

55502

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM ETKİLERİNE KARŞI GELİŞTİRİLEN PASİF VE
AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Meltem ŞAHİN

Tezin enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Haziran 1996

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Zekai CELEP

Prof Dr. Melike ALTAN

22.7.96

HAZİRAN 1996

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Deprem Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında deprem etkilerinin yapılar üzerinde meydana getirdiği zararlı etkileri azaltmak amacıyla geliştirilen aktif ve pasif kontrol sistemleri incelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince düşünce ve bilgilerden yararlandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. Necmettin Gündüz' e ve desteğinden dolayı Murat Akhuy'a teşekkürlerimi sunarım

Haziran 1996

Meltem Şahin

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
SEMBOL LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
BÖLÜM 2. PASİF KONTROL SİSTEMLERİ	3
2.1 Taban İzolasyon Sistemleri	3
2.1.1 Bu Sistemler Üzerinde Yapılan Çalışmalar	3
2.1.2. Çalışma Mekanizması	9
2.1.3. Taban İzolasyon Sistem Tipleri	21
2.2 Pasif Enerji Sönümleyen Sistemler	25
2.2.1 Çalışma Mekanizması	25
2.2.2. Pasif Enerji Sönümleyen Sistem Tipleri	26
BÖLÜM 3. AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ	49
3.1. Aktif Kontrol İle İlgili Çalışmalar	49
3.2. Aktif Kontrol Elemanları	50
3.3 Çalışma Mekanizması	51
3.4. Aktif Kontrol Tipleri	52
BÖLÜM 4. KARMA İZOLASYON SİSTEMLER	59
4.1 Genel Bakış	59
4.2 APTMD Sistem	60
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	65
SAYISAL ÖRNEK	67
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

M	: Kütle matrisi
C	: Sönüm matrisi
K	: Rijitlik matrisi
$x(t)$	: n - Boyutlu yer değiştirme vektörü
$f(t)$	: Dış titreşimi ifade eden r vektör
$u(t)$	: Kontrol kuvvetini ifade eden m vektör
D	: Kontrol kuvvet vektörünün yerleşimini gösteren $n \times m$ boyutlu matris
E	: Dış titreşimin yerleşimini gösteren $n \times r$ boyutlu matris
K_1, C_1, E_1	: Kontrol kazançları
P_y	: Eğilme kuvveti
Δ_y	: Eğilme yer değiştirmesi
μ	: Süneklik oranı
W_b	: Histeretik enerji
B	: Kuşaklamanın yatay rijitliği
D	: ADAS aracının başlangıç elastik rijitliği
m, m_d, m_s	: Sırasıyla yapının, TMD sistemin, AMD sistemin kütleleri
c, c_d, c_s	: Sırasıyla yapının, TMD sistemin, AMD sistemin sönüm katsayıları
k, k_d, k_s	: Sırasıyla yapının, TMD sistemin, AMD sistemin rijitliği
$f_w(t)$	: Dış kuvvet
x	: Kontrolsüz ana yapının hızı
y	: TMD' nin hareket miktarı

$z, \dot{z}$: AMD' nin hız ve yer değıştirmesi

y : Kontrolsüz ana yapının hızı

G_1, G_2, G_3, G_4 : Kapalı devre kazançları



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Taban İzolasyon Elemanının Sistemin Yer Değiştirmesinin Periyod İle Değişimi	12
Şekil 2.2 Elastomerik İzolatör	16
Şekil 2.3 Kurşun-Kauçuk İzolatör	16
Şekil 2.4 Kurşun-Kauçuk İzolatör Detayları a) Plan; b) Kesit	17
Şekil 2.5 Yer Değiştirmeyi Kısıtlayıcı Araç İçeren Sönümleyici Kuvvet Diyagramı	17
Şekil 2.6 Yer Değiştirmeyi Kısıtlayıcı Araç ve Sönümleyici	18
Şekil 2.7 Çeşitli İzolasyon Sistemlerin Şematik Diyagramları	24
Şekil 2.8 HIDAM Sistem Diyagramı	27
Şekil 2.9 Maxwell Modeli	28
Şekil 2.10 Sürtünme Araçlarının Kuşaklama Sistem Biçimleri	29
Şekil 2.11 Pall Tarafından Geliştirilen Sürtünmeli Sönümleyici	31
Şekil 2.12 Tyler Tarafından Geliştirilen Kuşaklama Sistemi	32
Şekil 2.13 Aiken (1990) Tarafından Geliştirilen Sumitomo Sürtünmeli Sönümleyici ve Yerleşim Detayı	32
Şekil 2.14 ADAS Elemanı ve Yerleşim Detayı	35
Şekil 2.15 Honeycomb Sönümleyici	36
Şekil 2.16 Birim Sönümleyici	36
Şekil 2.17 Sea Fort Square	37
Şekil 2.18 Honeycomb Sönümleyicinin Yerleşim Pozisyonları	38

Şekil 2.19 Honeycomb Sönümleyicinin Etkisini Gösteren Şekil	38
Şekil 2.20 Honeycomb Sönümleyicinin Deformasyon Şekli	38
Şekil 2.21 Honeycomb Sönümleyicinin Duvar, Kiriş ve Kolonlarda Yerleşimi	39
Şekil 2.22 Nokta Sönümleyicinin Yerleşim, Detay ve Biçimleri	40
Şekil 2.23Kajima binası ve Nokta Sönümleyicilerin Yerleşimi (KI)	40
Şekil 2.24 Nokta Sönümleyicilerin Yerleşimi	41
Şekil 2.25 Nokta Sönümleyicilerin Değişik Uygulamaları	41
Şekil 2.26 Viskoelastik Sönümleyici ve Yerleşim Detayı (Aiken 1990)	43
Şekil 2.27 TMD Tipleri	46
Şekil 2.28 TLD Tipleri	47
Şekil 3.1 Açık-Kapalı Devre Şematik Diyagramları	50
Şekil 3.2 Aktif Kontrol Şematik Diyagramı	51
Şekil 3.3 Kyobashi Seiwa Binası	54
Şekil 3.4 Kyobashi Seiwa Binası' nda Kullanılan AMD' ler	55
Şekil 3.5 AMD Sistemin İşleyiş Diyagramı	55
Şekil 3.6 Kuşaklamalara Yerleştirilen Rijitliği Değişebilen Araç	57
Şekil 3.7 Değişken Rijitlikli Aracın Detayı	57
Şekil 3.8 AVS Yapı Sistemi	58
Şekil 3.9 Aktif-Pasif Birleşimi Ayarlanmış Kütle Sönümleyici Şematik Diyagramı	61
Şekil Ek A1 Örnek Yapı	69

ÖZET

Bir yapının sismik tasarımında ana amaç, yapıda oluşan iç kuvvet ve yer değiştirmeleri güvenlik, servis ve konfor koşulları kullanarak sınırlamaktır. Bunun için deprem gibi çevresel etkilere karşı yapıyı koruma önlemlerinin alınması gerekir. Deprem etkilerine karşı yapıları korumak amacıyla pasif yöntemler ve aktif yöntemler olarak adlandırılan sistemler geliştirilmiştir. Uygulanmasının daha kolay olması, ileri teknolojinin gerekmemesi ve daha ekonomik olması nedeni ile pasif kontrol araçları üzerinde daha çok araştırma yapılmış ve daha yaygın bir şekilde uygulanmıştır.

Koruma yöntemleri uygulanmamış yapılarda kolon rijitliklerini azaltarak, kirişlere mafsallar koyarak ya da bunun gibi yöntemlerle yapıya bir form vererek depreme karşı dayanımı sağlanır. Burada amaç, depremden yapıya intikal eden enerjinin belirli yapı elemanları tarafından sönmülmesi veya sisteme enerji girişinin azaltılmasıdır. Bu önlemler ile belli bir koruma sağlansa bile, bazı elemanlarda oluşabilecek olan plastik deformasyonlar yapıya ciddi hasarlar verebilir.

Yapıya katı veya sıvı sönmüleyiciler, özel mesnetler, tendonlar, kayma elemanları dediğimiz ilave elemanlar koyarak da yapıya giren enerjinin azaltılmasına çalışılır. Yapının tabanına ya da içine konan ilave elemanlar ile korunmasıyla yapıda oluşabilecek ciddi hasarlar önlenabilir.

Bu çalışmada yapıları depremin neden olduğu yıkıcı etkilere karşı korumak amacı ile geliştirilen kontrol sistemleri incelenmiştir. Bu kontrol sistemleri, pasif yöntemler kullanarak koruma sağlayan yöntemler ile gelişmiş bilgisayar teknolojisi kullanan aktif kontrol yöntemleri olarak iki ayrı kategoride ele alınmıştır.

Birinci bölümde bu sistemler genel olarak tanıtılmış, sistemler hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Pasif kontrol sağlayan sistemler, taban izolasyon sistemleri ile pasif enerji dağıtan sistemler olarak ayrılmıştır.

İkinci bölümde, taban izolasyon sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmış, taban izolasyonu sağlayan sistem çeşitleri hakkında bilgiler verilmiş, sistemlerin çalışma mekanizması açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, aktif kontrol sağlayan sistemler anlatılmış, bu sistemlere örnekler verilmiş ve sistemlerin çalışma mekanizması açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanılması ile oluşturulan karma izolasyon sistemleri anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, aktif ve pasif kontrol sistemleri ve karma sistemler karşılaştırılmış, sistemlerin avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır.

Altıncı bölümde kütle merkezi ile rijitlik merkezi üst üste gelmeyen düzensiz dört katlı betonarme bir binanın elastomerik izolatör kullanılması ile deprem etkilerine karşı davranışının değişimi üç boyutlu olarak, Sap90 programı kullanılarak incelenmiştir.

SUMMARY

THE CONTROL SYSTEMS DESIGNS AGAINST DESTRUCTIVE EFFECTS OF EARTHQUAKES

In structural engineering, some structural protection concepts have been advanced to design new structures or existing ones so that they, together with their occupants and contents, can be better protected from the damaging effects of destructive environmental forces such as wind, earthquakes. Structural protective systems can be divide into three groups:

- Seismic Isolation Systems
- Passive Energy Dissipation Systems
- Active Structural Control Systems

Many methods and several types dampers have been developed for the use passive structural response control methods with the purpose of reducing the response shear force acting on the structure frames. The dynamic properties of such dampers are to be determined according to the intensity level of the design earthquake ground motion, because the yield strength, the energy dissipation capacity and the ductility factor of the damper are highly influenced by the input disturbance level. Response control by means of passive dampers should be most effective at the design level earthquake excitation, which is the key feature of this method.

On the other hand, the objective of the active structural response control lies in the exemption of structural design from the concern of the uncertainty or unpredictability of the ground motion in the future.

The proposal of “Seismic Response Control of Structural Systems” is based not only on the desire of completing the structural engineering free from earthquake disasters but also on the recognition of the seismic resistant design’s limitation and on the availability of new generation tecnologies such as microprocessors, sensors and actuators and so forth.

Seismic Isolation Systems

There are three basic elements in any practical isolation system:

- A flexible support (spring) so that the fundamental period of vibration is lengthened sufficiently to reduce the force response;

- A damper or energy dissipator to limit the relative deflections across the flexible support to a practical design level; and
- Rigidity at low (service) load levels such as wind.

Seismic isolation provides an economic alternative for the seismic design of new structures and the rehabilitation existing buildings, bridges and equipment. Rather than resisting the large forces generated by earthquakes, seismic isolation decouples the structure from the ground motion, providing the ability to reduce earthquake forces.

The conventional approach requires that structures passively resist earthquakes through a combination of strength, deformability and energy absorption. The level of damping in these structures is typically very low and therefore the amount of energy dissipated during elastic behaviour is very low. During strong earthquakes, these structures deform well beyond the elastic limit and remain intact only due to their ability to deform inelastically. The inelastical deformation takes the form of localized plastic hinges which result in increased flexibility and energy dissipation. Therefore, much of the earthquake energy is absorbed by the structure through localized damage of the lateral force resisting system. This is somewhat of a paradox in that the effects of earthquakes are counteracted by allowing structural damage.

Conventional construction techniques can cause very high floor accelerations in stiff buildings and large interstory drifts in flexible structures. These two factors make it difficult to ensure the safety of the building components and contents.

Mounting a building on an isolation system can prevent most of the rapid horizontal movement of the ground from being transmitted to and amplified by the structure above. This results in a significant reduction in floor accelerations and interstory drifts, thereby providing protection to the building contents and components.

Numerous designs for base isolators have been suggested. All of these systems have certain features in common, the most important of which are the horizontal flexibility and energy dissipative capacity.

Pure friction base isolation systems have been proposed in which the isolation mechanism is sliding friction. These base isolators are the simplest base isolation systems of all and there has been a large body of theoretical work on their performances.

The most extensively studied base isolation system is the laminated rubber bearing with and without a lead core. The main isolator of the LRB system consists of alternating layers of rubber and steel with the rubber being vulcanized to the steel plates.

Another base isolation system is the resilient-friction base isolator. This base isolator consists of concentric layers of Teflon coated plates that are in friction contact with each other and contains a central core of rubber. The system provides base isolation through the parallel action of friction, damping and restoring springs.

An important friction-type base isolator is the system developed under the auspices of Electricite de France. This system is standardized for nuclear power plants in regions of high seismicity and is constructed by the French company Framatome. The main isolator of EDF system consists of a laminated Neoprene pad topped by a lead-bronze plate which is in frictional contact with a steel plate anchored to the structure. An attractive feature of the EDF system is that for lower amplitude ground accelerations the lateral flexibility of the Neoprene pad provides base isolation. At

high levels of excitation, however, sliding will occur which provides additional protection.

Another base isolation system which has found wide application in New Zealand as well as Japan, Iceland, Italy and the United States is the lead-rubber (NZ) base isolator. This base isolator is composed of a laminated elastomeric bearing with a lead core. The function of the lead plug is primarily to dissipate energy while the lateral flexibility is provided by the laminated rubber bearing.

Combining the desirable features of the EDF base isolator and the R-FBI system, which was called sliding resilient-friction base isolation system was proposed. It was suggested to replace the elastomeric bearings of the EDF base isolation system by the R-FBI units. That is, the upper surface of the R-FBI system in the modified design is replaced by a friction plate. As a result, the structure can slide on its foundation in a manner similar to that of the EDF system. For a low level of seismic excitation, the system behaves as a R-FBI unit. The sliding at the top friction plate occurs only for a very high level of ground acceleration. That provides an additional safety measure for unexpectedly severe ground excitation.

One typical example of hysteretic steel dampers is Honeycomb Damper, which is a steel plate damper with many honey shaped opening in the middle of it. There are several application examples such as wall installation, pillar installation and beam installation. Each of them utilizes the relative deformation between the main structural members so that the damper deformation dissipates the vibration energy and reduces the response motion of the main frames.

Passive Energy Dissipation Systems

Passive energy dissipating devices can be used within a structural system to absorb seismic energy. These devices are capable of producing significant reductions of interstory drifts in moment-resisting frames. Furthermore, these devices, under elastic conditions, reduce the design forces.

In these systems which has been passive energy dissipating devices, mechanical devices are incorporated in the frame of the structure and dissipate energy throughout the height of the structure. The means by which energy is dissipated is either yielding of the mild steel, sliding friction, motion of a piston within a viscous fluid, orificing of fluid or viscoelastic action in polymeric materials.

A friction device is located at the intersection of cross bracing. When seismic load is applied, the compression brace buckles while the tension brace induces slippage at the friction joint. This, in turn, activates the four links which force the compression brace to slip. In this manner, energy is dissipated in both braces while they are designed to be effective in tension only.

These devices provide a substantial increase in energy dissipation capacity and reduce drifts in comparison to moment resisting frames.

The reliable yielding properties of mild steel have been explored in a variety of ways for improving the seismic performance of structures. Energy dissipation is primarily concentrated at specifically detailed shear links of eccentrically-braced frames. These links represents part of the structural system which is likely to suffer localized damage in severe earthquakes.

Another element called ADAS device consists of multiple X-steel plates. The shape of the device is such that yielding occurs over the entire length of the device. This is accomplished by the use of rigid boundary members so that the X-plates are deformed in double curvature.

ADAS elements improve the behaviour of the moment-resisting frame to which they are installed by;

- a) increasing its stiffness,
- b) increasing its strength,
- c) increasing its ability to dissipate energy.

ADAS elements yield in a pre-determined manner and relieve the moment frame from excessive ductility demands.

Active Control Systems

Active control system consists of;

- (a) sensors located about the structure to measure either external excitations, or structural response variables, or both;
- (b) devices to process the measured information and to compute necessary control forces needed based on a given control algorithm; and
- (c) actuators, usually powered by external energy sources, produce the required forces.

When only the structural response variables are measured, the control configuration is referred to as closed-loop control since the structural response is continually monitored and this information is used to make continual corrections to the applied control forces. An open-loop control results when the control forces are regulated only by the measured excitations. In the case where the information on both the response quantities and excitation are utilized for control design, the term open-closed loop control is used.

To see the effect of applying such control forces to a structure under ideal conditions, consider a building structure modeled by an n-degree of freedom lumped mass-spring-dashpot system. The matrix equation of motion of the structural system can be written as;

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = Du(t) + Ef(t) \quad (1)$$

where

M, C and K are n x n mass, n x n damping and n x n stiffness matrices

x(t): n- dimensional displacement vector

f(t): applied load or external excitation

u(t): applied control force vector

D: n x m matrix defining the location of the control force vector

E: n x r matrix defining the location of the excitation

Suppose that the open-closed loop configuration is used in which the control force $u(t)$ is designed to be linear function of the measured displacement vector $x(t)$, the velocity vector $\dot{x}(t)$ and the excitation $f(t)$. The control force vector takes the form,

$$u(t) = K_1 x(t) + C_1 \dot{x}(t) + E_1 f(t) \quad (2)$$

where K_1 , C_1 and E_1 are respective control gains which can be time-dependent. The substitution of equation (2) into equation (1) yields

$$M\ddot{x}(t) + (C - DC_1)\dot{x}(t) + (K - DK_1)x(t) = (E - DE_1)f(t) \quad (3)$$

Comparing equation (3) with equation (1) in the absence of control, it is seen that the effect of open-closed loop control is to modify the structural parameters (stiffness and damping) so that it can respond more favorably to the external excitation.

It can be seen easily that the concept of active control is immediately appealing and exciting. On the other hand, it is capable of modifying properties of a structure in such a way as to external excitation transmitted to the structure is also possible through active control.

Hybrid Control Systems

Intensive research efforts have been made in the application of passive and/or active control systems to reduce the response and damage of civil structures caused by earthquakes and strong winds but it has been shown that a combined use of active and passive control systems, referred to as the hybrid control system, is more effective, beneficial, and practical in some cases.

The idea of hybrid control systems is to utilize the advantages of both the passive and active control systems to extend the range of applicability of control systems to protect the integrity of the structure. In particular, under extreme environments, e.g., strong earthquakes, hybrid control systems are superior.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 KONU:

Bir yapının sismik tasarımında ana amaç, yapıda oluşan iç kuvvet ve yer değiştirmeleri güvenlik, servis ve konfor koşullarını kullanarak sınırlamaktır. Bunun için deprem gibi çevresel etkilere karşı yapıyı koruma önlemlerinin alınması gerekir. Deprem etkilerine karşı yapıları korumak amacıyla geliştirilen düşünceleri iki gruba ayırabiliriz. Birinci grup düşüncede, kolon rijitliklerini azaltarak, kirişlere mafsallar koyarak ya da bunun gibi yöntemlerle yapıya bir form vererek, depreme karşı dayanımı sağlanır. Burada amaç, depremden yapıya intikal eden enerjinin belirli yapı elemanları tarafından sönmülenmesi veya sisteme enerji girişinin azaltılmasıdır. İkinci grup düşünce ise, yapıya katı veya sıvı sönmleyiciler, özel mesnetler, tendonlar, kayma elemanları dediğimiz ilave elemanlar koyarak birinci grupta belirtilen amaçların gerçekleştirilmesidir. Birinci gruptaki önlemler ile belli bir koruma sağlansa bile, bazı elemanlarda oluşabilecek olan plastik deformasyonlar, yapıya ciddi hasarlar verebilir. Yapının tabanına ya da içine konan ilave elemanlar ile korunmasıyla bu dezavantaj ortadan kaldırılabilir [1]. Bu amaçla çeşitli kontrol sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Bu kontrol sistemlerini belli başlı üç gruba ayırabiliriz:

- Taban İzolasyon Sistemleri
- Pasif Enerji Sönmleyen Sistemler
- Aktif Kontrol Sistemleri

Pasif yapısal kontrol metodlarında, amaçları yapıya etkiyen kayma kuvvetlerini azaltmak olan sönmleyicilerin dinamik özellikleri deprem yer hareketinin en yoğun

olabileceği seviyeye göre belirlenir. Çünkü eğilme gerilmesi, enerji sönümleme kapasitesi ve sönümleyicinin süneklik faktörü deprem girdilerinden etkilenir. Klasik sismik tasarım kodlarına göre 1 ve 2 seviyeleri olmak üzere 2 tasarım seviyesi kullanılır. 1. seviyede deprem max. hızı $20 \approx 25$ cm/sn., 2. seviyede max. deprem hızı $40 \approx 50$ cm./sn.' dir. Pasif sönümleyiciler ile kontrol metodları en çok tasarlanan seviyedeki deprem titreşimlerinde etkilidir. Bu, pasif kontrol metodlarının en belirgin özelliğidir.

Pasif araçlar ile arttırılmış sönüm geniş frekans bölgelerine giren enerji spektrumlarının ortalamalarına göre sağlanır. Yani pasif yapısal kontrol ile hangi şiddetteki depremler için koruma sağlanması isteniyorsa, koruma sistemi o seviyeye göre tasarlanır. Buna karşılık, aktif yapısal kontrol ile tasarım zemin hareketinin şiddetinden bağımsızdır. Zemin hareketinin şiddetine göre sistem, özelliklerini (rijitliğini vs.) ya da hareket miktarını değiştirir. Bu yüzden, aktif yapısal kontrol ile yapılan tasarımda gelecekteki zemin hareketlerinin belirsizliği ya da tahmin edilememesi düşüncesi yer almaz.

Dünyada bu tür araçların ilk uygulaması 1989 yılında Tokyo' da bir kamu binasına AMD (Active Mass Damper) sistemin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Bina'nın inşaatının tamamlanmasından sonra çeşitli kereler orta şiddette deprem ve kuvvetli rüzgarlar etkileyen sistemin kontrol performansı, hareketin gözlemlenmesi ile değiştirilmiştir.

Büyük deprem zemin hareketleri altında yapının kontrolünün sağlanması amacıyla AVS (Active Variable Stiffnes) sistem hazırlanmıştır. Bu metodta, sistemi harekete geçirici kontrol kuvvetini oluşturmaya gerek yoktur. Ancak, yapının frekansı ile yer hareketinin frekansının aynı olması ile meydana gelen rezonans olayından kaçınmak için özel kuşaklama mekanizmasıyla sistem için uygun rijitliği seçmek ve buna göre sistemi tasarlamak gerekir.

Son yıllarda geliştirilen başka bir yapısal kontrol sistemi de aktif ve pasif sistemin birlikte kullanılması ile oluşan karma ayarlanmış kütle sönümleyici "APTMD" (Active Passive Composite Tuned Mass Damper)' dir. Bu sistem, bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyici ve bunun üzerine inşaa edilen aktif ikinci bir kütleden oluşur. Özenle hazırlanmış kontrol algoritması ve aracın aktif kısmının az olması nedeni ile ekonomik ve yüksek kalitede aktif titreşim kontrol edici olarak çalışmaktadır. [2].

BÖLÜM 2

PASİF KONTROL SİSTEMLERİ

2.1 TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

2.1.1 Bu Sistemler Üzerinde Yapılan Çalışmalar:

20 Mart 1986 tarihinde ABD' de inşası tamamlanan Foothill Communities Law ve Justice Center taban izolasyonu kullanılarak Amerika' da yapılan ilk yapıdır. Bu bina San Andreas fayına oldukça yakın olduğundan kuvvetli bir depreme maruz kalma olasılığı % 60' tan fazladır. Bu yüzden bu yapıda taban izolasyonunun kullanılması uygun görülmüştür. Deprem etkilerini karşılamada o zaman için yeni bir yaklaşım olan taban izolasyonu ile deprem bakımından aktif olan bölgelerde bulunan binalar için koruma sağlanmasına çalışılmıştır.

Taban izolasyon sistemlerinin prensibi oldukça basittir ve bir asıra yakın zamandır bu yöntem üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Binaya zarar veren deprem etkisi, genellikle zeminin yatay hareketi ile oluşur. Eğer aynı anda bina tutulur (hareketi önlenir) ve altındaki zeminin hareketine izin verilirse, zarar büyük ölçüde azaltılmış olur.

Bu düşünce uzun zaman tartışılmış ve bunu gerçekleştirebilecek olan çeşitli metodlar geliştirilmiştir. Ancak yapının zemine sıkıca bağlı olması düşüncesinden vazgeçilemediğinden, uzun süre uygulamaya konulmamıştır. İtalya'da Messina-Reggio Bölgesinde 1908 senesinde olan depremde büyük miktarda can kaybının olması üzerine, uzman bilim adamlarından oluşan bir komisyon toplanarak, bu konuyu tartışmışlardır. Bu komisyon zarar gören bölgenin yeniden yapılanmasını sağlamakla

görevlendirilmiştir. Çalışmalar sonucunda komisyonda iki karşıt görüş oluşmuştur. Bir grup yapının temelden kum tabakası ya da benzer yöntemlerle ayrılması önerisini desteklerken, diğer grup sabit temel önerisini savunmuştur. Komisyon sonunda, yapının en azından ağırlığının %8' i kadar yatay kuvvete dayanabilecek şekilde tasarlanması zorunluluğunu getirerek ve çeşitli yapım detayları vererek, yapının temele sabit olarak bağlanmasını kararlaştırmıştır. Bu güne kadar kullanılagelen yapı kodları Messina Reggio komisyonu tarafından belirlenmiştir.

Yapıların tamamen elastik davranış göstererek büyük deprem etkilerine karşı direnmesi ekonomik açıdan uygun değildir. Yapı kodları bu düşünce ile hazırlanmıştır. Yapılar dinamik etkiler karşısında elastik olmayan hareket ile, bir miktar yapıda oluşan zararlar bu etkilere karşı koyarlar. Elastik olmayan hareket yapının temel periyodunu arttırır ve enerji sönüm hareketi oluşur. Bu şekilde yapının üst seviyelerine gelen ivme azalır.

Kontrol mekanizması olmayan klasik sabit tabanlı yapılarda elastik olmayan hareketin kolon ve kirişlerin birleşim yerlerinde etkili olduğu düşünülür ve bu noktalar deprem enerjisinin en güçlü olduğu frekans değerlerine göre tasarlanırlar. Yani, yapı zemin hareketini arttırıyormuş gibi hareket eder ve her kat seviyesindeki ivme en üst kata kadar gittikçe artar. Bu aynı zamanda çerçevede gerilmelere neden olur ve katlardaki relatif sürüklenme ile katlar arasındaki kolonlarda büyük zararlar oluşur. Yapıda artan bu ivmeler her katta kat elemanlarına ve kullanıcılara zarar verirken, yapının kendisinde zarar oluşmayabilir. Buna örnek olarak Kaliforniya' daki Sylmar Bölgesindeki bina verilebilir. Bina 1971 San Fernando Depremi' ni az zararlar atlatırken, binadaki ekipman büyük ölçüde zarar görmüştür.

Binanın tamamen rijit olacağı varsayımı ile rijitliğini büyük ölçüde arttırarak zemin ivmesinden daha büyük olmayan ivme oranlarında dayanım sağlanır. Ancak bu, uygulanması pahalı bir yöntemdir ve pratikte uygulanması mümkün değildir. Ayrıca, zemin ivmesi yapının içindekilere zarar verecek büyüklükte olabilir. Yapıdaki ivmeyi zemin ivmesinin altına çekmek için yapının esnek olması gerekir. Yapı çerçevelerindeki esneklik yapılarda, özellikle prefabrik yapılarda bazı problemler doğurabilir. Örneğin, rüzgarda pencereler düşebilir, duvarlar çatlayabilir ve katlarda titreşimler oluşabilir. Az katlı ve orta yükseklikteki binalarda esneklik temel seviyesinde taban izolasyonu kullanılarak sağlanabilir.

Binalardaki sismik izolasyon düşüncesini ilk kullanan Frank Lloyd Wright' tır. Kendi tasarımı olan Imperial Oteli 1921 yılında Tokyo' da tamamlanmıştır. Bu otelin inşaa edildiği bölgede yaklaşık 20 cm. kalınlıklı oldukça iyi toprak ve bunun altında da yumuşak çamur vardı. Wright, binayı bu yumuşak katman üzerinde yüzdürmeyi düşünüyordu. Binayı iyi toprağın üst kademelerine, birbirine yakın ve boyları kısa olan, yumuşak çamurun üst kısımlarına kadar saplanan kazıklar yardımıyla bağlamıştır. Bina 1921 Tokyo depreminde iyi performans göstermiştir. Ancak, bu tasarımın sadece altında yumuşak zemin olan yerlerde uygulanabildiği açıkça görülmektedir.

Yapı mühendisleri tarafından 1920' lerin sonlarında ve 30' larda esnek ilk kat düşüncesi incelenmiş ve hazırlanmıştır. Buna göre ilk kattaki kolonların yanal rijitliği üst katlardakilere göre oldukça az olarak tasarlanmış ve deprem deformasyonlarının sadece bu katta oluşması düşünülmüştür. Üst katlardaki ivmeleri etkili bir şekilde azaltmak için, ilk kat kolonlarındaki yer değiştirmelerin büyük olması gerekir. Üst katların yapı ağırlığı, yatay yüklerin etkisi ile kolonların yanlara doğru hareketi binanın bir miktar çökmesine neden olur. Bu düşüncede ilk kat kolonları elastik davranır, bu yüzden sönüm de azdır. Yumuşak ilk kat düşüncesinde, ilk kat kolonlarında deprem boyunca eğilme oluşacak, bu şekilde yer değiştirme kontrol edilecek ve enerji sönümü oluşacaktır. Ancak, yeterli sönümün oluşması için yer değiştirmelerin bir kaç cm. civarında olması gerekir. Bu da büyük miktarda kolonlarda burkulma yükü oluşturur. Bu yük kolonun stabilitesini bozar ve çökmesine neden olur.

Binadaki ivmeyi azaltmada ilk katın esnek olarak hazırlanması mimarlar tarafından estetik açıdan benimsenmesine rağmen, ivmeleri azaltmada kullanılan bir sistem olarak yapı mühendisleri tarafından pek benimsenmemiştir. Normal ilk kat tavanlarından yüksek olan açık ilk kat planları popüler mimari açıdan istenen formlardır. Ayrıca, deprem etkisi altında esnek ya da yumuşak ilk kat sistemleri gibi davranış gösterebilirler. Olive View Hastanesi, 1971 San Fernando Vadi Depremi' nde şiddetli zarara uğramış, ilk katı esnek olan bina gibi hareket etmiş ve ilk kat kolonları üst kat kolonlarından daha fazla zarar görmüştür.

Aynı koşullardaki ilk katı açık olan iki katlı psikiyatri kliniğinde üst kat zarar görmezken alt kat tamamen yıkılmıştır.

Esnek ilk kat üst katları korurken, ilk kat kolonlarında oluşan büyük miktarda zarar yapıda maddi kayıplara neden olmaktadır. Bunun yanında, klasik olarak tasarlanan kolonlar binanın ağırlığını taşıyamaz ve depremin sebep olduğu geniş yanal deplasmanlara tolerans gösteremezler. Bu çıkmazın üstesinden gelebilecek araştırmalar sürdürülmektedir.

Yeni Zellanda’ da 12 katlı bir binada kılıflı kazık sistem olarak adlandırılan bir taban izolasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, silindirik kılıflı 12 m. uzunluğunda kazık kullanılmıştır. Kılıf ile kazığın yatay yönde belli bir miktar hareketine (≈ 15 cm.) izin verilmektedir. Kazıklardaki izolasyon periyodu 4 sn. olmakta ve rüzgar yüküne karşı bu sistem ile direnç yetersiz kalmaktadır. Sistemin davranışını geliştirmek amacıyla yapıda enerji sönümleme fonksiyonu olan yumuşak çelik izolatörler kullanılmaktadır. Bu da periyodun 2 sn.’ ye inmesine neden olmaktadır.

Kılıflı kazık sistemler düşünce biçimiyle ilk katı esnek olarak hazırlanan sistemlere benzerler, ancak ilk kattaki aşırı sürüklenmeler nedeni ile çökme tehlikesi bu sistemlerde görülmez. Eğer yapı tasarlanan yatay yer değiştirmeleri aşarsa, kılıflar yer değiştirmeleri kontrol edecek ve sistem için otomatik kontrol sağlayacaktır. Kazıklar pahalı bir sistemdir. Bu nedenle, zemin koşulları temelin inşasına uygun olmadığı durumlarda yapılmalıdır. Ancak, kullanıldıklarında da yapıya etkiyen toplam yatay kuvvette önemli azalmalar sağlarlar.

Kauçuk teknolojisindeki gelişmeler taban izolasyonu fikrini geliştirmeyi sağlamıştır. Depreme karşı koruma sağlamak amacıyla kauçuk, ilk olarak Yugoslavya’da Skopje’ de kullanılmıştır. 1969 yılında tamamlanan betonarme bina doğal kauçuktan oluşan geniş bloklar üzerine yerleştirilmiştir. Şimdiki kauçuk bağlantıların aksine, bu bloklar tamamen öngerilmesizdir ve bu da binanın yatay deplasman yapmasına neden olmaktadır. Sistemin düşey rijitliğinin hemen hemen yatay rijitliği kadar olması nedeni ile bina ileri geri hareketinin yanında yukarıya doğru da hareket edecektir. Bu bağlantılar, çelik plakalı öngerilmeli kauçuk bloklar için teknolojinin çok fazla gelişmemiş olduğu ve çok iyi bilinmediği zamanda yapılmış ve tekrar uygulanması da pek muhtemel görülmemektedir [3].

Kauçuk ile izolasyon en basit taban izolasyon metodudur ve yapımı da kolaydır. Bağlantılar kauçuk tabakaların ince öngerilmeli çelik plakalara

vulkanizasyonu ile yapılmıştır. Bu bağlantılar düşey yönde rijit, yatay yönde esnektir. Deprem zemin hareketinin düşey bileşenleri yapıya relatif olarak değişmeden iletilirken, bağlantılar sismik yükleme altında yapıyı yatay bileşenlerden izole eder. Gerçekte düşey ivme çoğu bina için genellikle bir problem doğurmaz. Ancak, yine de izolatörler tramvaylar ve yerel trafik ile oluşan yüksek frekanslı düşey titreşimlerden binayı izole etme etkisine sahiptir. İzolasyon sistemi olarak kauçuk bağlantılar kullanılan bir binada metro gibi nedenlerle meydana gelen hem istenmeyen düşey titreşimlerden hem de deprem nedeni ile oluşan yatay titreşimlerden izolasyon sağlanır. Bu bağlantılar az katlı ve orta yükseklikte binalar ile tuğla ya da öngerilmeli binalar ve rijit binalar için uygundur. Bu tip binalarda bağlantılarda ayrılma oluşmaz ve rüzgar yükü önemsizdir. Bu bağlantılar köprü bağlantılarına benzer ve uzun ömürlülük, emniyet ve yangın gibi çevresel tahribatlara karşı direnç konusunda güven vericidirler.

İlave elemanlar olmadan sadece kauçuk bağlantılar kullanıldığında, deprem girdilerinin izolasyon olmayan yapılar ile karşılaştırılması sonucu ekipmanın yer değiştirme ve kesit zorlarının daha küçük olduğu görülmüştür. İlave sönüm elde etmek için kurşun çekirdek gibi elemanlar eklendiğinde, bunlar kaçınılmaz olarak yüksek frekans ve ekipmanlarda ivme meydana getirir. Bu sönüm elemanlarının bazıları izolasyon sistemindeki yer değiştirmeleri kontrol etme etkisine sahiptir. Ancak, bu arada ekipmanda meydana getirdiği ivme artışı istenmeyen bir durumdur.

Kauçuk bağlantılı sisteme örnek olarak Fransa'da Marseilles civarında Lambesc kasabesindeki 3 katlı bir okul binası verilebilir. Okul $77 \times 26 \text{ m}^2$ boyutundadır ve herbiri 10 cm.'lik derzlerle ayrılmış 3 binadan oluşur. Buradaki izolatörler 30 cm. çapındadır ve toplam kalınlığı 4 cm olan 20 kauçuk tabakaya sahiptir ve doğal kauçuk levhalar çelik plakalarla tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Yapıda 152 izolatör kullanılmıştır. Okul binası başlangıçta prefabrik beton bina olarak tasarlanmış, ancak, inşaat başladıktan sonra bölgenin sismik kodu değiştirilmiştir. Yeni sismik gereksinimleri karşılamak için maliyet artışı gözden çıkarılmalıydı. İzolatörlerin kullanılması sistemin yeni koda uymasını sağlamış ve büyük mali zarar da önlenmiştir.

Bu binada rüzgar kısıtlamaları sağlayacak ya da sönümünü ve izole edilen binanın 1.7 sn. civarında olan periyodunu arttıracak ek elemanlar yoktur. Sismik gereksinimler çok büyük değildir.

Fransız Donanması'nda radyoaktif artıklar için depo görevi görecek olan bir bina tasarlanmıştır. Perdeli, öngerilmeli betonarme bina olarak tasarlanan binanın boyutları $24 \times 13 \text{ m}^2$ dir ve 15 m. yüksekliğindedir. Eğer izolasyon olmasaydı periyodu 0.3 sn. ve ivmesi de 0.61g olacaktı. İzoleli durumda periyodu 0.73 sn.'ye yükselmiş ve ivme 0.33g'ye inmiştir. Bu sistemde rüzgara karşı kısıtlama ya da sönüm araçları yoktur. Rüzgar yükleri altında ve deprem hareketi altında yer değiştirmeler izolesiz duruma göre daha azdır [3].

Taban izolasyonunun kullanıldığı binaları klasik binalardan ayıran bir özellik de, bu binalar hem yatay yöndeki harekete hem de burulma durumuna ait periyodlara sahiptir. Bu halde bu modlarda bu periyodların her ikisi de birlikte gözönüne alınır. Hem yatay hem de burulma sismik etkisindeki kauçuk izolasyon sisteminin sönüm etkisi ve hem düşey hem de yatay etkiler birlikte ele alınarak sistemin dayanımı incelenmiştir. İnceleme sonucu yatay ve düşey ya da yatay ve burulmalı etkilerin birlikte ele alınmasının önemli olmadığı görülmüştür.

Ancak, mimari nedenlerle simetrik olarak tasarlanmayan sistemlerde sismik yüklemde yer değiştirme ve kesit zorlarının sistem içinde dengeli olmayacağı açıktır. Bu tür binalarda taban izolasyonunun kullanımı çok yararlıdır. Taban izolasyon sisteminin elemanları yapının kütle merkezini ve hareketin merkezini dengeleyecek şekilde yerleştirilir. Böylece yapının konfigürasyonunun olumsuz etkileri ortadan kaldırılabılır.

Kayıcı izolasyon sistemleri; yapıya destek olan ve yapıya gelen yatay kuvveti sınırlayan kayıcı bağlantılar ile yatay yer değiştirmeyi sınırlayan araçlardan meydana gelir.

Eğer rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında eksantrisite var ise, yatay yer hareketi etkidiğinde, yatay öteleme-burulma hareketleri birlikte oluşur. Ancak burulma hareketi, kayıcı izolasyon sistemlerde eksantrisite olması halinde bile ihmal edilebilir. Elastomerik bağlantılı taban izolasyon sistemlerinde burulma, izolasyon sistemindeki eksantrisiteden oluşur. Zayıf kayıcı izolasyon sistemlerindeki burulma etkisini incelemiştir.

Üst yapısı esnek olan, taban izolasyonunun kullanıldığı sistemlerdeki burulma hareketini etkileyen parametreler incelenmiştir. Ayrıca farklı deprem frekansları ve farklı max. zemin ivmeleri üzerinde çalışılmıştır.

Üzerinde inceleme yapılan parametreler şu şekilde ayrılabilir:

- Üst yapının esnekliği
- Yatay öteleme frekansının burulma frekansına oranı
- Üst yapıdaki rijitlik eksantrisitesi
- İzolasyon sistemindeki eksantrisite
- Yüksek modların etkisi
- Bağlantıların sayısı ve yapı sisteminin plan boyutlarının etkisi.

Bu parametrelerin incelenmesi sonucunda, burulma rijitliğinin burulma sonucu oluşan kesit zorları ve yer değiştirmeler üzerinde önemli derecede etkisi olduğu görülmüştür. Ancak, burulma rijitliği büyük olan sistemlerde burulma hareketi küçüktür ve ihmal edilebilir.

3D BASIS bilgisayar modeli kullanılarak elastomerik ya da kayıcı izolasyon sistemi kullanılmış çok katlı, asimetrik planlı yapı sistemlerin lineer olmayan dinamik analizi yapılabilmektedir [4].

2.1.2. Çalışma Mekanizması

Taban izolasyonu, yapıyı yatay olarak esnek taban üzerine inşaa ederek, deprem etkilerinden koruma yöntemidir. İzolasyon sistemi bulunan yapının taban kısmında büyük miktarda yer değiştirmeler görülür ve bu yer değiştirmeler ile yapıya gelen enerjinin sönümlenmesi sağlanır. Ayrıca, elastomerik bağlantılara ilave elemanlar eklenerek enerji sönüm miktarı artırılabilir.

1986 yılında Rancho Cucamonga Foothill Communities Law and Justice Center' da sismik koruma amacıyla taban izolasyon sistemi kullanılmıştır. Salt Lake City' de the City and County Binası taban ile zemin arasına yerleştirilen elastomerik izolatörler ile depreme karşı iyileştirilmiştir.

Bu örnekler üzerine, taban izolasyonunun hem yeni binalarda sismik izolasyon oluşturmak için, hem de eski binaların sismik performansı arttırmak için kullanılabildiği söylenebilir [5].

Deprem titreşimleri altındaki yapıların optimum performansını sağlamak için geliştirilen sismik izolasyon sistemlerin üç ana unsuru vardır:

1. Çeşitli elemanlar ile esnekliğin sağlanması. Elastomerik izolatörler bu amaçla en yaygın kullanılan elemanlardır. Periyodun artmasını sağlarlar. Periyot ile esnekliğin artması yapıya giren ivmeyi ve taban kayma kuvvetini azaltır.
2. Enerji sönümleme yeteneği ile büyük relatif yer değiştirmeler kontrol edilebilir.
3. Yatay esneklik büyük sismik yükler için istenen bir durum olmasına rağmen, rüzgar gibi sık oluşabilen yükler için istenilen bir durum değildir. Mekanik araçlar ile enerji sönümü sağlanarak servis yükleri için yatay rijitlik sağlanabilir [6].

Deprem etkilerine karşı herhangi bir izolasyon mekanizması bulunmayan yapılar klasik yaklaşıma göre bu etkilere gerilme, deformasyon ve enerji sönümleme yetenekleri ölçüsünde karşı koyarlar. Bu yapılarda elastik davranış ile enerji dağılım miktarı azdır. Şiddetli depremler süresince bu yapılar elastik sınır üzerinde deforme olur ve elastik olmayan deformasyon yetenekleri ölçüsünde yıkılmadan ayakta kalabilirler. Elastik olmayan deformasyon yapıda, sonuçta esnekliğin ve enerji sönümünün artmasına neden olan plastik mafsallar olarak görülür. Bu şekilde deprem enerjisinin bir kısmı, yatay yüke direnen sistemde oluşan zararlarla sönümlenir. Kısacası, klasik yapılarda deprem etkileri yapıda oluşan zararlarla karşılanır.

Yapıda depremin neden olduğu yıkıcı etkileri önlemek için alternatif bir görüş, yapı içinde enerji dağılımı düşüncesine dayanır. Bir sismik olay boyunca yapıya belli bir miktar enerji girer. Bu enerji, hem sönümlenmesi hem de ısıya dönüşmesi beklenen kinetik ve potansiyel (yer değiştirme) enerjidir. Ancak, yapıda her zaman bir miktar öz sönüm olduğundan hareket bitene kadar titreşim büyüklüğü azalır. Yapının kendi sönüm kapasitesine ilave olarak yapıya yerleştirilen araçlar ile yapıya giren enerjinin sönümlenen kısmı arttırılarak, yapının performansı arttırılır.

Aşağıdaki denklem yapı içinde (ilave araçlar ile birlikte) deprem enerjisinin hangi yollarla karşılandığını göstermektedir.

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d \quad (2.1)$$

E = Deprem hareketi ile yapıya giren toplam enerji.

E_k = Toplam kinetik enerji.

E_s = Elastik yer değiştirme enerjisi.

E_h = Elastik olmayan hareket ile karşılanan enerji.

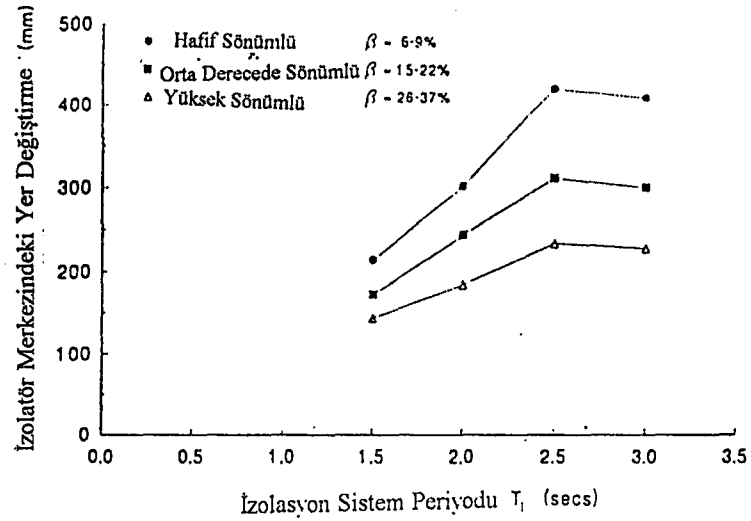
E_d = İlave sönüm araçları ile yutulan enerji.

Toplam enerji (E), temelde taban kayma kuvvetleri tarafından yapılan işi gösterir.

Klasik yapı tarzında sisteme giren enerjinin sistemde oluşan zararlar karşılandığına değinilmişti. Elastik olmayan deformasyon arttıkça, bu şekilde karşılanan enerji (E_h) de artış görülür. Ayrıca, elastik olmayan deformasyon yapısal sistemi yumuşatır (esnekliğini arttırır), bu da etkisini yapıya giren toplam enerjinin azalması şeklinde gösterir.

Esneklik ve enerji sönümlenme yeteneği ile karakterize edilen sismik izolasyon metodu, bir yapı sisteminin temelinde deprem gibi etkileri karşılama işini gerçekleştirir. Sadece esneklik ile yapıda elastik olmayan deformasyon meydana gelmeden deprem enerjisinin büyük bir kısmı karşılanır. İzolasyon sistemindeki enerji sönümü, yer değiştirmeleri sınırlamada ve rezonansı önlemede yararlıdır.

Yüksek sönümlü izolasyon sistemlerinin bağlantı yer değiştirmelerinde azalma izolasyon sistem kayma kuvvetinde azalmaya sebep olur. Ancak, yüksek sönümlü kauçuk bağlantılar, kurşun-kauçuk bağlantılar ve kayıcı izolasyon sistemleri gibi histeretik izolasyon sistemlerinde yüksek seviyeden enerji sönümü sonucu yapıda (izolasyon sistemi dışında) büyük ivmeler oluşur. Bu, izolasyon sisteminin amacı izolasyon sistemi bulunan yapıdaki duyarlı ekipmanı korumak olduğunda istenmeyen bir durumdur. Ancak, izolasyon sisteminin amacı yapısal sistemi korumak olduğunda yüksek seviyeden histeretik sönüm yararlıdır.



Şekil 2.1 Taban İzolasyon Elamanının Yer Değiştirmesinin Periyod İle Değişimi [5]

Yukarıdaki şekilden periyodun artması ile izolasyon sistem yer değiştirmelerinin arttığı, sönümün artması ile ise azaldığı görülmektedir.

Yüksek sönümlü sistemlerde, büyük kat ivmeleri oluşur. Bunun yanında, yapısal kat kuvvetleri yaklaşık olarak az sönümlü sistemlerdeki ile aynı olurken, sönüm seviyesi daha yüksek olan sistemlerde daha az miktarda izolasyon sistemi taşıyıcı eleman yer değiştirmeleri görülür.

Lineer ve viskoz davranış gösteren (histeretik olmayan) izolasyon sistemlerinde taşıyıcı yer değiştirmelerinin, kat kuvvetlerinin ve kat ivmelerinin az olması sağlanabilir. Bu tür sistemler düşük sönümlü elastomerik bağlantılar ile viskoz sönümleyicilerden oluşan birleştirilmiş sistemler ile yapılabilir.

Modern sismik izolasyon sistemleri enerjiyi sönümleyen mekanizmalar içerir. Örnek olarak; yüksek sönümlü elastomerik bağlantılar, elastomerik taşıyıcılarda kurşun çekirdekler, yumuşak çelik sönümleyiciler ve kayıcı sürtünmeli bağlantılar verilebilir. [5].

Taban İzolasyon Sistemlerinde Yer Değiştirmeyi Kontrol Eden ve Ayrılmayı Önleyen Araçlar:

Taban izolasyon sistemleri günümüzde az katlı ve rijit binalar için çeşitli ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak sistem, az katlı binalarda etkili olurken yapı yüksekliği arttıkça bazı problemler doğurmaktadır. Orta yükseklikteki bir binada taban izolasyon sistemi uygulandığında, yapıda izolatörlerin zeminden ayrılmasına neden olan devrilme momentleri oluşmaktadır. Eğer izolasyon sistemine devrilme momentlerinin oluşmasını önleyecek çeşitli elemanlar yerleştirilirse, izolasyon sistemi yüksek binalarda da etkili olarak kullanılabilir.

Elastomerik izolatörlerin devrilme momentleri ile oluşan çekme yüklerini karşılamadığı kabul edilir. Bu izolatörlere çekme kuvvetlerini karşılayacak araçlar yerleştirilerek yapının yeterince rijit olması da sağlanarak izolatörlerin daha yüksek yapılarda uygulanması sağlanır.

İzolasyon sistemindeki çekme kapasitesi az katlı ve orta yükseklikteki yapılar için otomatik kontrol sağlaması açısından da istenilen bir durumdur. Otomatik kontrol ile izolatörde oluşan en büyük yer değiştirme sınırlandırılabilir. Otomatik kontrol karakteristikleri olmayan izolasyon sistemleri sadece bir yönlü (izolasyon sistemin kendisi ile) koruma sağlarlar.

İzolasyon sistemleri için birkaç otomatik kontrol sistemi incelenmiştir. Bu sistemlerin bazılarında, izolasyon sistemi uygulanmış yapı belirli bir yer değiştirme yaptıktan sonra durur. Diğerlerinde, kayıcı yüzeyler belli bir yer değiştirme sonra birbirleriyle temasa geçer. İleride incelenecek olan otomatik kontrol sistemi elastomerik bağlantının içine yerleştirilmektedir ve temelde ya da istinat duvarlarında bir değişiklik yapılmasına gerek kalmamaktadır. Bu sistemlerin etkinliği Berkeley' de Kaliforniya Üniversitesi' nde Deprem Araştırma Merkezi' nde yapılan testler ile incelenmiştir.

İncelemeler 9 katlı, düzlemde üç açıklıklı, birleşim için kaynak kullanılan çelik konstrüksiyon bir model üzerinde yapılmıştır. Modelin ilk katı 1.22 m, üst katları 0.91 m' dir. Yapının toplam yüksekliği izolasyon sisteminin üzerinden itibaren 8.84 m.' dir. Modelin genişliği ise 5.49 m.' dir. Orta şiddetteki depremlerde modelin köşe

kolonlarındaki ayrılma etkisini gözleyebilmek için model yeterince geniş seçilmiştir. Modelin toplam ağırlığı 54.3 t' dur.

Sabit tabanlı olması halinde modelin ilk iki doğal frekansı 2.8 Hz. ve 9.0 Hz. olmaktadır. Modelde izolasyon sisteminin kullanılması halinde ilk üç doğal frekans 1.11 Hz., 6.09 Hz. ve 13 Hz. olmaktadır.

İzolasyon sistemi, modelin her kolonunun altında birer tane olmak üzere 8 adet doğal kauçuk bağlantıdan oluşur. Bu bağlantılar yüksek mukavemetli, kayma modülü % 50 kayma şekil değiştirmesinde 70.7 t/cm^2 ve sönüm oranı % 50 kayma şekil değiştirmesinde % 5-7 'dir.

Bağlantıların merkezinde 31.8 mm. çapında delik vardır. Bu deliğe kurşun çekirdek ya da yer değiştirmeyi kısıtlayıcı araç yerleştirilir. Taşıyıcıların üst ve alt kısımlarına izolasyon sistem ile yapı arasında kayma bağlantısını sağlamak amacıyla kullanılan dörder delik bulunmaktadır. Ayrılmayı kısıtlayıcı araçlar kullanılmadığında, bu deliklere 19 mm. uzunluğunda iğne şeklinde araçlar yerleştirilir. Bu şekilde, araç ayrılma bakımından serbesttir ve kauçuk bağlantılarda çekme kuvveti oluşmaz.

Her taşıyıcı % 50 kayma şekil değiştirmesinde 0.28 t/cm rijitliğe sahiptir. Bu değerler altında izolasyon sistem frekansı 1.01 Hz. olmaktadır. Bu frekans değeri modelin köşe kolonlarında ayrılma oluşturmak için çok küçüktür. Bu durumda izolasyon sistemi devrilmenin başlaması için yeterince ivme iletimine izin vermez. Kurşun % 50 kayma şekil değiştirmesinde 0.8 t' luk kayma yüküne sahiptir. İçinde kurşun çekirdek bulunan bağlantılarla izolasyon frekansı % 50 kayma şekil değiştirmesinde 1.24 Hz.' olmaktadır. Artan rijitlik ve kurşun çekirdeklerin daha yüksek modlarda kesit zorları ve yer değiştirme oluşturma eğilimleri orta şiddetteki depremlerde ayrılma ihtimalini arttırmaktadır.

Ayrılmayı kısıtlamak ve yer değiştirmeyi kontrol etmek amacıyla 1987 senesinde Kelly tarafından bir araç geliştirilmiştir. Bu araç model yapının dört köşesindeki kolonların hizasına yerleştirilmektedir. Araç, sürgülerin bir miktar serbest hareketine izin veren bir silindirik kılıf içerisinde bulunan, iki yüksek mukavemetli sürgüden ibarettir. Sürgülerin uçları yarı küre şeklindedir. Bağlantı hareket etmediği zaman sürgü uçları kılıfın merkezindedirler ve bağlantı belli bir mesafe (u_d) hareket ettiğinde sürgü açılır ve araç sıkışır. En büyük yer değiştirmede ayrılma (kaldırma) kuvveti meydana geldiğinden araç kaldırma kuvvetlerine direnir. Araç, ayrıca yer

değiştirmeleri kontrol eden bir mekanizma gibi de hareket edebilir. Bağlantıların ayrılmaya karşı koymasını için yapılan değişiklik, bağlantıların üst ve alt yüzeylerindeki delikler yardımı ile bağlantıların üst yapıya ve temele sıkıca bağlanmasını sağlamaktır. Orta şiddetteki depremlerde yapının köşelerindeki ayrılmaya neden olan daha yüksek izolasyon sistem rijitliğini sağlamak için model yapının dört merkez bağlantısında kurşun çekirdekler kullanılmıştır. Bu kurşun-kauçuk bağlantılar içeren izolasyon sistemlerinin bir özelliğidir.

Ayrılmayı kısıtlayan ve yer değiştirmeyi kontrol eden araçlar yük taşımaya başlamadan önce daha önce belirtildiği gibi u_d mesafesi kadar genişleyebilir. Bağlantı yatayda u_d kadar hareket ettiğinde, sürgülerin baş kısımları silindirik kılıf içindeki civata uçları tarafından tutulur ve bu şekilde bağlantının yatay rijitliği büyük ölçüde artar. Ancak, buna rağmen, araç artık genişleyemeyecek durumda olmasına rağmen, bağlantı aynı zamanda hem düşey hem de yatay yönde deforme olmaya devam eder. Böylece, bağlantının normalde az olan yatay rijitliği düşey rijitliği u_d mesafesi aşıldığında yatay rijitlik ile kıyaslanabilecek hale gelir.

İçerisinde ayrılmayı kısıtlayan araç bulunan bağlantılarda yapılan testlerde, bağlantılara sabit bir eksenel yük etkilmiş ve bu yük ile bu bağlantılar sabit büyüklükte sinüzoidal yer değiştirme çevrimleri yapmaya zorlanmıştır. Araç ile bağlantılardaki delik yüzeyindeki sürtünme nedeni ile düşük kayma şekil değiştirmesindeki rijitlikten, yüksek kayma şekil değiştirmesinde yer değiştirmeyi sınırlayan araç bulunan bağlantının rijitliğine geçiş kolay olacaktır. Bu kolay geçiş ile, yapısal performans eğer rijitlik bilineer olursa meydana gelmesi beklenen yapısal performanstan daha iyi olacaktır.

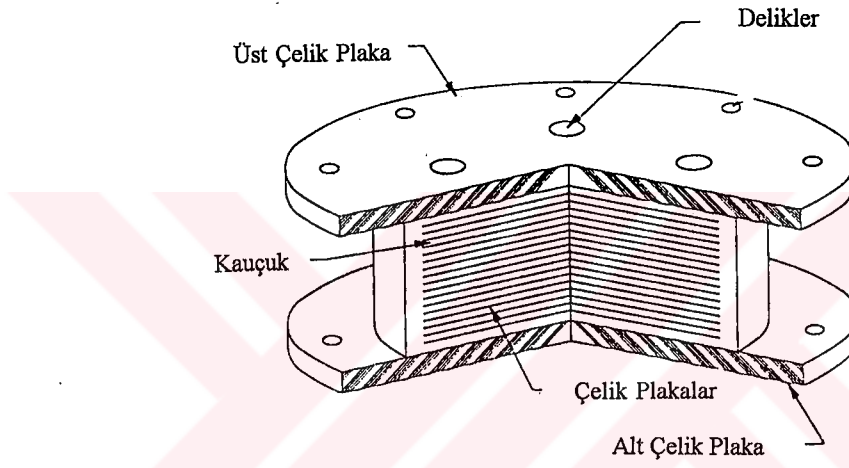
İçerisinde ayrılmayı kısıtlayıcı araç bulunan bağlantıların davranışının lineer elastik analizi doğal kauçuk bağlantıların yatay ve düşey rijitliği, bağlantıların hareket ettikten sonraki geometrisi hesaba katılarak incelenmiştir. Bu arada çelik ayrılmayı kısıtlayıcı araçlarda az miktarda şekil değiştirmelerin olduğu ve bağlantıda sabit bir (W) eksenel yükün taşındığı düşünölmüştür. Bu düşüncelerle ayrılmayı kısıtlayıcı araç içeren elastomerik bağlantının kuvvet-yer değiştirme ilişkisi formöle edilmiştir.

Kelly tarafından çıkarılan bu formüller aşağıda görülmektedir:

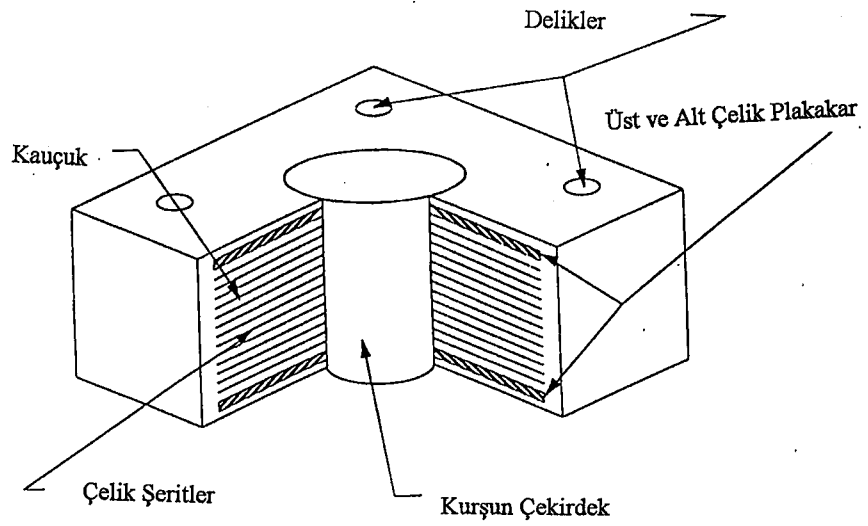
$$F_x = k_h \times u_x \quad u_x \leq u_d \quad (2.2)$$

$$F_x = k_h \times u_d \times [k_h + k_v \times u_d^2 / (h^2 + k_v \times u_d^2 / k_d)] \times e_x \quad u_x \geq u_d \quad (2.3)$$

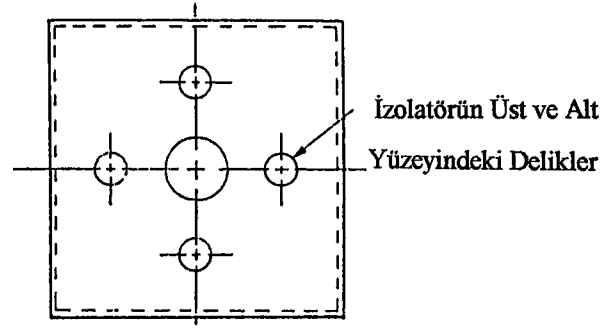
$$u_d = (l^2 - h^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad e_x = u_x - u_d \quad (2.4)$$



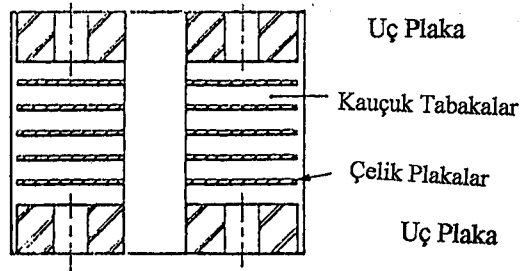
Şekil 2.2 Elastomerik İzolatör [5]



Şekil 2.3 Kurşun -Kauçuk İzolatör [5]

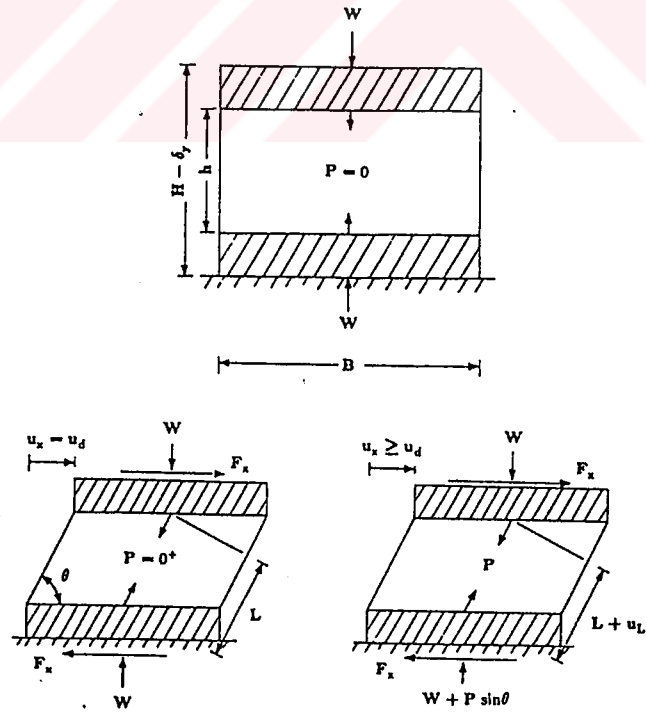


(a)

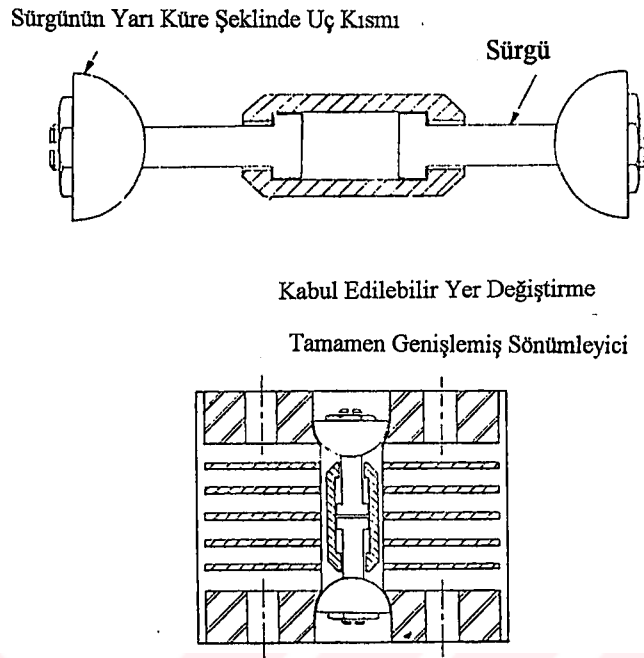


(b)

Şekil 2.4 Kurşun-Kauçuk İzolatör Detayları, a) Plan, b) Kesit [7]



Şekil 2.5 Yer Değiştirmeyi Sınırlayan Araç İçeren İzolatör İçin Kuvvet Diyagramları [7]



Şekil 2.6 Taban İzolasyonunda Yer Değiştirmeyi Sınırlayan Araç ve Sönümleyici [7]

Özet olarak taban izolasyon sistemlerinden beklenen çeşitli özellikler vardır:

- Bu sistemler yer değiştirmeleri kabul edilebilir bir değerle sınırlı tutmak için, yüksek sönümle düşük frekans hareketini sağlamalıdır.
- Beklenmeyen şiddetli depremlerde, sistem otomatik kontrol sağlamalıdır [7].

Kurşun ve kauçuktan oluşan izolasyon sistemi, günlük yüklemeler altında istenen rijitliği ve şiddetli deprem durumunda esneklik ve sönümü sağlar. Bunlar sismik izolasyon ve enerji sönümleyen sistemlerde istenen başlıca özelliklerdir.

Kauçuk bağlantılar, büyük miktarda basınç yükü taşır ve mekanik araçlardan farklı olarak kaymada bir ya da daha fazla harekete eşlik ederler. Kauçuk düşük kayma modülüne sahiptir. Bu nedenle, içerisine çelik plakalar yerleştirilerek, kauçuğun burulma serbestliği azaltılır ve bu plakalar ile kayma rijitliği önemli miktarda artırılır.

Elastomerik bağlantılar düşük sönümlü kauçuktan yapılırlar. Bu tür bağlantıların kullanıldığı yapılarda büyük deplasmanlar olmasına rağmen, titreşim az olduğu için yapı içinde bulunan ekipman zarar görmemektedir. Bu yüzden, düşük sönümlü bağlantılar duyarlı ekipmanın korunması istenen yapılar için uygundur.

Ancak, genelde elastomerik bağlantıların uygulamalarında daha fazla enerji sönümü istenir. Bu şekilde yapıdaki relatif deplasmanlar azalacak ve yapı daha az zarar görecektir. Bu amaçla yüksek sönümlü elastomerik bağlantılar ve kurşun-kauçuk bağlantılar geliştirilmiştir. Tabakalı elastomerik bağlantılarda histeretik sönüm elde etmek için, merkezine kurşun çekirdek yerleştirilir.

Kurşun malzemenin seçilmesinin üç ana nedeni vardır:

1. Kaymada, kurşun relatif olarak küçük gerilmelerde eğilir ve yaklaşık olarak elasto-plastik katı gibi davranır.
2. Kurşunun mekanik özellikleri tahmin edilebilir.
3. Tekrarlı yük altında yorulma özelliği göstermez.

Elastomerik ve kurşun - kauçuk bağlantıların etkinliği deneysel olarak araştırılmasına rağmen, az sayıda analitik incelemeler yapılmıştır. Bunun nedeni, kurşun - kauçuk bağlantılarda üç farklı malzemenin özellikleri ve davranışları görülmektedir. Bu bağlantıların modellenmesinde karşılaşılan en büyük sorunlar, kurşun malzemenin lineer olmaması ve kauçuk parçalarla birleştiğinde malzeme ve geometrik olarak lineer olmama durumu ile sıkıştırılamamasıdır [8].

Daha önce de belirtildiği gibi, klasik yapıların deprem etkilerine karşı direnci, zemin hareketi ile yapıya aktarılan enerjiyi sönümlene yeteneğine bağlıdır. Bu özellik yapıda bir miktar zarar oluşmasına neden olan, elastik olmayan deformasyon ile sağlanır. Deprem titreşimlerine yapıların daha az zararlı karşı koyması için geliştirilen sismik izolasyon sistemlerinin ana özelliği, yapılar hemen hemen bir rijit cisim gibi davranırken, yapı sisteminin bu özel bileşenlerinin geniş deformasyonları kısıtlamasıdır.

Histeretik sönümleyiciler geniş miktarda enerji sönümü için eğilme ve burulmada çeliğin, kaymada ve yer değiştirmede kurşunun güvenilir özelliklerinden yararlanır. Bu tek parça araç merkezinde kurşun bulunan, çelik ile değişimli olarak yerleştirilen kauçuktan oluşur.

Rüzgar kuvvetlerine karşı kısıtlamalar ve ilave sönüm, kurşun çekirdek ya da yumuşak çelik enerji sönümlene araçlarının yanısıra kayıcı sürtünmeli elemanlar ile de sağlanır.

Düşey yükler kayıcı ve kauçuk bağlantı sistemler üzerinde taşınır. Bu sistemlerde eğer rüzgara karşı izolasyon isteniyorsa, sürtünme elemanlarında oluşan sürtünme kuvvetleri en büyük rüzgar yükünün üstesinden gelebilecek şekilde tasarlanır. Sismik yükleme ya da şiddetli rüzgar durumunda sistem kayıcı sürtünmeli elemanlar üzerinde kayar, böylece oluşan sürtünme kuvvetleri ile enerji sönümü sağlanır.

Bu sistemler üzerinde sarsma tablası deneyleri yapılmış ve deney sonuçları bu tip sistemlerin yer değiştirmeyi kontrol etmede etkili olduğunu göstermiştir. Ancak bu sistemler bulunan yapıda yüksek frekans ivmesi oluşmaktadır. Sürtünme elemanlarının kayma - kayma direnci karakteristiği sonucu oluşan bu ivme yapıdaki ekipmana zarar verir. Yapıda bulunan ekipmanın korunması istendiğinde bu tür sürtünmeli bağlantılar kullanılmaz.

Bunun yanında beklenmeyen şiddette deprem hareketinin olması durumunda yada rezonans durumunda bağlantılar yer değiştirmeyi ayarlarlar. Sürtünme elemanlarının bu şekilde bir otomatik kontrol sistemi vardır. Kauçuk bağlantının yer değiştirmesi bağlantının genişliğinin yarısını aştığında, bağlantı yavaşça kısılır ve bu da düşey yükün bağlantıdan kayıcılara iletilmesini sağlar. Bunun üzerine sürtünme kuvveti artar ve büyük yer değiştirmelerde düşey yükün neden olduğu bağlantılardaki stabilizasyon bozukluğu önlenir.

Kayıcı sistemler, basitliği ve ekonomik olması nedeniyle sismik izolasyon sistemleri olarak sıkça kullanılırlar. Ancak, bu tür sistemlerin kuvvet-sürüklenme karakteristikleri nedeni ile oluşan aşırı sürüklenme gibi problemleri vardır.

Sismik izolasyonda kullanılan elastomerik bağlantılar düşeyde çok rijit olduklarından, yapısal zararın yatay yöndeki büyüklükten kaynaklandığı kabul edilir. Kütlesi büyük tutularak ve yatay yöndeki rijitliği az olacak şekilde hazırlanarak, yatay yönde deprem yer hareketinin frekans aralığı dışında düşük bir frekansa sahip olacaktır [7] .

2.1.3. Taban İzolasyon Sistem Tipleri

Sıf Sürtünmeli (Kayıcı Mafsallı) Taban İzolatörü (Pure Friction Devices-PF):

Taban izolasyon sistemi kayıcı izolasyon mekanizması olarak düzenlenmiştir. Sıf kayıcılardan oluşan sürtünmeli sistemler, üzerinde bir çok teorik araştırmalar yapılmış, mekanizması basit sistemlerdir. Ekonomiktirler ve depreme karşı performansları oldukça iyidir.

Chen ve Clough, Mostagel ve Tanbakuchi, Kelly ve Beucke, Ahmadi ve Mostagel ve Younis ve Tadjbakhsh sıf sürtünmeli taban izolasyon sistemlerini sinüzodal ve deprem titreşimleri altında incelemiştir. Ahmadi, Constantinou ve Tadjbakhsh ve Su değişik stokastik deprem yükleri etkisi altında bu sistemleri incelemiştir. Daha sonra, Li, Çin’ de Beijing’ de dört katlı bir binanın temeline sürtünmeli izolasyon sistemi olarak kum tabakası yerleştirmiştir [9].

Tabakalı Kauçuk Taşıyıcılar (Laminated Rubber Bearing-LRB):

Üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Kurşun çekirdekli ya da çekirdeksiz olabilirler. Bu sistem Avrupa’da, Japonya’ da, Yeni Zellanda’ da uygulanmıştır. Bu sistemin uygulandığı yapılardan biri de Kaliforniya’ da San Bernardo County’ de bulunan dört katlı Foothill Communities Law and Justice Building’ dir.

LRB sistemin ana izolatörü çelik ile kauçuğun dönüşümlü olarak yerleştirilmesinden oluşur. Çelik plakalar kauçuğa vulkanizlenmektedir. Bu sistemin belirgin özelliği yayların ve yağ kutusunun paralel hareketidir [9].

Electricite de France:

Fransız Elektriğin himayesi altında gerçekleştirilen önemli bir sürtünme tipli taban izolasyonudur. Bu sistem yüksek sismiteye sahip bölgelerde, nükleer güç

santrallerinde Fransız Şirket Framatome tarafından uygulanmıştır. Beton raftın üzerine inşaa edilen nükleer güç santrali binlerce metrekare alan kaplamaktadır. Bu beton taban raftı zemin üzerine direkt olarak inşaa edilen temel tarafından desteklenen yüzlerce izolatörün üzerinde bulunmaktadır. Yani, zemin üzerine önce temel inşaa edilmekte, bunun üzerine izolatörler yerleştirilmekte ve izolatörlerin üzerine de taban raftı yerleştirilerek hem taban izolatörlerinin birlikte çalışması sağlanmakta, hem de yapının inşaa edileceği düz bir yüzey oluşturulmaktadır.

EDF sistemin ana izolatörü, öngerilmeli çelik ile tabakalanmış, neopren blok' tan oluşmaktadır. Bu neopren bloğun üzerinde yapıya ankre edilen çelik bir plaka ile sürtünme yüzeyi oluşturan kurşun - bronz plaka bulunmaktadır. Sürtünme yüzeyleri taban izolasyonun servis ömrü boyunca sürtünme katsayısı $\mu=0.2$ olacak şekilde tasarlanır. EDF taban izolatörü izolasyon için elastomerik bağlantı ile sürtünme tabakasını kullanır.

EDF sistemin en önemli özelliği neopren bloğun yatay esnekliği ile düşük seviyedeki yer ivmeleri için taban izolasyonu sağlamasıdır. Yüksek seviyeden titreşimlerde ise kayma hareketi ile ek koruma sağlanır.

Esnek Sürtünmeli Taban İzolatörü (Resilient Friction Base Isolator, R-FBI):

Bu taban izolatörü Mostaghel ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. İzolatör sürtünme temasında olan teflon kaplı plakaların konsantrik tabakalarından oluşur. Merkezinde kauçuk çekirdek ya da kauçuk tabakalar vardır. İzolatör, sürtünme, viskoz sönüm ve yayların hareketi ile taban izolasyonu sağlar.

Bu sisteme benzer bir mekanizma İkonomou tarafından Alexisison taban izolatöründe kullanılmıştır. Sistem kauçuk taşıyıcı ile sırf sürtünmeli taban izolatörün paralel hareketini kullanmaktadır.

Teflon kaplı izolasyon sistemlerinde yapı ağırlığı düşük sürtünme kuvveti ile yatay yüke az miktarda direnç göstererek, teflon-çelik yüzeyler tarafından taşınır. Gerekli olduğunda ilave sönüm için başka araçlar da kullanılır.

Bu sistemlerin en büyük avantajı, sürtünme davranışı nedeni ile sismik titreşim frekansına duyarsız olmalarıdır. Diğer bir avantajları, ağırlık taşımaları ve izolasyon yüzeyinde yatay rijitlik sağlamalarıdır.

Kayıcı Esnek Sürtünmeli Taban İzolatörü (Sliding Resilient Friction Damper-SRF):

SRF sistem, EDF sistem ile R-FBI sistemin istenilen özelliklerinin birleştirilmesi ile oluşturulur. Yeni tasarımda R-FBI sistemin üstüne bir sürtünme tabakası yerleştirilir. Yapı, temel üzerinde EDF sisteme benzer olarak kayar. Düşük seviyedeki sismik titreşimlerde sistem R-FBI gibi davranır. Yüksek seviyeden zemin ivmelerinde üst kısımdaki sürtünme plakasında kayma oluşur.

Yeni Zellanda’ da Geliştirilen Sistem (New Zeland System-NZ):

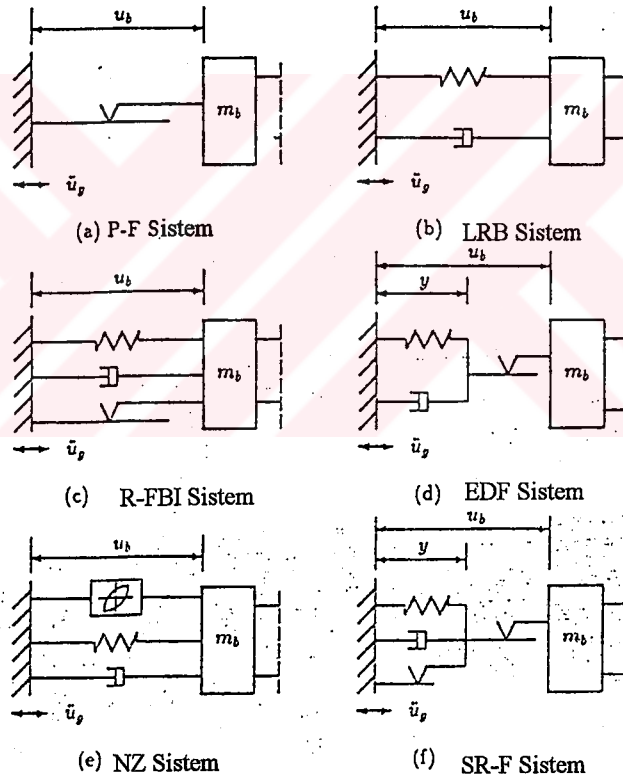
Yeni Zellanda’ da yaygın kullanılmaktadır. Ayrıca, Japonya’ da, İzlanda’ da, İtalya’da ve ABD’ de de uygulamaları vardır. Bir kurşun çekirdek ile elastomerik taşıyıcıdan oluşur. Sistem histeretik sönümleyiciler gibi davranır. Yatay esneklik tabakalı kauçuk bağlantı ile sağlanırken, kurşun çekirdek enerji sönümü sağlar.

Bu Sistemler Üzerinde Yapılan Karşılaştırılmalı İncelemelerden Elde Edilen Sonuçlar:

1940 El Centro Depremi etkisi altında kalan yapının sabit tabanlı olması ve izolasyon sistemi uygulanması halinde deprem etkilerine karşı gösterdiği davranış incelenmiştir. Taban izolasyonu olarak çeşitli taban izolasyon sistemleri kullanılmış ve sonuçlar birbirleri ile ve sabit tabanlı yapı davranışı ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan taban izolasyon sistemlerinin yapıyı sismik titreşimlere karşı korumada oldukça etkili olduğu görülmüştür.

Uygun tasarımıyla taban izolasyon sistemleri yapıya iletilen en büyük ivmeyi azaltırlar. Kabul edilir sınırlar içinde taban raftın en büyük relatif yer değiştirmesine izin verilirken, yapının sürüklenmesi önemli derecede azaltılmaktadır. Bunun yanında sürtünme tipli izolasyon sistemlerinde, zemin titreşimi iki katı kadar arttığında yapının en büyük kesit zorları ve yer değiştirmelerinde az bir miktar artış olduğu görülmüştür.

Düşük frekanslı büyük şiddetteki depremler için taban izolasyon sistemleri yeterince performans gösteremez. Kauçuk bağlantılar ve NZ sistemleri zemin titreşimini büyük miktarda artırırlar. Bunun yanı sıra, sürtünme tipli izolasyon sistemlerinin büyük bir bölümü yapıya iletilen en büyük ivmeyi artırıcı özellik gösterirler. Sadece R-FBI ve SRF sistemleri yapıya iletilen ivmeyi azaltır, ayrıca yapının sürüklenmesini ve yapıda oluşan gerilmeyi azaltırlar.



Şekil 2.7 İzolasyon Sistemlerin Şematik Diyagramları [9]

İncelemelerden elde edilen sonuçlar şu şekilde maddelenebilir:

- Uygun tasarımıyla taban izolasyon sistemleri az ve orta yükseklikteki yapıların orta şiddetteki deprem yer hareketlerine karşı korunmasında etkilidirler.

- Sürtünme tipli taban izolasyon sistemleri zemin titreşiminin büyüklüğündeki ve frekans içeriğindeki değişimlere daha az duyarlıdır.
- Bu tip sistemler yüksek enerji sönümleme kapasiteleri ve kabul edilebilir kayma yer değiştirmeleri ile yapıya iletilen en büyük ivmeyi etkili bir şekilde azaltırlar.
- Sürtünme tipli izolasyon sistemleri arasında SRF taban izolasyon sistemi değişik şiddetteki deprem titreşimlerine iyi bir performans gösterebilir.
- SRF taban izolasyon sistemler üst plakalarındaki sürtünme ile ilave koruma sağlar ve şiddetli depremlerde taban izolatörün performansını arttırırlar [9].

2.2 Pasif Enerji Sönümleyen Sistemler

2.2.1.Çalışma Mekanizması

Yapıların performansını arttırmak ve sismik yada rüzgar etkileri neden. ile oluşan zararı kontrol etmek amacıyla hazırlanan kontrol sistemlerini taban izolasyon sistemleri, mekanik sönümleyiciler, vizkoz sönümleyiciler gibi pasif sönümleyiciler ile deprem girdilerinin ölçülen yapı yer değiştirme ve kesit zorlarına bağlı olduğu, mekanik araçların aktif katılımına gereksinim duyan aktif sistemler olarak kısımlara ayırabiliriz.

Rüzgar nedeni ile oluşan dinamik kuvvetler sonucu yapıda oluşan yer değiştirmeler ve kesit zorları rüzgarın yoğunluğuna, çevreye, binanın boyutuna, şekline, kütesine, rijitiğine ve sistemde mümkün olan enerji sönüm miktarına bağlıdır. Bu parametreler içinde enerjinin sönümlenmesi düşüncesi en çok ilgi çeken konu olmuştur.

Son zamanlarda yapılardaki sönümü arttırarak, yapıda oluşan yer değiştirme ve kesit zorlarının azaltılması için çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmalar enerjinin yapı içinde çeşitli şekillerde sönümlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

New York' ta inşaa edilen the World Trade Center, rüzgarın neden olduğu yapı hareketini azaltmak amacı ile enerji sönümleyen sistem kullanan ilk yapı olmuştur. Bu yapıda ilave enerji sönümü için viskoelastik sönümleyiciler kullanılmıştır.

Pasif mekanik araçlar yeni binalarda olduğu kadar eski binalarda da kullanılabilir.

Bu araçlar, deprem etkilerini karşılamak amacıyla da kullanılmaktadır. Rüzgar ya da deprem etkileri nedeniyle oluşan kesit zorları ve yer değiştirmeleri azaltmak için yapı çerçevesine yerleştirilen bu mekanik araçlar yardımıyla yapı yüksekliği boyunca enerji sönümü sağlanır [10].

Pasif enerji sönümleyen sistemleri üç ana gruba ayırabiliriz: Sürtünme araçları, viskoelastik araçlar ve eğilme etkisi görülen araçlar. Kurşun sönümleyiciler karakteristikleri eğilme ile ilgili olmamasına rağmen üçüncü grupta incelenebilir.

Bu arada, çelikten yapılan histeretik sönümleyicilerin pasif yapısal kontrolde iyi bir performans göstermesi üzerine Japonlar tarafından yüksek katlı binalar için, yüksek performanslı yağ sönümleyiciler geliştirilmiştir. Bu sönümleyicilerin belirgin bazı özellikleri,

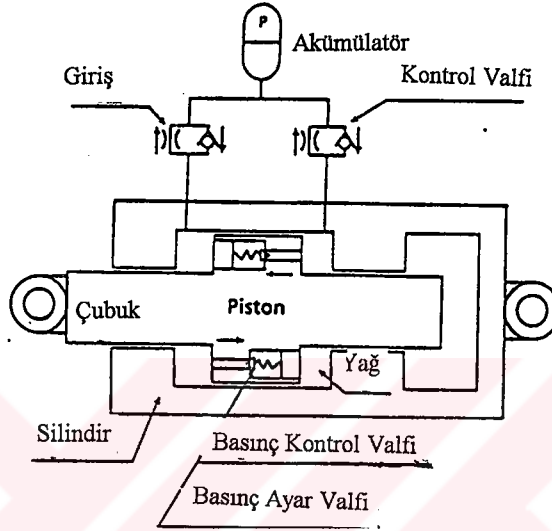
1. Özelliklerinin sıcaklıktan etkilenmemesi,
2. Herhangi bir özel şekil oluşturmanın kolay olması,
3. Kimyasal olarak maddeleri karıştırarak sönümleyici için özel bir hammadde oluşturmanın mümkün olması,
4. Ekonomik olmalarıdır [2].

2.2.2. Pasif Enerji Sönümleyen Sistem Tipleri

Büyük Boyutlu Yapıların Kontrolü İçin Yüksek Sönümlü Sistemler (HİDAM-High Damping Device)

Yüksek binaların sismik kontrolü için geliştirilen HİDAM tipik yağ sönümleyiciden oluşan basit bir sistemdir. Güvenilir olması, bakımının kolay olması ve ekonomik olması gibi avantajları vardır. Yüksek sönüm kuvveti oluşturan bu aracın mekanizması pistondaki basınç kontrol valfinden oluşur. Bu valf her iki silindir odası arasında aracın sönüm kuvvetine eşit olan uygun basınç farkı oluşturmak için hidrolik akışı kontrol eder.

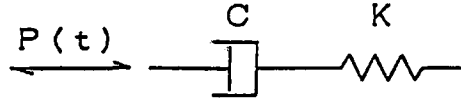
Gerçek boyutlarda (yaklaşık 100 m yüksekliğinde) 25 katlı, yüksek bir bina üzerinde yapılan incelemelerde aracın performansının izolasyon sistemi bulunmayan yapılara göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kirişin kuşaklamaya göre relatif hızıyla orantılı olan sönüm kuvvetini oluşturan yüksek sönümlü araç, kiriş ile kuşaklamanın temas halinde olduğu yere yerleştirilir.



Şekil 2.8 HİDAM Sistem Diyagramı [2]

Araç, silindir, piston, basınç kontrol valfi, basıncı serbest bırakan valf, akümülatör ve sönümleyici yağdan oluşmaktadır. Pistona yerleştirilen kontrol valfi hidrolik akışı kontrol eder. Aynı zamanda pistona yerleştirilen basınç serbest bırakma valfi, aracı beklenmedik aşırı yükleme durumunda koruma görevi görür. Aracın tüm sönüm karakteristikleri bu iki valf ile belirlenir. Akümülatör pistonun hareketi ile değişen ilave yağ hacmi sağlar. Bu mekanizma pistonun her iki yöndeki hareketinde aynı sönüm performansını sağlamak için simetrik olarak tasarlanmıştır.

Aracın ve yapının dinamik analizinde kullanılması amacıyla bir model geliştirilmiş ve bu araçta simulasyon analizi yapılmıştır. Maxwell Model' i olarak adlandırılan bu model, yağ kutusu ile yaylardan oluşmaktadır. Maxwell Modelinde sönüm kuvveti, Runge - Kutta metodu kullanılarak nümerik olarak hızların toplanması ile hesaplanmıştır.



Şekil 2.9 Maxwell Modeli

Maxwell modeli kullanarak yapılan simulasyon, aracın ana karakteristiğini iyi bir şekilde ifade etmektedir.

Aracın ana performans karakteristikleri olan sönüm kuvveti, sönüm katsayısı, rijitliği ve valf davranışı incelenmiş ve bu aracın gerçek binalara güvenilir olarak yerleştirilebileceği görülmüştür [2].

Sürtünme Araçları

Yapısal sistemde, düzlem çerçevede kuşaklamalar sürtünme araçları ile hazırlanabilir. Bu araçlar normal sevis yükleri altında ve orta şiddetteki depremlerde kayma oluşmayacak şekilde tasarlanırlar. Şiddetli sismik titreşimler boyunca, yapı çerçevelerinde eğilme oluşmadan önce, araç daha önce belirlenen belli bir yük altında kayar. Araçtaki kayma sürtünmesi yardımı ile enerji sönümü için bir mekanizma oluşur. Kuşaklamalar belli bir miktar yük taşıırken, kalan yüklerde düzlem çerçeveler tarafından taşınır. Bu durumda yüklerin katlar arasında dağılımı başarıyla gerçekleştirilir. Bu kuvvetler kuşaklamaları kaymaya zorlar ve yapı içerisinde enerji dağılımı oluşur.

Kuşaklamalar bulunan bir yapıda şu özellikler görülür:

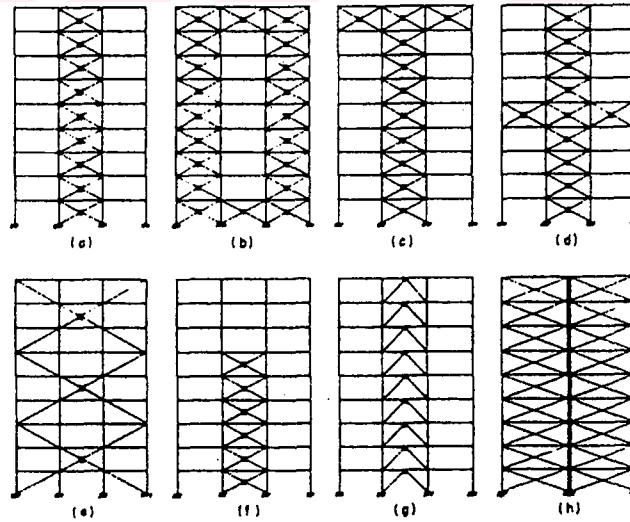
1. Yapı, rüzgar, orta şiddetli deprem gibi servis yükleri boyunca kuşaklamalı bir eleman gibi davranır ve sürüklenmeleri kontrol edecek kadar rijitliğe sahip olur.
2. Şiddetli deprem titreşimleri boyunca araç kayarken, yapının esnekliği artar. Aracın kayması salınım periyodunun artmasını sağlar ve böylece sismik kuvvetler azalır.

3. Kayma hareketi ve sürtünme yardımı ile büyük miktarda enerji sönümlenir. Bu yapı elemanlarındaki eğilmeyi önler ya da en azından geciktirir.

Kuşaklama elemanındaki sürtünme bağlantıları çekme ve basınç durumunda kayma hareketi oluşmasında kullanılır. Kuşaklama elemanı kayma yük değerine kadar basınçta burkulma olmayacak şekilde tasarlanır. Kuşaklamanın sürtünme bağlantılarının burkulmadan çekmede büyük yüklemelerde, basınçta düşük yüklerde kayması beklenir.

Ayrıca, kuşaklamalar oldukça narindir ve sadece çekmede etkili olmak üzere tasarlanırlar. Çekmede sürtünme bölgesi kayar ancak, yük ters yönlü etkidiğinde kuşaklama kayma miktarı kadar geri dönmez. Sonraki çevrimde kuşaklama tekrar kaymaz, gerilme oluşur. Bu şekilde bir miktar enerji sönümlenir.

X şeklinde çapraz kuşaklamalar hazırlanarak basınçta da kuşaklama elemanının etkili olması sağlanır. X şeklindeki kuşaklamalarda sürtünme araçları X elemanını oluşturan kuşakların kesiştiği yere yerleştirilir. Kuşaklamalardan birindeki çekme bağlantıyı kaymaya zorlarken, kayma dört bağlantıyı harekete geçirir. Bu durum aynı anda diğer kuşaklamanın da kaymasına neden olur. Bu şekilde, her yarım çevrimde kuşaklamaların her ikisinde enerji sönümlenir. Her yarım çevrimde mekanizma bağlantıyı geri getirir ve tekrar yer değiştirmeye hazır hale getirir.



Şekil 2.10 Sürtünme Araçlarının Yapı İçinde Yerleşim Biçimleri [5]

Bir yapının sismik performansı yapıya giren enerji ile sönümlenen enerji miktarına göre belirlenir. Optimum sismik dayanımı sağlamak için sisteme giren enerji ile sönümlenen enerji miktarı arasındaki fark minimum seviyeye getirilmeye çalışılır. Sisteme giren enerji yapının doğal periyoduna ve zemin hareketinin dinamik karakteristiğine bağlıdır. Yapının dinamik karakteristiği değiştirilerek, yapıya giren enerji miktarı kontrol altına alınır ve rezonans olayı önlenir. Bu durum, zemin hareketi belli sınırlar içinde olduğu zaman mümkündür. Zemin yapı etkileşimi ile oluşan belirsizlikler ile zemin hareketi gerçekte oldukça belirsizdir. Bu yüzden sisteme giren enerjinin kontrolü tam olarak mümkün değildir. Ancak, sürtünme ile sönüm sağlanan kuşaklamalarda, yapının periyodu kuşaklamanın kayma yükünden etkilenir ve salınımın büyüklüğüyle değişir. Böylece rezonans olayının oluşması zorlaşır.

Kuşaklamalarda kayma ile yapının esnekliğinin artması sonucu zemin hareketinin frekans içeriğine bağlı olarak daha yüksek ya da daha küçük sismik kuvvetler oluşur. Kayma yükünün uygun seçimiyle yapının dayanımı optimal bir değere ayarlanabilir.

Japonya' da Sumitomo Metal Endüstrisi demiryolları için sürtünmeli sönümleyiciler geliştirmiştir. Son zamanlarda bu sönümleyiciler yapı mühendisliğinde de uygulanmaya başlamıştır. Japonya' da Omiyama City ve Tokyo'da 31 ve 22 katlı çelik çerçeveli binalarda Sumitomo olarak isimlendirilen sürtünme araçları uygulanmıştır.

Araç,aracın çelik kısmı ile temas halinde olan grafit içeren çelik bloklardan ibarettir. Temas yüzeyindeki yük yayların basıncı altında hareket eden kamalar tarafından geliştirilir. Grafit temas kısmının yağlanması ve sürtünme katsayısının sabit olması işlevini görür. Ayrıca, sönüm işleminin sessiz olmasını sağlar.

Bu kuşaklamalar üzerinde yapılan inceleme ve deneyler sonunda bu araçların yapı içinde enerjinin dağılarak, sönümleme kapasitesinde önemli artış sağladıkları görülmüştür. Düzlem çerçevelerle karşılaştırıldıklarında kat sürüklenmelerini azaltmalarına rağmen, taban kayma kuvvetlerinin hemen hemen aynı kaldığı gözlemlenmiştir. Ancak yine de, bu sistemlerde enerji sönümü mekanik yollarla sağlanırken, düzlem çerçevelerde elastik olmayan deformasyon ile sağlanmaktadır.

Constantinou tarafından köprü sismik izolasyon sistemlerinde kullanılmak üzere sürtünme aracı geliştirmiştir. Bu araçta grafit bulunan bronz ile temas halinde olan paslanmaz çelik kullanılır.

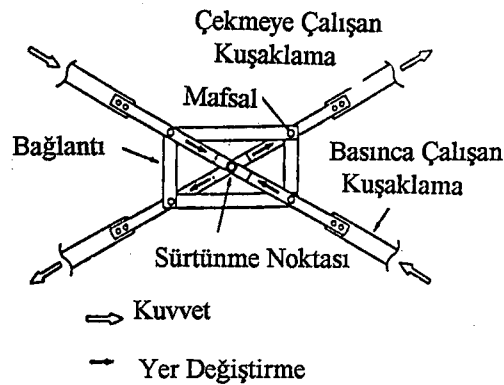
Bundan başka çeşitli bilim adamları tarafından geliştirilen sürtünme araçları da vardır. Ancak, genel olarak hemen hepsi yapıya kolay ilave edilebilmelerine rağmen, bakımları zordur. Özellikle;

- Metal yüzeylerde korozyon etkisi görülür. Bilhassa, karbon ve düşük alaşımlı çelik pirinç, bronz ya da bakır ile atmosferik çevrede temasa geçerse şiddetli korozyon etkisi görülür.
- Kayma yüzeyindeki normal yük güvenilir olarak karşılanamaz ve yıllar sonra bir miktar gevşeme oluşur [5].

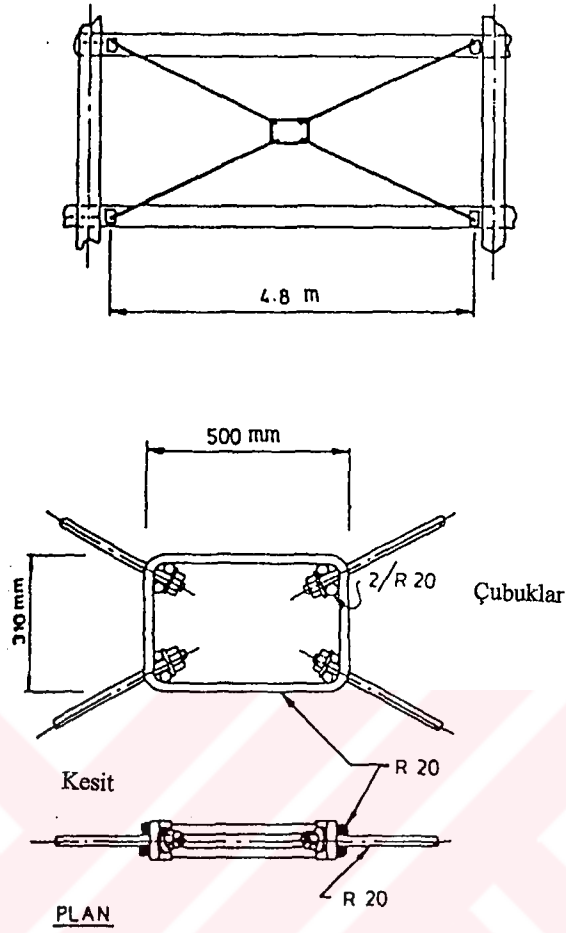
Eğilmeli Çelik Elemanlar

Yapıların sismik özelliklerini arttırmak için yumuşak çeliğin eğilme özelliklerinden yararlanılmaktadır. Eksantrik - kuşaklanmış çerçeveler büyük ölçüde kabul görmektedir. Enerji sönümü eksantrik-kuşaklanmış çerçevelerin kayma bağlantılarında yoğunlaşır. Şiddetli depremlerde zarar bu bağlantılarda oluşur.

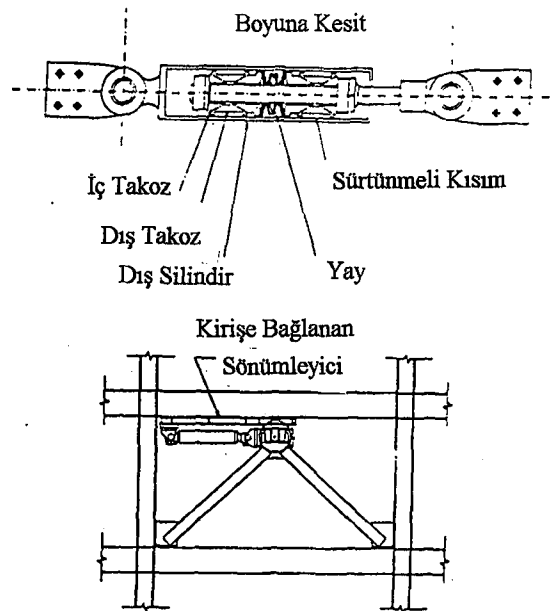
Bu elemanın önemli bir karakteristiği, basınç kuşağı dikdörtgen çelik çerçeve ile bağlantılı değildir. Bu şekilde bu kuşakta burkulma oluşmaz ve histeretik davranış meydana gelmez. Enerji, çelik kuşağın çapraz yönünde, dikdörtgen çelik çerçevenin elastik olmayan deformasyonu ile yayılır [5].



Şekil 2.11 Pall Tarafından Geliştirilen Sürtünmeli Sönümleyici [5]



Şekil 2.12 Tyler Tarafından Geliştirilen Kuşaklama Sistemi [5]



Şekil 2.13 Aiken Tarafından Geliştirilen Sumitomo Sürtünmeli Sönümleyici ve Detayı [5]

ADAS (Added Damping and Stiffness) Elemanlar

Yapıya ilave sönüm ve ilave rijitlik sağlayan ADAS aracı binanın çerçevesine yerleştirilmek üzere tasarlanan çelik plakaların birleşmesinden oluşur. Relatif kat sürüklenmesi, aracın üst kısmının yatay olarak alt kısma göre relatif yer değiştirmesine neden olur. Çeliğin büyük miktarda eğilmesi ile, ADAS aracı deprem sırasında önemli miktarda enerji sönümleyebilir. Bunun bazı yararları vardır:

- Enerji sönümü bu amaçla tasarlanmış olan yerlerde yoğunlaşır.
- Diğer yapısal elemanlar üzerinde enerji sönümü büyük miktarda azalır.
- ADAS araçları sadece yatay yüke direnen sistemin parçası olduklarından, bu araçların eğilmesi yapısal sistemin servis yükü taşıma kapasitesini etkilemez. ADAS elemanları gerektiğinde bir depremden sonra kolaylıkla yerleştirilebilir.

Eğilmeli çelik elemanların mekanik karakteristikleri Steimer, School, Hanson, Bergman, Whittaker ve Su tarafından incelenmiştir. ADAS araçları ve ADAS aracı bulunan çerçeveler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda bu araçların, aracın elastik eğilme yer değiştirmesi Δ_y 'nin 14 katı kadar büyük yer değiştirmeler için stabil histeretik davranış göstererek enerji sönümü sağladığını ve yüksek sismitiye sahip olan bölgelerde kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Genel tasarım amacıyla, ADAS aracının parametrelerinin yapı sisteminin elastik olmayan yer değiştirme ve kesit zorlarını nasıl etkilediği ve deprem zemin hareketinin karakteristikleri, yoğunluğu ve enerji içeriğini hesaba katarak bu parametrelerin nasıl seçilebileceğinin belirlenmesi amacıyla incelemeler yapılmıştır.

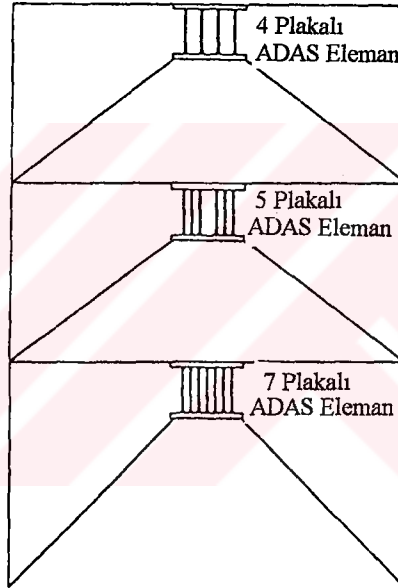
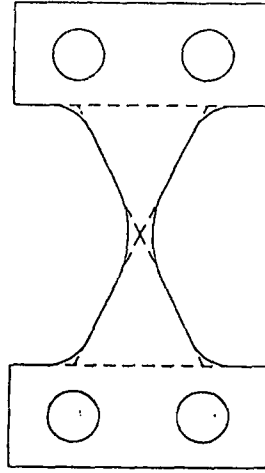
ADAS aracının elastik olmayan davranışını ifade etmek için şekil değiştirme sertleşmesi ve histeretik davranışın hesaba katılabildiği lineer olmayan bir model seçilmiştir. Her yüklemede araç tarafından sönümlenen histeretik enerji, eğilme kuvveti P_y ' ye, elastik eğilme yer değiştirmesi Δ_y ' ye ve süneklik oranı $\mu = \Delta / \Delta_y$ ' ye bağlıdır.

Bu enerjinin denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$W_b = 4P_y\Delta_y(\mu-1) \quad (2.5)$$

ADAS aracının parametreleri:

- Kuşaklamanın yatay rijitliğinin, ADAS aracının başlangıç elastik rijitliğine oranı (B/D): Yapılan incelemeler B/D oranının 2' den küçük olması hali dışında elastik olmayan yer değiştirme ve kesit zorları üzerinde az etkili olduğunu göstermiştir. B/D oranı ADAS aracının deformasyonunu sadece eğilmeden önce etkiler. Eğilmeden sonra, araçtaki elastik olmayan deformasyon nedeni ile ADAS aracının rijitliği büyük miktarda azalır. Büyük B/D oranı kullanarak yapıdaki sismik performansı arttırmak ekonomik değildir. Ekonomi düşünülerek, B/D oranı 2 alınır.
- ADAS aracının rijitliğinin, ADAS aracı olmaksızın yapı kat rijitliğine oranı (SR) ve ADAS aracının eğilme kuvveti ve eğilme yer değiştirmesi: Yapılan incelemeler SR oranının artmasıyla kat yer değiştirmelerinin azaldığını ancak, bu azalmanın lineer olmadığını göstermiştir. Aracın eğilme kuvvetinin artması yapının elastik olmayan yer değiştirme ve kesit zorlarını etkileyecektir. Deprem yoğunluğuna, yer hareketinin karakteristiklerine ve enerji talebine bağlı olan elastik olmayan yer değiştirmeyi kontrol etmek için araç eğilme kuvvetine gerek vardır. Bu yüzden, SR oranı, hem yapının rijitlik gereksinimini karşılamakta, hem de deprem nedeni ile oluşan elastik olmayan yer değiştirme ve kesit zorlarını azaltmak için kullanılmaktadır. ADAS aracının eğilme kuvvetini arttırmak, aracın mukavemetini ve histeretik sönümünü arttıracaktır. Ancak, eğilme kuvvetini arttırmak destek sağlayan yapısal elemanların boyutunu ve dolayısıyla aracın maliyetini arttıracaktır. Bu nedenle ADAS aracının eğilme kuvveti belirlenirken hem yapısal güvenlik hem de maliyete etkisi gözönünde bulundurulmalıdır.
- ADAS aracının süneklik oranı: Bu oran araç eğilme yer değiştirmesiyle büyük ölçüde değişir. İncelemeler sonunda sönümleyici yer değiştirmesinin sönümleyicinin yüksekliğinin 0.00140~0.002 katı civarında olması önerilir.
- Aracın şekil değiştirme -sertleşme oranı: Yapılan incelemelerden şekil değiştirme sertleşme oranının, elastik olmayan yer değiştirmeler ve aracın süneklik oranı üzerinde az etkili olduğu görülmüştür. Ancak, sertleşme oranının artması ile ADAS aracındaki kuvvetler ve kat kayma kuvvetleri artmaktadır. Tasarım amacı için, ADAS aracının enerji sönüm kapasitesi ve histeretik davranışı eğilme kuvveti P_y 'ye bağlanabilir. ADAS aracını destekleyen kuşaklamanın tasarımı için şekil değiştirme-sertleşme oranı hesaba katılmalıdır [11].



Şekil 2.14 ADAS Aracı ve Düzlem Çerçeve Yerleşimi [11]

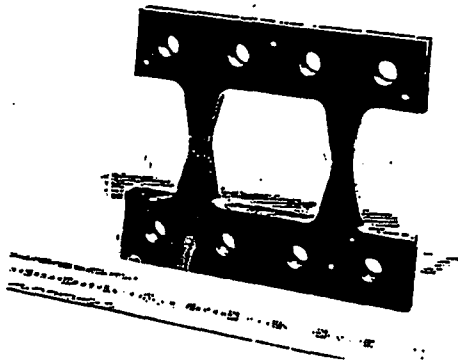
Honeycomb Sönümleyici:

Histeretik çelik sönümleyicilerin tipik bir örneği olan “Honeycomb Sönümleyici”, çelik sönümleyici plakalardan ibarettir. Birkaç tanesinin biraraya gelmesi ile ortada bal peteklerinin şekli oluşmaktadır. İsmini de buradan almıştır. Araç, ana yapısal elemanlar (duvar, kolon, vs.) arasında relatif hareket oluşturur.

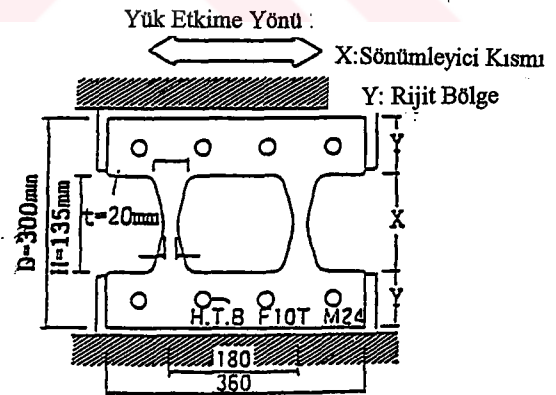
Böylece, sönümleyicideki hareket, titreşim enerjisinin dağılmasına ve sönümlenmesine neden olur. Bu, ana çerçevelerin hareketinin azalmasını sağlar. Sönümleyicilerin eğilme gerilmesi optimal olarak max. ivmenin $60 \approx 100 \text{ cm/sn}^2$ olduğu titreşim girdilerine göre seçilir. Bu özel sönümleyici için kullanılan malzeme eğilme gerilmesi 0.024 t/mm^2 olan BTLYP24' tür. Bu malzemenin eğilme miktarı normal çelik malzemelerden daha azdır.

Tasarım yapılırken sönümleyicinin yüksek rijitliğe sahip olması ve sönümleyici boyunca homojen plastik deformasyon meydana gelmesine dikkat edilir.

Yapıdaki kesit zorları ve yer değiştirme miktarındaki azalmalar, sönümleyicinin yerleştirildiği yere göre değişir. Ancak, kayma kuvveti sonucu oluşan yer değiştirme ve kesit zorlarında $\%10 \approx 35$ ' lik bir azalma sağlandığı söylenebilir. Buna ilave olarak, yapıya giren toplam enerjinin sönümleyici tarafından sönümlenen kısmı araç kapasitesinin $1/16$ 'sı kadardır. Diğer bir deyişle, depremde sonra sönümleyiciyi değiştirmek gerekli değildir. Çünkü, sonra olabilecek başka depremlerde de sönümleyici olarak fonksiyonunu sürdürebilir [2].



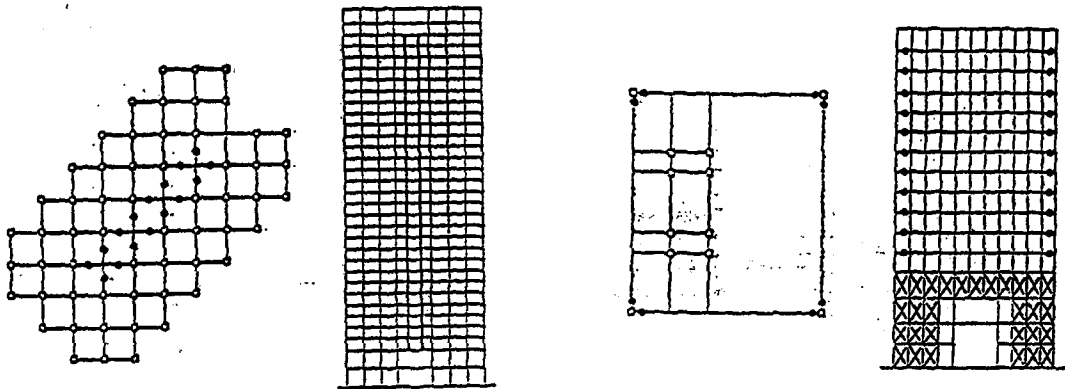
Şekil 2.15 Honeycomb Sönümleyici [2]

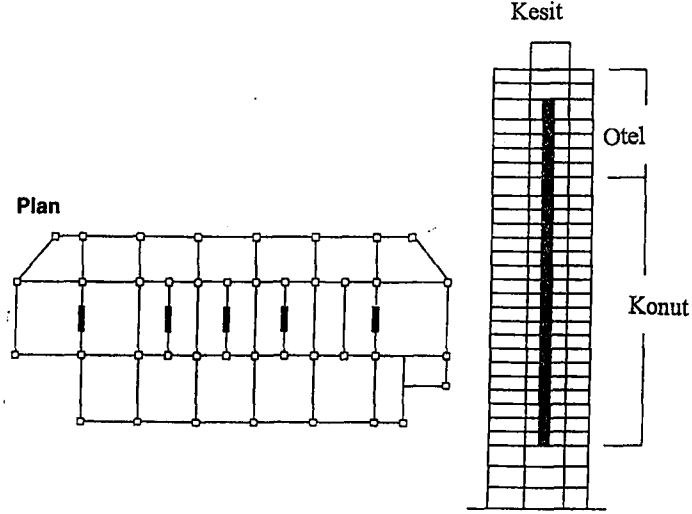


Şekil 2.16 Birim Sönümleyici [2]

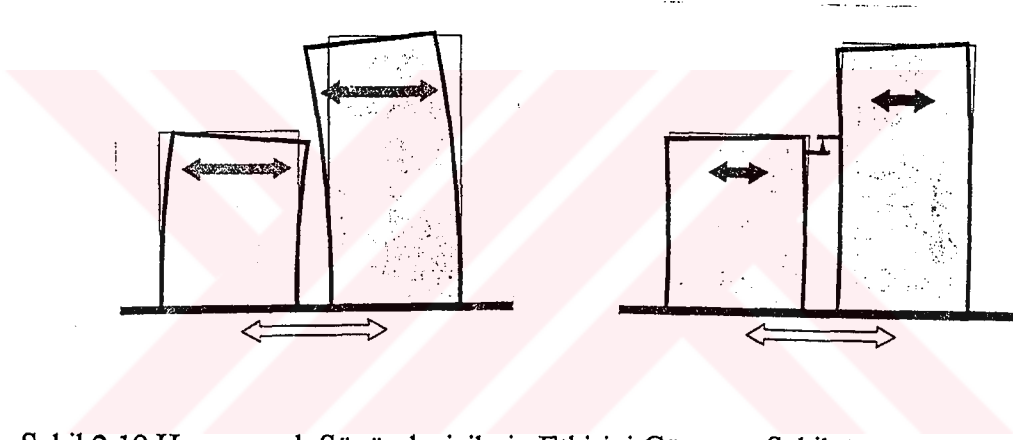


Şekil 2.17 Sea Fort Square (S) [2]



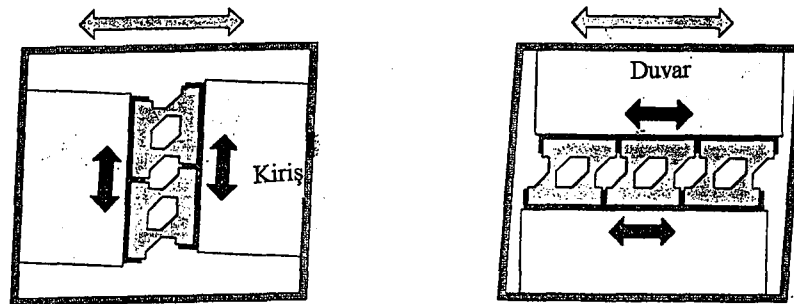


Şekil 2.18 Honeycomb Sönümleyicilerin Yerleşim Pozisyonları [2]

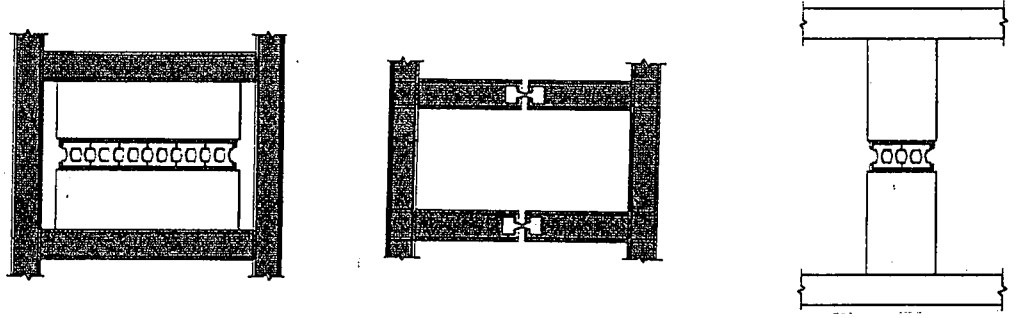


Şekil 2.19 Honeycomb Sönümleyicilerin Etkisini Gösteren Şekil [2]

Yüksek binalarda kat sayısı arttıkça titreşim büyüklüğü de artmaktadır. Honeycomb Sönümleyici ile sismik enerji ve titreşim büyüklüğü azalmaktadır [2].



Şekil 2.20 Honeycomb Sönümleyicinin Deformasyon Şekli [2]



Şekil 2.21 Honeycomb Sönümleyicilerin Duvar, Kiriş ve Kolonda Yerleşimi [2]

Nokta Sönümleyiciler

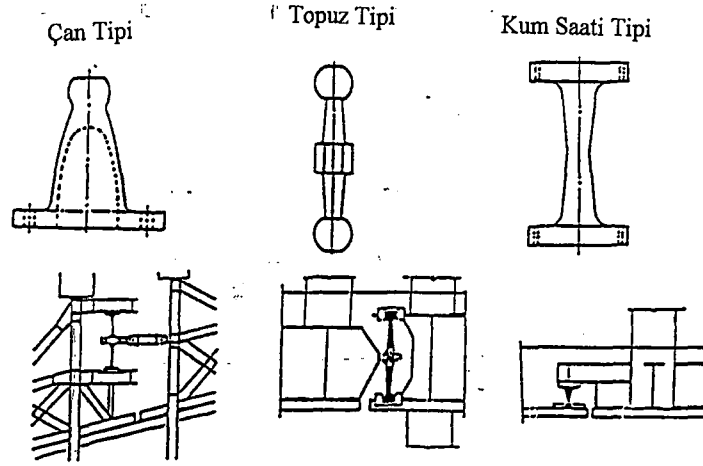
Birbirlerine histeretik sönümleyiciler ile bağlı olan iki komşu yapıya sismik bir etki geldiğinde, her iki binanın yer değiştirme ve kesit zorlarında azalmalar belirlenir. Çünkü, iki yapı arasındaki relatif sürüklenme, büyük deprem titreşimleri altında yapıya giren enerjiyi sönümleyen sönümleyici deformasyonu ile sonuçlanır.

Histeretik sönümleyiciler için gerekli çeşitli özellikler vardır. Bunlar;

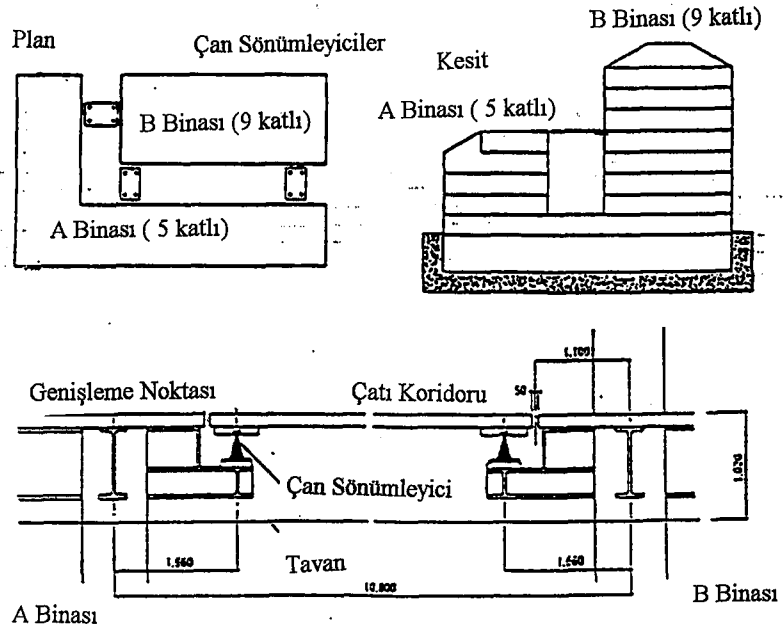
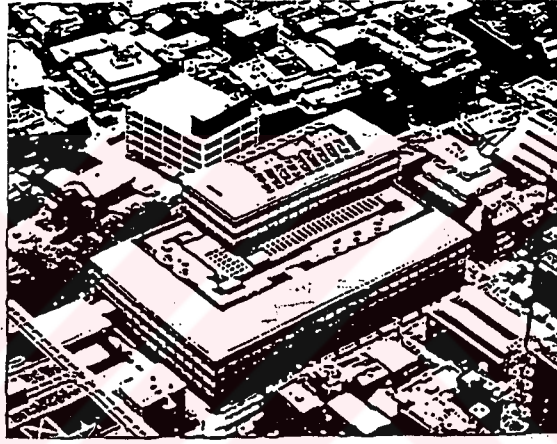
- Büyük enerji sönüm kapasitesi
- Deformasyonda homojenlik
- Gerekli deformasyon kapasitesi

Çelik büyük enerji sönüm kapasitesine sahiptir ve yapısal malzeme olarak güvenilir bir malzemedir. Çelik nokta sönümleyiciler için yatay rijitlik, eğilme gerilmesi ve plastik deformasyon gibi çeşitli tasarım kriterleri vardır.

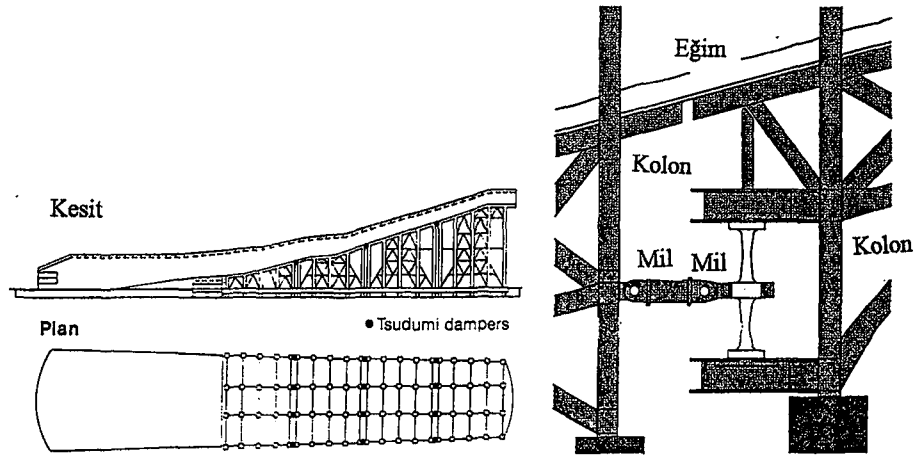
Üç tip düğüm nokta sönümleyici vardır. Orjinal isimleri ile bunlar Bell Sönümleyici, Hourglass Sönümleyici ve Dumbbell Sönümleyici' dir. Bunlar sırasıyla küçük, orta ve büyük ölçekli yapılarda kullanılır.



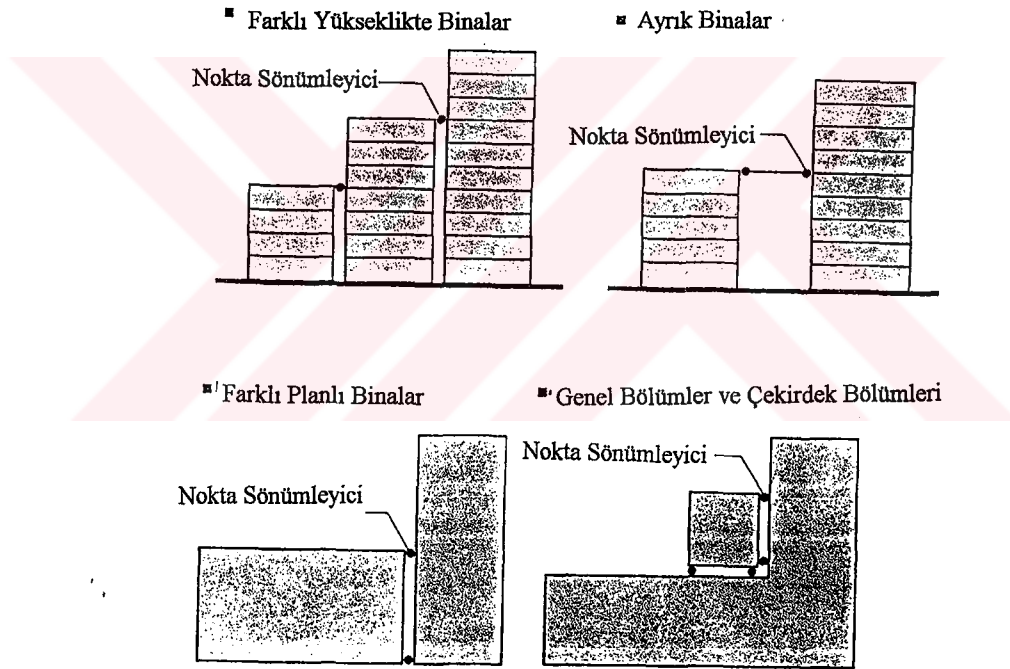
Şekil 2.22 Nokta Sönümleyicinin Yerleşim Detay ve Biçimleri [2]



Şekil 2.23 Kajima (KI) Binası'nda Nokta Sönümleyicilerin Yerleşimi (Bell Type) [2]



Şekil 2.24 L Kubbe' de Nokta Sönümleyicinin Yerleşimi (Hourglass Type) [2]



Şekil 2.25 Sönümleyicinin Değişik Uygulamaları [2]

Farklı doğal frekanslara sahip olan iki bina birbirlerine doğru hareket ettiklerinde çarpma tehlikesi oluşur. Nokta sönümleyicilerin yerleşimi ile iki binadaki titreşim azalır ve çarpışma tehlikesi ortadan kalkar.

KI binasında nokta sönümleyici 5 katlı L şeklindeki bina ile 9 katlı binayı birbirine bağlamak amacıyla iki bina arasındaki koridorlara yerleştirilmiştir. Bu araçların tasarımında, dinamik analiz için iki yapı arasındaki hem yatay ve hem burulma hareketi gözönüne alınır ve sönümleyici statik yükleme ile rijitliği değişen, lineer olmayan iki boyutlu eleman gibi modellenir. Araç, 5 katlı ve 9 katlı binaların yer değiştirme ve kesit zorlarını sırasıyla 20-40 % ve 10-30 % kadar azaltmıştır.

Başka bir örnek L şeklindeki kubbedir. Tüm yapı 4 bloğa ayrılmıştır ve her blok birbirinden farklı olan kendi doğal frekansına sahiptir.

Kayma kuvvetlerinde % 40 civarında azalma sağlarlar ve bu araçlarda sönümlenen enerji miktarı tüm kapasitenin 1/10' undan azdır. Bu yüzden şiddetli bir depremde sonra değiştirmeye gerek yoktur. [2]

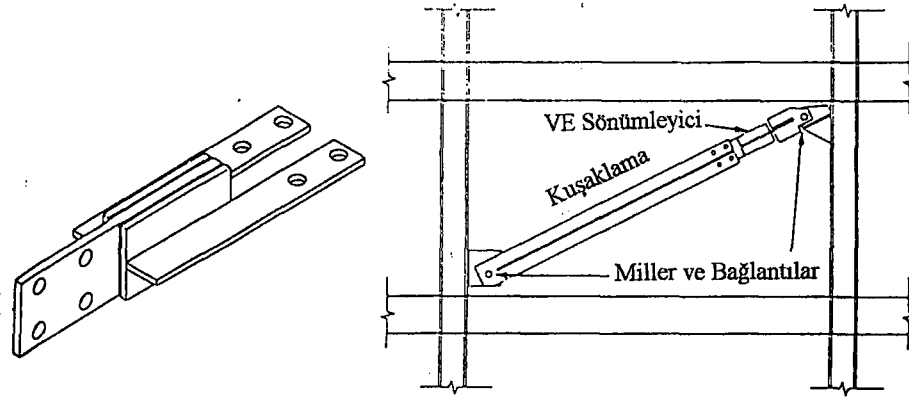
Viskoelastik Sönümleyiciler

Viskoelastik tabakalardan oluşan viskoelastik sönümleyiciler 3M Şirketi tarafından geliştirilmiş ve çoğunlukla rüzgar sonucu oluşan titreşimlere karşı kontrol ve koruma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Örnek olarak 110 katlı the World Center, Seattle' da 73 katlı the Columbia Seafirst Building ve yine Seattle' da 60 katlı the Number Two Union Square Buiding verilebilir.

Viskoelastik sönümleyicilerin sismik kontrol amacıyla kullanımı daha yakın bir geçmişte sahiptir. Sismik uygulamalar için, rüzgar titreşimlerine karşı kontrol için gerekli olandan daha fazla sönüm gereklidir. Ayrıca, daha geniş frekans bölgesinde enerji sönümü için daha etkili viskoelastik malzeme kullanımına gereksinim vardır.

Kayma deformasyonu meydana geldiğinde yapısal uygulamalarda kullanılan viskoelastik malzeme ile enerji sönümü sağlanır. Bir yapıya yerleştirildiğinde yapısal titreşim dış çelik flanşlar ile merkez plaka arasında relatif harekete neden olur. Bu hareket ile kayma deformasyonu ve enerji sönümü oluşur.

Çelik plakalarla sınırlanmış viskoelastik tabakalardan oluşan tipik bir viskoelastik sönümleyici aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 2.26 Viskoelastik Sönümleyici ve Yerleşim Detayı

Viskoelastik sönümleyicilerin bulunduğu yapıların tasarımı için, önce ilave sönümleyiciler olmaksızın yapının analizi yapılır.

Tasarım için şu adımlar izlenir:

1. Binanın yapısal özellikleri belirlenir, yapısal performans analiz edilir.
2. İstenen sönüm oranı belirlenir.
3. Binada istenen ve uygun olan sönümleyici yerleştirilebilecek yerler seçilir.
4. Sönümleyici rijitliği ve kayıp faktörü seçilir.
5. Modal şekil değiştirme enerji metodu kullanılarak eş sönüm oranı belirlenir.
6. Tasarlanan sönüm oranı kullanılarak yapısal analiz yapılır.

Kayıp faktörü, δ faz farkını gösteren açı olduğuna göre, $\tan \delta$ ile bulunur.

(5) ve (6) adımları istenen sönüm oranını ve yapısal performans kriterini sağladığında tasarım tamamlanmış olur [5].

Viskoz Duvarlar

Viskoz duvarlar, bir duvarın içinde yüksek viskoziteye sahip sıvının içerisinde hareket eden bir plakadan ibarettir. Araç, kuvvetli viskoelastik sıvı davranışı gösterir.

Viskoz sönümlü duvarlar üzerinde Japonya' da testler yapılmış, 4 katlı bir prototip binada yapılan incelemeler duvarların bulunmaması durumundaki davranışı ile karşılaştırıldığında, binanın sismik performansında artış görülmüştür [5].

Sonuç

Tanıtılan bu sistemler düzlem çerçevelere ilave edildiklerinde yapının kat sürüklenmelerinde önemli miktarda azalma sağladıkları görülmüştür. Bundan dolayı, daha önce inşaa edilmiş olan binalarda sismik uygulamalar için çok uygundurlar.

Enerji sönümleyici araç bulunan bir binada, yerçekimi yüklerini taşıyan yapısal sistemin elemanları orta şiddetteki depremlerde oluşan sismik kuvvetleri ve yerçekimi kuvvetlerini taşımak için yeterince rijittir. Yeni kuşaklama sistemlerine yerleştirilen enerji sönümleyici araçlar, şiddetli depremlerde kat sürüklenmelerini azaltma yeteneğindedir. Kolonlardaki eğilme momentleri ile orantılı olarak kat sürüklenmelerinde azalmalar görülür. Bu durum aşırı eğilmeleri önleyerek, davranışın da elastik olmasını sağlar. Ancak, yapısal sistemin davranışı düzlem çerçeveden kuşaklanmış sistemin davranışına dönüşür. Enerji sönümleyen araçlar kat sürüklenmelerinde azalmalar sağlarken, elastik olmayan davranışı azaltırlar. Buna karşılık, enerji sönümleyici araçlarda oluşan kuvvetler, kuvvet-yer değiştirme karakteristiklerine bağlı olarak, kolonlarda basınç ya da çekme şeklinde görülen büyük miktarda eksenel kuvvet olarak görülür. Kullanılan enerji sönümleyici aracın tipine göre, bu ilave eksenel kuvvet max. sürüklenme ile aynı fazda olabilir. Bu da yük taşıyan kolonların güvenliğini etkileyecektir. Bu, daha önceki depremlerde zarar görmüş olan yapılardaki uygulamalar için önemlidir. Ayrıca, sadece enerji sönüm araçları kullanarak bu tür yapıların sismik direncini arttırmak mümkün olamayabilir ve yapıların kolon elemanlarını güçlendirmek gerekli olabilir [5].

Ayarlanmış Kütle Sönümleyiciler

Enerji sönümleyici sistem olarak TMD sistem düşüncesi 1909 yılına dayanmaktadır. Avustralya’ da the Centerpoint Tower, TMD sistemin geniş ölçekli ilk uygulamasıdır. Bu sistemde, rüzgar titreşimleri için hazırlanan TMD sistem kulenin su tankından oluşmaktadır. New York’ ta 274 m. uzunluğunda the Citicorp Center’ da 400 t’ luk TMD sistem kullanılmıştır. Başka bir uygulamada, Boston’ da John Hancock Kulesi’ dir. Bu binada 300 t’ luk iki adet kütle kullanılmıştır. Bu binalarda TMD’nin ana kullanım amacı rüzgar etkilerine karşı yapının korunmasıdır. Ancak, deprem etkilerine karşı yapıların korunması için TMD sistem üzerindeki araştırmalar sürmektedir.

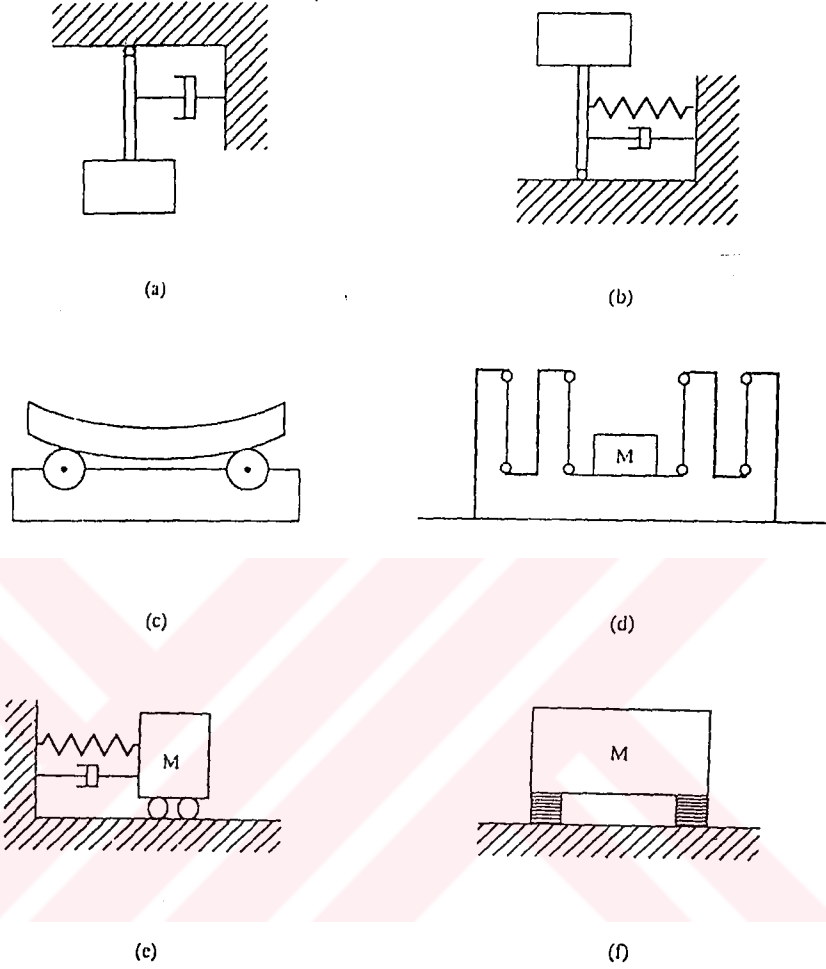
Bilgisayar ile tasarım ve yüksek sönümlü malzemelerin geliştirilmesi ile yapılar daha esnek ve hafif sönümlü hale gelmektedir. Trafik yükü, deprem, rüzgar gibi dinamik yükler etkidiği zaman bu tür yapılarda uzun süreli titreşimler oluşabilir. Konforu, binadaki ekipmanın ve yapının güvenliğini arttırmak için yapıların elastik bölgedeki sönüm kapasitesi artırılmalıdır.

Eğer yapının üst kısmına komşu sabit bir duvar varsa, viskoz ya da sürtünmeli sönümleyiciler bu duvara yerleştirilerek, yapının sönüm kapasitesi artırılabilir. Ancak, bu tasarım esnek binaların çok yüksek olması ve her zaman sabit bir duvar bulmanın imkansız olması nedeni ile çoğunlukla uygulanamaz.

Yapılan çalışmalar yapıların temel frekansında salınım yaptığını göstermiştir. Eğer burulma salınım frekansı yatay salınım frekansına yakın ise, burulma hareketinin oluştuğunu göstermiştir. Bunu karşılamak için en yaygın olarak kullanılan sistemler TMD sistemlerdir.

TMD (Tuned Mass Damper), kütlesi m_T , yay sabiti k_T , viskoz sönüm katsayısı c_T olan bir titreşim sistemidir. Yapı titreşmeye başladığında TMD’ de yapının hareketi ile titreşmeye başlar. Buradan, TMD’ nin viskoz sönümleyicisi ile sönümlenmek üzere yapının kinetik enerjisi TMD sisteme gider. TMD sistemde etkili enerji sönüm kapasitesi sağlamak için TMD’ nin doğal periyodu yapının doğal periyoduna göre ayarlanmalıdır. TMD’ nin viskoz sönümleyicisi, sönümlenen enerji miktarını maksimum seviyeye getirmek için optimum değerde olmalıdır.

TMD mekanik olarak basit bir sistemdir ve dıştan enerji verilmesine gereksinim duyulmaz. Bakımındaki kolaylık ve güvenilirliği nedeni ile esnek ve hafif sönümlü kulelerde, binalarda kullanılmaktadır [5].



Şekil 2.27 TMD Tipleri a) Sönümleyicili Sarkaç, b) Yaylı ve Sönümleyicili Ters Sarkaç, c) Dönen Taşıyıcılar Üzerinde Salınan Kütle d) Yer Tasarrufu Sağlayan Asılı Sarkaçlar e) Yaylı ve Sönümleyicili Kayıcı Kütle, f) Kauçuk Taşıyıcılar Üzerinde Kütle [5].

Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler

İlk olarak gemilerde kullanım için tasarlanmış olan ayarlanmış sıvı sönümleyiciler, daha sonraları binalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bir TLD hareket eden kütle olarak su ya da başka sıvılar kullanır ve yerçekimi ile dengeleyici kuvvet oluşur. Enerji sönümü sıvı ile kap arasındaki sınırlardan ve sıvının hareketindeki türbülansın oluşur. TLD, TMD ile prensip olarak aynı şekilde ana

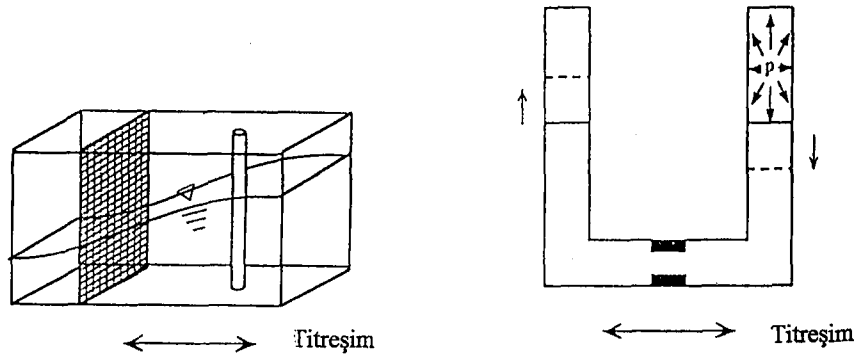
yapının kinetik enerjisini sönümler. TLD sistemlerin maliyeti azdır, doğal frekansa kolay uyum sağlarlar ve yapılara kolay tertip edilebilirler.

TLD tankları, alan gereksinimi, sıvının sıçrama sönümünü kontrol etmek için su tanklarının doğal frekansını yapının doğal frekansına ayarlama gereksinimi ve TMD’de kullanılan çelikten daha az yoğunlukta sıvı kullanma gibi gereksinimlerle daha küçük hale gelmektedir. Böylece yapıya yerleştirilen TLD’lerin sayısı çok artmaktadır.

TLD’ sistem TMD sistem ile karşılaştırıldığında şu özellikler ortaya çıkar:

- Mekanik sürtünmenin olmaması nedeni ile küçük titreşimlerde pürüzsüz hareket mümkündür. Bu şekilde az miktardaki hareketleri kontrol etmekte mümkündür.
- Karmaşık bir mekanizması olmadığından, bakım ve maliyet açısından sorun çıkarmaz.
- Bir TLD iki doğrultudaki titreşimlerde kolaylıkla uygulanabilir.
- Çok sayıda kullanılması gerektiğinde bile yerleştirme ya da taşıma konusunda problem doğurmamaktadır.

Diğer yandan, TLD genellikle çelikten yapılan TMD ile karşılaştırıldığında relatif olarak küçük sıvı kütesinden oluşur. Bu nedenle, aynı sönümü sağlayabilmesi için daha geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır[5].



Şekil 2.28 TLD tipleri a) Ağ ve Çubuklarla Ayarlanmış Sıvı Sönümleyici, b) Ağzılı Ayarlanmış Sıvı Sönümleyici [5]

Titreşim periyodu kabın boyutuna ya da sıvının derinliğine bağlıdır. Sönüm kapasitesi sıvının içine çubuk ya da ağ şeklinde araçlar yerleştirilerek arttırılabilir. İkinci tip ayarlanmış sıvı sönümleyicide titreşim periyodu kolonun şekline ve kolondaki basınca bağlıdır. Kolonda türbölans oluşturan delikler ile sönüm kapasitesi arttırılabilir[5], [12] .



BÖLÜM 3

AKTİF KONTROL SİSTEMLERİ

3.1.Aktif Kontrol Sistemleri İle İlgili Çalışmalar

Aktif kontrol ile ilgili Zuk “ kinetik yapılar ” kavramını ileri sürmüştür. Zuk aktif kontrol sistemlerini, yapısal hareketi azaltmaya çalışan ve deprem etkilerini karşılamak için yapısal hareket oluşturan aktif kontrol sistemleri olarak ayırmıştır.

Yapısal hareketi önleme konusunda ilk çalışmalar 1960 yılına rastlamaktadır. 1960 yılında Eugene Freyssinet yüksek binaların stabilizasyonu için kontrol araçları olarak önerilmeli tendonlar kullanmıştır. 1965 yılında Lev Zetlin yapı çerçevelerine ve tabanda hidrolik krikolara bağlı olan kablolar ile yüksek binaları tasarlamıştır. Buna göre, sensorlar ile yapının üst kısmındaki hareket belirlenir, kontrol aracına bu hareket verilerini iletir ve krikoların hareketini yönetir. Ancak, o zamanlar bu düşünce uygulamaya geçirilmemiştir.

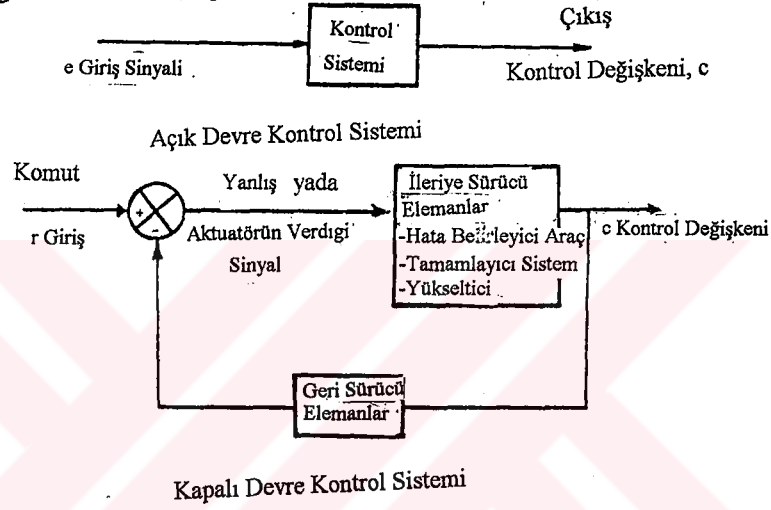
1972 yılında Yao yapısal kontrol teorisine dayanan bir kontrol teorisi hazırlamıştır. Yao’ nun tanımladığı şekilde aktif kontrol sisteminin düzeni şekilde görülmektedir.

Aktif kontrol ile ya yapının hareketi kontrol altına alınır ya da dışarıdan enerji sağlanarak çalıştırılan bir kontrol sisteminin hareketi ile yapının hareketi düzenlenir [13].

Kontrol Sistemleri

Genel olarak kontrol sistemleri açık devre “feedforward” kontrol sistemleri ve kapalı devre “feedback” kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Açık devre

kontrol sistemlerinde kontrol düzeni insan yargısına bağılıdır. Kapalı devre sistemler yüklemeninve modelin belirsizliği nedeni ile kullanıma daha uygundur. Bu sistemler bir ya da daha fazla kapalı devrelerden oluşur. Bu devrelerde kontrol sinyali c ile istenen yükleme r karşılaştırılmakta, fark olarak $e=r-c$ kullanılmaktadır. Kapalı devre kontrol sistemlerinde istenen değere ulaşmak için sürekli çevrim olmasına rağmen, bu sistemin stabilitesini bozabilir. Bu nedenle tam sonucun elde edilmesi için gerekli olan çevrim kadar çevrim yapılmaz. Tam sonuç ile stabil sistem arasında bir sonuç elde etmek gerekir. Aşağıda feedback ve feedforward sistemlerin şematik diyagramları görülmektedir[14].



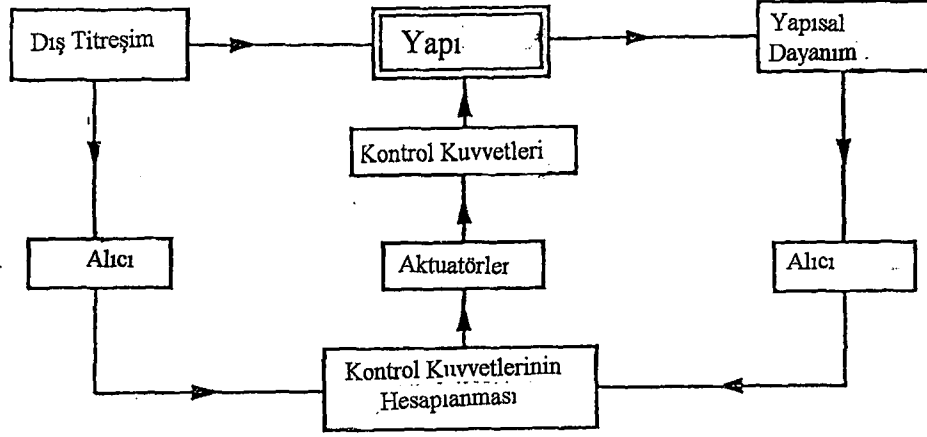
Şekil 3.1 Açık-Kapalı Devre Şematik Diyagramları [14]

3.2 Aktif Kontrol Elemanları

1. Ya dış titreşimleri, ya yapısal mukavemet değişimlerini ya da her ikisini ölçmek için yapıya yerleştirilen sensorlar.
2. Ölçülen bilgileri geliştiren ve kontrol algoritmasında kullanılan gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan araçlar.
3. Genellikle dış enerji kaynağı ile gerekli kontrol kuvvetlerini oluşturan aktuatörler.

Sadece yapısal mukavemetler ölçüldüğünde kapalı çevrim kontrolü yapılmış olur. Yapısal mukavemet monitörden sürekli gözlenir ve uygulanan kontrol kuvvetleri sürekli olarak mukavemetteki değişimlere göre değiştirilir.

Kontrol kuvvetleri ölçülen titreşimlere göre düzenleniyorsa açık çevrim kontrolü yapılmış olur. Açık-kapalı çevrimde kontrol tasarımında hem yapıda ki mukavemet değişimlerinden hem de dış titreşimlerden yararlanılır[13], [15].



Şekil 3.2 Aktif Kontrol Şematik Diyagramı [15]

3.3 Çalışma Mekanizması

Kontrol kuvvetlerinin yapıya etkisini görmek için n serbestlik dereceli yığılmış kütleli yağ kutulu sistem alalım. Yapısal sistemin hareket denklemi;

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = Du(t) + Ff(t) \quad (3.1)$$

M, C, K: Sırasıyla kütle, sönüm, rijitlik matrisleri

$x(t)$: n boyutlu yer değiştirme vektörü

$f(t)$: r vektör, uygulanan yük ve dış titreşim

$u(t)$: m vektör, uygulanan kontrol kuvvet vektörü

D: n*m boyutlu matris, kontrol kuvvet yer değiştirme vektörü

E: n*r boyutlu matris, titreşim yerleştirme vektörü

Açık-kapalı konfigürasyonda $u(t)$, $x(t)$, $\dot{x}(t)$ ve $f(t)$ ' nin lineer fonksiyonudur.

Kontrol kuvveti;

$$u(t)=K_1x(t)+C_1x(t)+E_1f(t) \quad (3.2)$$

K_1 , C_1 , E_1 Kontrol kazançları (seçilen kontrol algoritmasına bağlıdır.)

$u(t)$, (3.1) denkleminde yerine konursa hareket denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$Mx(t)+(C-DC_1)x(t)+(K-DK_1)x(t)=(E+DE_1)f(t) \quad (3.3)$$

(3.3) ile (3.1) karşılaştırıldığında, açık-kapalı çevrim etkisi yapısal parametrelerin (rijitlik, sönüm) azalması şeklinde görülür. Açık çevrim bileşenin etkisi dış titreşimleri azaltma ya da tamamen elimine etme şeklinde görülür.

Görüldüğü gibi aktif kontrol derhal iş görmektedir. Ayrıca, dış titreşimlere reaksiyon gösterecek şekilde yapı özellikleri değiştirebilmektedir ve yapıya iletilen titreşimde azalmalar aktif kontrol ile sağlanır[13] [15], [9] .

3.4. Aktif Kontrol Sistem Tipleri

Gün geçtikçe yapıların fonksiyonları daha karmaşık olmakta ve daha da gelişmektedir. Bu gelişme ile birlikte yapıların daha güvenli olması ve deprem, kuvvetli rüzgar gibi durumlarda daha az zarar görmesi istenmektedir. Bu arzuyu gerçekleştirmek için aktif sismik kontrol sistemleri geliştirilmiştir. 1989 yılında AMD sistem hazırlanmış ve Tokyo’ da bir ofis binasına uygulanmıştır. Sistemin amacı, sık meydana gelen orta şiddetli ve az şiddetli depremlerde ve kasırga, tayfun gibi durumlarda yapıda oluşan titreşimleri azaltmaktır. Bugüne kadar aktif kontrol sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar kontrol kuvveti üzerinde yoğunlaşmıştır.

AMD tipi kontrol sistemler, kontrol kuvveti olarak yardımcı bir kütlenin ataletini kullanır. Aktif tendon tipi sistemler aktuatörün çalışmasıyla direkt bir kontrol kuvveti uygularlar.

Bu sistemler relatif olarak basit ve çalışması kolay sistemlerdir. Ancak, yapının boyutu büyüdüğünde ve depremin şiddeti arttığında sistemin çalışması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle bu sistemleri kullanışlı hale getirmek için çeşitli yenilikler getirilmiş ve karma sistemler hazırlanmıştır.

Aşağıdaki koşullar ile aktif ve karma kontrol sistemlerin fonksiyonlarını gerçekleştirmesi sağlanır.

- Gerçek deprem ve kuvvetli rüzgarlarda binanın yer değiştirme ve kesit zorları üzerinde gerçek kontrol etkisinin gözlemlenmesi,
- Gerçek örnek üzerindeki gözlemler ve bakım ile sistemin geliştirilmesi ve değiştirilmesi,
- Bina gereksinimlerini karşılamak için sistemin basitleştirilmesi.

Kontrol kuvveti kullanan sistemler üç grupta incelenebilir:

1. Aktif tipli AMD sistem.
2. Değişken yapısal karakterli AVS sistem
3. Küçük bir AMD sistemi ile pasif ayarlanmış kütle sönümleyiciden oluşan TMD' nin birleşmesinden oluşan karma tipli APTMD sistem. (Karma sistemler bölümünde incelenecektir.) [16]

3.4.1 AMD (Active Mass Damper) Sistem

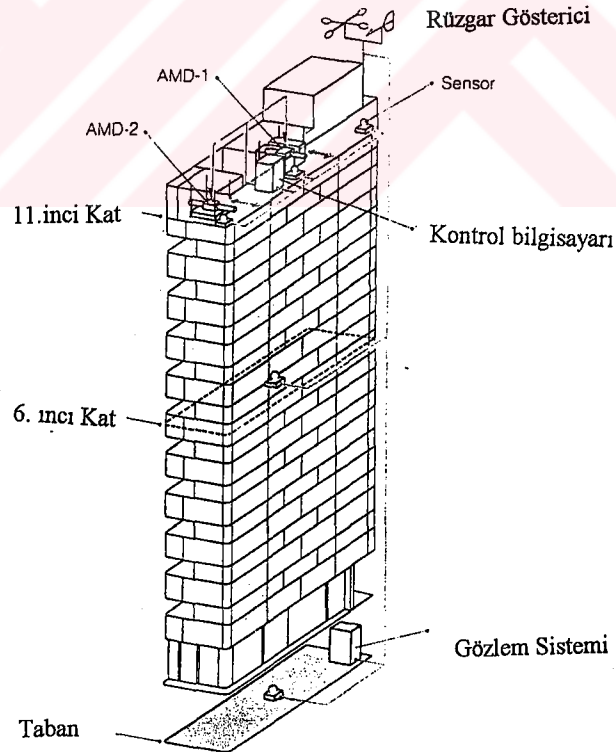
Bu sistemin amacı;

- Kuvvetli rüzgar ve deprem gibi etkilere karşı,
- Yatay yer değiştirmelerin yanısıra burulma titreşimlerine karşı kontrol sağlamaktır.

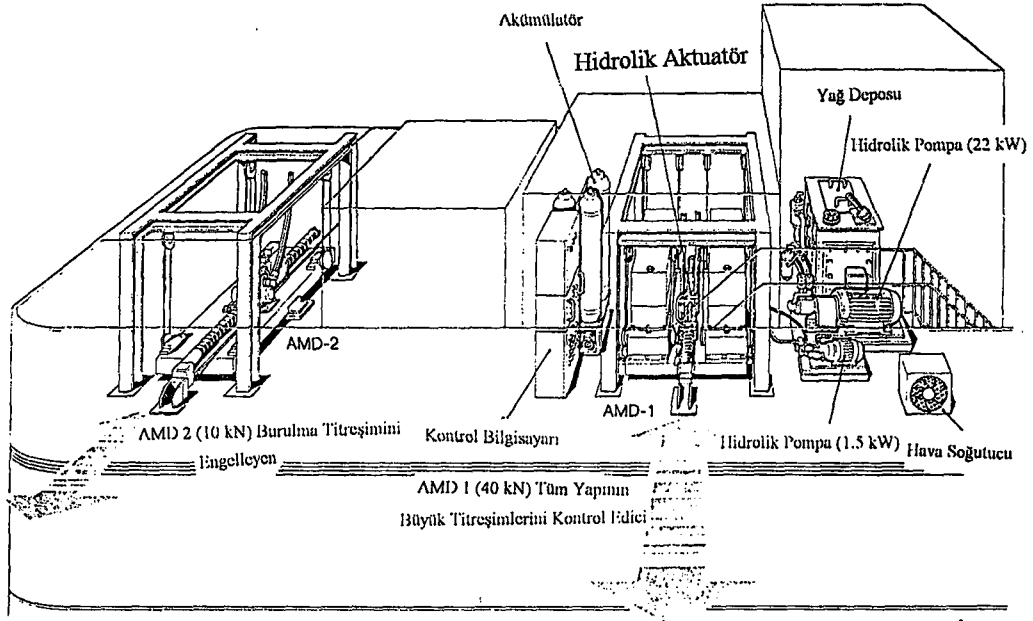
Kyobashi Seiwa Binası' nda bu sistem uygulanmıştır. Sistem sürücü kısım kontrol eden kısım ve monitörden oluşmaktadır. Bina çatısına yerleştirilen iki

ağırlık birimi ile kontrol kuvveti sağlanmaktadır. Katın merkezine yerleştirilen AMD1 ve katın kenarına yerleştirilen AMD 2 ile sırasıyla yatay ve burulma titreşimleri kontrol edilir. Pompa ve akümülatörün birlikte çalışmasıyla, deprem anında sistemin ani olarak çalışmaya başlaması sağlanır. Bu koşul zamanla değişen depremin özelliklerine göre yapının rijitliğinin değiştirilmesi ile sağlanır. Bu durum sadece depremin yıkıcı etkilerini en az seviyeye getirip, can kaybını önlemez, aynı zamanda yapının güvenliğini sağlanmasına ve yapının fonksiyonlarını yerine getirmesine yardım eder. Bunu da yapıya giren sismik enerjiyi azaltarak başarır. Rezonans durumundan kaçınmak için yapının yapısal rijitliği mekanik bir sistem ile değiştirilirken, AVS sistem sadece küçük miktarda bir güç ile faaliyet gösterir.

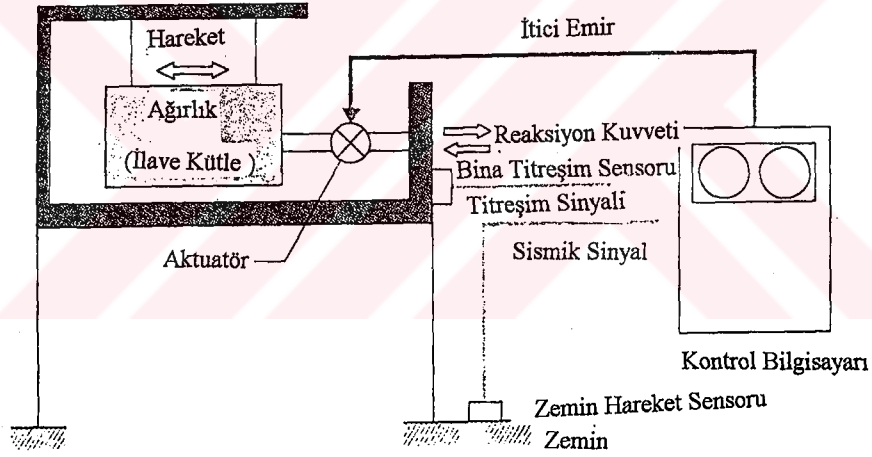
Bina yüksek bir binadır ve narin şekli nedeni ile burulma oluşmasına elverişlidir. Bu nedenle, büyük şiddetteki titreşimleri kontrol etmek için ana AMD (AMD 1) yapının merkezine ve en üst kata yerleştirilmiştir. Daha küçük kütleli AMD (AMD 2) ise burulma etkilerini kontrol etmek amacıyla yapının kenarına yerleştirilmiştir. AMD sistemlerin birlikte çalışması ile karışık salınımlar ve sarsıntılar kontrol edilebilir[16].



Şekil 3.3 Kyobashi Seiwa Binası [16]



Şekil 3.4. Kyobashi Seiwa Binası'nda Kullanılan AMD Sistemleri[16]



Şekil 3.5 AMD Sistemin İşleyiş Diyagramı [16]

3.4.2 AVS (Active Variable Stiffness) Sistem

Bu sistem, yapıda oluşan titreşimi mümkün olan en az seviyeye getirmek için, yapının rijitlik oranı içinden optimum rijitliği seçerek yapının rijitliğini değiştirebilir. Aynı zamanda bu sistem, deprem ile yapının frekanslarının aynı olması durumunda

karşılaşılan rezonans durumundan kaçınılmasını sağlar. Bu sistemin çalışması için, yani rijitliğin değiştirilebilmesi için gerekli olan güç kaynağı acil elektrik güç kaynakları ile sağlanabilecek kadar azdır. Böylece, sistemin şiddetli depremlerde etkili bir şekilde rol alma gibi bir avantajı vardır.

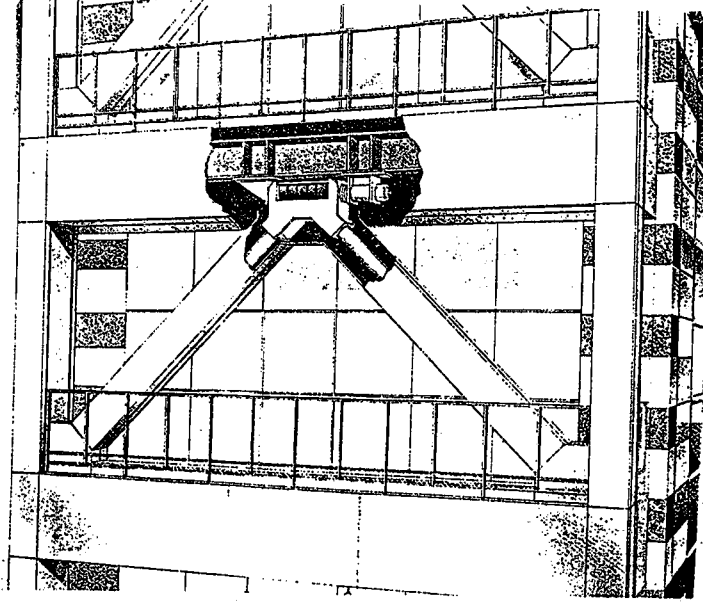
Sistem üzerinde yapılan incelemelerden ve 1990' da inşaa edilen, üç katlı bir çelik konstrüksüyonlu bir binaya uygulanmasından edinilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Karakteristik değişim testleri sonucunda, yapının rijitliğinin AVS sistem yardımı ile kolayca değiştirilebildiği ve bu şekilde yapının titreşim karakteristiklerinin umulduğu şekilde değiştiği görülmüştür.
- Sistem deprem boyunca feedforward tipi kontrol sağlamaktadır.

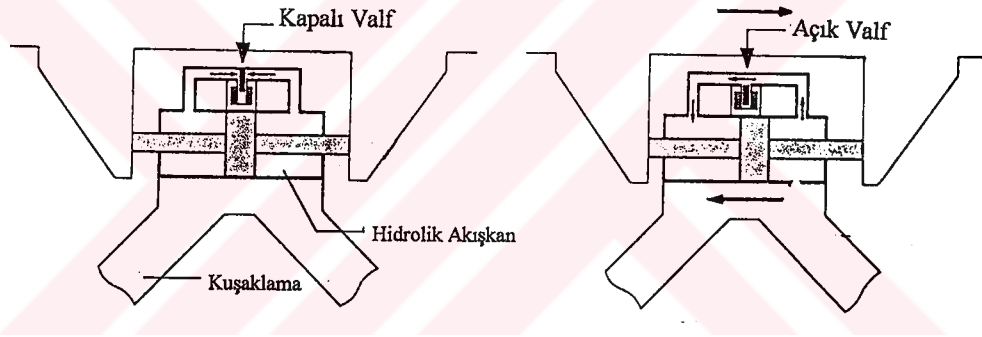
Ters V şeklinde destekler binanın her iki taraftaki kısa doğrultusuna yerleştirilmiştir. V desteklerin üst kısmı kirişe bağlıdır. Değişken rijitlikli aracın üzerine valf yerleştirilir. Valfin açık ya da kapalı oluşuna göre kuşaklamaların aktif hale gelip, gelmemesi ayarlanır. Kuşaklamalar aktif olduğunda yapı rijit karakteristiklere sahip olur, aktif olmadığı zaman ise binanın karakteristikleri yapının esnek olması şeklinde değişir. Bu şekilde yapının karakteristiklerinin değişmesiyle rezonans olayı önlenmiş olur ve yapı sarsıntılardan da korunmuş olur. AVS sistem deprem karakteristiklerinin analizinde çok başarılıdır ve tam olarak saniye gibi kısa süre içinde sistemin açılıp, kapanmasını sağlar (ON / OFF mekanizması). Bu nedenle AVS sistem her hangi bir deprem etkisine karşı sabit bir tepki gösterir.

AVS Sistemin işleyişi:

- Yer hareketini belirlemek için yerleştirilen sensorlar ile deprem hareketi belirlenir
- Bu sensorlardan gelen sinyaller deprem hareketini analiz eden araçlar ile analiz edilir.
- Kontrol bilgisayarı iletiyi gönderir.
- Kuşaklamanın etkinliği rijitliği değişebilen aracın ON/OFF mekanizmasıyla değiştirilir [16].

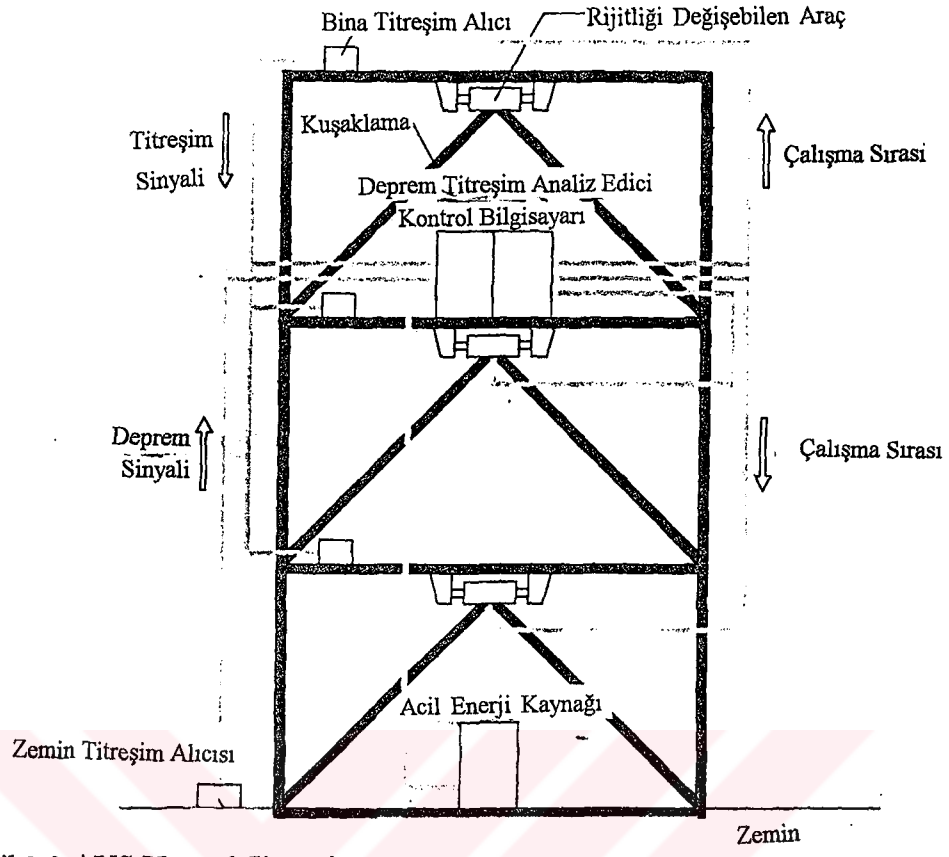


Şekil 3.6 Kuşaklamalara Bağlı Rijitliği Değişebilen Araç [16]



Şekil 3.7 Değişken Rijitlikli Araç [16]

AVS sistem yapıların ve yapı içerisindeki önemli fonksiyonları olan ekipmanın korunması için geliştirilen sismik kontrol sistemleri açısından büyük bir adımdır. Bu mükemmel teknik yeniliğin yanısıra, az miktarda bir güç ile AVS' nin aktif hale gelmesi ile bu sistemin şiddetli depremler boyunca etkili kontrol sağlayabildiği söylenebilir [16] .



Şekil 3.8 AVS Yapısal Sistemi [16]

BÖLÜM 4

KARMA İZOLASYON SİSTEMLER

4.1 Genel Bakış

Karma sistemler, taban izolasyonu gibi pasif araçlarla, aktif tendon ve kuşaklamalardan oluşan aktif sistemlerin birleşiminden oluşmaktadır.

Karma sistemlerde pasif sistemlerin ya da aktif sistemlerin tek başına kullanılması durumunda meydana gelen kısıtlamalar azalır, böylece koruma sisteminin etkinliği artar. Aktif kontrol sistemi pasif kontrol sistemi ile birlikte kullanıldığında aktif kontrol sisteminin daha randımanlı çalışmasını sağlayan kuvvete gereksinimi azalır.

Elastomerik bağlantılar gibi sırf pasif sistemler büyük yatay ivmeler nedeniyle oluşan kaldırma kuvvetindeki artış yüzünden, devrilme tehlikesi oluşabileceğinden yüksek binalarda uygulanamaz. Son zamanlarda karma sistemlerde yapılan araştırmalar aktif sistem ile taban izolasyon sistemlerinin birlikte kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu sistemlere yer değiştirmeyi kontrol eden araçlarla kayma izolasyon sistemi gibi sistemler örnek olarak verilebilir. Sürtünmeyi kullanarak kayma bağlantılarını kontrol edebilen sistemlerde, bağlantıdaki basınç yapısı ile zemin arasındaki kayma yüzeyindeki sürtünme kuvvetini kayma yer değiştirmesini kabul edilebilir bir sınır içinde kalacak şekilde ayarlar.

Hastanelerde, bilgisayar merkezlerinde ya da iletişim merkezlerindeki duyarlı ekipman, benzer olarak müzelerdeki sanat eserleri deprem titreşimleri altında zarar görebilir. Bu tür önemli ekipmanın bulunduğu, önemli fonksiyonu olan yapılarda titreşim kontrol teknolojisi, uygun tasarım çözümleri sağlanarak bulunabilir. Karma

sistemler üzerinde ilerlemeler kaydedilirken, performans, yapı tipi, zemin karakteristikleri ve maliyet etkisi gibi pratik kriterlere bağlı olarak alternatif yapı koruma tekniklerinin relatif ölçülerinin daha geniş kapsamlı incelenmesi gerekir[17], [18], [19].

4.2 APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper) Sistem

Bir AMD sistem ile bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyicinin birleşmesinden oluşur. Depremi meydana geldiği zamanla sistemin çalışmaya başladığı zaman arasında az bir fark olmasına rağmen AMD Sistem ile aynı etkinliğe sahiptir. Sistemin başlıca özelliği, sistemi TMD sistemin üzerine yerleştirmektir. Küçük bir AMD' nin ataleti ile oluşturulan kontrol kuvveti ile TMD' nin hareketi değiştirilir ve kontrol performansı iyileştirilir.

Sistemin işleyiş mekanizması şu şekildedir: Sensorlar yardımı ile TMD' nin binaya göre relatif yer değiştirmesi, AMD' nin TMD' ye göre relatif yer değiştirmesi ve hızı belirlenir. Bu bilgiler gerekli kontrol kuvvetini sağlamak ve kabul edilebilir sınırlar içinde AMD' nin darbelerini onarmak için, optimum kontrol kazançlarını denkleştirmek amacıyla kontrol ediciye gider.

Karma sistemin hareket denklemi:

$$m_s(x+y+z) + c_s z + k_s z = u(t) \quad (4.1)$$

$$m_d(x+y) + c_d y + k_d y - c_s z - k_s z = -u(t) \quad (4.2)$$

$$m x + c x + k x - c_d y - k_d y = f_w(t) \quad (4.3)$$

$u(t)$: Kontrol kuvveti

m, m_d, m_s : Sırasıyla yapının, TMD sistemin ve AMD sistemin kütleleri

c, c_d, c_s : Sönüm katsayısı

k, k_d, k_s : Rijitlik

$f_w(t)$: Dış kuvvet

AMD ile oluşturulan kontrol kuvveti :

$$u(t) = G_1 x + G_2 y + G_3 \dot{z} + G_4 z \quad (4.4)$$

$u(t)$ AMD kontrol kuvveti

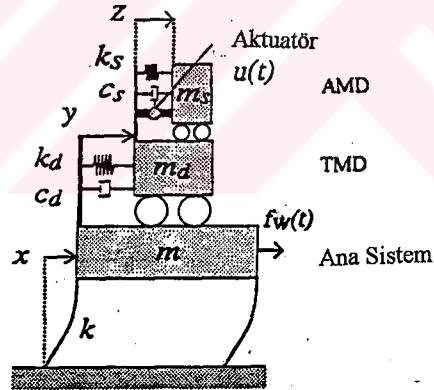
x = Kontrolsüz ana yapının hızı

y = TMD' nin hareket miktarı

$\dot{z}, z$ = AMD' nin hız ve yer değiştirmesi

G_1, G_2, G_3, G_4 = Kapalı devre kazançları

Sürülen kuvveti ($G_1 x$) ile ve sönüm kuvveti ($G_2 y$) nin birleşimi ile kontrol kuvveti azalmaktadır.



Şekil 4.1 Aktif- Pasif Kütle Sönümleyicisinin Şematik Diyagramı [16]

Sistemin özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Alüminyum bir kapak ile sistem tüm hava koşullarında kullanılabilir. Böylece sistem için büyük miktarda alana ihtiyaç duyulmaz.
- Delikli tabakalı kauçuk bağlantı ile aracın mekanik titreşimlerinin yayılması önlenir.
- Araç sadece sistem operasyonda iken aktuatörün çalışmasını sağlar.

- Araç elektrik kesintisi gibi güç kaynağının etkisinin kesildiği durumlarda sistemin otomatik olarak çalışmasını sağlayacak donanıma sahiptir.

Bu sistem 14 katlı Ando Nishikicho Binası'nda uygulanmıştır^{[15],[16]}.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Yapı mühendisliğinde yapılar tüm dış etkilerin aynı anda etkimesi ve maksimum değerde olması düşüncesiyle tasarlanmaz. Çünkü, bu şekilde tasarım ekonomik değildir. Aktif kontrol sistemlerine maliyete etkisi nedeni ile son çare olarak başvurulur. Bunun yanısıra önemli fonksiyonu olan ya da maliyeti yüksek binalarda uygulanması önerilir.

Aktif yada aktif ve pasif sistemlerin birlikte kullanımı ile oluşan karma sistemler yapının deprem gibi etkilere karşı dayanımını arttırmırlar. Aktif kontrol sistemleri tek başına kullanıldığında, uygulanması gereken kontrol kuvveti ve bu kuvveti sağlayacak enerji kaynağı büyümektedir. Bu enerji kaynaklarının yapıya yerleştirilmesi, bakımı sorun yaratır ve maliyeti de arttırır.

Bir yapıyı sismik kontrol sistemleri kullanarak deprem gibi zararlı etkilere karşı dayanım sağlaması için tasarlarken göz önünde bulundurulabilecek bazı ekonomik kriterler ve manevi zarar kriteri vardır. Bunlar:

- Sistemin başlangıç maliyeti,
- Daha önce olan bir deprem sonucu oluşan zarar,
- Senelik deprem sigortası,
- Bina ve içindekilerin göreceği zarar olarak sayılabilir.

Klasik sismik tasarım kodlarına göre tasarlanan yapılar ile izolasyon sistemi bulunan yapıların maliyetleri karşılaştırılmalı ve buna göre bir karar verilmelidir.

Sismik izolasyon sistemi; bu sistemin yerleştirilmesi nedeni ile meydana gelen mimari değişiklikler, detaylar; özel mekanik ve elektrikle ilgili detaylar; ilave tasarım maliyeti, maliyeti arttırıcı etki gösterirken , yapısal sistemin korunması; perde

duvarların korunması (sürüklenme azaltılarak); yapısal bileşen olmayan kuşaklamaların korunması gibi maliyeti azaltıcı etkisi de vardır.

Rüzgar, kuvvetli depremler gibi çevresel yükler altında yapıda istenmeyen büyük seviyelerde titreşimler oluşur. Aktif kontrol aşırı titreşimlere karşı yapılarda güvenliğin sağlanması için uygulanır. Aktif kontrol ile yakın gelecekte 500 kat gibi çok yüksek katlı binalarda da güvenliğin sağlanması için kullanılması düşünülmektedir.

Pasif kontrol sistemleri ise az katlı binalara uygulanabilmektedir. Çünkü, yüksek binalarda taban izolasyon sisteminde kaldırma kuvvetleri oluşabilmekte ve bunlarda yapının stabilitesini bozabilmektedir. Ayrıca, büyük yatay deplasmanlardan dolayı bir kısım taban izolasyon sistemlerinde depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşabilmekte ve bunlarda zamanla birikerek sistem devre dışı kalmaktadır. Yine büyük deplasmanlardan dolayı yapıyı devirmeye yönelik büyük momentler oluşabilmektedir. Aynı zamanda oluşabilecek şiddetli dış etkileri karşılayabilmek için gerekli kontrol kuvvetlerini üretecek enerji sistemde olmadığından, bu gibi durumlarda pasif sistemler etkisiz kalmaktadır.

Yapının performansını arttırmak için kullanılan pasif kontrol elemanlarında bazı sınırlamalar vardır. Örneğin; ayarlanmış kütle sönümleyicilerde yapının sadece bir modal frekansına uyum sağlanabilirse de aktif kontrol ile daha geniş frekans oranlarında etkinlik sağlanabilir.

Aktif kontrol yapıyı statik ve pasif seviyeden dinamik ve harekete adapte olabilir bir seviyeye getirerek, oldukça etkili ve potansiyel bir değişiklik sağlar. Genel olarak yapıları yüklere direnen elemanları bakımından iki gruba ayırabiliriz:

- Ana tasarım yüklerine karşı destek sağlayan pasif elemanlar.
- Yapıyı aşırı yüklere karşı dirençli hale getirme gibi bir fonksiyonu olan aktif elemanlar.

Sonuç olarak; deplasman kontrolünün, konforun ve emniyetin önemli olduğu yapılar ile yüksek maliyetli yapılar, nükleer enerji santralleri gibi karmaşık ve önemli fonksiyonları olan yapılarda klasik tasarım ve pasif kontrol sistemleri yetersiz kalmaktadır. Aktif kontrol sistemleri üzerinde çalışmalar ise yoğun bir şekilde sürmektedir[3], [1], [5].

KAYNAKLAR

- [1] Aldemir, Ü. "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Aktif Kontrolün Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1991.
- [2] Sakamoto, M.; Kobori, T. "Research, Development And Practical Application Of Structural Response Control" US/JAPAN Workshop on Smart and High Performance Materials and Systems, May 14-15, Tsukuba, Japan, 1993
- [3] Kelly, J.M. "Aseismic Base Isolation: Review and Bibliography", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, No.3, p. 202, 1986
- [4] Nagarajaiah, S.; Reinhorn A.M.; Constantinou M.C. "Torsional Coupling in Sliding Base-Isolated Structures", Journal of Structural Engineering, Vol.119, No. 1, p.130, 1993
- [5] Soong T.T.; Constantinou, M.C., "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering" CISM Courses and Lectures NO.345 International Centre for Mechanical Sciences, 1994, ISBN 3-211-82615-7 Springer Verlag Wien-New York
- [6] Weissberg, S.M.; Volkinburg, R.V.; Mayes, R.L.; Jones, L.R., " Seismic Isolation: An Alternative for Earthquake Design", Modern Steel Construction, p. 41, 1991
- [7] Chalhoub, M.S.; Kelly, J.M., "Sliders and Tension Controlled Reinforced Elastomeric Bearings Combined for Earthquake Isolation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 19, p.333, 1990
- [8] Hosam-Eddin, M.A. ; Abdel-Ghaffar, A.M. " Modeling of Rubber And Lead Passive-Control Bearings For Seismic Analysis" Journal of Structural Engineering, Vol.121. No.7, p.1134, 1995
- [9] Su L., Ahmadi, G.; Tadjbakhsh, I.G., "A Comparative of Performances of Various Base Isolation Systems, Part I: Shear Beam Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 18, 11 32, 1989

- [10] **Constantinou, M.C.; Tadjbakhsh, I.G.**, "Hysteretic Dampers In Base Isolation: Random Approach", Journal of Structural Engineering, Vol. 111, No. 4, p.705, 1985
- [11] **Xia, C.; Hanson, R.D.**, "Influence of ADAS Element Parameters on Building Seismic Response", Journal of the Structural Engineering, Vol.118, No.7, p.1903, 1992
- [12] **Fujino, Y.; Sun, L.; Pacheco, B.M.** ; "Tuned Liquid Damper (TLD) for Supressing Horizontal Motion of Structures" , Journal of Structural Engineering, Vol. 118 No. 10,p.2017, 1992
- [13] **Soong, T.T.**, "Active Control Structural Control in Civil Engineering" Department of Civil Engineering State University of New York at Buffalo, NY 14260, Technical Report NCEER-87-0023, 1987
- [14] **Yao, T.P.** "Concept of Structural Control" M. ASCE, Journal of Structural Division, Vol.98, St 37, p.1567-1574,1972
- [15] **Samali, B.; Yang, J. N. ; Liu, S. C.** "Active Control of Seismic- Excited Buildings" Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 10, 1985
- [16] **Kobori T.** "Seismic Response Controlled With Active Variable Stiffness System" Earhtquake Engineering And Structural Dynamics, Vol. 22,925-941, 1993
- [17] **Inaudi, J.A., Kelly, J.M.** "Hybrid Isolation Systems For Equipment Protection", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 22,297-313, 1993
- [18] **Yang, J. N. ; Danielians, A. ; Liu, S. C.** "Aseismic Hybrid Control System For Building Structures Under Strong Earthquake", J. of Intell. Mater. Syst. and Struc., Vol. 1, 1990
- [19] **Yang, J. N. ; Danielians, A. ; Liu, S. C.** "Aseismic Hybrid Control of Nonlinear and Hysteretic Structures I ", Journal of Engineering Mechanics, Vol.118, No.7, p.1423, 1992

EK A

Sap90 İle Hazırlanan Örnek

Taban izolasyonu olarak elastomerik taşıyıcı kullanılan yapının davranışı incelenmiş, izolasyon sisteminin kullanılmaması durumunda deprem etkilerine karşı gösterdiği davranış ile izolasyon sistemi bulunan yapının davranışı karşılaştırılmıştır.

Elastomerik taşıyıcılar çok yaygın olarak kullanılırlar ve yapının esnekliğini arttırmırlar. Bu taşıyıcılar ince doğal kauçuk tabakalara vulkanizlenen çelik tabakalardan oluşur. Kauçuk düşük kayma modülüne sahiptir. % 50 kayma şekil değiştirmesinde $G= 50$ ile 100 t/m^2 arasında değişir. Taşıyıcının yatay rijitliği şu formülle hesaplanır:

$$K_H = \frac{AG}{\Sigma t}$$

A: Kauçuk ile sınırlı alan
 Σt : toplam kauçuk kalınlığı

Çelik plakaların yerleştirilmesi kauçuğun düşey rijitliğini büyük ölçüde artırır ve burulma serbestliğini azaltır. Düşey rijitlik için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$K_V = \frac{A E_C}{\Sigma t}$$

E_C : basınç modülü

Elastomerik izolatörlerin basınç modülünün analitik ve empirik ilişkisine AASHTO' da, 1912' de değinilmiştir. Basınç modülü için yaklaşık bir ifade Chalhoub ve Constantinou tarafından mekanik prensipler ile geliştirilmiştir.

Basınç modülünü veren ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$E_C = \frac{1}{6GFS^2} + \frac{4}{3K}$$

S: Şekil faktörü

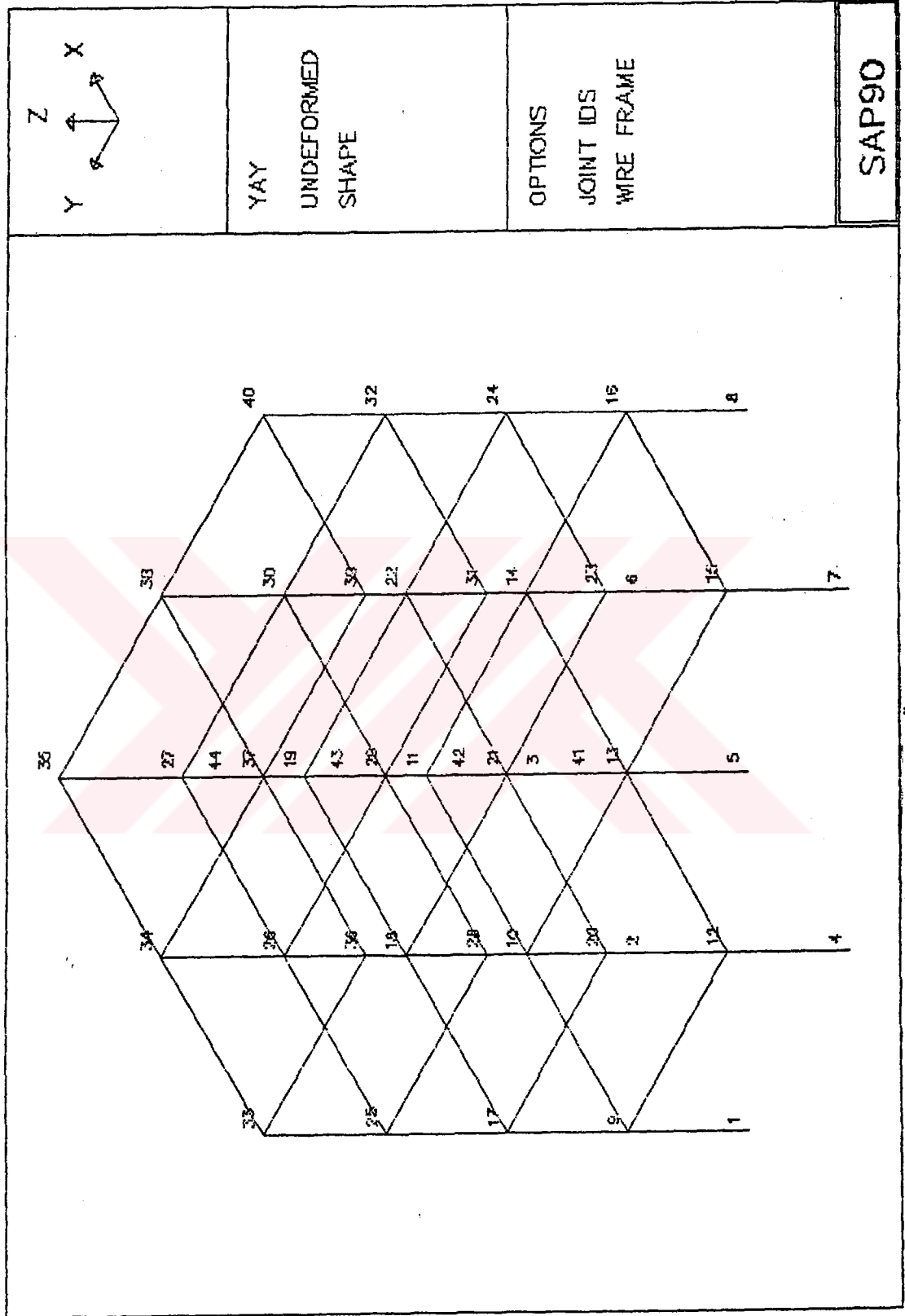
K: Yaklaşık 204000 t/m² olan hacimsel modül

F: Dairesel kesitler için birim, merkezinde delik olan taşıyıcılar için 1 ile 2/3 oranında değişen bir faktör

Şekil faktörü 10 ile 40 arasında değişen değerlere sahip olduğunda, düşey rijitlik yatay rijitliğin 400 ile 1300 katı kadar olmaktadır [5].

Sap90 ile hesabı yapılan yapı kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste gelmemesinden kaynaklanan düzensizliğe örnek bir yapıdır. Yapının tüm açıklıkları 5' er metre genişliğinde, kolonlar 40/40 ve kirişler ise 25/50 olarak alınmıştır.

Örnek olarak kullanılan yapıda boyutları 0.4 x 0.4 x 0.4 m³ olan elastomerik izolatör kullanılmıştır. Kayma modülü (G) 70.7 t/m² dir. Şekil faktörü (S) 20 alınmıştır.



Şekil EkA1 Örnek Yapı

1- ANKASTRE MESNETLİ ÇERÇEVE

NUMBER RAD./SEC CYCLES/SEC PERIOD-SEC (D) ACCELERATION VELOCITY DISPLACEMENT

1	10.48	1.67	.599594(1)	5.122	.489	.047
2	10.51	1.67	.597752(1)	5.216	.496	.047
3	14.70	2.34	.427543(1)	9.270	.631	.043
4	32.69	5.20	.192225(1)	9.810	.300	.009
5	32.74	5.21	.191911(1)	9.810	.300	.009
6	45.92	7.31	.136834(1)	9.293	.202	.004
7	56.81	9.04	.110609(1)	8.264	.145	.003
8	56.88	9.05	.110472(1)	8.259	.145	.003
9	77.59	12.35	.080977(1)	7.102	.092	.001
10	77.78	12.38	.080782(1)	7.094	.091	.001
11	80.05	12.74	.078492(1)	7.004	.087	.001
12	109.89	17.49	.057179(1)	6.168	.056	.001

BASE REACTION FORCES

MODE NUMBER	1-DIR FORCE	2-DIR FORCE	Z-DIR FORCE	1-DIR MOMENT	2-DIR MOMENT	Z-DIR MOMENT
1	.10697E+03	.10697E+03	.00000E+00	-.95128E+03	.95128E+03	.10697E+04
2	.10904E+03	-.10904E+03	.00000E+00	.96897E+03	.96897E+03	-.19207E+03
3	.41879E-01	-.41879E-01	.00000E+00	.44343E+00	.44343E+00	.15694E+02
4	.25384E+02	.25384E+02	.00000E+00	.31066E+02	-.31066E+02	.25384E+03
5	.25129E+02	-.25129E+02	.00000E+00	-.32035E+02	-.32035E+02	-.44097E+02
6	.25399E-01	-.25399E-01	.00000E+00	.81638E-02	.81638E-02	.42548E+01
7	.71338E+01	-.71338E+01	.00000E+00	.14473E+02	.14473E+02	-.12969E+02
8	.71685E+01	.71685E+01	.00000E+00	-.14456E+02	.14456E+02	.71685E+02
9	.16711E+01	-.16711E+01	.00000E+00	.20973E+00	.20973E+00	-.39465E+01
10	.17029E+01	.17029E+01	.00000E+00	-.25952E+00	.25952E+00	.17029E+02
11	.41608E-01	-.41608E-01	.00000E+00	.66068E-01	.66068E-01	.27261E+01
12	.90193E-02	-.90193E-02	.00000E+00	.50340E-02	.50340E-02	.62945E+00
CQC	.22272E+03	.51783E+01	.00000E+00	.45412E+02	.19207E+04	.90797E+03

JOINT DISPLACEMENTS

DYNAMIC LOAD - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
5	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
7	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
8	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	.015817	.000510	.000370	.000124	.00465	.000085
10	.035539	.000778	.000008	.000098	.00552	.000154
11	.015817	.000581	.000368	.000147	.04464	.000085
12	.015434	.000510	.000373	.000124	.04379	.000085
13	.015434	.000342	.000013	.000056	.002506	.000085
14	.015434	.000581	.000370	.000085	.004381	.000085
15	.015054	.000342	.000407	.000096	.004061	.000085
16	.015054	.000581	.000424	.000151	.004061	.000085
17	.035539	.001030	.000612	.000105	.003995	.000154
18	.050927	.001118	.000014	.000089	.002514	.000194
19	.035539	.001153	.000609	.000109	.003994	.000154
20	.034899	.001030	.000617	.000105	.003952	.000154
21	.034899	.000778	.000024	.000063	.002488	.000154

22	.034899	.001153	.000613	.000072	.003956	.000154
23	.034264	.000778	.000668	.000094	.003790	.000154
24	.034264	.001153	.000697	.000113	.003790	.000154
25	.050927	.001422	.000733	.000080	.002884	.000194
26	.059993	.001313	.000016	.000062	.001848	.000210
27	.050927	.001536	.000731	.000070	.002883	.000194
28	.050173	.001422	.000740	.000080	.002863	.000194
29	.050173	.001118	.000032	.000060	.001837	.000194
30	.050173	.001536	.000735	.000046	.002867	.000194
31	.049426	.001118	.000798	.000081	.002786	.000194
32	.049426	.001536	.000833	.000072	.00278	.000194
33	.059993	.001655	.000770	.000044	.00146	.000210
34	.059993	.001313	.000017	.000032	.000802	.000210
35	.059993	.001704	.000768	.000036	.001484	.000210
36	.059233	.001655	.000777	.000044	.001475	.000210
37	.059233	.001313	.000035	.000070	.000800	.000210
38	.059233	.001704	.000773	.000020	.001484	.000210
39	.058481	.001313	.000837	.000110	.001457	.000210
40	.058481	.001704	.000875	.000037	.001457	.000210
41	.015498	.000358	.000000	.000000	.000000	.000085
42	.035005	.000803	.000000	.000000	.000000	.000154
43	.050298	.001142	.000000	.000000	.000000	.000194
44	.059358	.001329	.000000	.000000	.000000	.000210

REACTIONS AND APPLIED FORCES

DYNAMIC LOAD - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	26.2059	.9428	59.6523	1.6703	48.8357	.0000
2	34.3959	.5581	1.3194	1.0474	57.0372	.0000
3	26.2072	1.0377	59.3660	1.8684	48.8370	.0000
4	25.4753	.9428	60.2430	1.6703	47.5575	.0000
5	33.4934	.7705	2.1354	1.2570	55.5867	.0000
6	25.4671	1.3031	59.7498	2.1348	47.5492	.0000
7	25.7494	.6061	65.6202	1.0884	47.2880	.0000
8	25.7494	1.0221	68.3421	1.8530	47.2880	.0000
9	7.6983	.5682	.0000	.0000	.0000	.0000
10	6.9705	.1292	.0000	.0000	.0000	.0000
11	7.6968	.5646	.0000	.0000	.0000	.0000
12	7.2049	.5682	.0000	.0000	.0000	.0000
13	6.8106	.1962	.0000	.0000	.0000	.0000
14	7.2140	.5159	.0000	.0000	.0000	.0000
15	6.5211	.2285	.0000	.0000	.0000	.0000
16	6.5211	.5911	.0000	.0000	.0000	.0000
17	7.5162	.3044	.0000	.0000	.0000	.0000
18	12.2673	.1417	.0000	.0000	.0000	.0000
19	7.5152	.2433	.0000	.0000	.0000	.0000
20	7.3302	.3044	.0000	.0000	.0000	.0000
21	11.9309	.2167	.0000	.0000	.0000	.0000
22	7.3368	.4534	.0000	.0000	.0000	.0000
23	7.9205	.1332	.0000	.0000	.0000	.0000
24	7.9205	.2478	.0000	.0000	.0000	.0000
25	8.1520	.3264	.0000	.0000	.0000	.0000
26	12.0956	.2028	.0000	.0000	.0000	.0000
27	8.1480	.3333	.0000	.0000	.0000	.0000
28	7.9306	.3264	.0000	.0000	.0000	.0000
29	11.8141	.2517	.0000	.0000	.0000	.0000
30	7.9543	.4862	.0000	.0000	.0000	.0000
31	8.2929	.2154	.0000	.0000	.0000	.0000
32	8.2929	.3551	.0000	.0000	.0000	.0000
33	9.7523	.3478	.0000	.0000	.0000	.0000
34	17.0654	.2203	.0000	.0000	.0000	.0000
35	9.7614	.2525	.0000	.0000	.0000	.0000
36	9.7315	.3478	.0000	.0000	.0000	.0000
37	16.9705	.5639	.0000	.0000	.0000	.0000
38	9.6755	.4351	.0000	.0000	.0000	.0000

39	10.0204	.6630	.0000	.0000	.0000	.0000
40	10.0204	.2831	.0000	.0000	.0000	.0000

2- TABANI IZOLE EDILMIS ÇERÇEVE
HER TEMELİN ALTINDA TABAN IZOLASYONU VAR

MODE NUMBER	F R E Q U E N C Y			S P E C T R A L		
	RAD./SEC	CYCLES/SEC	PERIOD-SEC (D)	ACCELERATION	VELOCITY	DISPLACEMENT
1	2.48	.39	2.532197(1)	2.658	1.071	.432
2	2.49	.40	2.526132(1)	2.659	1.069	.430
3	3.52	.56	1.786689(1)	3.096	.880	.250
4	22.27	3.54	.282126(1)	9.810	.440	.020
5	22.41	3.57	.280373(1)	9.810	.438	.020
6	31.43	5.00	.199880(1)	9.810	.312	.010
7	47.86	7.62	.131285(1)	9.076	.190	.004
8	47.87	7.62	.131260(1)	9.075	.190	.004
9	67.12	10.68	.093607(1)	7.597	.113	.002
10	73.53	11.70	.085455(1)	7.277	.099	.001
11	73.67	11.72	.085292(1)	7.271	.099	.001
12	103.96	16.55	.060439(1)	6.296	.061	.001

B A S E R E A C T I O N F O R C E S

MODE NUMBER	F O R C E		M O M E N T		M O M E N T	
	1-DIR	2-DIR	1-DIR	2-DIR	1-DIR	2-DIR
1	.64989E+02	-.64989E+02	.00000E+00	.49142E+03	.49142E+03	-.13361E+03
2	.65346E+02	.65346E+02	.00000E+00	-.49419E+03	.49419E+03	.65346E+03
3	.38658E+00	-.38658E+00	.00000E+00	.29480E+01	.29480E+01	.29294E+02
4	.83435E-01	.83435E-01	.00000E+00	.14383E+02	-.14383E+02	.83435E+00
5	.81201E-01	-.81201E-01	.00000E+00	-.14197E+02	-.14197E+02	-.10462E+00
6	.14817E-03	-.14817E-03	.00000E+00	-.29658E-02	-.29658E-02	.19260E-01
7	.34211E-02	-.34211E-02	.00000E+00	-.19074E-01	-.19074E-01	-.55300E-02
8	.34559E-02	.34559E-02	.00000E+00	.23135E-01	-.23135E-01	.34559E-01
9	.12425E-04	-.12425E-04	.00000E+00	-.15346E-03	-.15346E-03	.10515E-02
10	.24945E-03	-.24945E-03	.00000E+00	-.44202E-01	-.44202E-01	-.45349E-03
11	.25188E-03	.25188E-03	.00000E+00	.43960E-01	-.43960E-01	.25188E-02
12	.14598E-05	-.14598E-05	.00000E+00	-.17675E-03	-.17675E-03	.97680E-04
CQC	.13035E+03	.22568E+01	.00000E+00	.17128E+02	.98611E+03	.52297E+03

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

DYNAMIC LOAD - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	D I S P L A C E M E N T S			R O T A T I O N S		
	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.429307	.035524	.000114	.000000	.000000	.000000
2	.431448	.008555	.000003	.000000	.000000	.000000
3	.429307	.025722	.000118	.000000	.000000	.000000
4	.403540	.035524	.000123	.000000	.000000	.000000
5	.405575	.008581	.000005	.000000	.000000	.000000
6	.403538	.025825	.000117	.000000	.000000	.000000
7	.378679	.008530	.000126	.000000	.000000	.000000
8	.378679	.025716	.000131	.000000	.000000	.000000
9	.439321	.036284	.000290	.000177	.002678	.006088
10	.449813	.008985	.000008	.000055	.001231	.006191
11	.439321	.026271	.000301	.000128	.002678	.006088
12	.413009	.036284	.000314	.000177	.002555	.006088
13	.413009	.008757	.000014	.000043	.001180	.006088
14	.413009	.026271	.000298	.000057	.002557	.006088
15	.387304	.008757	.000322	.000078	.002224	.006088
16	.387304	.026271	.000335	.000131	.002224	.006088
17	.449813	.036970	.000398	.000124	.001960	.006191
18	.457183	.009155	.000012	.000044	.001308	.006253
19	.449813	.026667	.000412	.000071	.001959	.006191
20	.423131	.036970	.000429	.000124	.001902	.006191

21	.423131	.008985	.000020	.000049	.001269	.006191
22	.423131	.026667	.000408	.000050	.001904	.006191
23	.397070	.008985	.000436	.000067	.001825	.006191
24	.397070	.026667	.000454	.000073	.001825	.006191
25	.457183	.037416	.000448	.000076	.001268	.006253
26	.461191	.009260	.000014	.000031	.000822	.006280
27	.457183	.026882	.000464	.000041	.001267	.006253
28	.430302	.037416	.000482	.000076	.001239	.006253
29	.430302	.009155	.000025	.000044	.000807	.006253
30	.430302	.026882	.000459	.000026	.001241	.006253
31	.404052	.009155	.000488	.000058	.001197	.006253
32	.404052	.026882	.000508	.000042	.001197	.006253
33	.461191	.037645	.000462	.000036	.000600	.006280
34	.461191	.009260	.000014	.000014	.000351	.006280
35	.461191	.026946	.000479	.000019	.000599	.006280
36	.434241	.037645	.000498	.000036	.000591	.006280
37	.434241	.009260	.000027	.000046	.000349	.006280
38	.434241	.026946	.000474	.000009	.000596	.006280
39	.407929	.009260	.000502	.000072	.000607	.006280
40	.407929	.026946	.000524	.000018	.000607	.006280
41	.417338	.007087	.000000	.000000	.000000	.006088
42	.427520	.007261	.000000	.000000	.000000	.006191
43	.434724	.007385	.000000	.000000	.000000	.006253
44	.438674	.007454	.000000	.000000	.000000	.006280

REACTIONS AND APPLIED FORCES

DYNAMIC LOAD - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	17.1723	1.4210	28.4685	2.5099	31.5102	.0000
2	17.2579	.3422	.8162	.6306	28.5307	.0000
3	17.1723	1.0289	29.4765	1.8144	31.5098	.0000
4	16.1416	1.4210	30.7929	2.5099	29.7004	.0000
5	16.2230	.3432	1.3317	.5963	26.8682	.0000
6	16.1415	1.0330	29.1999	1.6713	29.7031	.0000
7	15.1472	.3412	31.5700	.6688	27.4962	.0000
8	15.1472	1.0287	32.8271	1.8225	27.4962	.0000
9	7.0467	.7581	.0000	.0000	.0000	.0000
10	1.9566	.1149	.0000	.0000	.0000	.0000
11	7.0446	.7284	.0000	.0000	.0000	.0000
12	6.3042	.7581	.0000	.0000	.0000	.0000
13	2.3061	.1679	.0000	.0000	.0000	.0000
14	6.3172	.4650	.0000	.0000	.0000	.0000
15	4.5758	.3385	.0000	.0000	.0000	.0000
16	4.5758	.7655	.0000	.0000	.0000	.0000
17	2.8757	.2499	.0000	.0000	.0000	.0000
18	7.1820	.0633	.0000	.0000	.0000	.0000
19	2.8751	.1142	.0000	.0000	.0000	.0000
20	2.7906	.2499	.0000	.0000	.0000	.0000
21	6.8451	.1516	.0000	.0000	.0000	.0000
22	2.7941	.3677	.0000	.0000	.0000	.0000
23	3.5562	.0586	.0000	.0000	.0000	.0000
24	3.5562	.1125	.0000	.0000	.0000	.0000
25	3.7931	.2649	.0000	.0000	.0000	.0000
26	5.5249	.0698	.0000	.0000	.0000	.0000
27	3.7909	.1913	.0000	.0000	.0000	.0000
28	3.6268	.2649	.0000	.0000	.0000	.0000
29	5.3073	.1318	.0000	.0000	.0000	.0000
30	3.6391	.2716	.0000	.0000	.0000	.0000
31	3.6663	.1492	.0000	.0000	.0000	.0000
32	3.6663	.2030	.0000	.0000	.0000	.0000
33	3.4845	.2146	.0000	.0000	.0000	.0000
34	6.4678	.1297	.0000	.0000	.0000	.0000
35	3.4894	.1276	.0000	.0000	.0000	.0000
36	3.4488	.2146	.0000	.0000	.0000	.0000
37	6.3485	.2007	.0000	.0000	.0000	.0000

38	3.4197	.2390	.0000	.0000	.0000	.0000
39	3.3821	.3198	.0000	.0000	.0000	.0000
40	3.3821	.1539	.0000	.0000	.0000	.0000
41	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
42	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
43	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
44	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

3- TABANI IZOLE EDILMİS ÇERÇEVE
SADECE 1,2,3,7,8 NUMARALI TEMELLER ALTINDA IZOLASYON VAR

MODE	F R E Q U E N C Y			S P E C T R A L		
NUMBER	RAD./SEC	CYCLES/SEC	PERIOD-SEC (D)	ACCELERATION	VELOCITY	DISPLACEMENT
1	8.54	1.36	.735879(1)	6.032	.706	.083
2	8.82	1.40	.712683(1)	6.191	.702	.080
3	10.73	1.71	.585588(1)	5.836	.544	.051
4	27.62	4.40	.227490(1)	9.810	.355	.013
5	27.78	4.42	.226194(1)	9.810	.353	.013
6	36.23	5.77	.173426(1)	9.810	.271	.007
7	50.55	8.05	.124285(1)	8.801	.174	.003
8	51.03	8.12	.123132(1)	8.756	.172	.003
9	69.51	11.06	.090398(1)	7.471	.107	.002
10	74.38	11.84	.084470(1)	7.239	.097	.001
11	74.73	11.89	.084082(1)	7.223	.097	.001
12	104.74	16.67	.059987(1)	6.278	.060	.001

B A S E R E A C T I O N F O R C E S

MODE	1-DIR	2-DIR	Z-DIR	1-DIR	2-DIR	Z-DIR
NUMBER	FORCE	FORCE	FORCE	MOMENT	MOMENT	MOMENT
1	.18446E+03	-.11017E+03	.00000E+00	.91531E+03	.15393E+04	-.16359E+03
2	.75686E+02	.12520E+03	.00000E+00	-.10524E+04	.63782E+03	.10585E+04
3	.16909E+02	-.11727E+02	.00000E+00	.10607E+03	.15167E+03	.25519E+03
4	.33825E+01	-.92063E+01	.00000E+00	-.50091E+02	-.20237E+02	-.36437E+02
5	.25512E+02	.10330E+02	.00000E+00	.50880E+02	-.13534E+03	.17235E+03
6	.71994E+00	-.59111E+00	.00000E+00	-.36913E+00	-.10222E+00	.12769E+02
7	.27699E-01	-.28562E+00	.00000E+00	.42280E+00	.45399E-01	-.13037E+01
8	.33487E+01	.32057E+00	.00000E+00	-.39850E+00	.49149E+01	.18107E+02
9	.40459E-01	-.38793E-01	.00000E+00	.13817E+00	.13354E+00	.72665E+00
10	.16838E-01	-.62938E-01	.00000E+00	-.36078E+00	-.67978E-01	-.18290E+00
11	.32535E+00	.53967E-01	.00000E+00	.33138E+00	-.14966E+01	.19209E+01
12	.46813E-02	-.53949E-02	.00000E+00	-.35912E-03	-.45603E-03	.65015E-01
CQC	.26044E+03	.52410E+02	.00000E+00	.44139E+03	.21712E+04	.10085E+04

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

DYNAMIC LOAD - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.052995	.024094	.000197	.000000	.000000	.000000
2	.055677	.007491	.000057	.000000	.000000	.000000
3	.052990	.021584	.000239	.000000	.000000	.000000
4	.1973E-03	.1228E-03	.3956E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
5	.2369E-03	.4485E-04	.1275E-04	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
6	.1975E-03	.1246E-03	.3092E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
7	.021242	.007475	.000245	.000000	.000000	.000000
8	.021242	.021636	.000264	.000000	.000000	.000000
9	.059295	.024512	.000503	.000407	.003745	.004349
10	.084082	.012832	.000147	.000450	.001918	.005262
11	.059295	.021935	.000609	.000437	.003749	.004349
12	.040062	.024512	.001009	.004838	.008208	.004349
13	.040062	.008250	.000033	.001296	.004499	.004349
14	.040062	.021935	.000788	.002942	.008195	.004349

15	.025297	.008250	.000625	.000472	.002676	.004349
16	.025297	.021935	.000674	.000463	.002676	.004349
17	.084082	.031761	.000758	.001819	.005242	.005262
18	.102910	.016476	.000203	.001048	.003195	.005940
19	.084082	.026556	.000901	.001299	.005243	.005262
20	.061711	.031761	.001311	.000992	.003888	.005262
21	.061711	.012832	.000049	.000499	.002756	.005262
22	.061711	.026556	.001031	.000473	.003875	.005262
23	.043946	.012832	.000900	.001065	.003965	.005262
24	.043946	.026556	.000953	.001292	.003965	.005262
25	.102910	.037224	.000879	.000932	.003350	.005940
26	.113645	.018589	.000230	.000626	.002198	.006303
27	.102910	.030358	.001041	.000705	.003351	.005940
28	.078314	.037224	.001464	.001103	.003135	.005940
29	.078314	.016476	.000060	.000460	.001982	.005940
30	.078314	.030358	.001155	.000517	.003123	.005940
31	.058651	.016476	.001029	.000645	.002678	.005940
32	.058651	.030358	.001086	.000701	.002678	.005940
33	.113645	.040347	.000915	.000537	.001679	.006303
34	.113645	.018589	.000239	.000327	.000919	.006303
35	.113645	.032394	.001084	.000356	.001682	.006303
36	.087930	.040347	.001508	.000484	.001541	.006303
37	.087930	.018589	.000065	.000215	.000912	.006303
38	.087930	.032394	.001190	.000183	.001519	.006303
39	.067337	.018589	.001067	.000377	.001421	.006303
40	.067337	.032394	.001126	.000350	.001421	.006303
41	.043089	.008436	.000000	.000000	.000000	.004349
42	.065221	.012592	.000000	.000000	.000000	.005262
43	.082164	.016039	.000000	.000000	.000000	.005940
44	.091949	.018025	.000000	.000000	.000000	.006303

REACTIONS AND APPLIED FORCES

DYNAMIC LOAD - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	2.1198	.9637	49.3312	1.7783	11.1976	.0000
2	2.2271	.2997	14.3652	1.4061	7.4348	.0000
3	2.1196	.8634	59.7107	1.6452	11.2043	.0000
4	78.9391	49.1104	98.8991	84.0256	136.0138	.0000
5	94.7519	17.9414	3.1872	29.6892	151.7729	.0000
6	78.9950	49.8521	77.3108	81.0786	136.0694	.0000
7	.8497	.2990	61.2818	1.4445	6.9433	.0000
8	.8497	.8655	66.0435	1.6187	6.9433	.0000
9	30.9340	12.4504	.0000	.0000	.0000	.0000
10	47.4441	6.5023	.0000	.0000	.0000	.0000
11	30.9124	8.0192	.0000	.0000	.0000	.0000
12	68.7556	53.0276	.0000	.0000	.0000	.0000
13	64.1899	12.6149	.0000	.0000	.0000	.0000
14	68.6972	51.1643	.0000	.0000	.0000	.0000
15	25.9300	6.3802	.0000	.0000	.0000	.0000
16	25.9300	8.1191	.0000	.0000	.0000	.0000
17	15.6687	8.8530	.0000	.0000	.0000	.0000
18	19.0491	3.5581	.0000	.0000	.0000	.0000
19	15.6631	5.1995	.0000	.0000	.0000	.0000
20	7.7945	11.0696	.0000	.0000	.0000	.0000
21	5.4861	1.3770	.0000	.0000	.0000	.0000
22	7.7915	8.1956	.0000	.0000	.0000	.0000
23	12.6465	3.5594	.0000	.0000	.0000	.0000
24	12.6465	5.2599	.0000	.0000	.0000	.0000
25	8.1645	1.7677	.0000	.0000	.0000	.0000
26	13.8353	1.3195	.0000	.0000	.0000	.0000
27	8.1700	1.6085	.0000	.0000	.0000	.0000
28	10.2228	5.2194	.0000	.0000	.0000	.0000
29	12.5326	3.1349	.0000	.0000	.0000	.0000
30	10.1844	4.7526	.0000	.0000	.0000	.0000
31	6.9033	1.3588	.0000	.0000	.0000	.0000

32	6.9033	1.5952	.0000	.0000	.0000	.0000
33	10.6497	3.1851	.0000	.0000	.0000	.0000
34	18.8530	1.9984	.0000	.0000	.0000	.0000
35	10.6290	2.2138	.0000	.0000	.0000	.0000
36	8.8712	2.7123	.0000	.0000	.0000	.0000
37	16.4803	3.2918	.0000	.0000	.0000	.0000
38	9.0011	3.7866	.0000	.0000	.0000	.0000
39	8.7376	1.9063	.0000	.0000	.0000	.0000
40	8.7376	2.2529	.0000	.0000	.0000	.0000

4- TABANI IZOLE EDILMİS ÇERÇEVE

SADECE 4,5,6 NUMARALI TEMELLER ALTINDA IZOLASYON VAR

SADECE 2,5,7 NUMARALI TEMELLER ALTINDA IZOLASYON VAR

MODE	F R E Q U E N C Y			S P E C T R A L		
NUMBER	RAD./SEC	CYCLES/SEC	PERIOD-SEC (D)	ACCELERATION	VELOCITY	DISPLACEMENT
1	9.49	1.51	.661952(1)	6.577	.693	.073
2	9.72	1.55	.646179(1)	6.551	.674	.069
3	14.07	2.24	.446419(1)	8.980	.638	.045
4	29.78	4.74	.210969(1)	9.810	.329	.011
5	30.28	4.82	.207477(1)	9.810	.324	.011
6	43.87	6.98	.143232(1)	9.544	.218	.005
7	53.31	8.48	.117866(1)	8.549	.160	.003
8	53.47	8.51	.117504(1)	8.535	.160	.003
9	75.57	12.03	.083149(1)	7.187	.095	.001
10	75.87	12.08	.082811(1)	7.174	.095	.001
11	77.20	12.29	.081386(1)	7.118	.092	.001
12	108.04	17.20	.058154(1)	6.206	.057	.001

B A S E R E A C T I O N F O R C E S

MODE	1-DIR	2-DIR	Z-DIR	1-DIR	2-DIR	Z-DIR
NUMBER	FORCE	FORCE	FORCE	MOMENT	MOMENT	MOMENT
1	.11301E+01	.18082E+02	.00000E+00	-.15572E+03	.98794E+01	.11000E+03
2	.28519E+03	-.18222E+02	.00000E+00	.15562E+03	.24715E+04	.11084E+04
3	.12840E+00	-.10961E-01	.00000E+00	.17733E+00	.13564E+01	-.27065E+02
4	.37571E+00	.38397E+01	.00000E+00	.12130E+02	-.82553E+00	.23958E+02
5	.42427E+02	-.35131E+01	.00000E+00	-.13140E+02	-.11292E+03	.15427E+03
6	.45043E-05	.17353E-03	.00000E+00	-.42933E-04	.46701E-03	-.54425E-01
7	.56426E-01	.62566E+00	.00000E+00	-.10457E+01	.88239E-01	.41387E+01
8	.78269E+01	-.61195E+00	.00000E+00	.10919E+01	.13576E+02	.24998E+02
9	.56476E+00	-.44856E+00	.00000E+00	-.79363E+00	-.93860E+00	.24016E+01
10	.47893E+00	.52432E+00	.00000E+00	.88416E+00	-.72751E+00	.41052E+01
11	.53781E-01	-.84227E-01	.00000E+00	-.10662E+00	-.39769E-01	-.28309E+01
12	.53090E-05	.35239E-04	.00000E+00	-.34458E-03	-.32894E-03	.11475E-01
CQC	.28986E+03	.60930E+01	.00000E+00	.51742E+02	.24829E+04	.12259E+04

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

DYNAMIC LOAD - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.1299E-03	.8780E-05	.3290E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
2	.1622E-03	.3375E-05	.6638E-05	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
3	.1299E-03	.5522E-05	.3272E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
4	.023990	.001723	.000268	.000000	.000000	.000000
5	.026652	.000797	.000015	.000000	.000000	.000000
6	.023972	.001213	.000277	.000000	.000000	.000000
7	.1476E-03	.3874E-05	.3706E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
8	.1476E-03	.5867E-05	.3763E-03	.0000E+00	.0000E+00	.0000E+00
9	.028686	.001796	.000839	.000378	.006952	.000265
10	.053964	.001274	.000017	.000187	.003917	.000356
11	.028686	.001195	.000834	.000281	.006951	.000265
12	.029942	.001796	.000683	.000071	.003778	.000265

13	.029942	.000754	.000038	.000088	.001965	.000265
14	.029942	.001195	.000706	.000043	.003790	.000265
15	.031204	.000754	.000945	.000174	.006976	.000265
16	.031204	.001195	.000959	.000255	.006976	.000265
17	.053964	.002488	.001141	.000133	.004924	.000356
18	.073555	.001665	.000024	.000098	.003231	.000439
19	.053964	.001845	.001136	.000130	.004922	.000356
20	.055536	.002488	.000997	.000184	.005460	.000356
21	.055536	.001274	.000057	.000103	.003340	.000356
22	.055536	.001845	.001027	.000101	.005472	.000356
23	.057121	.001274	.001270	.000141	.004936	.000356
24	.057121	.001845	.001293	.000121	.004936	.000356
25	.073555	.003057	.001292	.000122	.003618	.000439
26	.084962	.001890	.000028	.000077	.002328	.000504
27	.073555	.002413	.001288	.000124	.003616	.000439
28	.075421	.003057	.001149	.000110	.003588	.000439
29	.075421	.001665	.000069	.000102	.002366	.000439
30	.075421	.002413	.001183	.000063	.003601	.000439
31	.077305	.001665	.001430	.000129	.003691	.000439
32	.077305	.002413	.001458	.000105	.003691	.000439
33	.084962	.003433	.001337	.000065	.001814	.000504
34	.084962	.001890	.000029	.000039	.001036	.000504
35	.084962	.002840	.001333	.000081	.001809	.000504
36	.087100	.003433	.001195	.000069	.001845	.000504
37	.087100	.001890	.000075	.000124	.001027	.000504
38	.087100	.002840	.001230	.000026	.001872	.000504
39	.089258	.001890	.001476	.000191	.001934	.000504
40	.089258	.002840	.001506	.000045	.001934	.000504
41	.029733	.000684	.000000	.000000	.000000	.000265
42	.055274	.001216	.000000	.000000	.000000	.000356
43	.075110	.001617	.000000	.000000	.000000	.000439
44	.086743	.001854	.000000	.000000	.000000	.000445

REACTIONS AND APPLIED FORCES

DYNAMIC LOAD - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	F(Z)	M(X)	M(Y)	M(Z)
1	51.9696	3.5121	82.2456	6.0690	92.8473	.0000
2	64.8980	1.3500	1.6595	2.4240	105.7351	.0000
3	51.9753	2.2088	81.7995	3.9100	92.8529	.0000
4	.9596	.0689	66.9790	.2180	9.5396	.0000
5	1.0661	.0319	3.7434	.1715	5.8068	.0000
6	.9589	.0485	69.1962	.0806	9.5644	.0000
7	59.0295	1.5497	92.6586	2.6048	103.4886	.0000
8	59.0295	2.3470	94.0744	4.0447	103.4886	.0000
9	30.7781	3.7832	.0000	.0000	.0000	.0000
10	24.2762	1.1472	.0000	.0000	.0000	.0000
11	30.7707	2.2478	.0000	.0000	.0000	.0000
12	33.1276	1.1948	.0000	.0000	.0000	.0000
13	49.8761	1.3914	.0000	.0000	.0000	.0000
14	33.0237	1.5752	.0000	.0000	.0000	.0000
15	36.1479	.8910	.0000	.0000	.0000	.0000
16	36.1479	2.1170	.0000	.0000	.0000	.0000
17	4.2620	.8292	.0000	.0000	.0000	.0000
18	11.3766	.1781	.0000	.0000	.0000	.0000
19	4.2614	.5920	.0000	.0000	.0000	.0000
20	16.1553	.7601	.0000	.0000	.0000	.0000
21	19.4012	.5828	.0000	.0000	.0000	.0000
22	16.1601	.7045	.0000	.0000	.0000	.0000
23	4.5154	.2401	.0000	.0000	.0000	.0000
24	4.5154	.5522	.0000	.0000	.0000	.0000
25	10.4814	.3981	.0000	.0000	.0000	.0000
26	14.6949	.2808	.0000	.0000	.0000	.0000
27	10.4718	.2742	.0000	.0000	.0000	.0000
28	8.3930	.2379	.0000	.0000	.0000	.0000
29	14.2244	.2662	.0000	.0000	.0000	.0000

30	8.4563	.3857	.0000	.0000	.0000	.0000
31	11.1199	.3243	.0000	.0000	.0000	.0000
32	11.1199	.2893	.0000	.0000	.0000	.0000
33	11.0406	.3358	.0000	.0000	.0000	.0000
34	19.8761	.2936	.0000	.0000	.0000	.0000
35	11.0655	.3930	.0000	.0000	.0000	.0000
36	11.7488	.3648	.0000	.0000	.0000	.0000
37	20.4910	.8570	.0000	.0000	.0000	.0000
38	11.5798	.9175	.0000	.0000	.0000	.0000
39	11.7338	1.1074	.0000	.0000	.0000	.0000
40	11.7338	.7050	.0000	.0000	.0000	.0000



ÖZGEÇMİŞ

1972 senesinde İstanbul’ da doğdu. İlköğrenimini 1983-84 öğretim yılında Abdi İpekçi İlkokulunda tamamladı. Orta dereceli öğrenimini 1988-89 öğretim yılında Bakırköy İzzet Ünver Lisesi’nde tamamladı. Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi ve 1992-93 senesi yaz yarıyılında mezun oldu. Bunu takiben aynı yıl İTÜ Fen bilimleri Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü’ nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 1996 senesinde Mimar Sinan Üniversitesi Yapı Mühendisliği Bölümü’ nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı görevi sürdürmektedir.

