Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama

Engin Yavuz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık, 2008

Seismic Isolation Technique and Sample Experiment Related to Its Use

Engin Yavuz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Deparment of Civil Engineering

December, 2008

Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama

Engin Yavuz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasan Selim Şengel

Aralık, 2008

ONAY

Yapı Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Engin Yavuz' un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman **:** Yrd. Doç. Dr. Hasan Selim Şengel

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Selim Şengel

Üye : Prof. Dr. Hasan Gönen

Üye : Prof. Dr. Eşref Ünlüoğlu

Üye : Doç. Dr. Yücel Güney

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mizan Doğan

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

SİSMİK İZOLASYON TEKNİĞİ VE KULLANILIŞINA İLİŞKİN ÖRNEK UYGULAMA

Engin Yavuz

ÖZET

Sismik izolasyon yönteminde amaç zemin ile yapının tabanı arasına esnek enerji sönümleyici elemanlar yerleştirerek zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bu çalışmada, yapıların sismik taban izolasyonu tekniği ile tasarlanarak, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi incelenmektedir. Çalışmanın giriş kısmında deprem yükleri etkisi altındaki yapı davranışı ve depreme dayanıklı yapı tasarımının genel ilkelerinden bahsedilmiştir. Son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan sismik izolasyon yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiş ve sismik izolasyon çeşitleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Daha sonra yapılarda kullanılan sismik yalıtım malzemeleri tanıtılmış ve ilgili yönetmeliklerle bu malzemelerin boyutlandırılması hakkında bilgiler verilmiştir. Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek maksadıyla 5 katlı örnek bir bina ve Erzurum Devlet Hastanesi önce ankastre temelli olarak, daha sonra sismik izolasyonlu olarak analiz edilmiş ve zaman tanım alanında deprem kayıtları altında analizleri yapılmıştır. Sismik taban izolasyonunun avantajları ve dezavantajları, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolatörler, sismik taban izolasyonu, kauçuk izolatör, deprem analizi

SEISMIC ISOLATION TECHNIQUE AND SAMPLE EXPERIMENT RELATED TO ITS USE

Engin Yavuz

SUMMARY

The objective of seismic isolation technique is to reduce the seismic force transmitted from the soil to a structure by inserting flexible and dissipative elements below foundation of structure. This study is focused on the seismic base isolators to be used for earthquake resistant structure and also their applications. In the first part of study is mentioned general information about earthquake and earthquake engineering, behaviors of structures under the earthquake loading, basic principle of earthquake resistant of building. Then seismic isolators material properties and types of seismic isolators are discussed. The basic principle of seismic isolation is transmitted from the ground or foundation to the structure for control of the earthquake energy. A theoretical five story plane frame is selected for numerical solution. The time history analyses are carried out for a five story and Erzurum Goverment Hospital example buildings firstly, for the fixedbased and secondly for the seismic-isolated with lead rubber bearing. The displacements, bending moments, base shears, structural periods have been determinate for a variety of conditions in order to illustrate the relative advantages of the seismic base isolation.

Key Words: Seismic Isolation, seismic base isolation, lead rubber bearing, earthquake resistant structure

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince gerek derslerimde, gerekse tez çalışmalarımda bilgi, görüş ve tecrübesiyle beni yönlendiren, tez çalışması süresince sonsuz hoşgörüsünü eksik etmeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hasan Selim Şengel'e, modelleri oluşturma ve analizleri değerlendirme aşamasında bana her zaman yardımcı olan ve bu süreçte engin hoşgörülerini eksik etmeyen Kare Müh. Müş. San. Tic. Ltd. Şti.'den saygı değer Levent Darı'ya ve Mehmet Atasoy'a, Dumanoğlu Müh. Müş. San. Tic. Ltd. Şti.'den saygı değer Dilaver Dumanoğlu'na ve Zafer Söğütdelen'e, halen çalışmakta bulunduğum GenesisTP Inc.'den mühendislik departmanları müdürü saygı değer Fikret Duvan' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü maddi, manevi destekleri ve gösterdikleri anlayış için değerli aileme ve her zaman desteğini yanımda hissettiğim nişanlıma teşekkür ederim.

Engin YAVUZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....v
SUMMARY.....vi
TEŞEKKÜR.....vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....xiv

1. GİRİŞ…….....1

1.1 Yapı Zemin Etkileşimi.....2
1.2 Zeminin Büyütme Etkisi.....3
1.3 Deprem Yalıtımı Tasarımının Temel Unsurları.....5
1.4 Yalıtılmış Binanın Modellenmesi.....6

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....8

2.1 ABD yönetmelikleri.....15
2.2 Avrupa Birliği ve İtalya yönetmelikleri.....18
2.1.2 Taşıma gücü performans sınıfı (ULS-ultimate limit state).....18
2.1.2 Serviste kalma performans sınıfı (DLS - service or damage limit state).....19
2.3 Japon yönetmelikleri.....20

3.SİSMİK İZOLASYON.....24

3.1 Sismik İzolasyon Tekniği.....24
3.2 Sismik İzolasyon tekniğinde Sağlanması Gereken Temel Koşullar……..27
3.3 Sismik İzolasyon Kullanımında Amaç.....29

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

3.4 Sismik Taban İzolasyon Sistemlerinin Özellikleri.....30
3.5 Uygulama Alanları.....32
3.6 Ülkemizdeki Uygulamalar.....32
3.7 Sismik Taban İzolasyonlu Sistemlerin Sağladığı Avantajlar.....34
3.8 Sismik Yalıtım Cihazları ve Özellikleri.....34
3.8.1 Kauçuk esaslı sismik izolatörler (elastomerik yastıklar).....34
3.8.1.1 Mekanik özellikler.....38
3.8.1.2 Geometrik özellikler.....40
3.8.1.3 Kauçuk izolatörlerin sakıncaları.....41
3.8.2 Sürtünme esaslı sismik izolatörler.....42
3.8.2.1 Çapraz Yaylı Sistemler.....44
3.8.2.2 Eğimli yüzeyli sürtünmeli yalıtıcıların mekanik özellikleri.....48
3.9 Sismik İzolasyonun Teori Esasları.....50
3.9.1 Lineer teori.....50
3.9.1.1 İki serbestlik dereceli sistemleri için hareket denklemleri.....50
3.9.2 Sismik izolasyonlu yapıların genel davranışı.....58
3.10 Sismik İzolasyon İçin Analitik Çözüm Yöntemi.....60
3.10.1 Analiz metotları.....60
3.10.1.1 Eşdeğer yatay yük yöntemi.....60
3.10.1.2 Doğrusal dinamik analiz (mod birleştirme yöntemi-zaman tanım alanında).....61
3.10.1.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz.....62
3.10.2 Deprem yalıtımı tasarımında kullanılan referans değerler.....62

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

4. ANKASTRE MESNETE SAHİP TEMEL İLE SİSMİK İZOLASYONLU SİSTEMİN DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI…..67

4.1 Erzurum Devlet Hastanesi Modellerinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması...67

4.2 Örnek Çelik Yapı Modelinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması…….....92

SONUÇLAR VE ÖNERİLER……...107

KAYNAKLAR DİZİNİ……...110

EKLER…….116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

1.1 Zemin yapısının deprem hasarına etkisi ……..…….....3

1.2 Zemin yapısının deprem hasarına etkisi ……..…….....4

1.3 Zeminyapısına göre ivme değişimi…….....4

3.1 Ankastre mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem sırasında hareketi……..…….....26

3.2 Atatürk Havalimanı dış hatlar terminali'nin çatı makaslarında kullanılan izolatörler …….....33

3.3 Kurşun çekirdekli elastomerik yastık kesiti……..……..…...35

3.4 Düşük ve Yüksek sönümlü elastomer yastık kesiti……..…….36

3.5 Düşük ve Yüksek sönümlü elastomer yastık…..……..……..36

3.6 Kauçuk esaslı sismik izolatörlerin yapıya uygulanması……...…….38

3.7 Elastomerik yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-deplasman eğrisi…....39

3.8 Çelik plakalar arasındaki dairesel kauçuk bir tabakanın şekil faktörü…...41

3.9 Sürtünme esaslı sismik izolatörler…….....44

3.10 Çapraz yaylı sistem kesiti…….……...…..…….....45

3.11 Çapraz yaylı izolatörlerin yapıya uygulanması……..……..…….....47

3.12 Eğimli yüzeyli sürtünmeli yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-deplasman eğrisi…….……..48

3.13 İki serbestlik dereceli izolasyonlu parametreler……...……50

3.14 İki serbestlik dereceli sistemde katların birbirlerine göre yer değiştirmesi.....51

3.15 İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli…….....…….58

3.16 İdealleştirilmiş deplasman spektrumu şekli……...…….....…….64

3.17 Sert zemin sınıfı için değişik fay uzaklıkları ve deprem büyüklükleri için idealleştirilmiş medyan spektral deplasmanlar……...……...65

4.1 Türkiye ve Erzurum' un fay yapısı…….67

4.2 Erzurum Hastanesinin Erzurum fayına göre konumu……..…….67

4.3 Erzurum Devlet Hastanesi sonlu elemanlar modeli……...…….68

4.4 Yalıtıcı birimlerin yalıtım düzlemi üzerindeki konumları……....69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil **Sayfa**

4.5 İzolatörlerin yapının tabanına yerinde yerleşimi……71

4.6 Sismik izolatörlü yapının deformasyon şekli…….76

4.7 Ankastre mesnetli temele sahip yapının deformasyon şekli……..77

4.8 Sismik izolatörlü yapının zaman-deplasman eğrisi……..……..78

4.9 Sismik izolatörlü yapının zaman-yatay kuvvet eğrisi……....78

4.10 Ankastre mesnetli temele sahip yapının kuvvet-deplasman eğrisi……....79

4.11 Ankastre mesnetli temele sahip yapının zaman-yatay kuvvet eğrisi…....79

4.12 Çelik yapının sap2000 modeli……..…..92

4.13 Sismik izolatörlü yapının deformasyon şekli……...…..94

4.14 Ankastre mesnetli temele sahip yapının deformasyon şekli ……...……..94

4.15 Taban izolasyonlu yapının 1.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi…95

4.16 Ankastre mesnetli temele sahip yapının 1.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi……...……...96

4.17 Taban izolasyonlu yapının 2.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi…97

4.18 Ankastre mesnetli temele sahip yapının 2.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi……..……..……...……...98

4.19 Taban izolasyonlu yapının 3.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi…99

4.20 Ankastre mesnetli temele sahip yapının 3.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi……100

4.21 Taban izolasyonlu yapının 4.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi..101

4.22 Ankastre mesnetli temele sahip yapının 4.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi……...….102

4.23 Taban izolasyonlu yapının 5.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi..103

4.24 Ankastre mesnetli temele sahip yapının 5.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi……...….104

4.25 Sismik izolatörlü çelik yapının zaman-deplasman eğrisi……106

4.26 Ankastre mesnetli temele sahip çelik yapının zaman-deplasman eğrisi..106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

4.1 Prototip deney sonuçları (MCE seviyesinde 3 döngü ortalaması)……..72

4.2 Sismik izolatörlü sistemin deprem nedeniyle x ve y yönünde maruz kaldığı kesme kuvvetleri…….....74

4.3 Ankastre mesnetli temele sahip sistemin deprem nedeniyle x ve y yönünde maruz kaldığı kesme kuvvetleri…….75

4.4 Ankastre mesnetli model ile taban izolasyonlu modelin kat deplasmanları.....75

4.5 Sismik İzolatörlü model temel kirişleri sol mesnet moment ve donatı alanı değerleri.....81

4.6 Sismik İzolatörlü model temel kirişleri açıklık moment ve donatı alanı değerleri.....82

4.7 Sismik İzolatörlü model temel kirişleri sağ mesnet moment ve donatı alanı değerleri.....83

4.8 Sismik İzolatörlü model temel kirişleri max. kesme kuvveti ve etriye alanı değerleri.....84

4.9 Ankastre temele sahip model temel kirişleri sol mesnet moment ve donatı alanı değerleri…….....85

4.10 Ankastre temele sahip model temel kirişleri açıklık moment ve donatı alanı değerleri…….....86

4.11 Ankastre temele sahip model temel kirişleri sağ mesnet moment ve donatı alanı değerleri…….....87

4.12 Ankastre temele sahip model temel kirişleri max. kesme kuvveti ve etriye alanı değerleri…….....88

4.13 Sismik İzolatörlü yapıda bulunan bazı düşey taşıyıcı elemanların taşıdıkları moment ve düşey yük değerleri…...…….90

4.14 Ankastre mesnetli yapıda bulunan bazı düşey taşıyıcı elemanların taşıdıkları moment ve düşey yük değerleri…….……....……..91

4.15 Çelik Yapı modeline ait teknik bilgiler……..93

4.16 Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat ivmeleri……..……....105

4.17 Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat yer değiştirmeleri ……...105

4.18 Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat kesme kuvvetleri……..…..105

4.19 Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat moment değerleri…...…….105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Elastomer Katmanın Kapalı Yüzey Alanı
A_c	Gövde Kesiti Beton Alanı
A_s	Donatı Kesit Alanı
A_o	Etkin Yer İvmesi
A_p	Kurşun Çekirdeğin Çapı
b_w	Kiriş Gövde Genişliği
c	Sönüm
C	Sönüm Matrisi
C_v	Sismik Zemin Katsayısı
d	Faydalı Yükseklik
d_M,D	Maksimum Deplasman
D_y	Akma Deplasmanı
e_x, e_y	x ve y Doğrultularındaki Dış Merkezlikler
F	Kuvvet
f_{cd}	Beton Tasarım Çekme Dayanımı
f_{ctd}	Beton Tasarım Eksenel Çekme Dayanımı
f_{yd}	Boyuna Donatı Tasarım Akma Dayanımı
F_y	Akma Kuvveti
G	Kayma Modülü
H_i	i Katının Yüksekliği
I	Yapı Önem Katsayısı
k	Rijitlik
k_1	Elastik Rijitlik
k_2	Elastik Ötesi (Akma Sonrası) Rijitlik
k_e	Etkin (sekant) Rijitlik
k_γ	Düşey Rijitlik
m	Kütle

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

Simgeler	Açıklama
m_b	Dengeleyici Kütle
M_d	Tasarım Eğilme Momenti
N_d	Tasarım Eksenel Kuvveti
Q	Karakteristik Dayanım
r	Kayma Yüzeyi Eğrilik Yarıçapı
R	İçbükey Eğrilik Yarıçapı
R	Taşıyıcı Sitem Davranış Katsayısı
S	Şekil Faktörü
s	Etriye Aralığı
T	Periyod
T_D	Titreşim Periyodu
t_e	Toplam Elastomer Kalınlığı
u	Yer Değiştirme Vektörü
v	Göreceli Yer Değiştirme
V_b	Yalıtıcı Sistemde Oluşacak Kesme Kuvveti
V_d	Tasarım Kesme Kuvveti
V_t	Taban Kesme Kuvveti
W	Yapı Ağırlığından Doğan Düşey Yük
W_d	Yatay Kuvvet-Deplasman Alanı
α	Ankastre Mesnetli Sistemin Periyodunun, Taban İzolasyonlu Sitemin Periyoduna Oranı
β	Sönüm Faktörü
β_e	Viskoz Sönüm Faktörü
γ	Kütleler Oranı
η	Taban Kütlesinin Üst Yapı Kütlesine Oranı
ζ	Sönüm Oranı
μ	Akma Kuvveti Sürtünme Katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

Simgeler	Açıklama
τ_{yp}	Akma Kayma Gerilmesi
ω	Açısal Frekans

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ASCE	İnşaat Mühendisleri Amerikan Derneği
CEN	Avrupa Standartları Komisyonu
cm	santimetre
DBE	Tasarlanan Maksimum Deprem Yükü
DLS	Serviste Kalma Performans Sınıfı
EC	Avrupa Kotu
IBC	Uluslararası Yapı Kotu
kN	Kilonewton
m	Metre
mm	Milimetre
max.	Maksimum
MCE	Tasarlanan Efektif Deprem Yükü
min.	Minimum
NEHRP	Ulusal Deprem Risk Azaltma Programı
S	saniye
UBC	Amerikan Standart Yapı Kanunları
ULS	Taşıma Gücü Performans Sınıfı
USGS	Amerika Jeoloji Kurumu
t	ton

1.GİRİŞ

Depremin doğası ve yapılar üzerine etki eden kuvvetlerin büyüklüğü hakkında daha çok bilgiler edindikçe, güvenliği artırmak amacıyla daha dayanıklı binalar yapılmaktadır. Binaların göçmesinin önüne geçmek amacıyla, depreme dayanıklı yapı yapılmakta fakat yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin azaltılması tam anlamıyla sağlanamamaktadır. Bu da, orta büyüklükteki depremlerde bile yapıda hasarların beklenebileceği anlamına gelmektedir.

Bir binada deprem sırasında oluşabilecek etkilere karşı dayanım kazandırmakla sorumlu olan yapı mühendisinin karşılaşacağı temel ikilem, göreli kat ötelemesini ve kat ivmelerini minimize etmektir. Büyük göreli kat ötelemeleri, yapısal olmayan elemanlarda hasara neden olmaktadır. Yapıyı daha rijit hale getirerek, göreli kat ötelemeleri sınırlandırılabilir. Ancak bu yöntem, yer hareketi etkisinin büyümesine ve hassas eşyalara zarar gelmesine neden olabilecek yüksek kat ivmelerinin meydana gelmesine yol açacaktır. Kat ivmeleri ise, yapı sistemini daha esnek hale getirerek azaltılabilir. Fakat bu kez de büyük göreli kat ötelemeleri meydana gelecektir. Göreli kat ötelemesini ve kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmanın tek uygulanabilir yolu, sismik izolasyon yöntemini kullanmaktır. Sismik izolasyon sistemi gerekli esnekliği, izolasyon seviyesinde toplanan yer değiştirmeler vasıtası ile sağlamaktadır.

Sismik izolasyon yöntemi, uygulandığı yapıya; hem ankastre mesnetli sistemin frekansından hem de yer hareketinin hakim frekanslarından çok daha küçük olan bir asal frekans vermektedir. Sismik izolasyonlu yapının birinci dinamik modu sırasında yer değiştirme sadece izolasyon sisteminde olur. Üst yapı nerede ise tamamen rijit davranış gösterir.

Sismik izolasyon yöntemini irdelemek amacıyla, bu çalışmanın ikinci bölümünde sismik izolasyon yöntemi ile ilgili yönetmeliklerden ve yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise sismik izolasyon tekniği, uygulanışı, çeşitleri ve analiz yöntemleri irdelenmiş dördüncü bölümde bu bilgilerin ışığında ankastre tabanlı ve taban izolasyonlu iki tip örnek incelenerek dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.1 Yapı Zemin Etkileşimi

Depremler yer hareketi ile yapıyı salınıma zorlamaktadır. Yapının salınım süresinin her bir devrine yapının salınım periyodu denir. Yapının periyodu yapı yüksekliğine, zemin cinsine ve depremin şiddetine yakından bağlıdır. Tek katlı bir yapının salınımı saniyede 10 defa olması yapı periyodunun 0.1 saniye olması demektir. Örneğin Ankara'da bulunan Kızılay binasının ölçülen salınımı 1.5 saniye olması binanın deprem sırasında bir defa gidip gelmesi 1.5 saniyede anlamındadır. Yani yapılar yükseldikçe periyotları da artmaktadır. Yapıların periyotları yanında üzerinde bulundukları zeminlerinde bir periyodu vardır. Örneğin sert kaya zeminlerin periyodu 8-10 saniye olurken yumuşak zeminlerin periyodu 1-3 saniye olmaktadır (Doğan, 2005).

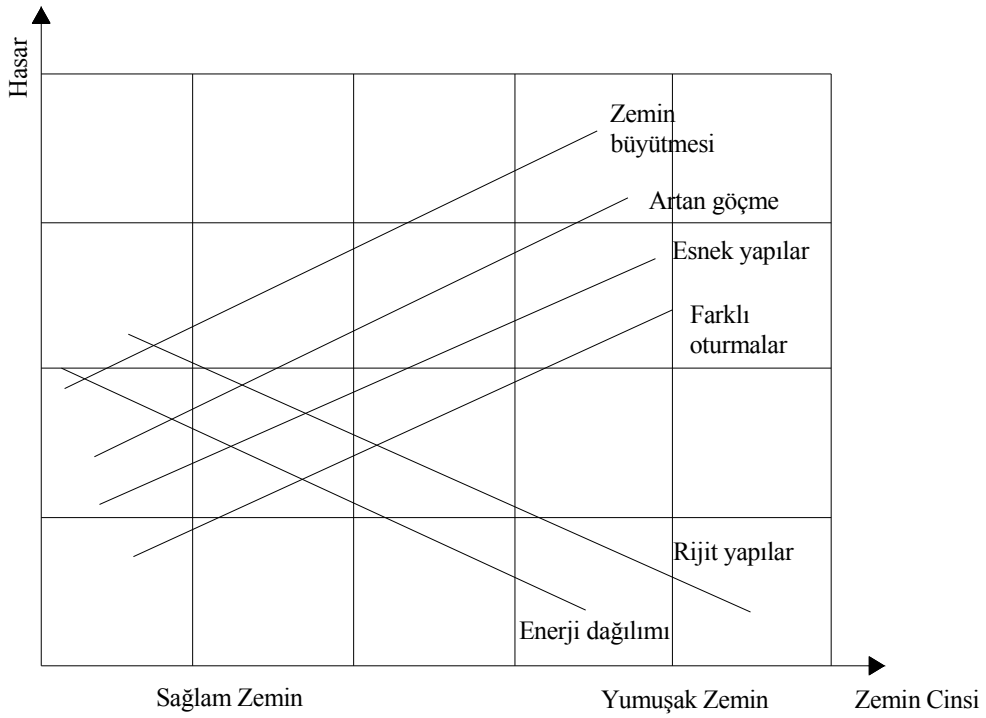
Deprem esnasında yapının periyodu ile zeminin periyodunun birbirine yakın olduğu durumlarda yapının rezonansa girmesinden dolayı deprem hasarı beklenenin çok üzerinde olmaktadır. Bu durum deprem esnasında yapıya gelen kuvvetin her seferinde yapının hızını artıracak şekilde etkimesidir. Örneğin periyodu 0.7 saniye olan dolgu bir zemin üzerine periyodu 0.6-0.8 saniye olan 10 katlı bir yapı ile 0.1 saniye olan bir tek katlı yapı yapılmış ise depremde 10 katlı yapı dayanıklıda yapılmış olsa tek katlı binadan daha çok hasar görebilmektedir. Bunun nedeni apartmanın periyodu ile zeminin periyodunun birbirine yakın olmasından dolayı ortaya çıkan rezonans olayından kaynaklanmaktadır. Genel olarak "uzun periyotlu yapıların kısa periyotlu zeminler üzerine, kısa periyotlu yapılarında uzun periyotlu zeminler üzerine yapılması" depreme dayanıklı yapı yapmanın önemli bir aşamasını oluşturur. Yani kaya zeminler üzerine çok katlı yapılar, yumuşak zeminler üzerine az katlı yapılar yapılmalıdır (Doğan, 2005).

1.2 Zeminin Büyütme (Amplifikasyon) Etkisi

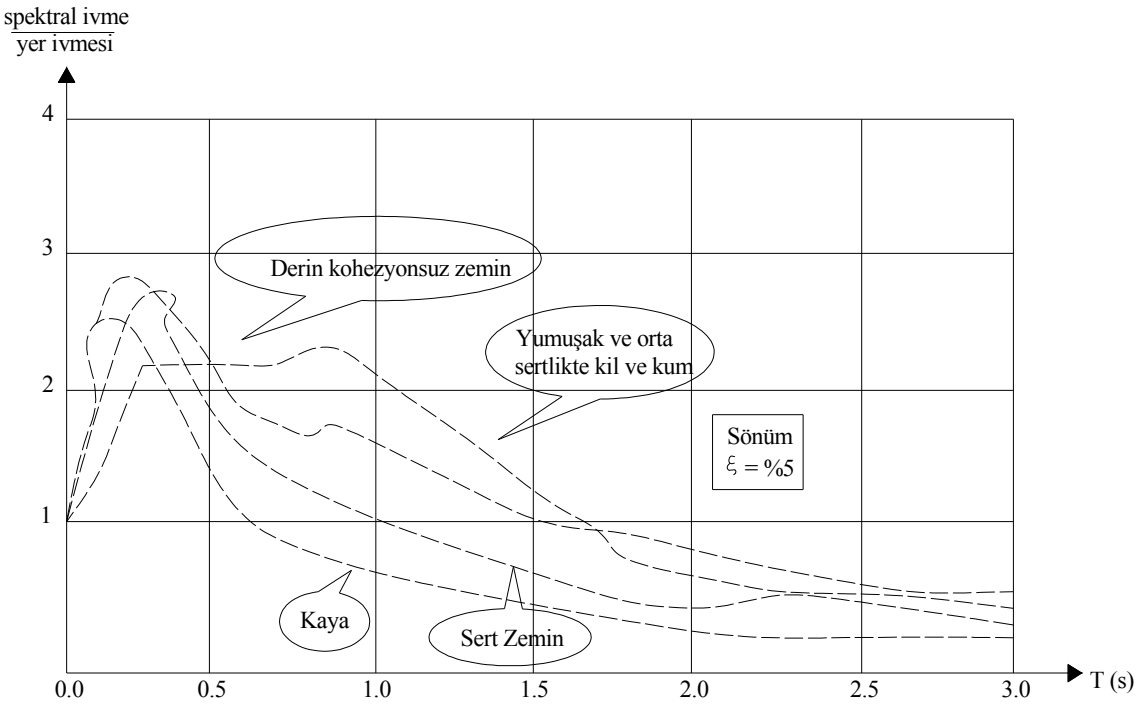
Zeminde hiçbir göçme gözlenmediği halde zeminin yapıya etkiyen deprem ivmesiyle hasarı büyütmesi depremlerden sonra sıkça görülen ve tam olarak çözülmemiş bir olaydır. Depremin yapıya etkisi yerel zemin koşullarına yakından bağlıdır (Şekil 1.2). Depremden sonra yapılardaki hasar miktarı en büyük yer ivmesinin yanında yer hareketinin frekansına ve süresine bağlıdır. Bazı durumlarda 0.5 g yer ivmesine kadar yükselebilen yer ivmesi yüksek frekanslı ve çok kısa süreli olduğu için yapılarda hiçbir hasar yapmazken, 0.002 g yer ivmesi yer hareketinin frekans özelliklerine ve sürelerine bağlı olmak üzere yapılarda birçok hasara sebep olmaktadır. İki ayrı sahada yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aynı yer ivmesine sahip zeminlerde iki hareketin davranış spektrumları birbirinden çok farklı spektral maksimum ivme ve periyot değerleri vermekte bundan dolayı o zeminler üzerine inşa edilmiş yapılara etkiyen yatay kuvvetler çok değişik olmaktadır. Kaya üzerinde T=0.90 saniye periyotlu sünek bir yapı depreme dayanım gösterirken, rijitlik perdesi ile T=0.34 saniye değerine düşürülmüş aynı yapı kaya üzerinde hasar görebilmektedir. Aynı şekilde T=0.60-1.0 saniye periyotlu bir zemin üzerinde sünek yapı göçerken, perdeli yapı ayakta kalabilmektedir (Şekil 1.1). Zemin yapısına göre iveme değişimi Şekil 1.3' de gösterildiği gibidir (Doğan, 2005).



Şekil 1.1. Zemin yapısının yapıya etkisi (http://www.sayisalgrafik.com.tr)



Şekil 1.2. Zemin yapısının deprem hasarına etkisi (Doğan, 2005)



Şekil 1.3. Zemin yapısına göre ivme değişimi (Doğan, 2005)

1.3 Deprem Yalıtımı Tasarımının Temel Unsurları

Binalarda uygulanacak deprem yalıtım sisteminin ana amacı yapının yatay yük taşıyıcı sistemine gelecek deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bu azaltımın sağlanması için yalıtılmış yapının temel titreşim periyodunun yükseltilmesi ve/veya yapı etkin sönüm oranının arttırılması gereklidir. Binalarda yalıtıcı birimlerden oluşan yalıtım sistemi genellikle binanın ana kütlesi altında yer alan bir yalıtım ara yüzüne yerleştirilmektedir (Erdik ve Mungan, 2007).

Yalıtım sistemini oluşturan elemanlar yalıtıcı birimleri olarak adlandırılır. Bu birimler genellikle: Elastomerik Yalıtıcılar (Kurşun Çekirdekli Elastomer Yalıtıcılar Yüksek Sönümlü Elastomer Yalıtıcılar) veya Eğimli Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtıcılar (Küresel yüzey veya kızaklı, bir veya iki taraflı) tipinde olmakta veya çelik yaylar ve söndürücü elemanlardan oluşmaktadır (Erdik ve Mungan, 2007).

Binalarda kullanılan deprem yalıtımı birimleri genellikle aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- Yüksek düşey rijitlik
- Düşük yatay rijitlik
- Düşey yük taşıyabilme
- Enerji yutumu
- Deprem sonrası yeniden merkezlenme
- Deprem harici yatay yükler (Rüzgar gibi) karşısında yüksek yatay rijitlik

Ayrıca yalıtım birimleri en büyük deplasman ve düşey yük birleşimleri altında kararlı olmalı, artan yanal deplasmanlarla artan direnç göstermeli ve tekrarlı yükler altında fiziksel özelliklerindeki değişimler sınırlı kalmalıdır (Erdik ve Mungan, 2007).

Deprem yalıtımı tasarımı için istenen performans kriterleri kullanılacak şartnameye bağlı olarak değişim gösterse bile genelde aşağıdaki kriterler öngörülmektedir.

- Tasarım Depremi (50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip yer bağımlı deprem yer hareketi) etkisi yapısal sistemde herhangi bir hasar oluşmayacak ve tasarım deprem sonrası en az "Hemen Kullanım" olmak üzere performans kriteri sağlanacaktır (Erdik ve Mungan, 2007).
- En büyük Deprem (50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip yer bağımlı deprem yer hareketi) etkisi altında deprem yalıtım sisteminde herhangi bir hasar oluşmayacak ve yapısal sistemde en az "Can Emniyeti" performans kriteri sağlanacaktır (Erdik ve Mungan, 2007).

1.4 Yalıtılmış Binanın Modellenmesi

Yalıtılmış binanın deprem davranış analizi için genellikle alt ve üst yapı doğrusal, yalıtım sistemi ise visko-elastik doğrusal veya doğrusal-olmayan şekilde modellenmektedir. Yalıtım sistemindeki eşdeğer rijitlik, sönüm ve sürtünme katsayısının alt sınır değerlerinin kabulü ile en büyük yalıtıcı deplasmanları, rijitlik, sönüm ve sürtünme katsayısının üst sınır değerlerinin kabulü ile de en büyük üstyapı ivmeleri, atalet kuvvetleri, yapısal gerilme ve deplasmanlar elde edilir. Yalıtıcı özelliklerinin alt ve üst sınırları genellikle testler vasıtası ile belirlenir. Ancak, ön tasarım amacı ile üst ve alt sınır değerleri arasındaki oran 1.4 olarak kabul edilebilir (Erdik and Constantinou, 2005).

Etkin sönüm oranlarının çok yüksek olmadığı (%30'un altında) ve fiziksel özelliklerin yükleme hızından oldukça bağımsız olduğu durumlarda yalıtıcı sistem eşdeğer doğrusal (Viskoelastik) olarak modellenebilir. Üst- ve alt-yapının her durumda doğrusal elastik olarak modellenmesi mümkündür (Erdik and Constantinou, 2005).

Yalıtıcı sisteminin toplam düşey rijitliği ve üst yapı kütlesi göz önüne alınarak bulunan bağlantısız doğal titreşim periyodunun 0.1s veya daha yüksek olması durumunda yalıtıcı birim ve üst yapı modelinde düşey serbestlik derecelerinin göz önüne alınması ve analizlerde deprem yer hareketinin yatay ve düşey bileşenleri ile kullanılması uygun olacaktır (Erdik and Constantinou, 2005).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyon fikri ilk defa, Tokyo Üniversitesi'nde, Doktor Milne (1875-1985) tarafından geliştirilmiş olan sismik taban izolasyonuyla başlamıştır. Doktor Milne, örnek bina inşaatında 25 cm çapında bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve hafif depremler süresince memnun edici sonuçlara ulaşmıştır. Bu yöntem çok basit olmasına rağmen pratik ve kullanılabilir olamamıştır. Çünkü bilyeler üzerinde duran yapı rüzgâr yükü etkisiyle bile kolayca hareketlenebilmiş ve herhangi bir yükleme sonrasında ilk konumuna dönememiştir. Daha sonra taban izolasyonunda kullanılan bilyelerin çapı 2,5cm' ye düşürülmüş ve sonuç daha memnun edici olmuştur. Fakat yapı deprem sonrası ilk konumuna dönme mekanizmasına sahip olmadığı için pek kullanım alanı bulamamıştır (Yücesoy, 2005).

Daha sonraları 20.yüzyılın başlarında, yapıların deprem kuvvetleri etkisinden korunabilmesi için pek çok çalışma yapılmış ve farklı sistemler geliştirilmiştir. Sonrasında İngiltere' de yaşayan Doktor J.A. Calantarients, 1909 yılında binaların yapımı sırasında, yapı altına talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek olacağını ve bu sayede de yapıya transfer olacak kuvvetin azaltılabilmesinin mümkün olabileceğini savunmuştur. Bu önerilen yöntem tamamıyla yapının zeminden yalıtılarak deprem kuvvetlerinin etkilerinden korunmasına dayanır (Naeim and Kelly, 1999).

Son yıllarda J.M. Kelly bu konuyu ayrıntılarıyla ele almış bir bilim adamıdır. California Berkeley Üniversitesinde çalışmalarını sürdüren Kelly, özelikle elastomerik mesnetler üzerinde, teorik ve uygulama bazında ayrıntılı çalışmalar yapmıştır. (Naeim and Kelly, 1999).

Kauçuk izolatörler üst yapı ile temel arasında yerleştirilerek zemin titreşimlerinin yapıyı etkilememesi için üst yapıyı temelden ayırmak suretiyle yapının enerji yutma kapasitesi ile esnekliğini arttırmak ve temelden yapıya iletilen yatay ivmenin azaltılmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. 1956' da İngiltere' de bir

köprüde (Pelham Bridge in Lincoln) tabakalı doğal kauçuk izolatörler ısısal genleşmeye karşı kullanılmıştır (Yücesoy, 2005).

Yapıları depremlerin etkilerinden korumaya yönelik çalışmalar 1920' li yıllarda uygulamaya geçirilmiştir. Fakat modern anlamda sismik izolasyonun uygulanması 1960' lı yıllarda olmuştur. 1970' de Yugoslavya Skopje' de bir ilkokulda ilk defa kauçuk İzolatörler kullanılmış ve taban izolasyonu teknolojisine yeni ve tartışılır yaklaşımlar getirilmiştir. Söz konusu ilkokul binası üç katlı bir betonarme yapı olup 1969' da tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak kullanılan kauçuklar arasında tabakalı halde çelik levhalar bulunmadığından düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiştir. Kullanılan izolatörler şimdikinden farklı olarak sadece kauçuk bloklardan ibarettirler. Zira kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi olarak sorunlar oluşmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem esnasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sıçrayabilmektedir. Sonuçta mesnetleri tabakalandırmak suretiyle araya çelik levhalar atılarak düşey rijitlik büyük oranda arttırılmış ve bahsi geçen sıçrama problemi aşılmıştır. Kauçuk izolatörler, pahalı olmadıkları gibi, sürekli ve emniyetlidir. İzolatörler düşey doğrultuda çok rijit ve yatay doğrultuda çok esnektirler. Sismik yükler altında davranışları göz önüne alındığında, ayırıcı mesnetlerin deprem yer hareketinin düşey bileşenlerine karşı bir koruyuculuğu yoktur. Düşey bileşeni yapıya iletir. Asıl amaç deprem hareketinin yatay bileşeninden yapıyı korumaktır. Çünkü düşey ivme genelde düzenli bir yapı için problem olmaz (Yücesoy, 2005).

Doğal kauçuğun yaygın olarak kullanımı ise, 1970 yılında Malezya Kauçuk Üretimi ve Araştırma Birliği tarafından kauçuk mesnetlerin geliştirilmesiyle başlar. Bu mesnetler köprü ayaklarının zeminden yalıtımında kullanılmış ve daha sonra yapıların taban yalıtımında kullanım alanı bulmuştur. Aynı yıllarda ilk defa kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılması için çalışmalar başlatılmıştır. Yeni Zellanda' da uygulanan bu sistem (kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler), Japonya' da bir çok yapıda ve Amerika' da kullanım alanı bulmuştur. Gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan sistemin geliştirilmesi için özellikle Japonya' da birçok şirket tarafından önemli çalışmalar yapılmaktadır (Naeim and Kelly, 1999).

Bir diğer sismik izolasyon yöntemi olarak önerilen sürtünmeli sistem taban izolasyon sistemi, bir sürtünmeli kayan mekanizmadan ibarettir. Yatay sürtünme kuvvetleri, enerjiyi yok eder ve harekete karşı koyar. Bina temelinde bir silindir veya bir kum tabakası kullanımı bu sisteme verilebilecek en basit örnektir. Özellikle Çin' de az katlı yapıları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Sürtünmeli izolasyon sistemlerinin geleneksel kauçuk mesnet sistemlerine göre; geniş frekans dağılımı için etkili olabilmesi, sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnedin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesi ile orantılı olabilmesi ve simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkilerinin azalması gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Yücesoy, 2005).

İyi bir taşıyıcı sistem şu şekilde tasarlanmalıdır; rijit diyafram hareketinin gerçekleşebilmesi için izolatörlerin üstünde beton bir plak bulunmalıdır. İzolatörlerin üzerindeki beton plak üzerine kenar kirişler (bağ kirişleri) yerleştirilir. İzolatörlerin üzerinde çapraz kirişler de olmalıdır. Yükleri temel zeminine aktarmak için izolatörlerin altına çelik plakalar yerleştirilmelidir. Taban izolasyonundaki diğer bir amaç titreşimin yüksek frekansından yapıyı korumaktır. Yüksek binalar için, uzun doğal periyotlarda tabanda kaldırma (uplift) kuvvetleri ve büyük yer değiştirmeler nedeniyle stabilite sorunları (devrilme vb.) olacağından çok yüksek binalara sismik izolasyon yapılması uygun olmamaktadır (Kelly, et al., 2001).

Sismik izolasyonu; zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azaltılması, yani yer hareketinin yapıda meydana getireceği hasarında azaltılması anlamına geldiğini, yapının tabanında düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinin yüksek frekanslı etkisinden ayırma işlemi olarak tanımlayan Skinner yazdığı "An Introduction to Seismic Isolation" adlı kitabıyla bu metodun dünyaya tanıtılmasını sağlamıştır (Skinner, et al., 1993).

Deprem sırasında belirli bir miktarda enerji ortaya çıkmakta ve saçılmaktadır. Deprem nedeniyle yapıya etkiyen enerjinin, yapıya zarar vermeden karşılanması gerekmektedir. Bu enerji ısıya dönüşüp kaybolur ya da yutulan enerji olarak kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki çeşit enerjiye dönüşür. Sismik taban izolasyon

sistemleri gibi yapıya ilave edilen bazı araçlar ile yapı sistemine giren enerjinin bir kısmı yutularak yapının sismik performansı artırmaktadır. Bu yöntemler ile yapıya etkiyen enerji miktarının taban izolatörleri tarafından küçültülerek yapıya aktarılması sağladığından yapının maruz kaldığı deprem enerjisi küçülmekte ve yapının depreme karşı dayanımı artmaktadır (Yücesoy, 2005).

Sismik izolasyonun etkili olabilmesi ve periyodun uzaması için yapının esnekliğinin artırılması gerekmektedir. Periyodun artması ile yapının doğal frekansı azalacağından rijitlik de azalacak ve yapı belli bir elastikiyet kazanacaktır. Yapıdaki yer değiştirmelerin pratik olarak tasarlanan seviyeye indirilebilmesi için yapının enerji yutma kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Böylece yapıda oluşabilecek büyük rölatif yer değiştirmeler kontrol altına alınabilmektedir (Whittaker, et al., 1998).

Sismik taban izolasyon sistemleri kullanılmasıyla deprem sırasında yapıya iletilen enerjideki kayıplar ve yapının esnekliğinin artması sonucu taşıyıcı elemanlarda (kolon, kiriş, perde duvar v.b.) plastik mafsallar oluşmaktadır. Sonuçta meydana gelen elastik olmayan deformasyonlar plastik mafsal bölgesinde kalır. Bu sayede, deprem esnasında yapıya iletilebilecek enerjinin çoğu yatay kuvvetlere karşı dayanımlı taban izolasyon sistemleri tarafından sönümlenmektedir (Yücesoy, 2005).

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan, sürtünmeli sarkaç sistemi, daha önce verilen sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık önemli parametrelerdir. Zira bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkesine dayanmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemin uygulandığı yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi kayıcı olup silindirik iç bükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir (Ateş ve Dumanoğlu, 1999).

Zemin hakim periyodu ile yapının titreşim periyodu arasında rezonans olayının mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Bunun için hakim periyodu büyük yumuşak zeminlerde, daha küçük periyotlara sahip az katlı yapılar; hakim periyodu düşük kaya zeminlerde ise daha yüksek periyotlara sahip çok katlı yapıların yapılması deprem açısından daha uygun olacaktır. Ancak genelde uygulamalarda diğer başka isteklerden dolayı her zaman bu uygulama mümkün olmamaktadır. Ancak yapı ile zemin arasına özel düzenekler veya malzemeler yerleştirilerek, yapının dinamik davranışı değiştirilmekte ve yer hareketinden yalıtılan yapıda deprem etkisi azaltılabilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2000).

Pasif kontrol sistemleri olarak adlandırılan sismik taban izolatörleri herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemlerdir. Yapıya ilave edilen enerji yutucu cihazlar ve yüksüz yatak elemanlarla yapının deprem etkisindeki deplasmanlarını azaltmak pasif kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır. Bu elemanların kullanımı ile yapının kolon, kiriş ve duvarlarında meydana gelecek zorlanmalar büyük ölçüde azaltılır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı değişen dış etkilere karşı kendilerini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olmalarıdır. Örnek olarak seçilen sekiz katlı bir binada sismik taban izolasyonu uygulaması durumundaki etkiler Erzincan 1992 deprem ivme kayıtları kullanılarak araştırılmıştır. Taban izolasyonlu yapıda oluşan deplasmanların % 40-50 azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca taban izolasyonun çok yüksek yapılarda uygulama zorluklarına değinilerek bu yapılar için aktif sismik kontrol sistemleri önerilmiştir (Yücesoy, 2005).

Sismik izolasyon, depreme dayanıklı yapı tasarımında başka bir seçenek olarak son yıllarda önem kazanmıştır. Bu yöntem ile yapıya gelen deprem yüklerini azaltma yolunda önemli adımlar atılmış ve bu amaçla değişik malzemeler geliştirilmiştir. Bu uygulamalar ile yapılan binalar pek çok önemli büyüklükteki depremi başarı ile atlatarak oldukça başarılı olmuşlardır. Bayülke (2002)' de taban yalıtımı ile depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri, taban izolasyonunda kullanılacak lastik takozların özellikleri ve tasarımları hakkında detaylı bilgiler verilmekte ve bazı uygulamalardan ve sonuçlardan bahsedilmektedir (Bayülke, 2002).

Ülkemizde de son yıllarda özellikle Marmara depreminden sonra, sismik izolasyon konusunda pek çok çalışmaya rastlanmaktadır. S. Tezcan ve S. Cimilli tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde sismik taban izolatörlerinin uygulamaları, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. İki katlı villa tipi bir yapıda kauçuk esaslı taban izolasyonu kullanılması durumunda yapı davranışı incelenmiştir. Yapı 1992 Erzincan deprem kayıtları ile çözülmüştür. Afet yönetmeliğimizde bu konuda henüz kurallar olmadığı için UCB 1997 Amerika bina yönetmeliği kullanılmıştır (Tezcan ve Cimilli, 2002).

Tezcan ve Erkal (2002)' de ise yapılarda deprem etkilerini kontrol altına alabilmek amacıyla kullanılan çeşitli pasif kontrol elemanları tanıtılmış ve bunlar hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Histeretik sistemlerin viskoelastik sönümleyicilerin, sürtünmeli çelik levhaların ve kauçuk esaslı izolatörlerin davranışları incelenmiştir. Bu amaçla örnek bir çerçeve seçilmiş, bu çerçeve üzerinde enerji yutucu cihazlar ve sismik taban izolatörleri kullanılarak deprem etkisindeki davranışları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deprem kaydı olarak Marmara Depremi kullanılmıştır. (Tezcan ve Erkal, 2002).

İzolatörler yapıya deprem hakim periyodundan daha büyük bir periyot kazandırarak, yıkıcı deprem etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde oldukça başarılı performans gösteren bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Su aşamada bu sistemin uygulanmasının çok da ucuz olduğu söylenemez ancak insan hayatının önemiyle kıyaslanamayacağı için kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Özellikle depremden sonra hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, havaalanları, enerji ve haberleşme ve tesisleri ile idari binalar, okullar, alışveriş merkezleri gibi insanların toplu olarak bulunduğu özel yapılarda bu sistemlerin kullanılmasının yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesinin oldukça yararlı olacağı belirtilmektedir (Yücesoy, 2005).

Bina planındaki düzensizliklerin özellikle yüksek periyotlarda oldukça önemli olduğu belirtilmektedir. Bu yüzden sekiz katlı L tipi plana sahip bir binanın, doğrusal ve doğrusal olmayan izolatörlerin kullanılması durumunda El Centro, Marmara, Kobe ve Jiji deprem kayıtları etkisi altındaki çözümleri yapılmıştır. Doğrusal mekanik özellikli malzemeler için çözüm hem zaman uzayında hem de frekans uzayında yapılmış, doğrusal olmayan malzemeler içinse çözüm zaman uzayında yapılmıştır. Burada farklı rijitlikte malzemeler kullanılarak izolatörün mekanik özelliklerinin yapı periyodunda ve deplasmanlarında oluşturduğu etkiler araştırılmıştır. Ayrıca farklı sönüm oranına sahip enerji yutucu sönümleyicilerin bina üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır (Yücesoy, 2005).

Sismik etki altındaki taban izolasyonlu binaların, komşu yapılarla etkileşimini ve gerekli sınır mesafeleri de incelenmiştir. Farklı deprem kayıtları ile sismik izolatör kullanılmış binaların hareketleri araştırılmış ve komşu binalarla çarpışma durumu incelenmiştir. Çarpışma olması durumunda binada ortaya çıkacak hasarlar belirlenmiştir (Yücesoy, 2005).

Sismik izolasyon son yıllarda çok değişik yapılarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sismik taban izolasyonun yığma yapılarda kullanımı da mümkündür. Özellikle son yıllarda tarihi eserlerin ve tarihi yapıların depremlerden etkilenmesini önleyebilmek amacıyla sismik izolasyon yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle köprü ayaklarında kullanılan sismik izolatörler oldukça başarılı olmuşlardır. Şu anda pek çok köprü ayağında izolatörler kullanılmaktadır. Kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik ve davranış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuarlarda malzeme üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Portatif yapılara sismik izolatörler yerleştirilerek, sarsma tablalarında testler yapılabilmektedir. Kauçuk esaslı izolatörler dışında farklı malzemelerden ve farklı mekanik düzeneklerden oluşan izolatörlerde geliştirilmektedir. Son yıllarda sürtünmeli sarkaç adı verilen özel düzeneğindeki sürtünme ile yapıya gelen enerjinin bir kısmının sönümlenmesini sağlayan düzenekler geliştirilmiştir. Yine bu model izolatörler üzerinde de deneysel çalışmalar yapılmakta ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmaktadır (Yücesoy, 2005).

Deprem izolasyon sistemi uygulanacak binalarda deprem yönetmeliği kuralları yerine, sismik izolasyon yönetmelikleri kuralları uygulanır. Binaların deprem yalıtımı ile ilgili tasarım yönetmelikleri ABD, Avrupa Birliği (İtalya), Japonya, Çin ve Meksika'da hazırlanmış bulunmaktadır.

2.1 ABD Yönetmelikleri

ABD'de binaların deprem tasarımı için genellikle kullanılmakta olan American Society of Civil Engineers (2005), Naional Earthquake Hazards Reduction Program (2003) ve International Building Code (2006) şartnameleri deprem yalıtımı tasarımı hususunda tamamen benzer hükümler içermektedir.

IBC (2006) deprem yalıtım sistemlerinin tasarımı konusunda jenerik bir şartnamedir. Yalıtım sisteminde kullanılan yalıtıcı birimler deplasman kapasitesi, kuvvet-deformasyon eğrilerinde pozitif eğim ve tekrarlı histeretik davranışta fiziksel ve yapısal kuralları sağladıkları zaman kullanılabilirler.

Deprem tasarımı iki aşamalı bir deprem performansının sağlanması kapsamında ele alınmaktadır. Tasarım depremi seviyesinde üst ve altyapının doğrusal elastik olarak davranış göstermesi istenmekte ve relatif kat ötelemeleri 0.015 değeri ile sınırlandırılmaktadır. Bu deprem seviyesi ortalama yinelenme süresi 475 yıl olan bir depreme tekabül etmektedir. 2500 yıllık bir ortalama yinelenme süresine tekabül eden en büyük deprem (Maximum Considered Earthquake) seviyesinde ise üst yapıda can emniyetinin sağlanması, yalıtım sisteminde ise deplasman kapasitesinin aşılmamış olması gerekmektedir. ABD' de yaygın olarak kullanılmış bulunan Uniform Building Code (1997) şartnamesinde en büyük deprem seviyesi için ortalama 1000 yıllık bir yinelenme süresi kabul edilmektedir.

IBC (2006) şartnamesinde kullanılan analiz metotları ve kullanım limitleri diğer şartnamelerle büyük bir benzerlik göstermektedir. Tüm gelişmiş analiz yöntemlerinden önce eşdeğer yatay yük yöntemine dayalı basit bir analiz yapılarak yalıtım sistemindeki en büyük yer değiştirmelerin ve tasarım depremi altında üst yapıda oluşacak taban

kesme kuvvetinin tesbiti esas olmaktadır. Kapsamlı doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda bulunacak yalıtım sistemi en büyük yer değiştirmeleri eşdeğer yatay yük yöntemine dayalı olarak bulunan değerlerin %90'ından daha az olamaz. Benzer şekilde, tasarım kesme kuvvetindeki farklılaşmalarda, yapı düzensizliğine bağlı olarak %60 ve %90 arasında sınırlandırılmıştır.

Tasarım spektrumu en büyük deprem için verilen %5 sönümlü, yer bağımlı yatay ivme spektrumunun 2/3' ü olarak belirlenmektedir. Bu spektrum şekli 0.2s ve 1.0s periyotları için yer bağımlı olarak bulunan spektral ivme genlikleri tarafından belirlenmektedir. Bu spektral ivmeler ABD Jeoloji Kurumu (USGS) tarafından hazırlanmış ve ortalama 2500 yıllık yinelenme süresine tekabül eden probabilistik deprem tehlike haritaları kullanılarak elde edilir. Bu deprem tehlikesi belirlemelerinde, deprem tehlikesinin karakteristik manyitüdlü depremler tarafından kontrol edildiği yakın fay bölgeleri için, karakteristik depremin oluşturacağı ve deterministik olarak hesaplanan medyan yer hareketi seviyesinin 1.5 katı olarak tanımlanan bir üst sınır getirilmiştir. İvme spektrumu 0 ve T_0 periyotları arasında doğrusal, T_0 ve T_S periyotları arasında yatay, T_S ve T_L periyotları arasında 1/T ile ve T_L periyodundan büyük bölgelerde $1/T^2$ ile değişmektedir. T_L periyodu bölgesel bağımlılık göstermekle beraber, ortalama bir değer olarak 8s alınabilir. Bu haritalardan elde edilen spektral genlikler referans zemin koşulu olarak tanımlanan NEHRP B-C (NEHRP, 2003) zemin sınıfı içindir. Diğer zemin sınıfları için bulunacak yer-bağımlı tasarım spektrumları spektral ivmelerin genliklerine ve zemin tiplerine bağlı katsayılarla modifikasyonu neticesinde elde edilir.

IBC (2006) kapsamında kullanılan deprem tehlikesi belirleme haritaları USGS tarafından hazırlanmış ayrıntılı sismotektonik bilgiye dayalı ve gerekli çözünürlüğe haiz 0.2s ve 1s periyotlu spektral ivme kontür haritalarıdır. Şartname kapsamında belirlenen tasarım spektrumu UBC (1997) yönetmeliğinde kapsanmış yakın deprem kaynağı faktörleri (Na ve Nv) ile yapılan önemli düzeltmeleri içermemektedir. Ancak, çok yumuşak zeminlerde yapılacak deprem yalıtımı uygulamalarında ve referans zemindeki 1s periyotlu spektral ivmenin 0.6 g değerini aştığı durumlarda (deprem kaynağına yakın konumlar) tasarım bazlı spektrum ve yer hareketlerinin yer bağımlı özel etüdlerle

bulunması istenmektedir. Mühendis tarafından yapılacak bu özel etüdler ayrıca bir uzman heyeti tarafından denetlenmektedir.

Sadece %5 sönüm oranı için verilen tasarım spektrumunun diğer sönüm oranlarına tahvili için spektral genlikler belirlenmiş periyot aralıklarında sönüm azaltma katsayısı (B) ile bölünür. Şartname kapsamında B katsayısının yalıtım sistemindeki eşdeğer sönüm oranına bağlı olarak bulunması için bir tablo verilmiştir. Bu tabloda %5 eşdeğer sönüm oranı için B=1 ve %50 veya daha yüksek eşdeğer sönüm oranı için B=2 değerini alır.

Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan analiz için uygun yer hareketi takımlarının kullanılması gerekmektedir. Seçilen yer hareketleri manyitüd, fay mesafesi ve kaynak mekanizması bakımından göz önüne alınan en büyük depremi kontrol eden parametrelerle uyum içinde olmalıdır ve mümkün olduğu takdirde gerçek bir depremde kaydedilmiş yatay ivme kayıtları kullanılmalıdır.

Şartnamede öngörülmüş basitleştirilmiş modal analizde sadece üç serbestlik derecesi (yalıtım ara yüzeyinde 2 adet yanal ve bir adet düşey eksen etrafında burulma serbestlik derecesi) kabul edilmekte, alt ve üst yapılar rijit alınmaktadır. IBC (2006) şartnamesinde kullanılan eşdeğer doğrusal statik yöntemde yatay deprem yüklerinin bina katlarındaki boyca dağılımı üçgen olarak kabul edilmiştir. IBC (2006) şartnamesinde düşey deprem hareketinin analizlerde ne şekilde ve hangi şartlarda ele alınacağı kapsanmamıştır. Deprem yalıtımı tasarımı için yapılan tüm analiz ve hesapların bir uzman heyet tarafından denetlenmesi gerekmektedir.

IBC (2006) şartnamesinde yalıtıcı birimlerin fiziksel özelliklerinin tayini amacı ile gerek örnek prototipler üzerinde (her tip için iki birim) ve üretim aşamasında her bir birim için kapsamlı testler öngörülmüştür. Deney sayıları ve şekilleri ayrıntılı olarak belirtilmekte ve özellikle prototip deneylerinde maksimum ve minimum tasarım düşey yükleri ve en büyük yatay yer değiştirme talepleri kullanılmaktadır. Deney sonuçlarına bağlı yalıtıcı birim kabul kriterleri şartnamede belirtilmiştir. Tüm deney ve kabul sürecinin ayrıca bir uzman heyet tarafından denetlenmesi gerekmektedir.

2.2 Avrupa Birliği ve İtalya Yönetmelikleri

Avrupa Standartları Komisyonu (CEN) tarafından kabul edilen "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım Şartları" başlıklı Eurocode-8 standardının (EC-8, 2003; EN 1998-1) 10. bölümünde deprem yalıtımı tasarımı ile ilgili esaslar kapsanmaktadır. Avrupa Birliği tarafından hazırlanmış bulunan prEN 15129 (2007) standart taslağında ise yalıtıcı birimlerin fiziksel özelliklerine yönelik hususlar kapsanmıştır. İtalyan deprem yalıtımı yönetmeliği (İtalya Şartnamesi, 2003) İtalya Başbakanlığının 3274/2003 sayılı kararnamesi Eurocode 8 1998-1 (EC-8, 2003) standardına uygun olarak hazırlanmış bir milli yönetmeliktir. Bu alt bölümde EC-8 (2003) ve İtalyan Şartnamesi ortak olarak değerlendirilecek ve farklılaşmaları belirtilecektir.

EC-8 (2003) ve İtalyan deprem yalıtımı şartnamesinde aşağıdaki iki temel performans sınıfı kullanılmaktadır:

- Taşıma Gücü Performans Sınıfı (ULS-Ultimate Limit State)
- Serviste Kalma Performans Sınıfı (DLS - Service or Damage Limit State)

2.2.1 Taşıma gücü performans sınıfı (ULS-ultimate limit state)

Bu tasarım depremi seviyesi ortalama dönüş süresi 475 yıl olan deprem hareketine tekabül etmektedir. Stratejik binalar için kullanılan 1.4 önem faktörü ile bu sürenin efektif olarak 1400 yıla çıktığı kabul edilebilir (Dolce and Martelli, 2005). Bu sınıf altında yalıtıcı birimlerde oluşan yer değiştirmelerin tahkiki için yer değiştirme talebi ayrıca 1.2 faktörü ile büyütülmektedir. Bu faktörle beraber, stratejik binalarda kullanılan yalıtıcı birimlerin yer değiştirme tahkikleri için göz önüne alınan deprem hareketi ortalama dönüş süresinin 2500 yıl dolaylarına geldiği belirtilmektedir. Bu oranlama yinelenme süresi ABD şartnameleri (IBC, 2003 – MCE depremi seviyesi) ile paralellik arz etmektedir.

2.2.2 Serviste kalma performans sınıfı (DLS - service or damage limit state)

Bu tasarım kapsamında kullanılan deprem seviyesi ortalama dönüş süresi 50 yıl olan deprem hareketine tekabül etmektedir. Stratejik binalar için kullanılan 1.4 önem faktörü ile bu sürenin efektif olarak 100 yıla çıktığı kabul edilebilir (Dolce and Martelli, 2005). Bu performans sınıfına uyum tahkikleri relatif kat ötelemeleri (0.005 – 0.0075) esas alınarak yapılmaktadır.

Dikkat edileceği gibi EC-8 (2003) ve İtalyan şartnamesindeki performans sınıflarının tekabül ettiği deprem hareketi ortalama dönüş süreleri her ne kadar 50 yıl ve 475 yıl olarak belirlenmiş ise de, şartnamede öngörülmüş önem ve yalıtıcı birim yer değiştirme büyütme faktörlerinin kullanılması ile bu süreler efektif olarak 100 ve 1400-2500 yıl seviyelerine çıkmaktadır.

Gerek EC-8 (2003) ve İtalyan şartnamesinde deprem tasarım spektrumu ortalama 475 yıllık yinelenme süresine (50 yılda %10 aşılma olasılığı) tekabül eden deprem yer hareketi ve %5 sönüm oranı için belirlenmiştir. Tasarım spektrumu sadece mühendislik taban katsayısı için bulunan referans en büyük yatay ivme değeri ve zemin sınıflarına bağlı olarak belirlenmektedir. Spektrum şekli T_b, T_c ve T_d köşe periyotları ile ayrılmış sabit sanal spektral ivme, sanal spektral hız ve spektral deplasman bölgelerinden oluşmaktadır. Yatay deprem hareketi tasarım spektrumları: Tip-1 (büyüklüğü 5.5 değerinin üzerinde olan depremlerin yer aldığı orta ve yüksek depremsellik gösteren bölgeler) ve Tip-2 (büyüklüğü 5.5 değerinin altında olan yakın depremlerin yer aldığı düşük depremsellik gösteren bölgeler) olmak üzere iki ayrı tip altında belirlenmiştir. Düşey deprem hareketi ile ilgili tasarım spektrumları ayrıca belirlenmiştir. Spektrum genlikleri bina önem katsayısına bağlı olarak 1.0-1.4 değerleri ile büyütülmektedir. Spektrum şeklinin tanımında kullanılan geçiş periyotlarından en büyüğü için EC-8'de verilen Td = 2.0s köşe periyodu İtalyan şartnamesinde deprem yalıtımı tasarımlarında daha yüksek bir güvenlik sağlanması amacı ile 2.5s değerine çıkartılmıştır.

Standart olarak %5 sönüm oranı için verilen tasarım spektrumlarının diğer sönüm oranları için belirlenmesinde

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \tag{2.1}$$

ifadesi ile bulunan η sönüm faktörü kullanılmaktadır. Burada ζ yüzde olarak sönüm oranını gösterir. Öngörülen en küçük sönüm faktörü olan 0.55 esasen %28 mertebesinde bir sönüm oranına tekabül eder.

EC-8 (2003)' de içermemiş olmasına karşın İtalyan şartnamesinde yakın fay bölgesinde (15 km' den daha yakın) bulunan önemli binalar için yer-bağımlı deprem tasarım spektrumu tayin edilmesi istenmektedir.

Deprem yalıtım sisteminin tasarımı için kullanılacak analiz yöntemleri tüm şartnamelerde yer alan standart metotları kapsamaktadır. Ancak, statik doğrusal analizin uygulanabilmesi için İtalyan şartnamesinde EC-8 (2003) şartnamesine nazaran çok daha spesifik ve sınırlayıcı hükümler mevcuttur. Bu kapsamda dışmerkezlilik oranı (%8), bina plan boyutu ve yüksekliği (20m) ve fay hattına mesafesi (15km) sınırlanmakta ve yalıtıcı birimlerde çekme gerilmelerine izin verilmemektedir. Eşdeğer doğrusal statik yöntemde yatay deprem yüklerinin bina boyunca dağılımı dikdörtgen olarak kabul edilmiştir.

Gerek EC-8 (2003) ve gerekse İtalyan şartnamesinde yalıtım sisteminin düşey ve yatay rijitliklerin oranı belirli bir seviyeyi aştığı zaman (İtalyan şartnamesinde 800, EC-8 (2003)'de 150) veya yalıtılmış üstyapı düşey titreşim periyodu 0.1s'den daha büyük olduğu zaman yapısal davranış analizinin üç eksenli bir deprem hareketinin eşzamanlı olarak uygulanması ile üç-boyutlu olarak gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

Diğer şartnamelerde de olduğu gibi, yalıtım sisteminin doğrusal (visko-elastik) olarak modellenmediği durumlarda üst ve alt yapının doğrusal olarak modellendirilebilindiği zaman tanım alanı analizleri yapılmaktadır.

EC-8 (2003) şartnamesinde üst-yapı yapısal elemanlarının tasarımında (dayanımlarının tahkikinde) yapı davranış katsayısı olarak 1.5 değeri (q=1.5) kullanılmaktadır. İtalyan şartnamesinde bu davranış katsayısının bina tipine ve kat adedine bağlı olarak 1.27 ve 1.73 değerleri arasında değişimi öngörülmüştür. Davranış katsayısındaki bu değişim IBC (2006) şartnamesindeki R faktörü değişimine benzemektedir.

EC-8 (2003) ve İtalyan şartnamesinde "peer review" veya resmi denetim ve ruhsat gibi kurallar bulunmamaktadır. Ancak yalıtım sisteminde kullanılan yalıtıcı birim tiplerinin yanal kuvvet – yer değiştirme karakteristikleri, etkin sönüm oranları, etkin yanal ve düşey rijitlikleri deneylerle belirlenmekte ve tasarımda kullanılacak veya kullanılmış değerler doğrulanmaktadır.

2.3 Japon Yönetmelikleri

Japonya' da 2000 yılı öncesinde yapılan deprem yalıtımı uygulamalarında üç seviyeden oluşan ve en büyük yatay yer hızına bağımlı olarak belirlenmiş bir deprem takımı kullanılarak üst ve alt yapının ve yalıtım sisteminin tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamalar için gerekli izinlerin Japonya Bina Standardı Kanunu gereğince Bayındırlık Bakanlığı' ndan alınması gerekmekte ve tasarımlar resmi bir komite tarafından denetlenmektedir. Tasarımda kullanılacak en büyük yatay yer hızı değerleri 25 cm/s ve 50 cm/s olarak kabul edilmiş ve bu hızlara tekabül eden depremlerin etkisi altında üst ve alt yapıda serviste kalma performansı ve elastomer mesnetlerde ise sırası ile %100 ve %200 seviyesinde kayma birim yer değiştirmesi istenmiştir. Bu deprem seviyeleri binanın ömrü boyunca karşılaşması yüksek ve düşük olasılıklı depremlere karşı gelmektedir. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde genellikle 1940 El Centro NS, 1952 Taft EW ve 1968 Hachinohe NS kuvvetli yer hareketi kayıtları en büyük hız değerleri 25 cm/s ve 50 cm/s değerlerine ölçeklenerek kullanılmıştır. Binanın hasar sınırlama (yapısal elemanlarda akmanın önlenmesi) performans tahkikleri ise 75 cm/s hızına tekabül eden en büyük depremlerin etkisi altında incelenmiş ve bu seviyede elastomer mesnetlerde %300 mertebesinde kayma birim yer değiştirmesine müsaade edilmiştir (Kitagawa and Midorikawa, 1995).

Japonya'da 2000 yılı sonrasında deprem yalıtımlı binaların tasarımı ve inşası için Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı (MOLIT) tarafından 2000 yılında yayınlanmış 2009 numaralı yönetmelik kullanılmaktadır. Bayındırlık Bakanlığı'nın 1446 numaralı yönetmeliği ile yalıtıcı birimlerin özellikleri belirlenmiştir. Deprem yalıtımda kullanılacak yalıtıcı birimlere Bakanlık tarafından ruhsat verilmiş olduğu durumlarda bu birimler herhangi bir laboratuar testi uygulanmadan kullanılmaktadır. Japonya deprem yalıtımı tasarımı yönetmelikleri kapsamında küçük binalar, normal binalar ve özel binalar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Az katlı konut tipi binalar için deprem yalıtımı uygulamaları herhangi bir ayrıntılı hesap ve analize gerek duyulmaksızın konstrüktif kurallara uyularak yapılmaktadır. Bu kurallar kapsamında bina kat planında her bir yalıtıcı birimine düşen alanın $15m^2$ yi geçmemesi ve yalıtıcı birimin en büyük deplasman kapasitesinin 35cm den az olmaması ve bina etrafında en az 50cm boşluk bırakılması gibi hususlar yer almaktadır. Bu basitleştirilmiş tasarım sonucunda yaklaşık 1500 adet küçük binada uygulama yapıldığı belirtilmektedir.

Yüksekliği 60m' nin altında olan ve sıvılaşma ihtimali bulunmayan oldukça kuvvetli zeminlere oturan binalarda deprem yalıtımı tasarımı için kapsamlı yönetmelik hükümleri uygulanmaktadır. Bu guruptaki binaların tasarımında iki performans kriteri öngörülmektedir. Serviste kalma performans kriteri altında ortalama yinelenme süresi 50 yıl olan bir deprem hareketi öngörülmekte ve üst yapı taşıyıcı elemanlarındaki gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmaması, relatif kat deplasmanlarının %0.5 oranının altında kalması istenmektedir. Can emniyetini öngören performans kriterinin tahkiki için ortalama yinelenme süresi 500 yıl olan deprem hareketi kullanılmakta ve yapısal hasar sınırlanmaktadır. Yalıtıcı birimlerde çekme gerilmeleri oluşmasına müsaade edilmemektedir. Can emniyetini içeren performans kriteri için referans zemin ortamı (ortalama kayma dalgası yayılma hızı 400m/s' den daha büyük) için tanımlanmış ve ortalama 500 yıllık dönüş süresine tekabül eden ve aşağıdaki denklemlerle belirlenmiş %5 sönüm oranlı tasarım spektrumu (SA) kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} &T < 0.16s \quad SA = (3.2 + 30T)\ m/s^2 \\ &0.16s<T<0.64s \quad SA = 8\ m/s^2 \ (15) \\ &0.64s < T \quad SA = (5.12 / T)\ m/s^2 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Bu denklemlerde T yalıtılmış yapının yalıtım sisteminin tasarım deformasyonu seviyesindeki sekant rijitliğine göre belirlenmiş titreşim periyodudur. Serviste kalma performans kriteri için kullanılan ve ortalama 50 yıllık dönüş süresine takabül eden deprem yer hareketi spektrumu Denklem (2.3) ile belirlenmiş spektrumun 1/5'i olarak alınmaktadır. Tasarım hesaplarında viskoelastik modellemelere dayalı modal analiz kullanılması yeterlidir.

Bu tasarım spektrumlarından yer-bağımlı tasarım spektrumlarının bulunmasında deprem tehlikesi bölge katsayısı (0.8, 0.9 ve 1.0) ve zemin büyütme faktörleri kullanılmaktadır. Tasarım spektrumunun %5 sönüm oranından daha yüksek eşdeğer sönüm oranlarına tahvili için kullanılan F_h katsayısı

$$F_h = 1.5/(1+10\zeta) \tag{2.3}$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada ζ yalıtım sistemindeki toplam eşdeğer sönüm oranıdır. 500 yıllık ortalama dönüş süresine tekabül eden yer-bağımlı ve eşdeğer sönüm oranına göre düzeltilmiş tasarım spektrumundan elde edilen yalıtım sistemi yer değiştirme talebi yaklaşık %32 oranı ile arttırıldıktan sonra yalıtım birimlerinin deplasman kapasiteleri ile karşılaştırılmaktadır. Yalıtım sisteminin tasarım deformasyonu seviyesindeki toplam teğet rijitliği kullanılarak bulunan periyot değerinin 2.5s' nin altında kalması istenmektedir.

Sıvılaşma ihtimali olan ve/veya zayıf zeminlerde inşa edilecek veya yüksekliği 60m' yi aşan binalarda deprem yalıtımı tasarımının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler vasıtası ile yapılması ve Bakanlık (MOLIT) tarafından denetlenerek izne bağlanması gerekmektedir.

3.SİSMİK İZOLASYON

3.1 Sismik İzolasyon Tekniği

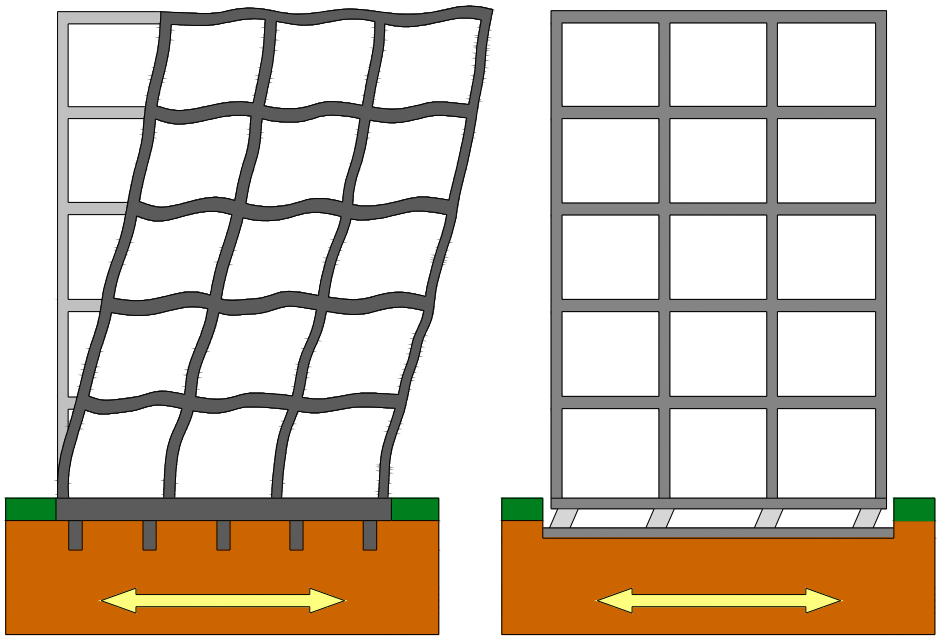
Sismik taban izolasyonu; yapı ile zemin arasındaki etkileşimi minimuma indirebilecek sistemler kullanarak, yapının zeminden yalıtılmasının sağlanmasıdır. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, tasarımı olumsuz etkileyen faktörlerin başında, dinamik etkiler esnasında zeminin tahmin edilemeyecek olan karmaşık, doğrusal olmayan (non-lineer) davranışı gelmektedir. Tasarımda göz önüne alınan zemine ait değerler, zemin emniyet gerilmesi, zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi gibi zemin özelikleri, dinamik etkiler nedeniyle tahminden daha farklı değerlere ulaşabilmektedirler. Bu durumda yapı ile zemin arasındaki etkileşimin minimuma indirilmesi yaklaşımı, bir anlamda çözüm olmuştur. Taban izolasyonu tasarımında, yapının dinamik özellikleri değiştirilerek, yapı yatay yönde serbestçe hareket edebilecek şekilde tasarlanmakta ve yatay yüklere maruz kalan yapının deformasyonu önlenmiş olmaktadır. Fakat yük etkisi altında yapıda oluşabilecek deformasyonların bilinebilmesi, yapıda oluşacak enerji kayıplarının bilinmesiyle mümkündür. Sismik bir etki süresince yapıya bir miktar enerji girişi olmaktadır. Bu enerji kısmen ısı enerjisine dönüşerek yapı içinde sönümlenmekte ya da potansiyel enerji ve kinetik enerji olarak iki farklı enerjiye dönüştürülmektedir. Fakat enerji kayıplarından dolayı elde edilen sönüm sınırlıdır. Hareket sona erene kadar titreşim şiddeti gittikçe azalmaktadır. Bu nedenle sismik taban izolasyon sistemleri gibi, yapıya ilave edilen bazı araçlar ile yapı sistemine giren enerjinin bir kısmı sönümlenerek, yapının enerji yutma kapasitesi arttırılır. Sistemde titreşim şiddeti sona erene kadar enerji kayıplarının minimuma indirilmesi hedeflenir ve bu sayede yapıda meydana gelen şiddetli deformasyonlar önlenmiş olur (Erdik and Constantinou, 2005). Teorik olarak, iki saniyelik periyoda sahip olan bir yapıda, deprem esnasında, izolasyonun sağlamış olduğu esneklikten ötürü yıkıcı etkinin büyük kısmı sönümlenmektedir. Bu nedenle elastik olmayan hareket meydana gelmemektedir. Zorlayıcı kuvvetlerin bir ya da bir kaçının frekansının, sistemin temel frekansı ile aynı olması durumunda titreşimin genliğinin arttırılması bakımından tahrip edici özelliğe sahip rezonans titreşimleri meydana gelmektedir. Yapı

davranışında bu tür istenmeyen durumlarla karşılaşılmaması için, tasarım aşamasında titreşim analizinin yapılması gerekmektedir.

Depreme dayanıklı geleneksel tasarım yöntemlerinde yapıların şiddetli deprem hareketlerine karşı direnci, ya yüksek süneklik ya da yüksek dayanım ile sağlanır. Bu yöntemlere alternatif olarak geliştirilen "sismik izolasyon" yönteminde ise, ana felsefe yapının tabanına esnek ve enerji sönümleyici elemanlar yerleştirilerek yapının periyodunu artırıp zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0.1 ile 1.0 saniye periyot aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını kapsar.

Doğal periyotları bu kritik aralıkta bulunan yapılar zeminden aktarılan ivmeleri genellikle yükseklikleri boyunca arttırırlar. Bu tür yapıların depreme dayanıklı tasarımında yapı mühendislerinin karşılaştığı en önemli zorluk aynı anda hem göreli hem de kat ivmelerinin sınırlandırılması koşuludur. Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması, döşemeler arasındaki kolonlar ve bölme duvarlar, tavanlar veya hafif donanımlar gibi yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki olası zararı azaltabilmek için gereklidir. Diğer yandan kat ivmelerinin azaltılması, hiç yapısal hasar gözlenmese bile, hassas iç ekipmanlara, makinelere ve binanın içinde yaşayan insanlara gelebilecek zararı azaltmak için gereklidir. Yapının rijitliği artırılarak göreli kat ötelemeleri azaltılabilir. Ancak bu durumda yapının rijitliğindeki artış kat ivmelerinin artmasına neden olacaktır. Binaya esneklik katmak bu problemi çözebilir. Fakat bu durumda, yapının esnekliği, rüzgar yüklerinde ya da küçük depremlerde döşemelerin ayakların altında hareket etmesine, bölme duvarların çatlamasına ve hepsinden önemlisi göreli kat ötelemelerinin artmasına neden olacaktır. Sismik izolasyon yöntemi göreli kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltmanın pratik yollarından biridir. Şekil 3.1' de gösterildiği gibi, sismik izolasyonlu bir yapı, hem büyük yer değiştirmelerin odaklandığı izolasyon sistemiyle kat ivmelerinin azaltılması için gereken "esnekliğe" sahiptir; hem de bir deprem hareketinde hemen hemen rijit bir şekilde hareket eden üst yapısıyla göreli kat ötelemelerinin azaltılması için gereken "rijitliğe" sahiptir. Eğer sismik izolasyonlu bir yapının doğal frekansı, eşleniği olan ankastre temelli yapının frekansına ve zemin hareketlerinin baskın frekansına kıyasla çok daha küçük olursa,

yapının davranışı üs tyapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sisteminin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenir. Üst yapıda deformasyona neden olan daha yüksek modlar harekete katılmayacakları için bu yüksek modların içerdiği yüksek enerji de üst yapıya aktarılmayacaktır. Çoğu zaman depremlerin yatay bileşenleri düşey bileşenlerine göre daha şiddetlidir. Bundan dolayıdır ki, yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılan sismik izolatörler genellikle düşük yatay rijitlikle birlikte yüksek düşey rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanır. Yüksek düşey rijitlik ile düşük yatay rijitliğe sahip sismik izolatörlerle yalıtılmış bir yapı yatay yönde tek serbestlik dereceli sarkaç gibi davranır. Tek serbestlik dereceli sistemlerdeki kütle-rijitlik-frekans ilişkisi göz önünde bulundurularak, dikkatli bir tasarımla, belirli bir kütleye sahip temel izolasyonlu bir yapı, zemin hareketlerinin baskın frekanslarından yeterince uzak bir doğal frekansa sahip olacak şekilde tasarlanabilir.



Şekil 3.1. Ankastre mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem sırasında hareketi (http://www.yapıforum.net)

3.2 Sismik İzolasyon Uygulamasında Sağlanması Gereken Temel Koşullar

Sismik izolasyon uygulanacak olan yapıda, sağlanması gereken bazı koşullar vardır. Bilindiği gibi izolasyonlu yapı yatay yönde belli bir oranda hareket serbestliğine sahiptir. Sağlanması gereken özel koşullardan en önemlisi, yapının dört tarafında izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar mesafenin olmasıdır. Eğer izolatörler mevcut yapıya yerleştirilecekse bu şart sağlanmadan diğer işlemlerin hiçbir getirisi olmayacaktır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan yapılarda sismik izolasyon tekniği uygulanamaz. Çünkü bu tür yapılar bitişik nizam yapılardır ve bir doğrultuda deplasman yapmaları mümkün olmadığı için izolasyon yapmakta söz konusu olamamaktadır. Bu koşul sağlandıktan sonra, göz önüne alınması gereken diğer bir hususta, yapının tesisat bağlantılarının düzenlenmesidir. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz v.b., yapının yapmış olduğu yer değiştirme sonrasında kopma ya da kırılma riski söz konusudur. Bu nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme ya da yer değiştirme kapasitesine sahip olması gerekmektedir.

Sismik izolasyon yönteminde izolatörler yapı ile zemin arasında temelde olabildiği gibi katlarda kolon aralarına da yerleştirilebilmektedirler. Taban izolasyonu tasarımında bodrum katta temellerin altına yerleştirilen izolatörler, yapının bütününün yalıtılmasını sağlamaktadırlar. Taban izolasyonunun yapı inşa edilirken uygulanması oldukça ekonomiktir. Mevcut yapıların, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi maksadıyla taban izolasyonunun yapılması ise oldukça yüksek bir maliyet meydana getirmektedir. Bu nedenle mevcut yapılara yapılan izolasyon yöntemlerinde, kısmen üst yapının yalıtılması daha ekonomik olmaktadır. Taban izolasyonunun tek dezavantajı, yatay deplasman mesafesinin sağlanması için her yönde zemin tutucu duvarlara ihtiyaç duyulmasıdır. Asansör ve merdiven için özel ayırma işlemlerine ihtiyaç duyulmaması, kolonlardan bağımsız oldukları için, kolonlarda ayrıca yangın tehlikesi için yalıtım gerektirmemesi ve izolasyon seviyesinde izolatörlerin rijit diyaframla birleştirilerek, rijit diyafram hareketinin sağlanması gibi avantajları da sıralanabilir.

İzolatörlerin bodrum kat kolonlarının ortasına yerleştirilmesi durumuna rastlamak mümkündür. Bu izolasyon yönteminde orta katta meydana gelebilecek deplasmanlar için, deplasman mesafesi hazırlanmalıdır. Bu durumda asansör yada merdivenler için özel ayarlamalar yapmak gerekir. İzolatörler birleştirilemeyeceği için, rijit diyafram hareketinin sağlanamama ihtimali vardır. Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa, düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi zordur.

İzolatörler bodrum kat kolonlarının üstüne yerleştiriliyorsa; bodrum katta önemli ekipmanlar bulundurulmaması durumunda, uygulama maliyetini azaltacağından dolayı, tercih edilen bir izolasyon yöntemi olmaktadır. Bu yöntemde üstyapı ile bodrum iki bağımsız parçaya ayrılır. İzolasyon seviyesinde izolatörler rijit diyaframla birleştirilebilir ve düşey yükler için emniyet sistemi kolonlar tarafından sağlanır. Dezavantajları ise, asansör ve merdiven boşluğu iki kısma ayrılması ve iki ayrı sirkülasyon düzeni gerektirmesidir.

Bodrum kat bulunmayan yapılarda, izolatörler birinci kat kolonlarının altına yerleştirilebilir. Uygulama maliyeti düşüktür ve yapının izolasyonla zeminden ayrılması kolaydır. Kolonların altı rijit diyaframla birleştirilebilir ve düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi kolaydır. Eğer asansör varsa asansör çukurunun oluşturulması gerekmektedir.

Kauçuk izolatörler için, herhangi bir nedenden dolayı izolatörlerin yüklere göre taşıyıcı görevlerini yapmamaları söz konusu olursa, sistemde düşey taşıyıcı görevini yapacak alternatif emniyet mekanizmalarına ihtiyaç duyulur. Ayrıca kullanılan elastomer mesnetler temel altına değil de kolonlara yerleştirilmiş ise mutlaka yangına karşı önlemlerinin de alınması gerekir.

Herhangi bir sismik izolasyon sisteminin, depreme karşı koruma sağlayabilmesi için sahip olması gereken temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sismik izolasyonlu yapının frekansının eşleniği olan ankastre temelli frekansından ve pek çok şiddetli depremin baskın frekansından çok daha düşük olabilmesi için "yeterince düşük yatay rijitlik",
- Rüzgar yükleri ve küçük depremler gibi düşük düzeydeki dinamik yüklemeler altında yapının hareketini engelleyebilmek için "nispeten yüksek yatay rijitlik",
- Üst yapının ağırlığını bozulmadan taşıyabilmek için "yüksek düşey rijitlik",
- Sistemdeki yer değiştirmelerin kabul edilebilir düzeyde kalabilmesi ve olası bir rezonans durumunu bastırabilmek için "yeterince sönüm",
- Üstyapının hemen hemen hareket öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi için "geri-merkezleştirme etkisi",
- Beklenmeyen şiddetteki bir depremde önce izolatörlerin, daha sonra yapının göçmesini engelleyecek bir "göçmeyi önleyici sistem",
- Çekme kuvvetlerine maruz kalma riski varsa "çekme yüklerine karşı yeterince dayanım".

3.3 Sismik İzolasyon Kullanımında Amaç

Bütün deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve sönümleyici elemanın mümkün olduğu kadar deprem enerjisini yutmasını ve sönümlemesini temin etmektir.

Bu amaçla yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenir.

- Yapının sönümü artırılırsa yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır.
- Yapıların şiddetli depremlerde yatay yer değiştirmeleri 30-40 cm' den büyük olmamalıdır.
- Yapı periyodu $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ ifadesi ile verilmektedir. Periyot, yapının kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır.
- Yapının rijitliği azaltılır, periyodu uzatılırsa yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelecektir.
- Yapının periyodu 2-3.5s kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır.
- İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0.9-1.0 civarındadır. İzolasyonlu yapı rijit kütle hareketi yapmaktadır.
- İzolasyonsuz yapı yer hareketini 3.0-6.0 kat büyütmektedir.

3.4 Sismik Taban İzolasyon Sistemlerinin Özellikleri

Taban izolasyonunda kullanılan izolatör tipleri, şekil ve büyüklük itibarı ile ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemeden üretilmektedirler. Elastomer malzeme kalıba kolayca yerleştirilebildiğinden istenilen şeklin verilebilmesi bakımından avantaj sağlar. Metal malzeme ile aderansı güçlüdür, bu özelliğinden ötürü herhangi bir şekilde montajı güç değildir. Uygulamada maruz kalacakları kuvvete göre şekillendirilebilirler. İzolatör sönümü, rijit kütle rezonansında büyük yer değiştirmeleri engelleyecek, yüksek frekansta dalga hareketinden koruyacak düzeyde seçilmelidir. İzolatörler düşey doğrultuda çok rijit fakat aksine yatay doğrultuda ise esnektir. Deprem hareketinin düşey bileşenine karşı koruyuculuğu yoktur, yani depremin düşey bileşeni yapı tarafından karşılanır. Taban izolasyonu yapıların titreşim periyotlarını arttırdığı için, kısa periyotlu yapılarda kullanımı daha uygundur.

Kauçuk malzemelerin sönüm özelliği, frekans ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle izolatörler en optimum sönüm ve rijitliğe göre uygulanmalıdırlar. İzolatörler zamanla yıpranabilirler. Bu nedenle izolatör kullanımında uzun süreli basınç ve düşük sıcaklıktaki etkileri düşünülmelidir.

Yaygın olarak kullanılan izolatör tipi elastomer malzemeden oluşan, tabakalı kauçuk mesnetlerdir. Kauçuklar arasındaki tabakalaşma ve çelik plakaların yerleşimi izolatörün basınç altındaki mukavemetini arttırır. Basınç altında diğer yönlerde genişlemeye olanak sağlar ve üniform yük dağılımını sağlar. Tabakalı kauçuk sistemlerinin düşey rijitliğinin belirlenmesinde, izolatör şekli önem taşımaktadır. Şekil faktörü, izolatörde yükün etkidiği alanın, serbest genişleme alanına oranı olarak tanımlanır. Yatay rijitlikte izolatör şeklinin önemi yoktur.

Şişe mantarı, keçe ya da kauçuk köpük gibi fiberglas içeren malzemelerde taban izolasyonunda kullanılabilir. Fakat bu malzemelerin mekanik özellikleri, elastomer malzemeler gibi net bilinmediği için, izolasyon performanslarının tahmini de zordur.

Helezoni yaylardan oluşan izolasyon sistemleri, kuvvet sistemlerindeki aletlerin titreşimlerini önlemek için kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, yaylar düşey harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değildirler. Oysa tabakalı kauçuk mesnetlerin düşey rijitlikleri, yatay rijitliğin birkaç yüz katı olabilmektedir.

Kayıcı sistemler izolasyon ara yüzünde kesme kuvvetinin indirgenmesi prensibine dayandırılmaktadır. Genelde çelik mesnetlerden oluşmuş sistemlerdir. Sürtünme hareketi ile mekanizma iş görmektedir. Deprem hareketi esnasında yanal rijitlik ve her bir yatakta oluşan sürtünme kuvveti yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direk olarak bağlantılıdır. Burada yapı ağırlık merkezi ile yatakların rijitlik merkezleri çakışmalıdır.

3.5 Uygulama Alanları

Günümüzde sismik izolasyon yaklaşımı çoğunlukla şiddetli depremlerde nispeten hasarsız kalması istenen, hayati önem taşıyan yapılarda uygulanmaktadır. Okul, hastane, acil yardım merkezi, itfaiye, polis karakolu, enerji dağıtım ve haberleşme merkezleri gibi şiddetli bir depremden sonra mutlaka kullanımda kalması gereken yapılar ile nükleer enerji santralleri gibi hasarları doğal tehlike yaratabilecek yapılar ya da tarihi değere sahip veya tarihi eserlerin bulunduğu müze ve benzeri yapılar bu tekniğin en yaygın şekilde uygulandığı yapılar arasındadır.

Sismik izolasyon tekniğinin yaygın olarak kullanıldığı bir diğer alan da yatay yönde gerekli sünekliğe sahip olmayan zayıf ve gevrek yapıların güçlendirilmesidir. Mimari detayların değiştirilemediği eski binaların güçlendirilmesinde sismik izolasyon tekniği en iyi yöntem olarak kabul edilir. Buna ilave olarak, sismik izolasyon yaklaşımı sismik riski yüksek bölgelerde bulunan ve şiddetli depremlere dayanabilecek şekilde tasarlanmamış yapı ve tesislerin güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır.

Genellikle hassas ve önemli ekipmanları barındıran yapılarda uygulanıyor olmasına rağmen, son zamanlarda bu tekniğin kamu konutları, hastane ve okullar gibi kamu binalarının depreme karşı korunmasında kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kullanılmak amacıyla düşük maliyetli izolasyon sistemlerinin geliştirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır.

3.6 Ülkemizdeki Uygulamalar

Ülkemizde ilk olarak Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolunda Atatürk Viyadüğü'nde, daha sonra Bolu Viyadüğü' nde, Aliağa' da sıvı doğal gaz depolarında, kullanılmıştır. Son dönemde ise, Kocaeli Üniversite Hastanesinde, Tarabya Oteli güçlendirilmesinde ve Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi, Atatürk Havalimanı (şekil 3.2), Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı ile Sağlık Bakanlığı 400 yataklı Erzurum Devlet Hastanesinde kullanılmıştır.

Büyüklük açısından Türkiye'de ilk, Dünyada ise ilk 5 proje arasında yer alan Antalya Havalimanı Uluslar arası Dış Hatlar Terminali sismik izolasyon ve deprem güçlendirme projesi Temmuz 2004-Temmuz 2005 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. 50.000 m² alana sahip Terminal binasında 411 adet kolon kesilerek kurşun çekirdekli izolatörler yerleştirilmiştir. Kesilen perde duvarlara ise kayıcı mesnetler monte edilmiştir. Yine proje gereği uzay çatı ile tüm elektro mekanik sistemlerde depreme karşı izole edilmiştir (http://www.ersetech.com/deprem.html).



Şekil 3.2. Atatürk Havalimanı Dış hatlar Terminali'nin çatı makaslarında kullanılan izolatörler (http://www.dokaendustri.com.tr)

Ayrıca, 12 Kasım 1999'da meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki Düzce depreminde fay hattının çok yakınından geçmesi sebebiyle zarar gören viyadüklere 3' er metre çapında 6' şar ton ağırlığında 500 tane izolatör monte edilmiştir. Yaklaşık değeri 15 milyon doları bulan sismik izolatör takviyesi, viyadüklerin bundan sonra yaşayacağı depremlerde minimum düzeyde etkilenmesini sağlayacaktır.

3.7 Sismik Taban İzolasyonlu Sistemlerin Sağladığı Avantajlar

- Can güvenliği sağlanır.
- Yapısal hasarlar önlenir. Yapının taşıyıcı sistemi ve mimarı elemanlarında minimum deprem hasarı sağlanır.
- Yapısal olmayan hasarlar önlenir. Yapının değerli eşya ve cihaz içeriğinde etkin koruma sağlanır.
- İş kesilme riski önlenir.
- Deprem sonrası fonksiyon kaybı önlenir.
- Pazardaki pay korunur.
- Araştırma ve Geliştirme projeleri korunur.
- Tarihi bina ve değerler korunur.
- Elastik davranış sağlanır.
- Yapıya gelen kuvvetler azalır.
- Kat ivmeleri küçülür.
- Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar yani rölatif kat deplasmanları sıfıra yaklaşır.

3.8 Sismik Yalıtım Cihazları ve Özellikleri

3.8.1 Kauçuk esaslı sismik izolatörler

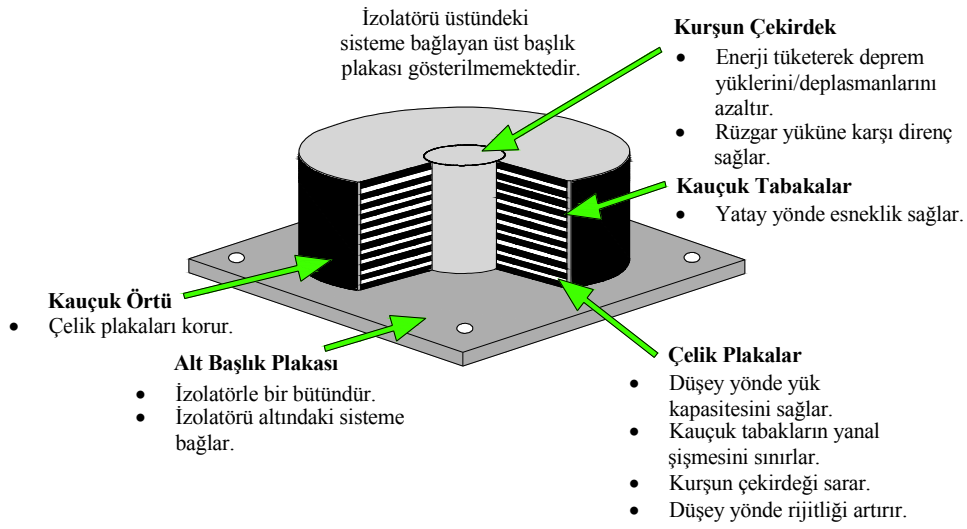
Yatay birim şekil değiştirmesi ve kayma deformasyonu yüksek olan doğal kauçuğun içine rijitlik ve sönüm artışı için karbon siyahı eklenir. Ayrıca dinamik sönümü ve yatay stabilitesini yükseltmek amacıyla kurşun çekirdek yerleştirilir.

Kauçuk esaslı sismik izolatörlerde yatayda her yönde kayma deformasyonu %150' ye yakındır. İzolatör cihazının orijinal pozisyonuna dönmesi düşey yüke ve içindeki çelik levhaları ve kurşun çekirdeğe bağlıdır.

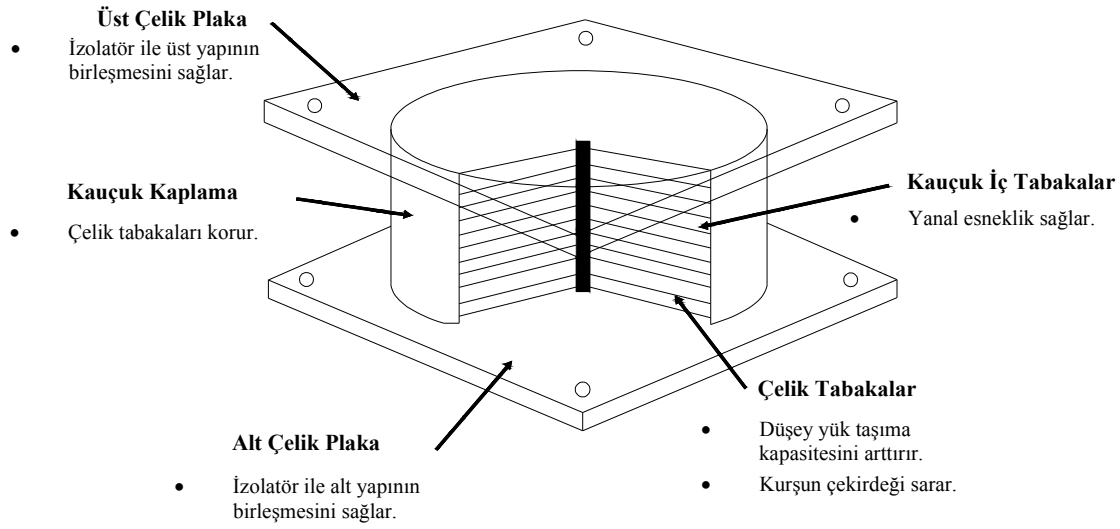
Hesaplanan yatay ve düşey deplasmanları karşılayabilecek kapasitedeki kauçuk esaslı sismik izolatör taban plakları yardımıyla kolon altına yerleştirilir.

Sismik izolasyon yönteminde yaygın şekilde kullanılan elastomerik yastıklar birbirine yüksek basınç ve sıcaklıkta yapıştırılan, ince çelik plakaların ayırdığı kauçuk tabakalardan meydana gelir. Kauçuk tabakaların düşey yöndeki hareketini kısıtlayan çelik plakalar yastığın düşey rijitliğini artırır. Yüksek düşey rijitlik üst yapının ağırlığını taşıyabilmek ve ara kauçuk tabakaların düşey yükler altında yanal şişmesini sınırlamak için gereklidir. Düşey yönde yastığın davranışını bu derece değiştiren çelik plakalar yastığın yatay yöndeki davranışını hemen hemen hiç etkilemez. Böylece yanal özellikleri değişmeyen tabakalı kauçuk bir yastık yatay yönde istenen düşük rijitliğe sahiptir.

Elastomerik yastıklarda sönüm, ya yastığın ortasına yerleştirilen kurşun çekirdek yoluyla ki bu tip yastıklar "kurşun çekirdekli elastomerik yastıklar (Şekil 3.3)" olarak adlandırılır ya da yastığın üretildiği elastomer karışımının içine ilave edilen sönüm artırıcı katkı maddeleriyle ki bu tip yastıklar "düşük ve yüksek sönümlü elastomerik yastıklar (Şekil 3.4, Şekil 3.5)" olarak adlandırılır- sağlanır.



Şekil 3.3. Kurşun çekirdekli elastomerik yastık kesiti (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005)



Şekil 3.4. Düşük ve Yüksek sönümlü elastomer yastık kesiti (Çoşkun, 2006)

Elastomerik yastıklarla yalıtılmış temel izolasyonlu bir yapının performansı o yapıya yerleştirilen izolasyon yastıklarının mekanik özelliklerine bağlıdır. İzolasyon yastıkların mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörler ise yastıkların geometrik özellikleri, içerdikleri kauçuk tabaka ve çelik plaka adet ve kalınlıkları ile yastıkların yapımında kullanılan elastomer karışımının malzeme özellikleridir.



Şekil 3.5. Düşük ve Yüksek sönümlü elastomer yastık (http://www.wbdg.org/resources)

Kauçuk esaslı izolatörlerin yapıya uygulanışı Şekil 3.6' da gösterildiği gibidir. Radye temel üzerine yerleştirilecek olan izolatörler için donatı sıklaştırması yapılır ve dikme ankrajları çekilir. Daha sonra Şekil 3.6.a' da görüldüğü üzere izolatörlerin monte edileceği çelik plakası yerleştirilir ve sabitlenir. Çelik plaka sabitlenmeden önce yükseklik ayarı yapılmalıdır. Yükseklik ayarı leveling aleti denen hassas yüksekliği ayarlayan aletlerle yapılmaktadır. Çelik plaka sabitlendikten sonra izolatörün yerleşeceği taban kısmının belirli bir yüksekliğe çıkarılması için kalıplarla çevrilmekte ve betonu dökülerek hazır hale getirilmektedir. Şekil 3.6.c ve 3.6.d' de izolatörün tabanın hazır hale getirilmesi görülmektedir. Daha sonra izolatörler vinç yardımıyla mesnetlerinden tutularak çelik plakaya monte için yerleştirilmektedir. Şekil 3.6.e ve Şekil 3.6.f' de izolatörlerin yerleştirilmesi ve son hali görülmektedir. İzolatörler yerleştirildikten sonra üst çelik plaka takılıp, izolatörler temele sabitleştirilir. Daha sonra izolatör katı hazırlanma başlanır. Kolon kiriş ve tabliye kalıpları ve donatıları tamamlandıktan sonra betonu dökülerek yapının aplikasyonuna başlanır. Şekil 3.6.g ve 3.6.h' de İzolatörlerin yerleştirilmiş ve izolasyon katının tamamlanmış hali görülmektedir (Yücesoy, 2005).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

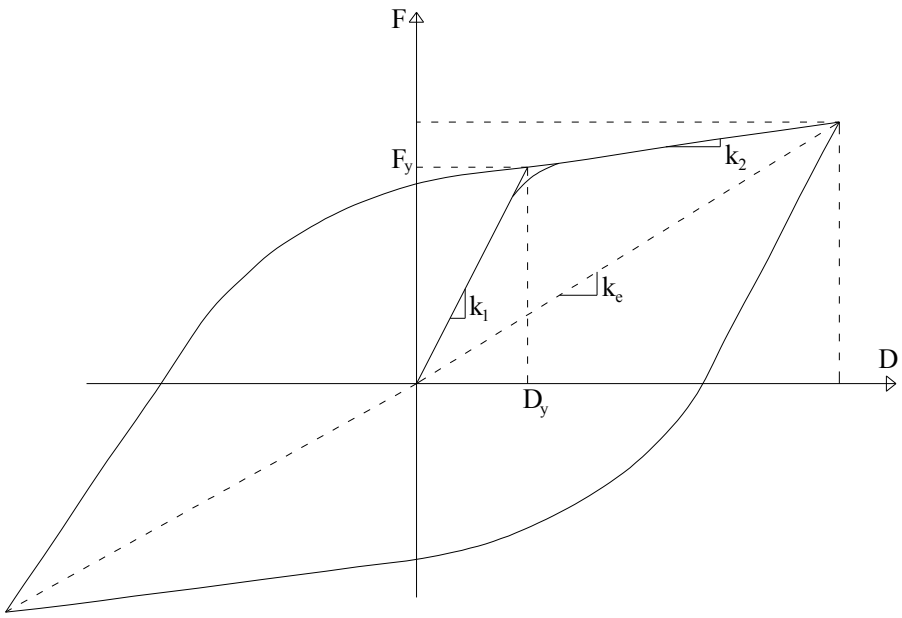


(h)

Şekil 3.6. Kauçuk esaslı sismik izolatörlerin yapıya uygulanması (Yücesoy, 2005)

3.8.1.1 Mekanik özellikler

Elastomerik yalıtıcılar çelik ve elastomer (tabii kauçuk veya yapay lastik) plakalarının ardalanmasından oluşur. Yalıtıcının yanal rijitliği elastomer malzemenin kayma rijitliğini sağlar. Sönüm için kurşun çekirdek veya yüksek sönümlü elastomer malzeme kullanılır. Elastomerik yalıtıcılar kendilerine özgü yatay kuvvet-deplasman eğrileri, etkin rijitlikleri ve etkin viskoz sönüm oranları ile tanımlanır. Bu tip yalıtıcıların idealleştirilmiş eğrisi Şekil 3.7' de gösterilmiştir (Erdik vd., 2005).



Şekil 3.7. Elastomerik yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-deplasman eğrisi (Erdik vd., 2005)

Verilen bir yükleme döngüsündeki (yatay kuvvet-deplasman eğrisi) etkin rijitlik (k_e) o döngüde uygulanan kuvvetin (F) ulaşılan maksimum deplasmana (D) bölünmesi ile elde edilir (Erdik vd., 2005).

$$k_e = F / D \tag{3.1}$$

Etkin viskoz sönüm oranı (βe) bir deplasman döngüsünde yutulan enerjinin (yatay kuvvet-deplasman alanı $=W_d$) 2π F D değerine bölünmesi ile elde edilir (Erdik vd., 2005).

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{W_d}{FD}\right] \tag{3.2}$$

Kurşun çekirdekli elastomerik yalıtıcılarda

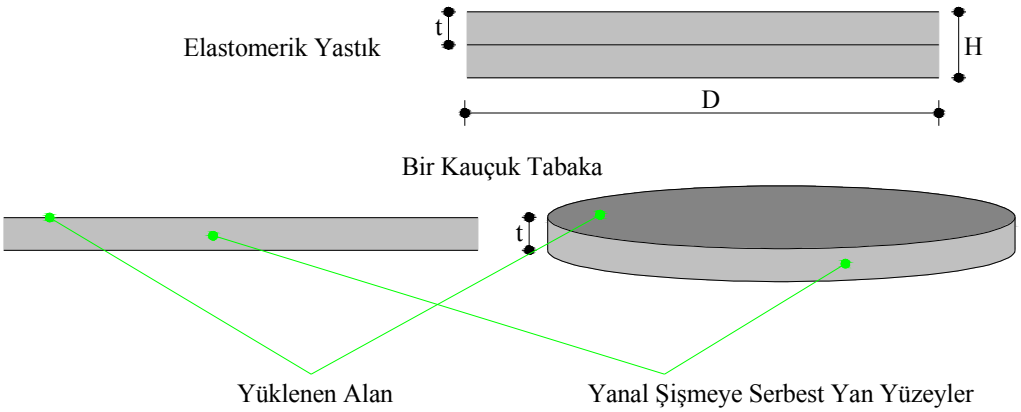
$$Q = F_y = A_p \tau_{yp} \tag{3.3}$$

olarak alınabilir. Burada A_p kurşun çekirdeğin çapını, τ_{yp} ise kurşun malzemenin akma kayma gerilmesini göstermektedir. Kurşun çekirdekli elastomerik yalıtıcılarda birinci rijitlik esasen kurşun çekirdeğin elastik rijitliği tarafından belirlenir. Tüm elastomerik yalıtıcılarda ikinci (elastik ötesi) rijitlik elastomer malzemenin kayma modülü (G) ile elastomer katmanının kapalı yüzey alanının (A) çarpımının toplam elastomer kalınlığına (t_e) bölünmesi ile bulunur (Erdik vd., 2005).

$$k_2 = G(A/t_e) \tag{3.4}$$

3.8.1.2 Geometrik özellikler

Kauçuk tabakaların arasındaki çelik plakaların rijit kaldığı kabul edilirse, bir yastığın geometrisi iki birimsiz geometrik faktör ile tanımlanabilir. Bunlar şekil faktörü (S) ve görüntü (genişlik/yükseklik) oranıdır. Bir yastığın şekil faktörü (birinci şekil faktörü (S_1) olarak da adlandırılır), "bir ara kauçuk tabakanın (Şekil 3.8) yükleme alanının, yanal şişmeye serbest yüzeylerin çevrelediği alana oranı" olarak tanımlanır. İkinci şekil faktörü (S_2), olarak da adlandırılır. Bir elastomerik yastıktaki bütün kauçuk tabakaların, varsa çelik plaka kalınlıkları düşüldükten sonraki, yükseklik/genişlik oranınıdır. Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar, yastıkların geometrik özelliklerinin yastıkların davranışlarını ve kırılma modlarını belirleyen önemli faktörlerden biri olduğunu göstermiştir. Oldukça düşük burkulma yüküne sahip düşük geometrik faktörlü yastıkların davranışı düşey yüklerden ciddi şekilde etkilenirken, geometrik faktörleri büyük olan yastıkların burkulma kapasiteleri çok yüksek olduğu için stabilite problemleri ihmal edilebilecek kadar azdır. Benzer şekilde, elastomerik bir yastığın yanal şişme davranışı yastığın geometrik özellikleri ayarlanarak kolaylıkla kontrol edilebilir. Zira şekil faktörü, çelik plakalı elastomerik yastıkların yanal şişme davranışlarını kontrol etmek için tanımlanmıştır (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).



$$\text{Şekil Faktörü (S)} = \frac{\text{Yüklenen Alan}}{\text{Yanal Şişmeye Serbest Yan Yüzey Alanları}} = \frac{\pi D^2}{4}\,\frac{1}{\pi Dt} = \frac{D}{4t}$$

Şekil 3.8. Çelik plakalar arasındaki dairesel kauçuk bir tabakanın şekil faktörü (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005)

3.8.1.3 Kauçuk izolatörlerin sakıncaları

Kauçuk izolatörlerin kullanımında aşağıdaki sorunlarla karşılaşılmıştır:

- Yapının periyodunu artırmak ve sismik izolasyonu sağlamak için kauçuk izolatörlerinin üzerine belli bir sıkışma basıncının tatbik edilmesi gerekir. Sıkışma basıncını artıracak olan eksenel düşey yük de izolatörün kritik deplasman miktarını azaltır. Bu durumda izolatörde burkulma gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir.
- Yüksek katlı yapılarda ise deprem kuvvetinin dikey bileşeninden veya binanın devrilme momentinden kaynaklanan çekme gerilmesi yapının çekme rijitliğini azaltabilir ve izolatörde aşırı çekme deformasyonuna sebep olabileceğinden dolayı yüksek katlı yapılarda kauçuk izolatörün kullanılmasında kısıtlamalar getirilmiştir.

3.8.2 Sürtünme esasli sismik izolatörler

Özel metaller kullanılarak iç bükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanı bu yatay hareket sırasında binayı yükselten bir özelliği olduğundan gelen enerjiyi sönümlemekte ve deprem etkisini %80 oranında azaltmaktadır.

Kolon altına yerleştirilen sürtünme esaslı sismik izolatör, içbükey %5'lik sürtünmeli yüzeyi sayesinde tabandan gelen deprem yüklerinin yapıya %5'lik kısmını aktarır. Deprem enerjisini içbükey kısım sarkaç prensibine dayanarak yapının ağırlığını kullanarak sönümler.

Sürtünme esaslı izolatörler, izolasyon ara yüzeyinde kesme kuvveti geçişinin sınırlandırılması ve yer hareketi sonucu ortaya çıkan enerjiyi sürtünmeyle sönümlendirme prensibine dayanmaktadır. İzolatörün periyodu, içbükey çapına bağlı olarak kontrol edilir ve mesnetlenen yapının kütlesinden bağımsızdır. İstenilen periyot değeri çap değiştirilerek elde edilmektedir.

Kayıcı sistem en basit ve en eski izolasyon sistemlerindendir. 1909 yılında İngiltere'de Doktor Johannes Calantarients tarafından bu sistemin kullanımı önerilmiştir. Doktor Calantarients yapıyı bir tampon tabaka ile temelden ayırmayı önermiştir. Bu metot göreli deplasmanlara dayanan yararlı bir metottur. Kayan mesnet için bir çok ortak malzeme kullanılır; dolu veya boş teflon, paslanmaz çelik gibi. Bu sistemin sürtünme karakteristikleri, ara yüzey hareketinin hızı, dayanıklılık derecesi, yüzey temizliği önem taşır (Yücesoy, 2005).

Yaygın olarak kullanılan Düz kayıcı yüzeyler, Eğrisel Kayıcı Yüzeyler, Konikal Kayıcı yüzeyler olarak ele alınabilir. En yeni teknolojisi sürtünmeli sarkaç sistemi olarak kullanılmaktadır.

Sürtünmeli sarkaç sistemi enerji dağıtma modellerinin en yenilerinden biridir. Bu sistemler sürtünme vasıtasıyla enerji sönümleme yönteminden yararlanılan izolasyon sistemleridir. Modelleme yapı sisteminin basitleştirilerek sarkaç hareketine

uyarlanması ile depremden yapıya ulaşan enerjinin metalik yüzeylerde sürtünerek kısmen yada tamamen kaybolması prensibine dayanır. Kayma hareketi ve kuvvet geometrisini geri koyma kombinasyonlarından oluşur. Sürtünmeli sarkaç izolatörü, sarkaç karakterleri kullanılarak yapının doğal periyodunun uzamasına ve dolayısıyla güçlü deprem kuvvetlerinden kaçınılmasını sağlar. Bu yöntemde izolasyonun rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir. Sürtünmeli sarkaç izolatörü paslanmaz çelikten yapılmış küresel bir yüzey içinde, kayıcı mafsalların taşınmasından oluşan bir sisteme sahiptir. Kayıcı mafsal kenarları, küresel yüzeyle kaplanarak birleştirilmiş ve düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme oluşturulmuştur. Kaydırıcının Şekil 3.9' da görülen diğer kenarı da küresel bir oyukla kaplanmıştır. İçbükey yüzeyin eğrilik yarıçapının seçilmesiyle izolatörün periyodu basitçe seçilir. Bu yapı mesnetlerinin kütlesine bağlı değildir. Yapının burulması minimuma indirilmiştir. Çünkü yük merkezi ile kütle merkezi otomatikman çakışır. İzolatörlerin periyodu seçilen içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kullanılır (Martelli, 2007).

Sürtünmeli sarkaç mesnedin üzerindeki rijit mesnetli yapının doğal titreşim periyodu, sarkaç eşitliğinden söyle tanımlanır:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{G}} \tag{3.5}$$

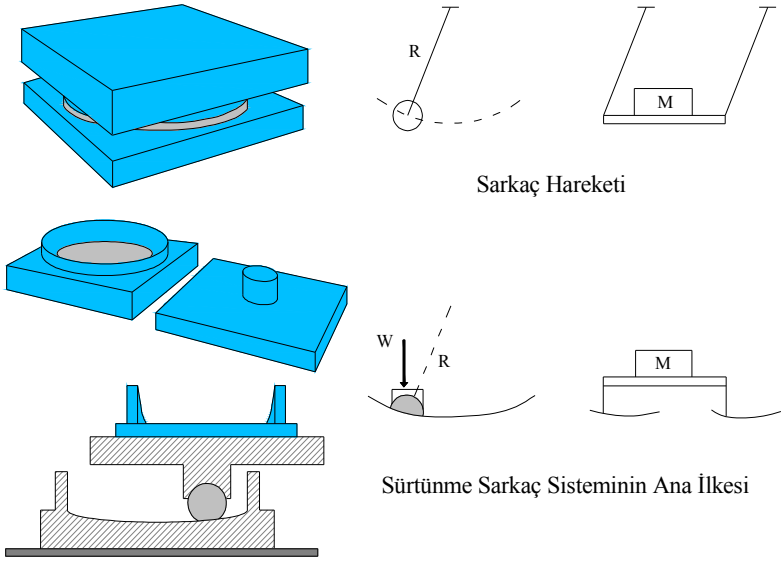
R: İçbükey yüzey eğrilik yarıçapı

G: Kayma modülü

Sürtünmeli sarkaç mesnedi esnek özelliğe sahiptir. Kayma periyodu 3'ten 2'ye indirgenir, taban kesme ve ivmelenme deplasmanları değişir. Sürtünme katsayısı 0,10'dan 0,05'e indirgenerek, taban kesme kuvveti ve ivmelenme deplasmanları değişir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetleri seviyesinin altına geçtiğinde, sürtünmeli sarkaç mesnedi, ankastre mesnede benzer ve izolasyonsuz titreşim periyodu oluşur. Bir kez sürtünme kuvvetleri seviyesi asıldığında yapının titreşim periyodu davranışı, dinamik davranışla birlikte sönüm, mesnet özellikleri tarafından kontrol edilir (Yücesoy, 2005)

Sürtünmeli sarkaç mesnedinin yapı mesnetlerinin kütlesinden bağımsız olduğu gerçektir ve önemli özellikleri yapı tarafından kontrol edilir. Periyot ağır yada hafif yapılarda değişmez. (Yücesoy, 2005).

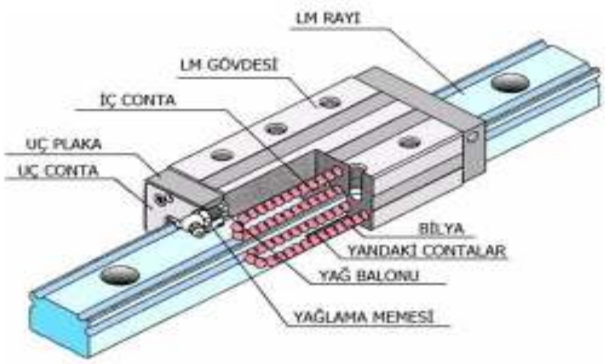
Sürtünmeli sarkaç sistemi elastomerik sistemlerde söz konusu avantajların hepsine sahip olduğu gibi kauçuk izolatörlerde dezavantaj sayılan hususları da içermemektedir.



Şekil 3.9. Sürtünme esaslı sismik izolatörler (http://www.dokaendustri.com.tr)

3.8.2.1 Çapraz yaylı sistemler

Son zamanlarda en çok kullanılan mesnet tiplerinden biride çapraz raylı sistemlerdir. Bu sistemler alışılagelmiş ince tabakalı kauçuk izolatör kullanımında ortaya çıkan ve izolatörün burkulması ya da çekmeden kaynaklanarak kopması gibi mühendislik sorunlarını gidermek için tasarlanmıştır. Pek çok deneysel veriler, deprem kayıtları, teori ve analiz sonuçları ile kıyaslanmış olan bu sistemler, tüm deneysel ve aplikasyon çalışmalarında üstün bir performans göstermiş, uygulanabileceği hususunda gerekli kriterleri sağlamıştır. Çapraz yaylı sistemleri kesiti Şekil 3.10' da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10. Çapraz yaylı sistem kesiti (http://www.imokocaeli.org.tr)

Bu sistemlerle amaçlanan:

- Sismik izolasyonu, hafif yapılara (ahşap ve çelik evler gibi) uygulayabilmek.
- Sismik izolasyonu, yüksek yapılara ve kule şeklindeki yapılara uygulayabilmek.
- Sismik izolasyonu, zemin taşıma gücü çok düşük zeminlerde (uzun doğal periyotlara sahip C ve D gurubu zeminler) inşa edilecek yapılara uygulayabilmek.

Bu sistemlerde sismik izolatörün iç mekanizması şöyledir; izolatör, kayan çelik bir gövdeden ve üzerinde bilyelerin hareket edebileceği yivler bulunan bir raydan meydana gelmektedir. Gövde ile ray arasında yuvarlanarak hareket eden çelik bilyeler bulunmaktadır. Gövde çok az sürtünme kuvveti ile hareket eder. Bu tip izolatörler yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda çapraz olarak hareket ederler. İzolatörün taşıma kapasitesini, çelik bilyelerin çapı, etkili bilye sayısı ve ray adeti belirlemektedir. Bu sistemlerde sismik izolasyonun kule tipi ve yüksek yapılara olduğu gibi hafif yapılara da uygulanması ve zemin taşıma gücü düşük olan zeminlere de (C ve D grubu zemin tipleri gibi) uygulanabilmesi hedeflenmiştir. (Hirashi, et al., 2000)

Çapraz yaylı sistemlerin yapıya uygulanışı şekil 3.11' deki gibidir. İlk önce radye temel üzerine yerleştirilecek olan izolatörler için donatı sıklaştırması yapılır ve dikme ankrajları çekilir. Daha sonra Şekil 3.11.a' daki gibi ankraj plakası çekilerek donatılara monte edilir. Ankraj plakasını etrafı betonarme blokla çevrilir ve daha sonra izolatör alt rayı ve gövdesi yerleştirilmek üzere hazırlanır. Şekil 3.11. d' de görüldüğü gibi izolatörlerin alt ray ve gövdeleri civatalar yardımıyla ankraj plakasına monte edilir. Alt rayda hareket edecek gövdeyi birbirine bağlayan kauçuk tampon yerleştirilir. Üst ray ise üst flanş plakasına sabitlenmiş olarak vinç yardımıyla kauçuk tampon üzerine yerleştirilir. Şekil 3.11.f' de görüldüğü gibi üst ankraj flanşının montajından sonra izolatör katı için çalışmalar başlanır. Şekil 3.11.h' de izolatör katının hazırlığı görülmektedir. Daha sonra yapı aplikasyonuna devam edilir. Şekil 3.11.ı' da izolatörlerin tamamlanmış hali ve Şekil 3.11.k' da yapının tamamlanmış hali görülmektedir (Yücesoy, 2005).



(a)



(b)



(c)



(d)



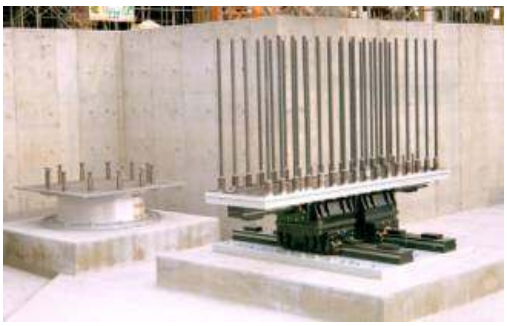
(e)



(f)



(g)



(h)

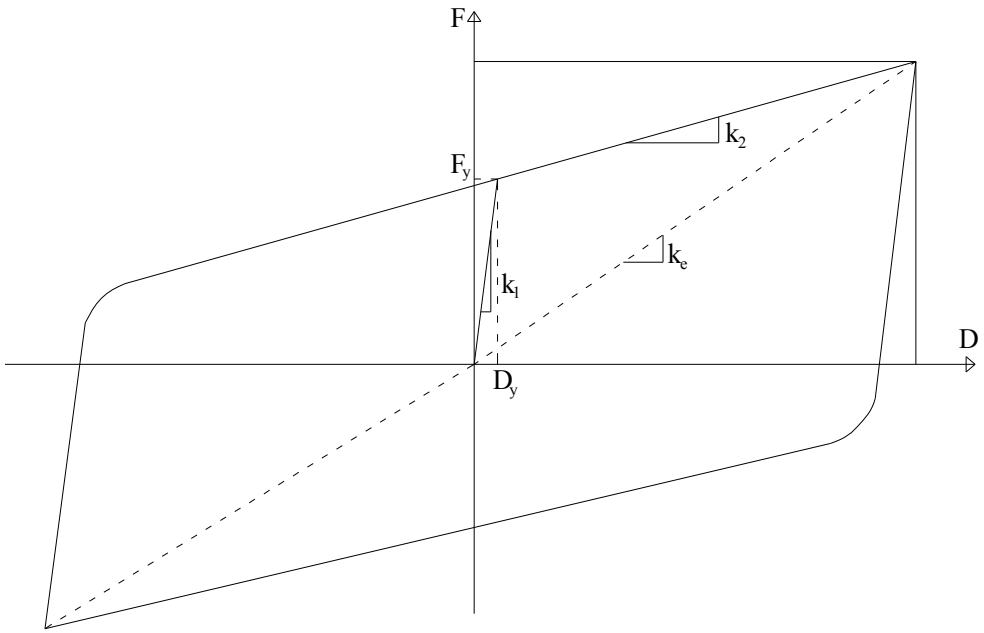


(ı)

Şekil 3.11. Çapraz yaylı izolatörlerin yapıya uygulanması (Yücesoy, 2005)

3.8.2.2 Eğimli yüzeyli sürtünmeli yalıtıcıların mekanik özellikleri

Eğimli Yüzeyli Sürtünmeli yalıtıcılar içinde bir kayıcı birimin yer aldığı bir veya iki taraflı içbükey çelik elemanlardan oluşur. Yalıtıcı rijitliğini içbükey kayma yüzlerindeki eğrilik yarıçapı, sönümü ise sürtünme nedeni ile oluşan eneji kaybı sağlar. Eğimli Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtıcılar kendilerine özgü yatay kuvvet-deplasman eğrileri, etkin rijitlikleri ve etkin viskoz sönüm oranları ile tanımlanır. Bu tip yalıtıcıların idealleştirilmiş yatay kuvvet-deplasman eğrisi Şekil 3.12' de gösterilmiştir (Erdik vd., 2005).



Şekil 3.12. Eğimli Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-deplasman eğrisi (Erdik vd., 2005)

Karakteristik Dayanım veya İtibari Akma Kuvveti sürtünme katsayısı (μ) ile yalıtıcı birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin (w) çarpımına eşittir (Erdik vd., 2005).

$$Q = F_y = \mu w \tag{3.6}$$

Birinci rijitlik karakteristik dayanımın itibari akma deplasmanına bölünmesi ile elde edilebilir. İkinci rijitlik düşey kuvvetin (w) Eğimli Yüzeylı Sürtünmeli Yalıtıcı kayma yüzeyi eğrilik yarıçapına (r) bölünmesi ile belirlenir (Erdik vd., 2005).

$$k_2 = w / r \tag{3.7}$$

Verilen bir yükleme döngüsündeki (histersiz eğrisi) etkin rijitlik (k_e) o döngüde uygulanan kuvvetin (F) ulaşılan maksimum deplasmana (D) bölünmesi ile elde edilir (Erdik vd., 2005).

$$k_e = F / D = (w / r) + (\mu w / D) \tag{3.8}$$

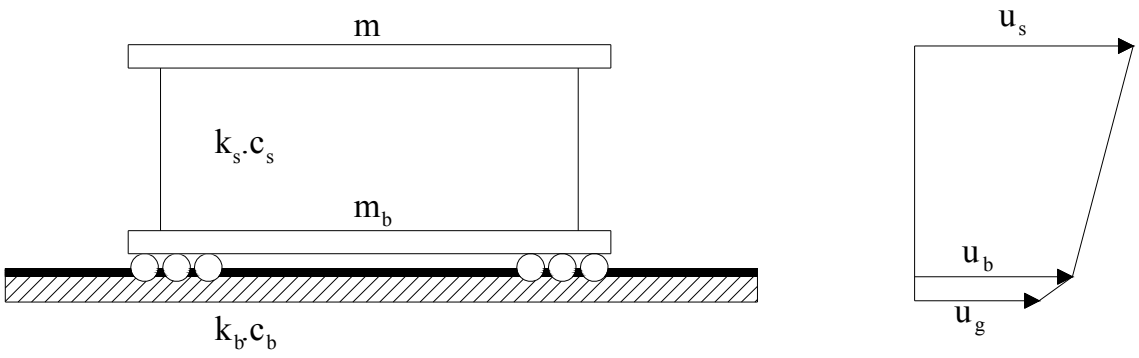
Etkin viskoz sönüm oranı (β_e) bir deplasman döngüsünde yutulan enerjinin (histeresiz alanı =W_d) 2π F D değerine bölünmesi ile elde edilir (Erdik vd., 2005).

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{W_d}{FD}\right] = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\mu}{\mu + D/r}\right] \tag{3.9}$$

3.9 Sismik İzolasyonun Teori Esasları

3.9.1 Lineer teori

3.9.1.1 İki serbestlik dereceli sistemler için hareket denklemleri

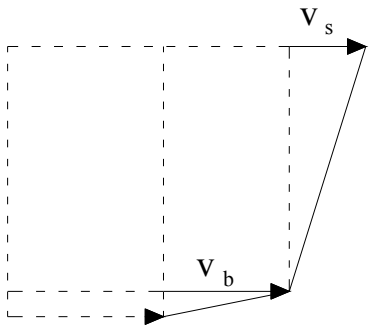


Şekil 3.13. İki Serbestlik dereceli izolasyonlu parametreler

Sismik izolasyon üzerine teorik yaklaşımlar, iki kütleli modele dayandırılarak yapılmıştır. Üst yapı kütlesi m, izolasyon sisteminin üzerindeki kütleyi de m_b temsil etmektedir. Üst yapının rijitlik ve sönümü k_s, c_s ile izolasyon sisteminin rijitlik ve sönümü ise k_b, c_b ile ifade edilmiştir. Kütlelerin yaptıkları toplam yer değiştirmeler u_b ve u_s olmakla beraber, hesaplarda daha çok göreceli yer değiştirmeler kullanılmaktadır (Şekil3.13, Şekil 3.14).

$$v_b = u_b - u_g \tag{3.10}$$

$$v_s = u_s - u_b \tag{3.11}$$



Şekil 3.14. İki serbestlik dereceli sistemde katların birbirilerine göre yer değiştirmesi

u_g, zeminin yaptığı yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Göreli yer değiştirmelerin sağladığı hesap kolaylığı sonucu iki önemli büyüklük daha elde edilir; izolatörlerin zemine göre göreceli yer değiştirmesi "v_b" ve üst katın alt kattakine göre göreceli yer değiştirmesi "v_s" dir. Bu büyüklükler dikkate alınarak, 2 serbestlik dereceli sistem için temel eşitlikler bastan yazılırsa;

$$(m+m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m+m_s)\ddot{u}_s \tag{3.11-a}$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \tag{3.11-b}$$

Denklemler matris formuna dönüştürülürse;

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}\ddot{u}_g \tag{3.12}$$

elde edilir (Yücesoy, 2005).

Denklemde $M = m + m_b$, toplam kütledir. Denklem aşağıdaki halini alır.

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + K_v = +Mr\ddot{u}_g \tag{3.13}$$

Sistemde kütleler oranı γ;

$$\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M} \tag{3.14}$$

Sitemsel açısal frekanslar;

$$\omega_b{}^2 = \frac{k_b}{m + m_b}, \quad \omega_s{}^2 = \frac{k_s}{m} \tag{3.15}$$

Sönüm faktörleri β_b ve β_s;

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m+m_b}, \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \tag{3.16}$$

Bu büyüklükler, hareketin ana denklemlerinde yerine yazılırsa eşitlik;

$$\gamma \dot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b\beta_b \dot{v}_b + \omega_b{}^2 v_b = -\ddot{u}_g \tag{3.16-a}$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s\beta_s \dot{v}_s + \omega_s{}^2 v_s = -\ddot{u}_g \tag{3.16-b}$$

Sistemde mod şekilleri dikkate alındığında, hesaplanacak diğer parametreler; ϕ^1, ϕ^2 olacaktır (Yücesoy, 2005).

$$\phi^{iT} = (\phi^i{}_b, \phi^i{}_s), \qquad \text{i=1,2} \tag{3.17}$$

Aynı zamanda dikkate alınan her mod için açısal frekanslar ω_1 ve ω_2 hesaplanır.

Açısal frekanslar için karakteristik eşitlik yazılırsa;

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_s{}^2 + \omega_b{}^2)\omega^2 + \omega_b{}^2\omega_s{}^2 = 0 \tag{3.18}$$

Denklemin çözümünde 1. ve 2. modlara karşılık gelen hareketin açısal frekansları bulunur (Yücesoy, 2005).

$$\omega_1{}^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)}\left\{\omega_b{}^2 + \omega_s{}^2 - \left[(\omega_b{}^2 - \omega_s{}^2)^2 + 4\gamma\omega_b{}^2\omega_s{}^2\right]^{1/2}\right\} \tag{3.18-a}$$

$$\omega_2{}^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)}\left\{\omega_b{}^2 + \omega_s{}^2 + \left[(\omega_b{}^2 - \omega_s{}^2)^2 + 4\gamma\omega_b{}^2\omega_s{}^2\right]^{1/2}\right\} \tag{3.18-b}$$

$\varepsilon = \dfrac{\omega_b{}^2}{\omega_s{}^2}$ Değişken dönüşümü yapılırsa, işlemlerden sonra açısal frekanslar ε' ya bağlı olarak bulunur;

$$\omega_1{}^2 = \omega_b{}^2(1-\gamma\varepsilon), \qquad \omega_2{}^2 = \frac{\omega_s{}^2}{(1-\gamma)}(1+\gamma\varepsilon) \tag{3.19}$$

ve sistemde mod şekillerini hesaplamak için; $\phi_b{}^i = 1, i = 1,2$

$$(\phi^1)^T = (1,\varepsilon) \qquad (\phi^2)^T = \left\{1, \frac{-1}{\gamma}\left[1-(1-\gamma)\varepsilon\right]\right\} \tag{3.20}$$

Modal koordinatlarda orijinal yer değiştirmeleri hesaplamak için;

$$v_b = Y_1\phi_b{}^1 + Y_2\phi_b{}^2 \tag{3.21}$$

q_1 ve q_2 zamana bağlı modal katılım çarpanları ve M_i modal kütle olmak üzere, diğer modal büyüklüklerde hesaplanır;

$$M_i = (\phi^i)^T M \phi^i \qquad M_i q_i = (\phi^i)^T M r \tag{3.22}$$

Denklemler ε' ye bağlı olarak düzenlenirse;

$$M_1 = M(1+2\gamma\varepsilon) \qquad M_2 = M\frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \tag{3.23}$$

$$q_1 = 1-\gamma\varepsilon \qquad q_{21} = \gamma\varepsilon \tag{3.24}$$

(3.19) ve (3.20) eşitliklerinde rölatif yer değiştirmeler (v_b, v_s), mod şekilleri ϕ^1 ve ϕ^2' ye bağlı olarak yazılmak istenirse, iki tane modal kalıtım çarpanına ihtiyaç duyulur; (q_1 ve q_2).

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{Y}_1 + \lambda_1\dot{Y}_2 + \omega_1{}^2 Y_1 = -q_1\ddot{u}_g \tag{3.25}$$

$$\ddot{Y}_2 + + \lambda_2\dot{Y}_1 + 2\omega_2\beta_2 + \omega_2{}^2 Y_2 = -q_2\ddot{u}_g \tag{3.26}$$

"$2\omega_1\beta_1$" ve "$2\omega_2\beta_2$" değerleri aşağıda verilen denklemin çözümü sonucu bulunacaktır (Yücesoy, 2005).

$$M_i 2\omega_i\beta_i = (\phi^i)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_i \tag{3.27}$$

elde edilen değerler ise;

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1-\gamma\varepsilon) \tag{3.28}$$

$$2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1-\gamma}(2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \tag{3.29}$$

olacaktır. Bu değerlerde;

$$\beta_1 = \beta_b\left[1-(3/2)\gamma\varepsilon\right] \tag{3.30}$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma\beta_2\varepsilon^{1/2}}{(1-\gamma)^{1/2}}(1-\frac{\gamma\varepsilon}{2}) \tag{3.31}$$

elde edilir.

Modal bağlantı katsayıların "λ_1" ve "λ_2" nin hesaplanacağı denklemler;

$$\lambda_1 M_1 = (\phi^1)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 \tag{3.32}$$

$$\lambda_2 M_2 = (\phi^2)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 = \lambda_1 M_1 \tag{3.33}$$

Böylece;

$$\lambda_1 M_1 = (1,\varepsilon)\begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ a \end{pmatrix} = c_b - \varepsilon a c_s,\ a = (1/\gamma)\left[1-(1-\gamma)\varepsilon\right] \tag{3.34}$$

Denklem (3.19)' da bulunan M_1 ve M_2 değerlerini kullanırsak;

$$\lambda_1 = \frac{2\omega_b\beta_b M - \{(1/\gamma)\left[1-(1-\gamma)\varepsilon\right]\}2\omega_b\beta_b m}{M(1+2\gamma\varepsilon)}$$

$$= 2\omega_b\beta_b(1-2\gamma\varepsilon) - \varepsilon 2\omega_s\beta_s(1-2\gamma\varepsilon)$$

$$\lambda_1 = 2\omega_b\left[\beta_b(1-2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^{1/2}\beta_s\right] \tag{3.35}$$

$$\lambda_2 = \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1-(1-\gamma)\varepsilon]\}2\omega_b\beta_b m}{[M(1-\gamma)/\gamma][1-2(1-\gamma)\varepsilon]}$$

$$= (2\omega_b\beta_b - \varepsilon 2\omega_s\beta_s)[1+2(1-\gamma)\varepsilon]\frac{\gamma}{1-\gamma}$$

$$\lambda_2 = 2\omega_b\left\{\beta_b[1+2(1-\gamma)\varepsilon] - \varepsilon^{1/2}\beta_s\right\}\frac{\gamma}{1-\gamma} \tag{3.36}$$

şeklinde elde edilir (Yücesoy, 2005).

Birçok yapısal uygulamada, sönüm yeterince küçük olduğu için, sönüme bağlı ortogonal bileşenler (burada λ_1 ve λ_2) ihmal edilir. Böylelikle gerekli çözüm, bağlantısız formdaki eşitliklerden(uncoupled modal equations) elde edilir;

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{Y}_1 + \omega_1{}^2 Y_1 = -q_1\ddot{u}_s \tag{3.37}$$

$$\ddot{Y}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{Y}_2 + \omega_2{}^2 Y_2 = -q_2\ddot{u}_s \tag{3.38}$$

Yapının cevabı Y_1 ve Y_2 ise u_g yer hareketinin tanımlanmasıyla söyle bulunabilir;

$$Y_1 = \frac{q_1}{\omega_1}\int ug(t-\tau)e^{-\omega 1\beta 1r}\sin\omega_1\pi d\tau \tag{3.39-a}$$

$$Y_2 = -\frac{q_2}{\omega_2}\int ug(t-\ddot{\tau})e^{-\omega 2\beta 2r}\sin\omega_2\pi d\tau \tag{3.39-b}$$

ve maksimum değerlerin bulunabilmesi için aşağıdaki denklemler kullanılacaktır;

$$|Y_1|_{max} = q_1 s_D(\omega_1 \beta_1) \tag{3.40-a}$$

$$|Y_2|_{max} = q_2 s_D(\omega_2 \beta_2) \tag{3.40-b}$$

Denklemde SD(ω,β) yer değiştirme spektrumunda "ω" açısal frekansında, "β" sönüm faktöründe yer hareketi için karşılık gelen değerdir (Yücesoy, 2005).

Maksimum spektral değerlerden çeşitli büyüklükleri hesaplamak için karelerinin toplamının karekökü (SRSS) metodunu kullanmak gereklidir. Maksimum izolasyon sisteminin yer değiştirmesi ve yapısal deformasyonun maksimum değerleri;

$$|V_s|_{max} = \left[(\phi_2^{\,1} \mid q_1 \mid_{max})^2 + (\phi_2^{\,2} \mid Y_2 \mid_{max})^2 \right]^{1/2}$$

$$|V_b|_{max} = \left[(\phi_1^{\,1} \mid q_1 \mid_{max})^2 + (\phi_1^{\,2} \mid q_2 \mid_{max})^2 \right]^{1/2} \tag{3.41}$$

(3.41)' de bulunan sonuçlar yerine yazılırsa;

$$|V_b|_{max} = \varepsilon \left\{ (1-\gamma\varepsilon)^2 \left[s_D(\omega_1 \beta_1) \right]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 \left[s_D(\omega_{2,} \beta_2)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

$$|V_s|_{max} = \varepsilon \left\{ (1-2\gamma\varepsilon)^2 \left[s_D(\omega_{1,} \beta_1) \right]^2 + \left[1-2(1-\gamma)\varepsilon \right]^2 \left[s_D(\omega_{2,} \beta_2) \right]^2 \right\}^{1/2} \tag{3.42}$$

bulunur.

Genellikle "$\varepsilon^2 sD(\omega_2,\beta_2)$" terimi ihmal edilebilir. Çünkü yüksek frekanslarda (ω2) deplasman, düşük frekanslarda (ω1) yapılan deplasmandan çok küçüktür, bu da bize;

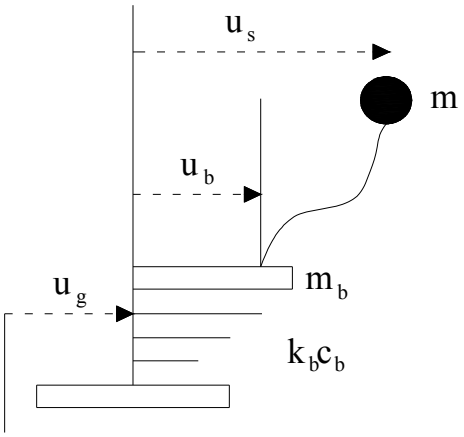
$$|V_b|_{max} = (1-\gamma\varepsilon)s_D(\omega_1,\beta_1) \tag{3.43}$$

bağıntısını verir. Eğer biz "ε^2"den büyük olan bütün terimleri ihmal edersek bu durumda da katlar arası maksimum yer değiştirmeyi bulmuş oluruz;

$$|V_s|_{max} = \varepsilon\left[s_D(\omega_1,\beta_1)^2 + s_D(\omega_2,\beta_2)\right]^{1/2} \tag{3.44}$$

3.9.2 Sismik izolasyonlu yapıların genel davranışı

Sismik izolasyonlu yapıyı ifade eden iki serbestlik dereceli sistemi (Şekil 3.15) daha basit bir hale getirirsek;



Şekil 3.15. İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli

Bu durumda ankastre mesnetli sistemin periyodu;

$$T_{ank} = 2\pi\left[\frac{m}{k_s}\right]^{0.5} \tag{3.45}$$

Aynı şekilde taban izolasyonlu sistemin periyodu;

$$T_{izo} = 2\pi\left[\frac{(m+m_b)}{k_D}\right]^{0.5} \tag{3.46}$$

Ankastre mesnetli sistemin periyodunun, taban izolasyonlu sistemin periyoduna oranı; (α), taban kütlesinin üst yapı kütlesine oranını da (η) olarak ifade edelim;

$$\alpha = \frac{T_{ank}}{T_{izo}}, \qquad \eta = \frac{m_b}{m} \tag{3.47}$$

Elde edilen değerler frekans denkleminde yerine yazılır, yüksek dereceden terimler ihmal edilmek suretiyle gerekli hesaplamalar yapılırsa, yapının 1. ve 2. moddaki titreşim periyodları;

$$T_1 = \sqrt{(1+\alpha^2)}T_{izo} \tag{3.48}$$

$$T_2 = \frac{T_{ank}}{\sqrt{(1+\eta+\eta\alpha^2)}} \tag{3.49}$$

Sisteme ait mod şekilleri aşağıdaki gibidir:

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1+\alpha^2 \end{Bmatrix} \tag{3.50}$$

$$\phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ (\alpha^2-1)/\eta \end{Bmatrix} \tag{3.51}$$

Periyotlar oranı α' nın açık yazılması halinde;

$$\alpha = \sqrt{k_{b/k_s}\sqrt{m/(m+m_b)}} \tag{3.52}$$

İzolasyon sisteminin rijitliği k_b, üst yapınınkine oranı k_s' ye göre çok küçük olduğunu ve taban kütlesi m_b' nin çoğu zaman üst yapı kütlesi m' den küçük olduğunu düşünürsek α değerinin de 1' den küçük bir sayı olacağı anlaşılmaktadır. Ortalama 0.01 ile 0.3 arasında olan bu sayının karesi kendisinden küçük olacağından,

$$1+\alpha^2 \approx 1 \tag{3.53}$$

alınabilir (Yücesoy, 2005).

3.10 Sismik İzolasyon İçin Analitik Çözüm Yöntemi

3.10.1 Analiz metodları

Binanın yapısal ve yalıtıcı sistem özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki analiz metodları kullanılmaktadır.

- Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi ile Doğrusal Analiz
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analiz
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

3.10.1.1 Eşdeğer yatay yük yöntemi

Eşdeğer Yatay Yük yöntemi esasen bir doğrusal statik analiz metodudur. Ancak eşdeğer yatay yükün bulunması için deplasman bazlı iteratif bir yöntem uygulanmaktadır. Üst ve alt yapıyı rijit ve kabul edilir ve üst yapıdaki her iki yöndeki yatay ve burulmalı serbestlikler bağlantısız olarak göz önüne alınır. Yalıtım sistemi ise öngörülen deplasman seviyesine uygun eşdeğer rijitlik ve sönüm oranı ile modellendirilir. Yalıtım sistemindeki deplasman uyumlu eşdeğer rijitlik kullanılarak bulunan yalıtım periyodu ve eşdeğer sönüm oranına tekabül eden yeni bir deplasman

değeri deplasman spektrumu vasıtası ile bulunur ve iterasyon konverjans sağlanana kadar tekrarlanır (Erdik, 2007).

Tasarım deplasmanı seviyesinde yalıtıcı sisteminde oluşacak toplam kesme kuvveti (eşdeğer yatay yük) tasarım depremi deplasmanı seviyesinde yalıtıcı sistemin maksimum etkin rijitliği ve tasarım depremi seviyesinde yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşan spektral deplasmanın çarpılması ile belirlenir (Erdik, 2007).

Eşdeğer yatay yük yöntemini kullanarak sismik izolasyon sistemi modellemek için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- Ele alınan zeminin faya yakınlığı 10 kilometreden büyük olmalıdır.
- Yapı yüksekliği 20 metreden küçük ya da eşit olmalı ve kat sayısı 4 ten fazla olmamalıdır.
- İzolasyonlu yapının, deprem anına hedeflenen doğal titreşim periyodu T_D, ankastre mesnetli yapının doğal titreşim periyodundan T_{fix} , 3 kat daha büyük olmalıdır ($T_D \geq 3\ T_{fix}$).
- Maksimum deprem seviyesinde, yapının hedeflenen doğal titreşim periyodu T_M, 3s değerini aşmamalıdır ($T_M \leq 3s$).

3.10.1.2 Doğrusal dinamik analiz (mod birleştirme yöntemi-zaman tanım alanında)

Mod birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Yalıtıcı sistem davranışının visko-elastik olarak modellenebildiği durumlarda doğrusal dinamik analiz kullanılabilir. Yalıtım sistemi iki yatay ve bir burulma serbestlik derecesi olmak üzere üç serbestlik derecesi ile modellenecektir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabulü ile üst yapının her bir katında birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınmalıdır (Erdik, 2007).

Üst ve alt yapı taşıyıcı elemanlarına gelecek deprem etkilerinin hesabı için düzeltilmiş tasarım deprem seviyesi spektrumu ve yalıtım sistemi etkin rijitliklerinin maksimum değerleri, yalıtıcı birimlerdeki en büyük yer değiştirmelerin hesabında ise düzeltilmiş en büyük deprem seviyesi spektrumu ve yalıtım sistemi etkin rijitliklerinin minimum değerleri göz önüne alınmalıdır (Erdik, 2007).

3.10.1.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz:

Her koşul altında doğrusal olmayan dinamik analiz yönteminin uygulanması mümkündür. Üst ve alt yapı deprem performanslarının belirlenmesinde Tasarım Depremi seviyesine tekabül eden deprem yer hareketleri, yalıtıcı birimlerin toplam en büyük yer değiştirmelerinin hesabında ise en büyük deprem seviyesine tekabül eden deprem yer hareketleri kullanılacaktır (Erdik, 2007).

3.10.2 Deprem yalıtımı tasarımında kullanılan referans değerler

Deprem yalıtımı uygulanmış bir binanın emniyetini kontrol eden en önemli unsurlar yalıtım sisteminde oluşacak en büyük deprem seviyesi deplasmanı ve tasarım depremi seviyesinde yalıtıcı sisteminde oluşacak kesme kuvvetidir. Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi kapsamında kullanılan basit yapı modeli göz önüne alınarak en büyük deprem seviyesinde yalıtım sistemi rijitlik merkezinde oluşacak en büyük deplasmanın, $D_M(T_M)$, bu deprem seviyesindeki yalıtım periyoduna ve eşdeğer sönüm oranına tekabül eden yer-bağımlı spektral deplasmana $SD(T_M)$, eşit olacağı gösterilebilir. En büyük deprem seviyesinde deprem yalıtımlı yapının yanal etkin titreşim periyodu (T_M) üst yapı toplam kütlesi (W/g) ve en büyük deprem seviyesinde yalıtıcı sisteminin minimum etkin rijitliğine ($K_{M,\,min}$) bağlı olarak bulunur (Erdik, 2007).

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{M,\min} g}} \tag{3.54}$$

Tasarım depremi seviyesinde yalıtıcı sisteminde oluşacak kesme kuvveti, V_b, tasarım depremi seviyesinde yalıtıcı sistemin maksimum etkin rijitliği, $K_{D,\ max}$ ve tasarım depremi seviyesindeki yalıtım periyoduna ve eşdeğer sönüm oranına tekabül eden yer-bağımlı spektral deplasmana, $SD(T_D)$, eşit olacaktır (Erdik, 2007).

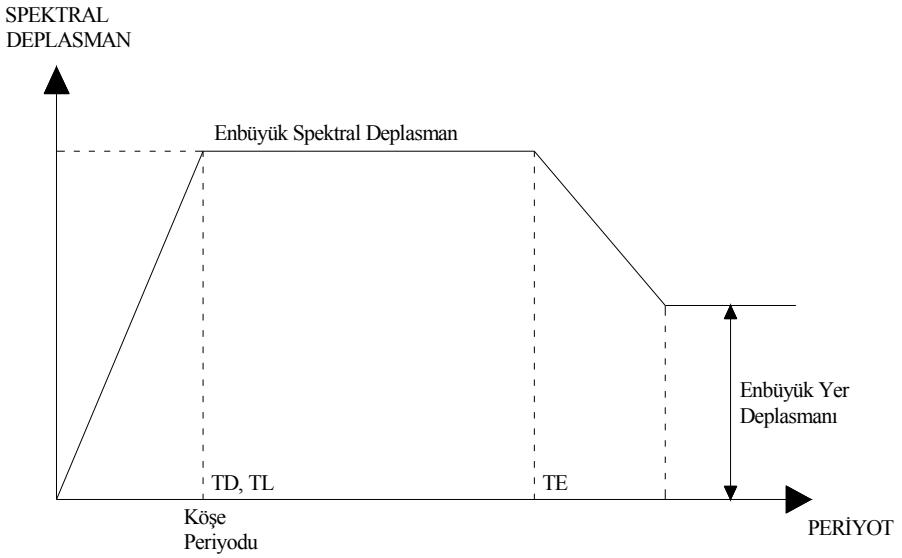
$$V_b = K_{D,\max} SD(T_D) \tag{3.55}$$

Tasarım depremi seviyesindeki yalıtımlı yapının yanal titreşim periyodu (T_D) üst yapı toplam kütlesi (W/g) ve tasarım depremi seviyesinde yalıtıcı sisteminin minimum etkin rijitliğine ($K_{D,\ min}$) bağlı olarak bulunur (Erdik, 2007).

IBC (2003) şartnamesinde yalıtım sistemi rijitlik merkezindeki en büyük deplasman, $D_M(T_M)$, ve tasarım kesme kuvveti, V_b, referans değer olarak muamele görmekte ve daha gelişmiş analiz yöntemleri ile bulunacak deplasman talepleri ve kesme kuvvetleri bu değerlerin sırasıyla %90 ve %70'i ile sınırlandırılmıştır (Erdik, 2007).

Bu referans değerlerde yer alan yalıtım sistemi minimum ve maksimum etkin rijitlikleri ve eşdeğer sönüm oranları yalıtıcı birimler üzerinde yapılan testler neticesinde belirlenmekte ve sınır analizleri vasıtası ile tasarıma yansıtılmaktadır. T_M periyodunun bugün birçok uygulamada 6s mertebesine ulaştığı ve eşdeğer sönüm oranının %20-%30 civarında gerçekleştiği göz önüne alınırsa bu periyot seviyesindeki spektral deplasmanın tayininde mevcut şartnamelerin yetersiz kalabileceği ortaya çıkmaktadır (Erdik, 2007).

EuroCode 8 (EC8, 2003) ve IBC (2006) şartnamelerinde yer almış bulunan deplasman spektrumunun genel şekli Şekil 3.16' da gösterilmiştir.

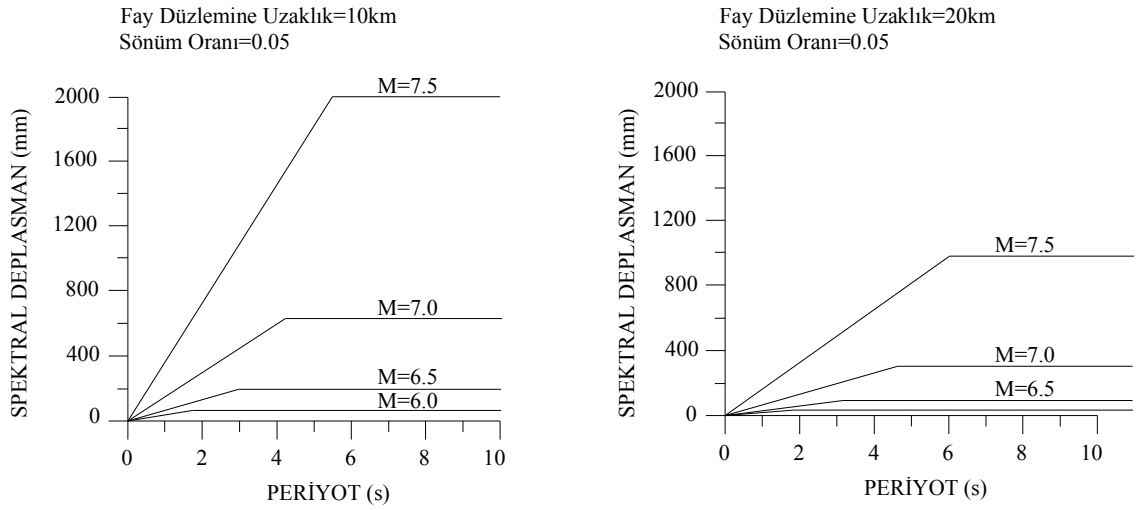


Şekil 3.16. İdealleştirilmiş deplasman spektrumu şekli (EC8, 2003; IBC, 2006)

Deplasman spektrumu şeklini belirleyen periyotlar arasında en önemli olanı sismolojide "Köşe Periyodu" olarak adlandırılan periyodudur. EC-8 (2003) ve NEHRP (2003) şartnamelerinde bu köşe periyodu sırasıyla T_D ve T_L olarak adlandırılmıştır. Köşe periyodundan daha büyük periyotlarda spektral ivme periyodun karesi ile azalmakta ve spektral deplasman T_E periyoduna kadar sabit bir değerde kalmaktadır. Köşe periyoduna EC-8 (2003) şartnamesinde 1. Tip spektrum şekli için 2s, NEHRP (2003) şartnamesinde ise deprem büyüklüğüne ve tektonik bölgeye bağlı olarak 4s ile 16s arasında değişen değerler verilmiştir. T_E periyodu EC-8 (2003) şartnamesinde zemin sınıfına bağlı olarak 4.5s ve 6s değerleri arasında değişmektedir.

En büyük ivme ile yüksek periyot değerlerindeki spektral deplasmanlar arasında fiziksel bir ilişki olmadığı için, bu gibi yüksek periyot seviyelerinde sadece en büyük ivme bağımlı olarak belirlenen tasarım spektrumlarından (örneğin EC-8, 2003) gerçekçi spektral deplasmanlar elde edilememektedir. Bu açıdan, spektral deplasman şekillerinin şartnamelerde olduğu gibi ivme spektrumlarından harmonik davranış kabulü ile üretilmesi yerine doğrudan doğruya kuvvetli yer hareketi kayıtlarına bağlı kalınarak belirlenmesi rasyonel bir yaklaşım olmaktadır.

Yapılmış araştırmalar köşe periyodunun senaryo depremi büyüklüğünün, sabit spektral deplasman seviyesinin ise senaryo depremi büyüklüğü, fay düzlemine uzaklık ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak bulunabileceğini göstermiştir. Araştırma sonucu bulunan bulgular kullanılarak Şekil 3.17' de fay hattına 10km ve 20km mesafe ve değişik deprem büyüklükleri için %5 sönüm oranlı idealize deplasman spektrum şekillerinin medyan değerleri "sert" zemin sınıfı için gösterilmiştir (Faccoli, et al., 2004; Faccoli, et al., 2007).



Şekil 3.17. Sert zemin sınıfı için değişik fay uzaklıkları ve deprem büyüklükleri için idealleştirilmiş medyan spektral deplasmanlar (Faccoli, et.al., 2004; Faccoli, et al., 2007)

Yüksek periyotlu spektral deplasmanların güvenilir bir şekilde elde edilmesine yönelik birçok güncel çalışma ve yeni azalım ilişkileri mevcuttur (Faccioli, et al.., 2007; Priestley, et al., 2007; Akkar and Bommer, 2007, Abrahamson and Silva 2007; Boore and Atkinson, 2007; Campbell and Bozorognia, 2007). Referans verilen bu yeni azalım ilişkilerine dayalı olarak hazırlanacak, spektral deplasmanın değişik periyot değerleri ve sönüm oranları için, değişik ortalama dönüş sürelerine tekabül eden probabilistik değerlerini sağlayan, deprem tehlike haritalarının yakın gelecekte deplasman bazlı depreme dayanıklı yapı tasarımı ve deprem yalıtımı şartnamelerinde yer alması beklenmektedir.

Deprem yalıtımı uygulanmış binalar için geçerli daha yüksek eşdeğer sönüm oranları için bu spektrumların azaltılması gerekmektedir. Azaltma faktörü olarak şartnamelerde

$$\frac{SD(\varsigma)}{SD(5\%)} = \left(\frac{a}{b+\varsigma} \right)^{c} \tag{3.56}$$

tipinde ifadeler kullanılmaktadır. Burada ζ istenilen sönüm oranıdır. Priestley et al., (2007) deprem kaynağı yakınında olmayan durumlar için a=0.07, b=0.02 ve c=0.5 değerlerini, direktivite etkilerinin olabileceği deprem kaynağı yakını durumlar içinse de c=0.25 alınmasını önermektedir. Bu spektral genlik azaltım katsayıları %30 büyüklüğüne bir eşdeğer sönüm için deprem kaynağı yakınında olmayan durumlarda 0.45 değerini, deprem kaynağı yakınında olan durumlarda ise yaklaşık 0.70 değerini almaktadır.

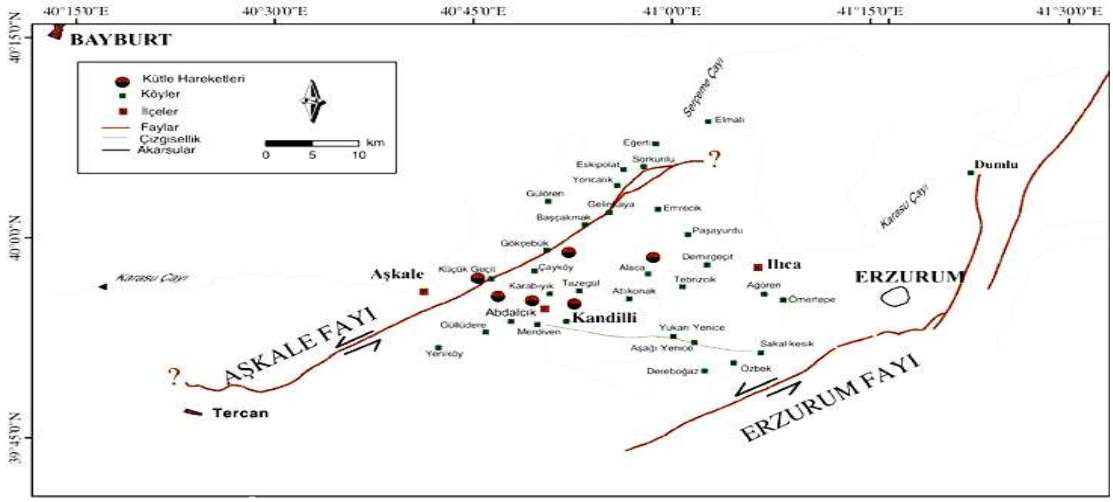
4. ANKASTRE MESNETE SAHİP TEMEL İLE SİSMİK İZOLASYONLU SİSTEMİN ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Erzurum Devlet Hastanesi Modellerinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

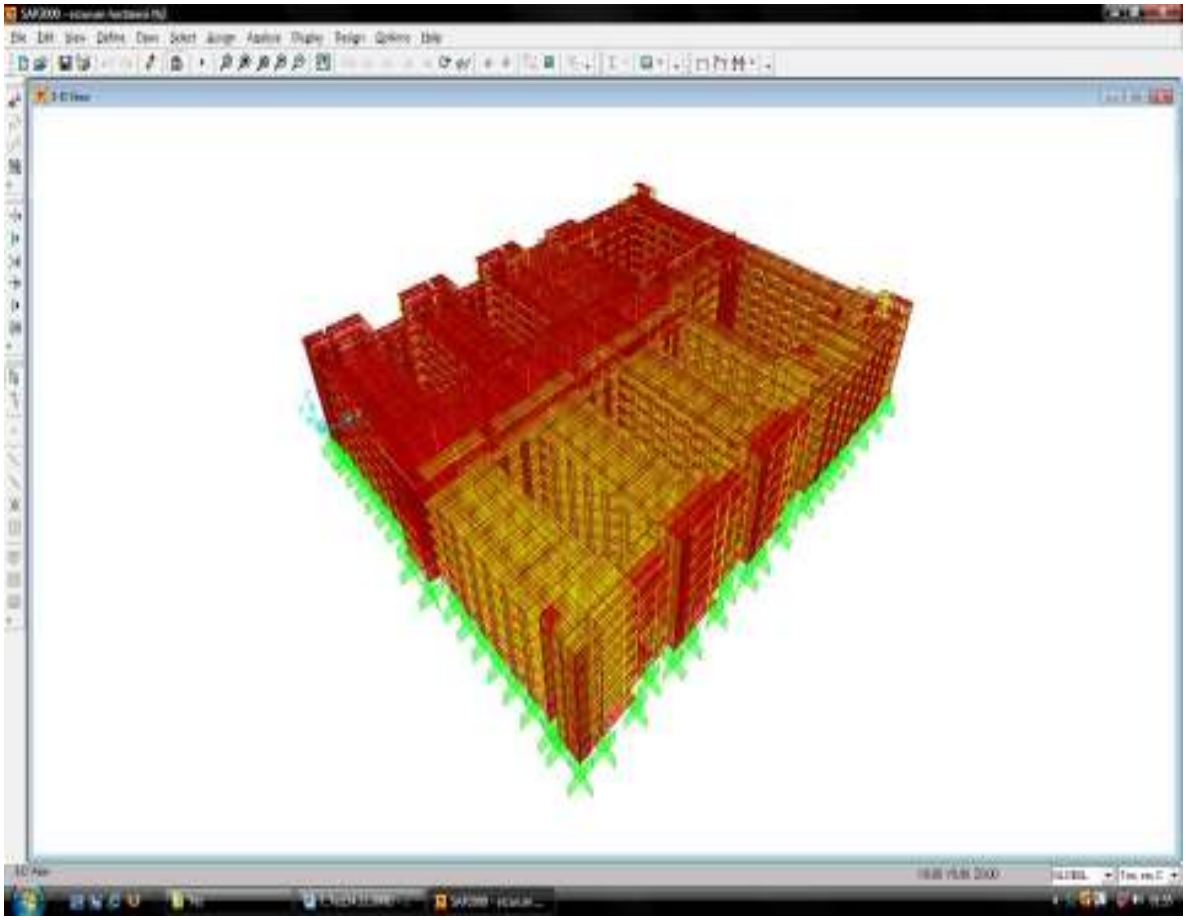
Erzurum Devlet Hastanesinin plan boyutları 160m x 140m ve toplam yüksekliği 28 m' dir. Hastane binası altı kat ve bir bodrumdan oluşmaktadır. Sismik izolatörler için anlaşılan firmanın ürettiği izolatör boyutlarının yeteri kadar büyük olamamasından dolayı yapı dilatasyonsuz modellenmiştir. Hastane konumu yanal atımlı Erzurum Fayı'na yaklaşık 4 km mesafede yer almaktadır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Türkiye ve Erzurum' un fay yapısı
(http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/tr-faylar.gif)



Şekil 4.2. Erzurum Hastanesinin Erzurum fayı'na göre konumu (Erdik, 2005)

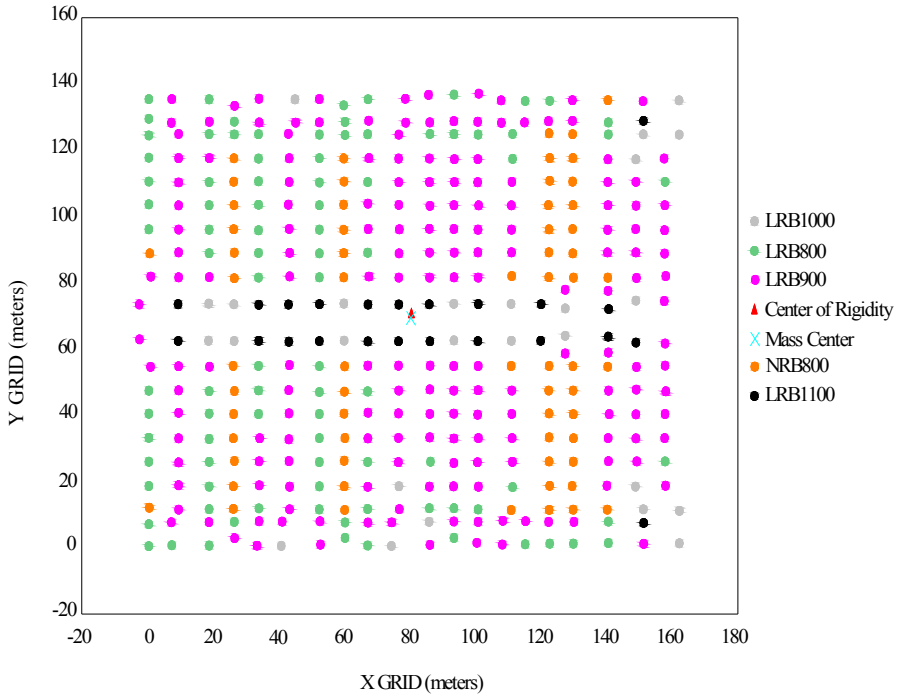


Şekil 4.3. Erzurum Devlet Hastanesi sonlu elemanlar modeli

Taban izolasyonlu model tasarımında International Building Code (2003) ve Türkiye Deprem Şartnamesi kullanılmıştır. IBC (2003) şartnamesi deprem yalıtımlı yapılar için iki seviyeli bir deprem yer hareketi öngörmektedir. Birinci seviye deprem yer hareketi (Design Basis Earthquake) ortalama 475 yıl dönüş süreli, ikinci seviye (Maximum Considered Earthquake) ise ortalama 2500 yıl dönüş süresi olan probabilistik (veya deterministik) deprem yer hareketine tekabül etmektedir. Ankastre temele sahip model için ise Türkiye Deprem şartnamesi kullanılmıştır.

Sismik izolatörlü model için tabana 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtıcı birimi (LRB1100, LRB1000, LRB900, LRB800) yerleştirilmiştir. Yalıtıcıların nominal çapları 800 mm, 900 mm, 1000 mm ve 1100 mm olarak belirlenmiştir. 800 mm çaplı

yalıtıcı birimlerinin bir kısmında kurşun çekirdek bulunmamaktadır (NRB800). Yalıtıcı birimlerin konumları değişik tipler için Şekil 4.4' de sunulmuştur.



Şekil 4.4. Yalıtıcı birimlerin yalıtım düzlemi üzerindeki konumları

Yalıtım birimlerinin fotoğrafları ve yerleştirme detayları Şekil 4.5' de gösterildiği gibidir. Şekil 4.5.a' da kauçuk esaslı sismik izolatörlerin temele sabitlendiği görülmektedir. Şekil 4.5.b ve Şekil 4.5.c' de temele sabitlenen izolatörlerin üzerlerine kolonların inşa edildiği görülmektedir. Şekil 4.5.d' de dilatasyonsuz inşa edilen yapının önemli bir kısmının bittiği görülmektedir. Fakat şekillerde de görüldüğü gibi soğuk hava şartlarında monte edilen izolatörler için gerekli önlem alınmağından yapının inşaatı sırasında izolatörde büzülme meydana gelmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.5. İzolatörlerin yapının tabanına yerinde yerleşimi

Kullanılan yalıtıcı birimlerinin prototip ve üretim aşaması deneyleri IBC (2003) şartnamesinin gerekli maddeleri kapsamında University of California at San Diego SRMD Laboratuarlarında yapılmış ve gerekli gözetim ve denetim raporları hazırlanarak idareye teslim edilmiştir. MCE seviyesi depremi altında yalıtıcılar en büyük 50cm ortalama deplasmana maruz kalacaklar ve kauçuk malzemede %240 kayma birim yer değiştirmesi meydana gelecektir. MCE seviyesi deprem etkisi altında elde edilmiş deneysel sonuçlar Çizelge 4.1' de sunulmuştur. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtıcı birimleri için geçerli tipik bir yatay kuvvet-deplasman eğrisi ise Şekil 3.10' da gösterilmiştir (Erdik, 2006).

Çizelge 4.1. Prototip deney sonuçları (MCE seviyesinde 3 döngü ortalaması) (Erdik, 2006)

Yalıtıcı Simgesi	A	B	C	D	E
Yalıtıcı Tipi	LRB	LRB	LRB	LRB	NRB
Yalıtıcı Çapı (mm)	800	900	1000	1100	800
Yalıtıcı Birimi Adedi (386 Adet)	91	181	29	22	63
En Büyük Düşey Yük (kN)	3679	5879	7834	10268	1331
En Büyük Kayma Birim Yerdeğiştirmesi	238%	238%	238%	238%	238%
En Büyük Kesme Kuvveti (kN)	790,7	1009	1320,7	1552,5	652,8
En Büyük Kayma Deplasmanı (cm)	48,91	48,69	48,57	48,45	49,02
En Büyük Deplasman Etkin Rijitlik (kN/cm)	16,17	20,73	27,19	32,04	13,32
Akma Dayanımı Qd (kN)	321,2	431,4	500,3	614,9	47,2
Elastik Ötesi Rijitlik (kN/cm)	9,13	11,61	15,99	18,42	12,26
Bir Döngüde Yutulan Enerji EDC (kNm)	663	848	1041	1263	100

IBC (2003) şartnamesinde üst yapının tasarımı (veya deprem performans tahkiki) DBE deprem seviyesi altında ve yatay yük azaltma katsayısı R=2 alınarak yapılmaktadır. Bu şartname kapsamında yapı önem katsayısı kavramı kullanılmamakta, veya I=1 olarak alınmaktadır. Yalıtılmış yapının analizi için önce IBC (2003)'de öngörülmüş ve yalıtıcıların visko-elastik olarak modellenmesine dayalı spektral analiz metodu kullanılmıştır. Bu analiz kapsamında her bir yalıtıcı üç boyutlu bir fiktif kolon elemanı olarak modellenmektedir. Tasarımda kullanılacak üst sınır parametrelerin tayininde yaşlanma ve soğuk ortam modifikasyonları için değerler ayrıca %12 arttırılmıştır.

Sismik İzolatörlü model tasarlanırken üst yapı orijinal olarak konvansiyonel (deprem yalıtımı olmayan) bir yapı olarak tasarlanmış ve istenen performans faktörlerinin yapı davranışına yansıtılabilmesi amacı ile deprem yalıtımı sistemi daha sonra yapı tasarımına ayrıca dahil edilmiştir. Ancak üst yapı tasarımı ile ilgili bir değişiklik yapılmamıştır. Türk Deprem Şartnamesine göre yapılmış üst yapı ve ankastre temele sahip model tasarımında (2. Derece Deprem bölgesi), yerel zemin sınıfı (Z2), yapı önem katsayısı I=1.5 ve deprem yükü azaltma katsayısı R=7 kabul edilmiştir.

Sismik izolatörlü sisteme sahip model x ve y yönünde TSE 500'e göre;

Fd=1.0G + 1.0Q + 1.0E
Fd=1.0G + 1.0Q - 1.0E
Fd=0.9G + 1.0E
Fd=0.9G - 1.0E

kombinasyonlarından Fd=1.0G + 1.0Q + 1.0E kombinasyonuna göre Çizelge 4.2' de gösterilen kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Katlara gelen kesme kuvvetlerinin dağılımı modal analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Yapının davranışı üst yapının hemen hemen rijit kaldığı ve sadece izolasyon sisteminin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenmiştir. Yapıya x yönünde toplam 20295 t, y yönünde ise 20151 t kuvvet etki etkimektedir. Üst yapıda deformasyona neden olan yüksek modlar harekete katılmayacakları için yüksek modların içerdiği yüksek enerjide üst yapıya aktarılmayacaktır. Yapı periyodu T=2.25s' dir.

Çizelge 4.2. Sismik izolatörlü sistemin deprem nedeniyle x ve y yönünde maruz kaldığı kesme kuvvetleri

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat Numaraları	Kat Kotları	F (t)	V (t)	Kat Numaraları	Kat Kotları	F (t)	V (t)
1	-9,4	1115,7	20295,0	1	-9,4	1107,8	20151,0
2	-4,7	1668,0	19179,3	2	-4,7	1656,2	19043,2
3	0	2501,3	17511,3	3	0	2483,7	17387,0
4	4,7	3160,7	15010,0	4	4,7	3138,4	14903,3
5	9,4	3781,0	11849,3	5	9,4	3754,4	11764,9
6	14,1	4373,3	8068,3	6	14,1	4341,5	8010,5
7	18,6	3695,0	3695,0	7	18,6	3669,0	3669,0

Ankastre temele sahip model x ve y yönünde TSE 500'e göre;

Fd=1.0G + 1.0Q + 1.0E

Fd=1.0G + 1.0Q - 1.0E

Fd=0.9G + 1.0E

Fd=0.9G - 1.0E

kombinasyonlarından Fd=1.0G + 1.0Q + 1.0E kombinasyonuna göre Çizelge 4.3' de gösterilen kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Katlara gelen kesme kuvvetlerinin dağılımı modal analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Yapıya x yönünde toplam 60242 t, y yönünde ise 41685 t kuvvet etki etkimektedir. Yapı periyodu T=1.07s' dir. İzolatörlü sistem için periyodun 2.25 s olduğu dikkate alınırsa izolatörlerin yapının titreşim modunu artırdığı kısa periyotlu yapılarda kullanımı daha uygun olacağı sonucu çıkarılmaktadır. Bu sayede yapının deprem kuvvetlerinden daha az etkilenmesi sağlanır.

Çizelge 4.3. Ankastre mesnetli temele sahip sistemin deprem nedeniyle x ve y yönünde maruz kaldığı kesme kuvvetleri

X YÖNÜ				Y YÖNÜ			
Kat Numaraları	Kat Kotları	F (t)	V (t)	Kat Numaraları	Kat Kotları	F (t)	V (t)
1	-9,4	3311,8	60242,0	1	-9,4	2291,6	41685,0
2	-4,7	4951,2	56930,2	2	-4,7	3426,0	39393,4
3	0	7425,1	51979,0	3	0	5137,9	35967,4
4	4,7	9382,4	44553,9	4	4,7	6492,2	30829,5
5	9,4	11223,8	35171,5	5	9,4	7766,4	24337,3
6	14,1	12979,0	23947,7	6	14,1	8981,0	16570,9
7	18,6	10968,7	10968,7	7	18,6	7589,9	7589,9

Sismik izolatör ve ankastre temele sahip modeller Sap2000 programı ile analiz edilerek en büyük kat deplasmanları için Çizelge 4.4' deki değerlere ulaşılmıştır.

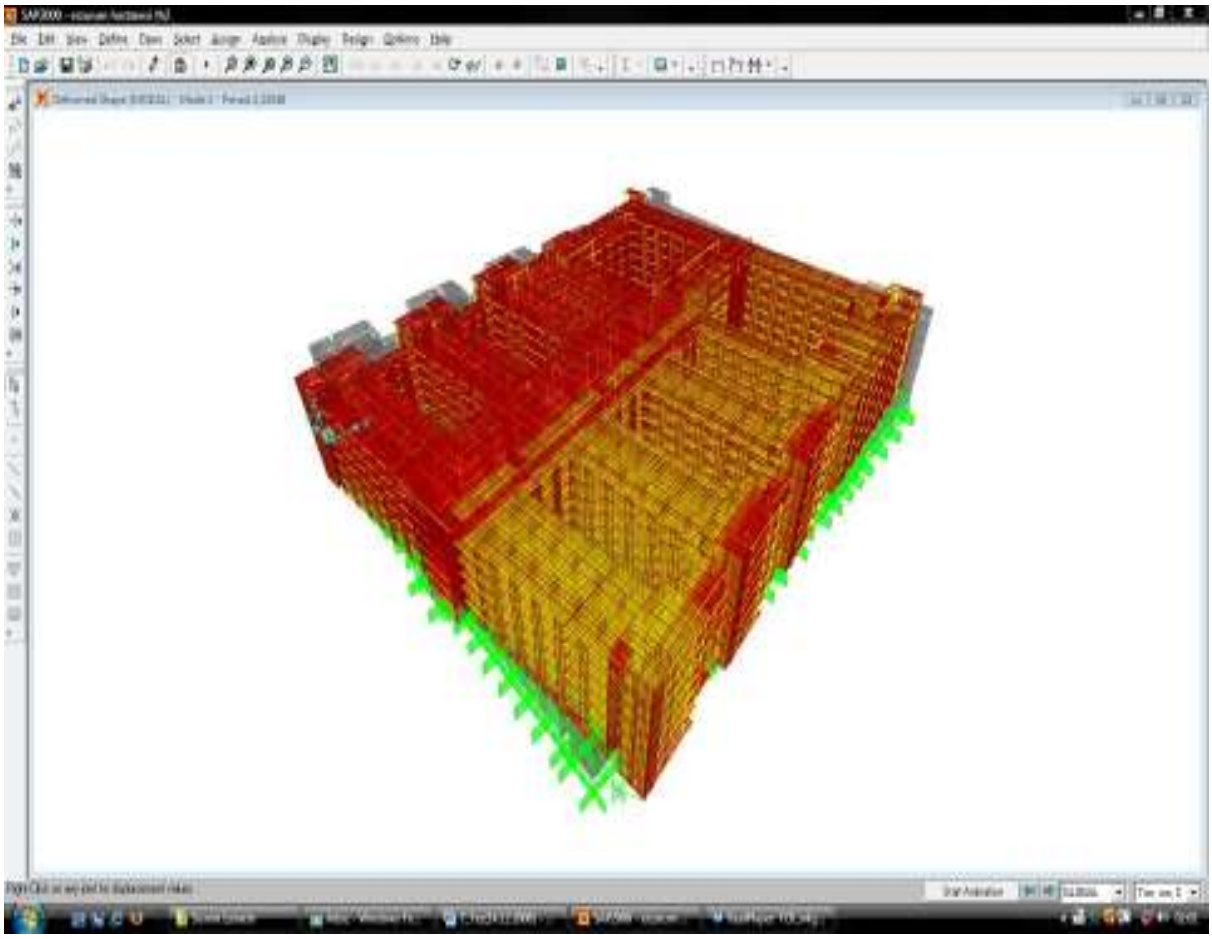
Çizelge 4.4. Ankastre mesnetli model ile sismik izolatörlü modelin kat deplasmanları

		Sismik İzolatör Modeli		Ankastre Mesnet Modeli	
Kat Numaraları	Kat Kotları	U1 (cm)	U1(kat ötelenmesi) (cm)	U1 (cm)	U1(kat ötelenmesi) (cm)
0	-14,1	27,619	0	0	0
1	-9,4	27,837	0,218	0,295	0,295
2	-4,7	28,07	0,233	0,488	0,193
3	0	28,321	0,251	0,585	0,097
4	4,7	28,58	0,259	0,576	-0,009
5	9,4	28,841	0,261	0,468	-0,108
6	14,1	29,104	0,263	0,291	-0,177
7	18,6	29,358	0,254	0,192	-0,099

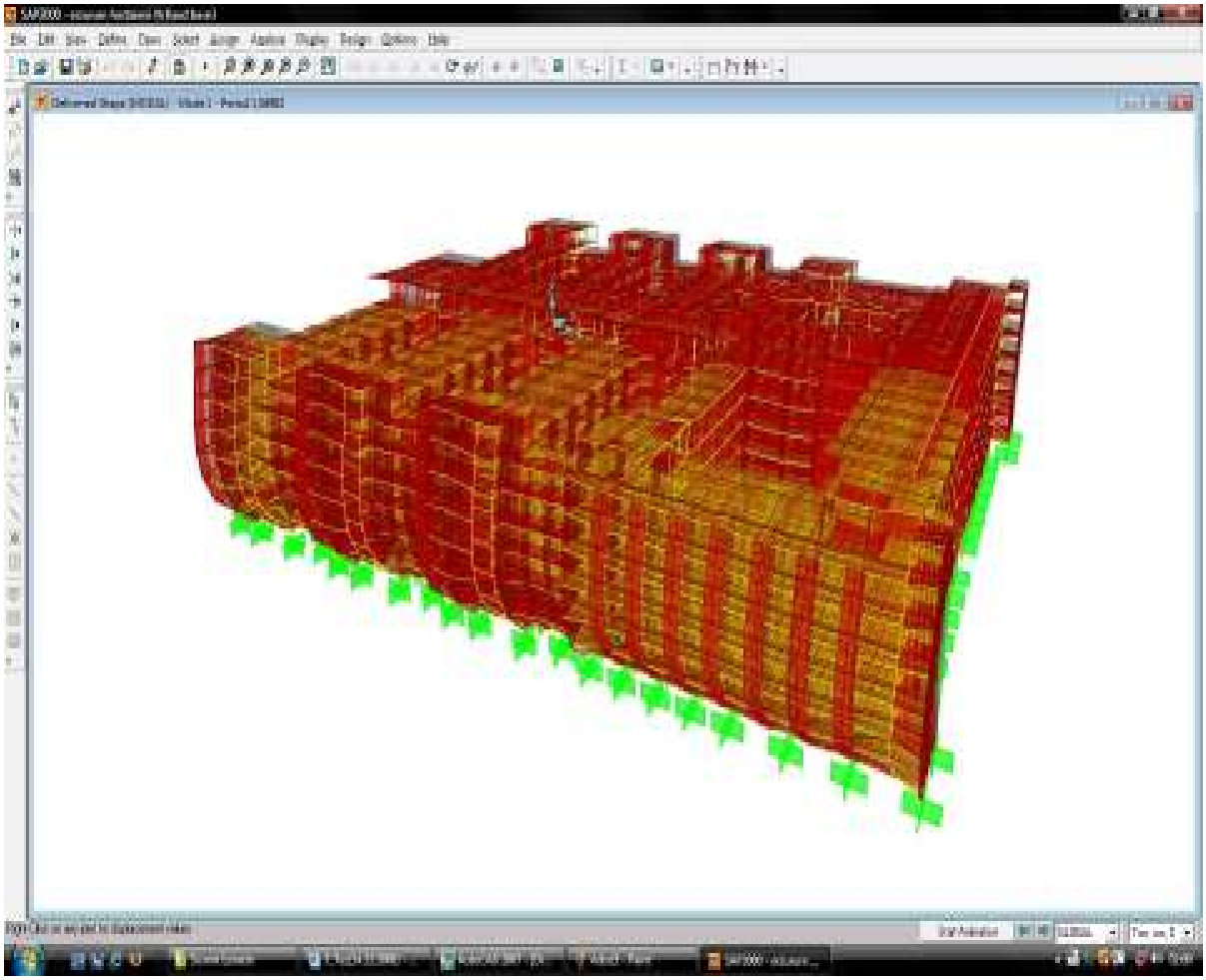
Sismik İzolatörlü modelde belirlenen kat deplasmanları izolatörlerle yapının birlikte yaptıkları deplasmanlardır. Sap2000 programında analiz sonucu elde edilen yapının deformasyonu Şekil 4.6' da gösterildiği gibidir. Beklendiği gibi kat ötelenmeleri belirli bir artış göstermektedir (Ek.5). Oluşan kat deplasmanları izolatörler tarafından sönümlenmektedir. Bu sayede depremde açığa çıkan enerji izolatörler

tarafından sönümlenerek yapının enerji yutma kapasitesi arttırılır ve deformasyonlar önlenmiş olur. Yapının yatay yönde serbest şekilde hareket edebilmesi yatay yüklere maruz kalan yapının deformasyonunu önlemiş olmaktadır. Başka bir deyişle elastik olmayan davranış önlenmektedir.

Ankastre mesnetli modelde belirlenen deplasmanlar düzensizlik içindedir. Her katta farklı yönde ve farklı büyüklükte deplasmanlar oluşmaktadır. Bu durum yapının ikinci mod etkisinde hareket etmesinden kaynaklanmaktadır (Ek.6). Üst yapıda deformasyona neden olan yüksek modlar yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin artırırlar. Bu durumda deprem esnasında yapıya gelen yatay kuvvetler her seferinde yapının hızını artmasına neden olurlar. Sap2000 programında analiz sonucu elde edilen yapının deformasyonu Şekil 4.7' de gösterildiği gibidir.

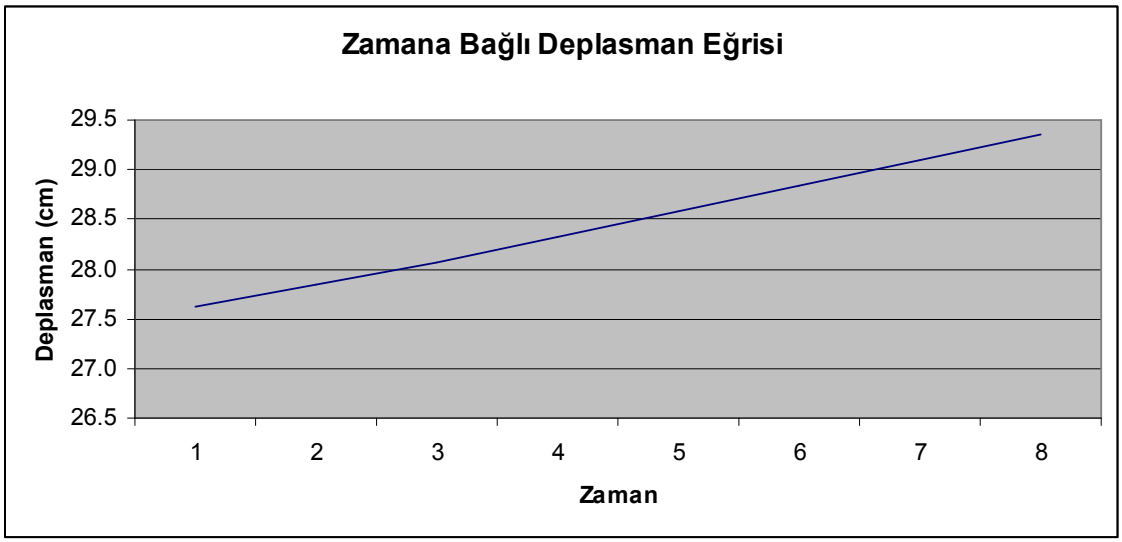


Şekil 4.6. Sismik izolatörlü yapının deformasyon şekli

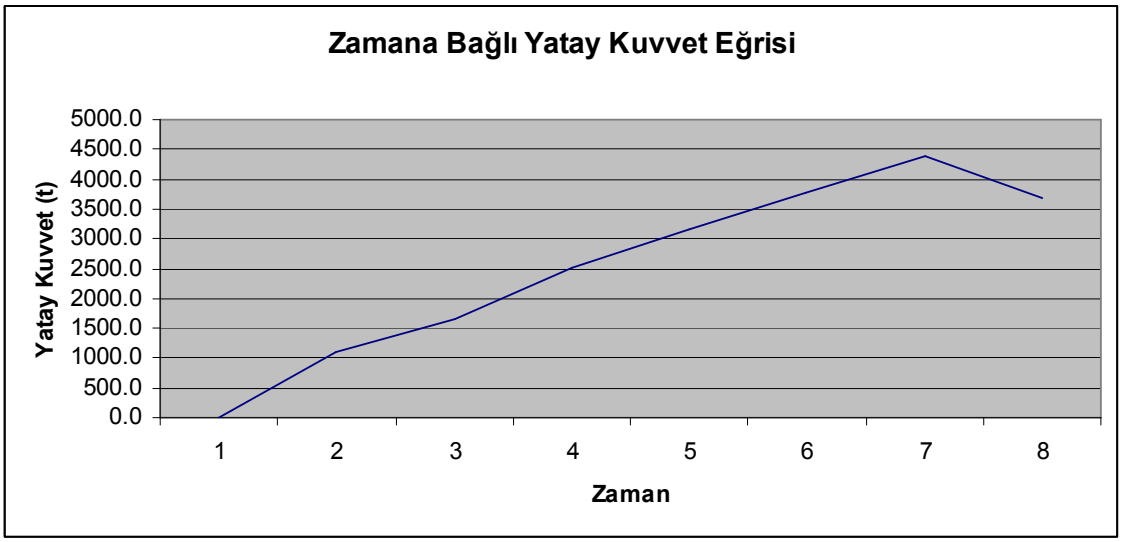


Şekil 4.7. Ankastre mesnetli temele sahip yapının deformasyon şekli

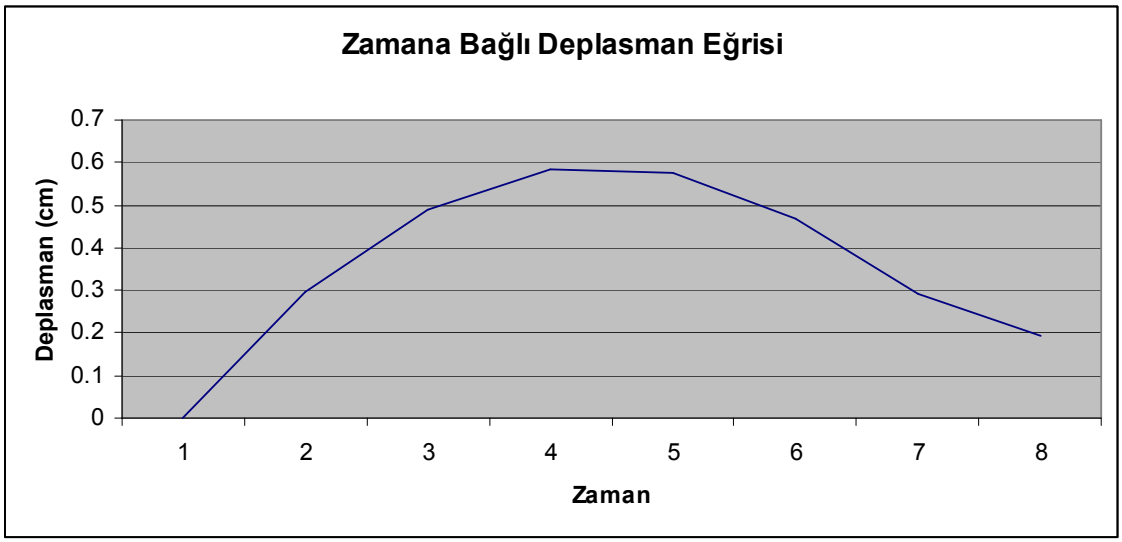
Yatay kuvvet ve deplasman eğrileri incelendiğinde yapının depremden nasıl etkilendiği daha rahat anlaşılmaktadır. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da görüldüğü gibi taban izolasyonu sayesinde üst yapıya etkiyen yatay kuvvetler azalmakta, izolatörün yaptığı deplasmanla birlikte üst yapının yaptığı deplasman belli bir düzen içinde artış göstermektedir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11' de ise ankastre mesnetli temele sahip sistem büyük yatay yüklere maruz kalmakta ve de deplasman artışı düzensizlik göstermektedir. Bu durum yapının elastik ötesi davranış yapmasına neden olan ikinci mod etkisinde hareket ettiğini göstermektedir.



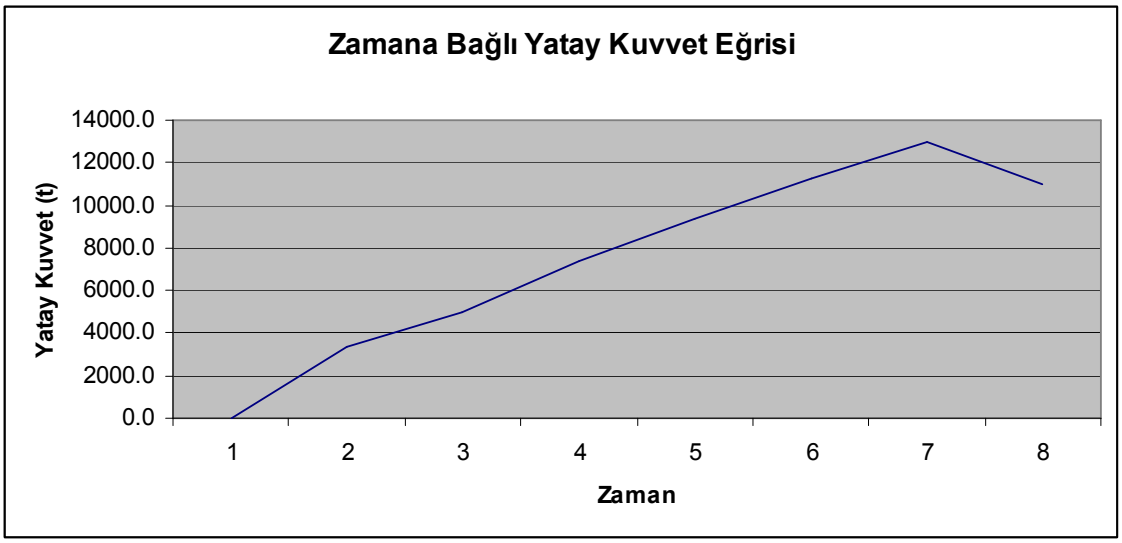
Şekil 4.8. Sismik izolatörlü yapının zaman-deplasman eğrisi



Şekil 4.9. Sismik izolatörlü yapının zaman-yatay kuvvet eğrisi



Şekil 4.10. Ankastre mesnetli temele sahip yapının kuvvet-deplasman eğrisi



Şekil 4.11. Ankastre mesnetli temele sahip yapının zaman-yatay kuvvet eğrisi

Sap2000 programı ile yapılan dinamik analiz sonucunda taban izolasyonlu ve ankastre tabanlı her iki model için elde edilen temel kiriş moment değerleri ile, Ersoy ve Özcebe (2001) betonarme tasarım ilkeleri kitabında belirtilen açıklık, mesnet ve kesme donatısı hesap yöntemine göre açıklık, mesnet ve kesme donatısı hesap edilerek ilgili çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 4.5-Çizelge 4.12).

Hesaplardan görüleceği gibi ankastre temel kirişleri ciddi deprem momentlerine maruz kalmıştır. Bundan dolayı daha fazla donatı kullanmak gerekir.

Taban izolasyonlu modelin dinamik analizi sonucunda temel kirişleri için elde edilen moment ve kesme kuvveti değerleri ankastre tabanlı modelin dinamik analizi sonucunda temel kirişleri için elde edilen moment ve kesme kuvveti değerlerine oranla %40 ila %50 arasında azalmıştır. Bu durum taban izolasyonlu yapı tasarımında temel kiriş donatılarının azaltılmasına ve bu sayede yapı maliyetinin azalmasına fayda sağlamaktadır.

Çizelge 4.5. Sismik İzolatörlü model temel kirişleri sol mesnet moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Sol mesnet (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	6,15	1,7
TK44	150	120	611,86	169,3
TK45	150	120	396,62	109,8
TK46	150	150	406,68	112,5
TK47	150	150	408,60	88,8
TK48	150	150	708,34	154,0
TK49	150	150	418,32	91,0
TK50	150	150	390,38	84,9
TK51	150	150	432,50	94,0
TK52	120	150	636,88	138,5
TK53	120	150	213,55	46,4
TK54	120	150	504,98	109,8
TK55	120	150	54,82	11,9
TK56	150	150	383,52	83,4
TK57	120	150	197,58	43,0
TK58	150	150	325,31	70,7
TK59	150	150	995,79	216,5
TK60	150	150	767,28	166,8
TK229	150	150	21,22	4,6
TK230	150	150	727,23	158,1
TK231	150	150	237,09	51,6
TK232	150	150	587,02	127,6
TK233	150	150	371,58	80,8
TK234	150	150	899,75	195,6
TK235	150	150	218,72	47,6
TK236	150	150	611,40	132,9
TK237	150	150	435,72	94,7
TK238	150	150	760,26	165,3
TK239	150	150	431,94	93,9
TK240	150	150	448,60	97,5
TK241	120	150	263,98	57,4
TK242	120	150	424,94	92,4
TK243	120	150	295,62	64,3
TK244	120	150	208,48	45,3
TK245	150	150	221,13	48,1
TK246	150	150	814,78	177,2

Çizelge 4.6. Sismik İzolatörlü model temel kirişleri açıklık moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Açıklık (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	403,07	111,5
TK44	150	120	540,44	149,6
TK45	150	120	272,22	75,3
TK46	150	150	278,58	77,1
TK47	150	150	631,54	137,3
TK48	150	150	475,19	103,3
TK49	150	150	273,70	59,5
TK50	150	150	255,48	55,6
TK51	150	150	561,67	122,1
TK52	120	150	132,22	28,7
TK53	120	150	268,99	58,5
TK54	120	150	248,65	54,1
TK55	120	150	13,66	3,0
TK56	150	150	424,57	92,3
TK57	120	150		0,0
TK58	150	150	667,72	145,2
TK59	150	150	656,79	142,8
TK60	150	150	538,02	117,0
TK229	150	150	479,08	104,2
TK230	150	150	625,60	136,0
TK231	150	150	598,70	130,2
TK232	150	150	207,21	45,1
TK233	150	150	621,55	135,1
TK234	150	150	555,71	120,8
TK235	150	150	644,74	140,2
TK236	150	150	209,87	45,6
TK237	150	150	570,90	124,1
TK238	150	150	507,14	110,3
TK239	150	150	243,98	53,1
TK240	150	150	327,96	71,3
TK241	120	150	243,79	53,0
TK242	120	150	285,64	62,1
TK243	120	150		0,0
TK244	120	150	228,90	49,8
TK245	150	150	167,08	36,3
TK246	150	150	729,78	158,7

Çizelge 4.7. Sismik İzolatörlü model temel kirişleri sağ mesnet moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Sağ mesnet (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	652,17	180,5
TK44	150	120	362,96	100,4
TK45	150	120	411,99	114,0
TK46	150	150	442,99	122,6
TK47	150	150	661,92	143,9
TK48	150	150	411,34	89,4
TK49	150	150	386,59	84,1
TK50	150	150	283,47	61,6
TK51	150	150	599,85	130,4
TK52	120	150	209,28	45,5
TK53	120	150	495,79	107,8
TK54	120	150	97,06	21,1
TK55	120	150	300,61	65,4
TK56	150	150	285,61	62,1
TK57	120	150	277,29	60,3
TK58	150	150	996,63	216,7
TK59	150	150	742,72	161,5
TK60	150	150	88,01	19,1
TK229	150	150	743,52	161,7
TK230	150	150	223,54	48,6
TK231	150	150	596,23	129,6
TK232	150	150	398,45	86,6
TK233	150	150	892,45	194,1
TK234	150	150	218,38	47,5
TK235	150	150	637,69	138,7
TK236	150	150	442,61	96,2
TK237	150	150	772,13	167,9
TK238	150	150	406,62	88,4
TK239	150	150	455,22	99,0
TK240	150	150	259,50	56,4
TK241	120	150	397,09	86,3
TK242	120	150	315,00	68,5
TK243	120	150	202,83	44,1
TK244	120	150	199,18	43,3
TK245	150	150	790,49	171,9
TK246	150	150	114,01	24,8

Çizelge 4.8. Sismik İzolatörlü model temel kirişleri max. kesme kuvveti ve etriye alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Vd max. (kN)	As/s
TK43	150	120	395,5	0,99
TK44	150	120	507,5	1,26
TK45	150	120	337	0,84
TK46	150	150	323,5	0,63
TK47	150	150	554	1,08
TK48	150	150	482	0,94
TK49	150	150	322	0,63
TK50	150	150	311,5	0,61
TK51	150	150	557,5	1,09
TK52	120	150	376	0,74
TK53	120	150	312	0,61
TK54	120	150	307,5	0,60
TK55	120	150	90,5	0,18
TK56	150	150	205,5	0,40
TK57	120	150	54	0,11
TK58	150	150	494	0,97
TK59	150	150	469	0,92
TK60	150	150	585	1,14
TK229	150	150	448,5	0,88
TK230	150	150	597	1,17
TK231	150	150	363	0,71
TK232	150	150	487	0,95
TK233	150	150	580	1,14
TK234	150	150	607	1,19
TK235	150	150	388	0,76
TK236	150	150	454,5	0,89
TK237	150	150	540	1,06
TK238	150	150	513	1,00
TK239	150	150	393	0,77
TK240	150	150	348	0,68
TK241	120	150	313,5	0,61
TK242	120	150	187	0,37
TK243	120	150	91	0,18
TK244	120	150	139	0,27
TK245	150	150	287,5	0,56
TK246	150	150	645	1,26

Çizelge 4.9. Ankastre temele sahip model temel kirişleri sol mesnet moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Sol mesnet (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	465,00	128,7
TK44	150	120	1279,00	354,0
TK45	150	120	395,00	109,3
TK46	150	150	370,00	102,4
TK47	150	150	494,00	107,4
TK48	150	150	1293,00	281,1
TK49	150	150	391,00	85,0
TK50	150	150	363,00	78,9
TK51	150	150	538,00	117,0
TK52	120	150	484,00	105,2
TK53	120	150	255,00	55,4
TK54	120	150	409,00	88,9
TK55	120	150	104,00	22,6
TK56	150	150	579,00	125,9
TK57	120	150	52,00	11,3
TK58	150	150	580,00	126,1
TK59	150	150	1026,00	223,1
TK60	150	150	939,00	204,2
TK229	150	150	550,00	119,6
TK230	150	150	1563,00	339,9
TK231	150	150	837,00	182,0
TK232	150	150	508,00	110,5
TK233	150	150	589,00	128,1
TK234	150	150	1519,00	330,3
TK235	150	150	843,00	183,3
TK236	150	150	505,00	109,8
TK237	150	150	600,00	130,5
TK238	150	150	1448,00	314,9
TK239	150	150	444,00	96,5
TK240	150	150	395,00	85,9
TK241	120	150	286,00	62,2
TK242	120	150	423,00	92,0
TK243	120	150	63,00	13,7
TK244	120	150	229,00	49,8
TK245	150	150	257,00	55,9
TK246	150	150	1098,00	238,7

Çizelge 4.10. Ankastre temele sahip model temel kirişleri açıklık moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Açıklık (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	639,00	176,8
TK44	150	120	581,00	160,8
TK45	150	120	360,00	99,6
TK46	150	150	388,00	107,4
TK47	150	150	585,00	127,2
TK48	150	150	621,00	135,0
TK49	150	150	358,00	77,8
TK50	150	150	363,00	78,9
TK51	150	150	602,00	130,9
TK52	120	150	185,00	40,2
TK53	120	150	281,00	61,1
TK54	120	150	265,00	57,6
TK55	120	150	73,00	15,9
TK56	150	150	390,00	84,8
TK57	120	150	24,00	5,2
TK58	150	150	631,00	137,2
TK59	150	150	654,00	142,2
TK60	150	150	839,00	182,4
TK229	150	150	637,00	138,5
TK230	150	150	893,00	194,2
TK231	150	150	726,00	157,9
TK232	150	150	433,00	94,2
TK233	150	150	662,00	143,9
TK234	150	150	868,00	188,7
TK235	150	150	727,00	158,1
TK236	150	150	405,00	88,1
TK237	150	150	622,00	135,2
TK238	150	150	601,00	130,7
TK239	150	150	417,00	90,7
TK240	150	150	406,00	88,3
TK241	120	150	192,00	41,7
TK242	120	150	249,00	54,1
TK243	120	150	31,00	6,7
TK244	120	150	160,00	34,8
TK245	150	150	200,00	43,5
TK246	150	150	660,00	143,5

Çizelge 4.11. Ankastre temele sahip model temel kirişleri sağ mesnet moment ve donatı alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Md max. Sağ mesnet (tcm)	As (cm^2)
TK43	150	120	1216,00	336,5
TK44	150	120	459,00	127,0
TK45	150	120	366,00	101,3
TK46	150	150	406,00	112,4
TK47	150	150	1385,00	301,2
TK48	150	150	479,00	104,2
TK49	150	150	358,00	77,8
TK50	150	150	395,00	85,9
TK51	150	150	1396,00	303,5
TK52	120	150	224,00	48,7
TK53	120	150	434,00	94,4
TK54	120	150	243,00	52,8
TK55	120	150	124,00	27,0
TK56	150	150	416,00	90,5
TK57	120	150	55,00	12,0
TK58	150	150	1014,00	220,5
TK59	150	150	612,00	133,1
TK60	150	150	1112,00	241,8
TK229	150	150	1421,00	309,0
TK230	150	150	655,00	142,4
TK231	150	150	873,00	189,8
TK232	150	150	462,00	100,5
TK233	150	150	1526,00	331,8
TK234	150	150	718,00	156,1
TK235	150	150	877,00	190,7
TK236	150	150	449,00	97,6
TK237	150	150	1487,00	323,3
TK238	150	150	610,00	132,6
TK239	150	150	434,00	94,4
TK240	150	150	426,00	92,6
TK241	120	150	710,00	154,4
TK242	120	150	400,00	87,0
TK243	120	150	70,00	15,2
TK244	120	150	306,00	66,5
TK245	150	150	279,00	60,7
TK246	150	150	917,00	199,4

Çizelge 4.12. Ankastre temele sahip model temel kirişleri max. kesme kuvveti ve etriye alanı değerleri

Kiriş	b_w (cm)	h (cm)	Vd max. (t)	As/s
TK43	150	120	819	2,04
TK44	150	120	894	2,23
TK45	150	120	344	0,86
TK46	150	150	309	0,60
TK47	150	150	960	1,88
TK48	150	150	860	1,68
TK49	150	150	342	0,67
TK50	150	150	347	0,68
TK51	150	150	958	1,87
TK52	120	150	329	0,64
TK53	120	150	293	0,57
TK54	120	150	276	0,54
TK55	120	150	67	0,13
TK56	150	150	243	0,48
TK57	120	150	43	0,08
TK58	150	150	488	0,95
TK59	150	150	478	0,94
TK60	150	150	629	1,23
TK229	150	150	941	1,84
TK230	150	150	1058	2,07
TK231	150	150	481	0,94
TK232	150	150	445	0,87
TK233	150	150	1047	2,05
TK234	150	150	986	1,93
TK235	150	150	482	0,94
TK236	150	150	439	0,86
TK237	150	150	1015	1,99
TK238	150	150	652	1,28
TK239	150	150	391	0,77
TK240	150	150	376	0,74
TK241	120	150	474	0,93
TK242	120	150	184	0,36
TK243	120	150	54	0,11
TK244	120	150	150	0,29
TK245	150	150	239	0,47
TK246	150	150	684	1,34

Her iki model için yapılan dinamik analiz sonucunda kolonlar için elde edilen moment değerleri ilgili çizelgelerde gösterilmektedir(Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14).

Çizelgelerde sismik izolatör uygulanan yapıda düşey taşıyıcı elemanlarda düşey yükten kaynaklanan momentlerin daha etkin olduğu görülmektedir. Ankastre mesnetli temele sahip yapının düşey taşıyıcı elemanlarının sismik izolatörlü yapıda bulunan düşey taşıyıcı elemanlara göre daha fazla momente maruz kaldığı görülmektedir. Bu durum izolatörlerin deprem kuvvetlerini sönümleyerek üst yapıya az miktarda aktarmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak taban izolasyonlu modelin dinamik analizi sonucunda elde edilen moment değerleri ankastre mesnetli temele sahip modelin dinamik analizi sonucunda elde edilen moment değerlerine oranla yaklaşık %30 oranında azalmıştır.

Çizelge 4.13. Sismik İzolatörlü yapıda bulunan bazı düşey taşıyıcı elemanların taşıdıkları moment ve düşey yük değerleri

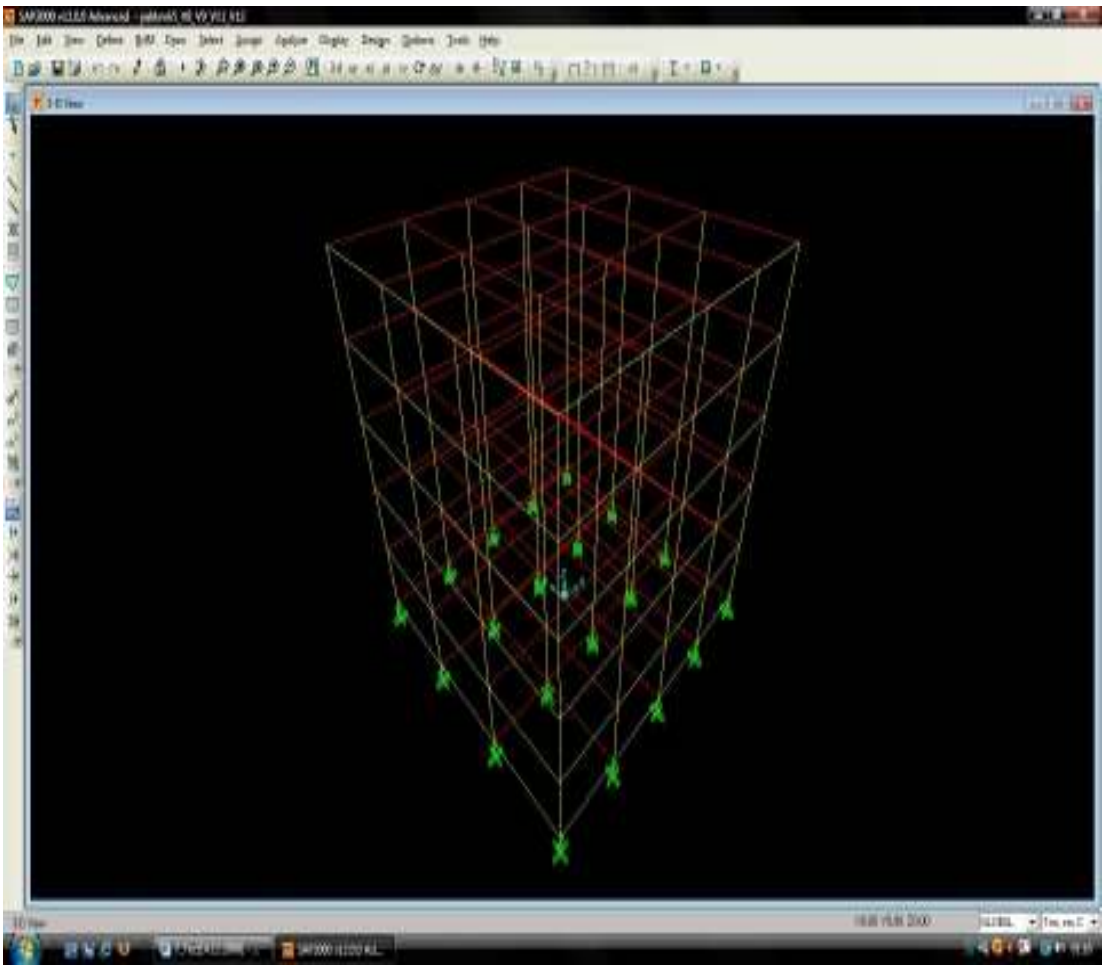
fcd	fck	Kolon Boyutu(mm)		Kolon Aksı	V2(t)	M3(tm)	V3(t)	M2(tm)	N(t)
0,17	0,25	600	600	1-Y	4,56	15,76	7,95	27,06	223,93
0,17	0,25	600	600	2-S	5,57	25,09	6,66	22,76	199,46
0,17	0,25	600	600	2-S'	4,30	13,41	6,66	21,93	319,44
0,17	0,25	600	600	6-S'	4,52	15,19	5,03	14,11	286,18
0,17	0,25	600	600	6-U'	4,46	13,45	3,49	11,50	214,06
0,17	0,25	600	600	6-Y	4,55	16,17	4,22	13,56	338,23
0,17	0,25	600	600	7-U	7,46	22,81	3,79	9,91	357,86
0,17	0,25	1000	600	7-X4	3,66	15,58	4,16	13,05	510,73
0,17	0,25	600	600	7-X5	6,31	19,32	5,41	15,82	211,50
0,17	0,25	600	600	8-X2	5,32	15,86	1,54	5,70	286,62
0,17	0,25	600	600	8-X5	6,31	18,95	2,59	7,41	226,91
0,17	0,25	600	600	9-X2	4,20	15,67	3,66	14,81	324,13
0,17	0,25	600	600	10-O	6,90	21,62	2,39	6,69	122,68
0,17	0,25	1000	600	10-U	5,87	17,94	1,99	6,19	503,09
0,17	0,25	1000	600	10-V	5,73	17,46	1,78	5,99	510,29
0,17	0,25	600	600	10-Z	4,39	15,74	1,81	5,85	376,87
0,17	0,25	600	600	11-X5	6,73	19,48	3,05	8,95	136,03
0,17	0,25	600	600	11-X9	6,52	21,26	3,14	8,69	171,66
0,17	0,25	1000	600	18-R	6,60	17,18	3,52	8,70	595,70
0,17	0,25	1000	600	18-S	5,36	13,77	3,95	10,00	703,92
0,17	0,25	1000	600	18-T	9,19	26,26	3,93	10,16	675,01
0,17	0,25	1000	600	18-Y	5,71	19,67	3,46	9,64	644,93
0,17	0,25	1000	600	21-L	10,05	29,06	3,44	8,01	603,91
0,17	0,25	600	600	24-M	0,77	2,16	2,96	9,67	198,92
0,17	0,25	600	600	28-O	6,81	21,34	1,84	5,62	122,21
0,17	0,25	600	600	28-Y	5,79	18,26	1,84	5,60	122,27
0,17	0,25	600	600	28-X5	6,68	19,32	3,32	7,42	136,15
0,17	0,25	600	600	28-X7	7,98	25,16	3,33	7,22	169,98
0,17	0,25	600	600	30-X2	4,26	14,49	3,71	14,66	315,79
0,17	0,25	600	600	30-X4	5,82	19,17	4,07	17,53	310,03
0,17	0,25	600	600	31-X2	5,55	9,04	1,59	6,22	284,87
0,17	0,25	600	600	31-X5	6,25	18,77	2,75	7,95	231,96
0,17	0,25	600	600	32-Z	4,79	16,97	3,48	9,75	224,88
0,17	0,25	1000	600	32-X4	3,48	15,55	4,25	14,97	457,18
0,17	0,25	600	600	32-X5	6,50	19,75	5,20	15,17	230,41

Çizelge 4.14. Ankastre mesnetli yapıda bulunan bazı düşey taşıyıcı elemanların taşıdıkları moment ve düşey yük değerleri

fcd	fck	Kolon Boyutu(mm)		Kolon Aksı	V2(t)	M3(tm)	V3(t)	M2(tm)	N(t)
0,17	0,25	600	600	1-Y	7,30	24,20	3,33	8,98	201,00
0,17	0,25	600	600	2-S	4,25	17,35	3,51	9,41	140,00
0,17	0,25	600	600	2-S'	7,06	21,59	4,35	11,03	338,00
0,17	0,25	600	600	6-S'	7,71	25,57	4,31	11,62	303,00
0,17	0,25	600	600	6-U'	8,54	24,89	3,21	8,22	197,00
0,17	0,25	600	600	6-Y	7,19	24,25	3,03	8,41	329,00
0,17	0,25	600	600	7-U	6,54	32,18	4,24	10,86	318,00
0,17	0,25	1000	600	7-X4	8,79	26,46	3,15	8,76	500,00
0,17	0,25	600	600	7-X5	10,13	29,75	4,37	11,47	256,00
0,17	0,25	600	600	8-X2	8,32	23,93	2,19	7,39	305,00
0,17	0,25	600	600	8-X5	11,08	32,28	3,25	8,23	234,00
0,17	0,25	600	600	9-X2	7,84	26,67	2,77	10,80	332,00
0,17	0,25	600	600	10-O	7,89	25,17	2,61	7,53	119,00
0,17	0,25	1000	600	10-U	10,91	33,26	2,38	6,97	484,00
0,17	0,25	1000	600	10-V	8,30	25,55	2,41	7,23	507,00
0,17	0,25	600	600	10-Z	7,13	24,22	2,09	6,41	366,00
0,17	0,25	600	600	11-X5	11,07	32,09	2,76	7,73	137,00
0,17	0,25	600	600	11-X9	7,83	24,37	3,34	9,22	170,00
0,17	0,25	1000	600	18-R	10,93	28,89	4,21	10,23	495,00
0,17	0,25	1000	600	18-S	9,87	27,24	4,62	11,09	700,00
0,17	0,25	1000	600	18-T	14,32	39,11	4,43	10,57	647,00
0,17	0,25	1000	600	18-Y	8,46	27,63	3,60	9,38	635,00
0,17	0,25	1000	600	21-L	7,58	38,91	4,67	11,19	578,00
0,17	0,25	600	600	24-M	5,30	17,69	3,19	9,41	228,00
0,17	0,25	600	600	28-O	8,24	26,24	2,10	6,56	119,00
0,17	0,25	600	600	28-Y	8,15	26,13	2,01	6,26	118,00
0,17	0,25	600	600	28-X5	11,45	33,23	2,01	6,24	137,00
0,17	0,25	600	600	28-X7	9,19	27,65	2,38	7,33	169,00
0,17	0,25	600	600	30-X2	8,95	28,06	3,00	10,92	329,00
0,17	0,25	600	600	30-X4	8,60	28,02	4,81	10,80	258,00
0,17	0,25	600	600	31-X2	8,91	25,53	2,22	7,36	312,00
0,17	0,25	600	600	31-X5	11,61	33,86	3,23	8,20	240,00
0,17	0,25	600	600	32-Z	7,42	24,52	3,76	9,86	219,00
0,17	0,25	1000	600	32-X4	9,18	27,79	3,25	8,94	437,00
0,17	0,25	600	600	32-X5	10,64	30,96	4,29	11,09	270,00

4.2 Örnek Çelik Yapı Modelinin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kauçuk esaslı sismik izolatörlere sahip 5 katlı, 3-boyutlu yapı modeli (Şekil 4.12) ile yine aynı yapının ankastre mesnetli temele sahip yapı modeli sap2000 programı ile 12 Ağustos Düzce depremine ait yer hareketleri kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Üst yapı için %2 sönüm oranı tercih edilmiştir. Elde edilen kat ivmeleri, maksimum kat yatay yer değiştirmeleri, maksimum taban ve kat kesme kuvvetleri ilgili çizelgelerde verilmiştir.



Şekil 4.12. Çelik yapının sap2000 modeli

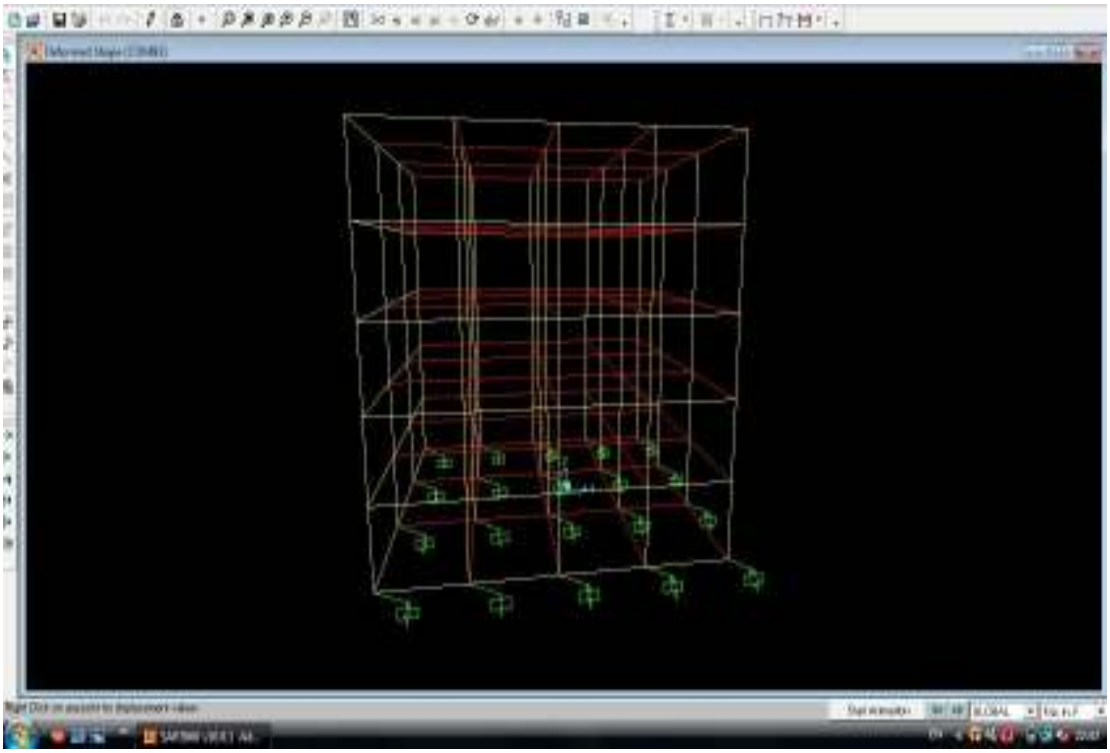
Yapının ankastre tabanlı olarak modellenmesi durumunda, yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler yapı temelinden üst kata doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler yer hareketinin ivmesini de oldukça aşmaktadır. Buna karşılık taban izolasyonlu binanın kat ivmeleri, yapı temelinden üst kata doğru fazla bir artış göstermemekle birlikte, her zaman yer hareketinin ivmesinden daha düşük olmaktadır.

Analizlerde kullanılacak yapı modeline ait bazı teknik bilgiler Çizelge 4.15' de gösterildiği gibidir. Türk Deprem Şartnamesine göre yapılmış üst yapı tasarımında (1. Derece Deprem bölgesi), yerel zemin sınıfı (Z2), yapı önem katsayısı I=1 ve deprem yükü azaltma katsayısı R=8 kabul edilmiştir.

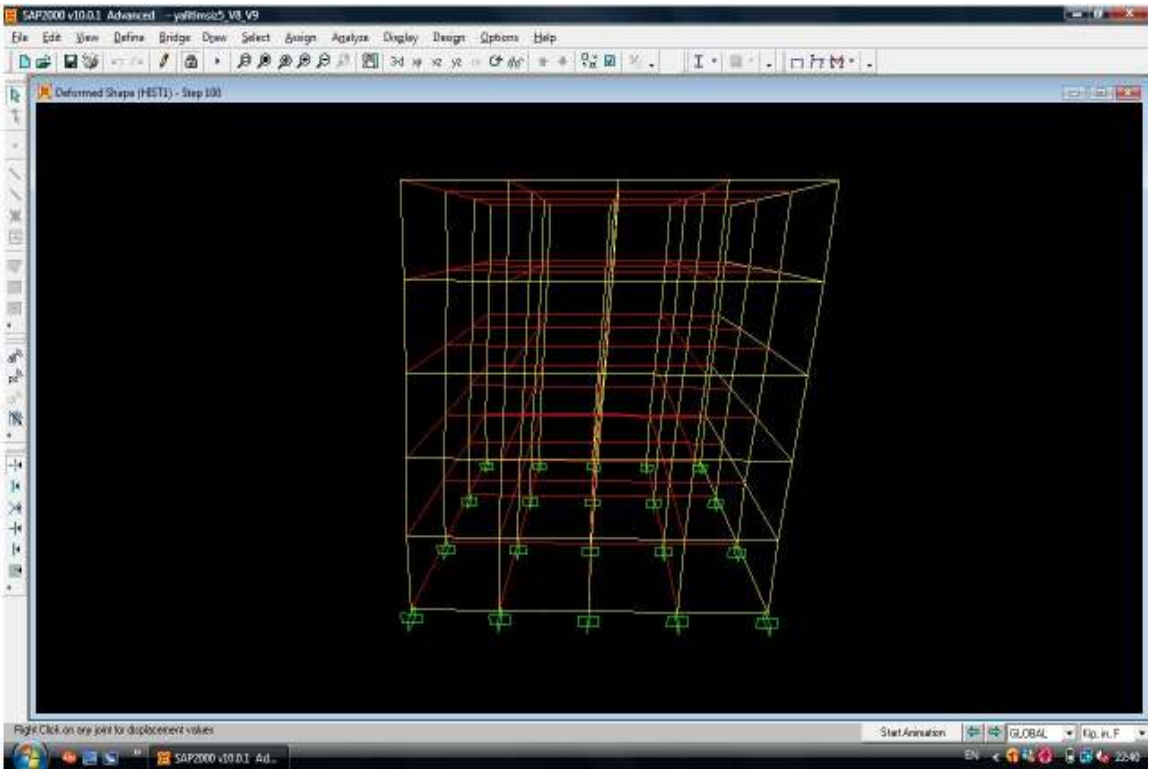
Çizelge 4.15. Çelik Yapı modeline ait teknik bilgiler

Kat Numaraları	Kolon Kesitleri	Kiriş Kesitleri	Döşeme Kesitleri
5	2xUPN 900	2xUPN 440	13 cm betonarme plak
4	2xUPN 900	2xUPN 440	13 cm betonarme plak
3	2xUPN 900	2xUPN 440	13 cm betonarme plak
2	2xUPN 900	2xUPN 440	13 cm betonarme plak
1	2xUPN 900	2xUPN 440	13 cm betonarme plak

Taban izolasyonlu yapıda meydana gelen kat yer değiştirmeleri ankastre tabanlıya göre yaklaşık olarak %50 azalmaktadır. Bu sayede yapıda meydana gelecek olan kesit tesirlerini azaltmaktadır. Dolaysıyla yapı boyutları daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir. Taban izolasyona sahip yapının deformasyon şekli Şekil 4.13'de gösterildiği gibidir. Şekilde yapı yer değiştirmesinin izolatör seviyesinde olduğu görülmektedir. Ankastre mesnetli temele sahip yapının ise deformasyon şekli Şekil 4.14' de gösterildiği gibidir. Şekilde yapı yer değiştirmesinin katlar seviyesinde olduğu görülmektedir.

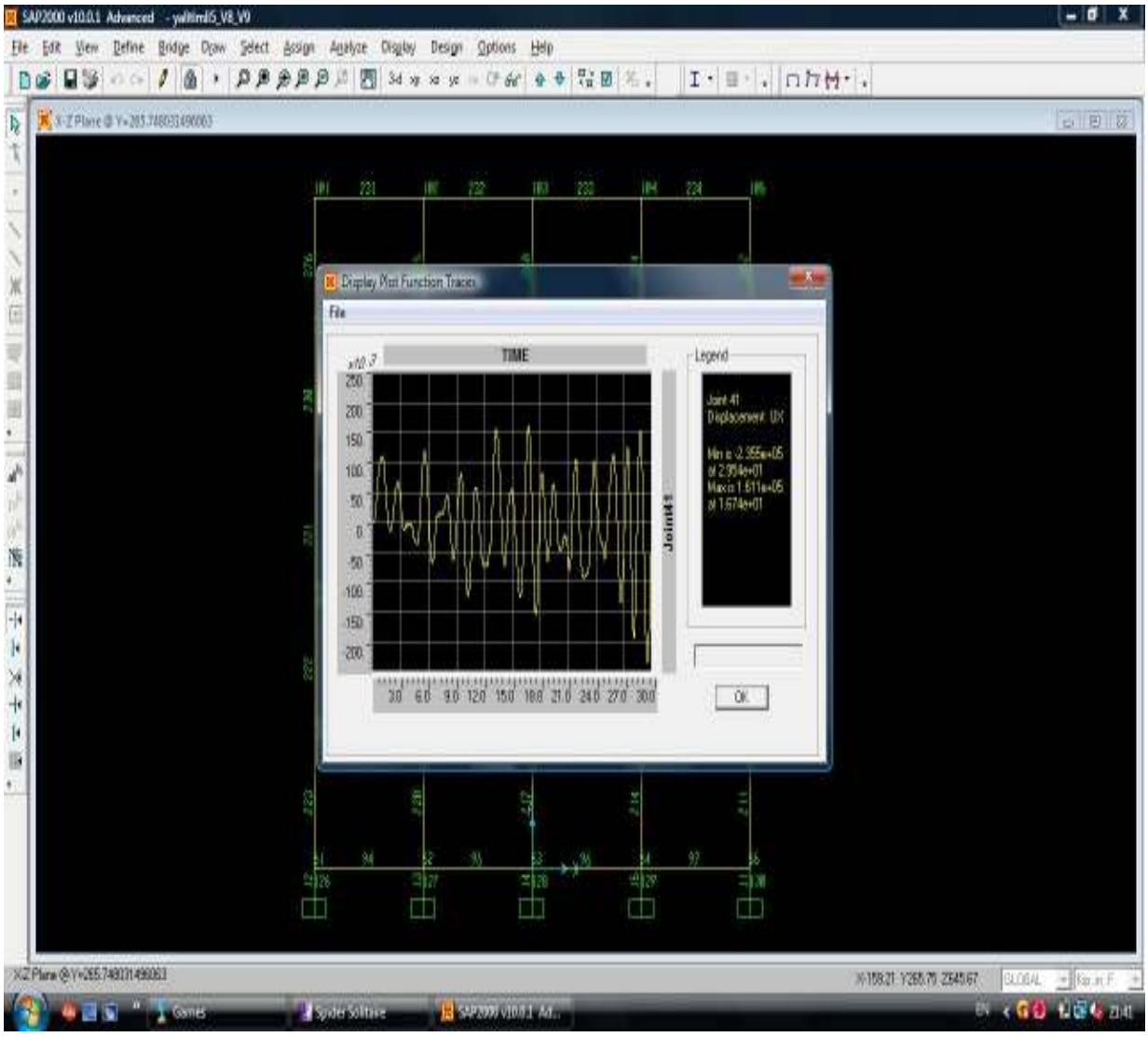


Şekil 4.13. Sismik izolatörlü yapının deformasyon şekli

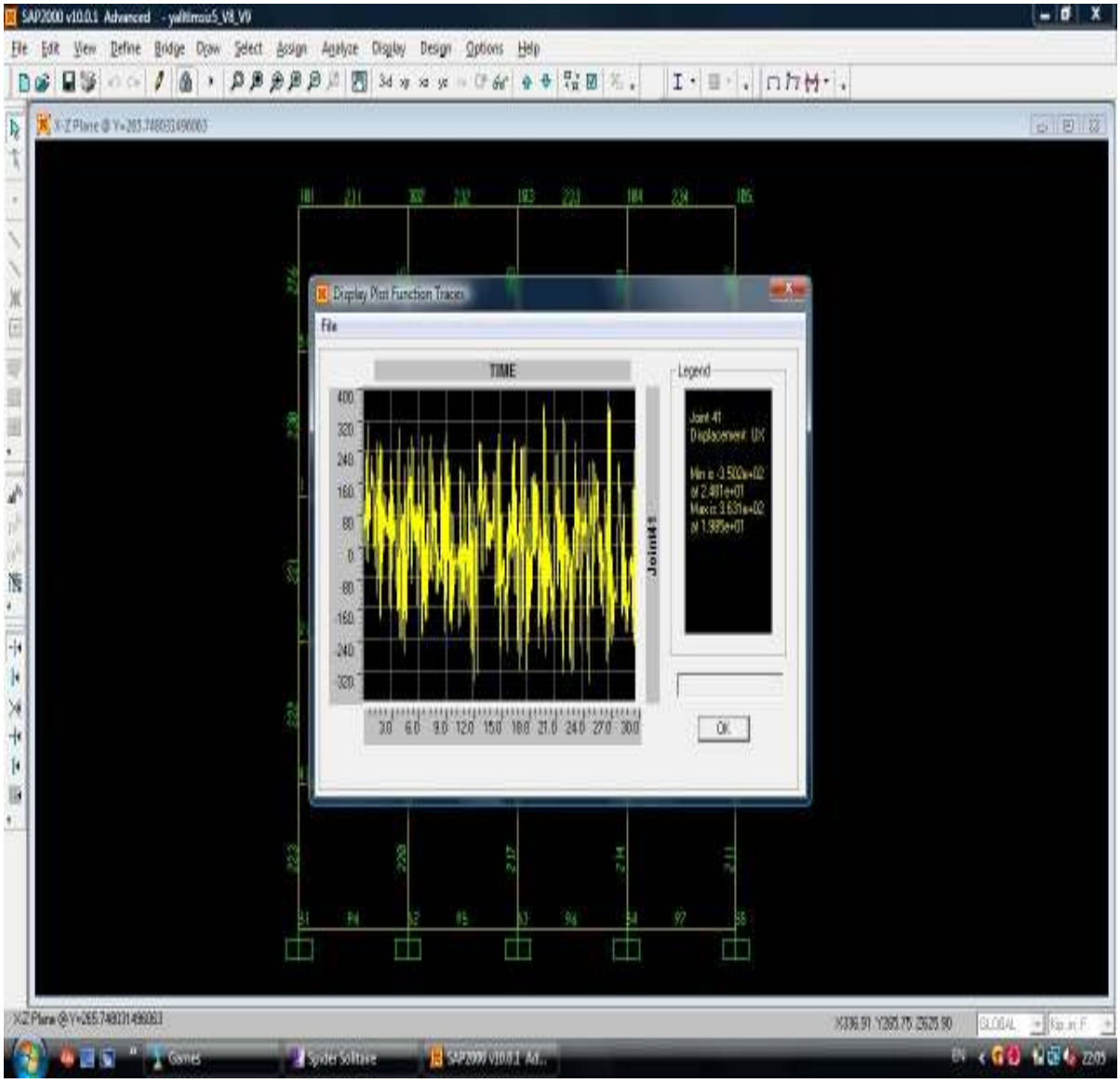


Şekil 4.14. Ankastre mesnetli temele sahip yapının deformasyon şekli

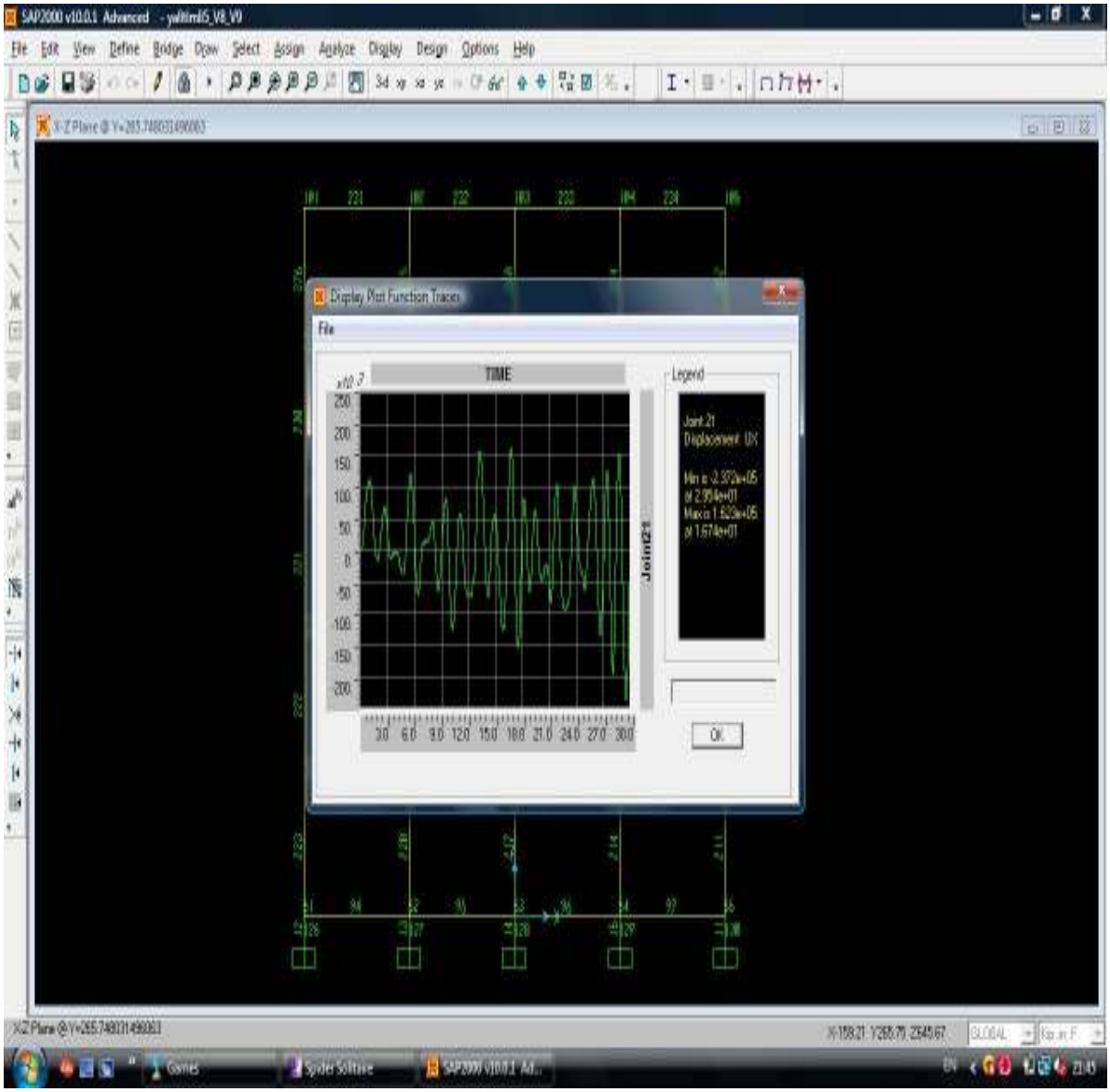
Yapılan dinamik analiz sonucunda elde edilen kat yer değiştirmelerin zamanla değişimi aşağıda gösterildiği gibidir.



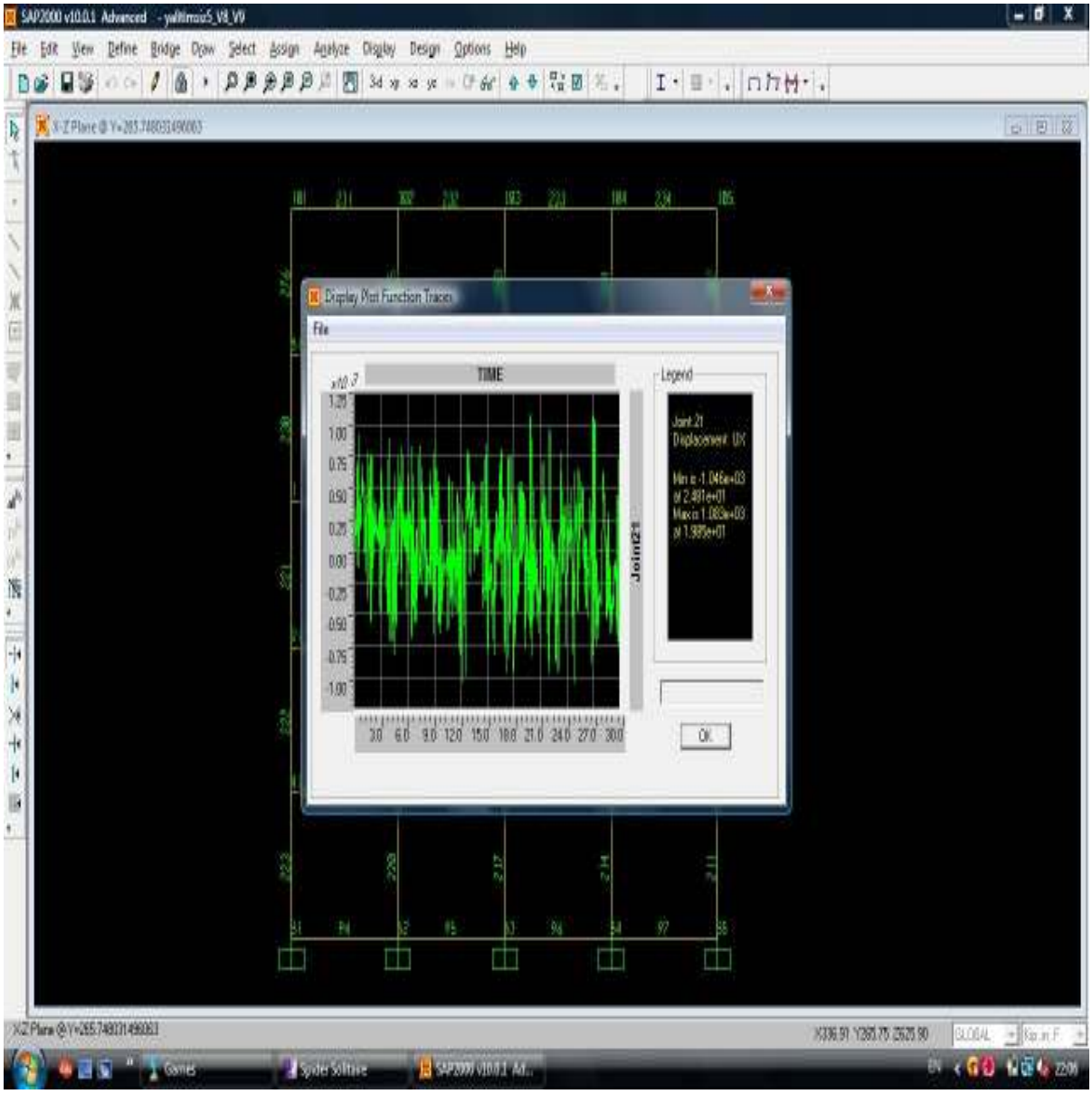
Şekil 4.15. Taban izolasyonlu yapının 1.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



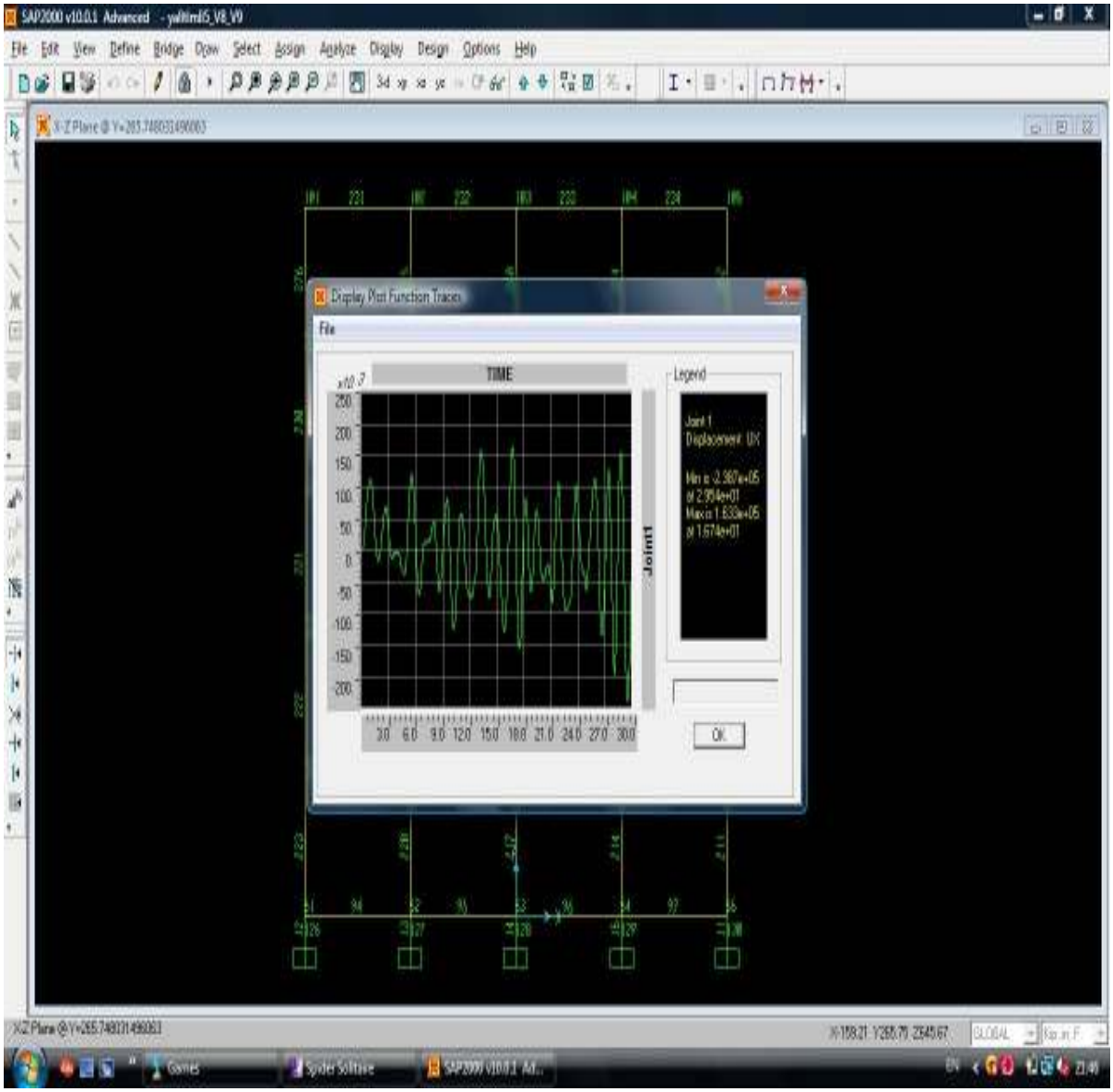
Şekil 4.16. Ankastre mesnetli temele sahip yapının 1.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



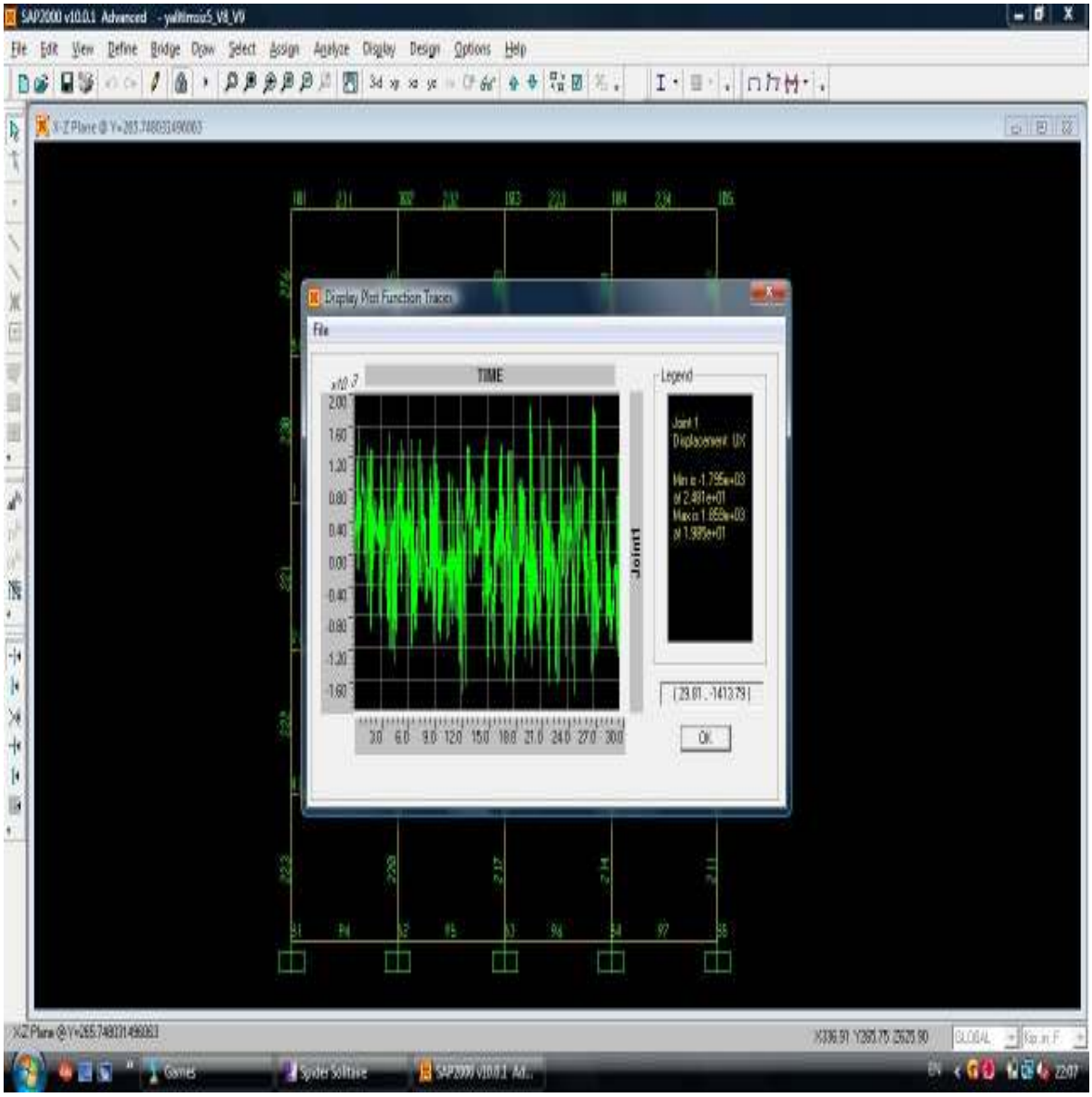
Şekil 4.17. Taban izolasyonlu yapının 2.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



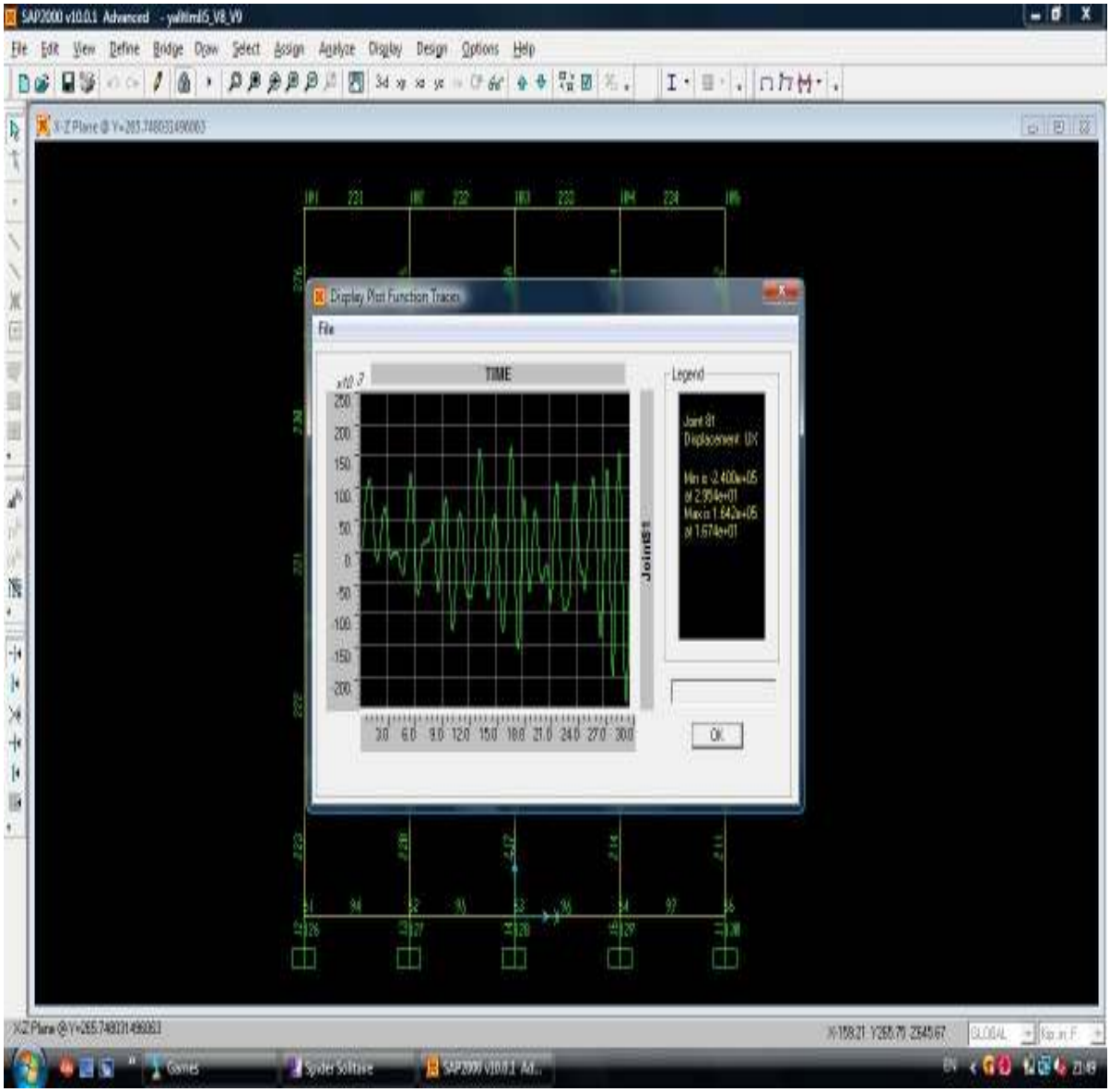
Şekil 4.18. Ankastre mesnetli temele sahip yapının 2.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



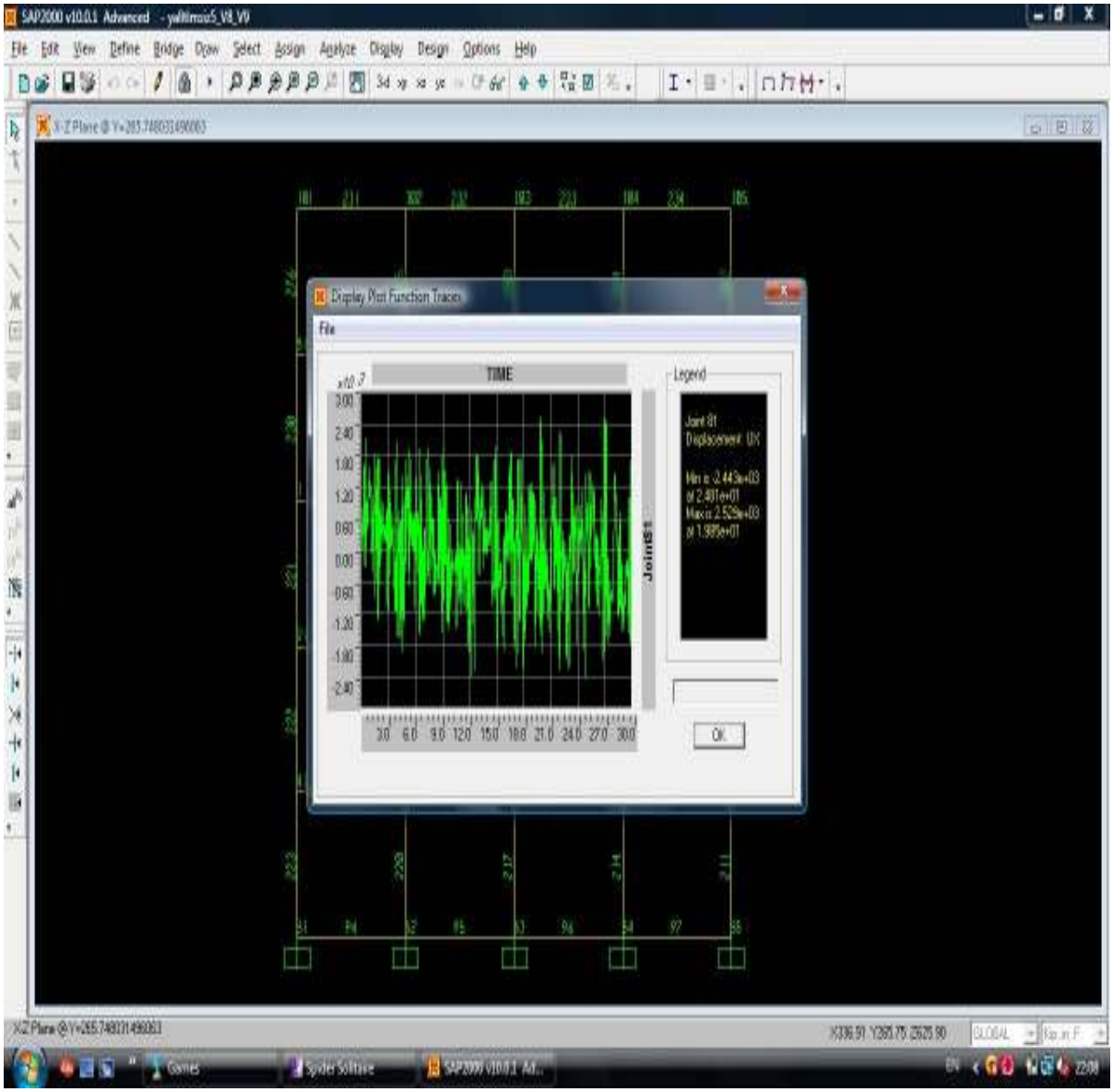
Şekil 4.19. Taban izolasyonlu yapının 3.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



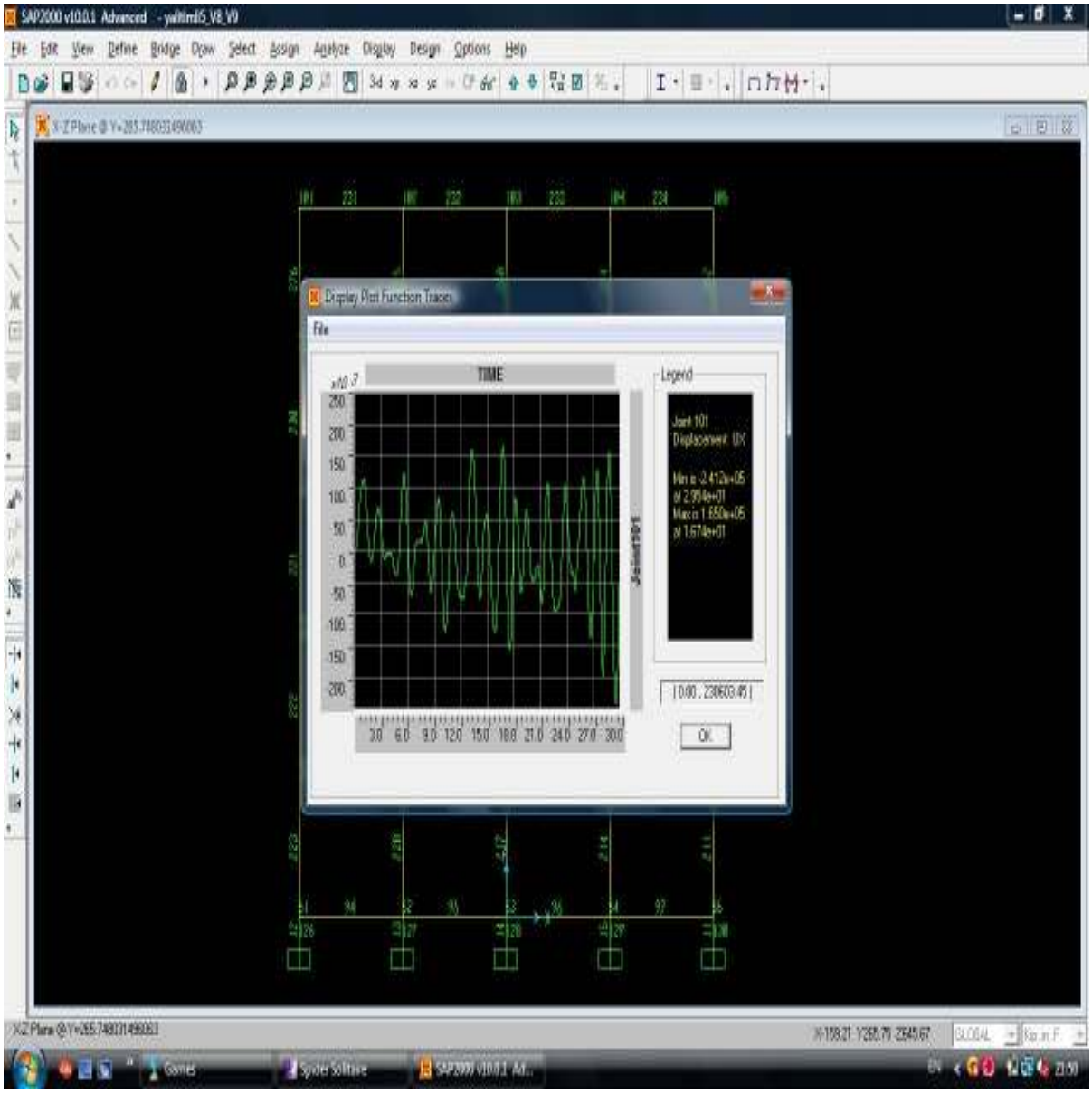
Şekil 4.20. Ankastre mesnetli temele sahip yapının 3.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



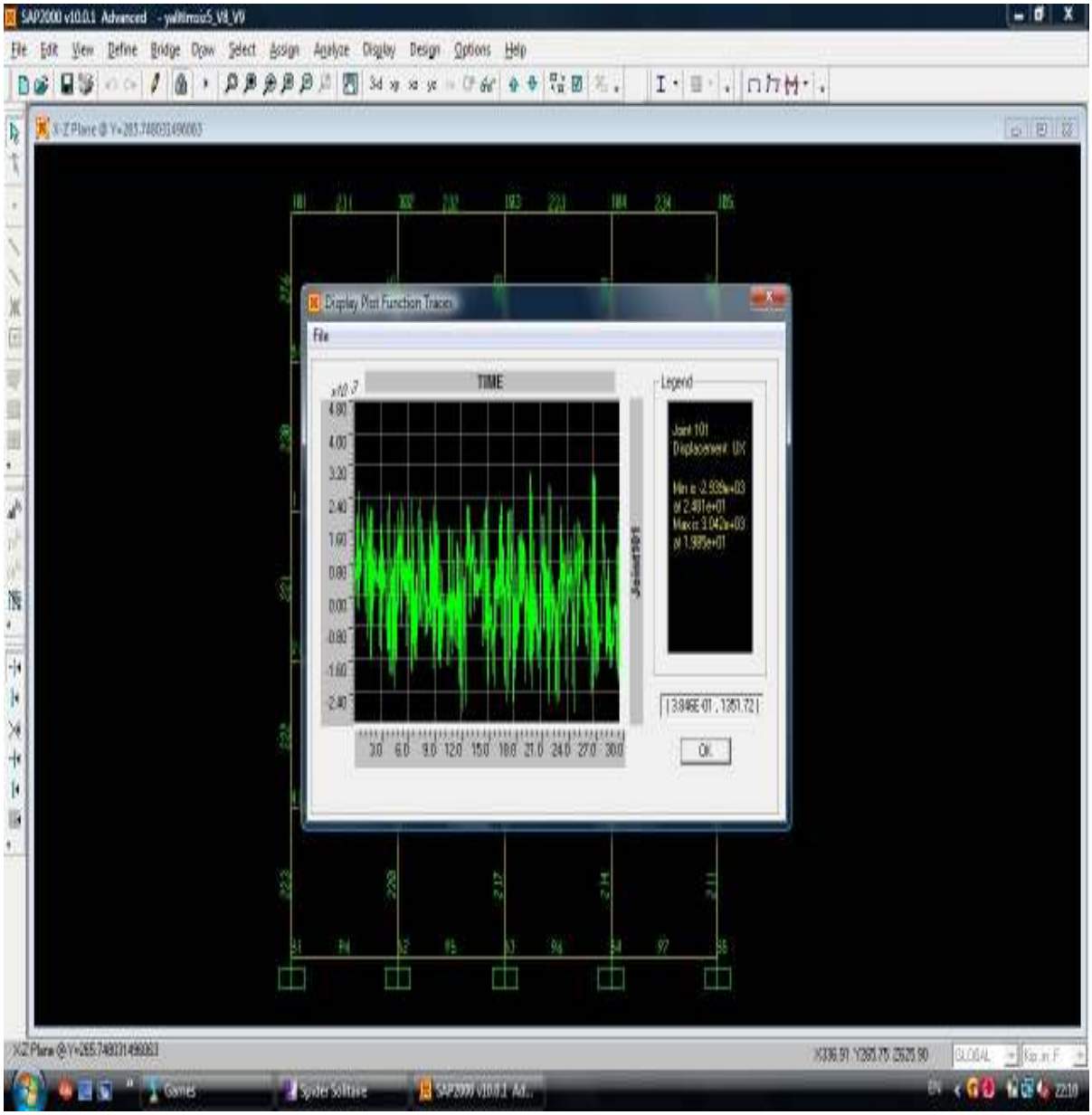
Şekil 4.21. Taban izolasyonlu yapının 4.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



Şekil 4.22. Ankastre mesnetli temele sahip yapının 4.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



Şekil 4.23. Taban izolasyonlu yapının 5.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi



Şekil 4.24. Ankastre mesnetli temele sahip yapının 5.kat yer değiştirmesinin zamanla değişimi

Ankastre mesnetli temele sahip yapıda ivmeler 1.kattan itibaren en üst kata doğru artış göstermektedir. Bu modeldeki kat ivmeleri maksimum yer ivmesinden daha büyüktür. Buna karşılık taban izolasyonlu yapıda kat ivmeleri yer hareketinin maksimum ivmesinden daha küçük çıkmaktadır. Ayrıca, kat ivmeleri ilk kattan üst kata doğru fazla bir artış göstermeden artmaktadır. Dolayısıyla, taban izolasyonlu yapılarda yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalarak etkimektedir. (Çizelge 4.16)

Çizelge 4.16. Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat ivmeleri

	İvme (m/s2)				
Mesnet Türü	1.kat	2.kat	3.kat	4.kat	5.kat
Ankastre	59.47	55.53	37.12	15.59	29.83
Kauçuk	5.19	-1.09	0.66	0.85	-1.56

Çizelge 4.17. Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat yer değiştirmeleri

	Yer Değiştirme (m)				
Mesnet Türü	1.kat	2.kat	3.kat	4.kat	5.kat
Ankastre	0.06	0.12	0.11	0.10	0.08
Kauçuk	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18

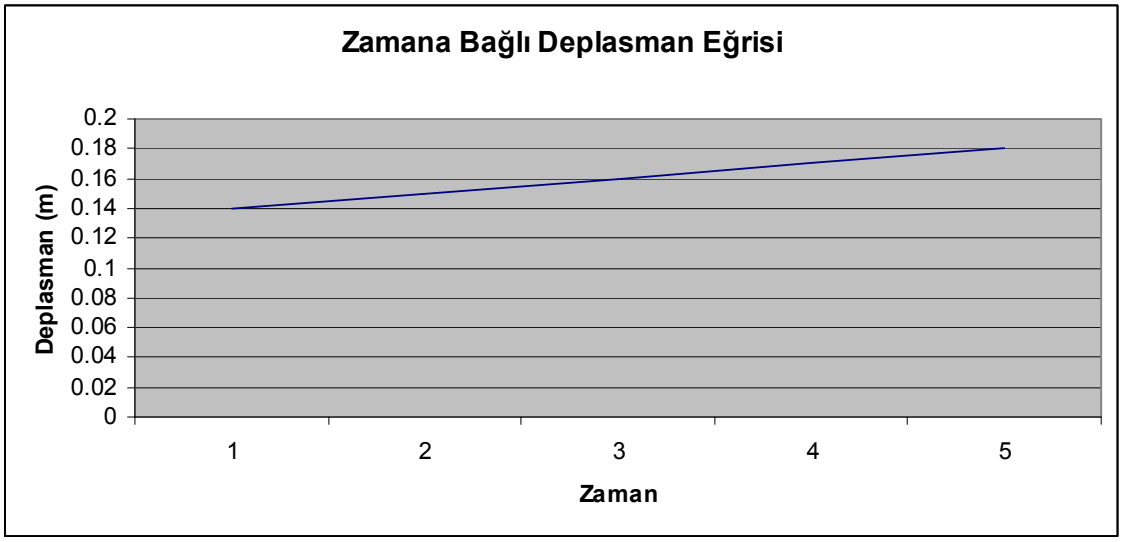
Çizelge 4.18. Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat kesme kuvvetleri

	Kesme Kuvveti (t)				
Mesnet Türü	1.kat	2.kat	3.kat	4.kat	5.kat
Ankastre	101.43	85.91	68.60	47.19	13.37
Kauçuk	60.68	53.72	37.78	20.67	5.08

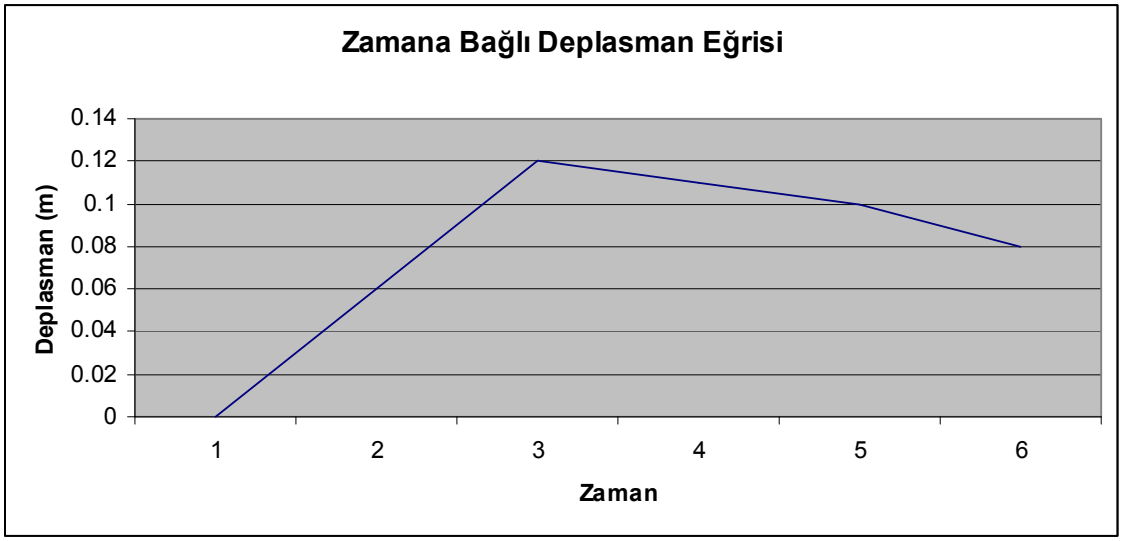
Çizelge 4.19. Üç Boyutlu çelik yapıya ait maksimum kat moment değerleri

	Moment Değeri (tm)				
Mesnet Türü	1.kat	2.kat	3.kat	4.kat	5.kat
Ankastre	423.74	213.75	84.99	40.43	37.70
Kauçuk	114.24	47.81	13.57	6.07	7.12

Zaman-deplasman eğrileri incelendiğinde yapının depremden nasıl etkilendiği daha rahat anlaşılmaktadır. Şekil 4.25' de görüldüğü gibi izolatörün yaptığı deplasmanla birlikte üst yapının yaptığı deplasman belli bir düzen içinde artış göstermektedir. Şekil 4.26' da ise ankastre mesnetli temele sahip sistem büyük yatay yüklere maruz kalmakta ve deplasman artışı düzensizlik göstermektedir. Bu durum yapının elastik ötesi davranış yapmasına neden olan ikinci mod etkisinde hareket ettiğini göstermektedir.



Şekil 4.25. Sismik izolatörlü çelik yapının zaman-deplasman eğrisi



Şekil 4.26. Ankastre mesnetli temele sahip çelik yapının zaman-deplasman eğrisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çeşitli sismik izolasyon yöntemleri incelenerek örnek iki projede ankastre mesnetli ve sismik izolatörlü yapı tasarımları analiz edilmiştir. Yapı analizlerinden elde edilen sonuç ve öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Sismik izolasyon sisteminin üst yapıda depremden dolayı oluşabilecek etkileri azalttığı analiz sonuçlarından görülebileceği gibi açıktır. Taban izolasyonlu yapılarda kat ötelenmeleri, ankastre temelli yapıya göre %50 azalmıştır.

2. Erzurum Devlet Hastanesi ve çelik yapı için yapılan analiz karşılaştırılması sonucunda, taban izolasyonlu sistemin üst yapısında oluşan iç kuvvet değerleri, ankastre mesnetli sistemin üst yapısında oluşan iç kuvvet değerlerine göre azaldığı belirlenmiştir. Bu durumda kesitlerin küçülmesi beklenir. Fakat Erzurum Devlet Hastanesi modelinde üst yapı deprem yalıtımı olmayan bir yapı olarak tasarlanmış ve deprem yalıtımı sistemi daha sonra yapı tasarımına dahil edilmiştir. Bundan dolayı taban izolasyonu yapılmış yapılarda gözlenen kesit küçülmeleri görülememektedir. Fakat çelik yapı için bu durum söz konusu değildir. Kesit tesirleri azaldığından yapı boyutlandırılmasında kesitler daha küçük çıkmaktadır. Erzurum Devlet Hastanesi için yapılan analizde temel kirişlerinde %40 ila %50 oranında moment değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Düşey taşıyıcı elemanlarda ise kesme kuvvetlerinde ve moment değerlerinde yaklaşık %30 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Yapının güvenli tasarımı sağlanmış fakat modellemedeki tercihten ötürü kesitlerdeki küçülme sağlanamamıştır.

3. Erzurum Devlet Hastanesi için yapılan analiz karşılaştırılması sonucunda, taban izolasyonlu sistemde katlara gelen kesme kuvvetleri ankastre mesnetli sisteme oranla azaldığı belirlenmiştir. Fakat bu azalma beklenen oranda değildir. Yapı dilatasyonsuz modellendiğinden katlara gelen kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemin maruz kaldığı momentler ve iç kuvvetler taban

izolasyonlu yapı modellerinde elde edilen azalma oranında değildir. Yapının dilatasyonlu modellenmesi beklenen etkiyi sağlayacaktır.

4. Erzurum Devlet Hastanesi için oluşturulan yapı modellerinden taban izolasyonlu yapı oldukça fazla düşey yük etkisindedir. Yapıda kullanılan kauçuk esaslı izolatörlerde sıkıştırma basıncına neden olabilecek düşey yük arttıkça burkulma olasılığı artacaktır. Bu yapıda bu olasılık söz konusudur. Kauçuk esaslı izolatörlerin yerine çapraz yaylı izolatör kullanımı bu sıkıntıyı ortadan kaldıracaktır. Ayrıca devrilme momentinden kaynaklanan eksenel çekme gerilmesi yapının çekme rijitliğini azaltabilir. Bundan dolayı katlara gelen kesme kuvvetlerinin istenilen oranda azalmaması bu anlamda sıkıntı yaratabilir. Bu sıkıntı yapıya etkiyen yatay kuvvetlerin istenilen oranda (%50) azalması nedeniyle çelik yapı için söz konusu değildir.

5. Sismik izolasyon sisteminin az katlı yapılarda çok ekonomik olduğu söylenemez. Fakat genel olarak yapı maliyeti düşünülürse, yapıya sismik izolasyon yapılmasının çok büyük bir ek maliyet getirmediği söylenebilir. Bu maliyetin de, depremden sonra yapının hasar görmesi ya da göçmesinin ardından doğacak zararların göz önünde tutulduğu farz edilirse, çok büyük olmadığı dikkati çekmektedir. Çok katlı yapılar için aynı durum söz konusu değildir. Çünkü İzolasyonlu yapı tasarımında ekonomiyi belirleyen parametre yapı boyutlarıdır. Ekonomik maliyet, maliyet/alan formülü ile ifade edildiği için yapıda kat sayısı arttığı zaman maliyet düşmüş olmaktadır.

6. Depremden sonra hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, havaalanı, enerji ve haberleşme binaları gibi yapılarda bu tip izolasyon sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ülkemizdeki yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır. Bu fikrin yönetmeliklere yerleştirilmesi gerekmektedir.

7. Yapılan bu çalışmada temel izolasyon sistemleri incelenmiş fakat üst yapıda kullanılan viskoz esaslı sismik sönümlendiricilere, kurşun çekme

sönümlendiricilere, çelik sönümlendiricilere ve vibrasyon kontrol cihazlarına değinilmemiştir. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında taban izolasyon sistemleriyle bu sistemlerin genellikle birlikte uygulandığı görülmektedir. Bu tip sönümleyicilerin araştırılması ülkemiz açısından oldukça faydalı olacaktır.

8. Bu tezde örnek olarak incelenen yapıda izolasyonlu sistemin ankastre mesnetli sisteme göre artıları incelenmiştir. Özellikle gelişmiş ülkelerde buna benzer çalışmaların ve uygulamaların gün geçtikçe arttığı ve az katlı küçük yapılar için düşük maliyetli izolatörler üretimi üzerinde araştırmalar yapıldığı bilinmektedir. Fakat ülkemizin büyük bir bölümünün deprem riski altında olmasına rağmen bu tip uygulamaların azlığı ve ilgili bir yönetmeliğin bulunmaması bile düşündürücüdür. Yapılan uygulamalarda ise izlenmesi gereken yöntem yapmış olmak için yapmak olmamalı, bilinçli projeler üretilerek ülke genelinde özellikle deprem sonrası hemen kullanımı açısından önemli olan yapılarda yaygınlaştırılması olmalıdır. Tüm bunların bilinmesine rağmen bakanlıkların bu konuya duyarlılığı tartışma konusudur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2 Eylül 1997 tarih ve 23098 mükerrer sayılı resmi gazete

Abrahamson, NA., and Silva, WJ., 2007, Abrahamson and Silva NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 380 p.

Akkar, S. and Bommer, J., 2007, Prediction of Elastic Displacement Response Spectra in Europe and the Middle East, Earthquake Engineering Structure

American Structural Engineering Design Provisions, 1997, Uniform Building Code, USA

ASCE 2005, ASCE 7-05 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, USA

Ateş, Ş. ve Dumanoğlu, A., 1999, Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi, Teknik Rapor TR 026-42

Bayülke, N., 2002, Yapıların Deprem Titreşimden Yalıtımı

Boore, DM. and Atkinson, GM., 2007, Boore-Atkinson NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA

Campbell, KW. and Bozorgnia, Y., 2007, Campbell-Bozorgnia NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectra ground motion parameters, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 240 p.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 2. Baskı, İstanbul

Çoşkun, E., 2006, Yapıların Depreme Karşı korunmasında Etkin Bir Çözüm, İstanbul Kültür Üniversitesi

Doğan, M., 2005, Eskişehir Osmangazi Üniveristesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Depreme Dayanıklı Tasarım Ders Notları

Dolce, M. and Martelli, A., 2005, Application of Seismic Vibration Passive Control Techniques in Italy, Proc. 9th World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Kobe, Japan

EC8 2003, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures (EC8), ENV-2003-2, CEN, Brussels

EN 1998-1, Eurocode 8-2004, Design of Structures for Earthquake Resistance -Part 1, General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings

Erdik, M. ve Mungan, İ., 2007, Seismic Isolation Applications in Turkey, Proc. 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Deprem İzolasyonu Derneği, İstanbul, 28-31

Erdik, M., 2006, Erzurum Devlet Hastanesi Deprem Yalıtım Sistemi Yalıtıcı Prototip Deneyleri Hakkında Rapor

Erdik, M., Durukal, E., Şeşetyan, K. ve Demircioglu, M.B., 2005, Assessment of Earthquake Hazard and Design Basis Ground Motion for Erzurum Hospital

Erdik, M. and Constantinou, M.C., 2005, Design and Analysis of Seismic Isolation System for Erzurum Hospital, Turkey

Erdik, M. and Constantinou, M.C., 2005, Uzman Görüş Raporu-Kajima Şirketi tarafından hazırlanmış deprem yalıtımı tasarımı hakkında görüşler

Erdik, M., 2007, Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamalar, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul

Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2001, Betonarme Temel İlkeler, TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliği (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi

Faccioli, E., Paolucci, R. and Rey, J., 2004, Displacement Spectra for LongPeriods, Earthquake Spectra, 10(2), 347-376

Faccioli, E., Cauzzi C., Paolucci, R., Vanini, M., Villani M. and Finazzi, D., 2007, Long Period Strong Ground Motion and Its Use as Input to Displacement Based Design, in Earthquake Geotechnical Engineering, Ed.by K.D.Pitilakis, Springer

Hiraishi,H., Midorikawa, M., Teshigawara, M., Gojo W. and Okawa, I., 2000, Performance-Based Building Code of Japan, Framework of Seismic and Structural Provisions, Proc. 12 WCEE, Vancouver, Canada

IBC 2006, 2006 International Building Code, International Code Council (formerly BOCA, ICBO, and SBCCI)

IBC 2006, International Building Code, Thomson Delmar Learning, 663 p.

İtalya Şartnamesi 2003, Italian Regulations for the Design of Seismic Isolated Buildings - Chapter 10 (“Isolated Buildings”) of the Technical Regulations for the Design, Assessment and Seismic Retrofit Of Buildings (“Norme Tecniche Per Il Progetto, La Valutazione E L’adeguamento Sismico Degli Edifici”)

Kelly, J.M., Bachas, N., Duenas, L. and Wu, T.C., 2001, The Rehabilitation for Improved Seismic Resistance of Mitchell Hall, Massachusetts Institute of Technology High

Kitagawa, Y. and Midorikawa, M., 1995, Seismic safety evaluation of base-isolated building structures in Japan Seismic, Shock and Vibration Isolation

Kitagawa, Y. and Midorikawa, M., 1998, Seismic isolation and passive response-control buildings in Japan, Smart Mater. Struct. 7, 581-587

Martelli, A., 2007, Current Status of Application of Seismic Isolation and Other Passive Anti-Seismic Systems to Buildings, Cultural Heritage and Industrial Plants in Italy and Worldwide, Proc., 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Deprem Izolasyonu Derneği, İstanbul

Naim, F. and Kelly, J.M., 1999, Design of Seismic Isolated Structures, From theory to Practice: John Wiley & Sons, Inc., New York

NEHRP 2003, 2003 NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA 450), Building Seismic Safety Council, The National Institute of Building Sciences, USA

prEN 15129, 2007, Anti-seismic Devices, Technical Committee CEN/TC 340, European Standard, Draft

Pınarbaşı, Ş. Ve Akyüz, U., 2005, Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyleri, İMO Teknik Dergi, 2005 3581-3598, Yazı 237

Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. and Kowalsky, M.J., 2007, Displacement-Based Seismic Design of Concrete Structures, Proc. 3rd Congreso Nacional de Engeneria Sismica, Girona, Spain

Skinner, R.I., Robinson, W.H. and G.H. Mc Verry, G.H., 1993, An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England

Tezcan S. ve Cimilli S., 2002, Seismic Base Isolation: Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları

Tezcan, S.S. ve Erkal, A., 2002, Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices: Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları

UBC 1997, International Conference of Building Officials, Uniform Building Code

Whittaker, A., Constantinou, M. and Tsopelas, 1998, Displacement Estimates for Performance-Based Seismic Design, Journal of Structural Engineeting

Yücesoy, A., 2005, Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Tasarım, Yüksek Öğretim ve Araştırma Vakfı Yayınları

İNTERNET KAYNAKLAR DİZİNİ

(http://www.dokaendustri.com.tr)

(http://www.ersetech.com/deprem.html)

(http://www.imokocaeli.org.tr)

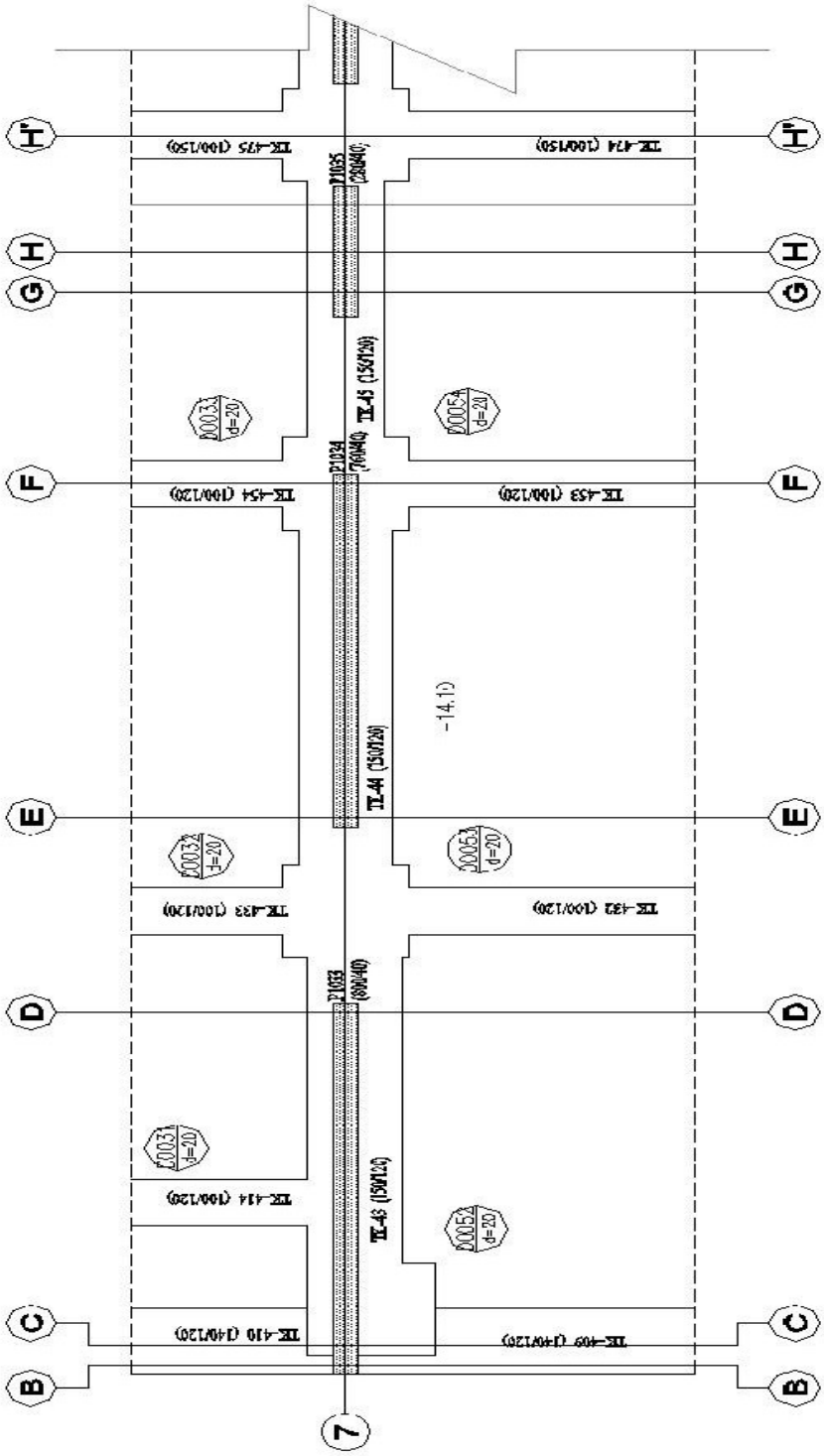
(http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/tr-faylar.gif)

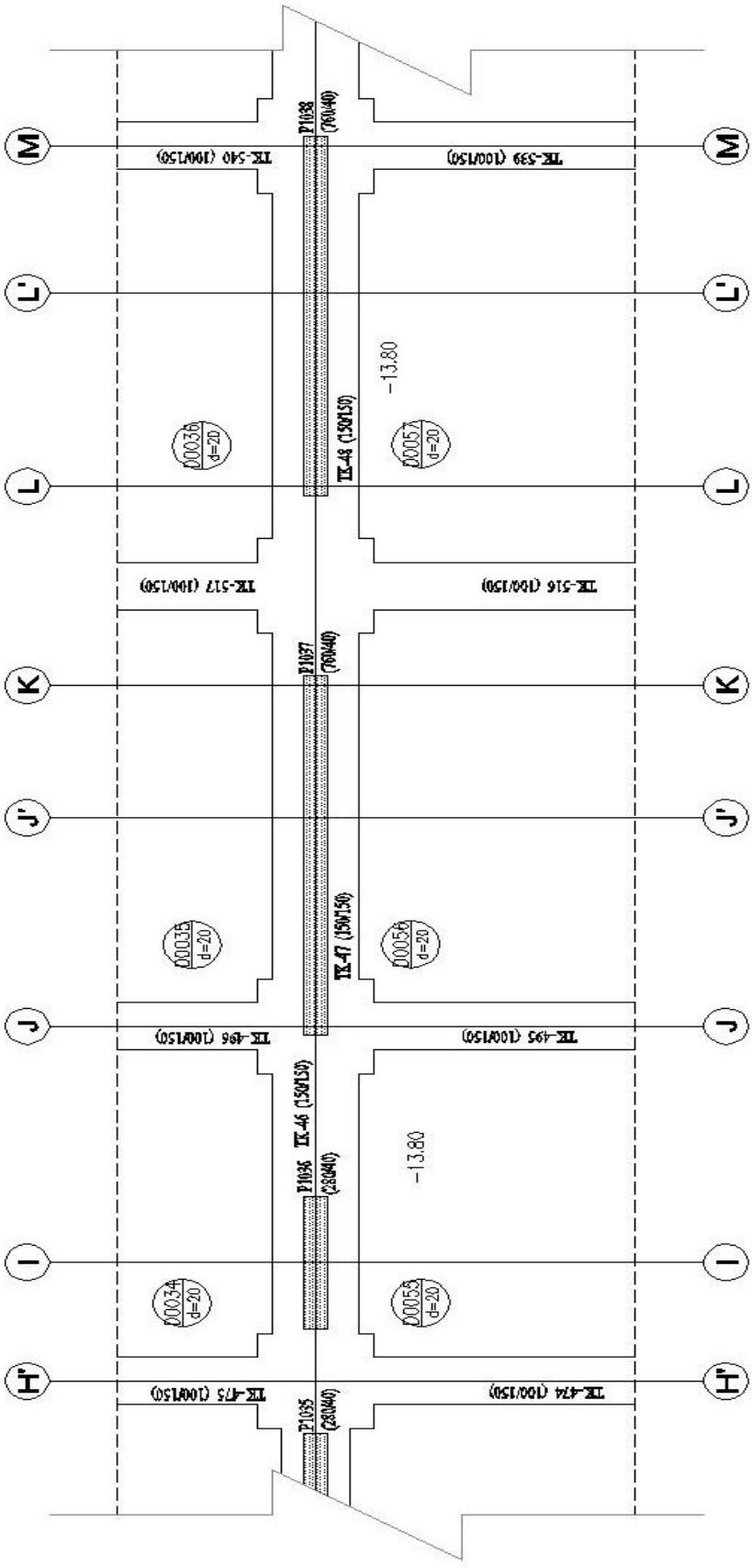
(http://www.wbdg.org/resources)

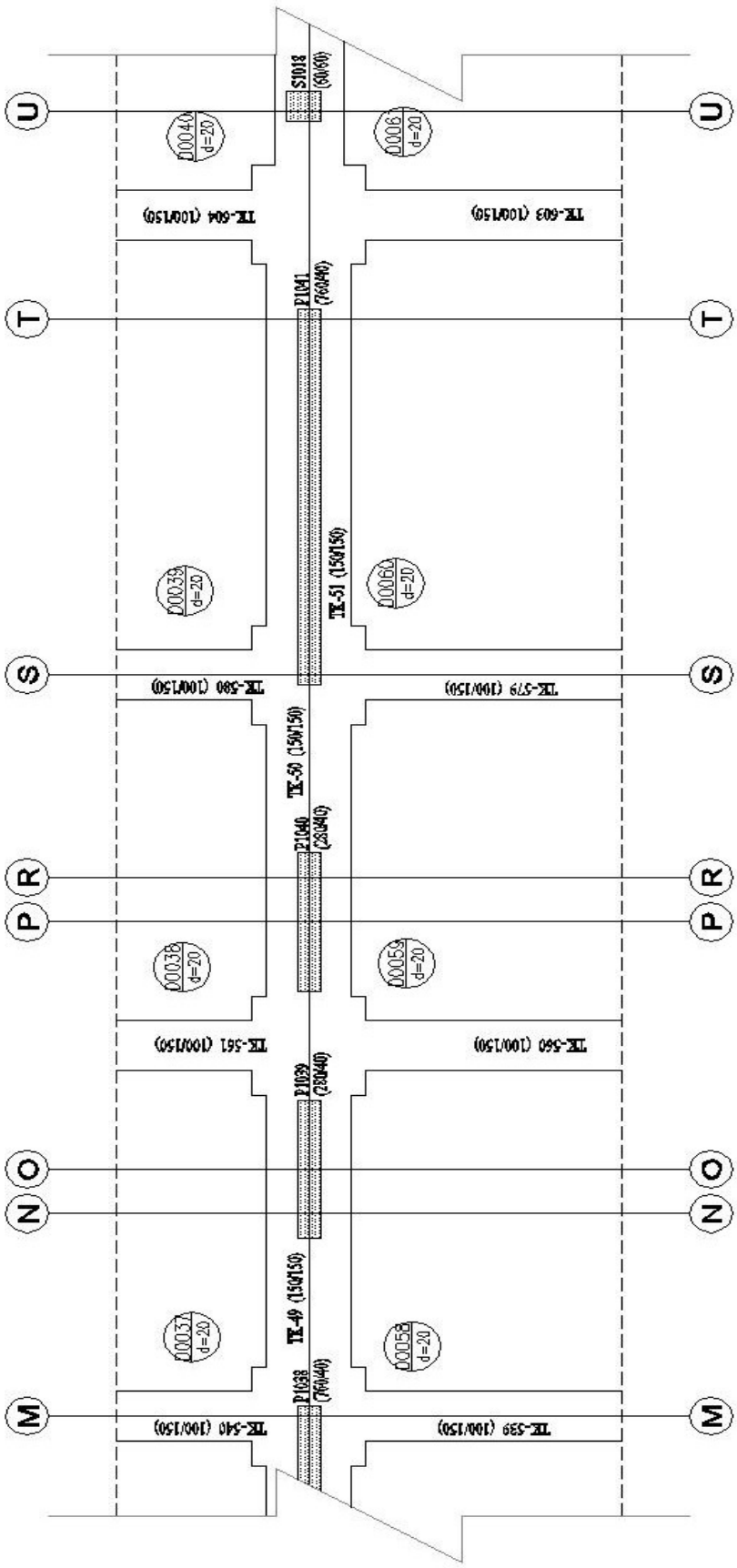
(http://www.yapıforum.net)

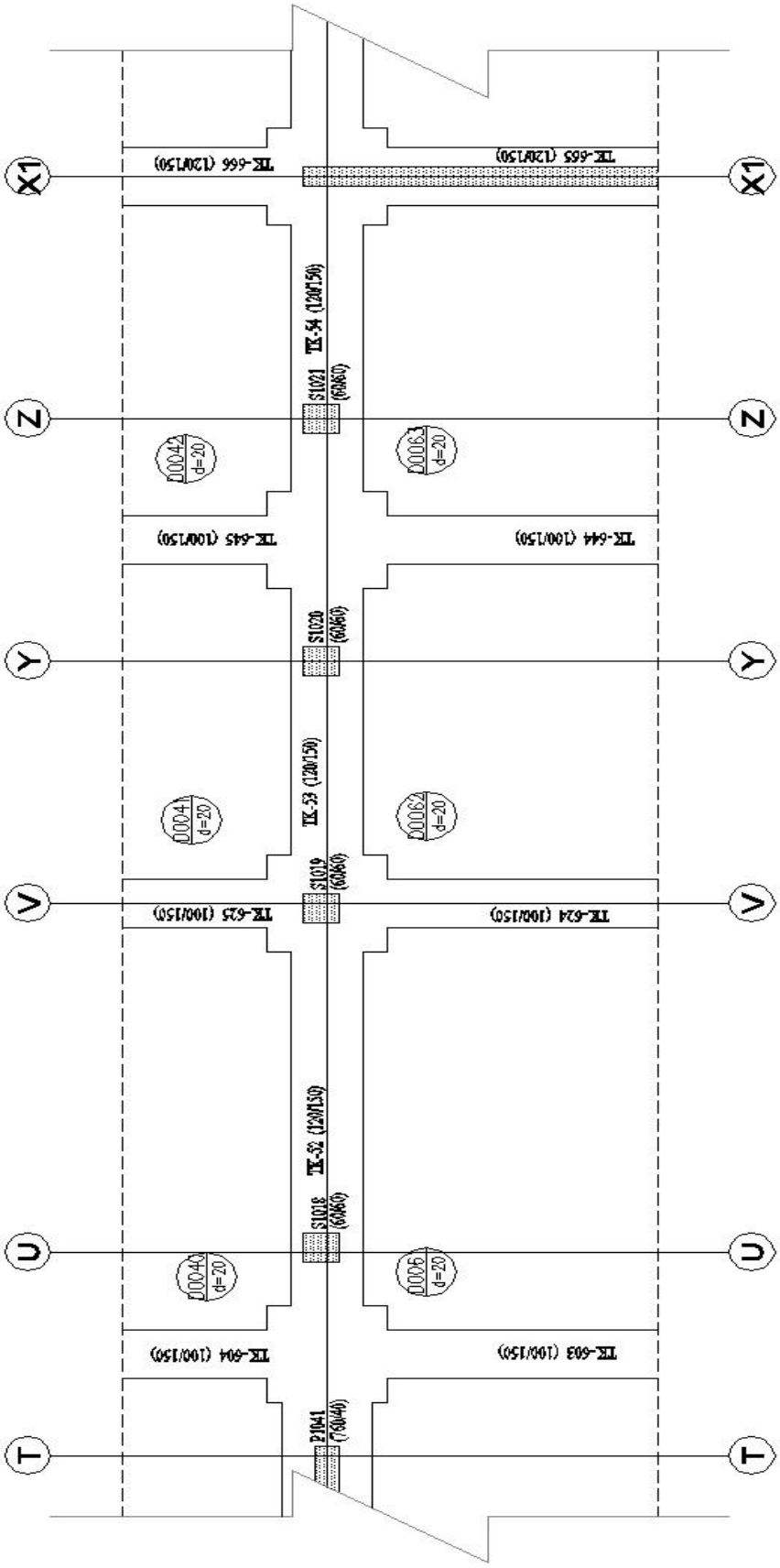
EKLER

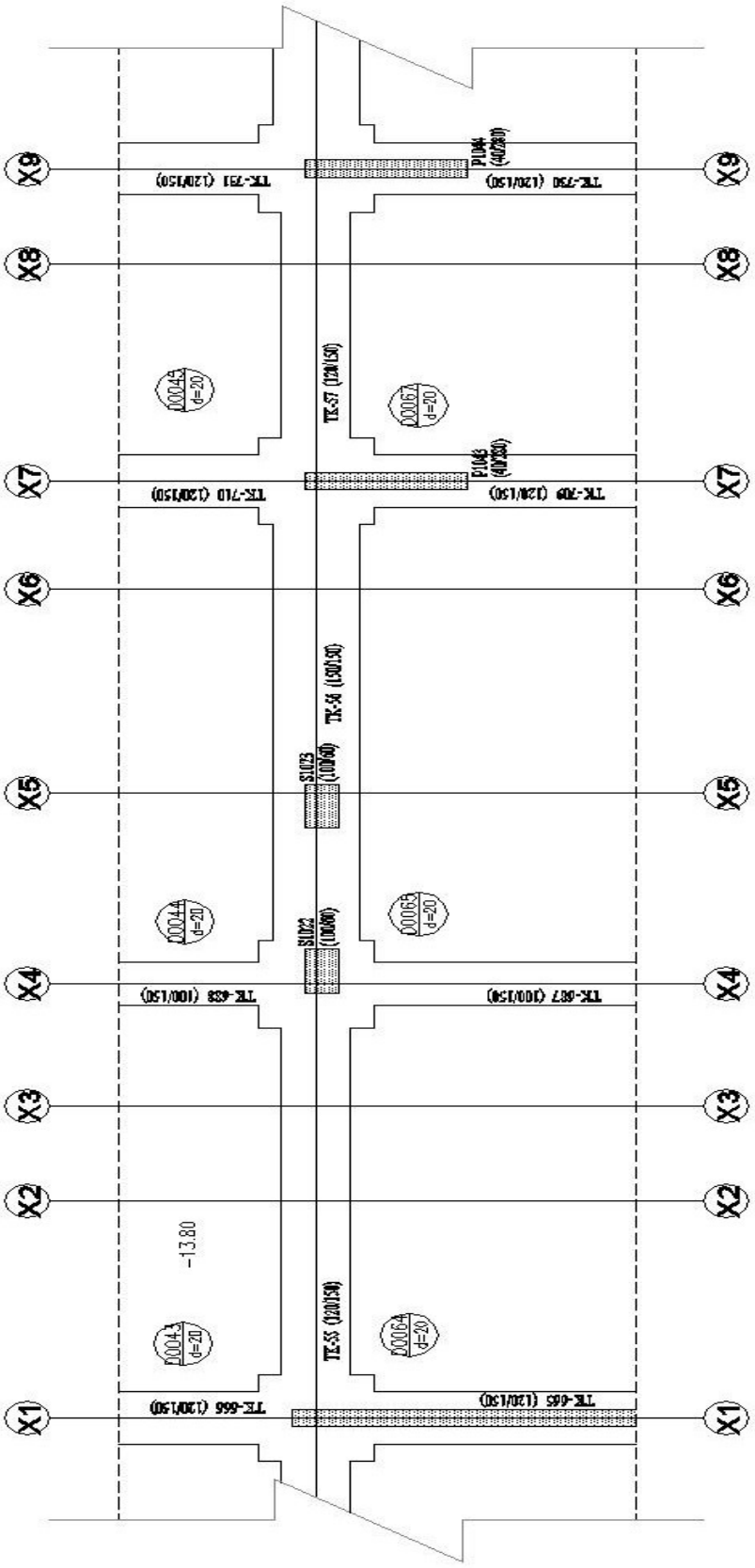
Ek.1. TK43….TK60 Temel Kirişi'nin Kalıp Planındaki Konumu

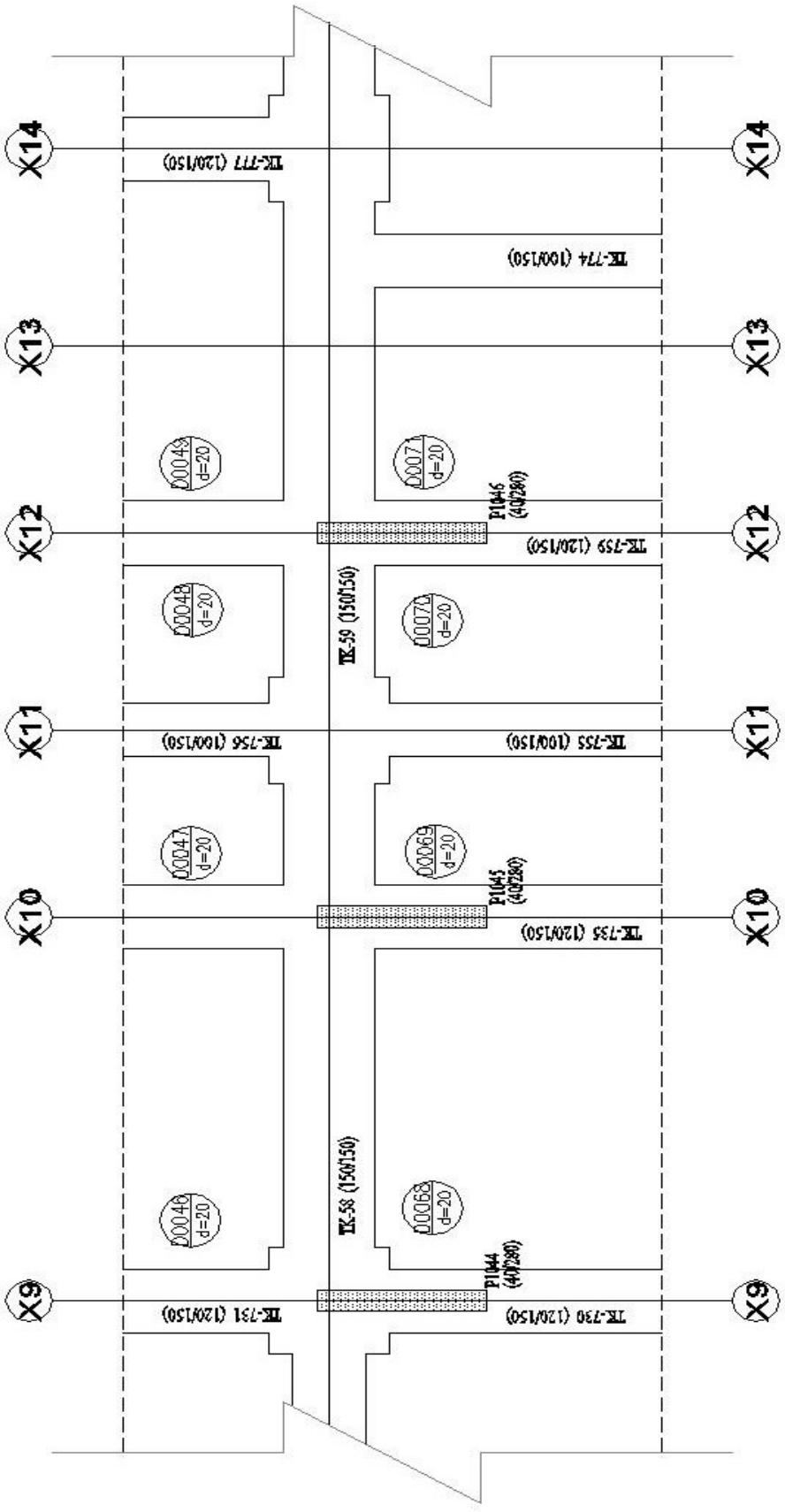


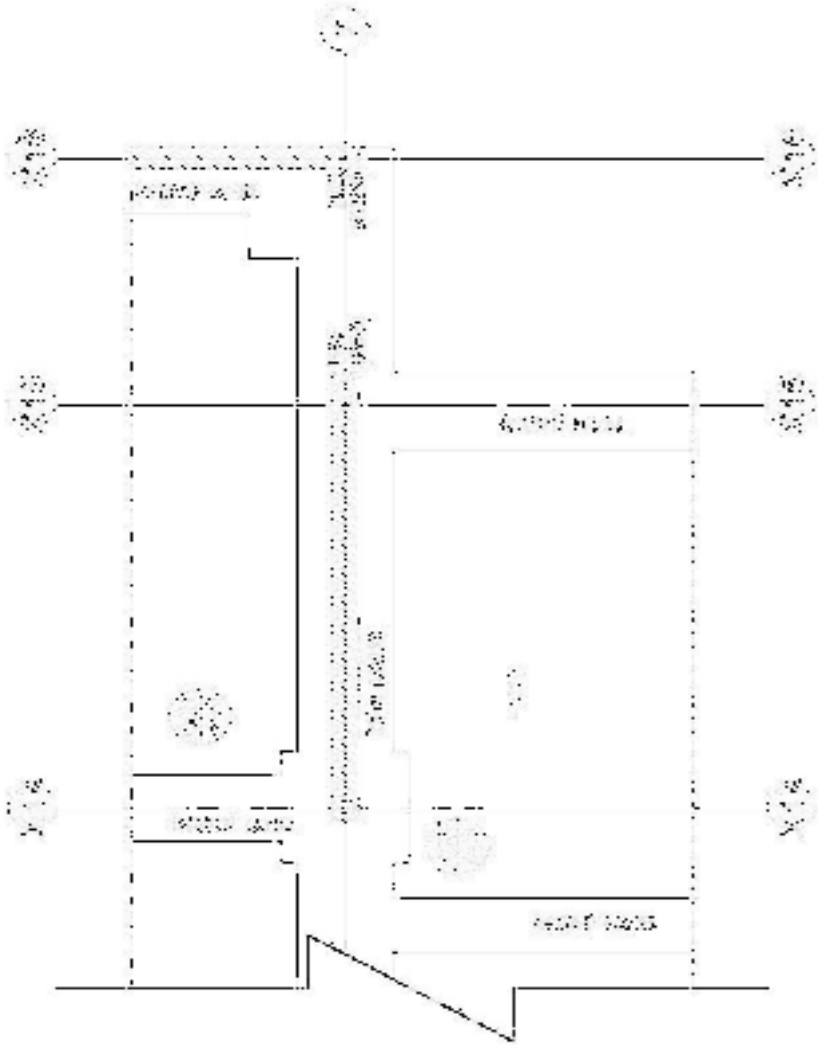

M
L'
L
K
J'
J
I
H'
-13.80
-13.80
d=20


U
T
S
R
P
O
N
M
S1018 (60/60)
P1041 (760/40)
TK-51 (150/150)
P1040 (280/40)
TK-50 (150/150)
P1039 (280/40)
TK-49 (150/150)
P1038 (760/40)
D0040 d=20
D0006 d=20
D0039 d=20
D0060 d=20
D0038 d=20
D0059 d=20
D0037 d=20
D0058 d=20
TK-604 (100/150)
TK-603 (100/150)
TK-580 (100/150)
TK-579 (100/150)
TK-561 (100/150)
TK-560 (100/150)
TK-540 (100/150)
TK-539 (100/150)

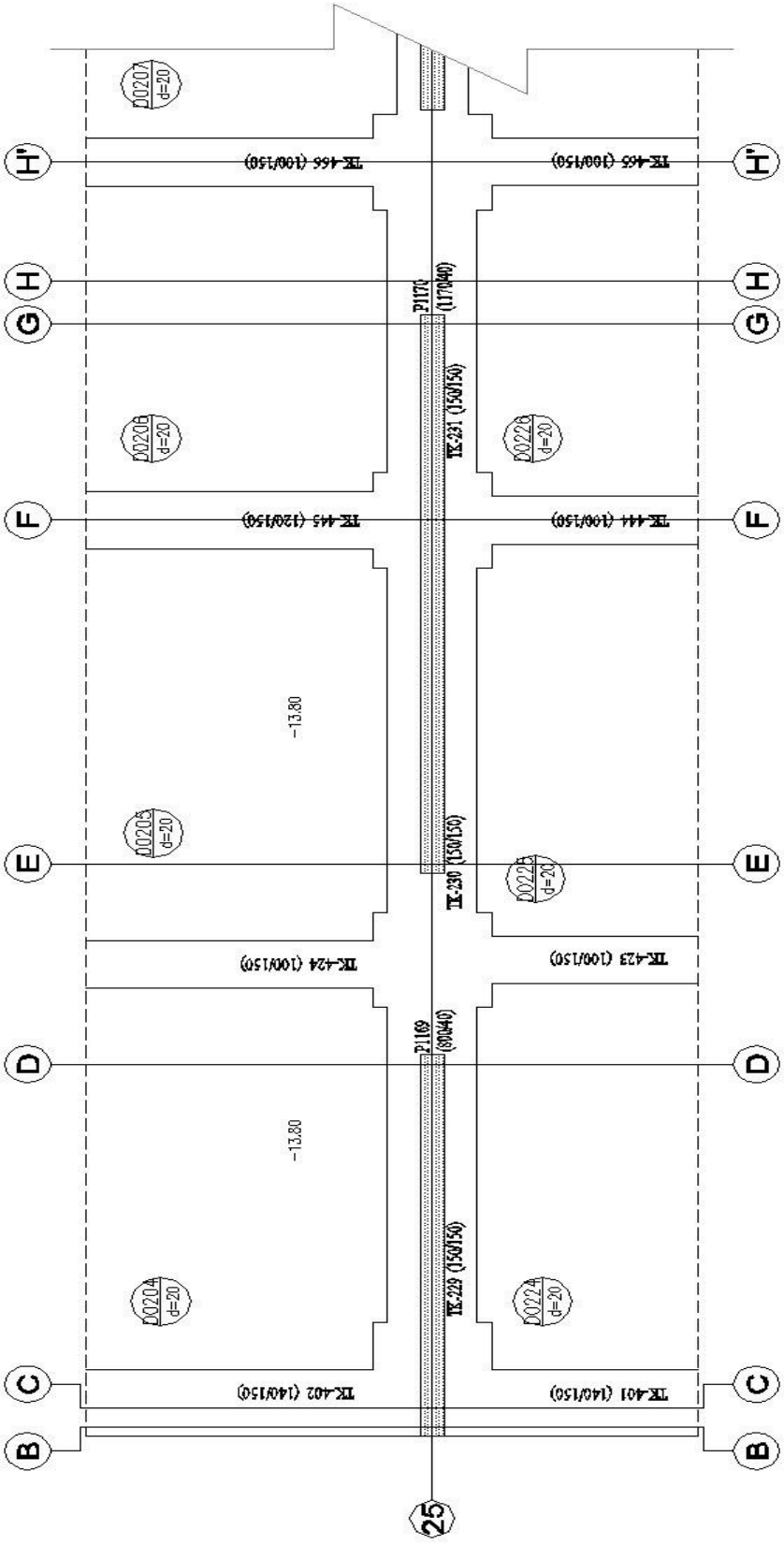

X1
Z
Y
V
U
T
ТК-666 (120/150)
ТК-665 (120/150)
ТК-54 (120/150)
S1021 (60x60)
00042 d=20
00063 d=20
ТК-645 (100/150)
ТК-644 (100/150)
S1020 (60x60)
ТК-53 (120/150)
00041 d=20
00062 d=20
S1019 (60x60)
ТК-625 (100/150)
ТК-624 (100/150)
ТК-52 (120/150)
S1018 (60x60)
00040 d=20
00060 d=20
ТК-604 (100/150)
ТК-603 (100/150)
P1041 (750/440)

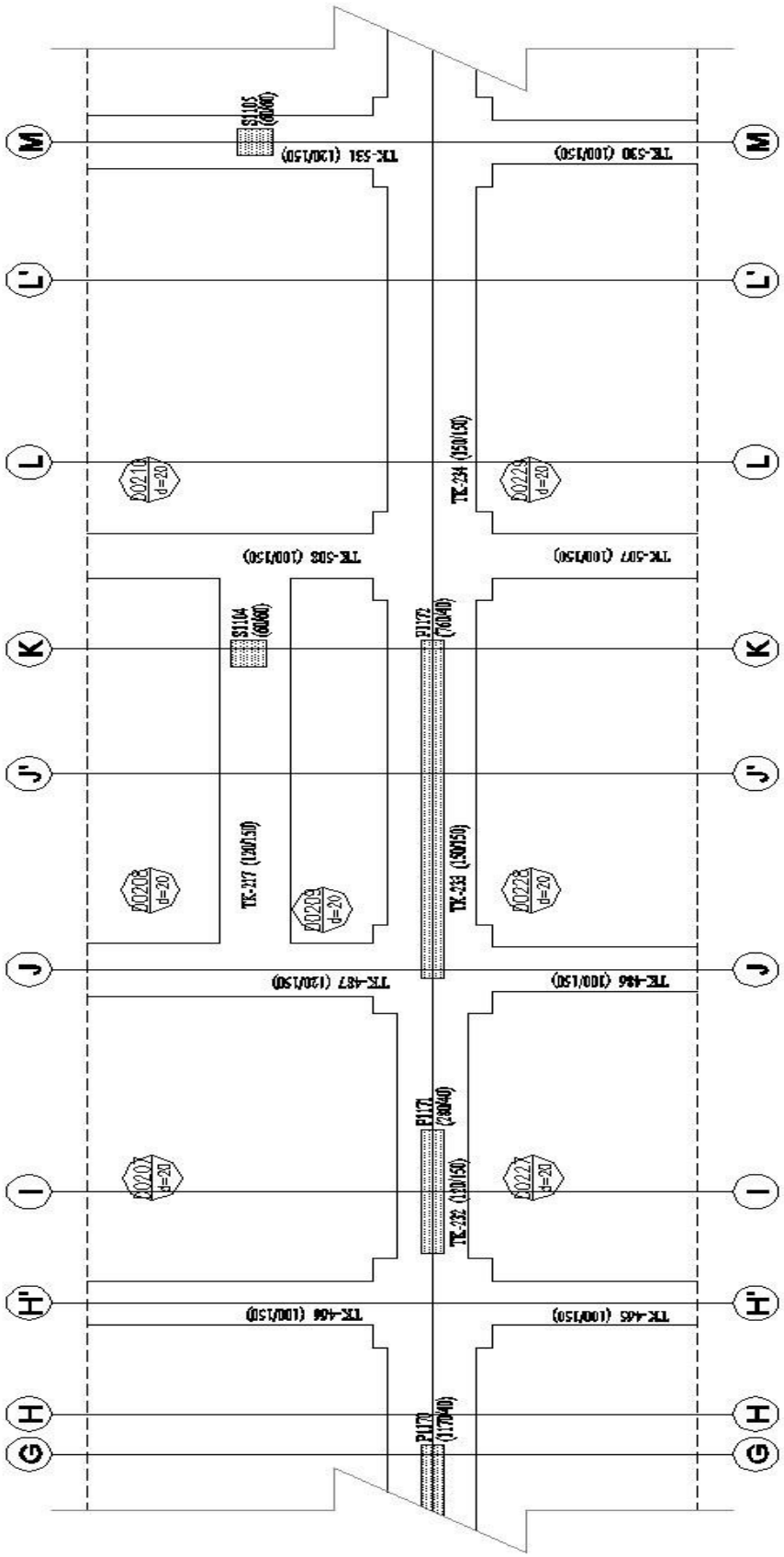

X9
X8
X7
X6
X5
X4
X3
X2
X1
PU44 (40/200)
TK-731 (120/150)
TK-730 (120/150)
TK-57 (120/150)
J0045 d=20
J0067 d=20
PU45 (40/200)
TK-710 (120/150)
TK-709 (120/150)
TK-56 (150/150)
SU23 (100/60)
SU22 (100/60)
J0044 d=20
J0068 d=20
TK-658 (100/150)
TK-657 (100/150)
-13.80
TK-55 (120/150)
J0043 d=20
J0064 d=20
TK-666 (120/150)
TK-665 (120/150)

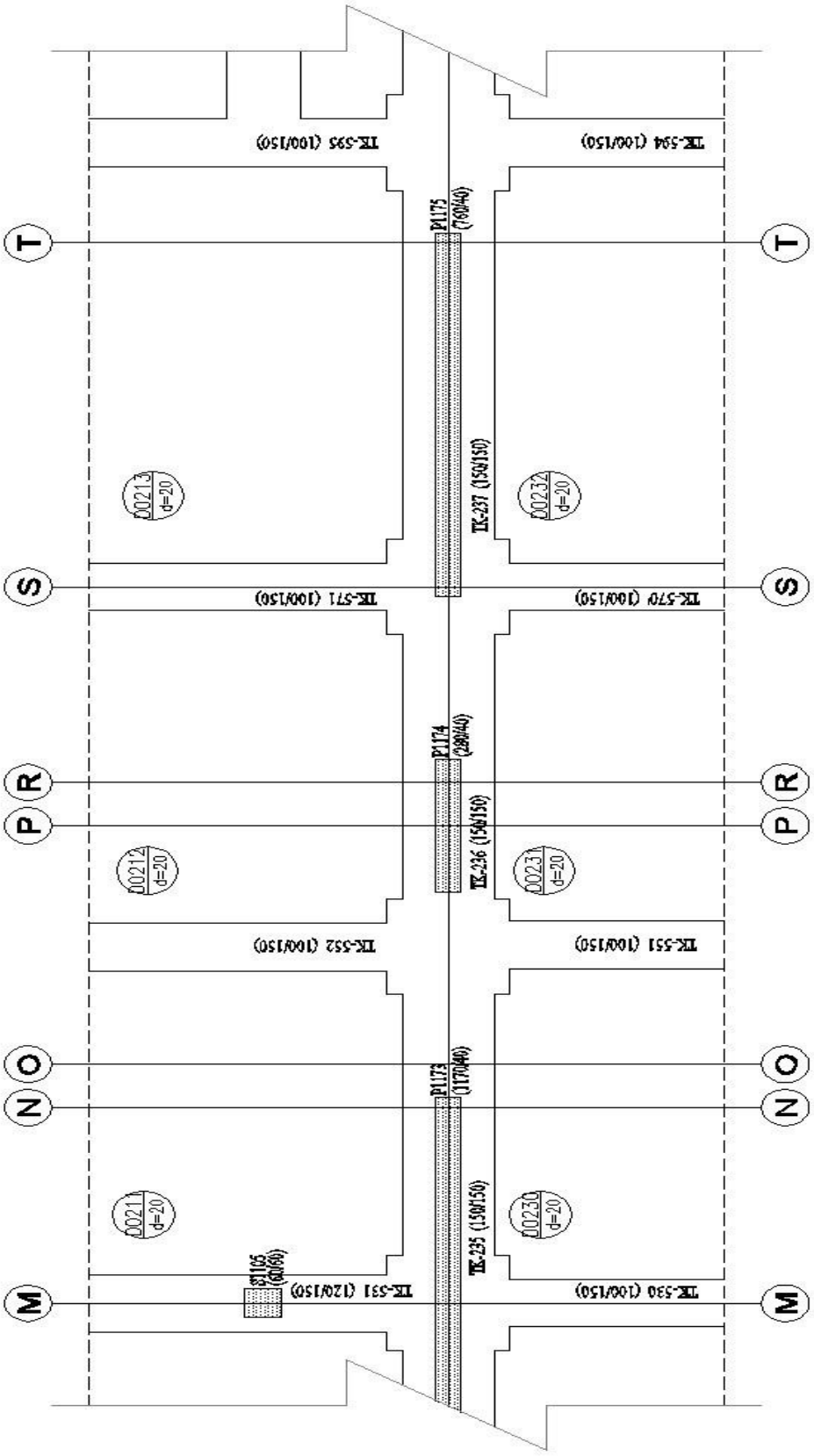

X14
X13
X12
X11
X10
X9
ТК-771 (120/150)
ТК-774 (100/150)
ТК-759 (120/150)
ТК-756 (100/150)
ТК-755 (100/150)
ТК-753 (120/150)
ТК-751 (120/150)
ТК-730 (120/150)
ТК-59 (150/150)
ТК-58 (150/150)
00049 d=20
00007 d=20
P1046 (40/280)
00048 d=20
00070 d=20
00047 d=20
00069 d=20
P1045 (40/280)
00046 d=20
00068 d=20
P1044 (40/280)

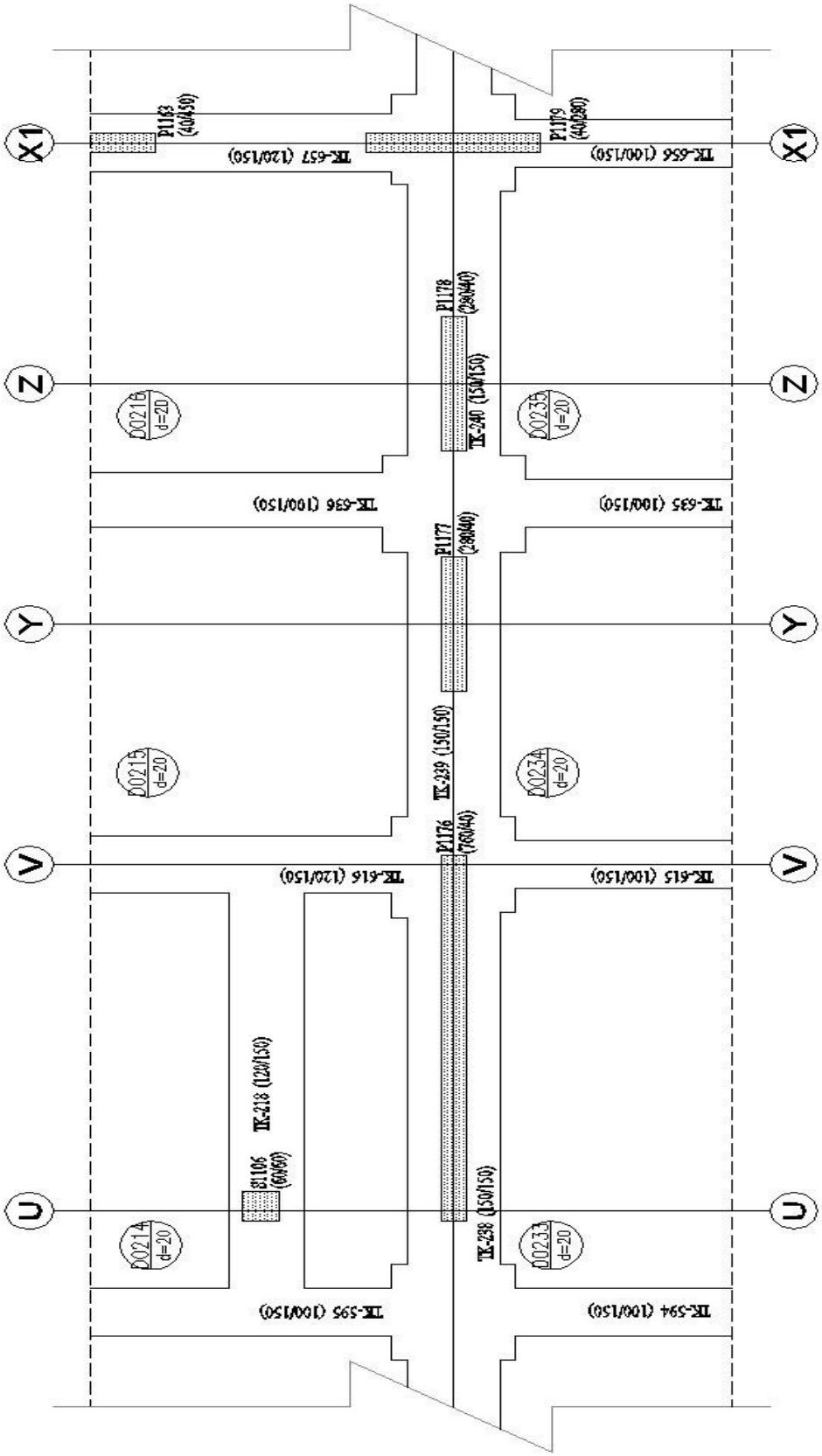


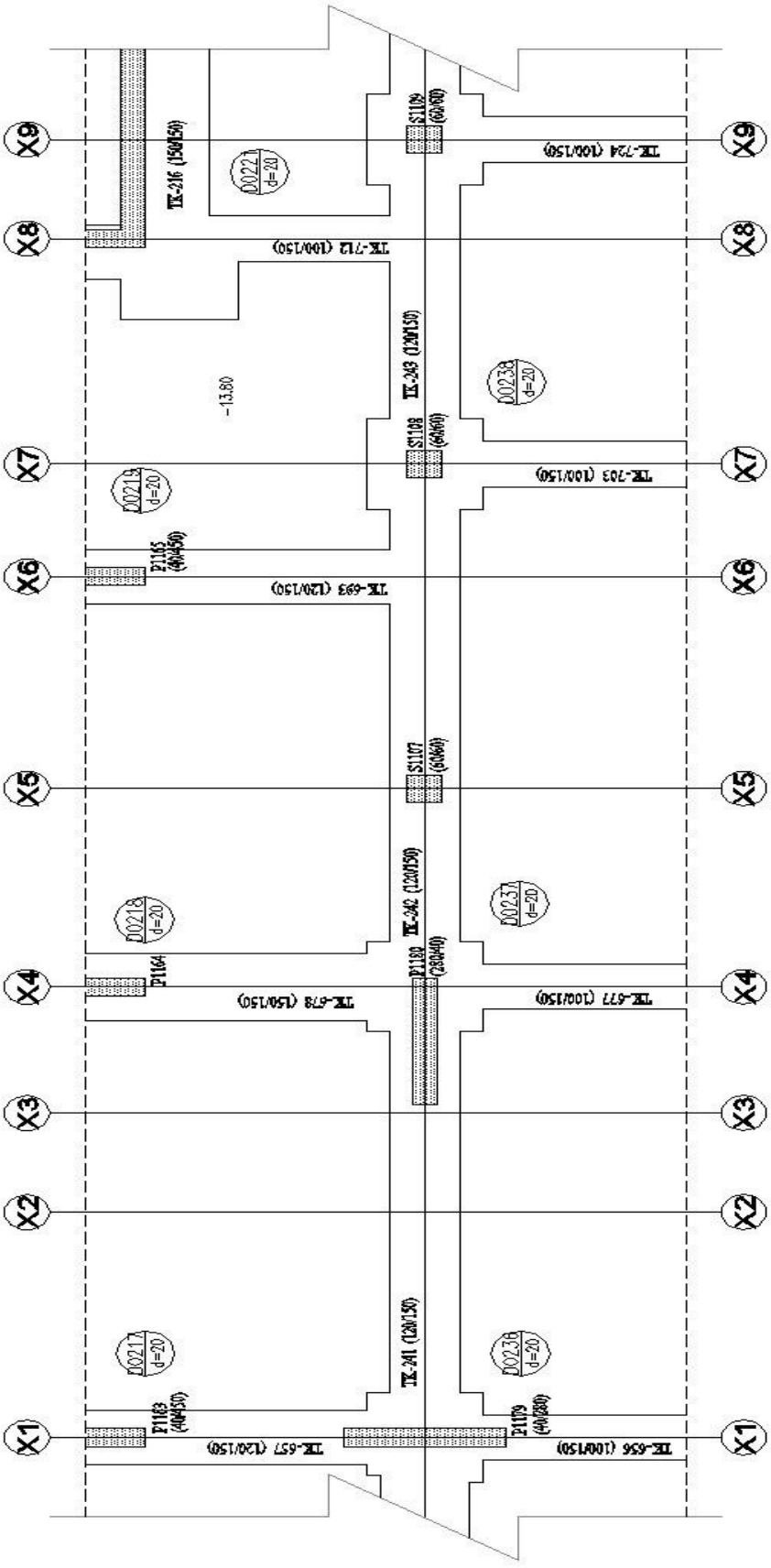
Ek.2. TK229….TK246 Temel Kirişi'nin Kalıp Planındaki Konumu

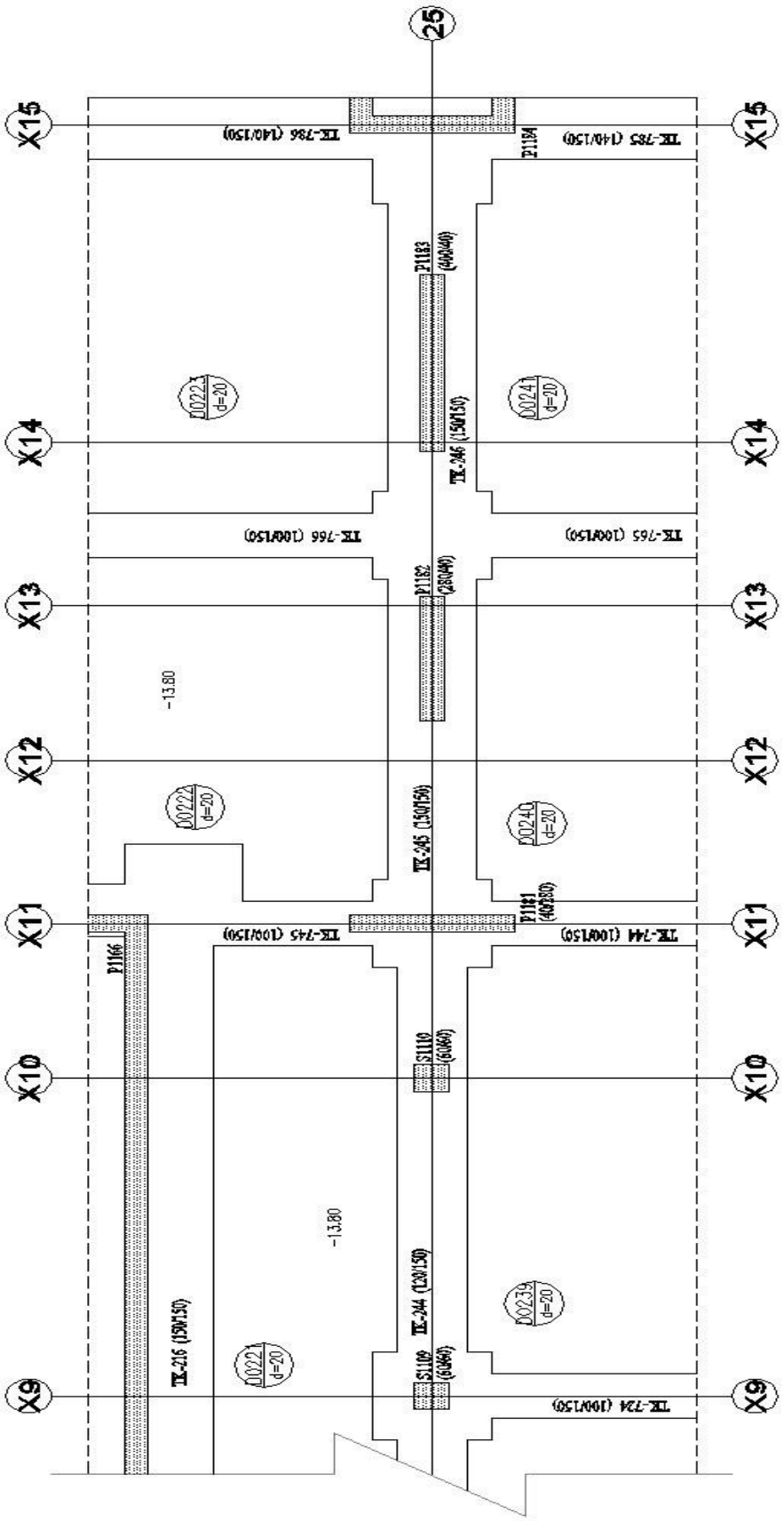



M
L'
L
K
J'
J
I
H'
H
G
S1105 (60/60)
TK-531 (120/150)
TK-530 (100/150)
TK-234 (150/150)
A0210 d=20
A0223 d=20
TK-508 (100/150)
TK-507 (100/150)
S1104 (60/60)
B1172 (200/40)
TK-217 (120/150)
A0208 d=20
A0209 d=20
TK-233 (150/150)
A0222 d=20
TK-487 (120/150)
TK-486 (100/150)
B1171 (200/40)
A0221 d=20
TK-232 (120/150)
A0222 d=20
TK-466 (100/150)
TK-465 (100/150)
B1170 (200/40)


T
S
R
P
O
N
M
P1175 (760/40)
P1174 (280/40)
P1173 (1170/40)
P1105 (60/60)
TK-237 (150/150)
TK-236 (150/150)
TK-235 (150/150)
TK-595 (100/150)
TK-594 (100/150)
TK-571 (100/150)
TK-570 (100/150)
TK-552 (100/150)
TK-551 (100/150)
TK-531 (120/150)
TK-530 (100/150)
00213 d=20
00232 d=20
00212 d=20
00231 d=20
00211 d=20
00230 d=20


X1
Z
Y
V
U
P1163 (400/450)
P1179 (400/800)
ТК-657 (120/150)
ТК-656 (100/150)
P1178 (2800/400)
ТК-240 (150/150)
ДО216 d=20
ДО235 d=20
ТК-636 (100/150)
ТК-635 (100/150)
P1177 (2800/400)
ТК-239 (150/150)
ДО215 d=20
ДО234 d=20
P1176 (7600/400)
ТК-616 (120/150)
ТК-615 (100/150)
ТК-218 (120/150)
B1106 (600/600)
ТК-238 (150/150)
ДО214 d=20
ДО233 d=20
ТК-595 (100/150)
ТК-594 (100/150)

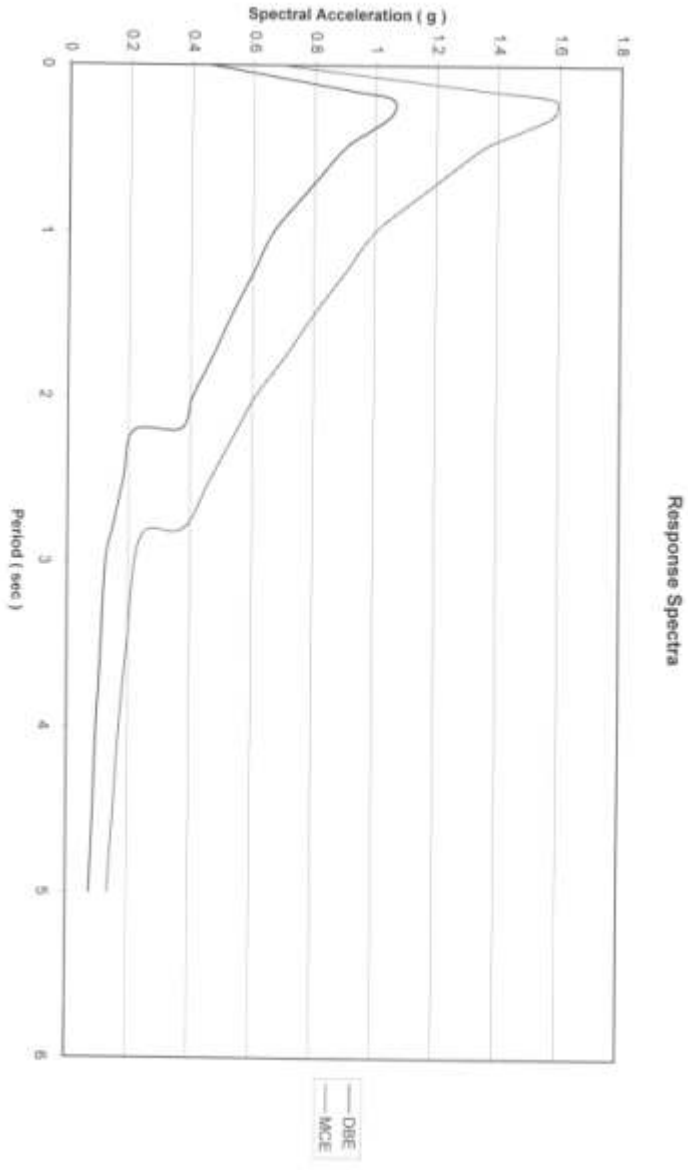

X9
X8
X7
X6
X5
X4
X3
X2
X1
ТК-216 (150/150)
ТК-712 (100/150)
ТК-693 (120/150)
ТК-678 (150/150)
ТК-657 (120/150)
ТК-724 (100/150)
ТК-703 (100/150)
ТК-677 (100/150)
ТК-656 (100/150)
ТК-243 (120/150)
ТК-242 (120/150)
ТК-241 (120/150)
-13.80
D0221 d=20
D0219 d=20
D0218 d=20
D0217 d=20
D0238 d=20
D0237 d=20
D0236 d=20
P1165 (400/450)
P1164
P1163 (400/450)
P1188 (280/440)
P1189 (400/280)
S1108 (600/600)
S1108 (600/600)
S1107 (600/600)


25
X15
X14
X13
X12
X11
X10
X9
TK-786 (140/150)
TK-785 (140/150)
P1184
P1183
(400/40)
TK-246 (150/150)
TK-766 (100/150)
TK-765 (100/150)
P1182
(280/40)
-13.80
TK-245 (150/150)
P1181
(400/80)
TK-745 (100/150)
TK-744 (100/150)
P1166
S1110
(60/40)
TK-216 (150/150)
TK-244 (120/150)
S1109
(60/40)
TK-724 (100/150)
00223
d=20
00241
d=20
00222
d=20
00240
d=20
00221
d=20
00239
d=20

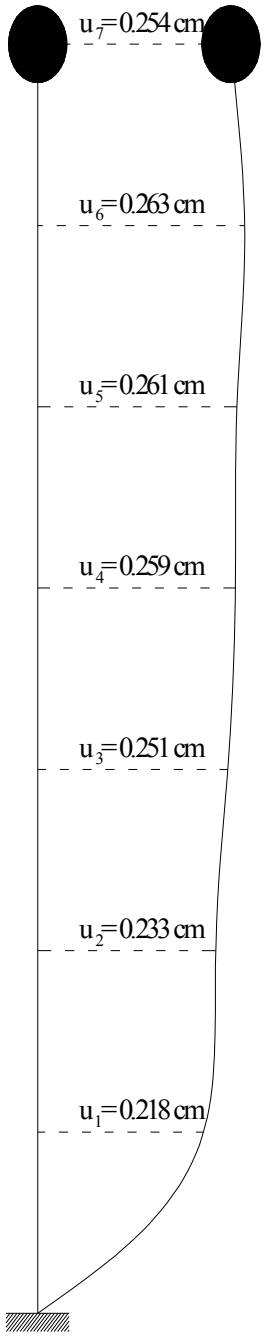
Ek.3. Erzurum Devlet Hastanesi Taban İzolasyonlu Modelinin IBC Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış MCE ve DBE Deprem Seviyesi Spektral İvmeleri

Periyot(s)	MCE-SA(g)	DBE-SA(g)
0.00	0.453	0.680
0.15	0.907	1.360
0.20	1.053	1.580
0.30	1.053	1.580
0.40	0.980	1.470
0.50	0.900	1.350
0.75	0.780	1.170
1.00	0.667	1.000
1.25	0.600	0.900
1.50	0.533	0.800
1.75	0.473	0.710
2.00	0.407	0.610
2.20	0.368	0.552
2.21	0.215	0.549
2.50	0.182	0.465
2.80	0.148	0.378
2.81	0.147	0.258
3.00	0.125	0.220
3.50	0.112	0.196
4.00	0.098	0.172
4.50	0.088	0.155
5.00	0.078	0.137

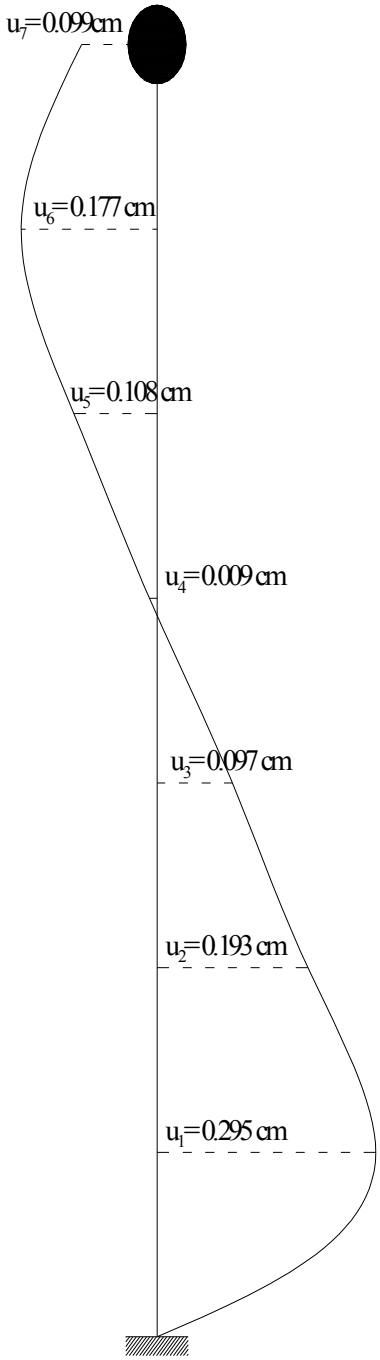
Ek.4. Erzurum Devlet Hastanesi Taban İzolasyonlu Modelinin IBC Yönetmeliğine Göre Hesaplanmış MCE ve DBE Deprem Seviyesi Spektral İvme-Zaman Eğrisi



Ek.5. Erzurum Devlet Hastanesinin Taban İzolasyonlu Modelinde Oluşan Kat Ötelenmeleri (1. Mod Etkisinde)



Ek.6. Erzurum Devlet Hastanesinin Ankastre Mesnetli Temele Sahip Modelinde Oluşan Kat Ötelenmeleri (2. Mod Etkisinde)



Ek.7. Erzurum Devlet Hastanesi Temel Kalıp Planı

