İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER İZLEME PROBLEMİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mehmet SOYDEMİR

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER İZLEME PROBLEMİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mehmet SOYDEMİR
(501051079)

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

Tez çalışmamın her safhasında ilgi ve güler yüzünü esirgemeyen,bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ünal ALDEMİR'e, bu günlere gelmemde maddi manevi her zaman desteklerini esirgemeyen aileme, kaynakların araştırılması ve tez yazılımı konusunda bana yardımcı olan değerli arkadaşım Sedat ALEMDAĞ'a, iyi bir örnek oluşturduğu ve tecrübeleriyle beni yönlendirdiği için Y.İnş.Müh.Andaç KARACAN'a ve diğer arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2008 Mehmet SOYDEMİR

İÇİNDEKİLER

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

1.GİRİŞ **1**

2. KONTROL YÖNTEMLERİ **6**
2.1 PASİF KONTROL SİSTEMLERİ 7
2.2 AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ 7

3. AKTİF KONTROL **14**
3.1 LİNEER REGÜLATÖR PROBLEMİ 15

4. OPTİMAL KONTROL METHODLARI İLE AKTİF YAPISAL KONTROL **17**
4.1.OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ 17
4.2.OPTİMAL KONTROL PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ 20
4.2.1 Kapalı Çevrim Kontrolü 23
4.2.2 Açık Çevrim Kontrolü 23
4.2.3 Kapalı - Açık Çevrim Kontrolü 24
4.3.ÖZELLEŞTİRİLMİŞ OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ 25
4.3.1 Özelleştirilmiş Sistemin MATLAB programı ile çözülmesi 26
4.3.2 MATLAB datası 26
4.3.2.1 Yapı bilgileri ve denklemler 26
4.3.2.2 Matlab Stspc Dosyası 29
4.3.2.3 MATLAB myrk4 (Runge-Kutta) Dosyası 29
4.4 IV. MERTEBEDEN RUNGE-KUTTA YÖNTEMİ 30

5. DEPLASMAN VE KUVVET GRAFİKLERİ VE MAKSİMUM DEĞERLER 31

5.1 Northridghe Depremi Rinaldi Kuzey-Güney Kayıtlarına Ait Grafikler 31

5.2 Northridghe Depremi Rinaldi Doğu-Batı Kayıtlarına Ait Grafikler 34

5.3 El Centro Depremi Kuzey - Güney Kayıtlarına Ait Grafikler 37

5.4 El Centro Depremi Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler 40

5.5 Kobe Depremi Kuzey - Güney Kayıtlarına Ait Grafikler 43

5.6 Kobe Depremi Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler 46

5.7 Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney Kayıtlarına Ait Grafikler 49

5.8 Northridghe Depremi Sylmar Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler 52

5.9 Depremlerin Karşılaştırılması 55

6.SONUÇLAR 56

KAYNAKLAR 57

ÖZGEÇMİŞ 58

KISALTMALAR

TMD : Ayarlı Kütleli Sönümleyiciler
AMD : Aktif Kütle Sönümleyicileri
AVS : Aktif Rijitlik Değiştirebilen Sönümleyiciler
LQR : Doğrusal Kuadratik Regülatör
RİNS : Northridge depremi Rinaldi Kuzey – Güney Kaydı
RİEW : 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.5
Tablo 5.1 Maksimum deplasman ve kontrol kuvvetlerinin karşılaştırılması 56

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	**:** Sismik Yalıtılmış Yapı	5
Şekil 1.2	**:** Normal Yapı	5
Şekil 2.1	**:** Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı	8
Şekil 2.2	**:** AVS sistemi ve şematik gösterimi	10
Şekil 2.3	**:** Aktif kütle sönümleyici sistemin şematik şekli	11
Şekil 2.4	**:** Aktif kütle sönümleyici sistem uygulaması	12
Şekil 2.5	**:** Aktif Kütle Sönümleyicilerin yerleştirildiği Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo, Japonya)	13
Şekil 2.6	**:** En üst katta AMD bulunan Applause Kulesi, Japonya	13
Şekil 4.1	**:** İdealize edilmiş 2 katlı bir yapı	25
Şekil 5.1~5.40	**:** 8 farklı deprem etkisindeki yapının deplasman ve kontrol kuvveti grafikleri	31~56

SEMBOL LİSTESİ

x(t)	: Durum vektörü
u(t)	: Kontrol vektörü
M,Q	: Gerçek simetrik pozitif yarı belirli matris
R	: Gerçek simetrik pozitif belirli matris
λ	: Lagrange çarpan vektörü
d(t)	: Sisteme etkiyen kuvveti gösteren vektör
Y(t)	: Ölçülebilen değişkenler vektörü
α	: İstenilen durum tepkisi sabiti
$\beta(t)$	: İstenilen geçici tepki sabiti
J	: Kuadratik performans indexi
H	: Hamiltonian
P	: Riccati matrisi
q(t)	: İstenilen tepkiler vektörü
$\mathbf{U_{ext}}$	: Dış kuvvet
G(t)	: Kontrol kazanç matrisi
M	: Kütle matrisi
K	: Rijitlik matrisi
X	: Sönüm matrisi

LİNEER İZLEME PROBLEMİNİN DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında kontrol sistemlerinin neler olduğu ortaya koyulmuş ve aktif kontrol sistemleri dizayn yöntemlerinden lineer izleme yöntemi problemi bir takım özel haller kabuluyle açıklanmıştır.Açıklanan bu problemin uygulaması toplu kütleli sistem olarak optimize edilmiş 2 katlı bir yapının daha önceden kayıt altına alınmış 8 farklı depremin etkisi altında bırakılarak irdelenmesiyle sayısal veriler ve grafikler doğrultusunda açıklanmaya çalışılmıştır.Kontrolsüz ve kontrollü sistemler arasındaki fark araştırılmıştır ve kontrol kuvveti uygulanan aktif kontrollü bir sistemin kontrolsüz bir sisteme nazaran yapıyı daha kabul edilebilir sınırlar içinde tuttuğu görülmüştür.

Aktif kontrolün yapılara uygulanmasındaki en belirgin amaçlardan birisi,toplam yerdeğiştirme ve katlar arası yerdeğiştirmenin düşürülmesidir.Depremin karakteristiğine bağlı olarak uygulanacak kuvvetin optimal değerlerde seçilmeside daha az kuvvet ile yapıyı istenilen deplasman değerleri içinde veya olduğu yerde tutulabilmesi içinde önemlidir.

Aynı yapıya ugulanan farklı deprem kayıtları neticesinde yapının cevabının farklı olduğu gözlenmiş ve bu farklılıkların depremlerin karakteristik özelliklerinden ve çözüm yöntemlerinden kaynaklandığı ortaya koyulmuştur.Bu yöntemlerden Kapalı çevrim-kontrolünde kontrol kuvveti yalnızca durum vektörüne bağlı iken açık çevirimde yalnızca deprem ivmesine bağlıdır.Kapalı-açık çevirimde ise her iki durumda dikkate alındığından daha iyi ve gerçekçi kontrol kuvveti sonuçları beklemek şüphesizdir.

THE APPLICATION OF THE LINEER TRACKING PROBLEM TO THE STRUCTURES UNDER THE EFFECT OF EARTHQUAKE

SUMMARY

In this study,the control systems are explained and also one of the active control system design method ,lineer tracking problem method is investigated with some acceptance in modeling.The aplication of this problem is made under the effects of 8 different earthquake and explained with numerical values and graphics.The difference between controlled systems and uncontrolled systems are investigated and understanted that the systems which were applied a control force let the structure more stabil than the uncontrolled systems.

One of the aims of application a control force to a structure is to keep the displacement against the surface and the relative displacement between stores low.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.

The difference seismic inputs of the earthquakes that are applied to the same structure gave different outputs.This difference is the result of the characteristic of the earthquake and the difference of the control algorithm chosen.One of these algorithms,the closed-loop,is connected with the ground motion.On the other hand the open-loop control is connected only with the seismic input of the earthquakes.But it is certain to find more realistic and better control forces in closed-open loop control which takes into account both seismic inputs and the ground motion

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.

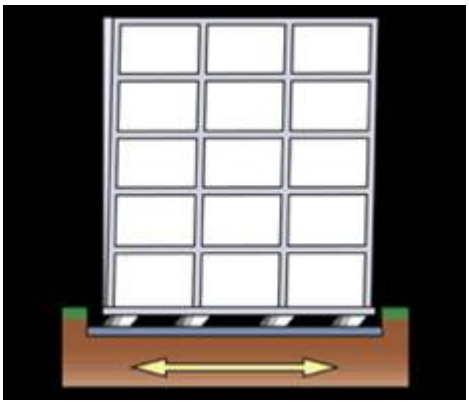
Genel olarak bir yapıya gelebilecek deprem etkilerini azaltmak için yapının hâkim periyodunu uzatmak ya da yapının sönümünü arttırarak göreli yer değiştirmelerini küçültmek gerekmektedir. Bu olaylar mühendisleri yapı tasarımında daha farklı bir sistemi tasarlamaya yönlendirmiştir. Özellikle acil durum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

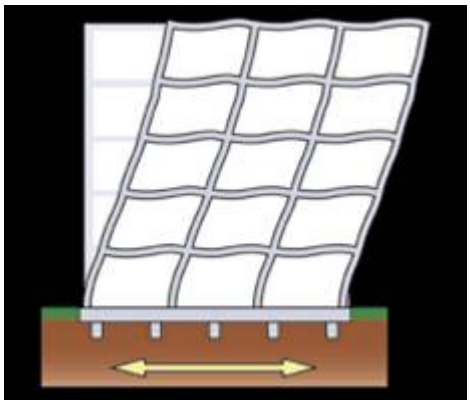
Bu çalışmaların ortak sonucu bu tür yeni sistemlerin, gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların iyileştirmesi ve güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği yönündedir.

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.

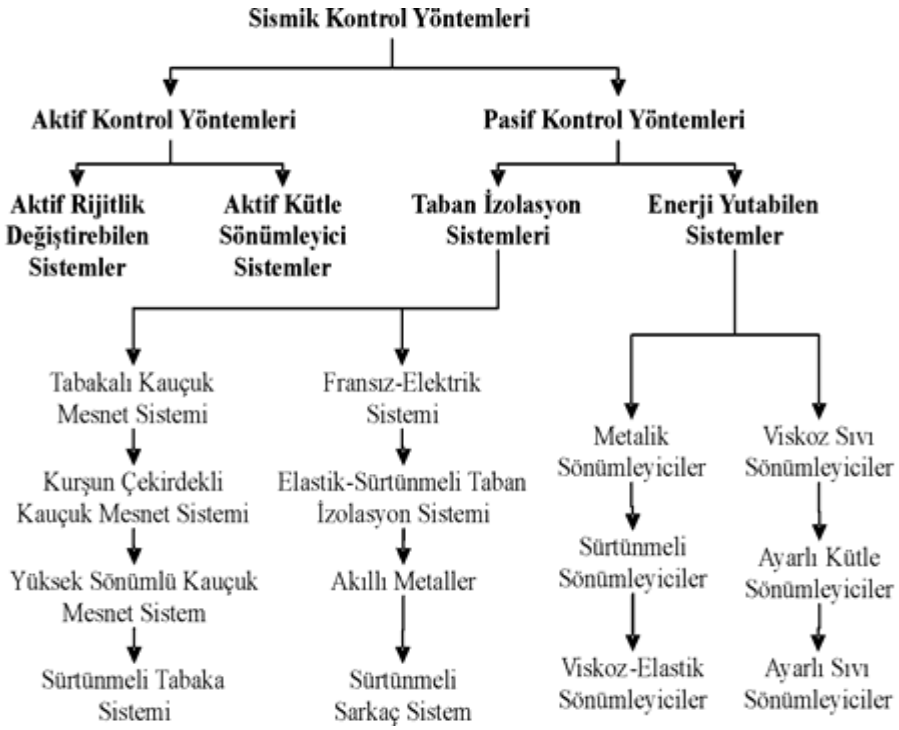
Gerçekten deprem mühendisliğinde bir çığır açan sismik yalıtım tekniğinde son onbeş yılda büyük gelişmeler sağlanmıştır. Doğal bir olgu olan depreme karşı yapıların korunmasında etkili bir çözüm olan sismik yalıtım teknolojisinin uygulanması rasyonel bir yaklaşım olacaktır.

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 PASİF KONTROL SİSTEMLERİ

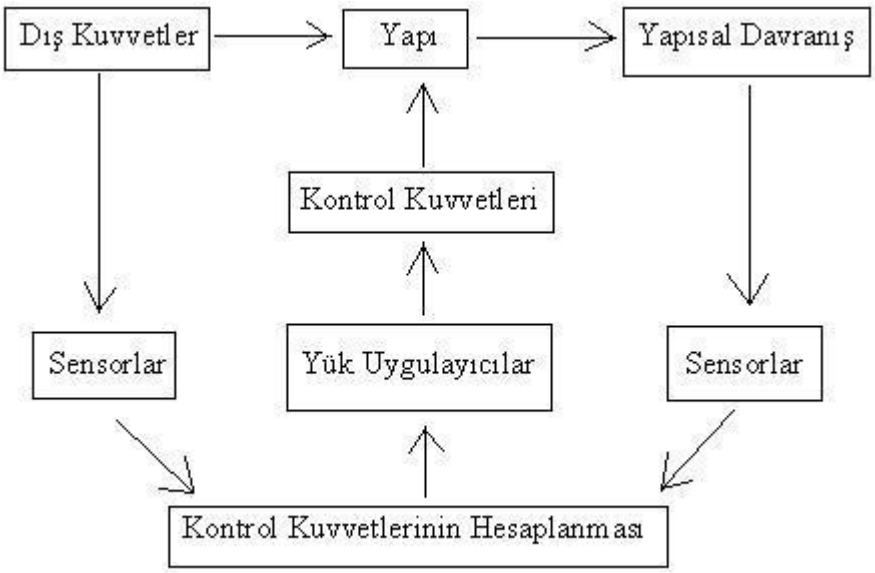
Gelişen teknoloji ile birlikte klasik depreme dayanıklı yapı tasarımına ilk alternatif olarak pasif kontrol fikri gündeme geldi. Pasif Kontrol yöntemleri, deprem etkileri dışında herhangi bir ilave enerjiye gereksinim duymadan çalışmaktadırlar. Dolayısıyla, binaya gelen sismik enerjiyi kendi içlerinde 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.

2.2 AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

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.

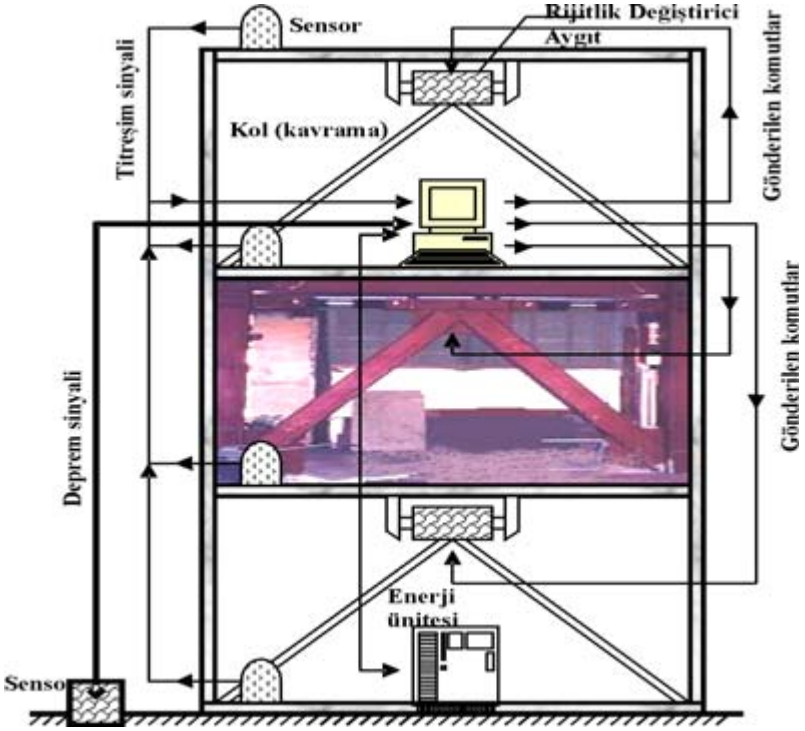
Yao'nun öncü çalışmasında belirtildiği ve aktif kontrol sistemi şematik diyagramında görüldüğü gibi aktif kontrol sistemi esas olarak 3 ana kısımdan meydana gelmektedir.

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.



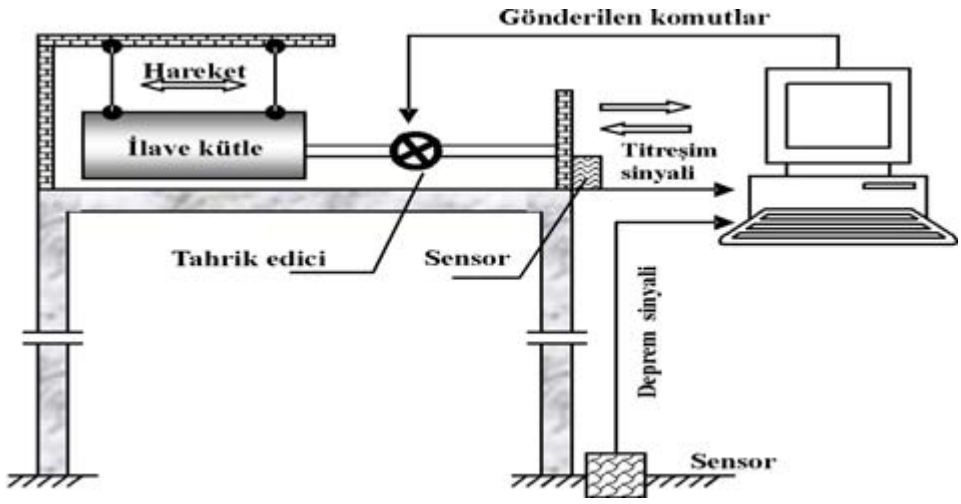
Şekil 2.2 AVS sistemi ve şematik gösterimi

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

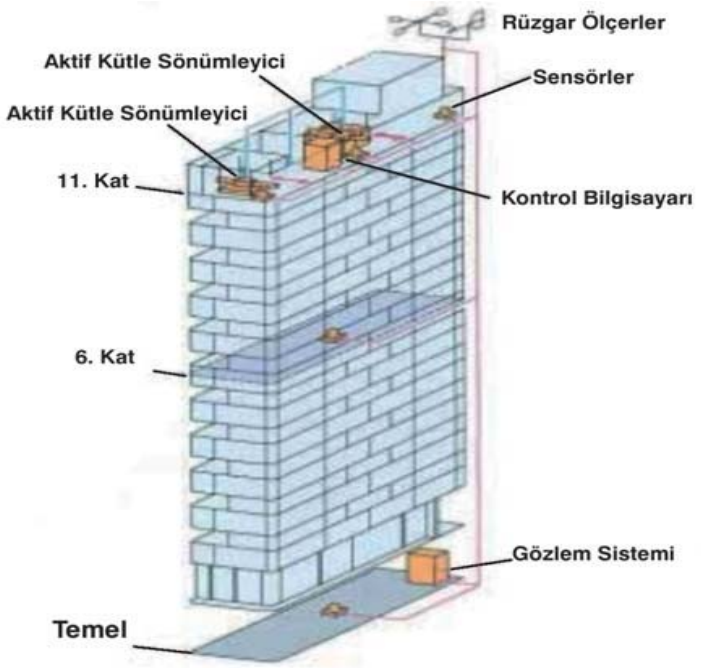
Bu sistemde; yapının orta katlarına, en üst katına (çatıya) ve zemin dâhil birçok bölgeye yerleştirilen ve titreşimleri anında algılayan cihazlar (duyarlar), yapının bünyesindeki ve zemindeki sarsıntı ve titreşimleri anında algılayarak kontrol bilgisayarına gönderirler. Kontrol bilgisayarı, gelen her 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

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 sendedir 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 LİNEER REGÜLATÖR PROBLEMİ:

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. OPTİMAL KONTROL METHODLARI İLE AKTİF YAPISAL KONTROL

Biz biliyoruz ki sağlanabilecek kontrol enerjisi sınırsızdır. Pratik tüketim karşılaştırmalarıyla hesaplanan tüketim enerjisi genellikle projenin oluşumundan sonra bulunur. Bununla birlikte ekonomik bir bakış açısı olarak minimum tüketim enerjisini garanti edebilecek en iyi kontrol edilmiş tepkiyi bulmaya çabalayabiliriz.
Ve problem bu şekilde optimizasyon problemine dönüşür. Ve optimizasyon kontrol tasarım methodları kullanılarak çözülmelidir.

Optimal kontrol problemi bu yazıdada belirtileceği gibi ya kapalı-açık kontrolün hükmettiği bir regülatör problemine yada kapalı-açık ve açık kontrolün hükmettiği bir izleme problemine dönüşür. Bu bölüm içindeki ilgi geri dönüşüm kontrolü sağlayan teknikler üzerine olacaktır.

Görülecek ki regülatör ve izleme problemleri inşaat mühendisliği yapılarının optimal geri gönüşüm kontrollerinde kullanılan uygulamalar için uygundur.Yine kolaylıkla görülecek ki eğer biz uygulanan kuvveti biliyor isek izleme problemi en uygun tasarım methodudur ve en iyi kontrol cevabını verir. Diğer taraftan regülatör problemi ise kuvvetin yapıya kararsız ve önceden bilinmeyen bir şekilde etkimesi durumlarında kullanılır.

4.1.OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ

Bir sistemin dinamik davranışları verilecek sabit denklemlerle tarif edilebilir.

$$\dot{\underline{X}}(t) = \underline{A}(t)\underline{X}(t) + \underline{B}(t)\underline{U}(t) + \underline{d}(t) \ , \quad \underline{X}(t_0) = X \tag{4.0}$$

Burada $\underline{X}$ = $\underline{X}$(t) sistemin konumunu gösteren bir n-vektör, $\underline{U}$=$\underline{U}$(t) kontrol değişkenlerini içeren bir r-vektör $\underline{A}$(t) ve $\underline{B}$(t) uygun boyutlarda matrisler ve $\underline{d}$=$\underline{d}$(t) sisteme etkiyen kuvveti gösteren n-vektördür.

Kontrol edilecek sonuçlar ve ölçülebilir değişkenler aşşağıdaki gibi tarif edilebilir.

$$\underline{Y}(t) = \underline{C}(t)\underline{X}(t) \quad , \tag{4.1}$$

Burada $\underline{Y}$=$\underline{Y}$ (t) ölçülebilen değişkenleri gösteren bir m-vektör ve C(t) uygun boyutlarda bir matristir.

Optimal kontrol aletlerinin tasarımı kontrol edilen sistemin dinamik davranışları ile ilgili belirgin özelliklerin yeterliliğinin hesaplanmasıyla bulunur. Bu özellikler geçici tepkilerdeki gereklilikler, stabilite, sağlam durum sorunları veya düşürülmüş parametre hassasiyetini içerir. Amaç fonksiyonu (performans indeksi) genellikle bu tasarım terimleri ile açıklanır. Bu tarz bir amaç fonksiyonun minimizasyonu optimal kontrol stratejisine yön verir. Kapalı formdaki bir optimal kontrol probleminin çözümünü kolay hale getirmek amacı ile amaç fonksiyonu dördüncül dereceden bir fonksiyon olarak seçilir.

$$J = \frac{1}{2}\left[\underline{Y}(t_f) - \underline{\alpha}\right]^T S_0 \left[Y(t_f) - \underline{\alpha}\right] + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} \left(\left[\underline{Y}(t) - \underline{\beta}(t)\right]^T Q_0(t)\left[\underline{Y}(t) - \underline{\beta}(t)\right] + \underline{U}^T(t)R(t)U(t) \right) dt$$

(4.2)

Burada $\underline{S}$o, $\underline{Q}$o(t) ve $\underline{R}$(t) uygun boyutlarda ağırlık matrisleri ; α istenilen durum tepkisi sabiti; β(t) istenilen geçici tepki; t_0 ilk zaman ve t_f ise kontrolün son zamanıdır.

$\underline{S}$o ve $\underline{Q}$o(t) matrisleri, "J için iyi tanımlanmış belirsiz bir minimum" olmasını garanti altına almak için en azından yarı belirli pozitif matrisler olmalıdır. Matris R(t) pozitif belirli olmalıdır çünkü $\underline{R}^{-1}$(t) sonu olan bir çözümün bulunması için gereklidir. Ağırlık matrislerinin eleman seçimleri optimal kontrol teorisinin başlıca problemlerinden biridir. Bu problemi kolaylaştırmak için bu matrisler nispeten büyük köşegen matrisler olarak seçilir.

Amaç fonksiyonunu minimizasyonunda denklem 4.0 ve 4.1 ye bağlı olarak denklem 4.2, sonuç değişkenlerinin vektörler $\underline{\alpha}$ ve $\underline{\beta}$(t) yi izlemesi isteniyor ise bu denklemden izleme problemi olarak söz edilebilir. Eğer $\underline{\alpha}$ ve $\underline{\beta}$(t) ve $\underline{d}$(t) sıfır

vektör seçilirse kontrol problemi regülatör problem olarak adlandırılır. Ve buda kalıcı durumların ve geçici tepkilerin sıfır olarak istendiği durumdur.

İzleme veya regülatör problemini optimal çözümlerinde gerekli koşullar belki Hamilton denkleminin değişkenlerinin hesaplanmasıyla çözülebilir. İzleme problemi için Hamilton denklemi şöyle tarif edilebilir.

$$H(\underline{X},\underline{U},\underline{\lambda}) = \frac{1}{2}(\underline{C}\,\underline{X} - \underline{\beta})^T \underline{Q}_0 (\underline{C}\,\underline{X} - \underline{\beta}) + \frac{1}{2}\underline{U}^T \underline{R}\,\underline{U} + \underline{\lambda}^T (\underline{A}\,\underline{X} + \underline{B}\,\underline{U} + \underline{d}) \qquad (4.3)$$

Burada $\underline{\lambda} = \underline{\lambda}(t)$ sabit olmayan değişkenleri veya Lagrange çarpanlarını belirten bir n-vektördür.
Denklem 4.3 te verilen J nin minimum değerini bulmak için aşşağıdaki kabuller gereklidir ;

$$\dot{\underline{X}} = \underline{A}\,\underline{X} + \underline{B}\,\underline{U} + \underline{d} \quad , \qquad \underline{X}(t_0) = \underline{X} \qquad (4.4)$$

$$\dot{\underline{\lambda}} = -\frac{\partial H}{\partial \underline{X}} = -\underline{C}^T \underline{Q}_0 \underline{C}\,\underline{X} - \underline{A}^T \underline{A} + \underline{C}^T Q_0 \underline{\beta} \quad , \quad \underline{\lambda}(t_f) = \underline{C}^T \underline{S}_0 \left[\underline{C}\,\underline{X}(t_f) - \underline{\alpha}\right] \qquad (4.5)$$

$$g = \frac{\partial H}{\partial \underline{U}} = \underline{R}\,\underline{U} - \underline{B}^T \underline{\lambda} = 0 \qquad (4.6)$$

Denklem 4.6 dan elde edilen optimal kontrol ;

$$\underline{U} = -\underline{R}^{-1} \underline{B}^T \underline{\lambda} \qquad (4.7)$$

Denklem 4.7 yi denklem 4.4 ile toplarsak,denklem 4.4 ve 4.5 şu hali alır;

$$\dot{\underline{X}} = \underline{A}\,\underline{X} - \underline{B} R^{-1} \underline{B}^T \underline{\lambda} + \underline{d} \quad , \quad \underline{X}(t_0) = \underline{X}_0 \quad , \qquad (4.8)$$

$$\dot{\underline{\lambda}} = -\underline{C}^T \underline{Q}_0 \underline{C}\underline{X} - \underline{A}^T \underline{\lambda} + \underline{C}^T \underline{Q}_0 \underline{\beta} \quad , \quad \underline{\lambda}(t_f) = \underline{C}^T \underline{S}_0 \left[\underline{C}\underline{\lambda}(t_f) - \underline{\alpha}\right] \ ,$$

(4.5)

Bir regülator problemi için $\underline{\alpha} = \underline{\beta} = \underline{d} = 0$ denklem 4.8 ve denklem 4.5 şu hali alır

$$\dot{\underline{X}} = \underline{A}\underline{X} - \underline{B}\underline{R}^{-1} \underline{B}^T \underline{\lambda} \quad , \quad \underline{X}(t_0) = \underline{X}_0 \tag{4.9}$$

$$\dot{\underline{\lambda}} = -\underline{C}^T Q_0 \underline{C}\underline{X} - \underline{A}^T \underline{\lambda} \quad , \qquad \underline{\lambda}(t_f) = \underline{C}^T S_0 \underline{C}\underline{X}(tf) \tag{4.10}$$

Denklem 4.8 ve denklem 4.5 veya denklem 4.9 ve denklem 4.10 iki noktayla sınırlı değer problemi olarak isimlendirilir. Çünkü sınır koşullarından biri ilk zaman diğeri ise son zaman olarak özelleşmişlerdir. Denklem 4.8 ve denklem 4.5 arasında ve denklem 4.9 ve denklem 4.10 arasında apaçık bir fark vardırki , denklem 4.8 ve denklem 4.5 homojen olmayan vektör diferansiyel denklemken,denklem 4.9 ve denklem 4.10 homojen diferansiyel denklemdir. Diğer taraftan denklem 4.8 ve 4.5 $\underline{\alpha}, \underline{\beta}$ ve $\underline{d}(t)$nin izlenmesini sağlarken denklem 4.9 ve denklem 4.10 genel tiptedirler ve sistemi sıfır durumuna getirirler.

Bir inşaat mühendisliği yapısını kontrol etmekteki amacımız geçici veya kalıcı durum tepkilerini sıfıra indirmek olduğu için dahada açık görülüyorki regülatör problemi direkt olarak uygulanabilmekte ancak izleme problemi bazı önemsiz değişikliklere ihtiyaç duymaktadır.

4.2.OPTİMAL KONTROL PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Denklem 4.8 ve denklem 4.5 veya denklem 4.9 ve denklem 4.10 denklemlerinin eş zamanlı çözümü açık çevirim tipinde geri dönüşümsüz optimal kontrol stratejisini vermektedir. Bu tarz bir çözümü elde etmek için birçok numerik teknik vardır. Bu numerik tekniklerden bazıları geçiş matrislerinin , dinamik programlamlamanın ve diğer methodların üzerine kurulmuştur. Kapalı çevirim sonucun veya durum değişkenlerinin geri dönüşümüne bağlıdır. Ancak sonuç bildirimleri birtakım sıralamalara bağımlı olduğundan bu çözümdeki ilgi daha çok optimal durum bildirim

kontrolleri kullanılarak yapılacaktır. Bu tarz durumlarda uygun sonuçları kullanarak durum değişkenlerini hesaplayan bir gözlemciye gerek duyulmaktadır. Kapalı çevirimin avantajı denklem 4.8 ve 4.5 nin hem kapalı hemde açık çevirimin bir kombinasyonu olarak kabul edilmesidir. Buda $\underline{\lambda}$(t) değişkenlerinin $\underline{X}$(t) nin linear kombinasyonu ve $\underline{q}$(t) nin ilk zaman ve son zaman aralığında çözülmesinden elde edildiğinin kabulü ile yapılmaktadır. Değişken $\underline{\lambda}$(t) şu formda kabul edilir,

$$\underline{\lambda}(t) = \underline{P}(t)\underline{X}(t) + \underline{q}(t) \tag{4.11}$$

Burada $\underline{P} = \underline{P}(t)$ nxn boyutunda simetrik bir matris olan "Riccati matrisi" ve $\underline{q} = \underline{q}(t)$ istenen tepkileri hesaplayan bir n-vektördür.

Bu sayede izleme probleminin optimal kontrolleri denklem 4.11 hesaplanması ve bu değerin denklem 4.7 de kullanılması ile çözülebilir.

$$\underline{U}(t) = -\underline{R}^{-1}\underline{B}^{T}P(t)\underline{X}(t) + \underline{U}_{EXT}(t) \tag{4.12}$$

Burada $\underline{U}_{EXT}(t) = -\underline{R}^{-1}\underline{B}^{T}\underline{q}(t)$ sistemin şu anki durumundan bağımsız olarak uygulanan bir dış kuvvettir. Ve açık çevirim tipindedir. Denklem 4.11 i denklem 4.8 ve denklem 4.5 ile birlikte çözersek $\underline{P}$(t)ve $\underline{q}$(t) nin aşşağıdaki denklemlerde hesaplanmasını olağan kılmaktadır.

$$-\dot{\underline{P}} = \underline{P}\underline{A} + \underline{A}^{T}\underline{P} - \underline{P}\underline{B}\underline{R}^{-1}\underline{B}^{T}\underline{P} + \underline{C}^{T}\underline{Q}\underline{C} \quad , \quad \underline{P}(t_f) = \underline{C}^{T}\underline{S}_0\underline{C} \tag{4.13}$$

$$-\dot{\underline{q}} = \underline{P}\underline{d} + \left(\underline{A}^{T} - \underline{P}\underline{B}\underline{R}^{-1}B^{T}\right)q - \underline{C}^{T}\underline{Q}_0\underline{\beta} \quad , \quad q(t_f) = -\underline{C}^{T}S_0\alpha \tag{4.14}$$

Eğer $\underline{\alpha}$, $\underline{\beta}(t)$ ve $\underline{d}$(t) sıfır vektörler ise bu durumda regülatör problemindeki gibi sadece Riccati matris diferansiyel denklemi $\underline{P}$(t) için çözülmelidir çünkü $\underline{q}$(t) böyle

bir durumda sıfır vektördür. Bu doğrudur çünkü iki noktayla sınırlı bir değer problemi regülatör problemler için homojendir ve sonuç durumlarını sağlamak için denklem 4.14 aşşağıdaki kabulleri içermelidir.

$$\underline{\lambda}(t) = \underline{P}(t)\underline{X}(t) \quad , \tag{4.15}$$

Regülatör probleminin optimal kontrolü böylece şu hali alır;

$$\underline{U}(t) = -\underline{R}^{-1}\underline{B}^{T}\underline{P}(t)\underline{X}(t) \quad , \tag{4.16}$$

Ve sadece sistemin şu anki durumuna bağlıdır buda kapalı çevirim tipidir. Birçok numerik teknik $\underline{P}$ ve $\underline{q}$ yu hesaplamak için uygundur. Örnek vermek gerekirse $\underline{P}(t)$ simetrik matris olduğundan sadece n(n+1)/2 sayısında bağımsız denklem denklem 4.14 ten çıkartılabilir. Geriye doğru sayısal integrasyon kullanılarakta $\underline{P}(t)$ yi hesaplayabiliriz. Birkez $\underline{P}(t)$ hesaplandığında denklem 4.14 $\underline{q}(t)$ yi çekmek için tersten integre edilebilir.

Hiç unutulmamalıdırki hesaplanan değerler sadece düzgün,değişiken zamanlı veya garanti olmayan durumlarda uygulanılabilir. Nonlinear sistemler için ise en büyük durumun bulunması için birtakım lineerleştirme ve iterasyon işlemleri yapılmalıdır.

4.2.1 Kapalı Çevrim Kontrolü

Kontrol kuvvetinin sadece durum vektörü ile regüle edildiği geri beslemeli bir kontrol yöntemidir.Lineer optimal kontrol kuvveti

$$U^*(t) = -\frac{1}{2} R^{-1} B^T P(t) Z^*(t) \tag{4.17}$$

$$= G(t) Z^*(t) \tag{4.18}$$

olarak elde edilir.Burada $G(t)$ kontrol kazanç matrisidir.Bu şekilde elde edilen kapalı-çevrim sisteminin kararlı olduğu bilinmektedir.Bu kontrol algoritmasının uygulanabilmesi için Z(t) durum vektörünün bütün bileşenlerinin her t anında ölçülebilir olması gerekmektedir.

4.2.2 Açık Çevrim Kontrolü

Açık çevrim kotrolünda kontrol kuvveti sadece deprem ivmesine bağlıdır ve durum vektöründen bağımsızdır.Açık çevirimde kontrol kuvveti

$$U^*(t) = -\frac{1}{2} R^{-1} B^T q(t) \tag{4.19}$$

olarak elde edilir.Buradaki q(t) optimalliğin gerekli koşullarından bulunacak olan 2n boyutlu bir vektördür.

4.2.3 Kapalı - Açık Çevrim Kontrolü

Bu tür kontrollerde, kontrol kuvvetinin sistemin durum vektörü ve deprem tarafından regüle edilebilmesi için eş-durum vektörü

$$\lambda^*(t) = P(t)Z^*(t) + q(t) \tag{4.20}$$

olarak şeçilir.
Denklemdeki $P(t)Z^*(t)$ durum vektörüne yani kapalı çevrim kontrolüne , q(t) deprem ivmesine yani açık çevrime aittir.

Herhangi bir zamandaki ($t = t_1$) için eş durum vektörü sıfır kabul edilirse

$$\lambda^*(t_1) = P(t_1)Z^*(t_1) + q(t_1) = 0 \tag{4.21}$$

sınır koşullarından

$$P(t_1) = 0 \tag{4.22}$$

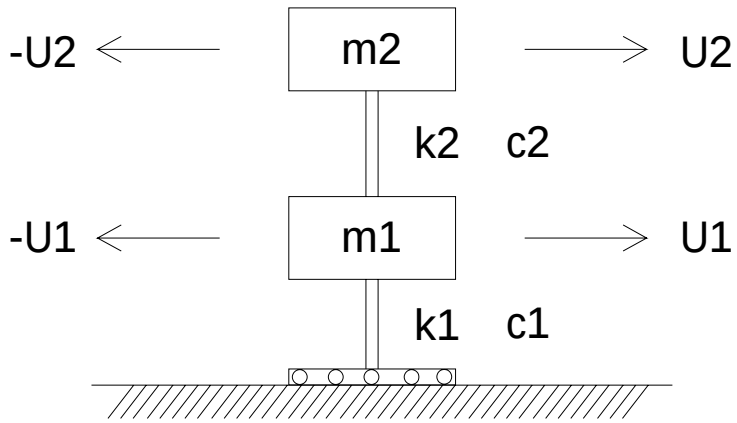
$$q(t_1) = 0 \tag{4.23}$$

elde edilir ve buna bağlı olarak kontrol kuvveti

$$U^*(t) = -\frac{1}{2} R^{-1} B^T \left[P(t)Z^*(t) + q(t)\right] \tag{4.24}$$

olarak hesaplanır.

4.3.ÖZELLEŞTİRİLMİŞ OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ



Şekil 4.1 İdealize edilmiş 2 katlı bir yapı

Yukarıda şekli görülen 2 katlı idealize edilmiş yapıdaki bina sismik yalıtılmış olup kontrol problemi bu yapıya uygun olarak çözülmüştür.Burada m1 = m2 =100000 kg , k1 = 1650000 N/m , k2 = 30000000 N/m , c1 = 110000 Ns/m c2 = 30000 Ns/m olarak kabul edilmiştir.

Yapılan Kabuller :

Konu 3. anlatılan lineer izleme problemi denklemi çözüme uygun olarak aşağıdaki adımlar uygulanarak düzenlenmiştir.

$$J = \frac{1}{2}\left[\underline{Y}(t_f) - \underline{\alpha}\right]^T S_0 \left[Y(t_f) - \underline{\alpha}\right] + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} \left(\left[\underline{Y}(t) - \underline{\beta}(t)\right]^T Q_0(t) \left[\underline{Y}(t) - \underline{\beta}(t)\right] + \underline{U}^T(t) R(t) U(t) \right) dt$$

Denkleminde $S_0 = 0$ ve $\beta(t)$ sıfır olarak kabul edilmiş ve çözümde yeni oluşturulan denklem kullanılmıştır.

4.3.1 Özelleştirilmiş Sistemin MATLAB programı ile 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 içerirken,myrk4 dosyası ise 4. dereceden Runge-Kutta denkleminin çözümünü içermektedir.

4.3.2 MATLAB datası

4.3.2.1 Yapı bilgileri ve denklemler

```
global A H Time Timeg Xctn G P b bs Xctnb bs1 bs2 bs3 bs4
% --- structural parameters
m1 = 100000.0; %kg
m2=m1;
k1 =1650000.0; %N/m
k2=30000000.0;
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
```

4.3.2.2 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';
```

4.3.2.3 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;

4.4 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.

$$y' = f(t, y), y(t_0) = y_0 \tag{4.25}$$

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

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{4.26}$$

Burada

$$k_1 = f(t_n, y_n) \tag{4.27}$$

$$k_2 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}) \tag{4.28}$$

$$k_3 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}) \tag{4.29}$$

$$k_4 = f(t_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_3}{2}) \tag{4.30}$$

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.

5. DEPLASMAN VE KUVVET GRAFİKLERİ VE MAKSİMUM DEĞERLER

5.1 Northridghe Depremi Rinaldi Kuzey-Güney Kayıtlarına Ait Grafikler

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.4725 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) =0.0139 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

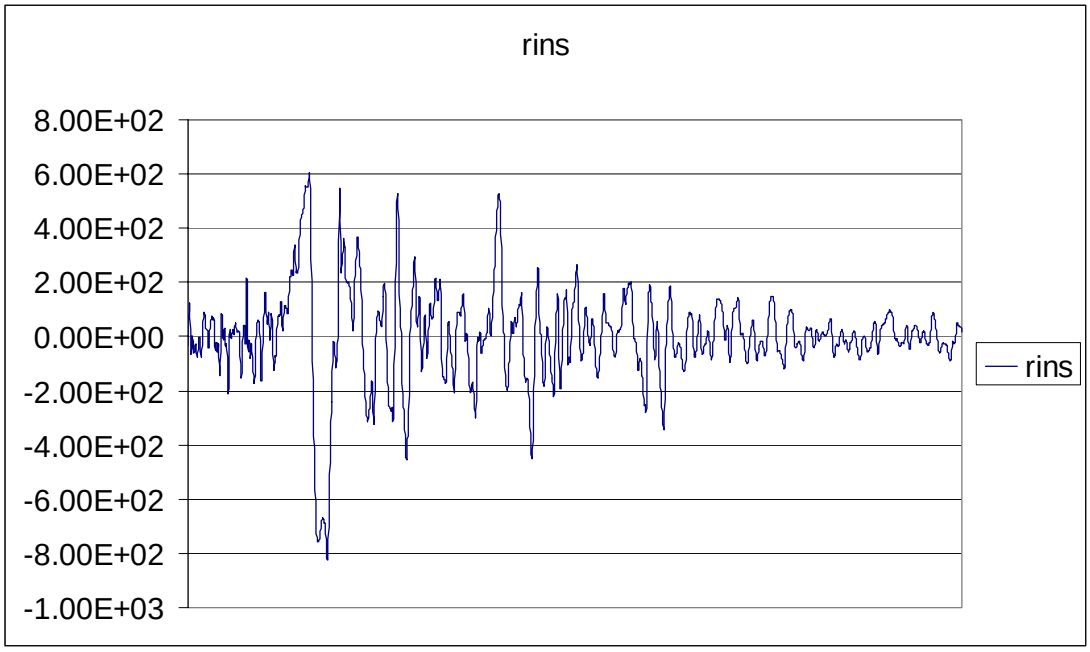
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.3165 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0105 metre

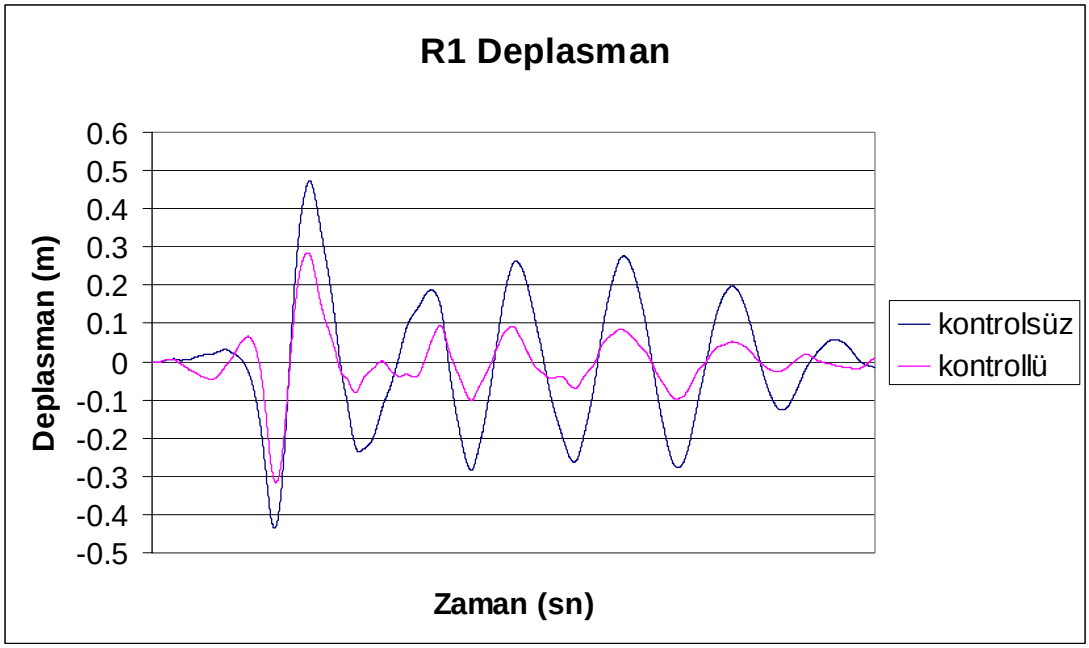
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 6.2147e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 6.3877e+004 Newton

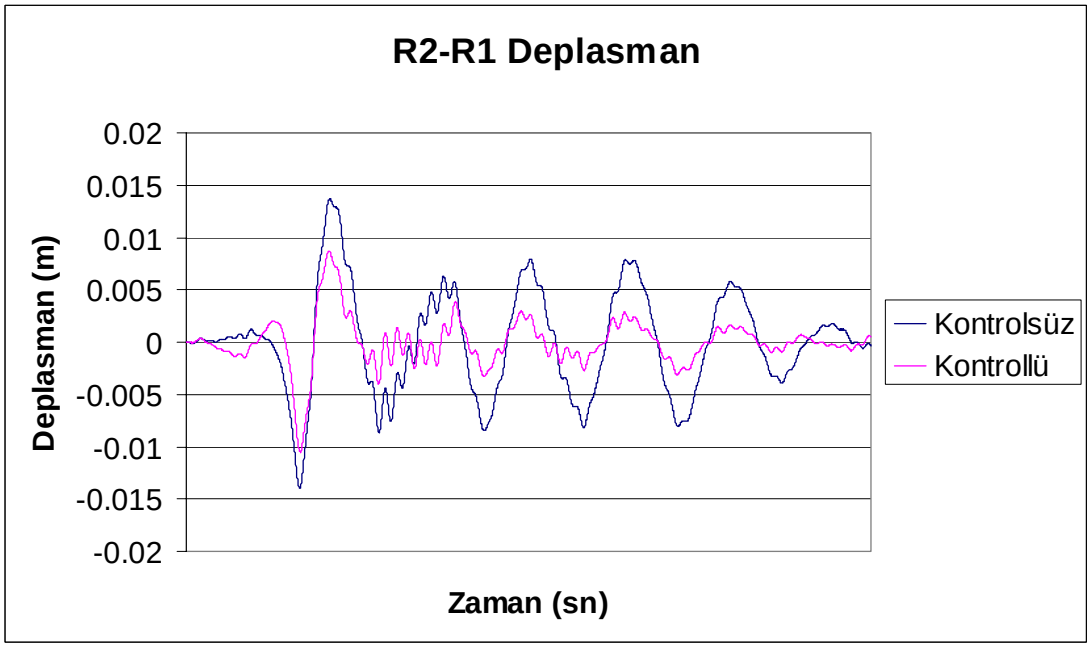
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



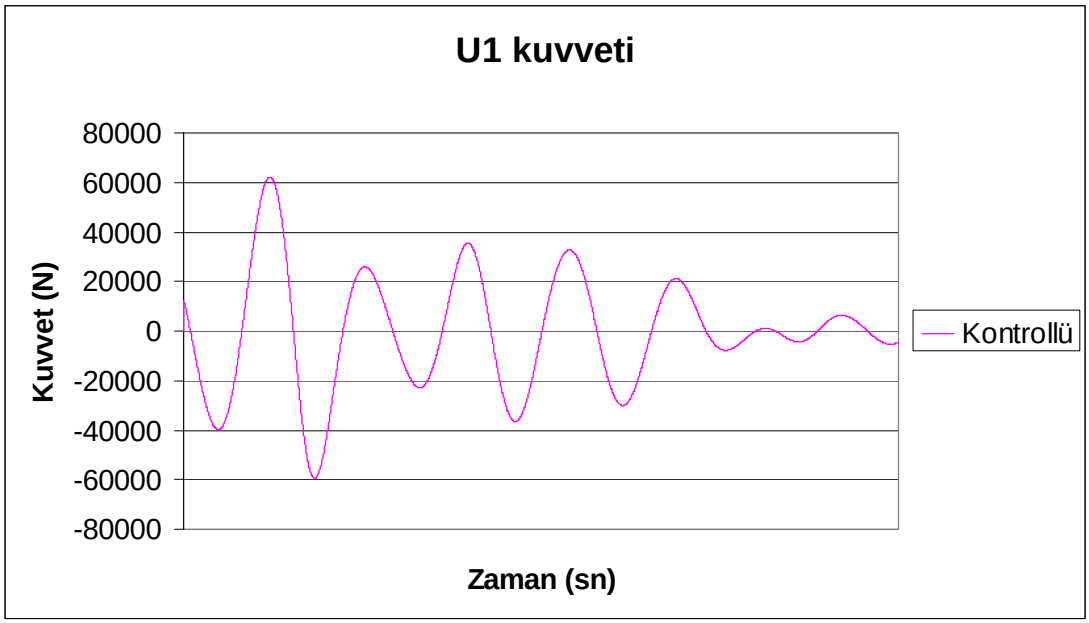
Şekil 5.1 Northridghe Depremi (Rinaldi Kuzey-Güney) İvme / Zaman Grafiği



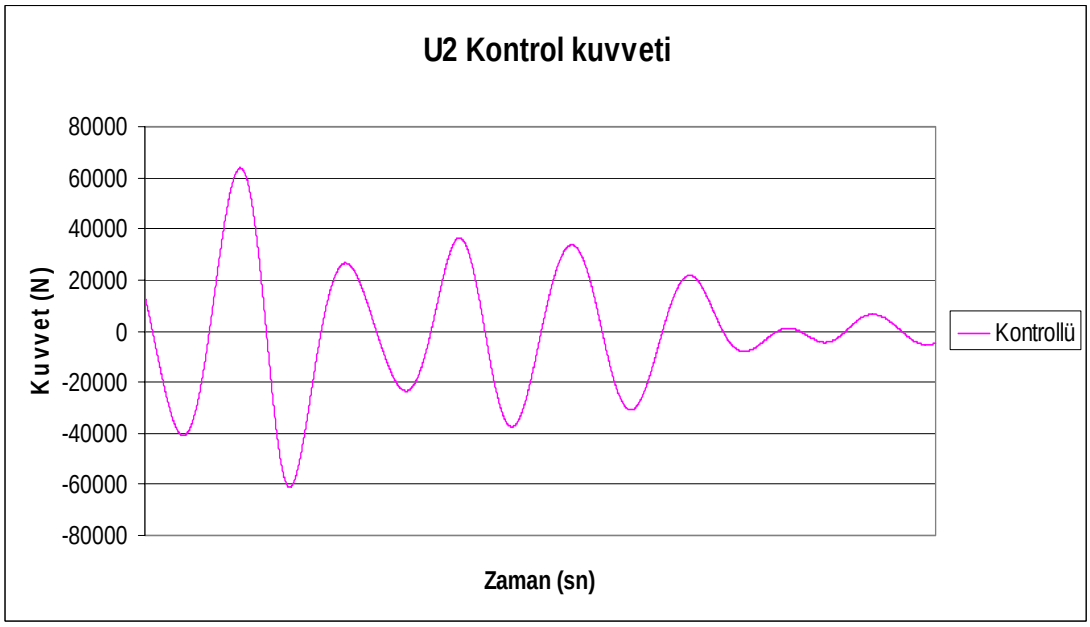
Şekil 5.2 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.3 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.4 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



Şekil 5.5 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.2 Northridghe Depremi Rinaldi Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.4878 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) =0.0143 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

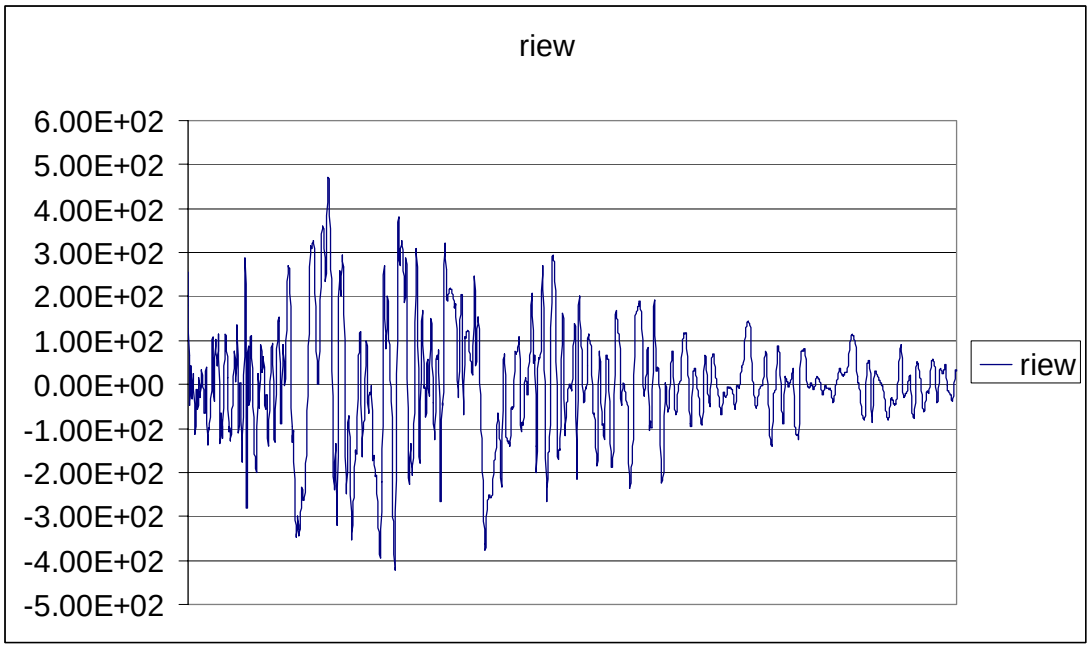
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1949 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0060 metre

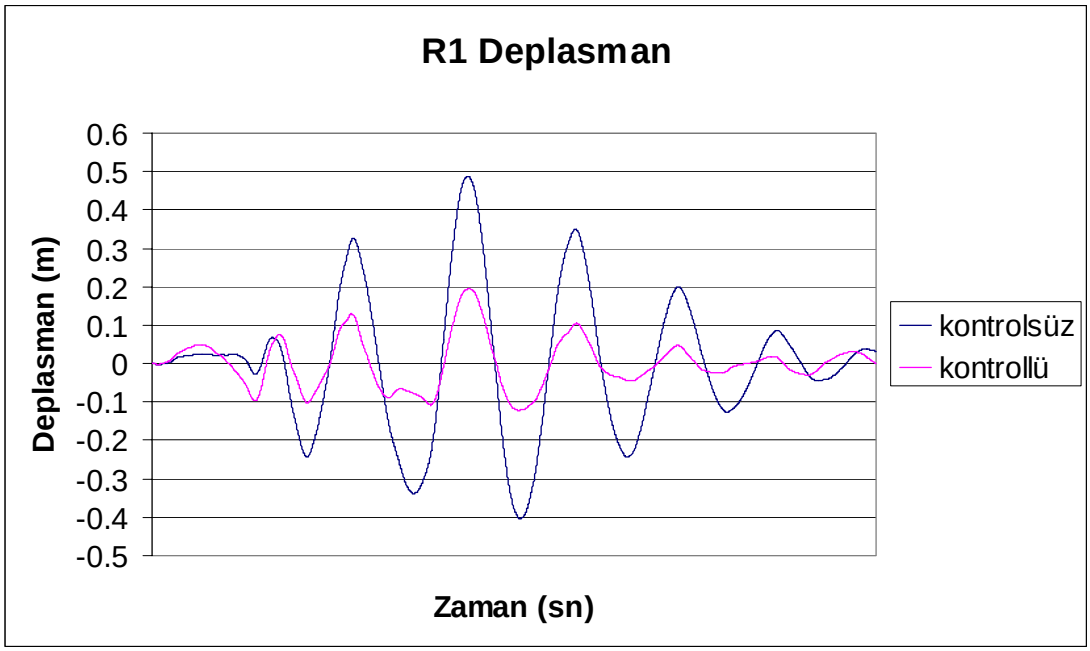
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 6.2212e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 6.3948e+004 Newton

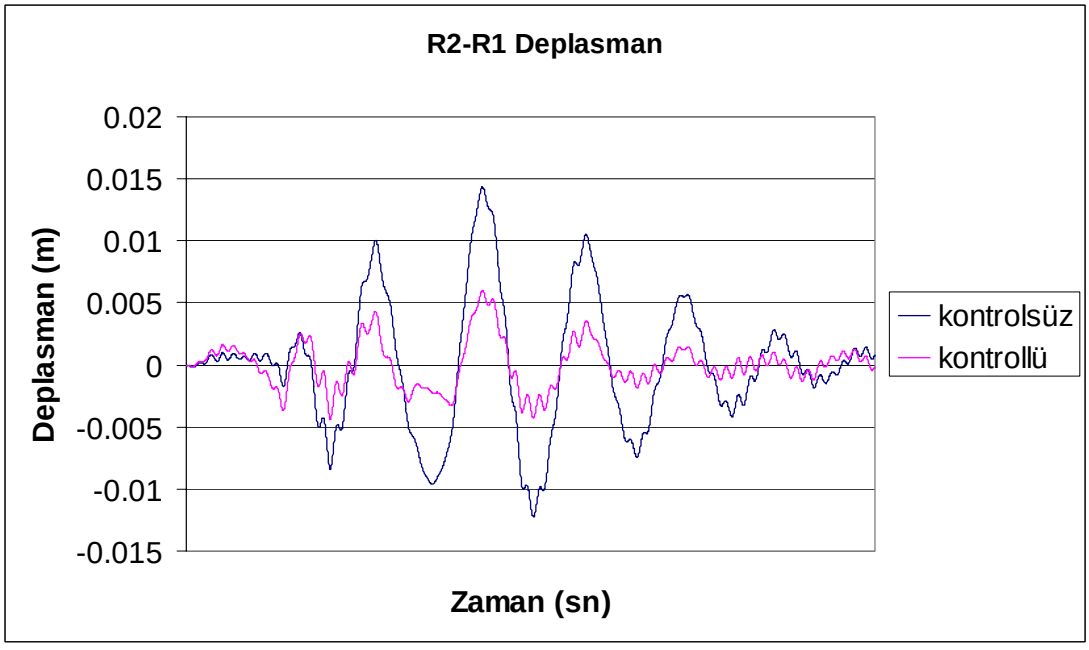
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



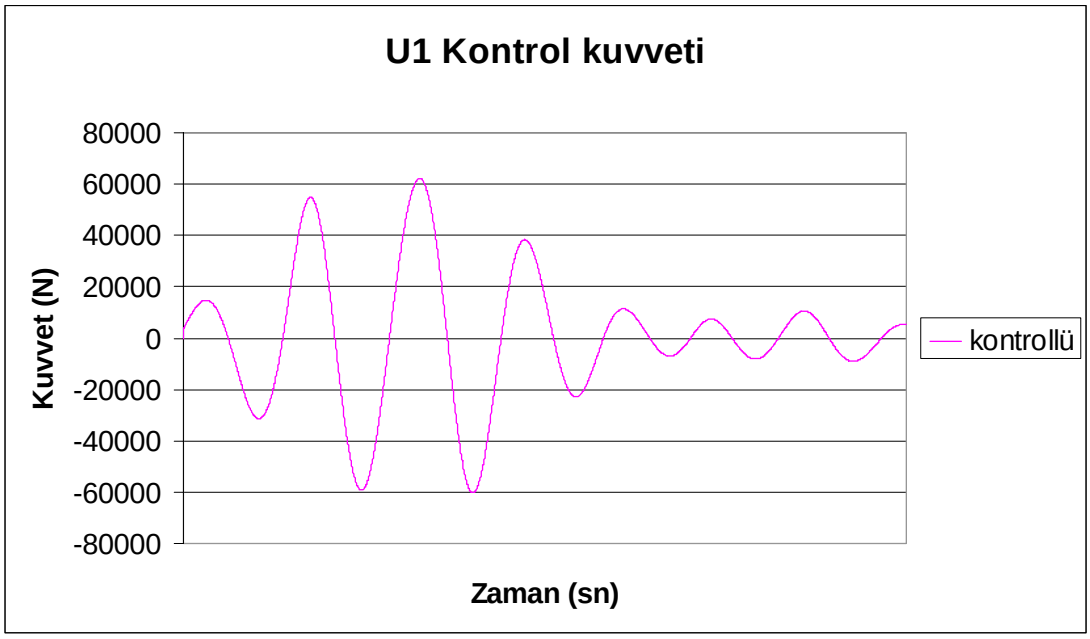
Şekil 5.6 Northridghe Depremi (Rinaldi Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği



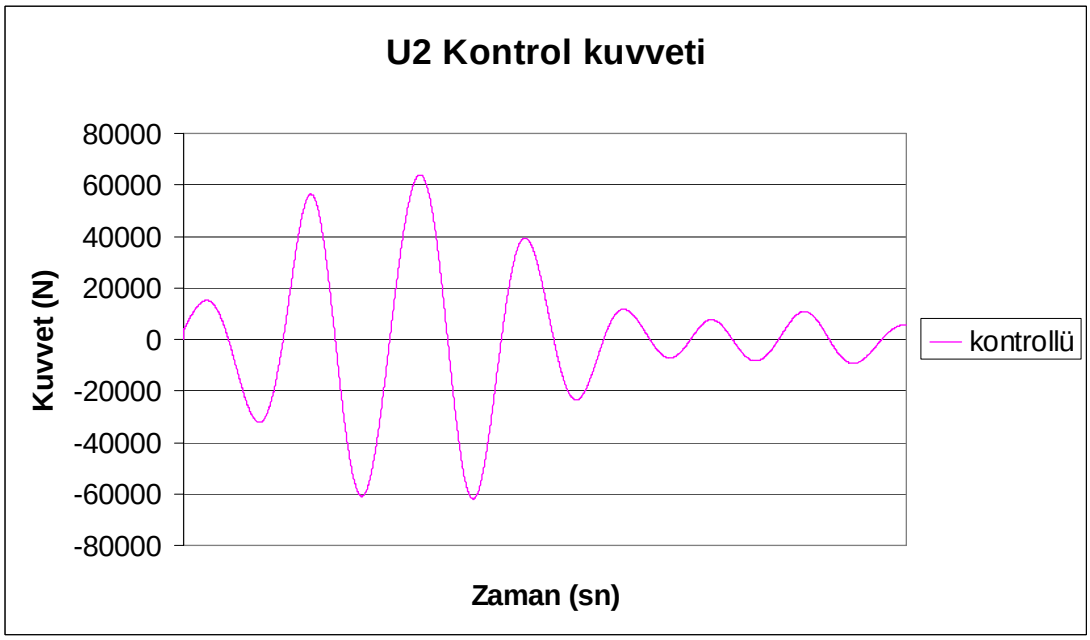
Şekil 5.7 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.8 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.9 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



Şekil 5.10 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.3 El Centro Depremi Kuzey - Güney Kayıtlarına Ait Grafikler

Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1910 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0054 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;

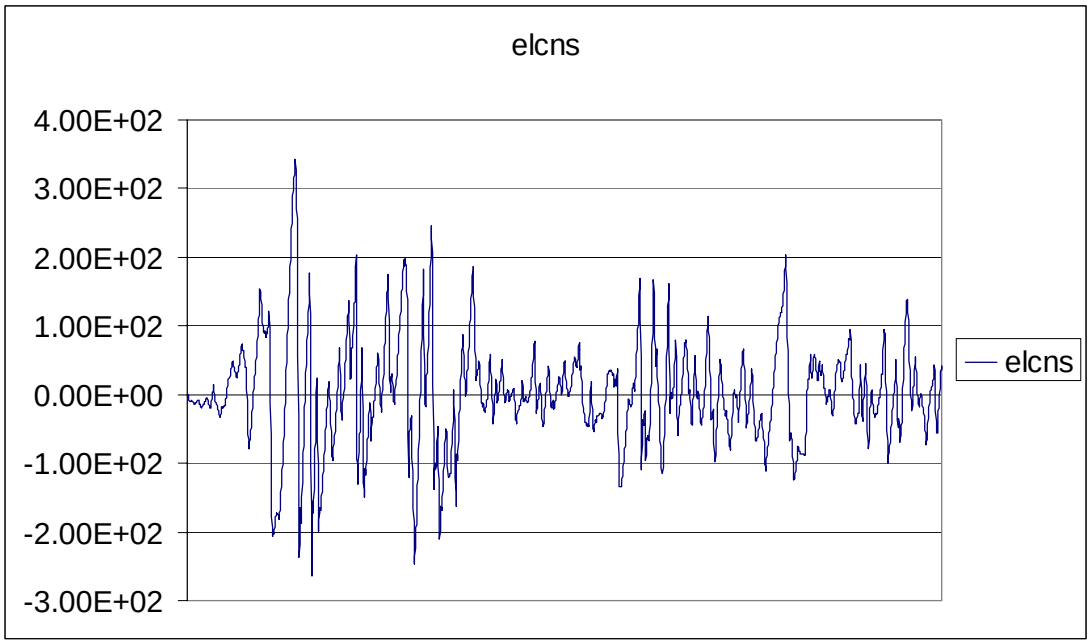
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.0966 metre

Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0029 metre

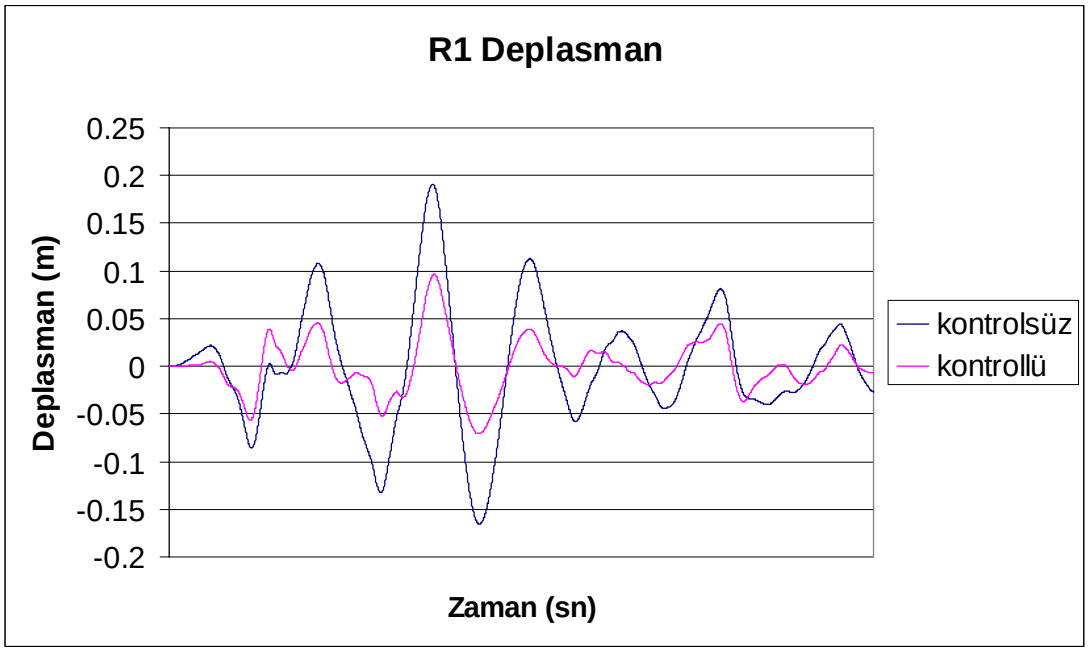
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 2.2943e+004 Newton

Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 2.3587e+004 Newton

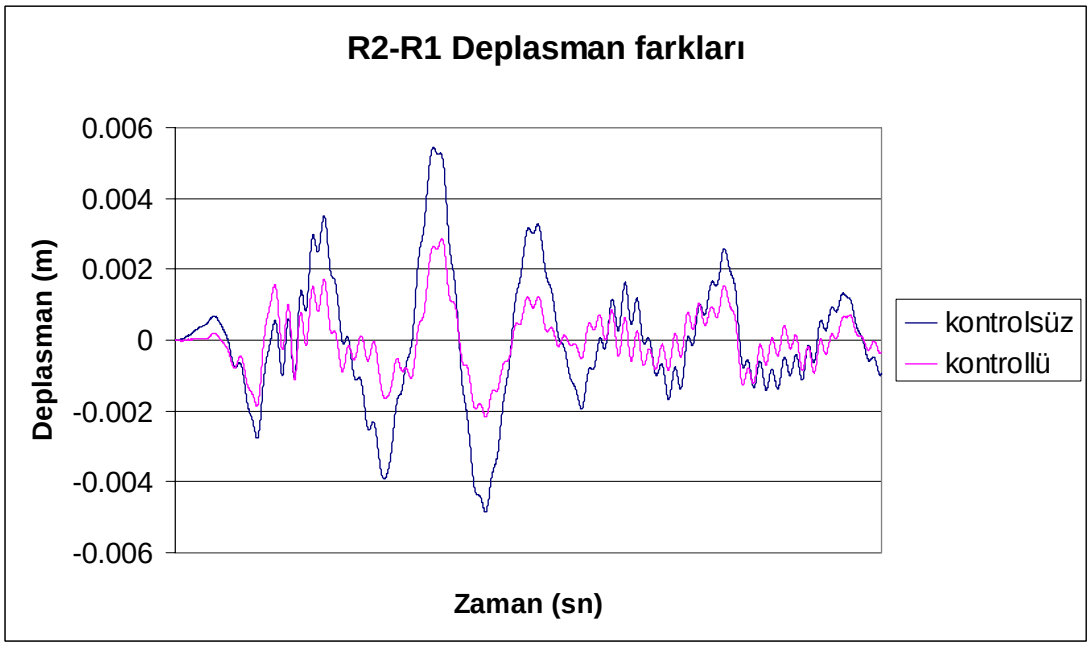
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



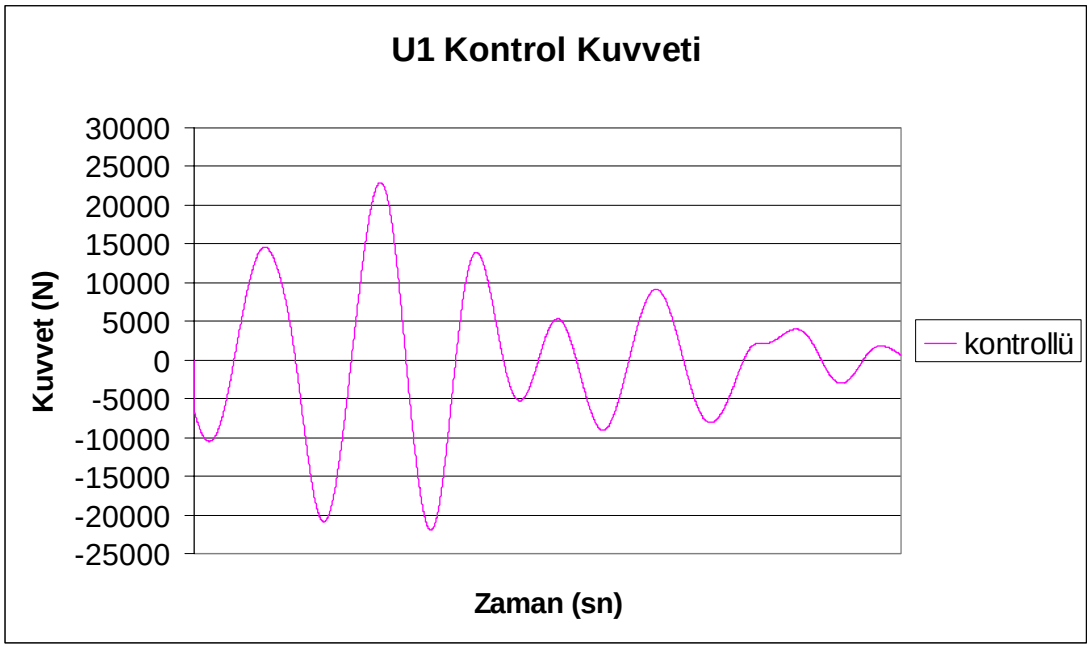
Şekil 5.11 EL Centro Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği



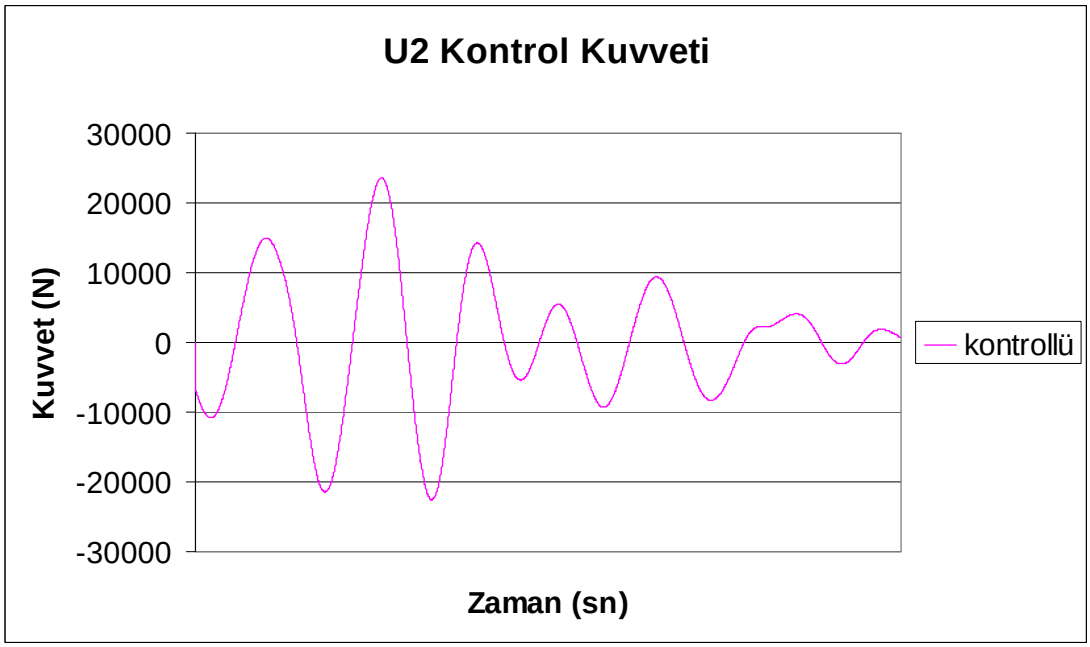
Şekil 5.12 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.13 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.14 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



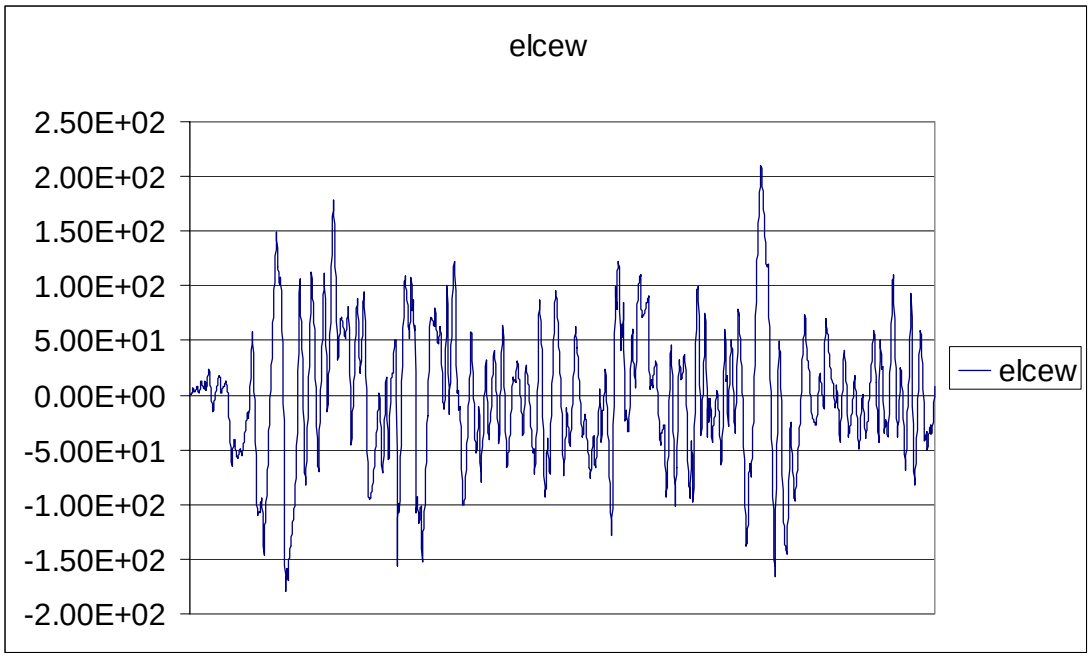
Şekil 5.15 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.4 El Centro Depremi Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler

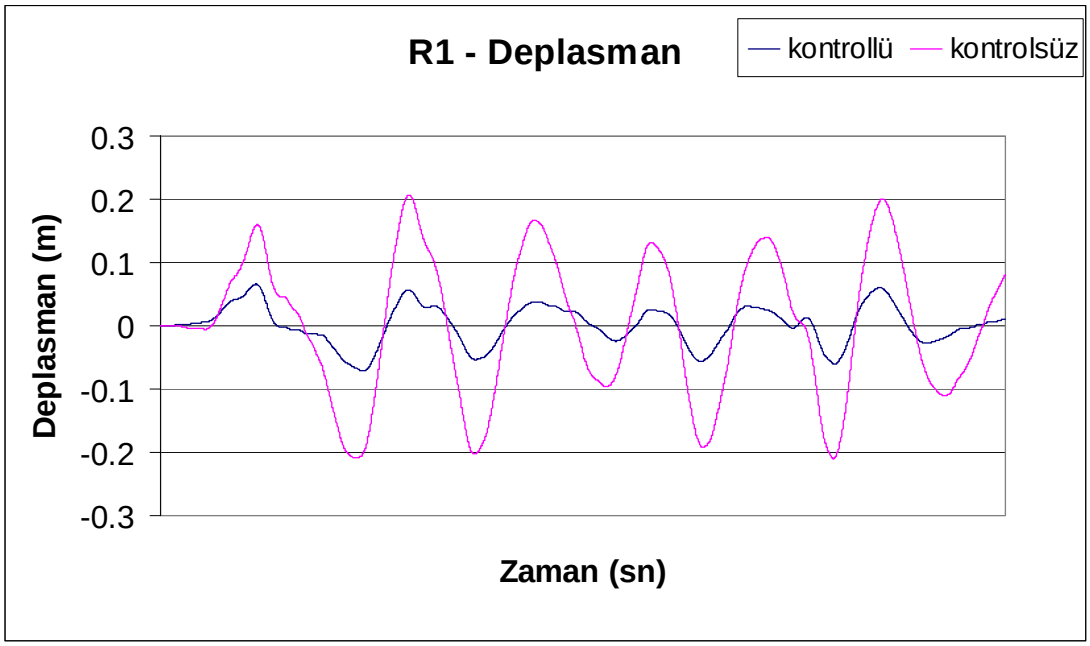
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1499 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0045 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.0715 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0022 metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 2.6969e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 2.7722e+004 Newton

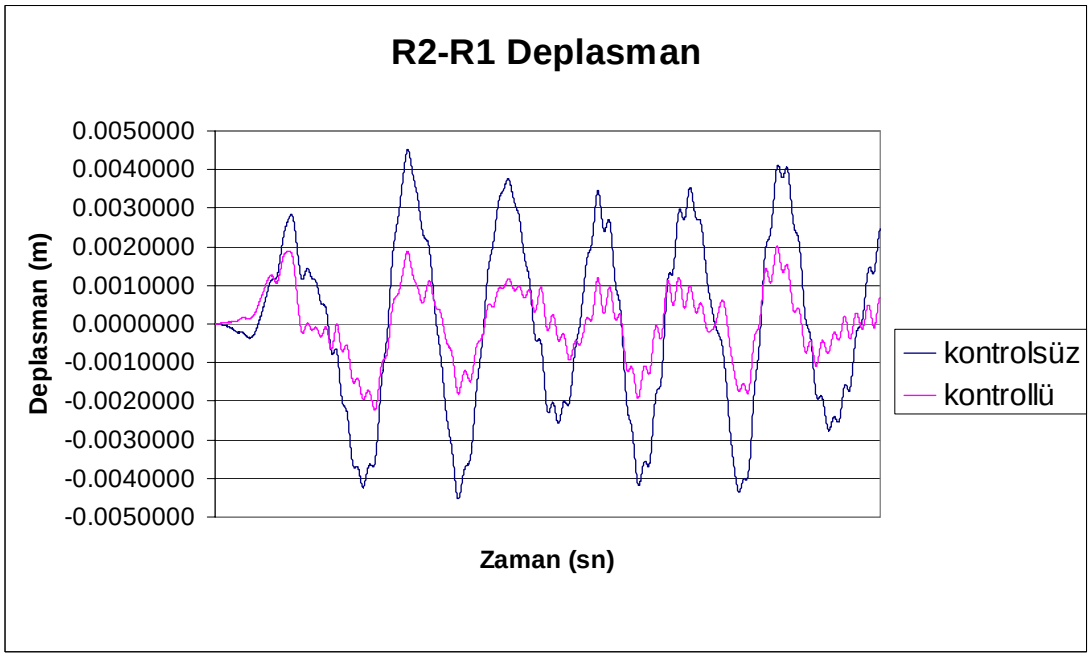
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



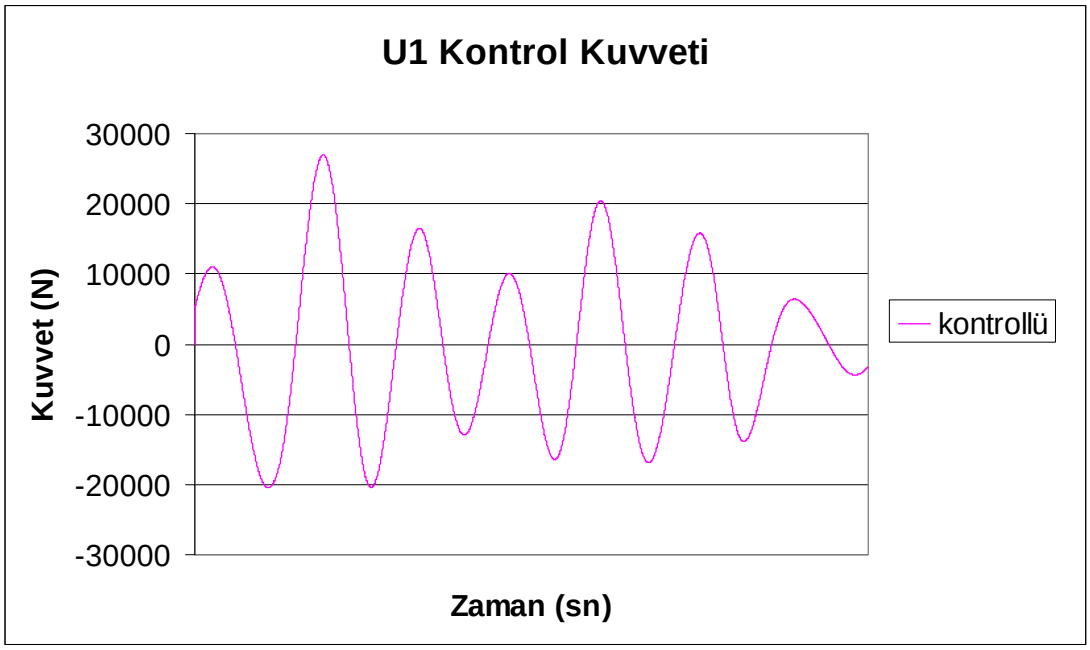
5.16 El Centro Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği



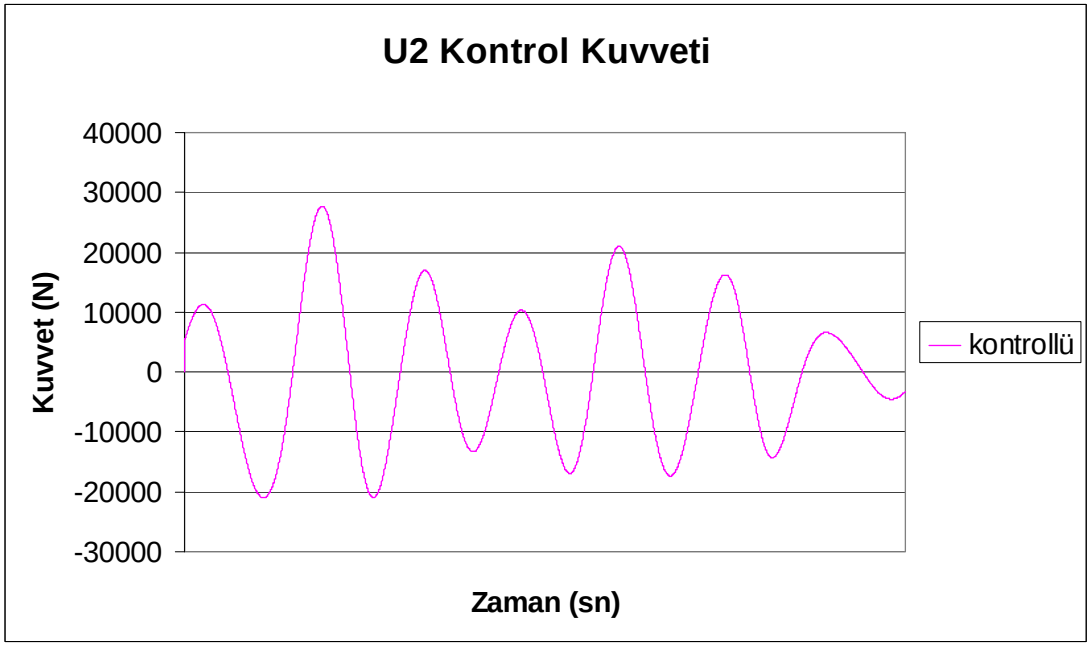
Şekil 5.17 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.18 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.19 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



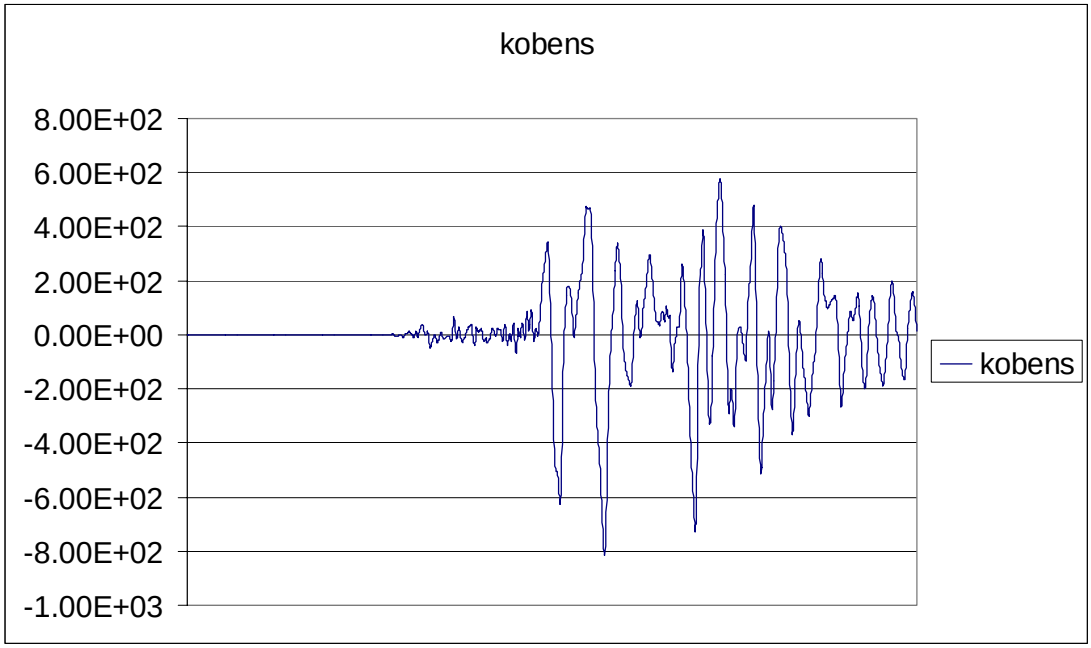
Şekil 5.20 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.5 Kobe Depremi Kuzey - Güney Kayıtlarına Ait Grafikler

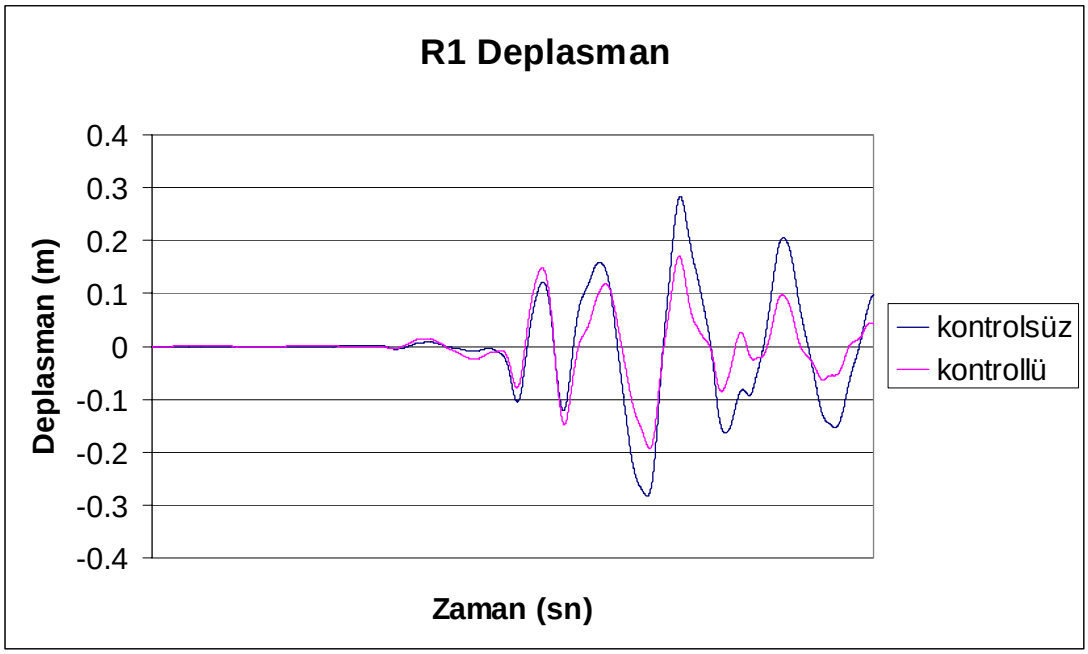
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2833 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0094 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1931 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0063 metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 3.9145e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 4.0225e+004 Newton

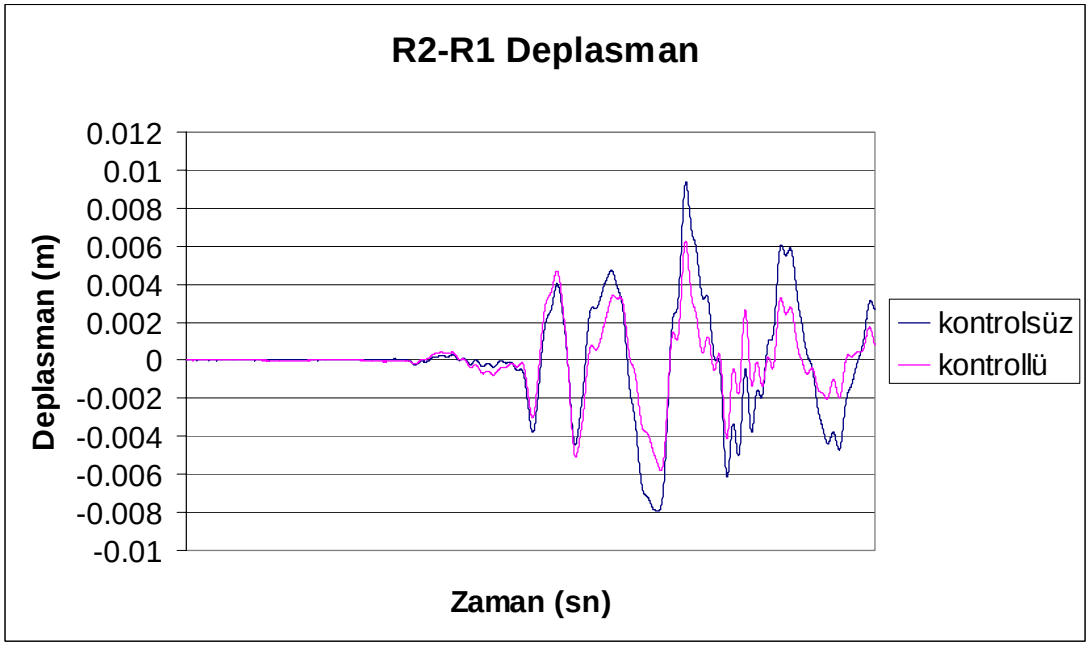
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



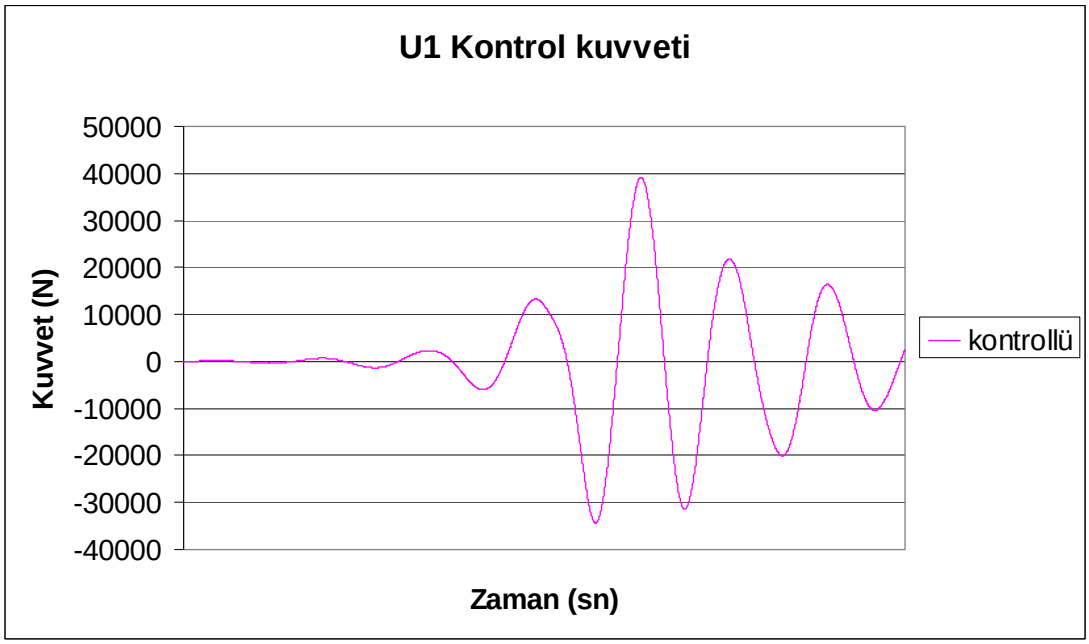
Şekil 5.21 Kobe Depremi Kuzey - Güney İvme / Zaman Grafiği



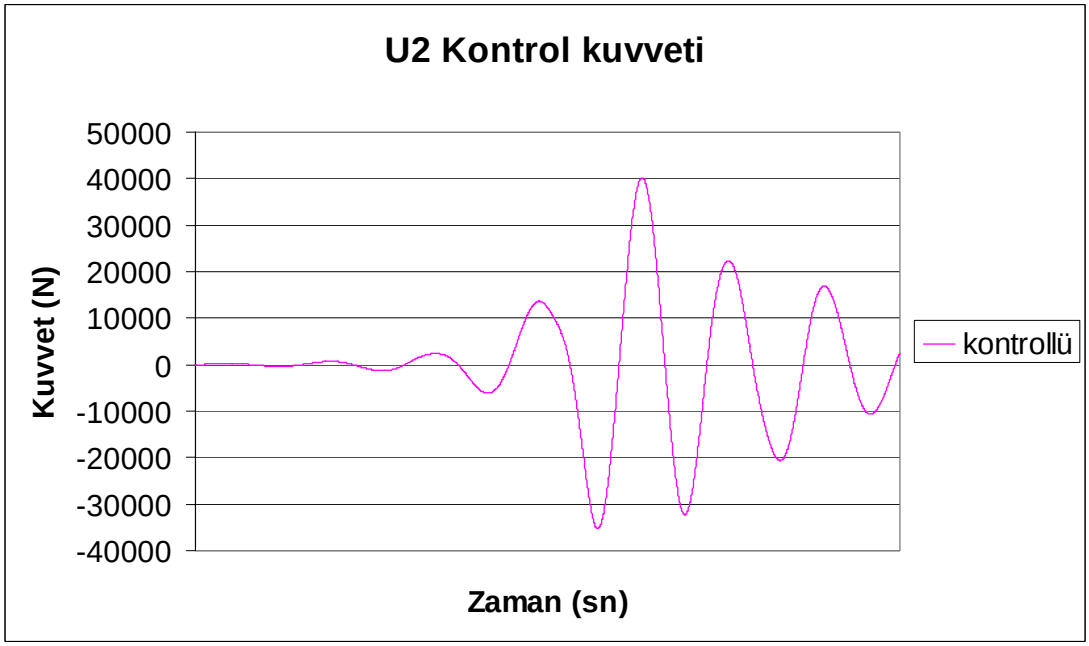
Şekil 5.22 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.23 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.24 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



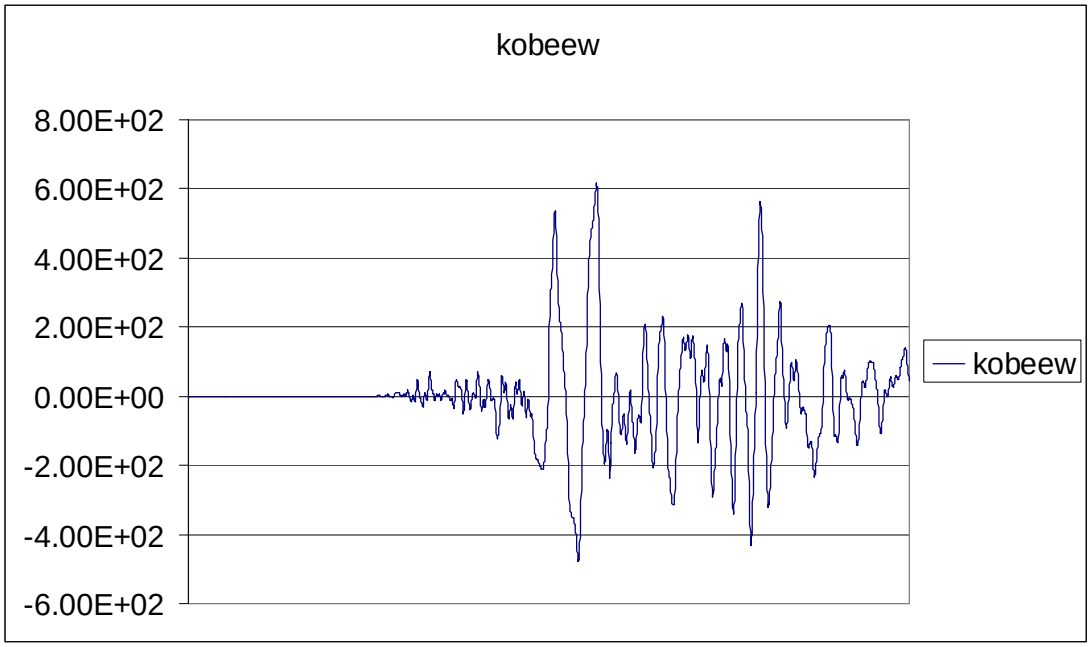
Şekil 5.25 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.6 Kobe Depremi Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler

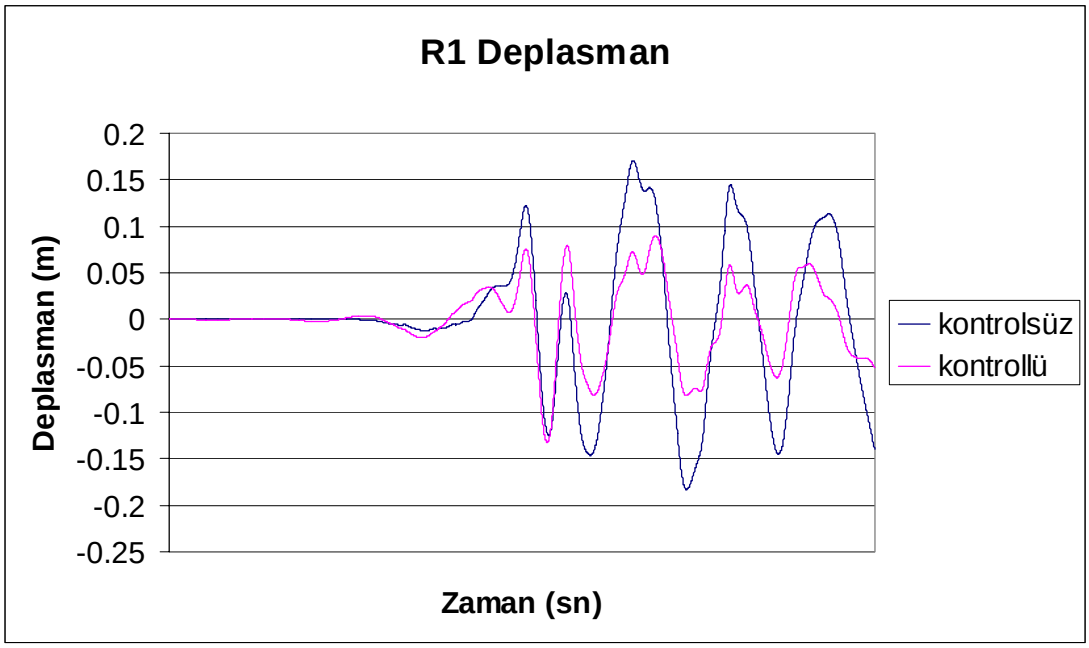
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1831 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0059 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1324 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0048 metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 2.7710e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 2.8482e+004 Newton

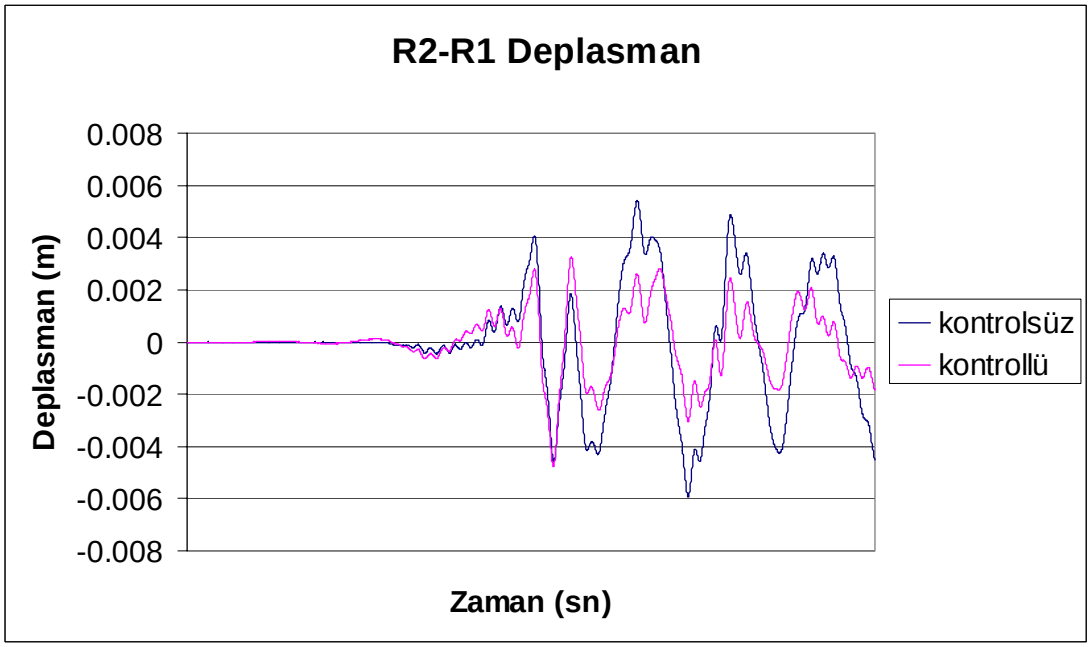
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



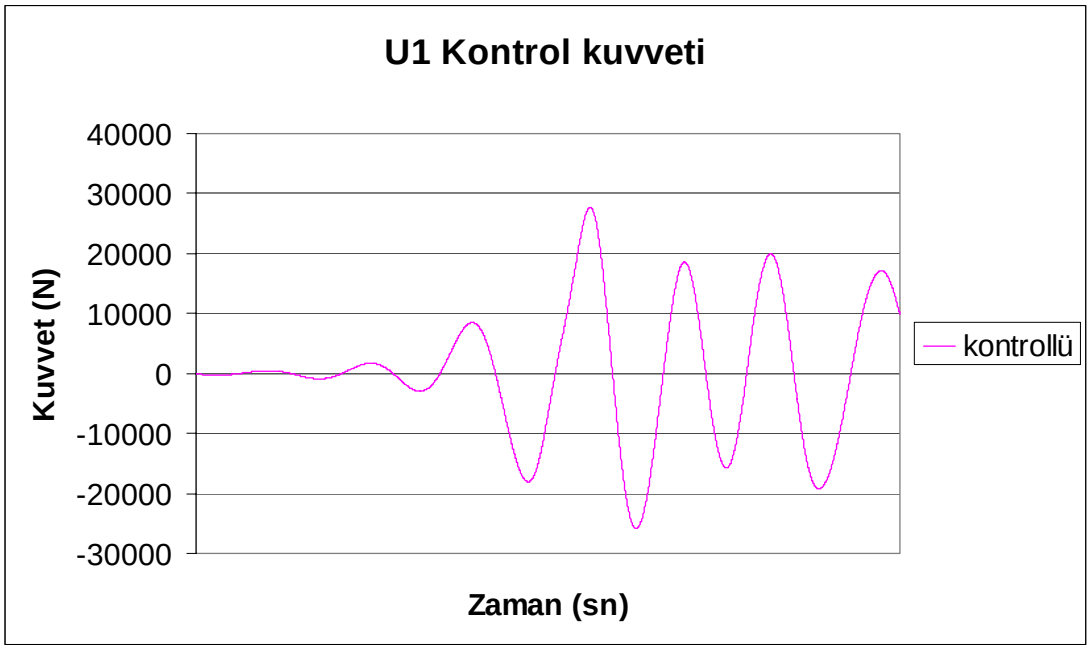
Şekil 5.26 Kobe Depremi Doğu - Batı İvme / Zaman Grafiği



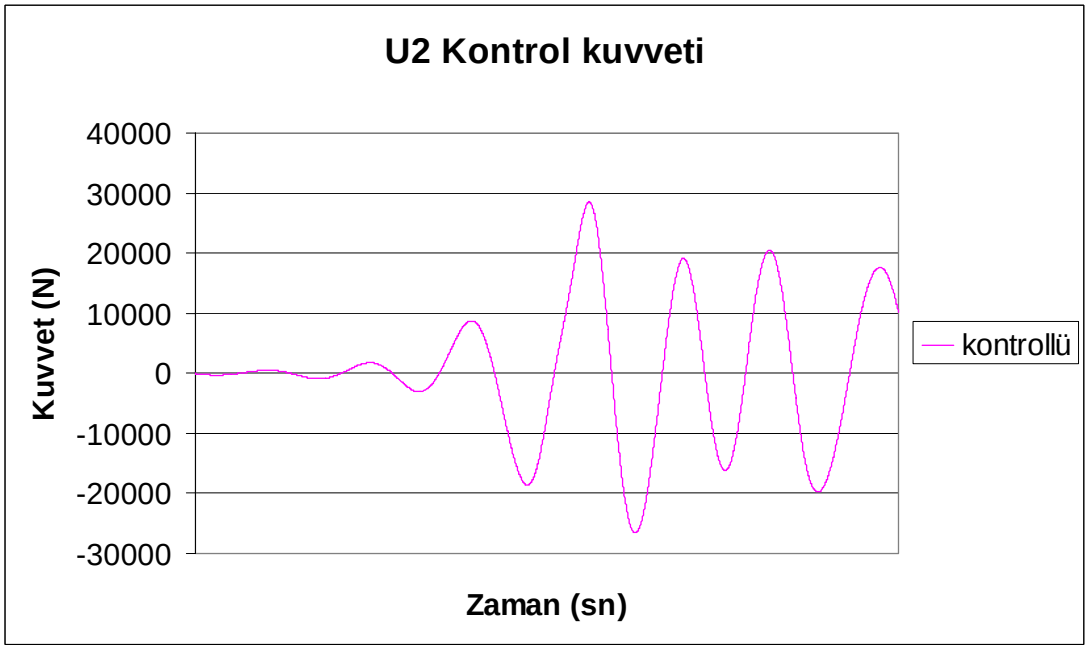
Şekil 5.27 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.28 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.29 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



Şekil 5.30 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.7 Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney Kayıtlarına Ait Grafikler

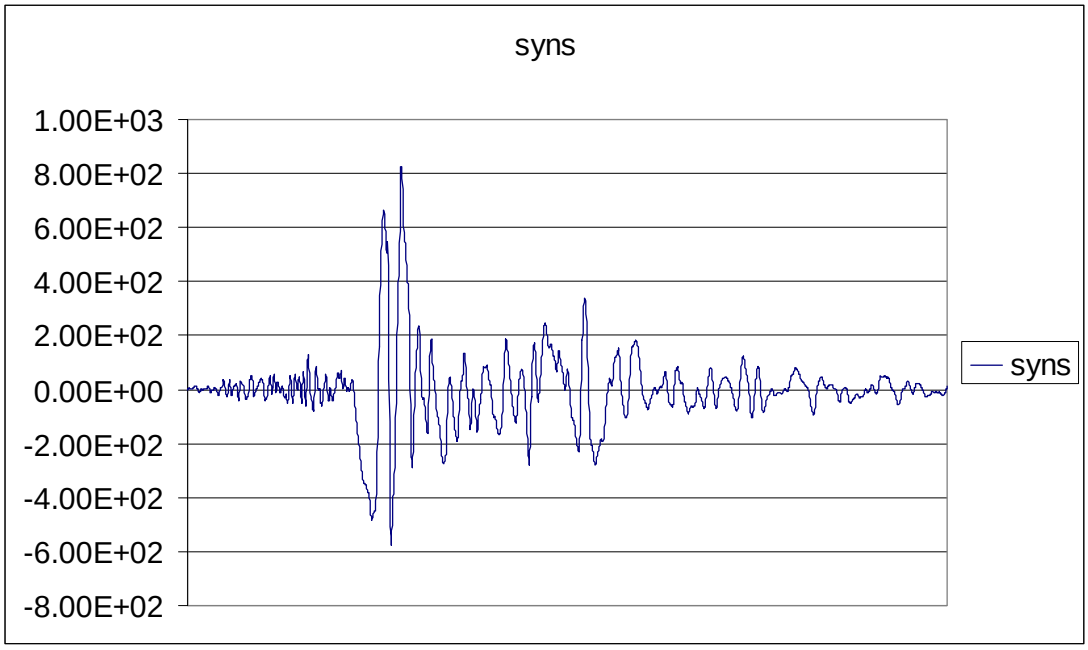
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.5288 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0149 metre

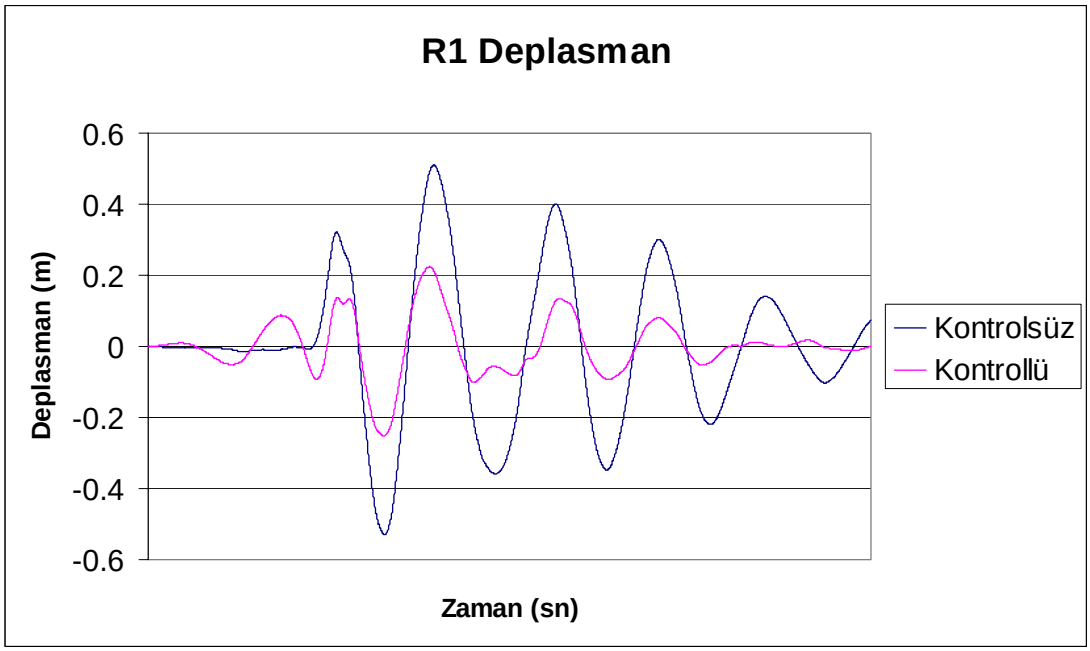
Kontrollü maksimum kayıtlar ;

Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.2511 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0072 metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 8.2911e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 8.5231e+004 Newton

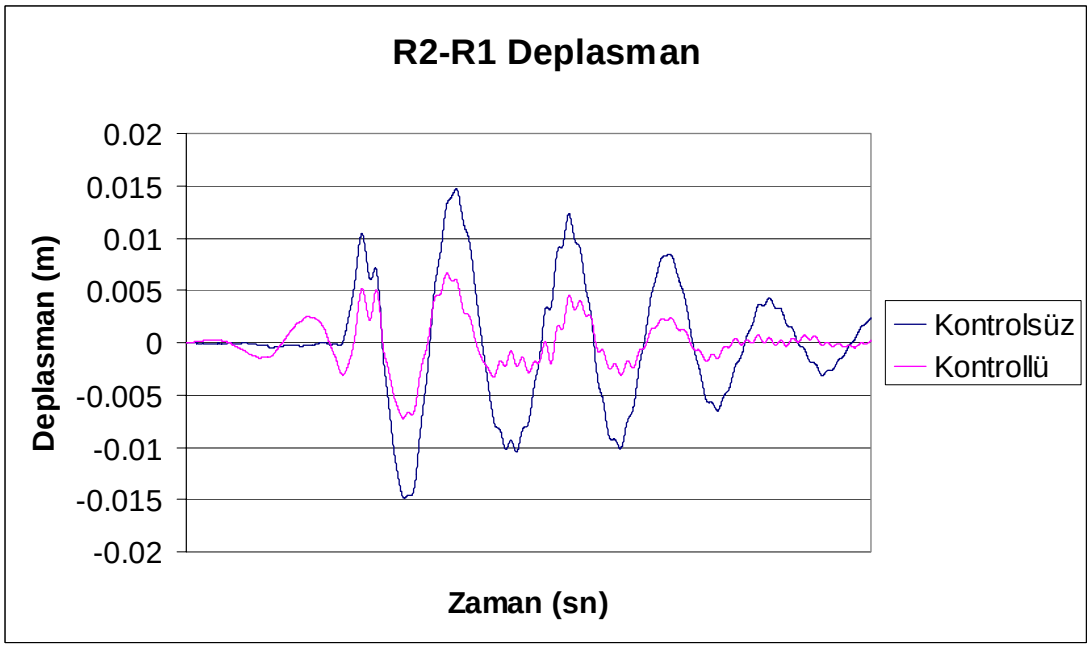
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



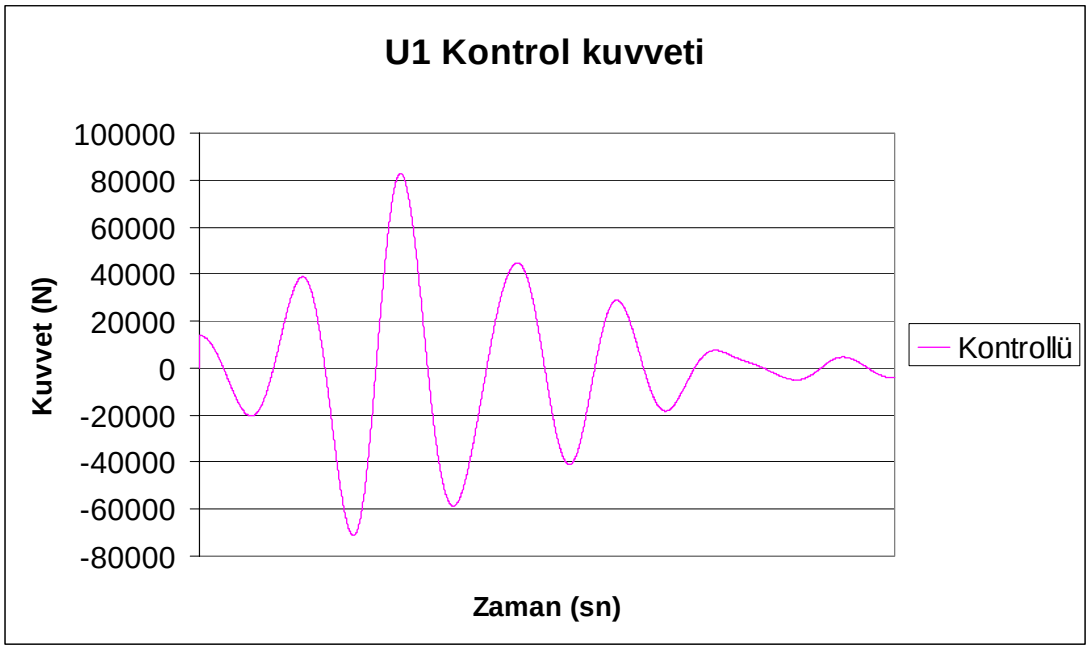
Şekil 5.31 Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney İvme / Zaman Grafiği



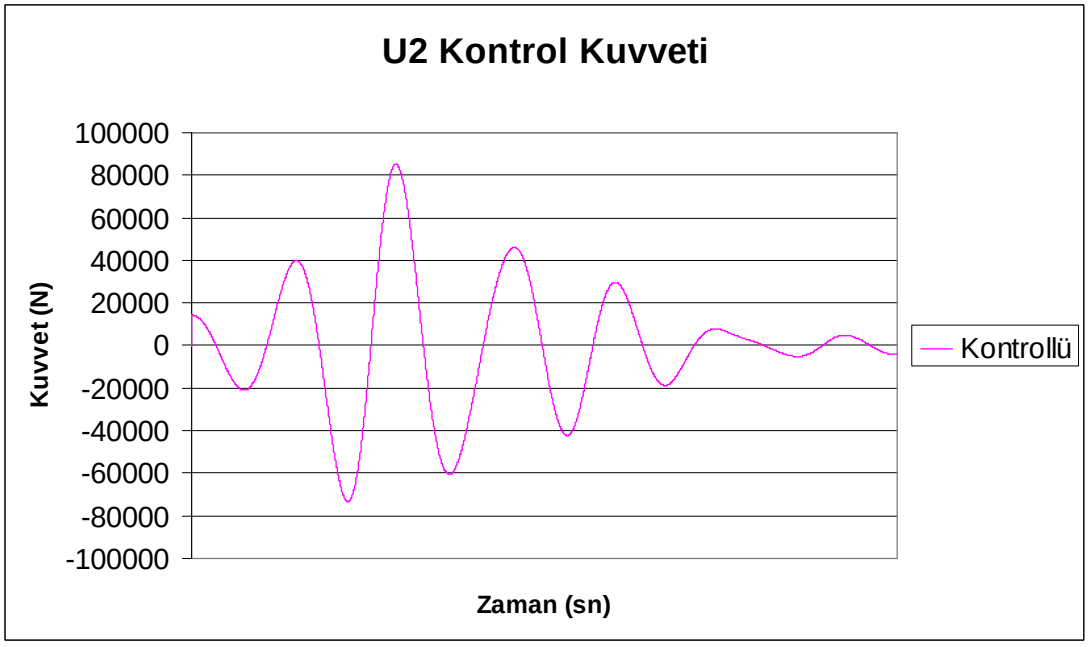
Şekil 5.32 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.33 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.34 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



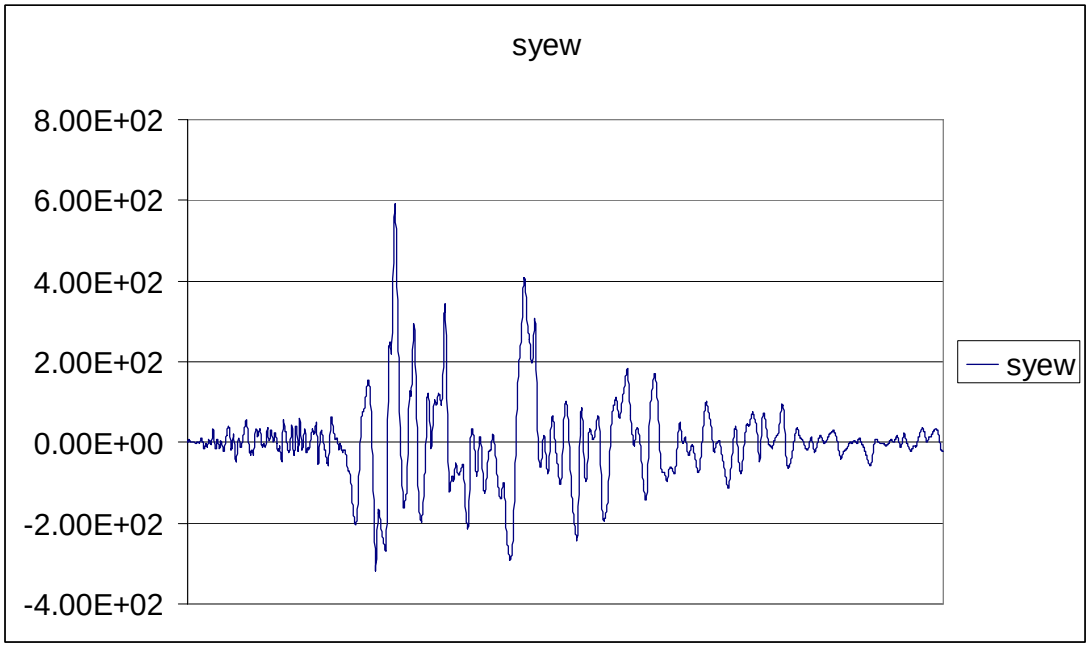
Şekil 5.35 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.8 Northridghe Depremi Sylmar Doğu - Batı Kayıtlarına Ait Grafikler

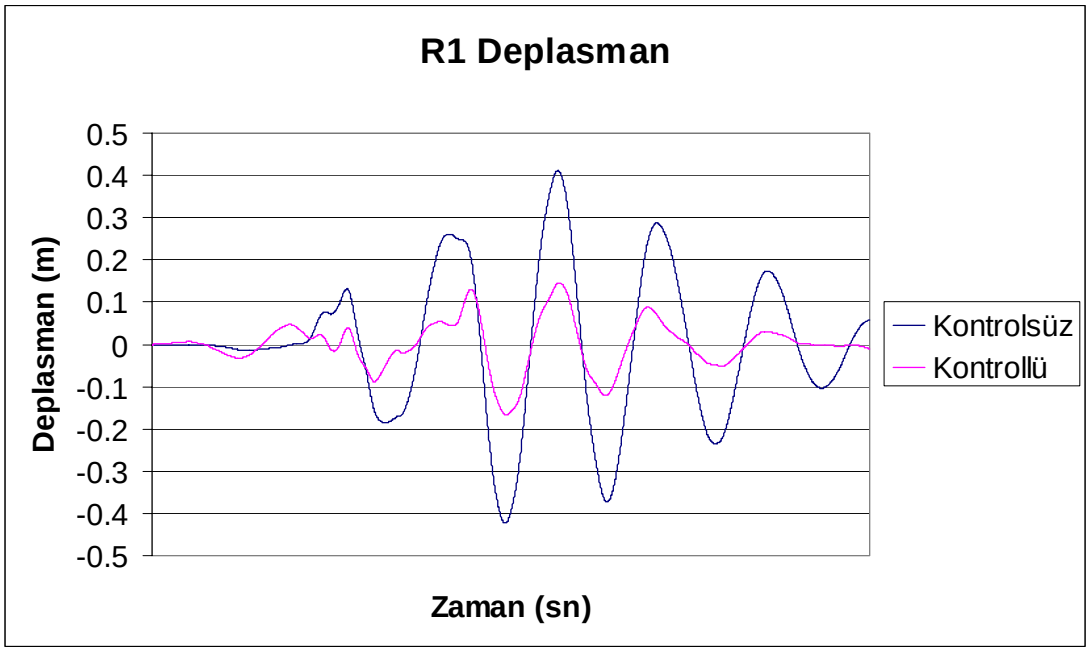
Kontrolsüz maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.4235 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0122 metre

Kontrollü maksimum kayıtlar ;
Birinci kat maksimum deplasman (R1 = absr1) = 0.1666 metre
Katlar arası deplasman farkı (R2-R1 = absr2r1) = 0.0048 metre
Maksimum birinci kat kontrol kuvveti (U1 = absu1) = 5.9967e+004 Newton
Maksimum ikinci kat kontrol kuvveti (U2 = absu2) = 6.1643e+004 Newton

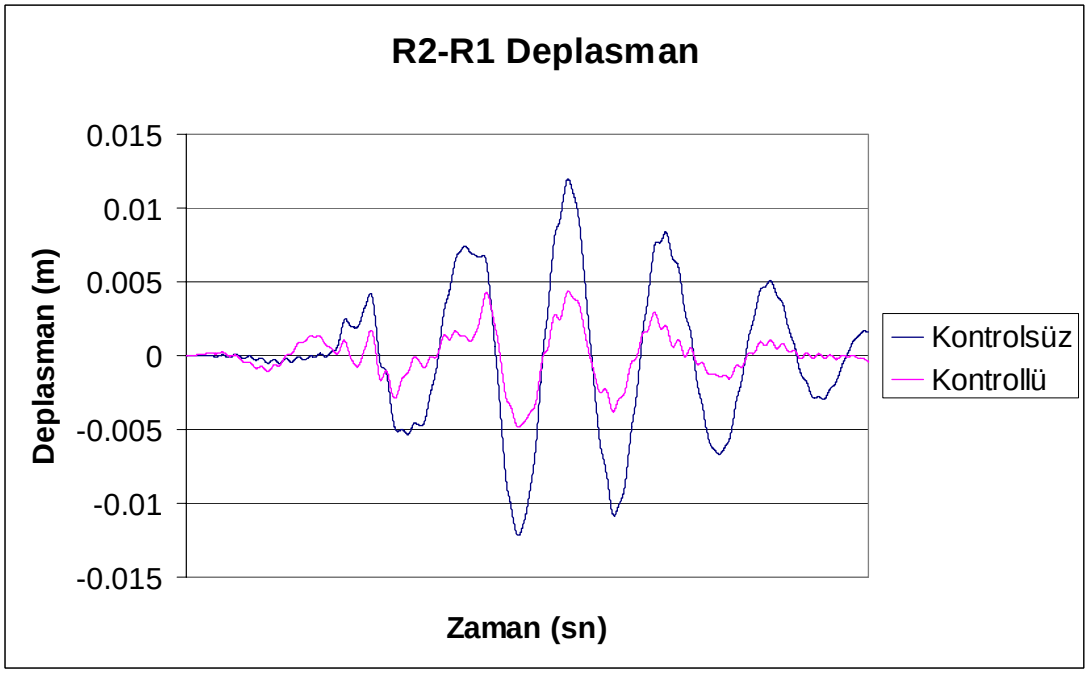
Açıklama : Aşağıda verilen grafikler ilgili depremin 15 sn lik kaydının 0,005 saniye aralıklar göz önüne alınarak izlenmesinden oluşmuştur.



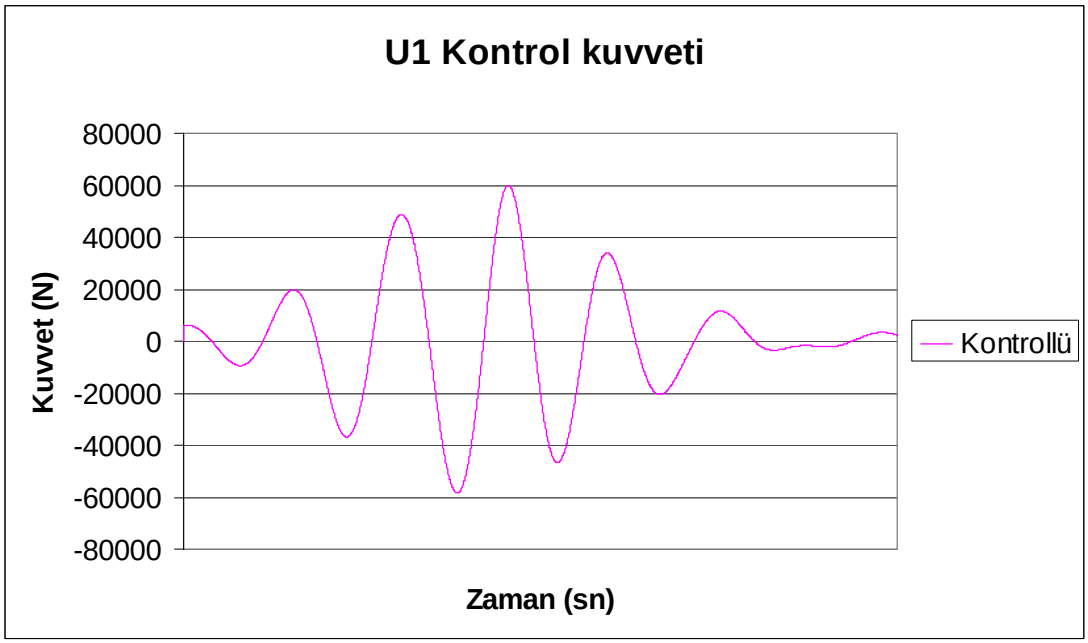
Şekil 5.36 Northridghe Depremi (Sylmar Doğu – Batı) İvme / Zaman Grafiği



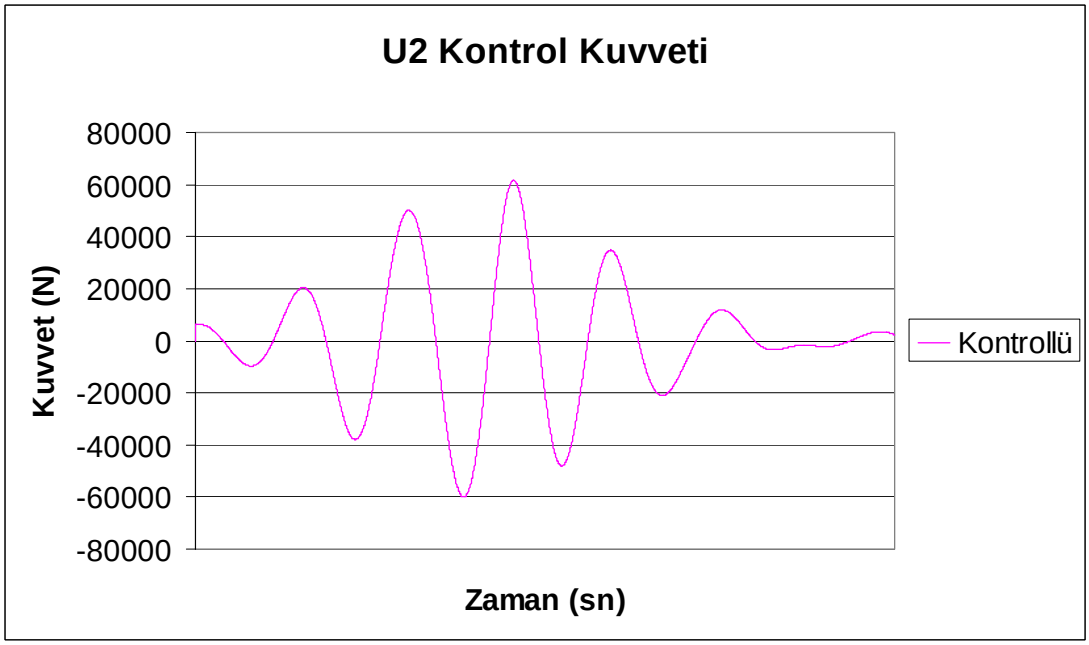
Şekil 5.37 Birinci Kat Deplasman / Zaman Grafiği



Şekil 5.38 Katlar Arası Göreceli Deplasman Farkları / Zaman Grafiği



Şekil 5.39 Birinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği



Şekil 5.40 İkinci Kat Kontrol Kuvveti / Zaman Grafiği

5.9 Depremlerin Karşılaştırılması

Rins : Northridghe Depremi Rinaldi Kuzey-Güney Kaydı

Riew : Northridghe 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 : Northridghe Depremi Sylmar Kuzey-Güney Kaydı

Syew : Northridghe Depremi Sylmar Doğu – Batı Kaydı

Tablo 5.1 Maksimum deplasman ve kontrol kuvvetlerinin karşılaştırılması

		max r1 (m)	max r2-r1 (m)	max U1 (N)	max U2 (N)
rins	kontrolsüz	0.4725	0.0139		
	kontrollü	0.3165	0.0105	6.21 e+004	6.39 e+004
riew	kontrolsüz	0.4878	0.0143		
	kontrollü	0.1949	0.006	6.22 e+004	6.39 e+004
elcns	kontrolsüz	0.191	0.0054		
	kontrollü	0.0966	0.0029	2.29 e+004	2.36 e+004
elcew	kontrolsüz	0.1499	0.0045		
	kontrollü	0.0715	0.0022	2.69 e+004	2.77 e+004
kobens	kontrolsüz	0.2833	0.0094		
	kontrollü	0.1931	0.0063	3.91 e+004	4.02 e+004
kobeew	kontrolsüz	0.1831	0.0059		
	kontrollü	0.1324	0.0048	2.77 e+004	2.85 e+004
syns	kontrolsüz	0.5288	0.0149		
	kontrollü	0.2511	0.0072	8.29 e+004	8.52 e+004
syew	kontrolsüz	0.4235	0.0122		
	kontrollü	0.1666	0.0048	6 e+004	6.16 e+004

6.SONUÇLAR

Toplu kütleli olarak modellenmiş 2 katlı bir yapı için daha önceden kaydedilmiş 4 depremin farklı yönleri için kontrollü ve kapalı-açık cevirim durumları göz önüne alınarak incelemeler yapılmıştır ve sonuç olarak çıkan deplasman ve kapalı – açık çevrim durumundaki kontrol kuvvetleri bulunmuştur.

Bu sonuçlar konu 5'te verilmekte ve maksimum değerleri içermekle beraber, 0.005 sn aralıklarla çizilmiş 15 sn lik deplasman/zaman ve kuvvet/zaman grefikleri depremler arasındaki farklılıkları ortaya koymuştur.Aynı şekilde elimizde bulunan deprem kayıtlarının ivme/zaman grefiği ile diğer grafiklerin uyumluluğu sergilenmiştir.

Çıkan sonuçlarda yapılan incelemeler sonucu sismik izolasyonlu olarak tarif edilen yapımızın yere göre büyük deplasmanlar göstermesine rağmen katlar arası rölatif deplasman farklarının çok fazla olmaması bize modelimizin doğru çalıştığını ispat etmektedir.

Ayrıca kontrol durumunda kontrolsüz duruma göre kat deplasmanlarının ve göreceli kat deplasmanlarının daha düşük olduğu görülmüştür.Bunu yaparkende uygulanılan kontrol kuvvetleri algoritmanın özelliği dahilinde optimal değerlere yakın çalışmışlardır.

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

Mehmet SOYDEMİR 18.06.1982 tarihinde Konya'nın Selçuklu ilçesinde doğdu.İlk öğrenimini Konya İnkılap ilk okulunda aldıktan sonra orta ve lise öğrenimini Konya Meram Anadolu Lisesi'nde tamamladı.2000 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başlayarak 2005 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu.2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği programında eğitimine başladı.