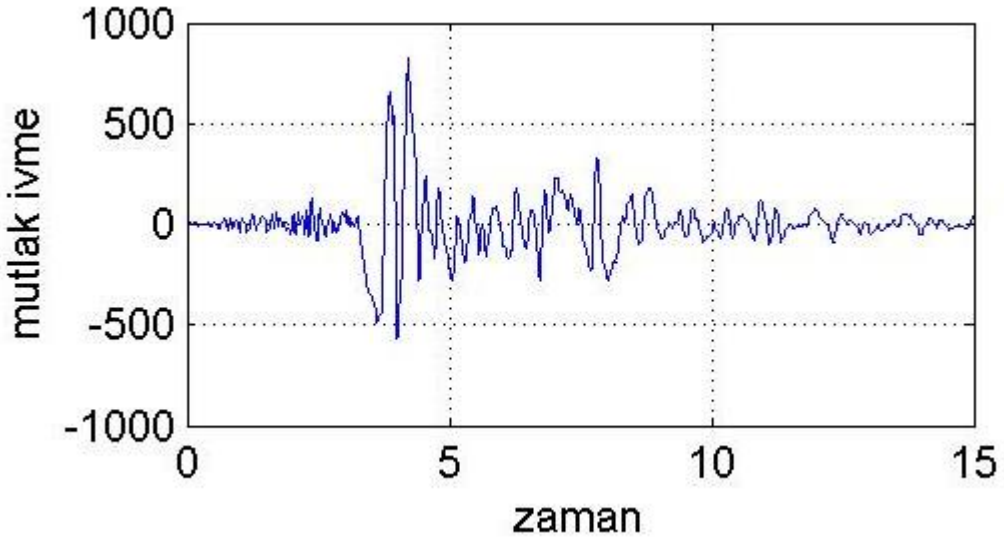


Şekil A.117: bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

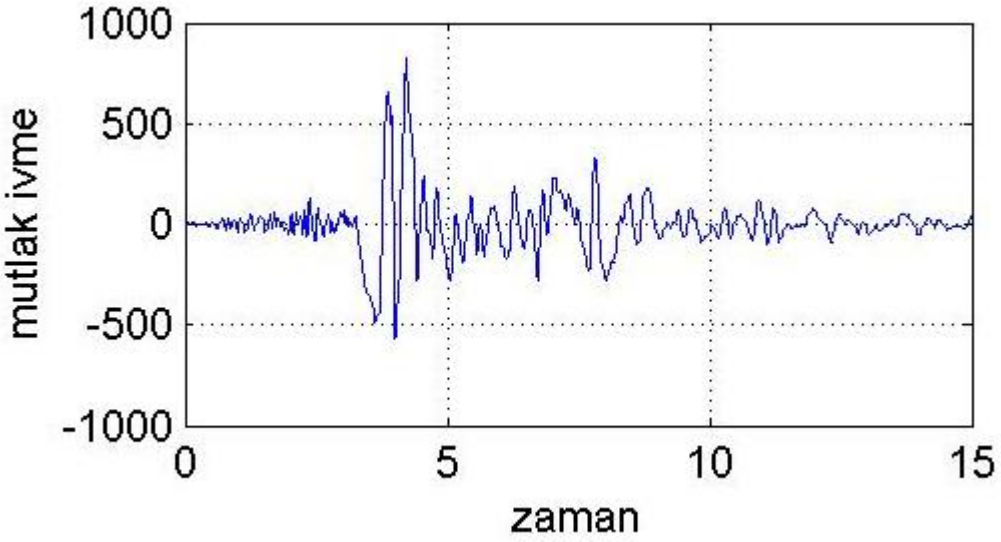
SYLMARNS için mutlak ivme grafikleri



Şekil A.118 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği



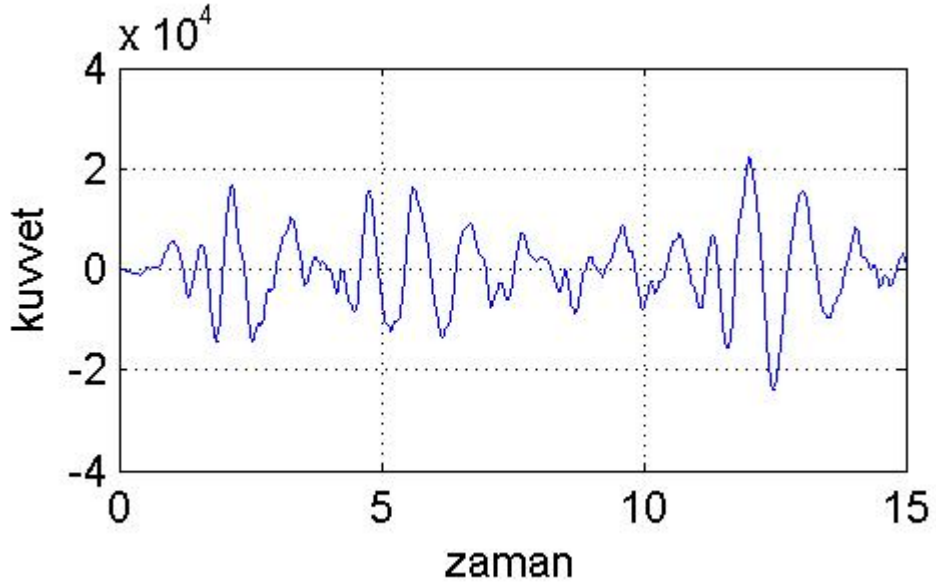
Şekil A.119 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği



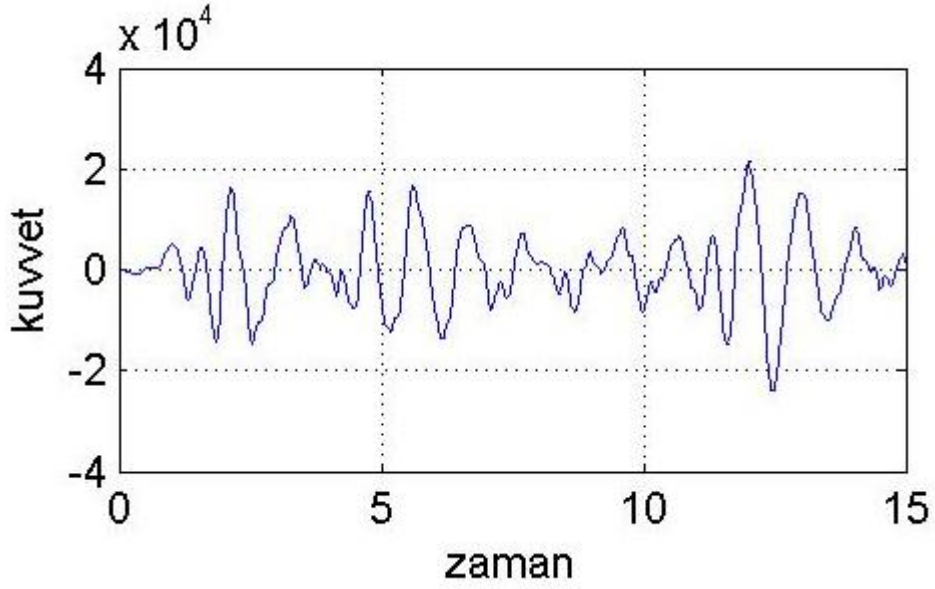
Şekil A.120 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan mutlak ivme-zaman grafiği

DEPREMLERİN KUVVET GRAFİKLERİ

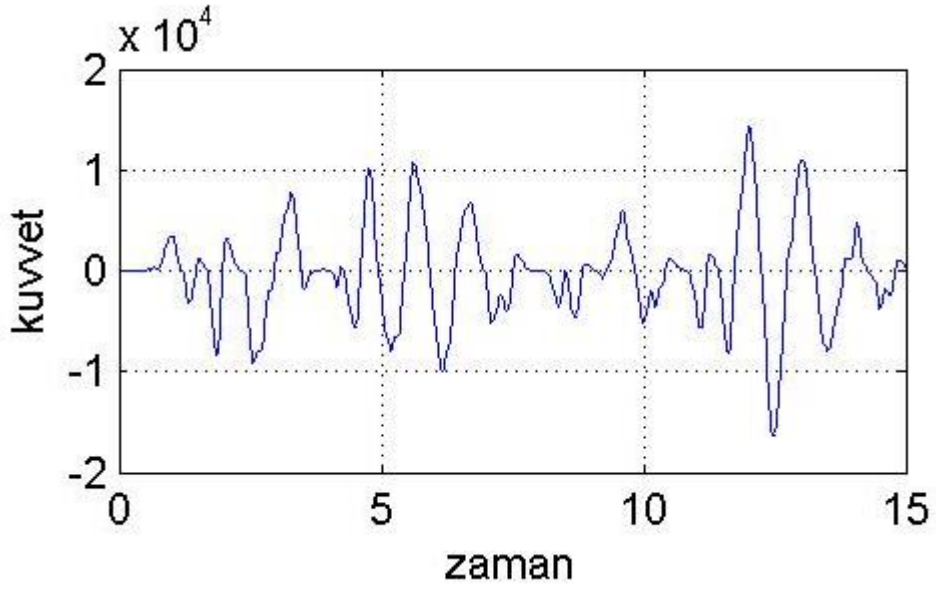
ELCEW için kuvvet grafikleri



Şekil A.121 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

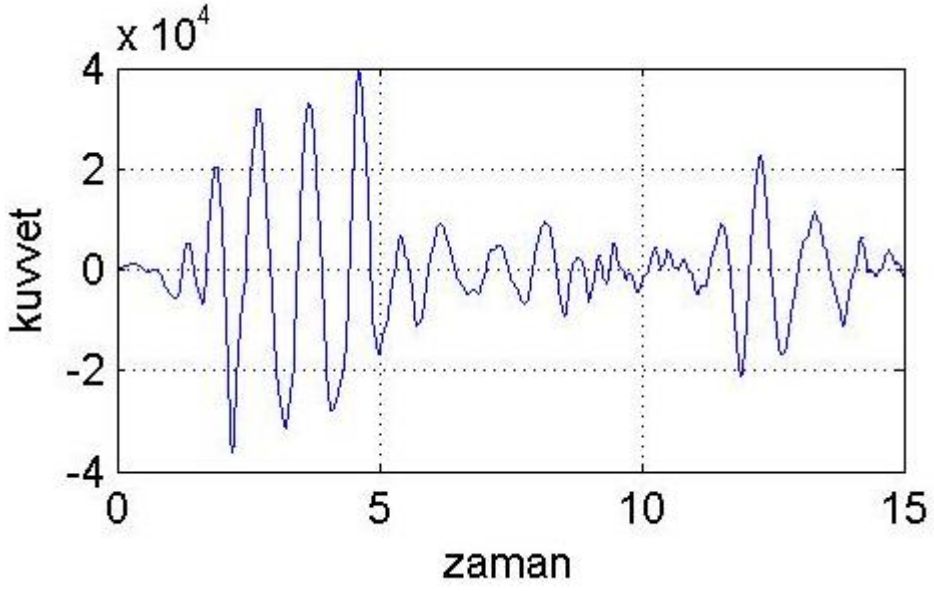


Şekil A.122 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

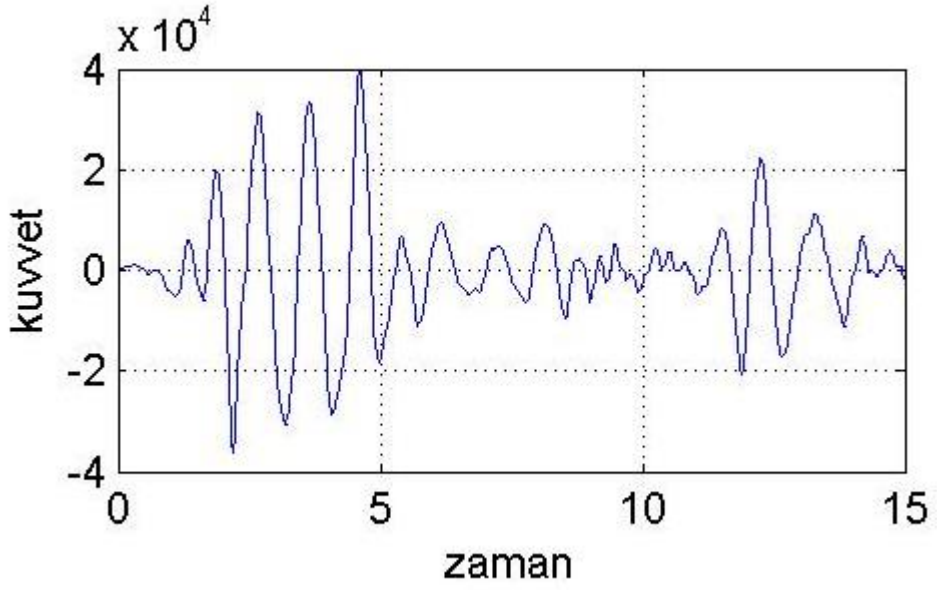


Şekil A.123 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

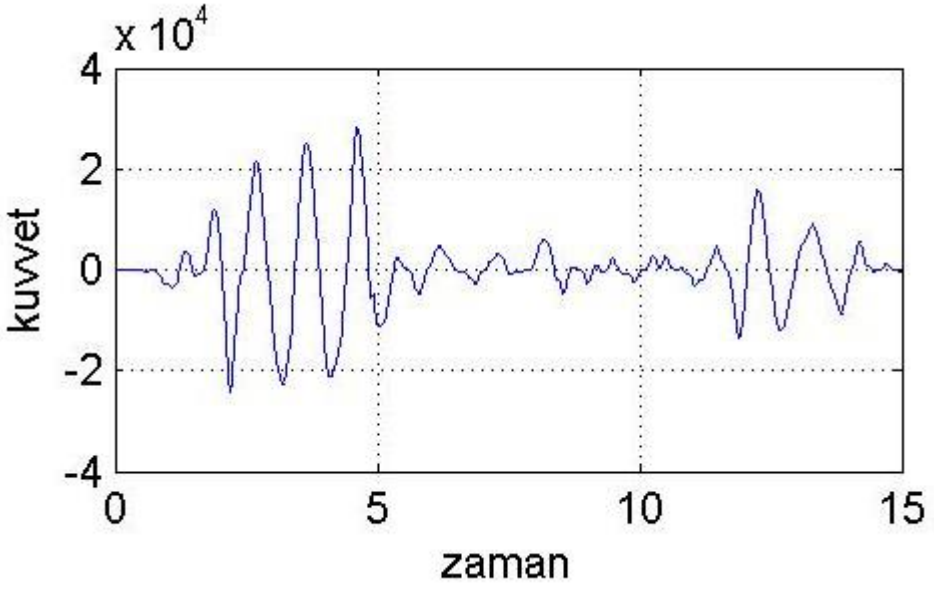
ELCNS için kuvvet grafikleri



Şekil A.124 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

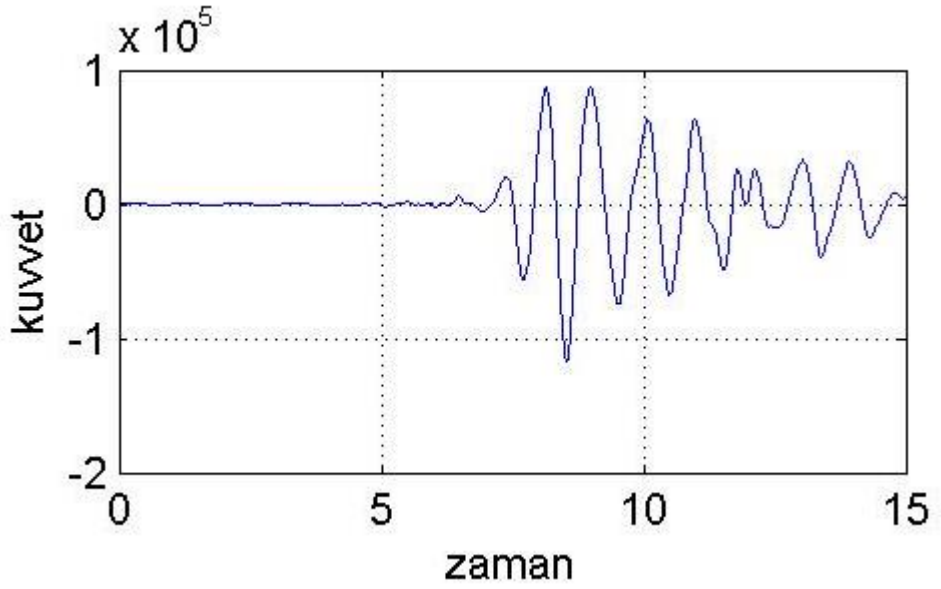


Şekil A.125 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

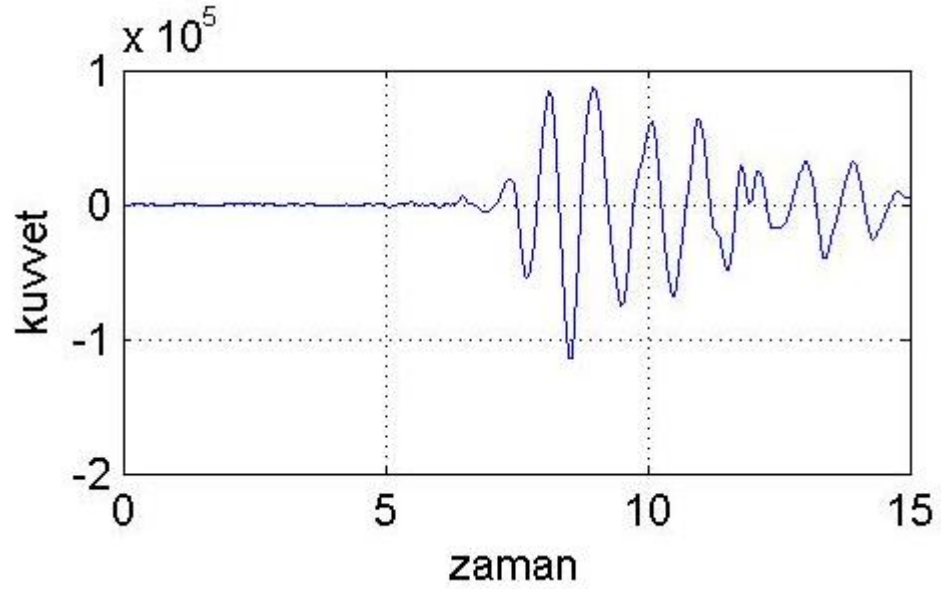


Şekil A.126 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

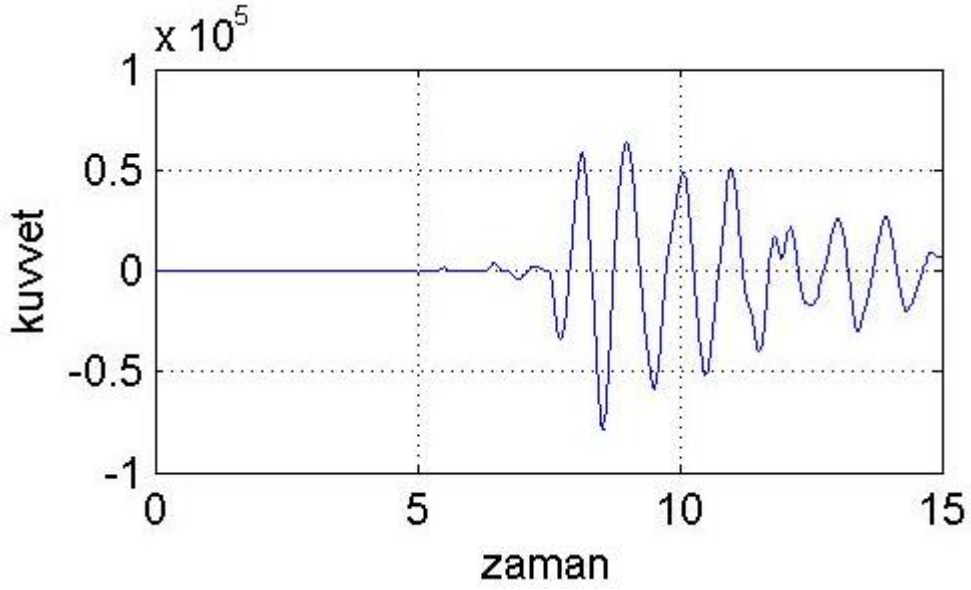
KOBEEW için kuvvet grafikleri



Şekil A.127 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

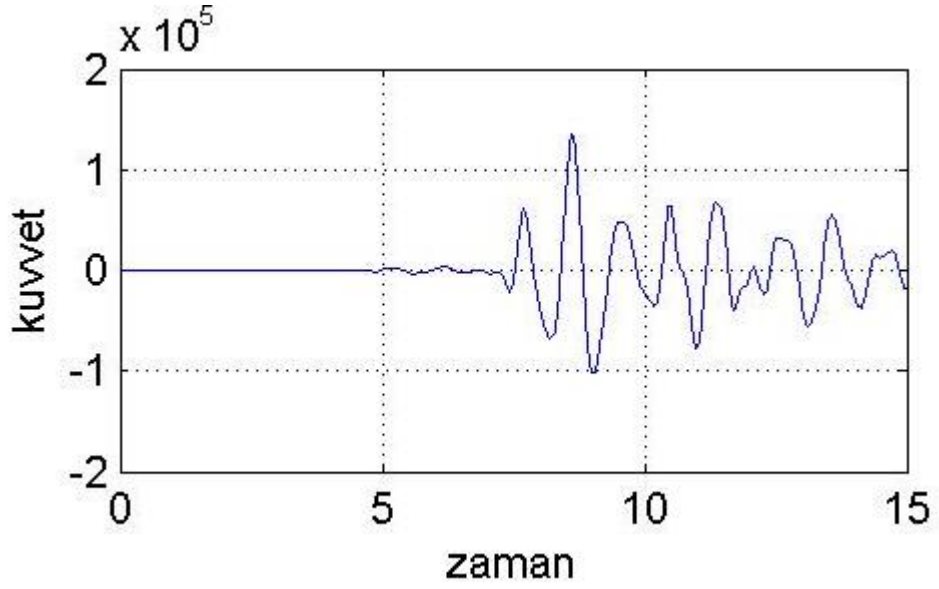


Şekil A.128 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

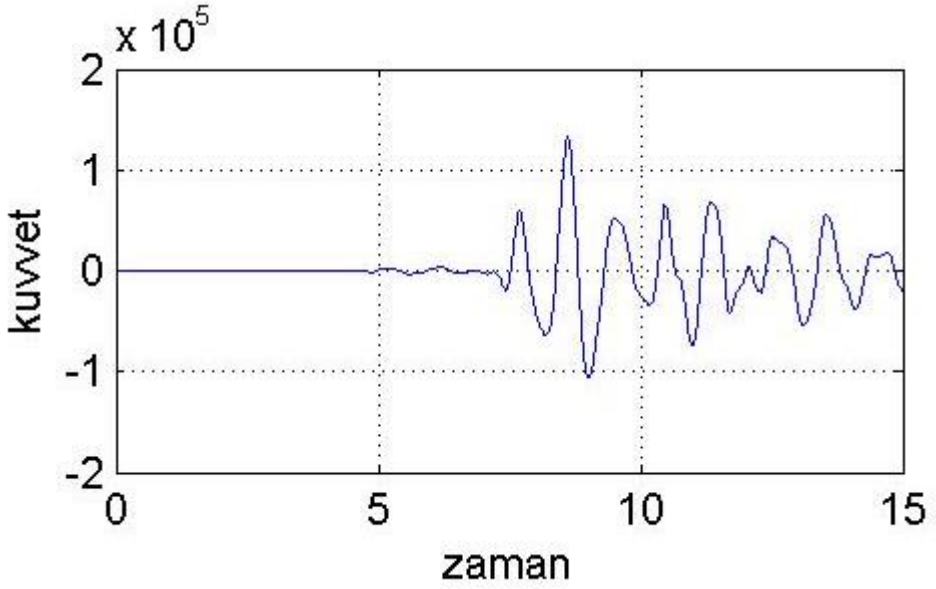


Şekil A.129 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

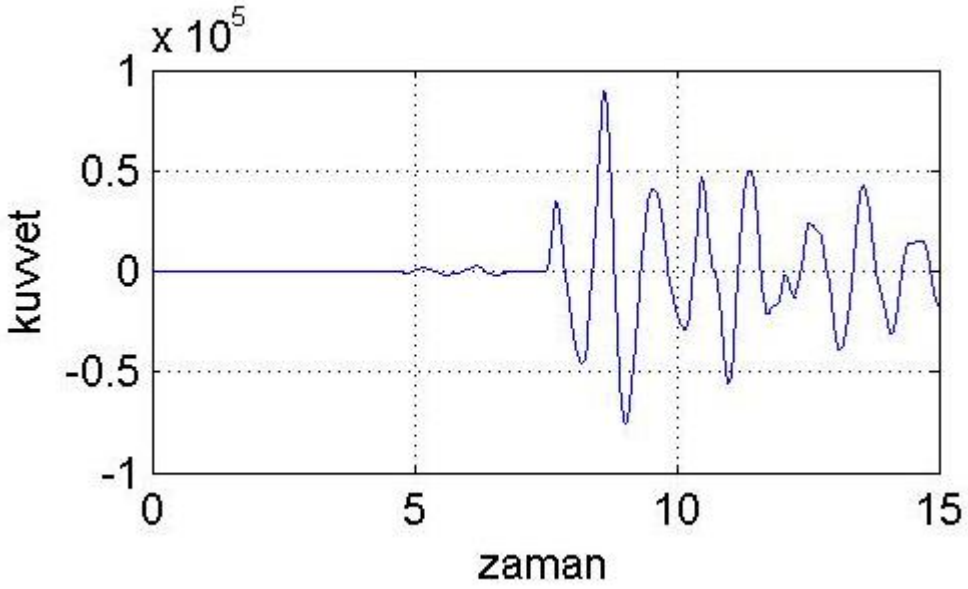
KOBENS için kuvvet grafikleri



Şekil A.130 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

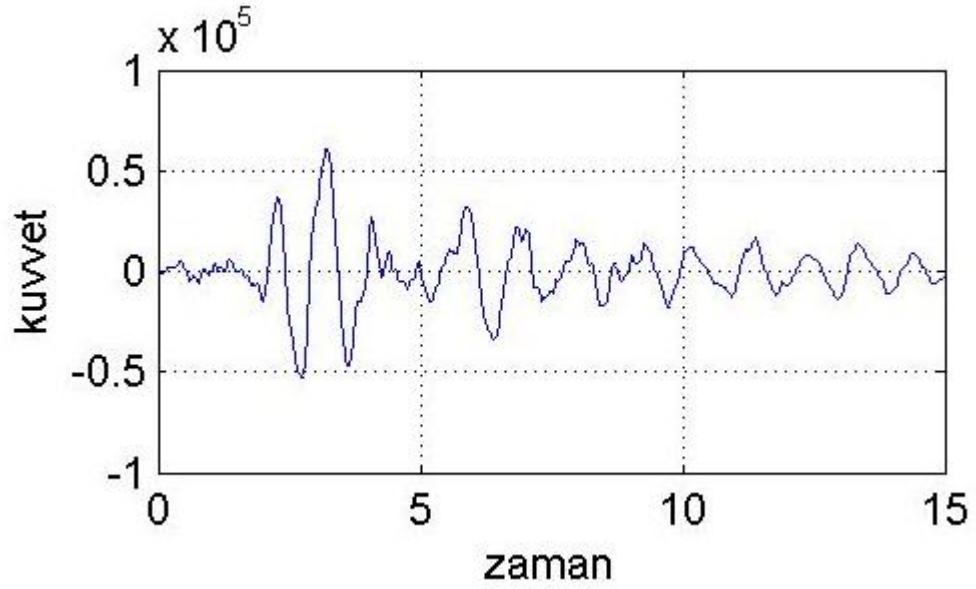


Şekil A.131 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

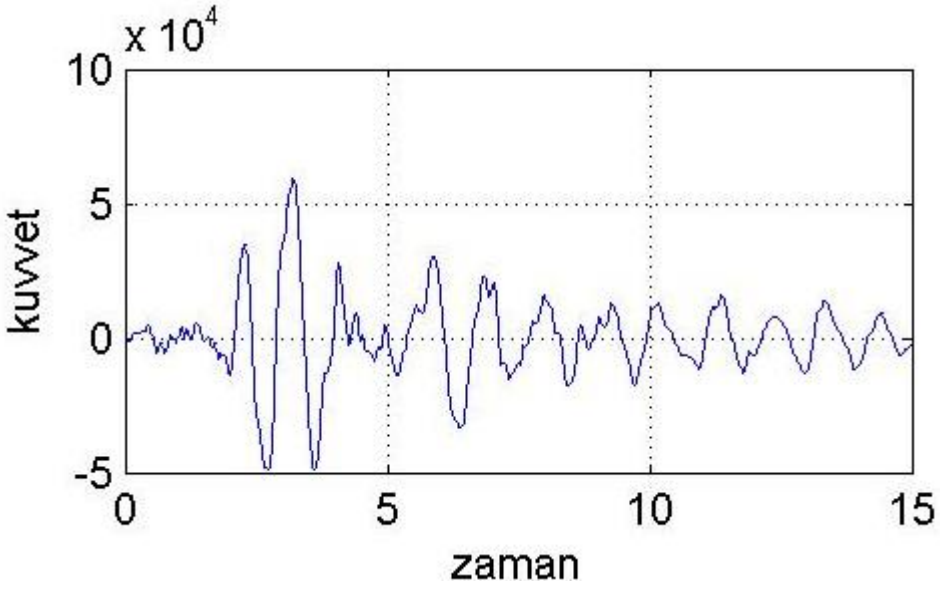


Şekil A.132 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

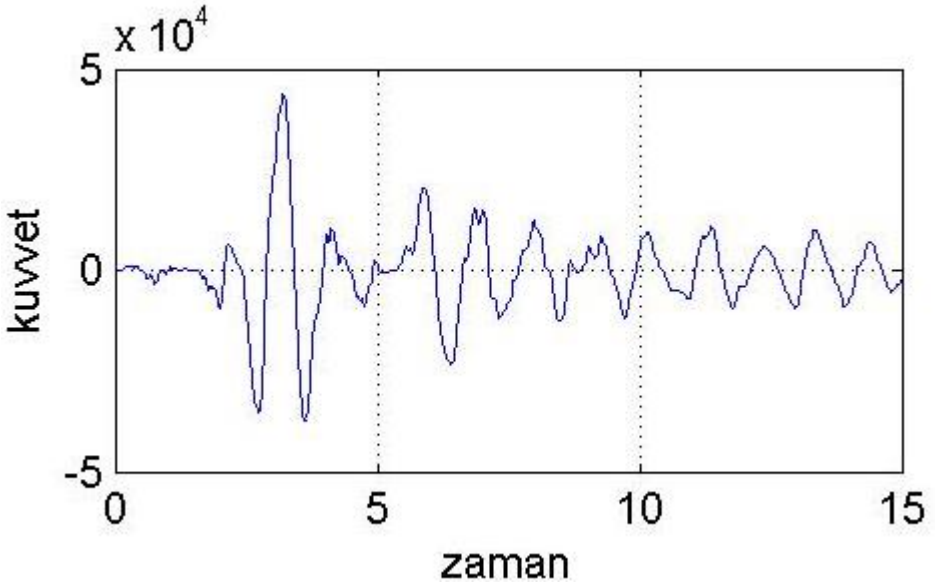
RİNALDİEW için kuvvet grafikleri



Şekil A.133 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

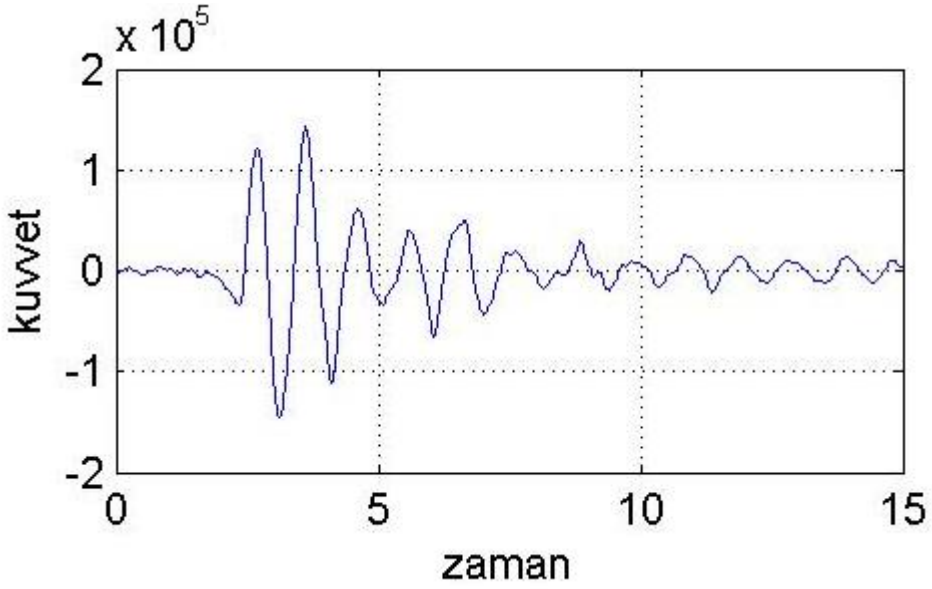


Şekil A.134 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

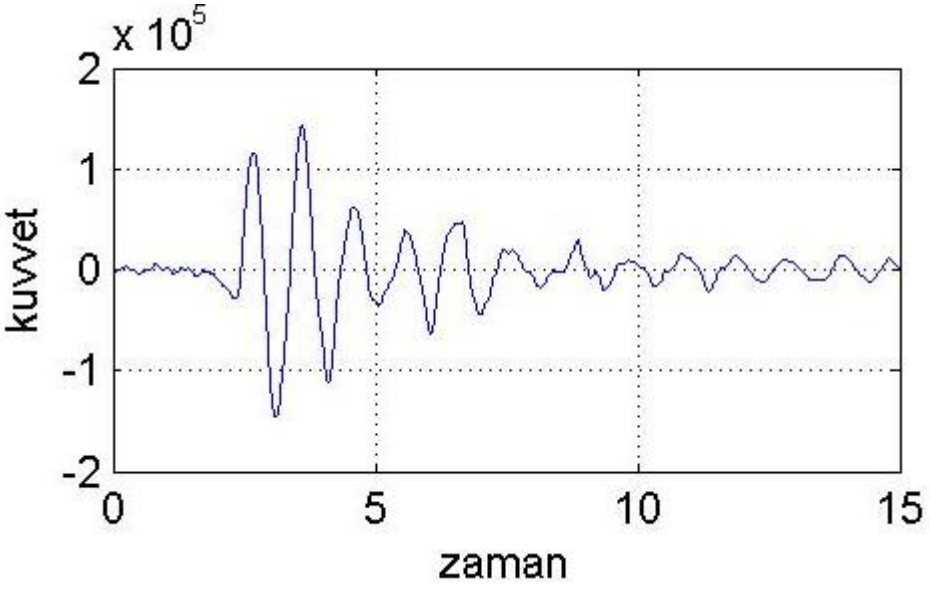


Şekil A.135 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

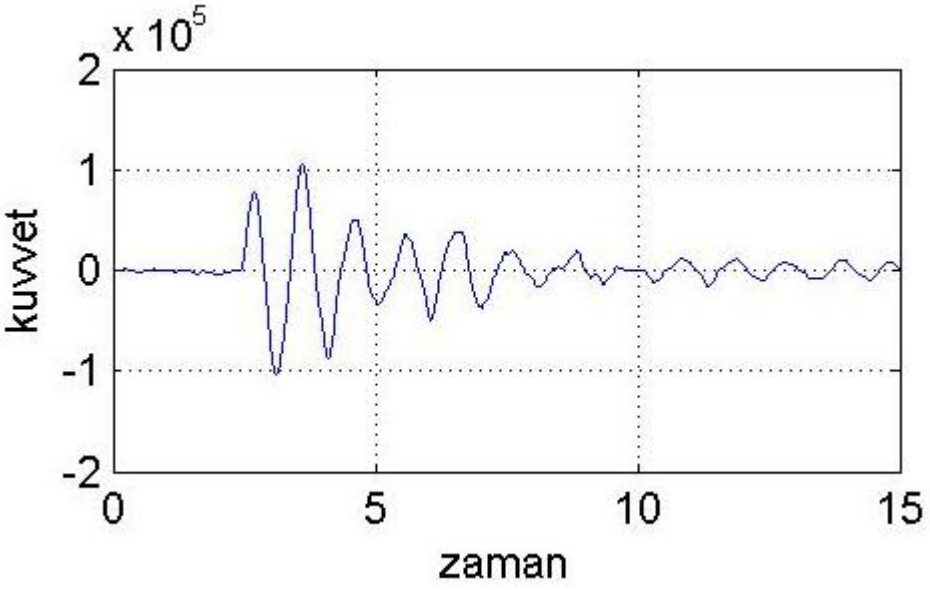
RİNALDİNS için kuvvet grafikleri



Şekil A.136 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

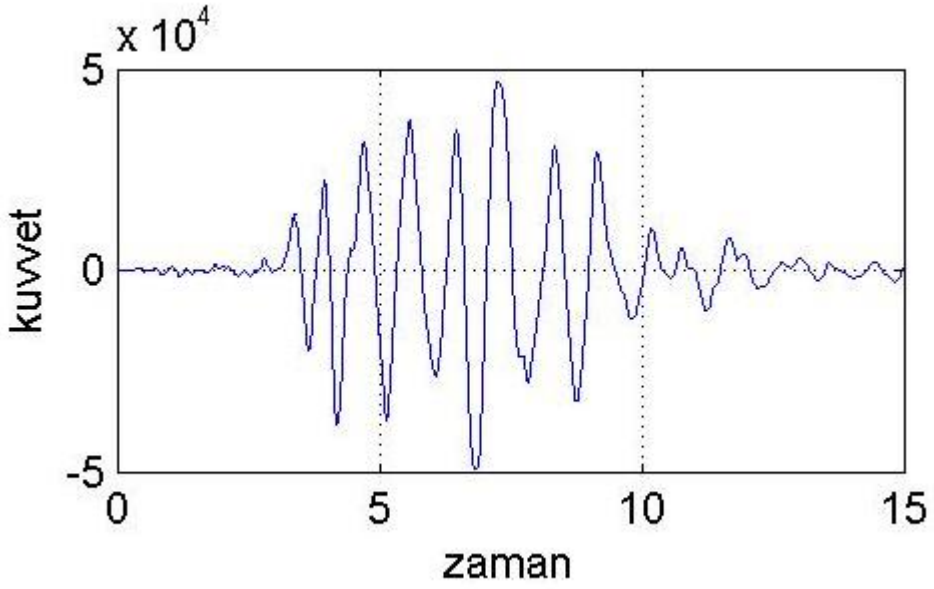


Şekil A.137 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

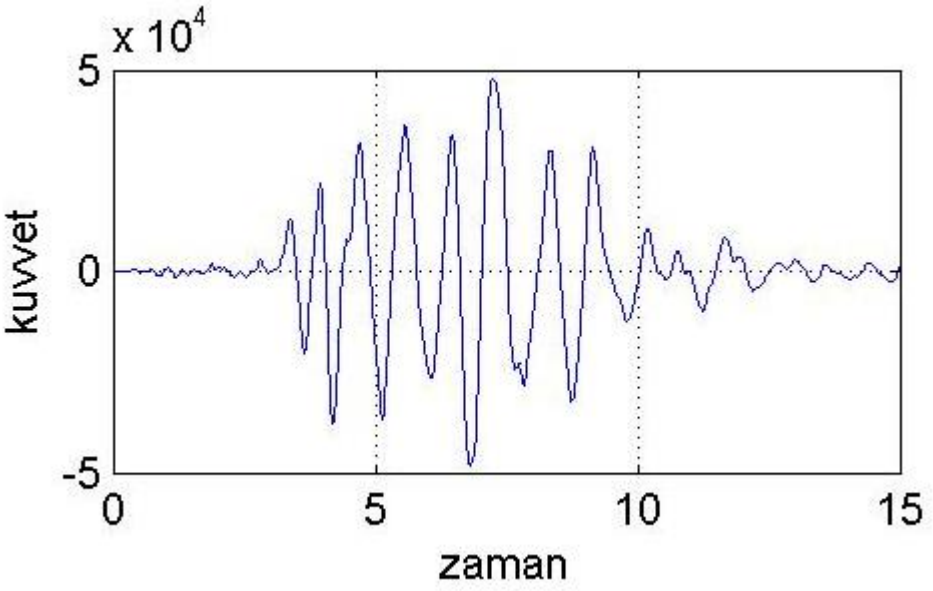


Şekil A.138 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

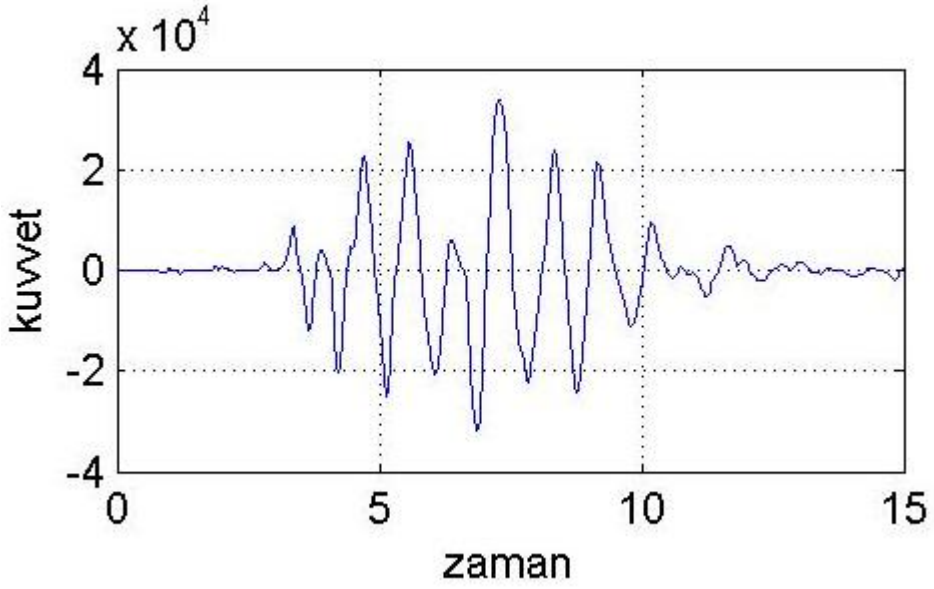
SYLMAREW için kuvvet grafikleri



Şekil A.139 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

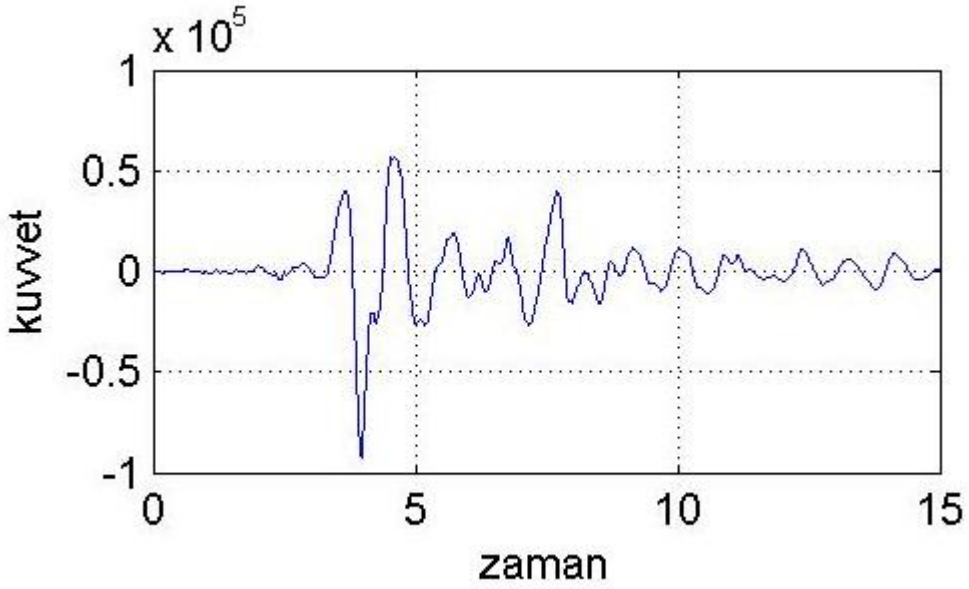


Şekil A.140 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

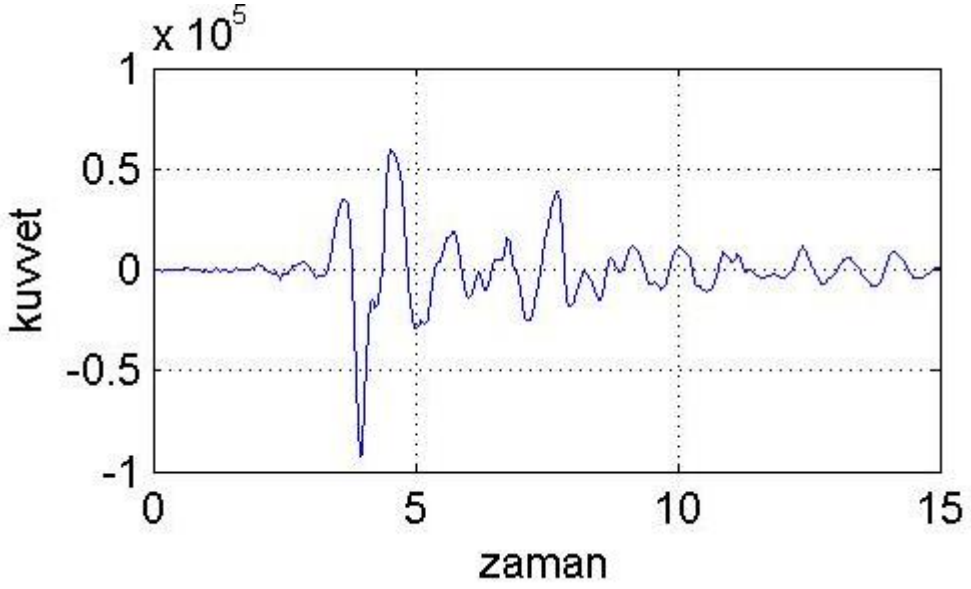


Şekil A.141 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

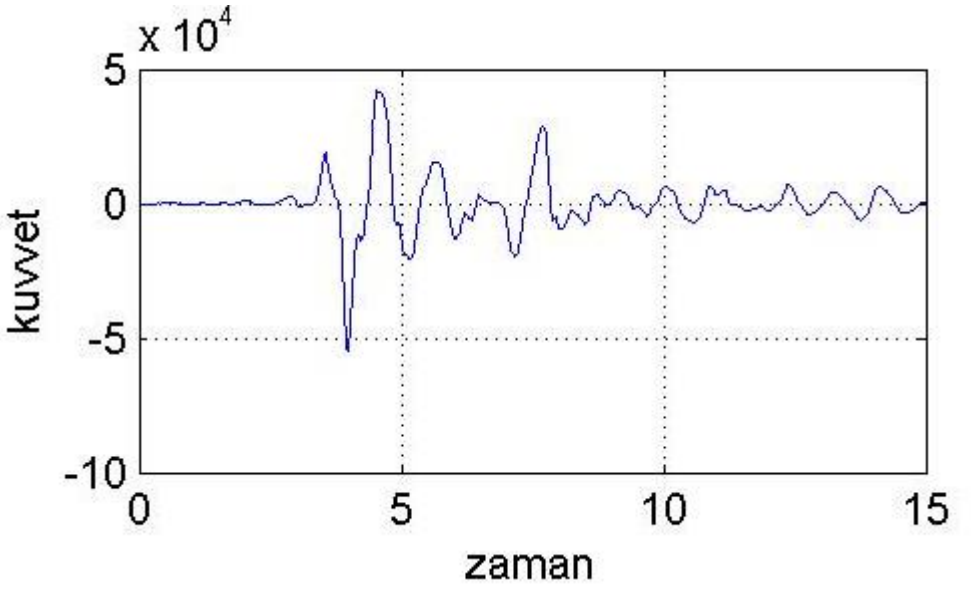
SYLMARNS için kuvvet grafikleri



Şekil A.142 : sürekli skyhook kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği



Şekil A.143 : açık-kapalı denge kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği



Şekil A.144 : bang-bang kontrol uygulandığında oluşan kuvvet-zaman grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Melih ÖZDİLİM 11.06.1977 tarihinde Yalova'da doğdu. İlköğrenimimi Yalova Atatürk İlkokulu'nda aldıktan sonra orta ve lise öğrenimimi Kadıköy Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başlayarak 2001 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı.