

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128651

YAPILARDA SİSMİK İZOLASYON

TE YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İnşaat Müh. Salim Bora KÖSEDAĞ

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ

Doc. Dr. Turgut ÖZTÖRK

Prof. Naci Yücefer

İSTANBUL, 2002

128651

İbrahim Ekiz

Turgut Öztörk

Naci Yücefer

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xiv
ÖNSÖZ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
GİRİŞ.....	xviii
1. SİSMİK İZOLASYON TEKNOLOJİSİ.....	1
1.1. Tarihsel Gelişim.....	1
1.2. Sismik İzolasyon Prensipleri.....	2
1.2.1. Tanım.....	2
1.2.2. Amaç.....	4
1.3. Günümüzde Yaklaşımlar.....	9
2. SİSMİK İZOLASYON TEORİK ESASLARI.....	14
2.1. Lineer Teori.....	14
2.1.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemde Hareket Denklemleri.....	14
2.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler için Hareket Denklemleri.....	21
2.2. Sismik İzolasyonlu Yapıların Genel Davranışı.....	22
3. İZOLASYON SİSTEMİ ELAMANLARI.....	26
3.1. Elastomerik Mesnetli Sistemler.....	26
3.1.1. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet Sistemi.....	30
3.1.2. Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi.....	32
3.1.3. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet Sistemi.....	32
3.2. Kayıcı Mesnetli İzolatörler.....	33
3.2.1. Fransız Elektrik Sistemi.....	33
3.2.2. Bileşik Sistem.....	34
3.2.3. Tass Sistemi.....	35
3.2.4. Elastik Sürtümlü Taban İzolasyon Sistemi.....	36
3.3. Diğer İzolasyon Sistemleri.....	40
3.3.1. Gerb Sistemi.....	40
3.3.2. Alga Sistemi.....	41
3.3.3. Süper Kayıcı Sistem.....	41

4.	İZOLATÖRLERİN MODELLENMESİ VE MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ.....	43
4.1.	Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemlerin Modellenmesi.....	43
4.2.	Kurşun Çekirdekli Sistemlerin Modellenmesi.....	45
4.3.	Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerinin Modellenmesi.....	47
5.	SİSMİK İZOLASYON UYGULAMA DETAYLARI.....	50
5.1.	İzolatörlerin Yeri.....	50
5.1.1.	İzolatörler Bodrum Kat Kolonlarının Ortasına Yerleştirilme Durumu.....	51
5.1.1.1.	Avantajlar.....	51
5.1.1.2.	Dezavantajlar.....	51
5.1.2.	İzolatörlerin Bodrum Katta Temellerin Altına Yerleştirilme Durumu.....	52
5.1.2.1.	Avantajlar.....	52
5.1.2.2.	Dezavantajlar.....	53
5.1.3.	İzolatörlerin Bodrum Kat Kolonlarının Üstüne Yerleştirilme Durumu.....	53
5.1.3.1.	Avantajlar.....	53
5.1.3.2.	Dezavantajlar.....	54
5.1.4.	İzolatörlerin 1. Kat Kolonlarının Altına Yerleştirilme Durumu.....	54
5.1.4.1.	Avantajlar.....	54
5.1.4.2.	Dezavantajlar.....	54
5.1.5.	İzolatörlerin 1. Kat Kolonlarının Üstüne Yerleştirilme Durumu.....	55
5.1.5.1.	Avantajlar.....	55
5.1.5.2.	Dezavantajlar.....	55
5.2.	Emniyet Servisleri.....	56
6	MEVCUT YAPILARDA SİSMİK İYİLEŞTİRME İÇİN TABAN İZOLASYONU UYGULANMASI.....	60
6.1.	Mevcut Yapıda Kolonlara İzolatör Yerleştirilmesi.....	61
6.2.	Mevcut Yapıda Temellerin Altına İzolatör Yerleştirilmesi.....	65
6.2.1.	Zemin Destek Kazıkların Yerleştirilmesi.....	65
6.2.2.	Derin Kazı İşlemi.....	66
6.2.3.	Mevcut Kazıkların Kesilmesi ve Yeni Temelin İnşası.....	66
6.2.4.	Yapının Hareket Ettirilmesi.....	67
6.2.5.	Sismik İzolasyonun Uygulanması.....	67
6.2.6.	Son Aşama.....	68
7.	ÜLKEMİZDE SİSMİK İZOLASYON ÇALIŞMALARI.....	69
7.1.	Bolu Viyadükleri.....	69
7.1.1.	Deprem Etkisindeki Yapıların Tanıtımı.....	70
7.1.2.	Yapıların Statik Tasarımı.....	71
7.1.3.	Antisismik Donanımlar.....	72
7.1.3.1.	Ep Tip Sönümlendiriciler.....	72
7.1.3.2.	Vp Tip Sönümlendiriciler.....	73
7.1.3.3.	Vpj Tip Sönümlendiriciler.....	74
7.1.4.	Yapıların Davranışı.....	74
7.2.	Atatürk Havalimanı.....	76
7.2.1.	Yapının Tanıtımı.....	77
7.2.2.	Antisismik Donanımlar.....	78

8.	SİSMİK İZOLASYON UYGULAMA MALİYETİ.....	81
8.1.	İlk Maliyet Değerlendirmesi.....	81
8.1.1.	İzolatör Maliyetleri.....	81
8.1.2.	İzolasyon Uygulama Maliyetleri.....	83
8.2.	Kullanım Maliyetleri.....	83
8.3.	Örnek Projede Maliyet Analizi.....	83
8.3.1.	Yapının Tanıtımı.....	84
8.3.2.	Maliyetlerin Saptanması.....	85
8.3.2.1.	Temel Kazısı.....	85
8.3.2.2.	Deplasman Boşluğu Kazısı.....	86
8.3.2.3.	Rijit Diyaframın Oluşturulması.....	86
8.3.2.4.	Beton Duvarların Kesilmesi.....	87
8.3.2.5.	İzolatörlerin Yerleştirilmesi.....	87
8.3.2.6.	Yapının Tabandan Ayrılması.....	88
8.3.2.7.	İzolasyon Seviyesinin Düzenlenmesi ve Servis Elemanlarının İzolasyon Sistemine Uyarlanması.....	88
8.3.2.8.	Diğer Masraflar.....	88
8.3.2.9.	Toplam Maliyet.....	89
9.	SAYISAL UYGULAMA.....	90
9.1.	Sismik İzolasyon Standartları.....	90
9.1.1.	UBC-97 Terminolojisi.....	91
9.1.1.1.	Tasarım Depremi.....	91
9.1.1.2.	Maksimum Hesap Depremi.....	91
9.1.1.3.	Efektif Sönüm.....	91
9.1.1.4.	Efektif Rijitlik.....	91
9.1.1.5.	Maksimum Yer Değiştirme.....	91
9.1.1.6.	Toplam Tasarım Yer Değiştirme.....	91
9.1.1.7.	Maksimum Toplam Yer Değiştirme.....	91
9.1.1.8.	Tasarım Titreşim Periyodu.....	92
9.1.1.9.	Maksimum Titreşim Periyodu.....	92
9.1.2.	UBC-97'e Göre Boyutlandırma Katsayıları.....	92
9.2.	Yapının Tanıtımı.....	92
9.3.	UBC-97'e Göre Yapı Parametreleri.....	93
9.4.	İzolatörlerin Boyutlandırılması.....	96
9.4.1.	Yatay Rijitlikler.....	96
9.4.2.	Disk Çaplarının Belirlenmesi.....	97
9.4.3.	Sistemde Toplam Yatay Rijitlik.....	98
9.4.4.	İzolasyonlu Yapının Titreşim Periyodu.....	98
9.4.5.	Sistemde Toplam Sönüm.....	98
9.4.6.	Maksimum Toplam Yer Değiştirme.....	99
9.4.7.	Taban Kesme Kuvveti.....	100
9.4.8.	İzolatör Detayı.....	100
9.4.9.	Düşey Titreşim Frekansı.....	102
9.4.10.	Ortak Alan Hesabı.....	103
9.4.11.	Göçme Riski.....	103
9.4.12.	Dışarı Yuvarlanma Mesafeleri.....	105
9.5.	Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı.....	106
9.6.	Sürtülmeli Sarkaç Sistemi Tasarımı.....	110

10.	DİNAMİK ANALİZLER.....	113
10.1.	Spektral Analiz.....	113
10.1.1.	Ankastre Mesnetli Durumda Yapıda Analiz Sonuçları.....	115
10.1.1.1.	Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	115
10.1.1.2.	Yer Değiş-tirmeler.....	115
10.1.2.	Doğal Kauçuk İzolatörlerle İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları.....	118
10.1.2.1.	Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	118
10.1.2.2.	Yer Değiş-tirmeler.....	118
10.1.3.	Kurşun Çekirdekli İzolatörlerle İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları.....	121
10.1.3.1.	Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	121
10.1.3.2.	Yer Değiş-tirmeler.....	121
10.1.4.	Sürtünmeli Sarkaç Modeli İle İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları.....	124
10.1.4.1.	Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	124
10.1.4.2.	Yer Değiş-tirmeler.....	124
10.2.	Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	129
11.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
	KAYNAKLAR.....	134
	EKLER.....	136
EK 1.	Sismik İzolasyon Uygulama Örnekleri.....	136
EK 2.	Sismik İzolasyon Uygulama Detayları.....	139
EK 3.	Mevcut Yapıda Sismik İyileştirme için Taban İzolasyonu Uygulanması.....	158
EK 4.	Ülkemizde Sismik İzolasyonlu Yapılar.....	178
EK 5.	Sismik İzolasyon Maliyeti Saptaması.....	185
EK 6.	İzolasyonlu Sistemlerde, Ankastre Sistemlerle Aynı Deprem Azaltma Katsayısı Esas Alındığında Deprem Momentleri.....	188
	ÖZGEÇMİŞ.....	194

SİMGE LİSTESİ

A	Elastomerik İzolatörlerde Kesit Alanı
A'	Elastomerik İzolatörlerde Ortak Alan
A(T)	Spektral İvme Katsayısı
A _o	Ekin Yer İvmesi Katsayısı
B	Sönüm Azaltma Katsayısı
c	Yapısal Elamanlarda Sönüm
D	İzolator Modelinde Yatay Yer Değiştirme
D _D	İzolator Modelinde Tasarım Yer Değiştirmesi
D _y	Akma Mesafesi
e	Planda Burulma Mesafesi
E	Elastisite Modülü
E _c	Yükleme Modülü
g	Yer Çekimi İvmesi
G	Kayma Modülü
k _s	Yapısal Elamanlarda Yatay Rijitlik
k _b	İzolatorlerde Yatay Rijitlik
K	Elastomerik İzolatörlerde Hacim Modülü
K ₁	İzolator Modelinde Elastik Rijitlik
K ₂	İzolator Modelinde Akma Sonrası Rijitliği
K _{eff}	Efektif Rijitlik
K _H	İzolatorlerde Yatay Rijitlik
K _V	İzolatorlerde Düşey Rijitlik
m	Üst Yapının Kütlesi
M	Toplam Kütle - (m+m _b)
m _b	Taban İzolatörünün Kütlesi
Q	Karakteristik Kuvvet
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R _a	Ankastre Mesnetli Sistemde Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
R _i	İzolasyonlu Sistemde Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
S	Elastomerik İzolatörlerde Şekil Faktörü
S(T)	Spektrum Katsayısı
t	Kauçuk İzolatörlerde Elastomer Tabaka Kalınlığı

T_F	Ankastre Yapının Titreşim Periyodu
T_Y	Yalıtımlı Yapının Titreşim Periyodu
tr	Kauçuk İzolatörlerde Toplam Elastomer Kalınlığı
u	Toplam Yer Değiştirme
W	Ağırlık
W_D	İzolatör Modelinde 1 Tam Periyotta Dağıtılan Enerji
$[C]$	Sönüm Matrisi
$[K]$	Rijitlik Matrisi
$[M]$	Kütle Matrisi
q	Modal Katılım Çarpanları
α	Periyot Oranı (T_F/T_Y)
β	Sönüm Faktörü
δ_v	Düşey Yer Değiştirme
λ	Modal Bağlantı Katsayıları - (Bölüm.2)
λ	İçi Boş kesitlerde Yükleme Modülü Katsayısı - (Bölüm 4)
μ	Sürtünme Katsayısı
ω_b	Sistemde İzolatörlerin Açısal Frekansı
ω_i	Sistemde i. Modda Açısal Frekans
ω_s	Sistemde Üst Yapının Açısal Frekansı
ϵ	Açısal Frekanslar Oranının Karesi (ω_b^2/ω_s^2)
γ	Elastomerik İzolatörlerde Şekil Değiştirme Katsayısı (D / tr) - (Bölüm4)
ϕ	Mod Vektörü
v	Rölatif Yer Değiştirme
γ	Üst Yapının Kütlesinin Toplam Kütle Oranı - (Bölüm2)
η	Taban Kütlesinin Üst Yapı Kütlesine Oranı

KISALTMA LISTESI

ALGA	Applicazione Lavorazione Giunti Appoggi
ATC	Applied Technology Council
BSSC	Building Seismic Safety Council
CQC	Complete Quadratic Combination
DBE	Design Basis Earthquake
DIS	Dynamic Isolation Systems
EERC	Energy Environment and Resources Center
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FPS	Friction Pendulum System
GEES	The Geotechnical Earthquake Engineering Server
HDR	High Damping Rubber System
LDNRB	Low Damping Natural Rubber Bearings
LRB	Lead Rubber Bearing
MCE	Maximum Capable Earthquake
MD	Maximum Displacement
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPRA	Malaysian Rubber Producers Research Association
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction program
OSHPD	Office of Statewide Health Planning and Development
SIECORP	Seismic Isolation Engineering - Corparating
TDD	Total Design Displacement
TMD	Total Maksimum Displacement
UBC	Uniform Building Codes

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Deprem hareketine yapının muhtemel tepkisi.....	2
Şekil 1.2	Sismik izolasyonla yapının yerden ayrılması.....	3
Şekil 1.3	Sismik izolasyonlu yapı örneği.....	3
Şekil 1.4	Deprem hareketinde yapıya etkiyen yatay kuvvetler.....	4
Şekil 1.5	Yanal yük etkisinde kat çerçevesi davranışı.....	5
Şekil 1.6	Yapılarda doğal titreşim periyodunun kat yüksekliğine göre değişimi.....	6
Şekil 1.7	Deprem spektrumunda izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılara etkiyen spektral ivmeler.....	6
Şekil 1.8	Taban izolasyonlu ve izolasyonsuz sistemlerin yanıtlarının karşılaştırılması	7
Şekil 1.9	İvme-zaman ekseninde periyod değişimi.....	8
Şekil 1.10	Yer değiştirme - zaman ekseninde periyod değişimi.....	8
Şekil 1.11	Yer değiştirme - zaman ekseninde sönüm artışı.....	9
Şekil 1.12	Türkiye-California fay hatları karşılaştırması.....	10
Şekil 1.13	Depremden hemen sonra kullanılması gereken bağlantı yolları.....	11
Şekil 1.14	Japonya'da taban izolasyonlu yapıların yıllara göre değişimi.....	12
Şekil 1.15	Kobe depremi sonrası Japonya.....	12
Şekil 2.1	İki serbestlik dereceli izolasyonlu sistemde parametreler.....	14
Şekil 2.2	İki serbestlik dereceli sistemde katların birbirine göre yerdeğiştirmesi.....	14
Şekil 2.3	İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli.....	22
Şekil 2.4	İzolasyonlu ve izolasyonsuz modellerin 1.mod şekillerinin karşılaştırılması	24
Şekil 2.5	Sismik izolasyonlu yapının 1.mod şekli.....	25
Şekil 3.1	Tipik düşük sönümlü kauçuk mesnet örneği.....	27
Şekil 3.2	Doğal kauçuk mesnet, a) kesit b) şematik model c) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	28
Şekil 3.3	Doğal kauçuk mesnetin yatay yük etkisinde şekil değiştirmesi.....	28
Şekil 3.4	D. Kauçuk izolatörlerin a - b) sistemde davranışları c) deformasyon testi...	29
Şekil 3.5	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör modeli.....	30
Şekil 3.6	Kurşun çekirdekli mesnet, a) şematik model b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	31
Şekil 3.7	Kurşun çekirdekli izolatör bileşenleri.....	31
Şekil 3.8	Yüksek sönümlü mesnet kesidi.....	32
Şekil 3.9	Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör modeli.....	32
Şekil 3.10	Kayıcı mesnetli izolatörlerde temel modelleme esasları.....	33
Şekil 3.11	Fransız elektrik sistemi, a)şematik model b)kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	34
Şekil 3.12	Bileşik sistem, a) şematik model b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	34
Şekil 3.13	Bileşik sistem modeli.....	35
Şekil 3.14	Tass sistemi uygulanmış yapının a) orta kat kolonları, b) görünüşü, c) temel detayı.....	35
Şekil 3.15	Elastik sürtünmeli taban izolatörü.....	36
Şekil 3.16	Elastik sürtünmeli taban izolatörü, a) şematik model b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	36
Şekil 3.17	Sürtünmeli sarkaç modeli kesit ve planı.....	37
Şekil 3.18	Kapalı halde sürtünmeli sarkaç mesnedi.....	37
Şekil 3.19	Sürtünmeli sarkaç modelinin yerdeğiştirme hareketi.....	38
Şekil 3.20	Temel altına uygulanan sürtünmeli sarkaç modeli.....	39
Şekil 3.21	Sürtünmeli sarkaç modeli mesnedinin açık hali.....	39

Şekil 3.22	Gerb sistemi mesnedi.....	40
Şekil 3.23	Alga sistemi mesnedleri.....	41
Şekil 3.24	Süper kayıcı mesnet kesidi.....	42
Şekil 3.25	Süper kayıcı mesnet görünüşü.....	42
Şekil 4.1	Elas. mesnetli izolatörlerin, a) kare b) dairesel boyutlandırılması.....	43
Şekil 4.2	Kurşun çekirdekli modelin öngüsel davranış eğrisi.....	45
Şekil 4.3	Sürtünmeli sarkaç modelinde esas alınan sarkaç davranışı.....	47
Şekil 4.4	Sürtünmeli sarkaç modelinin döngüsel davranış eğrisi.....	48
Şekil 4.5	Sürtünmeli sarkaç modelinde idealize edilmiş davranış.....	49
Şekil 5.1	Deplasman mesafesi olmayan yapı.....	50
Şekil 5.2	Bodrum kat kolonlarının ortasında izolatörlerin yerleşim planı.....	51
Şekil 5.3	İzolatörlerin bodrum katta temellerin altında yerleşim planı.....	52
Şekil 5.4	İzolatörlerin bodrum kat kolonlarının üstünde yerleşim planı.....	53
Şekil 5.5	İzolatörlerin 1. kat kolonlarının altında yerleşim planı.....	54
Şekil 5.6	İzolatörlerin 1.kat kolonlarının üstünde yerleşim planı.....	55
Şekil 5.7	Elastomerik izolatörlerde back-up sistemi.....	56
Şekil 5.8	Elastomerik izolatörlerde yangın önlemi.....	56
Şekil 5.9	Elastomerik mesnetli sistemlerde back-up sistemi detayı.....	57
Şekil 5.10	Elas. İzolatörlerde a) Kolonda b) Temelde back-up sistemi uygulaması.....	58
Şekil 5.11	Kolonlarda karbon fiberle güçlendirme a) aşamalar b)uygulama detayı.....	59
Şekil 6.1	Sismik iyileştirmenin temel esası.....	60
Şekil 6.2	Yapı inşaat halindeyken izolatör montajı.....	61
Şekil 6.3	Mevcut kolona izolatör montaj prosedürü.....	61
Şekil 6.4	Kolonlarda montaj işleminin tamamlanmış durumu.....	61
Şekil 6.5	Kolonlara izolatör takviyesinin aşamaları.....	62
Şekil 6.6	Kat ortası izolasyonu yapılmış yapı.....	63
Şekil 6.7	Kat ortası izolasyonu yapılmış yapının kesidi.....	63
Şekil 6.8	Kolon ortası izolasyonu uygulama detayları.....	64
Şekil 6.9a	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	65
Şekil 6.9b	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	66
Şekil 6.9c	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	66
Şekil 6.9d	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	67
Şekil 6.9e	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	67
Şekil 6.9f	Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi.....	68
Şekil 7.1	Bolu Viyadüklerinin genel görünüşü.....	69
Şekil 7.2	1 Nolu Viyadük.....	71
Şekil 7.3	Antisismik donanımların yerleşim detayı.....	72
Şekil 7.4	Kullanılan sönmülcendircilerin yandan ve üstten görünüşleri.....	72
Şekil 7.5	Sismik aygıtların deprem halinde davranışları; a) ilk hal b) deprem hali.....	73
Şekil 7.6	Yer hareketi sonucu dönen köprü ayağı.....	75
Şekil 7.7	Dönen köprü ayaklarında prefabrik kirişlerin son durumu.....	75
Şekil 7.8	Atatürk Havalimanı.....	76
Şekil 7.9	Havalimanı Planı.....	77
Şekil 7.10	Havalimanı 2. ve 3. kat kolon aplikasyon planı.....	77
Şekil 7.11	Kolonların mantolanması ve birleşim detayı.....	79
Şekil 7.12	Çelik çatının kolonla birleşim detayı.....	79
Şekil 7.13	Birleşimi tamamlanmış kolon.....	80
Şekil 7.14	Sistemde kullanılan sismik kilit.....	80
Şekil 8.1	İzolatör maliyeti analizi.....	82

Şekil 8.2	Mitchell Hall binası.....	84
Şekil 8.3	Mitchell Hall'un modelde perspektif ve önden görünüşü.....	84
Şekil 8.4	Mitchell Hall'un izolasyonlu ve izolasyonsuz titreşim periyodları.....	85
Şekil 8.5	Temelde izolatörlerin yerleşim planları.....	85
Şekil 8.6	Temel kazısı.....	85
Şekil 8.7	Deplasman boşluğu kazısı.....	86
Şekil 8.8	Rijit diyaframın oluşturulması.....	86
Şekil 8.9	Beton duvarların kesilmesi.....	87
Şekil 8.10	İzolatörlerin yerleştirilmesi.....	87
Şekil 8.11	Yapının tabandan ayrılması.....	88
Şekil 8.12	Toplam Maliyet.....	89
Şekil 9.1	Yapının a) kalıp planı, b) A-A kesidi, c) B-B kesidi.....	94
Şekil 9.2	Planda izolatör düşey yükleri.....	96
Şekil 9.3	Burulma formülü için boyutlar.....	99
Şekil 9.4	İzolatör kesidi.....	101
Şekil 9.5	Ortak Alanlar.....	103
Şekil 9.6	Kurşun çekirdekli modelde kuvvet yerdeğiştirme davranışı.....	107
Şekil 9.7	İzolatörlerin planda yerleşimi.....	109
Şekil 9.8	Kurşun çekirdekli izolatör kesidi.....	110
Şekil 9.9	Sürtümlü sarkaç modelinde kuvvet yerdeğiştirme eğrisi.....	111
Şekil 10.1	Tasarım spektrumu.....	113
Şekil 10.2	Yapı modelinin perspektif görünüşü.....	114
Şekil 10.3	Ankastre mesnetli sistemde A-A aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler....	116
Şekil 10.4	Ankastre mesnetli sistemde 1-1 aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler.....	117
Şekil 10.5	D. kauçuk mesnetli sistemde A-A aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler... 119	119
Şekil 10.6	D. kauçuk mesnetli sistemde 1-1 aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler.... 120	120
Şekil 10.7	Kurşun çekirdekli sistemde A-A aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler.... 122	122
Şekil 10.8	Kurşun çekirdekli sistemde 1-1 aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler..... 123	123
Şekil 10.9	Sürtümlü sarkaç sisteminde A-A aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler.. 125	125
Şekil 10.10	Sürtümlü sarkaç sisteminde 1-1 aksı, E yüklemesinde yer değiştirmeler... 126	126
Şekil 10.11	Mesnetlenme tipine göre A-A aksı deprem eğilme momentleri..... 127	127
Şekil 10.12	Mesnetlenme tipine göre 1-1 aksı deprem eğilme momentleri..... 128	128
Şekil Ek 1.1	Sismik izolasyonlu bilgi işlem merkezi.....	136
Şekil Ek 1.2	Yapının kesidi.....	136
Şekil Ek 1.3	Sismik izolasyon sistemi.....	137
Şekil Ek 2.1	Sismik izolatörlerin yerleşim alternatifleri.....	139
Şekil Ek 2.2	Sismik izolatörlerin yerleşim alternatifleri - 2.....	140
Şekil Ek 2.3	1 ve 2 katlı yapıda izolatörlerin yerleşim alternatifleri.....	141
Şekil Ek 2.4	Sismik izolatörlerde birleşim önerileri.....	142
Şekil Ek 2.5	Sismik izolatörlerde birleşim önerileri - 2.....	143
Şekil Ek 2.6	Mevcut sistemde izolatör birleşim detayı.....	144
Şekil Ek 2.7	Betonarme kolonun altında izolatör yerleşim detayı.....	145
Şekil Ek 2.7	Betonarme kolonun altında izolatör yerleşim detayı.....	145
Şekil Ek 2.8	İzolasyonlu sistemde merdiven detayı.....	146
Şekil Ek 2.9	Zemin tutucu duvar detayı.....	147
Şekil Ek 2.10	Mevcut yapıda zemin tutucu duvar detayı.....	148
Şekil Ek 2.11	Deplasman boşluğu kesidi.....	149
Şekil Ek 2.12	Esnek gaz bağlantıları.....	150
Şekil Ek 2.13	Elektrik tesisatı.....	151

Şekil Ek 2.14	İzolasyon düzleminden atık su geçişleri.....	152
Şekil Ek 2.15	Telefon tertibatı.....	153
Şekil Ek 2.16	Kanalizasyon bağlantısı.....	154
Şekil Ek 2.17	Hidrofor detayı.....	155
Şekil Ek 2.18	Hidrolik asansör detayı.....	156
Şekil Ek 2.19	Vinçli asansör detayı.....	157
Şekil Ek 3.1	Above Net Binası.....	158
Şekil Ek 3.2	İzolatör eklenecek kolonlarda, kesilmeden önce kolon-döşeme birleşiminin kuvvetlendirilmesi.....	158
Şekil Ek 3.3	Kolon-döşeme birleşiminin kuvvetlendirilme detayı.....	159
Şekil Ek 3.4	İzolatör taşıyacak kolonların mantolanması ve kesilen kolonlarda döşeme yüklerinin taşınması için kurulan geçici destekler.....	159
Şekil Ek 3.5	Geçici desteklerin detayı.....	160
Şekil Ek 3.6	Geçici desteklerin yerle birleşim detayı.....	160
Şekil Ek 3.7	Mantolanan kolonlarda üst kısmın kesilerek izolatör yerleştirilmesi.....	161
Şekil Ek 3.8	Geçici destekler alındıktan sonra kolonun son durumu.....	161
Şekil Ek 3.9	Los Angeles City Hall.....	162
Şekil Ek 3.10	City Hall tarafındaki yaya girişi.....	163
Şekil Ek 3.11	Spring St. tarafındaki yaya girişi.....	164
Şekil Ek 3.12	Güney girişi.....	164
Şekil Ek 3.13	Kuzey girişi.....	164
Şekil Ek 3.14	Doğu girişi.....	165
Şekil Ek 3.15	İzolatörlerin yerleştirilmesi sırasında güney garajı girişi.....	165
Şekil Ek 3.16	İzolatörler yerleştirilmeden ve deplasman boşluğu kazılmadan önce kuzey garajı girişi.....	165
Şekil Ek 3.17	Su taşıyan hatlarda kırılmayan esnek düğümler.....	166
Şekil Ek 3.18	Duvarda açılan boşluk sayesinde hareket serbestliği kazanan kanal çıkışı.....	166
Şekil Ek 3.19	Yapıyla hareket edecek çelik çerçeve deplasman boşluğu kapakları.....	166
Şekil Ek 3.20	Son düzeltmelerden sonra (kapatma ve peyzaj) yapının çevresi.....	167
Şekil Ek 3.21	Güneydoğu köşesinde yerleştirilen ızgaralar.....	167
Şekil Ek 3.22	Zeminde destek kazıkları için dekil açılması.....	167
Şekil Ek 3.23	Açılan deliklere kazıkların yerleştirilmesi.....	168
Şekil Ek 3.24	Ağır kerestelerle iksa oluşturulması.....	169
Şekil Ek 3.25	Yapı çevresinde kazı işi.....	169
Şekil Ek 3.26	Betonarme duvarın temeli.....	169
Şekil Ek 3.27	Temel üstünde betonarme duvarın donatılarının oluşturulması.....	170
Şekil Ek 3.28	Donatıların çerçeve haline getirilmesi.....	170
Şekil Ek 3.29	Ön duvarda beton dökülmesi.....	171
Şekil Ek 3.30	Yan duvarda beton dökülmesi.....	171
Şekil Ek 3.31	Beton dökülmesi sırasında form kesidi.....	171
Şekil Ek 3.32	Zeminde kompaksiyon deneyi.....	172
Şekil Ek 3.33	Boşluk kapatılmadan önce duvarda su izolasyonu.....	172
Şekil Ek 3.34	Boşluk kapatıldıktan sonraki durum ve peyzaj çalışması.....	172
Şekil Ek 3.35	Kolonların beton yüzl. sökülmesi ve çapraz elemanlarla desteklenmesi	173
Şekil Ek 3.36	Temelleri büyütme amacıyla kazı yapılması.....	173
Şekil Ek 3.37	Kazı sonrası açığa çıkan betonarme temeller.....	173
Şekil Ek 3.38	Mevcut temellerin boyutlarının büyütülmesi.....	174
Şekil Ek 3.39	Yeni temeller için kalıp kurulması.....	174
Şekil Ek 3.40	Kalıplara beton dökülmesi.....	174

Şekil Ek 3.40 Beton döküldükten sonra yeni temeller.....	175
Şekil Ek 3.41 Hidrolik krikolar ve geçici destek kirişleri.....	175
Şekil Ek 3.42 Hidrolik krikoların kurulması.....	175
Şekil Ek 3.43 Mevcut kolonun kesilmesi.....	176
Şekil Ek 3.44 İzolatör montajına hazır halde sistem.....	176
Şekil Ek 3.45 İzolatörlerin taşınması.....	176
Şekil Ek 3.46 Sıra halinde monte edilmiş izolatörler.....	177
Şekil Ek 3.47 Bağlantıların kaynaklanması.....	177
Şekil Ek 3.48 Montajı tamamlanmış izolatörler.....	177
Şekil Ek 4.1 Deprem etkisindeki yapılar.....	178
Şekil Ek 4.2 1 No'lu Viyadüğün batı mesnedi.....	179
Şekil Ek 4.3 1 No'lu Viyadükte 45 No'lu Ayak.....	179
Şekil Ek 4.4 1 No'lu Viyadükte 1 metre yer değiştiren kirişler.....	179
Şekil Ek 4.5 1 No'lu Viyadükte mesnet kırıkları.....	180
Şekil Ek 4.6 Deprem sönmümlendiricilerin montajı.....	180
Şekil Ek 4.7 Histeretik sönmümlendiricilerin depremden sonra durumu.....	180
Şekil Ek 4.8 Zarar gören bağlantılar.....	181
Şekil Ek 4.9 Viyadük l'de ayrılan ve ters yönde hareket eden kesitler.....	181
Şekil Ek 4.10 Viyadük l'de boylamasına ve ters yönde hareket eden tabliye.....	181
Şekil Ek 4.11 1 No'lu Viyadüğün 8 cm aşağıda kalan batı mesnedi.....	182
Şekil Ek 4.12 İnşaat halindeki 1 No'lu Viyadüğün temel kazıkları.....	182
Şekil Ek 4.13 1 No'lu Viyadüğün zarar gören monte edilmemiş prefabrik kirişleri.....	182
Şekil Ek 4.14 Atatürk Havalimanı kuşbakışı görünüşü.....	183
Şekil Ek 4.15 Atatürk Havalimanı inşaat hali.....	183
Şekil Ek 4.16 Atatürk Havalimanı tamamlanmış hali.....	183
Şekil Ek 4.17 Mantolama ve izolatör yerleştirilmeden sonra kolon.....	184
Şekil Ek 6.1 D. kauçuk mesnetli sistem A-A aksı E yüklemesi moment diyagramı($R_i=8$)	188
Şekil Ek 6.2 Kurşun çekirdekli sistem A-A aksı E yüklemesi moment diyagramı ($R_i=8$)	189
Şekil Ek 6.3 Sürtülmeli sarkaç modeli A-A aksı E yüklemesi moment diyagramı ($R_i=8$)	190
Şekil Ek 6.4 D. kauçuk mesnetli sistem 1-1 aksı E yüklemesi moment diyagramı($R_i=8$)	191
Şekil Ek 6.5 Kurşun çekirdekli sistem 1-1 aksı E yüklemesi moment diyagramı ($R_i=8$)	192
Şekil Ek 6.6 Sürtülmeli sarkaç modeli 1-1 aksı E yüklemesi moment diyagramı ($R_i=8$)	193

TABLO LİSTESİ

Tablo 9.1	UBC 97 boyutlandırma parametreleri.....	95
Tablo 10.1	Ankastre mesnetli yapıda modlara göre titreşim periyotları.....	115
Tablo 10.2	Ankastre mesnetli yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler.....	115
Tablo 10.3	Doğal kauçuk izolatörlerle izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları.....	118
Tablo 10.4	Doğal kauçuk izolatörlerle izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler.....	118
Tablo 10.5	Kurşun çekirdekli izolatörlerle izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları.....	121
Tablo 10.6	Kurşun çekirdekli izolatörlerle izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler.....	121
Tablo 10.7	Sürtümlü sarkaç modeli ile izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları.....	124
Tablo 10.8	Sürtümlü sarkaç modeli ile izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler.....	124
Tablo 10.9	A-A aksında mesnetlenme şekli ve deprem yükü azaltma katsayılarına göre elemanlarda maksimum deprem eğilme momentleri.....	130
Tablo 10.10	1-1 aksında mesnetlenme şekli ve deprem yükü azaltma katsayılarına göre elemanlarda maksimum deprem eğilme momentleri.....	131
Tablo 10.11	A-A aksında aynı deprem yükü azaltma katsayısı esas alınınca mesnetlenme tipine göre yapıda maksimum kat yer değiştirmeleri.....	131
Tablo 10.12	1-1 aksında aynı deprem yükü azaltma katsayısı esas alınınca mesnetlenme tipine göre yapıda maksimum kat yer değiştirmeleri.....	132

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında, yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. İbrahim Ekiz başta olmak üzere, bu teknoloji hakkında sahip olduğu bilgi ve tecrübe birikimini benimle paylaşan Seistech Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Dr. Nader Heyat'a, yoğun çalışmalarından bana vakit ayıran DIS Türkiye Temsilcisi Sayın Y. Müh.Mim.Turgut Ersavaş'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yapılan çalışmamı, depremde aramızdan ayrılan değerli arkadaşımız "Neslihan Özbalaban" ve kaybolmuş diğer yaşamların anısına ithaf ederim.



ÖZET

Bu tez, depremin yıkıcı etkisini azaltan sismik izolasyon teknolojisini incelemektedir. 1980'lerden itibaren dünyadaki diğer deprem bölgelerinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu teknolojinin, can kayıplarının binlerle ifade edildiği depremlerin yaşandığı ülkemizde henüz geniş anlamda uygulamalarına rastlamak mümkün değildir.

İzolatörler, yapıya deprem hakim periyodundan daha büyük bir periyod kazandırarak, yıkıcı deprem etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Uygulamaya yönelik bir sistem olduğu için, mümkün olduğu kadar fazla detay vermeye çalışılmıştır. İzolasyon için kullanılan değişik sistemler incelenmiş, benzerlikleri, farkları, avantajları, dezavantajları aynı zamanda hesap teknikleri dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sistem üzerinde etkilerin daha iyi anlaşılması için karşılaştırmalı dinamik analizler yapılmıştır. Dinamik analizler için "SAP 2000v. 6.11" programı kullanılmıştır.



ABSTRACT

This thesis investigates the seismic isolation technology, which reduces the destructive effects of the earthquakes. Although it is being widely used since 1980's in the other earthquake zones around the world, this technology has not been practised yet in our country, where thousands have died because of earthquakes.

Isolators target to reduce the destructive earthquake effects by providing a longer period to the structure compared to the dominant period of the earthquake. Since this is a system for application, descriptions are detailed. Comparisons have been made amongst various isolation systems; their similarities, differences, advantages and also disadvantages, with consideration given to the calculation methods.

For understanding the effects on the system, dynamic analysis comparisons have been made. "SAP2000v. 6.11" programme has been utilized for the dynamic analysis.



GİRİŞ

Bilim adamları, dünyanın 4.65 milyar yaşında olduğunu tahmin etmektedirler. Yer küre, bu oluşumu sırasında, pek çok evreler geçirmiştir. Yer kabuğu, yoğunlukları, sıcaklıkları ve ısıları farklı olan bir çok katmandan oluşmuştur. Sıcaklık farkları, katmanlar arası ısı akımlarının oluşmasını kaçınılmaz kılar. Yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkması depreme neden olur. İnsanoğlunun nefes alması misali, yerin de hareket etmesi kaçınılmazdır.

Bütün dünyada yılda ortalama 700 adet hasar yaratıcı deprem meydana gelmektedir. Kentsel bölgelerde meydana gelen depremler en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır. 1923 Kanto (Japonya) depreminde 140.000 ve 1976 Tangshan (Çin) depreminde 240.000 insan hayatını kaybetmiş, 1995 Kobe (Japonya) depreminde meydana gelen toplam kayıplar ise 200 Milyar USD'ı aşmıştır. Bu tutar Türkiye'nin gayri safi milli gelirine yakındır. Ülkemizde meydana gelen yaklaşık 120.000 aileyi evsiz bırakan 1999 Kocaeli depremindeki toplam kayıpların (fiziksel ve sosyo-ekonomik) 20 Milyar USD civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Önceden bir uyarı olmadan yer hareketinin meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Bu yönüyle doğal afetlerin en önemlisi olan depremin, yer kabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Özellikle depremin sık ve şiddetli olduğu ülkeler için bu titreşim hareketinin incelenmesi kadar, önlem alınması da son derece önemlidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı alınacak en etkili önlem şeklidir. Bu safhada önemli 2 adımdan biri, oluşturulan yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek karşılanmasıdır.

Yapıların boyutlandırılmasında depreme karşı dayanımın da önemli olduğu düşüncesi 1920~1930'lu yıllara gitmektedir. Sayısal ölçümlerin eksikliğinin de sonucu olarak, deprem etkisi yapının ağırlığının %10'u bir yatay yük olarak kabul edilmiştir. Ancak 1960'larda

depremlerden elde edilen sayısal bilgiler, daha gerçekçi yük kabullerini beraberinde getirmiştir. Yakın zamanda bilgisayarda ki gelişmeler de, taşıyıcı sistemin çözümlenmesini daha ayrıntılı biçimde yapma imkanı vermiştir.

2000’li yıllarda ise daha değişik yaklaşım ve öneriler getirilmiştir. Yapının, deprem etkilerini sönümlendirilecek şekilde tasarlanması, yapı tabanının zeminden izolasyon işlemleri ile ayrılması, böylelikle depremde açığa çıkan enerjinin kısmen yapıya iletilmesi, “sismik izolasyonu” 2000’li yıllar itibarıyla deprem mühendisliğinde geline önemli aşamalardan biridir.



1. SİSMİK İZOLASYON TEKNOLOJİSİ

1.1. Tarihsel Gelişim

Ağustos 1909'da İngiltere'nin kuzeyinde bir kent olan Scarborough'ta J.A. Calantarients adında bir doktor, Santiago'da bulunan sismoloji servisine bir mektupla yeni bir metot bulduğunu bildirmiştir. Bu metoda göre, binaların yapımı sırasında alta talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların deprem esnasında hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek oluşacağını savunmuştur. Bu sayede, yapıya transfer olan kuvvetin azaltılmasının mümkün olacağını öngörmüştür. (Naeim ve Kelly,1999)

Doktor J.A. Calantarients'nin önerdiği strateji, günümüzde “taban izolasyonu” veya “sismik izolasyon” olarak bilinmektedir. Bulduğumuz yüzyılda da yapıyı hasar veren depremden ayırmak için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Günümüzde bu teknikler kullanılan donanımının davranışına göre genelde ikiye ayrılmaktadır. Kayıcı ve elastomerik takviyeler sismik izolasyonun temelini teşkil etmektedir.

Yapılara deprem etkisini azaltma çalışmaları 1920'li yıllarda uygulamaya geçirilmiştir. F.L.Wright ilk defa bu fikri 1921 yılında uygulamaya geçiren kişi olmuştur. Tokyo'da inşa edilen bir otelin yumuşak zeminini, yerleştirilen kazıklar ile sert zemine birleştirerek yapının depremde davranışına müdahale etmiştir. Aynı yapı 1923 yılında Tokyo depreminde ayakta kalmıştır.

Modern anlamda sismik izolasyon sisteminin kullanılması 1960'lı yılların sonuna rastlamaktadır. Yugoslavyada bir okul binasında 1969 yılında ilk defa kauçuk mesnetli izolatörler kullanılmıştır. “Pestolozzi” okulu İsviçreli mühendisler tarafından yapılan 3 katlı betonarme bir yapıdır. Modern kauçuk izolatörlerin ilkel hali olan sistem o zaman “Swiss Full Base Isolation-3D” olarak bilinmiş olup şimdiki modern sistemlerin alt yapısını oluşturmaktadır. Kullanılan izolatörler, şimdikinden farklı olarak sadece ve tamamıyla kauçuk bloklardan oluşturulmuştur. O zamanlar kauçuk blokların çelik levhalarla takviye edilme fikri henüz tasarım aşamasında olduğu için tek başına kullanılan bu bloklar, sabit yükler altında şişmiştir. (Naeim ve Kelly,1999)

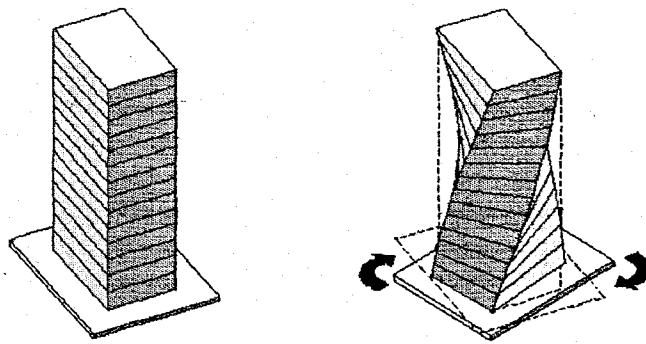
Son yıllarda bu konuda J.M.Kelly (1999) bu konuyu ayrıntılarıyla ele almış bilim adamlarından biridir. California Berkeley Üniversitesi'nde çalışmalarını sürdüren Kelly özellikle elastomerik izolatörlerle ilgili, teori ve uygulama konusunda çalışmalarıyla bu sistemin ayrıntılarına değinmiştir. Aynı üniversiteden A.K.Chopra (1995) aynı konu ile ilgili ilk bilgisayar programını yazan kimsedir. Yeni Zelanda'dan R.I.Skinner'in de (1993) yayımladığı kitabı "An Introduction to Seismic Isolation" yeni teknolojiyi dünyaya tanıtması açısından önemli eserlerden biridir.

Günümüzde, başta ABD ve Japonya olmak üzere Yeni Zelanda, İtalya bu konuda aşama kaydetmiş ülkelerden başlıcalarıdır. Ülkemizde de bu konuda yapılan çalışmalara rastlamak mümkündür.

1.2. Sismik İzolasyon Prensipleri

1.2.1. Tanım

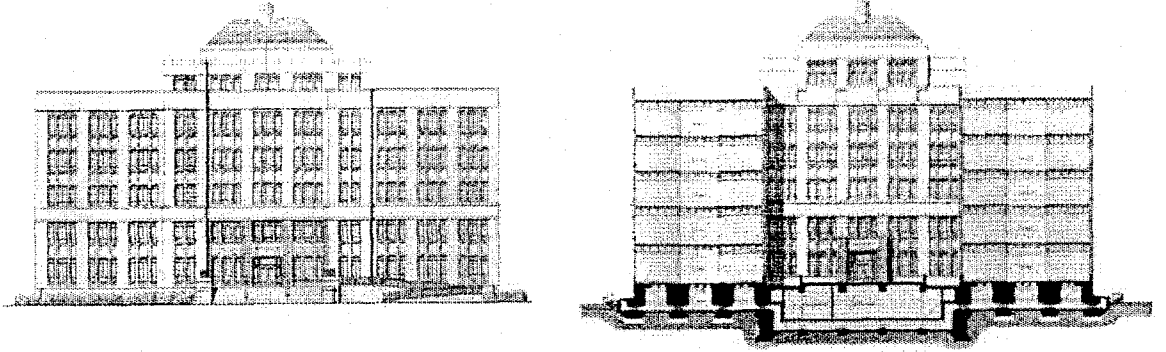
Yer hareketi zemin ortamı aracılığı ile yapı sistemine aktarılmaktadır. Zeminden yapıya aktarılan etki ne kadar büyük olursa, yapının tepkisi de o kadar büyük olur. Şekil (1.1) de ki burulma örneği bu duruma güzel bir örnektir. (World Health Organization, 2000)



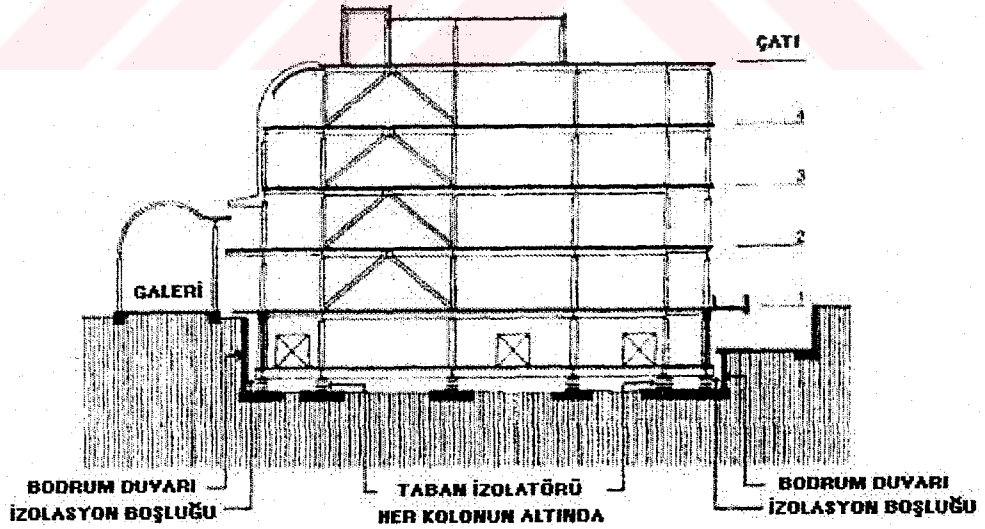
Şekil 1.1 Deprem hareketine yapının muhtemel tepkisi

Zemin yapı etkileşimi olarak tanımlanan bu olay zeminden yapıya yapıdan zemine enerji transferi olarak yorumlanabilir. Zemin ile yapı arasındaki etkileşiminin azaltılması, yer hareketinin yapıda meydana getireceği hasarında azaltılması anlamına gelir. Bu amaca

yönelik her türlü sismik iyileştirme çalışmalarına “sismik izolasyon” ya da “taban izolasyonu” denir. Daha genel anlamıyla taban izolasyonu; yapının tabanına düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçüde deplasmanlar yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinin yüksek frekanslı etkisinden ayırma işlemidir. (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3) (Skinner,1993)



Şekil 1.2 Sismik izolasyonla yapının yerden ayrılması*



Şekil 1.3 Sismik izolasyonlu yapı örneği**

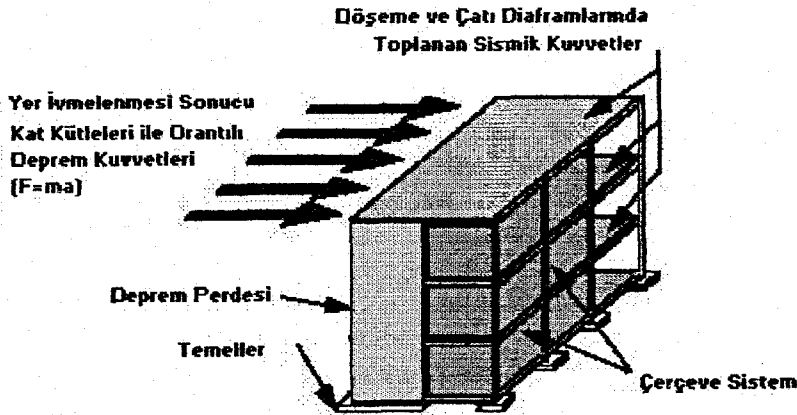
* Martin Luther King, Jr. Civic Center Building, California

** Foothill Communities Law and Justice Center, California

1.2.2. Amaç

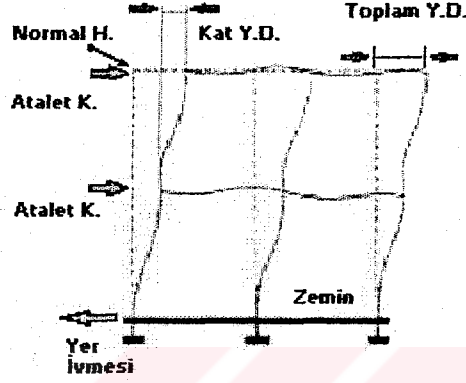
Yapı elemanlarının rijitliğini küçük seçerek, titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek deprem etkilerini azaltmak mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Örneğin uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar uygun düşer. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür, geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Bunun karşıtı olan kayalık sert zemin bölgelerinde yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur. Buralarda yüksek periyotlu çok katlı yapılar uygun düşer. Alışagelen yapılarda diğer başka isteklerin bulunmasından dolayı, her zaman bu koşulların sağlanması mümkün olmayabilir. Ancak, yapıya ilave edilen yer hareketi yalıtım düzeneklerinin yerleştirilmesi ile yapının dinamik davranışı değiştirilerek, deprem kuvveti azaltılabilir. (Celep ve Kumbasar, 2000)

Newtonun 2. kaununu ($F = m \cdot a$) hatırlarsak, etkiyen deprem kuvvetinin büyüklüğü, sabit olan yapının kütlesi "m" ve yer hareketinin yapıya olan etkisi "a" ivmesinin büyüklüğü ile orantılıdır. Bir yapı anlaşılacağı üzere, depremden sabit olan kat kütleleri oranında pay almaktadır. (Şekil 1.4) F kuvvetini azaltmak için, m'i azaltmak için yapıyı modellerken boyutları daha küçük elmanlar seçmek bir çözüm olsada, mevcut yapılar için geçerli bir yaklaşım teşkil etmemektedir. Yapısal elemanlarının boyutlarının küçültülmesi, sistemin minimum boyutlandırma koşullarını sağlamamasına da neden olabilir. Genel bir yaklaşım ise a ivmesinin azaltılması olabilir.



Şekil 1.4 Deprem hareketinde yapıya etkiyen yatay kuvvetler

Yer hareketi etkimesi sonucu, yapısal elemanlar D'alambert prensibi gereği sükunetteki hallerini korumak için ivmelenmeye ters yönde hareket etmeye çalışırlar. (Şekil 1.5) Yer hareketinin ivmesinin bir sonucu olan katlar arası yer değiştirme, sınırlandırılması gereken ve kesit zorlamalarına neden olan etkilerdendir. Kullanılacak düzenlerle, katların denk kuvvetler etkisinde zemine göre yer değiştirmeleri aynı olacak şekilde yer hareketine tepki vermesi mümkündür.

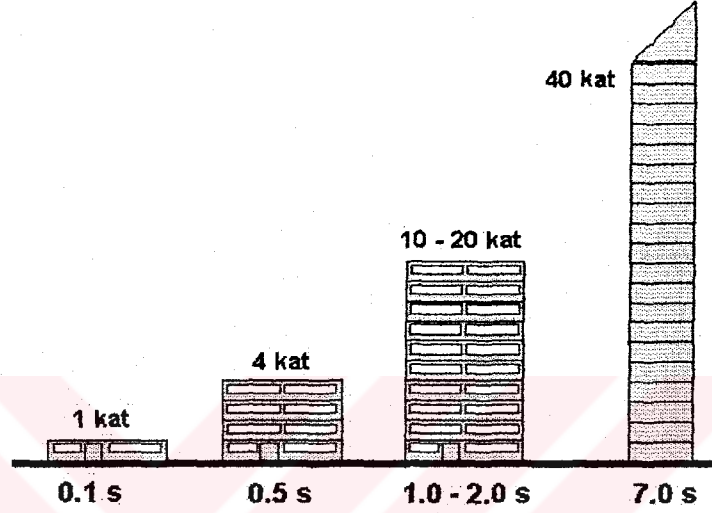


Şekil 1.5 Yanal yük etkisinde kat çerçevesi davranışı

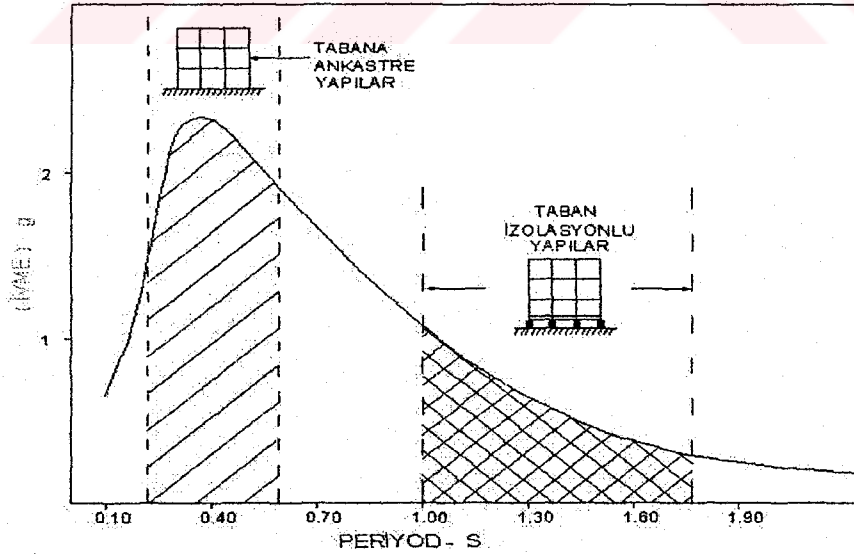
Sismik izolasyonun temel ilkesi, bina ile temel arasına yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak binayı depremin yıkıcı etkilerinden ayırmak, bir nevi deprem kuvvetlerini filtre etmek, binaya ankastre temelli durumundaki periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyod vermektir. Buradan çıkarılacak bir sonuç ise; zaten yüksek titreşim periyoduna sahip yapısal sistemlere, yani çok katlı yüksek yapılara taban izolasyonu yapılmasının gereksiz oluşudur.

Doğal titreşim periyodu, bu anlamda yapının depremden ne kadar pay alacağını belirleyen parametrelerden biridir. İvme zaman eksenli deprem spektrumunda görüldüğü gibi, yapının titreşim periyoduna bağlı olarak düşey eksen olan spektral ivmelerden aldığı pay en düşük olduğu zaman olan fonksiyon eğrisinin ilk başladığı zaman ile titreşim hareketinin büyük olduğu fonksiyon eğrisinin yatay eksene yaklaştığı zamana denk gelir. Yani yer hareketi ivmesinden, dolayısıyla yatay deprem kuvvetlerinden daha az etkilenen sistemler; az katlı, kısa ve rijit yapılar ya da çok katlı, yüksek esnek yapılardır. Sismik izolasyon teknolojisi, normal katlı yapıların izolatör takviyeleri sonucunda sistemde, yapının titreşim periyodunu artırarak depremden daha az etkilenen çok katlı yapıların titreşim periyodu seviyesine yükseltme amacıyla yapılır. Esnekliğin artırılması esastır.

Şekil (1.6)'da değişik yükseklikteki yapıların doğal titreşim periyodlarının karşılaştırılması yapılmıştır.(BSSC,2001) Yapıların yüksekliğinin artmasıyla, titreşim periyodları yaklaşık olarak saniye cinsinden ifade edilmiştir. Sismik izolasyonda amaçlanan, yüksekliği fazla olmayan orta kısıklıkta yapılarda titreşim periyodlarının, mekanik davranışları değiştirilerek çok katlı yüksek yapılarının seviyesine getirilmesi ve böylelikle deprem ivmelerinden daha az etkilenen yüksek katlı yapılar gibi davranış göstermeleridir. (Şekil 1.7)

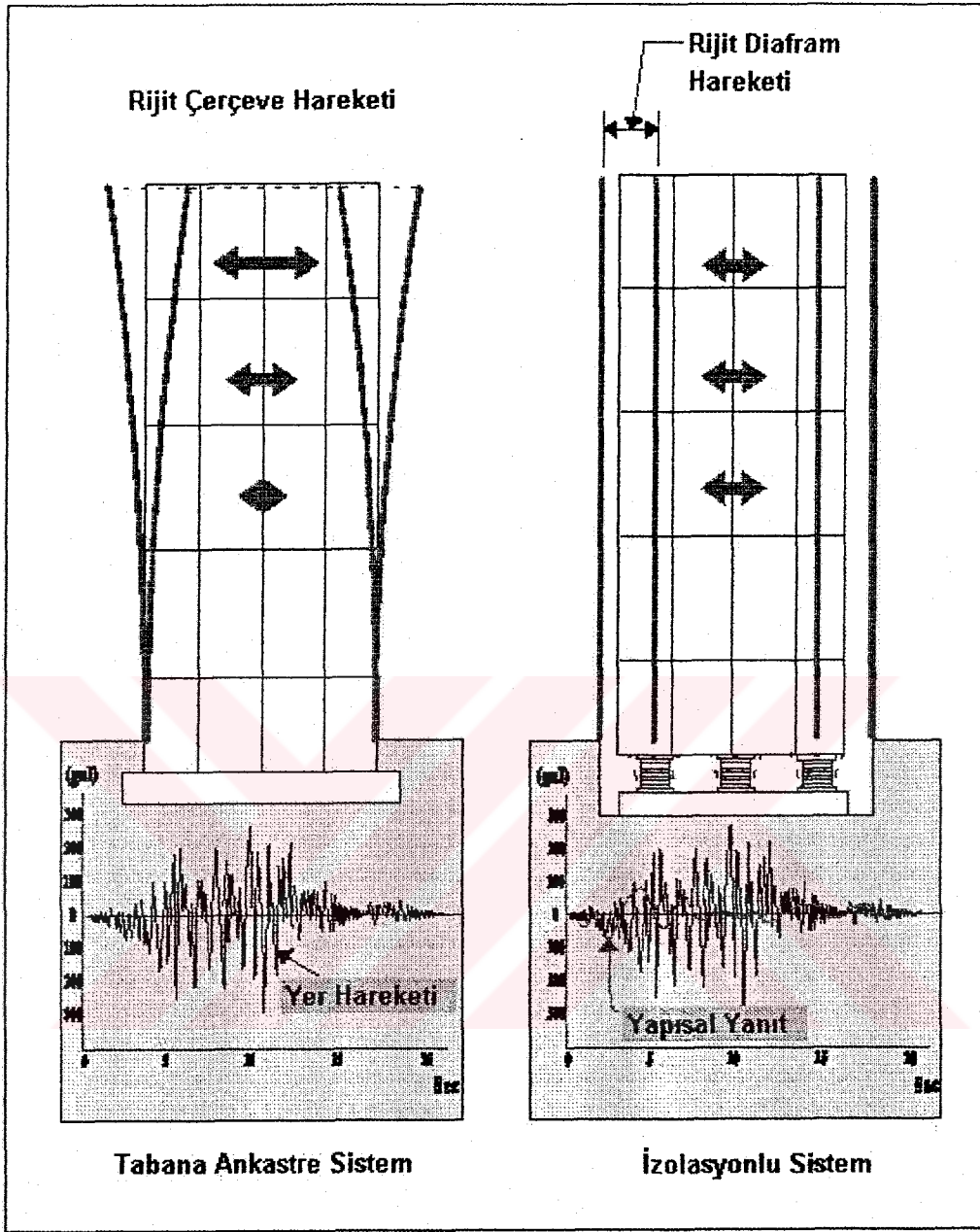


Şekil 1.6 Yapılarda doğal titreşim periyodunun kat yüksekliğine göre değişimi*



Şekil 1.7 Deprem spektrumunda izolasyonlu ve izolasyonsuz yapılara etkileyen spektral ivmeler (Tezcan ve Uluca, 2000)

* <http://www.bssc.org>'dan alınmıştır.

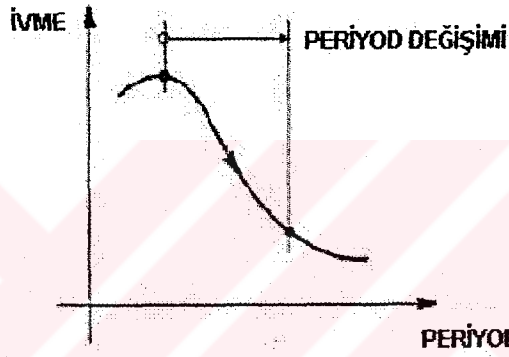


Şekil 1.8 Taban izolasyonlu ve izolasyonsuz sistemlerin davranışlarının karşılaştırılması (Department of Defense, 1997)

Şekil (1.8)'de görüldüğü gibi izolatörler, sisteme alternatif bir davranış şekli getirmiştir. Sistemin yeni davranışında yer değiştirmeleri çerçeve sistemi değil izolatörler yapmaktadır. Bunun sonucunda katlar arası yer değiştirme minimum seviyeye inmiştir. Böylelikle, yapısal ve yapısal olmayan elemanlar mümkün olduğu kadar az yatay ivmelenmeden, dolayısıyla deprem kuvvetlerinden etkilenecektir.

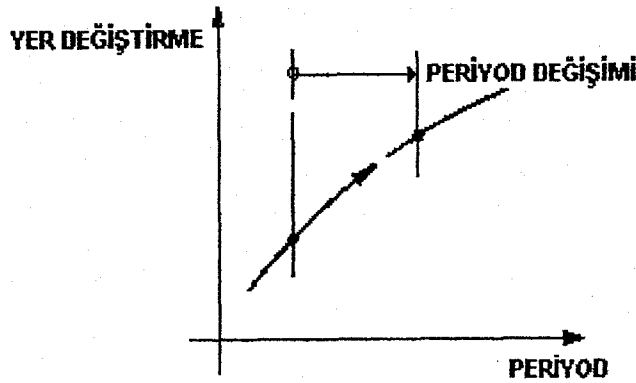
Özet olarak esneklik ve rijitlik, yapıların depremde davranışını belirleyen önemli büyüklüklerdir. Bir benzetme yapmak gerekirse; esneklik ve rijitlik aynı paranın ters yüzleri gibidir. Eğer bir şey rijitse, esnek değildir; esnekse de rijit değildir. Rijit bir sistemde esnekliğin artırılmasının sistem üzerindeki etkileri Şekil (1.9, 1.10 ve 1.11) da görülmektedir. (Skinner, 1993)

Rijit bir sistemde periyod artışı, etkiyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır. Şekil (1.9)'da, ivme -zaman eksenli spektrumda görüldüğü gibi yapının titreşim periyodu artırıldığı zaman, yüksek titreşim periyodunda yapıya tekabül eden düşey eksendeki ivmelerin azaldığı görülmektedir;



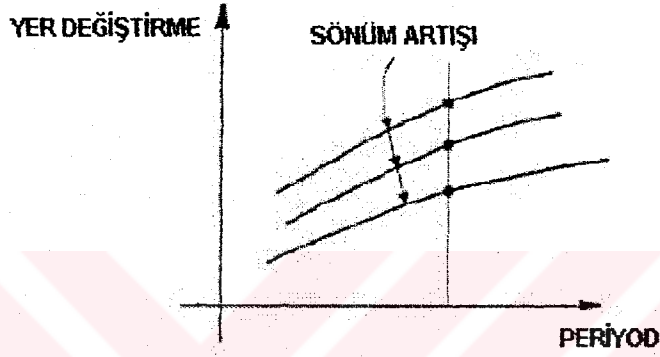
Şekil 1.9 İvme-zaman ekseninde periyod değişimi

Böylelikle, esneklik kazanan sistem daha fazla yer değiştirme yapabilmektedir. Yer değiştirmeyi yapan sistemde kolonlar değil, izolatörlerdir. Şekil (1.10)'da yapıda periyod artışıyla orantılı olarak artan yer değiştirmeler görülmektedir



Şekil 1.10 Yer değiştirme - zaman ekseninde periyod değişimi

Aynı eksen takımı göz önüne alındığında, esnekliğin artması sistemin sönüm kabiliyetini de artırır. Yapısal davranış, yer değiştirme zaman ekseninde üç farklı sönüm değeri için çizilmiştir (Şekil 1.11). Sönüm; en üstteki eğride en düşük, en alttaki eğride ise en yüksek değerdedir. Sabit bir T periyodu seçildiğinde, sönümün sistem üzerinde etkisi şöyle yorumlanabilir; Sistemde sönümün yüksek olması, daha küçük yer değiştirmelerle yer hareketinin sönümlenebileceği anlamına gelir; daha düşük sönümdeki davranış için (en üstteki eğri), yer hareketinin sönümlenmesi için yapılan deplasmanlar daha fazladır.



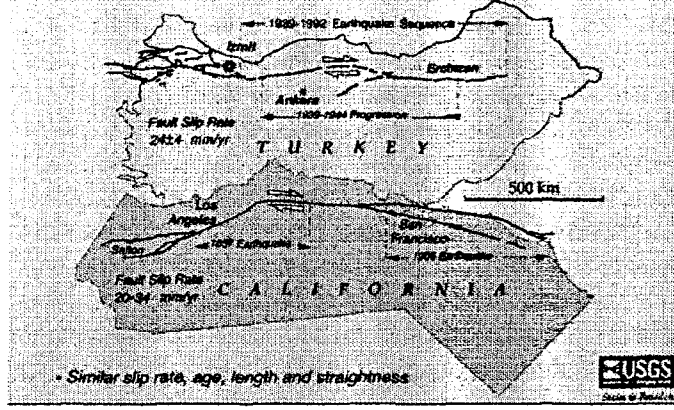
Şekil 1.11 Yer değiştirme - zaman ekseninde sönüm artışı

1.3. Günümüzde Yaklaşımlar

Sismik izolasyon teknolojisi, ülkemizde geniş bir kullanım alanına sahip olmasa da gelişmiş ülkelerde de son 20 yılda kullanılan bir teknolojidir. Bilgisayarlı modelleme uygulamalarının yaygınlaşması, hesap tekniklerindeki gelişmelerle problemlerin basite indirgenmesi ile birlikte deprem mühendisliği açısından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Batılı tarzda düşünme ve gelişmelere adapte olmak süreci geliştirmekte olan ülkeler açısından aşılması gerekli zaman süreçlerindedir.

San Francisco'da "Seismic Isolation Technologies Inc" yönetim kurulu başkanı olan Dr. Nader Heyat, sismik izolasyon teknolojisinin yaygınca kullanıldığı ABD ülkelerinde düşünme tarzını ve yapılan uygulamaların, Türkiye'de de örnek olması gerekliliğini dile getirmiştir. Dr. Nader Heyat'ın önemle üzerinde durduğu konular şöyledir;

California ve Kuzey Anadolu fayları çok büyük benzerlikler göstermektedir. (Şekil 1.12) Bu durum Amerika'daki uygulamaların, Türkiye'de de örnek olması açısından çok önemlidir.



Şekil 1.12 Türkiye-California fay hatları karşılaştırması*

1995'de Japonya'nın Kobe kentindeki depremde beşbinden fazla insan ölünce California eyaletinde bir dizi önlemler alınmıştır. Önce tüm binalar sınıflara ayrılmıştır. Birinci sınıf binalar, depremde hiçbir aksaklığa meydan vermeden faaliyetine devam edecek hastahane, santral, köprü ve ana arterler. 2002 yılına kadar tüm binaların yeni bir teknolojiyle depremde ayakta kalacak şekilde uygun hale getirilmesi esastır. Aksi halde yıkılması gerekmektedir. Başta San Fransisco'da ki Golden Gate köprüsü olmak üzere tüm mevcut yapılar sismik izolasyon teknolojisiyle depreme dayanıklı hale getirilmiştir. Yeni yapılan yapılar zaten bu teknolojiyle üretilmiştir ve büyük malzeme tasarrufu sağlanmıştır. (Heyat, 2001)

Bir çok yapı, bulunduğu bölgede beklenen şiddette bir depreme maruz kalmadan ekonomik ömrünü tamamlayacağı bir gerçektir. Bu durumda her yapının sözü edilen beklenen şiddetteki depremi hiç hasarsız ve düşey yükler için olduğu gibi elastik davranış sınırları içinde kalarak karşılaşmasını amaçlamak çok pahalı bir çözümdür. Bu anlayışla boyutlandırılan yapılarda; bizim yönetmeliğimizde de olduğu gibi deprem ivmesi yani şiddetli bir depremde yapıya etki edebilecek ivme azaltılarak hesaplarda kullanılır.

* <http://quake.wr.usgs.gov/study/turkey/#photos>'dan alınmıştır.

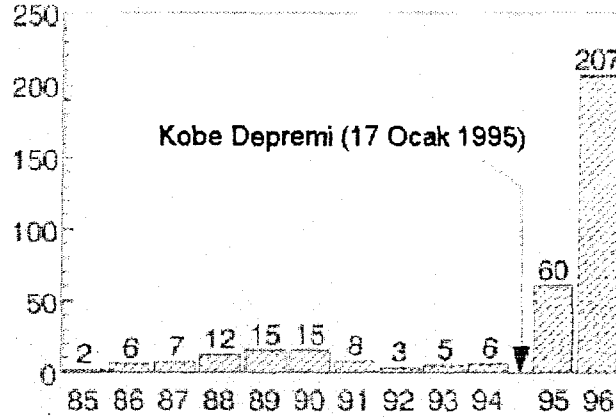
Amerika’da uygulanan yöntemde ise; depremden sonra hemen kullanılması gereken önemli yapıların, hastanelerin, itfaiyelerin, hava yollarının ve eyaletleri birleştiren yollardan en az birinin ve bu güzergah üzerinde mevcut olan köprülerin, her türlü sanat yapılarının en şiddetli depremde bile zarar görmemesi; “görmeyecek şekilde tasarlanması” ve bu yolla eyaletler arası yardım akışının hiç kesilmemesi esas alınır. Bu güzergah kritik hayat çizgisi “life line”olarak bilinir. Elektrik şebekeleri, limanlar, havalimanları, su kaynakları, telekomikasyon ağı ve ulaşım güzergahları “life line”ı oluşturan temel öğelerdir.

Ülkemizde bu düşünce tarzının eksikliği son yaşanan Kocaeli depremlerinde fazlasıyla hissedilmiştir. Bu duruma belirgin bir örnek olan Şekil (1.13) 'de, Kocaeli depreminden sonra Arifiye'nin TEM geçişi görülmektedir. TEM geçişinin üstünde bulunan köprünün yıkılması, can kaybının yanında, sürekli trafik akışını da engellemiştir. Bu güzergah üzerinde, iki yönde, ulaşım ve yardımlaşma akışında tamamen kapanmıştır.



Şekil 1.13 Depremden hemen sonra kullanılması gereken bağlantı yolları

Bir diğer gelişmiş ülke olan Japonya, tektonik açıdan aktif bir bölgede bulunduğu için yapılarda aynı şekilde kuvvetli yer hareketlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. En son olarak 17 Ocak 1995 yılında Japonya’da Hanshin adaları yakınlarında sabah 05:45’de oluşan $M=7.4$ Magnitüd büyüklüğündeki deprem, dünya literatüründe bilinen adıyla “Kobe Depremi”, Japonya için tam bir yıkım olmuştur. Teknolojinin yenilgisi olarak nitelendirilen deprem 20 saniye içinde, yaklaşık olarak 5500 ölü, 35.000 yaralı, 180.000 kullanılamaz/yıkılmış konut, 300.000 eysiz geride bırakmış, insanlık bir kez daha doğaya yenik düşmüştür. (Fujita,1997)



Şekil 1.14 Japonya'da taban izolasyonlu yapıların yıllara göre değişimi
(Fujita,1997)

Tokyo Üniversitesi'nden T.Fujita (1997), yayımlanan çalışmasında Japonya'da 1996'ya kadar lisanslı sismik izolasyonlu yapıların sayısal değişimini incelemiştir. Kobe depreminden sonra Şekil.(1.14)'de görüldüğü üzere lisanslı sismik izolasyonlu yapıların sayısı önemli derecede artmıştır. Bu sayı günümüzde daha fazladır. Bu artış yeni izolasyon teknolojisine duyulan önem ve gereksinimin bir sonucudur.



Şekil 1.15 Kobe depremi sonrası Japonya (ATC News,1995)

Daha dar bir bakış açısında, yaşadığımız kent olan İstanbul'u ele alalım. Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'un, 2600 yıla yayılan tarihi ile, kesintisiz kentsel yerleşime sahne olmuş en eski metropollerden biri olduğu düşünülmektedir. Son yıllarda kontrol edilemeyen bir büyüme eğiliminin içinde olan kentte, nüfus 1950 ile 1997 yılları arasında yaklaşık sekiz kat artarak, 1.2 milyondan 9.2 milyona çıkmıştır.(Erdik vd,1997) Kent kuzey anadolu fay hattı içindedir. Japonya yapıların söz konusu teknolojiyle güçlendirilmesinin

gereğini Kobe depreminden sonra daha iyi anlamıştır. Şekil (1.15) Kobe depreminden hemen sonra çekilmiş bir resimdir. Resimdeki mimari, yerleşim ve trafik düzeni Mecidiyeköy'ü andırmaktadır. Ülkemizde yaşanan Kocaeli depremi ile Kobe depreminin büyüklükleri aynıdır. (M=7.4) Aynı büyüklükte bir depremin merkezüstü Kocaeli değil de İstanbul olsaydı karşılaşılabilecek tablonun resmi (Şekil 1.15) olabilirdi sorusu İstanbul'da yaşayan herkesin kendi kendisine sorması gerekli bir sorudur.

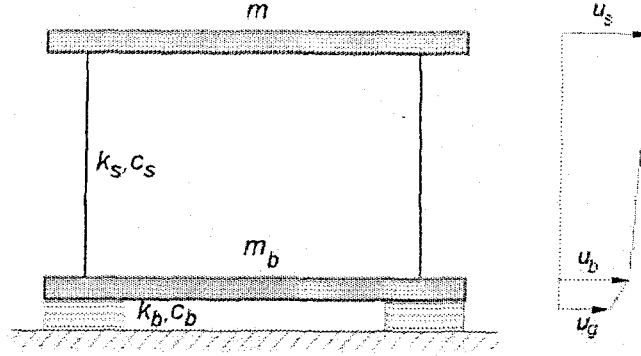
Ülkemizde deprem mühendisliği açısından sadece İstanbul'da değil bütün Türkiye genelinde düşündüğümüzde, yabancı ülkelerde 1980'lerden itibaren profesyonel olarak kullanılan sistemlerin ülkemizde uygulaması yok denecek kadar azdır. Ülkemizin bulunduğu ekonomik düzeyde düşünüldüğü zaman, yatırım ve önceliklerin başka alanlara kaydığı görülmektedir. Depremlerde can kaybını önleyen bu gibi teknolojik sistemlerin yaygınlaşması ve benimsenmesi için daha çok deprem atlatmış olmamız gerekmektedir.



2. SİSMİK İZOLASYON TEORİK ESASLARI

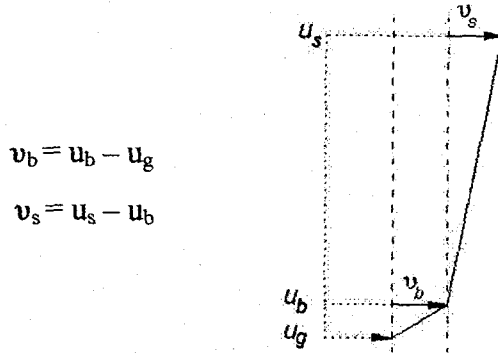
2.1. Lineer Teori

2.1.1. 2 Serbestlik Dereceli Sistemde Hareket Denklemleri



Şekil 2.1 İki serbestlik dereceli izolasyonlu sistemde parametreler

Sismik izolasyon üzerine teorik yaklaşımlar iki kütleli modele dayandırılarak Kelly (1999) tarafından yapılmıştır. m , üst yapının kütesini, m_b ise izolasyon sisteminin üzerindeki kütle temsil etmektedir. Üst yapının rijitlik ve sönümü k_s , c_s ile izolasyon sisteminin rijitlik ve sönümü k_b , c_b ile ifade edilmiştir. Kütlelerin yaptıkları toplam yer değiştirmeler u_b ve u_s olmakla beraber hesaplarda daha çok rölatif yer değiştirmeler kullanılır.



Şekil 2.2 İki serbestlik dereceli sistemde katların birbirine göre yer değiştirmesi

u_g , yerin yaptığı yer değiştirmedir. Rölatif yer değiştirmelerin sağladığı hesap kolaylığı sonucu iki önemli büyüklüğe daha ulaşılır. İzolatörlerin yere göre rölatif yer değiştirmesi " v_b " ve üstteki katın alttakine göre rölatif yer değiştirmesi " v_s ".

Bu büyükler dikkate alınarak, 2 serbestlik dereceli sistem için temel eşitlikler baştan yazılırsa;

$$(m+m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m+m_b)\ddot{u}_g \quad (2.1)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (2.2)$$

denklemler matrisel forma dönüştürülürse;

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (2.3)$$

elde edilir.

Denklemden $M = m + m_b$; toplam kütedir. Denklem aşağıdaki halini alır.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{u}_g$$

Sistemde kütleler oranı γ ;

$$\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M} \quad (2.4)$$

Sistemde açısal frekanslar;

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m+m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (2.5)$$

Sönüm Faktörleri β_b ve β_s ,

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m+m_b} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (2.6)$$

Bu büyüklükler, hareketin ana denklemleri olan (2.1) ve (2.2) de yerine yazılırsa eşitlikler;

$$\gamma \ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (2.7a)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (2.7b)$$

haline gelir.

Sistemde mod şekilleri dikkate alındığında, hesaplanacak diğer parametreler ϕ^1 ve ϕ^2 olacaktır.

$$\phi^{iT} = (\phi_b^i, \phi_s^i) \quad i = 1,2$$

Aynı zamanda dikkate alınan her mod için açısal frekanslar ω_1 ve ω_2 hesaplanır. Açısal frekanslar için karakteristik eşitlik yazıldığında;

$$(1-\gamma) \omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2) \omega^2 + \omega_b^2 \omega_s^2 = 0 \quad (2.8)$$

denkleminin çözümünde 1. ve 2. modlara karşılık gelen hareketin açısal frekansları bulunur;

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

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma \omega_b^2 \omega_s^2]^{1/2} \} \quad (2.9)$$

$\epsilon = \omega_b^2/\omega_s^2$ değişken dönüşü yapılırsa, işlemlerden sonra açısal frekanslar ϵ 'ye bağlı olarak bulunur;

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma\epsilon) \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1 + \gamma\epsilon) \quad (2.10)$$

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

$$(\phi^1)^T = (1, \epsilon) \quad (\phi^2)^T = \left\{ 1, \frac{-1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} \quad (2.11)$$

Modal koordinatlarda orijinal yer değiştirmeleri hesaplamak için;

$$v_b = Y_1 \phi_b^1 + Y_2 \phi_b^2$$

denklemden q_1, q_2 zamana bağlı modal katılım çarpanlarıdır.

Diğer modal büyüklükler de hesaplanır, M_i modal (genelleştirilmiş) kütedir;

$$M_i = (\phi^i)^T M \phi^i \quad M_i q_i = (\phi^i)^T M r$$

Denklemler ϵ 'ye bağlı olarak tekrar düzenlenirse;

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon) \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]}{\gamma} \quad (2.12)$$

ve,

$$q_1 = 1 - \gamma\epsilon \quad q_2 = \gamma\epsilon \quad (2.13)$$

(2.1) ve (2.2) eşitliklerindeki rölatif yer değiştirmeler (u_b, u_s), mod şekilleri ϕ^1 ve ϕ^2 'ye bağlı olarak yazılmak istenirse, iki tane modal katılım çarpanına ihtiyaç duyulur; (q_1, q_2)

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{Y}_1 + \lambda_1\ddot{Y}_2 + \omega_1^2 Y_1 = -q_1 \ddot{u}_g \quad (2.15)$$

$$\ddot{Y}_2 + \lambda_2\dot{Y}_1 + 2\omega_2\beta_2\dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -q_2 \ddot{u}_g \quad (2.16)$$

" $2\omega_1\beta_1$ " ve " $2\omega_2\beta_2$ " değerleri aşağıda verilen denklemin çözümleri sonucu bulunacaktır.

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

Elde edilen değerler ise;

$$2\omega_1 \beta_1 = 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma\epsilon) \quad (2.17)$$

$$2\omega_2 \beta_2 = \frac{1}{1-\gamma} (2\omega_s \beta_s + 2\gamma\omega_b \beta_b) \quad (2.18)$$

olacaktır. Bu değerlerle;

$$\beta_1 = \beta_b [1 - (3/2)\gamma\epsilon]$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma \beta_2 \epsilon^{1/2}}{(1-\gamma)^{1/2}} \left(1 - \frac{\gamma\epsilon}{2}\right)$$

elde edilir.

Modal bağlantı katsayıların (coupling coefficients) “ λ_1 ” ve “ λ_2 ” nin hesaplanacağı denklemler;

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

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

şeklinde yazılır.

Böylece;

$$\lambda_1 M_1 = (1, \epsilon) \begin{pmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s \quad a = (1/\gamma) [1 - (1-\gamma)\epsilon]$$

(2.12)'de bulduğumuz değerleri (M_1, M_2) kullanırsak,

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \left\{ \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} 2\omega_s \beta_s m}{M(1+2\gamma\epsilon)} \\
 &= 2\omega_b \beta_b (1-2\gamma\epsilon) - \epsilon 2\omega_s \beta_s (1-2\gamma\epsilon) \\
 &= 2\omega_b [\beta_b (1-2\gamma\epsilon) - \epsilon^{1/2} \beta_s] \tag{2.19}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_2 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \left\{ \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} 2\omega_s \beta_s m}{[M(1-\gamma)/\gamma][1-2(1-\gamma)\epsilon]} \\
 &= (2\omega_b \beta_b - \epsilon 2\omega_s \beta_s) [1+2(1-\gamma)\epsilon] \frac{\gamma}{1-\gamma} \\
 &= 2\omega_b \{ \beta_b [1+2(1-\gamma)\epsilon] - \epsilon^{1/2} \beta_s \} \frac{\gamma}{1-\gamma} \tag{2.20}
 \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir.

Bir çok 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;

$$\begin{aligned}
 \ddot{Y}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{Y}_1 + \omega_1^2 Y_1 &= -q_1 \ddot{u}_g \\
 \ddot{Y}_2 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 &= -q_2 \ddot{u}_g
 \end{aligned}$$

Yapının cevabı Y_1 ve Y_2 ise u_g – yer hareketinin tanımlanmasıyla aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$Y_1 = \frac{q_1}{\omega_1} \int u_g(t-\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \tag{2.21a}$$

$$Y_2 = - \frac{q_2}{\omega_2} \int \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_2^2 \beta_2^2 \tau} \sin \omega_2 \tau d\tau \quad (2.21b)$$

ve maksimum değerlerin bulunması için aşağıdaki yol izlenecektir;

$$|Y_1|_{\max} = q_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (2.22a)$$

$$|Y_2|_{\max} = q_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (2.22b)$$

Denklemden $S_D(\omega, \beta)$ yer değiştirme spektumunda “ ω ” açısal frekansında, “ β ” sönüm faktöründe yer hareketi için karşılık gelen değerdir.

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

$$|v_s|_{\max} = [(\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |Y_2|_{\max})^2]^{1/2} \quad (2.23a)$$

$$|v_b|_{\max} = [(\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |q_2|_{\max})^2]^{1/2} \quad (2.23b)$$

(2.12), (2.13) de bulunan sonuçlar yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \{[(L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)^2\}^{1/2} \\ &= \{(1-\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (2.24)$$

ve

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \{\epsilon^2 (1-\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1-(1-\gamma)\epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2\}^{1/2} \\ &= \epsilon \{(1-2\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1-2(1-\gamma)\epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (2.25)$$

bulunur.

Genellikle “ $\epsilon^2 S_D(\omega_2, \beta_2)$ ” terimi, ihmal edilebilir. Çünkü, yüksek frekanslardaki (ω_2) deplasman, düşük frekanslarda (ω_1) yapılan deplasmandan çok küçüktür, bu da bize;

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma\epsilon) S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (2.26)$$

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

$$|v_s|_{\max} = \epsilon [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)]^{1/2} \quad (2.27)$$

2.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler için Hareket Denklemleri

Daha önce 2 serbestlik dereceli basit model üzerinde yapılan kabuller, çok katlı yapı sistemleri için de uygulanabilir. Çok katlı yapı için “M” kütle matrisi, “C” sönüm matrisi, “K” rijitlik matrisi olarak tanımlansın. Geleneksel yapılar için hareket denklemini hatırlarsak;

$$M \dot{v} + C v + K v = - M \ddot{u}_g \quad (2.28)$$

“r” vektörü her bir serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan vektör olup, “u” yere göre yer değiştirme vektörü idi. İzolatörlü modelde ise denkleme ek olarak “ m_b ” taban kütlesi, “ k_b ” izolatör rijitliği ve “ c_b ” izolasyon sistemi sönümü gelmektedir;

$$M \dot{v} + C v + K v = - M r (\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (2.29)$$

(2.29) denkleminde, “v” taban kütlesine göre rölatif yer değiştirme, “ v_b ” ise taban kütlesinin yere göre rölatif yer değiştirmesidir. Bütün sistemde birleşik yapı ve taban kütlesine göre ortak bir eşitlik yazılırsa, bu durumda;

$$r^T M (\ddot{v} + r \ddot{v}_b + r \ddot{u}_g) + m_b (\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (2.30)$$

olduğu görülür. Eşitlik düzenlenirse;

Aynı şekilde izolasyonlu sistemin periyodu;

$$T_Y = 2\pi \sqrt{\frac{(m + m_b)}{k_b}} \quad (2.34)$$

İzolasyon yapılmamış sistemin periyodunun, izolasyon yapılmamış sisteminkine oranını; (α), taban kütlelerinin, üst yapı kütlelerine oranını da (η) ile gösterelim;

$$\alpha = \frac{T_F}{T_Y} \quad \eta = \frac{m_b}{m} \quad (2.35)$$

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

$$T_1 = \sqrt{(1 + \alpha^2)} T_Y \quad (2.36)$$

$$T_2 = \frac{T_F}{\sqrt{(1 + \eta + \eta\alpha^2)}} \quad (2.37)$$

Sisteme ait mod şekilleride aşağıda ki gibidir;

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 + \alpha^2 \end{Bmatrix} \quad (2.38)$$

$$\phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ (\alpha^2 - 1) / \eta \end{Bmatrix} \quad (2.39)$$

Periyodlar oranı (α) açık yazılması halinde;

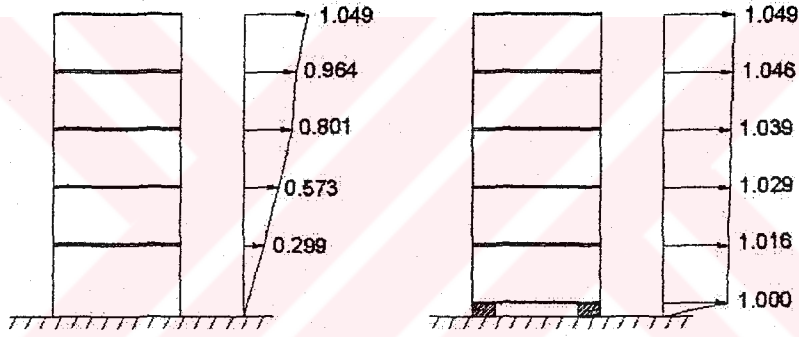
$$\alpha = \sqrt{k_b / k_s} \sqrt{m / (m + m_b)} \quad (2.40)$$

İzolasyon sisteminin rijitliği k_b , üst yapının kine oranı k_s 'e göre çok küçük olduğunu ve taban kütlesi m_b 'in çoğu zaman üst yapı kütlesi m 'den küçük olduğunu düşünürsek α değerinde 1'den küçük bir sayı olacağı aşikardır. Ortalama 0.01 ile 0.3 arasında olan bu sayının karesi kendisinden daha küçük olacağı için;

$$1 + \alpha^2 \approx 1 \quad (2.41)$$

alınabilir.

Chopra (1995), sismik izolasyonun sistem üzerindeki etkisini görmek için 6 katlı bir model ele almıştır ve yaptığı hesaplamalarla yapının 1. mod şekli için şu sonuçlara ulaşmıştır;

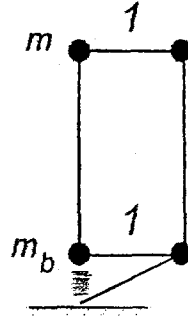


Şekil 2.4 İzolasyonlu ve izolasyonsuz modellerin 1. mod şekillerinin karşılaştırılması

Görüldüğü üzere (Şekil 2.4) ilk mod için izolasyonlu sistemde, periyodlar oranı α 'nın ihmal edilmediği hesaplarda bile en alt ve en üst katlar arasındaki fark yüzde mertebesinde küçüktür.

Bu durumda sistemde ilk moda ait mod şekli (2.42) nolu denklem ve şekil (2.5)'teki halini almaktadır.

$$\Phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (2.42)$$



Şekil 2.5 Sismik izolasyonlu yapının 1. mod şekli

Bir yapının deprem anındaki davranışının belirlenmesinde en önemli etken yapının 1. titreşim modudur. 1. titreşim modunun yapının tüm davranışına olan katkısı kimi zaman % 90'lara çıkmaktadır. Hareket denkleminin çözümünden de anlaşılacağı gibi sismik yalıtımlı bir yapıda 1. titreşim moduna ait değerler ana yapıdan bağımsızlaşmakta ve yalıtım sisteminin özellikleriyle birleşmektedir.

3. İZOLASYON SİSTEMİ ELAMANLARI

Yapıyı yerden ayırmak amacıyla kullanılan izolasyon teknikleri, gün geçtikçe yeni modellerle karşımıza çıkmaktadır. Yeni enerji dağıtma sistemlerinin sayısındaki önemli artış ve mevcut sistemlerin güncellenmesi ile ortaya çıkan gelişmiş modeller incelemeye alındığında sistemleri ayrı ayrı incelemek için geniş bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada bu izolasyon sistemelerinden yaygın olarak kullanılan tipleri genel olarak incelenecektir. Bu sistemler;

- elastomerik sistemler
- kayıcı sistemler'dir

İki tip izolasyon sınıflandırmasının dışında uygulamalarına zaman zaman rastlanan modeller de mevcuttur. Sıkça kullanılan iki tip modelden sonra diğer sistemler de kısaca ana hatları ile ele alınacaktır.

3.1. Elastomerik Mesnetli Sistemler

3.1.1. Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet Sistemi – (Low Damping Natural Rubber Bearings)

Doğal kauçuk, sismik izolasyonda kullanılan ilk elastomerdir. Bu özelliği ile doğal kauçuk izolatörler, diğer modellere de örnek olmuştur. Diğer elastomerlerle karşılaştırıldığında; doğal kauçuğun daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülür. En önemli özelliği, uzun süre kullanım kapasitesine sahiptir. Beklenen davranışı; sistemde kullanıldığı sürece, zamandan ve kullanım sıklığından bağımsız olarak gösterirler. Yorulma açısından iyi sonuçlar vermesi bu modelin avantajlarından biri sayılabilir.

Efektif sönüm, genellikle 0.07'den küçüktür. Mekanik davranışı, viskoelastik ve histeretik özellikte olup, bu iki davranış modelinin kombinasyonu şeklindedir.

Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörler viskos sönümlendiricilerle, (kurşun-çelik barlar, sürtünmeli aletlerle vb. enerji emici sistemler) bir arada başta Japonya olmak üzere bir çok ülkede kullanılmaktadır. Bu tip mesnet sistemi ile modelleme yapılırken, izolatörün bileşiminde genelde iki çeşit elastomer kullanılır. Yaygın olarak kullanılanı, Japon yapımı

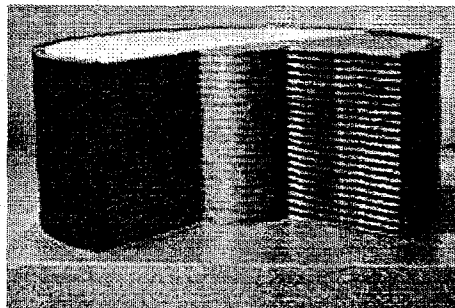
olan doğal kauçuktur. Doğal kauçuğa alternatif olarak kullanılan diğer bileşen ise Fransız yapımı elastomer olan Neopren'dur. Neopren (polikloropron kauçuk), ısıya diğer elastomerlere göre daha duyarlıdır.

Bir izolatörde altta ve üstte olmak üzere iki adet kalın tabaka, iki tabaka arasında da bir çok ince çelik levhalar mevcuttur. Kauçuk-çelik bileşimi, yüksek ısı ve basınç altında birbirlerinden ayrılmayacak şekilde kalıplanmıştır. Üst üste tabakalar halinde yerleştirilen çelik levhacıklar, kauçuk tabakanın şişmesini ve kabarmasını önler. Düşeyde yüksek rijitlik sağlarlar. Ancak, elastomerin düşük kayma modülü tarafından kontrol edilen yatay rijitliğe etkisi yoktur.

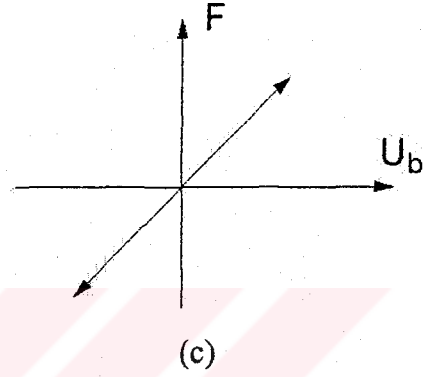
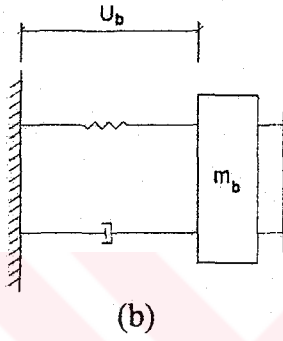
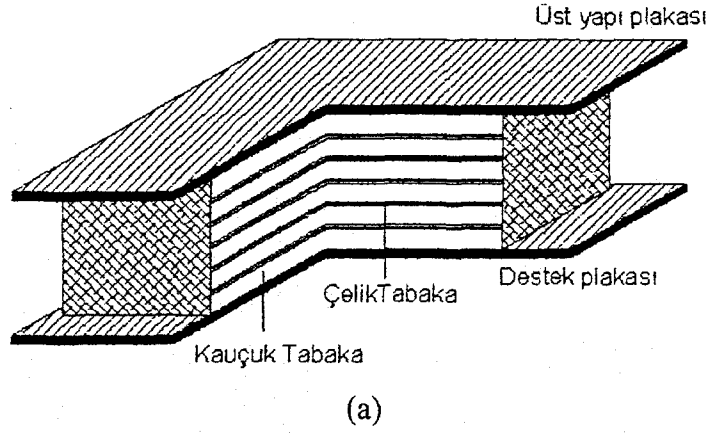
Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet modelinin bir çok faydası vardır; Yapımı basittir. Modelleme yapması kolaydır. Tasarlanan mekanik yanıtı, ısıdan, zamandan ve hızdan bağımsızdır. Çok düşük sıcaklıklarda bile esnek kalabilirler. Ancak -17 C'dan daha düşük sıcaklıklarda sertleşmeye başlar. Üst sınır ise 82 C olarak tasarlanmıştır.

Dezavantajı ise genelde beraber çalışan ek bir destek sönüm sistemine ihtiyaç duyulur. Tek başlarına kullanılmazlar. Kullanılan destek sistem, genellikle daha detaylı bağlantı ve birleşim içeriği gerektirir. Destek sisteminin dezavantajları, bütün sistemi etkileyeceğinden aynı zamanda bu tip modellemeninde zaafi sayılabilir. Örneğin, eğer kullanılan destek sistemi metalik sönümlendiricilerden oluşuyorsa, çok yüksek devirli kullanım özelliğine sahip olmayan bu sönümlendiricilerin davranışındaki değişimlerden bütün sistem etkilenecektir. Sönümlendiricileri çok sık kullanılması durumunda performans azalabilmektedir.

Bu yöntemle yapılmış günümüzde bir çok uygulama mevcuttur. Aynı zamanda bu sistemin değişik türevlerine sık rastlanılmaktadır. Bunlardan en belirginini Yeni Zelanda'da 1970'lerde geliştirilen kurşun çekirdekli modelidir.



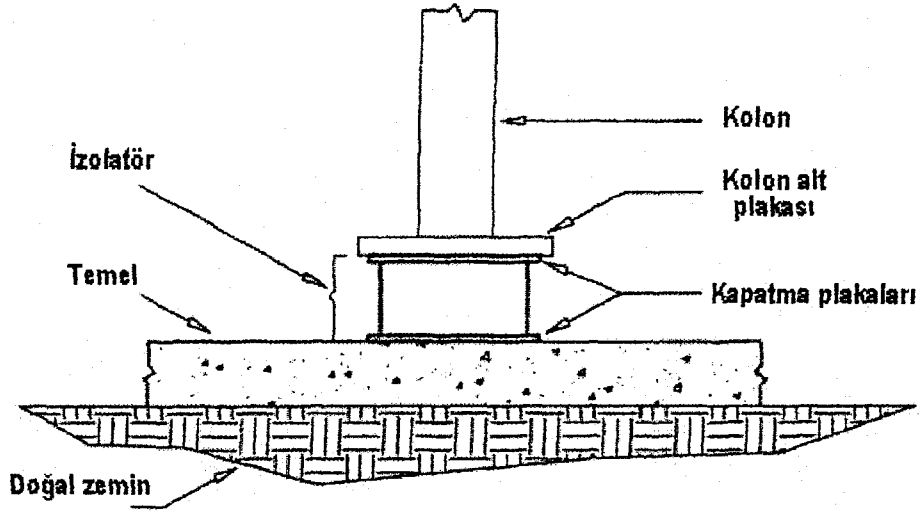
Şekil 3.1 Tipik düşük sönümlü kauçuk mesnet örneği



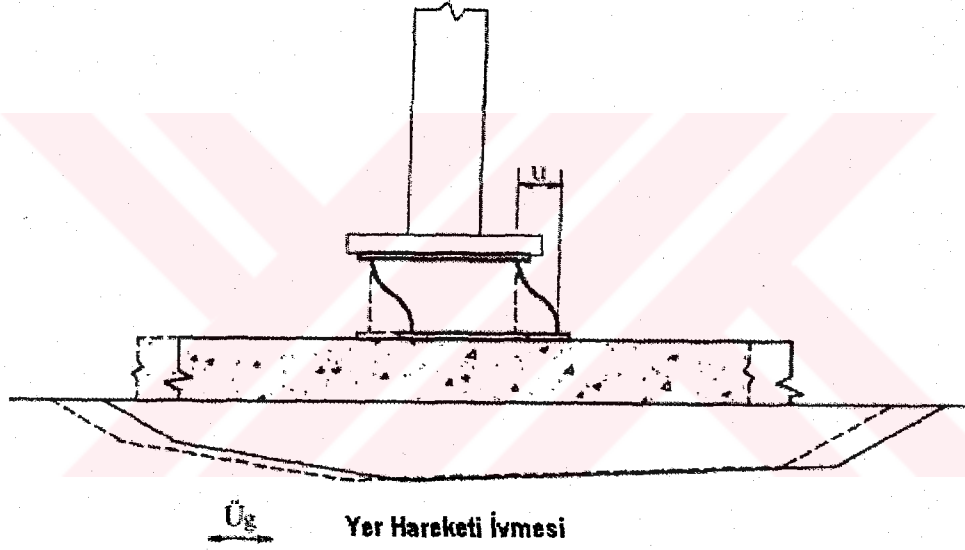
Şekil 3.2 Doğal kauçuk mesnet, a) kesit b) şematik model c) kuvvet-yer değiştirme davranışı



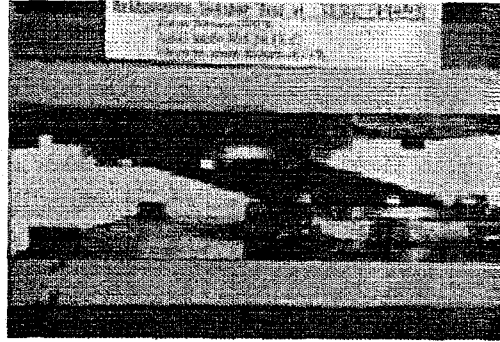
Şekil 3.3 Doğal kauçuk mesnetin yatay yük etkisinde şekil değiştirmesi



(a)



(b)

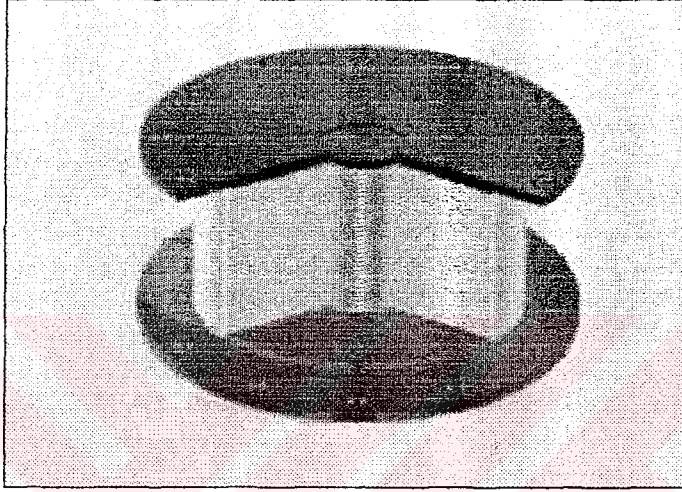


(c)

Şekil 3.4 Doğal kauçuk izolatörlerin (a)-(b) sistemde davranışları
(c) deformasyon testi

3.1.2. Kurşun Çekirdekli Mesnet Sistemi - (Lead Plug Bearings)

Kurşun çekirdekli izolator modeli, 1975 yılında Yeni Zelanda'da geliştirilmiş olup, Japonya ve ABD ülkelerinde de geniş bir alanda kullanılmaktadır. Model olarak düşük sönümlü, doğal kauçuk mesnetli izolator modeline benzemektedir. Farkı, Şekil (3.5)'de görüldüğü gibi ortasında bulunan kurşun çekirdektir.

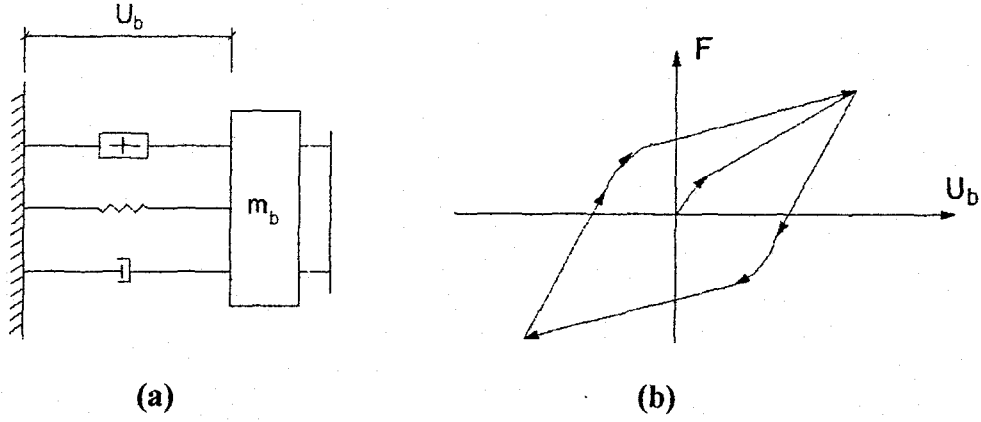


Şekil 3.5 Kurşun çekirdekli kauçuk izolator modeli

Sistem yatay kuvvetlere maruz kaldığında çelik tabakalar, kurşun başlığı şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun çekirdek elastomer tabakaya sıkı sıkıya mesnetlidir ve yaklaşık akma gerilmesi 10 MPa'dır. Kurşun çekirdeğin enerji absorbe edebilme kapasitesi izolatorün yatay yer değiştirmesini azaltır.

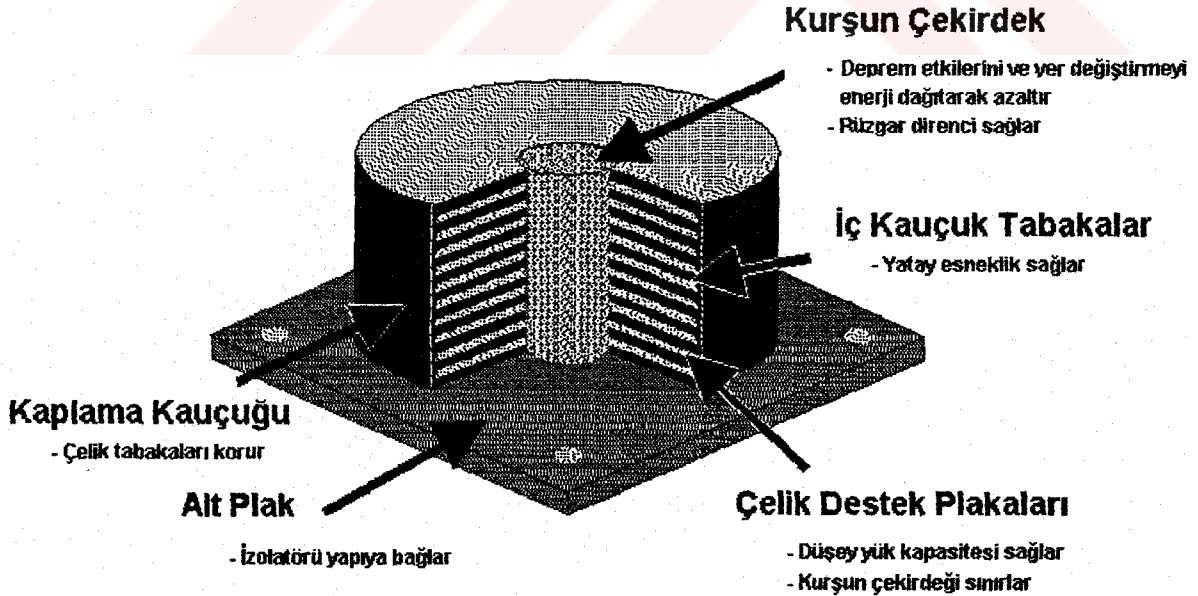
Kurşun çekirdekli izolatorlerin, düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetli izolatorlerle aynı anda kullanıldığı sistemlere sık rastlanılır. Böyle uygulamalarda, kurşun çekirdekli izolatorler temelde iç kısımlara sönümleyici, doğal kauçuk izolatorler ise dış kısımlara dengeleyici olarak yerleştirilir.

Bu sistemin en büyük dezavantajı, güçlü yer hareketleri sonrası kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin tespit edilememesidir. Ancak bu şekilde deprem izolasyonu yapılmış yapılar 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde çok iyi performans göstermişlerdir.



Şekil 3.6 Kurşun çekirdekli mesnet, a) şematik model
b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

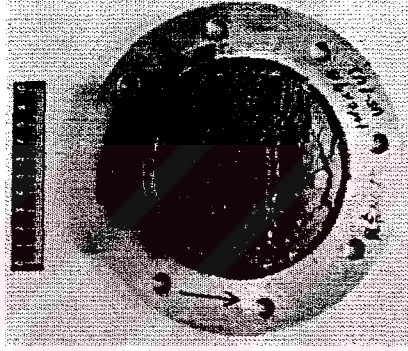
Kullanılan izolatör, köşeli olduğu gibi daireselde modellenebilir. Dünyada bu modelde üretim yapan firmaların başında Amerikan "DIS" firması gelmektedir. Şekil (3.7) DIS firmasının ürettiği, dünyada yaygınca kullanılan modelleriden biridir.



Şekil 3.7 Kurşun çekirdekli izolatör bileşenleri

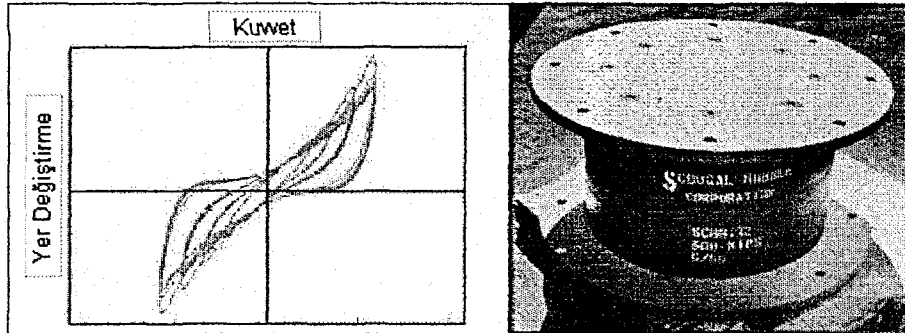
3.1.3. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet Sistemi – (High Damping Natural Rubber Bearings)

Doğal kauçuğun gelişimi ile bileşiminin doğasında olan sönümle destek sistem olmaksızın kullanılması çalışmaları 1982 yılında sonuç vermiştir. İlk defa İngiltere’de bir firma olan MPRA, yüksek sönümlü kauçuk bileşimlerden oluşan izolatörleri piyasaya sürmüştür. Sönüm, ilave edilen ekstra kaliteli karbon blokları, yağlar, reçine ve diğer özel doldurucularla (Şekil 3.8) artırılarak 0.10~0.20 seviyelerine yükseltilmiştir. Bu değişen özelliği dışında diğer özellikleri, üretim metodları, yapıştırma evreleri ve montaj tekniği aynıdır. Bir diğer fark kuvvet, yer değiştirme davranışıdır. İzolatördeki sönüm, ne histeretik ne de viskozdur. İkisi arasında bir davranıştır. (Şekil 3.9)



Şekil 3.8 Yüksek sönümlü mesnet kesidi

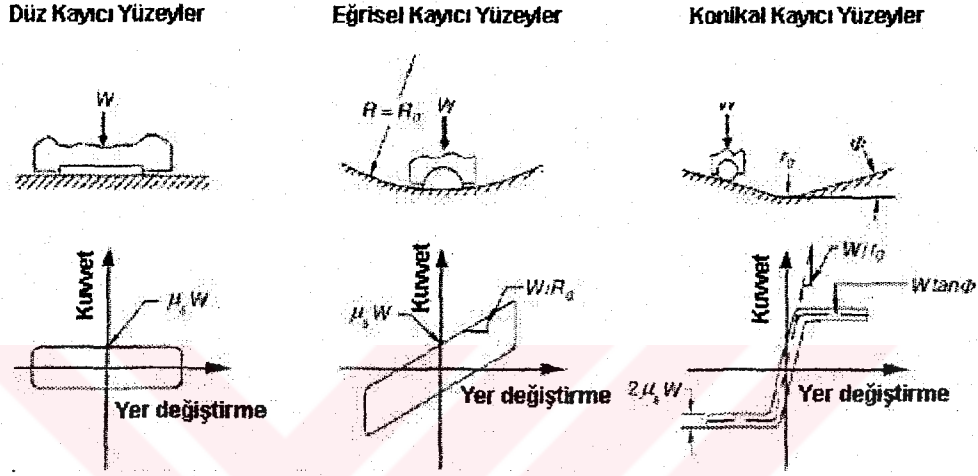
Malzeme, boy uzamaları % 20 den daha küçük olduğu zaman nonlineer davranır ve yüksek rijitlik ve sönüm özelliği ile rüzgar yükleri, düşük seviyeli sismik yükler altında yapının yer hareketine tepkisine azalmasına eğilimli davranış içinde olur. % 20-120 arası kayma modülü düşük ve sabittir. Çok büyük şekil değiştirmelerde, kayma modülü büyür. Sistemin bir avantajı da; çevredeki titreşimlerin bir derece azalmasında etkili olur. İzolatörler yüksek frekanslı, trafik veya yer altı demir yolları kaynaklı titreşimleri yapıya ulaşmadan filtre eder. Şekil (3.9)'da kuvvet yerdeğiştirme davranışı ile piyasada kullanılan bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.9 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör modelleri

3.2. Kayıcı Mesnetli İzolatörler

Kayıcı mesnetli izolatörler, yer hareket sonucu açığa çıkan enerjiyi sürtünmeyle söndürme prensibi esas alınarak yapılan modellerdir. (Şekil 3.10) Aynı mantık esas alınarak üretilen modeller, değişik uygulamalarla karşımıza çıkmaktadır. Yaygın olarak kullanılan modeller ikinci olarak ele alacağımız sistemlerdir.



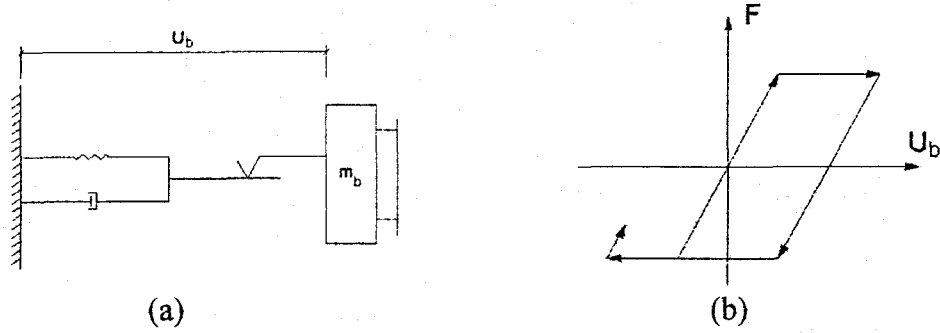
Şekil 3.10 Kayıcı mesnetli izolatörlerde temel modelleme esasları
(FEMA 274,1997)

3.2.1. Fransız Elektrik Sistemi - (Electricite-de-France System)

Bu sistem 1970'li yıllarda Fransa da "Nükleer Güç santralleri" için geliştirilmiş bir sistemdir. Standart nükleer santral, sismik aktiviteler yüksek bir kesimde inşa edilirse, içindeki deprem etkisinde kalacak nükleer ekipmanları 0.2g max sınırında tutmayı amaçlayan, bu mantıkla tasarlanmış bir sistemdir.

Sistem üst üste ince tabakalar halinde yerleştirilmiş neopren mesnetlerle, paslanmaz çelikte temas halinde olan kurşun-bronz alaşımını birleştirir. Sürtünen yüzeyler, elastomerik mesnetlerin üstüne yerleştirilmiştir. Sürtünme katsayısı, hizmet ömrü boyunca 0.2 kabul edilerek hesap yapılmıştır. Sürtünme yüzeyindeki neopren tabakanın çok düşük yerdeğiştirme kapasitesi vardır. (Yaklaşık ± 5.0 cm) Bu sistemin dez avantajı; enerjiyi sürtünmeyle emen bu sistemdeki elemanlar, değiştirilemez ve onarılamaz. Sistemde enerji tasarlanan limiti aştığında, yer değiştirmeler kalıcıdır.

Bu sistem sadece bir kere; Güney Afrika Koeberg'de büyük bir nükleer santralde uygulanmıştır.

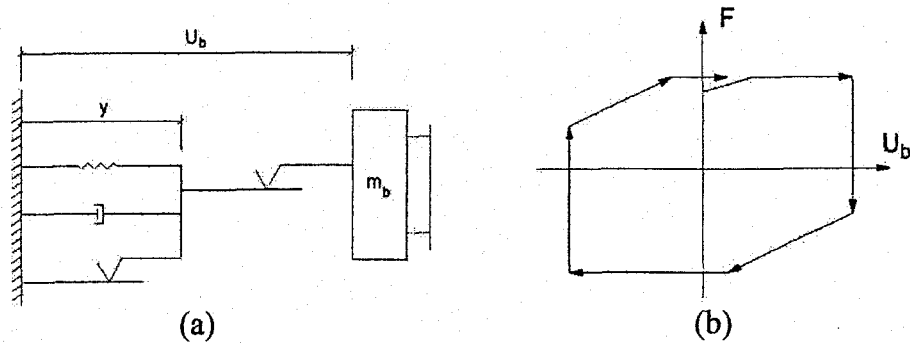


Şekil 3.11 Fransız elektrik sistemi, a) şematik model
b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

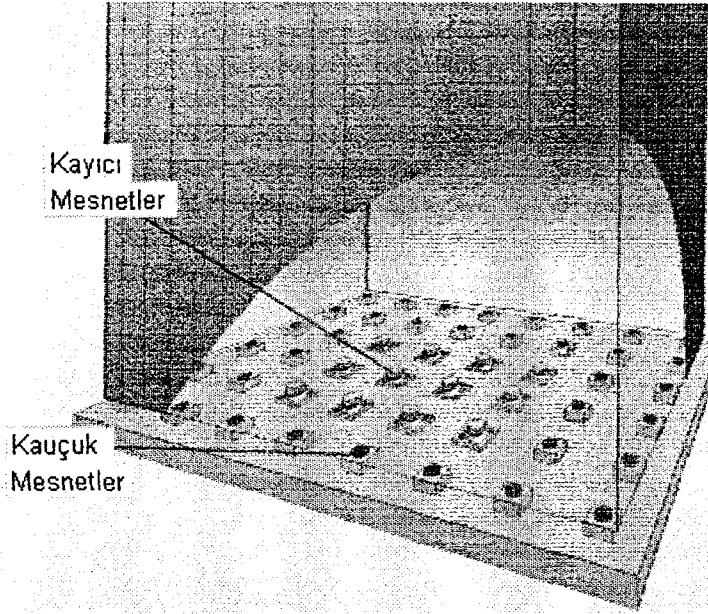
3.2.2. Bileşik Sistem - (EERC Combined System)

Elastomerik ve kayıcı sistemlerin birleşimi olan bu yöntem EERC tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları kayıcı mesnetlerle, dış kolonları ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle taşınmıştır. Sürtünlü yüzeyler, iç kolonların altında olan teflon yüzeyler ve altında paslanmaz çelik elemanlarla oluşturulmuştur.

Yapının burulmasını kontrol eden elastomerik izolatörler aynı zamanda dengeliyici rol oynarken; kayıcı sistem sönümsel olarak çalışır. Amerika'da bu şekilde yapılmış hastane ve okul binaları mevcuttur.



Şekil 3.12 Bileşik sistem, a) şematik model b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

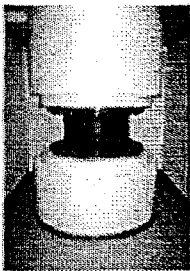


Şekil 3.13 Bileşik sistem modeli

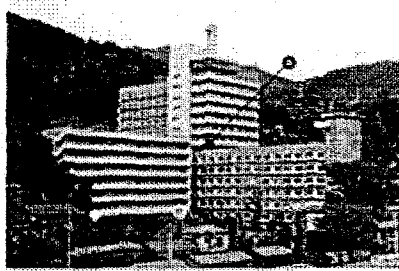
3.2.3. TASS Sistemi

Bir Japon firması olan "Taisei" tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde sistemdeki bütün düşey yükler, teflon-çelikten yapılan paslanmaz elemanlara taşınır. Ek olarak, neopren izolatörler kullanılır. Bu yöntemde kullanılan neopren mesnetler düşey yük taşımaz, sadece merkezleyici ve dengeleyici olarak yerleştirilir. Teflon kayıcı yüzeylerde 10 MPa basınç altında, 0.05 sürtünme katsayısı esas alınarak hesap yapılır. Bu sistemin uygulandığı yapı (Şekil 3.14), Bölüm 6'da da ele alacağımız bir yapıdır.

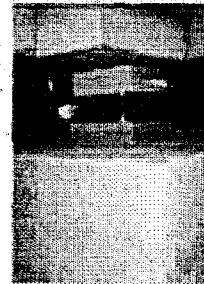
Sistemin dezavantajları; elastomerik mesnetler hiç düşey yük taşımadıkları için, yatay yükler etkisinde gerilmeye maruz kalırlar ve kayıcı yüzeylerde, sürtünme hızları çok hassas olarak ayarlandığı için sistem genelinde model kurması diğerlerine göre daha zordur.



(a)



(b)



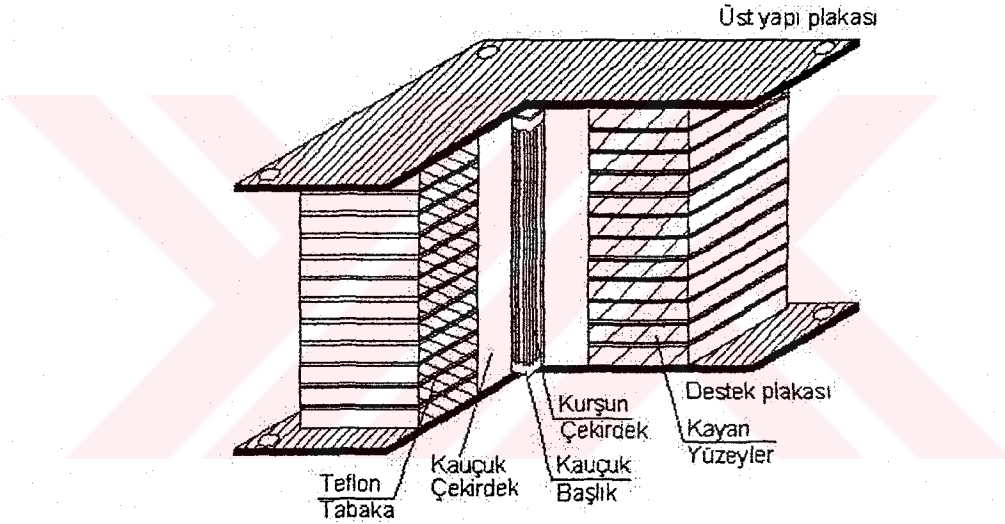
(c)

Şekil 3.14 Tass sistemi uygulanmış yapının (a) orta kat kolonları (b) görünüşü (c) temel detayı

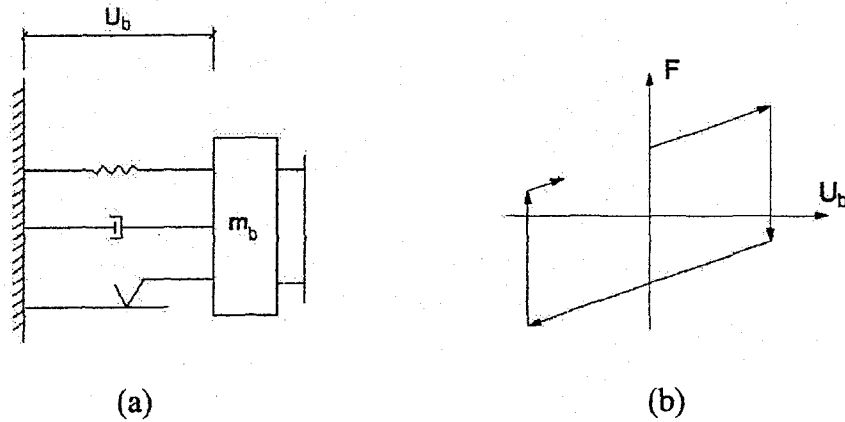
3.2.4. Elastik Sürtüneli Taban İzolasyon Sistemi – (Resilient Friction Base System)

Bu model, yüksek sürtünme katsayısına sahip teflon kaplı tabakalarının yüksek hızlarda sürtünmesi sırasında oluşan probleminin, bir izolatör içinde bir çok kayan ara yüzey kullanılması ile üstesinden gelmeyi amaçlar. Böylece en alttaki ve en üstteki hızlar, tabakalara ayrılır. Böylelikle her tabakaya düşen hız düşük olur.

Sürtünen elamanlara ek olarak, ortada düşey yük taşımayan, dengeleyici kauçuk çekirdek mevcuttur. Yapılan deneylerde kauçuk çekirdeğin, ara yüzlerdeki yer değiştirmelerin yüzler boyunca homojen dağılmasını önleyemediği için, merkeze bir de çelik çubuk ilavesi yapılmıştır. Bu ilave, yer değiştirmeleri kayan yüzeyler arasında dağıtma işlevi görmektedir.



Şekil 3.15 Elastik sürtüneli taban izolatörü

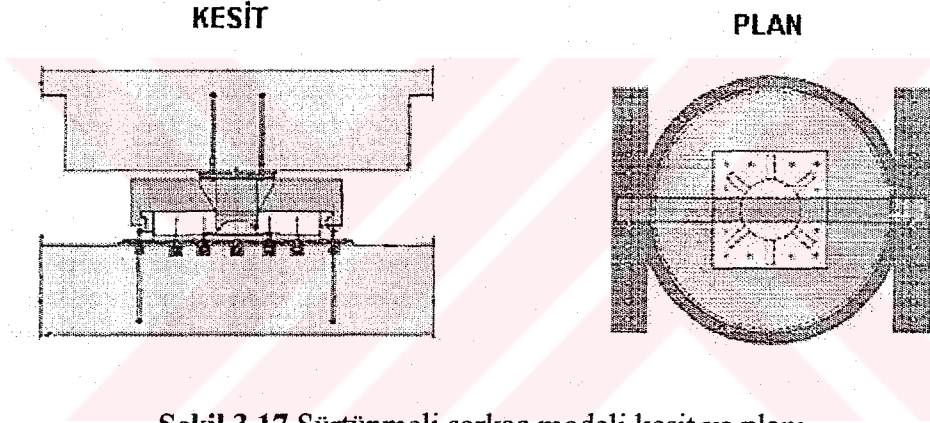


Şekil 3.16 Elastik sürtüneli taban izolatörü, a) şematik model
b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

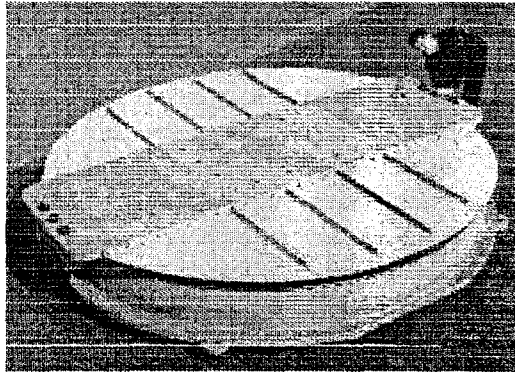
3.2.5. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi – (Friction Pendulum System)

Sürtünmeli sarkaç sistemi, enerji dağıtma modellerinin en yenilerinden birisidir. Tamamen geometrik yaklaşımlardan yararlanılarak yapılan modelleme, yapı sisteminin basitleştirilerek sarkaç hareketine uyarlanması ile depremden yapıya ulaşan enerjinin metalik yüzeylerde sürtünerek kısmen ya da tamamen kaybolması prensibi esas alınarak yapılmıştır.

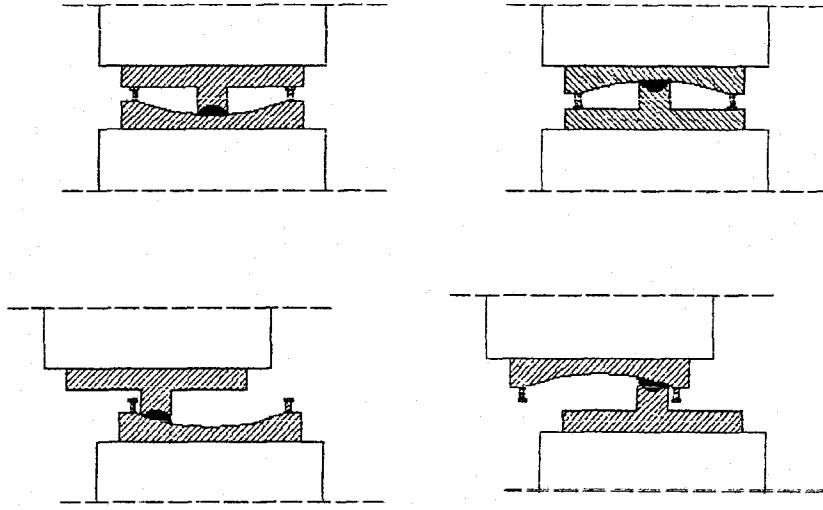
Sistemde, yapının taşıdığı yüklerle orantılı olan kayıcı mafsal ve temas ettiği eğrisel çelik yüzey, sistemi oluşturan başlıca elemanlardır. Eğrisel yüzeyle, mafsalı kayıcının arasındaki sürtünme, izolatörün sönümünü oluşturur. Bu yöntemde izolatörün rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir.



Şekil 3.17 Sürtünmeli sarkaç modeli kesit ve planı



Şekil 3.18 Kapalı halde sürtünmeli sarkaç mesnedi



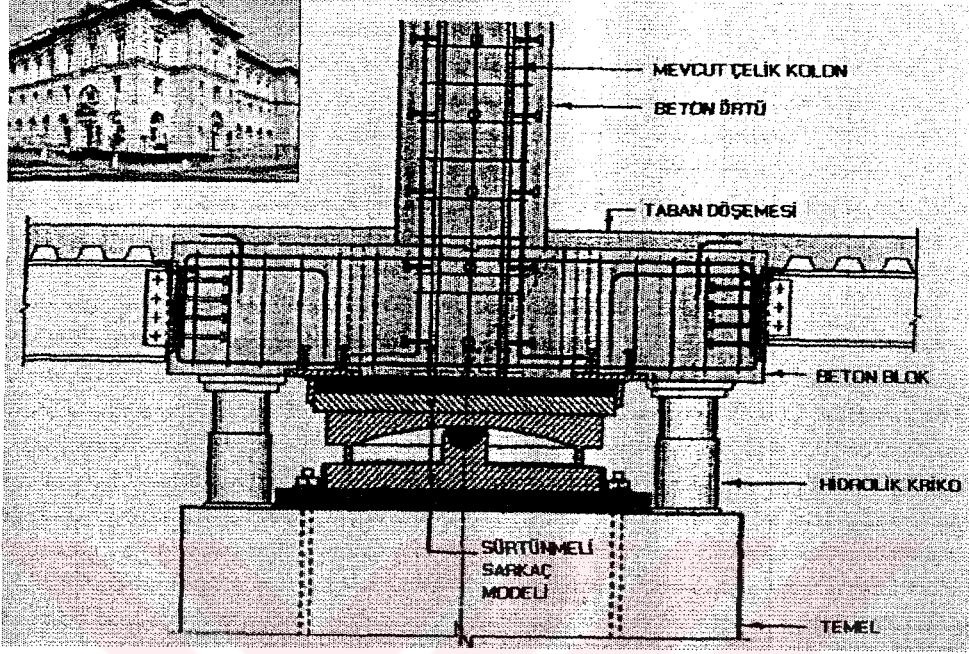
Şekil 3.19 Sürtülmeli sarkaç modelinin yerdeğiştirme hareketi

Şekil (3.20)'de sürtülmeli sarkaç modeli uygulaması Amerika'da "U.S. Court of Appeals"de uygulanan 256 izolatörden biridir. San Francisco'da bulunan yapı, tarihi bir mahkeme binasıdır. İki büyük deprem atlattıktan sonra temel altlarına yerleştirilen FPS sistemi ile iyileştirmeye gidilmişmiştir. (1995) Her kolon, temele birleştiği noktadan geçici krikolo sistemi ile desteklendikten sonra kesilmiştir. Daha sonra kesilen kolonların temele birleştikleri yerlere izolatörler yerleştirilmiştir.

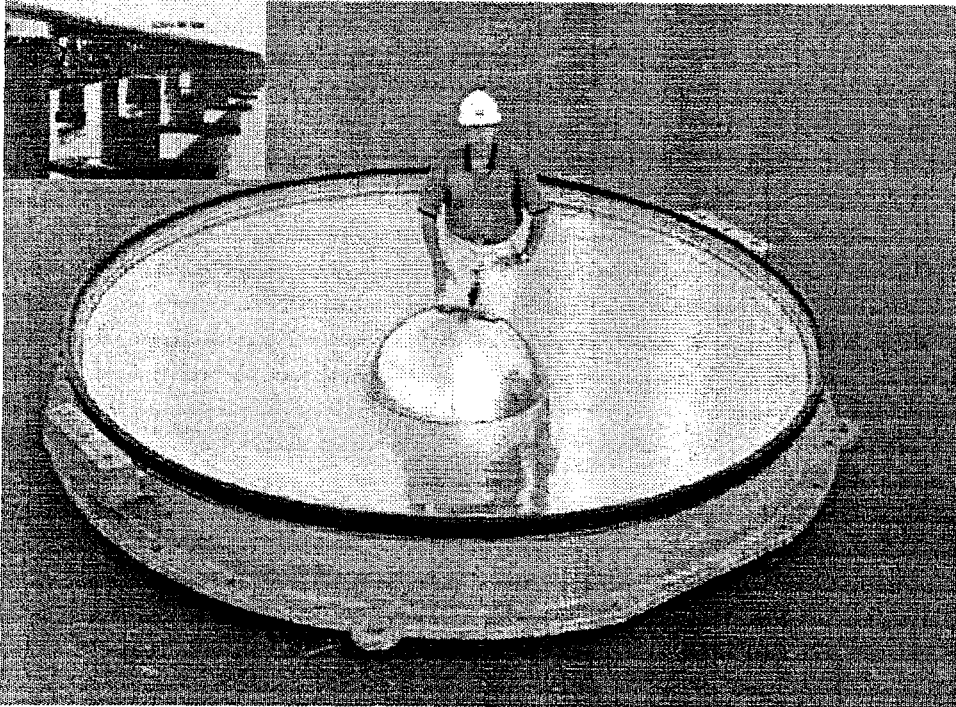
Şekil (3.21)'de Benicia-Martinez köprüsünde uygulanan izolatörlerden biri görülmektedir. 1998 yılında izolatör takviyelerinin yapıldığı köprü, günde ortalama 100.000 araç taşımaktadır. San Francisco'da "critical life line" içinde bulunan 3 köprüden biridir. 6.156 feet (yaklaşık 1.88 km) uzunluğundaki köprü 6 şeritlidir. Köprüyü taşıyan ayaklar betonarme, geri kalan elemanlar çeliktir. Şimdiye kadar üretilen en büyük boyutlarda sürtülmeli sarkaç modeli mesnetleri kullanılmıştır. Çapları yaklaşık olarak 3.96 m, ağırlıkları yaklaşık 50 ton'dur. Her bir sürtülmeli mesnedin, yatay yer değiştirme kapasiteleri 1.35 m olarak tasarlanmıştır.

Sürtülmeli sarkaç sistemi, elastomerik sistemlerde söz konusu avantajlarının hepsine sahip olduğu gibi kauçuk izolatörlerde dezavantaj sayılacak hususları içermemektedir. Elastomerik izolatörlerin özellikle kolonlara uygulanması sırasında, kauçuk bileşiminin yangına karşı korunması şarttır. Ayrıca hesapta kullanılan tasarım depreminden büyük bir depremin yapıya etkimesi zayıf da olsa her zaman var olan bir ihtimaldir. Bu yüzden kauçuk mesnetlerin yatay yer değiştirme yaparken kopması durumunda, Bölüm 5'de ayrıntılarıyla değinilecek olan üst yapıyı taşıyacak "back up" sistemi adı verilen emniyet mekanizmalarına

ihtiyaç duyulmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sisteminde “back up” sistemine gerek olmadığı gibi bileşenler çelik olduğu için ekstra bir yangın koruma önlemi alınması da şart değildir.



Şekil 3.20 Temel altına uygulanan sürtünmeli sarkaç modeli



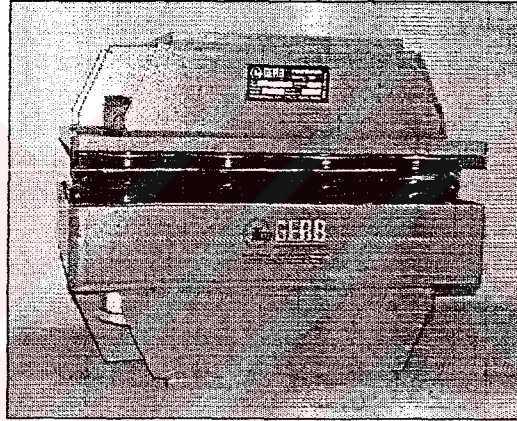
Şekil 3.21 Sürtünmeli sarkaç modeli mesnedinin açık hali

3.3. Diğer İzolasyon Sistemleri

Bu bölümde yaygın olarak kullanılmayan fakat dünyada uygulamalarına zaman zaman rastlanılan sistemler incelenecektir. Bu bölümde ele alınan modellerin dışında dünyada uygulanan başka modellerin de olması muhtemeldir.

3.3.1. Gerb Sistemi

Alman firması, "GERB" tarafından kullanılan sistemdir. Gerb sisteminin mesnedi (Şekil 3.22) hem yatayda hem de düşeyde esneklik özelliğine sahiptir. Düşey titreşim frekansı yaklaşık olarak yatay titreşim frekansının 3-5 katıdır.



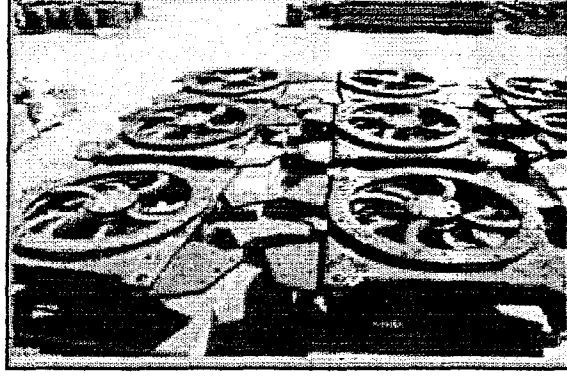
Şekil 3.22 Gerb sistemi mesnedi

Sistem genel olarak olarak helezoni yaylar ve visko-elastik söndürücülerle sönüm prensibine dayanır. Bu sistem test edilmiş ve Santa Monica, California iki çelik çerçeveli yapıda uygulanmıştır. Söz konusu yapılar 1994 Northridge depreminden fazlasıyla etkilenmiştir. Yapıların çalışmalarda depremde davranışı bilgisayarda simülize edilmiş ve sallama hareketi sırasında bu sistemin ivmelerin düşürülmesinde efektif olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ancak uygulanan yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışık olması durumunda faydalı olabileceği düşünülmüştür. Almanya'da bu sistemle izole edilmiş yapılar mevcuttur. Montpellier, Fransa'da ünlü orkestra binası "Le corum / L'auditorium Berlioz" orkestra binasının titreşim izolasyonları bu sistemle yapılmıştır.

3.3.2. Alga Sistemi

İtalyan firması “ALGA”nın ürettiği izolasyon modelleridir. Ülkemizde Bolu Viyadüklerinde de kullanılmıştır. Bu sistem ile ilgili geniş bilgi Bölüm 7’de verilecektir.



Şekil 3.23 Alga sistemi mesnetleri

3.3.3. Süper Kayıcı Sistem - (Super Sliding Bearing)

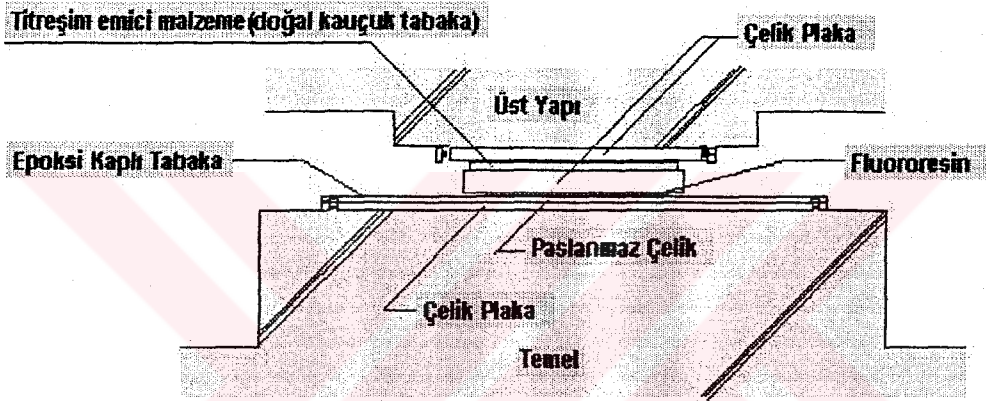
Bu sistem* 2000 yılında, Japon Takenaka ile NTN firmalarının ortak ürettiği bir modeldir. 2001 yılı itibarıyla, üretilen en son sismik izolasyon modelidir. Üretici firmalar bu sistemin kullanılması durumunda yapının doğal titreşim periyodunun 4-6 sn’ye kadar uzayabileceğini ve binaya transfer olan enerjinin 1/4 oranında azalabileceğini öngörmüşlerdir.

Sistem 2 parçadan ibarettir. Üstte kayıcı kısım yapıya, altta destekleyici kısım ise temele bağlıdır. İki kısım arasında sürtünme katsayısı çok düşük mertebede tutulmuştur. Deprem hareketi temeli kuvvetli şekilde salladığı durumlarda bile, sürtünen yüzeylerdeki düşük sürtünme katsayısı sebebiyle, üst yapıya kuvvetlerin transferi zor olmaktadır. Sürtünme katsayısı, üst ve alt kısımlara eklenen epoksi-reçine esaslı özel tabakalarla (“fluororesin layer” ve “resin coating layer”) $\mu = 0.02-0.04$ seviyelerine indirilmiştir. Yani bu sisteme göre, 100 kg bir kütleyi hareket ettirmek için 2-4 kg bir kuvvet uygulanması yeterlidir. Eğer yer hareketi yapıyı bir taraftan bir tarafa yer değiştirmeye zorlarsa bile sistemde beraber kullanılan kauçuk izolatörler ve diğer elemanlar sistemi orijinal pozisyonuna geri getirmektedir. Anlaşılacağı gibi bu modelde düşük sönümlü kauçuk izolatörler gibi tek başlarına kullanılmaları mümkün değildir.

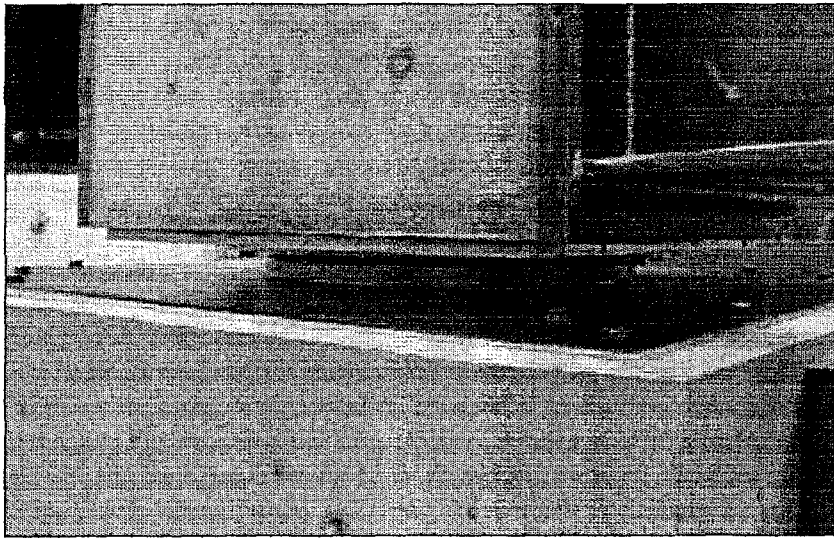
* http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/news_e/pr0003/m0003_04.htm’den alınmıştır.

Davranış ağırlıktan bağımsız olduğu için sadece az katlı yapılarda değil, orta katlı ve yüksek katlı yapılarda da kullanılan bir modeldir. Ofisler, fabrikalar, hastaneler bu tip izolasyon sistemi için uygun yapılardır.

Son olarak inceleyeceğimiz ayrıntı sistem elemanının kesitidir. Üst kısım 4 (fluororesin, çelik plaka, doğal kauçuk levha ve tekar çelik plaka) alt kısım ise 3 (epoksi kaplamalı tabaka - “resin coating layer”, paslanmaz çelik tabaka ve çelik plaka) tabakadan oluşmaktadır. (Şekil 3.24)



Şekil 3.24 Süper kayıcı mesnet kesidi



Şekil 3.25 Süper kayıcı mesnet görünüşü

4. İZOLATÖRLERİN MODELLENMESİ VE MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ

4.1. Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemlerin Modellenmesi

İzolasyon mesnedinin en önemli mekanik özelliği şüphesiz yatay rijitliğidir. Yatay rijitlik;

$$K_H = \frac{G A}{t_r} \quad (4.1)$$

dir. Burada, “G”; elastomerin kayma modülü, “A”; kesit alanı, “ t_r ” ise elastomerin toplam kalınlığıdır. İzolatörün maksimum yatay yer değiştirmesi “D”dir. D'nin belirlenmesi için bir diğer kabul ise bir boyutsuz katsayı olan “ γ ”dır. Yatay yönde boy değişim katsayısı, yatay yer değiştirmenin, toplam elastomer kalınlığı oranı olarak ifade edilmiştir;

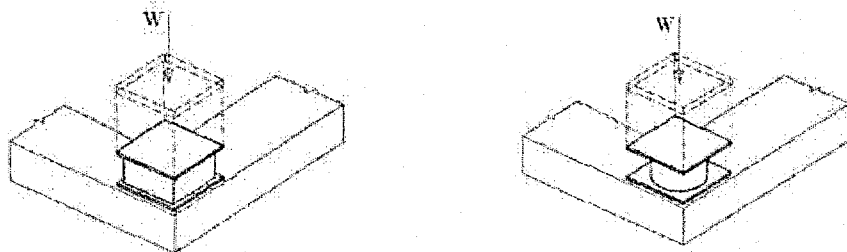
$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (4.2)$$

Elastomerin düşey rijitliği ise “ K_V ” ile ifade edilmektedir;

$$K_V = \frac{E_c A}{t_r} \quad (4.3)$$

“A”; kesit alanı, “ t_r ” ise elastomerin toplam kalınlığı “ E_c ” ise kauçuk çelik birleşiminin yükleme modülü (compression modulus) olarak tanımlanır. E_c modülü komposit bileşiminin aniden etkileyen belirli seviyede spesifik düşey yükler altında sıkıştırılması sonucunda elde edilen verilere göre hesaplanır. Aynı zamanda şekil faktörü “S” ile kontrol edilir.

Elastomer, kesit alanı olarak dairesel modellenemediği gibi kare kesitli olarak da modellenebilir. Yapının iki yönde titreşim periyodunun aynı olması için, seçilen kesit çift yönde simetrik ve aynı boyutta olmalıdır. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Elastomerik mesnetli izolatörlerin, kare kesitli ve dairesel boyutlandırılması

Genel olarak şekil faktörü S;

$$S = \frac{\text{Yüklenen alan}}{\text{Elastomer Kenar Alanı}} \quad (4.4)$$

olarak tanımlanabilir.

Bu durumda "R" yarıçaplı dairesel kesitli elastomerik izolator için şekil faktörü;

$$S = \frac{\pi R^2}{2\pi R t} = \frac{R}{2t} \quad (4.5)$$

"t" izolator içinde bulunan kauçuk tabakalarının bir tanesinin kalınlığıdır. Aynı şekilde bir kenarının uzunluğu "a" olan kare kesitli izolator için şekil faktörü;

$$S = \frac{a^2}{4a t} = \frac{a}{4t} \quad (4.6)$$

olarak hesaplanır.

Tam daire içindeki kauçuk tabakalar için yükleme modülü;

$$E_c = 6GS^2 \quad (4.7)$$

Boyutlama için kare kesitler kullanıldığında da yükleme modülü;

$$E_c = 6.73GS^2 \quad (4.8)$$

olarak elde edilir.

Eğer yüklenen kesidin içi boş dairesel bir kesitse tam dairesel kesit için verilmiş formül (4.7) bir katsayı "λ" ile çarpılır. "r_i" iç çap "r_d" ise dış çaptır.

$$\lambda = \frac{r_i^2 + r_d^2 - [(r_d^2 - r_i^2) / (\ln r_d/r_i)]}{(r_d - r_i)^2} \quad (4.9)$$

Şekil faktörü S'in büyük olduğu durumlarda, yükleme modülü E_c 'yi hesaplariken, hacimsel elastisite modülü "K"nın (Bulk Modulus) da dikkate alınması önerilmiştir;

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_c'} + \frac{1}{K} \quad (4.10)$$

Denklem düzenlendiğinde;

$$E_c = \frac{E_c' K}{E_c' + K}$$

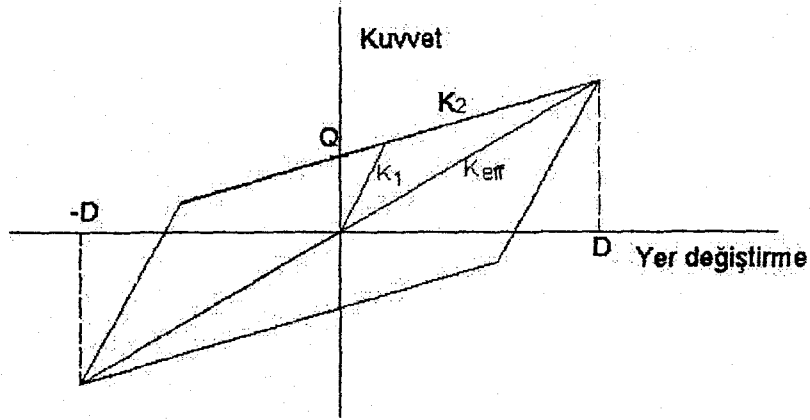
halini alır. Dairesel kesitli kauçuk mesnetler için yükleme modülü $E_c' = 6GS^2$ olarak hesaplanmıştır. (4.7) Bu değerle birlikte dairesel kesitler kullanıldığı zaman yükleme modülü;

$$E_c = \frac{6GS^2 K}{6GS^2 + K} \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

4.2. Kurşun Çekirdekli Sistemlerin Modellenmesi

Kurşun çekirdekli sistemde modelleme her zaman doğrusal olmayan elemanlarla, elemanların karakteristik 3 parametresi; " K_1 ", " K_2 " ve " Q " esas alınarak yapılır;



Şekil 4.2 Kurşun çekirdekli modelin dögüsel davranış eğrisi

“ K_1 ” elastik rijitlik olup hesaplaması zor bir büyüklüktür. Bu yüzden deneysel olarak elde edilen katsayı ile “ K_2 ” nin çarpımına eşit alınır. K_2 , akma sonrası rijitliğidir. (post yield stiffness). Plastik bölgedeki rijitlikde denebilir. Bu değer elastomerin kayma modülünden hesaplanabilir. “ Q ” ise karakteristik kuvvet olup eğrinin düşey eksenini kestiği değerdir. Bu değer tam olarak kurşunun akma gerilmesinden (10.3 MPa) hesaplanabilir.

Efektif rijitlik ise dögüsel eğrideki parametrelerin maksimumları alınarak hesaplanan rijitliktir. Sistemde yapılan maksimum yatay yer değiştirme “ D ”, akma yer değiştirmesi “ D_y ” den daha büyüktür.

$$K_{\text{eff}} = K_2 + Q / D \quad D > D_y \quad (4.12)$$

Akma yer değiştirmesi ;

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (4.13)$$

olarak ifade edilir.

Sistemde doğal titreşim frekansı “ ω ” ise;

$$\omega = \sqrt{K_{\text{eff}} / W} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu (g / D)} \quad (4.14)$$

şeklinde dir. “ W ” sistemde taşınan yük olmak üzere formüldeki katsayılar; $\mu = Q / W$ ve $\omega_0^2 = \sqrt{K_2 g / W}$ değerlerini almaktadır. Aynı zamanda efektif periyot da hesaplanmış olur. ($T_{\text{eff}} = 2\pi / \omega$)

Kurşun çekirdekli dögüsel davranış eğrisinin içinde kalan alan “ W_D ”, aynı zamanda kurşun başlıklı izolatörün bir tam dönümde dağıttığı enerjiye eşittir. Öyleyse, bir tam periyot zamanında dağıtılan enerji;

$$W_D = 4 Q (D - D_y) \quad (4.15)$$

haline gelir.

Sistemde genel olarak efektif sönüm;

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\text{Döngüsel eğrinin alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2} \quad (4.16)$$

Bulunan değerler yerine koyulduğu zaman kurşun çekirdekli modelde efektif sönüm;

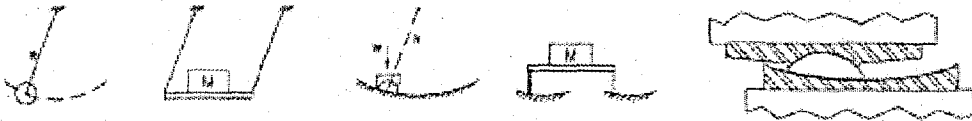
$$\beta_{\text{eff}} = \frac{4 Q (D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (4.17)$$

halini alır. Uygulamarda elastik rijitlik (K_1), plastik bölgedeki rijitliğin (K_2) yaklaşık 10 katı alınır. $K_1 = 10 K_2$ değişikliğinden sonra efektif sönüm;

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{4 Q (D - Q/9K_2)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (4.18)$$

4.3. Sürtünlü Sarkaç Sistemlerinin Modellenmesi

Sürtünlü sarkaç modeli, yapının deprem anında sarkaç hareketinde salınım yapan kütle misali davranarak hareket serbestliği kazandırılması esas olarak yapılan modellemedir. Her bir kolunun altına yerleştirilen mesnetler, çelik sürtünen yüzeylere verilen eğim sayesinde kütlenin sarkaç hareketi yapmasına neden olurlar. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Sürtünlü sarkaç modelinde esas alınan sarkaç davranışı

“W” yükü taşıyan, çelik yüzeylerde sürtünme katsayısı “ μ ” olan, maksimum yatay yer değiştirmesi “D” olan bir sürtünlü sarkaç mesnedinin karşıladığı kuvvet;

$$F = W / R + \mu W (\text{sgn } \dot{D}) \quad (4.19)$$

“R” iç bükey çelik sürtünme yüzeyinin eğriliği olmak üzere sistemde yatay rijitlik;

$$K_H = W / R \quad (4.20)$$

İzolasyonlu sistemin periyodu ise;

$$T_y = 2\pi \sqrt{R / g} \quad (4.21)$$

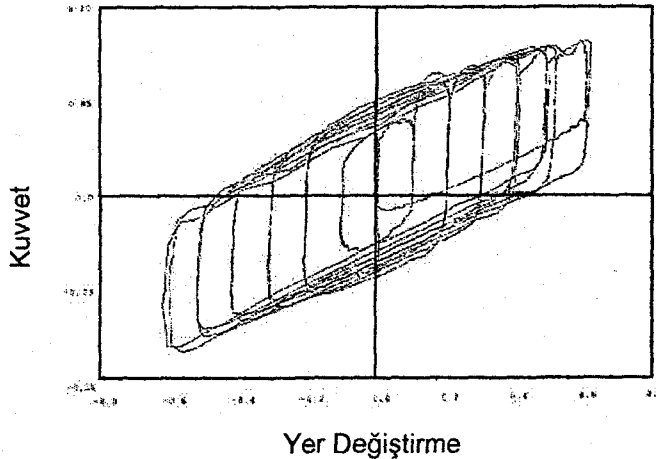
olarak elde edilir.

(4.21) formülü yorumlanırsa şu sonuçlar elde edilir; Yerçekimi ivmesi (g) sabit olduğuna göre titreşim hareketinin periyodu, sürtünen yüzeydeki eğrinin, R eğrilik yarı çapına bağlıdır. İzolasyon yapılacak yapının yeni titreşim periyodunun tayini, eğrisel yüzeye verilecek olan eğimle belirlenir. Titreşim hareketinin periyodu, salınım yapan kütlelerin bulunduğu noktaya, 1 tam salınım hareketi yaptıktan sonra dönene kadar geçen süredir. Eğrilik yarıçapı R'nin sonsuz olması demek, sürtünen yüzeylerin düz olması anlamına gelir. Bu durumda T'de sonsuz olur ki, bu da sarkaç hareketinde giden kütlelerin aynı noktaya geri dönmemesi anlamına gelir. Yani hareket de bir titreşim hareketi olmaz.

Sistemde efektif rijitlik ise,

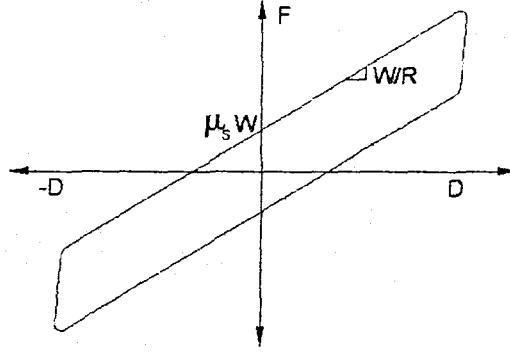
$$K_{\text{eff}} = W / R + \mu W / D \quad (4.22)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 4.4 Sürtülmeli sarkaç modelinin dögüsel davranış eğrisi

Modelin gerçək davranış eğrisi Şekil (4.4)'de görülmektedir. Hesaplarda ise idealize edilmiş hali esas alınır. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Sürtünmeli sarkaç modelinde idealize edilmiş davranış

Sistemde efektif sönüm;

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\text{Döngüsel eğrinin alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2} \quad \text{idi. (4.16)}$$

Eğrinin içinde kalan alan (Şekil 4.5); $4 \mu W D$ olduğuna göre;

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{4 \mu W D}{2\pi (W/R + \mu W/D) D^2} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{(D/R) + \mu} \quad (4.23)$$

haline gelir.

Sistemin düşey yönde yaptığı yer değiştirme ise (4.24)'de ki gibi hesaplanır;

$$\delta_v = R [1 - \cos (\text{arc sin } D/R)] \quad (4.24)$$

5. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMA DETAYLARI

Sismik izolasyon uygulanacak olan yapıda, sağlanması şart olan bir takım hususlar mevcuttur. Bilindiği gibi izolasyon işlemi, yapıya yatayda belirli oranda hareket serbestliği kazandırmaktadır. Sağlanması gereken şartların en önemlisi, yapının dört tarafında en az izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar mesafe olması gerekmektedir. Eğer izolatörler mevcut yapıya uygulanacaksa (Bölüm 6), bu şart sağlanmadan yapılacak işlemlerin hiçbir katkısı olamaz. Resimdeki örnek (Şekil 5.1), ülkemizde uygulamasına sıkça rastlanan yapılardan birdir. Söz konusu yapının doğu batı yönünde deplasman yapması mümkün olmadığı için yapıya sismik izolasyon yapılması söz konusu değildir.



Şekil 5.1 Deplasman mesafesi olmayan yapı

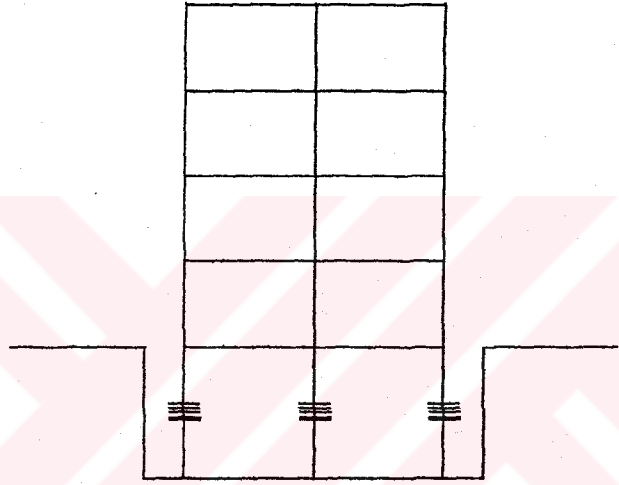
İzolasyon yapılacak yapıda, deplasman boşluğu (moat) şartı sağlandıktan sonra, üzerinde durulacak ikinci konu ise, yapının tesisat bağlantılarının düzenlenmesi işidir. Yer hareketi sırasında, yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elamanların, binanın yaptığı yer değiştirme sonucunda kopmaması veya kırılmaması gerekir. Bu amaçla tesisat elemanlarının hepsinin en az bırakılan deplasman boşluğu kadar yer değiştirme veya esneme kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Söz konusu değiştirilmesi gereken tesisatlar, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğal gaz varsa asansör tertibatı olarak özetlenebilir. Bu konu hakkında daha geniş ayrıntı ve detaylar Ek-2 ve Ek-3'de mevcuttur. Söz konusu şartlar sağlandıktan sonra izolatörlerin tipi ve uygulanacakları yer seçilir.

5.1. İzolatörlerin Yeri

Bu bölümde izolatörlerin uygulama yerleri hakkında, avantajlar ve dezavantajlar ele alınacaktır.

5.1.1. İzolatörlerin Bodrum Kat Kolonlarının Ortasına Yerleştirilme Durumu

Özellikle kayıcı ve elastomerik tipli izolatörlerin bir arada kullanıldığı sistemlerde (bkz. Tass sistem, Böl. 3.2.3), düşey yüklerin genel olarak kayıcı izolatörlerle taşındığı, elastomerik tipteki izolatörlerin daha çok yatay hareket sırasında dengeleyici, geri getirici yani merkezleyici olarak modellendirildiği sistemlerde elastomerik izolatörlerin kat ortasına yerleştirildiği uygulamalara rastlamak mümkündür. Söz konusu uygulamayla ilgili detaylar incelediğimiz konularımız arasında da mevcuttur. (Bölüm 6.1)



Şekil 5.2 Bodrum kat kolonlarının ortasında izolatörlerin yerleşim planı

5.1.1.1. Avantajlar

- İzolatörler temelden bağımsızdır.
- Bodrum kat kolonları iki parça oldukları için çift eğrilik derecesinde esneme yapabilirler. Bu yüzden kolonların aşırı rijit olmasına gerek yoktur.

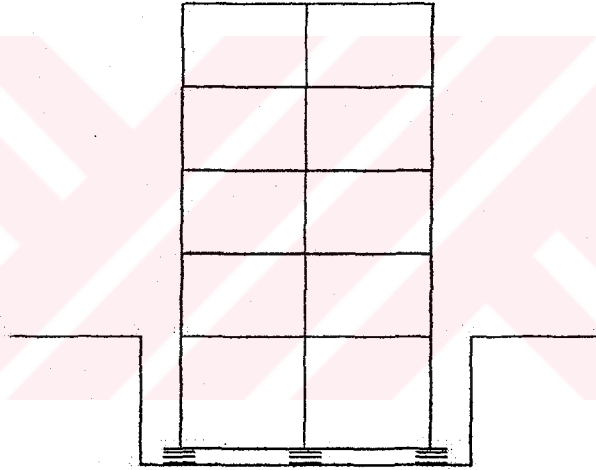
5.1.1.2. Dezavantajlar

- Orta katta deplasmanlara yer sağlamak için asansör ve giriş merdivenlerinde özel ayarlamalar yapılmalıdır.

- İzolasyon seviyesinde izolatörlerin birleştirilmesi mümkün değildir. Rijit diyafram hareketinin sağlanmaması ihtimali vardır.
- Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa, düşey yükler için emniyet sistemlerinin* birleşimi zordur. (DIS,1985)

5.1.2. İzolatörlerin Bodrum Katta Temellerin Altına Yerleştirilme Durumu

En etkili izolasyon şekli olan izolatörlerin temellerin altına yerleştirilmesi, yapının kısmen değil bütünüyle izole edilmesini sağlamaktadır. İzolasyon, eğer yapı ilk inşa edilirken uygulanırsa maliyetler düşüktür. Mevcut binada temel altına izolatör yerleştirilmesi, yüksek maliyetli bir yöntem olduğu için çoğu zaman üst yapının kısmen izole edildiği uygulamalar tercih edilmektedir.



Şekil 5.3 İzolatörlerin bodrum katta temellerin altında yerleşim planı

5.1.2.1. Avantajlar

- Asansör ve merdivenler için özel ayırma detaylarına gerek yoktur.
- İzolatörler kolonlardan bağımsız olmadıkları için bu durumda kolonlarda yangın önlemi alınması ve kaplanması gerekmez.
- İzolasyon seviyesi rijit diyaframla birleştirilebilir.
- Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa, düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi kolaydır.

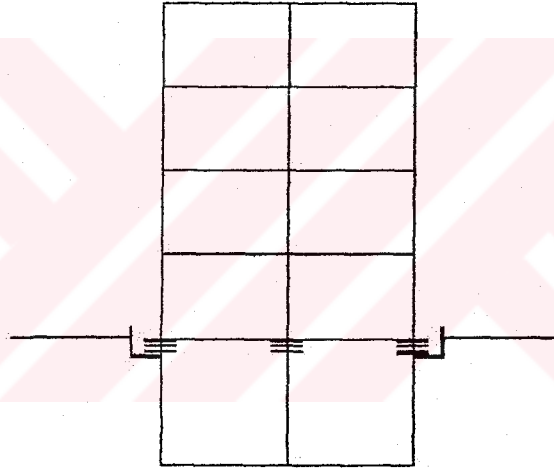
* Back-up systems

5.1.2.2. Dezavantajlar

- Uygulama maliyeti daha fazladır .
- Yapının zemin altında kalan kısmında, yatay deplasman mesafesinin sağlanması için her yönde zemin tutucu duvarlara* ihtiyaç duyulur.(DIS, 1985)

5.1.3. İzolatörlerin Bodrum Kat Kolonlarının Üstüne Yerleştirilme Durumu

Bu sistem genelde bodrum katta hassas ve önemli ekipmanlar bulunmaması durumunda, mevcut binalarda izolasyon uygulama maliyetinin düşük olması açısından tercih edilen kısmi izolasyon yöntemidir. İzolasyon düzlemi, bodrum ile üst yapıyı iki bağımsız parçaya ayırmaktadır.



Şekil 5.4 İzolatörlerin bodrum kat kolonlarının üstünde yerleşim planı

5.1.3.1. Avantajlar

- İzolatörler temelden bağımsızdır.
- Uygulama maliyeti düşüktür.
- İzolasyon seviyesi rijit diyaframla birleştirilebilir.
- Düşey yükler için emniyet sistemi kolonlar tarafından sağlanır.

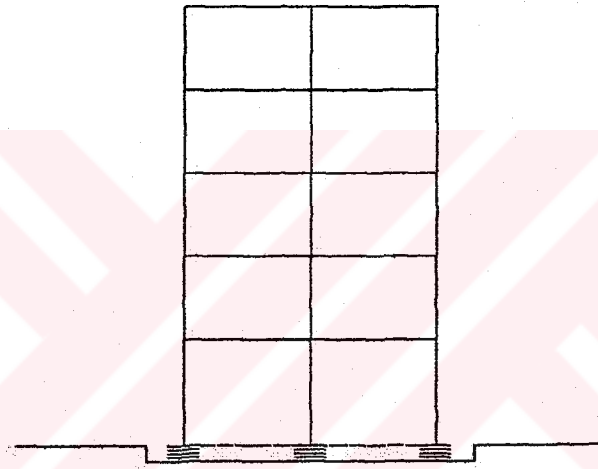
* Retaining walls

5.1.3.2. Dezavantajlar

- İzolasyon düzlemi asansör boşluğunu ikiye ayırır. İki ayrı asansör düzeni gereklidir.
- Asansörler gibi yapının iç merdiveni içinde özel iyileştirmeler uygulanmalıdır. (DIS,1985)

5.1.4. İzolatörlerin 1. Kat Kolonlarının Altına Yerleştirilme Durumu

Bodrum kat bulunmayan yapılarda uygulanan izolasyon modelidir.



Şekil 5.5 İzolatörlerin 1. kat kolonlarının altında yerleşim planı

5.1.4.1. Avantajlar

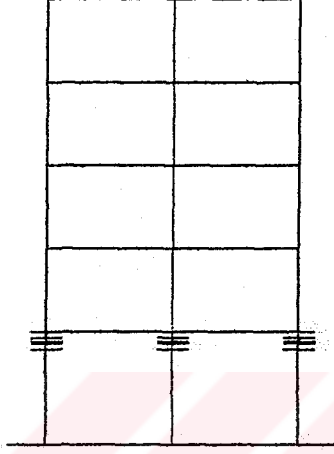
- Uygulama maliyeti düşüktür.
- Yapının izolasyonla yerden ayrılması kolaydır.
- Kolonların altı rijit diyaframla birleştirilebilir.
- Düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi kolaydır.

5.1.4.2. Dezavantajlar

- Asansör (varsa) çukuru gereklidir. (DIS,1985)

5.1.5. İzolatörlerin 1. Kat Kolonlarının Üstüne Yerleştirilme Durumu

Kısmi izolasyon modellerinden biri de, izolatörlerin 1. kat kolonlarının üstüne yerleştirilmesidir. Bu sistemde mevcut yapı için sonradan izolasyon uygulaması yapıldığında tercih edilen kısmi izolasyon türüdür. Söz konusu uygulamayla ilgili detaylar Ek (3.1)'de mevcuttur.



Şekil 5.6 İzolatörlerin 1.kat kolonlarının üstünde yerleşim planı

5.1.5.1. Avantajlar

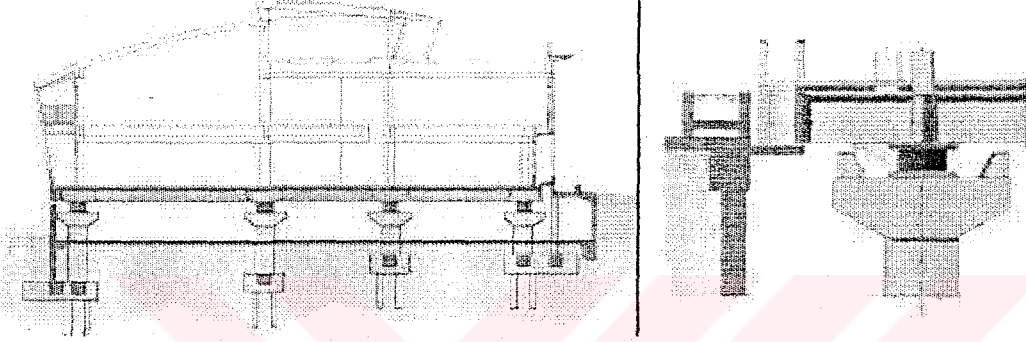
- Uygulama maliyeti düşüktür.
- Eğer birinci kat park amaçlı kullanılıyorsa ekonomiktir.
- Düşey yükler için emniyet sistemi kolonlar tarafından sağlanır.

5.1.5.2. Dezavantajlar

- Merdiven ve asansörler için özel iyileştirme detayları gereklidir.
- Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa kolonlarda yangın önlemi alınması ve kolonların kaplanması gereklidir
- Düşey servis bağlantıları için özel detaylar uygulanmalıdır. (DIS,1985)

5.2. Emniyet Servisleri

Kauçuk izolatörlü sistemlerde, herhangi bir nedenden dolayı izolatörlerin düşey yüklere göre taşıyıcı görevlerini yapamamaları durumu söz konusu olursa, sistemde düşeyde taşıyıcı görev üstlenecek alternatif emniyet mekanizmalarına ihtiyaç duyulur. Bu sistemlere “back-up system” adı verilmektedir. Resimdeki kesit* (Şekil 5.7) kauçuk izolatörlerle takviye edilmiş bir uygulama olup detayda bu sistemin ayrıntılı hali görülmektedir. Şekil (5.9) back-up sistemi ile ilgili ayrıntılı detaylar içermektedir.



Şekil 5.7 Elastomerik izolatörlerde back-up sistemi

Sistemde elastomerik izolatörler kullanılıyorsa ve bu kullanılan izolatörler temel altında değil de, kolonlarda ise izolatörlerin mekanik olarak tasarlanan davranışlarını sürdürmesi için mutlak surette yangın önlemi alınması şarttır. (Bölüm 6- Şekil (6.8)'de mevcut binada sonradan izolatör takviyesi yapılan kolonlarda, yangın önlemi detayı bulunmaktadır.)



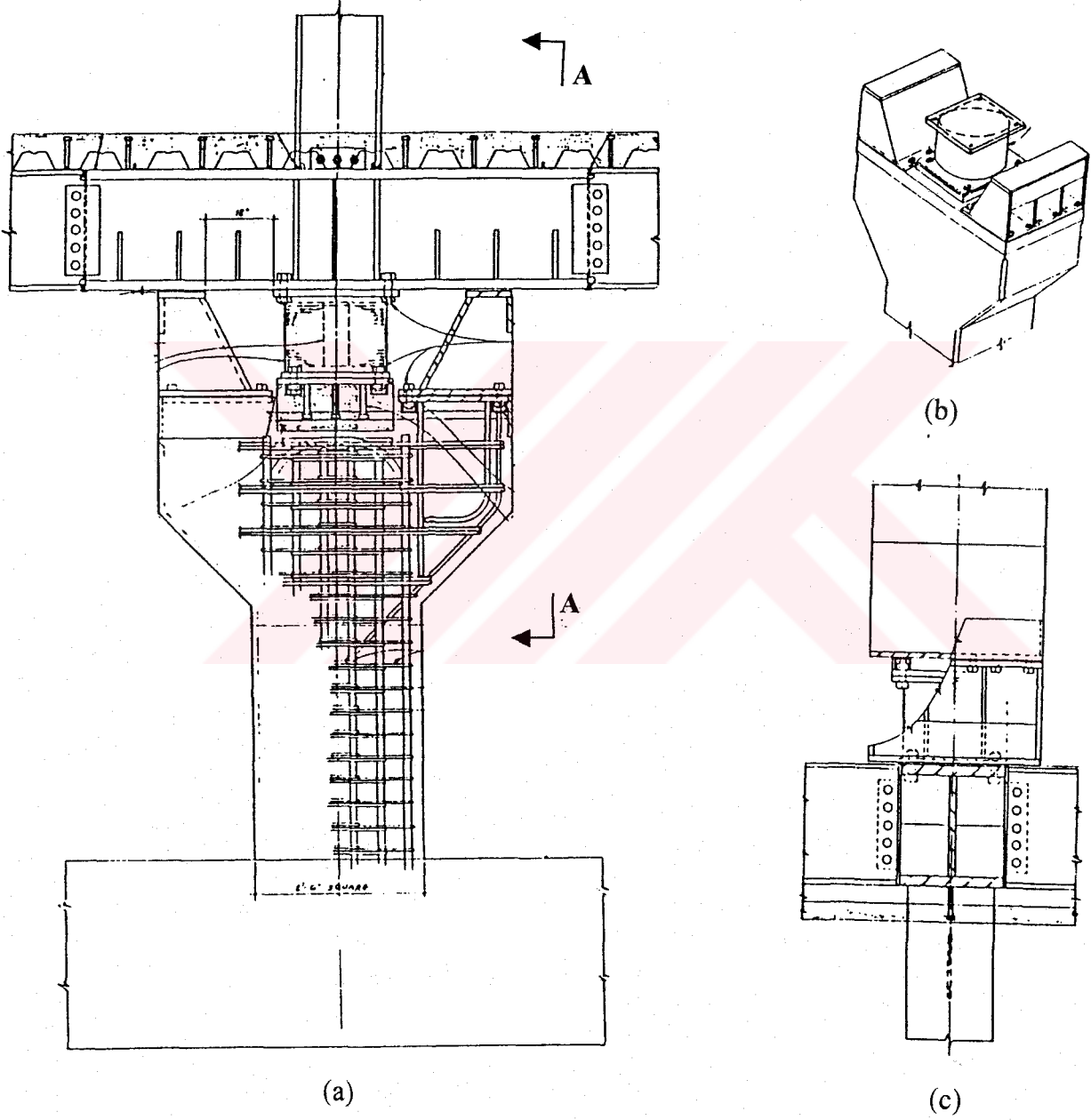
Şekil 5.8 Elastomerik izolatörlerde yangın önlemi**

* Emergency Communications Center, San Francisco, California

** http://www.siecorp.com/lfe/Projects/Seismic_Isolation/body_projects.html 'den alınmıştır.

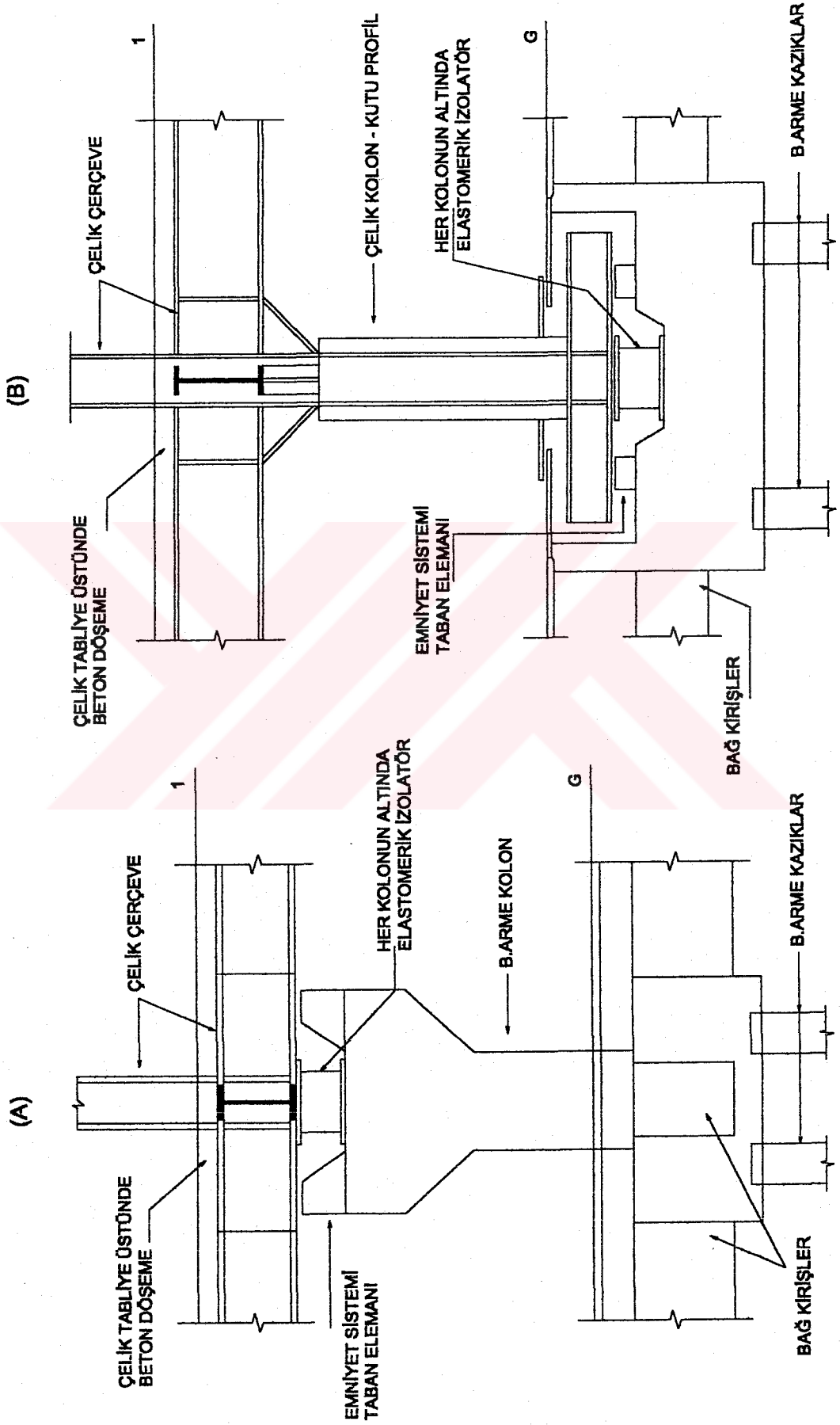
Amitie Shinosaka binası, Osaka'da 1998'de sismik izolasyon yapılmış bir binadır. İzolasyon; 8 katlı yapıda 1. kat kolonlarının üstüne yerleştirilmiş 12 adet kurşun çekirdekli izolatör ile sağlanmıştır. Alınan yangın önlemi de şekil 5.8'de görülmektedir.

Şekil (5.9) ve Şekil (5.10)'da, elastomerik izolatörler için uygulanan emniyet servisleri için daha ayrıntılı detaylar mevcuttur. (DIS, 1985)



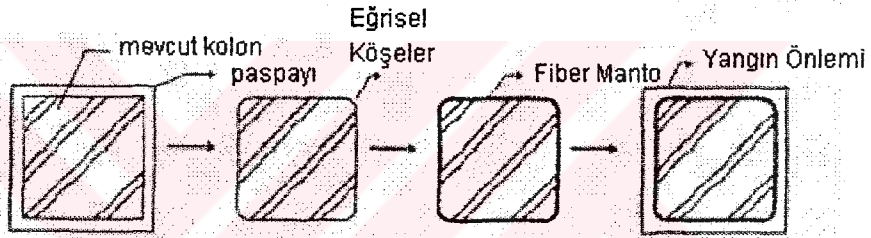
Şekil 5.9 Elastomerik mesnetli sistemlerde "back-up" sistemi detayı

a) genel b) izometrik c) A-A kesidi

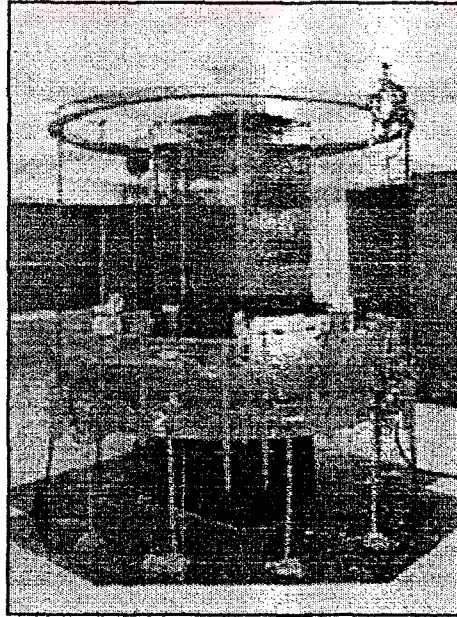


Uygulamalarına rastlanan bir diğer yöntem ise "Karbon fiber" yöntemidir. Bu sistem, Japonya'da özellikle Kobe depreminden sonra sık kullanılan bir çelik mantolama tekniğidir. Sismik izolasyonun kolonlara uygulandığı durumlarda, izolatörleri taşıyan kolonların duktilitesini artırmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Fiber karbon malzemenin, zarar görmüş kolonlarda iyileştirme içinde kullanılması aynı zamanda iyi bir iyileştirme metodudur. Bu yöntemin uygulanması için izlenecek yol şöyledir; güçlendirme yapılacak kolonun paspayı tabakası sökülür. Daha sonra kalan kolon kesidinin köşeleri yuvarlaklaştırılır. Karbon fiber elemanlar kolonun çevresinde sık bir biçimde sarıldıktan sonra ısıya duyarlı bu malzemenin yangından etkilenmemesi için önlem alınır. (Nakano, 1997)

Şekil (5.11)'de yöntemin uygulama prosedürü ve uygulanmakta olan bir kolonun detayı görülmektedir.



(a)



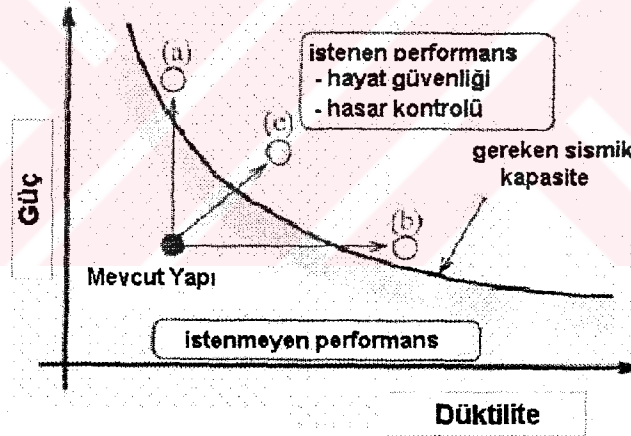
(b)

Şekil 5.11 Kolonlarda karbon fiberle güçlendirme
a) aşamalar b) uygulama detayı (Nakano,1997)

6. MEVCUT YAPILARDA SİSMİK İYİLEŞTİRME İÇİN TABAN İZOLASYONU UYGULANMASI

Mevcut yapıda sismik iyileştirme (retrofit), yapının sismik performansını artırmak için izlenen bir stratejidir. İyileştirme yapılacak yapının mutlaka hasar görmüş olması şart değildir. Sismik iyileştirme için bütün dünyada değişik teknikler uygulanmaktadır. Yapısal sisteme sonradan eklenen ve kendi içinde gruplara ayrılan sönümlendiriciler, perde takviyeleri, kesit büyütme mantoları, temel güçlendirme çalışmaları, hasar görmüş elemanların onarımı ve tabii ki izolatör takviyeleri sismik iyileştirmenin başlıca esaslarıdır. Bütün uygulamaların nihayetinde amacı aynıdır;

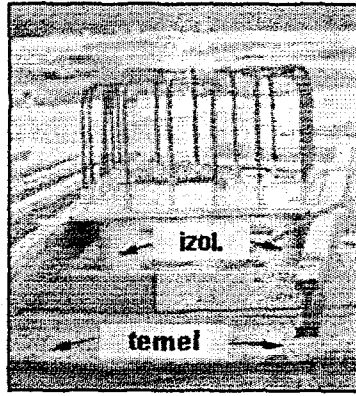
- (a) Yapının genel olarak gücünü artırmak
- (b) Yapının deformasyon kapasitesini artırmak
- (c) (a) ve (b)'nin birleşimi



Şekil 6.1 Sismik iyileştirmenin temel esası (Nakano, 1997)

Sismik iyileştirmede yöntemlerden biri olan izolatör takviyesi, konumuza yakınlığı dolayısıyla incelenmesi gereken durumlardan biridir. Konunun, takviye elemanlarının yerine göre iki bölümde incelenmesi uygundur.

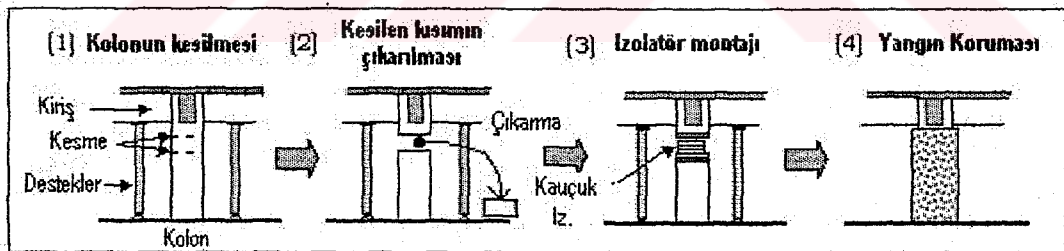
İzolatörlü yapı modelinde izolatörlerin sisteme sonradan yerleştirilmesi, yapı inşaat halindeyken konulmasından daha zordur. Şekil (6.2)'de inşa halinde bir yapının elastomerik izolatörler eklenirken durumu görülmektedir. Üst yapının kolonları, monte edilen izolatörün üstünden devam edecektir. Bu durumda, uygulama için ekstra işçilik ve ekipman gerekmemektedir.



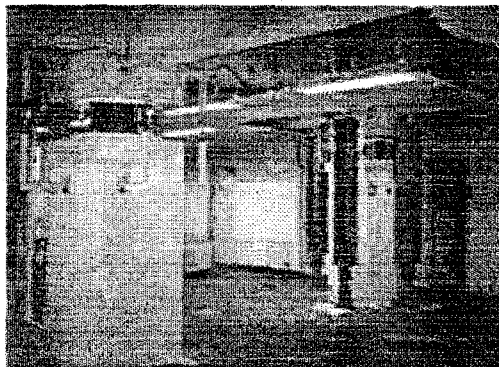
Şekil 6.2 Yapı inşaat halindeyken izolator montajı

6.1. Mevcut Yapıda Kolonlara İzolator Yerleştirilmesi

Mevcut yapıda kolonlara izolator eklenmesi için izlenecek yol farklıdır. Öncelikle ekleme yapılacak kolonları askıya alınır. Bu kolonların taşıdıkları yükler, kurulan geçici desteklerle taşınır. Daha sonra kolonda izolator boşluğu açılır. Bu boşluk, kolonun üstünde olduğu gibi ortasında da olabilir. Açılan boşluğa izolator yerleştirilir. İzolatoru taşıyan kolon gerekiyorsa kuvvetlendirilir. Eğer kullanılan izolator elastomerikse yangın karşı önlem alınır. Bütün bu işlemler, kriko ile lastik değiştirmeye benzetilebilir.

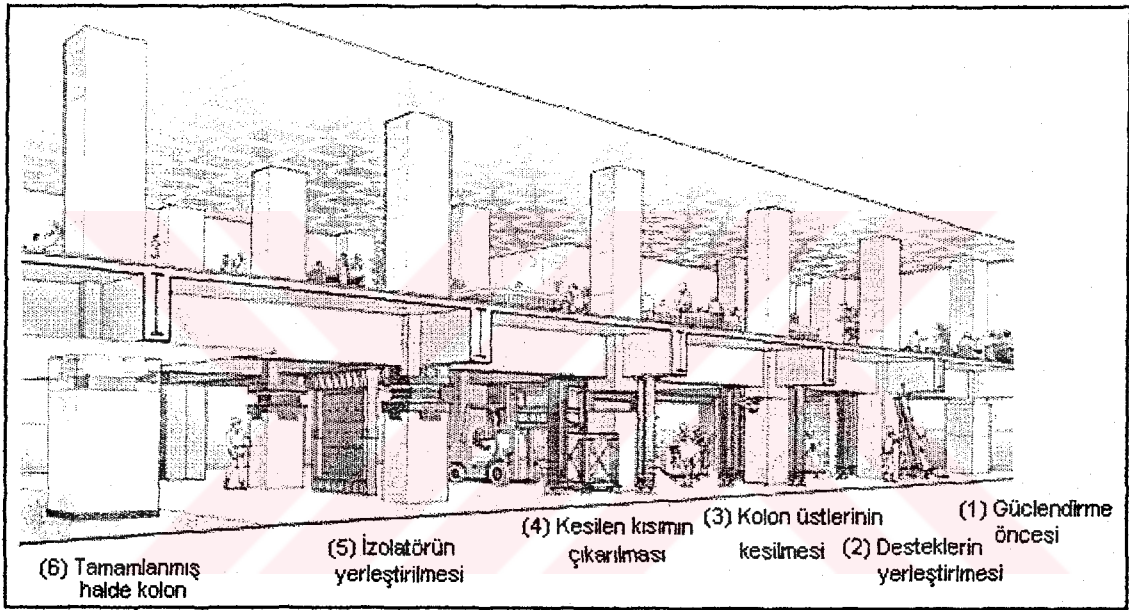


Şekil 6.3 Mevcut kolona izolator montaj prosedürü (Takenaka corp, 1999)



Şekil 6.4 Kolonlarda montaj işleminin tamamlanmış durumu

Bu konu hakkında Japonya'nın en büyük firması olan "Takenaka" en son teknolojiyi yansıtan örnekler vermiştir. Firma, 1995 Kobe depreminden sonra tedbirlerin hat safhada olduğu bir ortamda özellikle son 3 yılda önemli çalışmalara imza atmıştır. "Himeji Shinkin Bank" (Şekil 6.5) bu konuda yapılan güzel bir uygulama örneğidir. Mayıs 2000 yılında sismik iyileştirme yapılan bina Himeji City'de çelik betonarme karışımı çerçeve sistemli 1.806,03 m² alanında, biri bodrum kat olmak üzere 9 katlı bir yapıdır. Yapının 1. katının 34 kolonundan 28'i bu yöntemle, her biri 50 cm kalınlığında olmak üzere kesilmiş olup, elastomerik izolatörler yerleştirildikten sonra kalan, 16 kolon çelik plakalarla mantolanmıştır. Manto kalınlıkları 9-22 mm'dir.



Şekil 6.5 Himeji Shinkin Bankda kolonlara izolatör takviyesinin aşamaları*

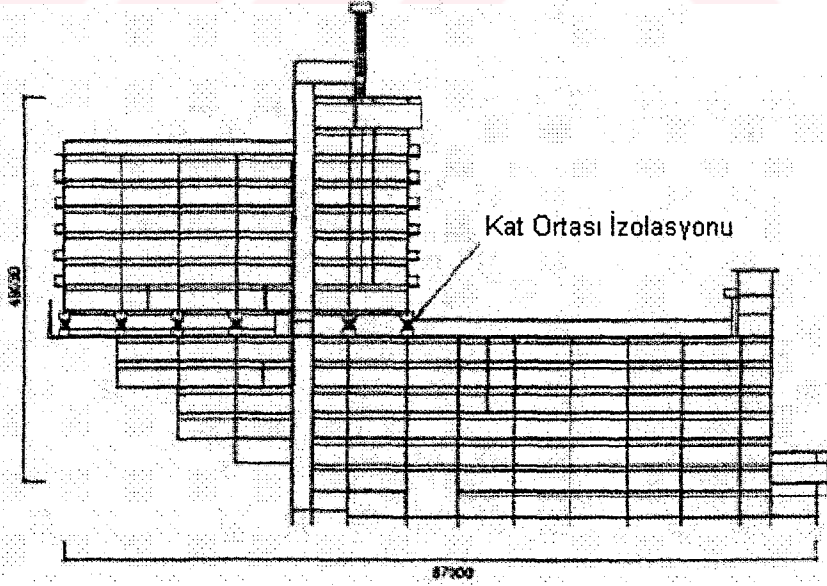
Tokyo Üniversitesi'nden Y.Nakano (1997)'nin Kobe depreminden sonra "Japonya'da mevcut betonarme binalara son zamanlarda uygulanan iyileştirme teknikleri" başlığı altında yayımladığı raporu, önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Şekil (6.6)'da ki otel binası, Nakano'nun çalışmasında yer alan örnek uygulamalardan biridir. Söz konusu yapı 2 parçadan oluşmaktadır. Asıl bölüm 16 kattan, doğu kanadı ise 7 kat olarak tasarlanmıştır. Büyük parça "orta kat izolasyonu" ile, küçük parça ise klasik taban izolasyonu tekniği ile yalıtılmıştır. Detaylar arasında 16 katlı olan esas yapının kesiti de mevcuttur. (Şekil 6.7)

* http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/news_e/pr9911/m9911_01.htmden alınmıştır.



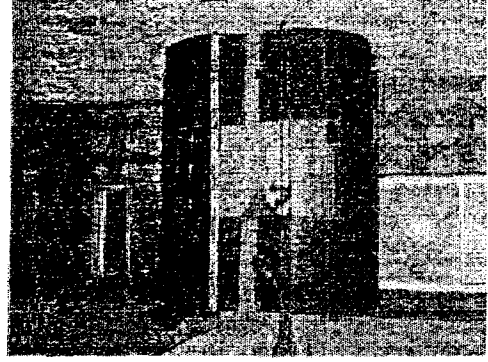
Şekil 6.6 Kat ortası izolasyonu yapılmış yapı



Şekil 6.7 Kat ortası izolasyonu yapılmış yapının kesidi



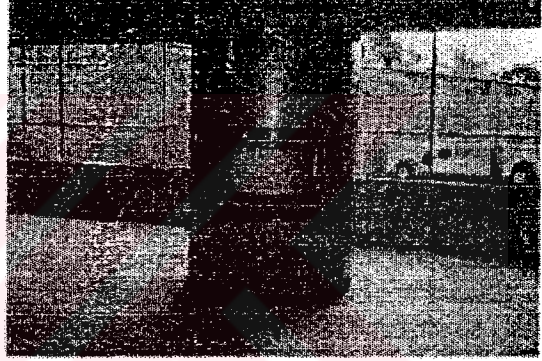
(1) Kolon dış yüzünün sökülmesi



(2) Geçici desteklerin yerleştirilmesi



(3) Kolon ortasının kesilmesi



4) İzolatörlerin yerleştirilmesi



(5) Desteklerin çıkarılması



(6) Yangın önlemi

Şekil 6.8 Kolon ortası izolasyonu uygulama detayları (Nakano,1997)

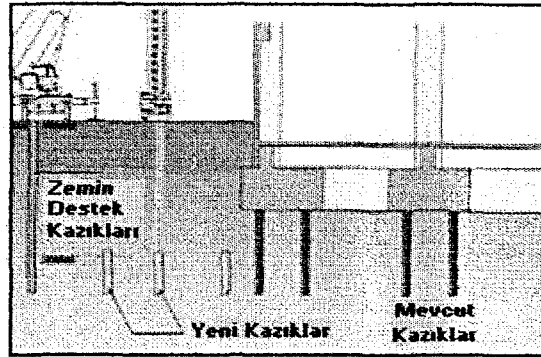
Kolon ortası izolasyonu (Şekil 6.8), şematik olarak verilen (Şekil 6.3) mevcut kolonlara izolatör montaj prosedürünün uygulamasının hemen hemen aynıdır. İki uygulama arasındaki farklar ise; kolonlardan çıkarılan kesitler üstte değil ortadadır.

6.2. Mevcut Yapıda Temellerin Altına İzolatör Yerleştirilmesi

Yapı temellerinin altına sonradan izolatör yerleştirilmesi, zaman, maliyet ve işçilik açısından şüphesiz en zahmetli yöntemdir. Fikir vermesi açısından bu yöntemin uygulandığı bir yapı ele alınmıştır. En son tekniklerin kullanıldığı ankastre tabanlı yapı, yaklaşık 2.000 ton ağırlığında 13.6 m yüksekliğindedir. Senriyama-Higashi'da bir okulun laboratuvar bölümü olan yapı 16.4 x 29.1 m'lik alana inşa edilmiş betonarme bir yapıdır. Japon Takenaka firması tarafından yürütülen çalışmada, yapının temelini altına yerleştirilecek izolatörler için, mevcut yapı özel tekniklerle bulunduğu ilk konumundan 8.28 m batıya hareket ettirilmiştir. Bu işlem toplam 15 saat sürmüş olup 2 günde tamamlanmıştır. Yapının temeliyle beraber hareket ettirilmesi Japonya'da ilk defa uygulanan bir proje değildir. Ancak alınan bu mesafe, Japonya'da kullanılmaya devam edilen bir yapının katettiği maksimum mesafedir. İzolasyon teknikleri için izlenecek yol* adım adım aşağıda gösterilmektedir.

6.2.1. Zemin Destek Kazıkların Yerleştirilmesi

İlk olarak yapının hareket ettirileceği bölgenin kazılması gereklidir. Ancak kazılan bölgenin yanındaki zeminin göçmesini önlemek için zemin destekleyici H şeklindeki çelik kazıklar, zemine ankre edilir. Yapının hareketini tamamlandıktan sonra duracağı yer olan kazı bölgesine ekstra 44 adet yeni kazık çakılmıştır. (Şekil 6.9a)

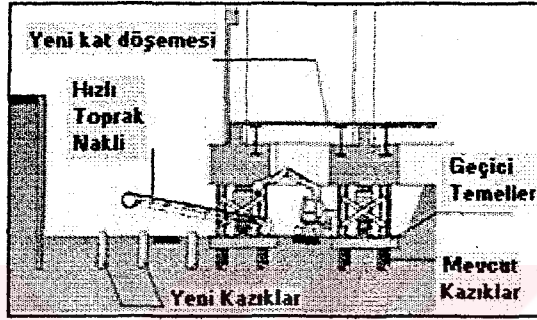


Şekil 6.9a Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

* http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/news_e/pr0011/m0011_05.htm'den alınmıştır.

6.2.2. Derin Kazı İşlemi

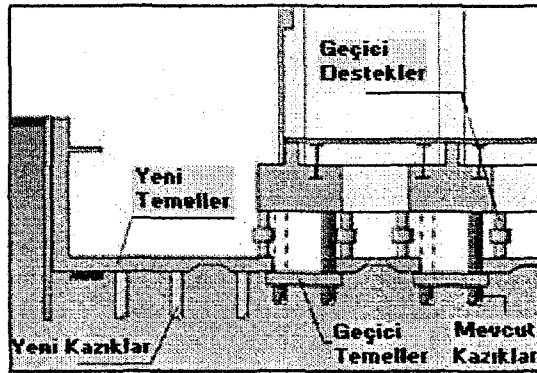
Kazı işlemi yapıldıktan sonra yapının temeller üzerindeki mevcut döşemesi tamamen kaldırılır. Yıkılan döşemenin yerine çelik kirişlerle takviyeli yeni yer döşemesi dökülür. Amaç itilecek olan sistemde rijit diafram hareketinin sağlanmasını sağlamaktır. Eski döşemenin yerine yapılan çelik kirişlerle takviyeli döşeme yapıda deformasyon olmadan itilmesini sağlar. Kazı işlemi yapılırken aynı anda, yapı temelini altında kalacak olan mevcut ve yeni kazıklar güçlendirilir. Eski temelin altına geçici temeller eklenir. Aynı zamanda mevcut temelin altındaki kazıklar çapraz elemanlar yardımıyla kuvvetlendirilir. (Şekil 6.9b)



Şekil 6.9b Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

6.2.3. Mevcut Kazıkların Kesilmesi ve Yeni Temelin İnşası

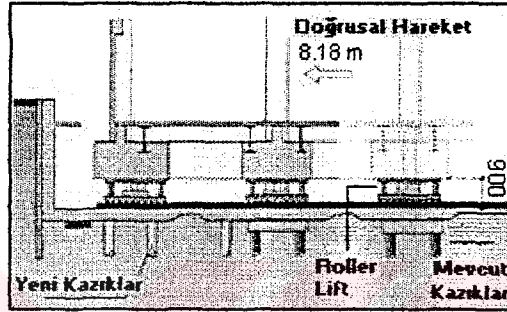
Bu aşamada mevcut kazıklar dışında kalan bütün alanda, yeni temel inşa edilecektir. Mevcut temellerin altına geçici destekler yerleştirilir. Desteklerin yerleştirilmesinden sonra, mevcut kazıklar kesilir. Daha sonra mevcut kazıkların etrafına da yeni temeller inşa edilir. (Şekil 6.9c)



Şekil 6.9c Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

6.2.4. Yapının Hareket Ettirilmesi

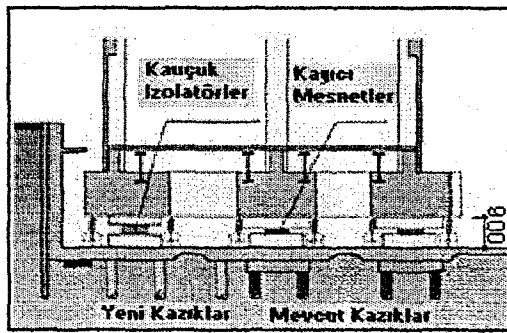
Geçici temeller, “roller lift” adı verilen, üstündeki kütleyle beraber hareket edebilen aletler kurulduktan sonra kaldırılır. 50 ton kuvvetle itebilen hidrolik krikolar, bütün yapıyı yatay harekete zorlarlar. Hidrolik iticiler, her bir uygulama periyodunda yapıyı 20 cm hareket ettirmektedirler. Bu işlem her seferinde yaklaşık 5 dakika sürmektedir. Binanın her 20 cm’lik hareketinden sonra aynı işlem tekrarlanır. Kat edilmesi gereken mesafe yaklaşık 8.20 m olduğuna göre, sistem 41 defa kendini tekrarlayacaktır. (Şekil 6.9d)



Şekil 6.9d Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

6.2.5. Sismik İzolasyonun Uygulanması

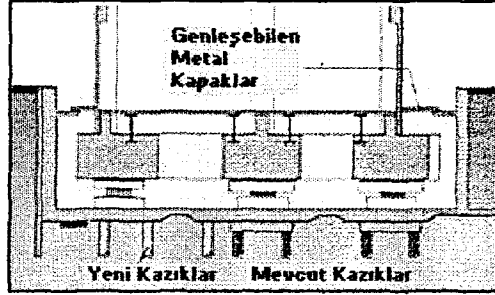
Yapı son konumunu aldığı zaman, tekrar geçici destekler oluşturulur ve hareket mekanizmaları çıkarılır. Kauçuk izolatörler (çapı 600 mm, 7adet), kayıcı mesnetli izolatörler (çapı 450-30 mm, 11 adet) ve yağlı sönümlendiriciler (oil dampers, 4 adet) mevcut temellerin altına eklenir. (Şekil 6.9e)



Şekil 6.9e Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

6.2.6. Son Aşama

Kalan, zemin tutucu duvarlar tamamlanır ve binanın bütün çevresi genişlebilen metal plakalarla kaplanır. Bu aynı zamanda son aşamadır. (Şekil 6.9f)



Şekil 6.9f Mevcut yapı temellerine izolatör eklenmesi

(Takenaka Corp., 2000)

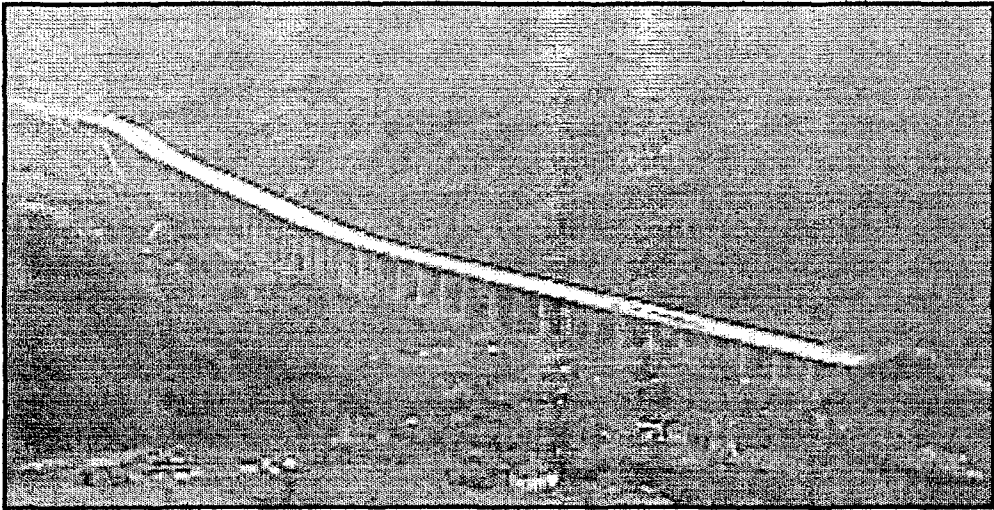
7. ÜLKEMİZDE SİSMİK İZOLASYON ÇALIŞMALARI

Bu bölümde ülkemizde sismik izolasyonla enerji dağıtma çalışmaları yapılmış 2 önemli yapı incelenecektir. Bu sayı, ülkemizde sismik izolasyon yapılmış yapıların kesin sayısı değildir.

7.1. Bolu Viyadükleri

Ülkemizde meydana gelen, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri büyüklükleri sırasıyla $M=7.4$ ve $M=7.2$ richter olarak kaydedilmiştir. Bu depremden yaklaşık 50.000 konut zarar görmüştür. Depremden, episentris mesafesinin yakınlığı da düşünüldüğünde Düzce ile Bolu arasında inşa edilmiş, Anadolu otoyolunda bulunan iki ana viyadükde hatsafhada etkilenmiştir. Bu iki viyadüğün özelliği, olası bir depreme karşı taban izolatörleri ile enerji dağıtma sisteminin bir arada kullanıldığı yapılar olmasıdır. Bu özelliği ile ilgi alanımıza girmektedir.

Çıkarılacak ders açısından, enerji dağıtma yönteminin, uygulanması ne kadar işe yaradığı, aynı zamanda ne derece yetersiz kaldığı, “ne yapılsa daha doğru olurdu” sorularını gündeme getirdiği için bu viyadükler, kuvvetli iki deprem atlattmış yapılar olarak iyi birer örnek teşkil etmektedirler. (Marioni, 1999)



Şekil 7.1 Bolu Viyadüklerinin Genel Görünüşü

17 Ağustos depreminde max. yer ivmesi, tasarım yer ivmesine yakındır. O yüzden, viyadüğün performansı beklenildiğinden iyi olduğu gibi herhangi bir onarım ihtiyacı yoktu. 12 Kasım depremi esnasında oluşan max yer ivmesi, tasarlanandan çok yüksek olduğundan 1 nolu viyadük ciddi şekilde hasar almasına rağmen yıkılmamıştır. Diğer yapı ise hasarsız depremi atlattır. Hasar görmüş bölümlerde, olası artçı şoklar için acil iyileştirici tedbirler alınmıştır. Hasar görmüş yapılarda antisismik donanımların deprem sırasında davranışı daha sonra üretici firmadan Dr. Ing. Agostino Marioni* tarafından incelenmiştir.

Depremde, bir yapının davranışını saptamak için çeşitli yollar vardır; Matematiksel modeller, yer ve yapının hareketini simülize etmeye olanak sağlar, yapı ve enerji dağıtıcı sistemler aynı zamanda belirli ölçeklerle küçültülerek gerçeğe uyarlanabilir, gerçek deprem kayıtları uygulanarak modeller üstüne deneme yapılabilir. Ama hiçbir gerçek bir deprem altında bir yapının davranışının yerini tutması mümkün değildir.

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri bize az bulunur bir şans vermiştir. Bu, ilk kez olmak üzere, deprem izolasyonlu önemli yapılar bu kadar kuvvetli depremlerin etkisinde kalmıştır. Bu olaydan, edinilen tecrübelerden ve sonuçlardan, ileride yapılacak projelendirilmede ders alınması çok önemlidir.

7.1.1. Deprem Etkisindeki Yapıların Tanıtımı

İstanbul-Ankara otoyolunun Gümüşova Gerede kesiminde 3 adet sismik izolasyonlu köprü mevcuttur;

- Viyadük No. 1 :

100 açıklıktan oluşan viyadük, 39.2 m uzunluğunda olup, inşaatı tamamlanmış olmasına rağmen deprem olduğu zaman trafiğe açık durumda değildi.(Şekil 7.2)

- Köprü No. 2 :

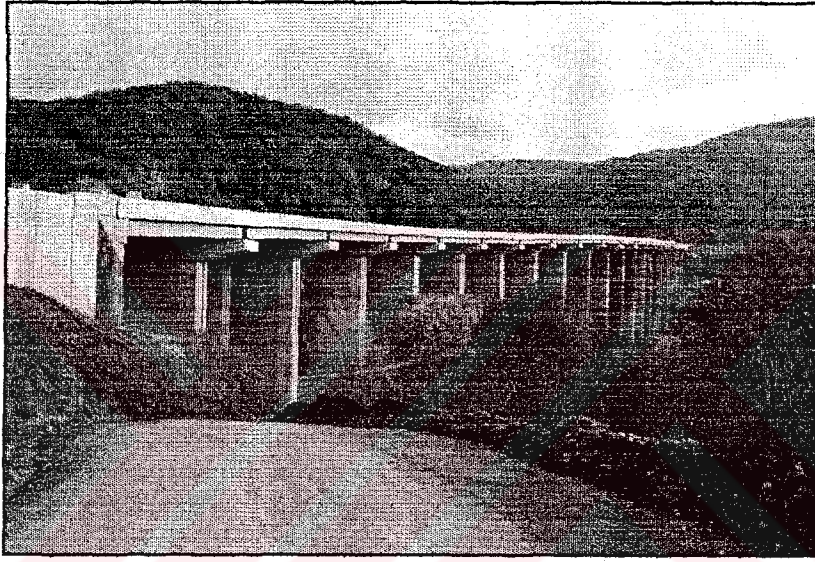
5+5 açıklı köprü, 1 numaralı viyadük gibi 39.2 m uzunluğundadır. Depremin olduğu sırada tamamlanmış ve trafiğe açılmıştı.

* "ALGA" ve "European Technical Committee for the Standardisation of Structural Bearings" Başkanı

- Viyadük No. 2 :

150 açıklıklı, diğerleri gibi 39,2 uzunluğunda ki viyadük inşaat halindeydi. Sadece, oturduğu birkaç temel tamamlanmıştı.

Yapılan çalışmalar, geniş kapsamlı ve önemli sismik izolasyon projesidir. Bütün yapılar, detaylarıyla birlikte geniş olarak inceleyeceğimiz statik modeller ve antisismik donanımlarla son haline getirilmişlerdir.

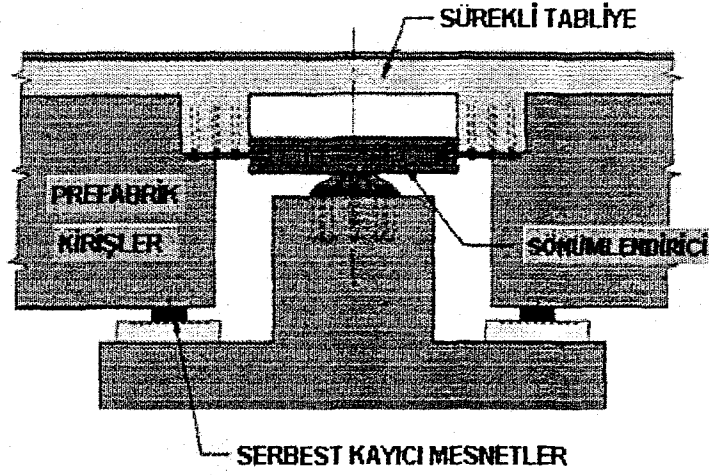


Şekil 7.2 1 Nolu Viyadük

7.1.2. Yapıların Statik Tasarımı

Bütün köprüler, 36 m uzunluğunda, öngerilmeli, prefabrik kutu kirişlerden oluşmuştur. Her açıklıkta 7 adet kiriş mevcuttur. Açıklıklar, birbirleriyle prefabrike kirişlerin üstünde betonarme tabliye ile birleştirilmiştir. Maksimum birleştirilen 10 açıklıktan sonra, araya derzler yerleştirilmiştir. Böylelikle, bu şekilde birleştirilen açıklıklar sayesinde sistemin, trafik yüklerine karşı iki ucundan mesnetli basit kiriş gibi, yavaş yavaş etkiyen etkilere (ısı, sünme, büzülme) ve depreme karşı ise 10 açıklıklı sürekli rijit sistem gibi davranması öngörülmüştür.

Bütün kirişler, serbestçe kayabilen mesnetler üzerinde mesnetlendirilmiştir. Sürtünen yüzeyler paslanmaz çelik olarak tasarlanmıştır. İzolatörlere ek olarak, enerji dağıtıcı aygıtlarda sisteme eklenmiştir. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 Antisismik donanımların yerleşim detayı

7.1.3. Antisismik Donanımlar

Kullanılan antisismik donanımlar* İtalyan bir firma olan "ALGA" tarafından üretilmiş, histeretik özellikte, devirsel olarak çelik elemanlarının akması esasıyla, bu özelliği kullanılarak modellenmiş düzenlerdir. Yapılarda 3 çeşit sismik enerji sönmümlendiriciler mevcuttur; (Marionni,1999)



Şekil 7.4 Kullanılan sönmümlendiricilerin yandan ve üstten görünüşleri

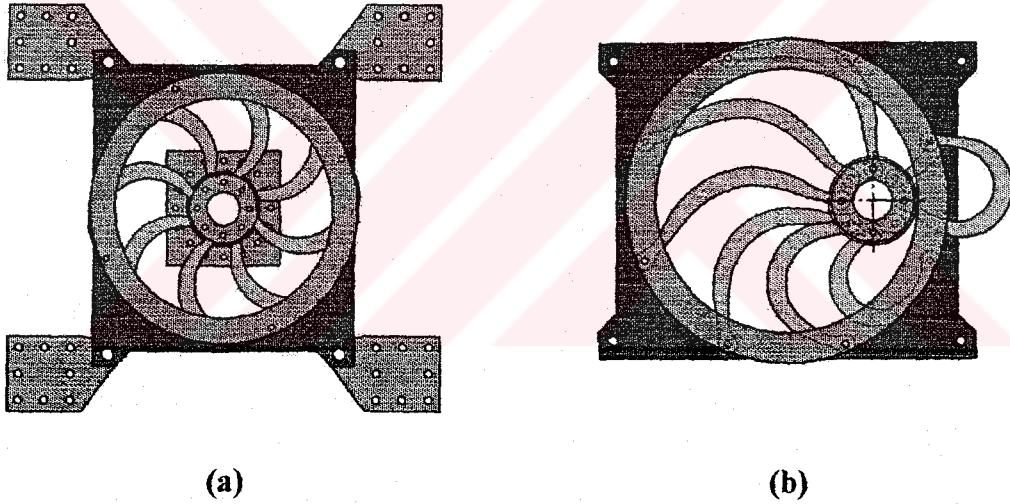
7.1.3.1. EP Tip Sönmümlendiriciler

Sistem, 16 tane C şeklinde çelik elemandan oluşmuş (Şekil 7.4), her yönden etkiyen deprem için uniform davranış gösteren radyal simetrik bir düzenden ibarettir. Normal şartlar altında, bu alet yatay gelen rüzgar kuvvetlerini karşılamak, betonarme köprü ayaklarına doğru olan sürtünmeli izolatörlerden kaynaklanmış sürtünme kuvvetlerini, frenlemek, sönmümlendirme sistemine, müsaade edilenden fazla kuvvet iletilmemesini sağlamak üzere

* <http://192.107.65.2/GLIS/HTML/gn/turchi/g5turchi.htm>'den alınmıştır.

tasarlanmıştır. Köprünün, ısıdan dolayı genişlemesine sertbest bırakılan uçlarında (expansion joints) sadece tek bir tane, betonarme ayakların ortasında EP tipi sönümlendirici mevcuttur. Bu aygıtlar, deprem anında aşağıdaki performansını göstermektedirler;

Akma limitinde kuvvet	1550 kN
Akma limitinde yer değiştirme	38 mm
Tasarım depreminde yer değiştirme	± 320 mm
Tasarım depreminde kuvvet	1860 kN
Maksimum – son yer değiştirme	± 480 mm



Şekil 7.5 Sismik aygıtların deprem halinde davranışları; a) ilk hal
b) deprem hali

7.1.3.2. VP Tip Sönümlendiriciler

Bu tip, çalışma mantığı ve performans olarak, EP tipinin aynısıdır. Farkı ise histeretik sönümleyiciye paralel, 2 hidrolik şok taşıma ünitesi mevcuttur. Bu üniteler, köprünün boyuna eksenine paralel olup, sünme, ısı değişimleri ve büzülme gibi yavaş hareketlere ihmal edilebilir bir dirençle olanak sağlar. Deprem esnasında rijit hale gelirler, ve davranış olarak EP gibi davranırlar.

7.1.3.3. VPJ Tip Sönümlendiriciler

Bu tip sönümlendiriciler, köprünün betonarme ayaklarının üstünde, kirişlere uzama rijitliği sağlanan yerlerde kullanılırlar. Vp tipi ile aynıdırlar. Farkı, deprem kuvvetlerini birleşen açıklıklara eşit olarak değil de, uzun doğrultudaki deprem kuvvetlerini sadece açıklığa dağıtır.

7.1.4. Yapıların Davranışı

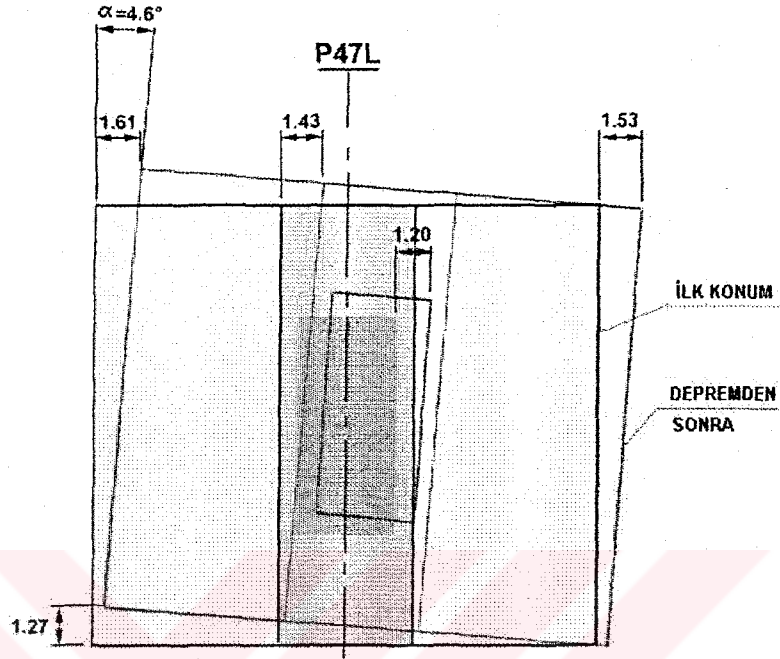
İlk büyük depremden (17/08/99) sonra, Viyadük 2'de yapılan incelemelerde, yapısal gözle görülür bir hasar olmasa da, etkili şok yüzünden bir kısım prefabrik kirişlerle inşa kısmındaki ekipmanların zarar gördüğü saptanmıştır.

Deprem etkilerinin, kayıcı izolatörlerin, paslanmaz çelik yüzeylerde bıraktığı izlerden tespit edilmesine çalışılmıştır. Ölçülen maksimum yer değiştirme 90 mm'dir. Bu değer, histeretik sönümlendiricilerin, akma limitini aşacak şekilde yüklendiklerini ve tasarlandıkları enerji dağıtma performansını gösterdiklerini sonucunu işaret etmektedir. Max. tasarım yerdeğiştirme değeri 320 mm olması, etkiyen depremin tasarım depreminden daha küçük olduğunu gösterir. Depremden sonra, bütün histeretik sönümlendiriciler, 1 mm hatayla sükunet halindeki ilk pozisyonlarını almışlardır.

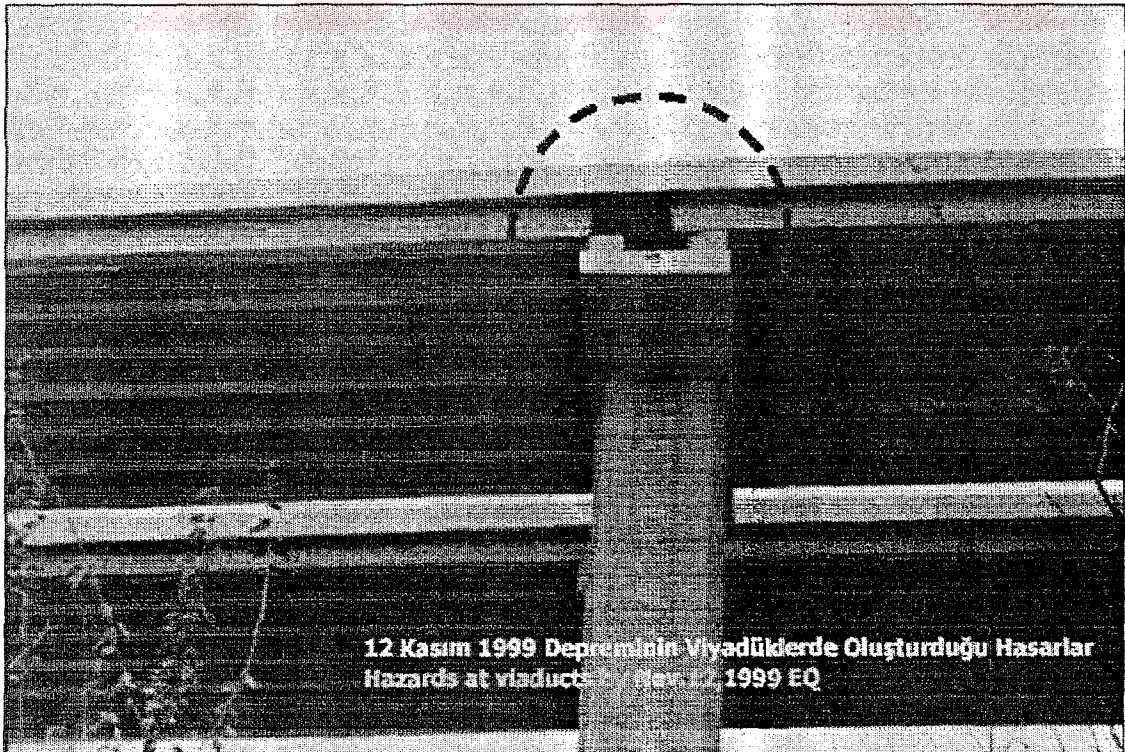
12/11/99 depreminin etkileri, episentr merkezinin yakınlığı dolayısıyla daha fazla olmuştur; 2 numaralı köprü, Bolu'ya yakındır ve trafiğe açıktır. Sürtümlü enerji dağıtma yüzeylerinde bu depremden sonra ölçülen yer değiştirme 360 mm'dir. Bu değer hesaplamalarla karşılaştırıldığında max. yer ivmesinin 0,65g olduğu anlaşılmıştır. Yapıda önemli hasarlar oluşmamıştır. Sadece genleşme düğümlerinde bazı elemanların yetersiz kadığı saptanmıştır. Neden ise, elemanlar 50 yılda bir tekerrür edecek deprem için, 100 mm kadar bir yerdeğiştirmeye göre tasarlanmıştır. Uzun doğrultuda yerdeğiştirmeler 45mm, diğer doğrultuda ise 60-100 mm olarak ölçülmüştür. Görünüş olarak, sönümlendiriciler iyi durumdadır ve olası gelecek depremler için dayanım gösterecek uygunluktadırlar.

1 numaralı viyadük beklendiği gibi iyi durumda değildir. Yer yüzündeki kırıkların kayması sonucu, kirişlerin oturduğu bir çok betonarme ayak hareket etmiştir. İçlerinden 2 tanesi kendi eksenleri etrafında 4° kadar dönmeye zorlanmıştır. (Şekil 7.6) Dönen kesimlerin yerden yüksekliği yaklaşık 50 m kadardır. Kesitlerin 4° dönmesi, destek üzerindeki başlıkların ± 50 cm hareket etmesine neden olmuştur. Prefabrik kirişlerin mesnetlendiği mesafelerde tutarsızlıklar oluşmuştur. Kirişlerin bir ucu, 1m lik mesafelerde mesnetli hale gelirken, diğer

uç ise nerdeyse mesnetlenme mesafesi 0 olmuş ve bu halde geçici denge konumunda kalmışlardır. (Şekil 7.7) Sismik izolasyonlu yapıların depremden sonra durumları hakkında daha fazla detay Ek-4'de mevcuttur.



Şekil 7.6 Yer hareketi sonucu dönen köprü ayağı



Şekil 7.7 Döner köprü ayaklarında prefabrik kirişlerin son durumu

7.2. Atatürk Havalimanı

Atatürk Havalimanı yılda 14 milyon yolcu ağırlayan, ülkemizin olduğu kadar Avrupanın en önemli ve kilit geçiş noktalarından biridir. Aynı zamanda Türkiye’de sismik izolasyon ile iyileştirme çalışmaları yapılmış az sayıda yapıdan biridir. Terminal geniş bir alanda kurulmuş 305 milyon \$’lık dev bir yapıdır. Yapının 4 tonluk çelik çatısına sürtünmeli sarkaç sistemi ile hareket serbestliği kazandırılmıştır. Sismik güçlendirme çalışmaları bitmiş yapı, sadece ülkemizde değil, dünya literatüründe de bu alanda yerini almıştır.



Şekil 7.8 Atatürk Havalimanı

Yapının, modern şartlarda yeniden düzenlenmesi işini yapmakla yükümlü firma "TAV", üç kuruluşun birleşmesi ile oluşmuştur. İki Türk firması; "Tepe İnşaat", "Akfen" ile Avusturyalı "VIE-Viena International Airport" ortak çalışmaları ile havalimanı bugünkü halini almıştır. Yüklenici TAV’ın kadrosunda iki ayrı mühendislik firması bu iş için görevlendirilmiştir. Bir amerikan firması "LZA Technology" ile Tuncel Mühendislik ortak çalışması TAV’nın alt kadrosunu oluşturmuştur. LZA Technology’de havalimanı için önemli kişiler görev yapmıştır. (Velivasakis ve Abruzzo, 2000)

Amerikalı, Newyork Buffalo Üniversitesinden Prof. Constantinou* ile California Berkeley Üniversitesinden Dr. Whittaker** oluşturulan ekibin içinde yer almıştır.

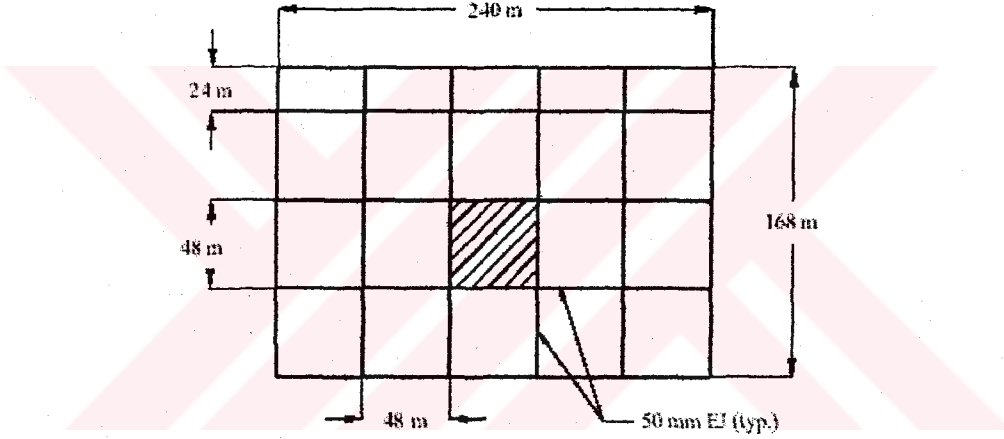
* Chairman of the Civil Engineering Department at the State University of New York at Buffalo, NY

** Associate Director of the Earthquake Engineering Research Laboratory at the University of California at Berkeley, CA

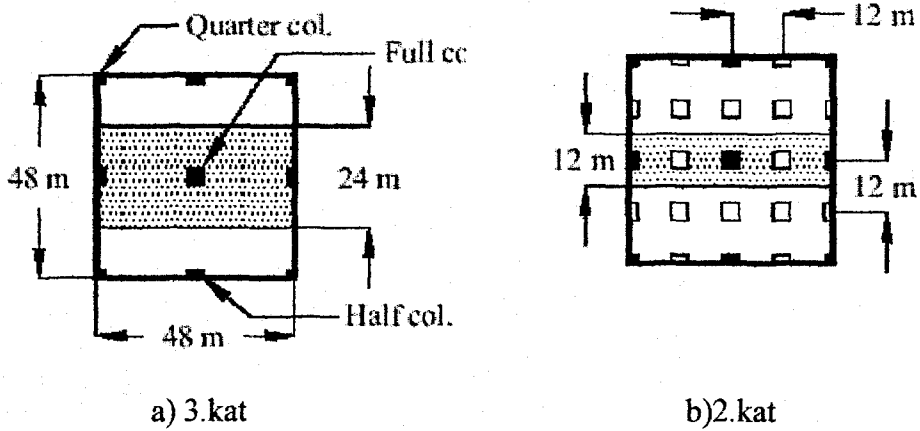
7.2.1. Yapının Tanıtımı

Havalimanı, $240 \times 168 \text{ m}^2$ alanda (Şekil 7.9) kurulu 3 katlı bir yapıdır. Birinci kat servis katı, ikinci kat geliş katı, en üst kat ise gidiş katıdır. Servis katı doğal zeminin üstündedir. İkinci ve üçüncü katlar, 12m'lik kat yüksekliğine sahiptir. Taşıyıcı kolonlar 12 m aralıklarla yerleştirilmiş betonarme kolonlardır. En üst katta kolonların aralıkları 24 m'dir. (Şekil 7.10)

Çelik çatı, uzay makaslardan oluşmuştur 24 m açıklıklarla üçgen şeklinde çerçeve sistemi ile birbirine kaynaklı dairesel çelik boru kesitli elemanlarla birleştirilmiştir ve 130 tane kolon tarafından taşınmaktadır. Bina aynı zamanda, yanal hareketlere karşı düktil moment çerçeveleri ve perdelerle takviyelidir.



Şekil 7.9 Havalimanı planı



Şekil 7.10 Havalimanı 2. ve 3. kat kolon aplikasyon planı

7.2.2. Antisismik Donanımlar

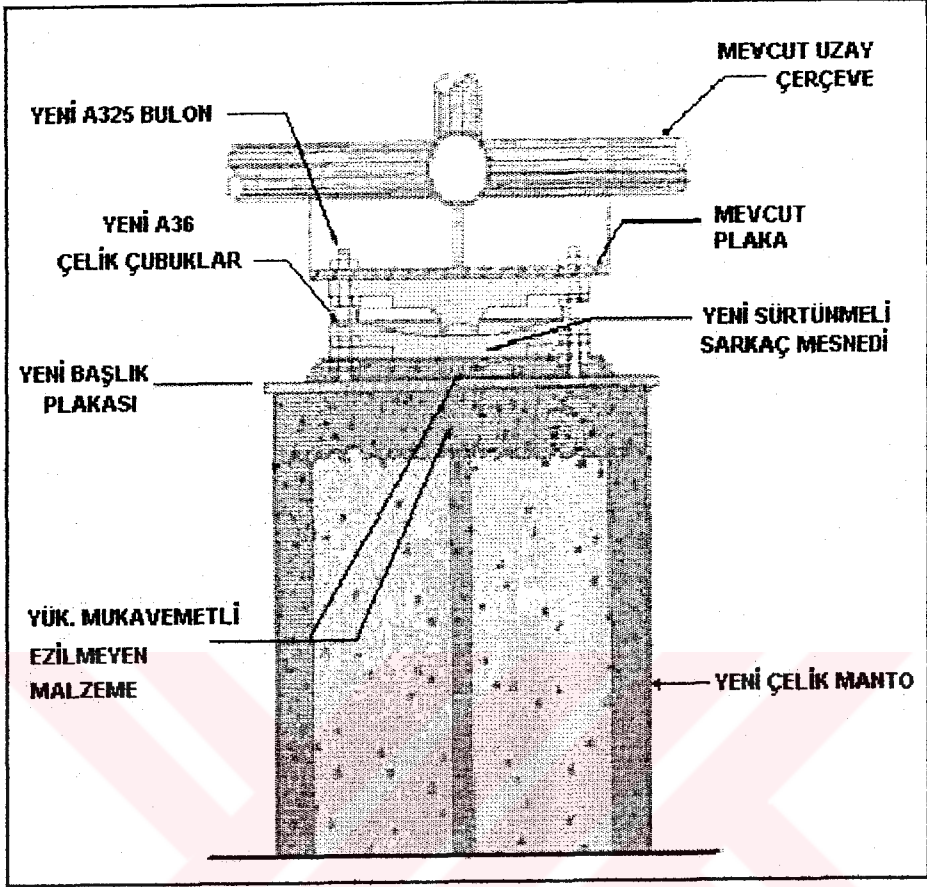
Çatıyı oluşturan uzay çerçevede, termal hareketlere olanak sağlayan düğüm noktaları (expansion joints) eklenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bu yerleştirilen düğüm noktalarının, sismik düğüm noktalarına çakışık olmamasına dikkat edilmiştir. Yapı, aynı zamanda 17 Ağustos depremine maruz kaldığı için lokal hasarlar oluşmuştur. Özellikle gidiş katı kolonlarının üstünde, çelik çatıyla birleşim noktaları ile birleşim yerlerinde, betonda çatlamlar tespit edilmiştir.

Teknik ekip, gerekli hesaplamalar sonunda, çatının sürtünmeli sarkaç modeli ile yapıdan ayrılmasını uygun bulmuşlardır. Gidiş katı kolonlarının üstüne konulacak olan bu izolatörler sayesinde çatının bir salıncak gibi sallanarak yanıl deformasyon yapabilme yetisine sahip olacağını belirtmişlerdir. Bu şekilde bir iyileştirme hem çelik çatılı binanın olası yanıl yükünü hafifletecek hem de üst kat kolonların bu durumda karşı koyacağı sismik yükleri azaltacaktır.

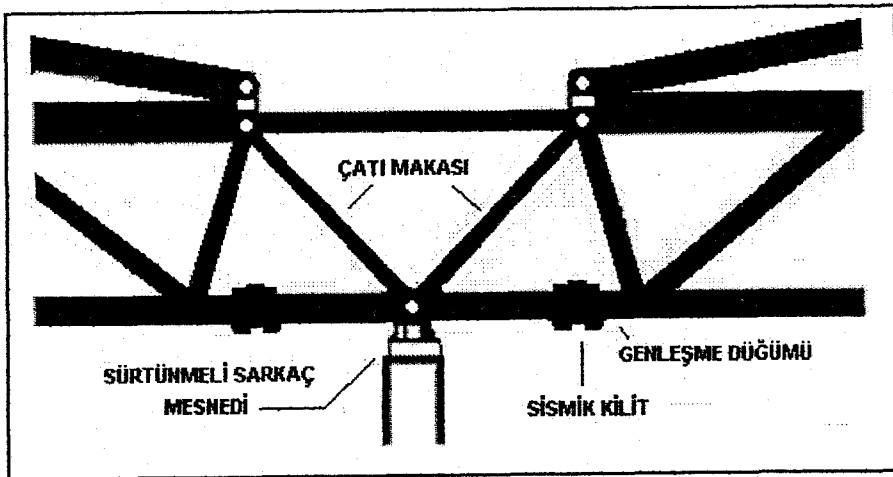
Bu yöntemle, çatının deprem esnasında, bir taraftan diğer tarafa 26 cm hareket edebilmesine izin verilmiştir. İzolasyonlu periyod 3 s olarak hesaplanmıştır. Sürtünen çelik yüzeylerde sürtünme katsayısı 0.09 olarak dikkate alınmıştır. Kullanılan izolatörlerin sayısı 130 adettir. "Earthquake Protection Systems, Inc. of Richmond, California" teknolojisinin kullanıldığı izolatörler 2 ay içinde hazırlanmıştır.

Sismik güçlendirmede ikinci aşama taşıyıcı 88 ana kolonun çelik mantolanması işidir. Kolonların mantolarında kullanılan malzeme çeliktir. Böylelikle mantolanan kolonlarda süneklik ve kesme mukavemeti önemli ölçüde artar. Daha önce oluşmuş yapısal hasarlarda kapatılmış olur. Manto ile kolon arasında boşluklar, ezilmeyen yüksek mukavemetli malzeme ile doldurulur. (Şekil 7.11)

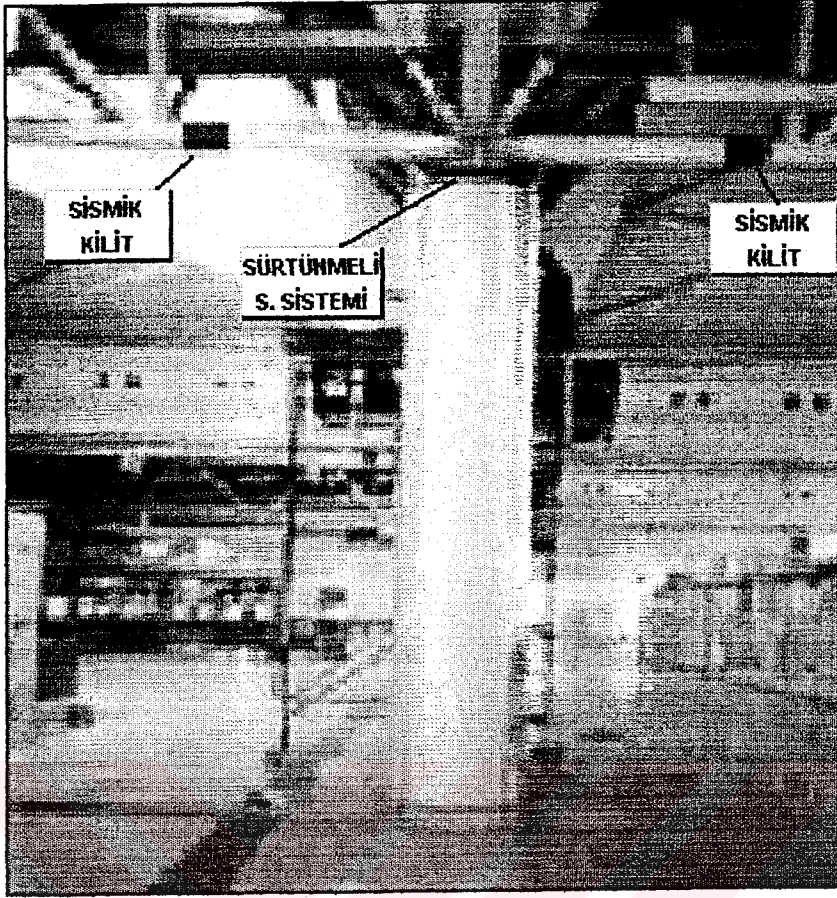
Sismik güçlendirmede son aşama ise termal yerdeğiştirmeyi sağlayan düğüm noktalarının kontrolüdür. Bu kontrol kullanılan "LUD (Lock up Devices)" adı verilen sismik kilitler kullanılarak yapılmıştır. Kilitler, uzay makası elemanların ısıdan dolayı yavaş yavaş genişlemesine izin vermekte, ani yer hareketi etkidiği zaman yer değiştirmeleri otomatik olarak kilitlemektedir. Seçilen aygıt "Taylor Devices, Inc" tarafından üretilmiştir. Uygulanan aletin sistemde yeri ve detayı Şekil (7.13) ve Şekil (7.14) de görülmektedir.



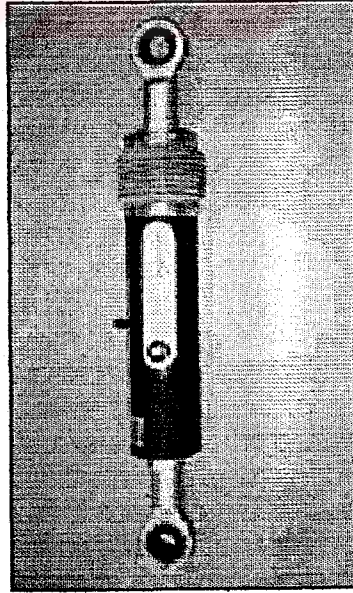
Şekil 7.11 Kolonların mantolanması ve birleşim detayı



Şekil 7.12 Çelik çatının kolonla birleşim detayı



Şekil 7.13 Birleşimi tamamlanmış kolon



Şekil 7.14 Sistemde kullanılan sismik kilit*

* Taylor Device Inc'den alınmıştır.

8. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMA MALİYETİ

8.1. İlk Maliyet Değerlendirmesi

8.1.1. İzolatör Maliyetleri

İzolasyon için kullanılan izolatörlerin maliyeti, bir kaç yüz dolardan kimi zaman bir kaç bin dolara çıkabilmektedir. Yapıdan izolatörlere gelen toplam yük aynı zamanda izolatörlerin sayısını ve boyutlarını belirleyen parametrelerdendir.

Şekil (8.1) yaklaşık olarak izolatörlerin maliyetini ($\$/m^2$) büyüklüğünü esas alarak ifade etmektedir. Bu grafik, bütün yükseklikler için eşit izolasyon seviyesi olduğu farz edilerek hazırlanmıştır. Pratikte ise yüksekliği fazla olmayan yapılar daha düşük periyotta izole edileceğinden, maliyetleri grafikte gösterilenden daha azdır. Bu binalar için izolatörlerin birim fiyatı için muhtemel üst sınır $0.8 \$/m^2$ (hesap edilen alan yapının toplam alanı değil taban alanıdır) olarak fiyatlandırılabilir.* İzolatör maliyetlerini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralandırılabilir;

- İzolatörlerin taşıdığı yük artarsa, genelde izolatörler için birim maliyet düşer. "Maliyet / Alan" fiyatlandırma birimi, yapının yüksekliği ve boyutları artıkça azalır. Bunun nedeni daha büyük izolatörlerin, eksenel düşey yükleri taşımada daha iyi performans göstermeleridir.

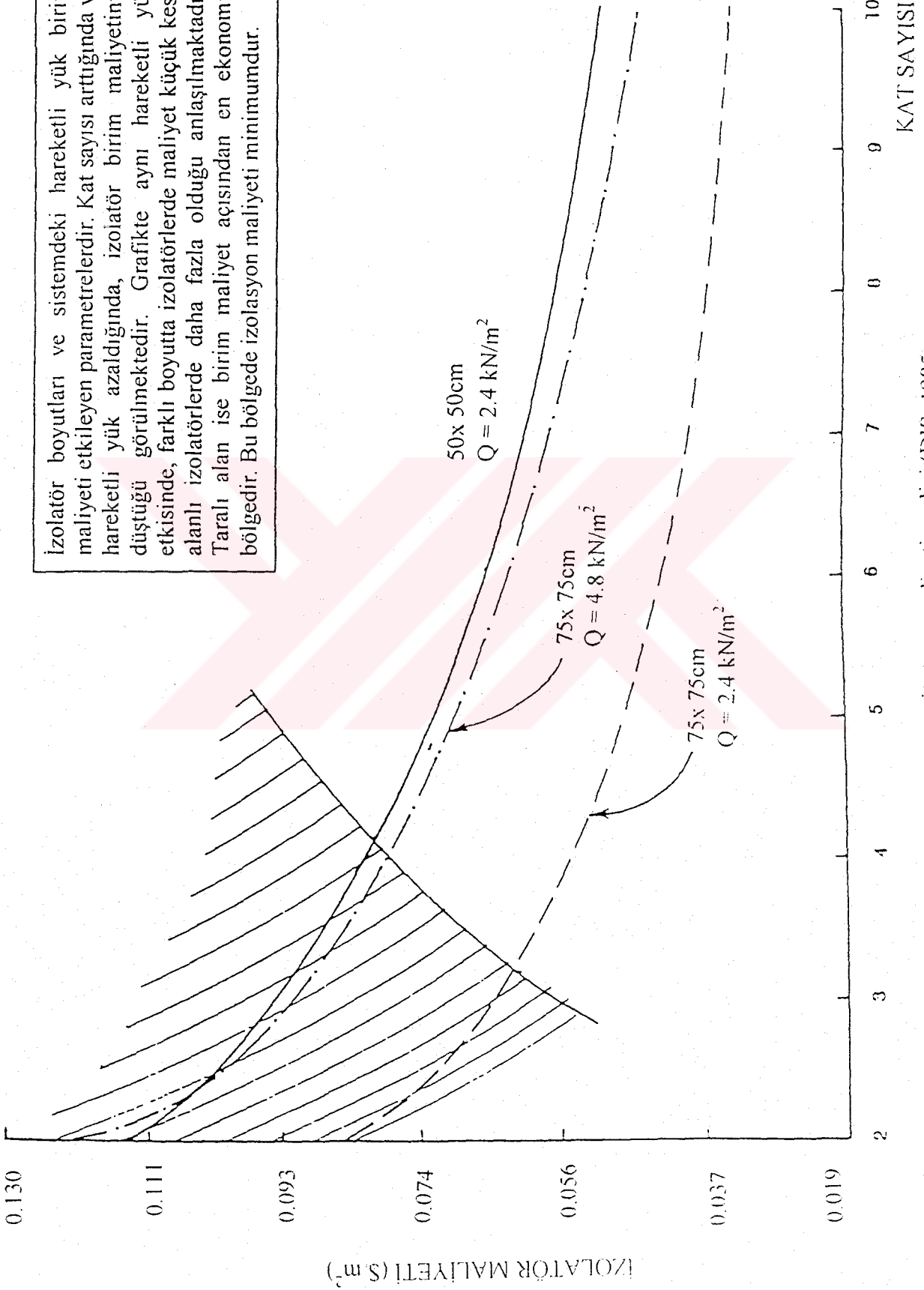
- Birim maliyet, sismik izolasyon derecesi artarsa artar. Örnek vermek gerekirse; yapının bulunduğu deprem bölgesi derecesi de maliyete etkendir

- Birim maliyet aynı zamanda, yapıdaki hareketli yükün (Q) artmasıyla artmaya eğilimlidir. Bunun nedeni, yük kombinasyonu (G+Q), planda izolatörlerin kesit alanını belirler. Sadece sabit yük (G) izolatörlerin yüksekliğini belirler .

Genel olarak maksimum izolatör maliyeti, yüksek deprem derecesinde, yüksek hareketli yükler altında bulunan ve yüksekliği fazla olmayan yapılar için oluşur. (DIS, 1985)

* Bu değer ve faktörler DIS tarafından kurşun çekirdekli izolatörler için verilmiştir. Faktörler, genel olarak her tip izolasyon modeli için geçerlidir.

izolatör boyutları ve sistemdeki hareketli yük birim maliyeti etkileyen parametrelerdir. Kat sayısı arttığında ve hareketli yük azaldığında, izolatör birim maliyetinin düştüğü görülmektedir. Grafikte aynı hareketli yük etkisinde, farklı boyutta izolatörlerde maliyet küçük kesit alanlı izolatörlerde daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Taralı alan ise birim maliyet açısından en ekonomik bölgedir. Bu bölgede izolasyon maliyeti minimumdur.



Şekil 8.1 İzolatör maliyeti analizi (DIS, 1985)

8.1.2. İzolasyon Uygulama Maliyetleri

İzolasyon uygulama maliyetleri, Bölüm (5) ve Bölüm (6)'da incelenen yapının dışarıyla bağlantı servisleri ile mimari düzeltmeleri için yapılan çalışmalarının maliyetidir. Bu maliyetler özet olarak;

- Yapının yatay deplasmanlar yapması için izolasyon seviyesinden ayrılması
- İzolasyon seviyesinde merdivenler için kayıcı mesnetlerin ayarlanması
- İzolasyon seviyesinde, yatay hareket için yer değiştirme mesafesi ayarlanması
- Asansör tertibatının (varsa), yatay hareketi engellemeyecek şekilde düzenlenmesi
- Servis bağlantıları için esnek birleşimlerin düzenlenmesi.

Bu maliyetlerin dışında, kullanılan izolatör modeline göre emniyet sistemlerinin ayarlanması bu maliyete eklenecek hususlardır.

8.2. Kullanım Maliyetleri

Pratikte, izolasyon sistemi uygulanmış yapının kullanım ömrü boyunca etkileyecek maliyetlerdir. Periyodik bakım ve denetlemeler ile bu maliyet azaltılabilir.

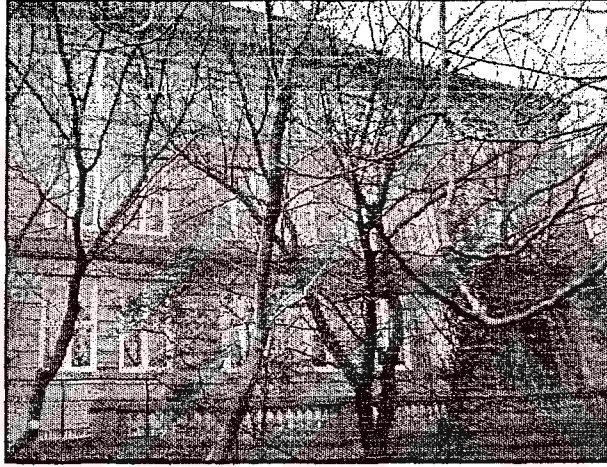
8.3. Örnek Projede Maliyet Analizi

Maliyet çıkarılacak örnek projenin hesapları, Arnavutköy'de "Amerikan Robert Koleji" kampüsü içinde bulunan yapı olan "Mitchell Hall" binası için MIT tarafından yapılmıştır. Çalışmayı yapan 4 kişilik grup, Dr. Oral Büyükoztürk başkanlığında ülkemizde böyle bir yapıda sismik izolasyon yapılmasının, ekonomik boyutlarını araştırmışlardır.

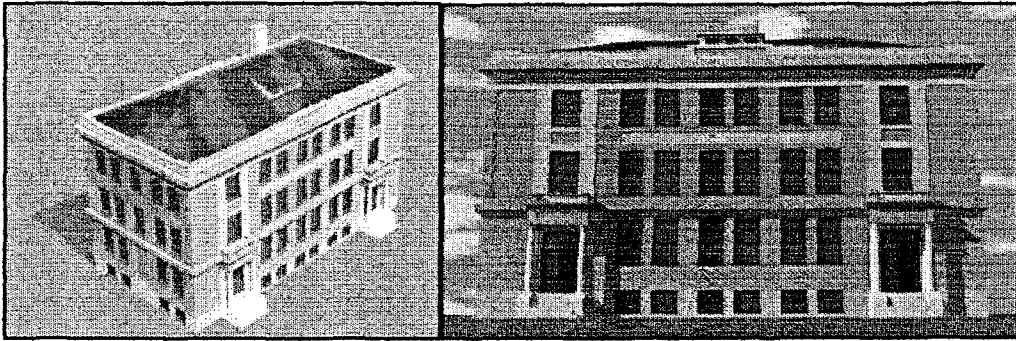
Araştırmalar sonucunda yayımladığı ortak çalışmasında John Kelly (2001), aşağıdaki rakamlara ulaşmıştır. Yapılan çalışma, bu teknolojinin uygulanması durumunda maliyetin ne kadar olacağı konusunda fikir vermesi açısından önemli bir çalışmadır. İlk başta izolasyon yapılacak yapı tanıtılacaktır.

8.3.1. Yapının Tanıtımı

Mitchell Hall*, tarihi bir bina olup 1913 yılında inşa edilmiştir. Yapı, yaklaşık 15 m genişliğinde, 32 m uzunluğunda 15 m yüksekliğinde bir yapıdır. 4 katlı yapının bir katı yerin altındadır. Yapının dış duvarları, 1m kalınlığında beton duvarlardan oluşmuştur. İçinde donatı yoktur. İç kolonlar ise “H” kesitli çelik kolonlar olup betonla örtülüdür. Döşemeleri taşıyan kirişler ise çelik “T” kirişlerdir. Temeller ise, dış duvarların 3~3,5 m aşağıda sağlam zemine kadar uzatılmaları ile oluşturulmuştur. Yapının görünüşü şekil (8.3)’de bilgisayarda modellenmiş hali Şekil (8.4)’de görülmektedir. (Kelly vd, 2001)



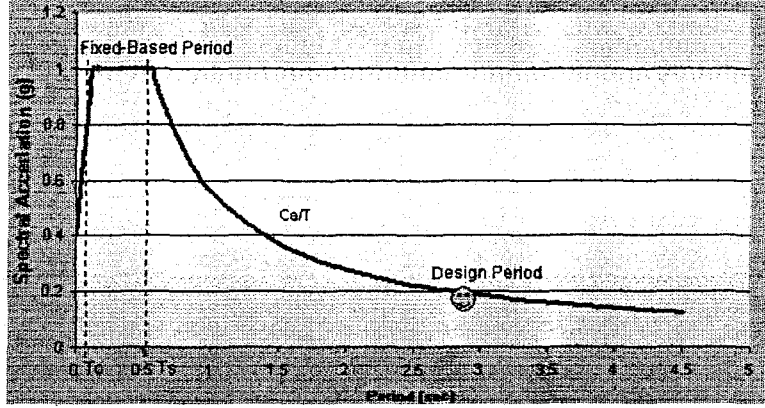
Şekil 8.2 Mitchell Hall binası



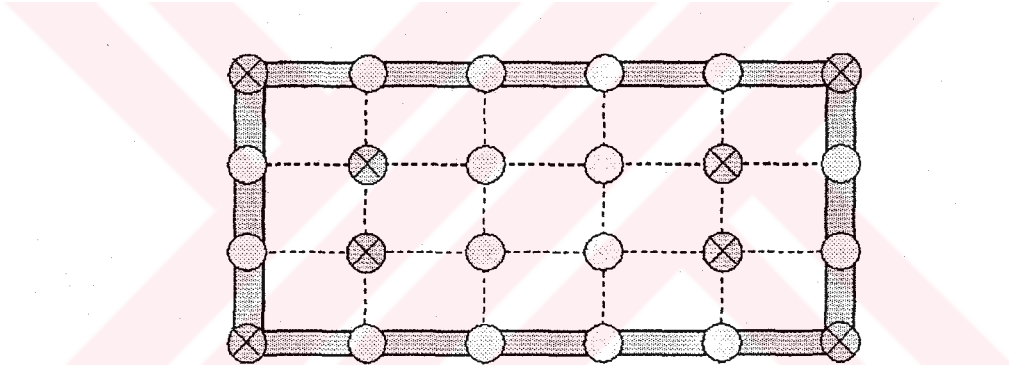
Şekil 8.3 Mitchell Hall’un modelde perspektif ve önden görünüşü

* <http://www.mit.edu/~jpkelly/index.htm>’den alınmıştır.

Yapınının titreşim periyodu izolasyondan sonra 2.5 ~ 3 s. mertebelerine çıkarılmıştır. (Şekil 8.5) DIS'in yaygınca kullanılan elastomerik izolatörleri tercih edilmiştir. 24 adet elastomerik izolatörden 8 tanesi kurşun çekirdekli, diğerler ise doğal kauçuk izolatörlerdir.



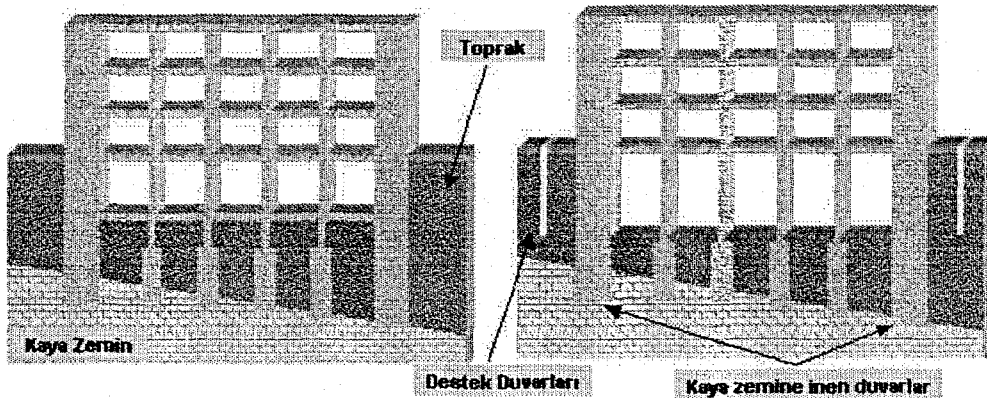
Şekil 8.4 Mitchell Hall'un izolasyonlu ve izolasyonsuz titreşim periyodları



Şekil 8.5 Temelde izolatörlerin yerleşim planları

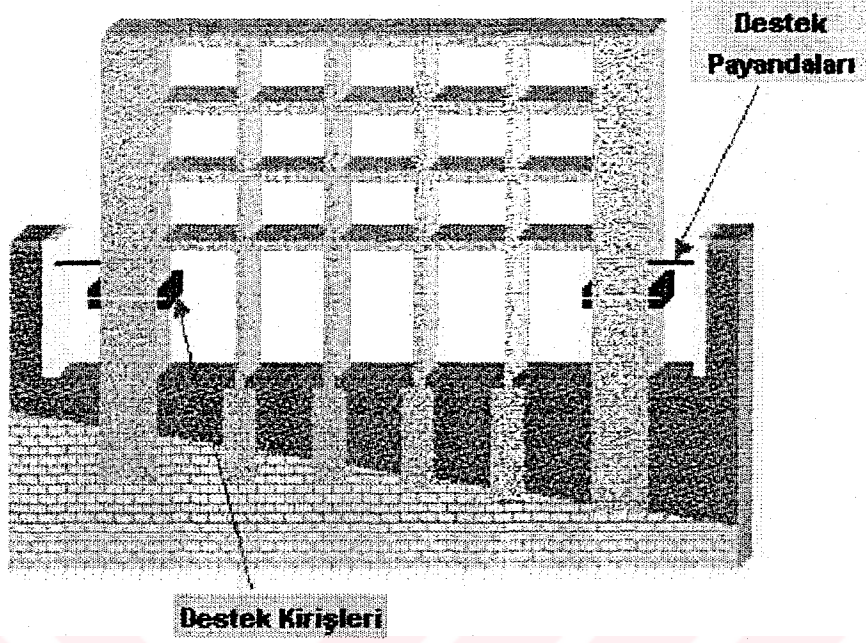
8.3.2. Maliyetlerin Saptanması

8.3.2.1. Temel Kazısı.....\$ 150.080



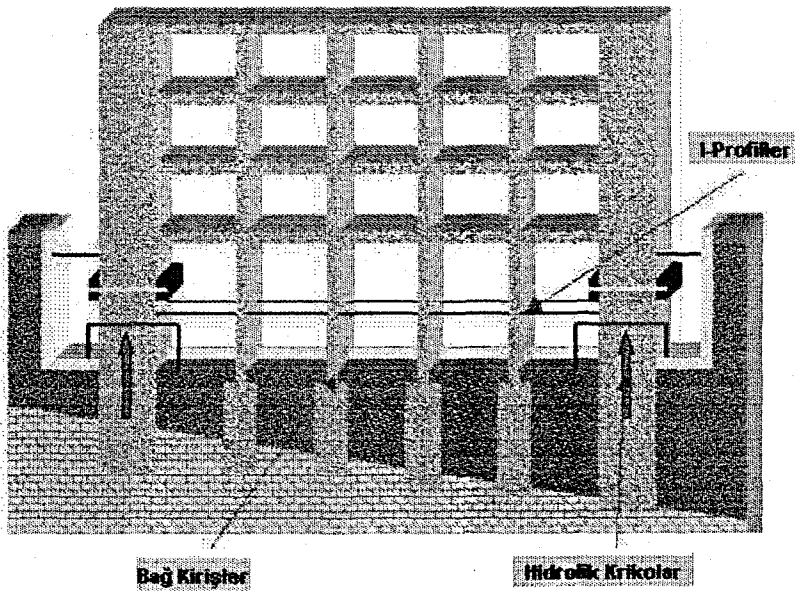
Şekil 8.6 Temel kazısı

8.3.2.2. Deplasman Boşluğu Kazısı.....\$ 27.256

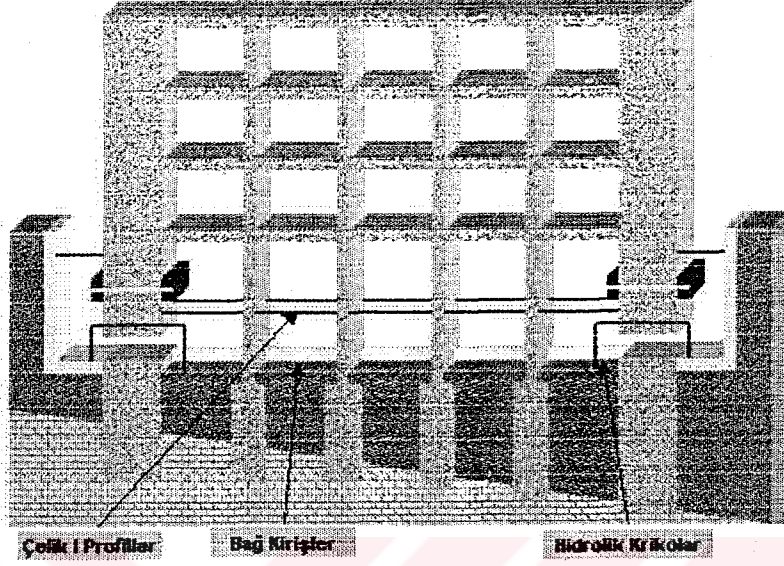
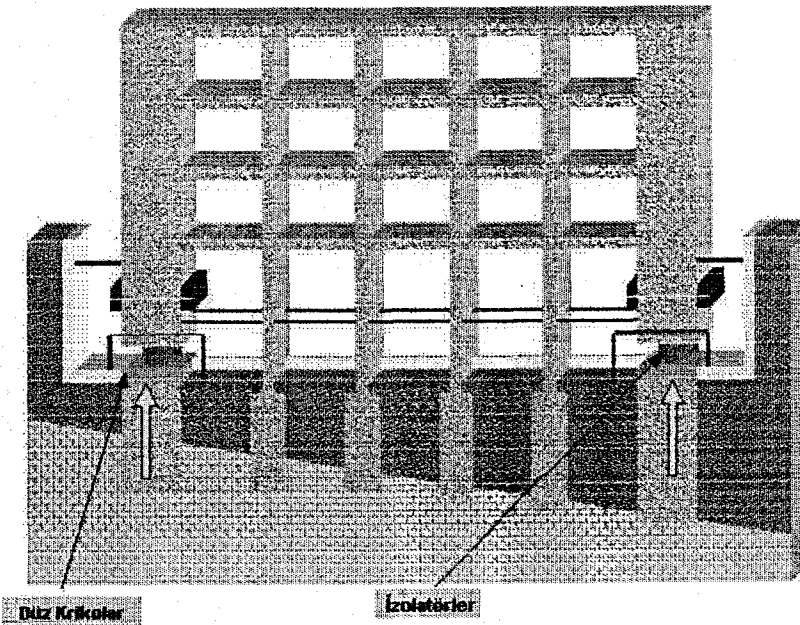


Şekil 8.7 Deplasman boşluğu kazısı

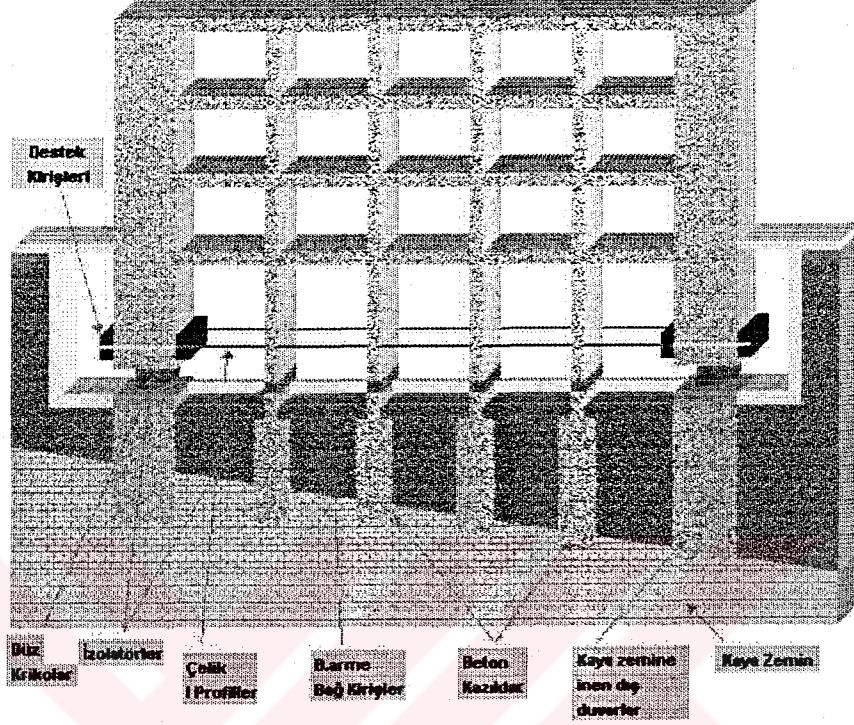
8.3.2.3. Rijit Diyaframın Oluşturulması.....\$ 159.480



Şekil 8.8 Rijit diyaframın oluşturulması

8.3.2.4. Beton Duvarların Kesilmesi.....\$ 16.600**Şekil 8.9 Beton duvarların kesilmesi****8.3.2.5. İzolatörlerin Yerleştirilmesi.....\$ 651.885****Şekil 8.10 İzolatörlerin yerleştirilmesi**

8.3.2.6. Yapının Tabandan Ayrılması.....\$ 3.800

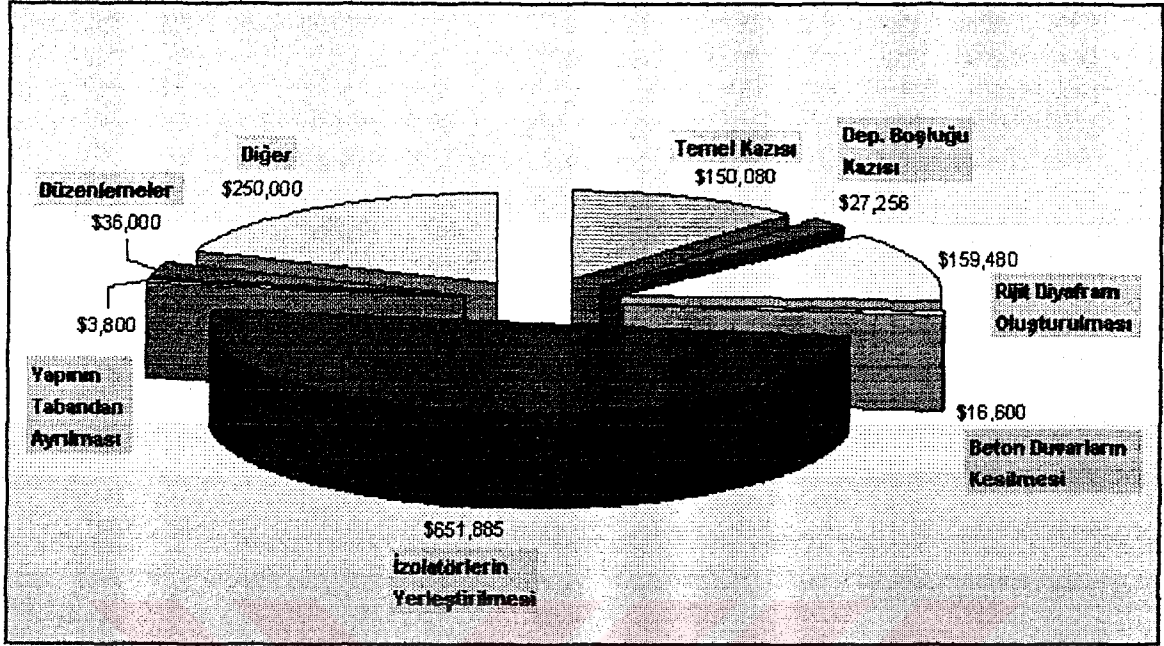


Şekil 8.11 Yapının tabandan ayrılması

8.3.2.7. İzolasyon Seviyesinin Düzenlenmesi ve Servis Elemanlarının Sismik İzolasyon Sistemine Uyarlanması.....\$ 36.000

8.3.2.8 Diğer Masraflar.....\$ 250.000

8.3.2.9 TOPLAM MALİYET.....\$ 1.295.101



Şekil 8.12 Toplam Maliyet

4 katlı yapının, taban alanı yaklaşık 480 m² olduğu düşünülürse (15x32 m²) böyle bir yapı için m² başına birim maliyetler şu şekilde özetlenebilir;

Temel Kazısı.....	313 (\$ /m ²)
Deplasman Boşluğu Kazısı.....	57 (\$ /m ²)
Rijit Diyaframın Oluşturulması.....	332 (\$ /m ²)
Beton Duvarların Kesilmesi.....	35 (\$ /m ²)
İzolatörlerin Yerleştirilmesi.....	1358 (\$ /m ²)
Yapının Tabandan Ayrılması.....	8 (\$ /m ²)
İzolasyon Seviyesinin Düzenlenmesi.....	75 (\$ /m ²)
Diğer Masraflar.....	520 (\$ /m ²)
Toplam Maliyet.....	2698 (\$ /m²)

Sismik izolasyonlu yapılarda, maliyet saptanması hakkında daha fazla ayrıntı Ek-5'de mevcuttur.

9. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, izolatörlerin yapı üzerindeki etkilerini sayısal olarak görmek için, 4 katlı bir model ele alınacaktır. Amerikan standardı UBC 97 ve FEMA ortak esaslarına dayandırılan hesaplarda ele alınan yapıda ilk olarak izolatörlerde boyut hesaplarının ve tahkiklerin nasıl yapılması gerektiği anlatılacaktır. Hesaplar ilk aşamada, doğal kauçuk izolatörler için, ikinci aşamada ise, sistemde kurşun çekirdekli izolatörlerinde kullanılması durumunda hesap tekniğindeki değişikliklere değinilecektir. Boyutlandırma için FPS sistemi seçilmesi durumunda izlenecek yol da konuların arasındadır. İzolatörlerin sistem üzerinde etkilerini görmek açısından son olarak sistem SAP 2000'de yapının zemine ankastre durumda olması, elastomerik izolatörler kullanılması ve FPS türü izolatörler kullanılması durumları için ayrı ayrı karşılaştırmalar yapılacaktır. Hesaplamalardan sonra kesit etkilerini görmek için TDY ivme zaman spektrumu kullanılarak spektral analiz yapılacak ve yapısal elemanlarda deprem etkilerinden meydana gelen değişiklikler incelenecektir.

9.1. Sismik İzolasyon Standartları

Amerikada sismik izolasyonlu yapıların dayandırıldıkları iki standart göze çarpmaktadır. UBC 97 ve OSHPD-96. OSHPD 96, California'da özellikle sismik izolasyonlu hastane tasarımı konusunda uyulması gereken kuralları içermektedir. UBC 97'nin güncellenmeden önceki hali olan UBC-94'le benzerlikler gösterdiği belirtilmiştir. Her iki şartnamede sismik izolasyonun mevcut binalara uygulanması (retrofit) durumuna bir açıklık getirmemiştir. Yinede bir çok düzenleme UBC esas alınarak yapılmaktadır. Bu iki kod da yapılarda maliyeti azaltmaya yönelik değil, sismik izolasyonla sağlanan elastik davranış sayesinde etkiyen depremlerde hasar kontrolü sağlamaya yönelik tutum içindedir.

Mevcut yapılarda, sismik izolasyon yapılması NEHRP tarafından incelenmiştir. NEHRP'in bu konuda yayınladığı iki çalışmadan ilki FEMA 273 ve daha sonra güncellenmiş hali olan FEMA 274 bu alanda hazırlanmış önemli çalışmalarındandır. Bu iki seride de 9. bölümler enerji dağıtma ve sismik iyileştirme konularına ayrılmıştır. FEMA düzenlemeleri, yapılacak çalışmaların uygunluğunun bu bölümlere dayandırılması konusunda düzen ve kaideler önermektedir. FEMA'lar bir istisna dışında UBC-97 ile benzerlikler göstermektedir. FEMA; bu konuda yeni bir hesap yaklaşımı olan "statik non lineer analiz" metodu diğer bir adıyla "push over" metoduna müsaade etmektedir. UBC-97'nin en son güncellenen durumu

olan ve 2000'li yıllarda kullanılması düşünölen IBC-2000'dir. Yeni bir düzenleme olan IBC - 2000 hakkında elimizde henüz bir bilgi yoktur.

9.1.1. UBC-97 Termonolojisi

9.1.1.1. Tasarım Depremi - (DBE)

Tasarım depremi, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Bir başka deyişle dönüşüm periyodu 475 yıl olan depremdir.

9.1.1.2. Maksimum Hesap Depremi - (MCE)

Yapının bulunduğu bölgede olması beklenen maksimum şiddette ki depremdir. Hesaplarda 100 yılda aşılma olasılığı %10 olan, yani dönüşüm periyodu 1000 yıl olan depremi temsil eder.

9.1.1.3. Efektif Sönüm

İzolasyon sisteminin periyodik çalışması süresince dağıtılan enerjiye tekabül eden eşdeğer viskos sönüm, efektif sönüm değeridir.

9.1.1.4. Efektif Rijitlik

Bu değer, izolasyon sistemi içindeki, yatay kuvvetin sebep olduğu yer değiştirmeye bölünen değeridir.

9.1.1.5. Maksimum Yer Değiştirme - (MD)

İzolasyon sistemin boyutlandırılması için gerekli MCE esas alınarak hesaplanan yatay yer değiştirmedir. Aynı zamanda izolasyon sisteminin yapabileceği maksimum yer değiştirmedir.

9.1.1.6. Toplam Tasarım Yer Değiştirmesi - (TDD)

İzolatörlerin tasarım yatay yer değiştirmesidir. DBE esas alınarak hesaplanır.

9.1.1.7. Maksimum Toplam Yer Değiştirme - (TMD)

DBE esas alınan, burulma etkileride dikkate alınarak hesaplanan izolatörlerin yaptığı toplam yatay yer değiştirmedir.

9.1.1.8. Tasarım Titreşim Periyodu - (T_D):

Sistemin tasarım yer değiştirmesindeki titreşim periyodudur.

9.1.1.9. Maksimum Titreşim Periyodu - (T_M):

Sistemin maksimum yer değiştirmesindeki titreşim periyodudur.

9.1.2. UBC-97'e Göre Boyutlandırma Katsayıları:

- Sismik Bölge Faktörü (Z) : Table 16 – I
- Bölge Zemin Cinsi : Table 16 - J
- Sismik Fay Tipi : A tipi ($M \geq 7.0$), kayma oranı $SR \geq 5\text{mm/yıl}$: Table 16 - U
- Faya Yakınlık Faktörleri (N_A, N_V) : Table 16 – S, 16-T
- MCE Respons Katsayıları (M_M) : Table A-16-D
- Sismik Katsayılar (C_{VD} ve C_{AD}) : Table 16 – R, 16-Q

$$C_{AM} = 1.1 \alpha \quad \alpha = M_M Z N_A$$

$$C_{VM} = 1.6 \alpha \quad \alpha = M_M Z N_V$$

- Sönüm Azaltma Katsayısı (B) : Table A-16-C
- Taşıyıcı Sistem Azaltma Katsayısı (R_i) : Table A-16-E

9.2. Yapının Tanıtımı

Söz konusu yapı (Şekil 9.1), 4 katlı çift yönde simetrik bir yapıdır. Taşıyıcı sistem, betonarme elemanlardan oluşmuş, plak döşemeli çerçeve sistem olarak tanımlanabilir. Kullanılan malzeme C20/S420 olmakla beraber, taşıyıcı elemanlarda kirişler 25/60 cm, kolonlar 30/100 cm, döşemeler ise 12 cm olarak boyutlandırılmıştır. Kat yükseklikleri, her katta sabit 290 cm'dir. Konut amaçlı kullanılan yapının 1.derece deprem bölgesinde olduğu ve bölgede D sınıfı zemin cinsinin (Z_3) bulunduğu kabul edilmiştir. İzolatörlerin, temellerin üstü ile birinci kat kolonlarının birleştiği noktalara konulması uygun görülmüştür. Bunun için yapıda en alt katta zemin izolatörlerin üstünde 15 cm kalınlığında rijit diyaframla birleştirilmiştir.

Yapıda normal kat döşemelerinde hareketli yük; $q = 2 \text{ kN/m}^2$, çatı döşemesinde ise $q = 1.5 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır. Yapıda deprem hesapları için kütle tanımlanırken, toplam

hareketli yükün sadece %30'nun yapıda mevcut olduğu kabul edilmiştir. Kirişlere, dış duvarlar için 4.2 kN/m^2 , iç duvarlar için de 2.5 kN/m^2 ek yük ilave edilmiştir. Ahşap çatının yükü ise 0.75 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Her katın, ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Dinamik analiz sırasında kat kütleleri ve taşıyıcı elemanların bu ağırlık merkezine göre eylemsizlik momentleri bu hesaplanan noktalarda dikkate alınmıştır.

Bu kabullerle yapılan hesaplamalar sonucunda, üst yapıdan izolatörlere yaklaşık olarak "10.048 kN" toplam düşey yük geldiği belirlenmiştir. Her bir kolonun altında izolatörlerin taşıdığı yükler Şekil (9.2) 'de gösterilmiştir.

Sismik izolasyon sonunda yeni titreşim periyodu $T = 2.5 \text{ s}$ mertebeleri hedeflenmiştir. İkinci olarak izolatörlerde boyutsuz bir büyüklük olan kayma-şekil değiştirme katsayısının en fazla $\gamma = 1.5$ olması istenmektedir. ($\gamma = D / t_r$ - Disk çapının, elastomer yüksekliğine oranı)

9.3. UBC-97'ye göre Yapı Parametreleri;

- Sismik Bölge Faktörü : Bölge 4, $Z = 0.40$
- Bölge Zemin Cinsi : S_D
- Sismik Fay Tipi : A tipi ($M \geq 7.0$), kayma oranı $SR \geq 5 \text{ mm/yıl}$
- Faya Yakınlık Faktörleri : $\Delta > 15 \text{ km}$, $N_A = 1$, $N_V = 1$
- DBE Sallama Yoğunluğu : $Z N_V = 0.40(1) = 0.40$
- MCE Respons Katsayıları: $M_M = 1.25$
- Sismik Katsayılar :

$$C_V = 0.64 ; C_{VD} = 0.64$$

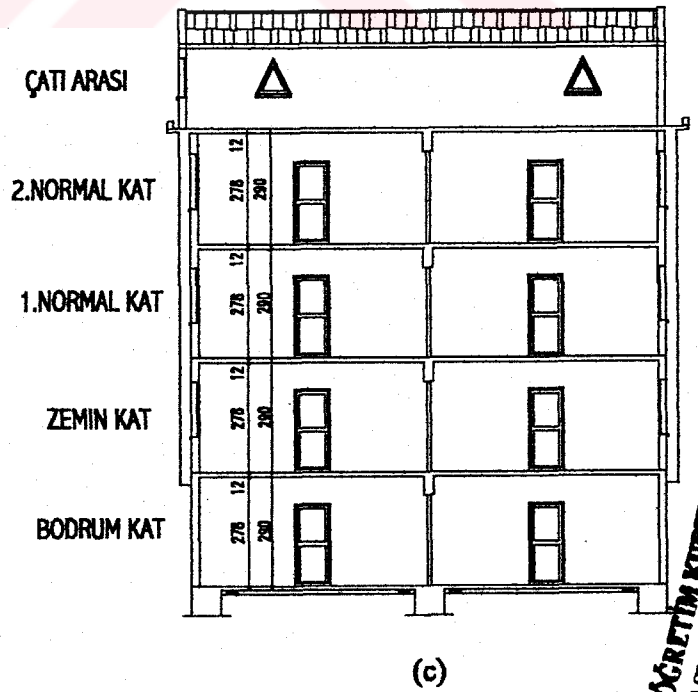
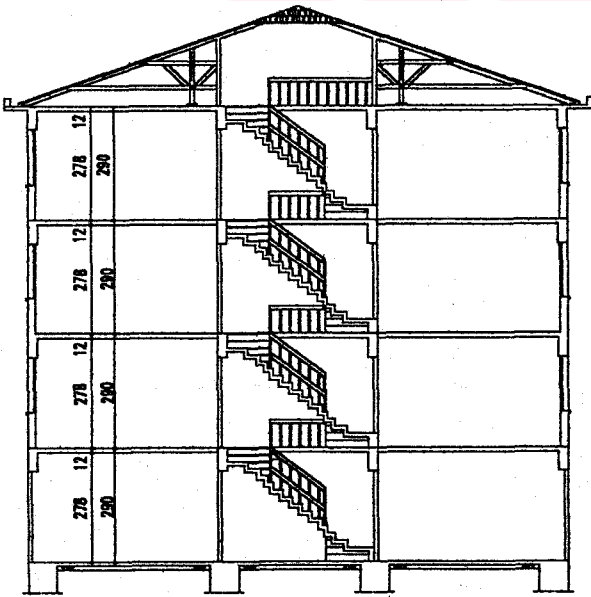
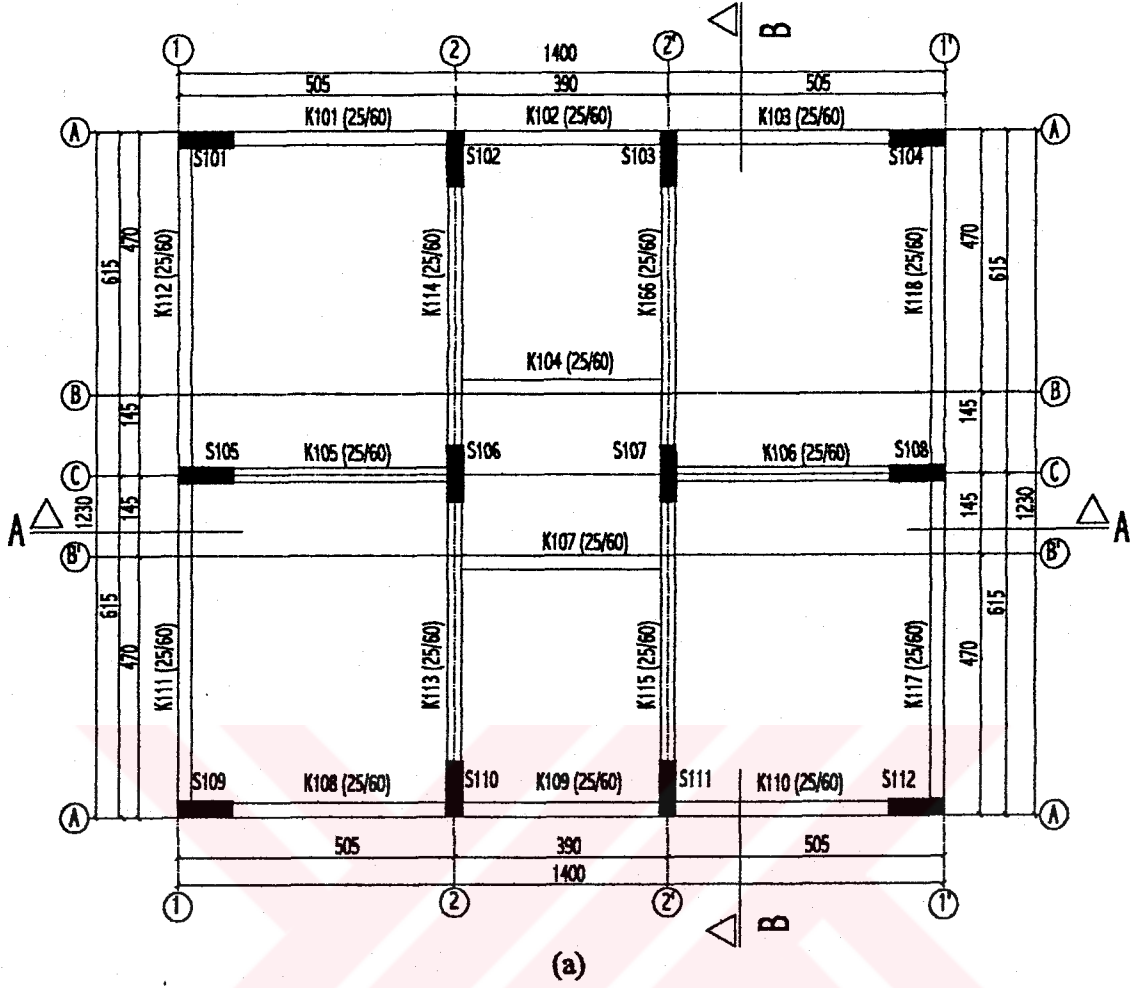
$$C_A = 0.44 ; C_{AD} = 0.44$$

$$\alpha = M_M Z N_A = 1.25(0.40)1 = 0.50 ; C_{AM} = 1.1 \alpha = 1.1(0.5) = 0.55$$

$$\alpha = M_M Z N_V = 1.25(0.40)1 = 0.50 ; C_{VM} = 1.6 \alpha = 1.6(0.5) = 0.80$$

- Sönüm Azaltma Katsayısı: $B = 1.20$
- Taşıyıcı Sistem Azaltma Katsayısı : $R_i = 2$

Tablo (9-1)'de UBC-97 boyutlandırma parametreleri mevcuttur.



Şekil 9.1 Yapının a) kalıp planı b) A- A kesidi c) B-B kesidi

TABLE 16-I—SEISMIC ZONE FACTOR Z

ZONE	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

TABLE 16-J—SOIL PROFILE TYPES

SOIL PROFILE TYPE	SOIL PROFILE NAME/GENERIC DESCRIPTION	AVERAGE SOIL PROPERTIES FOR TOP 100 FEET (30 480 mm) OF SOIL PROFILE		
		Shear Wave Velocity, V_s feet/second (m/s)	Standard Penetration Test, N [or N_{CH} for cohesionless soil layers] (blows/foot)	Undrained Shear Strength, \bar{s}_u psf (kPa)
S_A	Hard Rock	> 5,000 (1,500)	—	—
S_B	Rock	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)		
S_C	Very Dense Soil and Soft Rock	1,200 to 2,500 (360 to 760)	> 50	> 2,000 (100)
S_D	Stiff Soil Profile	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to ≥ 50	1,000 to 2,000 (50 to 100)
S_E^1	Soft Soil Profile	< 600 (180)	< 15	< 1,000 (50)
S_F	Soil Requiring Site-specific Evaluation. See Section 1629.3.1.			

TABLE 16-Q—SEISMIC COEFFICIENT C_a

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_a
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N_a
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40 N_a
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 N_a
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36 N_a
S_F	See Footnote 1				

TABLE 16-R—SEISMIC COEFFICIENT C_v

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_v
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N_v
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56 N_v
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64 N_v
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96 N_v
S_F	See Footnote 1				

TABLE 16-U—SEISMIC SOURCE TYPE¹

SEISMIC SOURCE TYPE	SEISMIC SOURCE DESCRIPTION	SEISMIC SOURCE DEFINITION ²	
		Maximum Moment Magnitude, M	Slip Rate, SR (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low rate of seismic activity	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

TABLE 16-T—NEAR-SOURCE FACTOR N_v^1

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

TABLE 16-S—NEAR-SOURCE FACTOR N_a^1

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

TABLE A-16-C - DAMPING REDUCTION FACTOR

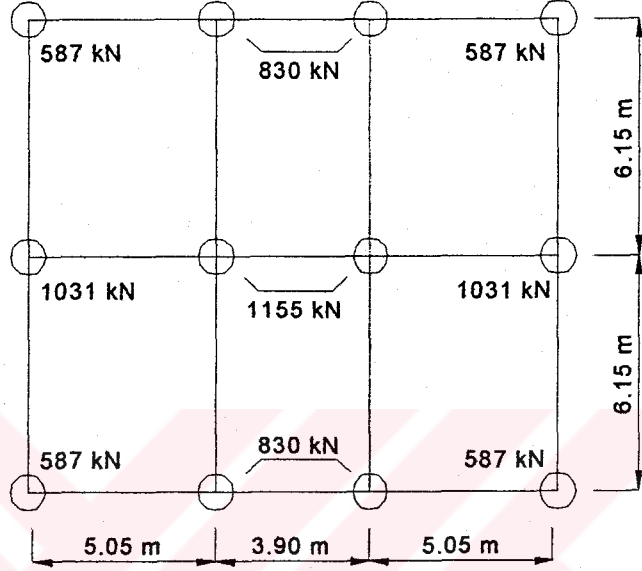
DAMPING COEFFICIENT	CRITICAL DAMPING RATIO, β						
	2%	5%	10%	20%	30%	40%	50%
B	0	1	1.2	1.5	1.7	1.9	2

Tablo 9.1 UBC-97 boyutlandırma parametreleri

9.4. İzolatörlerin Boyutlandırılması

Yapıda izolasyon için kullanılacak olan 2 değişik karakterde izolatör için kayma modülleri;

$$G_A = 0.65 \text{ MPa} \quad \beta = 0.10, \quad G_B = 1.0 \text{ MPa} \quad \beta = 0.15$$



Şekil 9.2 Planda izolatör düşey yükleri

$$D_D = \frac{g C_{vD} T_D}{B (4\pi^2)} = \frac{9.81 (0.64) 2.5}{1.20 (4\pi^2)} = 0.33 \text{ m}$$

9.4.1. Yatay Rijitlikler

$$K_{(D1)} = \frac{4 \pi^2 W_1}{T_D^2 g} = \frac{4 \pi^2 (0.587)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.38 \text{ MN/m}$$

$$K_{(D2)} = \frac{4 \pi^2 W_2}{T_D^2 g} = \frac{4 \pi^2 (0.830)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.53 \text{ MN/m}$$

$$K_{(D3)} = \frac{4 \pi^2 W_3}{T_D^2 g} = \frac{4 \pi^2 (1.031)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.66 \text{ MN/m}$$

$$K_{(D4)} = \frac{4 \pi^2 W_4}{T_D^2 g} = \frac{4 \pi^2 (1.155)}{(2.5)^2 (9.81)} = 0.74 \text{ MN/m}$$

9.4.2. Disk Çaplarının Belirlenmesi

$\gamma_{\max} = 1.5$ ve iki farklı kayma modülü olan elastomerler için, $G_A = 0.65 \text{ MPa}$ ve $G_B = 1.0 \text{ MPa}$ değerleri ile hesap yapılacaktır. Sistemde daha fazla yük taşıyan (1031 kN, 1155 kN) orta ağıstaki (C aksı) 4 kolon $G_B = 1.0 \text{ MPa}$ kayma modüllü sert kauçuk elastomerle diğer kalan 8 kolon ise $G_A = 0.65 \text{ MPa}$ kayma modüllü daha yumuşak kauçuk elastomerlerle izole edilecektir.

Elastomerin toplam yüksekliği;

$$t_r = 0.33 / 1.5 = 0.22 \text{ m}$$

$$t_r = 0.25 \text{ m, seçilen yükseklik.}$$

Yatay rijitliklere göre çaplar;

$$A_{(1)} = \frac{K_{(D1)} t_r}{G_A} = \frac{(0.38) (0.25)}{0.65} = 0.15 \text{ m}^2; \quad D_{(1)} = 42 \text{ cm}$$

$$A_{(2)} = \frac{K_{(D2)} t_r}{G_A} = \frac{(0.53) (0.25)}{0.65} = 0.21 \text{ m}^2; \quad D_{(2)} = 50 \text{ cm}$$

$$A_{(3)} = \frac{K_{(D3)} t_r}{G_B} = \frac{(0.66) (0.25)}{1.0} = 0.17 \text{ m}^2; \quad D_{(3)} = 47 \text{ cm}$$

$$A_{(4)} = \frac{K_{(D4)} t_r}{G_B} = \frac{(0.74) (0.25)}{1.0} = 0.19 \text{ m}^2; \quad D_{(4)} = 49 \text{ cm}$$

Seçilen $D = 50 \text{ cm}$ standart çapı her bir izolatör için uygun boyuttur.

Yeni alan;

$$A = \pi D^2 / 4 = \pi (0.50)^2 / 4 = 0.196 \text{ m}^2$$

Yeni alana göre yatay rijitlikler baştan hesaplanır;

$$K_H^A = \frac{A G_A}{t_r} = \frac{0.196 (0.65)}{0.25} = 0.510 \text{ MN/m}$$

$$K_H^B = \frac{A G_B}{t_r} = \frac{0.196 (1.0)}{0.25} = 0.785 \text{ MN/m}$$

9.4.3. Sistemde Toplam Yatay Rijitlik

$$\Sigma K_H = (8) (0.510) + (4) (0.785) = 7.222 \text{ MN/m}$$

9.4.4. İzolasyonlu Yapının Titreşim Periyodu

$$T_D = 2 \pi \sqrt{W / (K_H g)} = 2 \pi \sqrt{10.049 / [(7.222)(9.81)]} = 2.37 \text{ s}$$

$T \approx 2.4$ tasarlanan hedef olan 2.5 s 'ye çok yakındır. Bu yaklaşım yeterlidir.

$$\gamma = D_D / t_r = 0.29 / 0.25 = 1.16 < \gamma_{\max} = 1.5 ;$$

hesaplanan katsayı da istenen sınırlar içindedir.

9.4.5. Sistemde Toplam Sönüm

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_D D^2} = \frac{2\pi K_D^A D^2 \beta_A + 2\pi K_D^B D^2 \beta_B}{2\pi K_D D^2} = \frac{K_D^A \beta_A + K_D^B \beta_B}{K_D}$$

$$\beta = \frac{(8)(0.510)(0.10) + (4)(0.785)(0.15)}{7.222} = 0.12$$

Sistemde toplam sönüm ve rijitliğe göre yatay yer değiştirme tekrar hesaplanır; Sönüm azaltma katsayısı "B" için UBC 97'de önerilen formül;

$$1/B = 0.25(1 - \ln \beta)$$

$$B = 4 / (1 - \ln 0.12) = 1.28$$

ve gerçek tasarım yer değiştirmesi;

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B (4\pi^2)} = \frac{9.81 (0.64) 2.37}{1.28 (4\pi^2)} = 0.29 \text{ m}$$

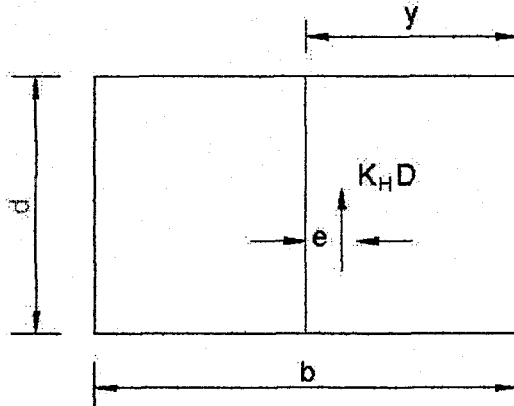
9.4.6. Maksimum Toplam Yer Değiştirme - (TMD)

Burulma da dikkate alınarak hesaplanan yer değiştirmedir.

$$D_T = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$$

"e" 0.05 kere planda uzun yönde ki mesafedir.

$$D_T = 0.29 \left(1 + 7 \frac{12(0.7)}{14^2 + 12.30^2} \right) = 0.39 \text{ m}$$



Şekil 9.3 Burulma formülü için boyutlar

9.4.7. Taban Kesme Kuvveti

UBC 97'de taban kesme kuvveti;

$$V_s = K_H D / R$$

olarak tanımlanmıştır.

K_H , sistemde toplam yatay rijitlik, D ; toplam yer değiştirme, R ise yapıda taşıyıcı sistem azaltma katsayılarıdır. Yapının taşıyıcı sistemi ve zemine mesnetlenme cinsi R 'yi değiştiren etkenlerdir. Kod, aşağıdaki durumlar için karşılık gelen R değerlerinin kullanılmasını uygun bulmuştur;

	R (izolasyonlu)	R (ankastre)
Moment Çerçevesel Sistemler :	2.0	8.5
Perdeli Sistemler :	2.0	5.0
Normal Çerçeve Sistemleri :	1.6	5.6
Eksantrik Çerçevesel Sistemler :	2.0	7.0

Kod kabullerine göre izolasyonlu yapıda taban kesme kuvveti;

$$V_s = (7.222)(0.29) / 2 = 1.05 \text{ MN}$$

Sismik taban kesme katsayısı;

$$C_s = V_s / W = 1.05 \text{ MN} / 10.048 \text{ MN} = \% 10$$

olarak bulunur.

9.4.8. İzolatör Detayı

İzolatörlerde, elastomer çapı ve toplam elastomer yüksekliği belirlenmiştir. Kullanılacak çelik levhaların kalınlığı standart olarak 2 mm'dir. Detayda tamamlanmayan tek nokta elastomer tabakalarının bir tanesinin kalınlığı " t "nin tespitidir. Bu tespit izolatör detayını tamamlayan son adımdır. Bunun için aşağıdaki yol izlenir;

Şekil faktörü (S), t 'nin bulunmasında etkendir.

$$S = \frac{\text{Yüklenen alan}}{\text{Elastomer Kenar Alanı}} \quad \text{idi} \quad (4.4)$$

R yarıçaplı dairesel kesitler için S;

$$S = \frac{\pi R^2}{2 \pi R t} = \frac{R}{2t} = \frac{\Phi}{4t}$$

olarak hesaplanır.

S = 10 seçilmesi durumunda;

$$10 = 500 / 4t; \quad t = 12,5 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır ve 20 adet elastomer tabakası gereklidir;

$$n t = 250 \text{ mm}; \quad n (12.50) = 250; \quad n = 20$$

İzolator detayı hesaplanan son değerlerle tamamlanmaktadır;

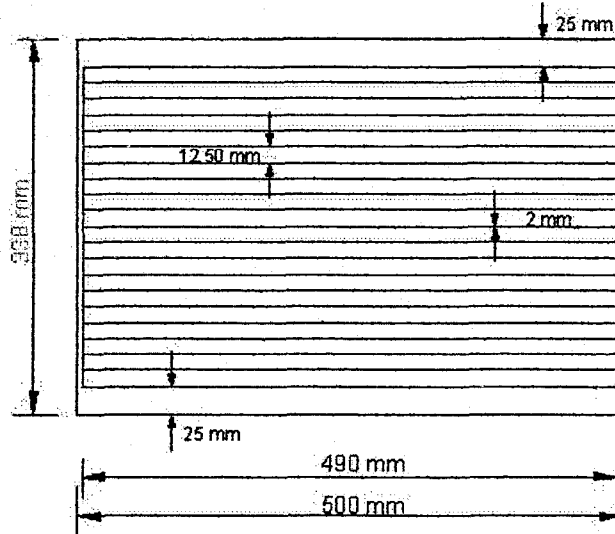
$$H = (25)(2) \text{ mm} + 250 \text{ mm} + (19)(2) \text{ mm} = 338 \text{ mm}$$

Çelik levhaların çapı; her iki tarafından 5'er mm kapatma plakası genişliği ayrıldıktan sonra;

$$500 - (2)(5) = 490 \text{ mm}$$

olarak belirlenir.

Her bir çelik tabakanın genişliği 2 mm'dir. İzolatorün kesidi Şekil (9.3)'de ki gibidir.



Şekil 9.4 İzolator kesidi

9.4.9. Düşey Titreşim Frekansı

Düşey yöndeki şekil değiştirmelerde, daha yüksek kayma modülleri ile hesap yapılmalıdır. İzolatörler için düşey kayma modülleri ve hacimsel elastisite modülü (Bulk Modulus);

$$G_A = 1.0 \text{ MPa}, \quad G_B = 1.4 \text{ MPa}, \quad K = 2000 \text{ MPa}$$

olarak alınır.

Yükleme modülleri;

$$E_c^A = \frac{6 G_S^2 K}{6 G_S^2 + K} = \frac{6(1.0)(10)^2 2000}{6(1.0)(10)^2 + 2000} = 461 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 G_S^2 K}{6 G_S^2 + K} = \frac{6(1.4)(10)^2 2000}{6(1.4)(10)^2 + 2000} = 592 \text{ MN/m}^2$$

Sistemde toplam düşey rijitlik;

$$K_H = \frac{(8 E_c^A + 4 E_c^B) A}{t_r} = \frac{[(8)(461) + 4(592)] 0.196}{0.25} = 4747.90 \text{ MN/m}$$

Sistemde açısız frekans;

$$\omega_v^2 = 7222 \cdot 10^6 \text{ N/m} \frac{1}{(10.048.468 \text{ N}) / (9.81 \text{ m/s}^2)} = 7050.61 \text{ s}^{-2}$$

$$\omega_v = 89.57 \text{ s}^{-1}$$

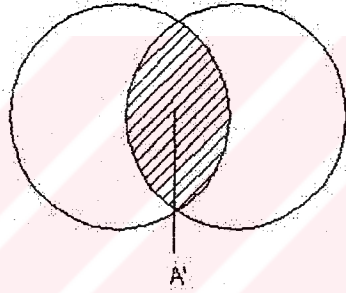
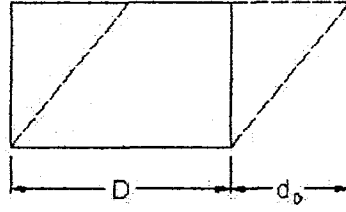
$$T = 1/f = 2\pi/\omega; \quad f = \omega / 2\pi = 89.57 / 2\pi = 13.38 \text{ Hz}$$

9.4.10. Ortak Alan Hesabı

Ortak alan A' ,

$$A' = A \left[1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]$$

$$\sin \theta = d_D / D$$



Şekil 9.5 Ortak Alanlar

$$\sin \theta = d_D / D = 0.29 / 0.50 = 0.58$$

$$\theta = \arcsin (0.58) = 35.45^\circ = 0.62 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0.81$$

$$A' = A \left[1 - \frac{2}{\pi} (0.62 + (0.58)(0.81)) \right] = 0.31 A$$

$$A' = 0.31 (0.196) = 0.06 \text{ m}^2$$

9.4.11. Göçme Riski

Sistemde göçme riskinin araştırılması için kritik olan P yükü saptanır;

$$P_{\text{crit}} = \sqrt{P_S P_E}$$

Çelik kısım için kritik yük " $P_S = G A_S$ " ve elastomer kısım için kritik yük;

$$P_E = \pi^2 (EI)_{\text{eff}} / tr^2$$

olarak tanımlanmıştır.

$$(EI)_{\text{eff}} = E_c (1/3) I \text{ ise;}$$

Çelik levhaların çapı 0.49 m olduğuna göre, bu durumda "I" atalet momenti;

$$I = \frac{\pi}{4} (D/2)^4 = \frac{\pi}{4} (0.49/2)^4 = 0.00283 \text{ m}^4$$

olarak hesaplanır.

Bu durumda kiritik P yükü;

$$P_{\text{cr}} = \frac{\pi}{tr} \sqrt{(E_c I / 3) G A_S}$$

halini alır.

Çelik levhaların alanı A_S ise;

$$A_S = (\pi / 4) (0.490)^2 = 0.188 \text{ m}^2 \text{ 'dir.}$$

$$P_{\text{cr}}^A = \frac{\pi}{0.25} \left[(461 \cdot 10^6) \frac{0.00283}{3} (1.0 \cdot 10^6) (0.188) \right]^{1/2} = 3,593 \cdot 10^6 \text{ N}$$

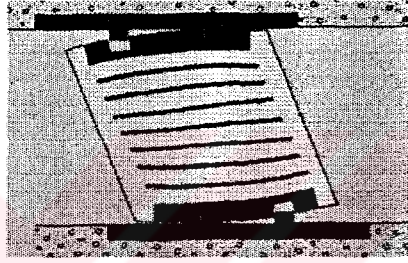
$$P_{\text{cr}}^B = \frac{\pi}{0.25} \left[(592 \cdot 10^6) \frac{0.00283}{3} (1.4 \cdot 10^6) (0.188) \right]^{1/2} = 4,819 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{cr}}^A &= 3593 \text{ kN} > 587 \text{ kN} & P_{\text{cr}}^B &= 4819 \text{ kN} > 1031 \text{ kN} \\ &> 830 \text{ kN} & &> 1155 \text{ kN} \end{aligned}$$

"Hiç bir kolonun altındaki izolatörde göçme riski mevcut değildir."

9.4.12. Dışarı Yuvarlanma Mesafeleri (Rollout Displacements)

Dışarı yuvarlanma; elastomerik izolatörlerde, etkiyen yatay kuvvetin tasarım yer değiştirme kapasitelerini aşılmasına sebep olduğu durumlarda, elastomerin plakalardan sıyrılarak, yuvarlanma hareketi ile tasarım dışı davranış göstermelerine neden olacak büyüklükteki yer değiştirmelerdir. Bu mesafeler, izolatör bağlantılarının bulonlu olmaması durumunda (dowel type), dikkate alınması gereken hesaplamalardır (Şekil 9.6). İzolatörler, her ne kadar tasarım yükleri altında sürekli davranış gösterebilirler, söz konusu birleşimlerde hesaplanan mesafeler aşıldığında, elastomerin üstünde ve altında meydana gelecek olan istenmeyen şekil değiştirmeler meydana gelecektir. Bulonlu bağlantılarda bu hesaplama gerek yoktur.



Şekil 9.6 Bulonsuz elastomer birleşimi

$$D_{\max} = \frac{\Phi}{1 + K_H h / W}$$

$$D_{\max(1)} = \frac{0.500 \text{ m}}{1 + (510 \text{ kN/m})(0.338\text{m}) / 587 \text{ kN}} = 0.39 \text{ m}$$

$$D_{\max(2)} = \frac{0.500 \text{ m}}{1 + (510 \text{ kN/m})(0.338\text{m}) / 830 \text{ kN}} = 0.41 \text{ m}$$

$$D_{\max(3)} = \frac{0.500 \text{ m}}{1 + (785 \text{ kN/m})(0.338\text{m}) / 1031 \text{ kN}} = 0.40 \text{ m}$$

$$D_{\max(4)} = \frac{0.500 \text{ m}}{1 + (785 \text{ kN/m})(0.338\text{m}) / 1155 \text{ kN}} = 0.41 \text{ m}$$

9.5. Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı

Sistemde kullanılacak kurşun çekirdekli elastomerik izolatörlerse, bu durumda izlenecek yol aşağıdaki gibi olacaktır;

Söz konusu modelleme için, birkaç değişik kabul dışında hesap tekniği ve boyutlandırma mantığı genel olarak aynıdır. Modelde ilk olarak, sistemin tasarlanan titreşim periyodunda olabilmesi için ne kadar yatay rijitlik mevcut olması gerektiği belirlenir. Daha sonra kaç adet izolatörde kurşun çekirdeğin kullanılacağını tespiti ve kurşun çekirdeğin yatay rijitliğe katkısından sonra, sistemin istenen rijitlikte olması için ne kadar kauçuk rijitliğinin gerekliliğinin yani, kullanılan elastomerik mesnetlerin kayma modüllerinin büyüklüğünün saptanması ana hatlarıyla kurşun çekirdekli modelin özüdür.

Kurşun çekirdek, izolatörün yatay yer değiştirme kapasitesini azaltmaktadır. Hesaplanan tasarım yer değiştirmesi kauçuk mesnettekenden daha az olacaktır. Sönüm azaltma katsayısı $B = 1.35$ için;

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B (4\pi^2)} = \frac{9.81 (0.64) 2.5}{1.35 (4\pi^2)} = 0.29 \text{ m}$$

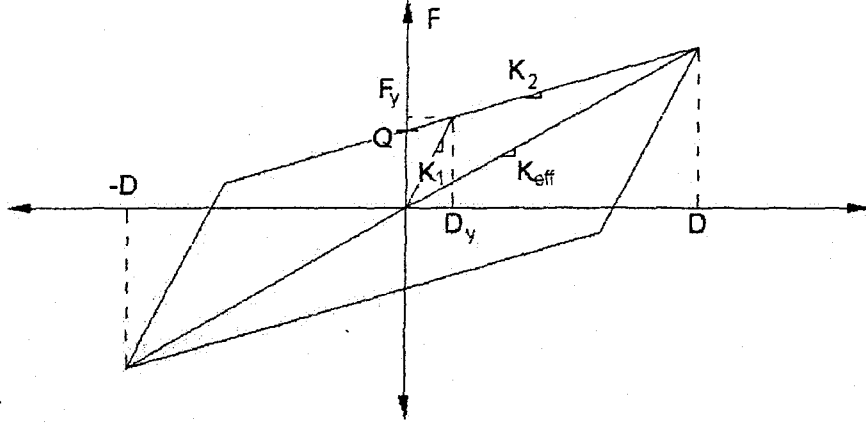
$T = 2.5 \text{ s}$ ' yi sağlamak için sistemde gerekli toplam yatay rijitlik;

$$K_H = \frac{10048 \text{ kN}}{9.81 \text{ m/s}^2} \frac{4\pi^2}{(2.5 \text{ s})^2} = 6469.79 \text{ kN/m} = 6.479 \text{ MN/m} \text{ olmalıdır.}$$

Kurşun çekirdekli modelin, kuvvet yerdeğiştirme eğrisini hatırlarsak (Şekil 9.7);

K_1 ; elastik rijitlik (elastic stiffness ya da initial stiffness), K_2 ; plastik rijitlik ya da akma sonrası rijitliği (post yield stiffness), D_y ; kurşun çekirdek için akma mesafesi, F_y kurşun çekirdeğin akma kuvveti ($F_y = \sigma_y \cdot A_{pb}$ ve $\sigma_y \approx 10 \text{ MPa}$), Q ; karakteristik kuvvet, K_{eff} ise sistemde genel olan efektif rijitliktir. K_1 'in efektif rijitlik üstünde etkisi olmasa da, sistemde sönümü belirleyen büyüklüklerden biridir. K_1 kurşun çekirdeğin akma gerilmesinden

hesaplanabildiği gibi çoğu zaman hesaplarda K_2 'nin yaklaşık olarak bir katı alınması tavsiye edilir. ($K_1 = 6.5 \sim 10K_2$)



Şekil 9.7 Kurşun çekirdekli modelde kuvvet yerdeğiştirme davranışı

$$K_{\text{eff}} = K_2 + Q/D$$

Sistemde her defa da dağıtılan enerji aynı zamanda F-D eksenli grafikte eğrinin alanı ;

$$W_D = 2\pi K_{\text{eff}} D_D^2 \beta_{\text{eff}} = 2\pi (6.479) (0.29)^2 (0.15) = 0.51 \text{ MNm}$$

Efektif rijitlikle, iki kurşun çekirdekli mesnet parametresi "Q" ve "K_r" arasındaki ilişki;

$$K_{\text{eff}} = K_r + Q/D$$

ve

$$W_D = 4Q(D - D_y)$$

olduğunu hatırlarsak, formülde ki D_y ;

$$D_y = Q / K_1 - K_2 \text{ 'dir.}$$

$K_1 \approx 10 K_2$ alalım. "Q" için birinci yaklaşımda " D_y " etkisi ihmal edilir;

$$Q = W_D / 4 D_D$$

olarak hesaplanır.

$$Q = 0.51 \text{ MN/m} / 4 (0.29) \text{ m} = 0.44 \text{ MN}$$

ve

$$\begin{aligned} K_2 &= K_{\text{eff}} - Q / D \\ &= 6.479 - (0.44 / 0.29) = 4.96 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

"Q"nun, "Dy" için ilk düzeltme sonucu;

$$Dy = 0.44 / [(9)(4.96)] = 0.0098 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

$Q = W_D / [4 (D - Dy)]$ 'den tekrar hesaplama ile;

$$Q = 0.51 / [4 (0.29 - 0.0098)] = 0.45 \text{ MN}$$

İzolatör modelinde kurşun çekirdeğin akma değeri 10 MPa olduğundan, gerekli toplam kurşun çekirdek alanı;

$$A_{pb} = Q / \sigma_{pb} = 0.45 \text{ MN} / 10 \text{ MN/m}^2 = 0.045 \text{ m}^2$$

D = 500 mm için izolatörlerde kullanılacak kurşun çekirdek çapları, standart olarak 100 mm veya 125 mm' dir.

$$100 \text{ mm için } A_{pb} = 0.0079 \text{ m}^2$$

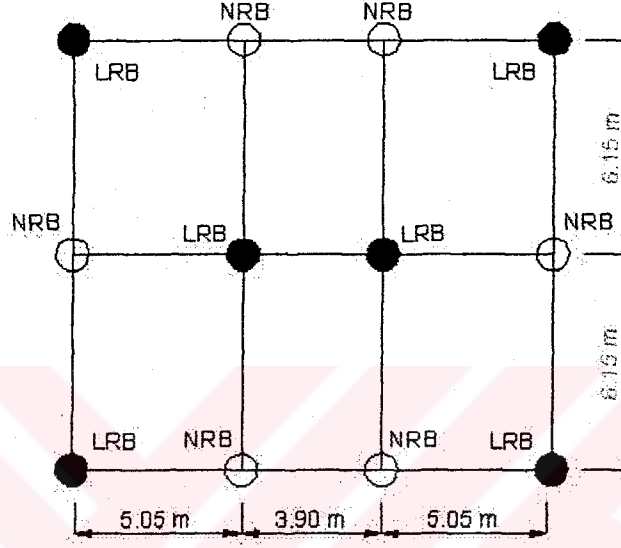
$$125 \text{ mm için } A_{pb} = 0.0123 \text{ m}^2$$

100 mm'lik kurşun çekirdekler için hesap yapılırsa;

$$n = 0.045 / 0.0079 = 5.69 \sim 6 \text{ adet}$$

6 adet kurşun başlıklı izolatör kullanılması uygundur. Geriye kalan diğer 6 kolonun altındaki izolatörler ise doğal kauçuk mesnetli olarak boyutlandırılacaktır. Bütün izolatörler aynı şekilde $D=500\text{mm}$ çaplı, $t_r=25\text{ cm}$ yüksekliğindedir. Kayma modülü ise hepsinde $G=0.55\text{MPa}$ alınarak hesap yapılacaktır.

$$\Sigma A_{pb} = 0.0079 \text{ m}^2 (6) = 0.0471 \text{ m}^2 > 0.0045 \text{ m}^2$$



Şekil 9.8 İzolatörlerin planda yerleşimi

Sistemde gerekli olan toplam kauçuk rijitliği " K_r " ise;

$$K_r = K_H - Q / D_D = 6.479 \text{ MN/m} - 0.471 \text{ MN} / 0.29 \text{ m} = 4.85 \text{ MN/m}$$

Bir tane kauçuk izolatörün rijitliği ise ($G = 0.55 \text{ MPa}$);

$$K_r = G A / t_r = [(0.55) (0.196 \text{ m}^2)] / (0.25 \text{ m}) = 0.4312 \text{ MN/m}$$

Sistemde toplam kauçuk elastomer rijitliği;

$$\Sigma K_r = (12) (0.4312) = 5.1744 \text{ MN/m} > 4.85 \text{ MN/m}$$

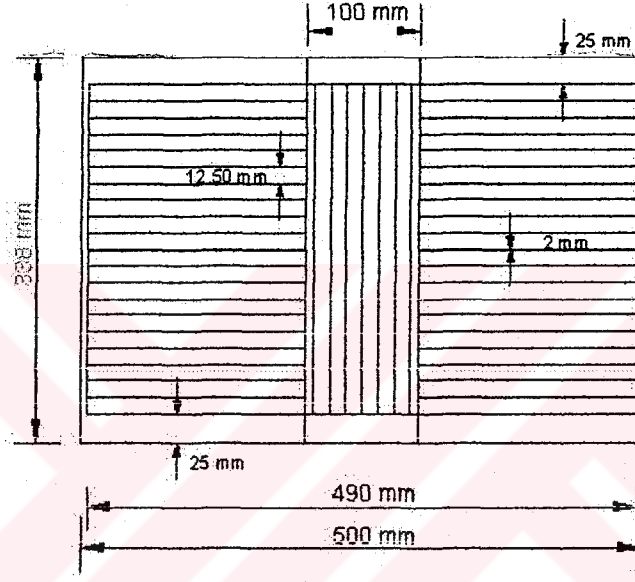
$$K_{\text{eff}} = K_r + Q / D_D = 5.1744 + 0.471 / 0.29 = 6.79 \text{ MN/m} > 6.479 \text{ MN/m}$$

Gerçek titreşim periyodu;

$$T_D = 2\pi \sqrt{(10.048) / [(6.79)(9.81)]} = 2.45 \text{ s}$$

Son yer değiştirme;

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B (4\pi^2)} = \frac{9.81 (0.64) 2.45}{1.35 (4\pi^2)} = 0.29 \text{ m}$$



Şekil 9.9 Kurşun çekirdekli izolator kesidi

9.6. Sürtülmeli Sarkaç Sistemi Tasarımı

Sistemde kullanılacak izolator tipi sürtülmeli sarkaç modeli ise, ilk olarak yapının titreşim periyodunda tek değişken olan sürtünen yüzeylerde ki eğrilik yarı çapı belirlenir. Bu yöntemde model kurmak elastomerik mesnetli sistemlere göre daha kolaydır.

Sürtülmeli sarkaç sistemi ile izole edilmiş yapının periyodu;

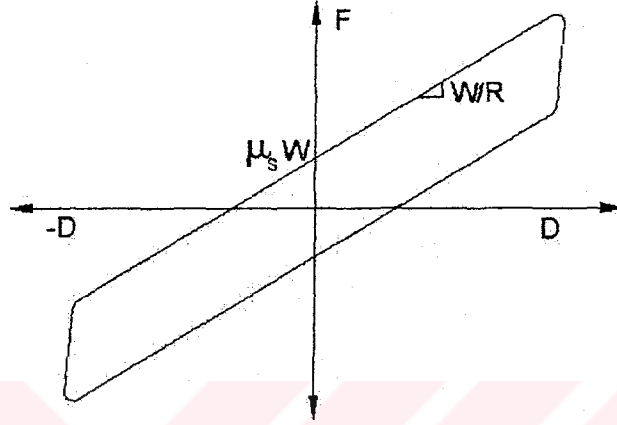
$$T = 2\pi \sqrt{R / g}$$

$T_D = 2.5 \text{ s}$ tasarım periyodu için eğrilik yarı çapının hesabı;

$$R = \frac{T_D^2 g}{4 \pi^2} = \frac{(2.5 \text{ s})^2 (9.81 \text{ m/s}^2)}{4 \pi^2} = 1.55 \text{ m}$$

Sistemde yatay rijitlik;

$$K_H = W / R = 10.048 \text{ MN} / 1.55 \text{ m} = 6.48 \text{ MN/m}$$



Şekil 9.10 Sürtümlü sarkaç modelinde kuvvet yer değiştirme eğrisi

Sistemde kod formülünden efektif sönüm;

$$\beta = \frac{\text{Döngüsel eğrinin alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2}$$

$$\beta = \frac{4\mu Wd}{2\pi [(W/R)D + \mu W]D} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{D/R + \mu}$$

Sistemde sönüm faktörü deneysel olarak belirlenen büyüklüktür. $\beta = 0.12$ ve sürtünme katsayısı $\mu=0.06$ olan sistemde; D yer değiştirmesi;

$$0.12 = \frac{2}{\pi} \frac{0.06}{(D/1.55) + 0.06} ; \quad D = 16.7 \text{ cm}$$

Efektif rijitlik;

$$K_{\text{eff}} = (W/R) + (\mu W/D) = (10.048/1.55) + (0.06 \cdot 10.048/0.167) = 10.093 \text{ MN/m}$$

Düsey Yer Değişirme;

$$\delta_v = R [1 - \cos (\text{arc sin } D/R)]$$

$$\delta_v = 1.55 [1 - \cos (\text{arc sin } 0.167 / 1.55)] = 0.009 \text{ m}$$

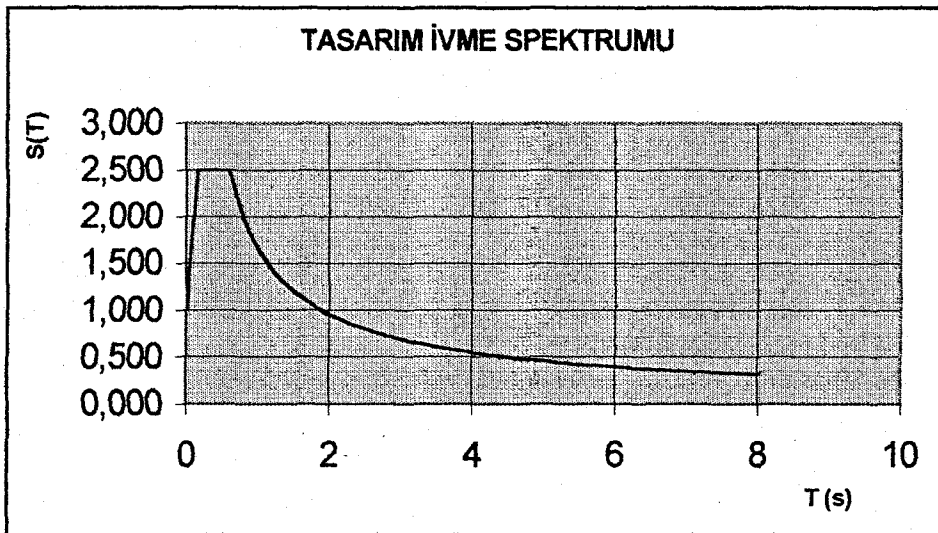


10. DİNAMİK ANALİZLER

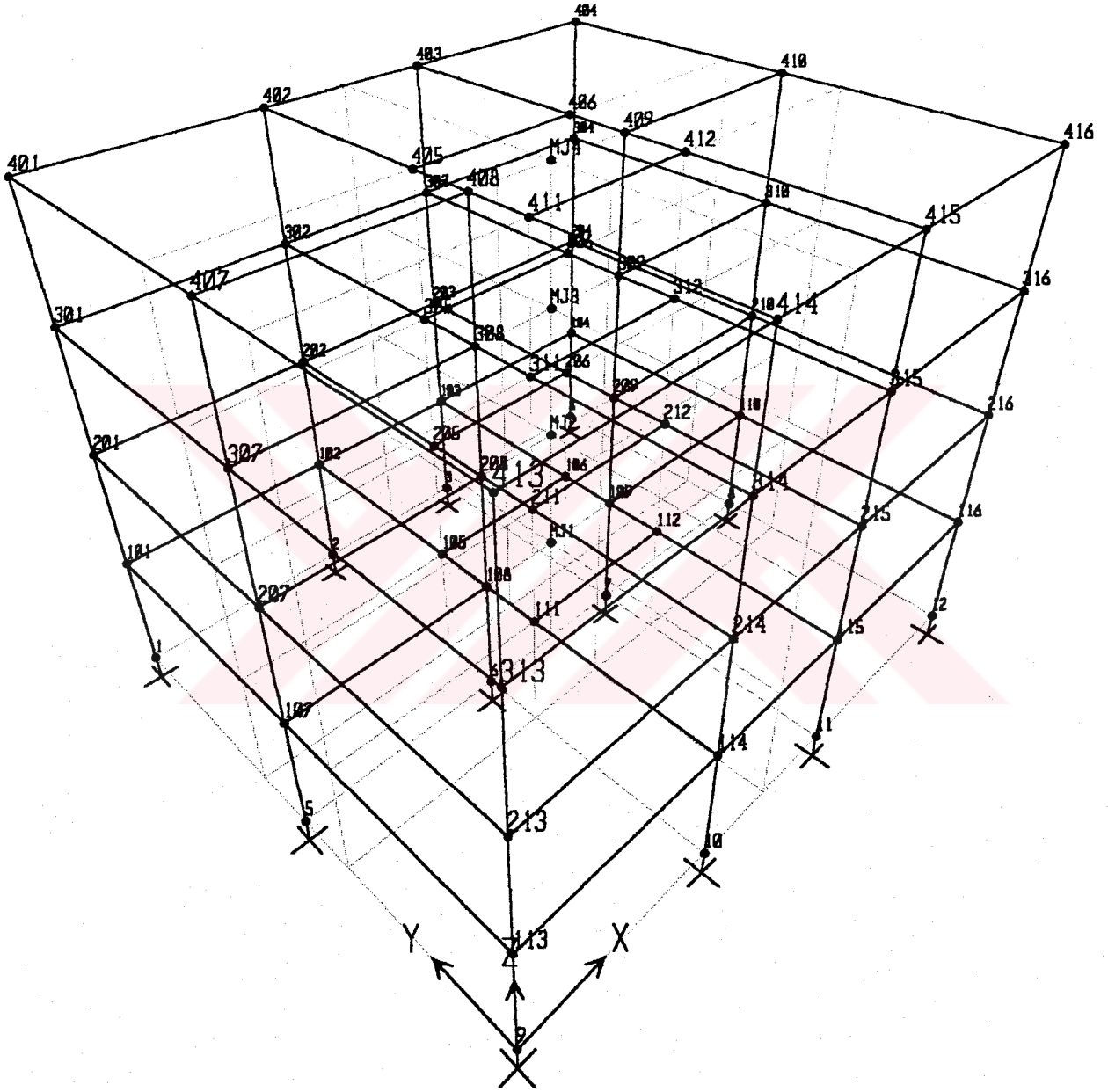
Bu bölümde izolatörlerin sistem üzerinde etkilerini görmek için dinamik analizler yapılacaktır. Dinamik analizler için iki ayrı yöntem uygulanacaktır. Modal mukabalelerin maksimumlarının (spektral değerlerinin) belirli bir yöntemle birleştirilmesi suretiyle yapılan spektral analiz yöntemi (Response Spectrum Analysis) kullanılacaktır. Dinamik analiz yöntemi, sistemde herbir mesnetlenme şekli için ayrı ayrı uygulanacak ve değişimler gözlenecektir. SAP2000'de tasarlanan modellerde sismik izolasyonun sisteme katkısının ne kadar olacağı tespit edilecektir.

10.1. Spektral Analiz

$T_A = 0.15$ s. ve $T_B = 0.60$ s. karakteristik periyodlu, ivme zaman eksenli TDY tasarım spektrumu (Şekil 10.1), dinamik analizlerde esas alınmıştır. Modal maksimumların birleştirilmesinde, "CQC" yöntemi kullanılmıştır. Dinamik analiz, yapının zemine ankastre olması ve Bölüm 9'da boyutlandırılan 3 değişik izolatör modelinin sistemde uygulanması (doğal kauçuk izolatörler, kurşun çekirdekli izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemi) durumları için ayrı ayrı uygulanacak ve sonuçlar gözlenecektir. Deprem etkileri iki yön içinde dikkate alınacak ve kesit etkileri karşılaştırılacaktır. Bunun için de depremin, ilk başta x yönünden etkilediği durum dikkate alınacak ve A-A aksı kesit tesirleri ve yer değiştirmeler saptanacaktır. Aynı işlem, y yönünden etkiyen deprem etkisinde 1-1 aksı için tekrarlanacaktır.



Şekil 10.1 Tasarım spektrumu



Şekil 10.2 Yapı modelinin perspektif görünüşü

10.1.1. Ankastre Mesnetli Durumda Yapıda Analiz Sonuçları

10.1.1.1. Modlara Göre Titreşim Periyotları

Mod	Ankastre Yapı Periyodu (s)	Mod Şekli
1	0.4340	Kuzey-Güney yatay hareket
2	0.4299	Doğu-Batı yatay hareket
3	0.3777	Burulma

Tablo 10.1 Ankastre mesnetli yapıda modlara göre titreşim periyotları

10.1.1.2. Yer Değiştirmeler

A-A Aksı		1-1 Aksı	
D. N.	δx -(m)	D. N.	δy -(m)
401	0,00792	404	0,00806
301	0,00628	304	0,00641
201	0,00397	204	0,00405
101	0,00144	104	0,00146
1	0,00000	4	0,00000

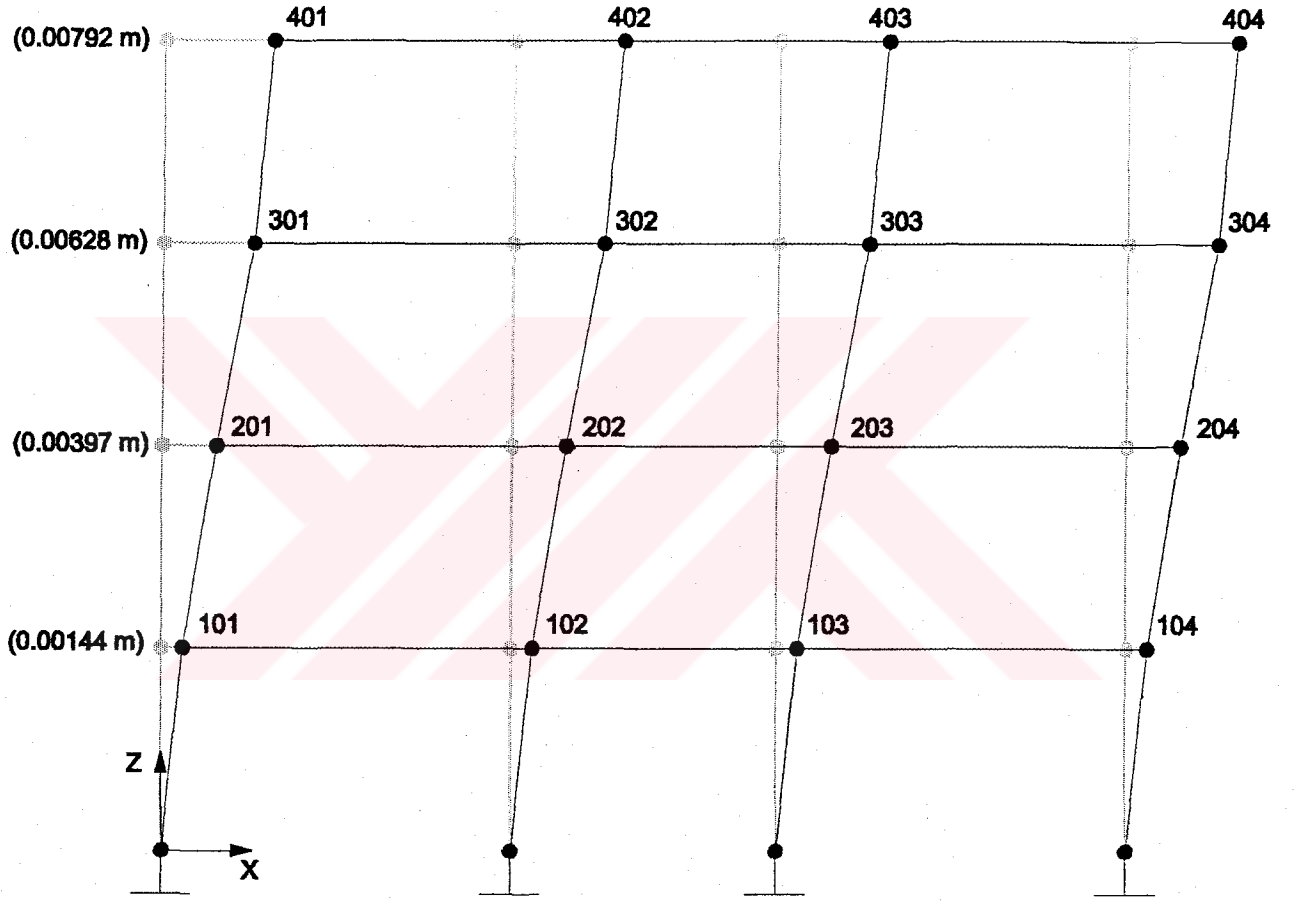
Tablo 10.2 Ankastre mesnetli yapıda, E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler

"Sistemde rijit diyafram kabulü yapıldığı için, düğüm noktaları için bulunan yer değiştirmeler aynı zamanda bütün katın yer değiştirmeleridir."

ANKASTRE MESNETLİ SİSTEM

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER

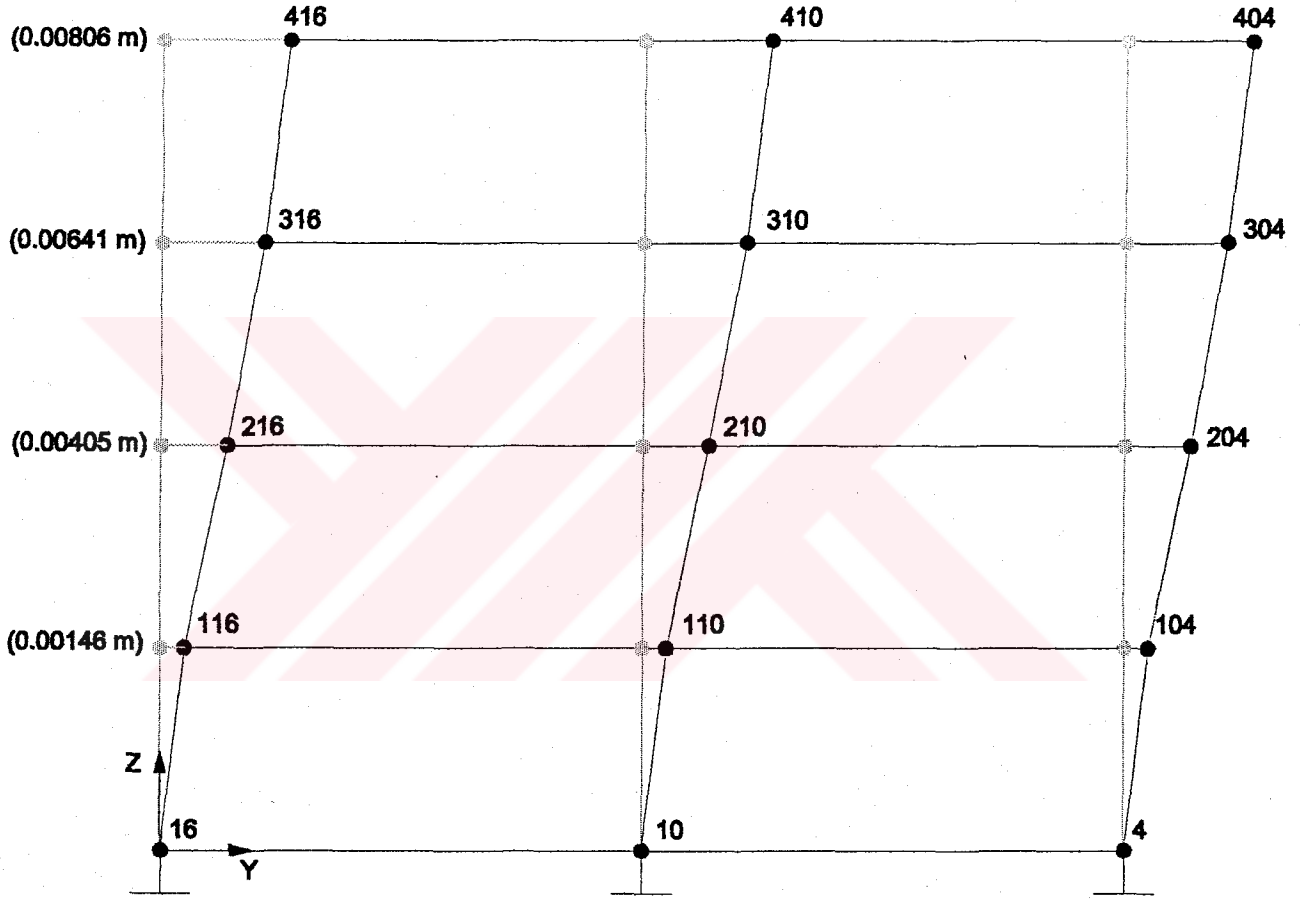


Şekil 10.3 Ankastre mesnetli sistemde A-A aksı
E yüklemesinde yer değiştirmeler

ANKASTRE MESNETLİ SİSTEM

1-1 AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER



Şekil 10.4 Ankastre mesnetli sistemde 1-1 aksı
E yüklemesinde yer değiştirmeler

10.1.2. Doğal Kauçuk İzolatörlerle İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları

10.1.2.1. Modlara Göre Titreşim Periyotları

Mod	D.Kauçuk Mesnetli Yapı Periyodu (s)	Mod Şekli
1	2.4087	Kuzey-Güney yatay hareket
2	2.4086	Doğu-Batı yatay hareket
3	1.8878	Burulma

Tablo 10.3 Doğal kauçuk izolatörlerle izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları

10.1.2.2. Yer Değiştirmeler

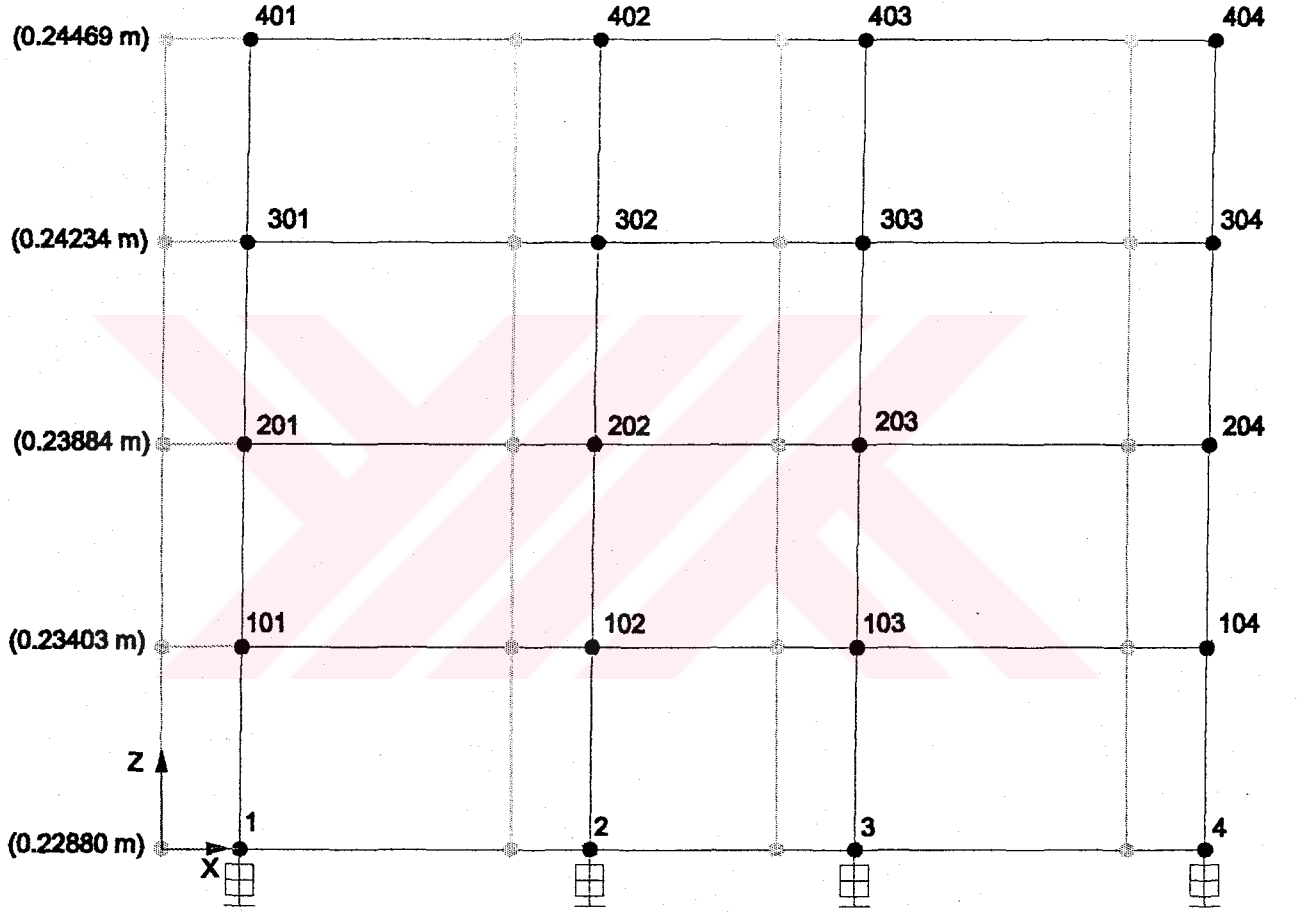
A-A Aksı		1-1 Aksı	
D. N.	δx -(m)	D. N.	δy -(m)
401	0,24469	404	0,24470
301	0,24234	304	0,24238
201	0,23884	204	0,23882
101	0,23409	104	0,23403
1	0,22880	4	0,22880

Tablo 10.4 Doğal kauçuk izolatörlerle izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler

DOĞAL KAUÇUK MESNETLİ SİSTEM

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER

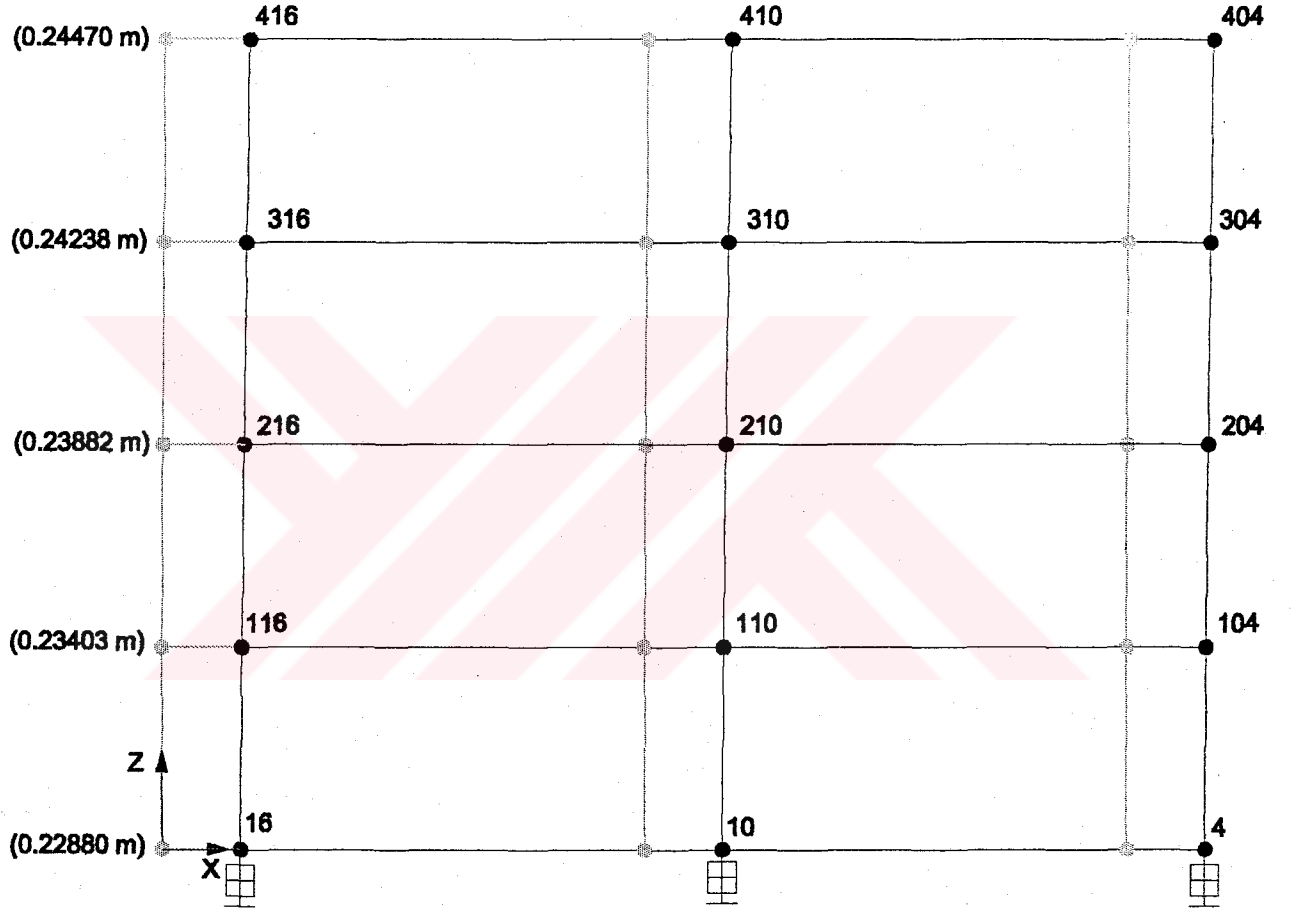


Şekil 10.5 Doğal kauçuk mesnetli sistemde A-A aksı
E yüklemesinde yer deęistirmeler

DOĞAL KAUÇUK MESNETLİ SİSTEM

1-1 AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER



Şekil 10.6 Doğal kauçuk mesnetli sistemde 1-1 aksı
E yüklemesinde yer değiştirmeler

10.1.3. Kurşun Çekirdekli İzolatörlerle İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları

10.1.3.1. Modlara Göre Titreşim Periyotları

Mod	Kurşun Çekirdekli Yapı Periyodu (s)	Mod Şekli
1	2.4817	Kuzey-Güney yatay hareket
2	2.4811	Doğu-Batı yatay hareket
3	1.8432	Burulma

Tablo 10.5 Kurşun çekirdekli izolatörlerle izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları

10.1.3.2. Yer Değiştirmeler

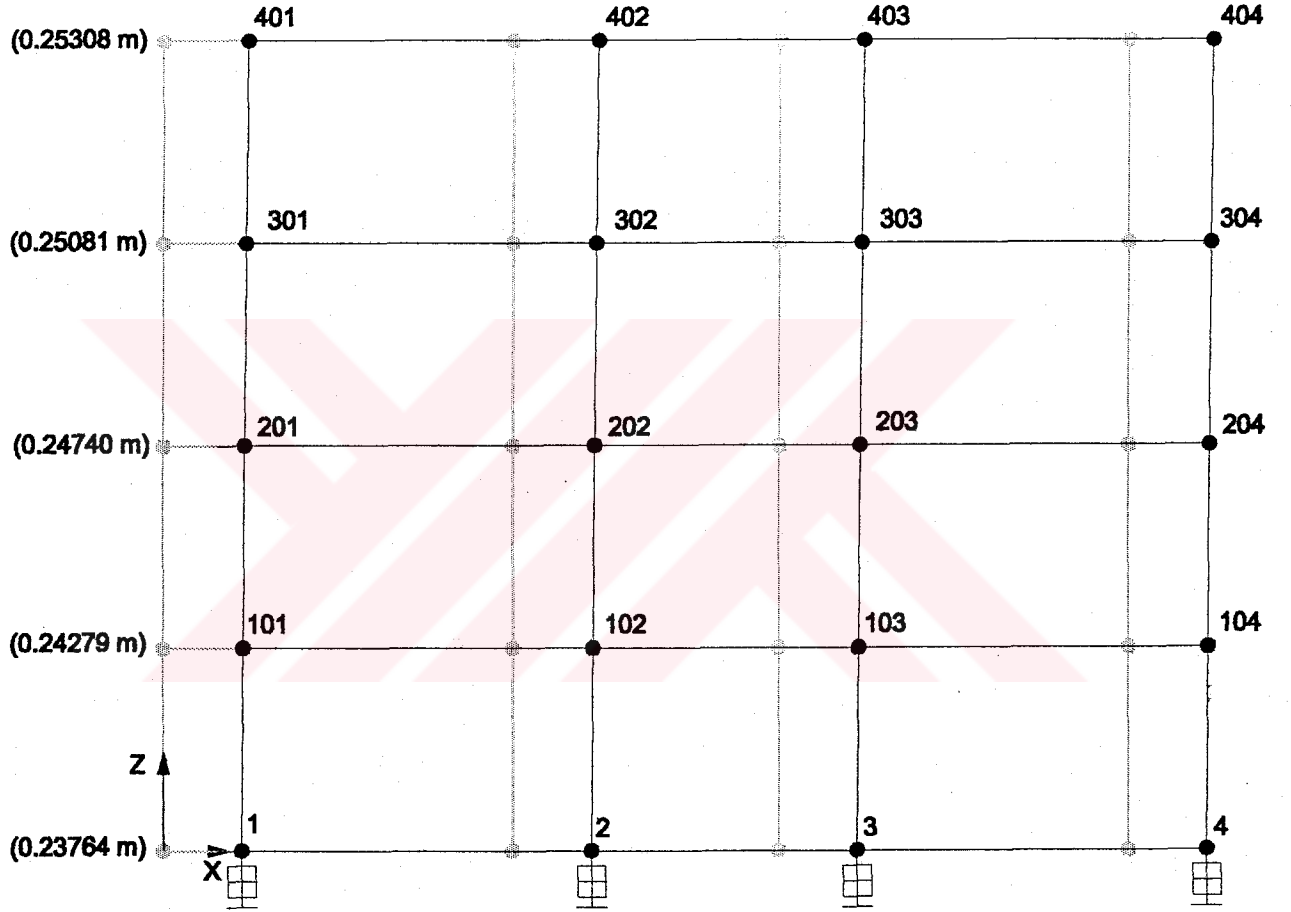
A-A Aksı		1-1 Aksı	
D. N.	δx -(m)	D. N.	δy -(m)
401	0,25308	404	0,25316
301	0,25081	304	0,25091
201	0,24740	204	0,24746
101	0,24279	104	0,24281
1	0,23764	4	0,23772

Tablo 10.6 Kurşun çekirdekli izolatörlerle izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu yatay yer değiştirmeler

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ SİSTEM

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER

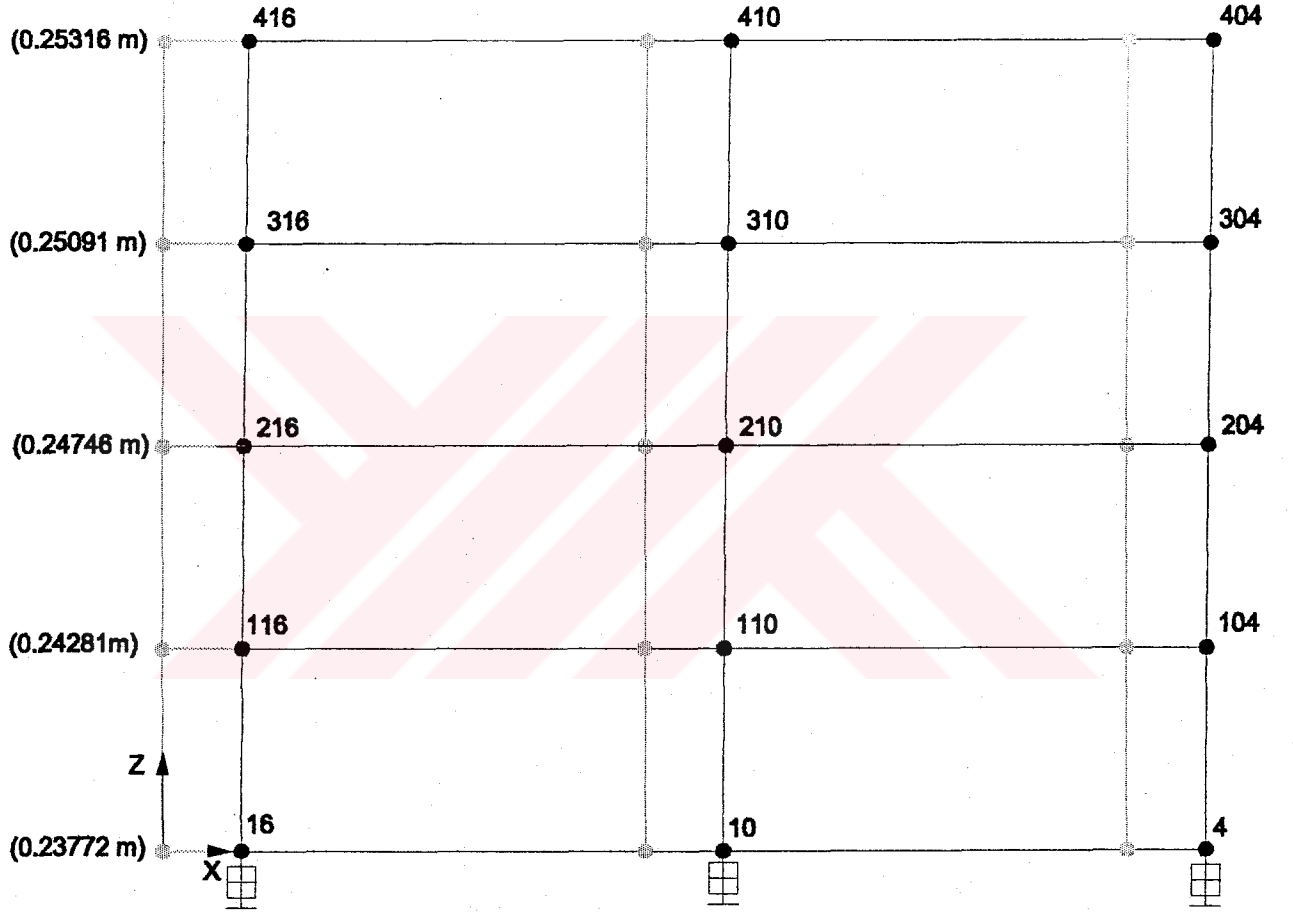


Şekil 10.7 Kurşun çekirdekli sistemde A-A aksı
E yüklemesinde yer değiştirmeler

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ SİSTEM

1-1 AKSI / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER



Şekil 10.8 Kurşun çekirdekli sistemde 1-1 aksı
E yüklemesinde yer değiştirmeler

10.1.4. Sürtünmeli Sarkaç Modeli ile İzole Edilmiş Yapıda Analiz Sonuçları

10.1.4.1. Modlara Göre Titreşim Periyotları

Mod	FPS'li Yapı Periyodu (s)	Mod Şekli
1	2.5371	Kuzey-Güney yatay hareket
2	2.5370	Doğu-Batı yatay hareket
3	1.9159	Burulma

Tablo 10.7 Sürtünmeli sarkaç modeli ile izole edilmiş yapıda modlara göre titreşim periyotları

10.1.4.2. Yer Değiştirmeler

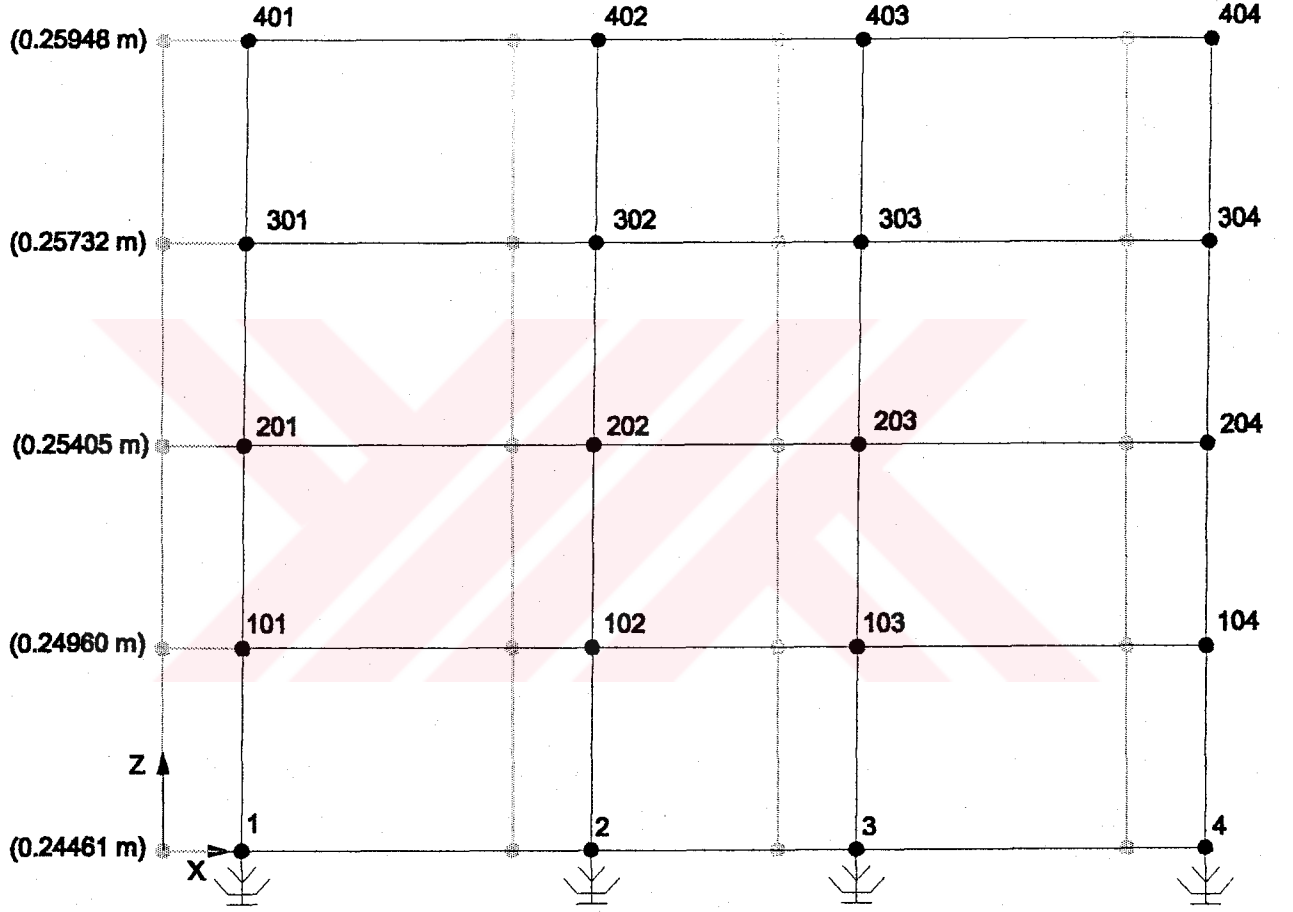
A-A Aksı		1-1 Aksı	
D. N.	δx -(m)	D. N.	δy -(m)
401	0,25948	404	0,25948
301	0,25732	304	0,25734
201	0,25405	204	0,25404
101	0,24960	104	0,24954
1	0,24461	4	0,24462

Tablo 10.8 Sürtünmeli sarkaç modeli ile izole edilmiş yapıda E yüklemesi sonucu sistemde yatay yer değiştirmeler

SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ SİSTEMİ

A-A AKSİ / E YÜKLEMESİ

YER DEĞİŞTİRMELER

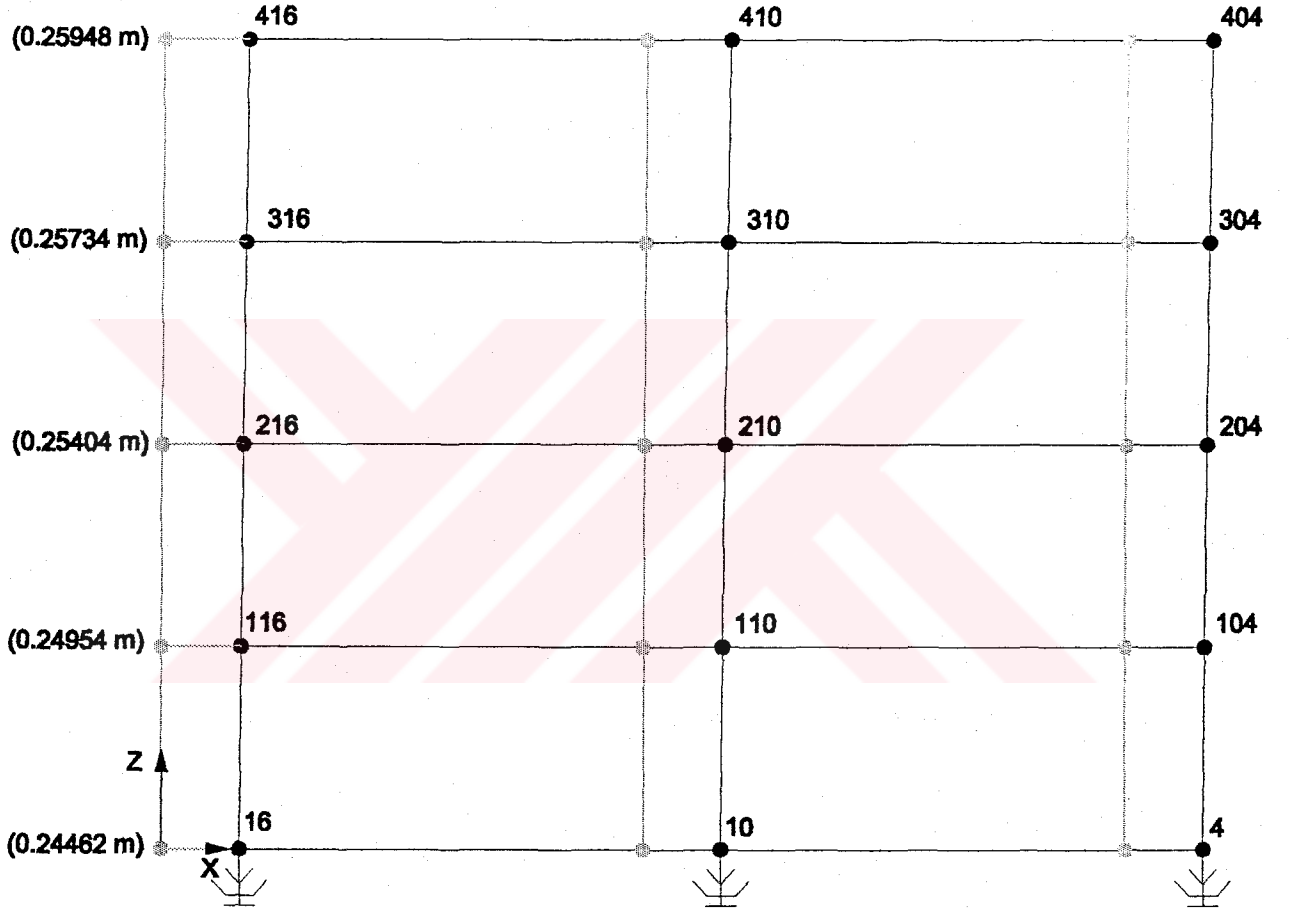


Şekil 10.9 Sürtünmeli sarkaç sisteminde A-A aksı E yüklemesinde yer değiştirmeler

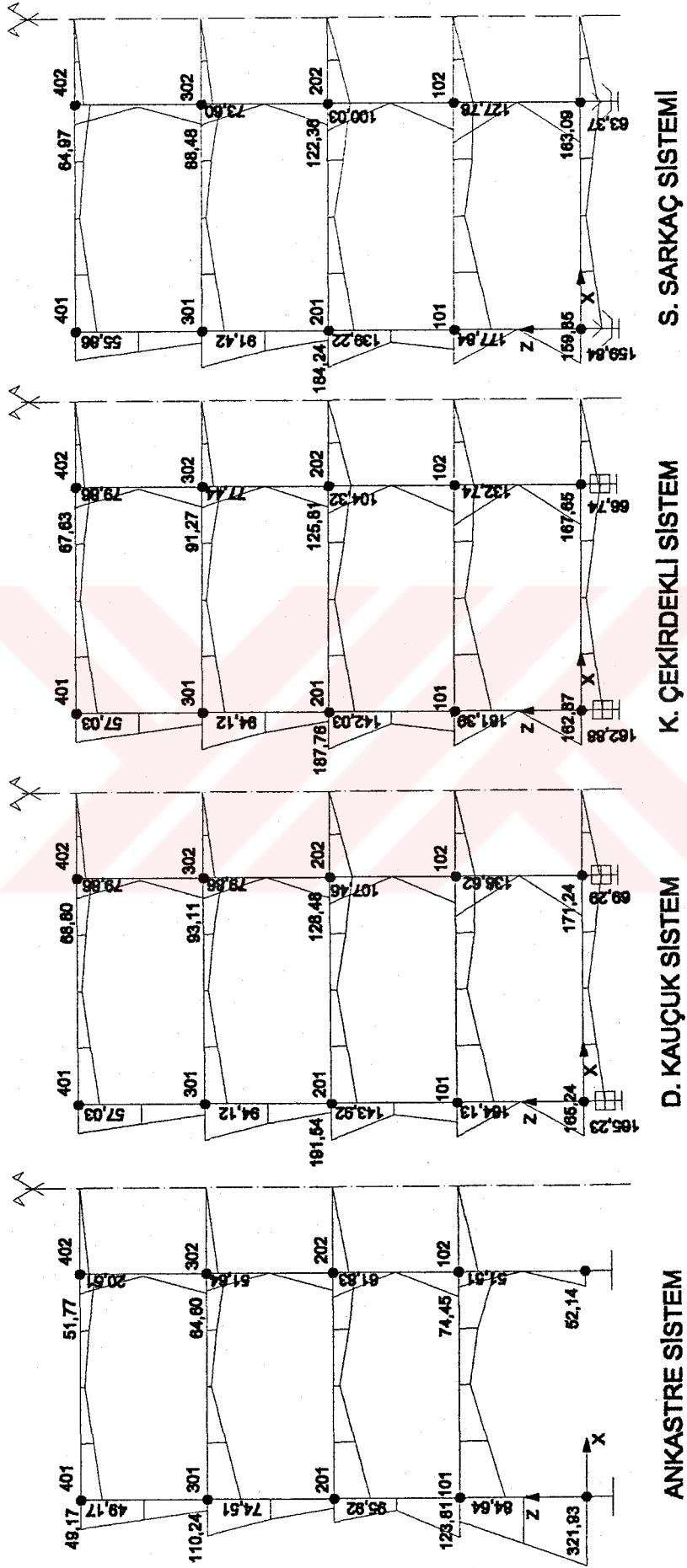
SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ SİSTEMİ

1-1 AKS I / E YÜKLEMESİ

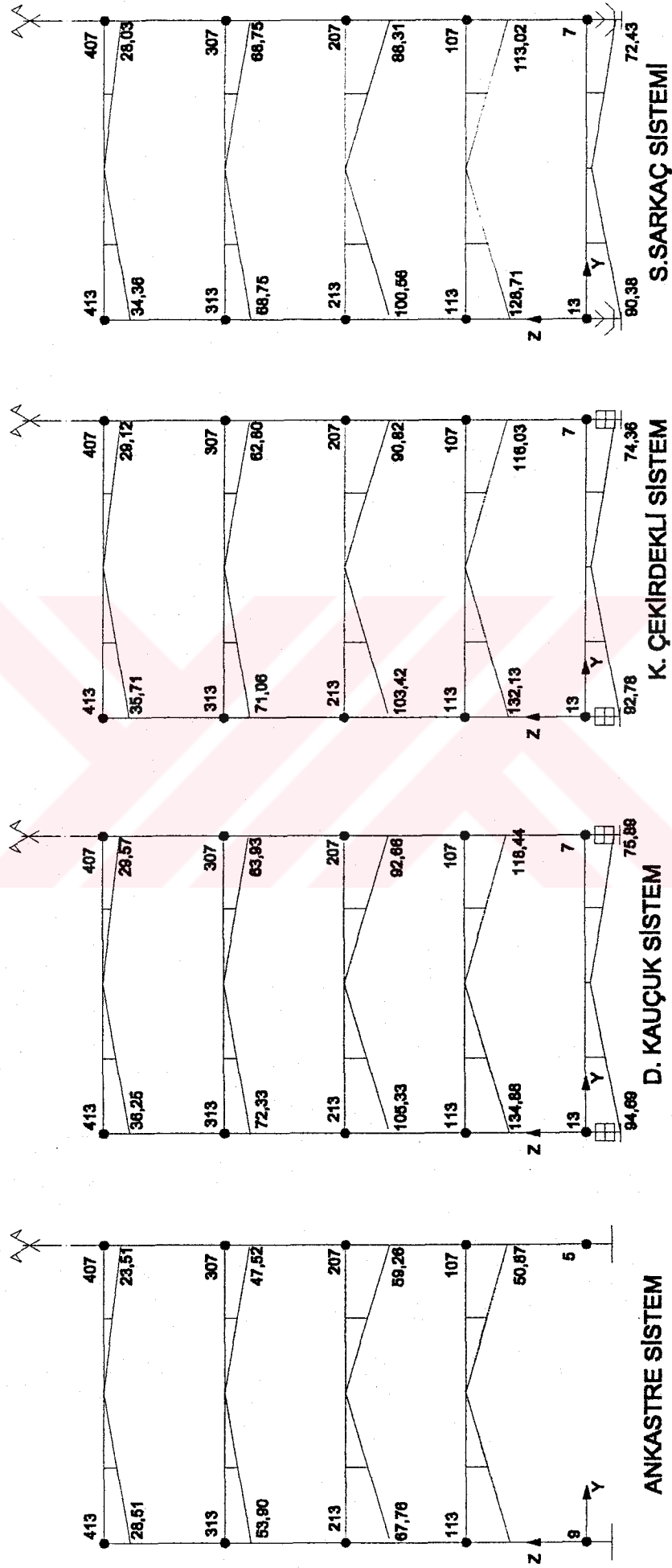
YER DEĞİŞTİRMELER



Şekil 10.10 Sürtünmeli sarkaç sisteminde 1-1 aksı E yüklemesinde yer değiştirmeler



Şekil 10.11 Mesnetlenme tipine göre A-A aksı deprem eğilme momentleri



Şekil 10.12 Mesnetlenme tipine göre 1-1 aksı deprem eğilme momentleri

10.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarından görüldüğü üzere sonuçlar şaşırtıcıdır. Deprem etkisiyle kesitlerde meydana gelen eğilme momentleri, ankastre sistemde daha azdır. Bu sonuçlar, izolasyon modellerinin, kesitlerde deprem momentlerini azaltma yönünde bir katkı sağlamadığı düşünülmesine neden olabilmektedir. Ancak bu düşünce tarzı yanıltıcıdır. Bunun nedeni ise spektral ivmelerin azaltılmasında, taşıyıcı sistem azaltma katsayılarının farklı oluşudur. Yönetmelik esaslarına göre, ankastre sistemler için hesaplarda, taşıyıcı sistemin türüne bağlı bir parametre olan deprem yükü azaltma katsayısı $R_a=8$, izolasyonlu sistemlerde ise aynı amaçla kullanılan katsayı $R_i = 2$ alınmıştır. Yani ankastre sistemde deprem yüklerinin çok az bir kısmı ($1/8$ 'i), izolasyonlu sistem ise deprem yüklerinin yarısı ($1/2$) etkidiği düşünülerek hesap yapılmıştır. İzolasyonlu sistemlerde, ankastre sistemlere etkiyeceği düşünülen deprem etkileri 4 kat fazladır. Özetle sismik izolasyonlu sistem, ankastre sisteme oranla 4 kat daha büyük bir depreme dayanacak şekilde boyutlandırılmıştır;

Spektral ivme katsayısı,

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

olduğunu hatırlarsak, etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.4$, Bina önem katsayısı $I=1$ için

$$A(T) = 0.4 S(T) \text{ olmaktadır.}$$

Spektrum katsayısı $S(T)$ ise şu değerleri almaktadır;

$$S(T) = 1 + 1.5 T / 0.15 \quad 0 \leq T \leq 0.15$$

$$S(T) = 2.5 \quad 0.15 < T < 0.60$$

$$S(T) = 2.5 (0.6 / T)^{0.8} \quad T > 0.60$$

Herhangi bir titreşim modunda göz önüne alınacak ivme spektrumu ordinatı ise;

$$S_{pa}(T) = A(T) g / (R_a \text{ veya } R_i)$$

Deprem yüklerini azaltmak için kullanılan sayı $R_{a,i}$ aşağıdaki gibi tespit edilir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R-1.5) T / 0.15 \quad (0 \leq T \leq 0.15)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > 0.15)$$

İzolasyonlu ve ankastre sistemlerde titreşim periyotları yerel zemin için kabul edilen spektrum karakteristik periyodu $T_a = 0.15$ 'den büyük olduğu için sistemde azaltma faktörünü belirleyen etken taşıyıcı sistem davranış katsayısı R olmaktadır. Ankastre ve izolasyonlu sistemlerde taşıyıcı sistem parametreleri arası fark, kesit tesirleri arasındaki oranın (2/8) sonucudur. Yani,

$$S_{pa}(T) = (0.4) (9.81) S(T) / 8 = 0.4905 S(T) \quad (\text{Ankastre sistem})$$

$$S_{pa}(T) = (0.4) (9.81) S(T) / 2 = 1.9620 S(T) \quad (\text{İzolasyonlu sistem})$$

Uygulanan sismik izolasyonun kesit etkilerini ne kadar azaltabileceği sorusunun cevabını araştırmak için sistemde deprem yükleri iki sistemde de ya azaltılmamalı ya da azaltılırken aynı katsayılar kullanılmalıdır. Sonuçlar, yönetmelik esaslarına göre ve deprem yüklerinin aynı katsayı ile azaltılması durumları için ayrı ayrı incelenecektir.

Bu etkileri görmek için, yapının 2 boyutunu temsil eden yönlerde; A-A ve 1-1 akslarında seçilen rastgele elemanlar üstünde, iki farklı durum için, iki aksta, kesitlerde E yüklemesinden elde edilen maksimum deprem eğilme momentlerini kullanarak karşılaştırmalar yapalım,

Elamanlarda Maksimum Deprem Eğilme Momentleri (kNm)

A-A AKSI	Deprem yükü azaltma katsayıları $R_a=8 / R_i=2$				Deprem yükü azaltma katsayıları $R_a=8 / R_i=8$			
	S 101	S401	K102	K402	S 101	S401	K102	K402
Mesnetlenme Şekli								
Ankastre	321.93	49.67	84.64	49.17	321.93	49.67	84.64	49.17
Doğal Kauçuk	165.24	69.01	184.13	57.03	41.31	17.25	34.16	8.76
Kurşun Çekirdekli	162.87	66.45	181.89	57.04	40.72	16.61	33.19	8.38
S. Sarkaç Sistemi	159.85	65.47	177.84	55.86	39.96	16.37	31.95	7.78

Tablo 10.9 A-A aksında mesnetlenme şekli ve deprem yükü azaltma katsayılarına göre elemanlarda maksimum deprem momentleri

Elamanlarda Maksimum Deprem Eğilme Momentleri (kNm)

1-1 AKSI	Deprem yükü azaltma katsayıları				Deprem yükü azaltma katsayıları			
	Ra=8 / Ri=2				Ra=8 / Ri=8			
Mesnetlenme Şekli	S 101	S401	K112	K412	S 101	S401	K112	K412
Ankastre	0.12	0.66	58.93	28.51	0.12	0.66	58.93	28.51
Doğal Kauçuk	4.12	4.75	134.88	36.25	1.03	2.67	33.72	9.06
Kurşun Çekirdekli	5.50	6.01	132.13	35.71	1.38	1.50	33.03	8.93
S. Sarkaç Sistemi	2.62	3.31	128.71	34.36	0.65	0.83	32.18	8.59

Tablo 10.10 1-1 aksında mesnetlenme şekli ve deprem yükü azaltma katsayılarına göre elemanlarda maksimum deprem momentleri

Bu demektir ki; izolatörlerin deprem etkilerini azalttığı, elde edilen analiz sonuçlarından da kesinleşmiştir. 3 tip izolasyon yöntemi sonucu elde edilen titreşim periyodu yaklaşık aynı olduğu için, yapısal elemanlarda oluşan deprem momentlerinin de yaklaşık olarak aynı olduğu ve ankastre sistemle karşılaştırıldığında önemli ölçüde azalmış olduğu tespit edilmiştir. İzolasyon seviyesinin rijit diyaframla birleştirilmiş olması, zemine mesnetli olan kolonlarda yatay hareketten dolayı oluşan momentlerin kolonların rijitliğinin fazla olduğu yönde, önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur.

Rastgele seçilen br A-A aksı elemanı olan S401 kolonu sonuçlarına göre, izolatörlerin deprem momentlerini % 60'lardan bile fazla azalttığı gözlemlenmiştir. Ulaşılan rakamlar, sistemin güvenilirliği açısından memnun edici rakamlardır. Aynı mantık ile deplasmanlar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir;

Ri=8'e göre Kat Yer Değiştirmeleri-(m)

A-A AKSI	Mesnetlenme Tipi			
	Ankastre	D.Kauçuk	K. Çekirdekli	S.S. Sistemi
4.kat	0.00792	0.06117	0.06327	0.06487
3.kat	0.00628	0.06059	0.06270	0.06433
2.kat	0.00397	0.05791	0.06185	0.06351
1.kat	0.00144	0.05852	0.06070	0.06240
Zemin	0.00000	0.05720	0.05941	0.06115

Tablo 10.11 A-A aksında aynı deprem yükü azaltma katsayısı esas alınınca mesnetlenme tipine göre yapıda maksimum kat yer değiştirmeleri

R_i=8'e göre Kat Yer Değişimleri-(m)

1-1 AKSI	Mesnetlenme Tipi			
	Ankastre	D.Kauçuk	K. Çekirdekli	S.S. Sistemi
4.kat	0.00806	0.06117	0.06329	0.06487
3.kat	0.00641	0.06059	0.06273	0.06434
2.kat	0.00405	0.05971	0.06187	0.06351
1.kat	0.00146	0.05851	0.06070	0.06238
Zemin	0.00000	0.05720	0.05943	0.06115

Tablo 10.12 1-1 aksında aynı deprem yükü azaltma katsayısı esas alınınca mesnetlenme tipine göre yapıda maksimum kat yer değişimleri

Aynı şartlar altında, ($R_i = 8$) izolasyon tipleri için A-A ve 1-1 Aksı deprem eğilme momentleri sonuçları Ek 6'da mevcuttur.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Sismik izolasyonun, deprem etkilerini azaltması açısından sisteme olumlu yönde katkı sağladığı kesindir.
2. Elde edilen analiz sonuçları bize göstermiştir ki, sismik izolasyonla mekanik davranışı değiştirilen yapılarda, kesit etkileri her bir izolasyon modelinde yaklaşık aynıdır. Teoride yakın sonuçlar veren bu sistemlerin kullanımında tercih neden ve önceliğinin; uygulama kolaylığı, maliyet gibi ikinci derece önemli kriterlerce tespit edilmesi muhtemeldir.
3. Bu sistemlerin uygulanmasının, günümüz şartlarında düşük maliyette olduğu söylenemez. Ancak toplam yapı maliyeti üzerinden bir oran düşünülürse, maliyetin çok da önemli bir değerde olmadığı görülmektedir. Zira, maliyetin, insan hayatının önemiyle kıyaslandığında hiç de önemli bir değerde olmadığı anlaşılmalıdır.
4. Ülkemizde, depremden hemen sonra kullanılması gereken yapıların; ilk aşamada hastanelerin, itfaiye binalarının, hava alanlarının, enerji ve haberleşme arterlerine geçiş ve olanak sağlayan yapıların, ikinci aşamada ise insanların günlük olarak kalabalık kitleler halinde mevcut bulunduğu yapıların; okulların, camilerin, stadyumların, ulusal karar verme mevkilerinin bulunduğu yapıların bu tip izolasyon sistemleriyle güçlendirilmesinin yönetmeliklerce de zorunlu duruma getirilmesi yararlı bir düşünce tarzı olacaktır.
5. Bu tezde anlatılan teknolojinin benimsenmesi için, eğitim kuruluşlarımızda, lisans derslerimizde ya da özel amaçlı seminerlerde, daha çok yer verilen temel eğitimin esası olan ve çok eskiye dayanan teorilerin de yanında, bu konuya ve bunun gibi uygulamaya geçirmekte geç kaldığımız konulara da yer verilmesi faydalı bir girişim olacaktır.
6. Bu tür uygulamaların teşvik edilmesi açısından, bireysel olarak yeni inşa edilecek yapılarında, söz konusu izolasyon tekniklerini kullanmayı resmi olarak garanti eden iş sahipleri ya da kuruluşlardan devletçe alınan vergilerin azaltılması ve bu gibi kolaylıkların sağlanması, etkili olacaktır.
7. İzolatörler, yapılar için deprem aşılardan gibidir. Can kaybına neden olan etken deprem değil, yapılardır.

KAYNAKLAR

- American Structural Engineering Design Provisions.: (1997), "Uniform Building Code", USA
- ATC 17- Applied Technology Council: (1986), "Proceeding of a Seminar and Workshop on Base Isolation And Energy Dissipation, National Science Foundation", March 12-14, 1986.
- ATC 40- Applied Technology Council: (1996), "Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings" Volume 1, Seismic Safety Commission, California, November 1996.
- Ateş Ş., Dumanoğlu A.: (1999), "Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi", TDV, Teknik Rapor TR 026-42, İstanbul, Eylül 1999.
- Celep Z., Kumbasar N. : (2000), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 2. Baskı, İstanbul
- Chopra A. K.: (1995), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey
- Department of Defense.:(1997), "Soil Dynamics And Special Design Aspects", USA, November 1997
- Dynamic Isolation Systems Inc.: (1985), Base Isolation of Buildings Architectural and Engineering Aspects, Berkeley, California
- Erdik, M., Durukal, E., Biro, Y., Birgören, G.:(2001), "İstanbul'da Binalar için Deprem Riski ve Risk Azaltımına Yönelik Somut bir Öneri", Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı (yayımlanmamış)
- FEMA-Federal Emergency Management Agency: (1997), "Nehrp Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 273 -274, Vermont, October 1997.
- Fujita, T.: (1997), "Demonstration of Effectiveness of Seismic Isolation in the Hanshin-Awaji Earthquake and Progress of Applications of Base-Isolated Buildings", INCEDE Report-10, Tokyo, 1997.
- Heyat, N.: (2001), "Sismik Taban İzolasyonunda Sürtünmeli Sarkaç Modeli", Bahar Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001.
- Kelly, J., Bachas, N., Dueñas, L. ve Wu, T.C.:(2001) "The Rehabilitation for Improved Seismic Resistance of Mitchell Hall", Massachusetts Institute of Technology High Performance Structures Design Project Report, Istanbul American Roberts High School, Turkey, 2001 (yayımlanmamış)
- Marioni, A.: (2001), "Behaviour of large base isolated prestressed concrete bridges during the recent exceptional earthquakes in Turkey", Report, (yayımlanmamış)

Naeim F., Kelly J. M.: (1999), *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York

Nakano Y.: (1997), "Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan", INCEDE Report-10, Tokyo, 1997.

Polat, Z.: (2001), *Ders Notları, YTÜ, (yayımlanmamış)*

SAP 2000 Version 6.11, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures"(1997) SAP2000n Verification Manual, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, July 1997

Savidis, S. A.: (1994), "Proceedings of the 2. International Conference On Earthquake Resistant Construction and Design" Berlin, 15-17 June 1994.

Skinner, R. I., Robinson, W. H. and McVerry, G. H.: (1993), *An Introduction to Seismic Isolation*, John Wiley & Sons, Inc., New York

Tezcan, S., Uluca, O.: (2000), "Reduction of Seismic Response by Viscoelastic Dampers", TDV Kitap KT 012-48, İstanbul, Ocak 2000.

Tezcan, S.: (1998), "Depreme Dayanıklı Tasarım için Bir Mimarın Seyir Defteri", TDV Kitap KT 98 -024, İstanbul, Eylül 1998

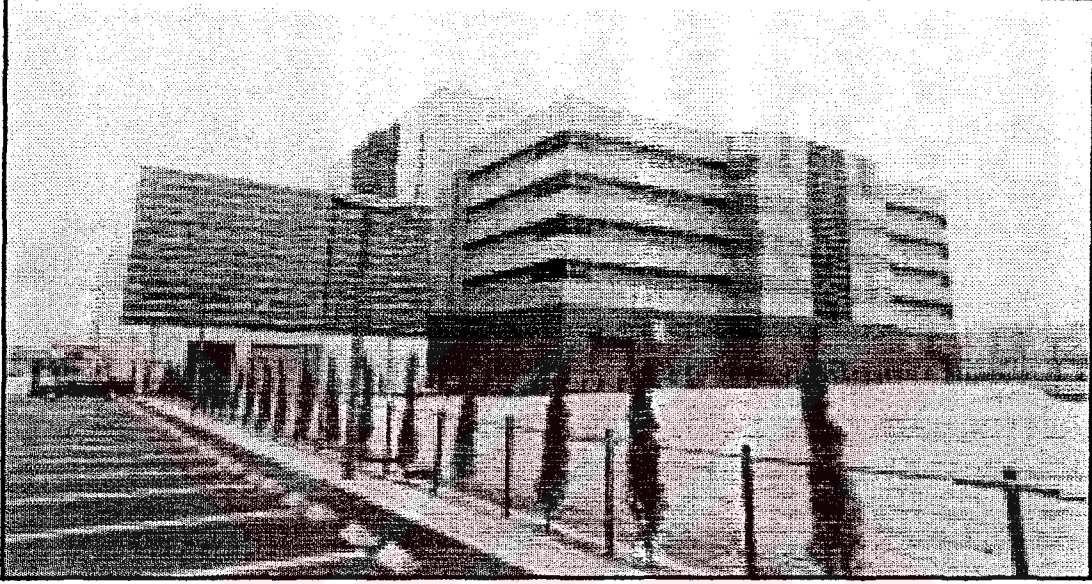
Timur, T.: (2000) "Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Taşıyıcı Sistem Davranışının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış)

Velivasakis, E. E., Abruzzo J.: (2000) "Airport features a Seismic Retrofit during Construction", *Modern Steel Construction*, August 2000

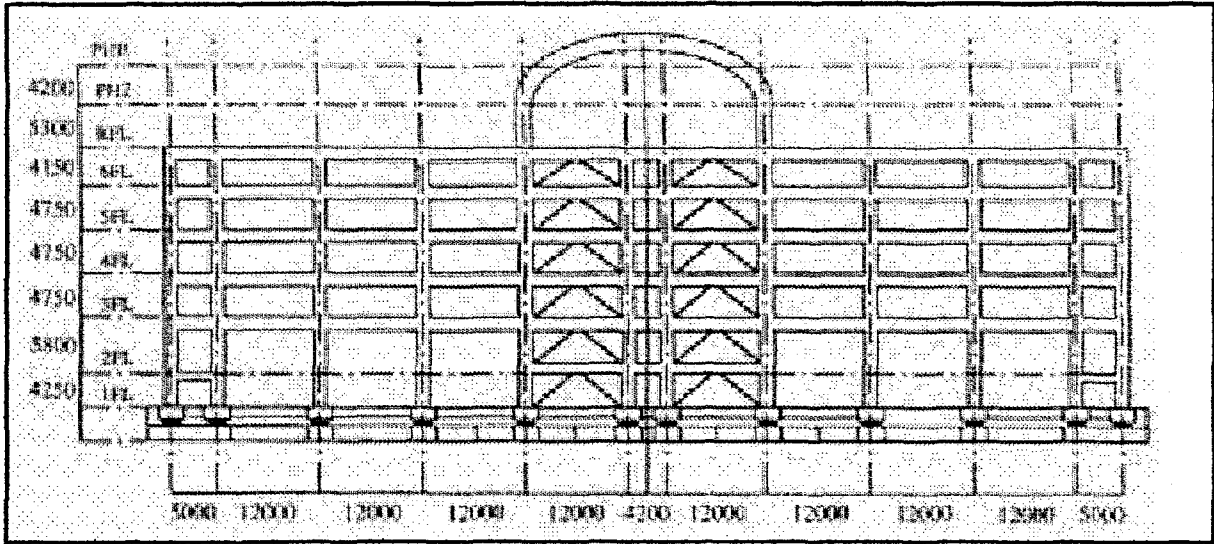
EK 1. SİSMİK İZOLASYON ÖRNEKLERİ

EK 1.1. Elastomerik İzolatörlerle İzolasyon Örneği (Bölüm 3)

Uygulama yapılan yapı (Şekil Ek 1.1), Japonya'da bir bilgi işlem merkezidir. Orjinal adıyla "The Ministry of Posts and Telecommunications", binası toplam kat alanı 46,823 m² olan 6 katlı bir yapı olup dünyada sismik izolasyon yapılmış en büyük alanlı yapıdır. (Fujita, 1997)

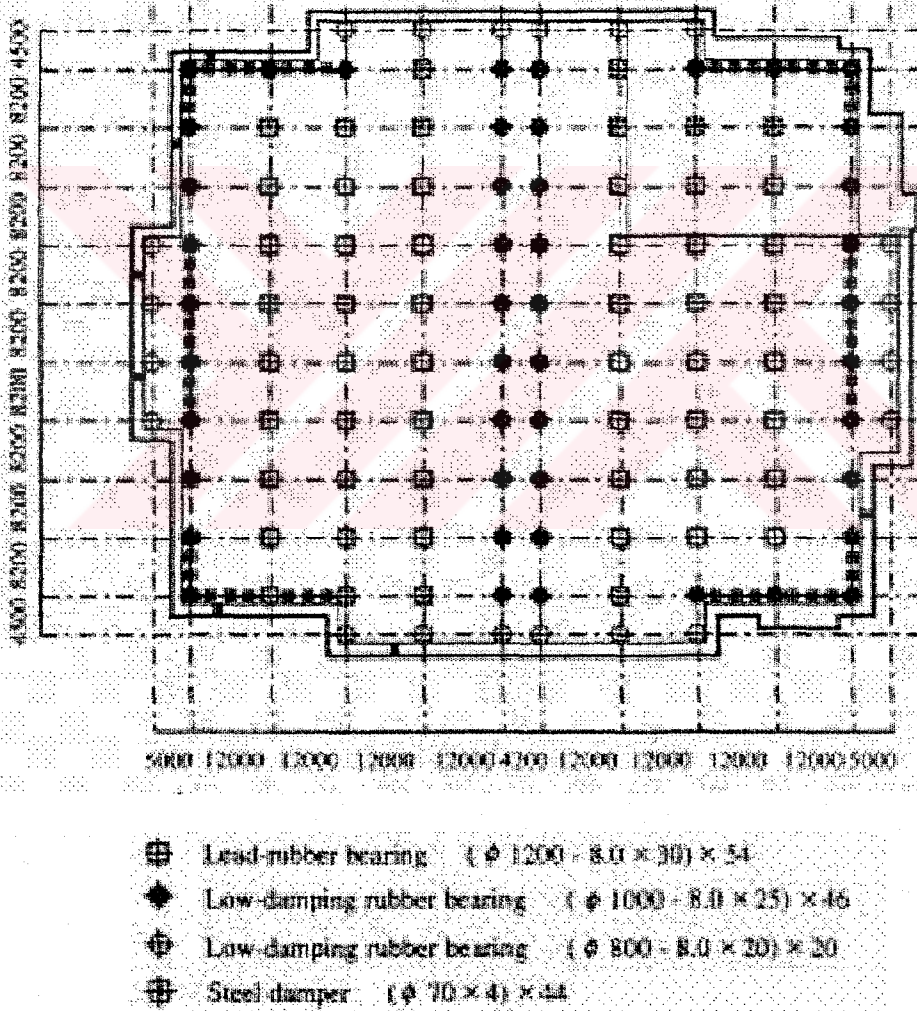


Şekil Ek 1.1 Sismik izolasyonlu bilgi işlem merkezi



Şekil Ek 1.2 Yapının kesidi

Hatırlanacağı üzere, düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörler, ek destek sistemleri olmaksızın tek başlarına sistemde kullanılmadığına dikkat çekilmişti. (Bölüm 3.1.1) Japonya'da ki bu uygulama da benzer mantıkla izole edilmiştir. Sistemde aynı anda, 54 adet 1.2 m çapında 0.24 m kalınlığında kurşun çekirdekli izolatör, 46 adet 1 m çapında 0.2 m kalınlığında, 20 adet 0.8 m çapında 0.16 m kalınlığında düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörler ve 44 adet çelik sönümlendiriciler kullanılmıştır. (Fujita,1997)

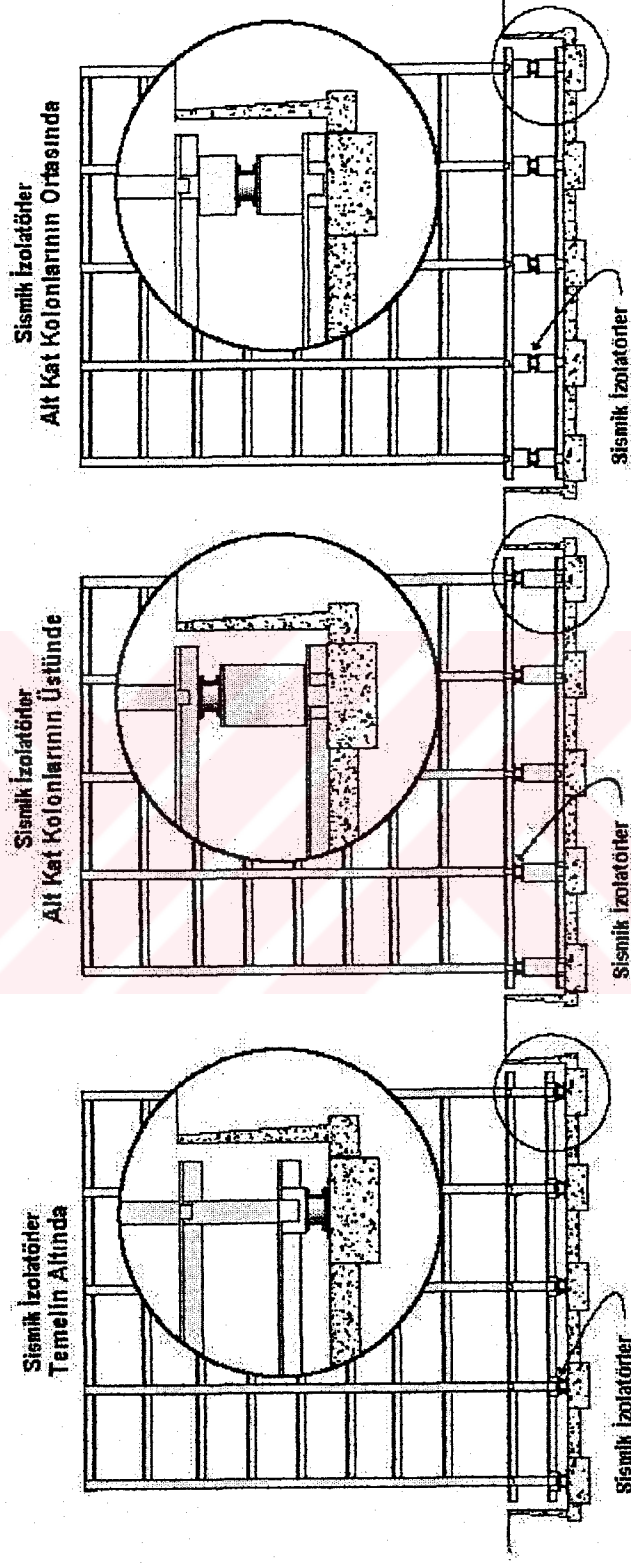


Şekil Ek 1.3 Sismik izolasyon sistemi

EK 2. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMA DETAYLARI* (BÖLÜM 5)

EK 2.1. Genel Yerleşim Detayları

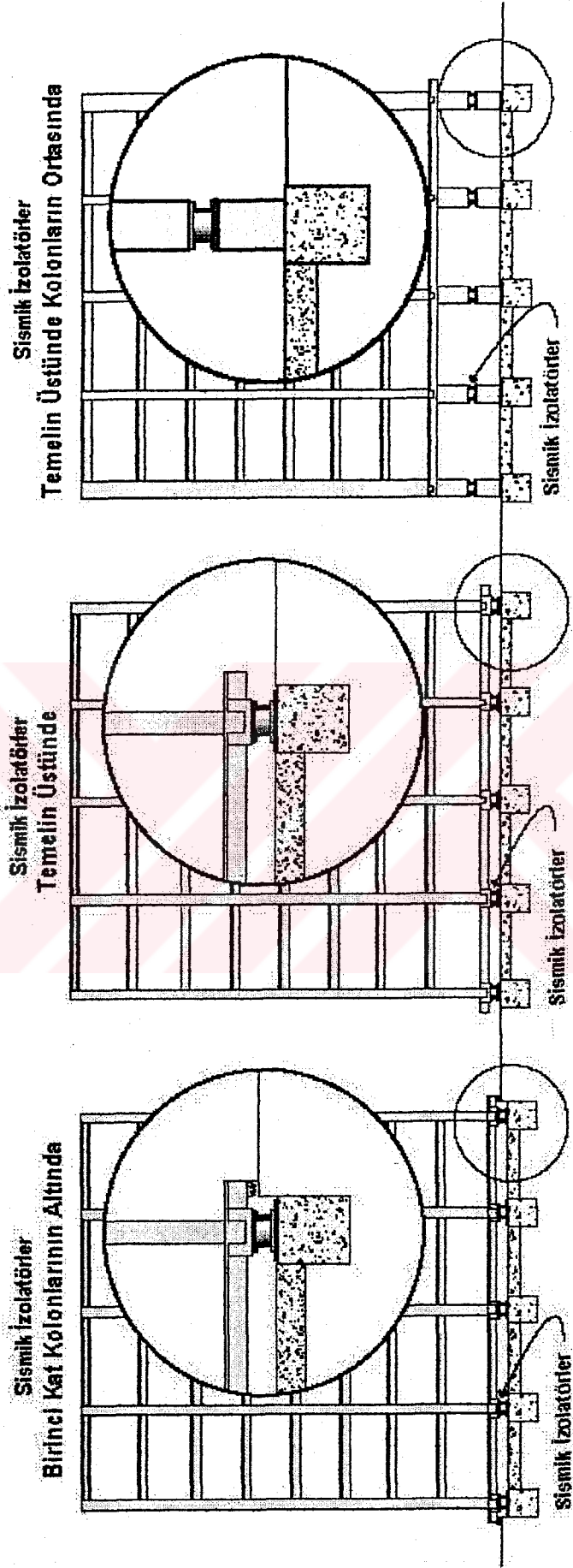
EK 2.1.1. Sismik İzolatorlerin Yerleşim Alternatifleri



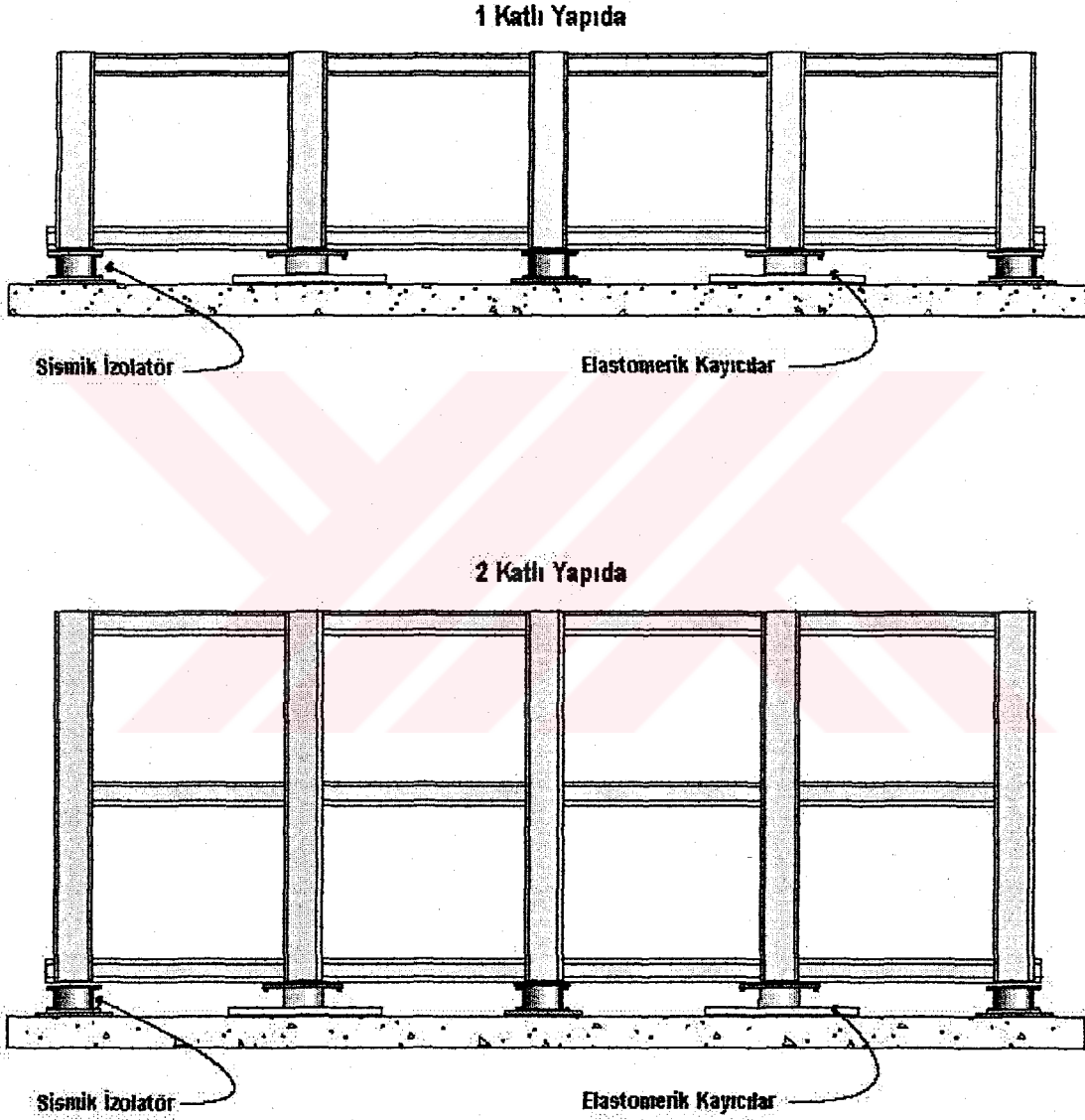
Şekil Ek 2.1 Sismik izolatorlerin yerleşim alternatifleri

* Ek-2'de ki detayların tümü DIS-inc'den alınmıştır.

EK 2.1.2. Sismik İzolatörlerin Yerleşim Alternatifleri - 2



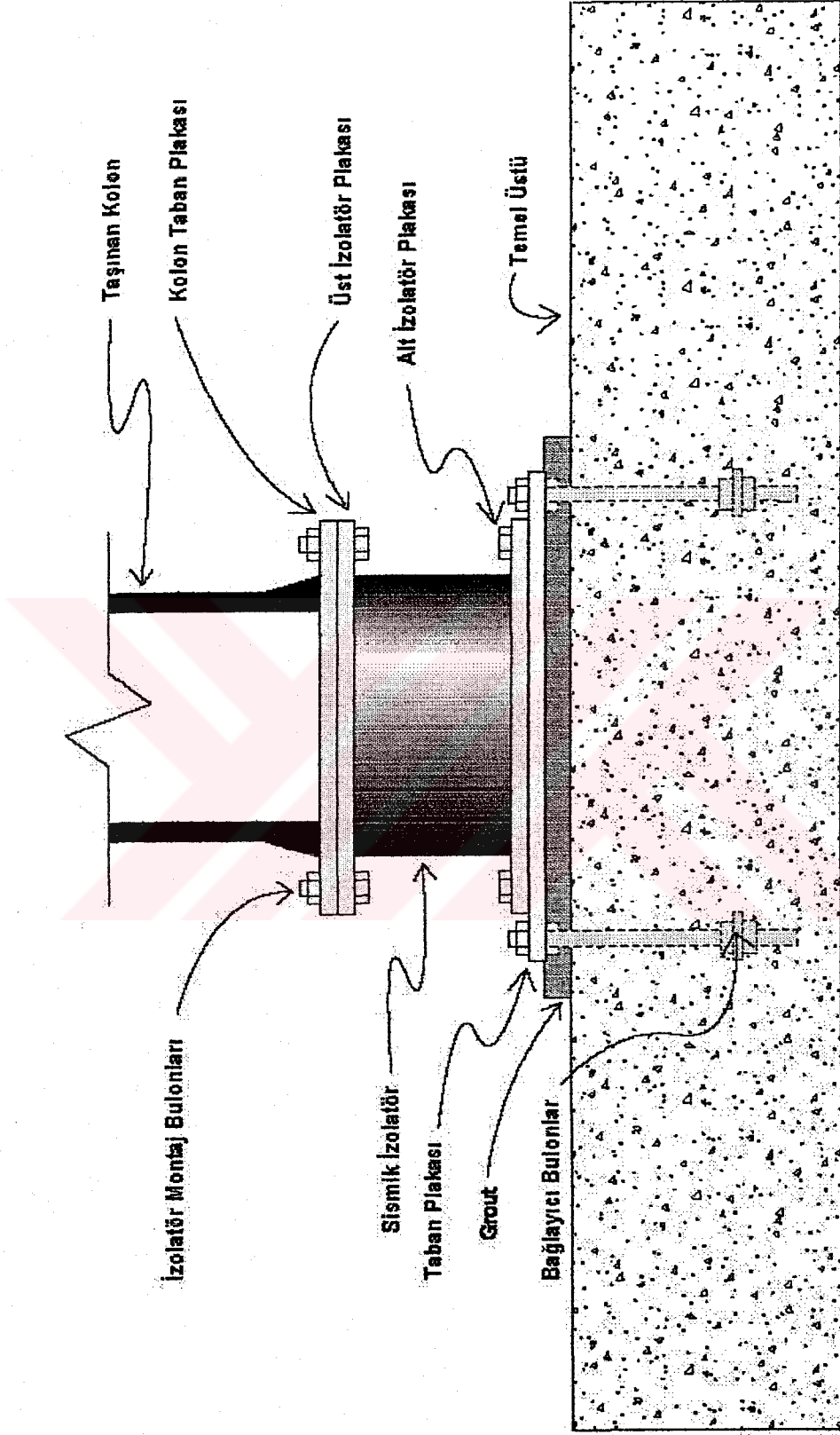
Şekil Ek 2.2 Sismik izolatörlerin yerleşim alternatifleri -2

EK 2.1.3. 1 ve 2 Katlı Yapıda İzolatörlerin Yerleşim Alternatifleri

Şekil Ek 2.3 1 ve 2 katlı yapıda izolatörlerin yerleşim alternatifleri

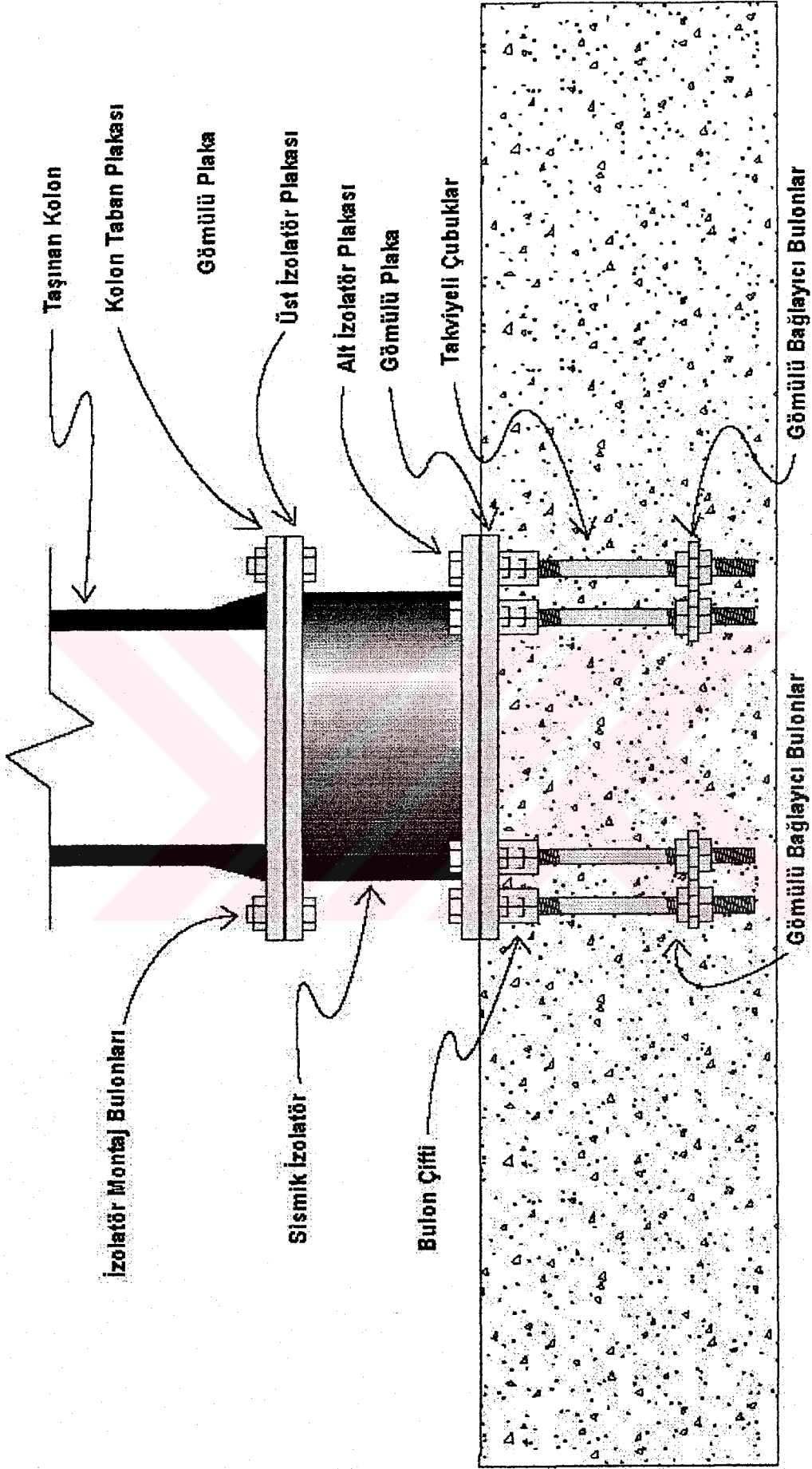
EK 2.2. Mimari ve Statik Detaylar

EK 2.2.1. Sismik İzolatörlerde Birleşim Önerileri



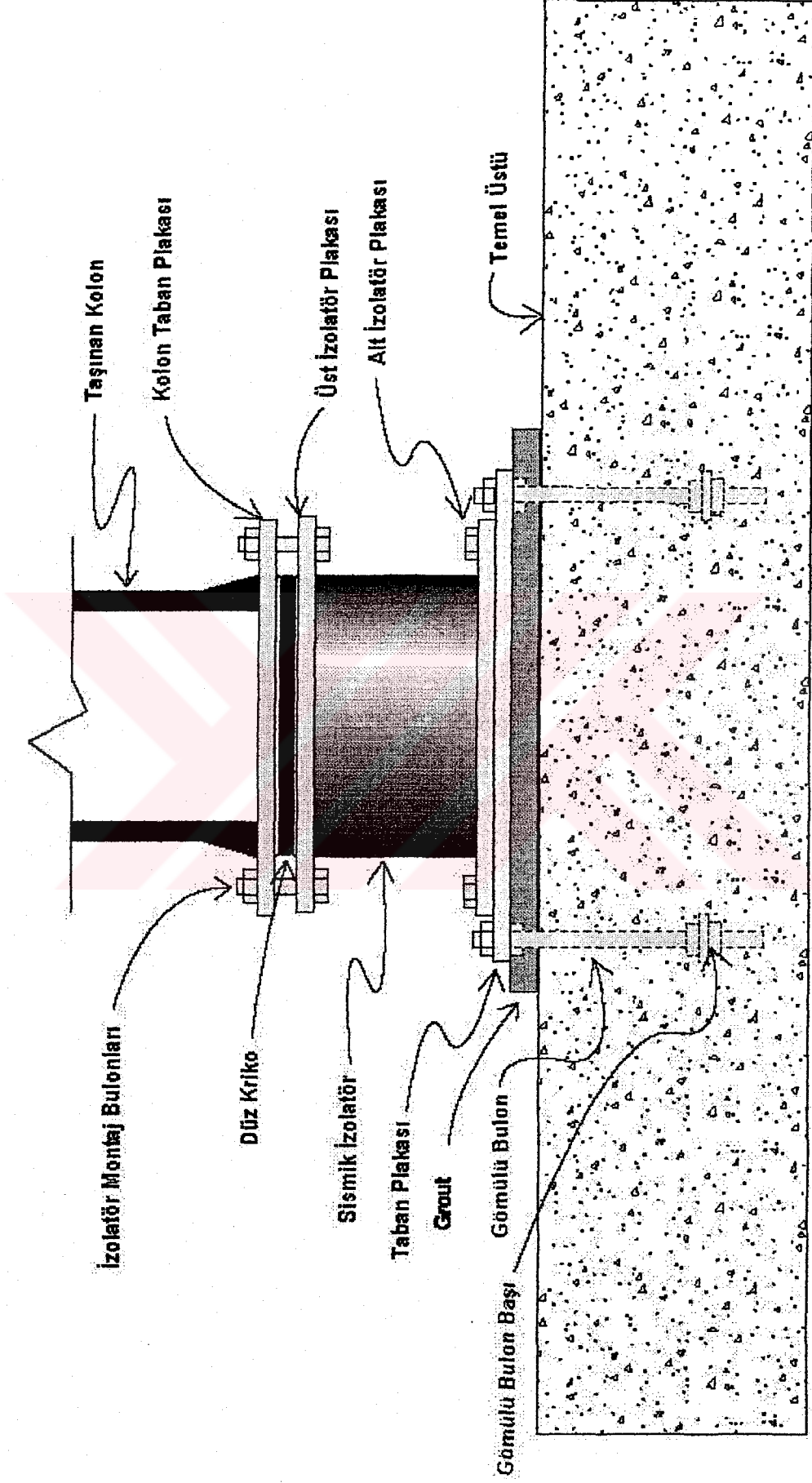
Şekil Ek 2.4 Sismik izolatörlerde birleşim önerileri

EK 2.2.2. Sismik İzolatörlerde Birleşim Önerileri - 2



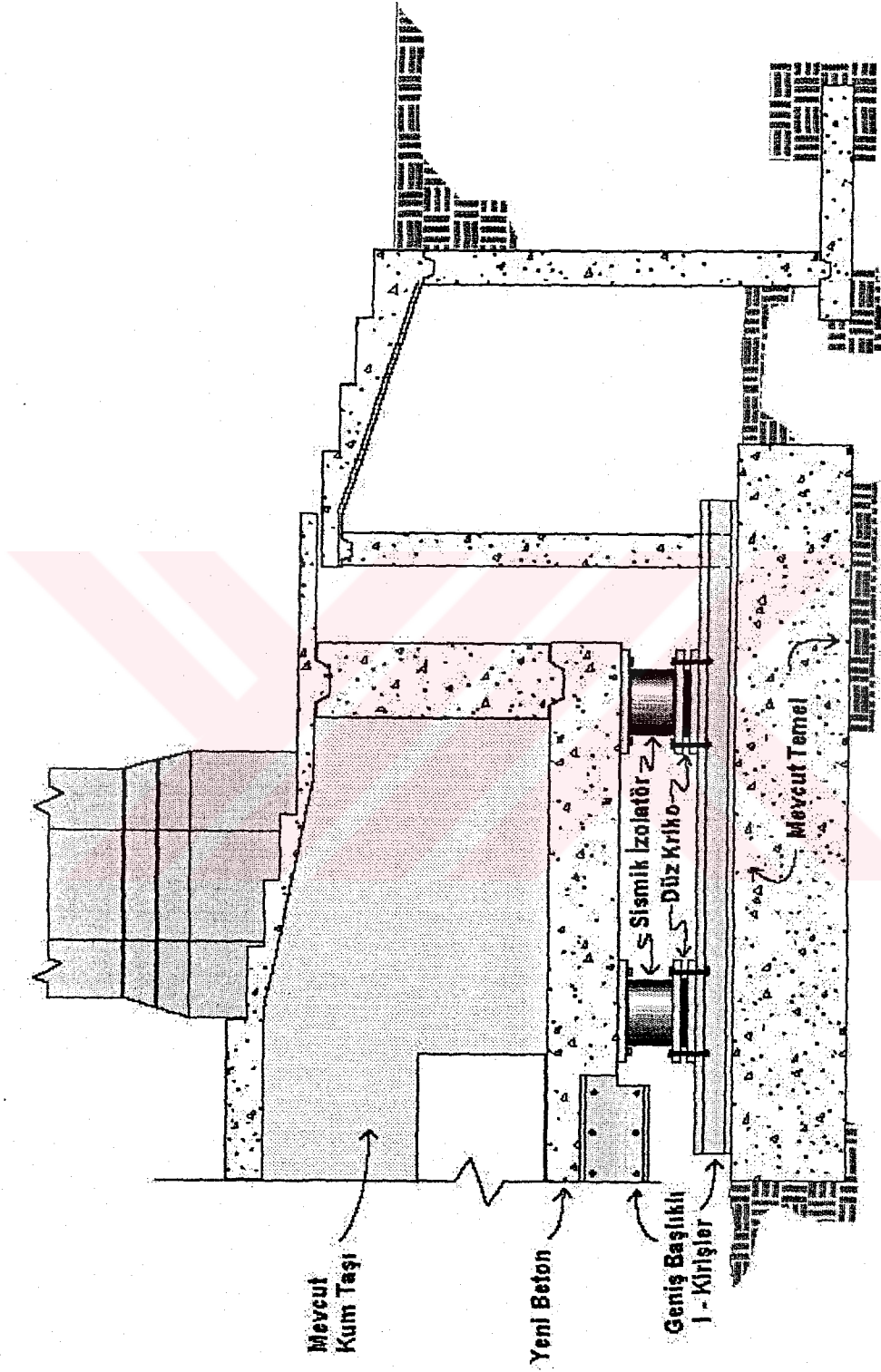
Şekil Ek 2.5 Sismik izolatörlerde birleşim önerileri - 2

EK 2.2.3. Mevcut Sistemde İzolator Birleşim Detayı



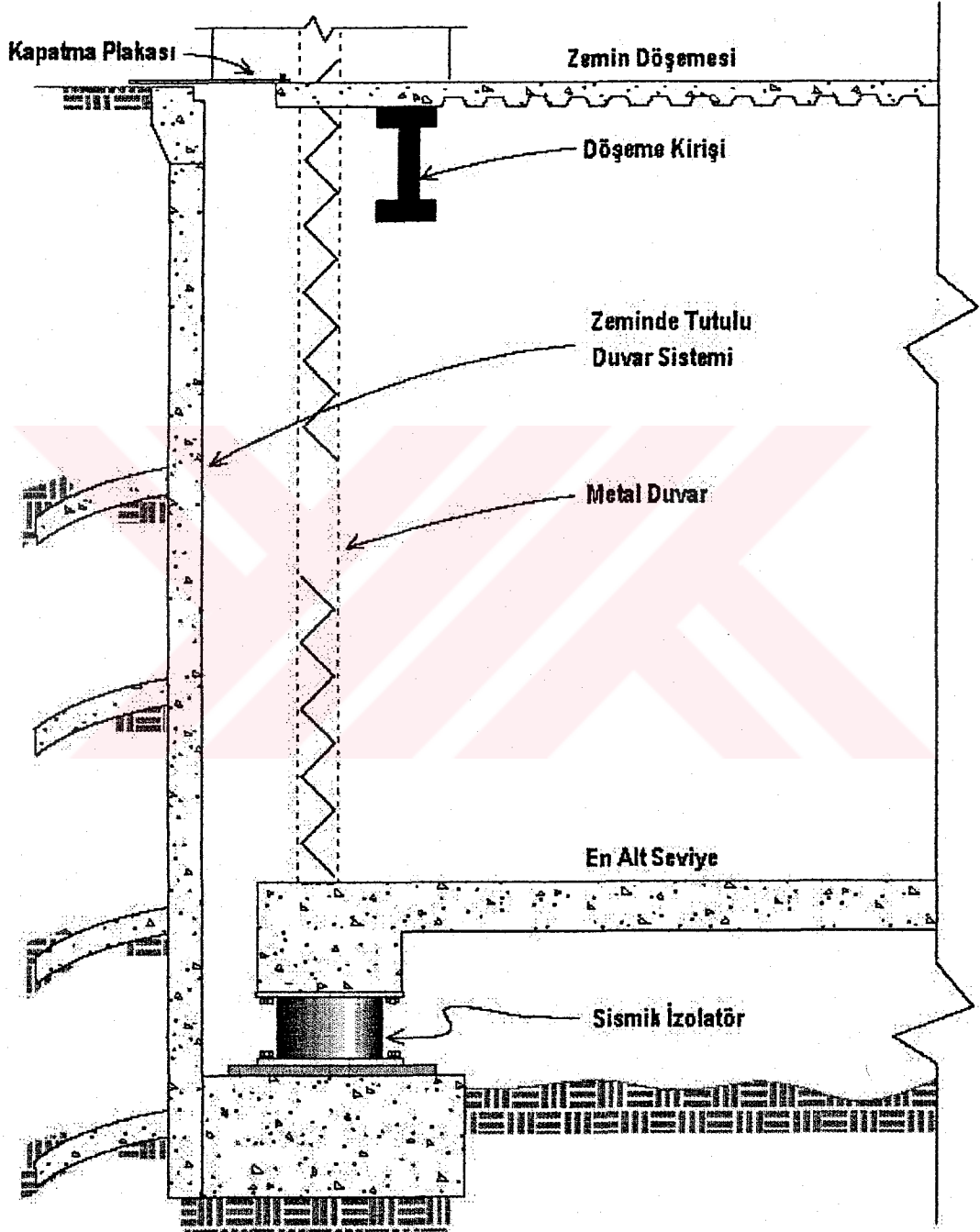
Şekil Ek 2.6 Mevcut sistemde izolator birleşim detayı

EK 2.2.5. Giriş Merdivenlerinin Düzenlenmesi



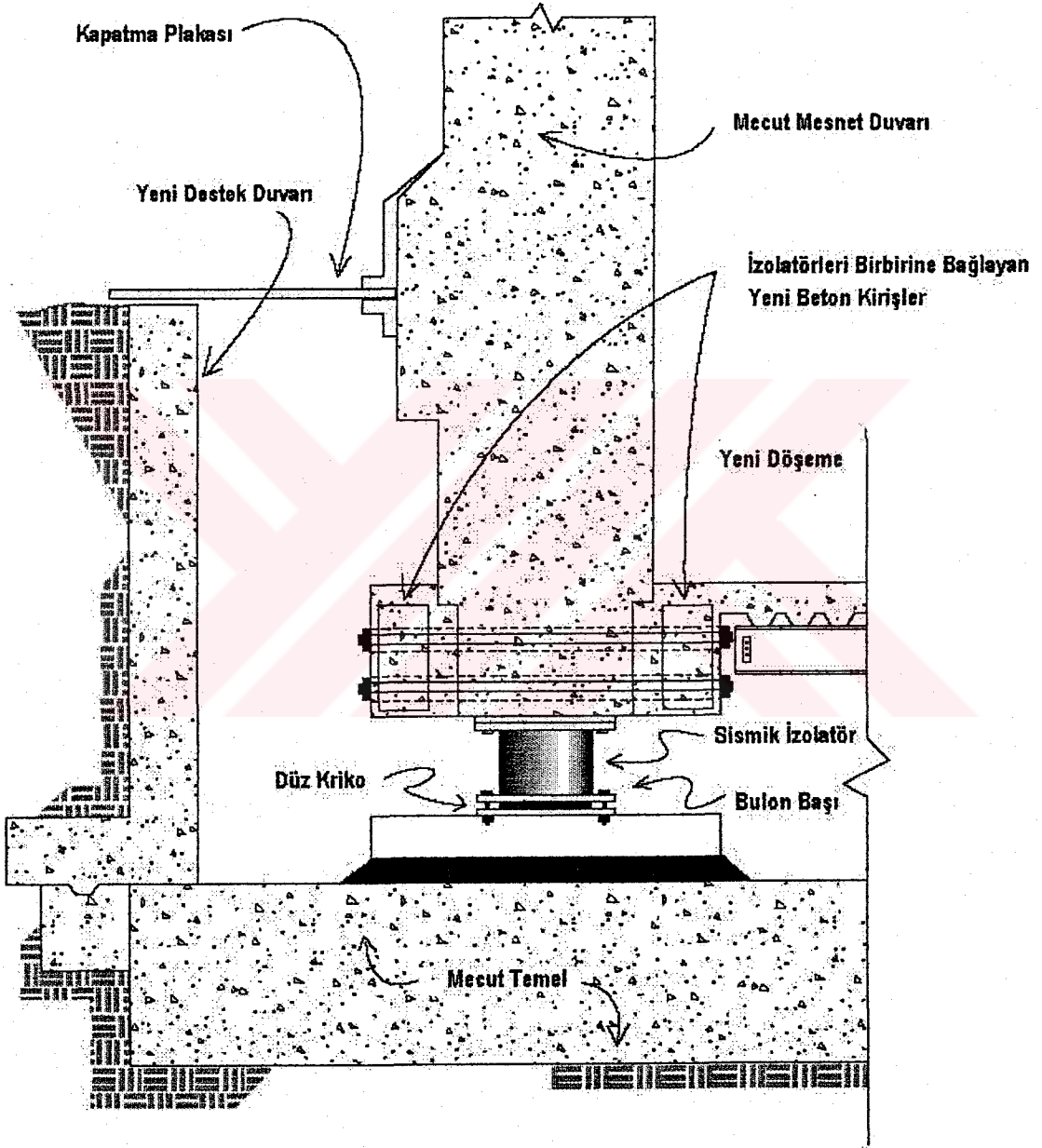
Şekil Ek 2.8 İzolasyonlu sistemde merdiven detayı

EK 2.2.6. Zemin Tutucu Duvar Detayı



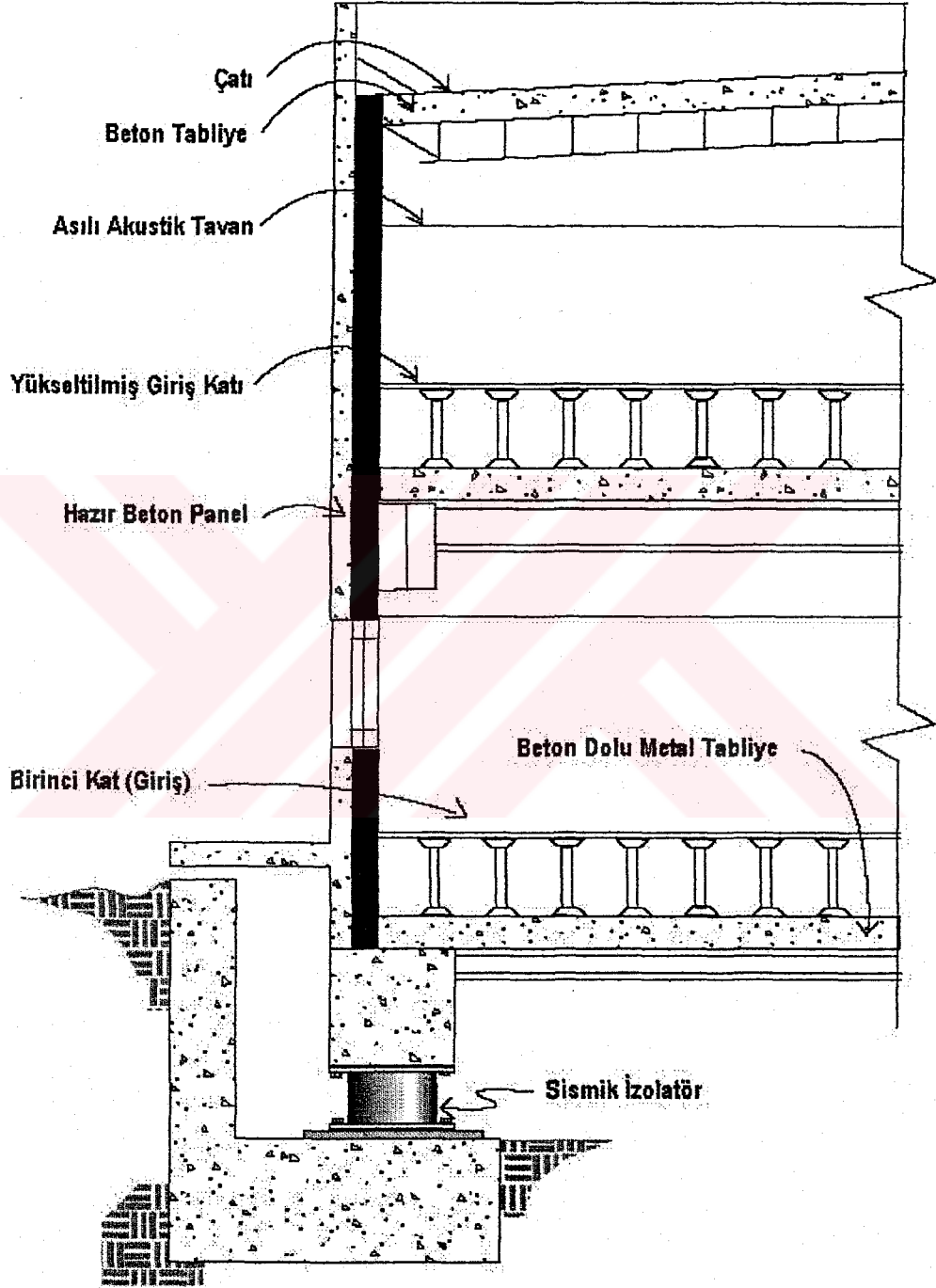
Şekil Ek 2.9 Zemin tutucu duvar detayı

EK 2.2.7. Mevcut Yapıda Zemin Tutucu Duvar Detayı



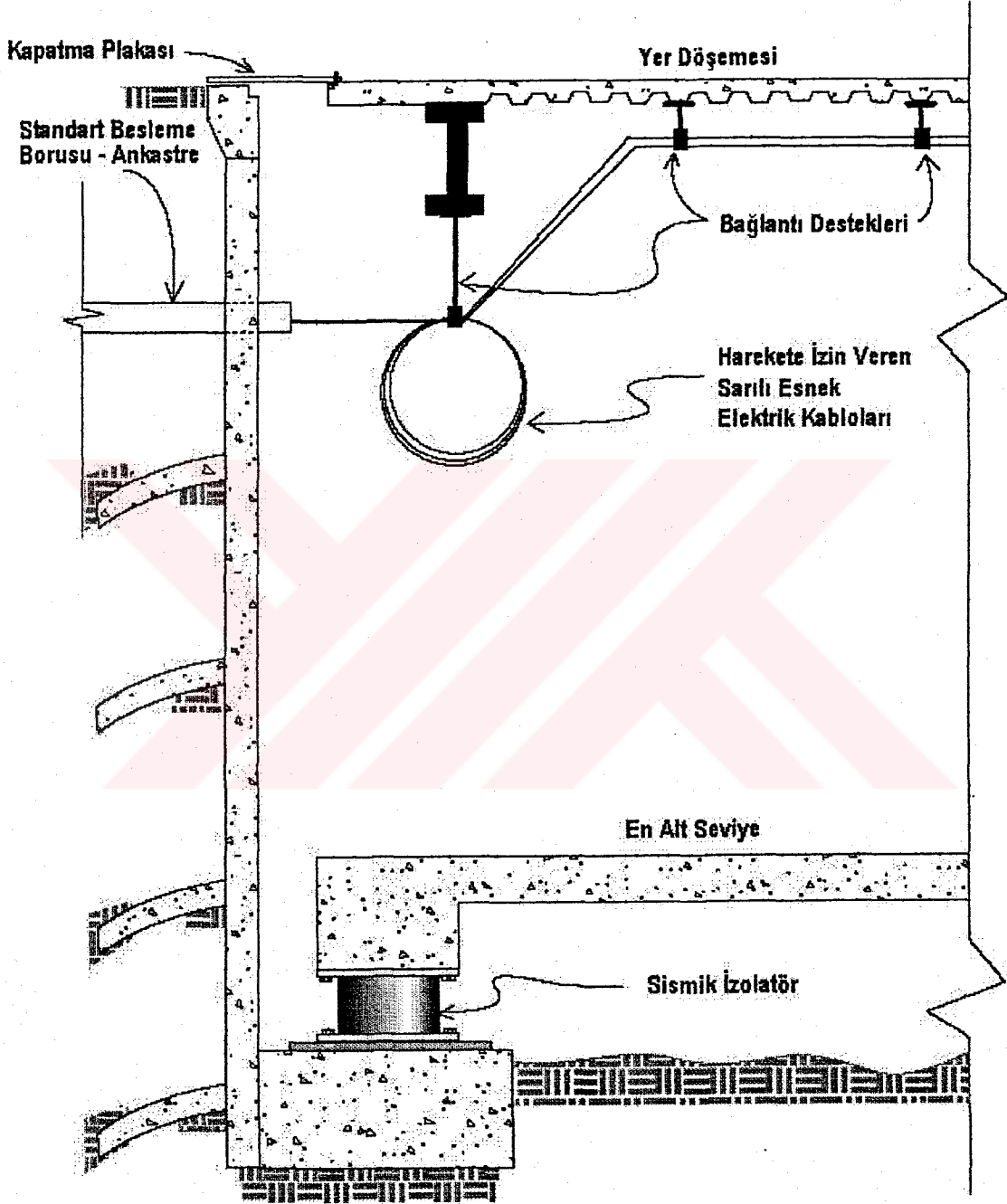
Şekil Ek 2.10 Mevcut yapıda zemin tutucu duvar detayı

EK 2.2.8. Deplasman Boşluğu Kesidi

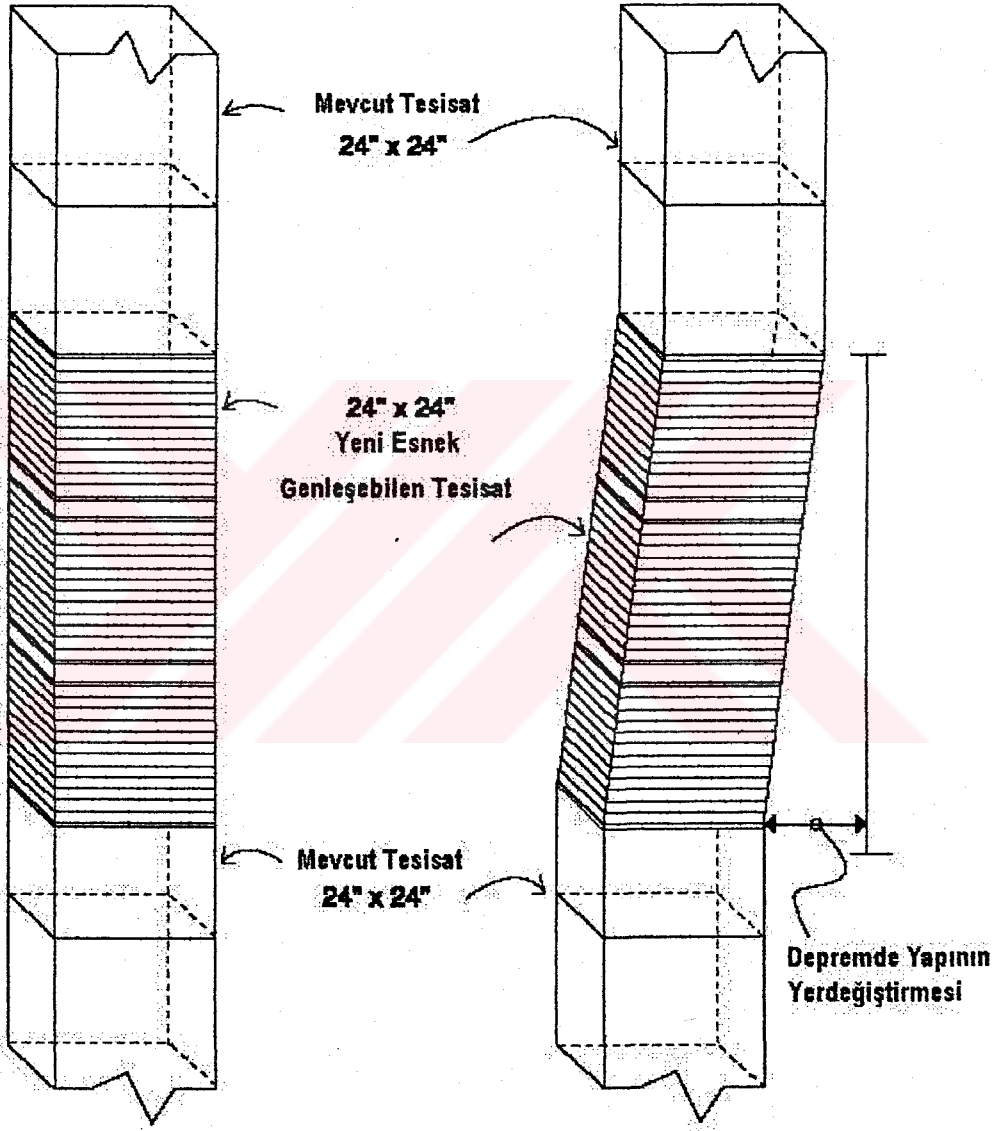


Şekil Ek 2.11 Deplasman boşluğu kesidi

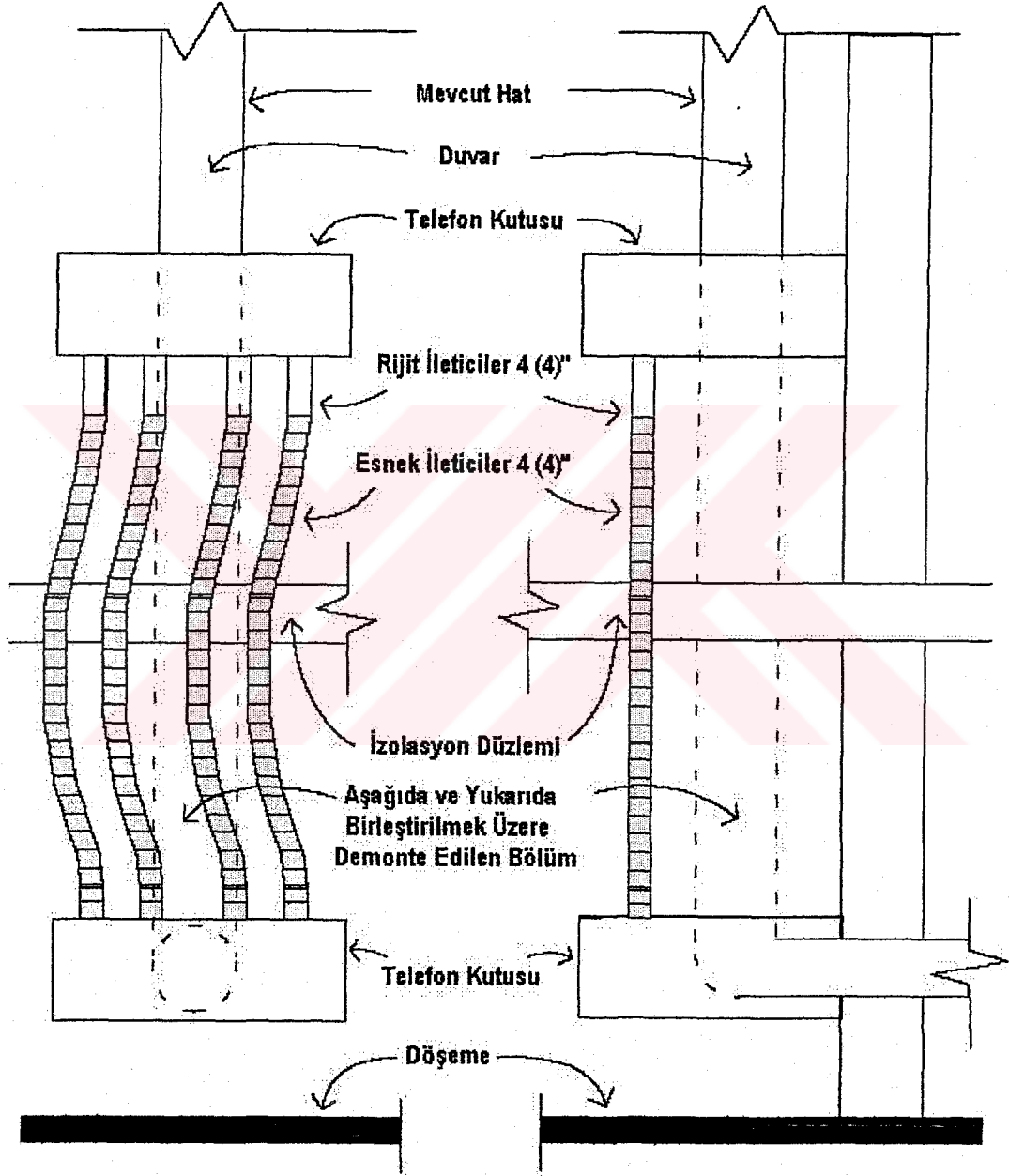
EK 2.3.2. Elektrik Tesisatı



Şekil Ek 2.13 Elektrik tesisatı

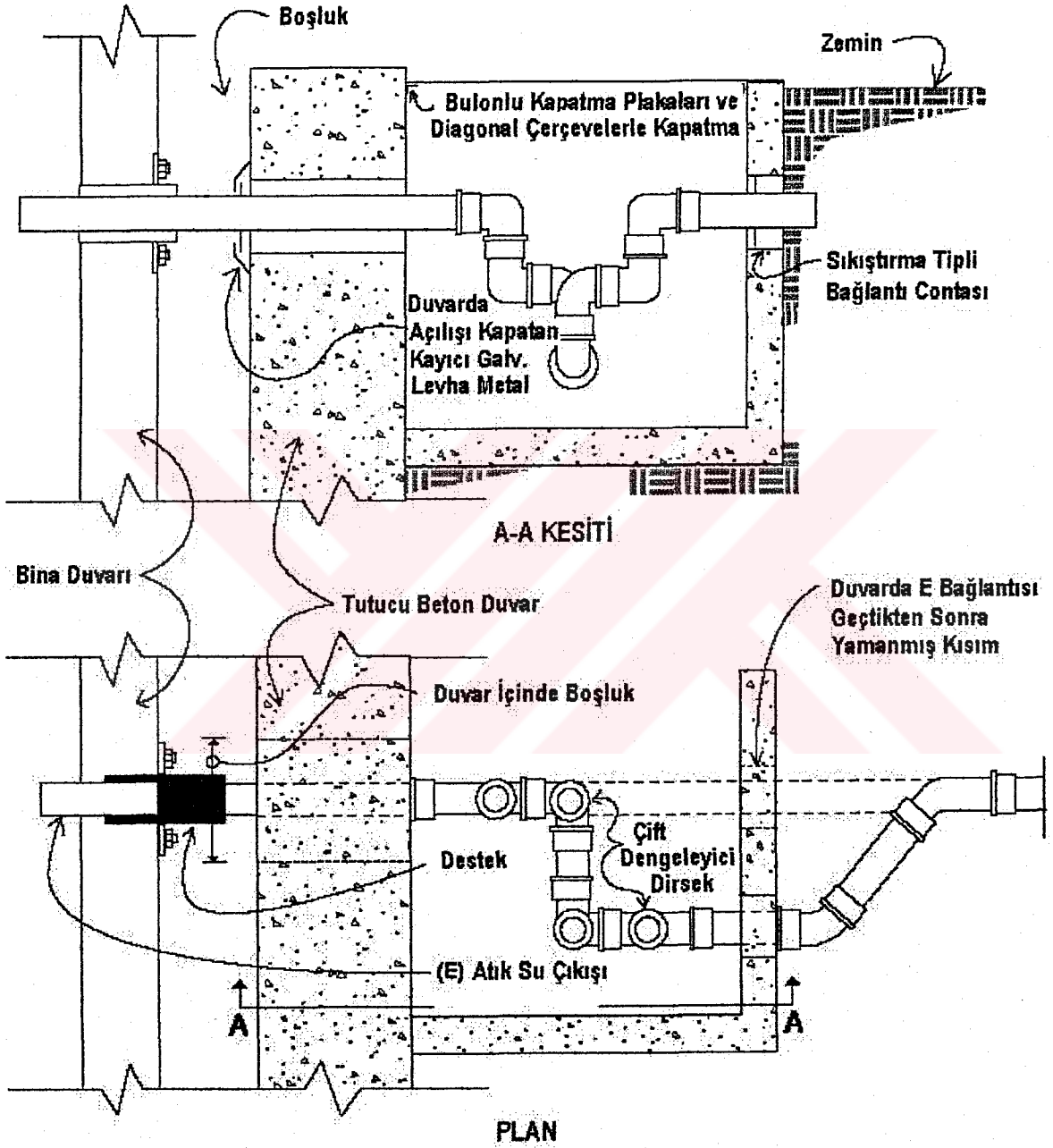
EK 2.3.3. İzolasyon Düzleminde Atık Su Geçişleri**Şekil Ek 2.14 İzolasyon düzleminde atık su geçişleri**

EK 2.3.4. Telefon Tertibatı



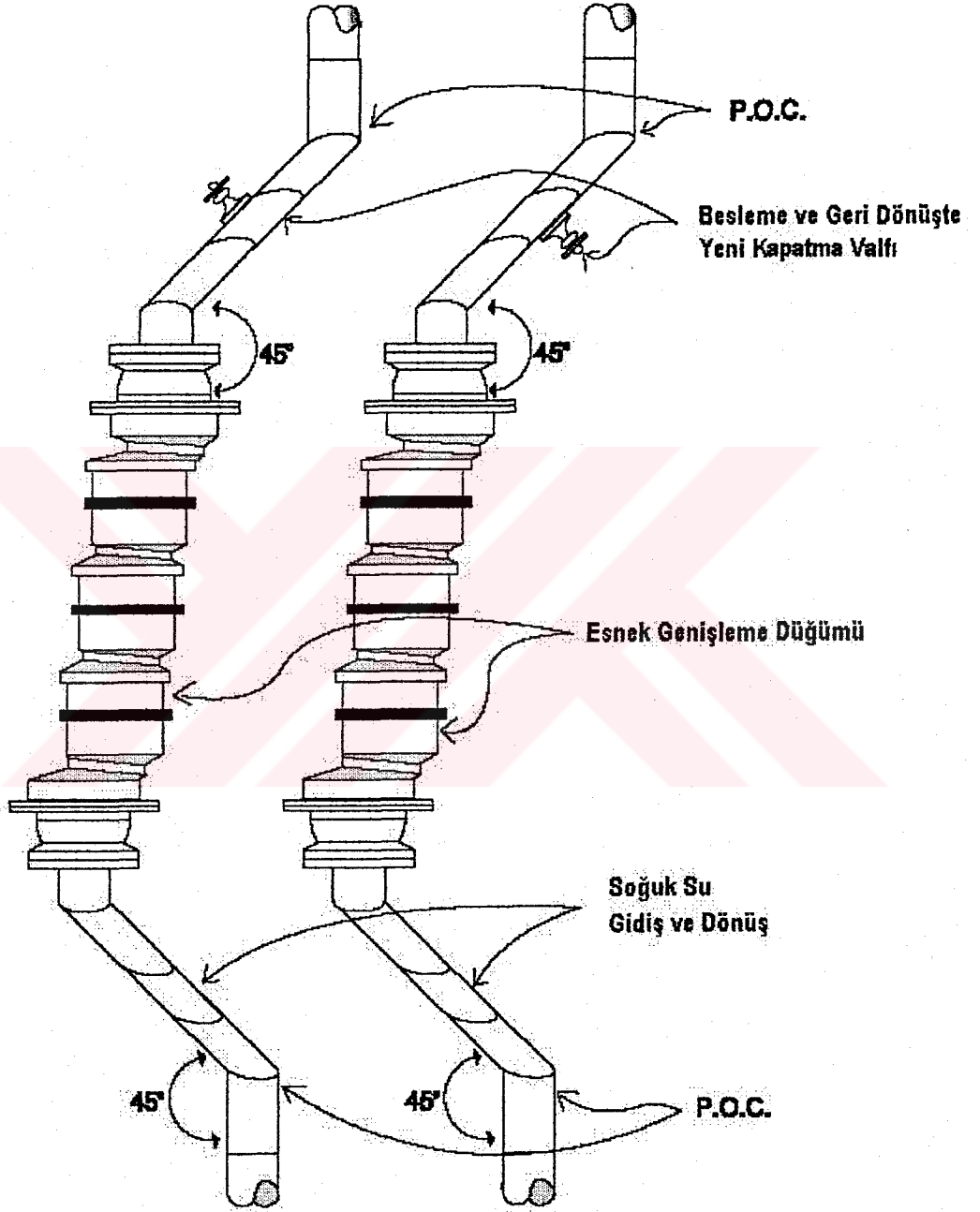
Şekil Ek 2.15 Telefon tertibatı

EK 2.3.5. Kanalizasyon Bağlantısı



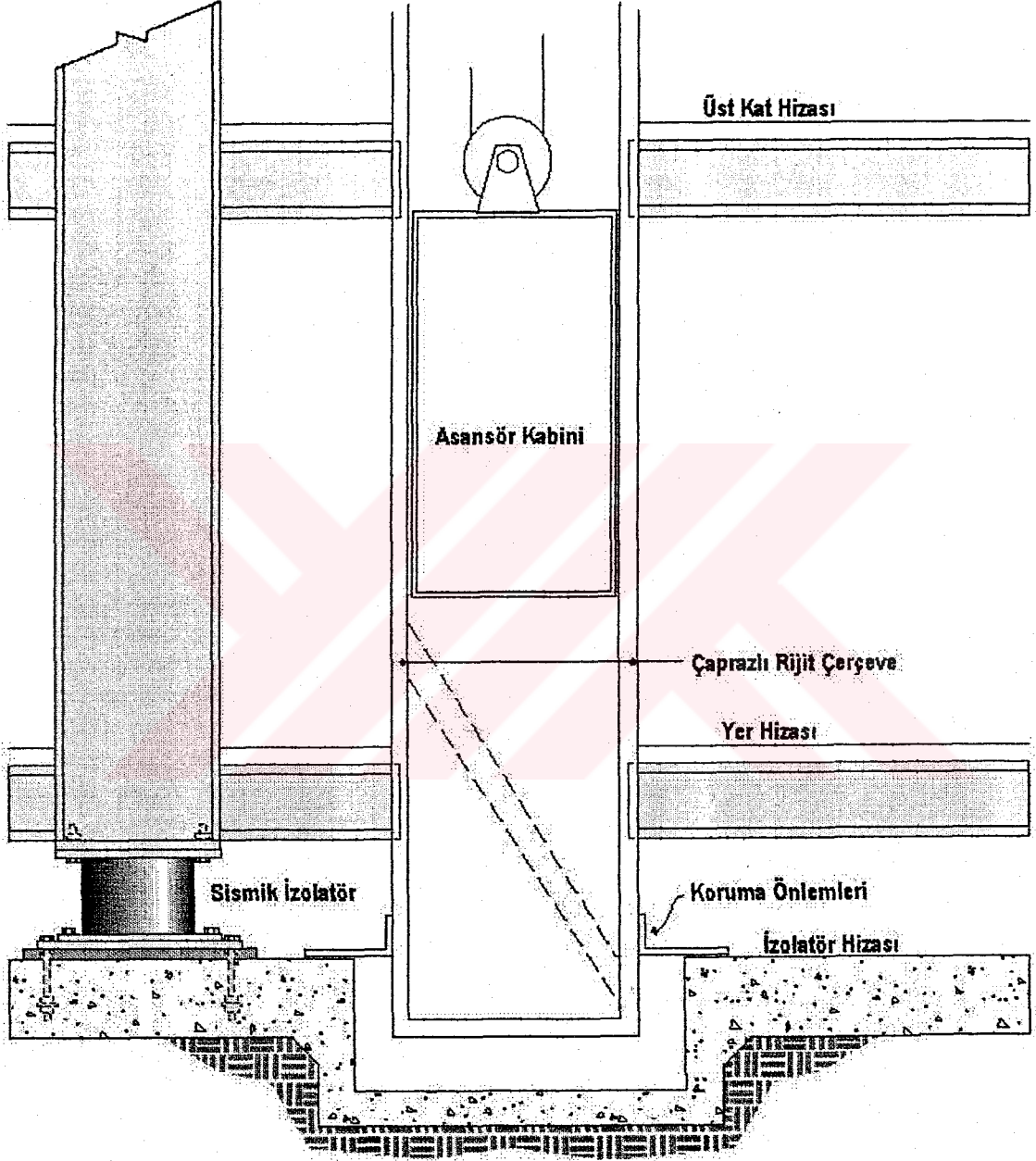
Şekil Ek 2.16 Kanalizasyon bağlantısı

EK 2.3.6. Hidrofor Detayı



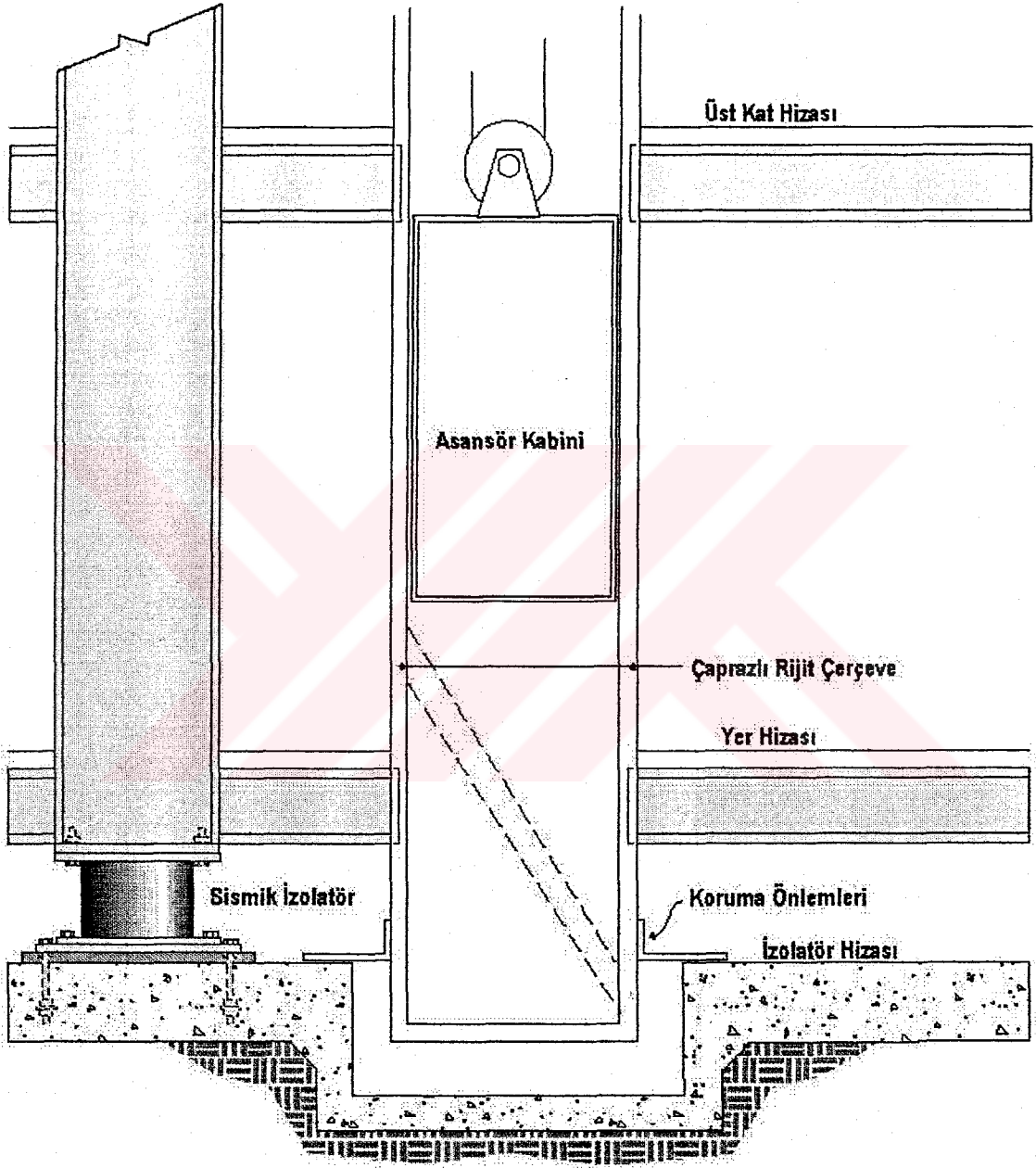
Şekil Ek 2.17 Hidrofor detayı

EK 2.4.2. Vinçli Asansör Detayı



Şekil Ek 2.19 Vinçli asansör detayı

EK 2.4.2. Vinçli Asansör Detayı



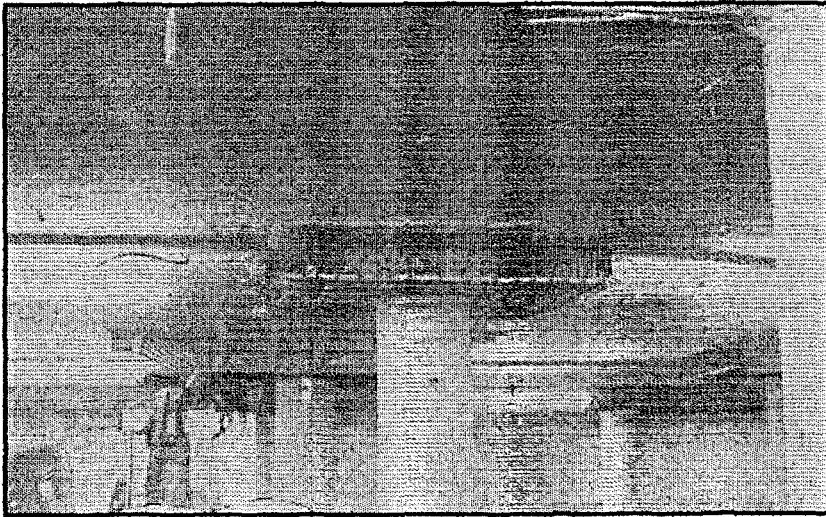
Şekil Ek 2.19 Vinçli asansör detayı

EK 3. Mevcut Yapıda Sismik İyileştirme için Taban İzolasyonu Uygulanması (Bölüm6)**EK 3.1. Mevcut Yapıda Kolonlara İzolatör Yerleştirilmesi (Bölüm 6.1)**

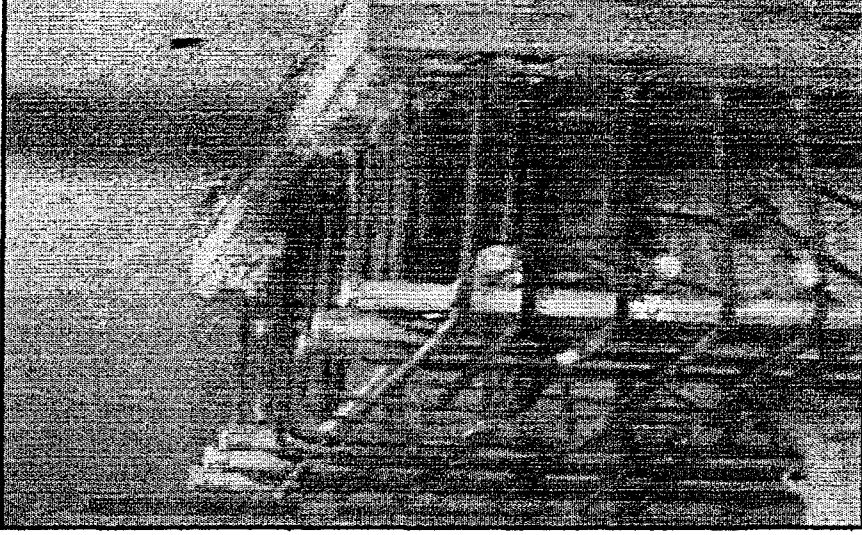
İyileştirme yapılan yapı "Above Net" binası, San Francisco'da bilgi işlem merkezidir. 235.000 sq. ft. alanında (yaklaşık 22.000 m²) yapı son derece hassas network donanımları ile bilgisayar datalarına sahiptir. 98 adet sürtünmeli sarkaç mesnedi kullanılarak, yapı depreme karşı izole edilmiştir. Yapının inşa halindeki resimleri, Dr. Nader Heyat'ın digital camerasının görüntüleridir.



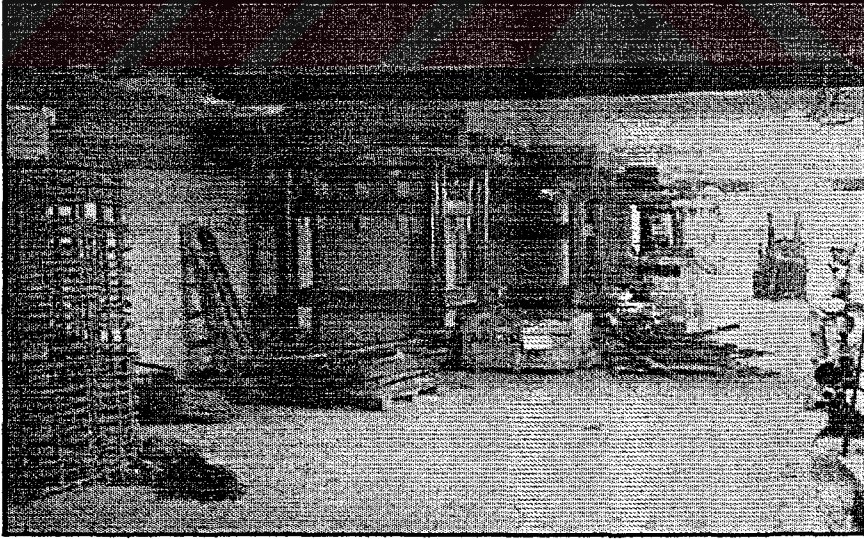
Şekil Ek 3.1 Above Net Binası



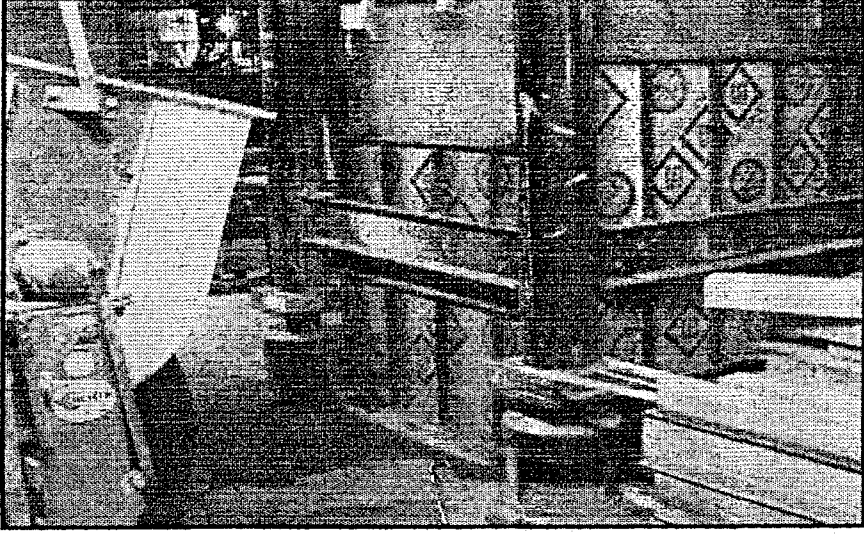
Şekil Ek 3.2 İzolatör eklenecek kolonlarda, kesilmeden önce kolon-döşeme birleşiminin kuvvetlendirilmesi



Şekil Ek 3.3 Kolon-döşeme birleşiminin kuvvetlendirilme detayı



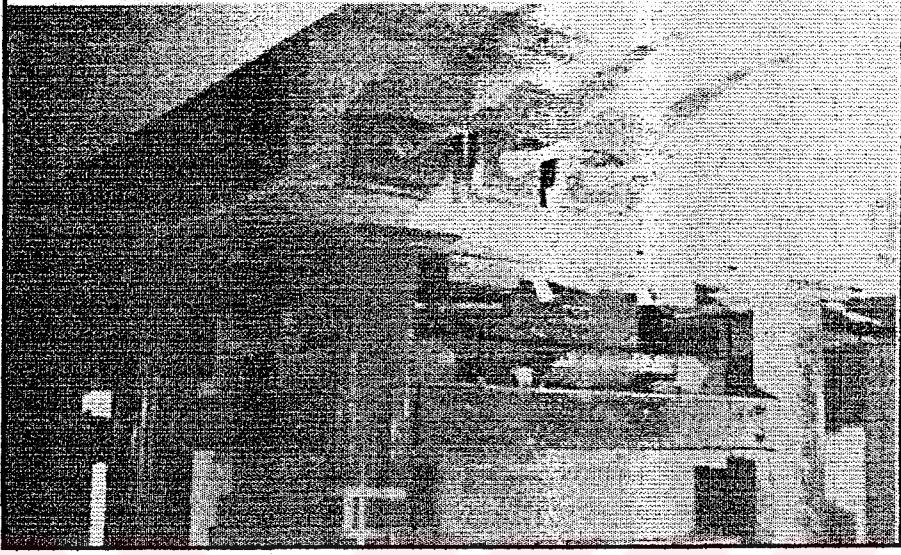
Şekil Ek 3.4 İzolatör taşıyacak kolonların mantolanması ve kesilen kolonlarda döşeme yüklerinin taşınması için kurulan geçici destekler



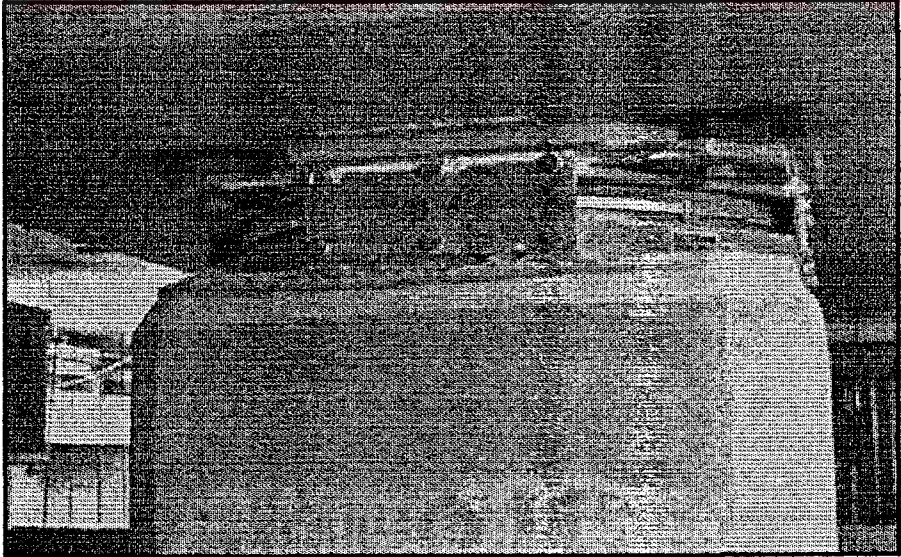
Şekil Ek 3.5 Geçici desteklerin detayı



Şekil Ek 3.6 Geçici desteklerin yerle birleşim detayı



Şekil Ek 3.7 Mantolanan kolonlarda üst kısmın kesilerek izolatör yerleştirilmesi



Şekil Ek 3.8 Geçici destekler alındıktan sonra kolonun son durumu

EK 3.2. LOS ANGELES CITY HALL SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI

EK 3.2.1. Bina Hakkında Bilgi

Los Angeles City Hall, 3 ayrı bölümden oluşur; bodrum kat ve 4. kat arası taban kısmını, 5. ve 11. katlar arası yapının orta kısmını, 12. ve 32. katlar arası da kule diye adlandırılan üst bölümünü oluşturmaktadır. Yapı, kuzey güney doğrultusunda 145 m uzunluğunda, doğu batı doğrultusunda 76 m genişliğindedir. Binanın toplam yüksekliği 138 m'dir. Binanın iskeletinde 8.167 ton çelik, 900.000 bulon bağlantısı vardır. Yapının toplam hacmi yaklaşık olarak 340.000 m³. Yapıda bulunan 430 kolon, yaklaşık 890 milyon N ölü yük etkisi altındadır. Yapıda güçlendirmeden sonra, 23.000 m³ beton, 3000 ton yapısal çelik, 5000 ton donatı çeliği artışı olmuştur. (<http://www.lacityhall.org>'dan alınmıştır.)



Şekil Ek 3.9 Los Angeles City Hall

Projede 526 izolatör ve sürtünmeli mesnet, 64 viskos sönümlendirici, 23.000 m³ beton, 3.000 ton yapısal çelik, 5.000 ton donatı çeliği ve 3.800 m doğrusal toplamda uzunluğunda kesme perdeleri sisteme eklenmiştir. Sismik izolasyon yapılan City Hall, Şekil Ek 3.9'da görülmektedir.

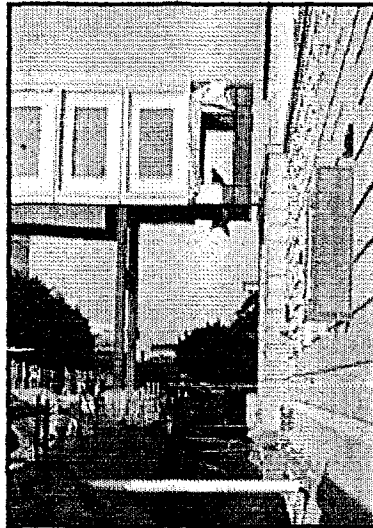
EK 3.2.2. Yapıda Deplasman Boşluğu

Yapı için hesaplanan yatay deplasman boşluğu genişliği her yönde 2.5 ft (0.76 m)'dir. Deplasman boşluğu yapılırken, deprem hareketinde zarar görmeksizin yapı ile hareket etmesi gereken ve bu amaçla hareket serbestliği verilmesi gereken düzenlemeler de dikkate alınır;

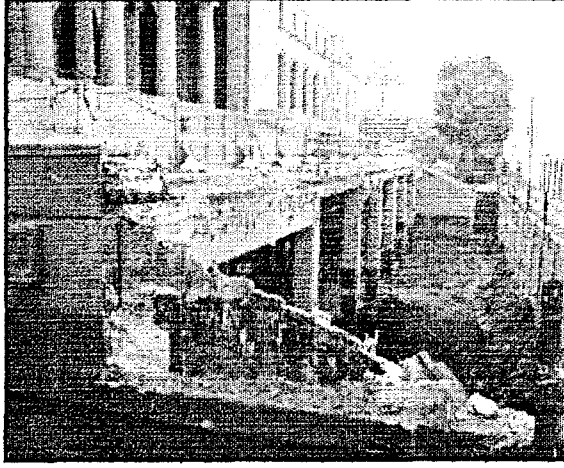
- Yaya Girişi (Pedestrian access)
- Araç Girişi (Vehicular access)
- Servis Girişleri (Utility feeds)
- Kanalizasyon Bağlantıları (Sewer connection)
- İletişim ve data link kabloları (Communications and data link cable connections)

Deplasman boşluğu aynı zamanda kimsenin düşmemesi için kapatılmalıdır. Deplasman boşluğu tamamlandıktan sonra bina çevresinde peyzaj ve bitkilendirme çalışması yapılmıştır. Yapıda 5 adet yaya girişi mevcuttur. Yapıya yaya girişi sağlayan bu köprülerin binaya birleşim noktalarında yatayda serbestlik sağlayan düğümler (expansion joints) eklenmiştir. (Şekil Ek 3.10)

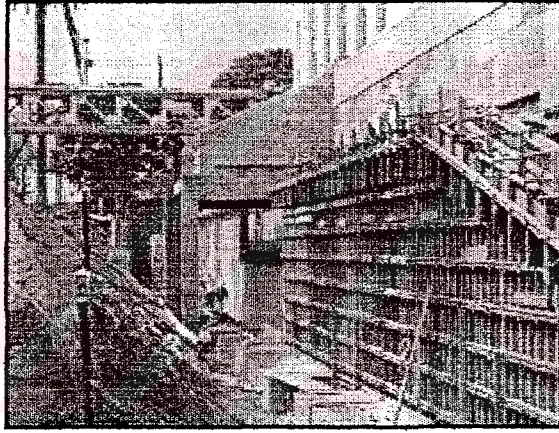
EK 3.2.2.1. Yapıda Yaya Girişleri



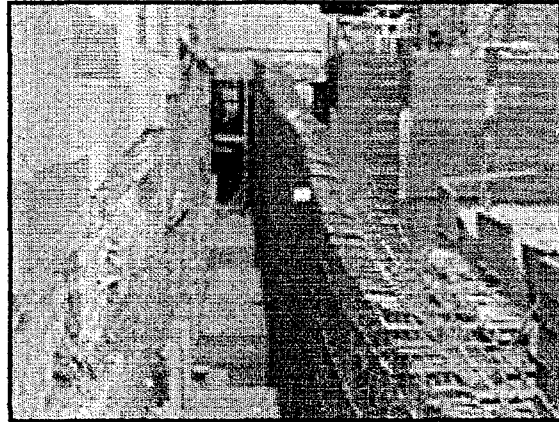
Şekil Ek 3.10 City Hall tarafındaki yaya girişi



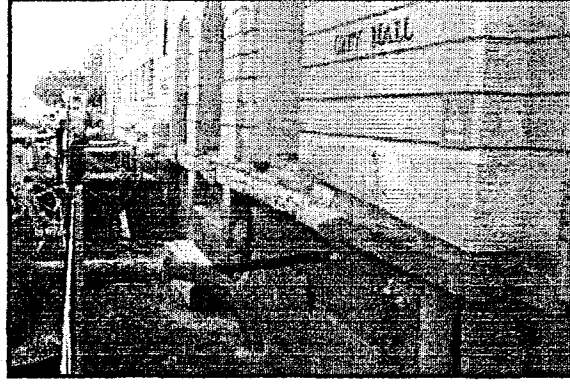
Şekil Ek 3.11 Spring St. tarafında yaya girişi



Şekil Ek 3.12 Güney girişi



Şekil Ek 3.13 Kuzey girişi

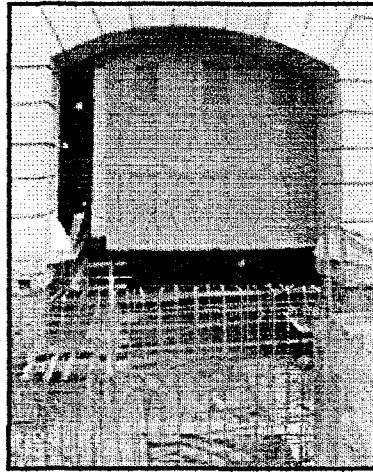


Şekil Ek 3.14 Doğu girişi

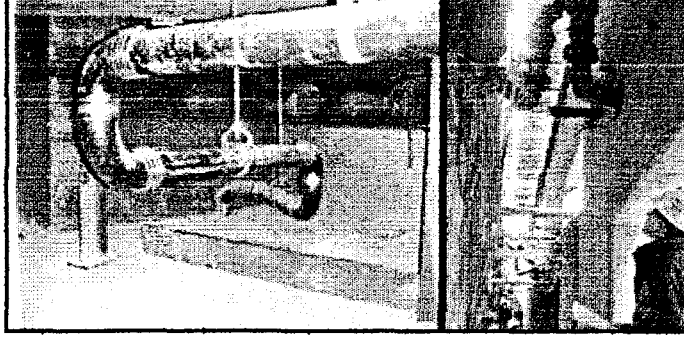
EK 3.2.2.2. Yapıda Araç Girişleri



Şekil Ek 3.15 İzolatörlerin yerleştirilmesi sırasında
güney garajı girişi



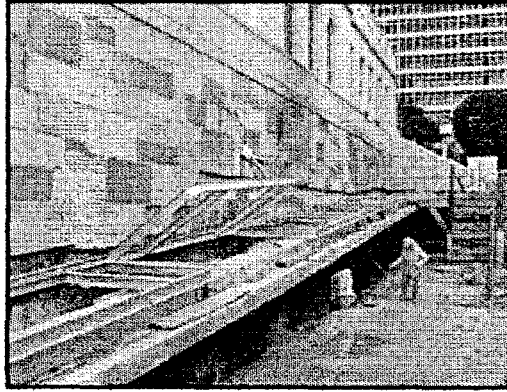
Şekil Ek 3.16 İzolatörler yerleştirilmeden ve deplasman
boşluğu kazılmadan önce kuzey garajı girişi

EK 3.2.2.3. Yapıda Servis Girişleri

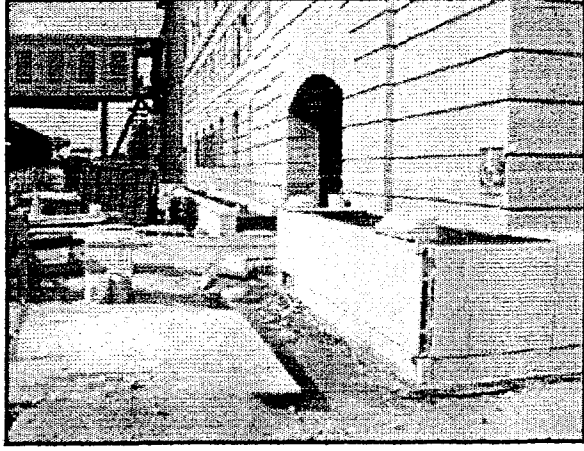
Şekil Ek 3.17 Su taşıyan hatlarda kırılmayan
esnek düğümler



Şekil Ek 3.18 Duvarda açılan boşluk sayesinde hareket
serbestliği kazanan kanalizasyon çıkışı

EK 3.2.2.4. Kaza Önlemleri

Şekil Ek 3.19 Yapıyla hareket edecek çelik çerçeve
deplasman boşluğu kapakları



Şekil Ek 3.20 Son düzeltmelerden sonra (kapatma ve peyzaj)
yapının çevresi



Şekil Ek 3.21 Güney doğu köşesinde yerleştirilen ızgaralar

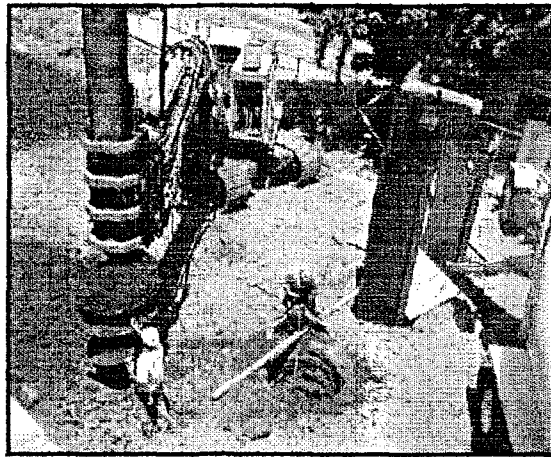
EK 3.2.3. Yapıda Deplasman Boşluğu İnşaatı

EK 3.2.3.1. Kazı ve İksalama Çalışmaları

City Hall için iksalama çalışmaları için ilk olarak binanın çevresinde çakılacak olan kazıklar için delikler açılmıştır. İksaları destekleyecek kazıklar, 12 m uzunluğunda çelik "I" profillerden oluşmuştur. Zeminde, açılan delikler içlerine kazıklar yerleştirildikten sonra boşluklar beton dökülerek kapatılmıştır. Bu işlem sonrasında, kazıklar ve arasına yerleştirilen ağır keresteler, arkalarındaki zemini tutabilecek mukavemettedirler.



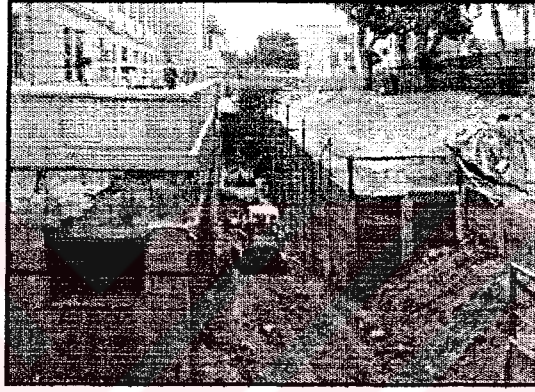
Şekil Ek 3.22 Zeminde destek kazıkları için delik açılması



Şekil Ek 3.23 Açılan deliklere kazıkların yerleştirilmesi



Şekil Ek 3.24 Ağır kerestelerle iksa oluşturulması



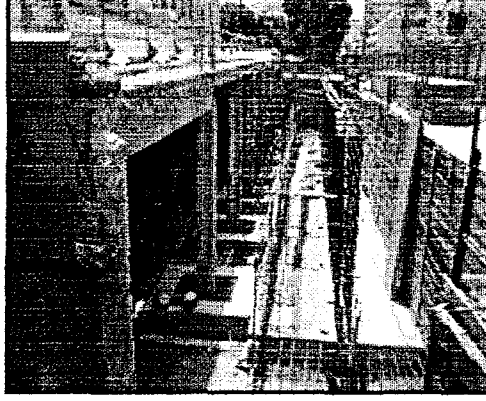
Şekil Ek 3.25 Yapı çevresinde kazı işi

EK 3.2.3.2. Çerçeve Sistemi Oluşturma

İlk aşama tamamlandıktan sonra, binanın çevresinde kazılan yerlere, inşa edilecek duvarın temelini oluşturmak üzere beton dökülür. Dökülen betonun içinde, yapılacak duvarın iskeletini oluşturacak donatılar da filizlendirilir.



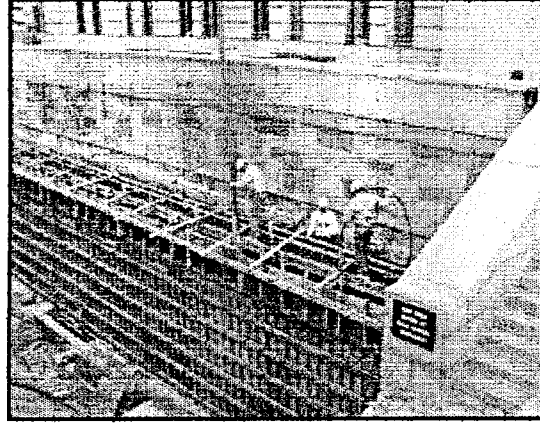
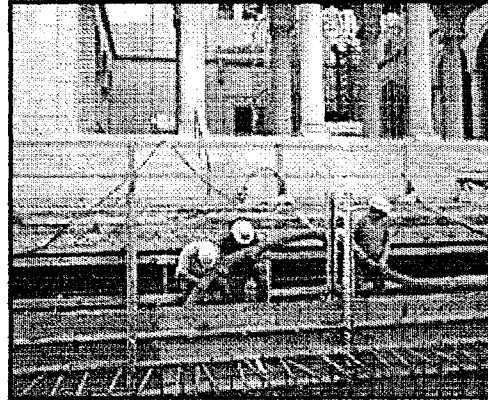
Şekil Ek 3.26 Betonarme duvarın temeli



Şekil Ek 3.27 Temel üstünde betonarme duvarın donatılarının oluşturulması

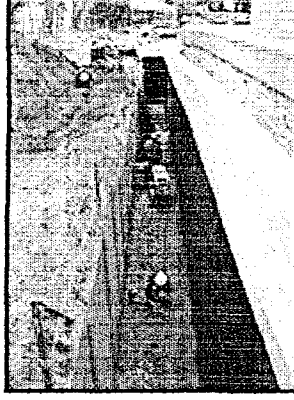


Şekil Ek 3.28 Donatıların çerçeve haline getirilmesi

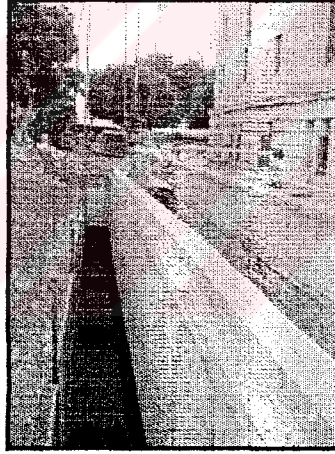
EK 3.2.3.3. Beton Dökülmesi**Şekil Ek 3.29 Ön duvarda beton dökülmesi****Şekil Ek 3.30 Yan duvarda beton dökülmesi****Şekil Ek 3.31 Beton dökülmesi sırasında form kesidi**

EK 3.2.3.4. Boşluğun Kapatılması

Oluşturulan boşluğun dış kısmı doldurulmadan önce, zeminin durumu ve kodlara göre uyumu bir zemin mekanikcisi tarafından kompaksiyon deneyi uygulanarak incelenir.



Şekil 3.32 Zeminde kompaksiyon deneyi



Şekil 3.33 Boşluk kapatılmadan önce duvarda su izolasyonu



Şekil 3.34 Boşluk kapatıldıktan sonraki durum ve peyzaj çalışması

EK 3.2.4. İzolatörlerin Yerleştirilmesi

Çelik kolonlarda beton kaplama sökülerek, kolonlar arası geçici destek sağlamak için çapraz elemanlar yerleştirilir. Ayrıca kolonların yük taşıma kapasitelerini artırmak için kesme iğneleri kaynaklanır. Bir sonraki aşama ise, kazma aşamasıdır.



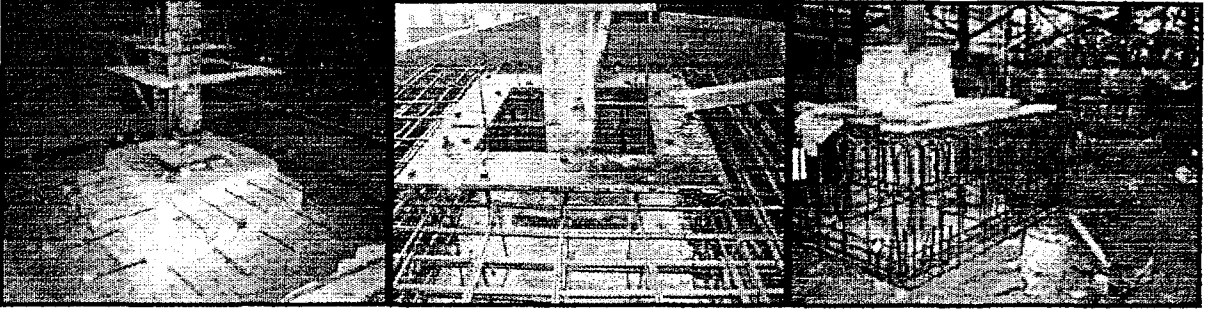
Şekil Ek 3.35 Kolonların beton yüzlerinin sökülmesi ve çapraz elemanlarla desteklenmesi



Şekil Ek 3.36 Temelleri büyötmek amacıyla kazı yapılması



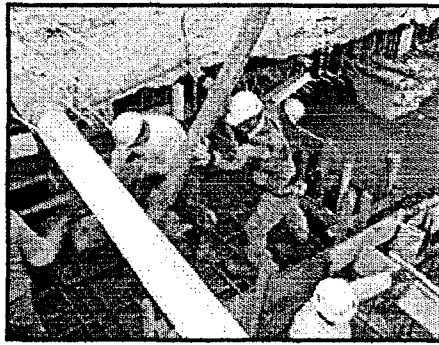
Şekil Ek 3.37 Kazı sonrası açığa çıkan betonarme temeller



Şekil Ek 3.38 Mevcut temellerin boyutlarının büyütülmesi



Şekil Ek 3.39 Yeni temeller için kalıp kurulması



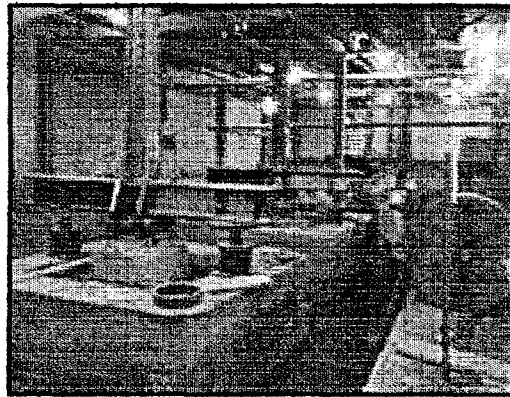
Şekil Ek 3.40 Kalıplara beton dökülmesi



Şekil Ek 3.40 Beton döküldükten sonra yeni temeller



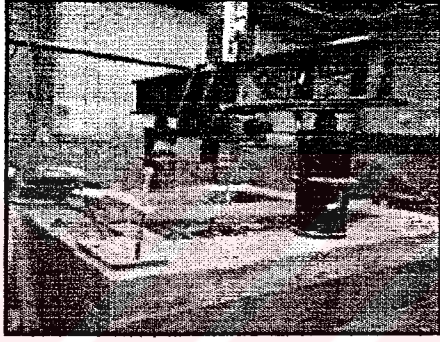
Şekil Ek 3.41 Hidrolik krikolar ve geçici destek kirişleri



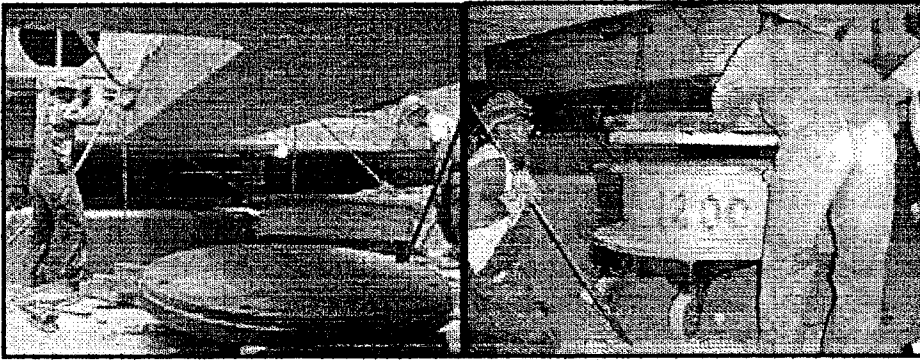
Şekil Ek 3.42 Hidrolik krikoların kurulması



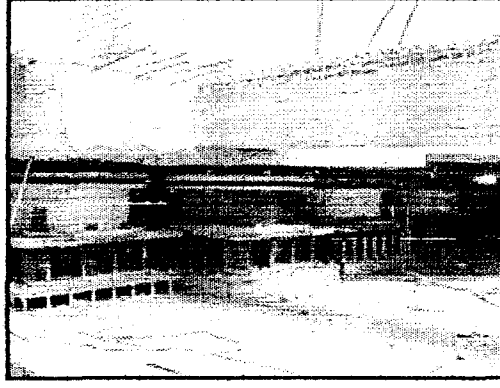
Şekil Ek 3.43 Mevcut kolonun kesilmesi



Şekil Ek 3.44 İzolatör montajına hazır halde sistem



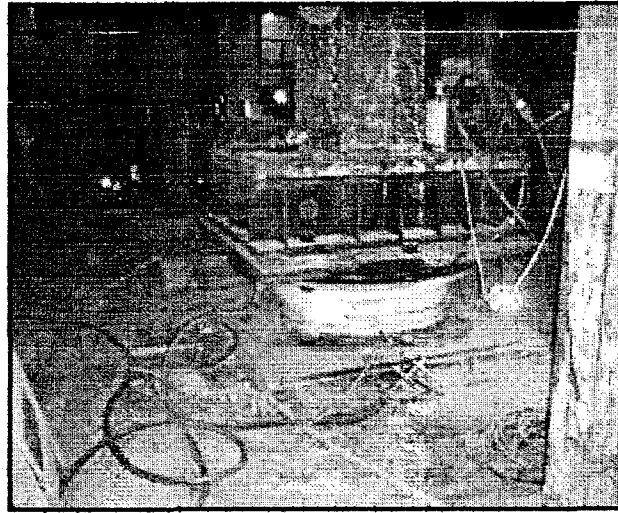
Şekil Ek 3.45 İzolatörlerin taşınması



Şekil Ek 3.46 Sıra halinde monte edilmiş izolatörler



Şekil Ek 3.47 Bağlantıların kaynaklanması

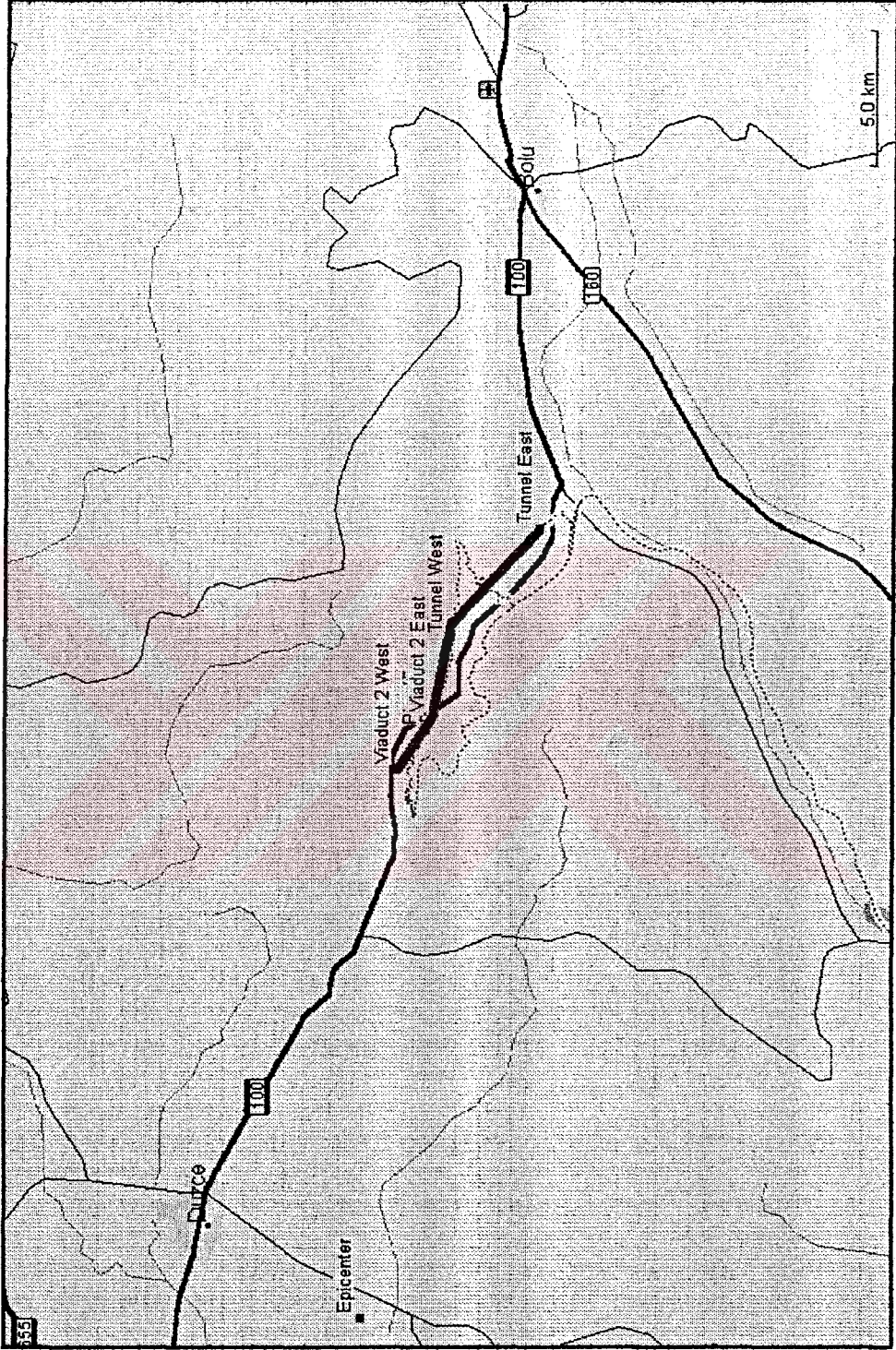


Şekil Ek 3.48 Montajı tamamlanmış izolatörler

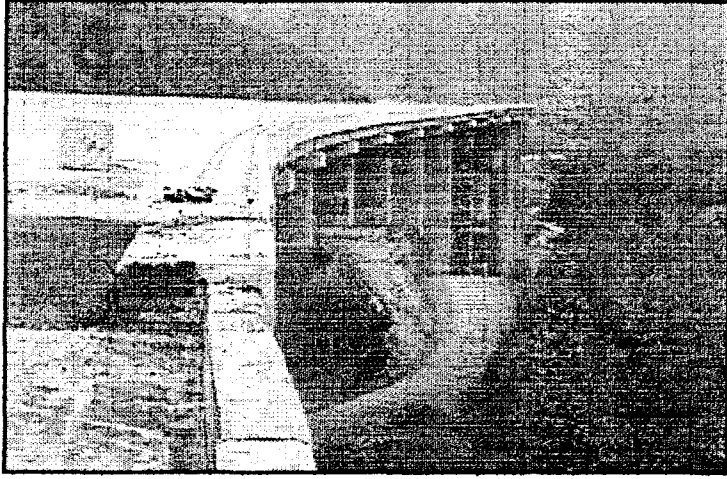
EK 4. ÜLKEMİZDE SİSMİK İZOLASYONLU YAPILAR

EK 4.1. Depremden Sonra Bolu Viyadükleri (Bölüm 7.1)

Bu bölümde marmara depremlerinden sonra, deprem önlemi alınmış yapıların son durumları incelenecektir. Resimler GEES kaynaklıdır.



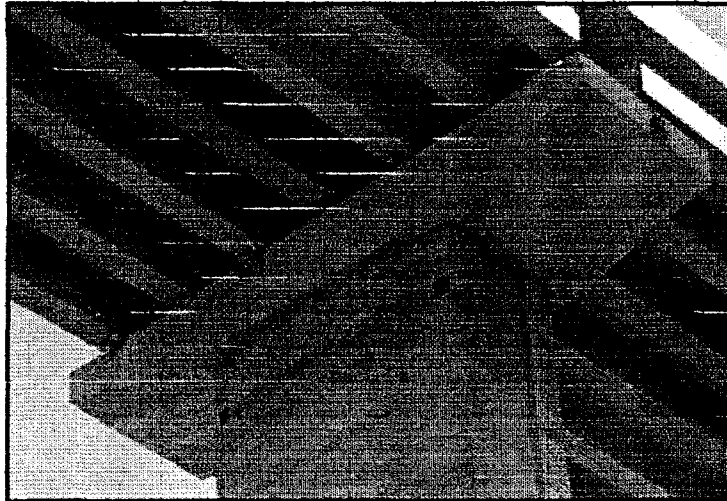
Şekil Ek 4.1 Deprem etkisindeki yapılar



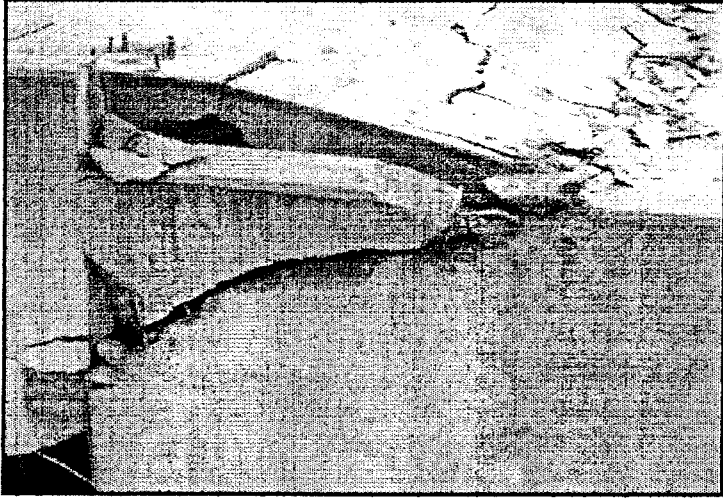
Şekil Ek 4.2 1 No'lu Viyadüğün batı mesnedi



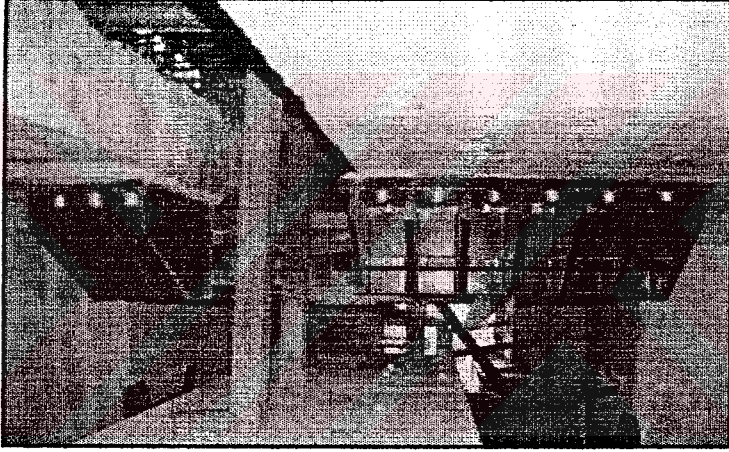
Şekil Ek 4.3 1 No'lu Viyadükte 45 No'lu ayak



Şekil Ek 4.4 1 No'lu Viyadükte 1 metre yer değıştiren kirişler



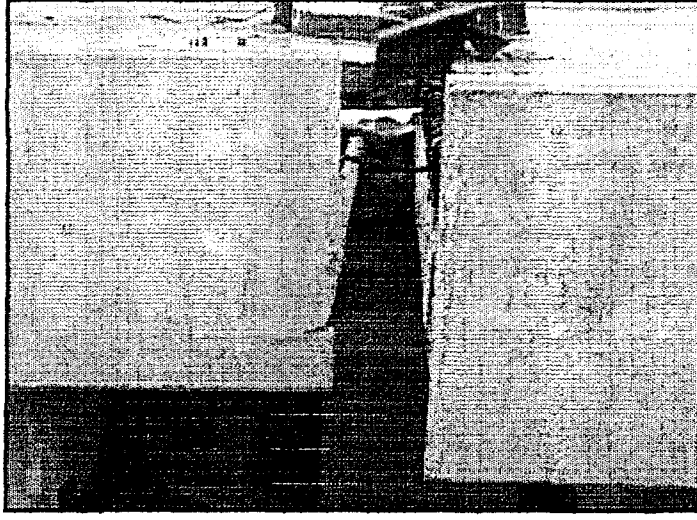
Şekil Ek 4.5 1 No'lu Viyadükte mesnet kırıkları



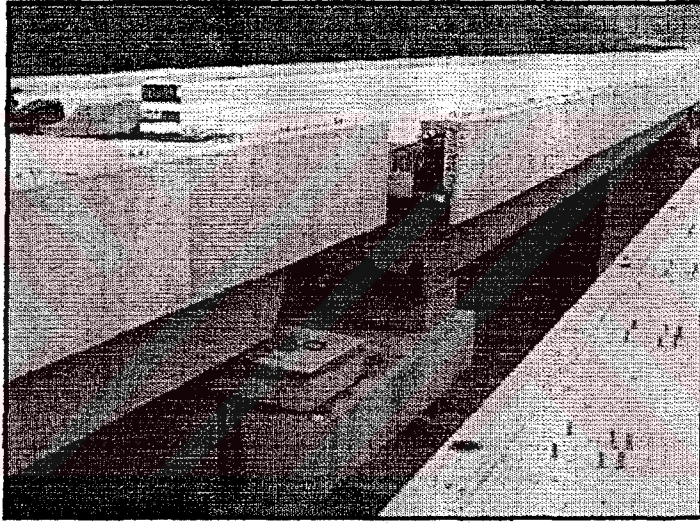
Şekil Ek 4.6 Deprem sönümlendiricilerin montajı



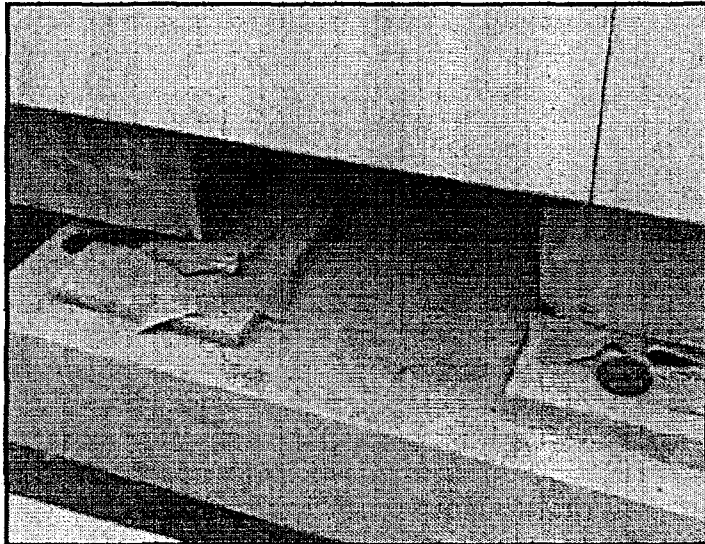
Şekil Ek 4.7 Histeretik sönümlendiricilerin depremden sonra durumu



Şekil Ek 4.8 Zarar gören bağlantılar



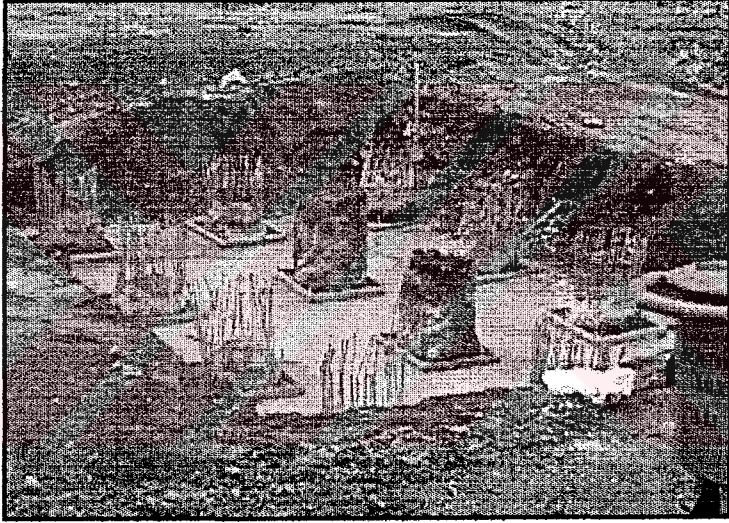
Şekil Ek 4.9 1 No'lu Viyadükte ayrılan ve ters yönde hareket eden kesitler



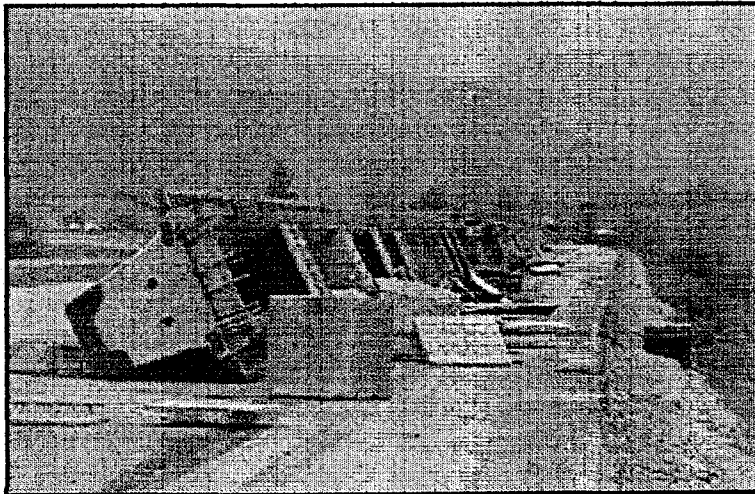
Şekil Ek 4.10 1 No'lu Viyadükte boylamasına ve ters yönde hareket eden tabliye



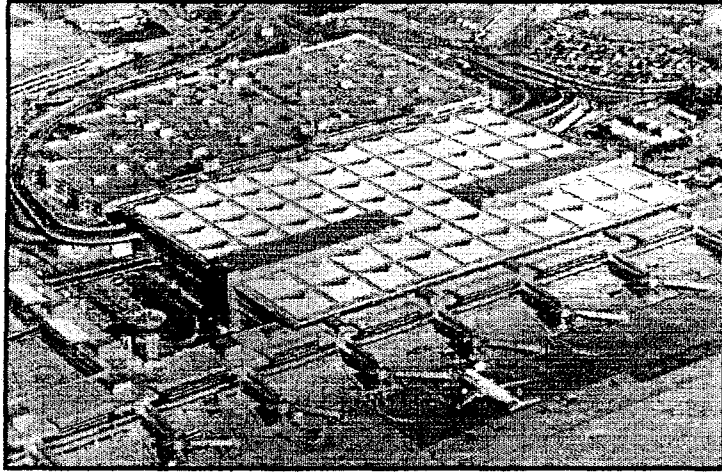
Şekil Ek 4.11 1 No'lu Viyadüğün 8 cm aşağıda kalan batı mesnedi



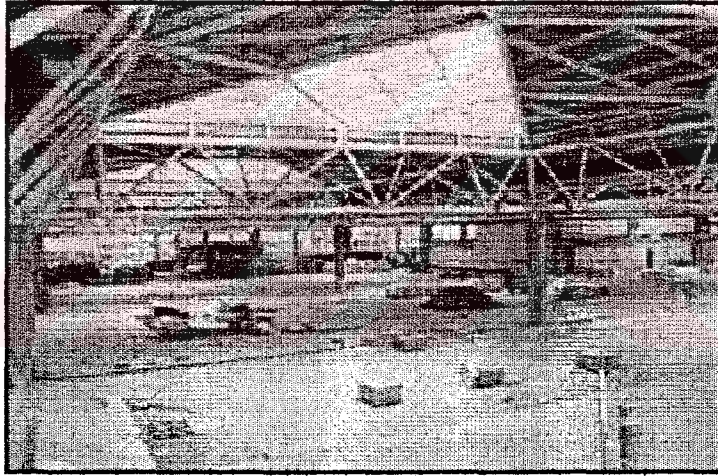
Şekil Ek 4.12 İnşaat halindeki 2 No'lu Viyadüğün temel kazıkları



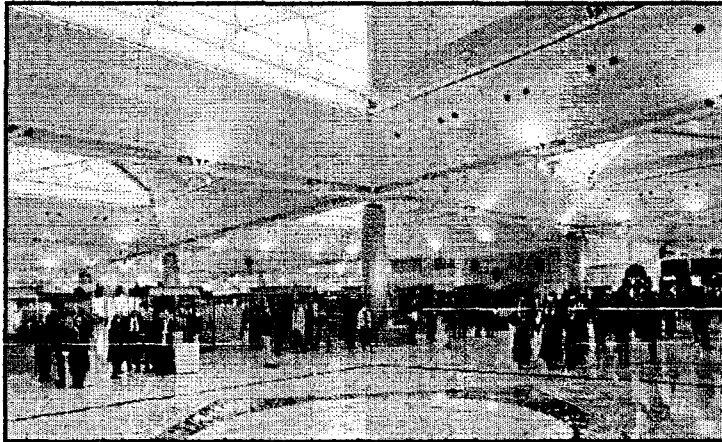
Şekil Ek 4.13 2 No'lu Viyadüğün zarar gören monte edilmemiş prefabrik kirişleri

EK 4.2. Atatürk Havalimanı (Bölüm 7.2)

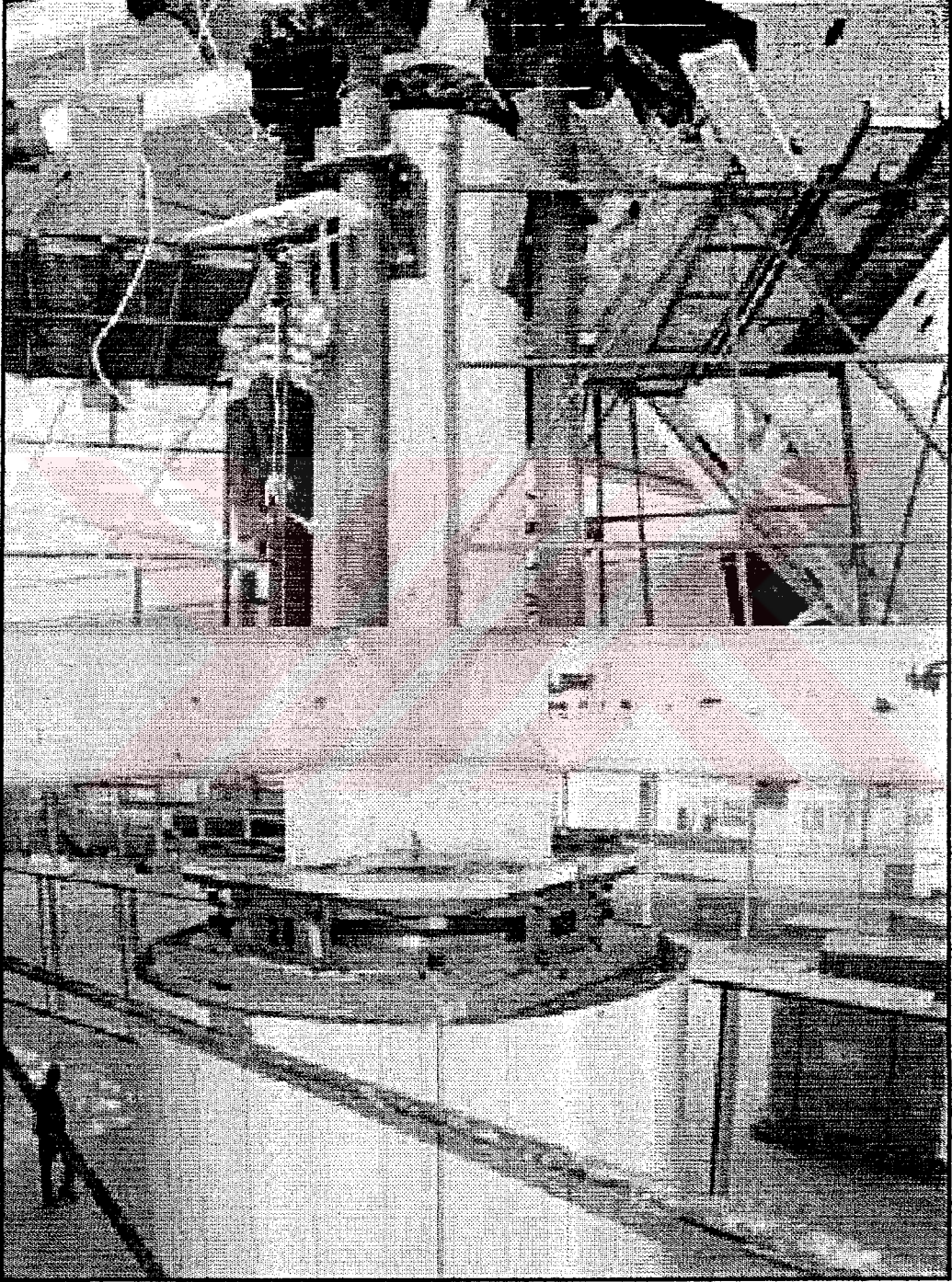
Şekil Ek 4.14 Atatürk Havalimanı kuşbakışı görüntüsü



Şekil Ek 4.15 Atatürk Havalimanı inşaat hali



Şekil Ek 4.16 Atatürk Havalimanı tamamlanmış hali



Şekil Ek 4.17 Mantolama ve izolatör yerleştirilmeden sonra hava alanı kolonu

EK 5. SİSMİK İZOLASYON MALİYETİ SAPTAMASI

Bu bölümde, sismik izolasyonlu yapıların uygulama maliyetleri ve izolasyon yapmanın getireceği ekonomi hakkında daha fazla fikir edinebilmek için, Amerika'da yapılan 3 adet uygulama incelenecektir. Detaylarda ele alınarak yapılan fizibilite araştırmaları, Dis-inc kaynaklıdır. Fizibilite çalışmaları, izolatör kullanılması durumunda eklenecek maliyetlerle, izolatör kullanıldığı zaman yapıda yapılmasına gerek kalmayan maliyetleri ve bu sonuçla sismik izolasyonun ne kadar ekonomi sağlayacağını özetidir.

EK 5.1. VA Hastenesi, Loma Linda

California Loma Linda'da bulunan hastane için fizibilite araştırması "D'Appolonia and Associates" ile "National Science Foundation" işbirliği ile hazırlanmıştır (1984). Yapıda kullanılan izolatörler, DIS'in ürettiği kurşun çekirdekli izolatörlerden farklı bir modeldir. DIS tarafından üretilen kurşun çekirdekli izolatörlerin daha ucuz olduğu belirtilmektedir.

<u>MUHTEMEL EKŞİLECEK MALİYETLER</u>	<u>(PROBABLE DEDUCT COSTS)</u>	<u>COST (\$)</u>
Diyaframlar	(Diaphragms)	131.000
Kesme Perdeleri	(Shear Walls)	1.312.660
Bodrum Perdeleri	(Basement Walls)	207.000
Temel	(Foundation)	1.505.000
Yapısal Çelik	(Structural Steel)	243.600
Tüneller ve M/E Duvarları	(Tunnels and M/E Walls)	437.500
Kazılan Yerlerin Doldurulması	(Engineered Backfill)	9.500
Zeminde Rijit Diyafram	(Slab on Grade)	907.500
M/E Odaları ve Tünel Kazısı	(Excavation for M/E Rooms and Tunnel)	151.500
Servis ve Ekipman İndirimleri	(Equipment and Utility Hold Downs)	-
		\$ 4.905.260
<u>MUHTEMEL EKLENECEK MALİYETLER</u>	<u>(PROBABLE ADDED COSTS)</u>	
Kazı	(Excavation)	242.500
Depasman Duvarları	(Retaining Wall)	350.000
M/E Oda Duvarları	(M/E Room Walls)	81.250
Çamurluklar	(Mud Mat)	172.000
Elastomerik İzolatörler (315 ad.* 3000\$)	(Bearing Pads (315 at \$3000))	945.000
İzolatör Bloklar	(Bearing Blocks)	240.000
Birinci Kat Kirişleri	(First Floor Beams)	750.000
Birinci Kat Döşemesi	(First Floor Slab)	1.044.000
Çevre Birleşimleri	(Perimeter Joint)	103.000
Esnek Servis Bağlantıları	(Flexible Utility Connections)	-
		\$ 3.927.750
<u>SİSMİK İZOLASYONLA GELEN TASARRUF</u>		
(Saving Due to Seismic Isolation)	4.905.260 - 3.927.750 =	\$ 977.510

Tablo Ek -1 VA Hastenesi, Loma Linda hakkında fizibilite raporu

Projenin toplam proje maliyeti belirtilmemiştir. Ancak yaklaşık olarak 20 \$/m² büyüklüğü esas alınrsa, toplam proje maliyetinin 80 milyon \$ olacağı tahmin edilmektedir. Öyleyse sismik izolasyon yapılmasının getireceği ekonomi % 1.2 kadardır.

EK 5.2. Medical Building - Salt Lake City

Salt Lake'de bulunan sağlık merkezinin fizibilite araştırması Reid ve Tarics tarafından yapılmıştır. (1982) Sismik izolasyon yapılması durumunda azalacak ve artacak maliyetler özetlenmiştir;

<u>MUHTEMEL EKŞİLECEK MALİYETLER</u>	<u>(PROBABLE DEDUCT COSTS)</u>	<u>COST (\$)</u>
Kesme Perdeleri	(Shear Walls)	170.700
Yapısal Çelik	(Structural Steel)	129.700
Donatı Çeliği	(Reinforcing Steel)	237.000
Bağlantılar	(Connections)	99.000
Döşemeler	(Slabs)	65.200
Servis ve Ekipman İndirimleri	(Equipment and Utility Hold Downs)	15.000
		\$ 716.600
<u>MUHTEMEL EKLENECEK MALİYETLER</u>	<u>(PROBABLE ADDED COSTS)</u>	
Döşeme ve Kiriş Sistemi	(Slab and Beam System)	145.000
İzolatörler	(Bearings)	80.000
Deplasman Duvarları	(Retaining Walls)	37.500
Temeller	(Foundations)	44.900
Esnek Servis Bağlantıları	(Flexible Utility Connections)	8.000
		\$ 315.400
<u>SİSMİK İZOLASYONLA GELEN TASARRUF</u>		
(Saving Due to Seismic Isolation)	716.600 - 315.400 =	\$ 401.200

Tablo Ek -2 Sağlık merkezi, Salt Lake hakkında fizibilite raporu

Toplam proje maliyeti 20 milyon \$ olduğuna göre sismik izolasyonla gelen %2 kadar kazanç söz konusudur.

EK 5.3. Masonic Hall - San Francisco

Reid ve Tarics tarafından yapılan bir diğer fizibilite çalışması San Francisco'daki 101.000 ft² alanlı Masonic Hall binasıdır. Maliyet izolasyonlu ve izolasyonsuz durumlar için ayrı ayrı belirlenmiştir;

SİSMİK İZOLASYONLU TASARIM	<u>(BASE ISOLATED SCHEME)</u>	<u>COST (\$)</u>
Rijitlik artırıcı düzenlemeler (4 b.arme perde ve temeller)	(Structural Work Required to Stiffen) (Building (4 Concrete Walls and Footings))	439.476
İzolasyon uygulama öncesi düzenlemeler (yıkım, mantolama, destek katları ve çelik)	(Structural Work Required to Achieve Isolation) (Demolition, Jacking, Shoring Slab and Steel)	1.387.524
İzolasyon uygulama öncesi bitişik binada düzenlemeler (arka duvarlar ve birleşik yıkım ve izolasyon)	(Structural Work Required to Isolate) (Adjacent Building (Back Wall and Associated Demolition and Isolation))	92.245
Mimari düzenlemeler	(Architectural Finishes)	404.449
Mekanik ve Elektrik İşleri	(Mechanical & Electrical Work)	67.355
		\$2.391.049
 KLASİK TASARIM	 <u>(CONVENTIONAL SCHEME)</u>	
Yapısal İşler	(Structural Work)	1.715.831
Mimari İşler	(Architectural Work)	552.726
Mekanik ve Elektrik İşleri	(Mechanical & Electrical Work)	121.201
		\$2.389.758

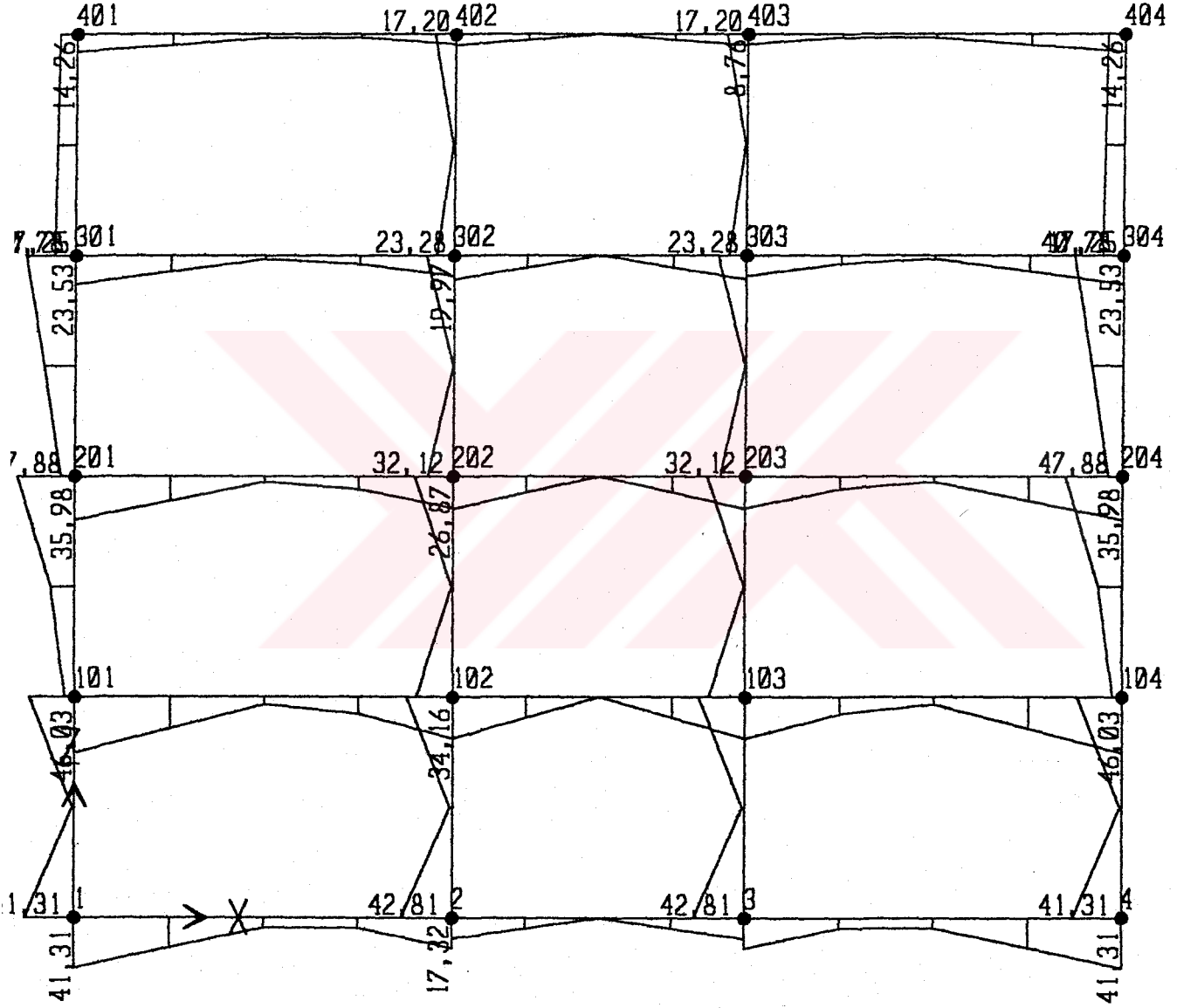
Tablo Ek -3 Masonic Hall, San Francisco hakkında fizibilite raporu

Her iki durum için bulunan maliyetler hemen hemen aynıdır. İzolasyonlu sistem yaklaşık 0.5 milyon \$ daha masraflıdır.

EK6
DOĞAL KAUÇUK MESNETLİ SİSTEM

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI

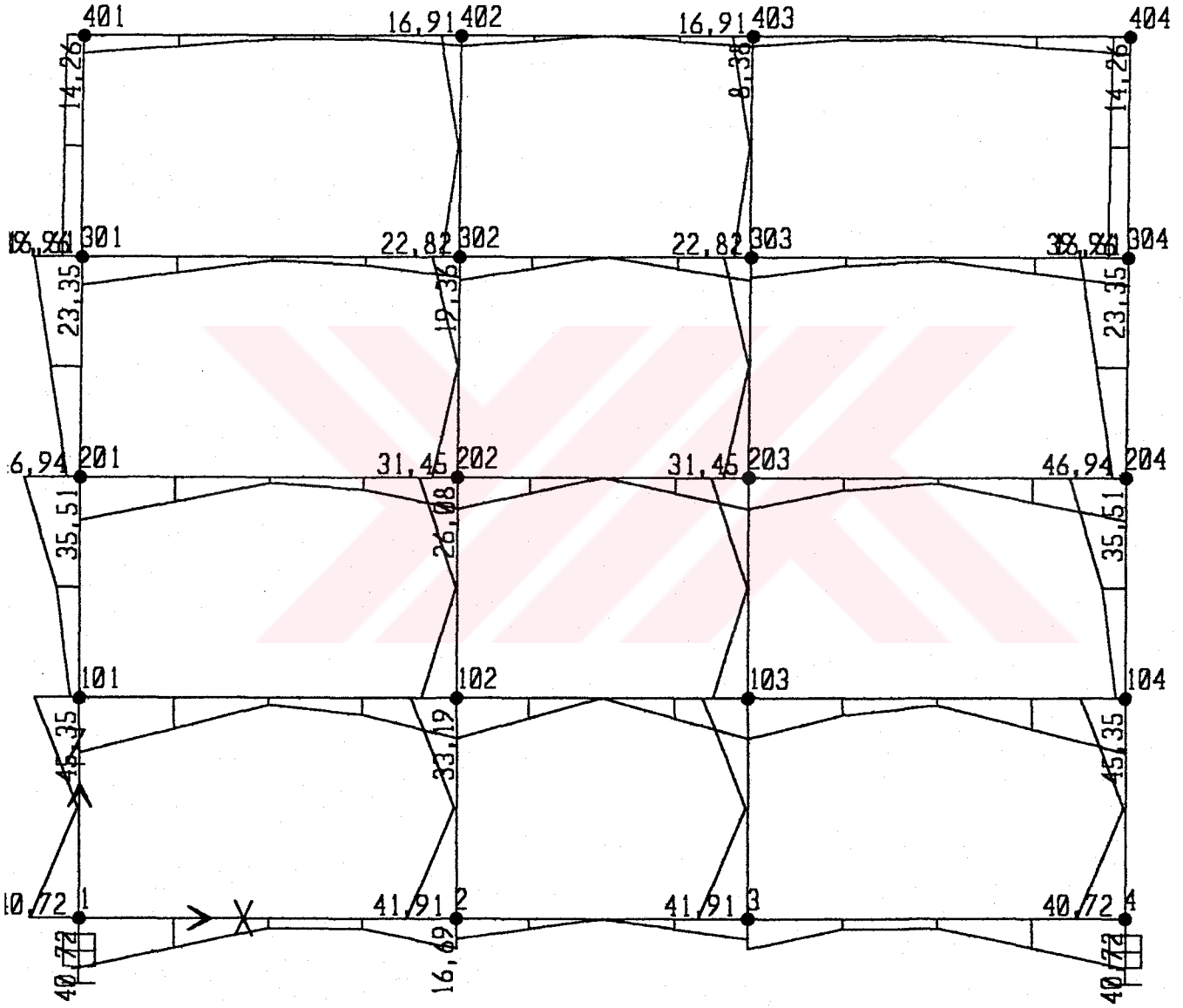


Şekil Ek 6.1 Doğal Kauçuk Mesnetli Sistem
A-A Aksı - E Yükleme
Moment Eğilme Diyagramı
($R_i=8$)

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ SİSTEM

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI



Şekil Ek 6.2 Kurşun Çekirdekli Sistem

A-A Aksı - E Yükleme

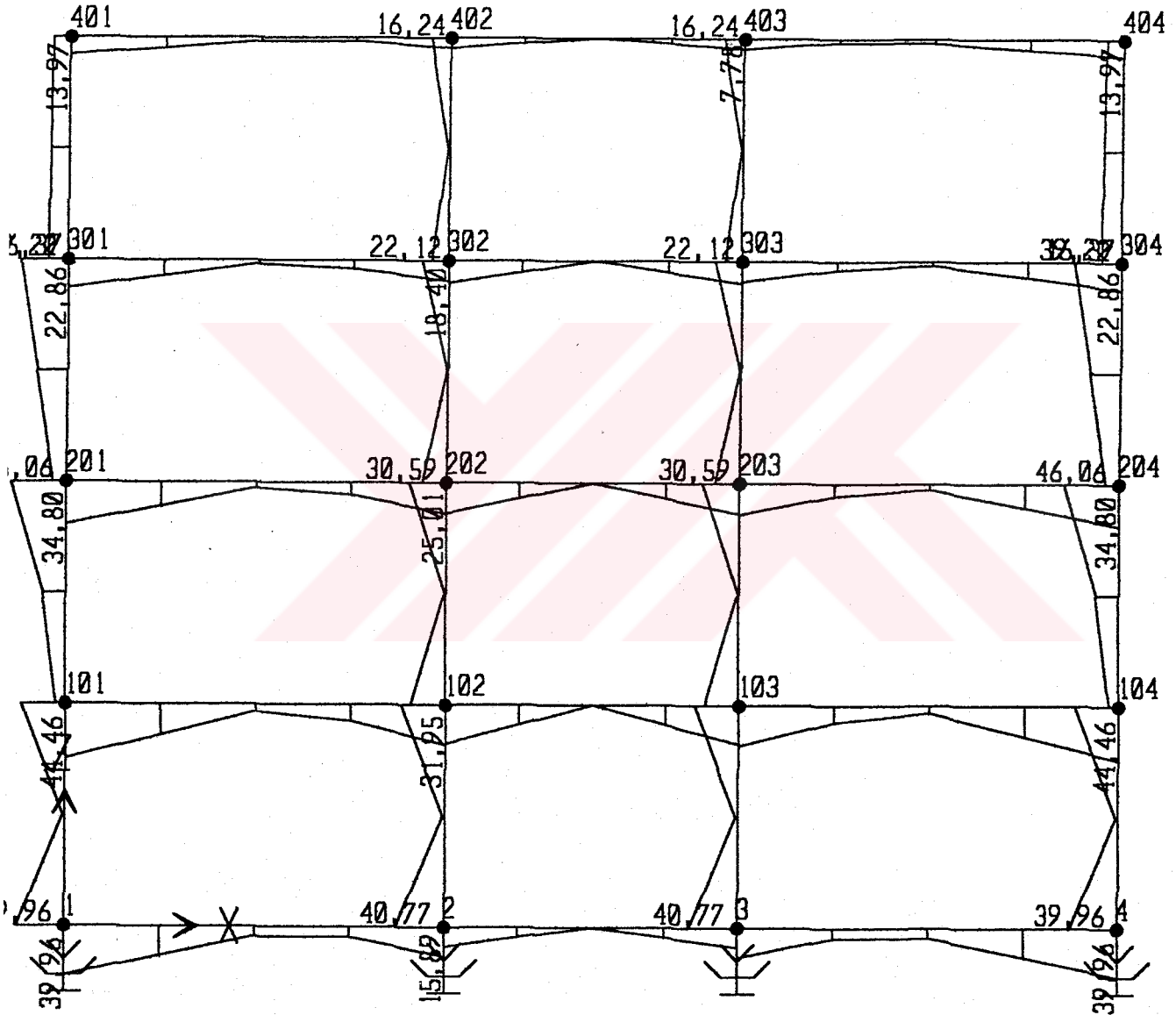
Moment Eğilme Diyagramı

(Ri=8)

SÜRTÜNMELİ SARKAÇ SİSTEMİ

A-A AKSI / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI



Şekil Ek 6.3 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

A-A Aksı - E Yükleme

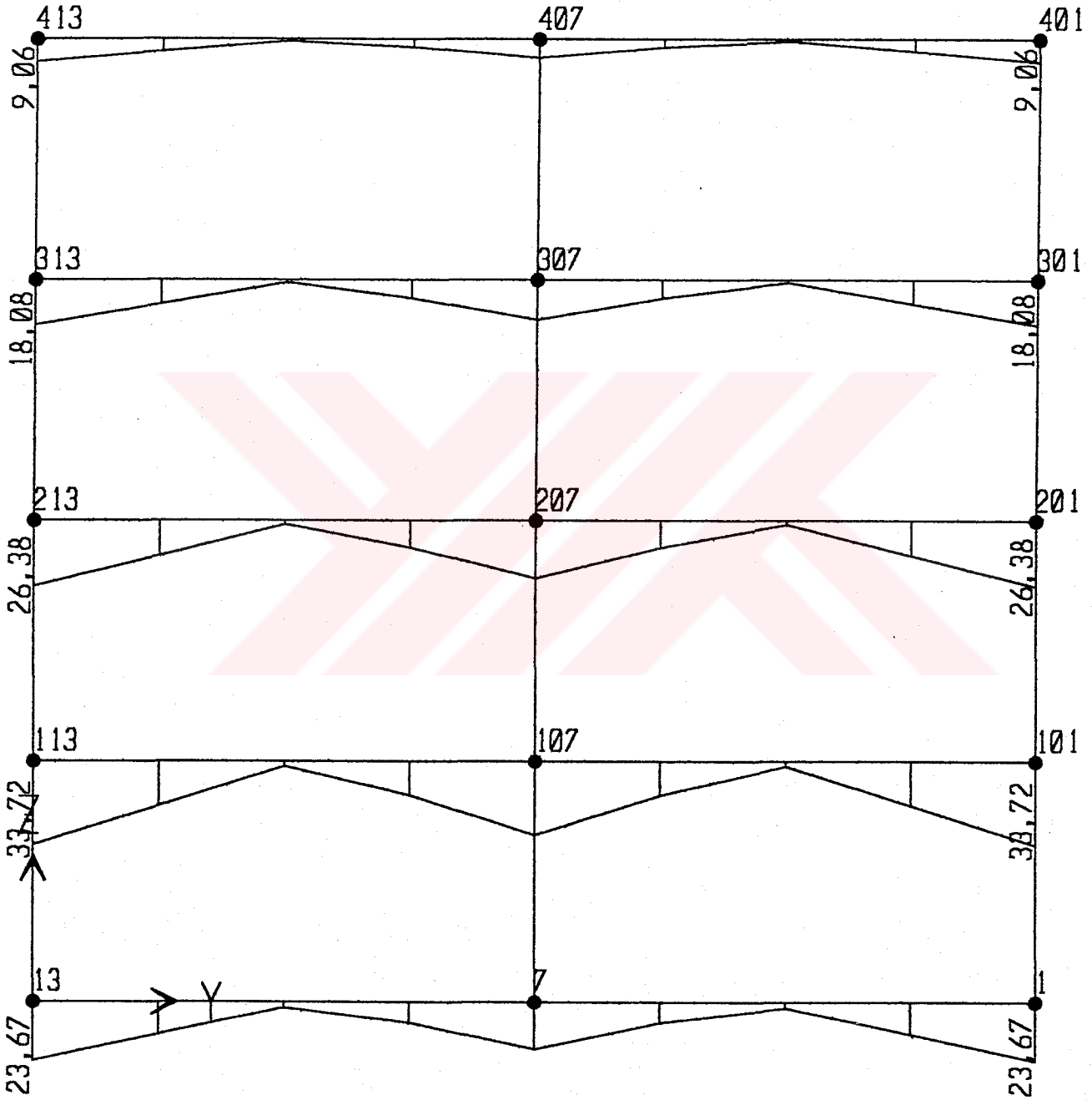
Moment Eğilme Diyagramı

(Ri=8)

DOĞAL KAUÇUK MESNETLİ SİSTEM

1-1 AKSI / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI



Şekil Ek 6.4 Doğal Kauçuk Mesnetli Sistem

1-1 Aksı - E Yükleme

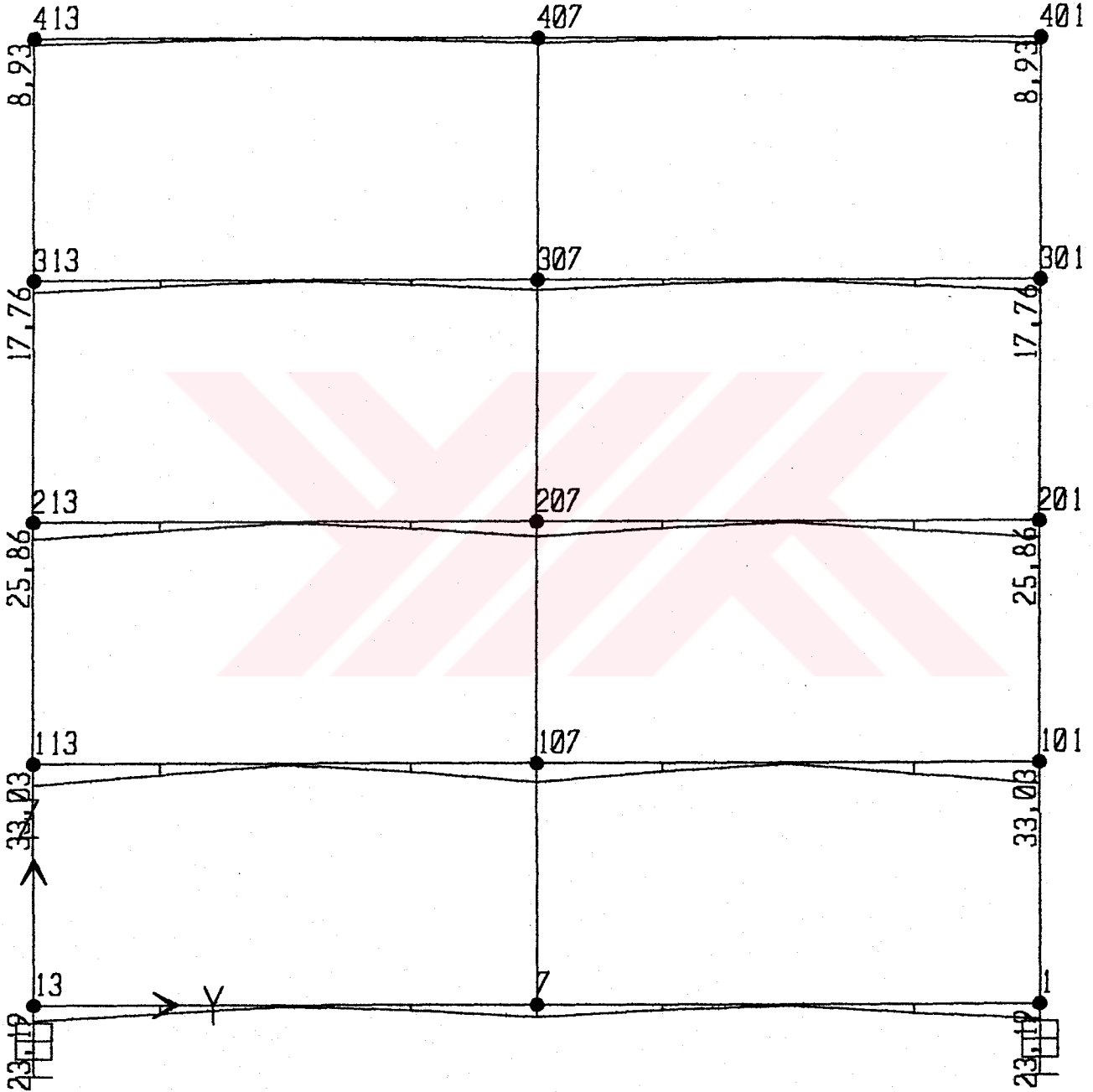
Moment Eğilme Diyagramı

(Ri=8)

KURŞUN ÇEKİRDEKLİ SİSTEM

1-1 AKSI / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI



Şekil Ek 6.5 Kurşun Çekirdekli Sistem

1-1 Aksı - E Yükleme

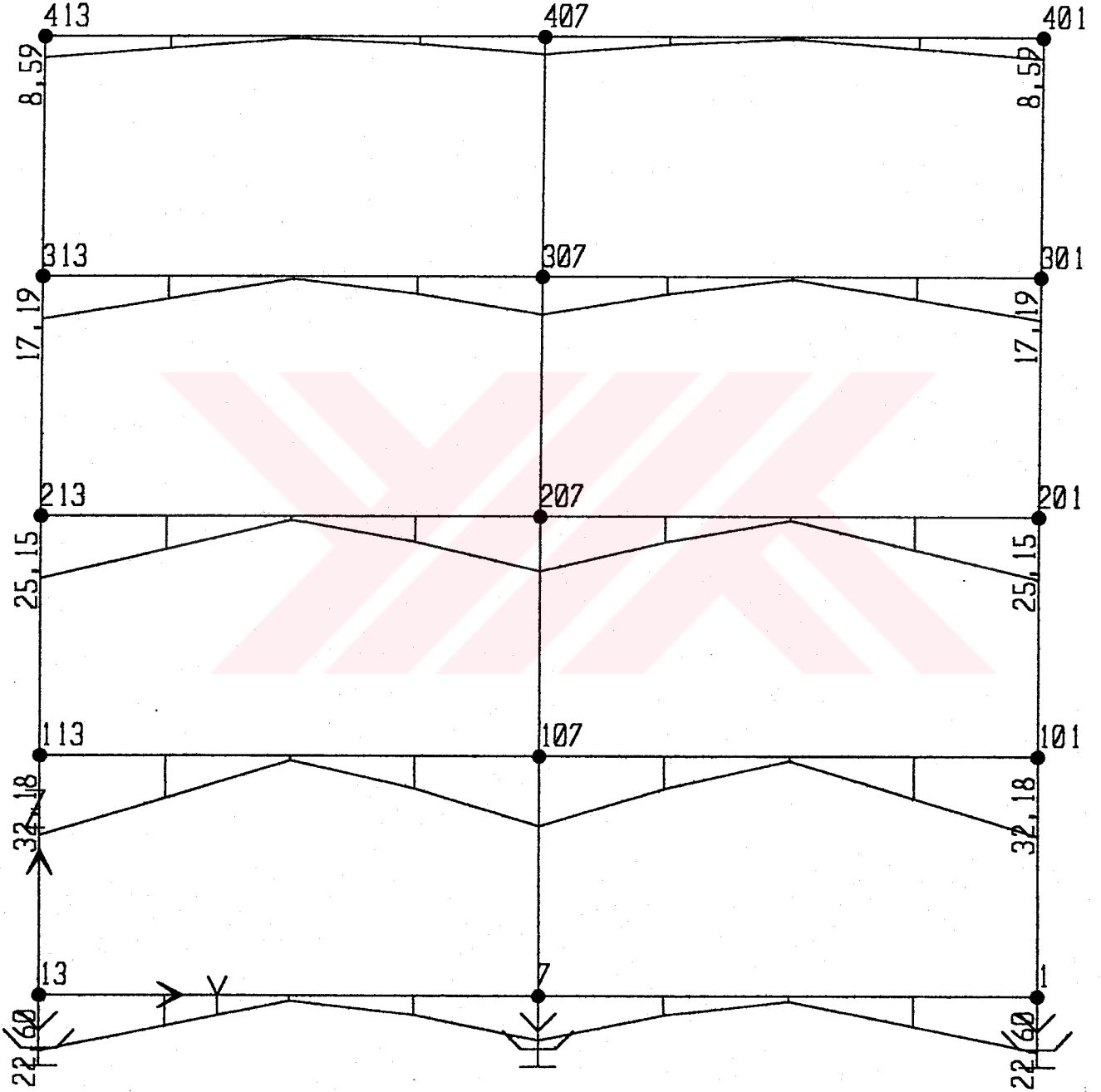
Moment Eğilme Diyagramı

(Ri=8)

SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ SİSTEMİ

1-1 AKSİ / E YÜKLEMESİ

MOMENT DİYAGRAMI



Şekil Ek 6.6 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

1-1 Aksı - E Yükleme

Moment Eğilme Diyagramı

(R_i=8)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	1978	
Doğum Yeri	Ordu	
Lise	1992 - 1995	Ordu Anadolu Lisesi
Lisans	1995 - 1999	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı Kurumlar

1999-2001 Arzık İnşaat Sanayi ve Ticaret LTD.ŞTİ-İstanbul

