

T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ PROGRAMI

SİSMİK DALGALARIN BİNALAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Muhammed ARSLAN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Sami ERCAN

Mayıs, 2008
İSTANBUL

T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

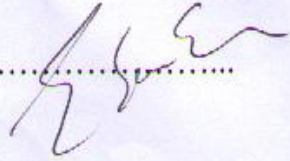
Yönetim Bilişim Sistemleri Programı Yüksek Lisans öğrencisi Muhammed ARSLAN tarafından hazırlanan “ **Sismik Dalgaların Binalar Üzerindeki Etkilerinin Bilgisayar Destekli Analizi ve Simulasyonu** ” adlı bu çalışma jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 23.06.2008

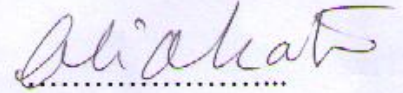
(Jüri Üyesinin Ünvanı , Adı , Soyadı ve Kurumu) :

İmzası :

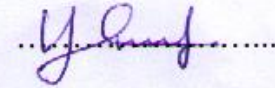
Jüri Üyesi: Prof.Dr.Sami ERCAN
(Danışman-H.Ü.Endüstri Müh. ABD Öğr.Üyesi)

.....


Jüri Üyesi : Prof.Dr.Ali OKATAN
(HÜ.Bilgisayar Müh. ABD Öğr.Üyesi)

.....


Jüri Üyesi : Yrd.Doç Dr.Yüksel BAL
(H.Ü. Bilgisayar Müh. ABD Öğr.Üyesi)

.....


T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ PROGRAMI

SİSMİK DALGALARIN BİNALAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ
ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Muhammed ARSLAN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sami ERCAN

Jüri : Prof. Dr. Ali OKATAN

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Yüksel BAL

Sınav Tarihi :

Şehir: İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YERKÜRE VE DEPREM	3
2.1 Yerküre.....	3
2.2 Deprem	5
2.2.1 Deprem Tanımı ve Oluşumu	5
2.2.2 Deprem Türleri.....	5
2.2.2.1 Tektonik Depremler	5
2.2.2.2 Volkanik Depremler	5
2.2.2.3 Çöküntü Depremleri.....	6
2.2.3 Deprem kavramları.....	6
2.2.3.1 Odak Noktası.....	6
2.2.3.2 Dış Merkez (Episantr)	7
2.2.3.3 Odak Derinliği.....	7
2.2.3.4 Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri.....	7
2.2.3.5 Şiddet.....	7
2.2.4 Şiddetlerine Göre Deprem Türleri.....	10
2.2.4.1 Duyulmayan	10
2.2.4.2 Çok Hafif.....	10
2.2.4.3 Hafif	11
2.2.4.4 Orta Şiddetli	11
2.2.4.5 Şiddetli	11
2.2.4.6 Çok Şiddetli.....	11
2.2.4.7 Hasar Yapıcı.....	12
2.2.4.8 Yıkıcı.....	12
2.2.4.9 Çok Yıkıcı	12
2.2.4.10 Ağır Yıkıcı.....	13
2.2.4.11 Çok Ağır Yıkıcı.....	13
2.2.4.12 Yok Edici (Manzara Değişir)	13
2.3 Sismik Dalgalar	13
2.3.1 Cisim Dalgaları	14
2.3.2 Yüzey Dalgaları.....	16
2.3.3 Gölge Bölge.....	17
3. SİSMİK DALGALARIN BİNALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	18
3.1 Binaların Depremde Davranışları ve Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı .	19
3.2 Pasif Bina Sistemleri	22
3.2.1 Pasif Enerji Sönümleyiciler.....	22
3.2.1.1 Eğilmeli Metal Sönümleyiciler	23
3.2.1.2 Sürtünmeli Sönümleyiciler.....	23
3.2.1.3 Viskoelastik Sönümleyiciler	24

3.2.1.4	Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD).....	24
3.2.2	Sismik İzolasyon Sistemleri	25
3.2.2.1	Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (LDRB).....	25
3.2.2.2	Yüksek Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (HDNR)	27
3.2.2.3	Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS).....	28
3.2.2.4	Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu (RBFİ)	31
3.2.2.5	Electricite-de France Sistemi (EDFS).....	33
3.2.2.6	EERC Bileşik Sistemi	34
3.2.2.7	Yay Tipi Sistemler	34
3.3	Aktif Kontrol Sistemleri.....	36
4.	SİMULASYON VE SAYISAL UYGULAMA	38
4.1	MATLAB/Simulink yazılımının tanıtılması	38
4.1.1	Simulink uygulamasına ait çalışma sayfası.....	38
4.1.2	Simulink Blokları	39
4.1.3	Simulink bloklarını özellikleri	40
4.1.4	Dinamik Sistemlerin Simulink blokları ile modellenmesi	41
4.2	Pasif bina için matematiksel model.....	41
4.3	Örnek Binanın Sayısal Verileri	43
4.4	Simülasyon çıktıları ve analiz	44
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	56
	KAYNAKLAR	58
	ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGE LİSTESİ

c_j	j. katın iç sönüm katsayısı
C	Sistemin iç sönüm katsayıları matrisi
F	Sistemin kütle vektörü
g	Yerçekimi ivmesi
k_j	j. katın rijitlik katsayısı
K	Sistemin rijitlik katsayıları matrisi
m	Kütle
m_j	j. katın kütlesi
M	Sistemin kütle matrisi
t	Zaman
t_f	Simülasyon bitiş zamanı
t_i	Simülasyon başlama zamanı
u	Giriş değeri
x_j	j. kata ait yer değiştirme
X_0	Sistemin yerdeğiştirme vektörü
\dot{X}_0	Sistemin yerdeğiştirme hızı vektörü
\ddot{X}_0	Sistemin yerdeğiştirme ivmesi vektörü
X_j	j. katın yer değiştirme vektörü
Y	Sistemin rölatif yerdeğiştirme vektörü
\dot{Y}	Sistemin rölatif yerdeğiştirme hızı vektörü
\ddot{Y}	Sistemin rölatif yerdeğiştirme ivmesi vektörü
Y_j	j. katın rölatif yer değiştirme vektörü

KISALTMA LİSTESİ

CD	Compact Disc
EERC	Earthquake Engineering Research Center
EDF	Elektricite-de-France
EDFS	Electricite-de-France Sistemi
FPS	Friction Pendulum System
GPS	Coğrafi Pozisyon Sistemi
HDNR	High Damping Natural Rubber
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
LDRB	Low Damping Rubber Bearings
MRPA	Malaysian Rubber Producers Research Association
MSK	Medvedev-Sponheur-Karnik
RBFI	Resilient Friction Base Isolation
TMD	Tuned Mass Damper.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yerküre İç binası ve derinlikleri	4
Şekil 2.2 Dünyamızın dış katmanları	4
Şekil 2.3 Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı.....	6
Şekil 2.4 Deprem şiddet cetveli	9
Şekil 2.5 Bir fay hattında Sismik Dalgaların oluşumu.....	14
Şekil 2.6 P dalgasının modeli.....	14
Şekil 2.7 S dalgasının modeli.....	15
Şekil 2.8 Depremlerden oluşan sismik dalgaların türleri ve yer içinde yayıma özellikleri.	16
Şekil 2.9. Yüzey dalgalarının kayıtçı izleri.....	17
Şekil 2.10 Gölge bölgelerin gösterilmesi	17
Şekil 3.1 Bina inşasında yapılan yanlışlar ve doğrular	20
Şekil 3.2 Eğilmeli metal sönümleyiciler ve kuvvet-deformasyon diyagramı	23
Şekil 3.3 Pall tarafından önerilen sürtünmeli sönümleyiciler	24
Şekil 3.4 Viskoelastik sönümleyiciler.....	24
Şekil 3.5 Ayarlı kütle sönümleyici tipleri	25
Şekil 3.6 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler (LDRB) a) Kesit özellikleri b) Şematik modeli c) Lineer kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	26
Şekil 3.7 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet (HDNR) a)Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin elemanları b) Şematik model c) Nonlinear kuvvet-yer değiştirme davranışı	28
Şekil 3.8 Sürtünmeli Pandül Sistemi.....	29
Şekil 3.9 Sürtünmeli sarkaç sistemlerin hareket mekanizmaları	29
Şekil 3.10 Sürtünmeli sarkaç sistemlerin başlangıç ve yer değiştirme konumları.....	30
Şekil 3.11 Esnek sürtünmeli sistemler	32
Şekil 3.12 Elastomerli EDF sistemi	33
Şekil 3.13 Yay sistemi serbestlik dereceleri	35
Şekil 3.14 Viskosönüm detayı ve viskosönümlü yay sistemi	35
Şekil 4.1 Simulink uygulamasına ait çalışma sayfası	38
Şekil 4.2 Basite indirgenmiş dinamik lineer veya dinamik nonlinear sistem modeli	39
Şekil 4.3 Simulink kütüphanesi ve Simulink çalışma alanı	39
Şekil 4.4 Bloklardan oluşmuş örnek bir Simulink modeli	40
Şekil 4.5 Örnek bir dinamik sistemin Simulink modeli	41
Şekil 4.6 Sayısal uygulaması yapılan örnek binanın mekanik modeli.....	44
Şekil 4.7 Imperial Valley depreminin ivmesinin zaman bağlı değişimi	46
Şekil 4.8 Örnek binanın mekanik modelinin MATLAB/Simulink blok modeli.....	47
Şekil 4.9 Birinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği.....	48
Şekil 4.10 Birinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği.....	48
Şekil 4.11 İkinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği.....	49
Şekil 4.12 İkinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği.....	49
Şekil 4.13 Üçüncü kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği	50
Şekil 4.14 Üçüncü kata ait zamana bağlı ivme grafiği	50
Şekil 4.15 Dördüncü kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği	51
Şekil 4.16 Dördüncü kata ait zamana bağlı ivme grafiği	51
Şekil 4.17 Beşinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği	52
Şekil 4.18 Beşinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği	52
Şekil 4.19 Altıncı kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği.....	53
Şekil 4.20 Altıncı kata ait zamana bağlı ivme grafiği.....	53

Şekil 4.21 Yedinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği	54
Şekil 4.22 Yedinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği	54
Şekil 4.23 Sekizinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği	55
Şekil 4.24 Sekizinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği	55

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları.....	44
Tablo 4.2 El Centro’da kaydedilmiş Imperial Valley 18 Mayıs 1940 depreminin verilerinin bir kısmı (2.98 saniye boyunca).....	45

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans esnasında yardım ve desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Sayın **Prof. Dr. Sami ERCAN**'a, çalışmalarımın başlangıcından son noktasına kadar her zaman ve her aşamada destek ve yardımlarını esirgemeyen, gerekli yönlendirmeleri yapan Sayın **Prof. Dr. Ali OKATAN**'a teşekkür ederim.

Muhammed ARSLAN

Mayıs, 2008

ÖZET

Deprem, yerküre yapısını oluşturan levhaların hareketleriyle ortaya çıkan enerji boşaltımı hareketidir. Bu enerji boşaltımında sismik dalgalar meydana gelir ve bu sismik dalgalar çıkış şiddetlerine göre sarsıntı meydana getirirler. Bu sarsıntılar en çok yapıları etkilerler.

Deprem gerçeğinin kaçınılmaz olması ve mevcut bilim ve teknoloji ile daha önceden bilinmesi mümkün olmadığından, yapıların depreme karşı vereceği tepki ve direnç tespiti önem kazanmaktadır.

Olası bir depremde yapının göreceği zarar birçok faktöre bağlı olmaktadır. Bu faktörler başlıca zemin yapısı ve sağlamlığı, yapı yapılırken temelin doğru şekilde atılması, malzeme yapısı ve binanın statik ve dinamik hesaplarıdır. Fakat yapılara en büyük zararı deprem hareketinin yatay bileşeni vermektedir.

Bu Yüksek Lisans Tez'inde mevcut bir bina ele alınmış ve normal şartlarda zemin faktörleri dikkate alınmadan geçmişte meydana gelmiş bir depreme (Imperial Valley, 18 Mayıs 1940) karşı binanın vereceği tepkiler tespit edilmiş ve kaydedilmiştir.

Simülasyon aracı olarak MATLAB\Simulink yazılımı kullanılmış ve 8 katlı mevcut bir binanın her katının sismik dalgalara vereceği yer değiştirme ve yer değiştirme ivmesi simüle edilmiş ve elde edilen sonuçlar grafik şekil çıktısı olarak sunulmuş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Sismik dalgalar, Simülasyon, MATLAB, Simulink, Bina deprem modeli, Bina deprem analizi.

ABSTRACT

Earthquake is an energy output which arises from movement of earth plates. During this output, seismic waves occur and they produce quake with respect to output magnitude. This quake mostly effects buildings negatively.

Earthquake is a truth that we cannot ignore and current science and technology cannot be predicted when it would happen. So that Earthquake analysis and response of a building and results would come very important.

In a possible Earthquake, damage to a building depends to a lot of parameters. Main parameters are, ground strength structure and strength, to do right basing method, material strength and static and dynamic computing of building. But the most damage is given by horizontal force of Earthquake.

In this Master Thesis, an earthquake (Imperial Valley, 18 May 1940) which has occurred in past is applied to a particularly selected building in the beginning. The results and responses are determined and analyzed.

MATLAB\Simulink software is used as simulation tool of the study. Acceleration and the displacement reactions of the 8 floor of the building against seismic waves which are simulated, are analyzed. Results are presented as graphic charts and comments explained.

Keywords: Earthquake, Seismic waves, Simulation, MATLAB, Simulink, Earthquake model of building, Earthquake analysis of building.

1. GİRİŞ

Çağımızın bilinmeyenlerinden biri olan depremin nerede ve ne zaman olacağı hep merak konusu olmuştur. Başka bir inceleme konusu ise ikamet edilen binaların olası bir depreme karşı vereceği tepki ve dirençtir.

İnsanlık yüzyıllarca deprem felaketinden kurtulmak için, depremi önceden tahmin etme yöntemleri aramış ve bunda pek başarılı olamamışlardır.

Japonya 1964 yılında özel bir bilim kurulu kurarak 5 yıllık bir plan yaparak depremlerin önceden tespiti ve tahmini üzerinde bilimsel çalışmalar yapmışlardır. Bu bilimsel çalışmalardan pek sonuç alınamasa da, Yapıları depreme karşı kuvvetli ve dirençli inşa etme yöntemleri geliştirmişlerdir.

Depremi önceden tahmin ve tespit çalışmaları devam etmekte olsa bile doğal bir olay olan depremi önleme imkanımız bulunmadığından ve aynı şekilde yaşadığımız binaları yıkıp tekrar inşaatı da pratikte çok zor olduğundan, Binaların deprem analizi ve sismik dalgalara vereceği direnç ve tepkilerin tespiti önem kazanmaktadır.

Son yıllarda yaşanan acı deneyimler, deprem gerçeğinin önemini bir kez daha hatırlatmıştır. En son yaşanan 17 Ağustos 1999 depreminden sonra idrak edilen bina güvenliği ve ikamet edilen binaların depreme dayanıklı olup olmadığı konusunda daha fazla fikir yürütülmeye başlanmıştır.

Binaların deprem dalgalarına vereceği tepki ve direnç birçok faktöre bağlı olup, geçmişte deprem olmadan bu etkilerin tahmini mümkün değildi. Fakat son yıllarda geliştirilen bilgisayar destekli donanımlar ve bilgisayar programları binaların depreme karşı vereceği tepkiyi ve direnci simülasyon yoluyla analiz etme olanağı sunmuştur.

Deprem gerçeğinin kaçınılmaz olması depreme karşı binaların güçlendirilmesi ve kontrolden geçirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Ayrıca inşaat sektörünün son yıllarda hem nitelik hem de nicelik yönünden bir artış meydana gelmekte ve aynı zamanda binalar inşa edilmeden önce zemin etütleri yapılmakta ve kullanılacak malzemenin sağlamlığı ön plana alınmaktadır.

Örneğin 17 Ağustos 1999 depreminde birçok binanın yapısal olarak yıkılmadığı halde temelden koparak yan yattığı ve yapılan analizler sonucunda, her ne kadar doğru malzeme ve inşa yöntemi kullanılsa da “Temelden çıkartılan hafriyat binanın kullanılacak malzeme ağırlığına eşit olmalıdır” prensibine uyulmama sebebinden kaynaklandığı saptanmıştır. Bu yüzden deprem bina ilişkisinde birçok faktör etkili

olmaktadır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Mikro Bölgeleme çalışmaları sırasında yapılan zemin etütleri sonucunda ortaya çıkan İstanbul'un zemin haritası birçok binanın nasıl bir zeminde olduğu hakkında fikir vermektedir. Daha önce belirtildiği gibi bir binanın depreme karşı refleksi birçok faktöre bağlı olmaktadır. Gerek İBB raporları gerek bina yönetimlerinin kendi çabasıyla yaptırdıkları raporlar her ne kadar zemin hakkında bilgi verse de binanın inşa edilme tarzı ve malzeme kalitesi bilinmediğinden ya gereksiz bir kaygı oluşmakta ya da yanlış bir rahatlama sağlanmaktadır.

Bu tezde incelenen konu mevcut bir binanın zemin etkisi dikkate alınmadan Dünya'da olmuş bir depreme (Imperial Valley (El-Centro) depremi) verdiği tepkiler analiz edilmiş ve bilgisayar ortamında simülasyonu MATLAB programının Simulink aracı kullanılarak yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ve grafikler analiz edilmiş ve bulgular görüşlere sunulmuştur.

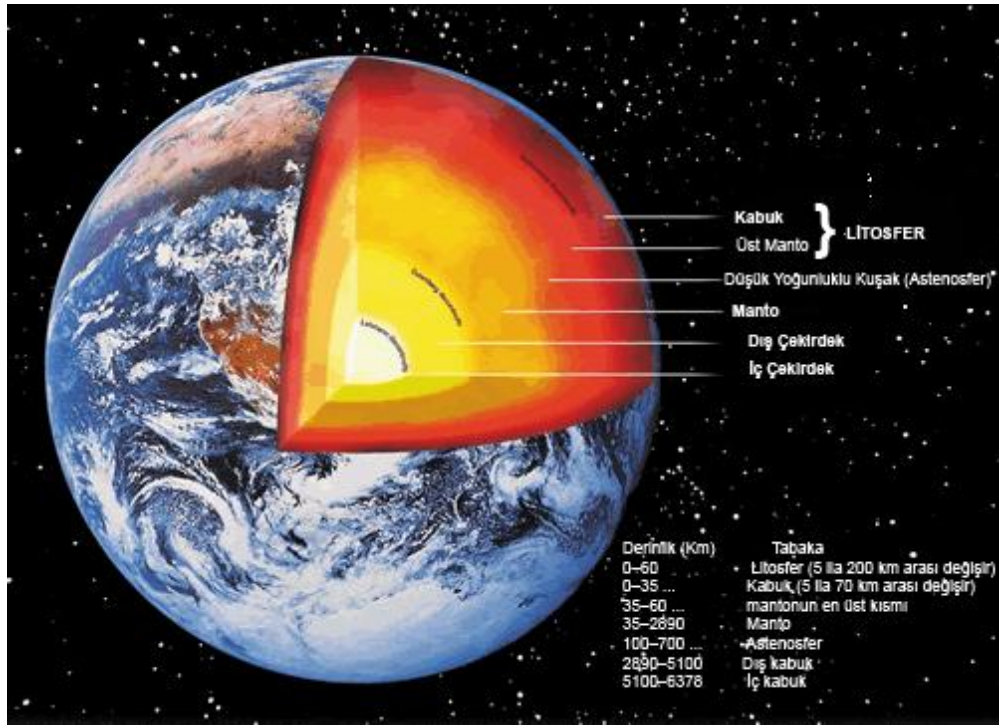
2. YERKÜRE VE DEPREM

2.1 Yerküre

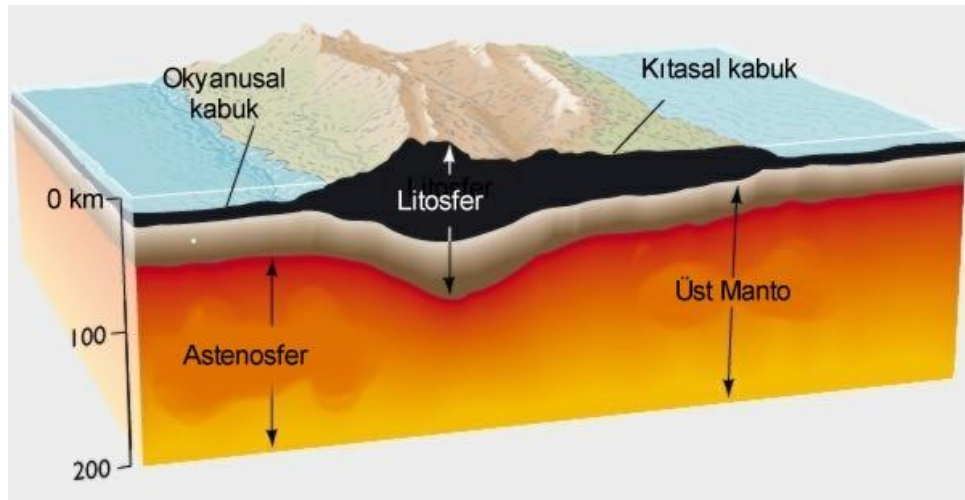
Yerküremiz, dıştan içe doğru Yerkabuğu, Manto ve Çekirdek olarak adlandırılan katmanlardan oluşmuştur (Şekil 2.1). Yerin en dıştaki katmanı olan yerkabuğu, kıtalar altında 25-80 km, okyanusların altında ise 5-8 km'lik bir kalınlığa sahiptir (Şekil 2.2). Yerkabuğu kendisi gibi katı olan ve Litosfer (Taşyuvar) adı verilen ve yaklaşık olarak 70-100 km kalın bir katmanın en üst kısmını oluşturur. Litosferin altında ise Üst Mantonun daha yumuşak (akıcı) bölgesi olan ve Astenosfer olarak adlandırılan bölüm yer alır.

Okyanus tabanlarını ve kıtaları oluşturan yerkabuğu buralarda farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Kıtaları oluşturan kabuk alüminyum oksit ve silisyum oksitçe zengin ve az yoğun ($2.7-2.9 \text{ gr/cm}^3$) kayalardan, okyanus tabanlarını oluşturan kabuk ise demir ve magnezyum oksitçe zengin daha yoğun ($2.9-3.0 \text{ gr/cm}^3$) kayalardan oluşur.

Litosferin katı ve rijid binasına karşılık Astenosfer kendi içerisinde senede santimetre mertebesinde bir hızla hareket etmektedir. Astenosferin bu hareketleri ısıtılan bir kaptaki suyun konveksiyon akımları ile kıyaslanabilir. Nasıl ki bir kaptaki ısıtılan su hafifleyip yukarıya doğru yükselmekte, yüzeyde ise soğuyup yoğunlaşarak tekrar alta doğru hareket etmekte ise Astenosfer de Dünya'nın çekirdeğinden aldığı ısı nedeniyle benzeri bir hareket yapmaktadır. Astenosfer içerisindeki bu konveksiyon akımları üstteki Litosferin parçalara ayrılmasına ve farklı yönlere sürüklenmesine neden olurlar. Astenosferin senede santimetre mertebesindeki hareketleri sonucunda Litosfer birbirine göre hareket eden çeşitli boyutlardaki parçalara ayrılmıştır. Bu litosfer parçalarına *Levha*, bunların hareketini inceleyen bilim dalına da *Levha Tektoniği* adı verilir.



Şekil 2.1 Yer küre iç binası ve derinlikleri.



Şekil 2.2 Dünyamızın dış katmanları

Dünyada yedi tane büyük, çok sayıda da küçük levha bulunur. Bunlar her yıl birbirlerine göre 1 ile 10 santimetre arasında hareket etmektedirler. Çok yavaş olduğu için insan gözü ile fark edilmesi mümkün olmayan bu hareketler günümüzde uydular ile bağlantılı olarak çalışan GPS (Coğrafi Pozisyon Sistemi) cihazları yardımıyla hassas olarak ölçülebilmektedir.

Levhalar birbirlerine göre uzaklaştır, yaklaşır ya da yanal olarak kayarlar. Bu hareketlere bağlı olarak yer kabuğu parçaları da gerilerek, sıkıştırılarak, ya da

makaslanarak deforme olurlar. Bu deformasyon sünek kayalarda kıvrılma ve akma yolu ile kırılma kayalarda ise kırılma yolu ile sonuçlanır.

Üzerine stres uygulanan kayalar deforme olurken (yamulurken) bu strese (gerilmeye) farklı yanıtlar verirler. Bu yanıtlardan biri de kayaların fay adı verilen kırıklar boyunca yırtılmalarıdır. Bu yırtılma anında meydana gelen yer sarsıntısına ise deprem adı verilir.

2.2 Deprem

2.2.1 Deprem Tanımı ve Oluşumu

Deprem, yer kabuğunda fay (kırık) olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken elastik şekil değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu, karmaşık elastik dalga hareketidir. Bir başka tanımla deprem, yer kabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsması olayıdır. Depremi nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yerküre içinde ne şekilde yayıldığını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına Sismoloji denir. Sismik kelimesi Yunanca'dan gelir ve anlamı salınımdır.

2.2.2 Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir (www.deprem.gov.tr). Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle de olan deprem türleri bulunmaktadır.

2.2.2.1 Tektonik Depremler

Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "Tektonik" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir.

2.2.2.2 Volkanik Depremler

İkinci tip depremler "Volkanik" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar da yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar.

Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır.

2.2.2.3 Çöküntü Depremleri

Bir başka tip depremler de "çöküntü" depremleridir. Bunlar yeraltındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır, fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir. İzmirde buna benzer depremler sık sık olmaktadır.

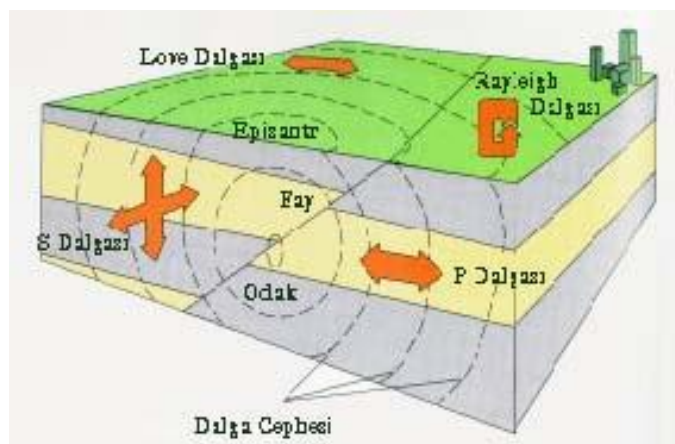
Ayrıca odağı deniz dibinde olan derin deniz depremlerinden sonra denizlerde kıyılara kadar ulaşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur, bu dalgalara "Tsunami" denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami dalgalarının etkisiyle 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür.

2.2.3 Deprem kavramları

Herhangi bir deprem oluştuğunda, bu depremin tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için Deprem Parametreleri olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir. Aşağıda kısaca bu kavramların açıklaması binalacaktır.

2.2.3.1 Odak Noktası

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekte enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir. Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı Şekil 2,3'da gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı

2.2.3.2 Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle Episantr Bölgesi ya da Episantr Alanı olarak tanımlama binalması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır.

2.2.3.3 Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km. derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km. derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km.'den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km. arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasarlar yapabilirler.

2.2.3.4 Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan eğrilere denir. Bunun tamamlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır.

2.2.3.5 Şiddet

Deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi mümkün olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof. C. Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan Büyüklük (magnitüd) tanımlanmıştır. Prof. Richter, dış merkezden (episantr) 100 km. uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, doğal periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon sismografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron

cinsinden (1 mikron 1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "büyüklüğü" olarak tanımlamıştır. Bugüne dek olan depremler istatistik olarak incelendiğinde kaydedilen en büyük magnitüd değerinin 8.9 olduğu görülmektedir (31 Ocak 1906 Colombiya-Ekvator ve 2 Mart 1933 Sanriku-Japonya depremleri).

Büyüklik, aletsel ve gözlemsel büyüklük değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Aletsel büyüklük, yukarıda da belirtildiği üzere, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyot değeri ve alet kalibrasyon fonksiyonlarının kullanılması ile binalan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel büyüklük değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanmaktadır.

Gözlemsel büyüklük değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, büyüklük-şiddet bağıntısının incelenilen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır.

Gözlemleri tarafından bildirilen bu depremin büyüklüğü depremin enerjisi hakkında fikir vermez. Çünkü deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Büyüklüğü aynı olan iki depremden sığ olanı daha çok hasar yaparken, derin olanı daha az hasar yapacağından arada bir fark olacaktır. Yine de Richter ölçeği depremlerin özelliklerini saptamada çok önemli bir unsur olmaktadır.

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun binalar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı binaların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet, depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, binalar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler, şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımına uygunsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir (Şekil 2.4). Örneğin; depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem şiddet cetvellerinde, şiddetler romen rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvel de XII şiddet derecesini içermektedir. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle binalarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler.

VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin binalarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarılma, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir.

İvmesi	Tanım	İvmesi	(g=yerçekimi ivmesi)
I	Sadece duyarlı aletler algılar.	~ 1 cm/s ²	0.001 g
II	Üst katlarda, dinlenen kişiler hissedebilir, asılı cisimler sallanabilir.	2~3 cm/s ²	0.002-0.003g
III	Binada hissedilir, duran bir aracın yanından kamyon geçmiş gibi sallanır.	3~7 cm/s ²	0.003-0.007g
IV	Binada çoğunluk ve dışarda az kişi hisseder, kapı kacak sallanır.	7~15 cm/s ²	0.007-0.015g
V	Herkes hisseder, tabak, pencere v.b. kırılır.	15-30 cm/s ²	0.015-0.03g
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar, baca, siva düşer, hafif hasar olur.	30-70 cm/s ²	0.03-0.07g
VII	Herkes dışarı çıkar, yapı sağlamlığına göre hasar olur, otomobildekiler de hisseder.	70~150 cm/s ²	0.07-0.15 g
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılır, baca, duvar devrilebilir. Kum, çamur fışkınr.	150-300 cm/s ²	0.15-0.3 g
IX	Yapı temelden ayrılır, çatılar eğilir. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.	300-700 cm/s ²	0.3-0.7 g
X	Kargir ve çerçeve yapıların çoğu tahrip olur, zemin çatlar, raylar eğilir, toprak kaymaları olur.	700~1500 cm/s ²	0.7-1.5 g
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler yıkılır, toprak kayar, raylar kırılır.	1500-3000 cm/s ²	1.5-3 g

Şekil 2.4 Deprem şiddet cetveli

2.2.4 Şiddetlerine Göre Deprem Türleri

MSK Şiddet Cetveli ne göre deprem türleri aşağıda açıklanmıştır. Bu cetvel açısından incelemek için öncelikle bazı kavramları açıklamak gerekir. Özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmemiş binalar üç tipe ayrılmaktadır:

A Tipi: Kırsal konutlar, kerpiç binalar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş binalar.

B Tipi: Tuğla binalar, yarım kagir binalar, kesme taş binalar, beton briket ve hafif prefabrik binalar.

C Tipi: Betonarme binalar, iyi yapılmış ahşap binalar.

Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalama bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir.

Binalardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır:

Hafif Hasar: İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

Orta Hasar: Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

Ağır Hasar: Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

Yıkıntı: Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

Fazla Yıkıntı: Binaların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır.

Bunlardan;

- (a) bölümünde depremin kişi ve çevre,
- (b) bölümünde depremin her tipteki binalar,
- (c) bölümünde de depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

2.2.4.1 Duyulmayan

(a): Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismografla kaydedilirler.

2.2.4.2 Çok Hafif

(a): Sarsıntılar binaların en üst katlarında, dinlenme bulunan az kişi tarafından hissedilir.

2.2.4.3 Hafif

(a): Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif sallantıyı izleyebilirler.

2.2.4.4 Orta Şiddetli

(a): Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asılı eşyalar biraz sallanır. Ağız açık kaplarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

2.2.4.5 Şiddetli

(a): Deprem, bina içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlanmaya başlar. Binalar baştan aşağıya titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerlerini değiştirebilir ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağız açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı bina içerisine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b): A tipi binalarda hafif hasar olabilir.

(c): Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

2.2.4.6 Çok Şiddetli

(a): Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak vb. cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.

(b): A tipi çok ve B tipi az binalarda hafif hasar ve A tipi az binada orta hasar görülür.

(c): Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rastgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

2.2.4.7 Hasar Yapıcı

(a): Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmakta güçlük çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

(b): C tipi çok binada hafif hasar, B tipi çok binada orta hasar, A tipi çok binada ağır hasar, A tipi az binada yıkıntı görülür.

(c): Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

2.2.4.8 Yıkıcı

(a): Korku ve panik meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp, düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

(b): C tipi çok binada orta hasar, C tipi az binada ağır hasar, B tipi çok binada ağır hasar, A tipi çok binada yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkular. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.

(c): Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm ölçeğinde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

2.2.4.9 Çok Yıkıcı

(a): Genel panik. Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rastgele öteberiye kaçar ve bağırırlar.

(b): C tipi çok binada ağır hasar, C tipi az binada yıkıntı, B tipi çok binada yıkıntı, B tipi az binada fazla yıkıntı ve A tipi çok binada fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğrilip, bükülür yollar bozulur.

(c): Düzlük yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm'den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sulara büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sulanır, sulu olanlar kurur.

2.2.4.10 Ağır Yıkıcı

(b): C tipi çok binada yıkıntı, C tipi az binada yıkıntı, B tipi çok binada fazla yıkıntı, A tipi pek çok binada fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğrilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğrilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.

(c): Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

2.2.4.11 Çok Ağır Yıkıcı

(b): İyi yapılmış binalarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.

(c): Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarık ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fişkirmaları görülür.

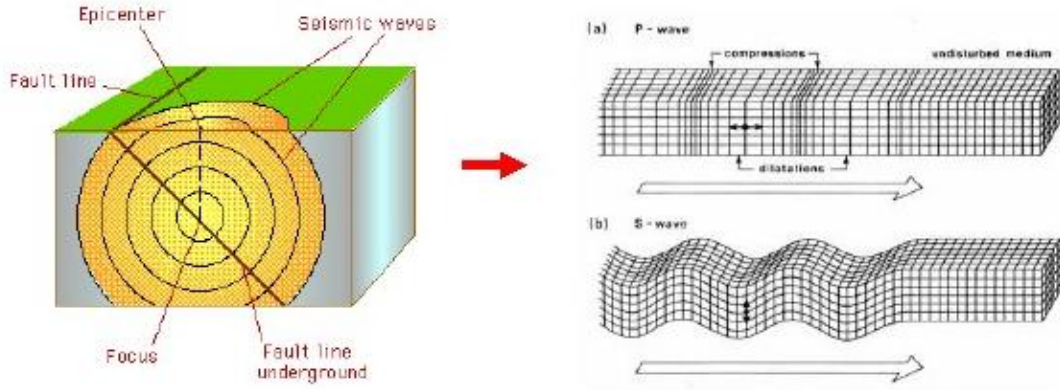
2.2.4.12 Yok Edici (Manzara Değişir)

(b): Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm binalar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.

(c): Yer yüzeyi büsbütün değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir versanlarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

2.3 Sismik Dalgalar

Bir fay (fault line) boyunca iki levha bloğu ani olarak hareket ettiğinde, bu hareket sismik dalgalar (seismic waves) oluşmasına sebep olur (Şekil 2.5). Sismik dalgalar, kaynaktan (focus) çıkarak tüm yönlerde yayılmaya başlar. Kaynağın yeryüzündeki izdüşümü merkez üssü (epicenter) olarak bilinir.



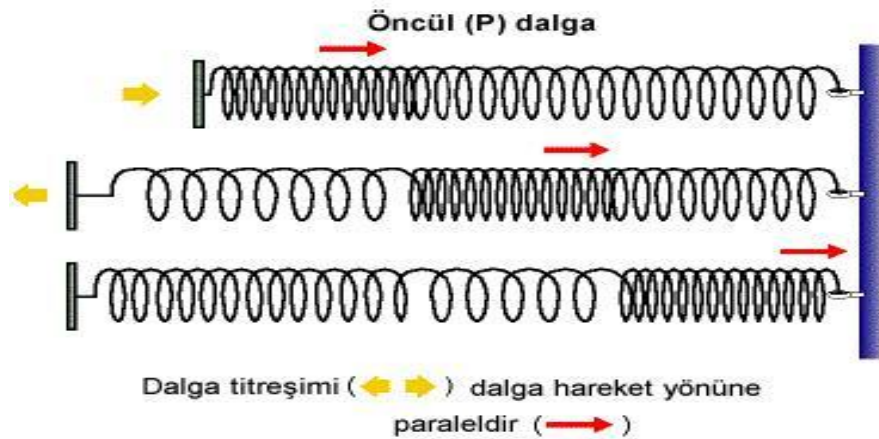
Şekil 2.5 Bir fay hattında Sismik Dalgaların oluşumu

Depremi oluşturan faylaşma ile birlikte odaktan çevreye doğru çeşitli türde sismik dalgalar yayılır. Sismik dalgalar, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak sınıflandırılabilir.

2.3.1 Cisim Dalgaları

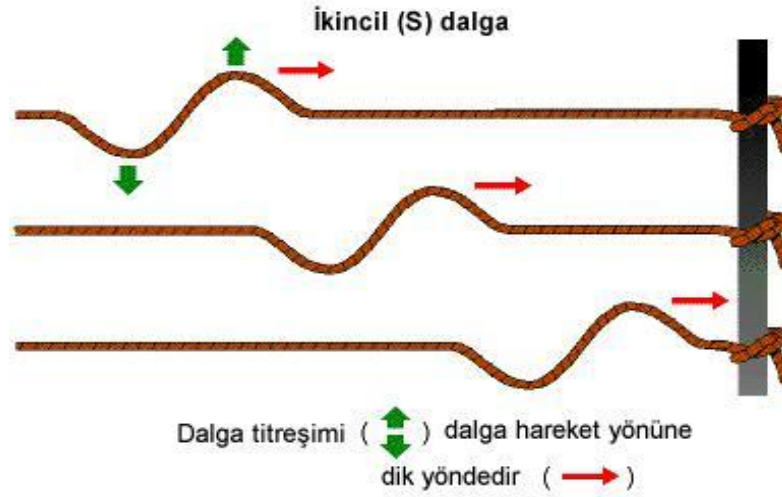
Deprem olduğu anda yer kabuğunda P dalgası (Primary-wave) ve S dalgası (Secondary-wave) olarak tanımlanan iki farklı hareket dalgası yayar. Yerin iç kısmında hareket eden P ve S dalgaları cisim dalgaları olarak bilinir. P dalgaları birincil, boyuna veya basınç dalgası olarak da bilinir ve geçtikleri ortamda sıkışma ve genişleme meydana getirir. İkincil, enine ya da kesme dalgaları olarak tanımlanan S dalgaları ise geçtikleri ortamda kayma deformasyonuna yol açar.

P dalgası birincil dalgadır ve yer yüzeyine paralel doğrultuda salınımlardan oluşur. P dalgasının davranışı aşağıdaki Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Dalganın titreşim yönü (sarı ok) ve dalganın hareket yönü (kırmızı ok) birbirine paraleldir.



Şekil 2.6 P dalgasının modeli

S-dalgası yer yüzeyine göre dik yönde ve düşeyde hareket eder, yani bir yüzme havuzundaki su dalgası gibidir. S-dalgası davranışını aşağıdaki Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Dalga titreşim yönü (yeşil ok) ve dalganın hareket yönü (kırmızı ok) birbirine diktir.

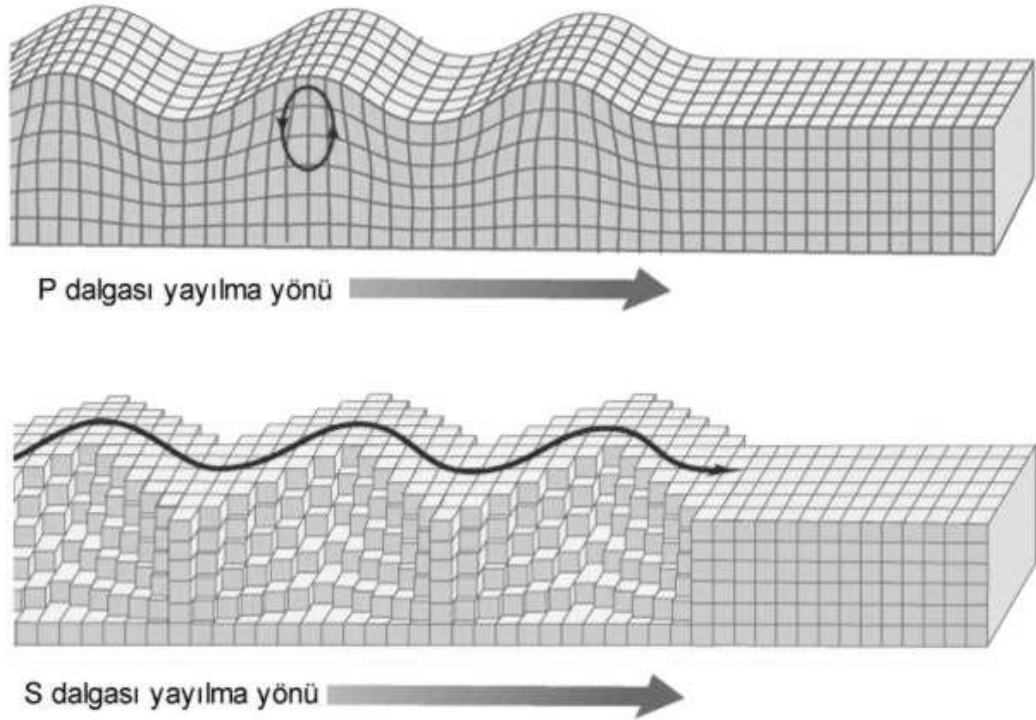


Şekil 2.7 S dalgasının modeli

P ve S dalgaları içinden geçtikleri ortama göre 5 ile 15 km/saniye hızla ilerlerler. S-dalgaları ilerleme hızı P dalgalarına göre yarı yarıyadır. Yani öncelikle P dalgası binaya etkir ve arkasından S dalgası gelir.

Deprem dalgalarının hızı içinden geçtikleri ortamın yoğunluğuna bağlı olduğundan, P ve S dalgaları yerkabuğunun derinliklerinde bir kayaç türünden diğerine geçerken kırılırlar. Bilim adamları bu dalgaların kırılma şekillerini inceleyerek yerkürenin derinliklerinin bir modelini oluşturabilirler.

S dalgaları sıvı ortamda ilerleyemez. Örnek olarak, 1999 Kocaeli depreminde Amerika'daki ölçüm istasyonları depremin S dalgalarını tespit edemediler, bu da yerkürenin içinde sıvı bir dış katman olduğunu kanıtlar. Yapılarda en fazla hasara S dalgaları neden olurlar. S dalgalarının hızı P dalgalarından 1.7 kez daha yavaştır. Yüzey dalgaları, yeryüzünde en büyük genlikle oluşurlar ve derinlikle azalırlar. S dalgalarından sonra gelen bu dalgalar yakın depremlerde S dalgaları gibi yıkıcı özelliktedir. P dalgaları yayıldıkları ortamda hacim değişikliği yaratırlarken, S dalgaları hacim değişikliğine yol açmazlar. P ve S dalgalarının yer içinde yayılma özellikleri Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

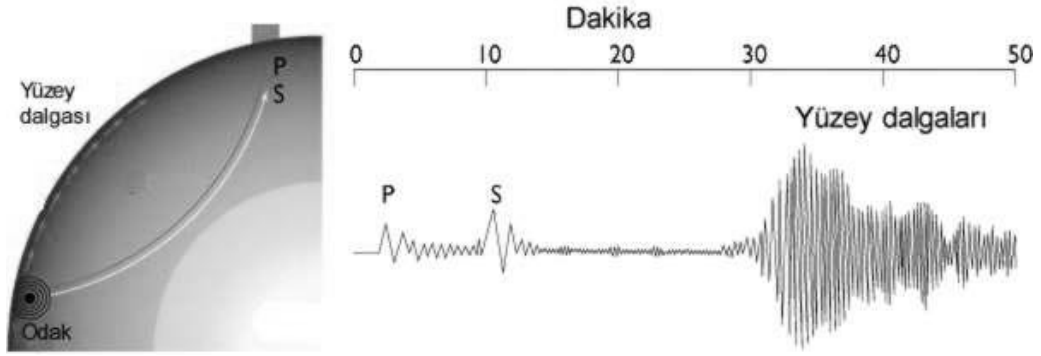


Şekil 2.8 Depremlerden oluşan sismik dalgaların türleri ve yer içinde yayılma özellikleri.

2.3.2 Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları yer yüzeyi ve zemin katmanları ile cisim dalgaları arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkar. Dalgaların oluşum mekanizmalarının karakteristiği sebebiyle, deprem kaynağından uzak mesafelerde yüzey dalgaları daha baskındır ve kaynaktan uzak mesafelerde yer hareketinin oluşmasında cisim dalgalarından çok yüzey dalgaları etkilidir. Mühendislik açısından en önemli yüzey dalgaları Rayleigh ve Love dalgalarıdır.

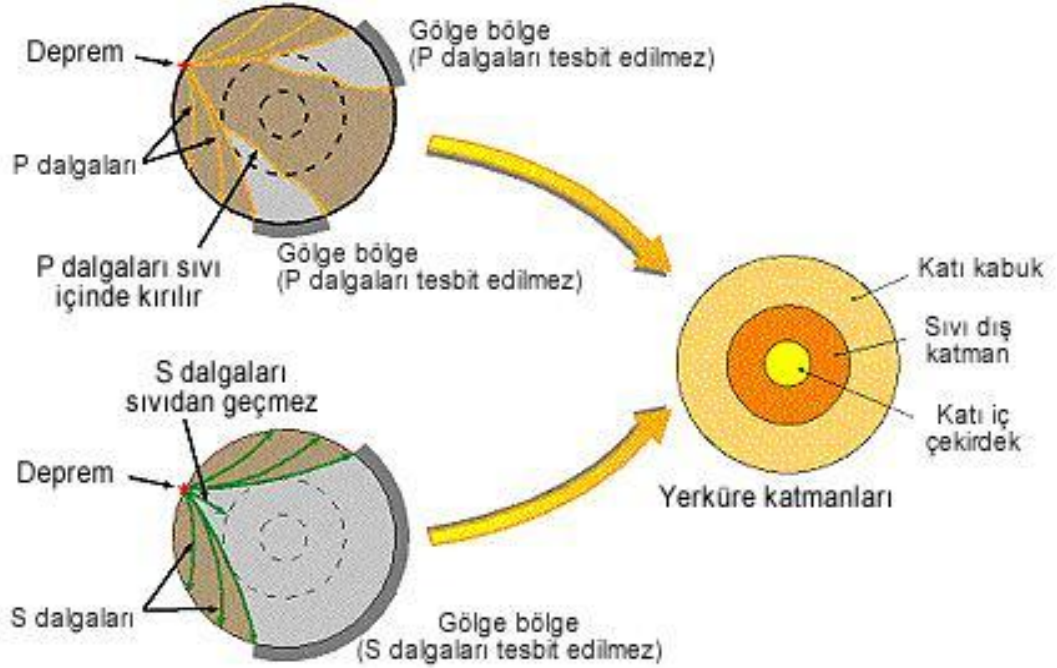
Rayleigh dalgalarından etkilenen bir parçacık hem düşey hem yatay yönde hareket edebilir. Love dalgalarında ise titreşimin düşey bileşeni yoktur. Yüzey dalgalarının etkisi, P ve S dalgalarından daha sonra ortaya çıkmaktadır. P, S ve yüzey dalgalarının kayıtcı izleri Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Yüzeysel dalgaların kayıtcı izleri.

2.3.3 Gölge Bölge

Bir depremden sonra P veya S dalgalarını hissetmeyen bölgeler Gölge Bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgeler, P dalgalarının yerkabuğunun katı bölgesiyle sıvı dış katman arasından geçerken kırılmasıyla oluşur. Bu etkiyi araştıran bilim adamları sıvı dış katmanın yaklaşık 2900 km. derinlikte başladığını hesaplamışlardır. Gölge bölgeler Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Gölge bölgelerin gösterilmesi

3. SİSMİK DALGALARIN BİNALAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Depremlerin oluşturduğu yer sarsıntısı gerek insan yapımı gerek doğal yapılarda deformasyona neden olur. Yer sarsıntısının doğrudan neden olduğu bu hasarların yanı sıra depremler örneğin tsunami, su baskını ya da yangın gibi bazı olayları da tetiklemekte ve zararlara yol açmaktadır.

Deprem nedeniyle yapılarda gözlenen hasarlar depremin büyüklüğü ve derinliği, depremin oluş mekanizması, zeminin türü, zemin-yapı etkileşmesinin durumu ve nihayet yapının türü ve kalitesi gibi faktörler tarafından denetlenir. Hasarı azaltmak için bunlardan zemin kalitesine sınırlı olarak müdahale edilebilmekte ve zemin kısmen iyileştirilebilmektedir. Zemin koşulları ve olabilecek bir depremin bina üzerindeki etkileri tahmin edilerek yapılacak binalar ise depremi can kaybına yol açmadan ve minimum hasarla atlatabilmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda ülkemizde ve dünyada yaşanan depremlerden edinilen tecrübelerle göre hafif çelik yapılar en az hasara uğrayan yapılardır. Statik projeleri zemin ve deprem koşulları dikkate alınarak hazırlanmış betonarme yapılar depreme iyi dayanan yapılardır. Ahşap yapılar büyük depremlerde eğilme ve katlar arasında kayma göstermekle birlikte orta büyüklükteki depremlerde iyi davranmaktadırlar. Kâgir ve kerpiç yığma yapılar ise depreme en az direnç gösteren yapılardır. Özellikle kerpiç yığma yapılar ortanın altında sayılabilecek büyüklükteki depremlerde dahi yıkılmakta ve ölümcül olmaktadır. 3 Şubat 2002'de Çay'da yaşanan depremde kerpiç binaların hemen hemen tamamı çökmüş ya da ağır hasar görmüşlerdir. İstatistiklere göre Türkiye binaların depreme karşı davranışı va hasar gören binaya oranla can kaybı açısından dünyanın en geri birkaç ülkesi arasında yer almaktadır.

Depremler doğal unsurlar üzerinde de ciddi tahribat yaratabilmektedir. 6'dan büyük ve sığ depremler yeryüzünde fay kırıkları oluşturabilirler. Depremin büyüklüğüne bağlı olarak deprem esnasında fayın iki tarafında bulunan bloklar birbirine göre hareket eder, böylece yüzey kırıkları oluştururlar. Bu kırıklar bazen yüzlerce kilometre uzunluğa ulaşabilmektedir. Örneğin 1939 Erzincan depreminde yüzey kırığı 360 km, 1999 Gölcük depreminde ise 130 km olarak belirlenmiştir. Kırıkların yer içine doğru olan derinliği ise genellikle kilometrelerle ifade edilmektedir. Depremin büyüklüğüne bağlı olarak fayın iki tarafındaki blokların birbirine göre hareket miktarı (atım) da farklı değerler almaktadır. Atım miktarı 1939 Erzincan depreminde 7.5 m, 1999 Gölcük depreminde 5 m, 2002 Çay depreminde ise

25 cm civarında olmuştur.

Depremler genellikle mevcut olan heyelanların tetiklenmesine de yol açarlar. Bu heyelanlar kara alanlarında olabildiği gibi 1999 Gölcük depreminde yaşandığı gibi deniz altında da olabilir ve bu durumda dev dalgalara (tsunami) da yol açabilirler.

Depremler zaman zaman yeraltı suyu içeren tabakaları etkileyerek suyun mevcut çatlaklardan yeryüzüne çıkmasını ve çamurla birlikte akmasına neden olmaktadır. Diğer yandan deprem esnasında henüz çimentolanmamış kayaların boşlukları içerisinde bulunan yeraltı suları yüksek basınç kazanarak zemin tanelerinin birbirlerine olan sürtünmelerini yok etmekte, böylece kum oranının fazla olduğu ya da zeminin gevşek olduğu ortamlar, depremlerin sarsıntısı etkisiyle sıvı gibi davranarak dayanıklılıklarını kaybetmektedirler. Sıvılaşıma adı verilen bu olay sonucunda zemin taşıma gücünü kaybetmekte, binalar sıvılaşmış zemin üzerinde yüzdüklerinden devrilmekte ya da zemine batmaktadır. 1999 Gölcük depreminde Adapazarı merkezinde görülen hasarın büyük bir kısmı sıvılaşıma nedeni ile olmuştur.

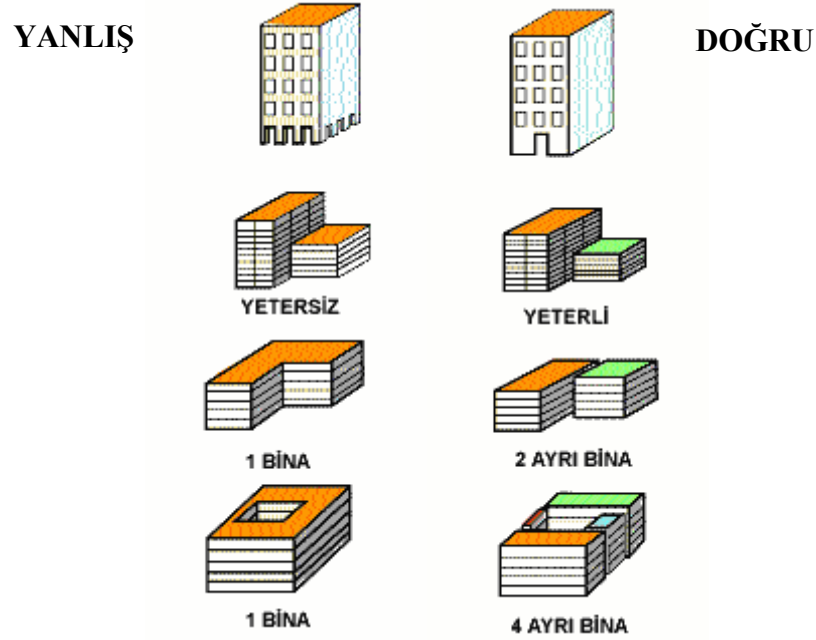
3.1 Binaların Depremde Davranışları ve Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı

Yapıya etkiyen deprem dinamik bir etkidir ve yapı önemli bir yatay kuvvet ile zorlanır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı, çeşitli deformasyonların gözlenebileceği öngörülmektedir. Ancak can güvenliğinin sağlanması için yapının kısmen ve ya tamamen göçmemesi yaklaşımı benimsenmektedir.

O halde depremlerde yapı hasar görecektir. Bu sayede yapı enerji tüketebilecektir. Enerji tüketimini sağlayacak hasar ise istenen seviyelerde kalmalıdır. Yani enerji tüketim sürecinde yapıda göçme olmamalıdır. Düşük veya orta şiddetteki yer hareketleri daha sık meydana gelmektedir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hasar yaratmamalı ya da oluşacak hasar hafif ve onarılabılır olmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel felsefesi bu şekilde özetlenebilir.

Depreme dayanıklı bina tasarımı düşüncesi bina tarihi kadar eskidir. Eskiden insanlar çeşitli yöntemler kullanarak binalarını depreme karşı korumaya çalışmışlardır. İnsanların bu konuda ne kadar başarılı oldukları yaşanan depremlerden test edilerek, eski çağlardan günümüze kadar gelen binalardan belli olmaktadır.

Bina yapım teknikleri de depremin binaya etkisinde çok önemli rol oynamaktadır. Bina inşasında izlenmesi gereken doğru yöntemler Şekil 3.1’de temel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bina inşasında yapılan yanlışlar ve doğrular

Tarihsel süreç olarak bina tasarımı üç safhaya ayrılabilir. Bunlardan klasik dönem sadece statik kuvvetlerle ilgilenir ve tasarlanan binanın depreme karşı koyacak yeter rijitlikte olması prensibine dayanır. İkinci dönem ise modern çağdır. Modern çağda bina tasarlanırken dinamik analize de başvurulur, hangi durumlarda dinamik analize başvurulacağı yönetmeliklerde belirtilir. Bu iki dönemde de binalar dinamik kuvvetlere kendi başlarına karşı koyarlar, bu sebeple sistem yeter rijitlikte ve süneklikte olmalıdır. Bu ise kesit alanlarının büyümesini veya kullanılan malzeme dayanımının artmasını gerektirir. Binasal tasarım açısından üçüncü dönem ise binanın dinamik kuvvetlere karşı, bir geri besleme sistemi yardımıyla kendini adapte edebilmesi prensibine dayanır. Aktif veya pasif kontrol sisteminin kullanılmasının sebebi, şiddetli depremlerde veya rüzgarda, hastane ve iletişim merkezleri gibi binaların içindeki değerli eşyaların korunmasını da içerir. Asıl amaç insan hayatını kurtarmak olmakla birlikte, binanın güvenliği, işlevselliği dolayısıyla gerilme ve yer değişimi gibi iç kuvvetleri de sınır değerleri aşmamalıdır. Sınır durumlar güvenlik yönünden veya konfor bakımından seçilir ve genelde yer değişimleri kontrol altına alınarak azaltılmaya çalışılır.

Bir binanın sismik tasarımında ana amaç, binada oluşan iç kuvvetler ve yer

değiştirmeleri güvenlik, servis ve konfor koşullarını kullanarak sınırlamaktır. Bunun için deprem gibi çevresel etkilere karşı binayı koruma önlemlerinin alınması gerekir. Deprem etkilerine karşı binaları korumak amacıyla geliştirilen düşünceleri iki gruba ayırabiliriz. Birinci grup düşüncede, kolon rijitliklerini azaltarak, kirişlere mafsallar koyarak ya da bunun gibi yöntemlerle binaya bir form vererek, depreme karşı dayanımı sağlanır. Burada amaç, depremden binaya intikal eden enerjinin belirli bina elemanları tarafından sönümlemesi veya sisteme enerji girişinin azaltılmasıdır. İkinci grup düşünce ise, binaya katı veya sıvı sönümleyiciler, özel mesnetler ve kayma elemanları dediğimiz ilave elemanlar koyarak birinci grupta belirtilen amaçların gerçekteştirilmesidir. Birinci gruptaki önlemler ile belli bir koruma sağlansa bile, bazı elemanlarda oluşabilecek olan plastik deformasyonlar, binaya ciddi hasarlar verebilir. Binanın tabanına ya da içine konan ilave elemanlar ile korunmasıyla bu dezavantaj ortadan kaldırılabilir.

Bina kontrole başlıca řu sebeplerden dolayı ihtiyaç duyulur:

Yeni malzemelerin dayanımları artarken elastisite modülleri aynı oranda artmaktadır. Bu nedenle yeni malzemelerle binalarda az malzeme kullanılmasına karşın binalar daha esnek olmaktadır. Ayrıca, yeni malzemelerde mukavemet artışı, yüksek bina yapmaya imkan verdiğinden binalar daha yüksek ve esnek olmaktadır. Yüksek binaların üst katları daha fazla yer değişimi yaparak konfor problemlerine sebep olur.

Eskiden binalar can kaybı olmayacak şekilde tasarlanmaktaydı. Bir depremde binanın bazı bölümleri can kaybı olmayacak şekilde çöker veya işlevlerini yapamaz hale gelebilirdi. şimdi düşünölen güvenlik ölçütünde ise depremden sonra haberleşme ve hastane gibi önemli binalar işlevlerine devam edebilmelidir. Güvenlik ölçütü yükselmiştir.

Çok önemli binalarda yalnız bina değil içindeki aletlerin güvenliğinin sağlanması gerekir. Nükleer tesislerde, önemli haberleşme merkezlerinde bina kadar içindeki aletlerin güvenliği de önemlidir.

Yıkıldığı zaman çevreye büyük zararlar verecek nükleer tesis, yüksek kule, açık deniz binalar için de kontrol uygulanması tercih edilir.

Mühendisler için depreme dayanıklı bina tasarımı denince genellikle akla gelen ilk iki şey kuvvetler ve yer değiştirmeler olmaktadır. Ne var ki, deprem aslında enerji kökenli bir olay olduğundan, enerji kavramı düşünölmeli gereken çok daha temel bir olgudur. Binada deprem etkisiyle oluşun kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin

kökeninde depremin enerjisi vardır. Kuvvet ve yer değiştirme, bu enerjinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Ayrıca, elastik olmayan şekil değiştirme bina sistemi yumuşatır esnekliğini artırır, bu da etkisini binaya giren toplam enerjinin azalması şeklinde gösterir

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

Sismik koruma teknikleri uygulama metoduna göre; pasif koruma teknikleri, aktif koruma teknikleri ve karma koruma teknikleri olarak sınıflandırılabilir

3.2 Pasif Bina Sistemleri

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

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

Pasif kontrol sistemleri, pasif enerji sönümleyicileri ve sismik izolasyon sistemleri olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Pasif enerji sönümleyiciler, sisteme ilave edilen araçlar sayesinde sistemin enerji yutma kapasitesini artırır. Sismik izolasyon sistemleri ise, binanın zeminin titreşiminden izole edilmesi için genellikle temelle zemin arasına yerleştirilen cihazlardır.

3.2.1 Pasif Enerji Sönümleyiciler

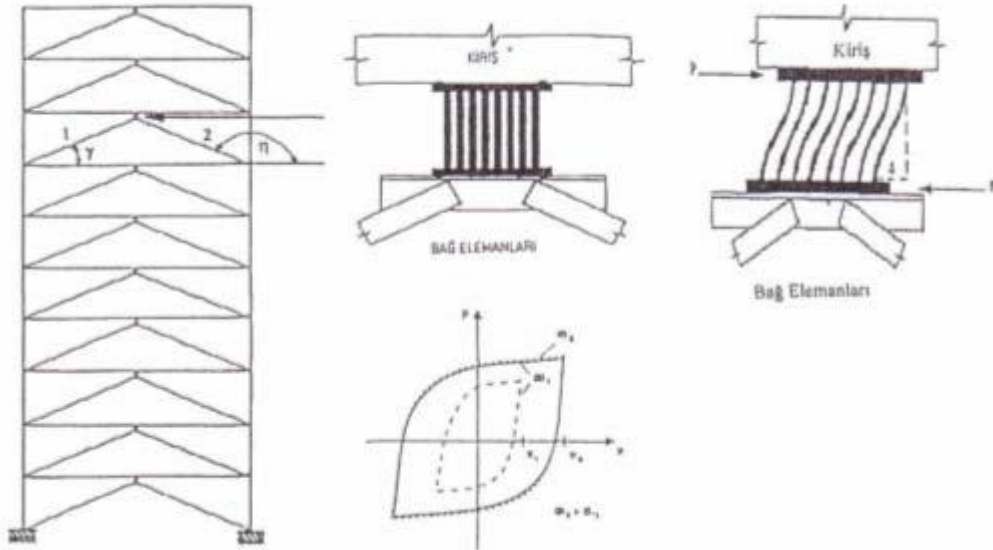
Pasif enerji sönümleyiciler; deprem ve şiddetli rüzgar gibi dış etkilerin binaya verdiği enerjiden dolayı oluşan kesit zorlanmalarını ve yer değiştirmelerini istenilen düzeyde tutmak için geliştirilmiş mekanik aletlerdir.

Enerji sönümlenmek, kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürmek veya enerjiyi

titreşim modlarına transfer etmek şeklinde olabilir. Birinci yol sürtünme katsayısıyla, metallerin eğilmesiyle, metallerin faz değiştirmesiyle, viskoelastik katı ve sıvıların deformasyonu ile olabilir. İkinci yol ise binaya sarkaç ilave ederek, sarkacın dinamik sönümleyici gibi davranmasını sağlayarak gerçekleştirilebilir.

3.2.1.1 Eğilmeli Metal Sönümleyiciler

Binaya yerleştirilen yumuşak çelik elemanların elastik olmayan deformasyon yapması sonucu enerji yutulur. Enerjinin belli noktalarda yoğunlaşması sağlanır ve bu sayede taşıyıcı sistem zarar görmez. Şekil değiştirmiş araçlar daha sonra sökülebilir ve yerine yenisi takılabilir. Bu sistem için bükülebilir kiriş, esnek kiriş, U-şerit enerji sönümleyici gibi bir çok eleman geliştirilmiştir. Şekil 3.2'de eğilmeli metal sönümleyiciler ve kuvvet-deformasyon grafikleri gösterilmektedir.

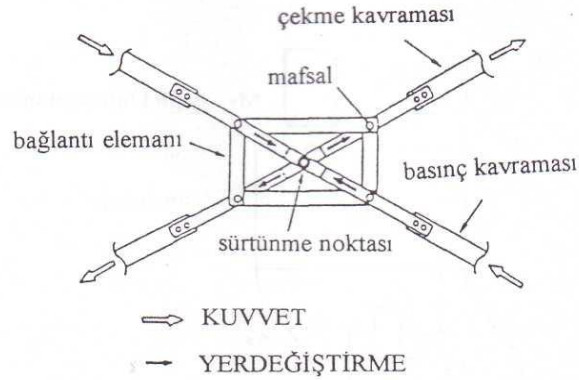


Şekil 3.2 Eğilmeli metal sönümleyiciler ve kuvvet-deformasyon diyagramı

3.2.1.2 Sürtünmeli Sönümleyiciler

1982 ve 1987'de Pall tarafından önerilen bu araçlar, bina çerçevesine yerleştirilen diyagonal kavramalar arasına konulan ve hidrolik olarak çalışan enerji yutucu araçlardır (Şekil 3.3). Japonya'da demiryolları ve yüksek binalarda kullanılmıştır. Deprem, rüzgar, dalga vb. sismik yükler binaya etkideği zaman, sürtünme noktasında gerilmiş olan (çekme etkisindeki) kavrama, kayma ile sürüklenmeye sebep olur ve bu sırada çapraz kavramalardan diğeri (basınç kavraması) burkular. Çapraz kavramaların gerilmesi ve basınca maruz kalması sırasında her iki kavramada (basınç ve çekme kolunda) da enerji yutulması olur. Sönümleyiciler kavramalar gibi diyagonal olarak yerleştirilmezler, kat kirişlerine paralel olarak yerleştirilirler. Bu

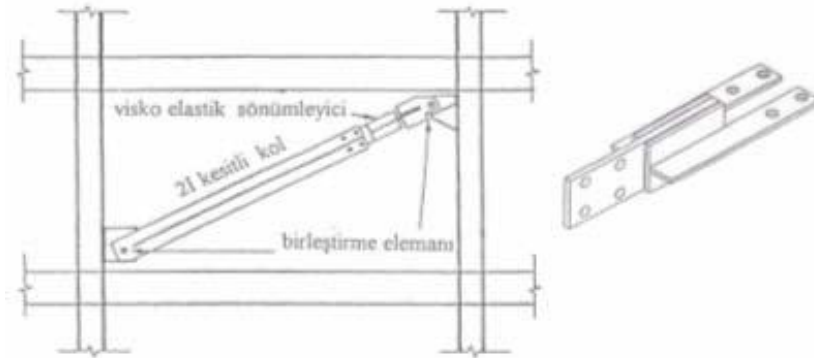
araçların yerleştirilmesi kolay ancak bakımı zordur. Metal yüzeyler arasındaki korozyon ve kayma yüzeyindeki normal yük güvenli bir şekilde kontrol edilemez ve yıllar sonra bazı gevşemeler olabilir.



Şekil 3.3 Pall tarafından önerilen sürtümlü sönümleyiciler

3.2.1.3 Viskoelastik Sönümleyiciler

Metalik sürtümlü araçlar öncelikle sismik etki için tanımlanmıştır. Diğer taraftan viskoelastik katı maddeler, her seviyedeki deformasyon enerjisini azaltmak için kullanılabilir. Dolayısıyla viskoelastik sönümleyiciler hem rüzgar hem de depreme karşı korumada kullanılabilir. Şekil 3.4'de viskoelastik sönümleyici ve binaya yerleştirilmesi gösterilmiştir.



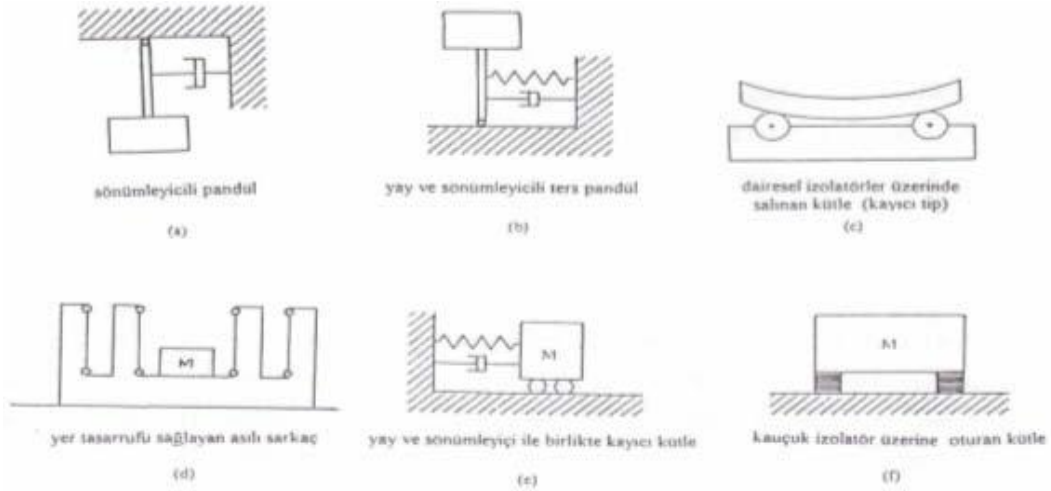
Şekil 3.4 Viskoelastik sönümleyiciler

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

3.2.1.4 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD)

Ayarlı kütle sönümleyiciler (Tuned Mass Damper), yapının dinamik davranışını istenen şekilde değiştirerek deprem etkilerinin hafifletilmesini sağlar. Bu

sönümleyiciler frekansa bağlı bir hareket oluşturup yapının sürtünmesini arttıran, yay ve sürtünme elemanları ile uyumlu ikincil bir ağırlık içermektedir. Rüzgar etkisi altındaki yapılarda başarısı kanıtlanmıştır. Son yıllarda, ayarlı kütle sönümleyicilerin depremdeki etkisini arttırmak için sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 3.5’de ayarlı kütle sönümleyici tipleri görülmektedir.



Şekil 3.5 Ayarlı kütle sönümleyici tipleri

3.2.2 Sismik İzolasyon Sistemleri

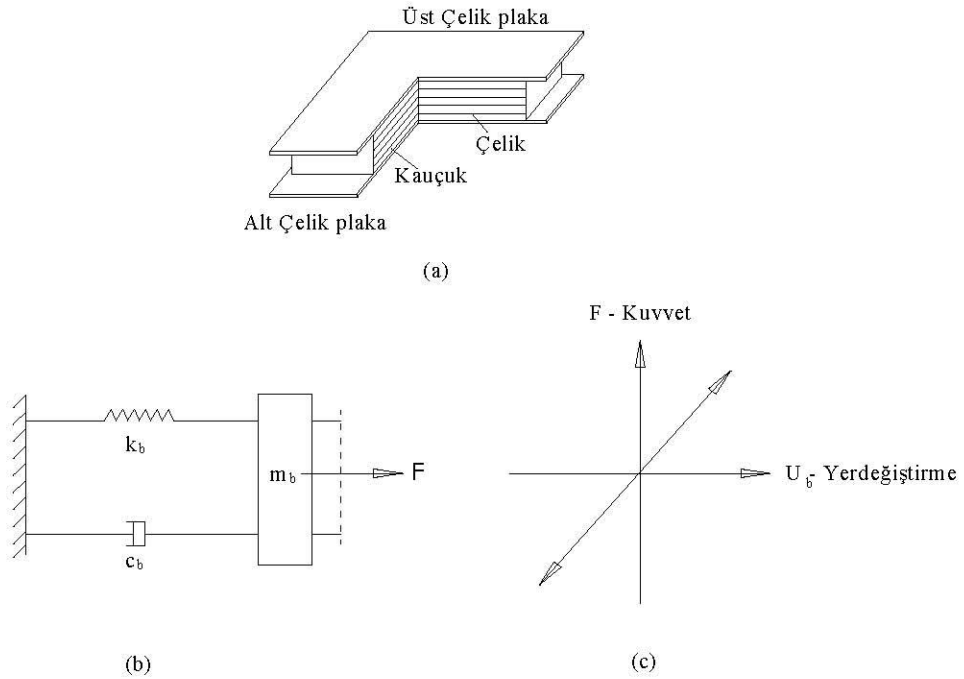
Yapıya en büyük zararı deprem hareketinin yatay bileşeni verir. Yapıya yerleştirilen taban izolasyon sistemleri, yatay ivmenin azaltılması amacıyla üst yapıyı temelden ayırarak zeminin hareketine izin verir. Sismik izolasyon sistemleri kullanıldığında yapının frekansı azalmakta başka bir deyişle periyodu artmaktadır. Periyodun artması yatay yer değiştirmelerin büyümesine neden olur. Bu yer değiştirmelerin büyük bir bölümü izolatörlere iletilir. Bir başka deyişle yapıda küçük yatay yer değiştirmeler, sismik izolasyonda ise büyük yatay yer değiştirmeler oluşur. Sistemde izolatörlerin bulunduğu kısımda meydana gelen büyük yer değiştirmeler aracılığı ile enerjinin sönümü sağlanır. Katlar arası yer değiştirmeler küçük kaldığı için deprem esnasında yapı rijit bir davranış gösterir.

Sismik izolasyon sisteminde kullanılan izolatör tipleri, şekilleri, kullanıldıkları yer, büyüklükleri ve yapıldıkları malzeme bakımından farklılıklar teşkil eder. Sismik izolasyonda kullanılan belli başlı yapılar aşağıda açıklanmıştır.

3.2.2.1 Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (LDRB)

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk mesnetler (Low Damping Rubber Bearings), kauçuk ve çelik plakalardan oluşmaktadır. Bu izolatörlerin iki adet kalın çelikten uç levhası ve bununla birlikte bu levhaların arasında da çok sayıda ince

çelikten ara sac levhaları bulunmaktadır. Kauçuk malzeme, bir kalıp içinde uygulanan sıcaklık ve basınç altında tek bir işlem dahilinde, vulkanize edilmiş ve çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara tabakalar, kauçuk malzemenin iki yanından şişmesini yani yanal deformasyon yapmasını önlemekte ve yüksek bir düşey rijitlik sağlamaktadır. Ancak, çelik ara tabakaların, yatay rijitlik üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Yatay rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik tabaka kalınlığı sabit tutularak, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesi ile sağlanır. Kayma durumunda malzemenin davranışı, % 100'ün üzerindeki kayma şekil değiştirmelerine kadar oldukça lineerdir. Aynı zamanda kritik sönüm miktarı % 2-3 arasında değişmektedir. İzolatörlerin yüksekliğinin artması mekanizmada burkulmaya yol açtığından, yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmıştır. İzolatör çapının 1 metreden fazla ve taşıma kapasitesinin 500 ton civarında alınması genellikle uygundur. Çelik plaka düşey yükler altında kauçuğun yanal deformasyonuna engel olur ve yükün üniform olarak dağılmasını sağlar. Bunun bir sonucu olarak da, düşey rijitlik yatay rijitlikten daha büyüktür. Düşük sönümlü kauçuk sistemlerde yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişmektedir. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnedin elemanları, Şekil 3.6.a'da; şematik modeli, Şekil 3.6.b'de; ve lineer kuvvet-yer değiştirme davranışı, Şekil 3.6.c'de; gösterilmiştir.



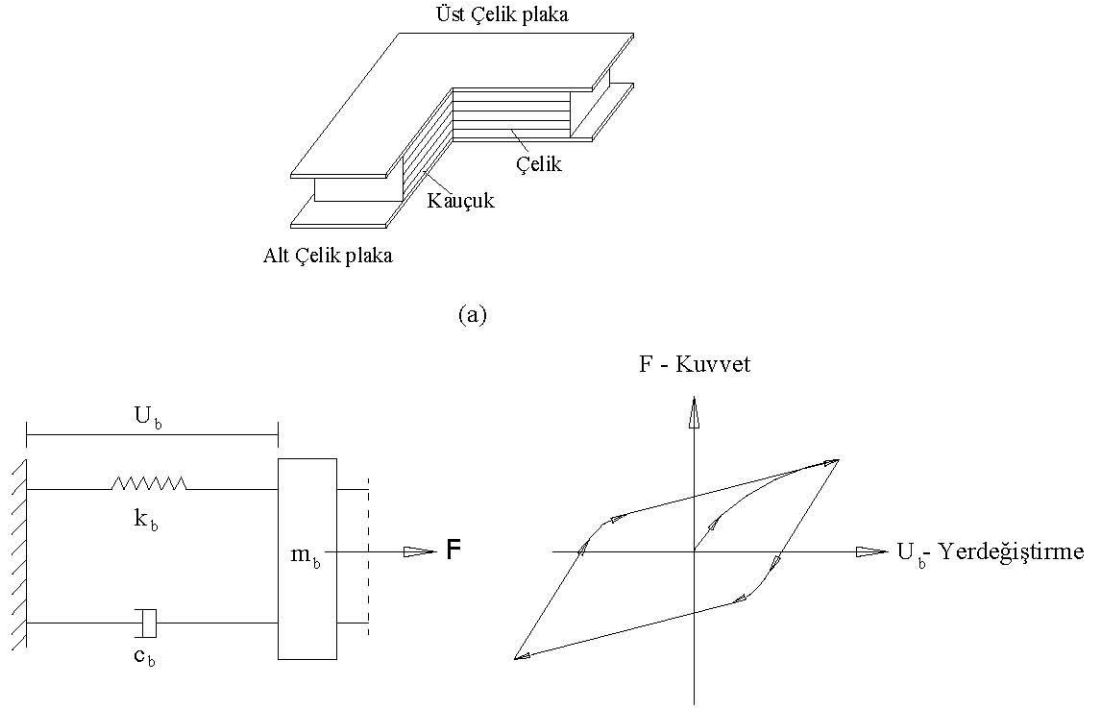
Şekil 3.6 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler (LDRB) a) Kesit özellikleri b) Şematik modeli c) Lineer kuvvet-yer değiştirme davranışı

Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörler kolay imal edilebilmeleri, modellenmesinin kolay olması, mesnetlerin mekanik davranışının hız sıcaklık ve zamanla eskime gibi faktörlerden etkilenmemesi gibi avantajlara sahiptir. Ek bir sönüm kuvvetine ihtiyaçları olması tek dezavantajlarıdır. Bu ek sistemler; çok karmaşık ve girift bağlantılar gerektirmekte, metalik sönümleyiciler durumunda ise kısa sürede yıpranmaktadır. Japonya'da bu sistemin pek çok uygulamaları mevcuttur.

3.2.2.2 Yüksek Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk Mesnetler (HDNR)

Yüksek sönümlü doğal ve sentetik kauçuk mesnetlerde (High Damping Natural Rubber), mesnetler doğal kauçuktan yapılmıştır. İngiltere'ye bağlı Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPA) kurumu tarafından 1982 yılında, ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek üzere, yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuk bir bileşimin geliştirilmesi başarılmıştır. Sönüm miktarı, aşırı saf karbon blok, yağlar veya reçineler ve diğer patentli katkı maddeleri eklenilmesi suretiyle artırılmaktadır. % 100 oranındaki kayma şekil değiştirmelerinde, sönüm % 10 ve % 20 arasındaki mertebelere çıkarılmıştır. Sönümün, düşük sertliğe karşı gelen (50-55 durometer) küçük değerlerinde kayma modülü 0.34 Mpa civarında olmaktadır. Bununla birlikte, sönümün yüksek katılığa karşı gelen (70-75 durometer) büyük değerlerinde ise kayma modülü de yükselmekte ve 1.40 Mpa değerine ulaşmaktadır.

Malzeme % 20'den az orandaki kayma şekil değiştirmelerinde nonlineer davranmaktadır. Bununla birlikte; rüzgar yükü ve düşük düzeyli deprem yüklemesi altındaki davranışının minimize edilmesine yol açacak şekilde, daha yüksek rijitlik ve daha yüksek sönüm vasıtasıyla karakterize edilmektedir. % 20 ila % 120 arasındaki kayma şekil değiştirme oranlarının ötesinde, kayma modülü düşük ve sabit olmaktadır. Büyük şekil değiştirmelerde, bir şekil değiştirme kristalizasyonu işlemine bağlı olarak kayma modülü artmaktadır. Bununla beraber, enerji yutulmasında da bir artış meydana gelmektedir. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetin elemanları Şekil 3.7.a'da, şematik modeli Şekil 3.7.b'de ve nonlineer kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil 3.7.c'de gösterilmiştir.

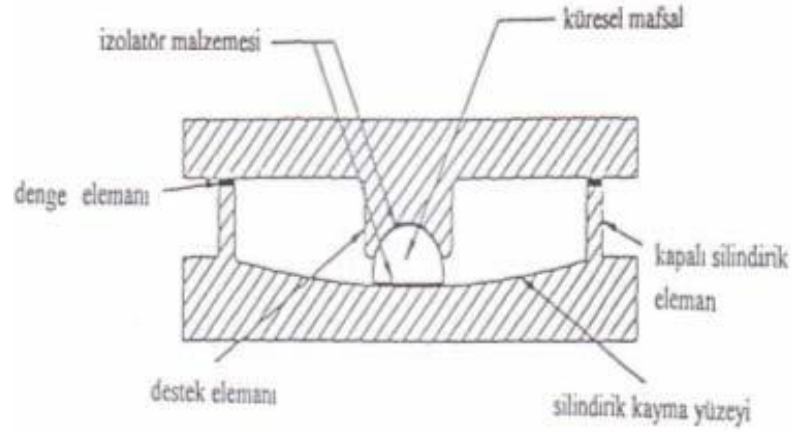


Şekil 3.7 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet (HDNR) a)Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin elemanları b) Şematik model c) Nonlineer kuvvet-yer değiştirme davranışı

Yüksek sönümlü doğal kauçuk sistemin bir diğer avantajı çevresel titreşimin azaltılmasında, bir aşama sağlamasıdır. İzolatörler; trafik ya da yakınında bulunan bir metro hattı nedeniyle meydana gelebilecek yüksek frekanslı düşey titreşimleri dışarı süzmek için harekete geçmektedir. Bu sonuç, 1985 yılında Earthquake Engineering Research Center (EERC)'da uygulanan bir sarsma masası test programında gösterilmiştir.

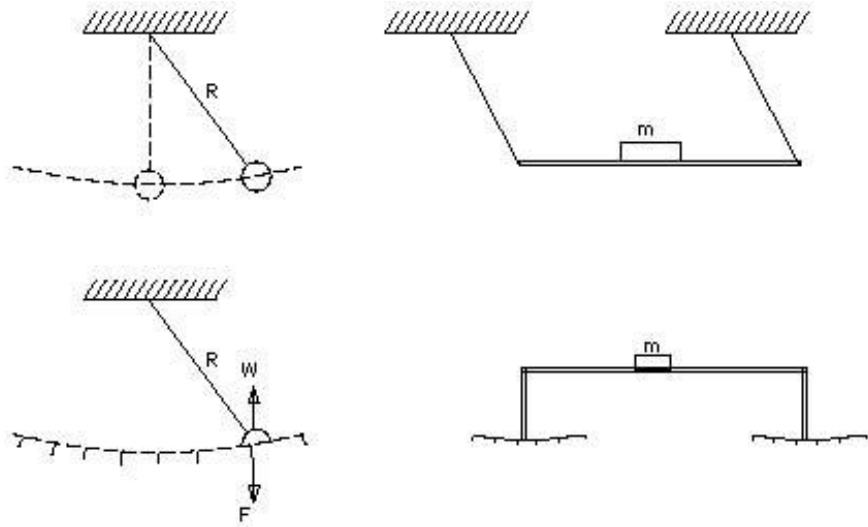
3.2.2.3 Sürtümlü Sarkaç Sistemler (FPS)

Sürtümlü sarkaç sistemler (Friction Pendulum System) çelik mesnetlerdir. Düşük sürtümlü, büyük yüklemeye kapasiteli paslanmaz çelik mafsal, içbükey yatak üzerinde kayıcılığı sağlamaktadır. Şekil 3.8'de sürtümlü sarkaç sistemin kesiti ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Sürtünlü Pandül Sistemi

Sürtünme ve sarkaç hareketi sistemin çalışmasını sağlayan iki mekanizmadır. Sürtünlü sarkaç sistemlerde, istenilen sismik izolasyon sonuçlarını elde ederken ağırlık ve geometriden yararlanılmaktadır. Şekil 3.9'da sürtünlü sarkaç sistemlerinin hareket mekanizmaları gösterilmiştir.



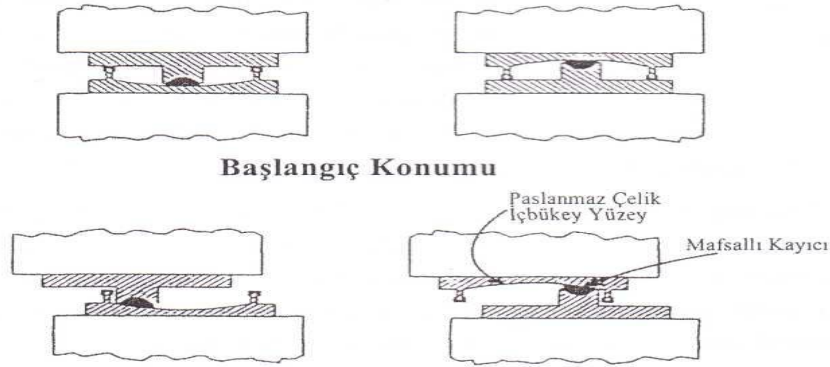
Şekil 3.9 Sürtünlü sarkaç sistemlerin hareket mekanizmaları

İzolatörün efektif rijitliği ve yapının izolasyon periyodu, içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı vasıtasıyla kontrol edilmektedir. İzolatörün titreşim periyodu, kayma hareketi başladığında aktif olan sürtünme kuvveti, mesnet malzemesinin seçimi ile kontrol edilir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece, sarkaç sistemlerle mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyoduna karşılık gelen bir tepki gösterecektir.

Deprem hareketi sırasında mafsal, kayıcı içbükey yüzey üzerinde kayarak kütle

yükselmesine neden olacaktır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürür. Dinamik hareket ortadan kalktıktan sonra sarkaç, ilk sabit denge durumuna ulaşmaya kadar hareketini yeniler. İzolatör, üst yapı kütlelerinden dolayı deprem hareketinden oluşacak enerjiyi gerekli oranda yutar. Kayıcı mafsallı çapı, yükleme durumuna göre boyutlandırılır. Depremde oluşacak maksimum yer değiştirmeye bağlı olarak, bağlantı halkasının çapı boyutlandırılır. İçbükey yüzeyin üstte veya altta olması izolatörün davranışını değiştirmez.

Sürtünmeli sarkaç sistemin önemli ikinci mekanizması, sürtünmeyle deprem enerjisinin yutulmasıdır. Deprem hareketi sırasında, yanal rijitlik ve her bir yatakta oluşan sürtünme kuvveti, yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direkt olarak ilgilidir. Bu nedenle yapı ağırlık merkeziyle, yatakların rijitlik merkezi çakışmalıdır. Bu, mesnetlenen yapının burulma hareketini ortadan kaldırır.



Şekil 3.10 Sürtünmeli sarkaç sistemlerin başlangıç ve yer değiştirme konumları

Mafsallı kayıcının kenarı, düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcının diğer kenarı da tam küresel olup, paslanmaz çelik ile kaplıdır ve yine düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmış küresel bir oyuk içinde oturmaktadır. Kayıcı, küresel yüzey üzerinde hareket ettikçe taşınan kütlelerin yükselmesine yol açmakta ve sistem için geri dönüş kuvveti sağlamaktadır. Mafsallı kayıcı ve küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörlerde sönüm meydana getirmektedir. Şekil 3.10'da sürtünmeli sarkaç sistemlerin başlangıç ve yer değiştirme konumları gösterilmiştir.

Sürtünmeli sarkaç sistemlerinde bulunan koruyucu silindir, yatay yer değiştirmelerin engellenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca, iç elemanların çevresel kirlilikten korunmasını sağlamaktadır. Koruyucu silindir tarafından sağlanan yer değiştirme sınırlandırması, deprem yüklerinin hesap yüklerini büyük miktarda aşması

halinde, çok önemli bir emniyet sağlamaktadır.

3.2.2.4 Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu (RBFI)

Esnek sürtünmeli taban izolasyonu (Resilient Friction Base Isolation), son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian tarafından önerilmiştir. Bu taban izolatörleri, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi, yüksek kayma hızlarında paslanmaz çelik üzerindeki teflonun yüksek sürtünme katsayısı probleminin üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Bunun için, tek bir izolatör içinde çok sayıda kayıcı ara yüzeyler kullanma yöntemine gidilmektedir. Böylece izolatörün üst ve alt yüzleri arasındaki hız, tabakaların sayısına bölünmektedir. Bu sayede düşük bir sürtünme katsayısı korunarak, her bir yüzdeki hız değeri küçük olmaktadır.

Merkezi kauçuk çekirdek, hiç bir düşey yük taşımamakta, sadece yer değiştirme ve hızın, mesnet yüksekliği boyunca üniform olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuktaki kesme gerilmesini sınırlandırmak ve daha büyük yer değiştirme yeteneği kazandırmak amacıyla çelik levhalı tabakalı kauçuk mesnetlere, sürtünmeli plaka eklenerek esnek-sürtünmeli taban izolasyon sistemleri düzenlenmiştir.

Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi, merkezi ve çevresel kauçuk çekirdekle birlikte birbirleri üzerinde kayabilen yassı halkalardan oluştuğu için kayıcı tipli izolasyon sistemleri grubuna girmektedir ve bir çok deneyle deprem etkisi altında davranışı denenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Bu sistem üzerinde yapılan testlerde kauçuk çekirdeğin, yer değiştirmenin tek bir ara yüzeyde toplanmasını önleyemediği görülmüştür. Bu nedenle kauçuk çekirdeğin içine, kayıcı tabakalar arasındaki yer değiştirme dağılımını düzelteren, merkezi bir çelik çubuk koyulmuştur. 1988 yılında EERC'de yapılan bir deneysel çalışma dahilinde, beş katlı ve 40 ton ağırlığındaki bir çelik çerçeve modelinde esnek sürtünmeli taban izolatörleri kullanılmış ve bu model sarsma masası deneyi ile test edilmiştir.

Kauçuk kılıf, mesnedi toz ve paslanma gibi dış etkilerden korumakla birlikte halkaların aşınmasına engel olur. Kauçuğun sönüm yeteneği azdır. Bu nedenle enerji yutulmasında sürtünme kullanılmaktadır. Ayrıca, mesnet elemanları kauçuk çekirdeğin toplam yanal rijitliği ve sürtünme katsayısına göre karakterize edilmektedir. Yer hareketinin düşey bileşenine karşı etkinliği çok azdır.

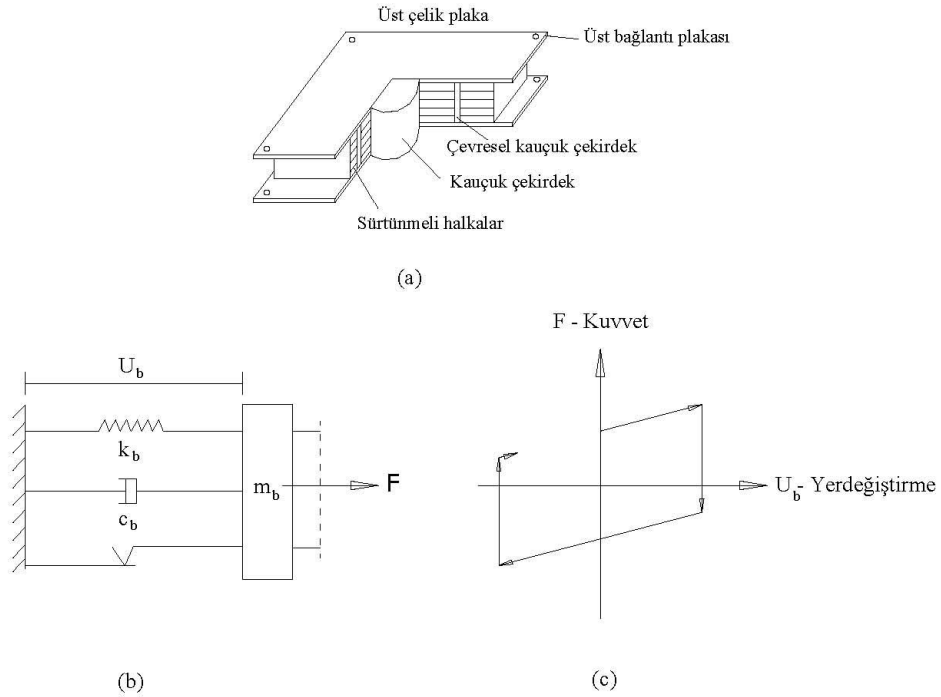
Esnek sürtünmeli sistemlerin düzenlenmesindeki en önemli neden kayıcı

sistemlerin, sistemi ilk sabit dengeli durumuna geri döndürecek kuvvete sahip olmamasıdır. Kayıcı sisteme esnek çekirdeğin eklenmesiyle bu sağlanmış olur. Ayrıca, esnek kayıcı sistemler temel yer değiştirmesini kontrol altında tutmaktadır.

Hareket, sürtünme kuvvetini yenene kadar mesnetlerde kayma oluşmaz. Mesnetler kaymaya başladığında kauçuk deforme olur ve sistemi eski denge haline döndürecek elastik kuvvet oluşur. Kauçuk çekirdek, yanal yer değiştirmeyi ayırıcının yüksekliğine çaprazlamasına dağıtır ve ağırlık yükü taşımaz. Kayma hızı kullanılan kayıcı levha sayısına göre istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Sürtünme kuvveti enerji yutma görevini üstlenmiştir.

Esnek sürtülmeli sistem, rijitlik merkezi ve kütle merkezini izolasyon seviyesinde çakıştırdığından, simetrik olmayan yapıların düzenlenmesinde de kolaylıkla kullanılır. Sistemdeki sürtünme, rüzgar gibi düşük genlikli yanal hareketlerden tabanı korumaktadır. Sistemdeki elastik elemanlar sadece yer hareketinden doğan yanal yüklere maruz kalırlar. Ağırlık yükleri genellikle daha rijit olan kayıcı bölümlerce taşınmaktadır. Bu da ağırlık yükleri altında esneme ile ilgili problemleri azaltır. Böylece sistemin yer değiştirme kapasitesini ve stabilitesini de artırır.

Bu mesnetlerin kesiti Şekil 3.11.a'da şematik modeli Şekil 3.11.b'de ve nonlinear kuvvet yer değiştirme davranışı da Şekil 3.11.c'de verilmiştir.

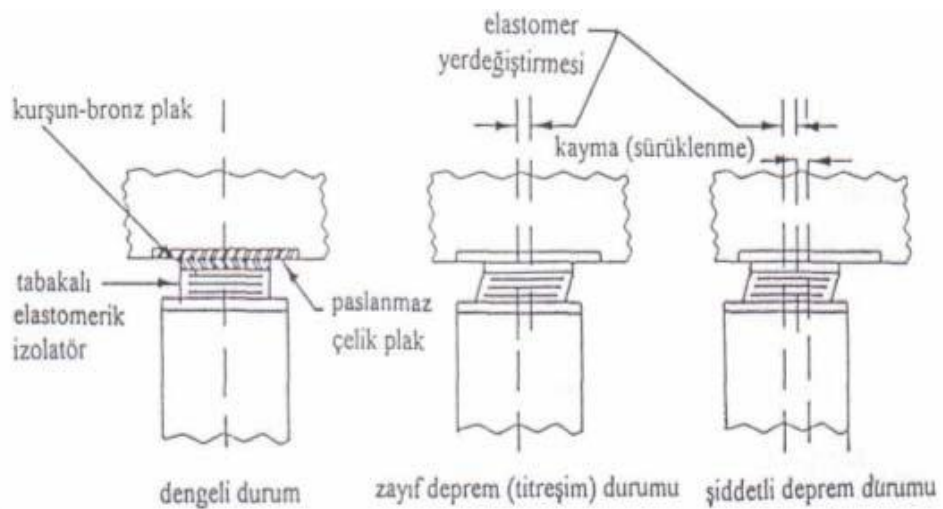


Şekil 3.11 Esnek sürtülmeli sistemler

3.2.2.5 Elektricit-de France Sistemi (EDFS)

Bu sistem, Fransız elektrik kurumunun (Electricite-de-France) desteğiyle nükleer elektrik santrali tesislerine yapılacak uygulama için, 1970'li yılların başlarında geliştirilmiştir. Söz konusu kuruluş, içinde güvenliğinin sağlanması gereken donanıma sahip ve 0.2 g'lik ivmeye dayanacak nitelikte, standart bir nükleer elektrik santrali geliştirmişti. Santral, daha yüksek deprem riski olan yerlere yerleştirilmek üzereyken, donanımın ivme mertebelerini binanın sahip olduğu sınır değerinin altında tutmak için izole edilmiştir.

Sistem; tabakalı sentetik kauçuk izolatorleri, paslanmaz çelikte olan kurşun-bronz alaşımı ile birleştirmektedir. Sistemin kayıcı yüzeyi ise, elastomerik izolatorün üstüne oturtulmaktadır. Kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısının, izolatorün servis ömrü göz önüne alınarak, 0.2 olması gerekmektedir. Suni kauçuk tampon, ± 5 cm gibi çok düşük bir yer değiştirme kapasitesine sahip olup, meydana gelen yer değiştirmelerin bu sınır değeri aşması halinde, kayıcı eleman öngörülen yeterli hareketi sağlamaktadır. Sistem, mesneti düzeltici yani merkeze geri çeken herhangi bir mekanizmaya sahip değildir. Bu nedenle sistemde kalıcı yer değiştirmeler meydana gelebilir. Sistem şimdiye kadar sadece bir kez, Güney Afrika Cumhuriyeti'ne bağlı Koeberg şehrinde inşa edilen büyük bir nükleer elektrik santralinde uygulanmıştır. Elastomerli EDF sisteminin dengeli durum, zayıf deprem ve şiddetli deprem durumuna göre davranışı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Elastomerli EDF sistemi

3.2.2.6 EERC Bileşik Sistemi

Kauçuk esaslı ve kayıcı sistemin kombinasyonuyla oluşturulmuş bir sistemdir. Yapının iç kolonları teflon kaplı paslanmaz çelikten yapılmış kayıcı elemanlar tarafından taşınır. Dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler üzerindedir. Kauçuk mesnetler yapının burulma davranışını kontrol ederler. Kayıcı elemanlar ise sönüm yaratır.

Bu sistemin bir başka şekli, hem Nevada Üniversitesi Maden Fakültesi Binası, hem de Kaliforniya eyaletine bağlı Willowbrook'ta inşa edilen M.L. King, Jr. Travma Teşhis ve Tanı Merkezi Hastanesi binasının güçlendirilmeleri için kullanılmıştır. Her iki yapıda, yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatorler (HDNR) kullanılmıştır. Üniversite binasında, teflon yüzeyli, paslanmaz çelikten kayıcı elemanlar kullanılırken, hastane binası için ise paslanmaz çelik üzerinde kurşun-bronz alaşımli levhalar kullanılmıştır.

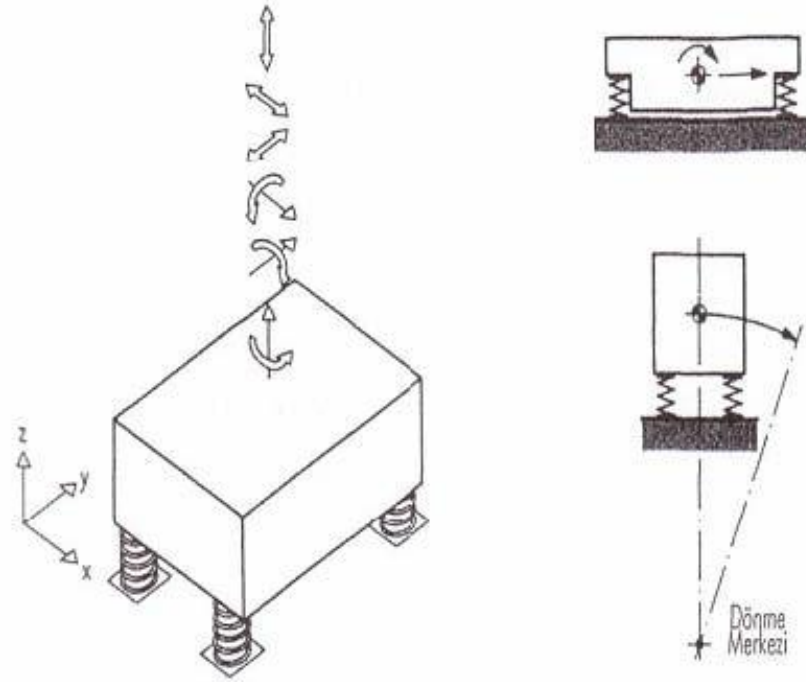
3.2.2.7 Yay Tipi Sistemler

Kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon sistemleri, genellikle yatay yönde izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Eğer düşey yönde de izolasyon sağlanmak isteniyorsa kullanılması tercih edilen izolasyon sistemleri, sarmal yaylardan oluşan izolasyon sistemleridir.

Sarmal yaylardan oluşan sismik izolasyon sistemleri, genellikle enerji santralleri ve fabrikalar gibi tesislerdeki büyük makinelerin yapıda yaratacağı titreşimi önlemek için kullanılır.

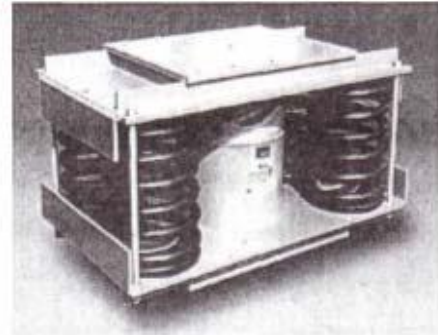
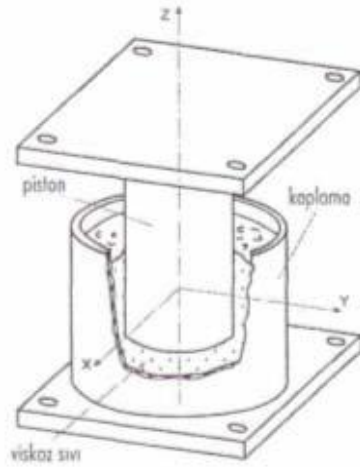
Bu tip sistemlerde, yaylar düşey harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değildirler. Buna karşılık tabakalı kauçuk mesnetlerin düşey rijitliği, yatay rijitliğin birkaç yüz katı olabilmektedir. Sarmal yaylardan oluşan sistem, üzerindeki binayı yer hareketinin düşey bileşeninden de bir dereceye kadar ayırır (Şekil 3.13).

Çekme gerilmesi taşıyamayan çelik yaylarda salınım hareketinin neden olacağı çekme gerilmesi problem olabilmektedir. Bu nedenle de hem çekme hem de basınç kuvvetini taşıyabilecek viskosönümlü yaylar üretilmiştir. Bu yaylar aynı zamanda standart titreşim problemlerinde deprem rezonans büyütmesini sınırlandırmaktadır.



Şekil 3.13 Yay sistemi serbestlik dereceleri

Vizkosönüm, iki ayrı parçadan oluşmaktadır. Yüksek viskoz sıvıyla doldurulmuş yuva temele montajlanır. Sönümün diğer bir parçası da yayla mesnetlenmiş yapıya civatalanmış pistondur (Şekil 3.14). Piston, viskoz sıvı nedeniyle, kesmeye göre tüm serbestlik derecelerinde hareket edebilmektedir. Bu yolla mekanik enerjiyi, ısı enerjisine dönüştürebilmektedir. Bu matematik modelleme bakımından oldukça karmaşıktır. Viskoz sönümle birlikte sistemde, %20-30 civarlarında düşey doğrultuda kritik sönüm sağlanabilmektedir. Basınca çalışan çelik yayların üst ve altlarından çelik plakalara vidalanmasıyla çekmeye karşı çalışması da sağlanmış olur.



Şekil 3.14 Viskosönüm detayı ve viskosönümlü yay sistemi

3.3 Aktif Kontrol Sistemleri

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

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

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

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

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

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

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

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

Modern kontrol teorileri makine ve elektrik mühendisliği uygulamalarının inşaat mühendisliği alanına uygulanması ile oluşturulmuştur. Araştırmalar aktif kontrol

sistemlerinin ani karşılık fonksiyonundan dolayı yüksek titreşim kontrolünü neredeyse tüm yapılarda sağlayabileceğini göstermiştir.

Yapıların kontrolü için birçok sistem geliştirilmiştir. Bunlar:

- Aktif Kiriş Kontrolü
- Aktif Kütle Sönümleyicisi
- Yerçekimini Harekete Geçirici Sistem
- Aktif Rijitlik Değiştirici
- Aktif Kablo Kontrolü

şeklinde gruplandırılabilir. Bu tez çalışmasında, hedef analiz olduğundan, binaların kontrollü için aktif kontrol sistemleri incelenmemiştir.

4. SİMULASYON VE SAYISAL UYGULAMA

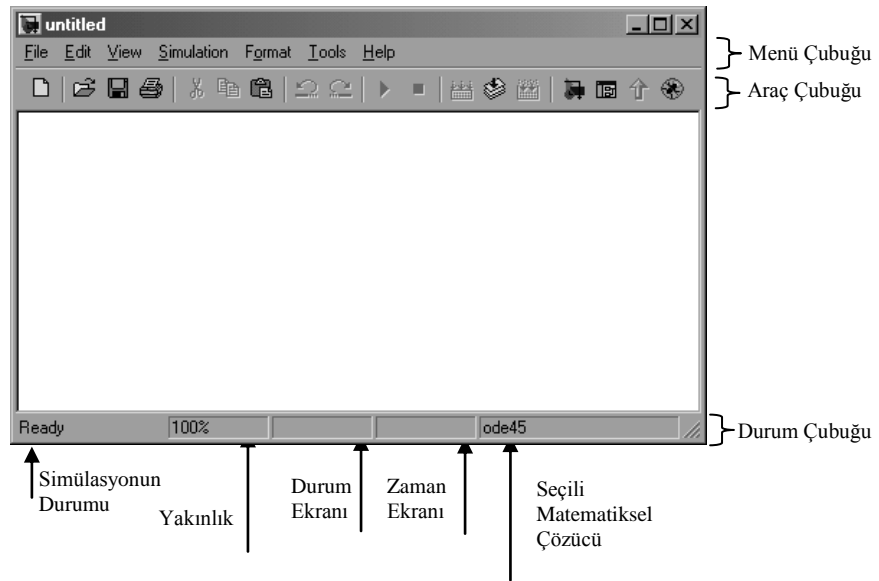
Bu tez çalışmasında bir binanın pasif dinamik modeli MATLAB yazılımının bir eklentisi olan Simulink aracının dinamik sistem blokları ile kurulmuştur. Modellenen sistemlere ait analiz, tasarım ve geliştirme işlemleri Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

4.1 MATLAB/Simulink yazılımının tanıtılması

Simulink birçok matematiksel ifadeden başlayarak; makine, inşaat, elektrik, elektronik, sinyal işleme, kontrol sistemleri gibi özel alanlara kadar yayılmış birçok blok kütüphanesine sahiptir. Ayrıca, kullanıcılar kendi bloklarını geliştirebilme imkânına da sahiptirler.

4.1.1 Simulink uygulamasına ait çalışma sayfası

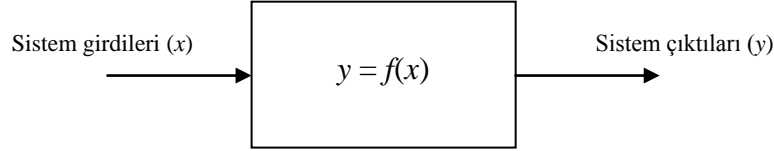
Simulink çalışma sayfası, dinamik sistemlerin bloklar halinde modellendiği arayüzdür. Fazla bir programcılık ve bilgisayar bilgisi gerektirmeksizin Simulink kullanıcıları, modellenecek sistemleri kağıda çiziyormuş gibi kolay ve pratik bir yoldan çalışma sayfasında tasarlarlar. Simulink kütüphanesinden alınan blokların yerleştirildiği, blokların bağlantılarının yapıldığı ve bloklara ait özelliklerin değiştirildiği yer olan çalışma sayfası; ayrıca simülasyonun tümüne ait parametrelerin ve görsel özelliklerin bulunduğu alandır. Simulink uygulamasına ait bir çalışma sayfası Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Simulink uygulamasına ait çalışma sayfası

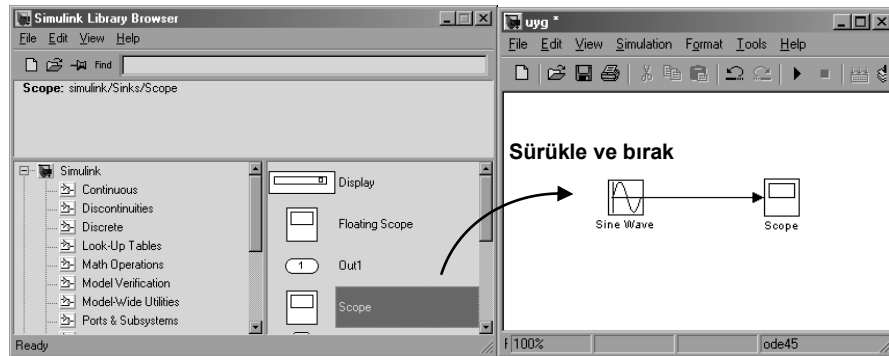
4.1.2 Simulink Blokları

Dinamik sistemler Simulink ile Şekil 4.2’de gösterildiği gibi sistem girdilerinin, sistem çıktılarının ve gerekli işlemlerin tayini ile kolayca modellenebilir. Bu sayede Simulink, MATLAB kadar programlama ve bilgisayar tecrübesi gerektirmeksizin, blokların kullanımıyla çözüm üretimi sağlar.



Şekil 4.2 Basite indirgenmiş dinamik lineer veya dinamik nonlinear sistem modeli

Simulink hali hazırda blok kütüphaneleri sunmaktadır. Bu bloklar sayesinde her türlü alana (matematiksel ifadeler, sinyal işleme, elektrik devreleri, vb.) ait gerçek sistemler modellenir. Bu bloklar Simulink çalışma penceresine atılır ve Simulink çalışma penceresinde bulunan bu bloklar arasında bağlantılar kurularak sistemler meydana getirilir (Şekil 4.3).

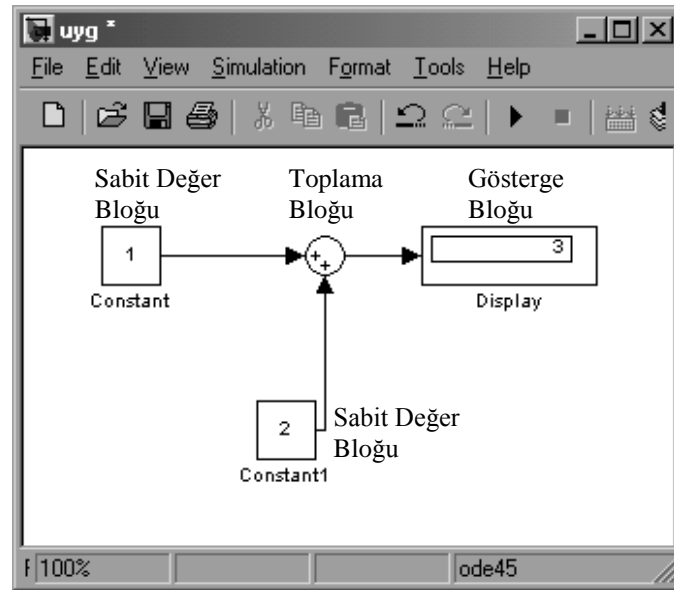


Şekil 4.3 Simulink kütüphanesi ve Simulink çalışma alanı

Simulink blokları, dinamik sistemlere ait en küçük temel yapılardır. Bu yapılar bir kaynak veya bir çıkış olabileceği gibi bir ara işlem elemanı da olabilir.

Simulink blokları birleştirilerek blok diyagramları oluşturulur. Blok diyagramları, dinamik sistemlerin alt sistemleridir. Alt sistemler çalışma sayfasında kapalı bir kutu halinde Simulink özellikleri kullanılarak görüntülenebilir. İçlerinde birçok bloğu içerdiklerinden, farklı sayıda giriş ve çıkış bağlantıları bulunur. Bu alt sistemler istenirse bir yazı veya resimle de ifade edilebilir. Bu alt sistemler arası bağlantılar kurularak dinamik sistemler oluşturulur. Bloklar yardımı ile iki sabit değer

toplanması ve toplama sonucunu bir gösterge aracılığı ile veren örnek bir Simulink modeli Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Bloklardan oluşmuş örnek bir Simulink modeli

4.1.3 Simulink bloklarını özellikleri

Simulink bloklarını özellikleri bakımından zamana bağlı bloklar ve zamandan bağımsız bloklar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Örneğin, bloklar arasında yer alan integral aldırma bloğunun (Integrator) çıkış değerleri zamana göre değişmektedir. Burada zaman olarak belirtilen değerler, dinamik sistem simülasyonunun başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. Bununla birlikte matematiksel kazanç (Gain) sağlayan Simulink bloğu, kendisine iletilen değeri bir katsayıyla çarpar ve çıkış ifadesi üretir. Bu çıkış ifadesi zamana göre değişmez.

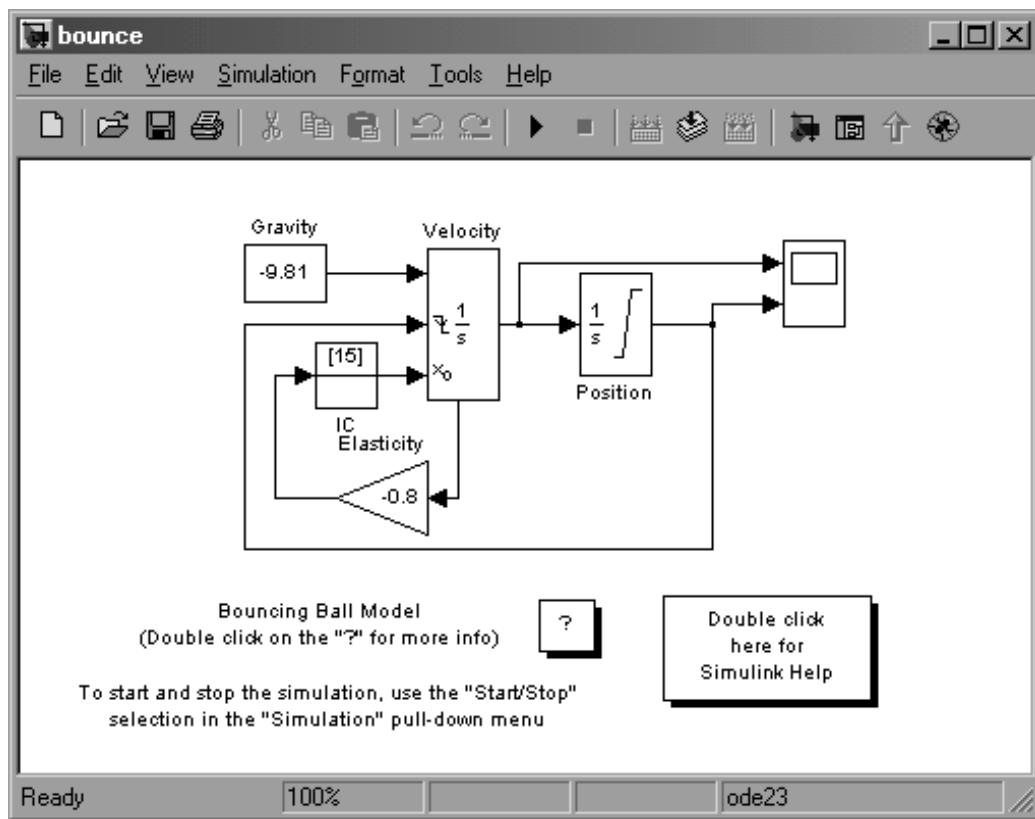
Belirtildiği gibi bloklar birer fonksiyondur. Bu fonksiyonlar, zaman değeri (t), giriş değeri (u) ve mevcut değer (x) değişkenlerine bağlı m -fonksiyon'lardır. Her bloğun çalışması; çıkış, sürekli zamanlı ve örnekleme zamanlı alt fonksiyonlarını içeren bir ana fonksiyon ile gerçekleştirilir. MATLAB tarafından Simulink uygulamasının matematiksel modele çevriminde otomatik olarak bu alt fonksiyonlar tanımlanır. Fakat bu fonksiyonlar kullanıcıya görüntülenmez. Sürekli zamanda çalışılıyorsa; çıkış fonksiyonu ve sürekli zaman fonksiyonu değerleri hesaplanır. Örnekleme zamanlı çalışılıyorsa; çıkış fonksiyonu ve örnekleme zaman fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bir Simulink sisteminin çalıştırılması ile her blok için iki değer üretilir. Birinci değer her bloğun çıkış değeri, diğer değer de zaman değeridir.

Böylelikle zamana bağlı çıkış değerleri bir matris olarak MATLAB çalışma alanında ve Simulink çalışma penceresinde tanımlanır.

4.1.4 Dinamik Sistemlerin Simulink blokları ile modellenmesi

Dinamik sistemler, sistem elemanlarının blok diyagramlar halinde verildiği Simulink kütüphanesinden yapılacak sürükle bırak işlemlerinin uygulandığı bir grafiksel kullanıcı arayüzü ile modellenebilir. Bu arabirim ile modeller, kağıda çiziyormuş gibi kolaylıkla tasarlanabilir.

Aşağıdaki şekilde Simulink'te hazırlanmış örnek bir dinamik model penceresi gösterilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Örnek bir dinamik sistemin Simulink modeli.

4.2 Pasif bina için matematiksel model

Binanın j. hareket denklemleri aşağıda çıkarılmıştır.

$$m_j \ddot{X}_j + c_j (\dot{X}_j - \dot{X}_{j-1}) - c_{j+1} (\dot{X}_{j+1} - \dot{X}_j) + k_j (X_j - X_{j-1}) - k_{j+1} (X_{j+1} - X_j) + \beta_j \dot{X}_j = 0$$

$$j=1, 2, \dots, 8 \quad (4.1)$$

Burada X_j , j. katın yer değiştirmesini, m_j , j. katın kütesini, c_j , j. katın iç sönüm katsayısını, k_j , j. katın rijitliğini, ifade etmektedir.

X_j , deprem yer hareketi ve Y_j de j . katın yere göre rölatif yer yeğıştirmesi olarak ele alınırsa

$$Y_j = X_j - X_0 \quad (4.2)$$

(4.1) denklemini matris formunda yazılırsa aşığıdaki gibi ortaya çıkar.

$$M [\ddot{Y}] + C [\dot{Y}] + K Y = F [\ddot{X}_0] \quad (4.3)$$

Burada ;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & . & . & . & . & . & . & . & 0 \\ . & m_2 & & & & & & & . \\ . & & m_3 & & & & & & . \\ . & & & m_4 & & & & & . \\ . & & & & m_5 & & & & . \\ . & & & & & m_6 & & & . \\ . & & & & & & m_7 & & . \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & m_8 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 + c_6 & -c_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_6 & c_6 + c_7 & -c_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_7 & c_7 + c_8 & -c_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_8 & c_8 + c_9 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 + k_6 & -k_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6 + k_7 & -k_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_7 & k_7 + k_8 & -k_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_8 & k_8 + k_9 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$F = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \\ m_7 \\ m_8 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

(4.9)

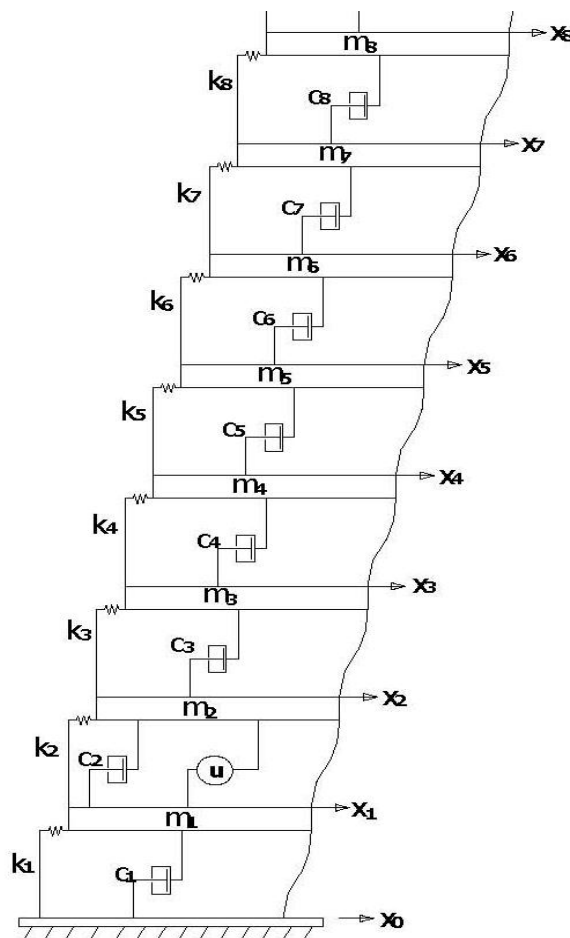
Vektörler şeklinde verilir.

4.3 Örnek Binanın Sayısal Verileri

Sayısal hesaplamalarda örnek binada kullanılan kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları Tablo 4.1'de verilmiştir. Ayrıca binanın mekanik modeli Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları

Kat	Kütle (m) (kg)	Rijitlik katsayısı (k) (Ns/m)	Sönüm katsayıları (c) (N/m)
1	460000	$1825 \cdot 10^4$	$30 \cdot 10^3$
2	350000	$345 \cdot 10^6$	$500 \cdot 10^3$
3	350000	$330 \cdot 10^6$	$475 \cdot 10^3$
4	350000	$300 \cdot 10^6$	$420 \cdot 10^3$
5	350000	$270 \cdot 10^6$	$370 \cdot 10^3$
6	350000	$250 \cdot 10^6$	$340 \cdot 10^3$
7	350000	$240 \cdot 10^6$	$320 \cdot 10^3$
8	350000	$230 \cdot 10^6$	$300 \cdot 10^3$



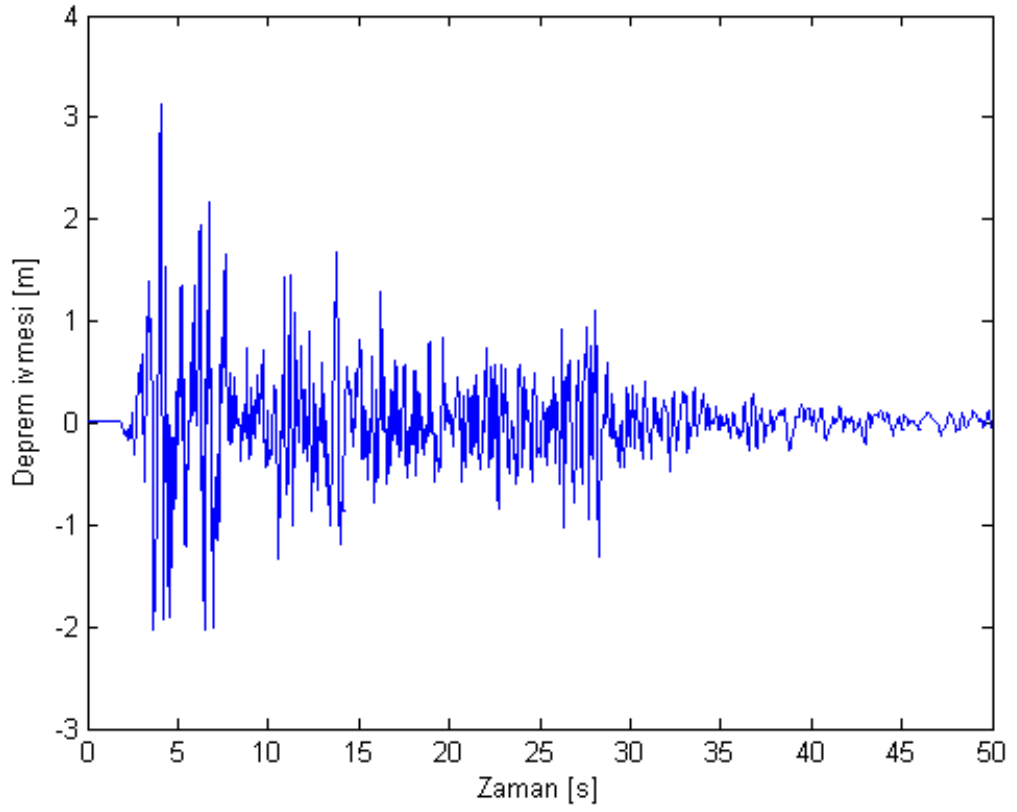
Şekil 4.6 Sayısal uygulaması yapılan örnek binanın mekanik modeli

4.4 Simülasyon çıktıları ve analiz

Simülasyonlarda kullanılan El Centro'da kaydedilmiş Imperial Valley 18 Mayıs 1940 depreminin verilerinin bir kısmı Tablo 4.2'de verilmiştir. Verilerin tamamı tez ait CD'de *.dat formatında ek olarak verilmiştir. Depremin ivmesinin 50 saniyelik bölümü grafik olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

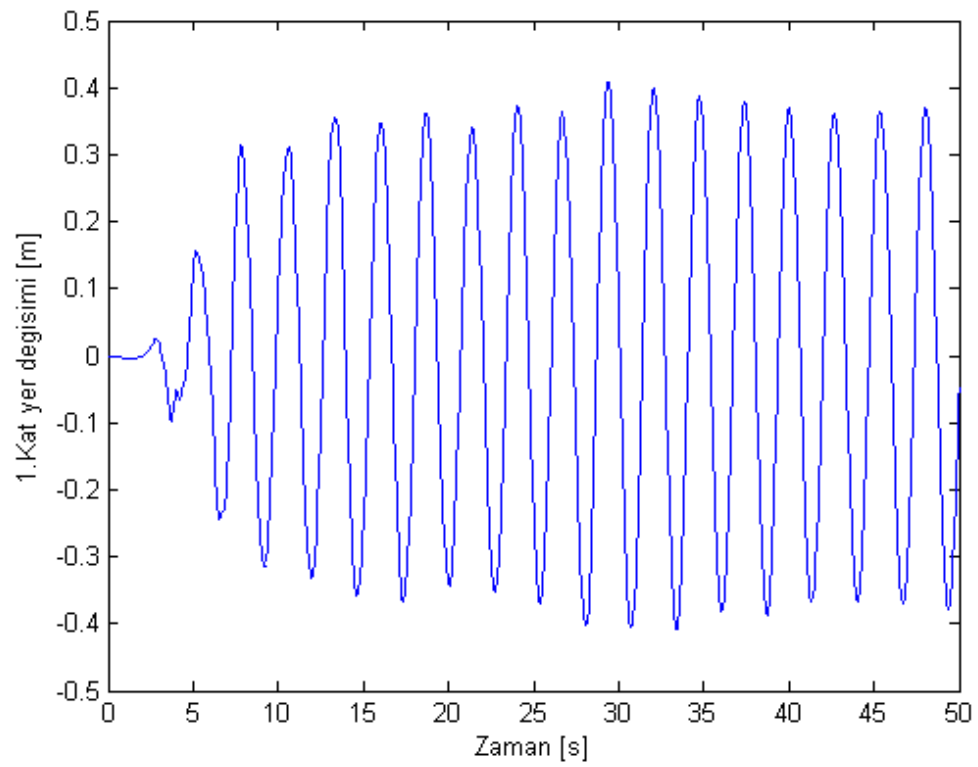
Tablo 4.2 El Centro’da kaydedilmiş Imperial Valley 18 Mayıs 1940 depreminin verilerinin bir kısmı (2.98 saniye boyunca)

% El-Centro earthquake signal:					
% North-south component recorded at Imperial Valley Irrigation District					
% substation in El Centro, California, during the Imperial Valley,					
% California earthquake of May, 18, 1940. The magnitude is 7.1.					
%					
% Time (sec)	Acceleration (g)	% Time (sec)	Acceleration (g)	% Time (sec)	Acceleration (g)
0.000000e+00	1.100000e-03	1.000000e+00	1.200000e-03	2.000000e+00	-9.200000e-03
2.000000e-02	1.100000e-03	1.020000e+00	1.200000e-03	2.020000e+00	-7.800000e-03
4.000000e-02	1.300000e-03	1.040000e+00	1.300000e-03	2.040000e+00	-8.500000e-03
6.000000e-02	1.400000e-03	1.060000e+00	1.600000e-03	2.060000e+00	-1.110000e-02
8.000000e-02	1.300000e-03	1.080000e+00	1.300000e-03	2.080000e+00	-1.330000e-02
1.000000e-01	1.200000e-03	1.100000e+00	1.300000e-03	2.100000e+00	-1.180000e-02
1.200000e-01	1.200000e-03	1.120000e+00	1.200000e-03	2.120000e+00	-9.900000e-03
1.400000e-01	1.200000e-03	1.140000e+00	1.200000e-03	2.140000e+00	-7.200000e-03
1.600000e-01	1.600000e-03	1.160000e+00	1.200000e-03	2.160000e+00	-7.500000e-03
1.800000e-01	1.200000e-03	1.180000e+00	1.100000e-03	2.180000e+00	-1.230000e-02
2.000000e-01	1.300000e-03	1.200000e+00	1.300000e-03	2.200000e+00	-1.710000e-02
2.200000e-01	1.300000e-03	1.220000e+00	1.300000e-03	2.220000e+00	-1.870000e-02
2.400000e-01	1.100000e-03	1.240000e+00	1.100000e-03	2.240000e+00	-1.510000e-02
2.600000e-01	1.300000e-03	1.260000e+00	1.200000e-03	2.260000e+00	-1.360000e-02
2.800000e-01	1.300000e-03	1.280000e+00	1.200000e-03	2.280000e+00	-9.600000e-03
3.000000e-01	1.100000e-03	1.300000e+00	1.100000e-03	2.300000e+00	-7.100000e-03
3.200000e-01	1.200000e-03	1.320000e+00	1.200000e-03	2.320000e+00	-2.900000e-03
3.400000e-01	1.200000e-03	1.340000e+00	1.200000e-03	2.340000e+00	-5.800000e-03
3.600000e-01	1.300000e-03	1.360000e+00	1.100000e-03	2.360000e+00	-1.250000e-02
3.800000e-01	1.100000e-03	1.380000e+00	1.600000e-03	2.380000e+00	-1.880000e-02
4.000000e-01	1.300000e-03	1.400000e+00	1.200000e-03	2.400000e+00	-1.880000e-02
4.200000e-01	1.100000e-03	1.420000e+00	1.200000e-03	2.420000e+00	-5.000000e-03
4.400000e-01	1.200000e-03	1.440000e+00	1.100000e-03	2.440000e+00	4.700000e-03
4.600000e-01	1.600000e-03	1.460000e+00	1.200000e-03	2.460000e+00	1.610000e-02
4.800000e-01	1.500000e-03	1.480000e+00	8.750000e-04	2.480000e+00	-4.800000e-03
5.000000e-01	1.300000e-03	1.500000e+00	1.100000e-03	2.500000e+00	-1.260000e-02
5.200000e-01	1.200000e-03	1.520000e+00	1.400000e-03	2.520000e+00	-1.360000e-02
5.400000e-01	1.100000e-03	1.540000e+00	1.200000e-03	2.540000e+00	-1.960000e-02
5.600000e-01	1.300000e-03	1.560000e+00	1.300000e-03	2.560000e+00	-2.550000e-02
5.800000e-01	1.000000e-03	1.580000e+00	1.200000e-03	2.580000e+00	-3.210000e-02
6.000000e-01	1.100000e-03	1.600000e+00	1.400000e-03	2.600000e+00	-2.990000e-02
6.200000e-01	1.300000e-03	1.620000e+00	1.300000e-03	2.620000e+00	-1.560000e-02
6.400000e-01	1.200000e-03	1.640000e+00	1.200000e-03	2.640000e+00	-1.890000e-02
6.600000e-01	1.400000e-03	1.660000e+00	1.200000e-03	2.660000e+00	-1.530000e-02
6.800000e-01	1.300000e-03	1.680000e+00	1.200000e-03	2.680000e+00	-1.540000e-02
7.000000e-01	1.100000e-03	1.700000e+00	1.100000e-03	2.700000e+00	-5.400000e-03
7.200000e-01	1.100000e-03	1.720000e+00	1.100000e-03	2.720000e+00	4.100000e-03
7.400000e-01	1.300000e-03	1.740000e+00	1.100000e-03	2.740000e+00	1.720000e-02
7.600000e-01	3.125000e-04	1.760000e+00	1.200000e-03	2.760000e+00	2.570000e-02
7.800000e-01	1.400000e-03	1.780000e+00	1.600000e-03	2.780000e+00	2.710000e-02
8.000000e-01	1.300000e-03	1.800000e+00	1.100000e-03	2.800000e+00	3.570000e-02
8.200000e-01	1.300000e-03	1.820000e+00	1.100000e-03	2.820000e+00	4.880000e-02
8.400000e-01	1.200000e-03	1.840000e+00	1.100000e-03	2.840000e+00	5.130000e-02
8.600000e-01	1.100000e-03	1.860000e+00	1.300000e-03	2.860000e+00	4.370000e-02
8.800000e-01	1.100000e-03	1.880000e+00	1.200000e-03	2.880000e+00	3.740000e-02
9.000000e-01	8.750000e-04	1.900000e+00	1.200000e-03	2.900000e+00	2.860000e-02
9.200000e-01	1.300000e-03	1.920000e+00	1.400000e-03	2.920000e+00	2.480000e-02
9.400000e-01	1.000000e-03	1.940000e+00	1.200000e-03	2.940000e+00	3.600000e-02
9.600000e-01	1.600000e-03	1.960000e+00	-2.500000e-04	2.960000e+00	4.330000e-02
9.800000e-01	1.300000e-03	1.980000e+00	-1.040000e-02	2.980000e+00	5.540000e-02

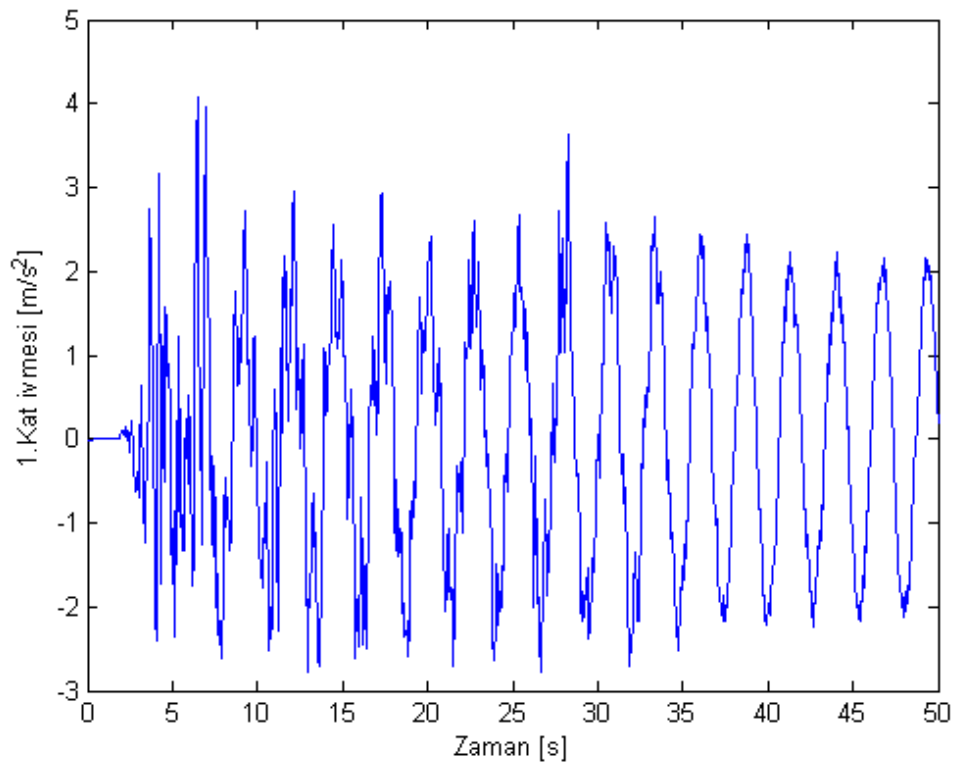


Şekil 4.7 Imperial Valley depreminin ivmesinin zaman bağı değişimi

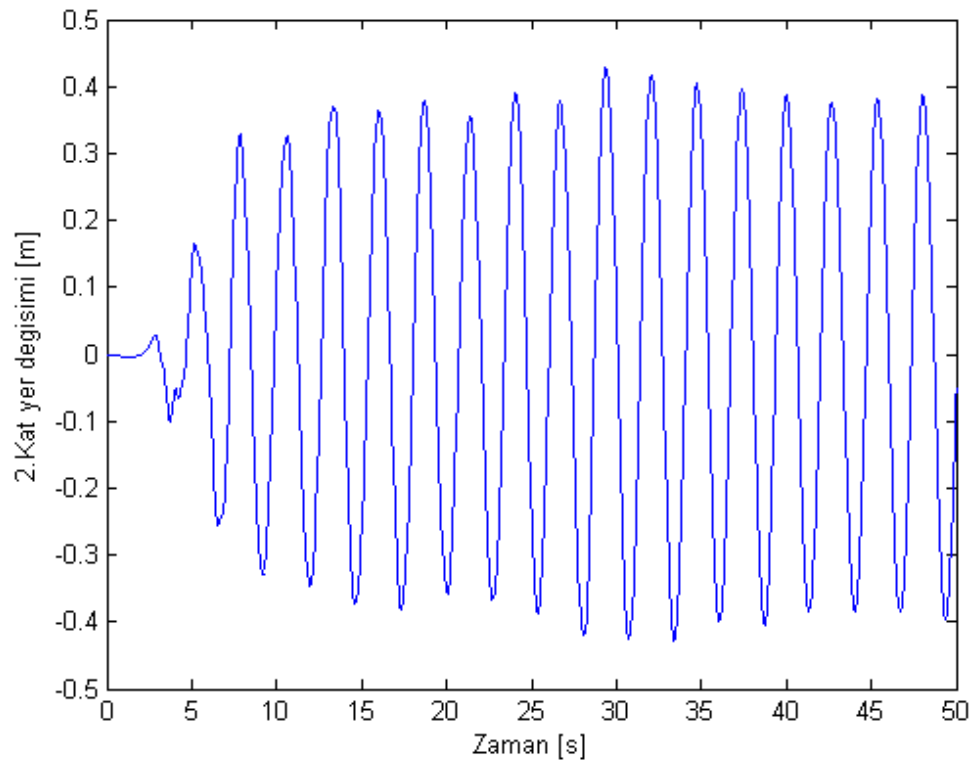
Örnek binanın mekanik modelinin MATLAB/Simulink blok modeli aşağıdaki Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu binaya deprem verileri uygulanmış olup her kat için yer değiştirme ve ivme çıktıları ayrı ayrı Şekil 4.9–Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



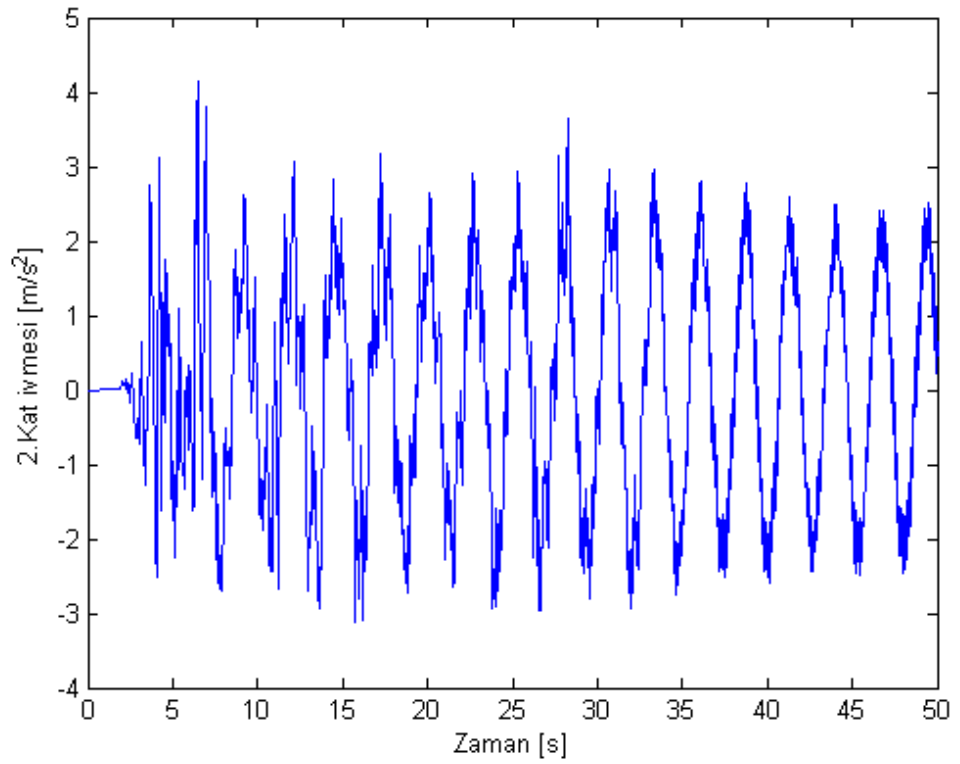
Şekil 4.9 Birinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



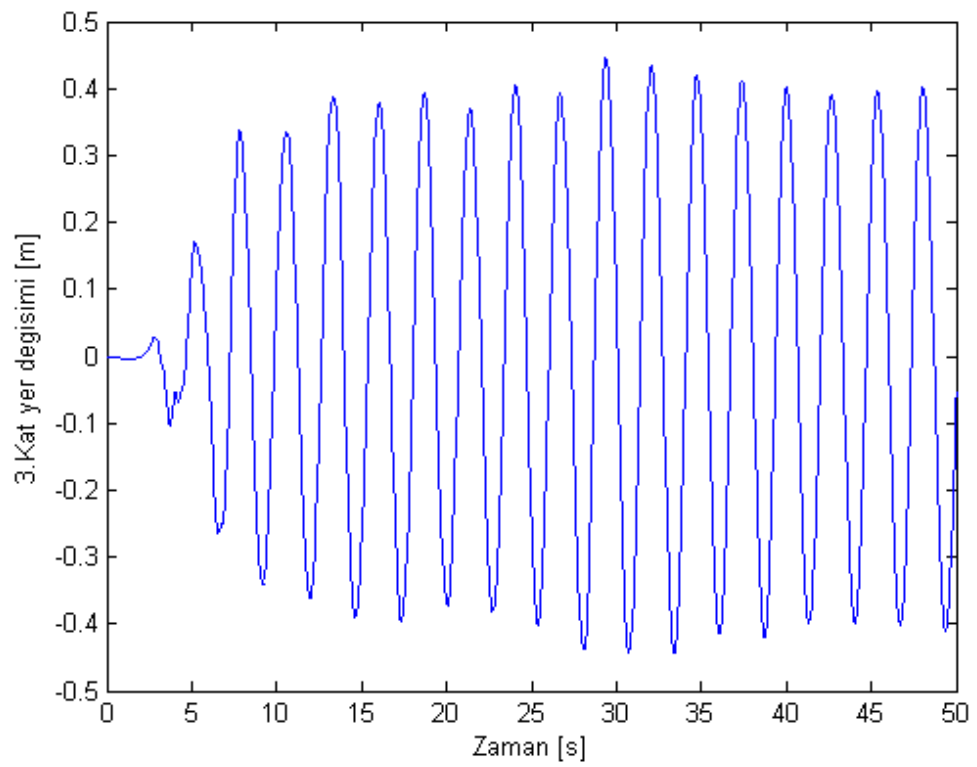
Şekil 4.10 Birinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği



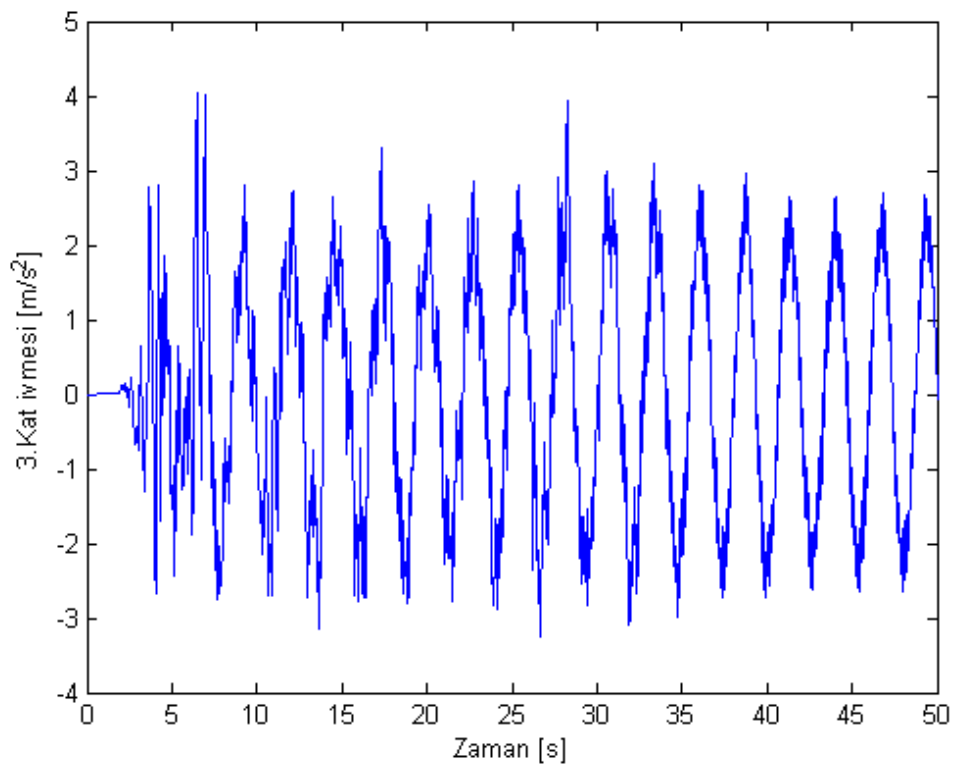
Şekil 4.11 İkinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



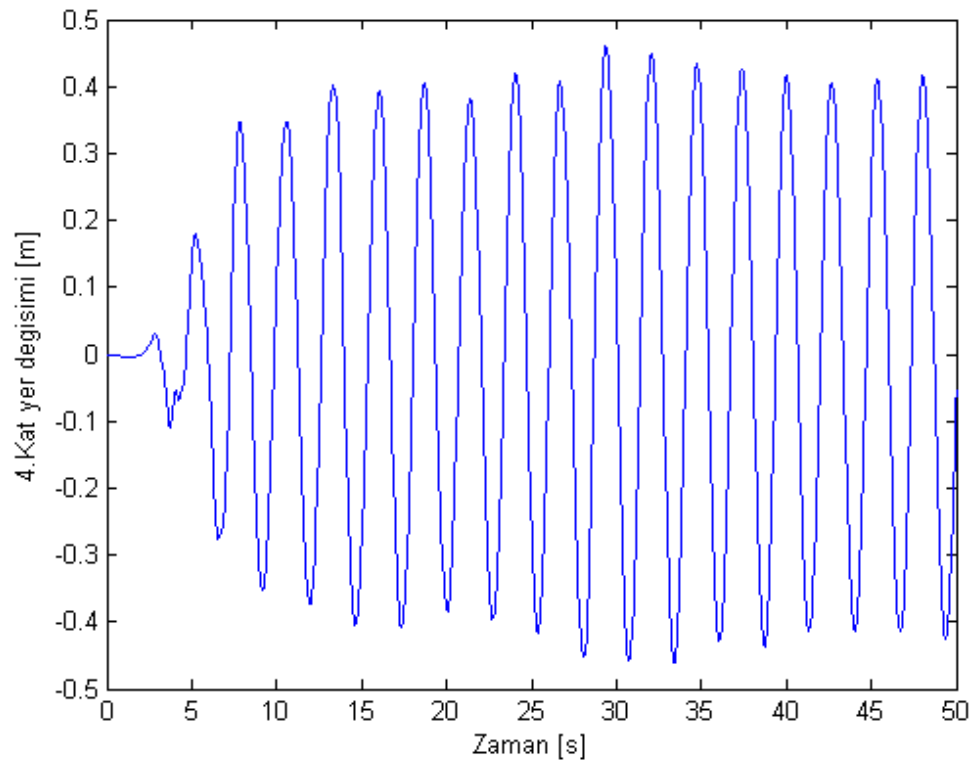
Şekil 4.12 İkinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği



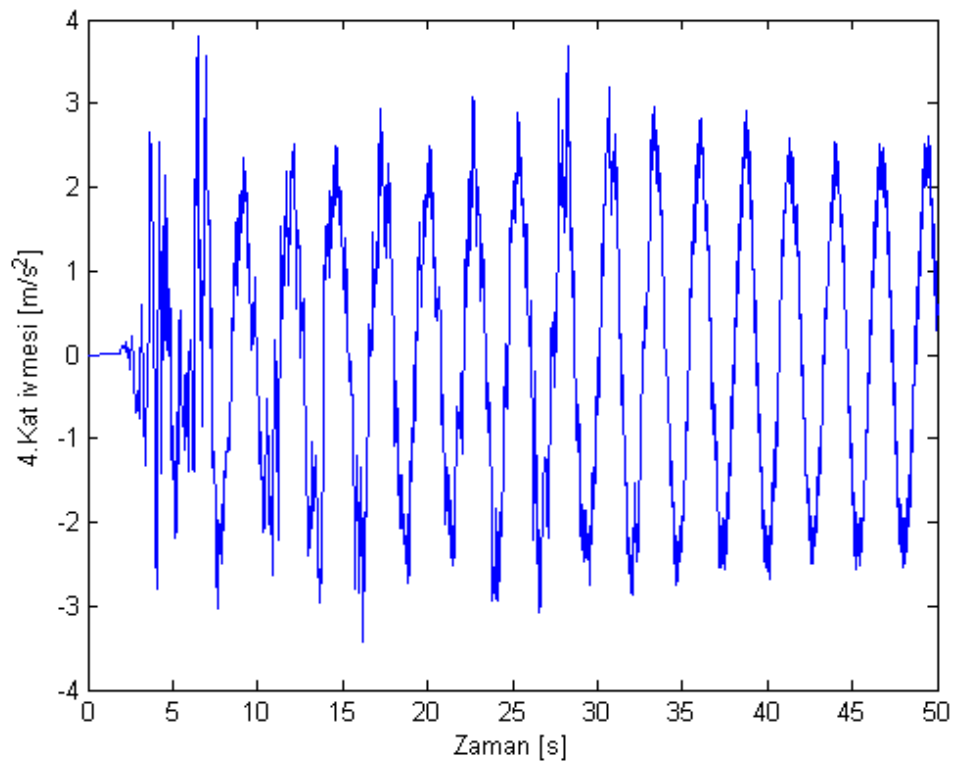
Şekil 4.13 Üçüncü kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



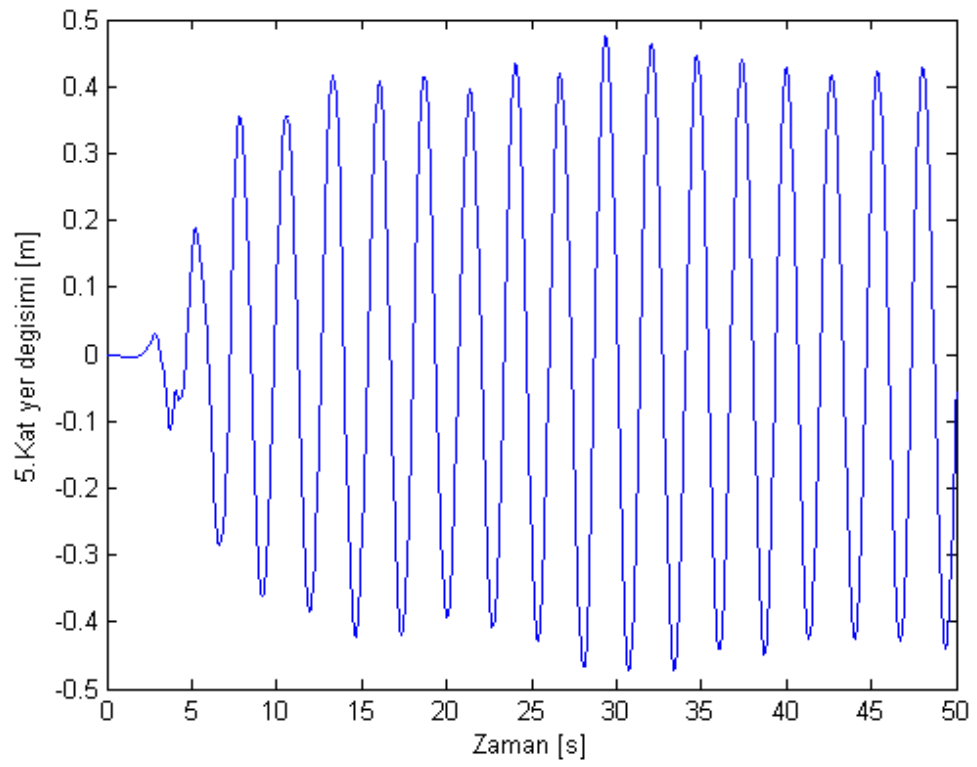
Şekil 4.14 Üçüncü kata ait zamana bağlı ivme grafiği



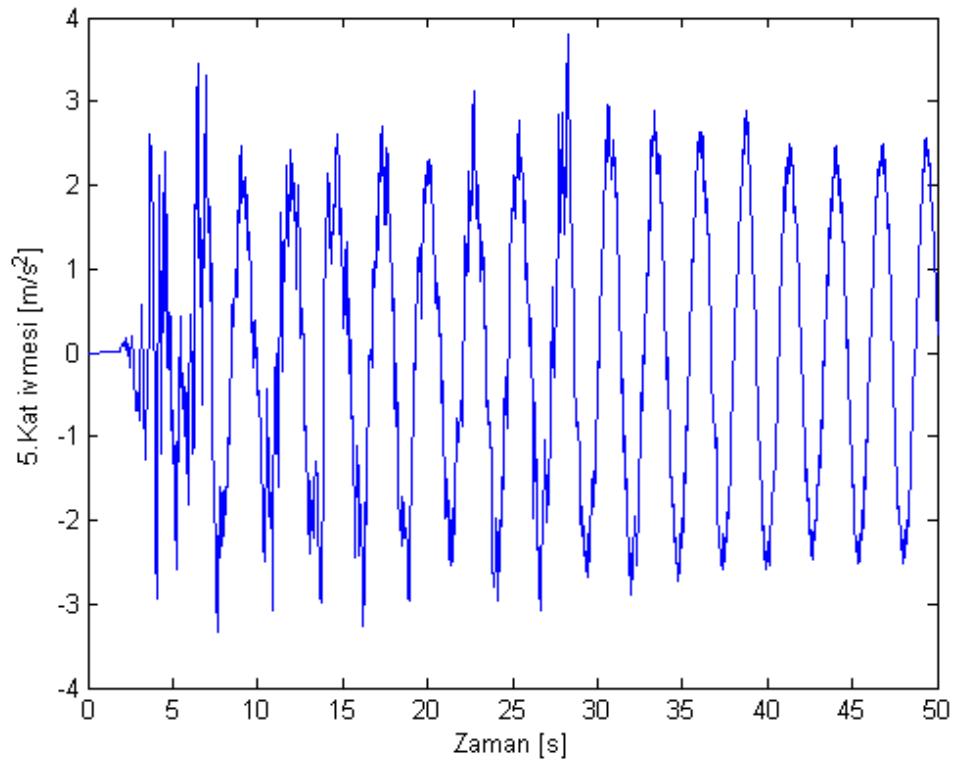
Şekil 4.15 Dördüncü kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



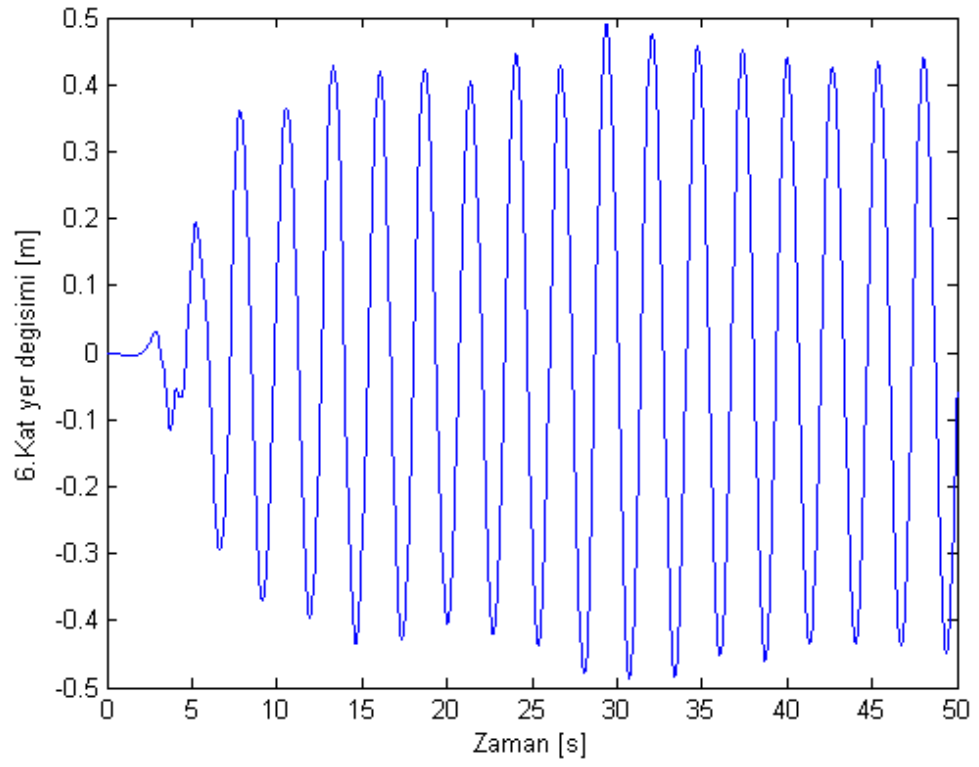
Şekil 4.16 Dördüncü kata ait zamana bağlı ivme grafiği



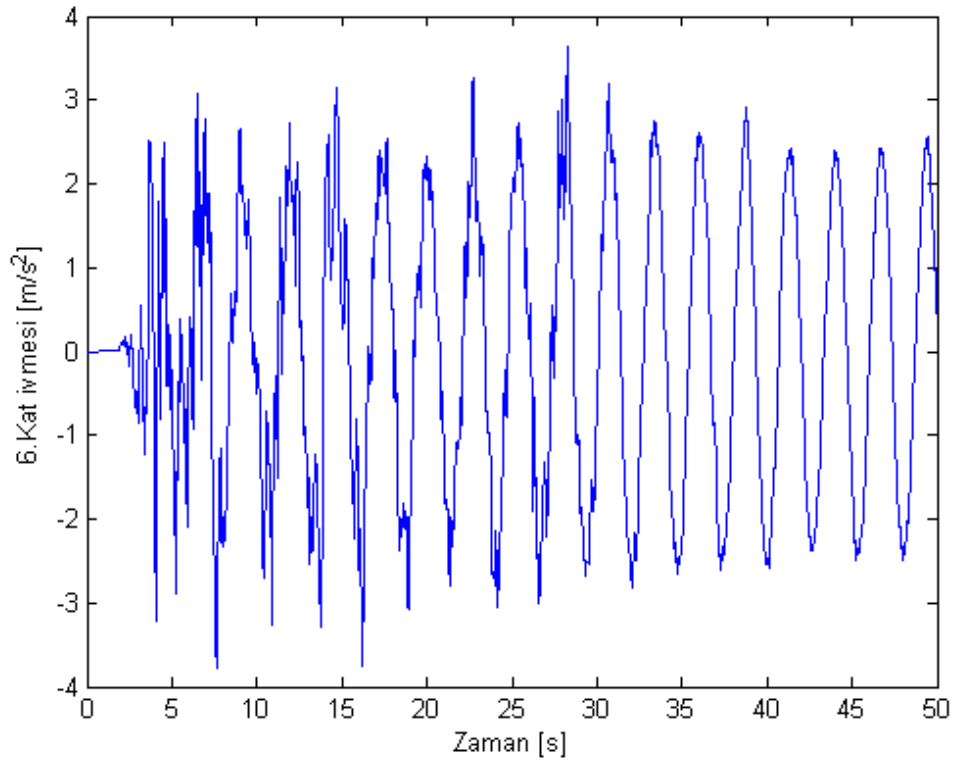
Şekil 4.17 Beşinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



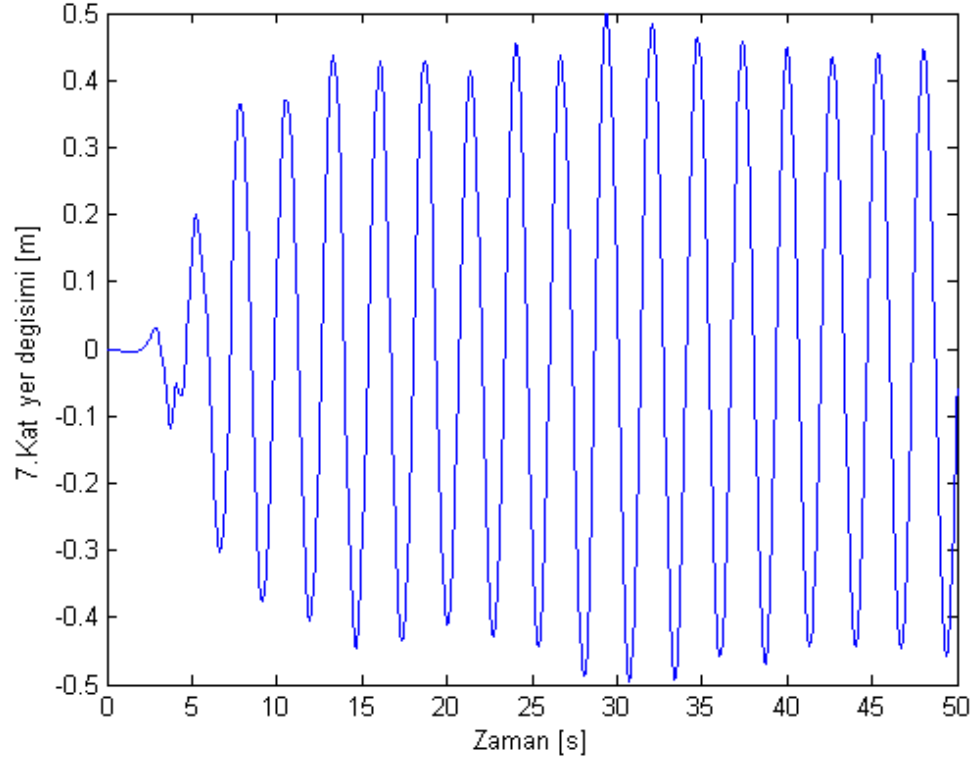
Şekil 4.18 Beşinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği



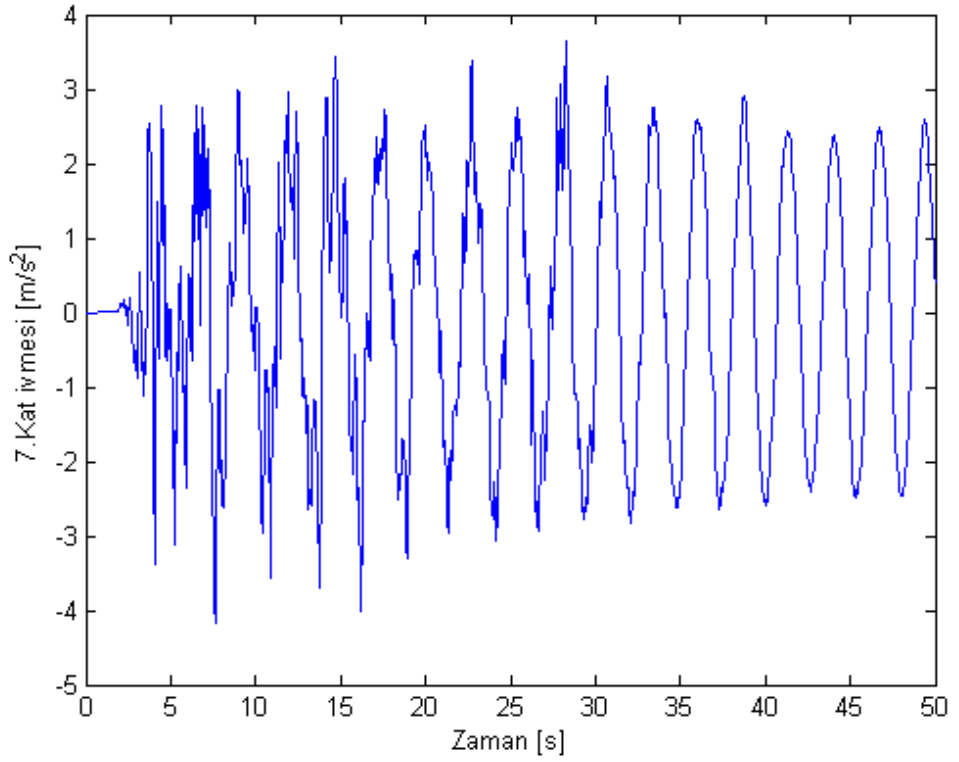
Şekil 4.19 Altıncı kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



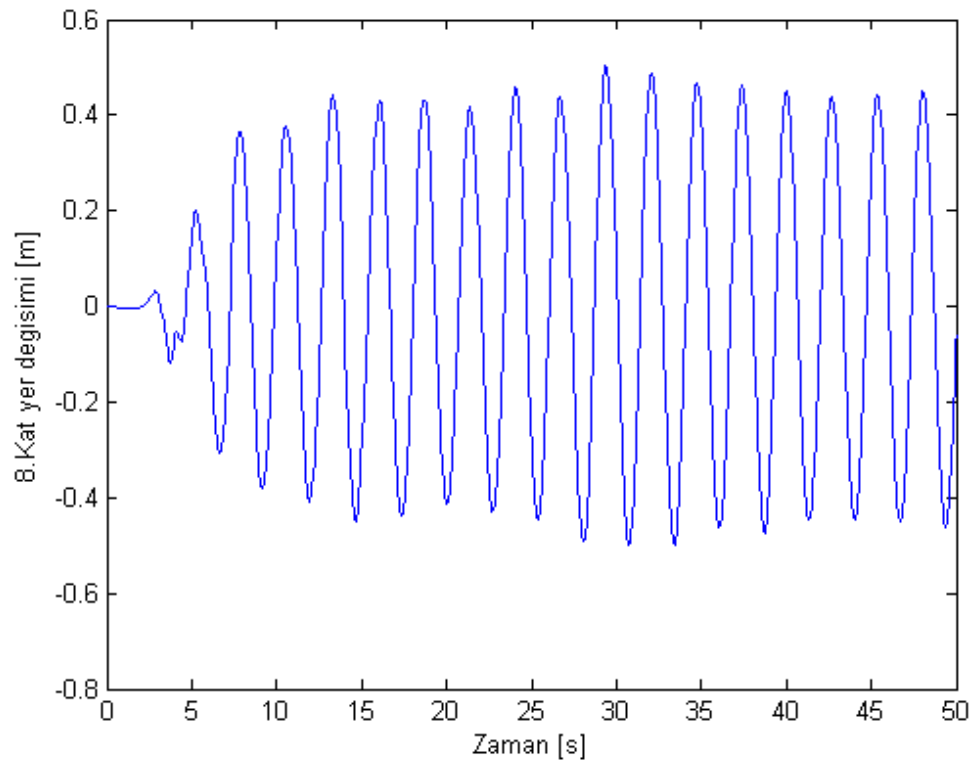
Şekil 4.20 Altıncı kata ait zamana bağlı ivme grafiği



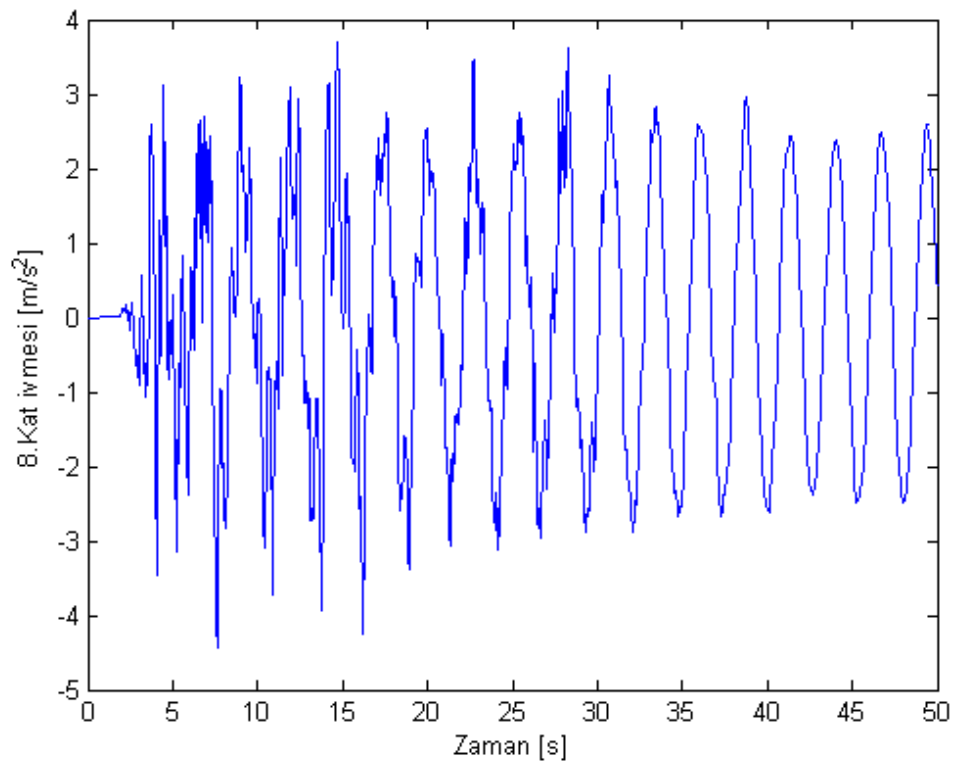
Şekil 4.21 Yedinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



Şekil 4.22 Yedinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği



Şekil 4.23 Sekizinci kata ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



Şekil 4.24 Sekizinci kata ait zamana bağlı ivme grafiği

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Depremler yüzyıllardan beri dünyanın çeşitli bölgelerinde oluşmakta, yıkıcı etkileri can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Türkiye deprem haritası incelendiğinde, ülkemizin büyük bir bölümünün 1. derece deprem kuşağı içinde kaldığı görülmektedir.

Bu tezde deprem anında örnek bir binada oluşan yer değiştirmeler ve yer değiştirme ivmelerine ait matematiksel model ortaya konulmuş ve modelin simülasyonu MATLAB\Simulink yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle deprem mühendisliği açısından depreme dayanıklı yapı yapma tekniklerinin geliştirilmesi, deprem tehlike ve riski ile deprem senaryolarına uygun bina tasarımlarına geçilmesi, bilgisayar ortamında deprem parametrelerinin değerlendirilmesi, binaların depremsellik özelliklerinin tayin edilmesi ve deprem merkez üssünden çeşitli uzaklıklarda oluşabilecek hasar tahminleri için yararlı bir projeksiyon aracının ortaya konulması gibi bir dizi katkı sağlanmış olmaktadır.

Tezde bir binanın depremsellik yönünden analizine ilişkin matematiksel model; katların yer değiştirilmesini, katların kütlelerini, katların rijitliğini, katların ve katların dış sönüm katsayısını içermektedir (Bölüm 4.2). Söz konusu matematiksel modelde, her kat için ikinci dereceden diferansiyel denklemlerin toplam onaltı dereceden matris biçiminde ifadesi yer almaktadır (Denklem 4.3).

Matematiksel modelde tanımlanan $[M]$, $[C]$, $[K]$, $[Y]$, ve $[F]$, matrisleri reel katsayılı matrisleridir. $[M]$ ve $[K]$ köşegen matris, $[Y]$, $[F]$, ise sütun matristir; tanımlanan tüm matrislerin derecesi, incelenecek binanın katlarının sayısına eşittir.

Ortaya konulan matematiksel modelin simülasyonu için Simulink'in dinamik modeli kullanılmıştır. Bina parametreleri; her katın kütlesi, her katın sürtünme katsayısı ve her katın yay sabitinden oluşmaktadır. Deprem kayıtlarından elde edilecek bulgular, önerilen matematiksel model, göz önüne alınan binanın ilgili deprem parametreleri ve Simulink'in dinamik modeli yardımıyla parametrik bir analiz gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.8).

Simülasyon için seçilen bina sekiz katlıdır ve binanın "m", "k" ve "c" parametreleri gerçek bilgilere dayanmaktadır. Diğer taraftan deprem kaynağı olarak, 18 Mayıs 1940'da California'da El-Centro gözlem merkezinden kayıt edilmiş 7.1 büyüklüğündeki depremin ivme bilgileri esas alınmıştır.

Simülasyon sonucunda sekiz katlı binanın her katının yer değiştirme ivmesinin

(m/s²) ve yer değişiminin (m) zamana bağlı fonksiyonları elde edilmiştir.

Simülasyon bulgularından;

- Her kattaki yer değişiminin ve ivmenin farklı olduğu,
- Söz konusu farklılığın kat sayısına göre değiştiiği, ancak fonksiyonel ilişkinin lineer olmadığı,
- İvmenin genliğinin birinci kattan itibaren üst katlara doğru gidildikçe pozitif tepe değerlerinin azaldığı, ancak negatif tepe değerlerinin arttığı,
- Yer değişim genliklerinin birinci kattan itibaren üst katlara doğru gittikçe arttığı

gözlenmektedir.

Tezdeki matematiksel model ve kullanılan simülasyon tekniği yardımıyla bir bölgede yapılacak binaların olası deprem kaynağından uzaklıkları, olası depremin büyüklüğü, projedeki katların sayısı dikkate alınarak depremsellik yönünden etkin bir analiz gerçekleştirilebilecektir.

Yakın gelecekte İstanbul'da beklenen büyük bir deprem olasılığı kapsamında bina bazında yapılmış olan bu çalışma, Genel ve Yerel Yönetimler desteğiyle üniversiteler tarafından geliştirilmesi ve İstanbul'da yaşanılan bütün binalara uygulanması durumunda can ve mal kaybının azaltılmasına yardımcı olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- ALKAN, M.Ö.**, Sansür Jurnal ve Söylentiler arasında 1894 ‘İstanbul Depremi’, Cogito 20. sayı (Deprem Özel Sayısı), 1999
- ALPTEKİN, Ö.**, Sismoloji Ders Notları, İ.Ü. Jeofizik Mühendisliği Böl., İstanbul, 1996
- BARKA, A.A.**, The North anatolian fault Zone. Annales Tectonicae, Special Issue, Suppl. To Vol. VI, 164-195, 1992
- BULLEN, K.E.**, An introduction to the theory of seismology, Cambridge University Pres, 1963
- ERDİK, M. O.**, Torsional effects in dynamically excited structures, Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, Rice University, Houston, Texas, USA, 1975
- ERDİK, M. O.**, 2003 Yılıının son Depremleri (Bam Depremi) ve Düşündürdükleri, Boğaziçi Üniversitesi, s:4-7, 2003
- ERGUVANLI, A.**, Depremlerin Oluş Nedenleri Hakkında, Deprem Araştırma Bülteni, Yıl: 6, Sayı:4, 1979
- FUJİNO, Y.**, Susumpow, T., An Experimental Study on Active Control of In-Plane Cable Vibration by Axial Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.23, No.12, pp. 1283-1297, 1994
- FUKUTAKE K**, Ohtsuki A, ve Shamoto Y., Analysis of Saturated Dense Sand-Structure System and Comparison with Results from Shaking Table Test, Earthquake and Structural Dynamics, Vol. 19, pp 977-992, 1990
- GAZETAS G.**, Vibrational Characteristics of soil deposits with variable velocity, International Journal of Numerical and Analytical Methods, 6: 1-20, 1982
- GUTENBERG, B.** ve Richter, C.F., Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration., Bull. Seism. Soc. Amer., 46, 105-145, 1956
- GÜNEY, D.**, B.M.H., İTÜ Dergisi, Cilt:5, Sayı:3, Kısım:2, 165-174, 2006
- GÜNEY, D.**, Boduroglu, M. H., Aydın, E., Dolgu duvarların simetrik ve asimetric yapıların lineer olmayan davranışlarına etkisi, ACE 2004, 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 October 2004, İstanbul, Turkey, pp:374-384, 2004
- HARPUTLUGİL, G.**, Harputlugil, T., Mimarlıkta Simulasyon, Yapı dergisi, 304. sayı, 96-100, 2007
- HOUSNER, G. W.**, Outinen, H., The effect of torsional oscillations on earthquake

stres, Bull. Seismological Society of America, 221-229, 1958.

KAN, C. L., Chopra, A. K., Torsional coupling and earthquake response of simple elastic and inelastic systems, Journal of Structural Engineering (ASCE), 107, 1569-1588, 1981

KANATANI, M., Nishi, K., Tourma, J., Ohnami, M. and Nsrnita, H., Numerical simulation of shaking table tests by non-linear response analysis method, Proc. 2nd Int. Conf. On Recent Advances in Geomechnaical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Lous, Missouri, Paper No.5.6., March 11-15, 1991

KAVAZANJIAN, E. Jr. and Matasovic, N., Seismic Analysis of Solid Waste Landfills, Proc. Geoenvironment 2000, ASCE Geotech. Spec. Publ. No. 46, ASCE. Reston, 1066-1080, 1995

KETİN, İ., Genel Jeoloji-Yer Bilimlerine Giriş, Cilt I, İTÜ Vakfı, Yayın no:22, 1988

LE PICHON, X., Şengör, C. and Tok, B., The Active Main Marmara Fault, Earth and Planet, Sci. Lett., 192, 595-616, 2001

MONCARZ, P.D., Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering, Ph.D. Thesis, Stanford University, California, 1981

ÖZPALANLAR, C.G., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2005

PARSONS, T., Shinji, T., Stein, R.S., Barka, A., Dietrich, J.H., Heightened Odds of Large Earthquakes Near Istanbul: An interaction based probability calculation. Science, 288, 661-665, 2000

ROSSENBUETH, E., Considerations on torsion, overturning and drift limitations, Proc. SEAOC Conference, Cornado, Mexico, 36-38, 1957

ŞİMŞEK, H., Deprem Bilgisi, Genel Kurmay Başkanlığı, Harp Akademileri Basımevi, İstanbul, 1999

TÜYSÜZ, O., Deprem ve Türkiye, İTÜ, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, 2007

YAZICI, H., Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Titreşimlerinin Bulanık Mantıkla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2006

ZOBU, Ö., Aktif Pasif Yapı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 1997

INTERNET KAYNAKLARI :

www.depem.gov.tr

www.benkold.com

www.bnsc.gov.uk/lzcontent.aspx?nid=4743

www.vibrationdata.com/elcentro.htm

www.turkpoint.com/depem/dogru.asp

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 15.08.1977

Doğum yeri : Batman

Lise : 1992–1995 Üsküdar Halide Edip Adıvar Lisesi

Lisans : 1995–2002 İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2005–2008 Haliç Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yönetim Bilişim Sistemleri.

Çalıştığı kurumlar

1996–1998 Biltekteş A.Ş., Teknik Servis Görevlisi

1998–2001 Arcom Bilgisayar Ltd. Şti., Genel Müdür

2003–2008 Başel Oyuncak Ltd. Şti., Dış İlişkiler Sorumlusu