İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAMILTON-JACOBI OPTİMİZASYON DENKLEMİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Ozan Murat OĞUZHAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAMILTON-JACOBI OPTİMİZASYON DENKLEMİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ozan Murat OĞUZHAN
(501051098)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ünal ALDEMİR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Reha ARTAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. R. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yapıların aktif kontrol mekanizma problemi, Hamilton-Jacobi Yöntemi ile incelenmiştir.

Bu çalışma sırasında değerli katkılarını esirgemeyen başta değerli hocam Doç. Dr. Ünal Aldemir'e, Yüksek Lisans çalışmam sırasında her türlü desteği veren İnş. Müh. Fikret Berker'e, İnş. Müh. Yüksel Soyalan'a, İnş. Müh. Tuncay Gün'e ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2008 İnş. Müh Ozan M. OĞUZHAN

İÇİNDEKİLER

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

1. GİRİŞ **1**

2. KONTROL YÖNTEMLERİ **7**
2.1. Pasif Kontrol Sistemleri 7
2.2. Aktif Kontrol Sistemleri 9
2.3. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri 15

3. AKTİF KONTROL **17**
3.1. Lineer Regülatör Problemi 18

4. HAMILTON-JACOBI OPTİMİZASYON PROBLEMİ **20**

5. TİTREŞİM ENGELLEME DENKLEMİ **24**

6. IV. MERTEBEDEN RUNGE-KUTTA YÖNTEMİ **26**

7. ÖZELLEŞTİRİLMİŞ SAYISAL ÖRNEK **28**

7.1. Özelleştirilmiş Sistemin MATLAB Programı İle Çözülmesi 28
7.2. MATLAB Datası 29
7.2.1 Yapı Bilgileri ve Denklemler 29
7.2.2 Matlab Stpc Dosyası 32
7.2.3 MATLAB myrk4 (Runge-Kutta) Dosyası 32
7.3. Analiz Sonuçları 33
7.3.1 Northridge Depremi Rinaldi Kuzey-Güney Kayıtları 34
7.3.2 Northridge Depremi Rinaldi Doğu-Batı Kayıtları 37
7.3.3 Northridge Depremi Sylmar Kuzey-Güney Kayıtları 40
7.3.4 Northridge Depremi Sylmar Doğu-Batı Kayıtları 43
7.3.5 Kobe Depremi Kuzey-Güney Kayıtları 46
7.3.6 Kobe Depremi Doğu-Batı Kayıtları 49
7.3.7 El Centro Depremi Kuzey-Güney Kayıtları 52
7.3.8 El Centro Depremi Doğu-Batı Kayıtları 55

8. SONUÇLAR **58**

KAYNAKLAR **59**

ÖZGEÇMİŞ **60**

KISALTMALAR

TMD	: Ayarlı Kütleli Sönümleyiciler
AMD	: Aktif Kütle Sönümleyicileri
AVS	: Aktif Rijitlik Değiştirebilen Sönümleyiciler
LQR	: Doğrusal Kuadratik Regülatör
RINS	: Northridge Depremi Rinaldi Kuzey – Güney Kaydı
RIEW	: Northridge Depremi Rinaldi Doğu – Batı Kaydı
ELCNS	: El Centro Depremi Kuzey – Güney Kaydı
ELCEW	: El Centro Depremi Doğu – Batı Kaydı
KOBENS	: Kobe Depremi Kuzey – Güney Kaydı
KOBEEW	: Kobe Depremi Doğu – Batı Kaydı
SYNS	: Northridge Depremi Sylmar Kuzey – Güney Kaydı
SYEW	: Northridge Depremi Sylmar Doğu – Batı Kaydı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılan Sismik Kontrol Sistemleri……. …… 7
Tablo 7.1 İdealize Edilmiş İki Katlı Yapının Analiz Sonuçları…… 33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : Sismik Yalıtılmış Yapı..... 5
Şekil 1.2 : Normal Yapı……..... 5
Şekil 2.1 : Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı..... 9
Şekil 2.2 : AVS Sistemi ve Şematik Gösterimi……..... 11
Şekil 2.3 : Aktif Kütle Sönümleyici Sistemin Şematik Şekli. 12
Şekil 2.4 : Aktif Kütle Sönümleyici Sistem Uygulaması..... 13
Şekil 2.5 : Aktif Kütle Sönümleyicilerin Yerleştirildiği Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo,Japonya) 14
Şekil 2.6 : En Üst Katta AMD Bulunan Applause Kulesi, Japonya……. 15
Şekil 7.1 : İdealize Edilmiş İki Katlı Bir Yapı……. 28
Şekil 7.2 : Northridge Depremi (Rinaldi Kuzey-Güney) İvme / Zaman Grafiği…….. 34
Şekil 7.3 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 35
Şekil 7.4 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 35
Şekil 7.5 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 36
Şekil 7.6 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 36
Şekil 7.7 : Northridghe Depremi (Rinaldi Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği…….. 37
Şekil 7.8 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 38
Şekil 7.9 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 38
Şekil 7.10 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 39
Şekil 7.11 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 39
Şekil 7.12 : Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney İvme / Zaman Grafiği…….. 40
Şekil 7.13 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 41
Şekil 7.14 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 41
Şekil 7.15 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 42
Şekil 7.16 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 42
Şekil 7.17 : Northridghe Depremi (Sylmar Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği…….. 43
Şekil 7.18 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 44
Şekil 7.19 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 44
Şekil 7.20 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 45
Şekil 7.21 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 45
Şekil 7.22 : Kobe Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği…… 46
Şekil 7.23 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 47
Şekil 7.24 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 47
Şekil 7.25 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 48
Şekil 7.26 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 48
Şekil 7.27 : Kobe Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği……. 49

Şekil 7.28 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 50
Şekil 7.29 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 50
Şekil 7.30 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 51
Şekil 7.31 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 51
Şekil 7.32 : El Centro Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği……. 52
Şekil 7.33 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 53
Şekil 7.34 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 53
Şekil 7.35 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 54
Şekil 7.36 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 54
Şekil 7.37 : El Centro Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği……. 55
Şekil 7.38 : Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi……... 56
Şekil 7.39 : İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi…… 56
Şekil 7.40 : Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…… 57
Şekil 7.41 : İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi…….. 57

SEMBOL LİSTESİ

x(t)	: Durum Vektörü
u(t)	: Kontrol Vektörü
M	: Kütle Matrisi
K	: Rijitlik Matrisi
X	: Sönüm Matrisi
M,Q	: Gerçek simetrik pozitif yarı definit matris
R	: Gerçek simetrik pozitif definit matris
λ	: Lagrange çarpan vektörü
d(t)	: Sisteme etkiyen kuvveti gösteren vektör
V	: Genel Performans Ölçüsü
H	: Hamiltonian
P	: Riccati matrisi

HAMILTON-JACOBI OPTİMİZASYON DENKLEMİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILARA UYGULANMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında Hamilton-Jacobi optimizasyon denkleminin, deprem etkisi altındaki yapılara uygulanması incelenmiştir. Aktif kontrol sistemlerinin genel amacı, deprem etkisi altındaki yapının, depreme verdiği cevaba ve deprem etkisine göre belirli bir algoritmayla hesaplanan kontrol kuvvetleri ile katlar arası rölatif yer değiştirmelerini azaltmaktır. Depremin karakteristiğine bağlı olarak uygulanacak kuvvetin optimal değerlerde seçilmesinde daha az kuvvet ile yapıyı istenilen deplasman değerleri içinde veya olduğu yerde tutulabilmesi için de önemlidir.

Birinci bölümde kontrol kuvvetinin genel olarak bir tanımı yapılmış, kontrol mekanizmalarının çalışma prensibi kısaca anlatılmıştır.
İkinci bölümde kontrol yöntemlerinin sınıflandırılması yapılmış ve her bir yöntem kısaca anlatılmıştır.
Üçüncü bölümde aktif kontrol yöntemi detaylı bir biçimde anlatılmış ve lineer regülatör probleminin tanımı yapılmıştır.
Dördüncü bölümde Hamilton-Jacobi optimizasyon denkleminin kurulumu ve ispatı detaylı bir biçimde gösterilmiştir.
Beşinci bölümde mukavemet problemi anlatılmış ve optimal kontrol altındaki sistem dinamikleri bulunmuştur.
Altıncı bölümde, dördüncü dereceden diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanacağımız Runge-Kutta yöntemi anlatılmıştır.
Yedinci bölümde iki katlı bir kayma çerçevesine Hamilton-Jacobi optimizasyon yöntemiyle bulduğumuz kontrol denkleminin, 8 farklı deprem kaydına uygulaması yapılmış, sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir.
Sekizinci ve son bölümde yapılan inceleme ve sonuçlar özetlenerek açıklanmıştır.

THE APPLICATION OF HAMILTON-JACOBI OPTIMIZATION EQUATION TO THE STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF EARTHQUAKE

SUMMARY

In this study, the application of Hamilton-Jacobi optimization equation to the structures under the effect of earthquake is examined. General purpose of the active control system is minimization of relative displacements of storeys with control forces derived by structural response and earthquake forces. The investigation of the control force due to the seismic input of the earthquake helped us to choose the optimal force that can keep the displacement of the structure in acceptable limits.

In the first chapter is an introduction to the control forces and control mechanisms. The principle of control mechanisms are given.
In the second chapter, the classification of control methods are mentioned.
In the third chapter, active control method is given with details. Linear regulator problem is also introduced.
In the fourth chapter, the derivation of Hamilton-Jacobi optimization equation explained with details.
In the fifth chapter, the disturbance rejection problem is explained and the system dynamics under the optimal control are derived
In the sixth chapter, Runge-Kutta method, which is used to solve the fourth degree differantial equations, is explained.
In the seventh chapter, the control equation which is found by the Hamilton-Jacobi optimization method, is used to a two storey building under the effects of eight major earthquake inputs. The results are given with graphics.
In eight' chapter, a combination of conclusions of the examples and researchers are presented.

1. GİRİŞ

Yıkıcı Depremler, kasırgalar ve tsunamiler gibi kuvvetli dinamik etkiler altındaki yapıların nasıl korunacağı fikri hep araştırma konusu olmuştur. Gelişmiş ülkelerde dahi ileri teknolojik malzeme ve teknikler kullanıldığı halde kuvvetli bir deprem ve kasırgada yapıların kesinlikle hasar görmeyeceği ya da yıkılmayacağı garanti edilememektedir.

Mevcut tasarımların eksiklikleri ve yaşanan tecrübeler yapıların sürekli değişen dinamik etkilere karşı kendilerini adapte edebilme özelliklerinin bulunması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu da yapı kontrolü düşüncesini gündeme getirmiştir. Aslında bu fikrin başlangıcı 100 sene önce Japonya'da yaşamış Prof. John Milne'ye kadar gitmektedir. Prof. John Milne'nin küçük bir ahşap evi depremden yalıtım edebilmek için metal bilyeler üzerine yerleştirdiği bilinmektedir.

Yirminci yüzyılın ilk yarısı lineer sistem teorisinin geliştirilmesi ve teorinin titreşim problemlerine ve özellikle de yapı dinamiğine uygulanması ile geçmiştir. Bu çalışmaları teşvik eden en büyük etken otomobillerde ve uçaklarda kullanılan içten yanmalı makinelerin tasarım problemi olmuştur. Titreşim yalıtımı ve sönümü gibi kavramlar ise ilk kez II. Dünya Savaşı sırasında efektif olarak uçaklarda uygulanmıştır. Teknolojideki bu gelişmelerin yapı mühendisliğine girişi ise 1960'lı yıllarda başladı ve çeşitli alanlarda hızı bir gelişme gösterdi.

Topraklarının ve nüfusunun büyük bir kısmı etkin deprem kuşağında bulunan ülkemizde kayıtlara göre 1902 yılı ile 2003 yılları arasında büyüklüğü 4,5 ile 7,4 arasında değişen 140 adet yıkıcı deprem olmuştur. Bu depremler sonucunda büyük can ve mal kaybı meydana gelmiş, ülkemiz maddi ve manevi büyük zararlar görmüştür. Marmara Bölgesi'nde 1999 yılında olan iki büyük deprem sonrasında da depremler devam etmektedir. 2000 yılında büyüklüğü 3,2 ile 6,1 arasında değişen 64 adet, 2001 yılında büyüklüğü 2,9 ile 5,5 arasında değişen 78 adet, 2002 yılında büyüklüğü 3,0 ile 5,3 arasında değişen 100 adet, 2003 yılında büyüklüğü 2,7 ile 6,3 arasında değişen 126 adet deprem meydana gelmiştir. Bu da inşa edilen veya edilecek olan yapıların mutlaka depreme dayanıklı olması gerektiğini göstermektedir.

Son yıllarda oldukça sık rastlanan deprem felaketleri kentlerin alt yapılarını önemli ölçüde tehdit etmektedir. Dolayısıyla deprem tasarımı yapılmamış veya deprem tasarımına göre inşa edilmemiş köprü, bina ve diğer alt yapı tesislerinin şiddetli deprem etkisi altında geniş çapta can kaybına ve hasara yol açabileceği bilinmektedir. Bu sorun, dünyanın deprem bölgelerinde yer alan tüm ülkeleri endişelendiren evrensel bir sorundur. Deprem Mühendisliğinin nispeten yeni bir mühendislik dalı olduğu göz önünde bulundurulacak olursa ve bu alanda elde edilen bilgi birikiminin önemli bir bölümünün yaklaşık son 30 yılda ortaya çıktığı hatırlanacak olursa, alt yapımızı oluşturan milyonlarca yapının depreme karşı yetersiz olabileceği gerçeğini görmek zor değildir.

Deprem, tsunami, kasırga gibi dinamik yük etkisi büyük olan olaylar önceden net bir şekilde kestirilemeyeceği için, yapıların tasarımı belirli yük ölçütlerine göre yapılmaktadır. Bu tasarım sonucunda binaya gelen ve önceden tahmin edilmemiş bu yükler karşısında bina ciddi hasarlarla karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısıyla, yapıların depreme dayanıklı tasarımı, genellikle yapıların deprem ve bunu gibi dinamik yüklerden gelen zorlamaları taşıyabilecek ya da başka bir deyişle depremde meydana gelen titreşim enerjisini tüketebilecek güçte tasarlayıp inşa etmekle sağlanmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında depremde yapıya gelebilecek yüklere de etkiyen ve bunları azaltan tasarım yaklaşımları yapılmaktadır.

Tasarım esasları incelendiğinde, deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımı, tarihsel gelişim açısından üç evrede incelenebilir. İlk zamanlar yapı projelerinde yalnız statik kuvvetler göz önüne alınıp, yapıların deprem kuvvetleri karşısında da rijit olması amaçlanıyordu. Sonraları statik yüklerler beraber dinamik etkiyi hesaba katan özellikler tasarıma eklenip, rijit yapılar yerine enerji yutma kapasitesi yüksek sünek yapılar tasarlanmıştır. Yukarıdaki iki sistemde de yapılar, dinamik kuvvetlere(deprem, tsunami, rüzgâr kuvvetleri gibi) kendi başlarına karşı koydukları için kesit boyutlarının büyük, malzeme kalitesinin yüksek olması gerekiyordu. Bu sistemlerle tasarlanan yapılar, büyük deprem kuvvetleri karşısında yıkılmıyorlar ancak yapı içindeki donanımlar ve teçhizatlar büyük zarar gördüğü için, yapı kullanılabilir durumda kalmıyordu.

Yapı tasarımında, yapıların oturdukları zemine genellikle tam bağlı olduğu kabulü yapılmakta ve yapı elemanları bu kabule göre yapılan yapısal çözümlemelerden ede edilen kesit etkilerine göre boyutlandırılmaktadır. Geleneksel yapı tasarımı olarak

adlandırılabilecek bu yöntemle tasarlanan yapılarda deprem ve benzeri dinamik etkiler yapıya direkt olarak etkimekte, yapı ve/ya da yapı elemanının bu etkilere karşı koyması beklenmektedir. Bilindiği gibi yapı ve/ya da yapı elemanları ya tam sünek davranış ya da tamamen rijit bir davranış göstererek söz konusu etkileri güvenli bir şekilde karşılayabilmektedir.

Günümüzde yapıların, ideal sünek bir malzemenin olmamasından, tam sünek davranış gösterecek şekilde inşa edilmesi veya ekonomiklik nedeniyle de tam rijit davranış gösterecek şekilde inşa edilmesi mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle yapılar belirli bir sünekliliği sağlayacak şekilde inşa edilmektedir. Yönetmeliklerde verilen sünekliliği sağlamak gerek inşa aşamasındaki zorluklar gerekse yapılan hatalar nedeniyle bazen mümkün olmamaktadır. Bu nedenle de yapılar büyük depremlerde beklenenin üzerinde hasar görmektedir. Söz konusu hasar nedeniyle can kaybı olmasa bile yapı kullanılmaz hale gelmektedir. Ayrıca yapının uzun süre kullanılamaması nedeniyle işletim maliyeti yönünden ya da yapının yıkılıp yeniden yapılmasından dolayı ekonomik açıdan büyük zararların oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Depremlerden doğan etkilerin herhangi bir yapıya bir zarar vermesini önlemek amacıyla yapı tasarımında uygun çözümlerin gerekliliği ortaya çıkmıştır

Diğer yandan malzeme teknolojisinin gelişmesine paralel olarak yeni yapı malzemelerinin mukavemeti artarken elastisite modülleri aynı oranda artmamaktadır. Bunun doğal sonucu olarak yeni yapılar daha sağlam fakat aynı zamanda da daha esnek olmaktadırlar. Dolayısıyla bu tür yapılarda şiddetli dinamik yükler altında oluşabilecek büyük deplasmanların önlenmesi ve yaşam konforunun sağlanması gerekmektedir.

Sismik enerjiyi yapısal hasara razı olarak tüketme yerine ek sönüm sistemleri ile tüketme alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. İstatistikler göstermektedir ki maddi hasarın ve can kayıplarının önemli bir kısmı yapısal olmayan elemanların yüksek ivmeler altında hareket etmesi sonucunda oluşmaktadır. Dolayısıyla artık taşıyıcı sistemin çökmemesi yeterli görülmemekte buna ek olarak yapısal olmayan elemanların ve değerli hassas cihazların korunması istenmektedir.

Genel olarak bir yapıya gelebilecek deprem etkilerini azaltmak için yapının hâkim periyodunu uzatmak ya da yapının sönümünü arttırarak göreli yer değiştirmelerini küçültmek gerekmektedir. Bu olaylar mühendisleri yapı tasarımında daha farklı bir sistemi tasarlamaya yönlendirmiştir. Özellikle acil durum şartlarında mutlaka

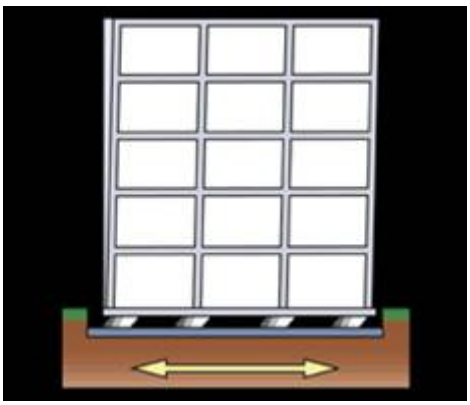
kullanılabilir durumda olması gereken hastane, telekomünikasyon ve nükleer enerji santralleri gibi yapıların hem kendilerinin hem de içindeki donanımın zarar görmemesi için deprem enerjisini, yapının kendisi yerine, yapıya kurulan sistemler üzerinde toplayarak sönümlenmesini sağlayacak mekanik cihazlar geliştirmişlerdir. Burada hedeflenen, dinamik kuvvetlerden meydana kesit zorlarını ve yer değiştirmeleri güvenlik sınırları içersinde tutarak yapının ve yapı içindeki donanımın korunmasını sağlamaktır.

Bu amaçla gelişmiş ülkelerde yaklaşık olarak 30 yıldır aktif ve pasif kontrol yöntemleri olarak adlandırılan yapı kontrol sistemleri başarıyla uygulanmaktadır. Özellikle Japonya gibi büyük depremlerin sıkça olduğu ülkelerde uygulanmakta olan yapı kontrol sistemleri, yapılarda istenilen deprem güvenliğini büyük ölçüde sağlamaktadır. Dolayısıyla, sismik yapı yalıtımı yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir.

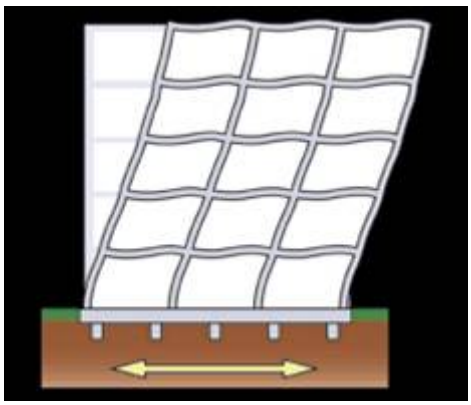
Bu çalışmaların ortak sonucu bu tür yeni sistemlerin, gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların iyileştirmesi ve güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği yönündedir.

Yapı kontrol sistemleri, kullanılan malzeme ve çalışma prensipleri açısından birbirlerine benzer özellikler taşısa da uygulama kolaylığı gerekse maliyet yönünden birbirlerinden ayrılmaktadır.

Yapı kontrol sistemlerinin uygulama şekilleri ve kullanılacak yapıların özellikleri birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Örnek vermek gerekirse, DIN 4025, BS 6472, ENV 1998, AASHTO, EN 1337, CEN TC 340, NEHRP, UBC-97, FEMA273, ATC gibi. Ancak topraklarımızın %98'i aktif deprem kuşağında olan ülkemizde yapı kontrol sistemleri bugün yürürlükte bulunan yönetmeliklerde yeni yeni yer almaktadır. Yapı kontrol sistemlerinin en azından birinci derece deprem bölgelerindeki önemli yapılarda kullanılmasının, özellikle ülkemizin karşılaşacağı büyük sorunların azaltılmasında faydalı olacağını düşünmekteyiz.



Şekil 1.1 Sismik Yalıtılmış Yapı



Şekil 1.2 Normal Yapı

Sonuç olarak görülmektedir ki sismik yalıtım yapılan yapılarda, deprem etkisi en aza indirgenmekte ve gerek yapının gerekse yapıda bulunan donanımların ve cihazların depremden zarar görmesi engellenmektedir. Depremlerden sonra hizmet vermesi hayati önem taşıyan köprü, köprüyol, itfaiye binası, hastane, iletişim binası gibi yapılarda sismik yalıtım yapılması gelişmiş ülkelerde şart koşulmaktadır. Şöyle ki, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1986 yılından bu yana teknik yönetmeliklere girmiş bulunan sismik yalıtım teknolojisi diğer ülkelerin yönetmeliklerine dâhil edilmiş bulunmaktadır. Ülkemizde Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinde sismik yalıtıma yeşil ışık yakılmış ve Amerikan Deprem Yönetmeliği kurallarına uyulmasının yeterli olduğu belirtilmiştir. Ancak, 2006 yılında yenilen deprem yönetmeliğinde, "Bina taşıyıcı sistemi deprem hareketinden yalıtılmak amacı ile temelleri ile zemin arasında özel sistem ve gereçlerle donatılan veya diğer aktif ve pasif kontrol sistemlerini içeren binalar, bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır" ibaresi yer almaktadır.

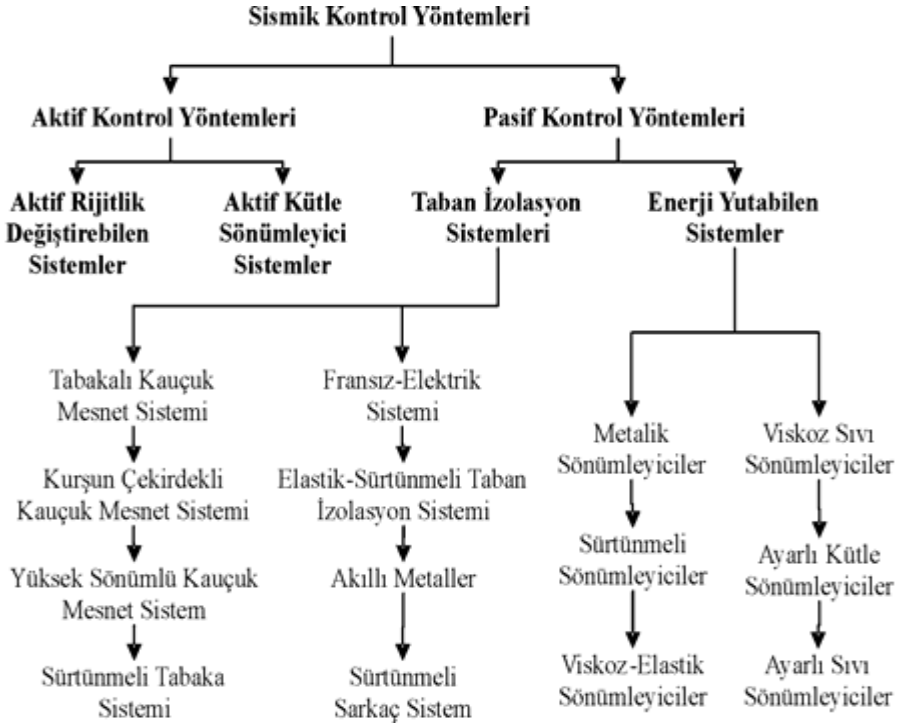
Gerçekten deprem mühendisliğinde bir çığır açan sismik yalıtım tekniğinde son onbeş yılda büyük gelişmeler sağlanmıştır. Doğal bir olgu olan depreme karşı yapıların korunmasında etkili bir çözüm olan sismik yalıtım teknolojisinin uygulanması rasyonel bir yaklaşım olacaktır.

2. KONTROL YÖNTEMLERİ

Kontrol sistemleri, tasarım metotlarına göre sınıflandırıldığı takdirde dört ana başlık altında incelenebilir.

1. Pasif Kontrol Sistemleri
2. Aktif Kontrol Sistemleri
3. Karma Kontrol Sistemleri
4. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Tablo 2.1 Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan sismik kontrol sistemleri.



2.1 Pasif Kontrol Sistemleri

Gelişen teknoloji ile birlikte klasik depreme dayanıklı yapı tasarımına ilk alternatif olarak pasif kontrol fikri gündeme geldi. Pasif Kontrol yöntemleri, deprem etkileri dışında herhangi bir ilave enerjiye gereksinim duymadan çalışmaktadırlar. Dolayısıyla, binaya gelen sismik enerjiyi kendi içlerinde sönümlerler. Değişken dinamik etkilere adaptasyon kabiliyeti olmayan bu sistemler çalışma prensipleri ve malzeme özellikleri itibari ile farklılıklar gösterir. Yapının dış kuvvetlere karşı dayanımını arttırmak için yapıya yerleştirilen bu elemanların maliyetleri düşüktür.

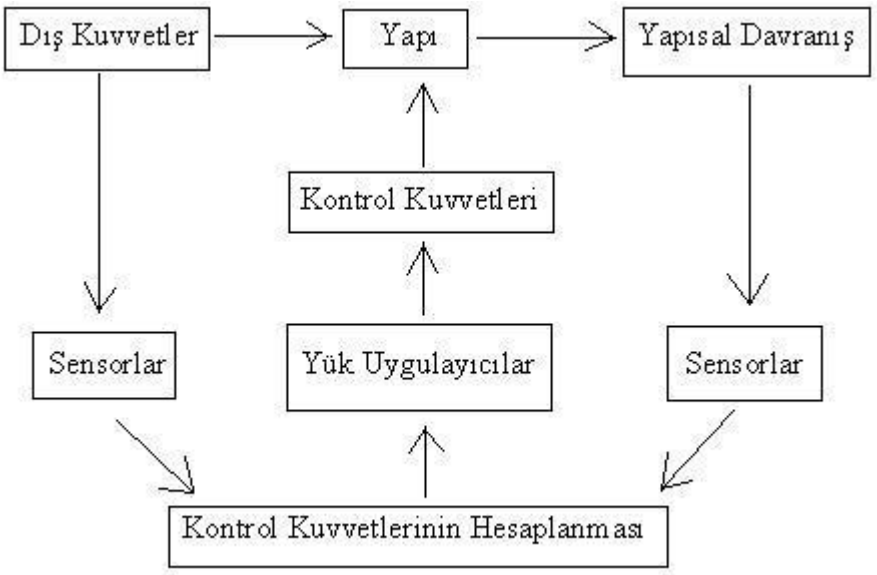
Dinamik etkilere maruz yapılardaki titreşim enerjisi esas olarak iç sürtünme ve plastik deformasyonlar ile yok edilmektedir. Yapının enerji yutma kapasitesi ne kadar fazla ise titreşim genliği de o kadar küçük olmaktadır. Tipik çelik yapılarda sönüm oranı %2, betonarme yapılarda ise %5 civarındadır. Titreşim genliğini azaltmak için yapının enerji yutma kapasitesini arttırmak gerekmektedir. Geleneksel yapılarda elemanların kütle ve rijitlik özellikleri belli bir doğruluk derecesi ile modellenebilmektedir. Sönüm özellikleri ise, yapısal elemanların enerji yutma kapasitelerindeki ve ideal olmayan birleşim noktalarının davranışlarındaki belirsizliklerden dolayı karakterize etmek oldukça zordur. Sonuç olarak, analizi basitleştirmek için genelleştirilmiş formda sönümü orantılı olarak kabul etmek yeterli görülmektedir. Bugün, mevcut yapı analizi programları ve tasarım yöntemleri genellikle orantılı sönümü kabul etmektedirler. Pasif enerji sönümleyici sistemler sönüm, rijitlik ve dayanımı arttırıcı özellikteki malzemelerden oluştuğundan, bunlar hem yeni yapılacak yapılarda hem de yaşı ilerlemiş yapıların veya hasarlı yapıların iyileştirmeleri için de kullanılabilmektedir.

Pasif kontrol sistemleri aşağıdaki gibi gruplandırılırlar:

1. Taban İzolasyon Sistemleri
2. Enerji Yutabilen Pasif Kontrol Yöntemleri
    a. Metalik Sönümleyiciler
    b. Sürtünmeli Sönümleyiciler
    c. Viskoz-Elastik Sönümleyiciler
    d. Viskoz-Sıvı Sönümleyiciler
    e. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler
    f. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler

2.2 Aktif Kontrol Sistemleri

Yapı tasarım tarihi üç döneme bölünebilir. Sadece statik yüklere göre tasarım yapılan dönem klasik dönem olarak adlandırılır. İkinci dönem modern dönem olarak isimlendirilir. Bu dönem, yapıdaki dinamik etkilerin de göz önüne alınarak tasarımların yapıldığı dönemdir. Statik yükler yapı ömrü boyunca çok fazla değişmezler. Fakat dinamik yükler gerek büyüklükleri gerekse yönleri açısından değişkendirler. Dış yüklerdeki bu değişimi kompanse etmek için yeni tasarımlar ortaya çıkmıştır. Üçüncü dönem olarak ortaya çıkan post modern dönem bu bakış açısı ile doğmuştur. Yapıya gelebilecek yükleri önceden tahmin etmek çok zordur. Bilgisayar, elektro-hidrolik sistemler ve sensor teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda artık, yapıya gelen dinamik kuvvetler ölçülerek önceden belirlenen bir algoritmaya göre kontrol bilgisayarında gerekli kontrol kuvvetleri hesaplanabilmekte ve bu kuvvetler yapıya yerleştirilen aktif kuvvet mekanizmaları ile uygulanabilmektedir.



Şekil 2.1 Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı

İşte bu temel mantıkla son yıllarda özellikle 1990'larda Japonya'da geliştirilen ve akıllı binalar olarak bilinen yeni bir kontrol metodu olan aktif kontrol sistemleri, pasif yapı kontrol sistemlerine alternatif bir sistem olarak sunulmuştur.

Aktif kontrol kavramı orijin olarak 1960'lara gitmektedir. Zuk 1968'de "Kinetik Yapı" kavramını teklif ederek aktif olarak kontrol edilen yapı ile kinetik yapı

kavramlarını birbirinden ayırdı. Zuk'a göre aktif kontrollü sistemlerde yapının hareketini azaltmak için kullanılan kuvvetler yapının bizzat kendisinin oluşturulması için kullanılabilirdi. Bu kinetik yapı canlı bir organizma gibi hareket edebilmeli, zamanla değişen ihtiyaçları karşılayabilmek için de kendisini yenileyebilmeliydi. Hatta bu yapı fabrikada küçük olarak oluşturulduktan sonra inşa edileceği yere götürülüp bir düğmeye basıldığında içindeki kontrol sistemini devreye sokup kendi kendini inşa edebilmeliydi. Bu konuda kontrol teorisini esas alan ilk sistematik çalışma Yao tarafından yapıldı.

Yao'nun öncü çalışmasında belirtildiği ve aktif kontrol sistemi şematik diyagramında görüldüğü gibi aktif kontrol sistemi esas olarak 3 ana kısımdan meydana gelmektedir.

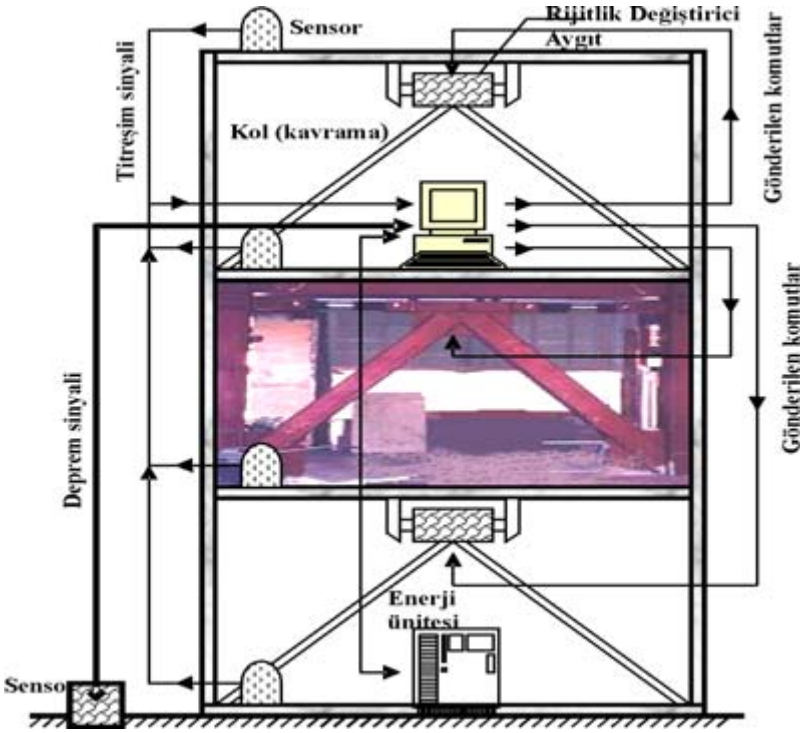
Birinci kısım, dış etkileri veya yapının deplasman ve hız gibi büyüklüklerini ölçmek için kullanılan duyargaları içermektedir. Bunlar optik, mekanik veya kimyasal duyargalar olabilmektedir. İkinci kısımda ölçülen bilgiyi değerlendiren ve belirli bir kontrol algoritmasına göre uygulanması gereken kontrol kuvvetlerini hesaplayan elektronik cihazlar vardır. Bunların en önemlileri bilgisayarlardır. Üçüncü kısımda ise sistemde bulundurulan dış enerji kaynağı kullanılarak hesaplanmış kontrol kuvvetlerini yapıya uygulayan aktif kontrol elemanları vardır.

Yukarıda anlatılanlara dayanılarak söylenebilir ki, aktif kontrol sistemlerinin temel amacı yapıda meydana gelen ivmeleri azaltarak yer değiştirmeleri sınırlamak ve yapının güvenliğini sağlamaktır. Bunun için pasif kontrolden farklı olarak, yapıda sismik harekete karşı koyabilecek kontrol kuvvetlerini üretebilmek için yedekte sürekli bir enerji hazır bulundurulmaktadır. Buradan anlaşılmaktadır ki, daima hazır bulunması gereken enerji aktif kontrolün bir dezavantajı olarak karşımızda durmaktadır. Çünkü sismik hareket olmadığı zamanlarda da sistemin güvenliği açısından enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca aktif kontrol sistemlerinde yapılar yükseldikçe veya depremin şiddeti arttıkça, karşı koyucu kuvvetler ve sistemi çalıştıracak enerji miktarı artar, bu da enerji ve stabilite sorununu ortaya çıkarır. Bunlara ek olarak diğer bir dezavantaj ise, bu sistemin titreşimleri anında algılayarak kontrol kuvvetini üretecek olan aygıtlara (tahrik edicilere) gönderebilecek ve gerekli kontrol kuvvetini üretebilecek çok gelişmiş cihazlara ve bilgisayar sistemlerine gereksinim duyulmasıdır. Yukarıda sayılan nedenler doğrultusunda aktif kontrol sistemleri orta yükseklikteki yapıların, orta şiddetli depremler etkisine karşı

korunmasında daha etkili sistemlerdir. Nükleer enerji santralleri, hastaneler, telekomünikasyon binaları gibi hayati önem taşıyan yapılarda uygulanmasına en sık rastlanan sistemlerdir.

Aktif kontrol sistemleri, kontrol kuvvetini üreten aygıtlar (verenler) tarafından bilgisayar sistemi aracılığı ile verilen sinyallere uygun olarak kontrol sisteminin harekete geçirilmesi olarak açıklanabilir.

Aktif yapı kontrolünde en yaygın kullanılan sistemler Aktif rijitlik değiştirebilen sistemler ve aktif kütle sönümleyicilerdir. Aktif rijitlik değiştirebilen sistemler (AVS) yüksek binalara uygulanabilmektedir. AVS her kata yerleştirilir.



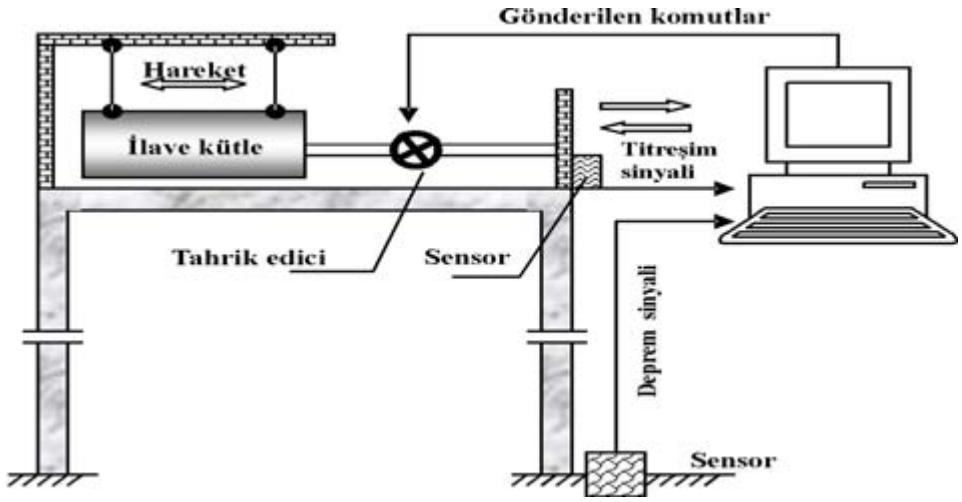
Şekil 2.2 AVS sistemi ve şematik gösterimi

Böylece, yüksek yapının karmaşık salınımları bile kontrol edilebilmektedir. AVS ilk defa 1990'da Nishi-Chofu'da Rahmen denilen çelik çerçeve sistemi ile inşa edilmiş olan bir yapıda uygulanmıştır.

Rijitlik değiştiren sistemde, "brace" ismi verilen kollarla (kavramalar) desteklenen yapıda, kollar arasına ve kat kirişlerine paralel olarak rijitlik değiştirici hidrolik aletler yerleştirilmektedir. Sistemde, deprem hareketi duyarlar tarafından anında algılanır. Kontrol bilgisayarı gerekli dönüştürmeleri yaparak emirler gönderir. Rijitlik değiştiren aletlerin açık ve kapalı durumda olmaları ile kolların etkinliği

değiştirilmekte ve yapının tınlaşım durumuna gelmemesi sağlanmaktadır. Yukarıdaki tüm bu işlemlerin yapılması için gerekli zaman saniyenin 5/100'ünden daha az bir zamandır.

Aktif kütle sönümleyici sistemler ise şiddetli rüzgâr ve depremlerin sebep olduğu titreşimlere karşı, bina içine yerleştirilen ilave kütleler ile titreşime karşı hareket ederek titreşimin etkisini azaltabilen bir kontrol sistemidir. Japonya'da Kajima inşaat şirketince geliştirilen bu sistem çok hassas ve güvenirliği yüksek bilgisayar sistemleri ile kontrol edildiğinden, depreme karşı korumada eşsiz bir kontrol sistemidir. Çok yüksek yapılar, kuleler, rüzgârdan kolay etkilenen dar yapılar ile planda düzensizliği önlenemeyen burulmalı yapılarda burulma titreşimlerini azaltmak için bu sistem tercih edilmektedir.



Şekil 2.3 Aktif kütle sönümleyici sistemin şematik şekli

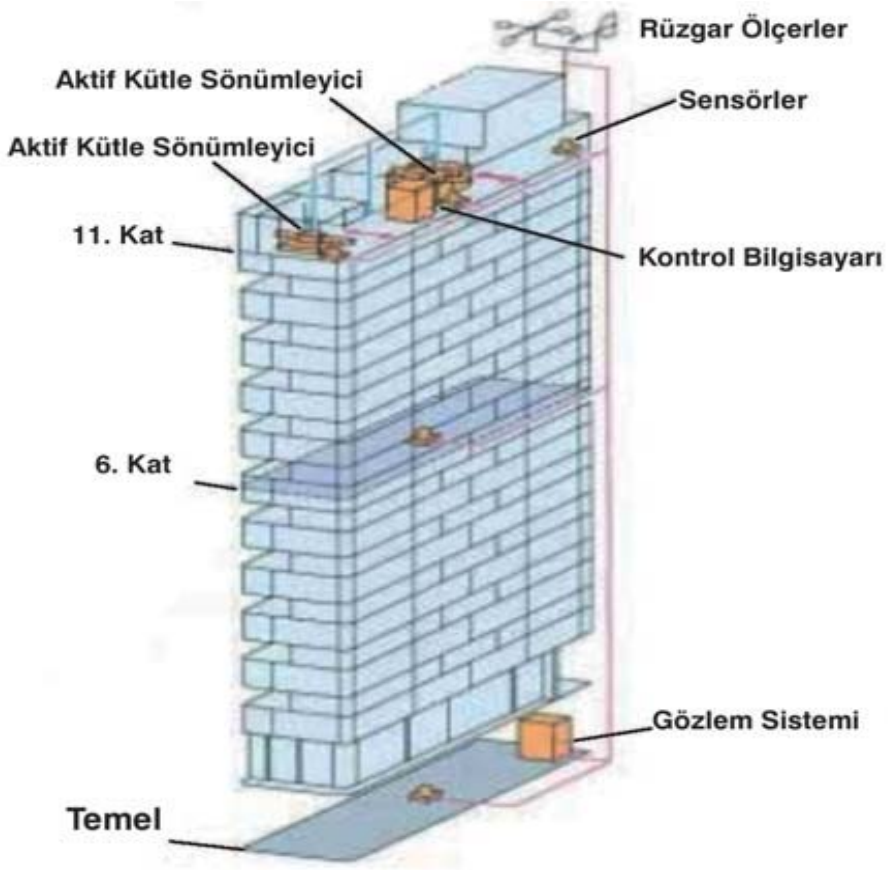
Bu sistemde; yapının orta katlarına, en üst katına (çatıya) ve zemin dâhil birçok bölgeye yerleştirilen ve titreşimleri anında algılayan cihazlar (duyarlar), yapının bünyesindeki ve zemindeki sarsıntı ve titreşimleri anında algılayarak kontrol bilgisayarına gönderirler. Kontrol bilgisayarı, gelen her bir sinyali inceler, analiz eder ve kontrol kuvvetini üretecek olan tahrik ediciye gönderir. Kontrol kuvvetini üreten tahrik edici verenler, bilgisayar tarafından verilen sinyallere göre ilave kütleyi harekete geçirir.



Şekil 2.4 Aktif kütle sönümleyici sistem uygulaması

Daha önce açıklandığı gibi pasif TMD'ler yapının genelde birinci mod hareketini azaltacak şekilde ayarlanıyorlardı. Diğer modları da kontrol edebilmek aktif TMD'ler ile mümkün olabilmektedir. Bu prensibe dayanarak, aşağıdaki şekilde görülen ve ilk olarak Japonya'da Kyobashi Seiwa Binasına yerleştirilen aktif kütleli (AMD) bir sistem tasarlanmıştır.

Japonya'da aktif kontrol sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda bina bulunmaktadır. Bunlara bir örnek de 1992'de tamamlanan Applause kulesidir. Bu yapıda aktif kütle olarak binadaki mevcut helikopter platformu kullanılmıştır. Yeni kontrol algoritmalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 2.5 Aktif Kütle Sönümleyicilerin yerleştirildiği Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo, Japonya)



Şekil 2.6 En üst katta AMD bulunan Applause Kulesi, Japonya

2.3.Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı aktif kontrol sistemleri, aktif kontrol sistemlerine göre daha az dış enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Yarı aktif kontrol sistemleri, pasif sistemlerden ve tamamen aktif sistemlerden daha iyi performans göstermektedir. Aktif sistemler deprem esnasında ana güç kaynakları devre dışı kalabilecekken yarı aktif kontrol sistemlerinde piller çalışmaya devam edecektir. Yarı aktif sönümleyiciler, piller vasıtası ile oluşturulabilen elektrik veya manyetik alanlar yardımı ile ER veya MR sıvıların mekanik özelliklerinin kontrolü prensibi ile çalışmaktadır.

MR Sıvısı (Magneto Rheological Fluid) manyetik kuvvet etkisi sonucu sıvı fazdan katı faza milisaniyeler içerinde geçebilen ve manyetik kuvvetin kalkması durumunda ise tekrar sıvı faza geçebilen özel bir kimyasaldır.

Deprem esnasında deprem kuvvetinden ötürü oluşan hareket binayı ve içinde MR sıvısı olan pistonları hareket ettirir. Piston içindeki hareket manyetik alan oluşturur ve sıvı fazda fazla olan madde katılaşır. Harekete karşı sönümleyici (enerji yutucu) olan MR sıvısı içeren pistonlar depremden dolayı oluşan kuvvete ters yönde direnç uygulayarak deprem yükünü azaltır ve binanın daha fazla deplasmana uğramasını engeller. Kuvvet kalktığında ise bir yana doğru salınmış olan binanın dengeye gelmesi için katı madde svı hale geçer. Bu çeşit sönümleyicilerin kullanılması sonucu binalarda ve köprülerde sismik aktivitelere karşı kontrollü bir şekilde tepki verilmiş olur.

3. AKTİF KONTROL

Aktif yapı kontrolünün analitik teorileri esas olarak karışık kontrol, stokastik kontrol, adaptiv kontrol ve optimal kontrol olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan karışık kontrol hem aktif hem de pasif kontrol elemanlarının birlikte kullanıldığı sistemleri içermektedir. Karışık kontrolün esas amacı pasif kontrol sistemlerinin performansını iyileştirmek veya aktif kontrol sisteminin ihtiyaç duyabileceği fazla enerji miktarını azaltmaktır. Örneğin taban izolasyonlu bir yapıda taban izolasyonuna bir aktif kütlesel sönümleyici bağlanmış ise bu bir karmaşık kontrol uygulamasıdır ve esas amaç taban izolasyonunu kalıcı deformasyonlardan korumaktır.

Yapıyı sürekli ve değişen dinamik yükleri modellemedeki belirsizlikler ve ölçülen büyüklüklerdeki istenmeyen bozucu etkiler nedeniyle oluşan bozulmalar yapı kontrolüne stokastik bir yaklaşımı gerektirmektedir. Problemlere istatistiksel yaklaşımlar 300 seneedir kullanılmakla beraber olasılık teorisinin mühendislerin de kullanabileceği şekilde formüle edilmesi ancak 1930'lu yıllarda gerçekleşmiş ve bundan sonra stokastik kontrol teorisi büyük gelişmeler göstermiştir.

Adaptiv kontrol ise bir sistemin parametrelerinin bilinmediği veya belirsizlikler içerdiği durumlarda kullanılır. Adaptiv kontrol metotları genellikle doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğrudan metotlarda kontrol parametreleri ölçülen ve istenen çıkışlar arasındaki hataya bağlı olarak ayarlanmaktadır. Dolaylı metotlarda ise belirsizlik içeren sistemin model parametreleri belirli bir algoritmaya göre her anda tahmin edilir ve bu parametrelere bağlı olarak kontrol parametreleri hesaplanır.

Optimal kontrolde ise yapıya uygulanacak olan kontrol kuvvetleri belirli bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum yapılmasından elde edilirler. Verilen bir dinamik sistemin optimalliğinden bahsedebilmek için sistemin hangi kısıtlar altında hangi kritere göre optimal olduğunun mutlaka belirtilmesi gerekir. Çünkü optimallik kavramı seçilen amaç fonksiyonu ve problemin kısıtlarına göre değişmektedir. Yani belirli bir problem için optimal olan bir çözüm başka bir problem için optimal olmayabilir. Dolayısıyla ancak amaç fonksiyonu ve sağlaması gereken kısıtlar

belirlendikten sonra verilen kısıtlar altında amaç fonksiyonunu minimum yapacak olan kabul edilebilir mümkün kontrol fonksiyonu aranabilir.

Amaç fonksiyonu belirlendikten sonra onun minimizasyonu başlar. Bunun için klasik varyasyon hesabı metodu, Pontryagin Minimum Prensibi veya dinamik programlama metodu kullanılabilir. Klasik varyasyon hesabı metodunda optimal kontrol için gerekli koşullar amaç fonksiyonunun birinci varyasyonunun sıfıra eşitlenmesinden elde edilirler. Pontryagin Minimum Prensibine göre Hamiltoniyen olarak verilen bir fonksiyon, kontrol kuvvetine göre minimum değerini kabul edilebilir mümkün kontrol kuvvetler kümesi üzerinde alır. Pontryagin Minimum Prensibi kontrol kuvvetleri üzerinde kısıtların bulunduğu daha genel hal için verilmesine rağmen, kontrol kuvvetlerinin sürekli ve kısıtsız olduğu problemlere de uygulanabilir. Dinamik programlama metodu ise bütün kontrol aralığında optimal olan bir çözüm her bir alt aralıkta da optimaldir prensibine dayanmaktadır.

3.1 Lineer Regülatör Problemi

Temel optimizasyon problemi, sistem dinamiklerinin

$$\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu} \tag{3.1}$$

olarak verildiği ve amaç fonksiyonu

$$\mathrm{V} = \int_0^T (x'Qx + u'Ru)dt + x'(T)Mx(T) \tag{3.2}$$

olarak tanımlanan performans ölçüsünü minimize eden

$$u = -Kx \tag{3.3}$$

şeklindeki durum karşı tepki kontrol kanunun bulunmasıdır. Bu denklemde Q ve M tipik pozitif semi definit matris, R pozitif definit matris, x n boyutlu durum vektörü ve u ise m boyutlu girdi vektörüdür. Bu problemde son zaman T sabit, son durum $x(T)$ değişkendir.

(3.1) denklemi sonucunda x durumunun artan durum olduğu kabul edilir. Ancak kontrol amacı x durumunu, $x_r = 0$ durumuna olabildiğince yakın tutmaktır. (3.2) denklemindeki $x'Qx$ terimi kontrol doğruluk ölçüsü, $u'Ru$ terimi kontrol kuvveti ölçüsü ve

$x'(T)Mx(T)$ de sınır kontrol doğruluk ölçüsüdür. Amacı, durumu sıfır durumuna yakın tutmak olan kontrol problemine regülatör problemi denir. Buradan hareketle yukarıdaki denklemlere ikinci dereceden lineer regülatör problemi (LQR – Linear quadratic regulator problem) adı verilir.

$$V = \int_0^T x'Qxdt + x'(T)Mx(T) \tag{3.4}$$

olarak ölçülmüş olan kontrol kuvveti minimizasyonu gerektiren problemler,

$$\int_0^T u'Rudt = 1 \tag{3.5}$$

şeklindeki kontrol kuvveti sınır koşuluna eğilim gösterirler. Bu problemler (3.5) denkleminin Lagrangian çarpanı λ ile çarpımının (3.4)'e eklenmesi ile (3.2) denklemine dönüştürülebilirler.

4. HAMILTON JACOBI OPTİMİZASYON PROBLEMİ

Aktif kontrol kuvvetinin hesaplanma prensibi, verilen performans endeksinin, hareket denklemi ve başlangıç koşulları tarafından belirlenen sınır koşullar altındaki kontrol kuvveti ile minimizasyonudur. Performans endeksi seçildikten sonra, minimizasyon yöntemi olarak Pontryagin'in minimum kanunu ya da Bellman'ın dinamik programlama metodu seçilebilir. Değişken kanun olan ilk yaklaşımda, optimal kontrol "Hamiltonian" olarak bilinen, verilmiş olan bir fonksiyonun indirgenmesiyle hesaplanır. Pratikte, izin verilen kontrol kuvvetleri sınırlıdır ve büyüklüklerinde belli bir limit vardır. Bu yaklaşım izin verilen kontrol kuvvetlerindeki sınırlara sahip problemleri kontrol için uygulanabilir. İkinci yaklaşım ise, "tüm kontrol zaman aralığında optimal olan kontrol mekanizması, aynı zamanda tüm alt zaman aralıklarda da optimaldır" prensibini benimseyen optimallık kanununu kullanır. Her iki yaklaşımda, aynı koşullar altındaki çoğu problemde aynı sonucu vermelerine rağmen, kontrol problemlerinin çözümlerinde birbirlerini tamamlayıcı konumdadırlar. Ancak kimi özel çözümler için bir formül diğerinden daha iyi olabilir. Bu çalışmada optimal aktif kontrol kuvvetini bulmada ikinci yöntem kullanılacaktır.

Şimdi yukarıda tanımlanan kontrol probleminin optimizasyon denklemini bulalım. Optimal kontrol problemini lineer olmayan ve zamanla değişken olarak genelleştirmek, optimizasyon denkleminin hesaplanmasını zorlaştırmadığı için, $u = \phi(x,t)$ durum geri dönüm kontrol kanununun daha genel problemini bulmayı düşünebiliriz. Genel performans ölçüsü

$$V = \int_t^T l(x,u,\tau)d\tau + m[x(T)] \qquad (4.1)$$

verilen lineer olmayan sistem dinamikleri

$$\dot{x} = f(x,u,t) \qquad (4.2)$$

altında minimize olur.

Kayıp fonksiyonu $l(x,u,\tau)$ ve sonuç kayıp $m(x)$, genellikle $l(0,0,\tau) = 0$ ve $m(0) = 0$ ile birlikte x ve u'nun negatif olmayan fonksiyonlarıdır. Lineer olmayan ve zamanla değişken sistemlere genelleştirmek optimizasyon denklemini hesaplamada

herhangi bir karışıklığa sebep olmasa da, optimizasyon denkleminin çözümlerini elde etmede bir takım sorunlar doğurur.

Aynı optimal kontrol probleminin optimizasyon denklemini bulmak için "optimallık kanunu"'nu kullanalım. Optimallık kanununun temel kabulü, sistemin t anındaki durumu $x(t)$'nin sistemi karakterize edebilmesidir. Bu bütün $u=(\tau)$ girdilerini tamamen t zamanında bağlamak demektir. Bu yöntem bilinen adıyla "dinamik programlama yaklaşımı" olarak adlandırılır.

Optimallık Kanunu: Eğer $u^*(\tau)$, $[t,T]$ zaman aralığında optimal ise ve başlangıç durumu $x(t)$ ise, $u^*(\tau)$ $T-t \geq \Delta t > 0$ koşulunu sağlayan herhangi bir Δt için $[t+\Delta t, T]$ alt aralığında da optimal olmak gereğindedir.

Kanıt: Alt aralık $[t+\Delta t, T]$ üzerindeki u^* 'dan daha düşük bir

$$\int_{t+\Delta t}^{T} l(x,u,\tau)d\tau + m[x(T)] \tag{4.3}$$

sonucu veren bir u^{**} olduğunu düşünelim. Yeni kontrol girdilerimiz şu şekilde verilir;

$u(\tau) = u^*(\tau)$, $t \leq \tau \leq t+\Delta t$ için

$u(\tau) = u^{**}(\tau)$, $t+\Delta t \leq \tau \leq T$ için (4.4)

Böylece $[t,T]$ aralığında elimizde

$$\int_{t}^{t+\Delta t} l(x^*,u^*,\tau)d\tau + \int_{t+\Delta t}^{T} l(x^{**},u^{**},\tau)d\tau + m\left[x^{**}(T)\right] <$$

$$\int_{t}^{t+\Delta t} l(x^*,u^*,\tau)d\tau + \int_{t+\Delta t}^{T} l(x^*,u^*,\tau)d\tau + m\left[x^*(T)\right] \tag{4.5}$$

eşitliği vardır.

Ancak kabul gereği, $[t,T]$ aralığında u^* optimaldır ve (4.5) gösterir ki (4.4) ile verilen, u optimal değerden daha düşük çıkar. Bu tam anlamıyla bir çelişkidir.

Yukarıdaki eşitlikte x^*, u^*'a göre durum yörüngesini; x^{**}, u^{**}'a göre durum yörüngesini belirtir. Ayrıca u ve u^* birinci zaman aralığı $[t,T]$ de eşit oldukları için $\tau = t+\Delta t$'de $x^* = x^{**}$ dır.

Şimdi Hamilton-Jacobi Optimizasyon Denklemi olarak bilinen denklemi bulacağız. Performans ölçüsü V'nin başlangıç zamanı t ve başlangıç durumu $x(t) = x$ iken minimum değeri $V^*(x,t)$'dır. Ve $u[t,T]$'de $[t,T]$ zaman aralığında bir kontrol sinyalidir.

$$V^*(x,t) = \min_{u[t,T]} \left\{ \int_t^T l(x,u,\tau) d\tau + m[x(T)] \right\} \quad (4.6)$$

İntegralin ilave özellikleri ve optimallık kanunu ile elimizde;

$$V^*(x,t) = \min_{u[t,+\Delta t]} \left\{ \int_t^{t+\Delta t} l(x,u,\tau) d\tau + V^*[x(t+\Delta t), t+\Delta t] \right\} \quad (4.7)$$

(4.7) denkleminde $t+\Delta t$ zamanında ve $x(t+\Delta t)$ durumundan başlayarak V'nin en küçük değeri olarak $V^*[x(t+\Delta t), t+\Delta t]$ kullanılmıştır.

Dikkat edilirse, optimallık prensibi kullanarak, $[t,T]$ zaman aralığındaki optimal kontrolü bulma problemi, $[t,t+\Delta t]$ azaltılmış zaman aralığındaki optimal kontrolü bulma problemine indirgenmiştir.

Şimdi (4.7) deki integrali $l(x,u,t)\Delta t$ ile tahmin eder ve $(x(t),t)$ noktası civarında $V^*[x(t+\Delta t), t+\Delta t]$ 'in çok değişkenli Taylor Serisini yaparsak elimizde;

$$V^*(x,t) = \min_{u(t)} \left\{ l(x,u,t)\Delta t + V^*(x,t) + \frac{\partial V^*}{\partial t}\Delta t + \left[\frac{\partial V^*}{\partial x}\right]^I f(x,u,t)\Delta t + o(\Delta t) \right\} \quad (4.8)$$

denklemi olur. Burada $\frac{\partial V^*}{\partial x}$, V^*'in x vektörüne göre değişkeni (kolon vektörü), $o(\Delta t)$ ise Δt nin yüksek derecelerini belirtmektedir. Şimdi limit olarak Δt'nin sıfıra gitmesini belirlersek ve bütün x'ler için $V^*(x,t) = m(x)$ dersek, Hamilton-Jacobi optimizasyon denklemini şu şekilde belirleriz:

$$-\frac{\partial V^*}{\partial t} = \min_{u(t)} \left\{ l(x,u,t) + \left[\frac{\partial V^*}{\partial x}\right]^I f(x,u,t) \right\};$$

$V^*(x,T) = m(x)$ bütün x'ler için. (4.9)

(4.9)'deki optimizasyon denkleminin sonucunu bulabilmek için 2 adımda ilerleriz. Birincisi belirtilen minimizasyonu yapmaktır. Bu bizi

$$u^* = \varphi(\frac{\partial V^*}{\partial x}, x, t) \tag{4.10}$$

formundaki kontrol kanununa ulaştırır.

İkincisi ise (4.10)'u tekrar (4.9)'a dönüştürüp;

$$-\frac{\partial V^*}{\partial t} = l(x, \varphi, t) + \left[\frac{\partial V^*}{\partial x}\right] f(x, \varphi, t) \tag{4.11}$$

lineer olmayan, kısmi diferansiyel denklemini

$$V^*(x,t) = m(x) \tag{4.12}$$

sınır koşullarındaki $V^*(x,t)$ için çözmektir.

Daha sonra değişken $V^*(x,t)$'i x'e bağlı olarak hesaplayabiliriz ve bundan yola çıkarak,

$$u^* = \varphi(\frac{\partial V^*}{\partial x}, x, t) = \phi(x,t) \tag{4.13}$$

optimal durum-geri dönüş kontrol kanununa ulaşabiliriz.

5. TİTREŞİM ENGELLEME DENKLEMİ

Titreşim engelleme denklemi, $\omega(t)$ olarak tanımlı titreşim sinyalinin sistem dinamiklerinde

$$\dot{x} = Ax + Bu + \omega(t) \qquad (5.1)$$

olarak tanımlandığını kabul ederek yola çıkar. $l(x,u,t) = l_1 + l_2$ olan performans endeksi üzerindeki titreşim etkisi de optimal kontrol ile minimize edilir. Burada $l_1 = x^T Qx$, $l_2 = u^T Ru$, Q simetrik, pozitif, yarı definit matris ve R' de simetrik, pozitif, definit matris dir. Kayıp fonksiyonu $l(x,u,t)$ 'nin iki terimi vardır. Birinci terim, l_1, durum vektörü x ile, kontrol zaman aralığı $[t-T]$ içinde sistem potansiyel ve kinetik enerjilerini, ikinci terim, l_2, kontrol kuvveti u ile, kontrol enerjisi ölçüsüdür. Eğer minimize edilecek olan performans endeksi sadece ikinci terimi içeriyorsa, sonuç sistem cevabı çok büyük olacaktır. Eğer sadece ilk terim minimize edilirse, gerekli kontrol enerjisi çok fazla olacaktır. Bu çatışmalı ihtiyaçlar nedeniyle, en uygun performans endeksi, sistem ve kontrol enerjilerinin toplamından oluşacaktır.

$V^*(x,t)$ 'nin şu şekilde olduğunu düşünelim:

$$V^*(x,t) = x^T P(t)x + 2b^T(t)x + c(t) \qquad (5.2)$$

Hamilton Jacobi denklemi şu şekilde olur:

$$-\frac{\partial V^*}{\partial t} = -x^T \dot{P} x - 2\dot{b}^T x - \dot{c} = \min_{u(t)} \left\{ x^T Qx + u^T Ru + \left[2(px+b)\right]^T (Ax + Bu + \omega(t)) \right\}$$

(5.3)

Eşitliğin sağ tarafını minimize edersek;

$$u^* = -R^{-1}B^T \left[P(t)x + b(t)\right] \qquad (5.4)$$

(5.4) denklemini (5.3) denkleminde yerine koyarsak birkaç matris işleminden sonra; x'in ikinci dereceden terimleri

$$\dot{P} + A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P = 0 \tag{5.5}$$

x'in lineer terimleri:

$$\dot{b} + [A - BR^{-1}B^T P(t)]^T b - P(t)w(t) \tag{5.6}$$

x'den bağımsız terimler:

$$\dot{c} = b^T(t)BR^{-1}B^T(t) - 2b^T(t)w(t) \tag{5.7}$$

Sınır koşulları ise:

$$P(T) = 0; b(t) = 0, c(T) = 0 \tag{5.8}$$

Yukarıda verilen sınır koşulları aşağıdaki denklemden elde edilmiştir:

$$V^*(x,t) = x^T P(T)x + 2b^T(T)x + c(T) = m(x) = 0 \tag{5.9}$$

(5.4) denklemi, optimal kontrolün bulunması için $c(t)$'nin hesaplanmasının gerekli olmadığını göstermektedir. Titreşim sinyalinin önceden bilindiğini kabul edersek, $P(t)$ ve $b(t)$ (5.5) ve (5.6) denklemlerinden hesaplanabilir. Ardından optimal kontrol u^* kolaylıkla bulunabilir. Optimal kontrol altındaki sistem dinamikleri şu şekilde olur:

$$\dot{x} = (A - BR^{-1}B^T P(t))x - BR^{-1}B^T b(t) + \omega(t) \tag{5.10}$$

6. IV. MERTEBEDEN RUNGE-KUTTA YÖNTEMİ:

Sayısal analizde Runge-Kutta yöntemleri, adi diferansiyel denklemlerin çözüm yaklaşımları için kapalı ve açık yinelemeli yöntemler ailesinin önemli bir tipidir. Bu yöntem 1900'lü yıllarda C. Runge ve M.W. Kutta adlı matematikçiler tarafından geliştirilmiştir.

"Runge-Kutta Yöntemi" olarak adlandırılan Runge-Kutta Yöntemleri ailesinin bu üyesi sıkça kullanılır.

Aşağıdaki gibi tanımlanan bir başlangıç değer problemini ele alalım.

$$y' = f(t, y), y(t_0) = y_0 \tag{6.1}$$

Ve bu problem için Runge-Kutta yöntemi aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{6.2}$$

Burada

$$k_1 = f(t_n, y_n) \tag{6.3}$$

$$k_2 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}) \tag{6.4}$$

$$k_3 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}) \tag{6.5}$$

$$k_4 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_3}{2}) \tag{6.6}$$

Böylece bir sonraki y_{n+1} değeri o anki y_n değerine h aralığının büyüklüğüyle tahmini eğimin çarpımının eklenmesiyle elde edilir. Bu eğim, eğimlerin ağırlıklı ortalamasıdır:

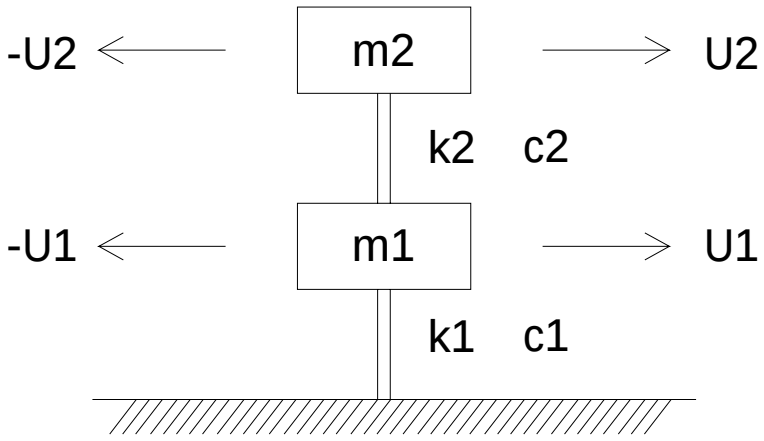
k_1 aralığın başlangıcındaki eğimdir.

k_2 aralığın orta noktasındaki eğimdir. Bu k_2 eğimi, Euler Yöntemi kullanılarak y' nin $t_{n+h/2}$ noktasındaki değerinden elde edilir.

k_3 yine orta noktadaki eğimdir. Ama bu sefer y değeri k_2 eğiminden elde edilir.

k_4 aralığın sonundaki eğimdir ve y değeri k_3 eğimi kullanılarak bulunur.

7. ÖZELLEŞTİRİLMİŞ SAYISAL ÖRNEK



Şekil 7.1 İdealize edilmiş 2 katlı bir yapı

Yukarıda şekli görülen 2 katlı idealize edilmiş kayma çerçevesine 8 deprem kaydı kontrollü ve kontrolsüz olarak uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Burada m1= 200.000 kg,
m2= 250.000 kg,
k1 = 30.000.000 N/m,
k2 = 25.000.000 N/m,
c1 = 110000 Ns/m
c2 = 30000 Ns/m olarak kabul edilmiştir.

7.1 Özelleştirilmiş Sistemin MATLAB Programı İle Çözülmesi

2 katlı olarak idealize edilmiş yapı matlab programında daha önceden elimizde kayıtları bulunan 8 ayrı deprem için kontrolsüz ve kapalı-açık çevrim kontrolü ayrı ayrı uygulanarak çözülmüş ve 16 sonuç çıktı dosyası oluşturulmuştur. Sonuç çıktısı olarak ise kat deplasmanları, buna bağlı olarak rölatif deplasman farkları ve kontrol kuvvetleri elde edilmiştir. Yazılan data dosyası 8 ayrı deprem için ayrı ayrı incelenerek depremler arası karakteristik farklar ortaya koyulmuştur. Programın çözümü esnasında hazırlanan ana data dosyası yapı bilgilerini ve optimal kontrol

denklemlerini içerirken, yardımcı dosyalardan stspc dosyası kontrol sisteminin seçilmesi yani kontrolsüzlük ve kapalı – açık çevirim datalarını, myrk4 dosyası ise 4. dereceden Runge-Kutta denkleminin çözümünü içermektedir.

7.2 MATLAB Datası

7.2.1 Yapı Bilgileri Ve Denklemler

```
global A H Time Timeg Xctn G P b bs Xctnb bs1 bs2 bs3 bs4
% --- structural parameters
m1 = 200000.0; %kg
m2 = 250000.0;
k1 =30000000.0; %N/m
k2 =25000000.0;
c1 = 110000.0; %Ns/m
c2 = 30000.0;
dof=2;
alfa=0.0000001;
beta=10000;
M  =  [m1 0;0 m2];
K  =  [ k1+k2 -k2 ; -k2 k2 ];
C  =  [ c2+c1 -c2 ; -c2 c2 ];
E = [ m1 m2]';
R  =  alfa*eye(dof);
Q = beta*[ eye(dof) zeros(dof)  ; zeros(dof)  zeros(dof) ];
D  = eye(dof);
A = [ zeros(dof) eye(dof) ; -inv(M)*K  -inv(M)*C ];
H = [ zeros(dof,1) ; -inv(M)*E ];
B = [ zeros(dof,dof) ; inv(M)*D ];
G = B*inv(R)*B';
P = are( A,G,Q );
Gu=  -inv(R)*B';
%load the excitation
load kobens
```

```
dep=kobens;
Xctn=dep(1:2990,1);
v_dat=dep(1:2990,2);
points = 2990;                                  % take first 2990 points
delta_t = 0.005;                                % time step value
Time = delta_t:delta_t:delta_t*2990;            % discrete time data for
forward solution
Timeg = delta_t*2990:-delta_t:delta_t;          % discrete time data for
backward solution

%BACKWARD SOLUTION OF b
bxk_1 = zeros(2*dof,1);                         % initialize vectors
bxk = bxk_1;                                    % initialize vectors
b  = zeros(2*dof,points);
bs = zeros(2*dof,points);
more off
for k=2:2990                                    % start the main loop
bxk = myrk4('bstspc',Timeg(k-1),bxk_1,-delta_t) ;
% --- save the time histories
b(1:2*dof,k) = bxk(1:2*dof);
bxk_1 = bxk;                                    % update the state and continue
end
%  b(1:2*dof,1)
%  b(1:2*dof,2990)
% reverse b

for k=1:2990
bs(1:2*dof,points-k+1) = b(1:2*dof,k);
end
bs1=bs(1,:);
bs2=bs(2,:);
bs3=bs(3,:);
bs4=bs(4,:);
```

```
%****FORWARD SOLUTION OF CONTROLLED STRUCTURE
 xk_1 = zeros(2*dof,1);                                  % initialize vectors
xk = xk_1;                                          % initialize vectors
x = zeros(3*dof,points);
ukk = zeros(dof,points);
more off

for k=2:2990                                            % start the main loop
xk = myrk4('stspc',Time(k-1),xk_1,delta_t) ;
% --- save the time histories
x(1:dof,k) = xk(1:dof);
x(dof+1:3*dof,k) = stspc(k*delta_t,xk);
xk_1 = xk;                                          % update the state and continue
uk=Gu*(P*xk+bs(1:2*dof,k));
ukk(1:dof,k) = uk;
end
more on
absr1=max(abs(x(1,:)))
absr2r1=max(abs(x(2,:)- x(1,:)))
absu1=max(abs(ukk(1,:)))
absu2=max(abs(ukk(2,:)))
% Store the results in data file
fp = fopen('rinso','w');%change the file name for different structures
for k=1:points
fprintf(fp,'%12.5f  %12.5f  %12.5f  %12.5f  %12.5f  %12.5f  %12.5f  %12.5f
%12.5f  %12.5f  %12.5f\n'...
,Time(k),x(1,k),x(2,k),x(3,k),x(4,k),x(5,k),x(6,k),ukk(1,k),ukk(2,k),v_dat(k),Xctn(k))
;
end

fclose(fp);
load rinso
dat1=rinso;
```

```
plot(Time,dat1(:,2))
%endfunction
```

7.2.2 Matlab Stspc Dosyası

```
function dxdt = stspc(t_now,x)
global A G P b H Time Xctn bs bs1 bs2 bs3 bs4
z_now = linterp(Time,Xctn,t_now);   % linear interpolation of excitation

% no control
dxdt = A*x + H*0.01*z_now';

% closed-loop
%dxdt = (A-G*P)*x + H*0.01*z_now'; %

% closed-open loop
bsy  = [ linterp(Time,bs1,t_now) ; linterp(Time,bs2,t_now) ;linterp(Time,bs3,t_now);
linterp(Time,bs4,t_now)];

dxdt = (A-G*P)*x - G*bsy + H*0.01*z_now';

 %endfunction
```

7.2.3 MATLAB myrk4 (Runge-Kutta) Dosyası

```
function y_out=myrk4(dydt,t,y,h)
h2=h/2;
th2=t+h2;
d_o=feval(dydt,t,y);
d_m=feval(dydt,th2,y+d_o*h2);
d_m=d_m+feval(dydt,th2,y+d_m*h2);
d_f=feval(dydt,t+h,y+d_m*h2);
y_out = y+( d_o+2*d_m+d_f)*h/6;
```

7.3 Analiz Sonuçları

Analiz sonuçları tablo ve grafikler halinde şu şekildedir:

		max r1 (m)	max r2-r1 (m)	max U1 (N)	max U2 (N)
Rinaldi Kuzey-Güney	Kontrolsüz	0.3526	0.3077		
	Kontrollü	0.2729	0.2590	5.92 e+004	5.78 e+004
Rinaldi Doğu-Batı	Kontrolsüz	0.1640	0.1331		
	Kontrollü	0.1409	0.1220	2.34 e+004	2.29 e+004
El Centro Kuzey-Güney	Kontrolsüz	0.1128	0.1055		
	Kontrollü	0.0946	0.0896	1.65 e+004	1.48 e+004
El Centro Doğu-Batı	Kontrolsüz	0.0585	0.0518		
	Kontrollü	0.0417	0.0390	7.58 e+003	7.51 e+003
Kobe Kuzey-Güney	Kontrolsüz	0.3606	0.3245		
	Kontrollü	0.2921	0.2646	3.72 e+004	3.64 e+004
Kobe Doğu-Batı	Kontrolsüz	0.2923	0.2556		
	Kontrollü	0.2066	0.1770	4.36 e+004	4.30 e+004
Sylmar Kuzey-Güney	Kontrolsüz	0.1648	0.1347		
	Kontrollü	0.1291	0.1011	1.64 e+004	1.56 e+004
Sylmar Doğu-Batı	Kontrolsüz	0.1713	0.1412		
	Kontrollü	0.1291	0.1082	2.33 e+004	2.24 e+004

Tablo 7.1 İdealize edilmiş 2 katlı yapının analiz sonuçları

7.3.1 Northridge Depremi, Rinaldi Kuzey-Güney Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.3526 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.3077 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

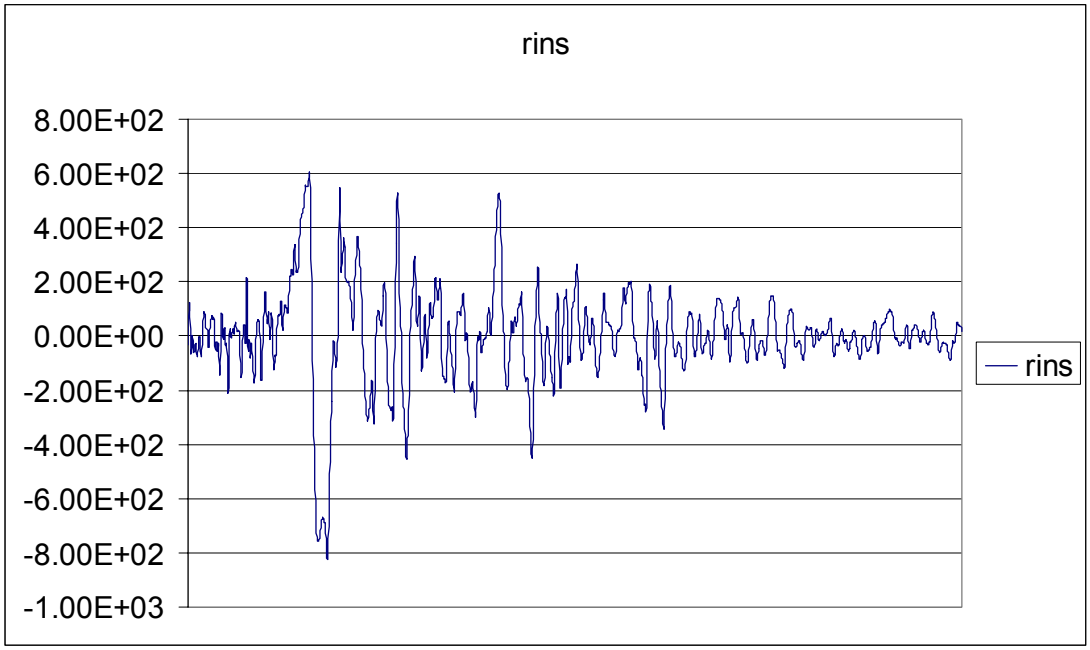
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2729 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.2590 metre

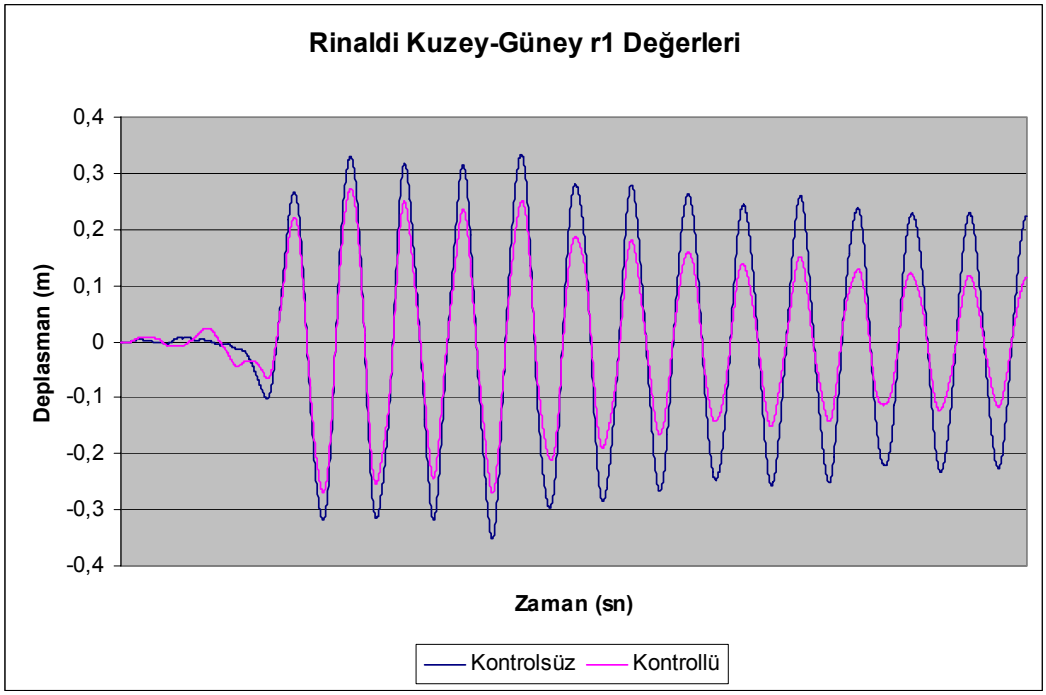
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 5.92 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 1.23 e+005 Newton

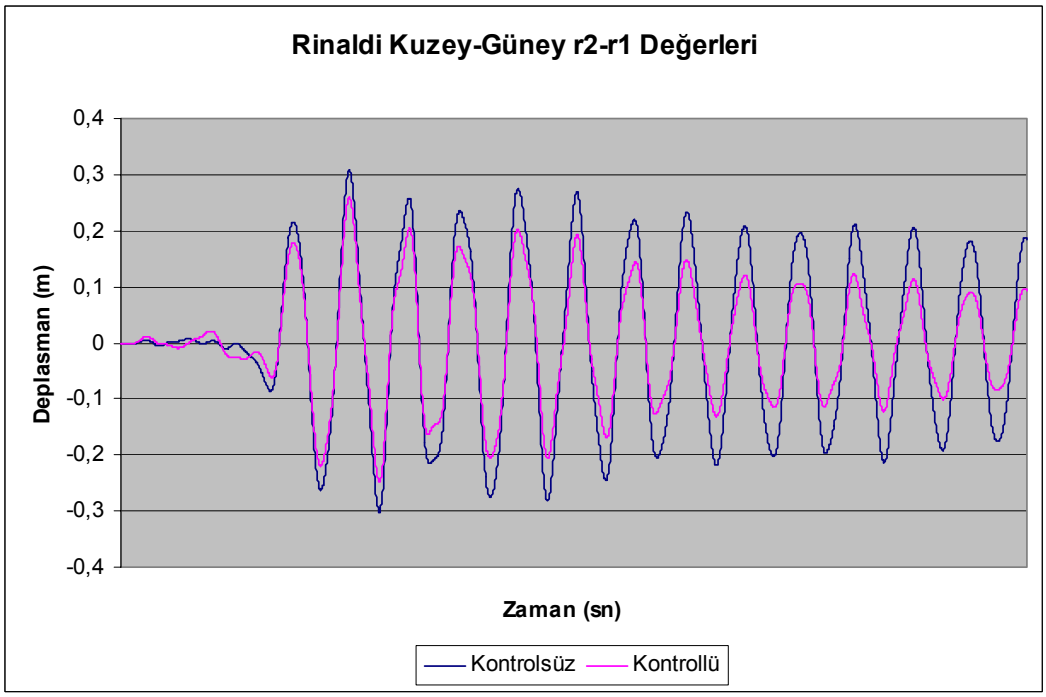
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



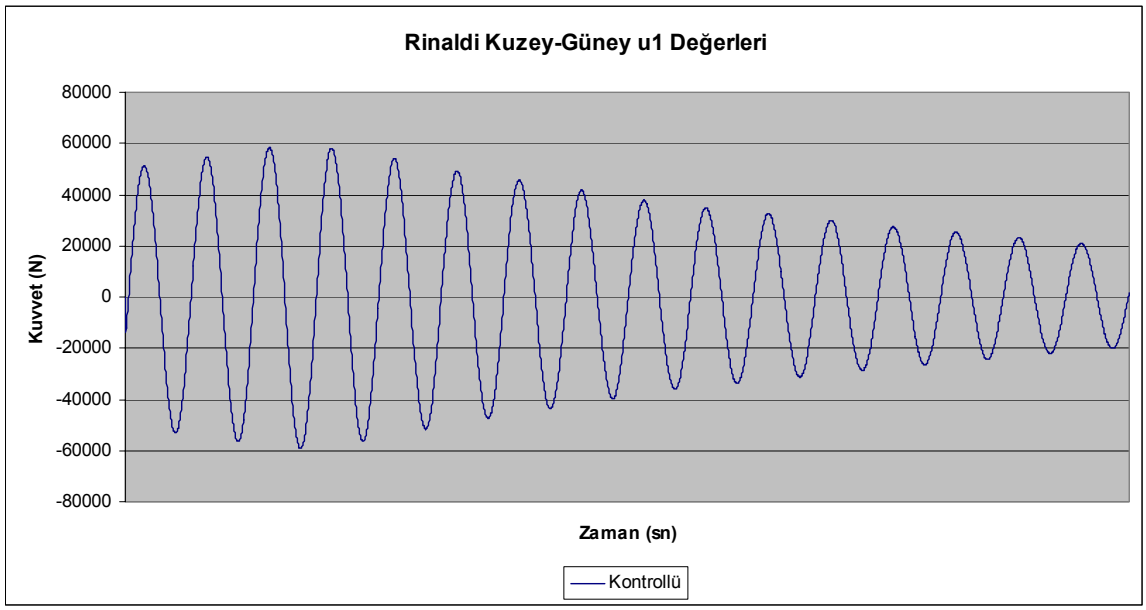
Şekil 7.2 Northridghe Depremi (Rinaldi Kuzey-Güney) İvme / Zaman Grafiği



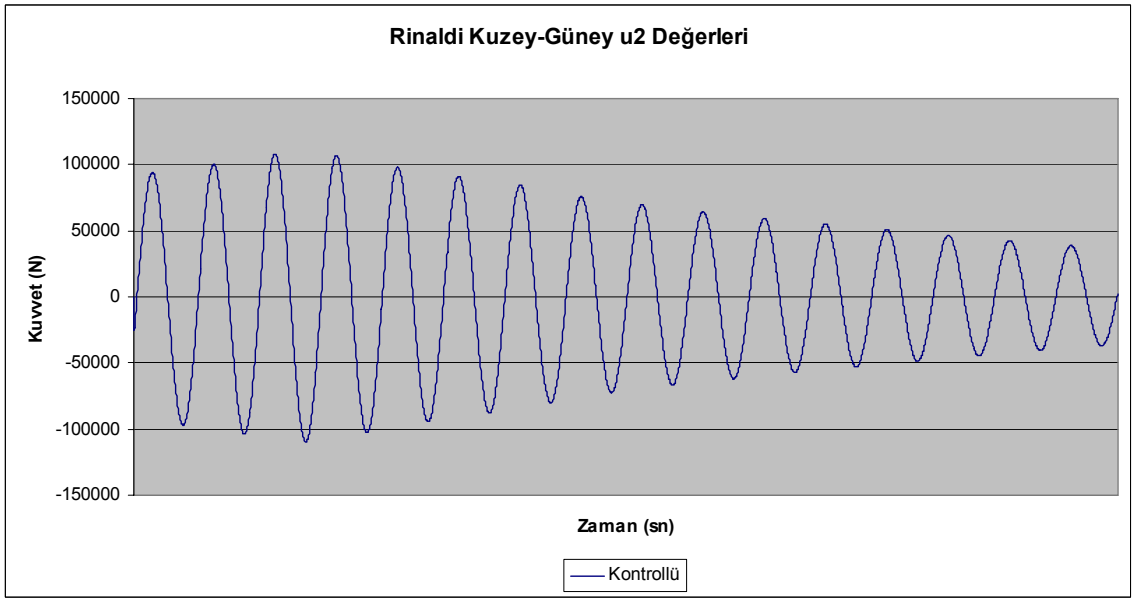
Şekil 7.3. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.4. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.5. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.6. İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.2 Northridge Depremi Rinaldi Doğu-Batı Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1640 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) =0.1331metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

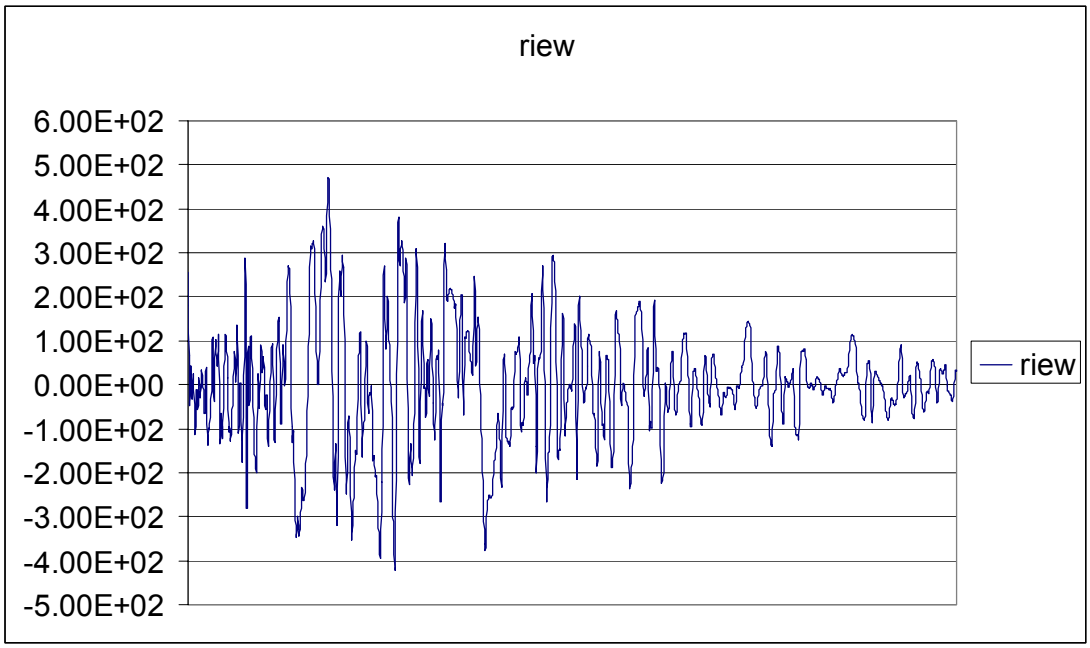
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1409 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1220 metre

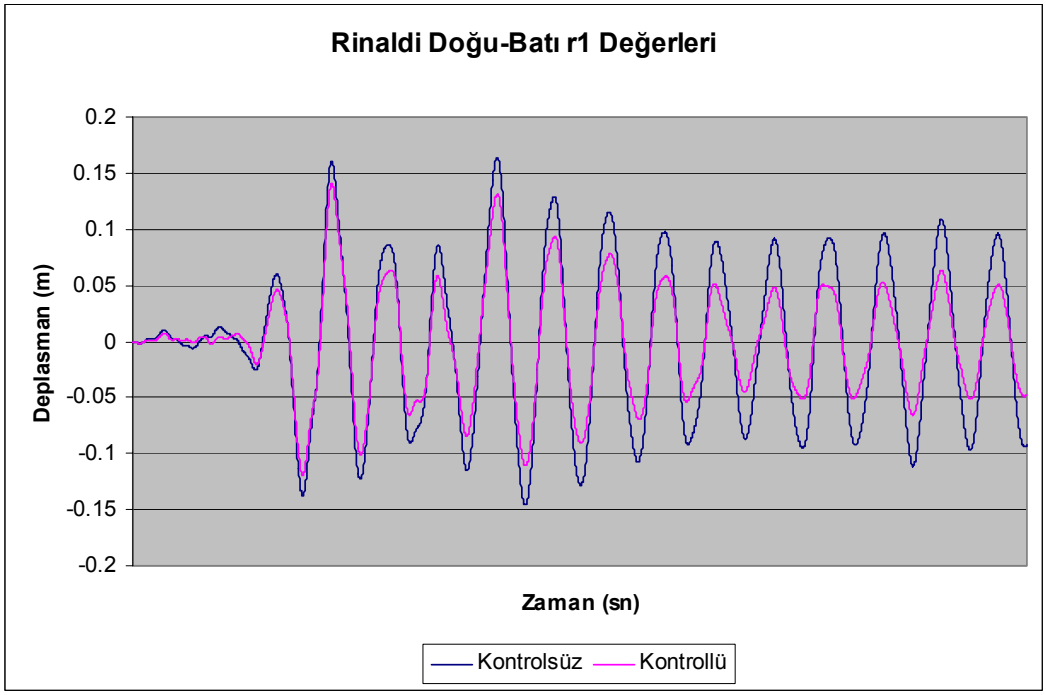
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) 2.34 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 2.29 e+004 Newton

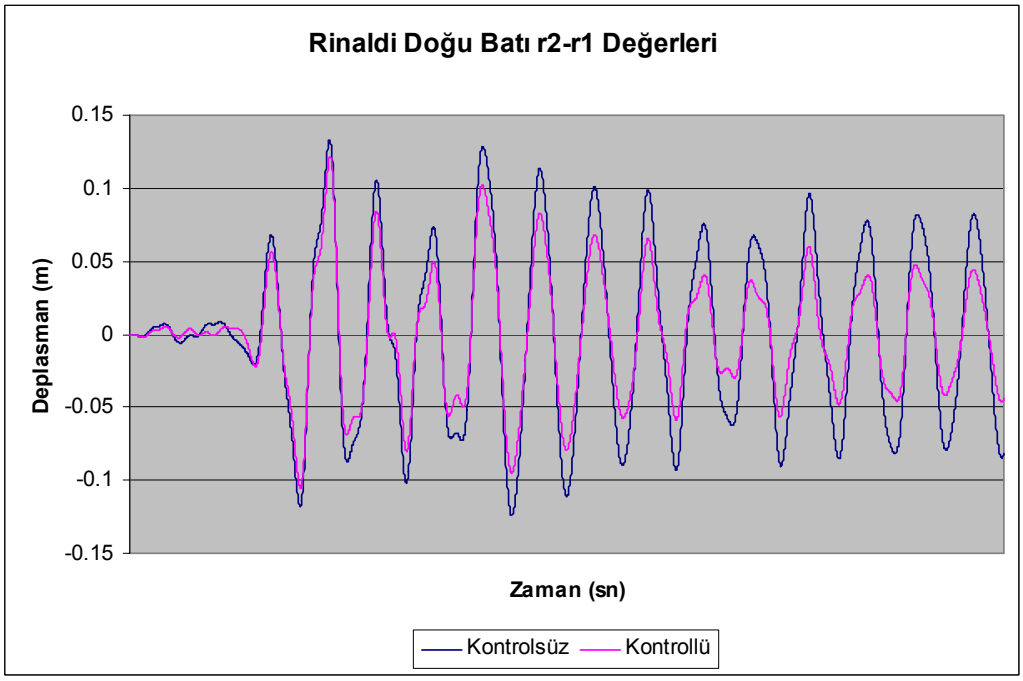
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



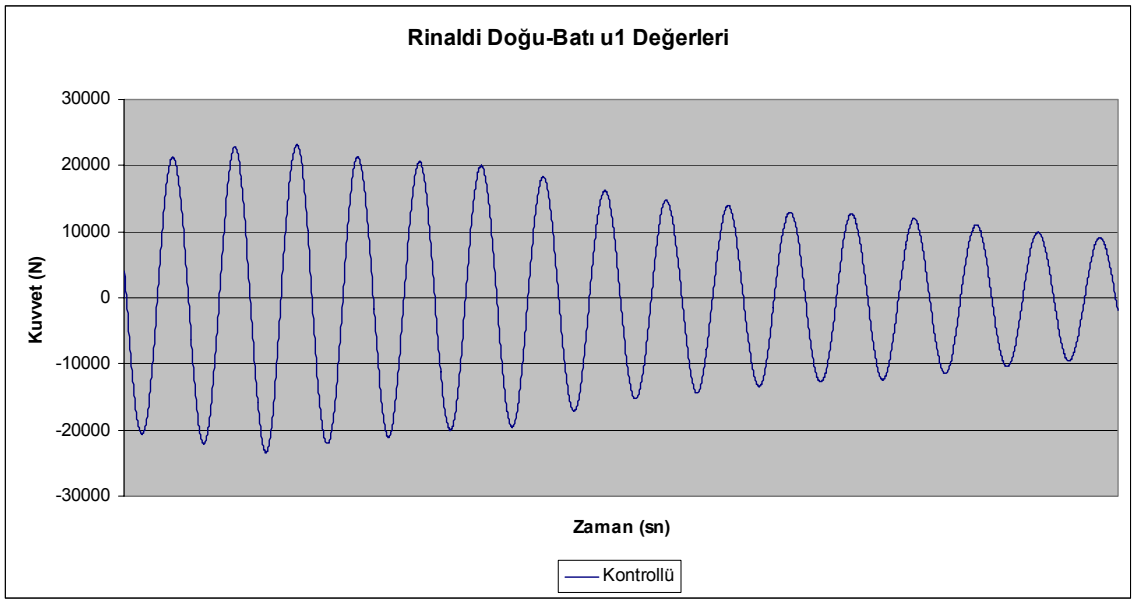
Şekil 7.7 Northridghe Depremi (Rinaldi Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği



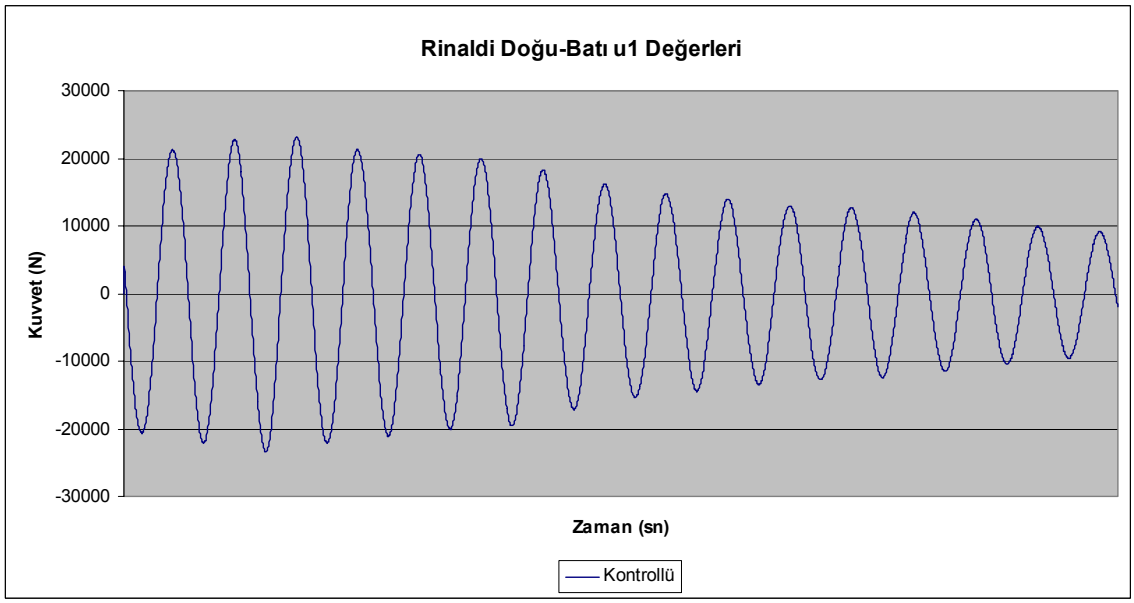
Şekil 7.8. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.9. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.10. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.11 İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.3 Northridge Depremi, Sylmar Kuzey-Güney Kayıtları

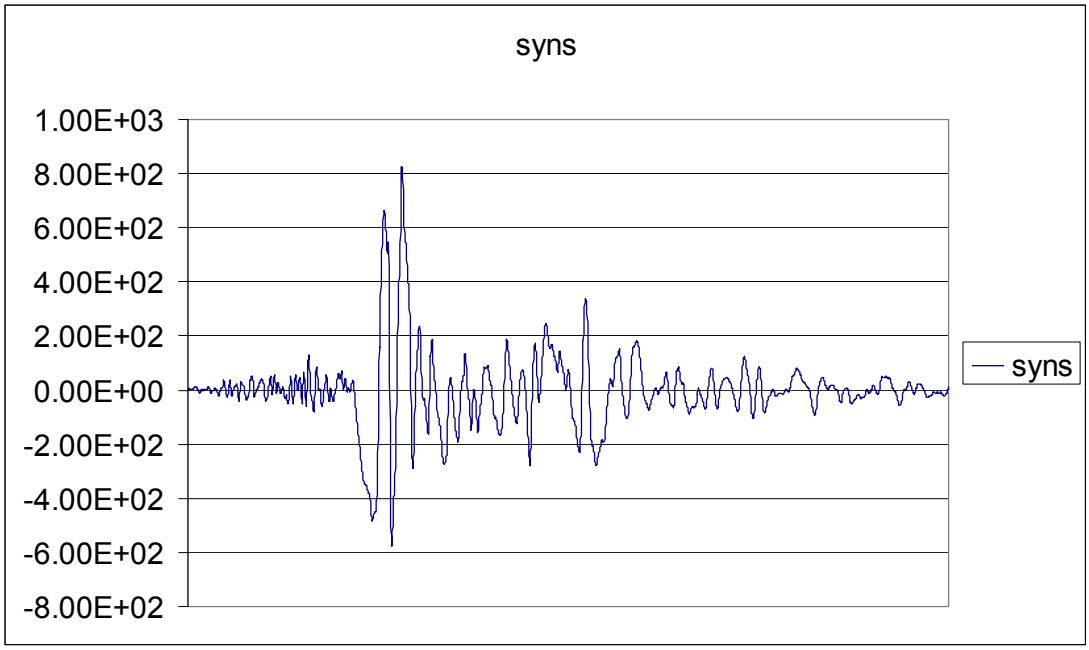
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1648 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1347 metre

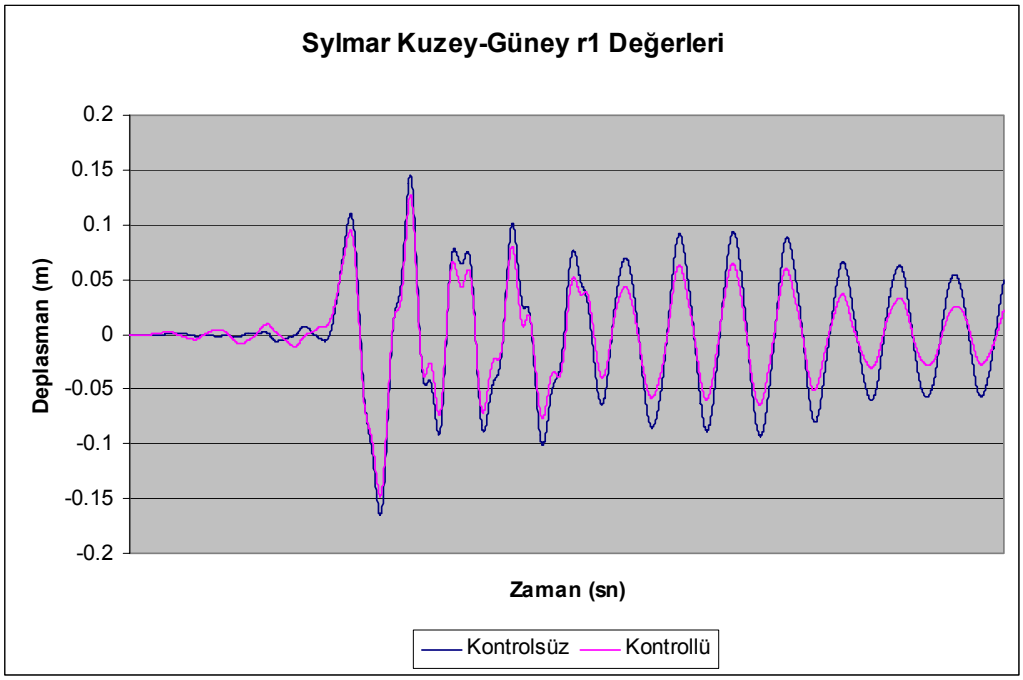
Kontrollü maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1291metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1011metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 1.64 e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 1.56 e+004 Newton

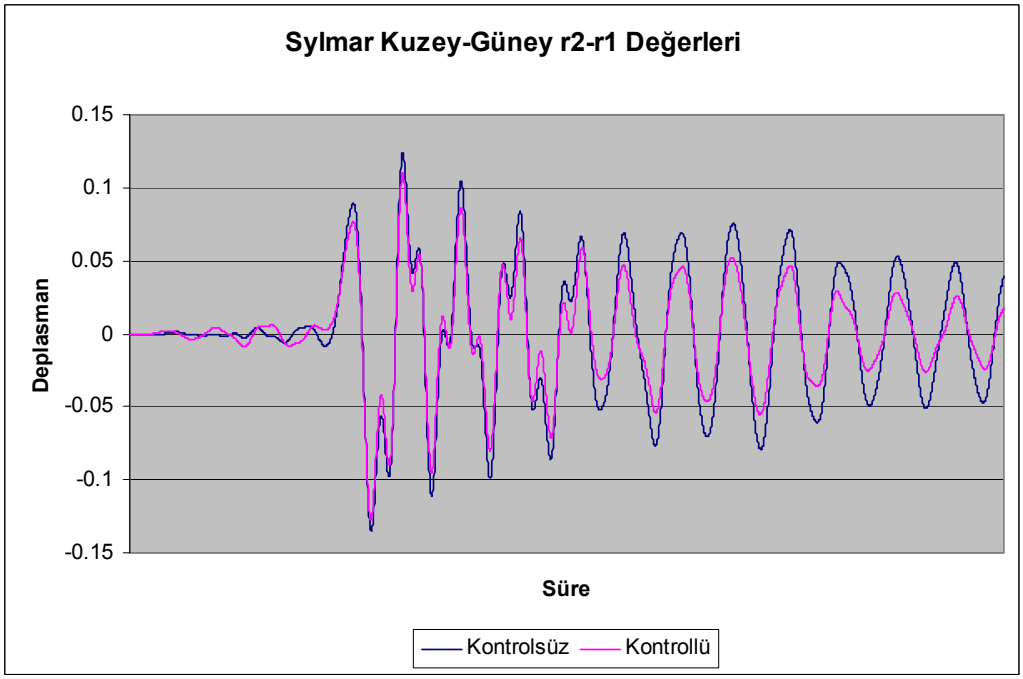
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



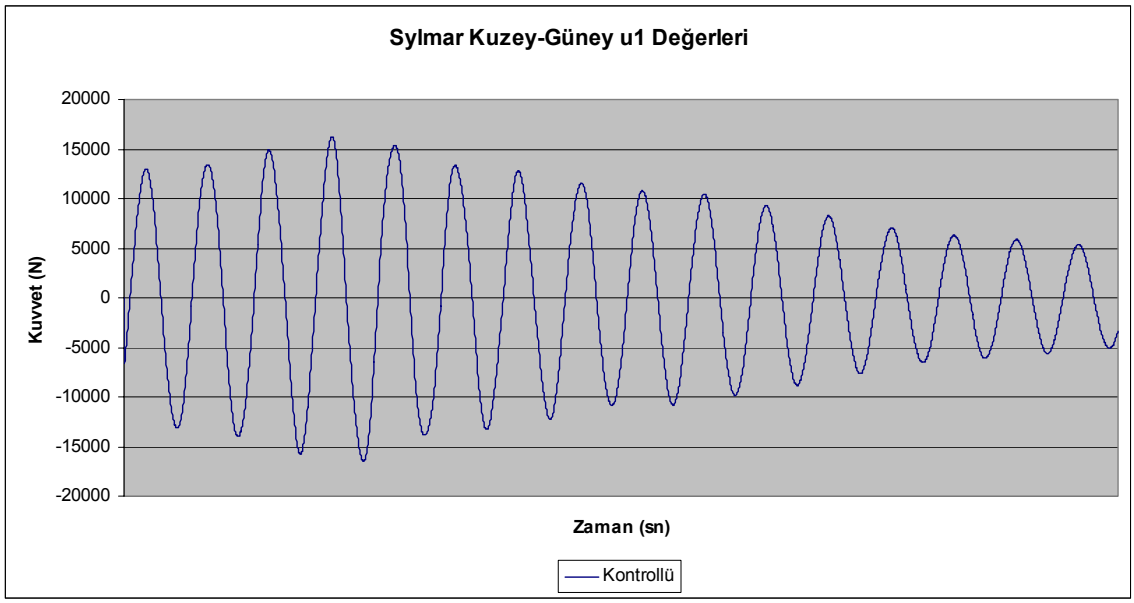
Şekil 7.12 Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney İvme / Zaman Grafiği



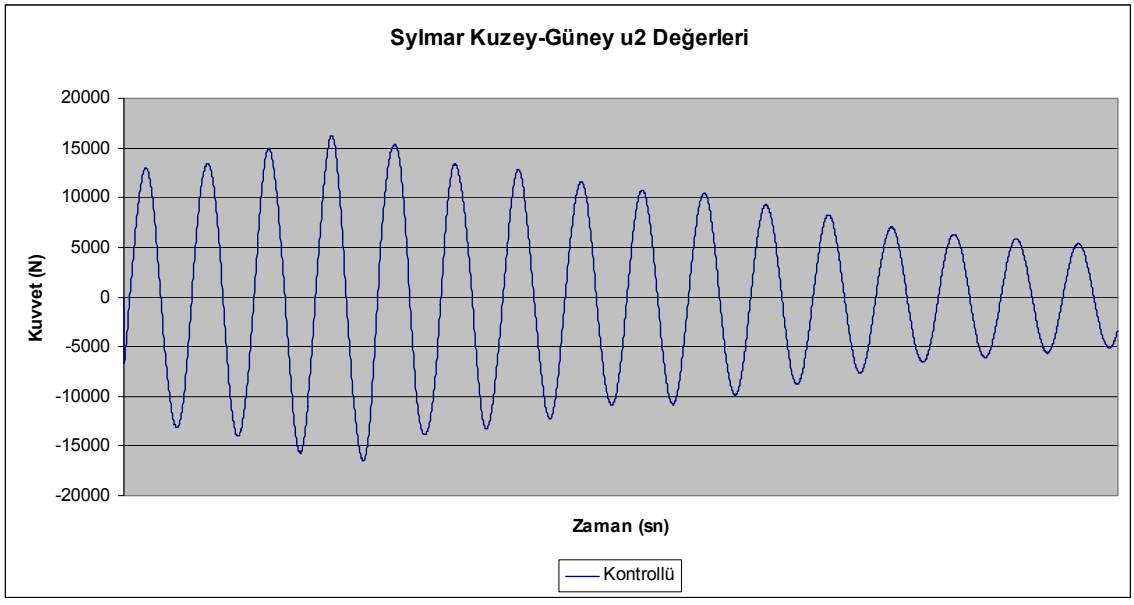
Şekil 7.13. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.14. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.15. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.16 İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.4 Northridge Depremi, Sylmar Doğu-Batı Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1713 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1412 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

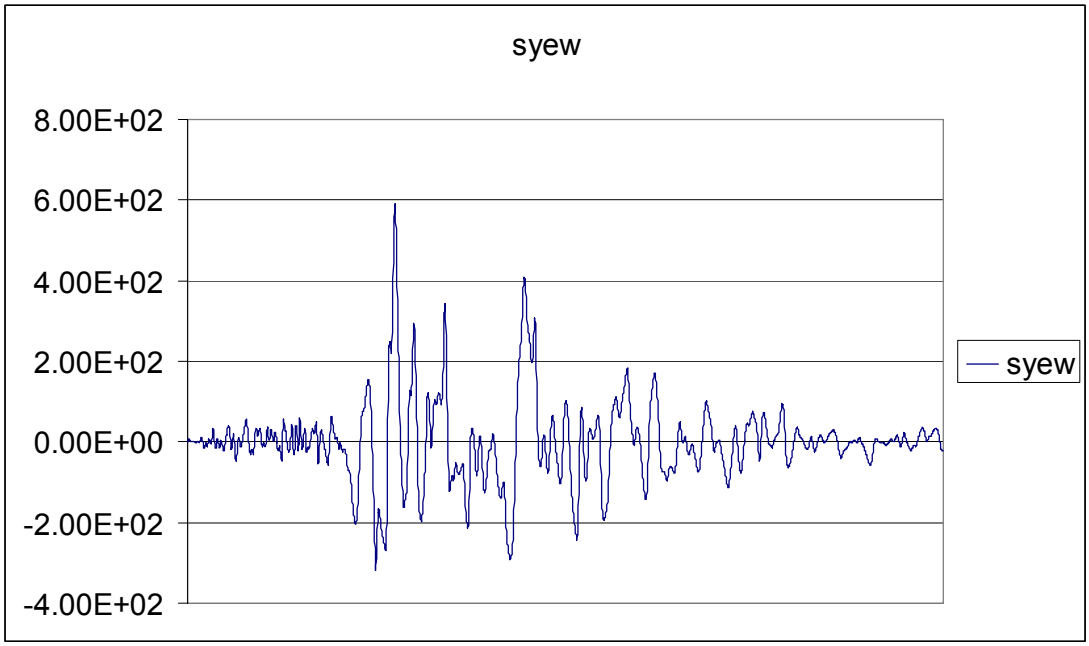
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1291 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1082 metre

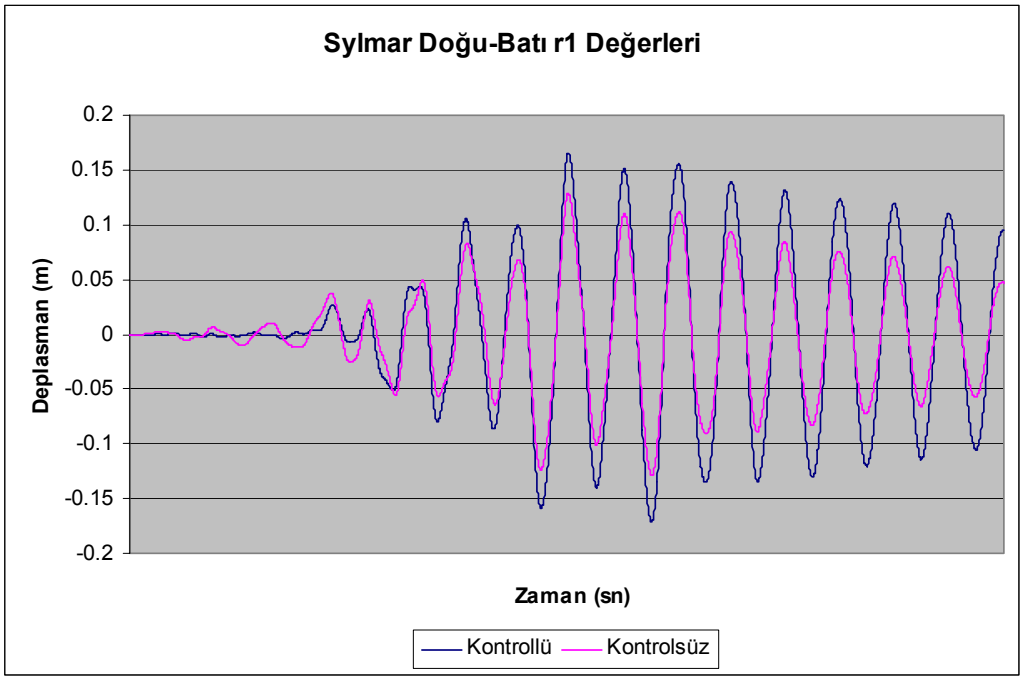
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 2.33 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 2.24 e+004 Newton

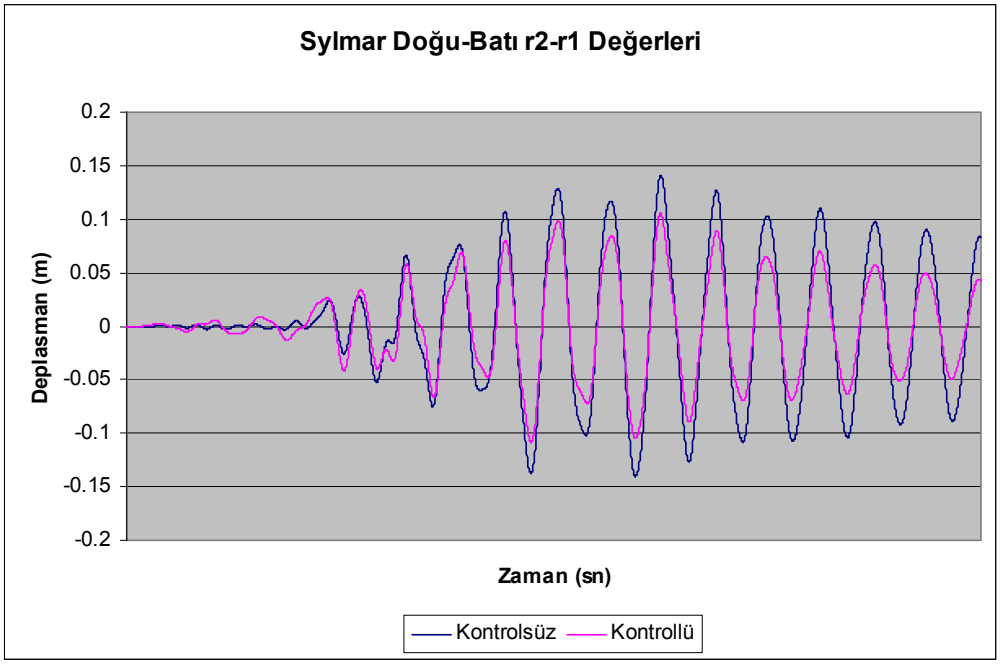
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



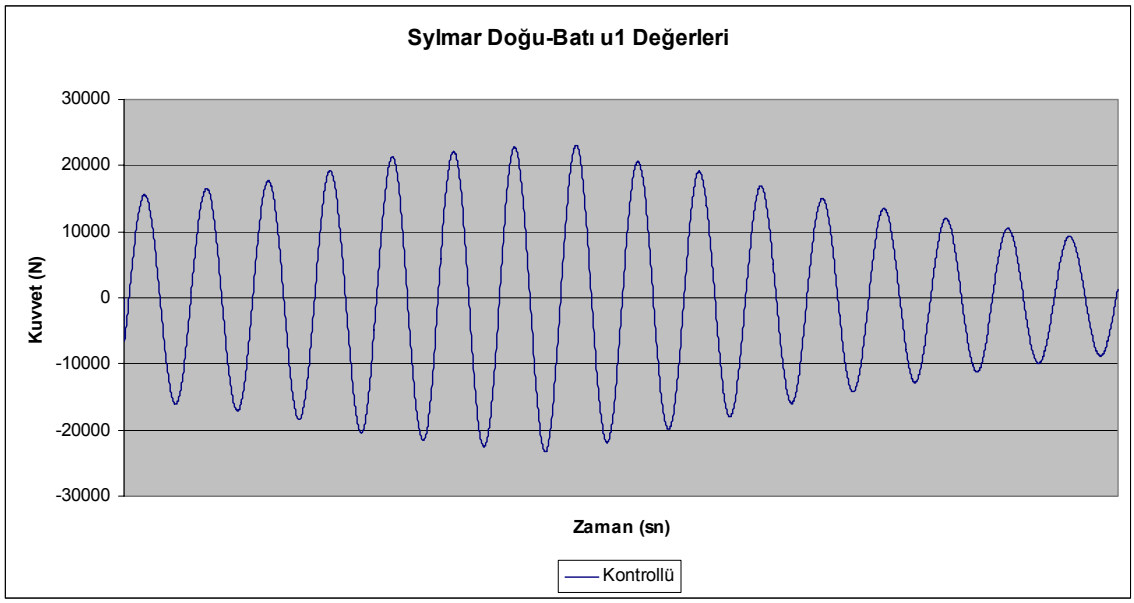
Şekil 7.17 Northridghe Depremi (Sylmar Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği



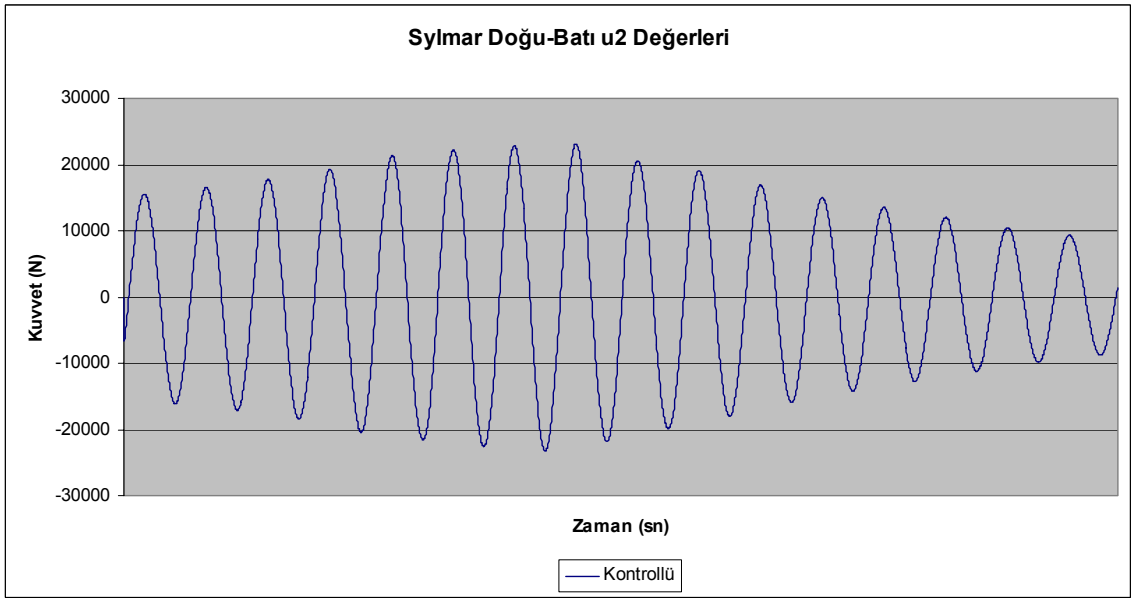
Şekil 7.18. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.19. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.20. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.21. İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.5 Kobe Depremi, Kuzey-Güney Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.3606 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.3245 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

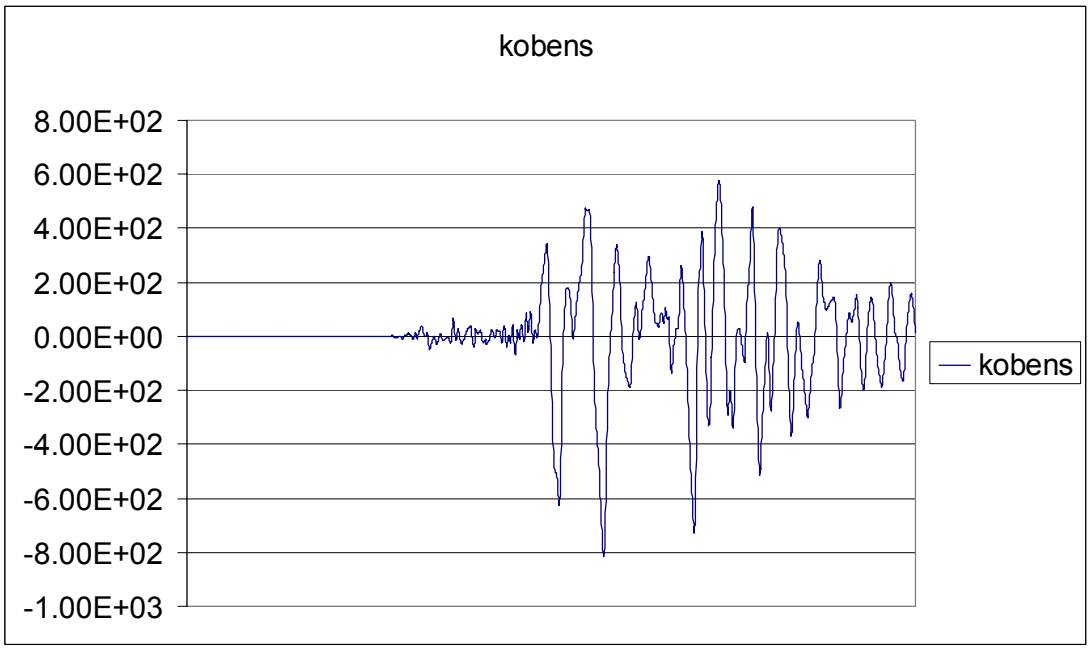
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2921 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.2646 metre

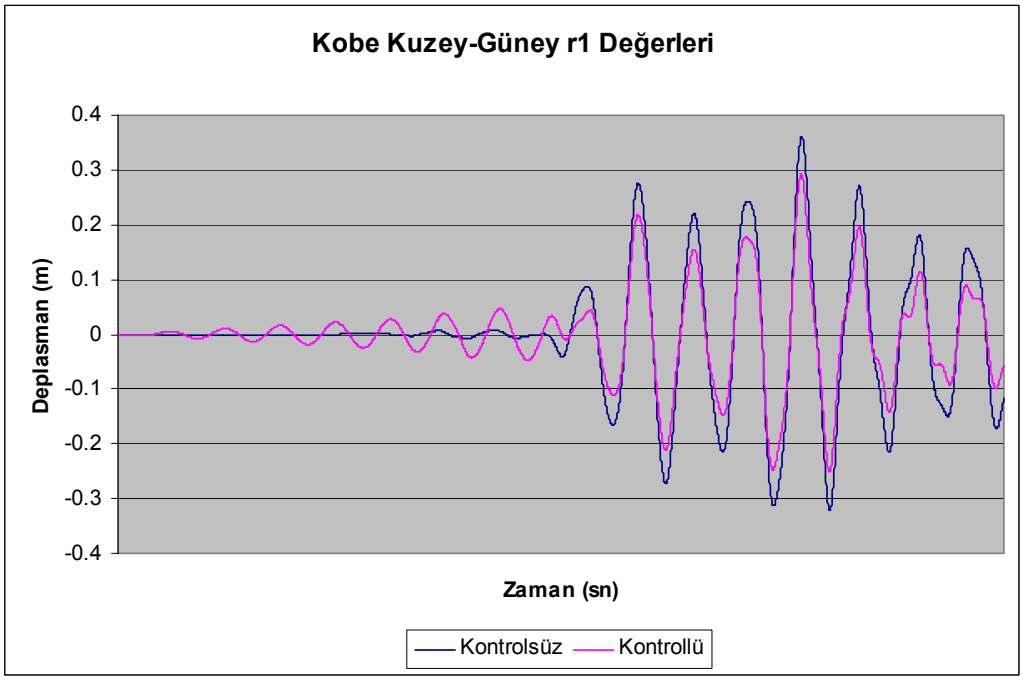
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 3.72 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 3.64 e+004 Newton

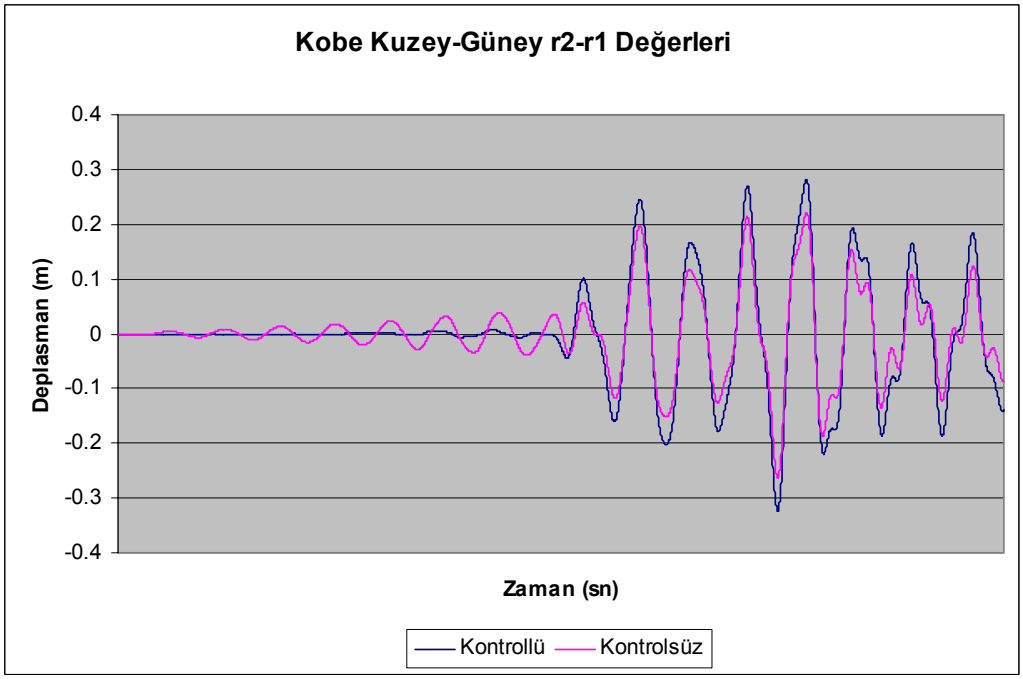
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



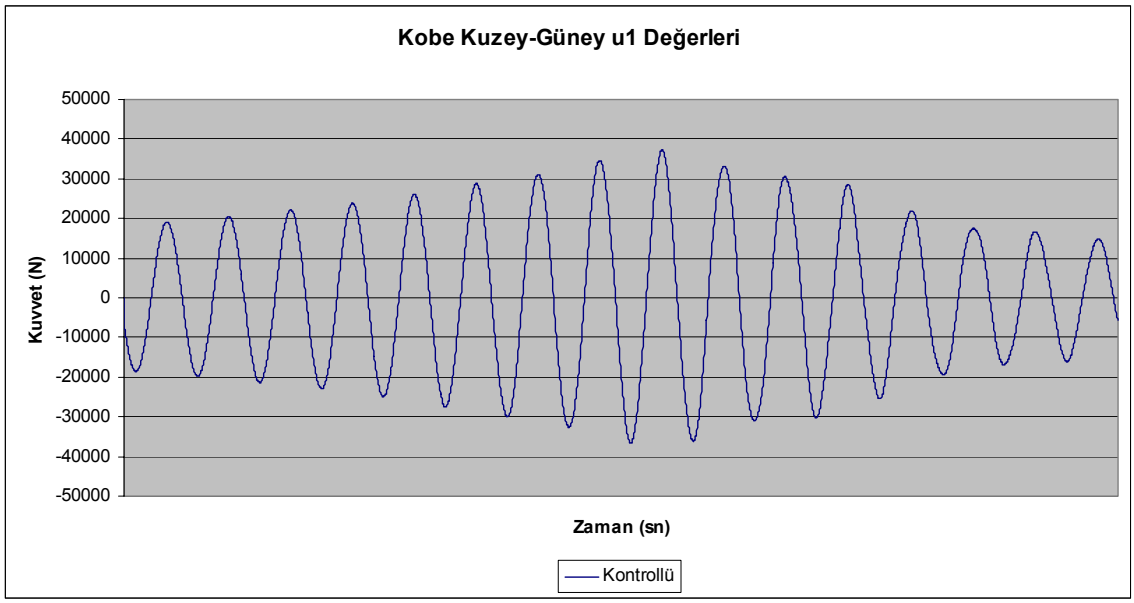
Şekil 7.22 Kobe Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği



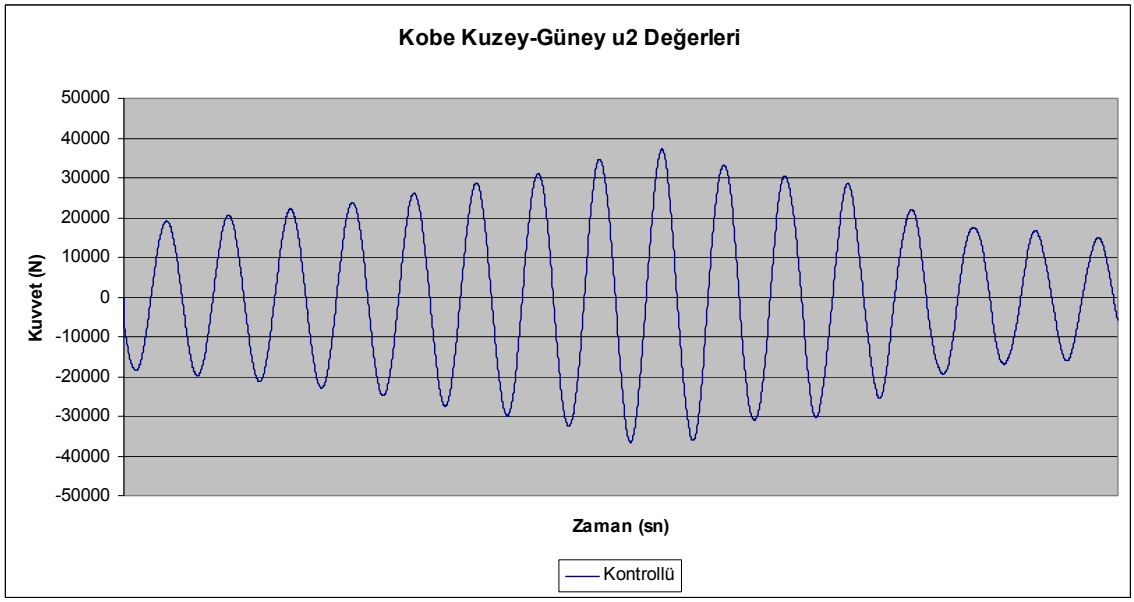
Şekil 7.23. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.24. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.25. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.26 İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.6 Kobe Depremi, Doğu-Batı Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2923 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.2556 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

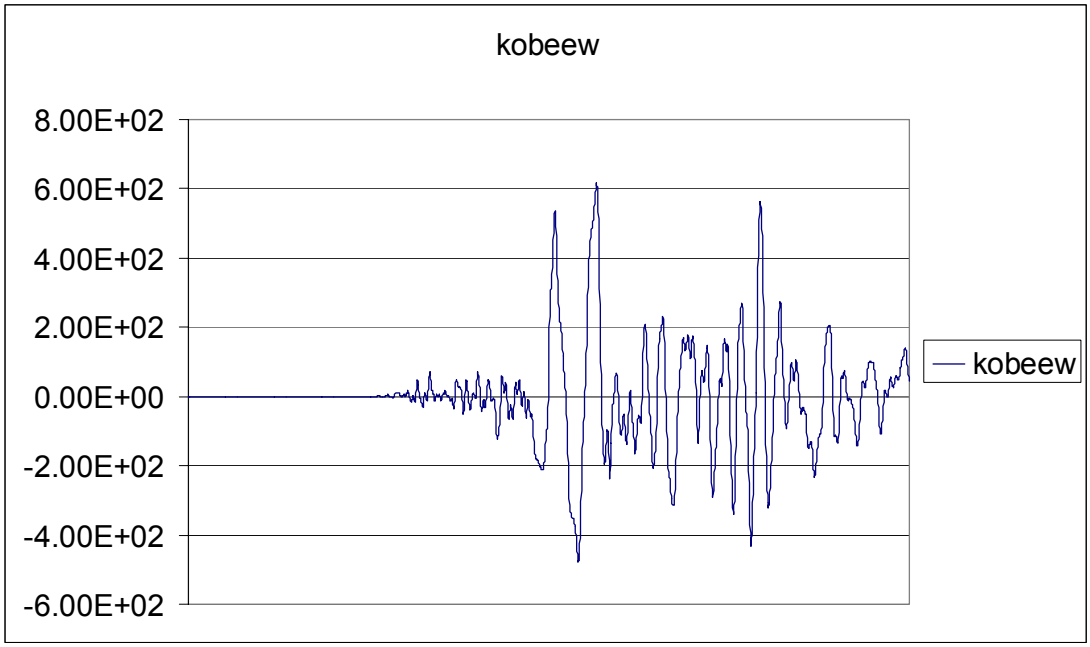
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2066 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1770 metre

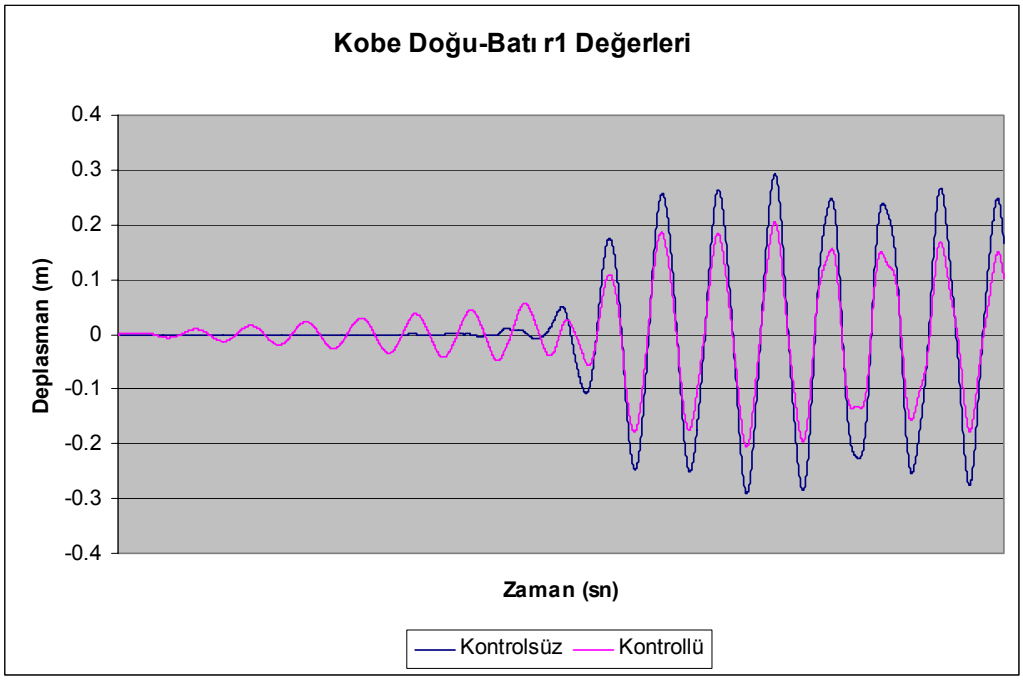
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 4.36 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 4.30 e+004 Newton

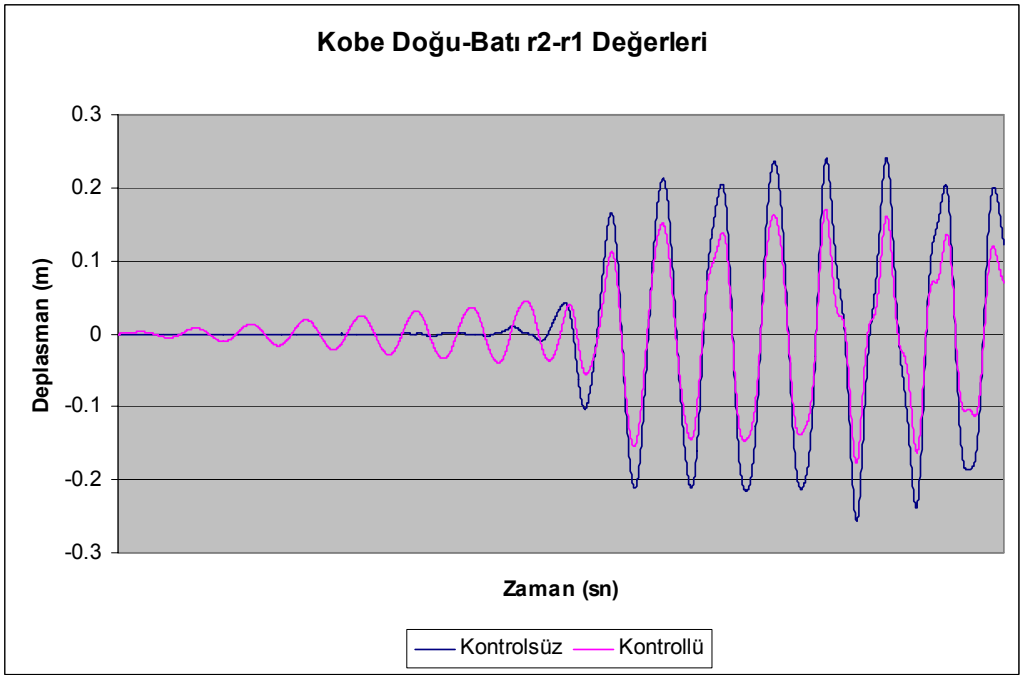
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



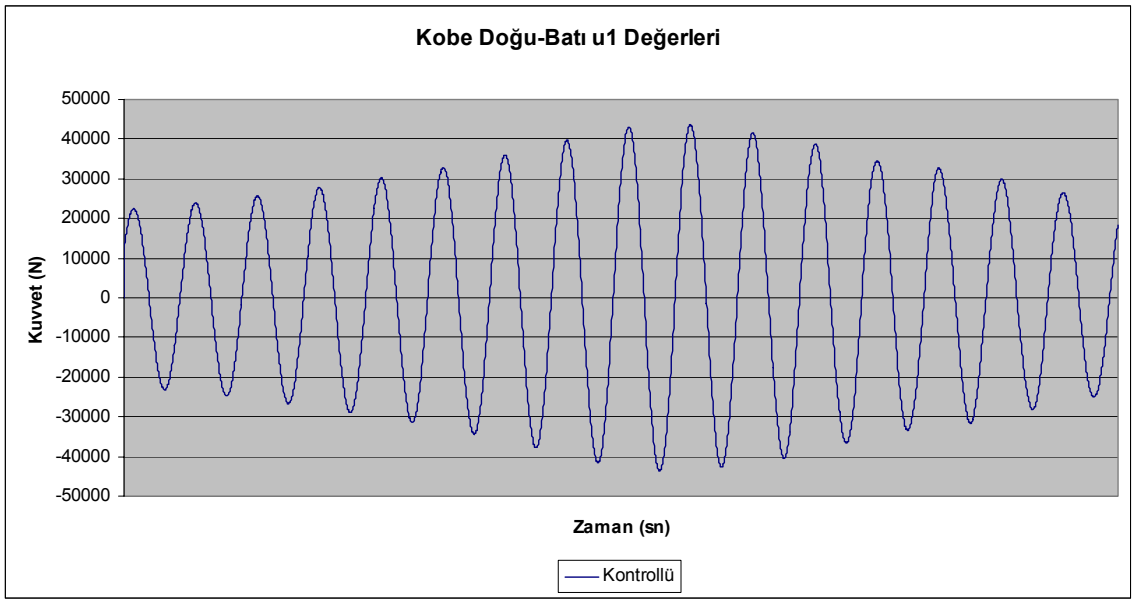
Şekil 7.27 Kobe Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği



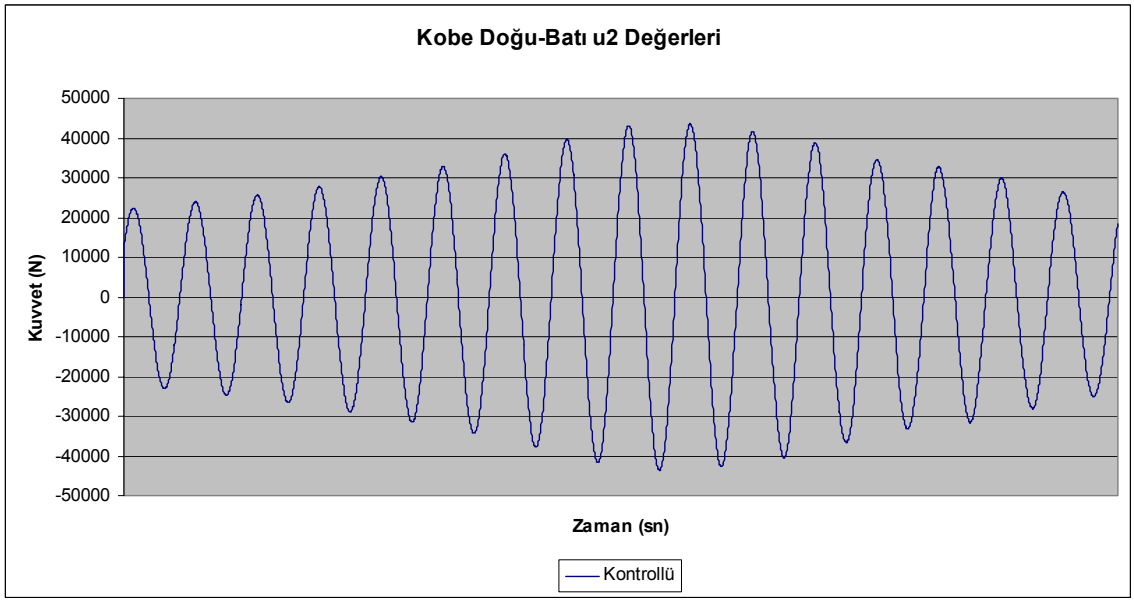
Şekil 7.28. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.29. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.30. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.31. İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.7 El Centro Depremi, Kuzey-Güney Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1128 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.1055 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

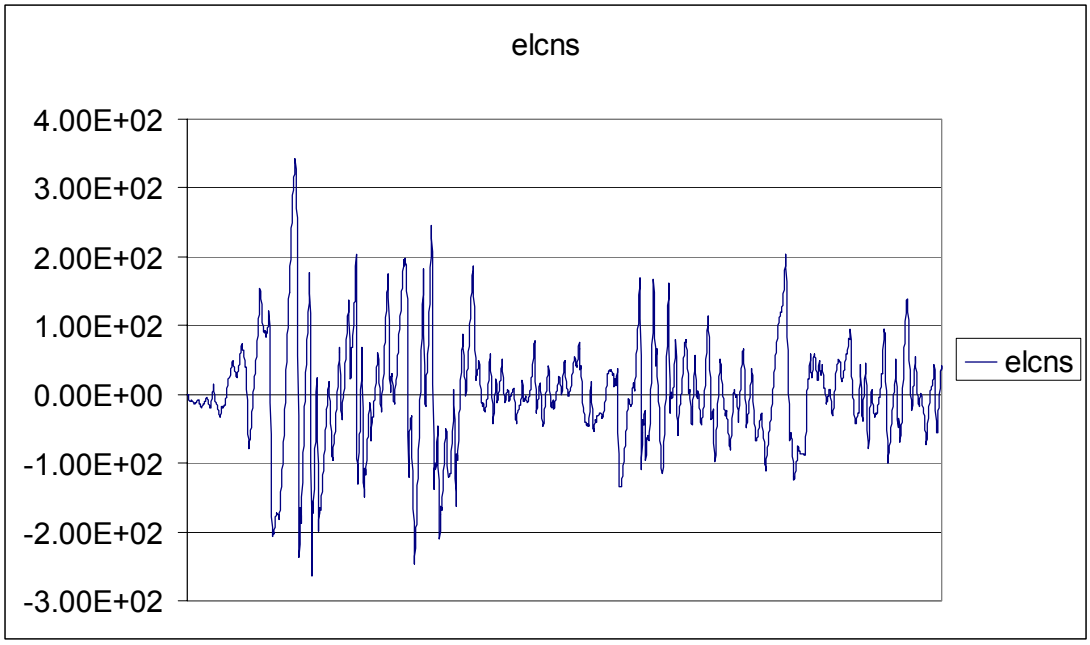
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.0946 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0896 metre

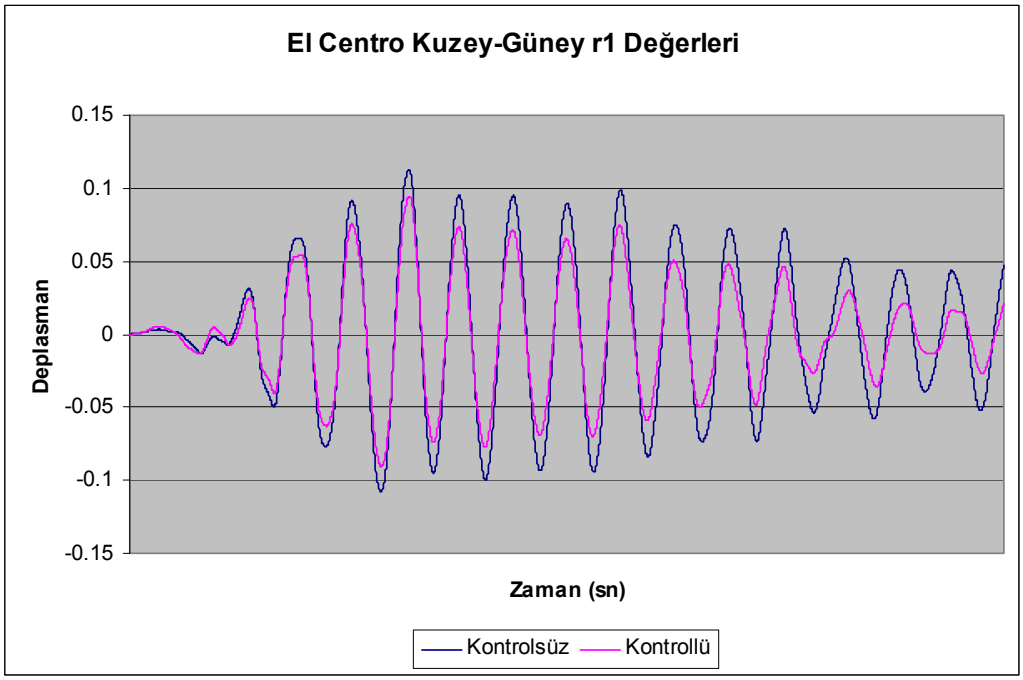
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 1.65 e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 1.48 e+004 Newton

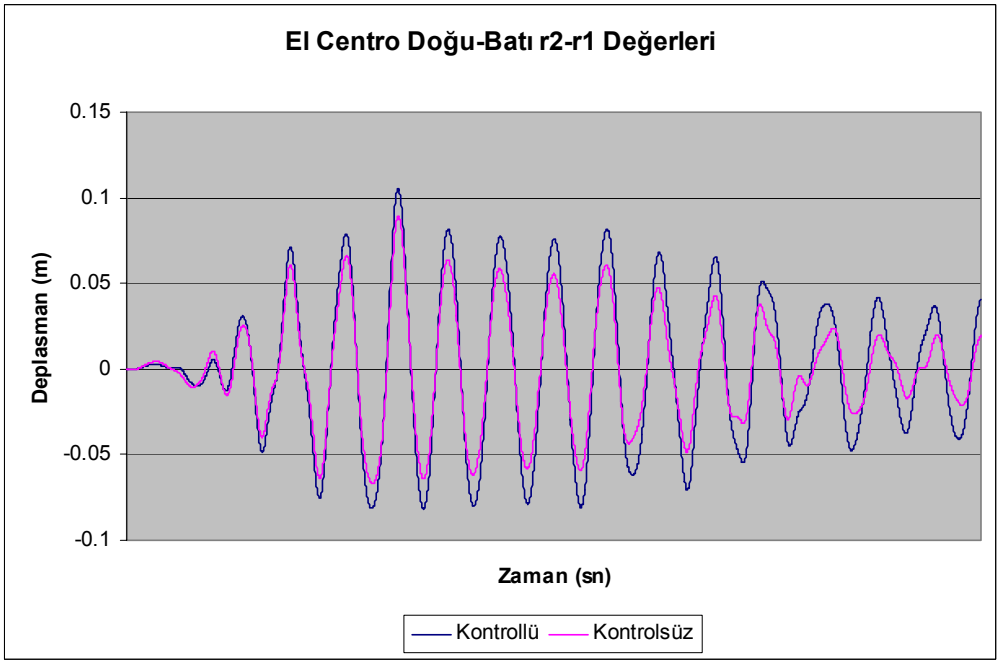
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



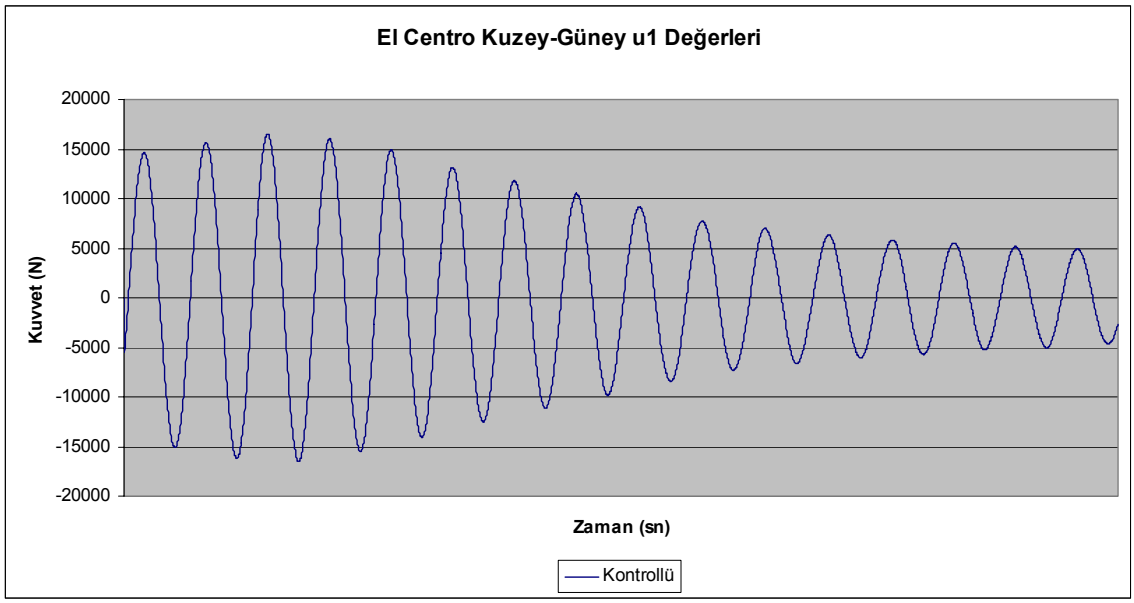
Şekil 7.32 EL Centro Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği



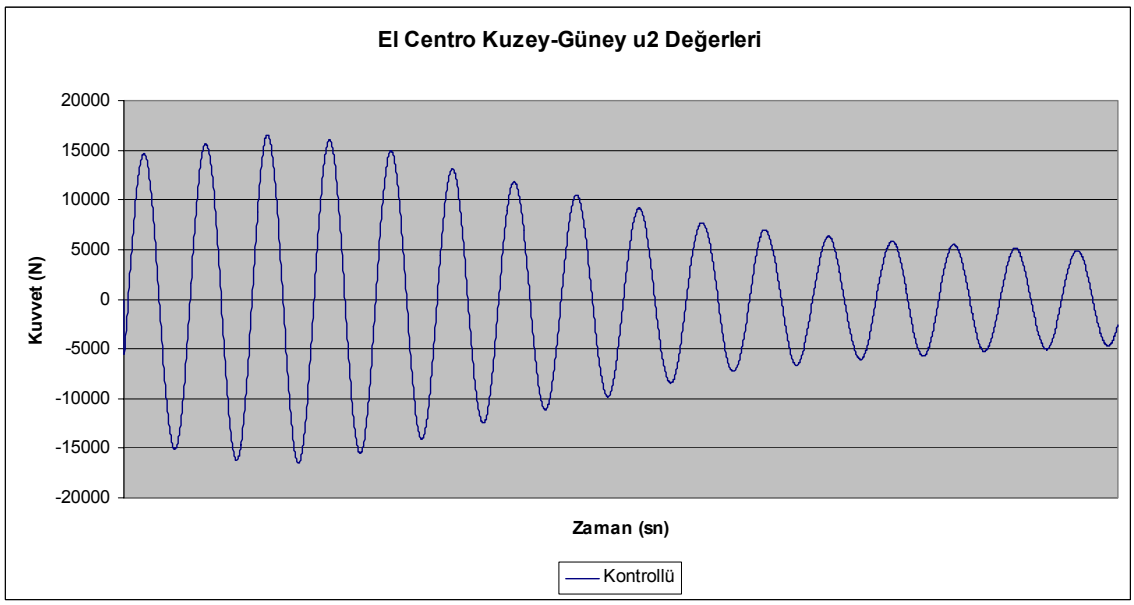
Şekil 7.33. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.34. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.35. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.36 İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

7.3.8 El Centro Depremi, Doğu-Batı Kayıtları

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.0585 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0518 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

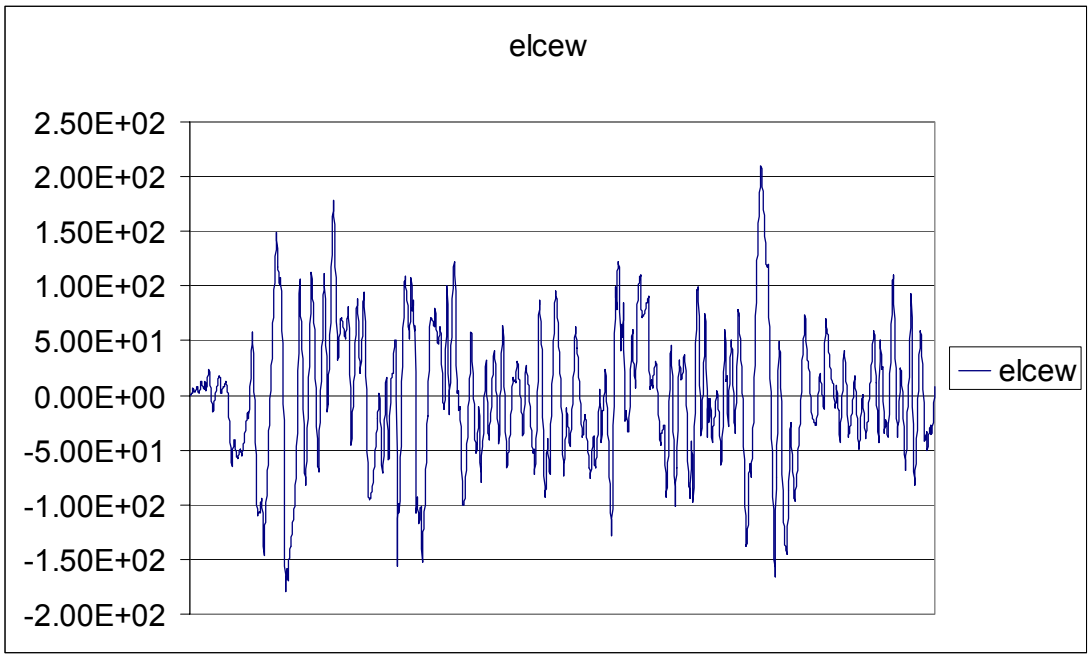
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.0417 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0390 metre

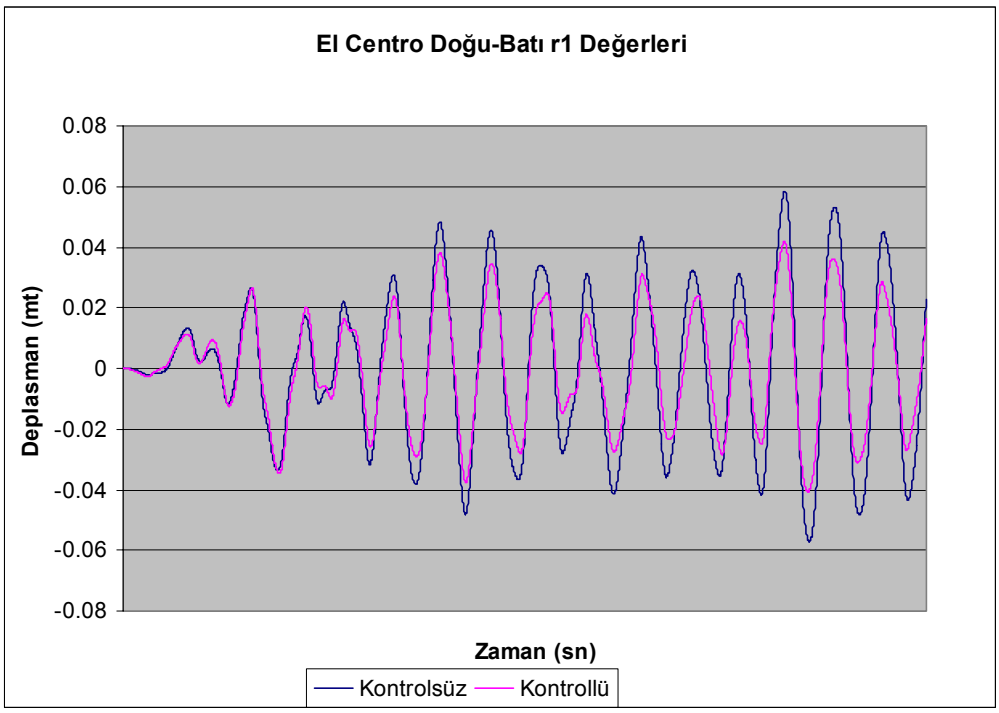
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 7.58 e+003 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 7.51 e+003 Newton

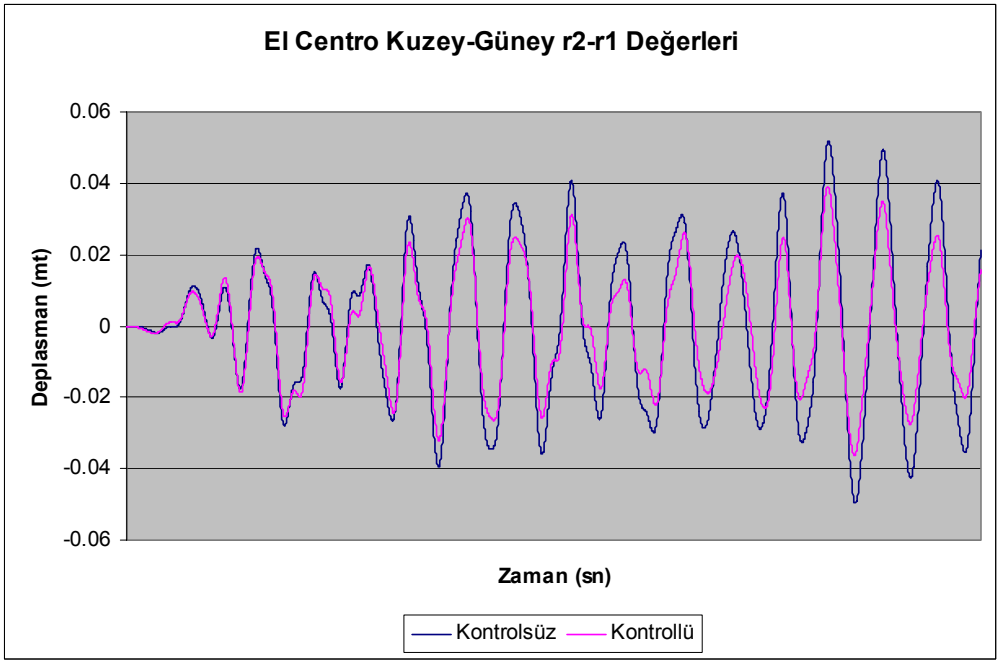
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



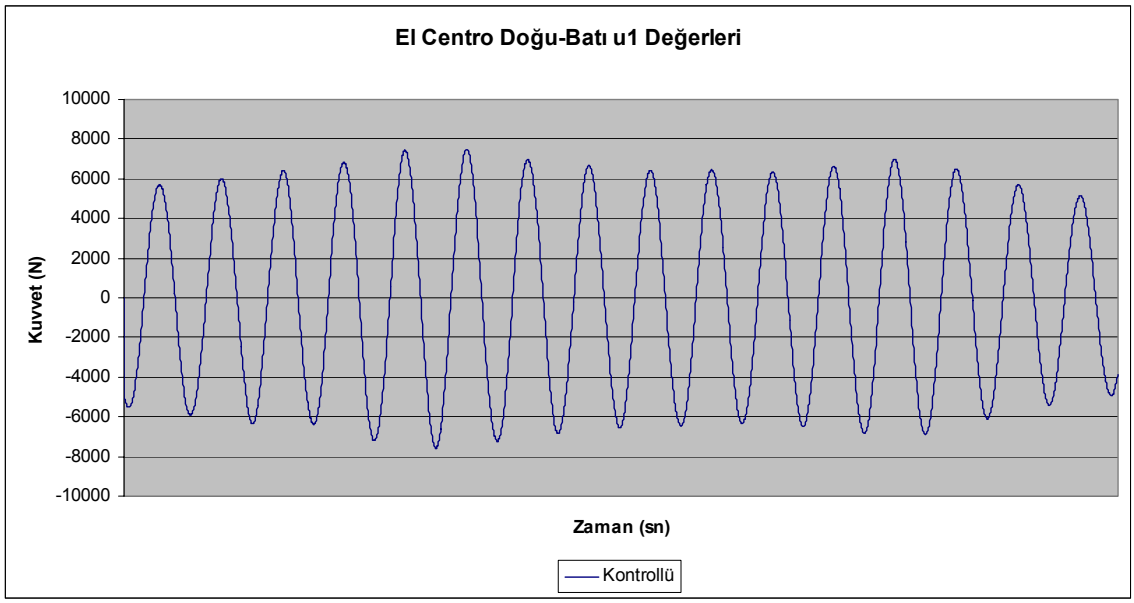
Şekil 7.37 El Centro Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği



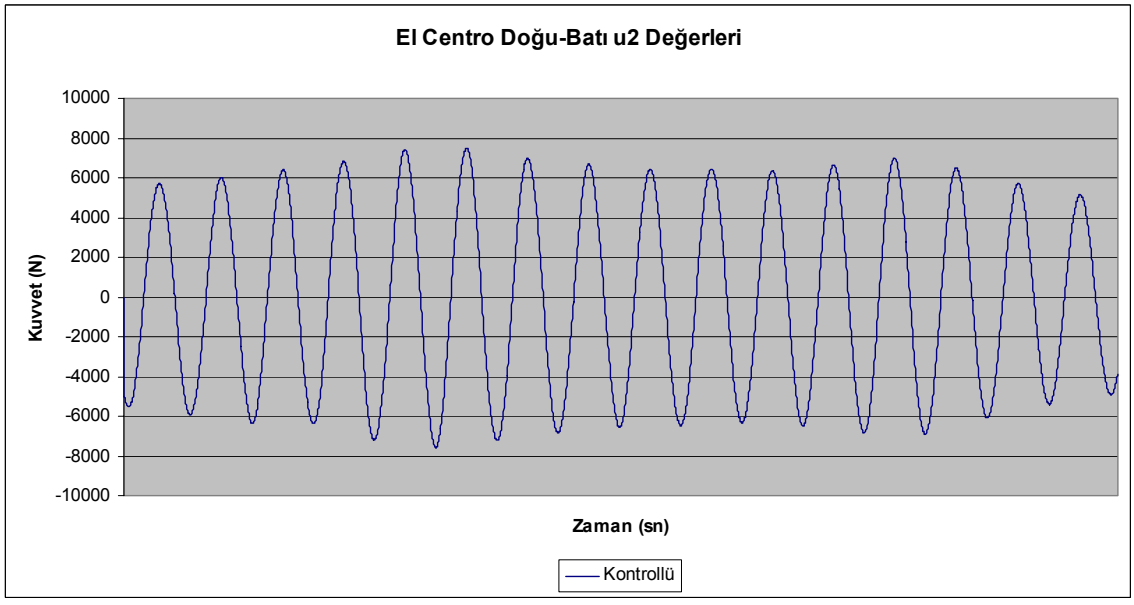
Şekil 7.38. Birinci Kat Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.39. İkinci Kat Rölatif Deplasmanlarının Zamanla Değişimi



Şekil 7.40. Birinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.41 İkinci Kat Kontrol Kuvvetinin Zamanla Değişimi

8. SONUÇLAR

2 katlı kayma çerçevesine 4 farklı depremin, her iki doğrultusu için çözüm yapılmıştır. Yapılan çözümleme sonunda, kontrol mekanizması uygulanmış ve uygulanmamış sistemin rölatif kat deplasmanları ve uygulanan kontrol kuvvetleri tablo halinde Tablo 7.1'de verilmiştir.

Katların rölatif yerdeğiştirmeleri alt katta daha fazladır. Ancak toplam yerdeğiştirme üst katta daha fazladır.

Kontrollü ve kontrolsüz durumlar için yapılan analizde her deprem için farklı değerlerde çözüme ulaşıldı. Kontrol yok iken katlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri, kontrol uygulandığında daha düşük değerlere ulaşmıştır. El Centro Depremi doğu-batı kayıtlarında deplasmanlar %30 civarında düşüş gösterirken, Kobe Depremi doğu-batı kayıtlarında bu oran %40 civarındadır. Bu farkları sağlayan kuvvetler aynı zamanda optimal değerlere yakındırlar.

KAYNAKLAR

[1] **Aldemir, U.,** 1999. Yapıların Optimal Kontrolü, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] **Hüsem, M. Ve Yozgat, E.,** 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilinen Yapı Kontrol Sistemleri, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi,* 20, 121

[3] **Dorato P.,Abdallah C.,** 1995. Linear-Quadratic Control / An Introduction

Department of Electrical and Computer Engineering University of New Mexico

[4] **H.H.E. Leipholz , M.Abdel-Rohman,** 1986 Control Of Structures

Martinus Nijhoff Publishers

[5] **Aldemir, Ü., Aydın, E.,** 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 435/1, İstanbul

[6] **Celep Z.,Kumbasar N.,** 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 435/1, İstanbul

[7] **Aydın, H., Ercan, E.,** 2004. Yapısal Kontrol Sistemleri, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, Yıl:19, Sayı:118, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Ozan Murat Oğuzhan, 1982 yılında Ankara'da doğmuştur. İlköğretimini Ankara Bahçelievler İlkokulu'nda tamamlamış, orta öğrenimini Ankara Bahçelievler Deneme Lisesi'nde yapmıştır. 1999 yılında Ankara Çankaya Kılıçarslan Süper Lisesi'nden mezun olmuştur. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış, 2005 yılında aynı okuldan İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği – Yapı Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2006 – 2007 yılları arasında MDS Mühendislik 'de proje mühendisliği yapmıştır. Halen Probi İnşaat Bilgi İşlem A.Ş.'de proje mühendisi olarak görev almaktadır.