

126950

**DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARIN AKTİF KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ VE
AKTİF KİRİŞ KONTROL SİSTEMLERİ İLE KORUNMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mustafa MELİK
(501001133)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP

Prof. Dr. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü)

MAYIS 2002

126950

ÖNSÖZ

Deprem etkisindeki yapıların aktif kütle sönümleyici ve aktif giriş kontrol sistemi ile korunmasını inceleyen bu yüksek lisans tezinde bana yol gösteren, tüm çalışmam sırasında düşünce ve bilgisinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. A. Necmettin Gündüz' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında manevi desteğini hep yanımda hissettiğim Dr. Ayten Aksakal' a, bana her zaman güvenen ve beni destekleyen aileme ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2002

Mustafa Melik

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 PASİF KONTROL SİSTEMLERİ	4
2.1 Pasif Enerji Sönümleyiciler	4
2.1.1 Eğilmeli Metal Sönümleyiciler	5
2.1.2 Sürtünmeli Sönümleyiciler	6
2.1.3 Viskoelastik Sönümleyiciler	7
2.1.4 Viskoz Sönümleyiciler	7
2.1.5 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler	8
2.1.6 Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler	8
2.2 Taban İzolasyon Sistemleri	9
2.2.1 Sırf Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri	10
2.2.2 Tabakalı Kauçuk Taşıyıcılar	10
2.2.3 Esnek-Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri	11
2.2.4 Electricite de France	11
2.2.5 Yeni Zelanda’da Geliştirilen Sistem	11
2.2.6 Kayıcı Esnek-Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri	11
BÖLÜM 3 AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ	12
3.1 Aktif Kontrol Sistem Çeşitleri	13
3.1.1 Aktif Kiriş Kontrolü	13
3.1.2 Aktif Kütle Sönümleyicisi ve Aktif Kütle Sürücüsü	15
3.1.3 Gravity-Actuator (Yerçekimi-Harekete Geçirici) Sistem	16
3.1.4 Aktif Rijitlik Değiştirici	18
3.2 Aktif Kontrolün Dezavantajları	19
3.2.1 Modelleme Hataları	19
3.2.2 Zaman Gecikmesi	20
3.2.3 Yapının Lineer Olmaması	21
3.2.4 Yapı Parametrelerindeki Belirsizlikler	21
3.2.5 Sensör ve Kontrol Eleman Sayısının Sınırlı Olması	21
BÖLÜM 4 KARMA VE YARI AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ	22
4.1 Karma Kontrol Sistemleri	23
4.1.1 Karma Kütle Sönümleyiciler	23
4.1.2 Karma Taban İzolasyonu	24
4.2 Yarı Aktif Kontrol Sistemleri	24

BÖLÜM 5 KONTROL ALGORİTMALARI	26
5.1 Klasik Optimal Kontrol Algoritması	26
5.2 Ani Optimal Kontrol Algoritması	35
BÖLÜM 6 SAYISAL ÖRNEKLER	43
BÖLÜM 7 SONUÇLAR	46
KAYNAKLAR	48
EKLER	50
ÖZGEÇMİŞ	67



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo B.1 El-Centro Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları	56
Tablo B.2 Dinar Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları	60
Tablo B.3 Marmara Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları	64



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : ADAS Elemanı Monte Edilmiş Çerçeve Sistemi ve ADAS Elemanı Detayı	5
Şekil 2.2 : ADAS Elemanının Kuvvet Etkisinde Yer Değiştirmesi	6
Şekil 2.3 : Sürtünmeli Sönümleyici	6
Şekil 2.4 : Viskoelastik Sönümleyici	7
Şekil 2.5 : Ayarlı Kütle Sönümleyici Tipleri	8
Şekil 2.6 : Taban İzolasyon Sistemlerinin Şematik Diyagramı	9
Şekil 2.7 : Kurşun Çekirdekli Tabakalı Kauçuk Taşıyıcı	10
Şekil 3.1 : Tek Serbestlik Dereceli Aktif Kiriş Kontrol Sistemi	14
Şekil 3.2 : Aktif Kütle Sönümleyici	15
Şekil 3.3 : Kütlenin İvmelendirilmesi Sonucu Oluşan Kuvvet Çiftleri	16
Şekil 3.4 : Gravity-Actuator Sistemi	17
Şekil 3.5 : Aktif Rijitlik Değiştiren Araç	18
Şekil 3.6 : Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı	20
Şekil 4.1 : Karma Kütle Sönümleyici	23
Şekil 4.2 : Yarı Aktif Kütle Sönümleyici (STMD)	24

SEMBOL LİSTESİ

A	: Sistem matrisi
B	: Kontrol kuvvetleri yer matrisi
c_d	: Kütle sönümleyicinin sönüm katsayısı
c_j	: j inci katın iç sönüm katsayısı
C	: Sistemin iç sönüm matrisi
F	: Sistemin kütle vektörü
G	: Sistemin dış sönüm vektörü
H	: Hamiltonian matris
J	: Performans indeksi
k_d	: Kütle sönümleyicinin rijitliği
k_j	: j inci katın rijitliği
K	: Sistemin rijitlik matrisi
L	: Genel kontrol kuvvetleri yer matrisi
m_d	: Kütle sönümleyicinin kütlesi
m_j	: j inci katın kütlesi
M	: Sistemin kütle matrisi
P	: Riccati matrisi
$q(t)$	: Dış etki vektörü
Q	: Semidefinet ağırlık matrisi
R	: Pozitif definet ağırlık matrisi
T	: A matrisinin özdeğerlerini içeren matris
u_d	: Aktif kütle sönümleyicinin kontrol kuvveti
u_m	: Kat kontrol kuvveti
U	: Kontrol kuvvet vektörü
x_d	: Kütle sönümleyicinin yer değiştirmesi
X_j	: j inci katın yer değiştirmesi
$\ddot{X}_0$	: Dış kuvvet vektörü deprem ivmesi
Y_d	: Kütle sönümleyicinin yere göre rölatif yer değiştirmesi
Y	: Kat rölatif yer değiştirmesi
Z	: Karşılık durum vektörü
β_j	: j inci kat dış sönüm katsayısı
λ	: Lagrangian çarpanı, eş durum vektörü
Θ	: A matrisinin kompleks öz değerlerini içeren matris
Δt	: Zaman aralığı

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARIN AKTİF KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ VE AKTİF KİRİŞ KONTROL SİSTEMLERİ İLE KORUNMASI

ÖZET

Günümüzde inşaat alanında ulaşılan teknoloji ve kullanılan malzemeler sayesinde; binalar daha yüksek ve esnek bir şekilde inşa edilebilmektedir. Yapıların daha esnek olmasının yanında artan güvenlik değerleri ve maliyetleri azaltma çabalarının sonucu olarak yapı kontrolünde yeni koruma yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler 4 ana başlığa ayrılabilir. Bunlar;

- i) Pasif kontrol sistemleri,
- ii) Aktif kontrol sistemleri,
- iii) Karma kontrol sistemleri,
- iv) Yarı aktif kontrol sistemleridir.

Pasif kontrol sistemleri; yapının dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla, yapıya yerleştirilen özel elemanlardır. Maliyeti düşük olan ve dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymayan pasif kontrol sistemleri, sismik izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönmüleyiciler olarak iki gruba ayrılabilir. Sismik izolasyon sistemleri, temele yerleştirilen izolatörler aracılığı ile yapıyı zeminin titreşiminden korur. Pasif enerji sönmüleyiciler ise sistemin enerji yutma kapasitesini artırır. Yüksek olmayan binaların korunmasında etkili olan pasif kontrol sistemleri kendilerini dış etkiye göre uyarlayamazlar.

Aktif kontrol sistemleri, dışarıdan bir enerji kaynağı yardımıyla yapının deplasmanını istenilen düzeyde tutmak için geliştirilen sistemlerdir. Aktif kontrol sistemlerinin geliştirilmesinin başlıca sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1) Aktif kontrolün yerleştirilmesinin bir amacı aşırı titreşimlere karşı binayı korumaktır.

2) Aktif kontrol sistemleri binaya daha az yer kaplayacak şekilde monte edilebildiklerinden pasif kontrol sistemleri gibi çok yer kaplamazlar.

3) Herhangi bir nedenle; beklenmeyen bir dış yük ile karşılaştığında yapı zarar görebilir; hatta yıkılabilir. Aktif kontrol kullanılmadığında yıkılabilecek bir bina, aktif kontrol sistemi kullanılarak kurtarılabilir. Bu ekstra korumanın önemi, deniz üzerindeki platformlar, hastaneler ve nükleer enerji santralleri gibi pahalı yapılar düşünüldüğünde dahada önem kazanmaktadır.

4) Aktif kontrol sistemlerinin monte edilmesi ile değerli veya çok hassas malzemeleri barındıran binalar; tehlikelerden korunabilir.

5) Pasif kontrol elemanları yapının depreme karşı preformansını artırmakla birlikte; sistemin doğasından kaynaklanan bir takım nedenlerle başarıları sınırlı kalmaktadır. Örneğin ayarlı kütle sönümleyiciler genelde birinci mod frekansa göre ayarlandıkları için sadece birinci modun etkin olduğu titreşimlerde etkilidirler. Ancak aktif kontrol sistemleri daha geniş bir frekans aralığında başarılıdırlar.

6) Aktif kontrol sistemlerinin yapıda kullanılması, malzemenin iyi kullanılmasını ve maliyetlerin düşmesini sağlayabilir.

Aktif kontrol sisteminin yapı kontrolünde pratik olarak kullanılması için özölmesi gereken birçok sorun vardır. Bunlar;

- 1) Kontrol kuvvetinin oluşturulması sorunu,
- 2) Kontrol kuvvetinin oluşturulması ve kontrol sisteminin çalışması için gerekli enerjinin sürekli hazır bulundurulması sorunu,
- 3) Aktif kontrol sisteminin kurulması için gerekli sermaye ve sistemin devamlı çalışması için gerekli bakım masraflarının çokluğu,
- 4) Büyük kontrol kuvvetinin yapıda stabilite sorununa neden olma olasılığıdır.

Aktif kontrol sistemleri, ideal durumdaki ideal sistemler için geliştirilmiştir. Yukarıda belirtilen problemlerin dışında sistemin gerçek zamanlı uygulamaları esnasında birçok önemli problem ortaya çıkmaktadır. Oluşabilecek problemler aşağıda sıralanmıştır.

- i) Modelleme Hataları,
- ii) Zaman Gecikmesi,
- iii) Yapının Lineer Olmaması,
- iv) Yapı Parametrelerindeki Belirsizlikler,
- v) Sensör ve Kontrol Eleman Sayısının Sınırlı Olması.

Aktif kontrol sistemlerinin yapıyı dış etkiye karşı koruması için gerekli enerjinin çok olması ve pasif kontrol sistemlerinin depremlere karşı kendilerini uyarlayamamaları karma kontrol sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Karma kontrol sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birarada kullanılması olarak tanımlanabilir. Karma kontrol sistemleri, iki ayrı sistemin birlikte kullanılmasından dolayı performansı yüksek olan ancak projelendirilmesi oldukça karmaşık sistemlerdir.

Yukarıda bahsedilen kontrol sistemleri dışında, yapıların dış etkilere karşı korunmasında yarı aktif kontrol sistemi de kullanılabilir. Yarı aktif kontrol sistemi kontrol edilebilen pasif elemanlar olarak tanımlanabilir. Pasif sistemin özellikleri ile

aktif sistemin kendisini depreme göre adapte edebilme özelliğini birleştiren sistemlerdir. Sistemin çalışması için gerekli enerji çok azdır ve sisteme mekanik enerji yüklemesler. Dolayısıyla yarı aktif kontrol sistemleri, yapıda stabilite sorununa neden olmazlar.

Klasik optimal kontrol algoritması; binaların deprem etkisine karşı korunmasında kullanılamamaktadır. Bunun nedeni, klasik optimal kontrol algoritma denklemlerinin çözümü için deprem ivmesinin önceden bilinmesi gereğidir. Bu sebeple ani optimal kontrol algoritması geliştirilmiştir. Ani optimal kontrol algoritması zemine yerleştirilen sensörler aracılığı ile herhangi bir (t) anında $o(t)$ anına kadar olan zemin hareketinin kaydedilmiş değerlerini kullanır.

Bu tez çalışmasında ani optimal kontrol algoritmasının deprem karşısındaki etkisini göstermek amacıyla 3 adet deprem için aktif giriş kontrol ve aktif kütle sönümleyici sistemi kullanılarak çözüm yapılmıştır. Sayısal örneğin çözümünün yapılması için ani optimal kapalı çevri kontrol algoritması kullanılarak aktif giriş ve aktif kütle kontrolü için Matlab programlama dilinde 2 ayrı bilgisayar programı geliştirilmiştir. Örneğin çözümünde 10 katlı bir bina seçilmiş ve binanın karakteristik özellikleri her katta aynı alınmıştır.

Tez çalışmasının sonuçları göstermektedirki, her iki sistem de teorik olarak deprem etkisindeki yapıların korunmasında başarılı olmuş, yapının deplasmanında %50 ye varan azalmalar meydana getirmişlerdir.

ACTIVE MASS DAMPER AND ACTIVE TENDON CONTROL FOR EARTHQUAKE EXCITED STRUCTURES

SUMMARY

Today it is possible to construct taller and more flexible buildings, which is due to the advancement of technology and the usage of high quality materials. Moreover, increasing safety levels and the need to decrease the cost of buildings has led to the introduction of new control systems. These are:

- i) Passive control system
- ii) Active control system
- iii) Hybrid control system
- iv) Semiactive control system

Passive control systems are those into which special materials are placed in order to make buildings resistant to environmental loads. The basic characteristics of passive control systems are their low cost and their ability to operate without necessitating an external power source. These systems can be classified under two categories: 1) Base isolation systems; 2) Passive energy dissipation systems. Base isolation systems preserve buildings from vibration with the help of isolators placed in the buildings base. Passive energy dissipation systems increase the potential of energy absorption of the system. However passive systems are unable to react to external loads and therefore they are more effective in the control of shorter buildings.

In structural engineering, active structural control has become known as an area of research in which the motion of a structure is controlled or modified by means of the action of a control system through some external energy supply. Active systems are presently under close scrutiny in terms of their future structural applicability stemming from a number of motivating factors. They include the following:

1) With the advent of new materials and new construction methods, structures are becoming taller, longer and more flexible. The application of active control is one of the options in safeguarding such structures against excessive vibrations.

2) Active systems can be attractive candidates for retrofitting or strengthening existing structures against, for example, earthquake hazard. Current passive means of using interior shear walls or base isolation system are structurally invasive. Active

systems, on the other hand, can be more effective and can be incorporated into an existing structure with less interference.

3) Civil engineering structures are not designed to withstand all possible external loads. However, extraordinary loading episodes do occur, resulting in structural damage or even failure. Active control in this context can mean a last resort attempt to save a structure which, without it, would not be able to survive. This extra protection is particularly attractive when one considers the high cost of some recent large structures such as deep-water offshore platforms, hospitals and nuclear plants.

4) Some structures house valuable and sensitive equipment or secondary systems. Their operating safety is of paramount importance. Active control can thus be applied at the substructure's level to ensure proper operating conditions for secondary systems.

5) Passive control systems have inherent limitations. For example, the tuned mass damper system, is tuned to the first modal frequency of the structure, it is basically designed to reduce only a first mode vibration. An active mass damper, on the other hand, can be effective over a much wider frequency range.

6) Finally integration of active control systems in an optimal fashion can conceivably result in better utilization of material at lower costs.

There are various problems that must be overcome before the practical application of active control systems in building control. These are:

- 1) The difficulty of generating control force,
- 2) The difficulty of providing the required amount of energy for the operation of control systems.
- 3) The large amount of capital required for the assembly of the control system and the high cost of its maintenance.
- 4) The possibility of creating detrimental effects after the assembly of the system, by jeopardizing the stability of the building.

Active control systems are largely based on idealized system descriptions under ideal conditions. In terms of real-time application, it has been pointed out that a number of important problems must be addressed from a practical standpoint.

- i) Modelling Errors
- ii) Time Delay
- iii) Structural Nonlinearities
- iv) Uncertainties in Structural Parameters
- v) Limited Number of Sensors and Controllers

Hybrid control system are typically defined as a combination of passive and active devices. Because multiple control devices are operating, hybrid control systems can alleviate some of the restrictions and limitations that exist when each system is acting alone. Additionally, the resulting hybrid control can be more reliable than a fully active system, although it is also often somewhat more complicated.

Semiactive control system are often viewed as controllable passive systems. Control strategies based on semiactive devices appear to combine the best features of both passive and active control systems. Semiactive control systems are a class of active control systems for which the external energy requirements are orders of magnitude smaller than typical active control systems. Typically, semiactive control devices do not add mechanical energy to the structural system, therefore bounded-input/ bounded-output stability is guaranteed.

It is not possible to apply classical optimal control algorithm to the control of building against the effects of earthquakes. This is because, the entire earthquake acceleration history should be known a priori for these algorithms to be applicable. Due to this fact, the instantaneous optimal control algorithm has been introduced. Although the entire earthquake base excitation history to the building is not known a priori, it can be measured in real-time on-line by installing sensors in the basement floor. In other words, at any time (t), the earthquake record is available up to that time instant (t). Such measured information is used in the instantaneous optimal control algorithm.

In this thesis project, the application of active tendon control and active mass damper systems are analysed in three different earthquake studies in order to demonstrate the effect of instantaneous optimal control algorithm in an earthquake situation. To achieve the goal summarised above, 2 different computer programs are developed in Matlab code. In order to solve the problem, a 10 storey building, with identical structural properties in every storey, was chosen.

The results of this project are; theoretically both system are effective in the control of earthquake excited buildings. Both system succeed in decreasing the displacement of the building by up to 50 %.

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda gerek inşaat teknolojisinde gerekse kullanılan malzeme çeşit ve kalitesinde ortaya çıkan gelişmeler sonucunda; yapılar daha yüksek ve daha esnek inşa edilmektedirler. Bu tür narin yapıların dış etkiler karşısındaki titreşimlerini azaltmak için yapının kesitleri büyütülebilir veya titreşimleri azaltacak mekanik elemanlar yerleştirilebilir. Burada amaç yapıda, dış etki nedeniyle oluşan kesit zorlarını ve yer değiştirmeleri güvenlik sınırları içinde tutmak ve yapının bu etki karşısında korunmasını sağlamaktır. Yapının korunması için geliştirilen sistemler dört bölüme ayrılabilir. Bunlar;

- i) Pasif kontrol sistemleri,
- ii) Aktif kontrol sistemleri,
- iii) Karma kontrol sistemleri,
- iv) Yarı aktif kontrol sistemleridir.

Pasif kontrol sistemleri; yapıya yerleştirilen özel elemanlar olup, yapının dış etkilere karşı dayanıklılığını artırır. Maliyeti düşük olan ve dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymayan pasif sistemler, sismik izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönmüleyiciler olarak iki gruba ayrılabilir. Sismik izolasyon sistemleri, temele yerleştirilen izolatörler aracılığı ile yapıyı zeminin titreşiminden korur. Pasif enerji sönmüleyiciler ise sistemin enerji yutma kapasitesini artırır. Yüksek olmayan binaların korunmasında etkili olan pasif kontrol sistemleri kendilerini dış etkiye göre uyarlayamazlar. Projelendirildikleri depremden daha şiddetli bir depreme maruz kaldıklarında etkili olamazlar.

Aktif kontrol sistemlerinde, yapıya dışarıdan verilen etkiyi ölçüp, elde edilen bu verilerin değerlendirilmesinden sonra dış etkiyi azaltacak kontrol kuvvetleri hesaplanıp uygulanır. Dolayısıyla teorik olarak tüm dış etkiler için kullanılabilir. Aktif kontrol sistemleri sadece yapıyı kullananların hayatını kurtarmak için geliştirilmiş sistemler değildir. Aynı zamanda yapının kendisi ile içindeki malzemelerinde korunması ve bu malzemelerin düzgün olarak çalışmaları amaçlanmaktadır. Hastane, nükleer santral gibi yapıların deprem sonrasında da görevlerini eksiksiz yerine getirmeleri hayati önem taşıdığı için, bu tür yapıların korunmasında aktif kontrol sistemi uygundur.

Aktif kontrol sistemlerinde; yapılar yükseldikçe veya depremin şiddeti arttıkça, sistemin çalışması ve yapıyı dış etkiden koruması için gerekli enerji miktarı artmaktadır. Bu nedenle aktif kontrol sistemleri genelde yüksek olmayan yapıların, orta şiddetli deprem etkisine karşı korunmasında daha etkili sistemlerdir. Bunun yanı sıra yapıyı korumak için dışarıdan verilen enerjinin artması, yapıda stabilite sorununa neden olabilir.

Pasif kontrol sistemlerinin depremlere karşı kendilerini uyarlayamamaları ve aktif kontrol sistemlerinin yapıyı dış etkiye karşı koruması için gerekli enerjinin çok olması karma kontrol sistemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Karma kontrol sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birarada kullanılması olarak tanımlanabilir. Karma kontrol sistemleri, iki ayrı sistemin birlikte kullanılmasından dolayı performansı yüksek olan ancak projelendirilmesi oldukça karmaşık sistemlerdir.

Yukarıda bahsedilen kontrol sistemleri dışında, yapıların dış etkilere karşı korunmasında yarı aktif kontrol sistemi de kullanılabilir. Yarı aktif kontrol sistemi kontrol edilebilen pasif elemanlar olarak tanımlanabilir. Pasif sistemin özellikleri ile aktif sistemin kendisini depreme göre adapte edebilme özelliğini birleştiren sistemlerdir. Sistemin çalışması için gerekli enerji çok azdır ve sisteme mekanik enerji yüklemeyiz. Dolayısıyla yarı aktif kontrol sistemleri, yapıda stabilite sorununa neden olmazlar.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde genel olarak pasif kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiş, üçüncü bölümünde aktif kontrol sistemleri açıklanarak,

değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde karma ve yarı aktif kontrol sistemleri üzerinde durulmuştur. Beşinci bölümde ise aktif kontrol sistemleri için geliştirilmiş klasik ve ani optimal kontrol algoritmaları incelenmiştir. Sayısal örneklerin yer aldığı altıncı bölümde ise ani optimal kontrol algoritması, aktif giriş ve aktif kütle kontrol sistemleri 10 katlı bir binaya uygulanarak elde edilen sonuçlar yedinci bölümde değerlendirilmeye çalışılmıştır.



BÖLÜM 2

PASİF KONTROL SİSTEMLERİ

Pasif kontrol sistemleri; yapıya yerleştirilen özel elemanlar aracılığı ile deprem, şiddetli rüzgar vb. nedenlerle sisteme dışarıdan giren enerjiyi ısıya dönüştürür veya üzerlerine alırlar. Dolayısıyla yapının bu dış etkilere karşı tepkisinde azalma meydana getirmek suretiyle, yapının dayanma kapasitesinin artmasını sağlarlar.

Pasif kontrol sistemlerinin hesabı kolay ve maliyeti düşüktür. Dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla deprem esnasında oluşabilecek güç kesintisinden etkilenmedikleri gibi; dış enerji vermediği için yapıda stabilite sorununda neden olmazlar. Fakat bununla birlikte aktif kontrol sistemleri kadar etkin değildirler. Yapının ömrü boyunca maruz kalabileceği deprem şiddetleri göz önüne alınarak hesap edilirler. Tasarlanandan daha şiddetli bir deprem meydana gelirse yapıda büyük deformasyonlar oluşabilir. ^[1]

Pasif kontrol sistemleri; Taban İzolasyon Sistemleri ve Pasif Enerji Sönümleyiciler olarak iki gruba ayrılabilir. Taban izolasyon sistemleri; yapının zeminin titreşiminden korunması için temele izolatörler yerleştirilmesidir. Pasif enerji sönümleyiciler ise sisteme ilave edilen araçlar sayesinde sistemin enerji yutma kapasitesini artırır. ^[2]

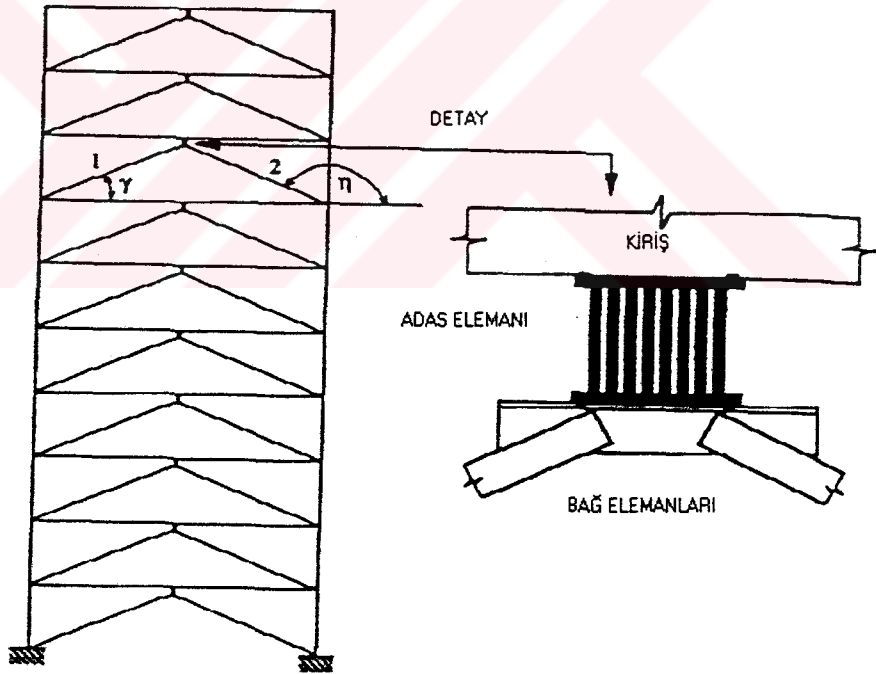
2.1 PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER

Pasif enerji sönümleyiciler; deprem ve şiddetli rüzgar gibi dış etkilerin yapıya verdiği enerjiden dolayı oluşan kesit zorlarını ve yerdeğiştirmeleri istenilen düzeyde tutmak için geliştirilmiş mekanik aletlerdir.

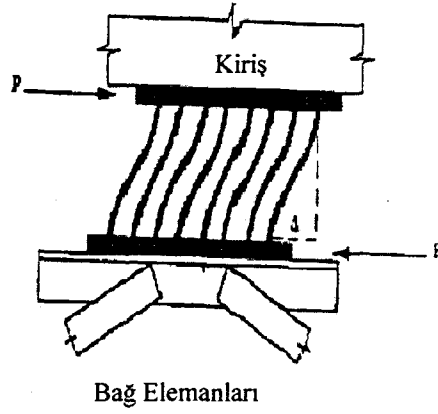
Enerji sönümlemek; kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürmek veya enerjiyi titreşim modlarına transfer etmek şeklinde olabilir. Birinci yol sürtünme katsayısıyla, metallerin eğilmesiyle, metallerin faz değiştirmesiyle, viskoelastik katı ve sıvıların deformasyonu ile olabilir. İkinci yol ise yapıya sarkaç ilave ederek, sarkacın dinamik sönümleyici gibi davranmasını sağlayarak gerçekleştirilebilir.

2.1.1 Eğilmeli Metal Sönümleyiciler

Binaya yerleştirilen yumuşak çelik elemanların elastik olmayan deformasyon yapması sonucu enerji yutulur. Enerjinin belli noktalarda yoğunlaşması sağlanır ve bu sayede taşıyıcı sistem zarar görmez. Şekil değiştirmiş araçlar daha sonra sökülebilir ve yerine yenisi takılabilir. Bu sistem için bükülebilen kiriş, esnek kiriş, U-şerit enerji sönümleyici gibi bir çok eleman geliştirilmiştir.



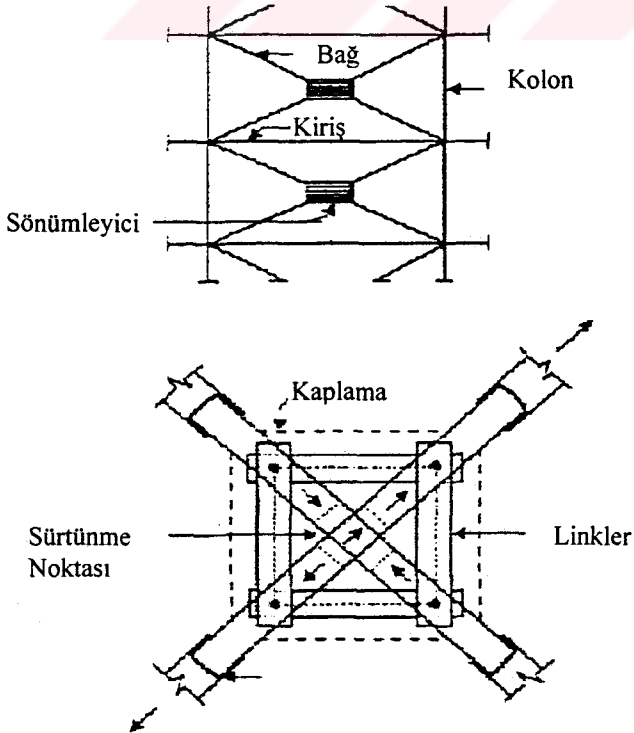
Şekil 2.1 ADAS Elemanı Monte Edilmiş Çerçeve Sistemi ve ADAS Elemanı Detayı



Şekil 2.2 ADAS Elemanının Kuvvet Etkisinde Yer Değiştirmesi

2.1.2 Sürtünmeli Sönümleyiciler

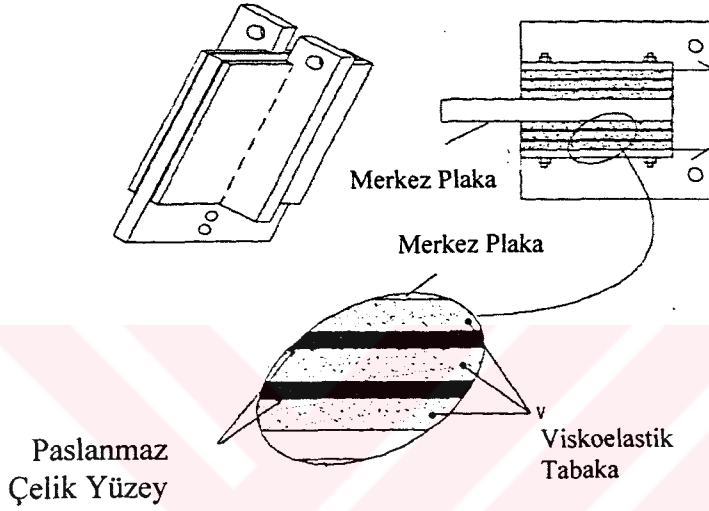
Sürtünmeli araçlar yapıya eklenen elemanlar aracılığı ile hareketin kinetik enerjisini ısı enerjisine dönüştürürler. Bu elemanlar yapıdaki kuşaklamalar arasına koyulan enerji yutuculardır. Elemanlardaki kayma sürtünmesi aracılığı ile sönüm sağlanır. Kuşaklamalar belli bir miktar yük taşırken, kalan yükler de düzlem çerçeveler tarafından taşınır^[3]. Enerjinin yapı içinde dağılması sayesinde sönüm kapasitesinde önemli artış sağlanır. ^[4]



Şekil 2.3 Sürtünmeli Sönümleyici

2.1.3 Viskoelastik Sönümleyiciler

Metalik ve sürtünmeli araçlar öncelikle sismik etki için tanımlanmıştır. Diğer taraftan viskoelastik katı maddeler her seviyedeki deformasyon enerjisini azaltmak için kullanılabilir. Dolayısıyla viskoelastik sönümleyiciler hem rüzgar hem de depreme karşı korumada kullanılabilir.



Şekil 2.4 Viskoelastik Sönümleyici

Metalik ve sürtünmeli sönümleyicilerden farklı olarak viskoelastik sönümleyici içeren lineer yapı lineer kalmaktadır. İnşaat mühendisliğinde kullanılan viskoelastik malzemeler genelde copolimer veya camsı maddelerdir. Sönümleyiciler viskoz sönümün artmasına yardımcı olduğu gibi yanıl rijitliği de artırır.

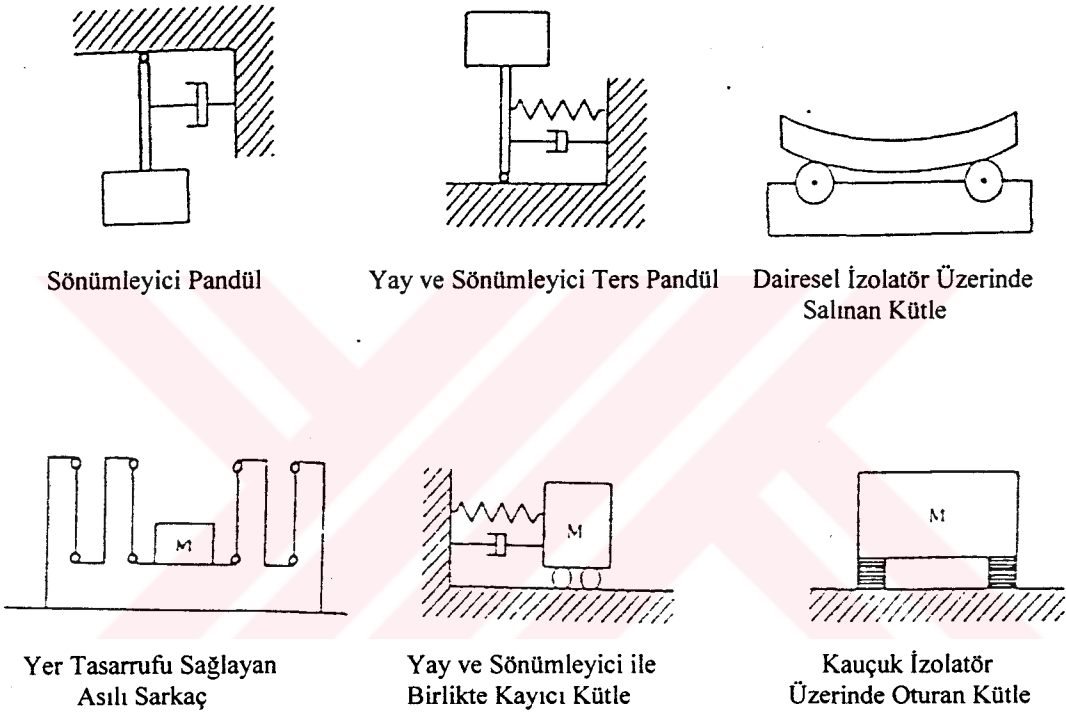
2.1.4 Viskoz Sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler genelde silikon veya yağın bir bileşeni ile dolu olup içlerinde piston bulundurmaktadırlar.

Viskoz malzemenin geniş frekans aralığında etkili olması, ısıya duyarlı olması ve darbe etkisine karşı sıkıştırılmıyor olması gibi özellikleri bu malzemenin yapı uygulamalarında kullanılmasında etkili olmuştur. Viskoz sönümleyiciler genelde uzay çalışmaları ve askeri alanlarda kullanılmıştır.

2.1.5 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

Ayarlı kütle sönümleyeciler frekansa bağlı bir hareket oluşturup yapının sürtünmesini artıran, yay ve sürtünme elemanları ile uyumlu ikincil bir ağırlık içermektedir. Rüzgar etkisi altındaki yapılarda başarısı kanıtlanmıştır. Son yıllarda depremdeki etkisini artırmak için sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır.



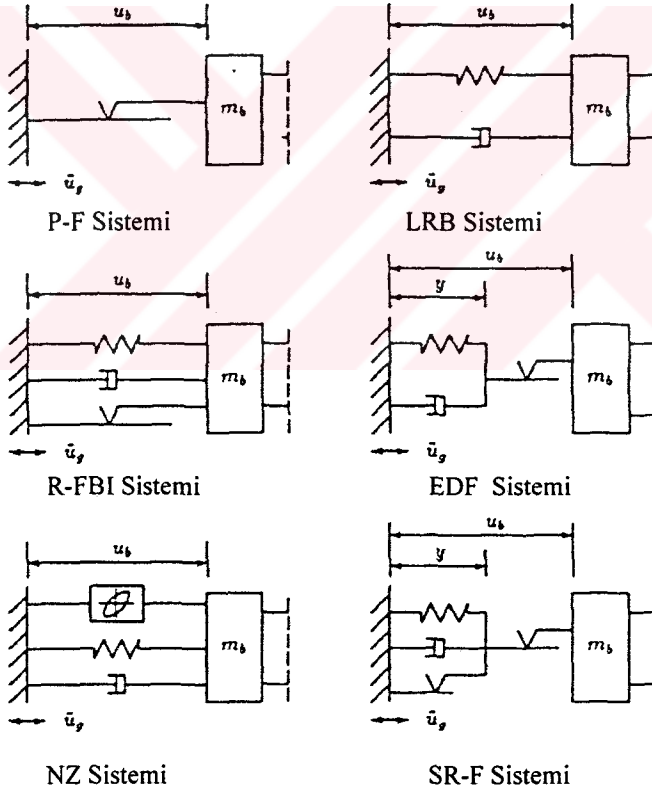
Şekil 2.5 Ayarlı Kütle Sönümleyici Tipleri

2.1.6 Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler

Ayarlı sıvı sönümleyiciler de, ayarlı kütle sönümleyicilerine benzer olarak yapıya indirek sönüm verip yapının performansını artırır. Yapının enerjisini akışkanın viskoz hareketi ve dalga kıranlarla azaltır. Çalışmalar sonucu rüzgarın neden olduğu titreşimlere karşı pratik bir uygulama geliştirilmiştir.

2.2 TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

Yapıya en büyük zararı deprem hareketinin yatay bileşeni verir. Yapıya yerleştirilen taban izolasyon sistemleri; yatay ivmenin azaltılması amacıyla üst yapıyı temelden ayırarak zeminin hareketine izin verir. Taban izolasyon sistemleri kullanıldığında yapının frekansı azalmakta başka bir deyişle periyodu artmaktadır. Periyodun artması yatay deplasmanların büyümesine neden olur. Bu deplasmanların büyük bir bölümü izolatörlere iletilir. Bir başka deyişle yapıda küçük yatay deplasmanlar, taban izolasyonunda ise büyük yatay deplasmanlar oluşur. Sistemin taban kısmında meydana gelen büyük yer değiştirmeler aracılığı ile enerjinin sönmü sağlanır. Katlar arası yer değiştirmeler küçük kaldığı için deprem esnasında yapı rijit bir davranış gösterir.



Şekil 2.6 Taban İzolasyon Sistemlerinin Şematik Diyagramı

Taban izolasyon sistemleri kendilerini deprem kuvvetlerine karşı uyarlayamazlar. Yatay deplasmanlardan dolayı kalıcı deformasyonlar oluşabilir. Bu deforme olmuş izolatörlerin yenisi ile değiştirilmesi de mümkün değildir. Ayrıca

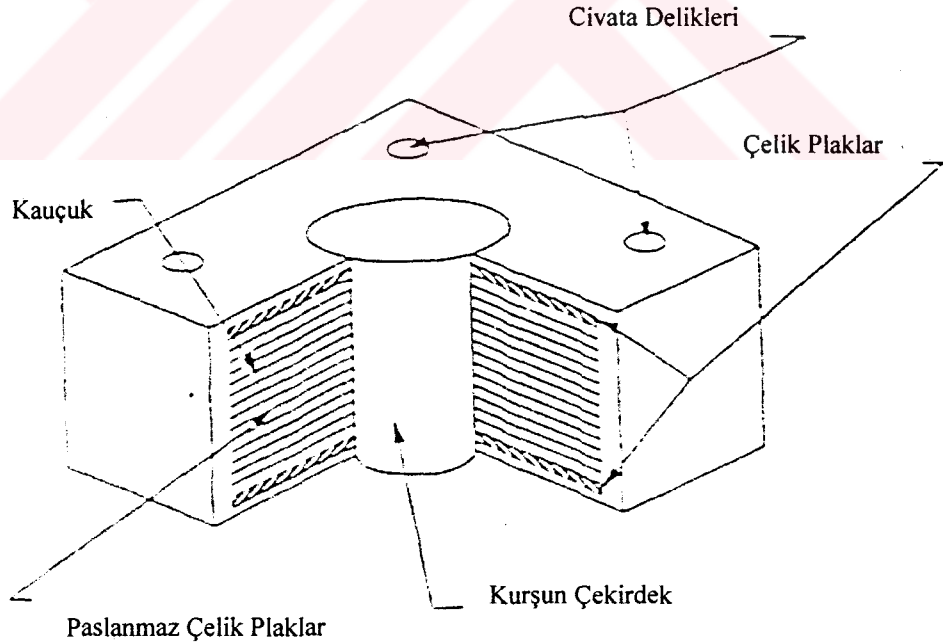
çok katlı binalarda kullanılmaları halinde yapıya zarar verebilecek uplift kuvvetleri oluşabilir. Bu nedenle taban izolasyon sistemleri yüksek olmayan binalar için uygundur.

2.2.1 Sıf Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri (P-F)

Sıf sürtünmeli taban izolasyon sisteminin mekanizması kayma sürtünmesidir. Geliştirilmiş en basit taban izolasyon sistemi olup, ekonomiktir. Ayrıca depreme karşı performansı da oldukça iyidir [5].

2.2.2 Tabakalı Kauçuk Taşıyıcılar (LRB)

Üzerinde en çok çalışılan taban izolasyon sistemidir. Çelik ve kauçuğun tabaka tabaka yerleştirilmesi ile oluşur. Çelik plakalar ile kauçuk birbirine vulkanizlenmiştir. İçinde kurşun çekirdek olabilir. Bu sistemde yaylar ve yağ kutusu paralel hareket etmektedir.



Şekil 2.7 Kurşun Çekirdekli Tabakalı Kauçuk Taşıyıcı

2.2.3 Esnek-Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri (R-FBI)

Birbirleri ile sürtünme etkisinde olan eş merkezli teflon tabakalardan oluşur. Merkezinde kauçuk çekirdek bulunur. Sistem taban izolasyonunu; sürtünme, sönüm ve yayların hareketi ile sağlar.

2.2.4 Electricite de France (EDF)

Yüksek sismik etki altındaki bölgelerde nükleer santraller için Electricite de France himayesinde geliştirilmiş sürtünme tipli taban izolasyon sistemidir. EDF sisteminin asıl izolatörü tabaka haline getirilmiş güçlendirilmiş çelikle, neopren bloktur. Bu bloğun üzerinde sürtünme yüzeyi oluşturan kurşun-bronz plaka ve yapıya ankre edilen çelik plaka bulunur.

Bu sistemin en büyük avantajı neopren bloğun yatay esnekliğinin düşük seviyedeki yer ivmesine karşı taban izolasyonu sağlayıp, yüksek seviyedeki titreşimlerde oluşan kayma hareketinin ekstra koruma sağlamasıdır.

2.2.5 Yeni Zelanda'da Geliştirilen Sistem (NZ)

Tabaka halinde elastomerik taşıyıcı ve kurşun çekirdekten oluşur. Kurşun çekirdek enerji sönümlerken, yatay esneklik, tabaka halindeki kauçuk bağlantı tarafından sağlanır. Sistem histeretik sönümleyici gibi davranır.

2.2.6 Kayıcı Esnek-Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemleri (SR-F)

EDF ve R-FBI sistemlerinin özelliklerinin birleştirilmesi ile oluşan bir sistemdir. EDF taban izolasyonundaki elastomerik taşıyıcı yerine R-FBI ünitesi yerleştirilir. R-FBI sisteminin üzerine sürtünme tabakası yerleştirilir. SR-F sistemi düşük seviyedeki sismik hareketlere karşı R-FBI gibi davranır. Üst kısımdaki sürtünme tabakasında yüksek seviyedeki yer hareketlerinde kayma oluşur. Bu kayma hareketi beklenmedik yer hareketlerine karşı ekstra güvenlik sağlar.

BÖLÜM 3

AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

Son yıllarda yapıların titreşimini azaltmak, yapıyı kullananların güvenliğini artırmak isteğinden dolayı önem kazanmıştır. Burada amaç sadece büyük depremlere karşı koruma sağlamak değil, aynı zamanda değerli malzemelerin binada bulunduğu durumlarda malzemelerin zarar görmelerini önlemek ve orta şiddetli depremlerin oluşturduğu titreşimler karşısında bina içinde yaşayanların konforunu artırmaktır.^[6]

Aktif kontrol sistemleri, dışarıdan bir enerji kaynağı yardımıyla yapının deplasmanını istenilen düzeyde tutmak için geliştirilen sistemlerdir. Aktif kontrol sistemlerinin geliştirilmesinin başlıca sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: ^[7]

1) Yeni malzemelerin keşfinden sonra binalar artık daha yüksek ve daha esnek hale gelmişlerdir. Aktif kontrolün yerleştirilmesinin bir amacı aşırı titreşimlere karşı binayı korumaktır.

2) Aktif kontrol sisteminin yapının sağlamlaştırılmasında kullanılmasının bir diğer nedeni de pasif kontrol sistemleri gibi çok yer kaplamamasıdır. Aktif kontrol sistemleri binaya daha az yer kaplayacak şekilde monte edilebilir.

3) Yapılar tüm olası dış yüklere karşı koyabilecek şekilde projelendirilmemişlerdir. Beklenmeyen bir yükleme oluştuğunda yapı zarar görebilir; hatta yıkılabilir. Aktif kontrol kullanılmadığında yıkılabilecek bir bina, aktif kontrol sistemi kullanılarak kurtarılabilir. Bu ekstra koruma, deniz üzerindeki platformlar, hastaneler ve nükleer enerji santralleri gibi pahalı yapılar düşünüldüğünde çok önemlidir.

4) Bazı yapılar değerli veya çok hassas malzemeleri barındırıyor olabilir. Bu elemanların düzgün çalışması hayati önem taşıyabilir. Aktif kontrolün monte edilmesi ile bu elemanların uygun koşullarda çalışmaları sağlanabilir.

5) Pasif kontrol elemanları yapının depreme karşı performansını artırmakla birlikte; sistemin doğasından kaynaklanan bir takım nedenlerle başarıları sınırlı kalmaktadır. Örneğin ayarlı kütle sönümleyiciler genelde birinci mod frekansa göre ayarlandıkları için sadece birinci modun etkin olduğu titreşimlerde etkilidirler. Ancak aktif kontrol sistemleri daha geniş bir frekans aralığında başarılıdır.

6) Aktif kontrol elemanlarının yapıya uygulanması, malzemenin iyi kullanılmasını ve maliyetin düşmesini sağlayabilir.

Modern kontrol teorileri makina ve elektrik mühendisliği uygulamalarının inşaat mühendisliği alanına uygulanması ile oluşturulmuştur. Araştırmalar aktif kontrol sistemlerinin ani karşılık fonksiyonundan dolayı yüksek titreşim kontrolünü neredeyse tüm yapılarda sağlayabileceğini göstermiştir.^[7]

3.1 Aktif Kontrol Sistem Çeşitleri

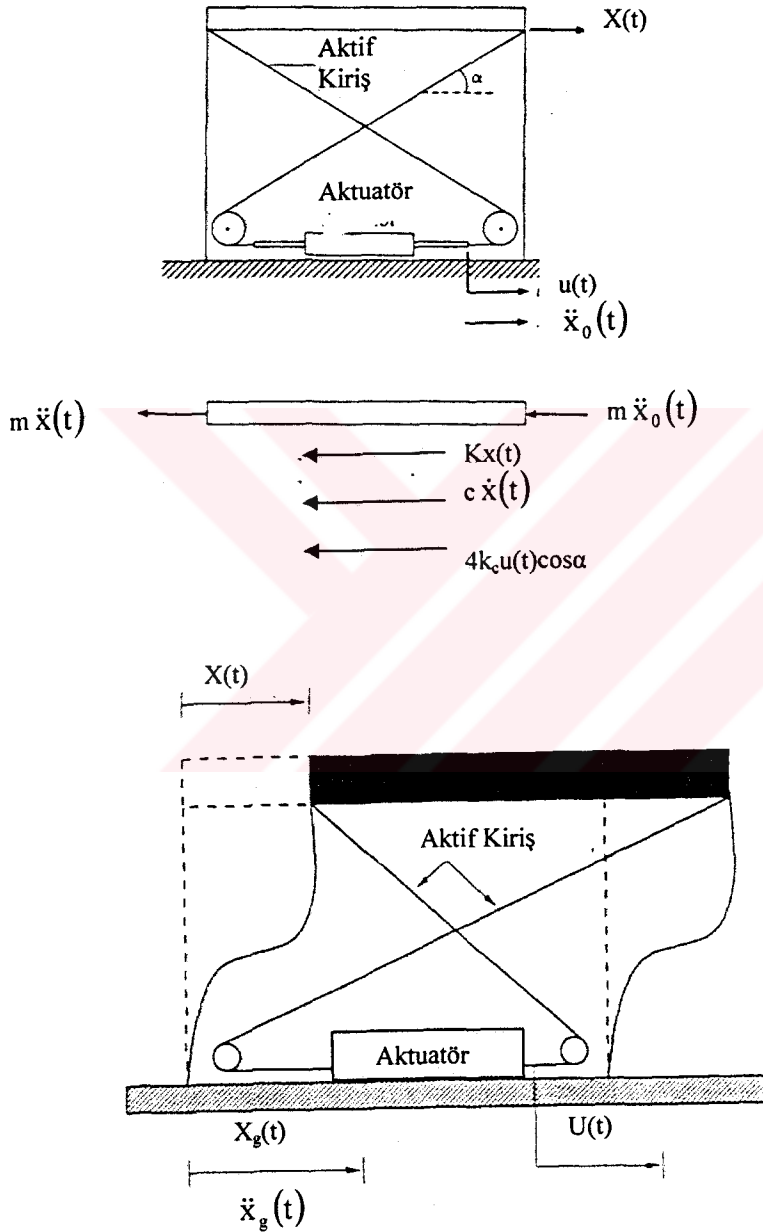
Yapıların kontrolü için birçok sistem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları :Aktif Kiriş Kontrolü, Aktif Kütle Sönümleyicisi, Yerçekimi-Harekete Geçirici sistem ve Aktif Rijitlik Değiştirici olarak sayılabilir.

3.1.1 Aktif Kiriş Kontrolü

Aktif kiriş kontrol sistemi, gerilimi elektrohidrolik mekanizma tarafından kontrol edilen binaya bağlanmış öngerilmeli kirişlerden oluşmaktadır. Kontrol bilgisayarına binanın çeşitli yerlerine yerleştirilmiş sensörlerden sinyaller gönderilir. Kontrol bilgisayar bu sinyalleri değerlendirir ve çeşitli hesaplamalar yaparak aktuatöre sinyaller gönderir. Aktuatör kontrol bilgisayarından gelen bu sinyaller doğrultusunda binaya, dış etkiyi azaltacak yönde kuvvetleri uygular. Aktif kiriş kontrolünde kontrol kuvvetleri binaya direkt uygulanır.

Aktif kiriş kontrol sisteminin tercih edilmesinin sebeplerinden bir tanesi kirişlerin birçok binada zaten mevcut olmasıdır. Böylece mevcut kirişler kullanılmak

suretiyle kapsamlı eklemeler ve modifikasyonlar yapılmasına gerek kalmaz. Sistemin bir diğer özelliği de hem pulse (çarpma) modunda hemde devamlı-zaman modunda kullanılabilmesidir. Dolayısıyla aktif kiriş kontrolü hem devamlı-zaman hemde çarpma algoritmasını barındırabilir.^[7]

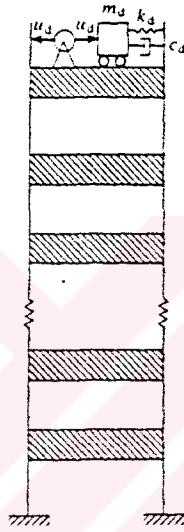


Şekil 3.1 Tek Serbestlik Dereceli Aktif Kiriş Kontrol Sistemi

Aktif kiriş kontrolü narin yapılarda, yüksek binalarda, köprülerde ve deniz üzerindeki yapılarda kullanılabilir.

3.1.2 Aktif Kütle Sönümleyicisi ve Aktif Kütle Sürücüsü (AMD)

Ayarlı kütle sönümleyiciler pasif kontrol sistemi olarak yüksek binalarda hareketi kontrol etmek için kullanılmaktadır. Pasif ayarlı kütle sönümleyici, birinci esas frekansa ayarlandığı için birinci modun egemen olduğu titreşim modlarında etkilidir. Ancak yapı, deprem tipi yüklemelere maruz kaldığı durumlarda titreşim enerjisi daha geniş bir frekans bandına yayılır. Aktif kütle sönümleyiciler dış etkinin çok sayıda doğal modu için projelendirilebilir.^[7]



Şekil 3.2 Aktif Kütle Sönümleyici

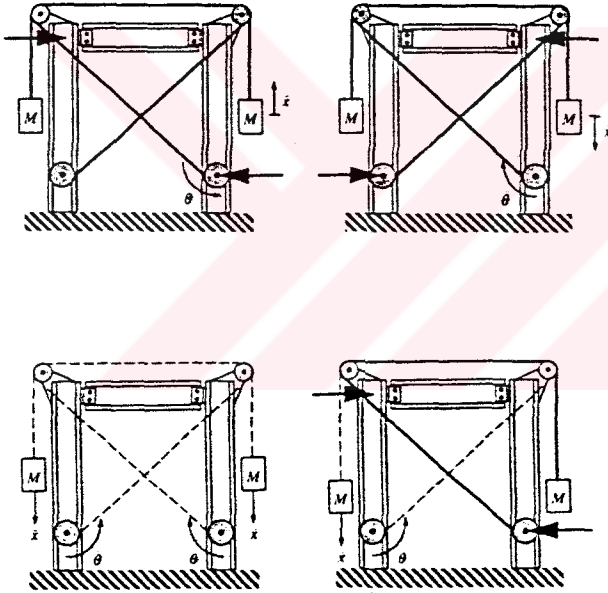
Sistem yardımcı bir kütle ve aktuatörden (harekete geçirici) oluşmaktadır. Yapının çeşitli yerlerine yerleştirilmiş sensörlerden gelen sinyaller kontrol bilgisayarında toplanır. Kontrol bilgisayarı bu sinyalleri analiz eder ve hesaplamalar yapıp aktuatöre sinyaller gönderir. Aktuatör bilgisayardan gelen bu sinyallere göre yardımcı kütleyi harekete geçirir. Bu hareketten dolayı yardımcı kütlede oluşan atalet kuvveti yapıya dışarıdan verilen etkiyi azaltmak için kullanılır.

Aktif kütle sönümleyicisi yardımcı kütleinin ataletini kontrol kuvveti olarak kullanmaktadır. Aktif giriş kontrolde ise bir aktuatör yardımı ile sisteme kontrol kuvveti direkt uygulanır. Bu iki sistem de basit ve çalıştırılması kolay sistemlerdir. Ancak bina büyüdükçe ve depremin şiddeti arttıkça sistemi çalıştırmak için gereken

güç artmaktadır. Bu iki sistemin bir diğer dez avantajıda sistemin çalışması için sürekli bulundurulması gereken dış enerjidir.^[8]

3.1.3 Gravity-Actuator (Yerçekimi-Harekete Geçirici) Sistem

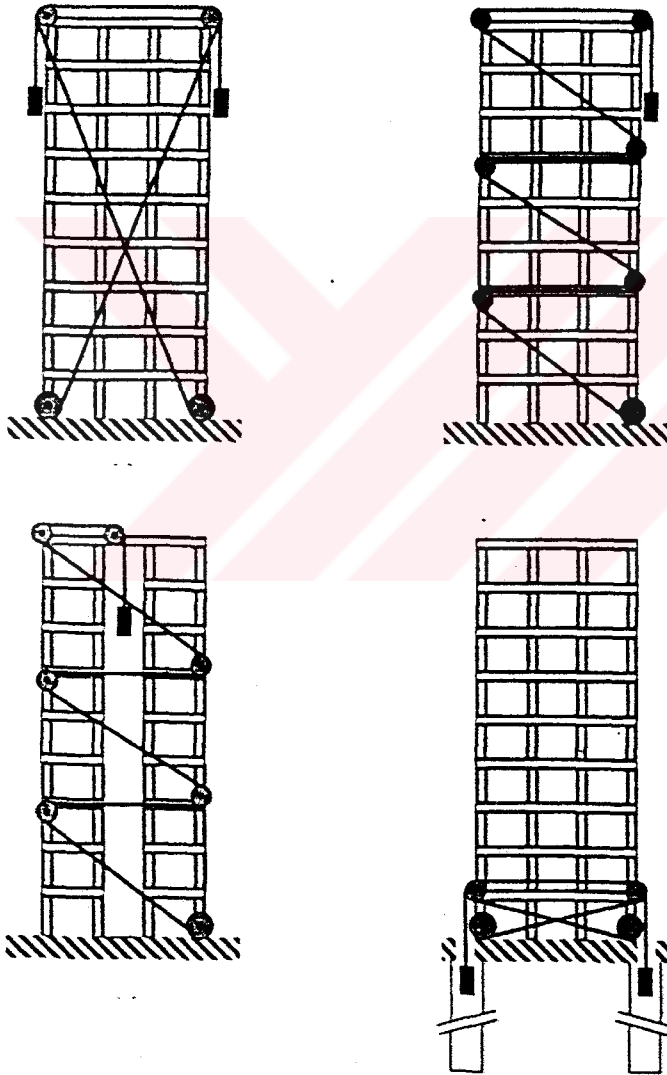
Sistemin amacı yapıyı sismik etkiye karşı minimum enerji gereksinimi ile korumaktır. Aktuatör ve düşey yönde hareket edebilen yardımcı bir kütleden oluşmaktadır. Kütle elastik bir kablo ile bağlanıp iki tane makaradan geçtikten sonra altta bulunan toplama makarasına ankre edilmiştir. Toplama makarası, makaraya sarılmış kablodan ve motor/fren ünitesinden oluşur. Motor/fren ünitesi makarayı dolayısıyla yardımcı kütleyi serbest bırakabilir, ivmelendirebilir veya frenleyebilir.^[9]



Şekil 3.3 Kütlenin İvmelendirilmesi Sonucu Oluşan Kuvvet Çiftleri

Tam bir gravity-actuator sistemi çerçevenin her iki yanına yardımcı kütlelerin yerleştirilmesi ile olur. Her iki yana yerleştirilen kütleler birbirine eşit olursa kontrol sistemi durağan ve kablolardaki gerilmeler de birbirine eşit olur. Kablolardaki gerilimi değiştirmek için motor/fren ünitesi aracılığı ile yardımcı kütleler düşey yönde ivmelendirilir. Bu ivmelenmeden dolayı kablolardaki kuvvetlerde değişiklik

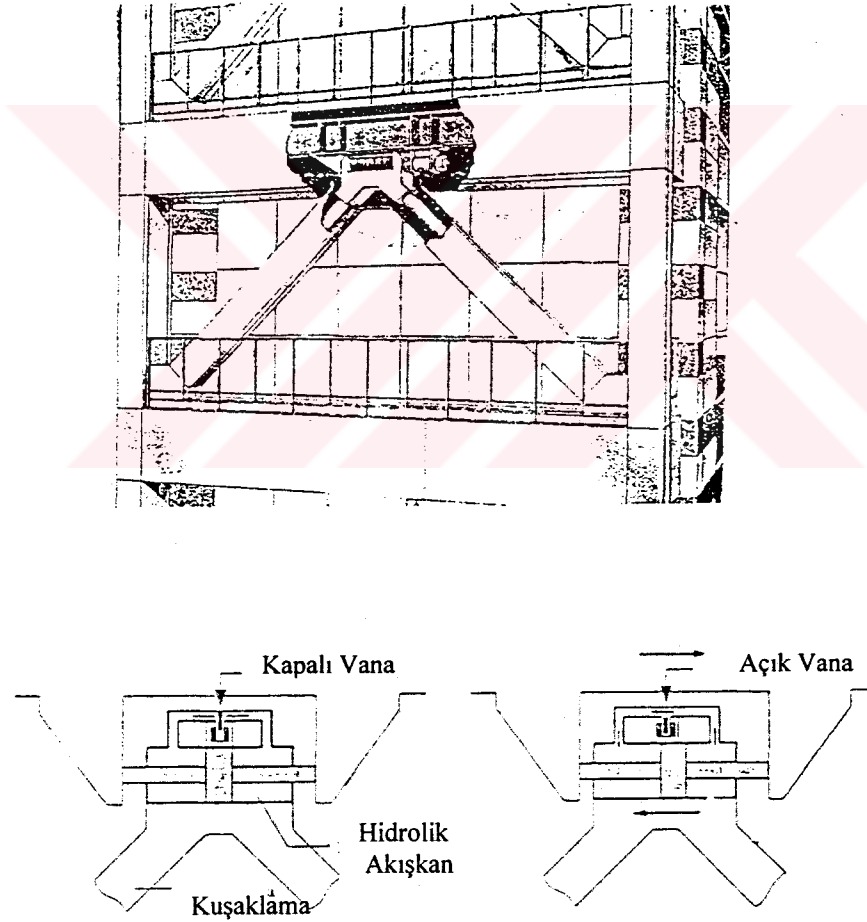
meydana gelir. Dolayısıyla kuvvetlerde oluşan bu değişiklik ile titreşimin kontrol edilmesi için kuvvet çiftleri oluşturulur. Örneğin aktuatör yardımı ile sağ taraftaki kütle yukarı doğru ivmelendirilirse sağ kablodaki gerilme artar ve saat yönünde, yatay kuvvet çifti oluşur. Aynı şekilde sağ taraftaki kütle serbest bırakılırsa sağ kablodaki gerilme azalır ve saat yönüne ters, yatay kuvvet çifti oluşur. Her iki durumda da sol taraftaki kütle sabit kalmaktadır.



Şekil 3.4 Gravity-Actuator Sistemi

3.1.4 Aktif Rijitlik Değiştirici

Aktif rijitlik değiştirici, sistem rijitliğinin depremin doğasına göre değiştirilmesi yoluyla, yapıyı dış etkilerden korumayı amaçlamaktadır. Koruma, kontrol bilgisayarından gelen sinyallere göre bağ ve kiriş arasındaki bağlanma şartları değiştirilerek sağlanır. Aktif rijitlik değiştiren araç iki ucu kapalı hidrolik silindir ve iki silindiri birbirine bağlayan bir vanadan oluşur. Vananın açık veya kapalı fonksiyonu yağın hareketi ile kontrol edilir. Bağ ve kiriş arasında vananın açık veya kapalı olması her kat için iki ayrı rijitliğin oluşmasına neden olur.^[8]



Şekil 3.5 Aktif Rijitlik Değiştiren Araç

Aktif rijitlik değiştirici araçlardaki vanaların çalışması için gerekli enerji çok azdır. Buda aktif kontrol sistemlerinin enerji problemlerine önemli bir çözüm olmuştur.

3.2 Aktif Kontrolün Dezavantajları

Yapıların maruz kaldığı dış etkilere karşı korunmasında; aktif kontrol sistemlerinden olumlu sonuçlar elde edilmesi, gelecek için çok umut vericidir. Ancak aktif kontrol sisteminin yapı kontrolünde pratik olarak kullanılması için çözülmesi gereken birçok sorun vardır. Bunlar;

- 1) Yapının maruz kaldığı dış etkiye karşı koyabilmesi için gereken gücün oluşturulması sorunu,
- 2) Bu gücün oluşturulması ve aktif kontrol sisteminin çalışması için gerekli enerjinin sürekli hazır bulundurulması sorunu,
- 3) Aktif kontrol sisteminin kurulması için gerekli sermaye ve sistemin devamlı çalışması için gerekli bakım masraflarının çokluğu.

Aktif kontrol sistemleri, ideal durumdaki ideal sistemler için geliştirilmiştir. Yukarıda belirtilen problemlerin dışında sistemin gerçek zamanlı uygulamaları esnasında birçok önemli problem ortaya çıkmaktadır. Oluşabilecek problemler aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.^[7]

3.2.1 Modelleme Hataları

İnşaat mühendisliğinde yapılar yayılı kütleli sistemlerdir. Bazı istisnalar dışında analitik olarak hesaplanmış veya simule edilmiş kontrol mekanizmalarının sonuçları genelde basitleştirilmiş yapı modelleriyle elde edilmişlerdir. Kontrol sistemlerinde binalar öncelikle yayılı kütleli sistemden çok serbestlik dereceli hale indirgenir. Daha sonra bu çok serbestlik dereceli yapılar daha az serbestlik dereceli hale getirilir. Kontrol sistemleri projelendirilirken hesaplamadaki zorluklardan dolayı yapılar az serbestlik dereceli olarak kabul edilir.

Az serbestlik dereceli olarak kabul edilen yapılar için geliştirilen kontrol mekanizmaları gerçek yapılara uygulandıklarında kaçınılmaz olarak kontrol ve gözlem hataları oluşabilmekte, ayrıca stabilize sorunu ortaya çıkabilmektedir.

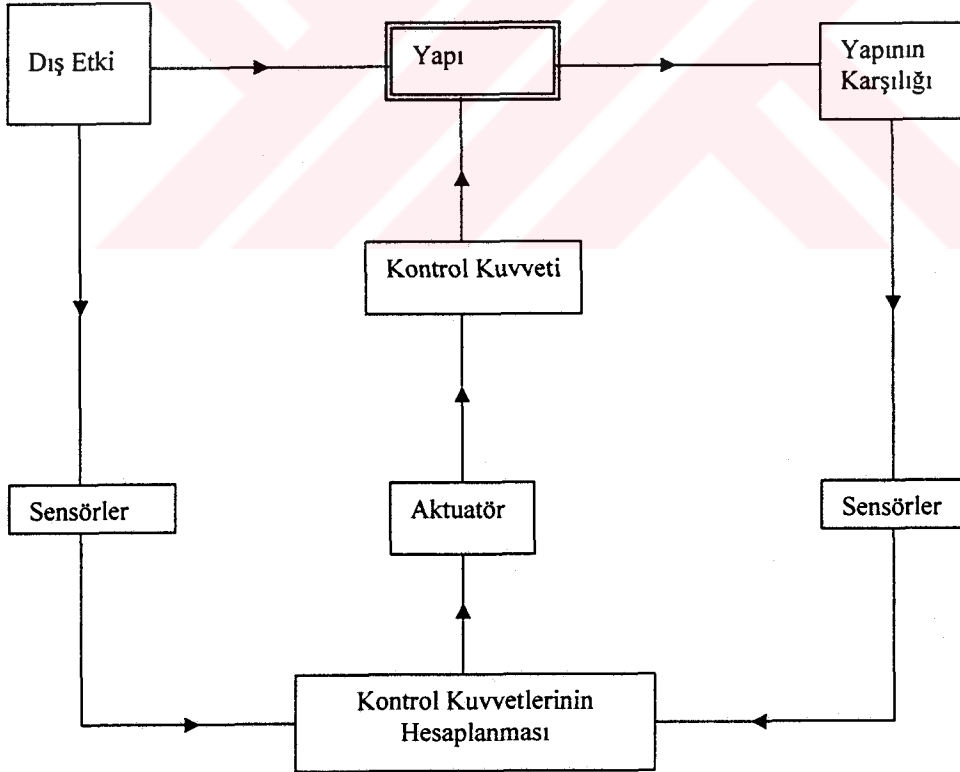
Bu tür gözlem ve kontrol hataları, kontrol sisteminin performansında düşüşe neden olmaktadır. Bunları azaltmak için projelendirmede değişiklik yapmak gerekir.

Hataları azaltmak için en uygun metod sensör ve kontrol elemanlarını sahte modların sıfır olduğu yerlere koymaktır. Sensör ve kontrol elemanlarının yer seçimi genelde serbest olmadığı için pek kolay bir çözüm değildir.

Bir diğer çözüm ise sensör ve durum değerlendirici arasına artık modlardan kurtulmak için filtre yerleştirmektir. Ancak bu sistem direkt bir yöntem olmadığı gibi artık modlar birbirine yakın sıralandığı durumlarda verimli olmaktan çıkar.

3.2.2 Zaman Gecikmesi

Kontrol sistemlerinde, yapılan tüm işlemlerin (Şekil 3.6) aynı anda yapıldığı varsayılmaktadır. Fakat ölçme işlemlerinde, ölçülen değerlerin işlenmesi ile gerekli kontrol kuvvetlerinin hesaplanıp uygulanması sırasında bir süre geçmektedir. Bu zaman gecikmesi kontrol kuvvetlerinin uygulanmasında bir gecikmeye yol açmaktadır. Bu gecikme sadece kontrol sisteminin veriminde bir azalmaya yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda sistemin stabilitesini de bozabilmektedir.



Şekil 3.6 Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı

3.2.3 Yapının Lineer Olmaması

Geliştirilen aktif yapı kontrolleri genelde yapıların lineer olduğu varsayımından hareket etmektedirler. Ancak gerçekte güçlü dış etki karşısında yapılarda büyük deformasyonlar ve kırılmalar oluşabilmektedir. Yapı kontrolünde yapının lineer olmayan özelliklerinin hesaba katılmaması kontrol veriminin düşmesine neden olabilir. Bu sorunu çözmenin bir yolu yapının lineer olmayan özelliklerini de hesaba katmaktır.

3.2.4 Yapı Parametrelerindeki Belirsizlikler

Kontrol sisteminin algoritmaları ve kontrol edilen yapının performansı genelde, kütle, rijitlik ve sönüm oranı gibi yapı parametrelerine bağlıdır. Kontrol sistemi projelendirilirken kullanılan parametreler ile gerçekte inşa edilen yapının parametreleri birbirinin aynısı olamaz. Kontrol sisteminin bu parametrelere ne kadar hassas olarak bağlı olduğu düşünüldüğünde bu problemin önemi ortadadır.

3.2.5 Sensör ve Kontrol Eleman Sayısının Sınırlı Olması

Yapıda kullanılacak sensör ve kontrol elemanlarının sayısı, bu elemanlardaki artışın gerek uygulama gerekse maliyet açısından ortaya çıkarabileceği sorunlar nedeniyle sınırlı kalmaktadır.

Kontrol algoritmaları geliştirilirken bu sensör ve kontrol elemanlarının sayısı keyfi olarak seçilse bile iki önemli soru ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bunlar;

i) Yapının tam olarak gözlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için gerekli minimum sensör ve kontrol elemanı sayısının ne olacağı,

ii) Maksimum kontrol sağlamak için bu sensör ve kontrol elemanlarının nereye yerleştirilmesi gerektirir,

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Bu soruların cevapları, algoritmalarındaki matrislerin incelenmesi ile bulunabilir. Ancak pratikte, göz önünde tutulan ve hesaplanan sensör ve kontrol elemanı sayısı yeterli gelmemektedir. Daha çok sayıda sensör ve kontrol elemanına ihtiyaç duyulmaktadır.

BÖLÜM 4

KARMA VE YARI AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

Pasif kontrol sistemleri, sistemde istenmeyen titreşimleri azaltmak için kullanılan basit, ucuz ve güvenilir sistemlerdir. Fakat sabit sönümleyiciler oldukları için performansları kısıtlıdır. Dar bir bantta frekansı azaltabildikleri gibi sabit olmayan dış etki karşısında da verimli değildirler.^[10]

Aktif kontrol sistemleri, yüksek ve narin yapılar için uygundur. Tek bir aktif kontrol elemanı örneğin aktif kütle sönümleyici dış etkinin çok sayıda doğal modu için projelendirilebilir. Ancak tüm bu sistemler rüzgar ve orta şiddetteki depremler için uygundur.^[11] Aktif kontrol sistemlerinin şiddetli depremlerde kullanılabilmesi için çözülmesi gereken birçok sorun vardır. Bunlar;

- i) Güçlü depremlere karşı koyabilecek büyük kontrol kuvvetlerinin elde edilmesi;
- ii) Yapının ömrü boyunca gerekli sermaye ve bakım masrafları;
- iii) Kontrol kuvvetlerinin oluşturulması için gerekli dış güç kaynağının sağlanması;
- iv) Büyük kontrol kuvvetinin yapının stabilitesini bozma olasılığının varlığıdır.

Karma ve yarı aktif kontrol mekanizmaları bu sorunların bazılarının çözümünde umut verici gelişmeler sağlamışlardır.^[1]

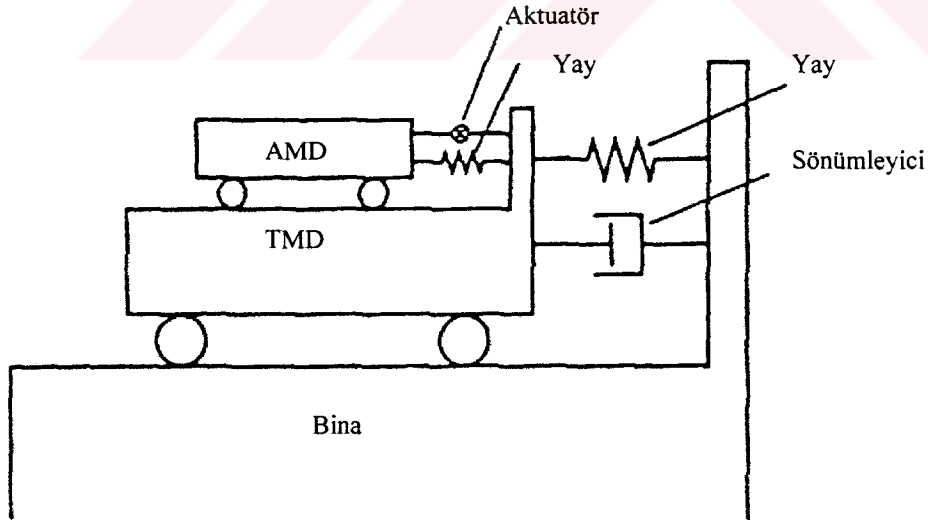
Karma kontrol sistemleri; aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanılması olarak tanımlanabilir. Yarı aktif kontrol sistemi ise pasif kontrol sistemlerinin güvenilirliğini artıran aynı zamanda aktif kontrol sisteminin çok yönlülüğünü ve kendini adapte edebilme özelliğini birleştiren sistemler olarak tanımlanabilir.

4.1 KARMA KONTROL SİSTEMLERİ

Karma kontrol sistemleri daha verimli, avantajlı ve daha pratiktir. Bu sistem, hem pasif hem de aktif sistemlerin avantajlarını birleştirdiğinden yapının güvenliğini artırmak için daha geniş bir alanda uygulanabilir.^[12] Karma kontrol sistemlerinde iki ayrı sistemin birlikte kullanılmasından dolayı sistemlerin tek tek kullanılması ile oluşan sınırlamalar hafifleyebilir. Dolayısıyla yüksek performans elde edilebilir. Ayrıca daha karmaşık olmasına karşın karma kontrol sistemlerinin sonuçları daha güvenilirdir. Karma kontrol sistemleri üzerindeki çalışmalar karma kütle sönümleyici ve karma taban izolasyonu olmak üzere iki konuda yoğunlaşmıştır.^[1]

4.1.1 Karma Kütle Sönümleyiciler (HMD)

Karma kütle sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ve aktif kontrol elemanlarının birlikte kullanılmasıdır. Sistemin özelliği ayarlı kütle sönümleyicinin hareketinden kaynaklanan yapının karşılığını azaltmaktır. Aktif kontrol sisteminden verilen kuvvet HMD nin verimini artırmak ve yapının dinamik karakterinde bir değişiklik olursa yapının güvenliğini artırmak için kullanılır. Tipik bir HMD için gereken enerji aynı etkiyi sağlayan aktif kontrole göre bir hayli azdır.^[1]



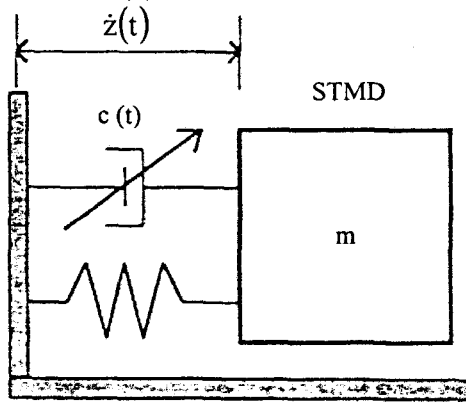
Şekil 4.1 Karma Kütle Sönümleyici

4.1.2 Karma Taban İzolasyonu

Karma taban izolasyonu, pasif taban izolasyonu ile aktif kontrol sisteminin birarada kullanılmasıdır. Taban izolasyon sistemi basit, güvenilir ve etkili bir kontrol sistemidir. Fakat pasif kontrol sistemi olduğu için deprem etkisine karşı kendini adapte edebilme yeteneği sınırlıdır. Aktif kontrol mekanizmasının taban izolasyonlu binaya ilavesi ile yüksek performans kapasitesine ulaşılır. Ayrıca maliyette ciddi bir artış olmamaktadır.^[1]

4.2 YARI AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

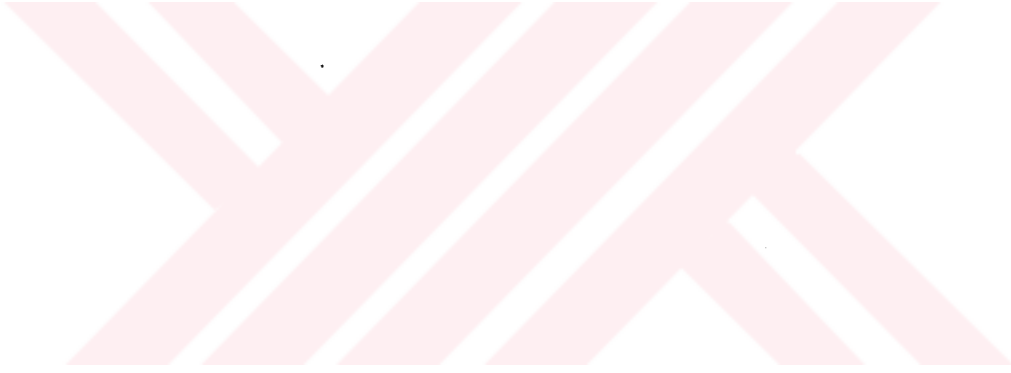
Yarı aktif kontrol elemanları kontrol edilebilen pasif elemanlar olarak görülür. Yapıların deprem ve rüzgar yüklerine karşı korunmasında, pasif ve aktif kontrol sistemlerinin en önemli özelliklerinin biraraya gelmesi ile oluşur. Yarı aktif kontrol bir çeşit aktif kontrol olup gerekli dış enerjinin büyüklüğü tipik aktif kontrol sistemine göre daha azdır. Hatta gerekli enerji pille sağlanabilecek kadar azdır. Deprem esnasında ana güç kaynağının zarar görme olasılığı düşünüldüğünde bu önemli bir özelliktir.^[1]



Şekil 4.2 Yarı Aktif Kütle Sönümleyici (STMD)

Yarı aktif kontrol elemanları sisteme mekanik enerji yüklemmezler. Dolayısıyla giriş ve çıkış stabilitesi sabittir. Çalışmalar uygun kullanılan yarı aktif kontrol sisteminin pasif kontrol mekanizmasına göre daha iyi olduğunu, ve aktif kontrol sisteminin performansına yakın bir performans sağlayabileceğini göstermiştir. Yarı aktif kontrol elemanı olarak birçok sistem geliştirilmiştir. Bunlar;

- 1) Değişken-Ağız Sönümleyiciler,
- 2) Değişken-Sürtünmeli Sönümleyiciler,
- 3) Kontrol Edilebilen Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler,
- 4) Kontrol Edilebilen Sıvı Sönümleyiciler,
- 5) Yarı Aktif Çarpma Sönümleyicilerdir .



BÖLÜM 5

KONTROL ALGORİTMALARI

5.1 Klasik Optimal Kontrol Algoritması

Aktif Kiriş Kontrolü İçin Hareket Denklemi

Aktif kiriş kontrol elemanları yerleştirilmiş bir binada j inci katın hareket denklemi aşağıdaki gibidir: ^[13]

$$\begin{aligned} m_j \ddot{X}_j + c_j (\dot{X}_j - \dot{X}_{j-1}) - c_{j+1} (\dot{X}_{j+1} - \dot{X}_j) + k_j (X_j - X_{j-1}) \\ - k_{j+1} (X_{j+1} - X_j) + \beta_j \dot{X}_j = u_{m+1} - u_m \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5.1)$$

Bu ifadede X_j = j inci katın yer değiştirmesini, m_j = j inci katın kütesini, c_j = j inci katın iç sönüm katsayısını, k_j = j inci katın rijitliğini, β_j = j inci katın dış sönüm katsayısını ifade etmektedir. u_m , (j-1) ve (j) inci kat arasına yerleştirilmiş m inci kontrol elemanının kontrol kuvvetidir.

X_0 deprem yer hareketi ve Y de j inci katın yere göre rölatif yer değiştirmesi olsun.

$$Y_j = X_j - X_0 \quad (5.2)$$

(5.1) denklemi matris formunda yazılırsa aşağıdaki hali alır.

$$[M][\ddot{Y}] + [C][\dot{Y}] + [K][Y] = [H][U] + [F]\ddot{X}_0 + [G]\dot{X}_0 \quad (5.3)$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} ; [U] = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix} ; [F] = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} ; [G] = - \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & & & & \\ & m_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & m_j & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & m_n \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & \cdot & 0 & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & & & \\ & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & & -k_{n-1} & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ & & & & & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + \beta_1 & -c_2 & & & & \\ -c_2 & c_2 + c_3 + \beta_2 & -c_3 & & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & -c_{n-1} & c_{n-1} + c_n + \beta_{n-1} & -c_n \\ & & & & -c_n & c_n + \beta_n \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Denklem (5.3) te H (nxr) boyutlu kontrol kuvvetleri yer matrisidir. Matrisin m inci kolonu (j-1) ve (j) inci kat arasına yerleştirilen m inci kontrol elemanına karşı gelir. H matrisini elde etmek için (nxn) boyutlu genel L matrisinden yararlanılır. Kontrol elemanının olmadığı katlara karşı matrisin kolonları silinir.

$$[L] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & & & \\ & -1 & 1 & & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & -1 & 1 \\ & & & & -1 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

(5.3) denklemi $2n$ boyutlu $Z(t)$ durum vektörü cinsinden ifade edilirse:

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) + BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t) + W_2 \dot{X}_0(t) \quad (5.9)$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} [Y] \\ [\dot{Y}] \end{bmatrix} ; [A] = \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}H \end{bmatrix} ; [W_1] = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}F \end{bmatrix} ; [W_2] = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}G \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Aktif Kütle Sönümleyici İçin Hareket Denklemi

Aktif kütle sönümleyici yerleştirilmiş bir binada $n-1$ inci kata kadar olan katların hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} m_j \ddot{X}_j + c_j (\dot{X}_j - \dot{X}_{j-1}) - c_{j+1} (\dot{X}_{j+1} - \dot{X}_j) + k_j (X_j - X_{j-1}) \\ - k_{j+1} (X_{j+1} - X_j) + \beta_j \dot{X}_j = 0 \end{aligned} \quad j = 1, 2, \dots, n-1 \quad (5.12)$$

n inci katın ve kütle sönümleyicinin hareket denklemi sırasıyla:

$$\begin{aligned} m_n \ddot{X}_n + c_n (\dot{X}_n - \dot{X}_{n-1}) + k_n (X_n - X_{n-1}) - k_d (X_d - X_n) \\ - c_d (\dot{X}_d - \dot{X}_n) + \beta_n \dot{X}_n = -u_d \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$m_d \ddot{X}_d + c_d (\dot{X}_d - \dot{X}_n) + k_d (X_d - X_n) = u_d \quad (5.14)$$

u_d = aktif kontrol kuvvetini, x_d = kütle sönümleyicinin yer değiştirmesini, m_d = kütle sönümleyicinin kütlesini, c_d = kütle sönümleyicinin sönüm katsayısını, k_d = kütle sönümleyicinin rijitliğini ifade etmektedir.

Y_d kütle sönümleyicinin yere göre rölatif yer değıştirmesini ifade etsin.

$$Y_d = X_d - X_0 \quad (5.15)$$

(5.12)-(5.14) denklemleri rölatif yer değıştirmeler cinsinden ifade edilirse aşağıdaki matris formunu alırlar.

$$[M][\ddot{Y}] + [C][\dot{Y}] + [K][Y] = [H][U] + [F]\ddot{X}_0 + [G]\dot{X}_0 \quad (5.16)$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \\ y_d \end{bmatrix} ; [F] = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \\ m_d \end{bmatrix} ; [G] = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \\ \beta_d \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & & & & \\ & m_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & m_j & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & m_n \\ & & & & & & m_d \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} , \quad U = U_d \quad (5.19)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & & & \\ & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & & \\ & & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & -k_{n-1} & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ & & & & -k_n & k_n + k_d & -k_d \\ & & & & & -k_d & k_d \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + \beta_1 & -c_2 & & & & \\ -c_2 & c_2 + c_3 + \beta_2 & -c_3 & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & -c_{n-1} & c_{n-1} + c_n + \beta_{n-1} & -c_n & \\ & & & -c_n & c_n + \beta_n & -c_d \\ & & & & -c_d & c_d \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

Denklem(5.16) durum vektörü cinsinden ifade edilirse,

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) + BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t) + W_2 \dot{X}_0(t) \quad (5.22)$$

halini alır. Bu denklem aktif giriş kontrolünün denklemi ile aynıdır. Ancak bu denklemlerdeki A $(2n+1) \times (2n+1)$ boyutunda matris, Z , B W_1, W_2 ise $(2n+1)$ boyutunda vektörlerdir.

Klasik Optimal Kontrol

Basitlik için yapıya bir yönde aktif kontrol sistemi uygulanmıştır. Yapı n serbestlik dereceli olarak idealize edilmiş ve W_2 dış sönüm sıfır alınmıştır. Yapı bir yönde etkiyen $\ddot{X}_0(t)$ yer ivmesinin etkisi altındadır. Bu durumda hareket denklemi

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) + BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t) \quad (5.23)$$

ile ifade edilir. Başlangıç koşulu $Z(0) = 0$ dır. $Z(t) = 2n$ boyutlu durum vektörü, $U(t) = r$ boyutlu kontrol vektörü, $A = (2n \times 2n)$ boyutlu matris, $B = (2n \times r)$ boyutlu kontrol elemanlarının yerini belirten matris ve W_1 $(2n)$ boyutlu vektördür.

Optimal kontrol algoritmasında, yapıya uygulanacak kontrol kuvvetinin hesabı belirli bir amaç fonksiyonunun minimize edilmesi ile olur. (5.23) denkleminin optimal çözümü için performans indeksi J tanımlanır. Performans indeksi, yapılarda genellikle ikinci dereceden seçilir ve $Z(t)$ ile $U(t)$ ye bağlıdır. $Z(t)$ yapının karşılığı, $U(t)$ ise yapıya uygulanması gereken kontrol kuvvetini belirtir. Dolayısıyla Q matrisi $(2n \times 2n)$ boyutlu semidefinit matris olup güvenliği, R matrisi ise $(r \times r)$ boyutlu pozitif definit matris olup ekonomiyi ifade eder. Bu iki kavram birbiri ile ters orantılı olduğu için aynı anda minimize edilemezler. [14]

Standart quadratik performans indeksi J aşağıda belirtilmiştir.

$$J = \int_0^{t_f} \{Z'(t)QZ(t) + U'(t)RU(t)\}dt \quad (5.24)$$

Performans indeksi J nin minimize edilmesi

(5.23) ile verilen hareket denklemi ile (5.24) performans indeksi, Lagrangian çarpanı $\lambda(t)$ ile birleştirilir

$$\tilde{J} = \int_0^{t_f} \{Z'(t)QZ(t) + U'(t)RU(t) + \lambda(t)[AZ(t) + BU(t) + W_1\ddot{X}_0(t) - \dot{Z}(t)]\}dt \quad (5.25)$$

H ile gösterilen ve Lagrangian L nin integrali olan skaler fonksiyon Hamiltonian olarak adlandırılır.

$$H[Z(t), U(t), \lambda(t), \ddot{X}(t), t] = Z'(t)QZ(t) + U'(t)RU(t) + \lambda'(t)[AZ(t) + BU(t) + W_1\ddot{X}_0(t) - \dot{Z}(t)] \quad (5.26)$$

$\lambda(t)$ $2n$ boyutlu eş durum değişkenleridir. (5.26) denkleminin sağ tarafının son teriminin kısmi integrali ile (5.26) denkleminin (5.25) denkleminin içine yerleştirilmesi ile aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\tilde{J} = -\lambda'(t_f)Z(t_f) + \lambda'(0)Z(0) + \int_0^{t_f} \{H[Z(t), U(t), \lambda(t), \ddot{X}_0(t), t] + \dot{\lambda}'(t)Z(t)\}dt \quad (5.27)$$

$\tilde{J}$ nin türevi alınır

$$\delta \tilde{J} = -\lambda'(t_f) \delta Z(t_f) + \lambda'(0) \delta Z(0) + \int_0^{t_f} \left[\dot{\lambda}' + \frac{\partial H}{\partial Z} \right] \delta Z + \frac{\partial H}{\partial U} \delta U dt \quad (5.28)$$

Başlangıç koşulları $Z(0) = Z_0$ ve $\delta Z(0) = 0$ için

$$\frac{\partial H}{\partial U} = 0 \quad , \quad 0 \leq t \leq t_f \quad (5.29)$$

$$\dot{\lambda}' = -\frac{\lambda H}{\partial Z} \quad (5.30)$$

$$\lambda'(t_f) = 0 \quad (5.31)$$

sınır koşulu için (5.26) denklemi (5.29) ve (5.30) denklemlerinde yerine konulursa optimal çözüm için gerekli koşullar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{\lambda}(t) = -A' \lambda(t) - 2QZ(t) \quad , \quad \lambda(t_f) = 0 \quad (5.32)$$

$$U(t) = -0.5R^{-1}B' \lambda(t) \quad (5.33)$$

$\lambda(t)$ = 2n boyutlu olup eş durum vektörüdür (veya Lagrangian çarpanları olarakta ifade edilebilir.). Optimal kontrol vektörü $U(t)$, eş durum vektörü $\lambda(t)$ ve durum vektörü $Z(t)$ (5.23) (5.24) (5.32) (5.33) denklemleri kullanılarak çözülebilir. (5.33) denklemden görülmektedir ki kontrol vektörü $U(t)$, eş durum vektörü $\lambda(t)$ ile orantılıdır.

Genel halde kontrol vektörü $U(t)$ (veya eş durum vektörü $\lambda(t)$) karşılık durum vektörü ve dış etkiden elde edilir.

$$\lambda(t) = P(t)Z(t) + q(t) \quad ; \quad \lambda(t_f) = 0 \quad (5.34)$$

eşitliği sağ tarafının ilk terimi kapalı-çevriye karşı gelirken ikinci terim ise açık-çevriye karşı gelir.

Bilinmeyen $P(t)$ matrisini ve $q(t)$ vektörünü elde etmek için (5.34) denklemi (5.23), (5.32) ve (5.33) denklemlerinde yerine konur ve aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned} & \left[\dot{P}(t) + P(t)A - \frac{1}{2}P(t)BR^{-1}B'P(t) + A'P(t) + 2Q \right] Z(t) + \dot{q}(t) \\ & - \left[\frac{1}{2}P(t)BR^{-1}B' - A' \right] q(t) + P(t)W_1\ddot{X}_0(t) = 0 \end{aligned} \quad (5.35)$$

Optimal Kapalı-Çevri Kontrolü

Özel bir durum olan kapalı-çevride kontrol kuvveti sadece karşılık durum vektöründen elde edilir. $q(t) = 0$ için

$$\lambda(t) = P(t)Z(t) \quad (5.36)$$

olur ve (5.35) denklemi

$$\begin{aligned} & \left[\dot{P}(t) + P(t)A - \frac{1}{2}P(t)BR^{-1}B'P(t) + A'P(t) + 2Q \right] Z(t) \\ & + P(t)W_1\ddot{X}_0(t) = 0 \quad ; \quad P(t_f) = 0 \end{aligned} \quad (5.37)$$

halini alır. Deprem yer ivmesi $\ddot{X}_0(t) = 0$ olduğu zaman (5.37) denklemi

$$\left[\dot{P}(t) + P(t)A - \frac{1}{2}P(t)BR^{-1}B'P(t) + A'P(t) + 2Q \right] ; \quad P(t_f) = 0 \quad (5.38)$$

olur. (5.38) denklemi Riccati matris denklemi olup $P(t)$ Riccati matrisidir.

Deprem yer ivmesi $\ddot{X}_0(t) = 0$ olarak ele alınıp çözüm yapıldığı için (5.38) denkleminde elde edilen Riccati matrisi, deprem etkisi altındaki binaların optimal kontrolüne karşı gelmez.

Optimal Kapalı-Açık-Çevri Kontrolü

Kontrol vektörü $U(t)$, (5.33) ve (5.34) denklemleri kullanılarak elde edilmişse kontrol sistemi optimal kapalı-açık çevri olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda kontrol vektörü, ölçülmüş durum vektörü ve deprem yer ivmesinden elde edilir. Riccati matrisi P ve durum vektörü $q(t)$ (5.35) denkleminde elde edilir.

$$PA - \frac{1}{2}PBR^{-1}B'P + A'P + 2Q = 0 \quad (5.40)$$

$$\dot{q}(t) - \left[\frac{1}{2}PBR^{-1}B' - A \right] q(t) + PW_1\ddot{X}_0(t) = 0 \quad ; q(t_f) = 0 \quad (5.41)$$

Zamana bağlı Riccati matrisi $P(t)$ yaklaşık olarak bir sabit matris haline gelir $P(t) = P$

Kapalı-açık-çevri, deprem etkisini göz ardı eden kapalı-çevriden farklı olarak kazanç matrisini oluştururken depremin etkisinden yararlanır. Bu nedenle kapalı-çevriye göre daha üstündür. Ancak deprem etkisindeki binalar için kullanışlı değildir. (5.41) denklemindeki $q(t)$ denklemin doğasından dolayı sondan başa doğru çözülmelidir. Bunun içinde deprem ivmesi $\ddot{X}_0(t)$ nin önceden bilinmesi gerekmektedir. Deprem ivmesi $\ddot{X}_0(t)$ ölçülebilir, fakat önceden bilinemez.

Optimal Açık-Çevri Kontrolü

Kontrol vektörü $Z(t)$ sadece deprem etkisine bağlıdır. Karşılık durum vektörü $Z(t)$ den bağımsızdır. Bu durumda (5.34) denlemi

$$\lambda(t) = q(t) \quad (5.42)$$

halini alır. (5.35) denlemi

$$\dot{q}(t) = -A'q(t) - 2QZ(t) \quad ; \quad q(t_f) = 0 \quad (5.43)$$

(5.33) ve (5.42) denklemleri (5.23) denkleminde yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\dot{Z}(t) = AZ(t) - \frac{1}{2}BR^{-1}B'q(t) + W_1\ddot{X}_0(t) \quad ; \quad Z(0) = 0 \quad (5.44)$$

Durum vektörü $Z(t)$ ve $q(t)$ vektörü (5.43) ve (5.44) denklemleri kullanılarak çözülebilir. Optimal açık-çevri deprem etkisindeki binalar için kullanılabilir değildir. Denklemin doğasından dolayı $q(t)$ nin sondan başa doğru çözülmesi gerekir. Bunun yapılabilmesi için deprem ivmesi $\ddot{X}_0(t)$ önceden bilinmelidir.

5.2 Ani Optimal Kontrol Algoritması

Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi deprem etkisi altındaki binalarda sadece kapalı-çevri kontrol algoritması uygulanabilir. Ancak yer ivmesi $\ddot{X}_0(t)$ sıfır alındığı için bu sistem de yapı kontrolü için tam anlamıyla optimal değildir. ^[15]

Optimal açık-çevri ve kapalı-açık-çevri algoritmalarının deprem etkisi altındaki binalarda kullanılamamasının nedeni J performans indeksinin tanımından dolayıdır. J performans indeksi, $(0 \text{ } tf)$ zaman aralığında quadratik fonksiyonun integralidir. Bundan dolayı $(0 \text{ } tf)$ zaman aralığı içindeki yer hareketinin önceden bilinmesi gerekir.

Deprem yer hareketi önceden bilinmemesine rağmen yapının taban hareketi binanın zemin katına yerleştirilen sensörlerle gerçek zamanlı olarak ölçülebilir. Başka bir deyişle belirli bir t anında o t anına kadar zemin hareketi kaydedilebilir. Yeni kontrol algoritmasında bu bilgiler kullanılmıştır. Sonuç olarak ani optimal kontrol algoritması zamana bağlı performans indeksi $J(t)$ kullanılarak kurulmuştur.

$$J(t) = Z'(t)QZ(t) + U'(t)RU(t) \quad (5.45)$$

Her t anı için performans indeksi $J(t)$ minimize edilir. $0 \leq t \leq tf$

$$Z(t) = TY_1(t) \quad (5.46)$$

$T = (2n \times 2n)$ boyutlu matris olup A matrisinin özvektörlerini içerir. (5.46) denklemi (5.23) denkleminin içine yerleştirilirse hareket denklemi;

$$\dot{Y}_1(t) = \Theta Y_1(t) + F(t) \quad ; \quad Y_1(0) = 0 \quad (5.47)$$

halini alır. Θ $(2n \times 2n)$ boyutlu diagonal matristir ve A matrisinin kompleks özdeğerlerini içerir.

$$F(t) = T^{-1} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \quad (5.48)$$

$$Y_1(t) = \int_0^t \exp[\Theta(t-\tau)] F(\tau) d\tau \quad (5.49)$$

(5.47) denklemi yukarıdaki şekilde yazılabilir. $\exp[\Theta(t-\tau)]$ $(2n \times 2n)$ boyutlu diagonal matristir.

(5.49) denkleminde verilen karşılık vektörünün çözümü aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} Y_1(t) &= \int_0^{t-\Delta t} \exp[\Theta(t-\tau)] F(\tau) d\tau + \int_{t-\Delta t}^t \exp[\Theta(t-\tau)] F(\tau) d\tau \\ &= e^{\Theta \Delta t} Y_1(t-\Delta t) + \int_{t-\Delta t}^t \exp[\Theta(t-\tau)] F(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (5.50)$$

$$\cong e^{\Theta \Delta t} Y_1(t-\Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [e^{\Theta \Delta t} F(t-\Delta t) + F(t)]$$

$e^{\Theta \Delta t}$ diagonal matristir. (5.50) denklemi (5.46) denkleminde yerine konularak aşağıdaki durum vektörü elde edilir.

$$Z(t) = T e^{\Theta \Delta t} Y_1(t-\Delta t) + \frac{\Delta t}{2} T [e^{\Theta \Delta t} F(t-\Delta t) + F(t)] \quad (5.51)$$

$$= T e^{\Theta \Delta t} T^{-1} Z(t-\Delta t) + \frac{\Delta t}{2} T [e^{\Theta \Delta t} F(t-\Delta t) + F(t)]$$

$F(t)$ (5.48) denklemi ile verilmiştir. $F(t-\Delta t)$ t yerine $t-\Delta t$ konularak elde edilir. (5.48) denklemi (5.51) denkleminde de yerine konulursa;

$$Z(t) = TD(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \quad (5.52)$$

$$D(t - \Delta t) = e^{\Theta \Delta t} T^{-1} \left\{ Z(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [BU(t - \Delta t) + W_1 \ddot{X}_0(t - \Delta t)] \right\} \quad (5.53)$$

(5.45) denklemi ile verilen performans indeksi $J(t)$ yi minimize etmek için (5.52) denklemi eklenir ve Hamiltonian H elde edilir.

$$H = Z'(t)QZ(t) + U'(t)RU(t) + \lambda' \left\{ Z(t) - TD(t - \Delta t) - \frac{\Delta t}{2} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \right\} \quad (5.54)$$

$\lambda = \lambda(t)$ eş durum vektörü veya Lagrangian çarpan vektörüdür. Performans indeksi $J(t)$ yi minimize etmek için gerekli koşullar aşağıda belirtilmiştir.

$$\frac{\partial H}{\partial Z} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial U} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial \lambda} = 0 \quad (5.55)$$

$$2QZ(t) + \lambda(t) = 0 \quad (5.56)$$

$$2RU(t) - \frac{\Delta t}{2} B' \lambda(t) = 0 \quad (5.57)$$

$$Z(t) = TD(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \quad (5.58)$$

Ani Optimal Açık-Çevri Kontrolü

Açık-çevri kontrolün en büyük avantajı, sensörlere sadece zemin katta gereksinim duyulmasıdır. Algoritmanın hesabı sırasında binanın karşılık değerleri gerekmediği için kontrol sistemi büyük ölçüde basitleşir.

Kontrol vektörü $U(t)$, eş durum vektörü $\lambda(t)$ ile doğru orantılıdır.

$$\lambda(t) = q(t) \quad (5.59)$$

(5.56)-(5.58) deklemleri aşağıdaki hali alırlar.

$$2QZ(t) + q(t) = 0 \quad (5.60)$$

$$2RU(t) - \frac{\Delta t}{2} B' q(t) = 0 \quad (5.61)$$

$$Z(t) = TD(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \quad (5.62)$$

$U(t)$, $q(t)$ ve $Z(t)$ bilinmeyenleri (5.60)-(5.62) denklemleri kullanılarak çözülebilir. (5.62) denklemi (5.60) denkleminde yerine konulursa;

$$2Q \left\{ TD(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} [BU(t) + W_1 \ddot{X}_0(t)] \right\} + q(t) = 0 \quad (5.63)$$

(5.63) denklemi $\frac{\Delta t}{2} B'$ ile çarpılıp (5.61) denkleminde eklenirse

$$U(t) = LG(t) \quad (5.64)$$

$$L = \left[\left(\frac{\Delta t}{2} \right)^2 B'QB + R \right]^{-1} \quad (5.64)$$

$$G(t) = -\frac{\Delta t}{2} B'QTD(t - \Delta t) - \left(\frac{\Delta t}{2} \right)^2 B'QW_1 \ddot{X}_0(t) \quad (5.64)$$

Ani optimal açık-çevri kontrol algoritmasında karşılık durum vektörü $Z(t)$ aşağıdaki gibidir.

$$Z(t) = TD(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} BLG(t) + \frac{\Delta t}{2} W_1 \ddot{X}_0(t) \quad (5.65)$$

Ani Optimal Kapalı-Çevri Kontrolü

Kontrol kuvveti $U(t)$ nin (veya eş durum vektörü $\lambda(t)$) nin yalnızca geri besleme karşılık vektörü $Z(t)$ den oluştuğunu varsayalım.

$$\lambda(t) = \Lambda Z(t) \quad (5.66)$$

$$(2Q + \Lambda)Z(t) = 0 \quad (5.67)$$

$$\Lambda = -2Q \quad (5.68)$$

Kontrol vektörü $U(t)$, (5.68) denkleminin (5.66) denkleminde ve (5.57) denkleminde yerine konulması ile aşağıdaki gibi elde edilir

$$U(t) = -\frac{\Delta t}{2} R^{-1} B' Q Z(t) \quad (5.69)$$

Ani optimal kapalı-çevri kontrol sisteminde durum vektörü $Z(t)$, (5.69) denkleminin, (5.58) denkleminde yerine konulması ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Z(t) = \left[I + \left(\frac{\Delta t}{2} \right)^2 B R^{-1} B' Q \right]^{-1} \left[T D(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} W_1 \ddot{X}_0(t) \right] \quad (5.70)$$

Ani Optimal Kapalı-Açık-Çevri Kontrolü

Kontrol vektörü $U(t)$ veya $\lambda(t)$, hem geri besleme karşılık durum vektörü $Z(t)$ den hemde ölçülmüş deprem yer ivmesi $\ddot{X}_0(t)$ den elde edilir.

$$\lambda(t) = \tilde{\Lambda} Z(t) + \tilde{q}(t) \quad (5.71)$$

(5.57) denklemi (5.58) denkleminde yerine konursa

$$Z(t) = T D(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{\Delta t}{4} B R^{-1} B' \lambda(t) + W_1 \ddot{X}_0(t) \right] \quad (5.72)$$

$Z(t)$ yi (5.56) ve (5.71) denkleminde elde etmek yerine (5.56) deki $2QZ(t)$ yi $Q[Z(t)+Z(t)]$ şeklinde yazıp 2. terim yerine (5.72) deki denklem konursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Q\left\{Z(t)+TD(t-\Delta t)+\frac{\Delta t}{2}\left[\frac{\Delta t}{4}BR^{-1}B'\lambda(t)+W_1\ddot{X}_0(t)\right]\right\}+\lambda(t)=0 \quad (5.73)$$

(5.71) denklemini (5.73) denkleminde yerine konulursa

$$\begin{aligned} &\left\{Q+\left[\frac{(\Delta t)^2}{8}QBR^{-1}B'+I\right]\tilde{\Lambda}\right\}Z(t)+Q\left[TD(t-\Delta t)+\frac{\Delta t}{2}W_1\ddot{X}_0(t)\right] \\ &+\left[\frac{(\Delta t)^2}{8}QBR^{-1}B'+I\right]\tilde{q}(t)=0 \end{aligned} \quad (5.74)$$

$$Q+\left[\frac{(\Delta t)^2}{8}QBR^{-1}B'+I\right]\tilde{\Lambda}=0 \quad (5.75)$$

$$\begin{aligned} &Q\left[TD(t-\Delta t)+\frac{\Delta t}{2}W_1\ddot{X}_0(t)\right] \\ &+\left[\frac{(\Delta t)^2}{8}QBR^{-1}B'+I\right]\tilde{q}(t)=0 \end{aligned} \quad (5.76)$$

$\tilde{\Lambda}$ ve $\tilde{q}$ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\tilde{\Lambda}=-\left[\frac{(\Delta t)^2}{8}QBR^{-1}B'+I\right]^{-1}Q \quad (5.77)$$

$$\tilde{q}(t)=\tilde{\Lambda}\left[TD(t-\Delta t)+\frac{\Delta t}{2}W_1\ddot{X}_0(t)\right] \quad (5.78)$$

Kontrol vektörü $U(t)$ ve durum vektörü $Z(t)$ aşağıdaki hali alır

$$U(t) = \frac{\Delta t}{2} R^{-1} B' [\tilde{\Lambda} Z(t) + \tilde{q}(t)] \quad (5.79)$$

$$Z(t) = \left[I - \frac{(\Delta t)^2}{8} B R^{-1} B' \tilde{\Lambda} \right]^{-1} \left\{ T D(t - \Delta t) + \frac{(\Delta t)^2}{8} B R^{-1} B' \tilde{q}(t) + \frac{(\Delta t)}{2} W_1 \ddot{X}_0(t) \right\} \quad (5.80)$$

Yukarıda anlatılan üç ani optimal kontrol algoritmasının da verimleri aynıdır. Başka bir deyişle bina karşılık değerleri ve gerekli aktif kontrol kuvveleri her üç ani optimal kontrol algoritması için aynıdır. Bunun nedeni her üç algoritmanında aynı performans indeksi $J(t)$ yi minimize etmesidir. Sonuç olarak herhangi bir ani optimal kontrol algoritması, ani optimal kontrol algoritması olarak adlandırılabilir

Q Ağırlık Matrisinin Saptanması

Kontrol vektörü $U(t)$ ağırlık matrisi Q ya bağlıdır.

$$U(t) = -\frac{\Delta t}{2} R^{-1} B' Q Z(t) \quad (5.81)$$

$Z(t)$ $2n$ boyutlu durum vektörü olup $Y(t)$ yerdeğiştirme karşılık vektörünü ve $\dot{Y}(t)$ hız karşılık vektörünü içerir.

$$[Z] = \begin{bmatrix} [Y] \\ [\dot{Y}] \end{bmatrix} \quad (5.82)$$

Q ve R matrisinin değerlerinin hesaplanmasında belirli kriterler yoktur. Q ve R matrislerinin değerleri deneme yanılma yöntemi kullanılarak elde edilen tecrübe ile belirlenir. Bu nedenle Q ve R matrislerinin özellikle Q matrisinin değerleri seçilirken dikkatli davranılmalıdır. Aşağıda Q matrisinin önemi ve uygun değerlerinin seçilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmaya çalışılmıştır. ^[13]

$$[B]' = \begin{bmatrix} 0 : H'(M^{-1})' \end{bmatrix} \quad (5.83)$$

B matrisi (2nrxr) boyutlu matristir. r = kontrol elemanı sayısını ifade eder. 0 (rxn) boyutlu sıfır matrisi, M (nxn) boyutlu diagonal kütle matrisi, H (nrx) boyutlu kontrol elemanlarının yerini gösteren konum matrisidir.

Q ağırlık matrisi (nxn) boyutlu 4 matrise ayrılabilir.

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (5.84)$$

(5.82) - (5.84) denklemleri (5.81) denklemine yerine konulursa

$$U(t) = -\left(\frac{\Delta t}{2}\right) R^{-1} H' (M^{-1})' [Q_{21} Y(t) + Q_{22} \dot{Y}(t)] \quad (5.85)$$

(5.85) denkleminden görüldüğü gibi kontrol kuvveti vektörü U(t), Q₁₁ ve Q₁₂ den bağımsızlardır. Başka bir deyişle Q₁₁ ve Q₁₂ nin kontrol sistemine etkisi yoktur. Bu nedenle J(t) performans indeksini azaltmak için Q₁₁ ve Q₁₂ nin elemanları sıfır seçilir.

M (nxn) boyutlu diagonal kütle matrisidir. Bu nedenle M⁻¹ de diagonal matristir. Eğer j inci katta kontrol elemanı yoksa H konum matrisinin j inci kolonunda sıfırdır. U(t) ifadesinde Q₂₁ ve Q₂₂ , H'(M⁻¹) ile çarpıldığı için Q₂₁ ve Q₂₂ nin j inci satırında düşmektedir. Eğer j inci katta kontrol elemanı yoksa, Q₂₁ ve Q₂₂ nin j inci satırında 0 olmalıdır.

(5.85) denklemde Q₂₁ ölçülmüş yer değiştirme vektörü Y(t) ile, Q₂₂ ise ölçülmüş hız vektörü $\dot{Y}(t)$ ile çarpılmaktadır. Bundan dolayı Q₂₂ matrisinin her kolonu karşı geldiği hız sensörünün önemini başka bir deyişle kontrol kuvvetine katkısını Q₂₁ matrisinin her kolonu ise karşı geldiği yer değiştirme sensörünün önemini gösterir. Bundan dolayı istenilen bir hızı veya yer değiştirmeyi azaltmak için Q₂₁ ve Q₂₂ matrisinde karşı gelen kolonun değeri büyük değerler olarak seçilmelidir.

BÖLÜM 6

SAYISAL ÖRNEKLER

Klasik optimal kontrol algoritması; binaların deprem etkisine karşı korunmasında kullanılamamaktadır. Bunun nedeni, klasik optimal kontrol algoritma denklemlerinin çözümü için deprem ivmesinin önceden bilinmesi gereğidir. Bu sebeple ani optimal kontrol algoritması geliştirilmiştir. Ani optimal kontrol algoritması zemine yerleştirilen sensörler aracılığı ile herhangi bir (t) anında o (t) anına kadar olan zemin hareketinin kaydedilmiş değerlerini kullanır.

Ani optimal kontrol algoritmasının deprem karşısındaki etkisini göstermek amacıyla 3 adet deprem için aktif giriş kontrol ve aktif kütle sönümleyici sistemi kullanılarak çözüm yapılmıştır. Sayısal örneğin çözümünün yapılması için ani optimal kapalı çevri kontrol algoritması kullanılarak aktif giriş ve aktif kütle kontrolü için Matlab programlama dilinde 2 ayrı bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Sayısal örneklerde; ivme kayıtları kullanılan depremler, maksimum ivme değerleri ve kayıtların zaman aralıkları aşağıda belirtilmiştir.

i) 1940 El-Centro depremi kuzey-güney bileşeni.

Maksimum ivme değeri = 320 cm/sn^2 zaman aralığı = 0,02 sn

ii) 1995 Dinar depremi doğu-batı bileşeni.

Maksimum ivme değeri = $329,72 \text{ cm/sn}^2$ zaman aralığı = 0,005 sn

iii) 1999 Marmara depremi doğu-batı bileşeni.

Maksimum ivme değeri = $407,74 \text{ cm/sn}^2$ zaman aralığı = 0,01 sn

Sayısal çözüm esnasında 10 katlı bir bina seçilmiş ve binanın karakteristik özellikleri her katta aynı alınmıştır. Her katın kütlesi 345,6 ton, rijitliği 340400 kN/m ve sönüm katsayısı 2937 ton/sn olarak seçilmiştir.

Aktif Kiriş Kontrol Sisteminin Özellikleri

Aktif kiriş kontrol sisteminde her kata kontrol elemanı yerleştirilmiştir. Bu elemanlar kata göre 25^0 açı yapmaktadır.

R ağırlık matrisi, köşegen elemanları $R_{ii} = 10^{-4}$ diğer elemanları sıfır olan (10x10) boyutlu matris olarak seçilmiştir.

Q matrisi, Q_{11} , Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} alt matrislerine ayrılmıştır. Q_{11} , Q_{12} matrisleri, kontrol kuvvetine etkileri olmadığı için sıfır seçilmiştir. Q_{21} , Q_{22} matrisleri (10x10) boyutlu matris olup sıfırdan farklı seçilmiştir.

$$Q = \alpha \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}$$

α sabit olup 4200 olarak seçilmiştir. Q_{21} , Q_{22} matrisleri kolaylık açısından eşit seçilmiştir. $Q_{21} = Q_{22} = Q^*$

$$Q^*(i,j) = \begin{cases} j & i > j \\ i & i \leq j \end{cases}$$

$$Q^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 7 & 7 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 8 & 8 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \end{bmatrix}$$

Aktif Kütle Sönümleyici Sistemin Özellikleri

Aktif kütle sönümleyici, 10 katlı binanın en üst katına yerleştirilmektedir. Sönümleyicinin; kütlesi $m_d=29,63$ ton, sönüm katsayısı $c_d=25$ ton/sn ve rijitliği $k_d=957,2$ kN/m olarak seçilmiştir.

R ağırlık matrisi, tek elemana sahiptir ve $R=10^{-3}$ olarak alınmıştır.

Q (22x22) matrisinin son iki satırı kontrol kuvvetine etki eder. Bundan dolayı Q_{21} , Q_{22} matrisleri (2x11) boyutlu matrislerdir.

$$Q = \alpha \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}$$

$$Q_{21} = \begin{bmatrix} -33.5 & -67 & -100.5 & -134 & -167.5 & -201 & -234.5 & -268 & -301.5 & -335 & 368.5 \\ -33.5 & -67 & -100.5 & -134 & -167.5 & -201 & -234.5 & -268 & -301.5 & -335 & 33.5 \end{bmatrix}$$

$$Q_{22} = \begin{bmatrix} 67.5 & 135 & 202.5 & 270 & 338.5 & 405 & 472.5 & 540 & 607.5 & 675 & 33.75 \\ 5.8 & 11.6 & 17.4 & 23.2 & 29 & 34.8 & 40.6 & 46.4 & 52.2 & 58 & 5.8 \end{bmatrix}$$

$\alpha=67$ olarak seçilmiştir.

Tablo B.1, B.2 ve B.3 te, yapıda, kontrollü ve kontrolsüz durumlarda depremlerden dolayı oluşan yer değiştirmeler ve kontrol mekanizmalarının uyguladıkları kontrol kuvvetinin maksimum değerleri düzenlenmiştir. Ayrıca binanın en üst katın yer değiştirmesi ve aktif kütle kontrol sisteminin uyguladığı kontrol kuvveti ile aktif giriş kontrol sisteminin 1. kata yerleştirilen elemanın uyguladığı kontrol kuvveti grafik olarak verilmiştir

Bu tablo ve grafiklerden de anlaşılabileceği gibi her iki sistem de teorik olarak deprem etkisindeki yapıların korunmasında başarılı olmuş, yapının deplasmanında %50 ye varan azalmalar meydana getirmişlerdir. Ancak daha iyi sonuçlar elde etmek için aşağıdaki değişiklikler yapılabilir;

- i) Q matrisinin değerleri artırılabilir,
- ii) R matrisinin değerleri azaltılabilir,
- iii) Δt zaman aralığı artırılabilir.

Değerlerdeki bu değişiklikler kontrol kuvvetinin artmasını dolayısıyla yapıdaki deplasmanların azalmasını sağlayacaktır. Kontrol kuvvetlerinin artması maliyetlerin de artmasına neden olacağı gibi, sistemde stabilite sorununa da yol açabilir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Depremlere karşı binaların korunması için geliştirilen klasik optimal kontrol algoritmasına ilişkin denklemlerin çözümünde tüm deprem ivmesinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Deprem ivmesinin önceden bilinmesi mümkün olmadığı için klasik optimal kontrol algoritması, yapıların korunmasında uygun bir algoritma değildir. Bu nedenle ani optimal kontrol algoritması geliştirilmiştir. Ani optimal kontrol algoritması; denklemlerinde herhangi bir (t) anında o (t) anına kadar olan zemin hareketini kullanır. Zemine yerleştirilen sensörler aracılığı ile (t) anına kadar olan zemin hareketlerini kaydedilebilme imkanı; ani optimal kontrol algoritmasının, deprem etkisindeki yapıların kontrolünde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada aktif kütle ve aktif giriş kontrol sistemleri 3 ayrı deprem için, ani optimal kontrol algoritması kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar, tablo B.1, B.2 ve B.3 te düzenlenmiştir. Bu tablolardan da anlaşılacağı üzere her iki sistemin de, teorik olarak deprem etkisindeki yapıların korunmasında başarılı olduğu, yapının deplasmanlarında %50 ye varan azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Ancak daha iyi sonuçlar elde etmek için denklemlerdeki Q matrisi ve Δt değerlerinin artırılması veya R matrisinin değerlerinin azaltılması gerekmektedir. Değerlerdeki bu değişiklik kontrol kuvvetlerinin artmasına dolayısı ile deplasmanların azalmasına neden olacaktır. Ancak kontrol kuvvetinin artması maliyetlerinde artışı sonucunu da beraberinde getirecektir. Bunun yanı sıra Q matrisinin değerlerinin seçiminde belirli kriterlerin olmaması ve bu değerlerin deneme yanılma yöntemi ile seçilmeleri bu problemi daha karmaşık hale getirmektedir. Bu değerlerin nasıl seçilmesi gerektiği üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Depremiň Őiddeti arttıkça, uygulanması gereken kontrol kuvveti Őiddetinde artırılması gerekmektedir. Buda sistemin maliyetini artırdığı gibi, sistemde stabilite sorununada neden olabilir. Dolayısıyla her iki sistem de çok Őiddetli depremler yerine; orta ve düşük Őiddetli depremlere karşı binaların korunmasında daha uygun ve etkili sistemlerdir.

Aktif kontrol sistemlerinin Şiddetli depremlerde kullanılabilmesi için çözölmesi gereken bir çok sorun vardır. Karma ve yarı aktif kontrol mekanizmaları bu sorunların çözölümünde umut verici gelişmeler sağlamışlardır.

Aktif kontrol sistemlerinin pasif sistemler ile bir arada kullanılması gerekli enerjinin azalmasını sağlayabilir. Karma kontrol sistemleri olarak tanımlanan bu sistemler, daha geniş kullanım alanına sahip oldukları gibi, elde edilen sonuçlara göre, aktif kontrolün tek başına kullanılmasından daha başarılı olabilecekleri düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Housner, Bergman, Caughey, Chassiakos, Claus, Masri, Skelton, Soong, Spencer and Yao, 1997. Structural control: past, present, and future, *Journal of Engineering Mechanics*, **123**, 897-971.
- [2] Zobu, Ö., 1997. Aktif ve pasif yapı kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Şahin, M., 1996. Deprem etkilerine karşı geliştirilen pasif ve aktif kontrol sistemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Sarı, B., 1998. Deprem etkisindeki yapılarda aktif ve pasif kontrol sistemlerinin uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Su, L., Ahmadi, G. and Tadjbakhsh, I., 1989. A comparative study of performances of various base isolation system, part I: shear beam structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **18**, 11-32.
- [6] Kobori, T., Koshika, N., Yamada, K. and Ikeda, Y., 1991. Seismic-response-controlled structure with active mass driver system. Part I: desing, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **20**, 133-149.
- [7] Soong, T.T., 1990. Active Structural Control: Theory and Practice, Longman Group UK Limited, England.
- [8] Kobori, T., Takahashi, M., Nasu, T. and Niwa, N., 1993. Seismic response controlled structure with active variable stiffness system, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **22**, 925-941.

- [9] Tamasula, D. P. and Ghaboussi, J., 1997. Gravity-actuator system for control of civil structures, *Journal of Structural Engineering*, **123**, 42-51.
- [10] Pinkaew, T. and Fujino, Y., 2001. Effectiveness of semi-active tuned mass dampers under harmonic excitation, *Engineering Structures*, **23**, 850-856.
- [11] Shing, P.B., Dixon, M.E., Kermiche, N. and Frangopol, D.M., 1996. Control of building vibrations with active/passive devices, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**, 1019-1039.
- [12] Yang, J.N., Li, Z., Danielians, A. And Liu, S.C., 1992. Aseismic hybrid control of nonlinear and hysteretic structures I, *Journal of Engineering Mechanics*, **118**, 1423-1440.
- [13] Yang, J.N., Akbarpour, A. and Ghaemmaghami, P., 1987. Instantaneous optimal control laws for tall buildings under seismic excitations, National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-87-0007.
- [14] Gözükcıl, B.B., 2000. Deprem etkisi altındaki yapıların aktif kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Yang, J.N., Akbarpour, A. and Ghaemmaghami, P., 1987. New optimal control algorithms for structural control, *Journal of Engineering Mechanics*, **113**, 1369-1386.

Ek A. Aktif Kiriş Kontrolü için Bilgisayar Programı

```
% Aktif kiriş kontrolü için herhangi dis yük altında sistemin yer degistirmelerini
% ve kontrol kuvvetlerini hesaplayan MATLAB programi
clear,clc;
% Bina karakteristiklerinin girilmesi
% m=kat kütlelerinin girilmesi
m=[345.6 345.6 345.6 345.6 345.6 345.6 345.6 345.6 345.6 345.6];
nkat=length(m);
% k=kat rijitliklerinin girilmesi
k=[340400 340400 340400 340400 340400 340400 340400 340400 340400 340400
340400];
% c= kat sönümlerinin girilmesi
c=[2937 2937 2937 2937 2937 2937 2937 2937 2937 2937];
% Kontrol kuvvetlerinin uygulandigi katlar
D_=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
nkont=length(D_);
% X0 dis yük degerlerinin girilmesi
fid=fopen('marmara.m');
X0=fscanf(fid,'%f',[1 6000]);
X0=reshape(X0,6000,1)*0.010;
fclose(fid);
% Q matrisi ile carpilan katsayi alfa ve R matrisi ile carpilan katsayi beta
alfa=4200;beta=0.0001;
% Kütle (M), sönüm (C) ve rijitlik (K) matrislerinin olusturulmasi
k(nkat+1)=0;
c(nkat+1)=0;
M=diag(m);
K=diag(k(1:nkat))+diag(k(2:end))+diag(-1*k(2:nkat),1)+diag(-1*k(2:nkat),-1);
C=diag(c(1:nkat))+diag(c(2:end))+diag(-1*c(2:nkat),1)+diag(-1*c(2:nkat),-1);
% A,B,W1 matrislerinin olusturulmasi
A=[zeros(nkat,nkat) eye(nkat,nkat);-(M^-1)*K -(M^-1)*C];
H=[-1 1 0 0 0 0 0 0 0 0;0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0;0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0;0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0;
0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0;0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0;0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0;0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1;0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1];
B=[zeros(nkat,nkont);(M^-1)*H];
W1=[zeros(nkont,1);(M^-1)*-m'];
% Q ve R agirlik matrisleri
Q21=[1 1 1 1 1 1 1 1 1 1;1 2 2 2 2 2 2 2 2 2;1 2 3 3 3 3 3 3 3 3;1 2 3 4 4 4 4 4 4 4;1
2 3 4 5 5 5 5 5 5;1 2 3 4 5 6 6 6 6 6;1 2 3 4 5 6 7 7 7 7;1 2 3 4 5 6 7 8 8 8;1 2 3 4 5 6
7 8 9 9;1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
Q22=Q21;
Q=alfa*[zeros(nkat,nkat) zeros(nkat,nkat);Q21 Q22];
R=beta*eye(nkont,nkont);
% Döngünün icinde kullanılan döngüden etkilenmeyen matris islemleri
[T,sal]=eig(A);
theta=sal;
dt=0.01;
```

```

sa2=(expm(dt*sa1))*inv(T);
sa3=inv(eye(2*nkat,2*nkat)+0.25*dt*dt*B*inv(R)*B'*Q);
sa4=-0.5*dt*inv(R)*B'*Q;
% Deplasmanların Z(t) ve kontrol kuvvetleri U(t) nin hesaplanması
clear Z U,Z(2*nkat,1)=0; U(nkont,1)=0;
ntekrar=length(X0)-1 ;
filename1=fopen('katdepl.m','w');
filename2=fopen('kontkuvveti.m','w');
% Deplasmanı istenilen katin girilmesi
ikat=10;
% kontrol kuvveti istenilen katin girilmesi
jkat=1;
fprintf(filename1,'%i.katin deplasmanı(Aktif Kiriş Kontrolü): \n\n',ikat);
fprintf(filename2,'%i.katin Kontrol kuvvetleri(Aktif Kiriş Kontrolü): \n\n',jkat);
maxdepls=0;maxkont1=0;maxkont2=0;maxkont3=0;maxkont4=0;maxkont5=0;maxkont6=0;maxkont7=0;maxkont8=0;maxkont9=0;maxkont10=0;
maxdepls1=0;maxdepls2=0;maxdepls3=0;maxdepls4=0;maxdepls5=0;maxdepls6=0;
maxdepls7=0;maxdepls8=0;maxdepls9=0;maxdepls10=0;
for i=1:ntekrar
    depls=real(Z(1:nkat));deplskat=real(Z(ikat));
    deplskat1=real(Z(1));deplskat2=real(Z(2));deplskat3=real(Z(3));deplskat4=real(Z(4));
    deplskat5=real(Z(5));deplskat6=real(Z(6));deplskat7=real(Z(7));deplskat8=real(Z(8));
    deplskat9=real(Z(9));deplskat10=real(Z(10));
    fprintf(filename1,'%f \n',deplskat);
    fprintf(filename2,'%f \n',U(jkat));
    vardepls(i,:)=deplskat;
    kontkuv1(i,:)=U(jkat);
    D=sa2*(Z+0.5*dt*(B*U+W1*X0(i)));
    Z=real(sa3*(T*D+0.5*dt*W1*X0(i+1)));
    if abs(deplskat)>=maxdepls;
        maxdepls=abs(deplskat);
    end
    if abs(deplskat1)>=maxdepls1;
        maxdepls1=abs(deplskat1);
    end
    if abs(deplskat2)>=maxdepls2;
        maxdepls2=abs(deplskat2);
    end
    if abs(deplskat3)>=maxdepls3;
        maxdepls3=abs(deplskat3);
    end
    if abs(deplskat4)>=maxdepls4;
        maxdepls4=abs(deplskat4);
    end
    if abs(deplskat5)>=maxdepls5;
        maxdepls5=abs(deplskat5);
    end
    if abs(deplskat6)>=maxdepls6;
        maxdepls6=abs(deplskat6);
    end
end

```



```

if abs(deplskat7)>=maxdepls7;
    maxdepls7=abs(deplskat7);
end
if abs(deplskat8)>=maxdepls8;
    maxdepls8=abs(deplskat8);
end
if abs(deplskat9)>=maxdepls9;
    maxdepls9=abs(deplskat9);
end
if abs(deplskat10)>=maxdepls10;
    maxdepls10=abs(deplskat10);
end
U=real(sa4*Z)/cos(25);

U1=U(1);U2=U(2);U3=U(3);U4=U(4);U5=U(5);U6=U(6);U7=U(7);U8=U(8);U9=U
(9);U10=U(10);
if abs(U1)>=maxkont1;
    maxkont1=abs(U1);
end
if abs(U2)>=maxkont2;
    maxkont2=abs(U2);
end
if abs(U3)>=maxkont3;
    maxkont3=abs(U3);
end
if abs(U4)>=maxkont4;
    maxkont4=abs(U4);
end
if abs(U5)>=maxkont5;
    maxkont5=abs(U5);
end
if abs(U6)>=maxkont6;
    maxkont6=abs(U6);
end
if abs(U7)>=maxkont7;
    maxkont7=abs(U7);
end
if abs(U8)>=maxkont8;
    maxkont8=abs(U8);
end
if abs(U9)>=maxkont9;
    maxkont9=abs(U9);
end
if abs(U10)>=maxkont10;
    maxkont10=abs(U10);
end
end
fclose(filename1);fclose(filename2);
% Maksimum kontrol kuvvetlerinin basılması
fprintf(' 1. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont1)

```

```

fprintf(' 2. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont2)
fprintf(' 3. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont3)
fprintf(' 4. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont4)
fprintf(' 5. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont5)
fprintf(' 6. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont6)
fprintf(' 7. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont7)
fprintf(' 8. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont8)
fprintf(' 9. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n',maxkont9)
fprintf(' 10. kat maximum kontrol kuvveti =%6.2f kN \n\n',maxkont10)
% Kontrolsüz durumda deplasmanların hesabi
clear Z U DD ,
Z(2*nkat,1)=0 ;
filename3=fopen('kontyokkatdpl.m','w');
fprintf(filename3,'%i.katin deplasmanı (Kontrolsüz Durum)(Aktif Kiriş Kontrolü): \n\n',ik特);
maxdpls=0;
maxdpls1=0;maxdpls2=0;maxdpls3=0;maxdpls4=0;maxdpls5=0;maxdpls6=0;maxdpls7=0;maxdpls8=0;maxdpls9=0;maxdpls10=0;
% Kontrolsüz durum için deplasmanların Z(t) nin hesaplanması
for i=1:ntekrar
    dpls=real(Z(1:nkat));
    dplskat1=real(Z(1));dplskat2=real(Z(2));dplskat3=real(Z(3));dplskat4=real(Z(4));dplskat5=real(Z(5));dplskat6=real(Z(6));dplskat7=real(Z(7));dplskat8=real(Z(8));dplskat9=real(Z(9));dplskat10=real(Z(10));
    dplskat=real(Z(ik特));
    fprintf(filename3,'%f \n',dplskat);
    yokdepls(i,:)=dplskat;
    D=sa2*(Z+0.5*dt*W1*X0(i));
    Z=real(T*D+0.5*dt*W1*X0(i+1));
    if abs(dplskat)>=maxdpls;
        maxdpls=abs(dplskat);
    end
    if abs(dplskat1)>=maxdpls1;
        maxdpls1=abs(dplskat1);
    end
    if abs(dplskat2)>=maxdpls2;
        maxdpls2=abs(dplskat2);
    end
    if abs(dplskat3)>=maxdpls3;
        maxdpls3=abs(dplskat3);
    end
    if abs(dplskat4)>=maxdpls4;
        maxdpls4=abs(dplskat4);
    end
    if abs(dplskat5)>=maxdpls5;
        maxdpls5=abs(dplskat5);
    end
    if abs(dplskat6)>=maxdpls6;
        maxdpls6=abs(dplskat6);
    end
end

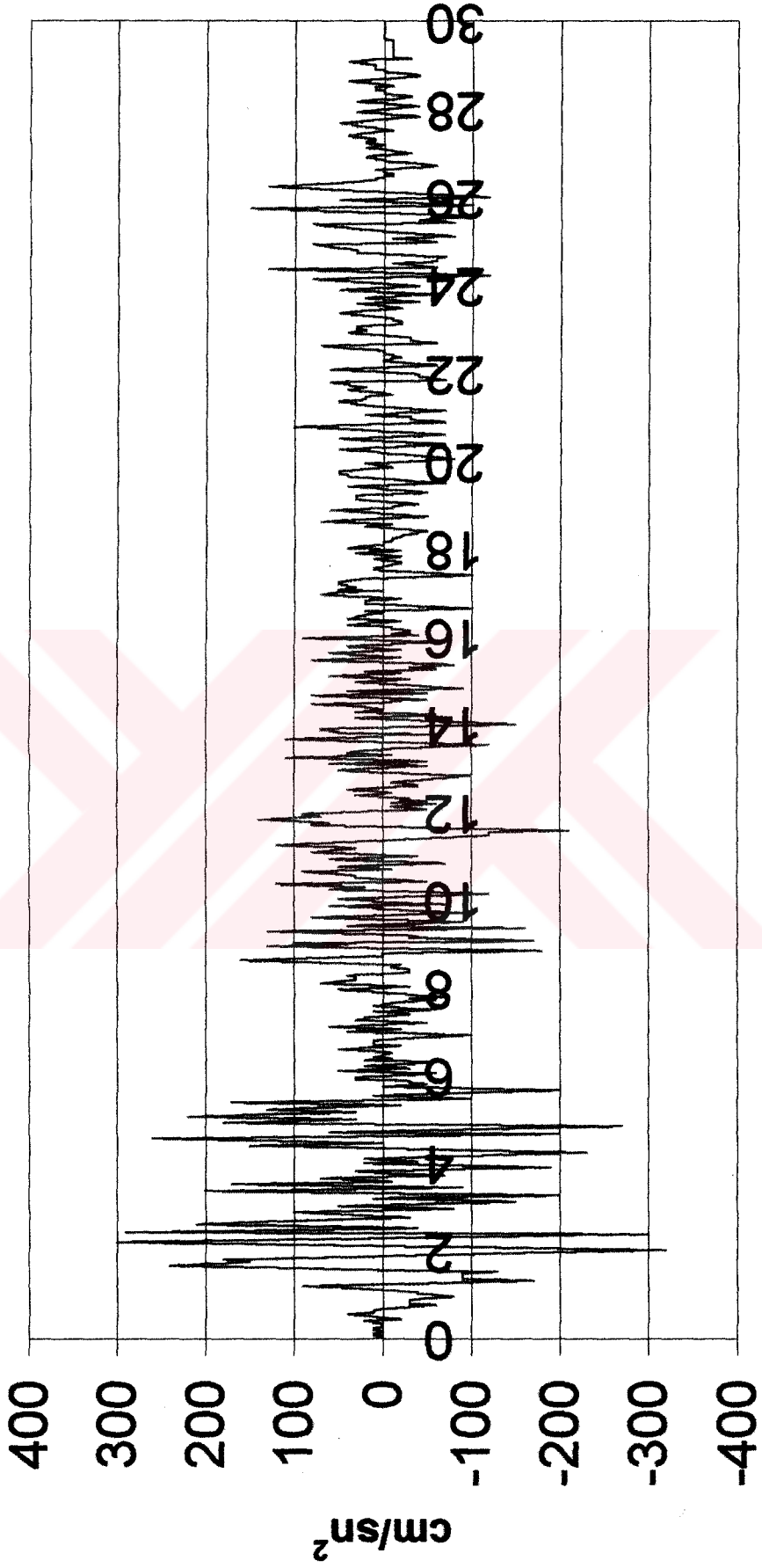
```

```

    if abs(dplskat7)>=maxdpls7;
        maxdpls7=abs(dplskat7);
    end
    if abs(dplskat8)>=maxdpls8;
        maxdpls8=abs(dplskat8);
    end
    if abs(dplskat9)>=maxdpls9;
        maxdpls9=abs(dplskat9);
    end
    if abs(dplskat10)>=maxdpls10;
        maxdpls10=abs(dplskat10);
    end
end
fclose(filename3);
% Sonuclarin basilmasi
fprintf('1 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls1*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls1*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls1/maxdpls1)
fprintf('2 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls2*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls2*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls2/maxdpls2)
fprintf('3 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls3*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls3*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls3/maxdpls3)
fprintf('4 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls4*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls4*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls4/maxdpls4)
fprintf('5 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls5*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls5*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls5/maxdpls5)
fprintf('6 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls6*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls6*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls6/maxdpls6)
fprintf('7 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls7*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls7*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls7/maxdpls7)
fprintf('8 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls8*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls8*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls8/maxdpls8)
fprintf('9 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls9*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls9*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls9/maxdpls9)
fprintf('10 kat maximum deplasman=%6.2fcm ',maxdpls10*100)
fprintf(' %6.2fcm ',maxdepls10*100)
fprintf(' oran=%4.2f \n',maxdepls10/maxdpls10)
x=[0:dt:dt*(length(X0)-2)];
subplot(2,1,1),plot(x,vardepls*100,'r',x,yokdepls*100,'b'),grid on
xlabel('time(s)'),ylabel('displacment(cm)')
subplot(2,1,2),plot(x,kontkuv1,'r'),grid on
ylabel('control force (kN)')

```

El-Centro ivme sismogramı K-G (1940)



Tablo B.1 El-Centro Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları

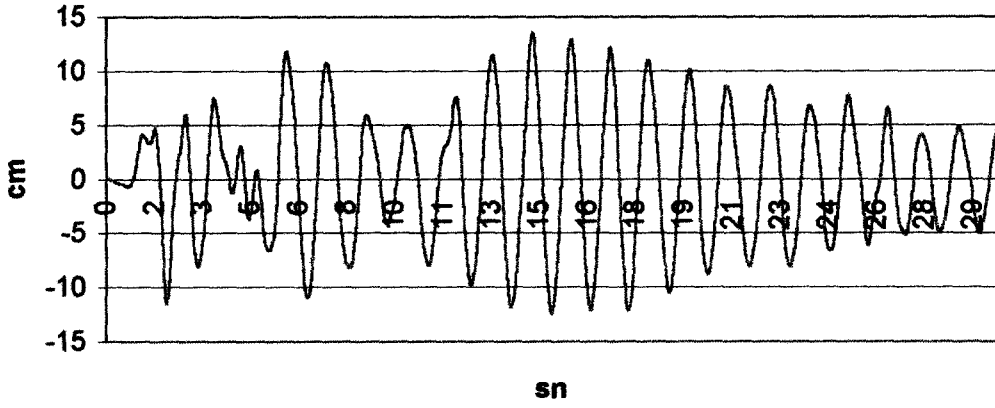
Katlar	Kontrolsüz Durum	Aktif Kütle Kontrolü		Aktif Kiriş Kontrolü	
	Deplasmanlar (cm)	Deplasmanlar (cm)	Oran	Deplasmanlar (cm)	Oran
1	1,86	1,54	0,83	0,88	0,47
2	3,66	2,99	0,82	1,70	0,46
3	5,35	4,28	0,80	2,41	0,45
4	7,02	5,39	0,77	3,04	0,43
5	8,58	6,28	0,73	3,53	0,41
6	10,01	6,69	0,67	3,94	0,39
7	11,28	7,41	0,66	4,47	0,40
8	12,33	7,63	0,62	4,93	0,40
9	13,10	7,66	0,58	5,25	0,40
10	13,51	7,53	0,56	5,44	0,40

Aktif kütle kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvveti = 2165,35 kN

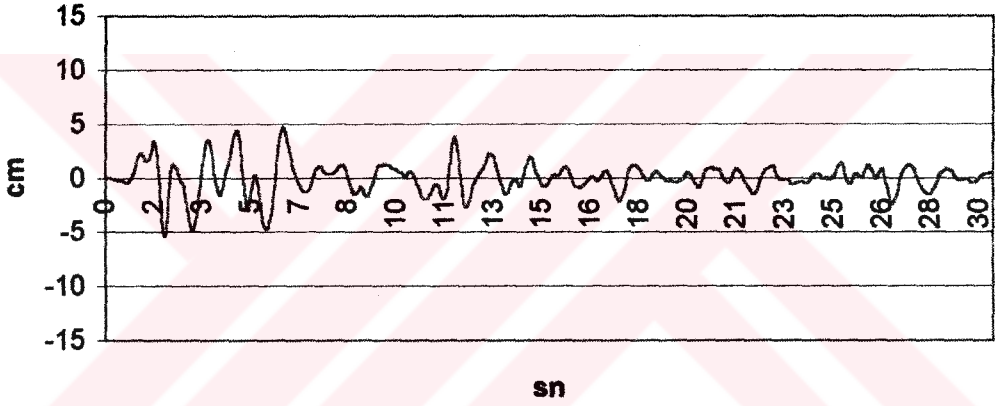
Aktif kiriş kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvvetleri =

1. kat = 3070,68 kN
2. kat = 3017,09 kN
3. kat = 2910,20 kN
4. kat = 2743,29 kN
5. kat = 2513,91 kN
6. kat = 2222,19 kN
7. kat = 1859,23 kN
8. kat = 1438,05 kN
9. kat = 976,92 kN
10. kat = 494,93 kN

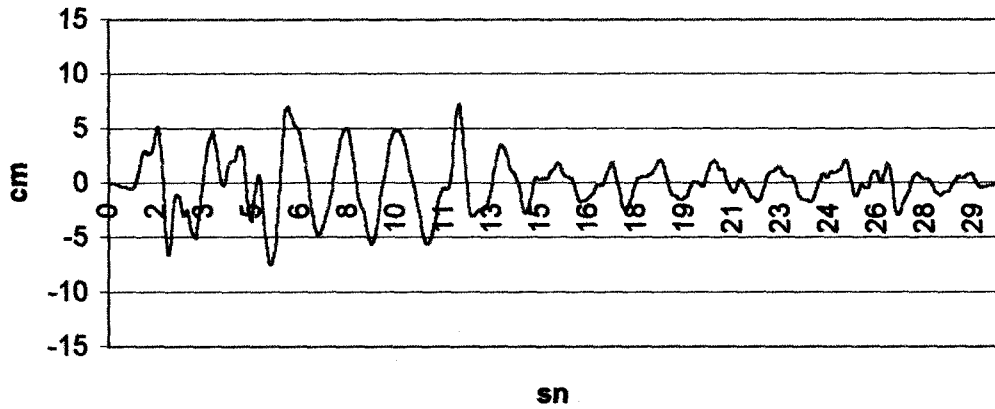
10. Kat Deplasmanı (Kontrolsüz Durum)



10. Kat Deplasmanı (Aktif Kiriş Kontrolü)

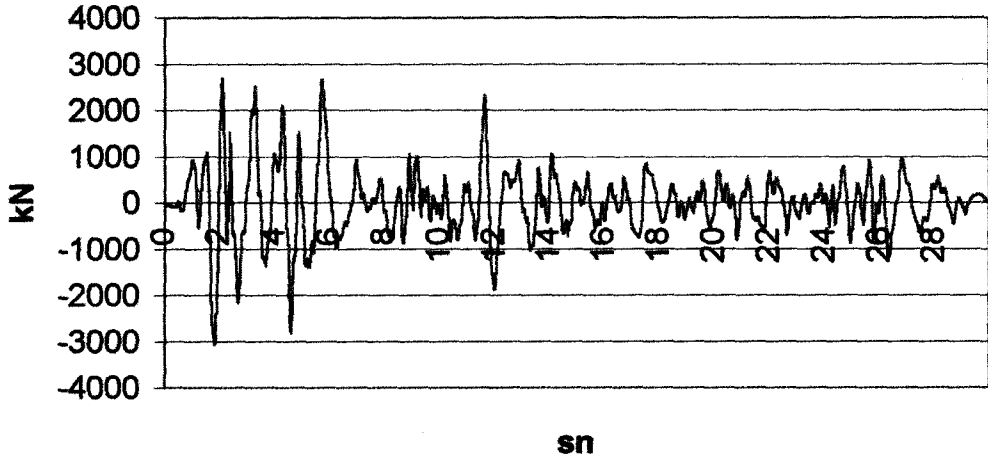


10. Kat Deplasmanı (Aktif Kütle Kontrolü)

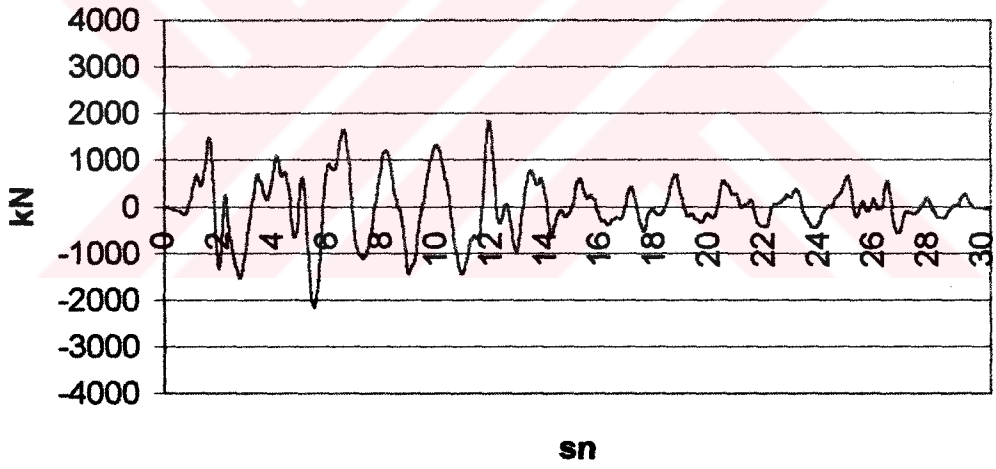


EL-CENTRO DEPREMİ

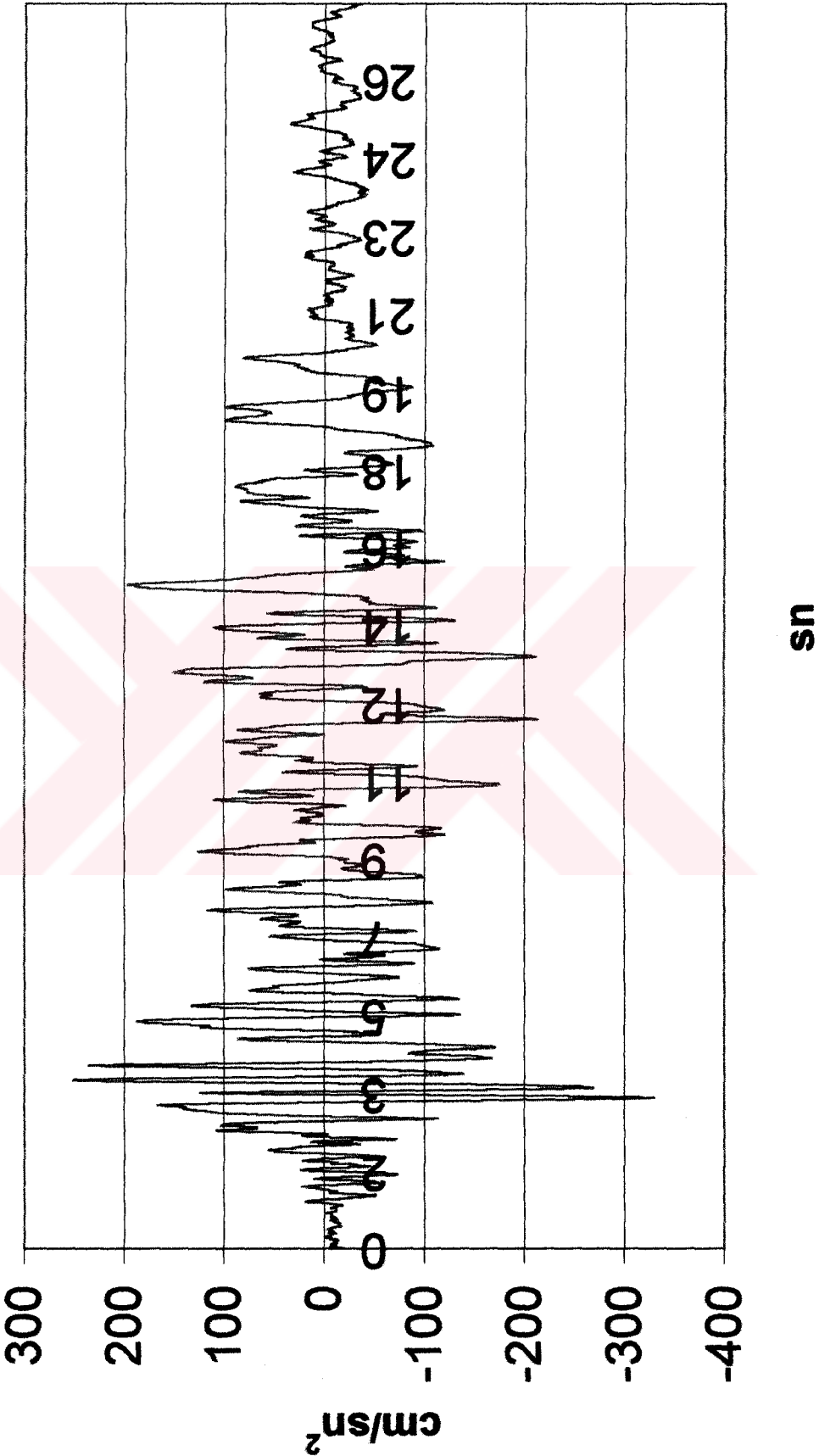
1. Kat Kontrol Kuvveti (Aktif Kiriş Kontrolü)



Kontrol Kuvveti (Aktif Kütle Kontrolü)



Dinar ivme sismogramı D-B (1995)



Tablo B.2 Dinar Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları

Katlar	Kontrolsüz Durum	Aktif Kütle Kontrolü		Aktif Kiriş Kontrolü	
	Deplasmanlar (cm)	Deplasmanlar (cm)	Oran	Deplasmanlar (cm)	Oran
1	6,41	2,84	0,44	3,38	0,53
2	12,69	5,65	0,45	6,66	0,52
3	18,65	8,38	0,45	9,73	0,52
4	24,10	10,93	0,45	12,50	0,52
5	28,90	13,24	0,46	14,94	0,52
6	32,97	15,35	0,47	17,05	0,52
7	36,28	17,26	0,48	18,84	0,52
8	38,79	18,85	0,49	20,28	0,52
9	40,49	20,05	0,50	21,30	0,53
10	41,36	20,88	0,50	21,82	0,53

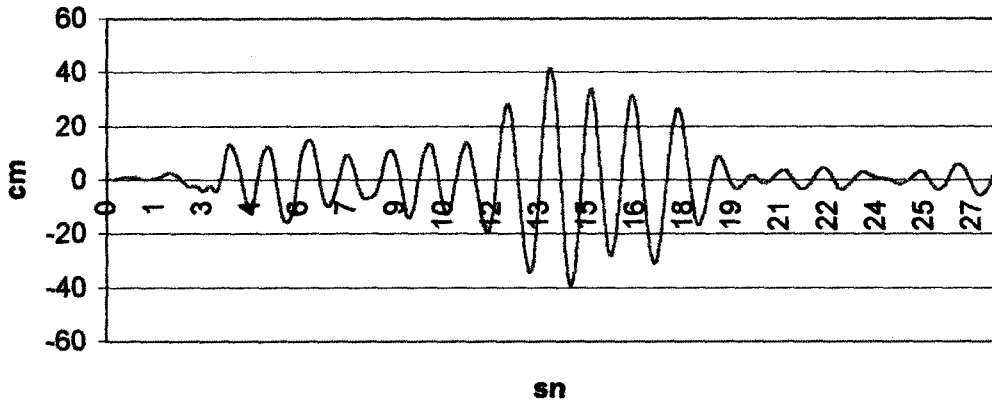
Aktif kütle kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvveti = 1413,14 kN

Aktif kiriş kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvvetleri =

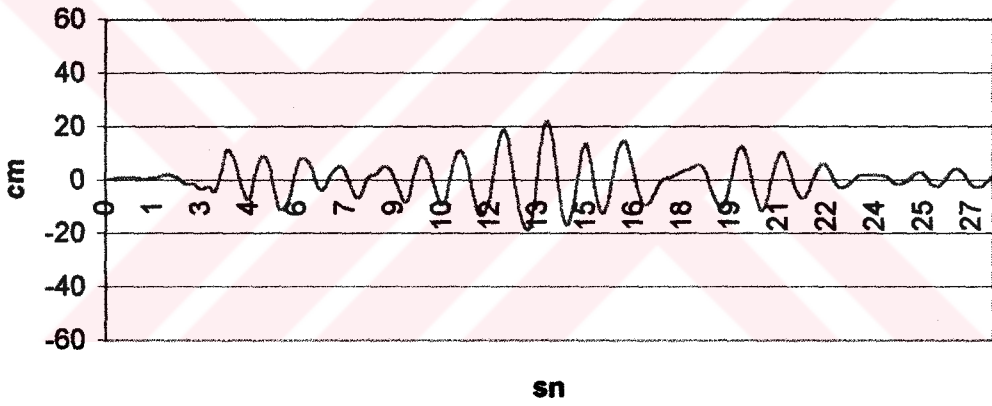
1. kat = 2337,97 kN
2. kat = 2291,80 kN
3. kat = 2196,97 kN
4. kat = 2053,87 kN
5. kat = 1863,65 kN
6. kat = 1630,39 kN
7. kat = 1359,00 kN
8. kat = 1053,71 kN
9. kat = 720,10 kN
10. kat = 365,63 kN

DİNAR DEPREMİ

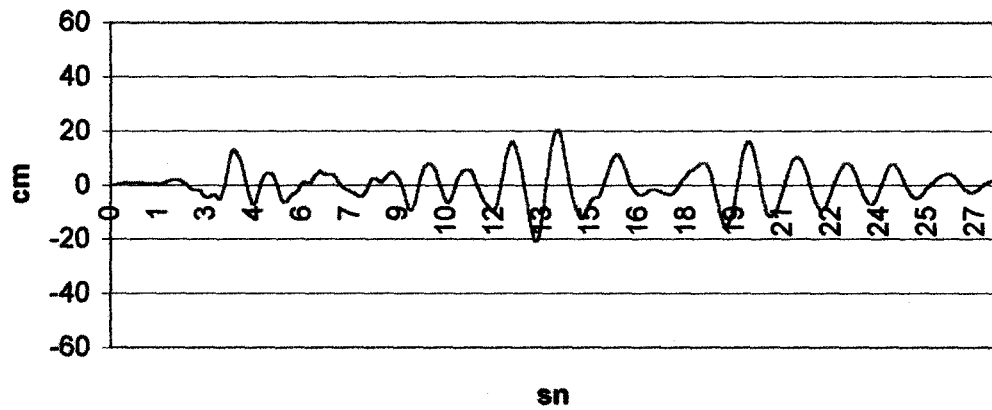
10. Kat Deplasmanı (Kontrolsüz Durum)



10. Kat Deplasmanı (Aktif Kiriş Kontrolü)

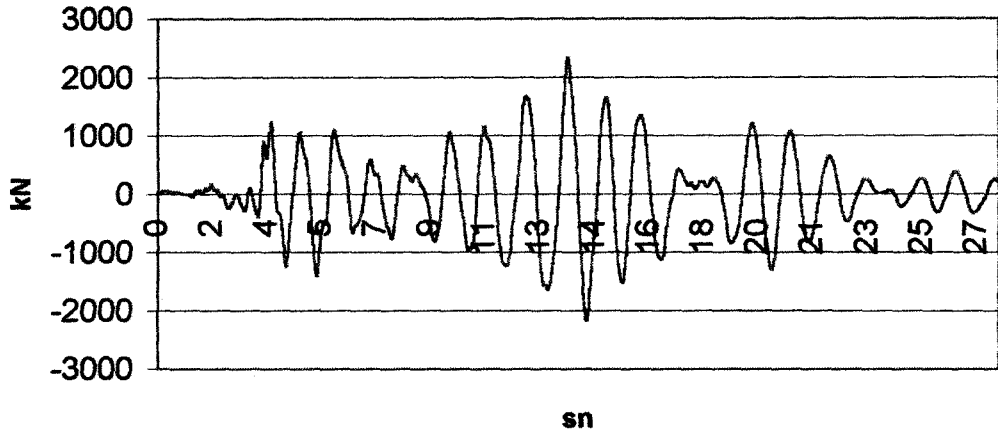


10. Kat Deplasmanı (Aktif Kütle Kontrolü)

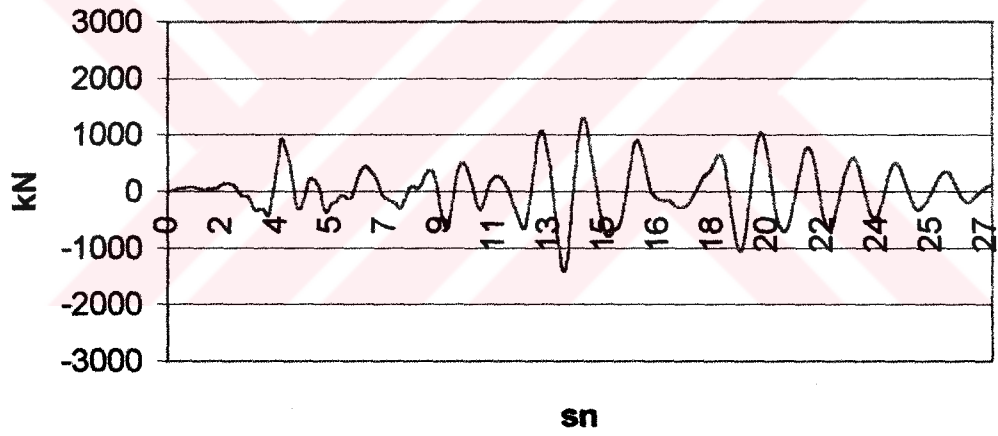


DİNAR DEPREMİ

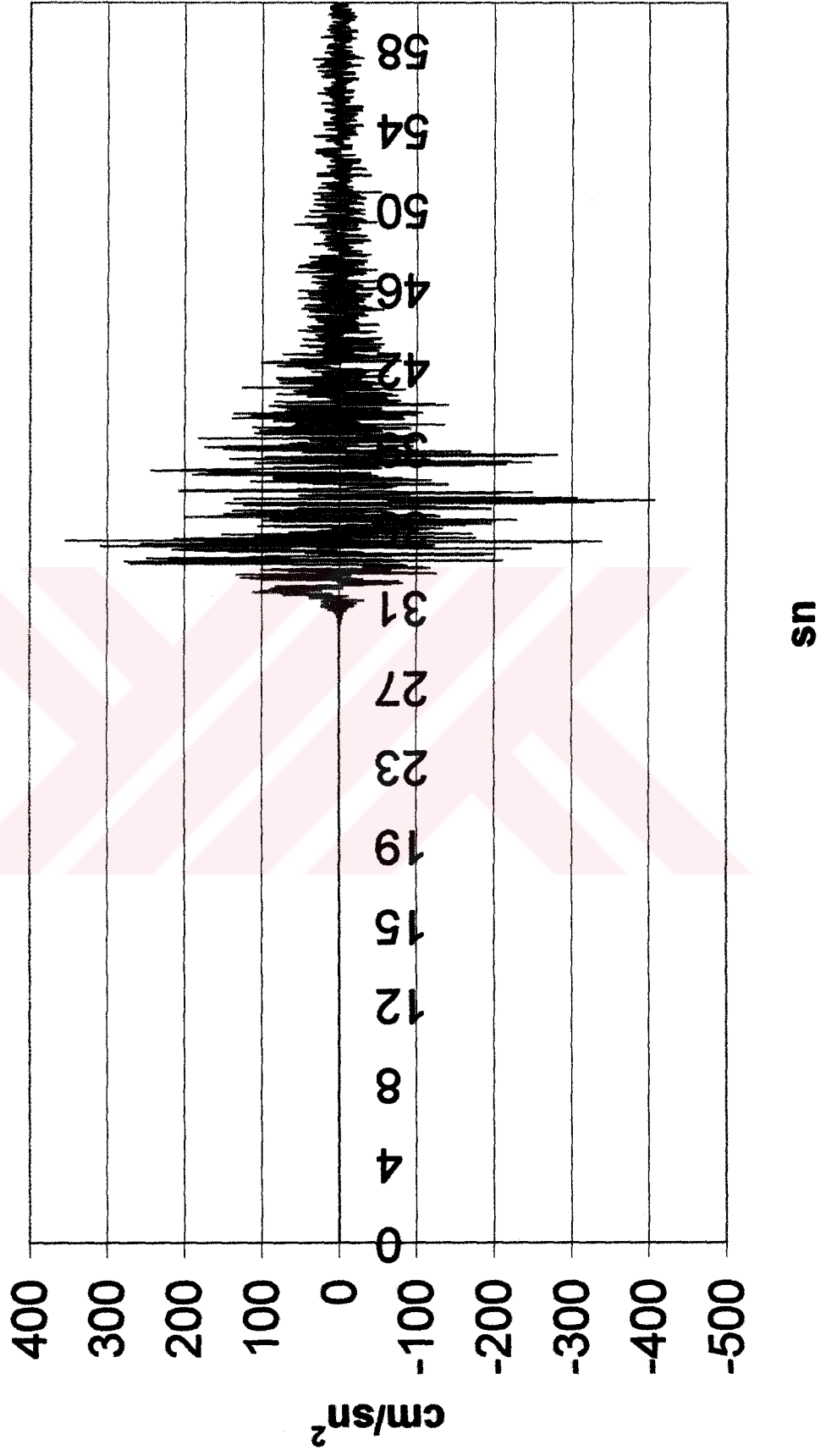
1. Kat Kontrol Kuvveti (Aktif Kiriş Kontrolü)



Kontrol Kuvveti (Aktif Kütle Kontrolü)



Marmara ivme sismogramı D-B (1999)



Tablo B.3 Marmara Depremi Etkisindeki Binanın Deplasmanları

Katlar	Kontrolsüz Durum	Aktif Kütle Kontrolü		Aktif Kiriş Kontrolü	
	Deplasmanlar (cm)	Deplasmanlar (cm)	Oran	Deplasmanlar (cm)	Oran
1	3,41	2,15	0,63	1,66	0,49
2	6,71	4,07	0,61	3,25	0,48
3	9,81	5,72	0,58	4,73	0,48
4	12,61	7,11	0,56	6,08	0,48
5	15,08	8,29	0,55	7,28	0,48
6	17,21	9,31	0,54	8,35	0,49
7	19,01	10,21	0,54	9,32	0,49
8	20,45	10,99	0,54	10,18	0,50
9	21,45	11,63	0,54	10,83	0,50
10	21,95	12,12	0,55	11,18	0,51

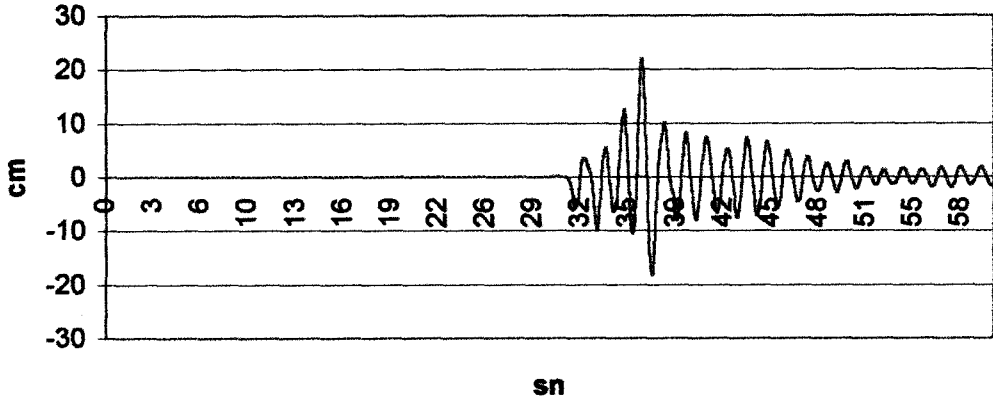
Aktif kütle kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvveti = 1753,12 kN

Aktif kiriş kontrol sisteminin maksimum kontrol kuvvetleri =

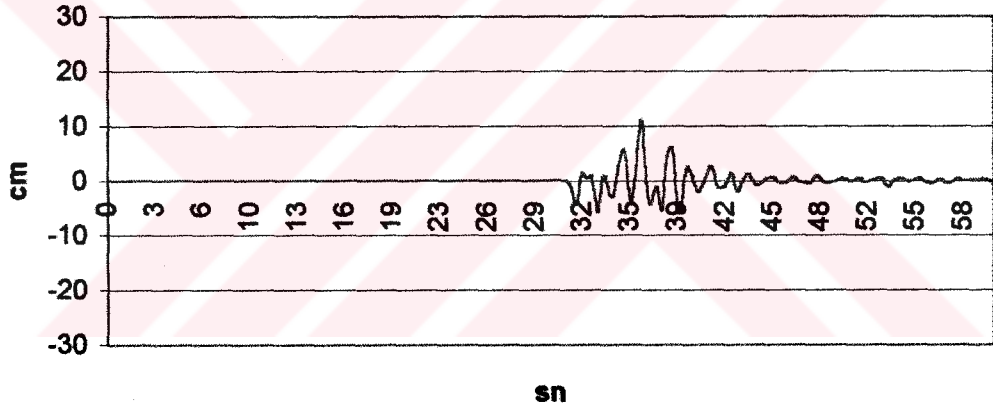
1. kat = 2213,15 kN
2. kat = 2148,41 kN
3. kat = 2018,29 kN
4. kat = 1836,26 kN
5. kat = 1609,43 kN
6. kat = 1351,64 kN
7. kat = 1075,02 kN
8. kat = 809,31 kN
9. kat = 545,25 kN
10. kat = 274,70 kN

MARMARA DEPREMİ

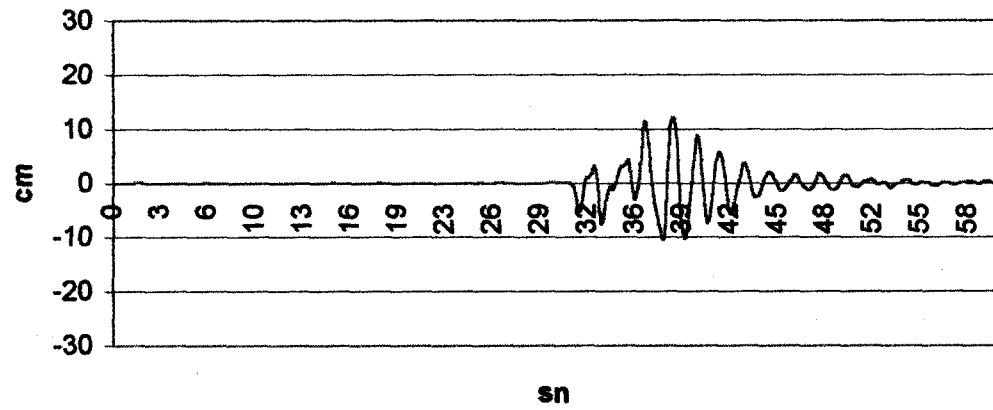
10. Kat Deplasmanı (Kontrolsüz Durum)



10. Kat Deplasmanı (Aktif Kiriş Kontrolü)

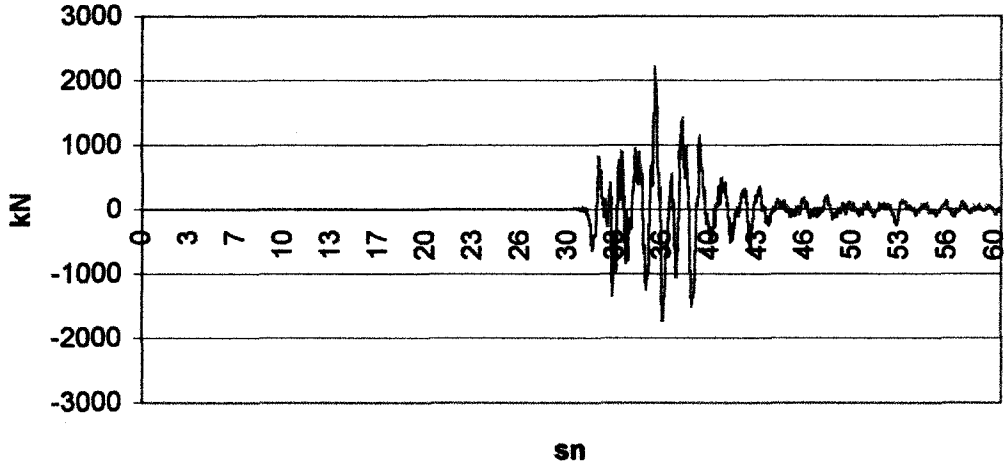


10. Kat Deplasmanı (Aktif Kütle Kontrolü)

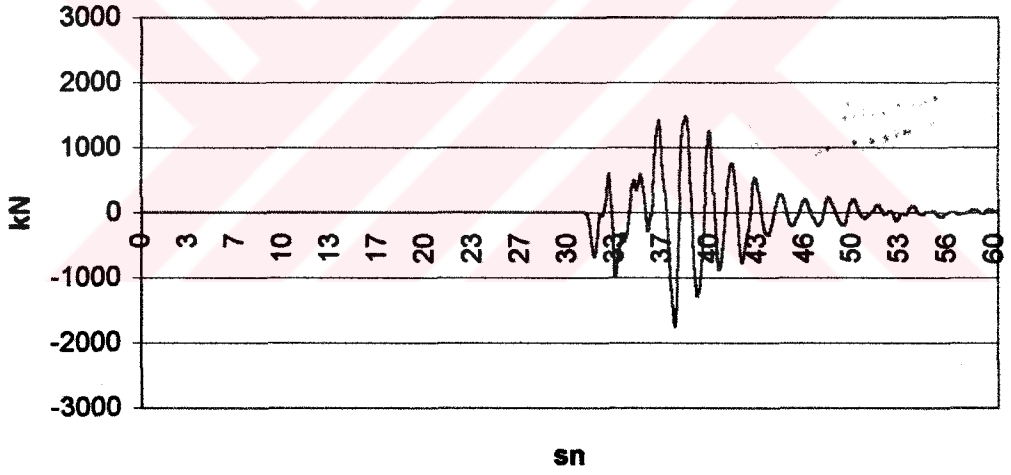


MARMARA DEPREMİ

1. Katın Kontrol Kuvveti (Aktif Kiriş Kontrolü)



Kontrol Kuvveti (Aktif Kütle Kontrolü)



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Melik 1979 yılında Şanlıurfa’ da doğdu. 1989-1996 yılları arasında TED Ankara Koleji’ nde orta ve lise eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği’ nde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2000 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**