

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

151659

151659

YAPI SİSTEMLERİNDE DEPREME KARŞI SİSMİK İZOLATÖR KULLANILMASI

İnşaat Müh. Bilge Kağan BAŞTUĞ

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Programında

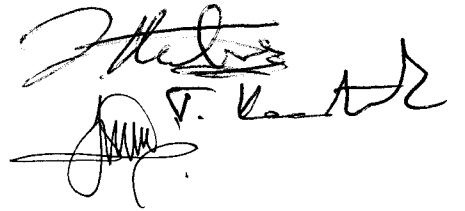
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ

Tez Jürisi : Prof. Dr. Turgut KOCATÜRK

Tez Jürisi : Doç. Dr. Ünal ALDEMİR



İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
2. İZOLASYON SİSTEMLERİ	5
2.1 Genel Bilgiler ve Tarihçe	5
2.2 İzolasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması	6
2.3 Kauçuk Esaslı Sistemler	7
2.3.1 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler	7
2.3.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler	9
2.3.3 Kurşun Saplamaalı Kauçuk Mesnetler	10
2.4 Kayıcı Sistemler	11
2.4.1 Sürtünmeli Sarkaç Mesnetler	11
2.4.2 Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu Mesnetleri	12
2.4.3 Fransız Elektrik Kurumu Sistemi	13
2.4.4 EERC Bileşik Sistemi	14
2.4.5 TASS Sistemi	15
2.5 Yay Tipi Sistemler	15
2.6 Taban İzolasyonunda Maliyet	16
3. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	18
3.1 Giriş	18
3.2 Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	18
3.3 Kauçuk Mesnetlerin Stabilitesi	22
3.4 Kurşun Saplamaalı Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	26
3.5 Sürtünmeli Sarkaç Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	28
4. TABAN İZOLASYONU İÇİN UBC YÖNETMELİĞİ	32
4.1 Giriş	32
4.2 Sismik Risk Düzeyi	32
4.3 Tasarım Metotları	32

4.4	Statik Analiz	33
4.4.1	Sismik Bölge Katsayısı.....	34
4.4.2	Zemin Tipi	34
4.4.3	Sismik Kaynak Tipi	35
4.4.4	Aktif Fay Yakınlık Faktörü	35
4.4.5	MCE Tepki Katsayısı	37
4.4.6	Spektral Sismik Katsayılar	37
4.4.7	Sönüm Katsayıları	38
4.4.8	Efektif Sistem Periyotları	39
4.4.9	Toplam Tasarım Yerdeğiştirmeleri.....	40
4.4.10	Tasarım Kuvvetleri	41
4.4.11	Yatay Kuvvetin Katlara Dağıtılması	42
4.4.12	Görelî Kat Ötelenmeleri	43
4.5	Dinamik Analiz.....	43
4.6	Yapısal Olmayan Elemanlar	44
4.7	Tasarım ve Örnek İzolatör Testleri Hakkında Bilgiler	44
5.	SAP2000 SONLU ELEMENLAR PROGRAMI ve LİNK ELEMANI ÖZELLİKLERİ.....	46
5.1	Giriş	46
5.2	Link Elemanı	46
5.2.1	Düğüm Noktası Bağlantısı.....	46
5.2.2	Serbestlik Derecesi	46
5.2.3	Lokal Eksen Takımı.....	47
5.2.3.1	Lokal 1 Eksenî	47
5.2.3.2	Lokal 2 ve 3 Eksenleri	47
5.2.4	Eleman Şekildeğiştirmeleri.....	47
5.2.5	Nlprop Özellikleri.....	49
5.2.5.1	Lineer Olmayan Yaylar	49
5.2.5.2	Yay Kuvveti-Şekildeğiştirme İlişkileri.....	50
5.2.5.3	Eleman İç Kuvvetleri.....	50
5.2.5.4	Lineer Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkileri	51
5.2.5.5	Lineer Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkileri	52
5.2.5.6	Lineer Efektif Rijitlik	52
5.2.5.7	Lineer Efektif Sönüm	53
5.2.6	Nlprop Özellikleri-Lineer Olmayan Tipler.....	53
5.2.6.1	Histeretik İzolatör Tipi	54
5.2.6.2	Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Tipi.....	55
6.	MEVCUT BİR BETONARME YAPIYA TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI	59
6.1	Yapının Tanıtılması	59
6.2	Yapının Matematik Modelinin Kurulması.....	60
6.2.1	ABYYHY 98'e Göre Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	61
6.2.2	UBC 97 Yönetmeliğine Göre Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	61
6.3	Farklı İzolasyon Mesnetleri Kullanılarak Yapılan Çözömler ve Lineer Olmayan Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Kurulması	63
6.3.1	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Uygulaması	64
6.3.1.1	DBE Tasarım Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi	64
6.3.1.2	DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması.....	65

6.3.1.3	MCE Yerdeşistirmelerinin Hesaplanması	66
6.3.1.4	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Boyutlanması	67
6.3.1.5	Kuvvet-Yerdeşistirme Eğrilerinin Kurulması	69
6.3.1.6	Burkulma Riskinin Araştırılması	72
6.3.1.7	DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması	73
6.3.2	Kurşun Saplmalı Kauçuk Mesnet Uygulaması	74
6.3.2.1	DBE Tasarım Yerdeşistirmesinin Belirlenmesi	74
6.3.2.2	DBE Toplam Tasarım Yerdeşistirmesinin Hesaplanması	76
6.3.2.3	MCE Yerdeşistirmelerinin Hesaplanması	78
6.3.2.4	Kurşun Saplmalı Kauçuk Mesnetin Boyutlanması	79
6.3.2.5	Kuvvet-Yerdeşistirme Eğrilerinin Kurulması	81
6.3.2.6	Burkulma Riskinin Araştırılması	83
6.3.2.7	DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması	84
6.3.3	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Uygulaması	85
6.3.3.1	DBE Tasarım Yerdeşistirmesinin Belirlenmesi	85
6.3.3.2	DBE Toplam Tasarım Yerdeşistirmesinin Hesaplanması	86
6.3.3.3	MCE Yerdeşistirmelerinin Hesaplanması	86
6.3.3.4	Kuvvet-Yerdeşistirme Eğrilerinin Kurulması	86
6.3.3.5	DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması	90
6.3.4	Statik Analiz Sonuçları	90
6.4	Dinamik Analiz	94
7.	TABAN İZOLASYONU İÇİN GELİşTİRİLEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI	99
7.1	Programın Tanıtılması	100
8.	SONUÇLAR	106
	KAYNAKLAR	108
	EKLER	110
	Ek 1 Uygulamada gözönüne alınan yapının normal kat kalıp planı	111
	Ek 2 Uygulamada gözönüne alınan yapının analiz sonuçları	113
	Ek 3 Taban izolasyonu için geliştirilen bilgisayar programının kaynak kodu	156
	ÖZGEÇMİş	177

SİMGE LİSTESİ

γ	Yatay yük sebebiyle kayma şekildeğiştirmesi
γ_b	Eğilme sebebiyle kayma şekildeğiştirmesi
γ_b^{ort}	Eğilme sebebiyle oluşan ortalama kayma şekildeğiştirmesi
γ_c	Düşey yük sebebiyle kayma şekildeğiştirmesi
γ_{ort}	Basınçta ortalama kayma şekildeğiştirmesi
Δ	Düşey yerdeğiştirme
ε_b	Eğilmeden oluşan şekildeğiştirme
ε_c	Eksenel şekildeğiştirme
β_D	DBE sönümü
β_{ef}	Efektif sönüm
β_M	MCE sönümü
Φ	İzolatör çapı
λ	Merkezi boşluklar içeren mesnetlerde basınç modülü çarpanı
α	İzolatörün üst ve alt çelik plakaları arası görelî açı
ρ	Eğrilik yarıçapı
ω	Doğal frekans
ω_H	Yatay frekans
μ	Sürtünme katsayısı veya kuvvet oranı
δ_r	İzolatörün devrilme ötelenmesi
δ_v	İzolatörün düşey yerdeğiştirmesi
a	Kauçuk katmanı genişliğı
A	İzolasyon mesnetinin kesit alanı
A_r	İzolatörün şekildeğiştirmiş durumunda hesaplanan kesişim alanı
A_s	Efektif kayma alanı
B	Kare mesnetin bir kenar boyutu veya sönüm katsayısı
B_D	DBE sönüm katsayısı
B_M	MCE sönüm katsayısı
C_{AD}	Spektral sismik katsayı
C_{AM}	Spektral sismik katsayı
C_{VD}	Spektral sismik katsayı
C_{VM}	Spektral sismik katsayı
D	Yerdeğiştirme
D_D	DBE tasarım yerdeğiştirmesi
D_M	MCE tasarım yerdeğiştirmesi
D_T	Toplam tasarım yerdeğiştirmesi
D_{TD}	DBE toplam tasarım yerdeğiştirmesi
D_{TM}	MCE toplam tasarım yerdeğiştirmesi
D_y	Akma yerdeğiştirmesi
E_c	Kauçuk çelik kompozit birleşimin basınç modülü
EI_{ef}	Efektif eğilme rijitliğı
EI_s	Eğilme rijitliğı
F	Harekete tepki kuvveti,
f_v	Düşey frekans
f_H	Yatay frekans
F_1	Ağırlıkça desteklenen geriçatırım kuvveti,
F_s	Sürtünme kuvveti
F_y	Akma kuvveti
g	Yerçekimi ivmesi
G	Kauçuğun kayma modülü

h	İzolatör yüksekliği
I	Atalet momenti veya yapı önem katsayısı
K	Malzemenin hacimsel elastisite modülü
K_0	İzolasyon sisteminin burulma rijitliği
K_1	Elastik rijitlik veya izolatörün akma öncesi rijitliği
K_2	Plastik rijitlik veya izolatörün akma sonrası rijitliği
K_{ef}	Efektif rijitlik
K_{Dmin}	Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki K_{Def} 'in en küçük değeri
K_{Dmax}	Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki K_{Def} 'in en büyük değeri
K_{Mmin}	Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki K_{Mef} 'in en küçük değeri
K_{Mmax}	Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki K_{Mef} 'in en büyük değeri
K_H	İzolasyon mesnetinin yatay rijitliği
K_v	İzolasyon mesnetinin düşey rijitliği
L	İzolatörün plandaki en kısa boyutu
M	Eğilme momenti
M_M	MCE tepki katsayısı
N_a	Aktif fay yakınlık faktörü
N_v	Aktif fay yakınlık faktörü
p_{kr}	Kritik basınç gerilmesi
P	Düşey yük
P_e	Euler burkulma yükü
P_{kr}	Kritik burkulma yükü
P_s	Kayma rijitliği
Q	Karakteristik kuvvet
r	Atalet yarıçapı
R	İzolatör yarıçapı veya taşıyıcı sistem süneklik katsayısı
R_0	Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı
R_I	Tasarım kuvveti azaltma katsayısı veya üstyapı süneklik katsayısı
S	Şekil faktörü
S_A	Spektral ivme
S_D	Spektral yerdeğiştirme
S_v	Spektral hız
SF	Burkulmaya karşı güvenlik oranı
t	Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı
t_r	Mesnetteki kauçuk tabakası toplam kalınlığı
T	Doğal periyot
T_0	Spektrum karakteristik periyodu
T_D	DBE efektif sistem periyodu
T_M	MCE efektif sistem periyodu
T_S	Spektrum karakteristik periyodu
V_b	İzolasyon seviyesi altında kalan elemanlar için tasarım kuvveti
V_s	Üstyapı için tasarım kuvveti
W	Yapı ağırlığı veya düşey yük
W_D	Bir çevrimde sönmölen enerji miktarı
Z	Sismik bölge katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ATC	Applied Technology Council
CSI	Computers & Structures Inc.
DBE	Design Basis Earthquake
EERC	Earthquake Engineering Research Center
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FNA	Fast Nonlinear Analysis
FPS	Friction Pendulum System
HDRB	High Damping Rubber Bearing
ICC	International Code Council
LDRB	Low Damping Rubber Bearing
LPB	Lead Plug Bearing
MCE	Maximum Capable Earhquake
OSHPD	California Office of Statewide Health Planning and Development
TS500	Türk Standardı 500
UBC	Uniform Building Code



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Ankastre mesnetli yapılarda taban kesme kuvveti periyot ilişkisi (Naeim, 2001)... 1
Şekil 1.2	Ankastre mesnetli yapılarda yerdeğiştirme-periyot ilişkisi (Naeim, 2001) 2
Şekil 1.3	Artan sönüm için yerdeğiştirme ve kuvvet spektrumları (Naeim, 2001) 2
Şekil 1.4	Ankastre mesnetli ve taban izolasyonu uygulanmış yapı davranışı (Naeim, 2001). 3
Şekil 2.1	Düşük sönümlü kauçuk mesnetin kesit ve elemanları..... 8
Şekil 2.2	Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı..... 9
Şekil 2.3	Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı..... 10
Şekil 2.4	Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları..... 10
Şekil 2.5	Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı..... 11
Şekil 2.6	Sürtünmeli sarkaç mesnetin kesit ve elemanları 12
Şekil 2.7	Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesneti kesit ve elemanları 13
Şekil 2.8	Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı..... 13
Şekil 2.9	Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı..... 14
Şekil 2.10	Gerb yay tipi sistemler (GERB, 2000) 15
Şekil 2.11	Viskoz sönümleyicinin bileşenleri (GERB, 2000)..... 16
Şekil 3.1	İzolatörde yatay yük altında kayma şekildeğiştirmesi 18
Şekil 3.2	Şekil faktörü tanımı 19
Şekil 3.3	Salt eğilme momenti etkisinde izolatör davranışı 21
Şekil 3.4	İzolatörün burkulması 23
Şekil 3.5	Kesişim alanı 25
Şekil 3.6	İzolatörün dönerek mesnetten çıkma davranışı 26
Şekil 3.7	Kurşun saplamalı mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 27
Şekil 3.8	Sürtünmeli sarkaç mesnete etkiyen kuvvetler 29
Şekil 3.9	Sürtünmeli sarkaç mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 30
Şekil 4.1	UBC 97 spektrum eğrisi (UBC 97) 36
Şekil 4.2	Burulma etkisinin planda gösterilmesi 40
Şekil 5.1	Eksenel, kayma ve eğilme şekildeğiştirmeleri 48
Şekil 5.2	Link elemanında yay idealizasyonu 49
Şekil 5.3	Link elemanında iç kuvvetler 51
Şekil 5.4	Eğilme mafsalsının elemanda farklı yerlerde olması halleri ve mafsalsız durum ... 52
Şekil 5.5	Histeretik izolatör için çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu 55
Şekil 5.6	Sürtünmeli sarkaç izolatör tipi için çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu ... 56
Şekil 6.1	Mevcut yapı normal kat planı..... 59
Şekil 6.2	Tasarlanan yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kesit ve elemanları 69
Şekil 6.3	A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 70
Şekil 6.4	B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi..... 72
Şekil 6.5	Tasarlanan A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları..... 81
Şekil 6.6	Tasarlanan B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları 81
Şekil 6.7	A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 82
Şekil 6.8	B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi..... 83
Şekil 6.9	A1 aksı için sürtünmeli sarkaç mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi..... 89
Şekil 6.10	1999 Düzce depreminin doğu-batı ivme bileşeni..... 95
Şekil 7.1	UBASE programı 100
Şekil 7.2	Kauçuğun mekanik özelliklerinin programa girilmesi 101
Şekil 7.3	Yüksek sönümlü kauçuk mesnet için arayüz 102
Şekil 7.4	Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi için arayüz 103
Şekil 7.5	Yüksek sönümlü kauçuk mesnet için SAP2000 giriş bilgileri 103
Şekil 7.6	Kurşun saplamalı kauçuk mesnet için arayüz 104

Şekil 7.7 Sürtünmeli sarkaç mesnet için arayüz 105



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Teflon malzemesi için tavsiye edilen sürtünme kuvveti değerleri	29
Çizelge 4.1 Sismik bölge katsayısı (UBC 97)	34
Çizelge 4.2 Zemin tipi (UBC 97)	35
Çizelge 4.3 Sismik kaynak tipi (UBC 97)	35
Çizelge 4.4 Aktif fay yakınlık faktörü (N_a) (UBC 97)	36
Çizelge 4.5 Aktif fay yakınlık faktörü (N_v) (UBC 97)	36
Çizelge 4.6 MCE tepki katsayısı (UBC 97)	37
Çizelge 4.7 Spektral sismik katsayı (C_{VD}) (UBC 97)	37
Çizelge 4.8 Spektral sismik katsayı (C_{AD}) (UBC 97)	38
Çizelge 4.9 Spektral sismik katsayı (C_{AM}) (UBC 97)	38
Çizelge 4.10 Spektral sismik katsayı (C_{VM}) (UBC 97)	38
Çizelge 4.10 Sönüm katsayıları (UBC 97)	39
Çizelge 4.11 Karşılaştırmalı süneklik katsayıları (UBC 97)	42
Çizelge 4.12 Farklı analiz tipleri için yönetmelik hükümleri	44
Çizelge 6.1 Düşey yük analizleri	60
Çizelge 6.2 Kat ağırlıklarının bulunması	60
Çizelge 6.3 Taban kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan büyüklükler	61
Çizelge 6.4 Ankastre mesnetli durumda kat kuvvetleri	62
Çizelge 6.5 İzolasyonlu durumda kat ağırlıklarının bulunması	63
Çizelge 6.6 İzolasyon mesneti eksenel basınç değerleri	63
Çizelge 6.7 Elastomer esaslı mesnetlerde kullanılan kauçuğun özellikleri	64
Çizelge 6.8 A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri	71
Çizelge 6.9 B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri	72
Çizelge 6.10 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet uygulaması için kat kuvvetleri	74
Çizelge 6.11 A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri	82
Çizelge 6.12 B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri	83
Çizelge 6.13 Kurşun saplamalı kauçuk mesnet uygulaması için kat kuvvetleri	84
Çizelge 6.14 Sürtünmeli sarkaç mesnetin düşey rijitlikleri	87
Çizelge 6.15 Sürtünmeli sarkaç mesnetin efektif rijitlikleri	87
Çizelge 6.16 Sürtünmeli sarkaç mesnetin akma sonrası rijitlikleri	88
Çizelge 6.17 Sürtünmeli sarkaç mesnetin karakteristik kuvvet değerleri	88
Çizelge 6.18 Sürtünmeli sarkaç mesnet akma kuvveti değerleri	88
Çizelge 6.19 Sürtünmeli sarkaç mesnet akma öncesi rijitlikleri	89
Çizelge 6.20 A1 aksı sürtünmeli sarkaç mesnetin SAP2000 giriş bilgileri	89
Çizelge 6.21 Sürtünmeli sarkaç mesnet uygulaması için kat kuvvetleri	90
Çizelge 6.22 İzole edilmiş yapı periyotları	91
Çizelge 6.23 Taban kesme kuvvetleri	91
Çizelge 6.24 Kat kütle merkezi yerdeğiştirmeleri	91
Çizelge 6.25 Kat kütle merkezi görelı kat ötelenmeleri	92
Çizelge 6.26 A1 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)	92
Çizelge 6.27 B2 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)	93
Çizelge 6.28 A1 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)	93
Çizelge 6.29 B2 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)	94
Çizelge 6.30 En büyük taban kesme kuvveti	95
Çizelge 6.31 En büyük kat kütle merkezi yerdeğiştirmeleri	95
Çizelge 6.32 Kat kütle merkezinde görelı kat ötelenmeleri	96
Çizelge 6.33 A1 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)	96
Çizelge 6.34 B2 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)	97

Çizelge 6.35 A1 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1) 97

Çizelge 6.36 B2 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1) 98

Çizelge 6.37 X doğrultusunda meydana gelen en büyük kat ivmeleri 98

Çizelge 6.38 Y doğrultusunda meydana gelen en büyük kat ivmeleri 98



ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Zafer Kütüğ ve Sayın Hocam Prof. Sinan Çağdaş'a, verdikleri eğitimle yüksek lisans tezimi tamamlamamda büyük katkısı olan Mekanik Anabilim Dalı öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın amacı sismik izolatörlerin, bu izolatörlerin mekanik özelliklerinin ve bilgisayar programlarında kullanımlarının araştırılması, ankastre mesnetli olarak gözönüne alınan mevcut bir yapı ile taban izolasyonu uygulanmış aynı yapının karşılaştırılmasıdır. Giriş ve sonuçlar kısımlarının da dahil olduğu sekiz bölümden oluşan bu çalışmanın ikinci bölümünde, günümüzde yapı sistemlerinde depreme karşı kullanılan sismik izolatörler sınıflandırılmış ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, sırasıyla, kauçuk esaslı mesnetler, kurşun saplamalı kauçuk mesnetler ve sürtünmeli sarkaç sistemlerin mekanik özellikleri ve bu mesnetlerin davranışlarının tanımlanabilmesi için gereken bilgiler verilmiştir. Bina tipi sistemlerin çözülmesinde yaygın olarak kullanılan UBC yönetmeliği incelenmiş, dördüncü bölümde bu yönetmeliğin taban izolasyonu hükümleri verilmiştir. Mevcut bir yapının farklı izolasyon mesnetleri ile bilgisayar ortamında çözülmesi için, bu çözümlemeyi yapabilen az sayıdaki bilgisayar programından biri olan SAP2000 programı seçilmiş ve bu programın yaptığı kabuller ve özellikleri beşinci bölümde verilmiştir. Altıncı bölümde mevcut betonarme bir yapıya sırasıyla kauçuk mesnet, kurşun saplamalı kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç mesnet uygulanarak hesaplamalar adım adım sunulmuştur. Bu bölümde icra edilen statik analiz ve zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerin sonuçları karşı gelen ankastre mesnetli durumla kıyaslamalı olarak verilmiştir. Uygulamalardan elde edilen sonuçlar yapı sistemlerinde taban izolasyonu uygulamalarının depreme karşı yapı tasarımında geçerli bir metot olduğunu göstermiştir. Yedinci bölümde uygulamada kullanılan 3 farklı mesnet tipi için UBC yönetmeliğinde öngörülen hükümler Visual Basic programlama dili ile programlanmış, önemli görülen kaynak kodları Ek 3’de sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Taban izolasyonu, titreşim, deprem, kauçuk mesnetler, sürtünmeli sarkaç sistemler, UBC, SAP2000.

ABSTRACT

The aim of this Master of Science thesis is to study seismic isolators, their mechanical characteristics and their usage in computer software as well as comparison of an existing fixed-base structure with the same structure which is base isolated. In the second chapter of this study which consists of eight chapters including the introduction and the conclusion chapters, seismic isolators used against earthquake are classified and information about their characteristics are given. In the third chapter, mechanical characteristics of rubber bearings, lead-plug bearings and friction pendulum systems and information necessary to define the behaviour of these bearings are given respectively. The UBC regulations are examined and in the fourth chapter, the base isolation terms of this regulations are given. To analyse an existing structure with different isolation bearing systems in a computerized media, SAP2000, one of a few software available that can make this analysis has been chosen and the acceptances and its properties are given in chapter five. In chapter six, calculations of an existing reinforced concrete structure on which high damping rubber bearing, lead-plug bearing and friction pendulum bearing applied are given step by step. Results achieved from static and nonlinear time history analysis that compared with the fixed base structure case denoted that base isolation application in structural systems is a valid method in building design against earthquake. In chapter seven, with the terms given by UBC regulations, for 3 different bearing types used in this study programmed in Visual Basic programming language, source codes that deemed important are presented in Appendix 3.

Keywords: Base isolation, vibration, earthquake, rubber bearings, friction pendulum systems, UBC, SAP2000.

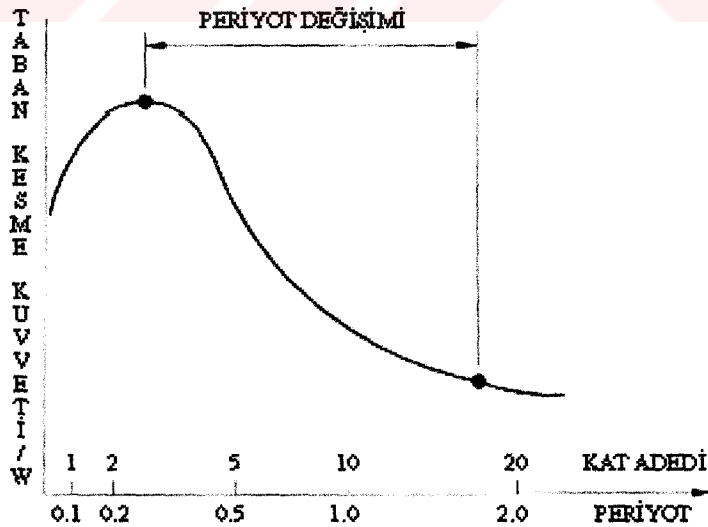
1. GİRİŞ

Ülkemizin %92 sinin deprem kuşağında olması, yapı ve yapı sistemlerinin tasarım ve projelendirilmesindeki unsurları önemli kılmaktadır. Üstyapı ve temelin kayıcı ve esnek izolasyon sistemleriyle birbirbirinden ayrılması yöntemi günden güne önem kazanmaktadır. Dolayısıyla taşıyıcı sisteme olduğu kadar yapı içerisinde can ve mal kaybına da sebebiyet veren şiddetli deprem etkilerinin, yapıya yerleştirilen izolasyon sistemleri ile azaltılması araştırmacılara çekici gelmekte ve günden güne yeni sistemler üzerinde çalışılmaktadır.

Depreme dayanıklı bir yapıdan değişik şiddetlerdeki depremlerde beklenen davranış aşağıdaki gibidir (Bayülke, 2002).

- Yapının faydalı ömrü içinde çok sayıda olması beklenen hafif şiddetli depremlerde, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda, yapı içindeki ekipmanda hiç hasar olmamalıdır.
- Yapının faydalı ömrü içinde birden çok sayıda olması beklenen orta şiddetli depremlerde mimari elemanlarda ve az da olsa taşıyıcı sistem hasarı başlangıcı olabilir.
- Yapının faydalı ömrü içinde olması beklenen en şiddetli depremde yapı yıkılmamalı ve can kaybı olmamalıdır.

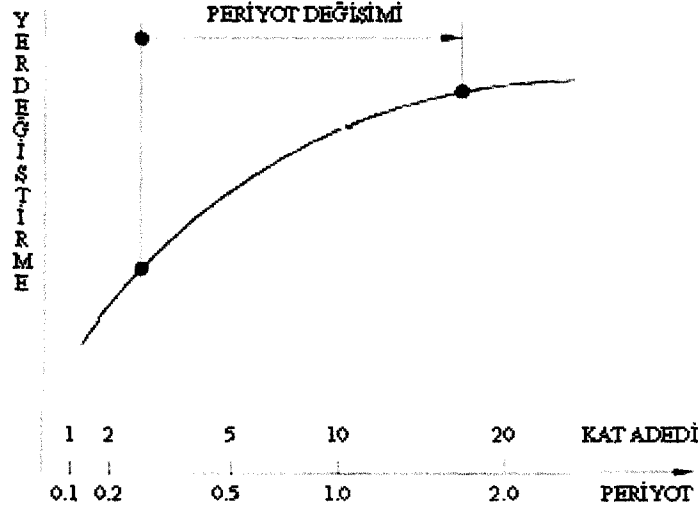
Taban izolasyonu uygulanmış bir yapıda ise hafif ve orta şiddetli depremlerde yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında hiçbir hasar olmaması yanında en şiddetli depremlerde yapının kullanımında herhangi bir aksama meydana gelmemesi beklenmektedir.



Şekil 1.1 Ankastre mesnetli yapılarda taban kesme kuvveti periyot ilişkisi (Naeim, 2001)

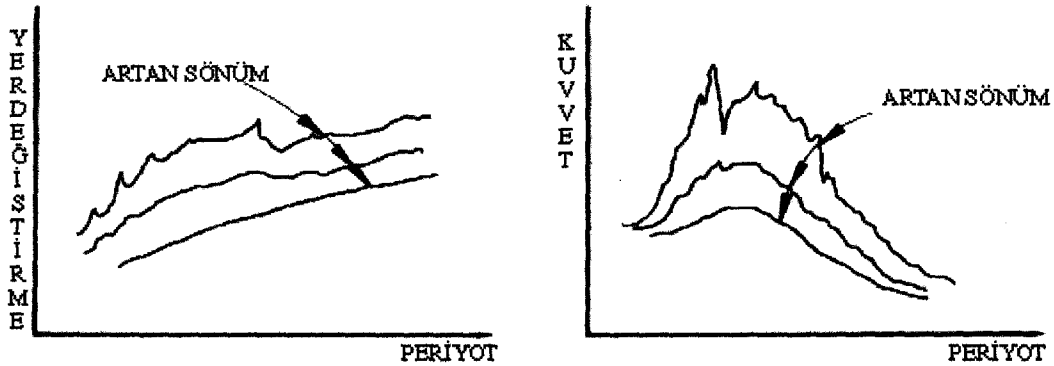
Şekil 1.1 den görüldüğü üzere ankastre mesnetli yapılarda kat adedi arttıkça yapı periyodu artmakta ve yapı ağırlığı cinsinden taban kesme kuvveti azalmaktadır. Yapının periyodu iki

saniye civarına kadar uzatılırsa deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma meydana gelmektedir (Naeim, 2001).



Şekil 1.2 Ankastre mesnetli yapılarda yerdeğiştirme-periyot ilişkisi (Naeim, 2001)

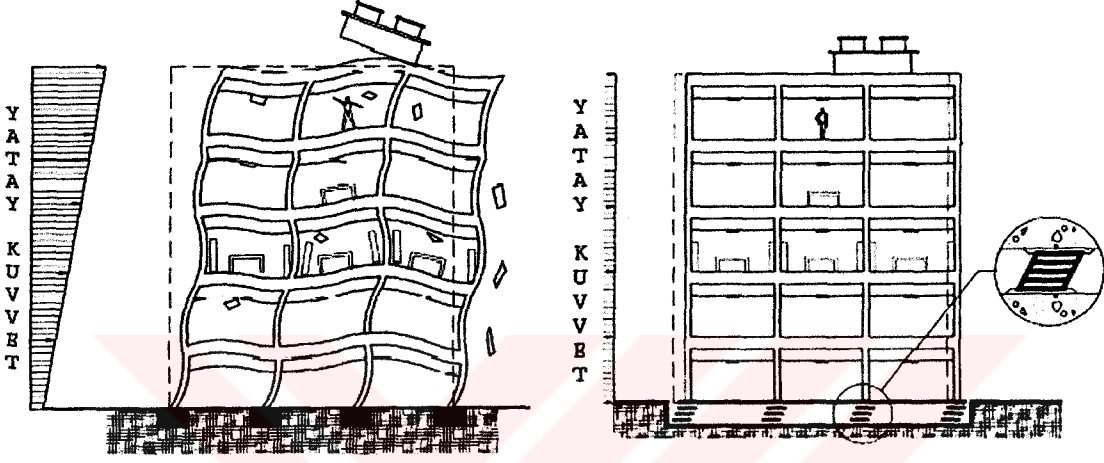
Yukarıdaki şekilde ankastre mesnetli yapılar için yerdeğiştirme-periyot ilişkisi görülmektedir. Yapının periyodu arttırıldığında yapıda daha yüksek yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir. Katlar arası göreceli yerdeğiştirme sınır değerleri aştığında taşıyıcı sistem hasarı meydana gelebilir. Ayrıca yapı içerisindeki eşyalar aşırı yerdeğiştirmeler sonucu devrilerek can ve mal kaybına da sebebiyet verebilir. Büyük kat ötelenmeleri daha rijit sistemler oluşturularak azaltılabilir ancak bu da daha fazla kat kuvveti anlamına gelir. Yüksek kat kuvvetleri de ancak daha esnek sistemler oluşturularak azaltılabilir ancak bu da kat ötelenmelerini arttırıcı bir unsurdur (Çağlar, 2002).



Şekil 1.3 Artan sönüm için yerdeğiştirme ve kuvvet spektrumları (Naeim, 2001)

Kat kuvvetleri ve yapıdaki yerdeğiştirmeleri kontrol etmek açısından bir başka düşünce de

yapıya ekstra sönüm sağlamak olabilir. Şekil 1.3’de artan sönüm değerleri için kuvvet ve yerdeğiştirme spektrumları görülmektedir. Sönüm arttıkça periyota bağlı olarak yapıya etkiyen kuvvetler ve kuvvet-periyot eğrisinin hassasiyeti azalmaktadır. Ayrıca yapıdaki yerdeğiştirmeler de kontrol edilebilir seviyelere inmektedir. Ancak yapı sönümü henüz tam olarak formüle edilememiştir ve ankastre mesnetli yapıların çözümlenmesinde yönetmeliklerde %5 olarak varsayılmaktadır. Sonuç olarak yapıda ekstra sönüm elemanları kullanmadan yapının sönümünü arttırmak mümkün görülmemektedir (Naeim, 2001).



Şekil 1.4 Ankastre mesnetli ve taban izolasyonu uygulanmış yapı davranışı (Naeim, 2001)

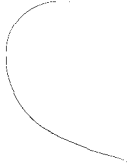
Şekil 1.4’de ankastre mesnetli bir yapı ile taban izolasyonu uygulanmış yapının deprem esnasındaki davranışı görülmektedir. Ankastre mesnetli taşıyıcı sistem yatay deprem yükünü binaya üst katlara doğru lineer artan şekilde uygulamakta ve dolayısıyla yüksek kat kuvvetleri ve büyük kat ötelenmeleri meydana gelmektedir (Naeim, 2001).

Taban izolasyonu uygulanmış bir yapıda ise önemli yerdeğiştirmeler izolasyon katı seviyesinde oluşmakta ve üstyapı neredeyse rijit ötelenme hareketi yapmaktadır. Kat kuvvetlerinin azalması sonucu yapıdaki yerdeğiştirmelerin istenen sınırlar içerisinde kalması sağlanmaktadır. Böylece taşıyıcı sistem ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar önlenerek yapı güvenliği artırılmış olur.

Kısa ve orta yükseklikli, kısa periyotlu yapılarda uygun olan bu yöntem uzun periyotlu yapılarda uygun değildir. Yumuşak zemin üzerine oturan yapılarda taban izolasyonu uygulanması deprem kuvvetlerini azaltacağına aksine arttırıcı bir unsur olabilir. Taban izolasyonu mevcut yapılardaki klasik güçlendirme yöntemlerine alternatif oluşturmaktadır.

Bu tez kapsamında günümüzde yaygın olarak kullanılan taban izolatörleri hakkında araştırma

yapılmış, bu mesnetlerin mekanik özellikleri, bilgisayar kullanılarak modellenmesi ve bina tipi yapılar için yaygın olarak kullanılan UBC yönetmeliği taban izolasyonu hükümleri incelenmiştir. İzolatörlerin bilgisayar ortamında modellenmesinde kullanılan programlardan biri olan SAP2000 ile 3 boyutlu bir yapının farklı izolasyon mesnetleri için matematik modeli kurulmuştur. İcra edilen lineer statik ve zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerin sonuçları karşı gelen ankastre mesnetli durum ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca UBC yönetmeliği kapsamında farklı taban izolasyonu mesnetleri için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisini ve SAP2000 link elemanı giriş bilgilerini üreten bir bilgisayar programı yazılarak önemli görülen program kodları Ek 3’de sunulmuştur.



2. İZOLASYON SİSTEMLERİ

2.1 Genel Bilgiler ve Tarihçe

İlk olarak 1909 yılında İngiltere'nin Scarborough şehrinde tıp doktoru olan Dr. J. A. Calantarients tarafından kayıcı bir sistem önerilmiştir. Bu yönetime göre, izolasyon malzemesi olarak kum, mika ve pudra kullanılarak yapı ile temel birbirinden ayrılmış, yapının yatay yükler altında kayma hareketi yapacağı ve üstyapıya aktarılan kuvvetlerin azalacağı öngörülmüştür. O yıllarda bu yöntemin patenti alınmış ve boru hatlarına uygulanmıştır.

1908 yılında İtalya'da 160000 kişinin ölümüne sebep olan büyük Messimo-Reggio depremi sonrasında İtalya hükümeti tarafından atanan komisyon depreme dayanıklı yapı tasarımı için iki adet yaklaşım geliştirmiştir (Naeim ve Kelly, 1999).

- Binanın temelde kum tabakası ile zeminden ayrılması veya kolonların altına binanın yatayda hareket etmesine izin veren bilya rulman yatakların kullanılması
- Yapı yüksekliği sınırlamaları ve yatay kuvvet altında ankastre mesnetli tasarım

Bu tarihlerde ikinci yaklaşım kabul edilmiş ve kayıcı izolasyon sistemleri kullanılmamıştır.

Frank Lloyd Wright, 1921 yılında Tokyo'daki Imperial Hotel'in temellerinde taban izolasyonu fikrini ilk uygulayan kişi olmuştur (Jangid, 1995). Wright, birbirine yakın aralıklarla yerleştirilen kazıklarla yumuşak ve çamurlu bir zemin tabakasını daha aşağıda bulunan oldukça iyi durumdaki bir zemin tabakası ile birleştirmiştir. Imperial Hotel, 1923 yılındaki Tokyo depreminde ayakta kalabilen ender birkaç yapıdan biri olmuştur (Dumanoglu ve Ateş, 1999).

Hindistandaki 1930 Dubai ve 1934 Bihar depremlerinde temeli üzerinde kayabilen küçük yığma yapıların depremi atlatabildiği ancak ankastre mesnetli davranan yığma yapıların yıkıldığı görülmüştür. Bu gözlemlere dayanarak Arya (Arya, 1984) tarafından yığma yapılar için kayıcı bir sistem önerilmiştir. Sarsıntı tablası kullanılarak yapılan deneyler bu yaklaşımın geçerliliğini göstermiştir.

Depreme karşı güvenliğin artırılmasındaki ilk yaklaşımlardan biri olarak binaların birinci katının esnek yapılması fikri ileri sürülmüştür. Bu yaklaşım ilk olarak 1929 yılında Martel (Jangid, 1995) tarafından önerilmiştir. Bu konuda daha sonra 1935 yılında Green (Jangid, 1995) ve 1938 yılında Jacobsen (Jangid, 1995) tarafından çalışılmıştır. Fintel ve Khan (Jangid, 1995) ise deprem hareketinde oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonları akma dayanımının yüksek olması gerektiğini önermiştir. Bu konudaki ilk

bilgisayar programı Chopra (Chopra vd., 1973) tarafından yazılmıştır (Dumanoğlu ve Ateş, 1999).

Binalarda birinci katın esnek yapılmasının zor olması sebebiyle çeşitli izolasyon mesnet mekanizmaları önerilmiştir. Bu mekanizmaların bazıları patentlenip test edilmiş ancak deprem hareketinin yapıya herhangi bir doğrultuda gelebileceği gerçeği bunların yaygınlaşmasını engellemiştir. Bunun sonucu olarak her doğrultuda harekete izin veren küresel mesnetlerin veya iki doğrultuda hareket edebilen mesnetlerin kullanılması fikri ağırlık kazanmıştır.

Çindeki 1976 Tangshan depreminde, duvar altlarında yaklaşık 6 cm kaymaya izin veren yığma yapıların depremi atlattığı görülmüştür. Daha fazla teorik analiz sonrasında 1/8 ölçeğinde sarsıntı tablası testi ve 1/1 ölçeğindeki bir binada patlama testi yapılmıştır. Bu yaklaşımla bir dizi küçük bina inşa edilmiştir. Bunların en büyüğü Beijing’te inşa edilen 4 katlı öğrenci yurdu binasıdır. Bu binada temel üzerinde ve zemin kat duvar altlarında paledyen plakalar arasına yerleştirilen özel kum katmanı kayma yüzeyini oluşturmaktadır.

Modern anlamda taban izolasyonuna sahip yapılar, yapının temeli ve tabanı arasına yerleştirilen yatay yönde esnek ve düşey yönde rijit olan taşıyıcılar içermektedir. Bu taşıyıcılar izolasyon sistemleri olarak bilinmektedir. Bu yalıtım işleminde kullanılan kauçuk veya kompozit birleşimli özel mesnetlere izolatör denilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan izolasyon sistemlerinin çoğu doğal kauçuk veya sentetik bileşimli elastomer mesnetlerden ya da kayma yüzeyi teflon veya paslanmaz çelik olan kayıcı sistemlerden oluşmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

2.2 İzolasyon Sistemlerinin Sınıflandırılması

Günümüzde kullanılmakta olan izolasyon sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir.

- Kauçuk esaslı sistemler
 - Tabakalı kauçuk mesnetler
 - Düşük sönümlü kauçuk mesnetler
 - Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler
 - Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler
- Kayıcı sistemler
 - Sürtünmeli sarkaç mesnetler
 - Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesnetleri

- Fransız elektrik kurumu sistemi
- TASS sistemi
- EERC bileşik sistemi
- Yay tipi sistemler

2.3 Kauçuk Esaslı Sistemler

Doğal kauçuk mesnetler ilk olarak Makedonya'nın Üsküp şehrinde bir okul binasında kullanılmıştır. Bu bina 3 katlı bir betonarme yapı olup 1969 yılında tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmış ancak mesnet içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik sağlanamamıştır. Ayrıca kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi sözkonusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğinin birkaç katı olduğundan ve kullanılan kauçuk göreceli olarak sönümsüz olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. İlerleyen zamanlarda mesnetler çelik levhalarla takviye edilerek bu zorlukların üstesinden gelinmiştir. Bu sistem bugün hala kullanılmakta olup zaman zaman incelenmektedir.

Bina tamamlandıktan sonra birçok bina benzer şekilde doğal kauçuk mesnetlerle inşa edilmiş ancak bu binalarda mesnetlerin yanal burkulmasını önleyici ve düşey rijitliği artırıcı çelik levhalar kullanılmıştır. Mesnet içi çelik levhalar, yatay rijitliğin birkaç yüz katı kadar düşey rijitlik sağlamaktadır. Bu mesnetler aynı zamanda yapıların titreşim izolasyonunu da sağlamaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

2.3.1 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Düşük sönümlü kauçuk mesnetler ek sönüm araçları olan viskoz sönümleyiciler, çelik ve kurşun çubuk elemanlarla birleşik olarak Japonya'da yaygın bir biçimde uygulanmıştır. Japonya'daki uygulamalarda mesnetlerde doğal kauçuk kullanılırken, Fransa'daki bazı uygulamalarda ise neopran kullanılmıştır.

Bu tip izolatörler iki kalın dış çelik plaka arasında pekçok ince çelik levha içerir. Kauçuk tek bir işlemle yüksek sıcaklık ve basınç altında çeliğe yapıştırılır. Arada kullanılan ince çelik levhalar kauçuğun eğilmesini ve burkulmasını önlerken düşey rijitliğe yüksek derecede katkı yapar. Ancak bu çelik levhaların yatay rijitliğe önemli bir katkısı yoktur çünkü yatay rijitlik kauçuğun kayma modülü tarafından belirlenmektedir. %100 kayma şekildeğiştirmeleri üzerine kadar kaymada malzemenin davranışı lineerdir. Malzemedeki sünme gözlenmezken

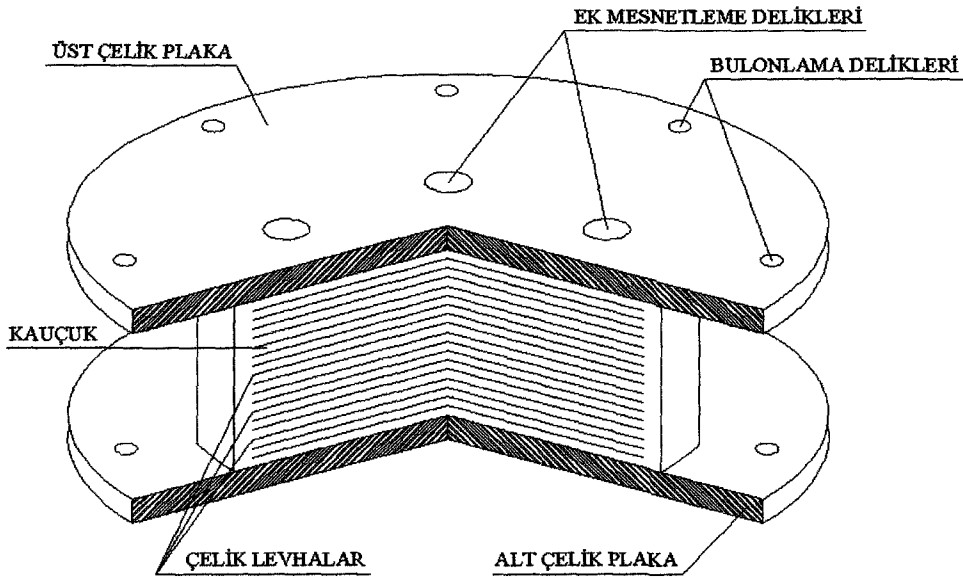
kayma modülü uzun dönemli etkiler altında kararlıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

Kauçuk esaslı dairesele izolatörler şu aşamalardan geçerek üretilmektedir (Bayülke, 2002).

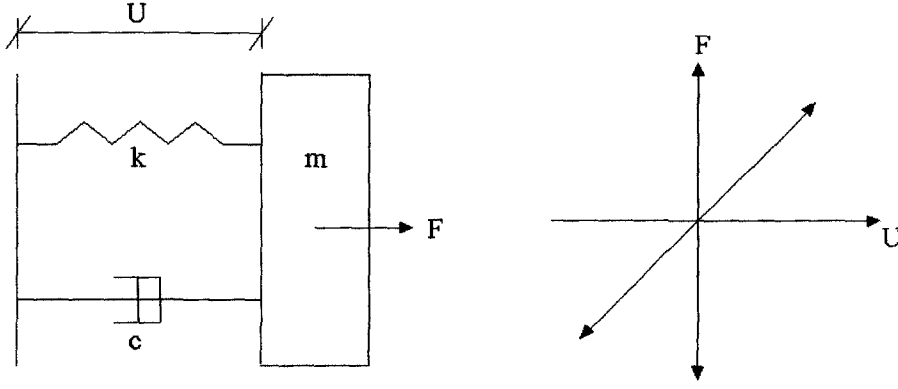
- Kauçuğa ozon dayanımı, mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijitlik ve sönüm artırıcı katkı maddeleri konur. Rijitlik ve sönüm artışı için doğal kauçuğa karbon siyahı konur ve karıştırılır.
- Kauçuk rulo yapılır.
- Kauçuk rulo belirli bir kalınlıkta kesilir.
- Kauçuklar kat kat yerleştirilir ve aralarına birkaç mm kalınlığında çelik levhalar konur. Levhaların kauçuğa iyi yapışması için yüzeyleri parlatılır.
- Yüzeylere yapıştırıcı maddeler konur.
- Bir kat kauçuk bir kat çelik sırasındaki elemanlar ağır çelik kalıba konulur. Kalıpla arasına yine kauçuk yerleştirilir. Birleşim 135 °C’de yaklaşık 14 saat bekletilir.
- Kauçuk vulkanize edilir. Bu işlem sırasında kauçuk kalıptan dışarı taşabilir. Kalıbın çevresine konan kauçuk çeliği paslanma ve yangın etkilerinden korur.

Doğal kauçuğun yapısındaki değişkenler, katkı maddesindeki değişimler, karıştırma ve kür koşullarındaki farklılıklar nedeniyle kauçuk izolatörlerin mekanik özelliklerinde önemli farklılıklar olabilmektedir.

Düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnetin kesiti ve elemanları Şekil 2.1’de, sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Çağlar, 2002) Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Düşük sönümlü kauçuk mesnetin kesit ve elemanları



Şekil 2.2 Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin pekçok avantajı vardır. Bu mesnetler kolay imal edilebilir, kolay modellenebilir ve mekanik özellikleri sıcaklıktan ve zamandan etkilenmez. Bu mesnetlerle birlikte yapıda ek sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulması ise düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin en önemli eksiğidir. Metal sönümleyicilerin kullanılması durumunda yorulma etkileri oluşabilir (Naeim ve Kelly, 1999).

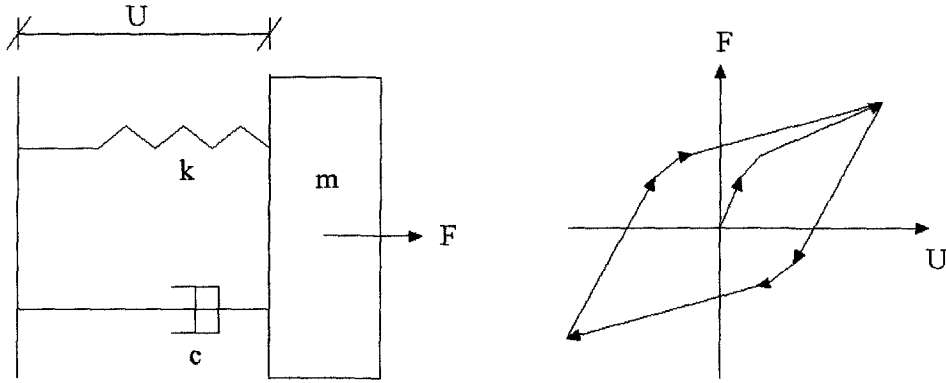
2.3.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Yeteri kadar bünyesel sönüm içeren ve yapıda ek sönüm elemanlarına ihtiyacı ortadan kaldıran doğal kauçuk mesnetler 1982 yılında İngiltere’de geliştirilmiştir. Karbon blok, yağ ve reçine gibi dolgu elemanlarıyla sönüm artırılmıştır. %100 kayma şekildeğiştirmesinde sönüm %10 ile %20 arasında artırılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

Malzeme, %20’den küçük kayma şekildeğiştirmelerinde düşük sismik yük ve rüzgar yükleri altında cevabı minimize eden, yüksek sönüm ve yüksek rijitlikte lineer olmayan davranış göstermektedir. %20-%120 kayma şekildeğiştirmesi aralığında malzemenin kayma modülü düşük ve sabittir. Yüksek şekildeğiştirmelerde ise kauçuktaki şekildeğiştirme kristalizasyonu dolayısıyla malzemenin kayma modülü artar ve bu etken enerji sönümlenmesini artırır. Rijitlikteki ve yüksek şekildeğiştirmelerde sönümdeki artma, düşük sismik yükler altında rijit, tasarım seviyesindeki sismik yükler altında sünek ve lineer, tasarım seviyesini aşan sismik yükler altında ise yerdeğiştirmelerin sınırlanabildiği sistemler üretmek için kullanılır (Naeim ve Kelly, 1999).

Yüksek sönümlü kauçuk sistemlerin bir diğer avantajı da çevre titreşimlerinin azaltılmasında kullanılabilmeleridir. İzolatörler, trafik ve komşu yeraltı demiryolu hattı gibi unsurların yapı üzerinde yarattığı yüksek frekanslı düşey titreşimlerin sönümlenmesinde rol oynar. Sistemin

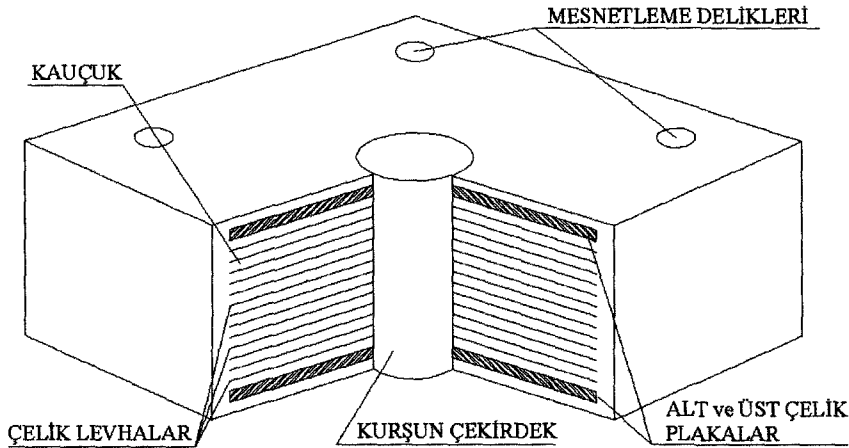
şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Çağlar, 2002) Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

2.3.3 Kurşun Saplamaı Kauçuk Mesnetler

Kurşun saplamalı mesnetler ilk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda’da kullanılmaya başlandığından bu mesnetlere Yeni Zelanda mesneti de denilmektedir. Bu mesnetler Yeni Zelanda, Japonya ve ABD’de yaygın şekilde kullanılmıştır. Kurşun saplamalı mesnetler aslında kompozit kauçuk mesnetler olup düşük sönümlü kauçuk mesnetlere benzemektedir. Ancak mesnetin deliklerine yerleştirilen bir veya birkaç kurşun kısım içerir. Kurşun kısmın mesnetle beraber çalışması için, önceden üretilen deliğin kurşunun çapından daha küçük tutulması ve kurşunun deliğe kuvvet uygulanarak yerleştirilmesi gerekmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

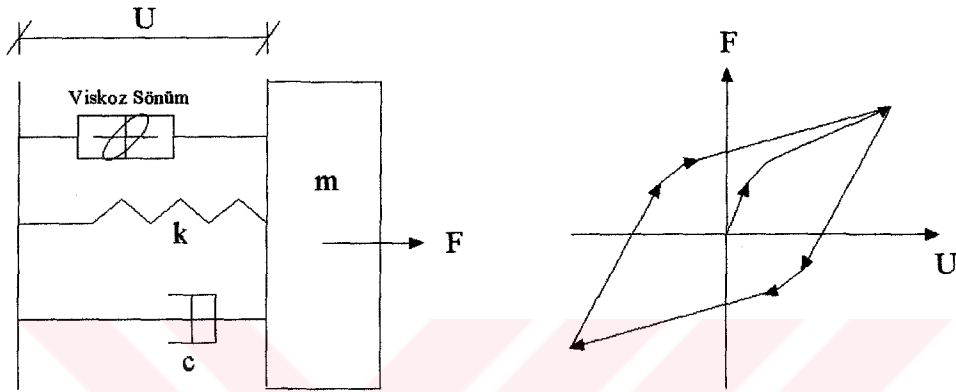


Şekil 2.4 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları

Bu mesnetlerdeki çelik levhalar kurşunu kesmede şekildegıştırmeye zorlar. Kurşun çekirdek teorik olarak 10 MPa gerilme civarında fiziksel olarak şekildegıştıırken mesnetin bilineer

cevap üretmesini sağlar. Bu mesnetler histeretik sönümleyiciler gibi davranırlar. Histeretik sönümleyici elemanların kuvvet-yerdeğiştirme özelliği gerçekçi olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler kullanılarak modellenenilmektedir (Dumanoğlu ve Ateş, 1999).

Bu mesnet sisteminin en önemli mahsuru, güçlü yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan anlaşılamamasıdır. Kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları Şekil 2.4’de, sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Dumanoğlu ve Ateş, 1999) Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



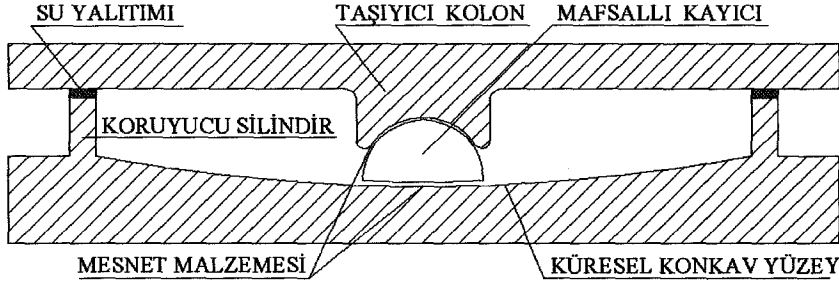
Şekil 2.5 Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

2.4 Kayıcı Sistemler

Kayıcı izolasyon sistemleri düşünülen en eski ve en basit sistemdir. Salt kayıcı bir sistem ilk olarak 1909 yılında J. A. Calantarients adlı bir tıp doktoru tarafından İngiltere’de önerilmiştir. Kayıcı sistemler üzerindeki yapıların dinamiği üzerine pekçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda genellikle Coulomb sürtünme kabulü yapılmıştır. Kayıcı mesnetlerde en çok kullanılan malzemeler boşluklu veya boşluksuz teflon ve paslanmaz çeliktir. Sistemin sürtünme özellikleri ortamın sıcaklığı, hareketin hızı, yorulma derecesi ve sürtünme yüzeyinin temiz olup olmaması gibi birtakım değişkenlere bağlıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

2.4.1 Sürtünmeli Sarkaç Mesnetler

Sürtünmeli sarkaç sistem, sürtünme hareketi ile geometri tarafından desteklenen bir geriçatırım kuvvetinin birleştirildiği sürtünmeli izolasyon sistemidir (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 2.6 Sürtünmeli sarkaç mesnetin kesit ve elemanları

Şekil 2.6'da görülen sürtünmeli sarkaç izolatörde paslanmaz çelik küresel konkav yüzey ile etkileşim halinde mafsallı kayıcı bulunmaktadır. Mafsallı kayıcının küresel yüzey ile temas eden yüzeyi düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcının küresel boşluğa oturan diğer tarafı da küresel olup paslanmaz çelikle kaplanmıştır.

Kayıcı küresel yüzeyde hareket ettikçe, mesnetlenen kütle yükselir ve sistem içinde geriçatırım kuvveti elde edilir. Mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme sistemin sönümünü sağlar ve dolayısıyla sürtünme ile deprem enerjisi sönümlenir. İzolatörün efektif rijitliği ve yapının periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı tarafından kontrol edilir ve yapının kütesinden bağımsızdır. İstenen periyot değeri eğrilik yarıçapının değiştirilmesi ile elde edilir (Naeim ve Kelly, 1999).

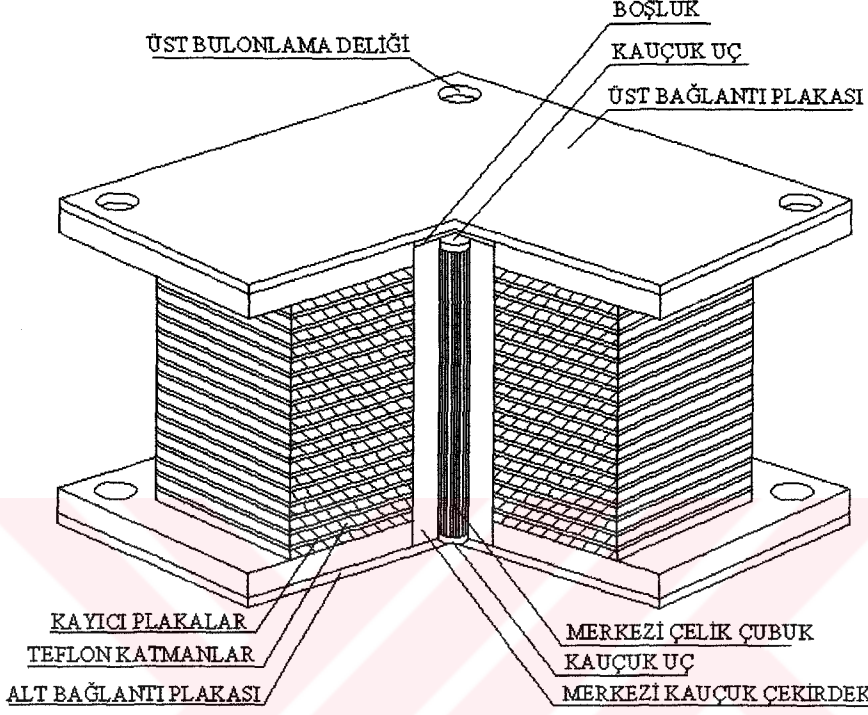
Mesnetin kinematığı ve uygulaması konkav yüzeyin üstte veya altta olmasından etkilenmez. Sürtünmeli sarkaç sistemin üretimi kolaydır ve çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür.

2.4.2 Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyonu Mesnetleri

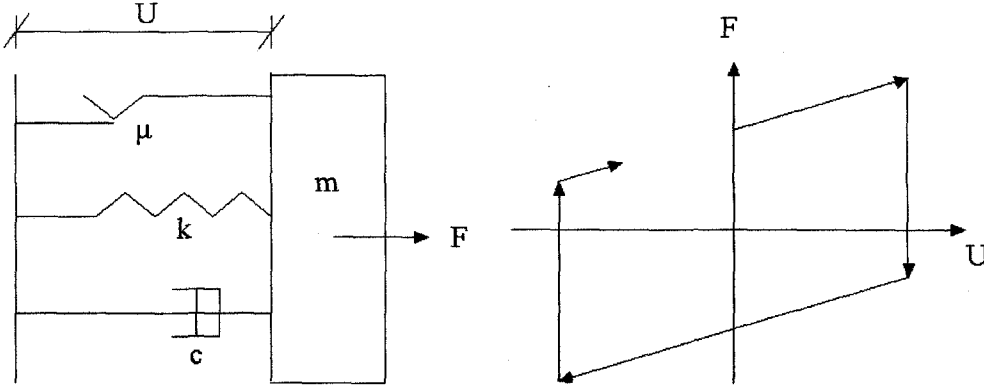
Esnek sürtünmeli taban izolasyonu sistemi, son yıllarda Mostaghel (Mostaghel, 1983) tarafından önerilmiştir. Bu taban izolatörleri birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yerdeğıştirmesinin ve hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuktaki kayma gerilmesini sınırlandırmak ve daha büyük yerdeğıştirme yeteneğı kazandırmak amacıyla klasik tabakalı kauçuk mesnetlere sürtünmeli plaka eklenerek esnek sürtünmeli izolasyon sistemleri düzenlenmiştir.

Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi, merkezi ve çevresel kauçuk çekirdekle birbiri üzerinde kayabilen yassı kayıcı halkalardan oluştuğı için kayıcı tipli izolasyon sistemleri

grubuna girmektedir. Yapılan birçok deneyle deprem etkileri altında davranışı incelenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir (Çağlar, 2002). Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesnetinin kesit ve elemanları (Naeim ve Kelly, 1999) Şekil 2.7’de, sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Dumanoglu ve Ateş, 1999) Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Esnek sürtünmeli taban izolasyonu mesneti kesit ve elemanları



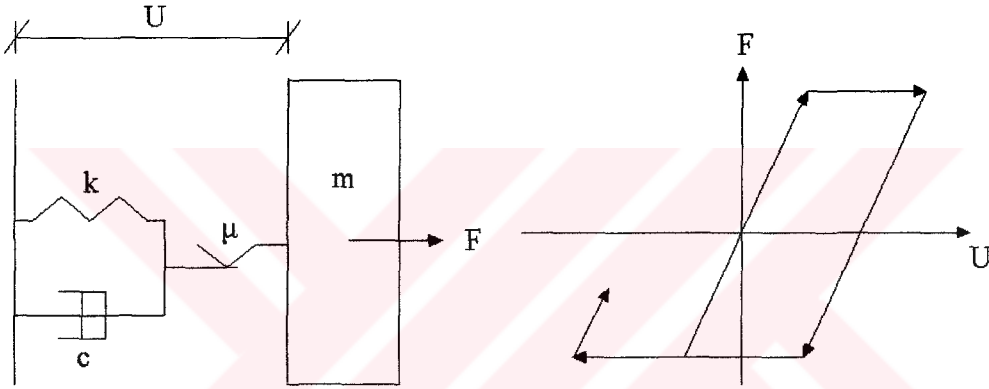
Şekil 2.8 Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

2.4.3 Fransız Elektrik Kurumu Sistemi

Bu sistem 1970’li yılların başında nükleer güç santrallerinde uygulanmak amacıyla Fransız Elektrik Kurumu’nun desteği ile geliştirilmiştir. Bu sistemin kesiti tabakalı kauçuk mesnet

sistemiyle aynıdır. Bu sistem ile kompozit neopran mesnetler, paslanmaz çelikte temas halindeki kurşun-bronz alaşımıyla birleştirilerek elastomer mesnetler üzerine oturtulmuş kayma yüzeyleri meydana getirilmiştir. Kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı, izolatörün servis ömrü boyunca 0.2 olarak düşünülmüştür. Neopran tabakanın ± 5 cm'den fazla olmayan düşük yerdeğiştirme kapasitesi bulunmaktadır. Bu değeri aşan yerdeğiştirmeler oluştuğunda kayıcı elemanlar gerekli hareketi sağlamaktadır. Sistemi eski denge konumuna geri getiren bileşenler bulunmadığından kalıcı yerdeğiştirmeler oluşmaktadır. Bu sistem sadece bir kere Güney Afrika'daki Koeberg nükleer santraline uygulanmıştır.

Fransız Elektrik Kurumu Sisteminin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı (Dumanoğlu ve Ateş, 1999) Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Sistemin şematik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

2.4.4 EERC Bileşik Sistemi

Elastomer ve kayıcı mesnetlerin birleşimi olan bu sistem EERC'da sarsıntı tablasında test edilerek geliştirilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları paslanmaz çelikten kayıcı elemanlar üzerindeki teflon tarafından ve dış kolonları da düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler tarafından taşınmaktadır. Elastomer mesnetler yapının burulma davranışını kontrol eder. Sistem denge konumuna geri dönme kapasitesine sahiptir ve sistemdeki kayıcı elemanlar sönüm sağlamaktadır.

Bu sistemin farklı biçimleri Nevada Üniversitesi Mackay Okulu ve California'da bir hastane binasının iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Bu iki yapıda da yüksek sönümlü kauçuk mesnetler kullanılmıştır. Üniversite binasında teflon-paslanmaz çelik kayıcı elemanlar kullanılırken, hastane binası için paslanmaz çelik üzerine oturan kurşun-bronz alaşımı plakalar kullanılmıştır.

2.4.5 TASS Sistemi

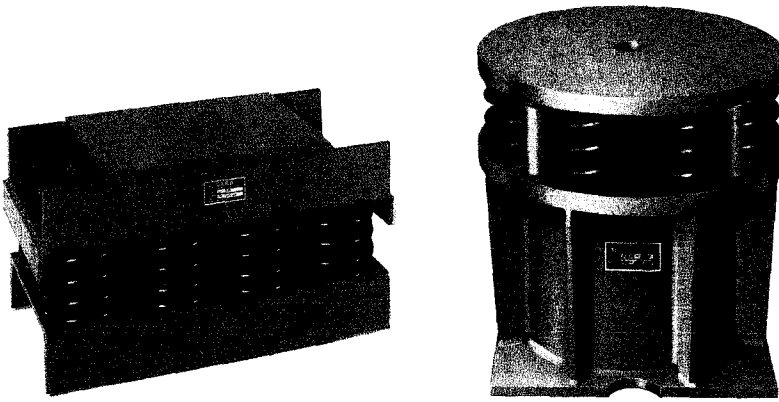
TASS sistemi Japonya’da TAISEI Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde tüm düşey yük teflon-paslanmaz çelik elemanlar üzerinde taşınmaktadır. Buna ek olarak yük taşımayan kompozit neopran mesnetler kullanılmaktadır. Kompozit neopran mesnetler sistemi denge konumuna çağıran dengeleme kuvvetleri sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Teflon kayma yüzeyi 10 MPa civarında basınç alabilmektedir. Sürtünme katsayısı düşük kayma hızlarında 0.05 ile yüksek kayma hızlarında 0.15 aralığında değişmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Bu sistemin en önemli dezavantajı, elastomer mesnetlerin düşey yük taşınamaması olarak gösterilmektedir. Bu yüzden mesnetlerde çekme ortaya çıkmakta ve kayma yüzeyinin hız hassasiyeti bu sistemin modellenebilmesini zorlaştırmaktadır.

2.5 Yay Tipi Sistemler

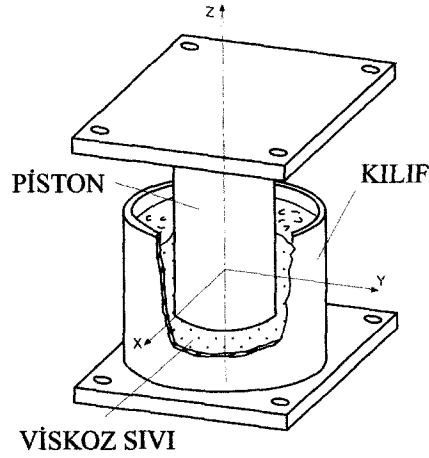
Kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon sistemleri genellikle yatay yönde izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılır. Eğer depremin düşey bileşenine karşı düşey yönde de izolasyon sağlanmak isteniyorsa genellikle kullanılması tercih edilen izolasyon sistemleri sarmal yaylardan oluşan yay tipi sistemlerdir. Almanya’da Gerb firması yay tipi izolatörler ve bunların değişik kombinasyonları üzerine üretim yapmaktadır. Bu sistemlerde çelik yaylar sönümsüz olup sistem daima viskoz sönümleyicilerle beraber kullanılmaktadır (Çağlar, 2002).

Şekil 2.10’da Gerb salt yay tipi bir izolatör ve viskoz sönümleyici ile birleştirilmiş bir yay tipi izolatör görülmektedir.



Şekil 2.10 Gerb yay tipi sistemler (GERB, 2000)

Şekil 2.11’de viskoz sönümleyicinin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.11 Viskoz sönümleyicinin bileşenleri (GERB, 2000)

Çelik yaylar çekme gerilmesi taşıyamadığı için viskoz sönümleyici ile birleşik yay sistemleri üretilmiştir. Bunlar hem çekme hem de basınç kuvveti taşıyabilirler. Viskoz sönüm iki bileşenden oluşmaktadır. Sönümün ilk parçası yüksek viskoz sıvıyla doldurulmuş çevresel kılıf, diğer parçası da yaya mesnetlenmiş pistondur. Bu sistemde mekanik enerji ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Viskoz sönümle birlikte sistemin düşey doğrultusunda %20 ile %30 arası sönüm elde edilmektedir. Düşey frekans genellikle yatay frekansın 3 ile 5 katı arasındadır (Çağlar, 2002).

Bu sistemlerin daha çok makina ekipmanlarının titreşim izolasyonu ve nükleer güç santrallerinin titreşim izolasyonu gibi uygulamaları mevcuttur ancak bina tipi sistemlere de uygulanabilmektedir. Bu sistemlerin matematik modellemesi oldukça karmaşıktır.

2.6 Taban İzolasyonunda Maliyet

Taban izolasyonundaki maliyete sadece izolatörlerin maliyeti şeklinde bakmamak gerekir. Mevcut yapılara taban izolasyonu uygulanmasının getirdiği ek maliyet aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (Bayülke, 2002).

- İkinci bir zemin kat ya da bodrum katı yapılması
- İzolatörler
- Tasarım, deney ve yapım bedelleri
- Bağlantı elemanları
- Ek temel kazısı yapılması

- Çevre istinat duvarı yapılması
- Yapıda mimari değişiklikler
- Projenin onaylanması için harcanan zaman

Yukarıdaki bileşenlerin toplam maliyeti araştırılarak en uygun ve ekonomik çözüm belirlenmelidir.



3. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Giriş

Taban izolasyonunda daha önce yapılan benzer bir projenin tasarım bilgileri veya üretici firmadan sağlanan bilgilerin kullanılmasıyla öntasarıma başlanır. Öntasarımdan sonra hazırlanan mesnet prototipleri test edilir. Prototip test sonuçlarına göre öntasarım tekrar edilir. İzolasyon mesnetlerinin hesabı ve tasarlanması tekrarlı bir işlemdir ve doğru tasarım yöntemlerinin uygulanması gerekir. Bu bölümde taban izolasyonunda yaygın olarak kullanılan mesnetlerin mekanik özelliklerine değinilmiştir.

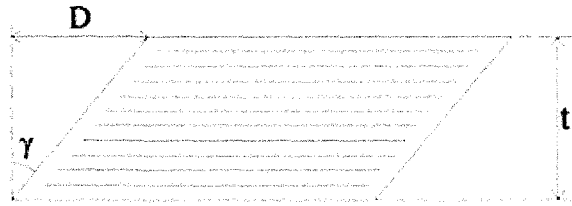
3.2 Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Kauçuk mesnetlerin mekanik özellikleri onyıllar boyunca araştırılmış, lineer olmayan teknikler kullanılarak yapılan analizlerin güçlüğü dolayısıyla pekçok araştırmacı tarafından laboratuvar testleriyle de doğrulanan lineer teoriye dayanan basit yaklaşımlar geliştirilmiştir.

İzolasyon mesnetinin en önemli mekanik özelliği yatay rijitliğidir ve aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (3.1)$$

(3.1) ifadesinde G kauçuğun kayma modülünü, A mesnetin kesit alanını, t_r mesnet içindeki toplam kauçuk tabakası kalınlığını ifade etmektedir



Şekil 3.1 İzolatörde yatay yük altında kayma şekildeğiştirmesi

Yatay yerdeğiştirme D, kayma şekildeğiştirmesi γ ile orantılıdır.

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (3.2)$$

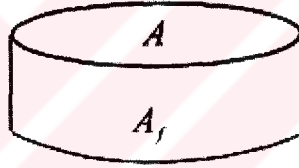
İzole edilmiş bir yapının en önemli tasarım esaslarından biri de düşey frekansıdır ve bu değer

düşey rijitlik tarafından kontrol edilir. Düşey frekansın öngörülebilmesi için belirli bir sabit yük altında mesnetlerin düşey rijitliği hesaplanır. Mesnetin düşey yük altındaki ilk cevabı lineer olmayan davranış gösterir. Bu davranış, mesnet içi çelik plakların dizilimi ve yapım aşamasındaki kalıplama işçiliği gibi birtakım bilinmeyenlere bağlıdır. Ancak bu etkilerin mesnetin düşey cevabının tahmininde çok önemli olmadığı kabul edilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Kauçuk mesnetin düşey rijitliği aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (3.3)$$

(3.3) formülünde E_c düşey yük altında kauçuk-çelik kompozit birleşimin basınç modülüdür. A ise mesnetin kesit alanı olup genellikle mesnet içindeki çelik plakanın alanı olarak alınır. E_c basınç modülünün tek bir kauçuk tabakası için değeri yüklü alan A / yüksüz alan A_f olarak tanımlanan S şekil faktörüne bağlıdır.



Şekil 3.2 Şekil faktörü tanımı

Φ çaplı ve t kalınlıklı dairesel bir kauçuk katmanı için şekil faktörü şu şekilde verilmektedir.

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad (3.4)$$

a boyutlu ve t kalınlıklı kare şeklinde bir kauçuk katmanı için şekil faktörü şu hali alır.

$$S = \frac{a}{4t} \quad (3.5)$$

Şekil faktörü ile titreşimin yatay ve düşey frekansı arasında (3.6) denklemi ile verilen ilişki bulunmaktadır (Tezcan ve Cimilli, 2002).

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{f_v}{f_H} \quad (3.6)$$

Tam dolu dairesel ve kare şeklindeki mesnetler için basınç modülü aşağıdaki şekilde ifade

edilmektedir.

$$E_c = 6GS^2 \text{ (dairesel)} \quad (3.7)$$

$$E_c = 6,73GS^2 \text{ (kare)} \quad (3.8)$$

Bazı durumlarda mesnetler merkezi boşluklar içerebilmektedir. İç yarıçapı a ve dış yarıçapı b olan bir mesnet için basınç modülü $E_c = 6\lambda GS^2$ olarak ifade edilir. λ değeri aşağıda verilen (3.9) denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - \left[(b^2 - a^2) / (\ln b/a) \right]}{(b-a)^2} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemde $a/b \geq 0.10$ olması durumunda λ değeri yaklaşık olarak 2/3 olarak bulunur ki bu da küçük bir boşluğun basınç modülü üzerinde oldukça etkili olduğunu gösterir. Bu yüzden çoğu durumda merkezi boşluklar içeren mesnetlerde güvenli tarafta kalmak için $E_c = 4GS^2$ olarak alınmaktadır.

Şekil faktörü genellikle 10'dan büyük değerler almaktadır. Şekil faktörü büyüdükçe, kauçuğun sıkışabilme özelliği önem kazanmaya başlar. Bu özellik (3.10) ile verilen denklemle yaklaşık olarak gözönüne alınmaktadır.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_c'} + \frac{1}{K} \text{ veya } E_c = \frac{E_c' K}{E_c' + K} \quad (3.10)$$

(3.9) denkleminde E_c' ifadesi daha önce verilen basınç modülünü, K ise malzemenin hacimsel elastisite modülünü (bulk modulus) ifade etmektedir. Bu etki için başka formüller de geliştirilmiştir ancak hacimsel elastisite modülü zor ölçülebilen bir nicelik olduğundan yukarıdaki formülün kullanılması yeterli görülmektedir. Hacimsel elastisite modülü malzemeye göre 1000 MPa ile 2500 Mpa arasında değişen değerler almaktadır. Ancak izolasyon mesnetleri için en çok kullanılan ve laboratuvar testleriyle de doğrulanan değer 2000 Mpa değeridir (Naeim ve Kelly, 1999).

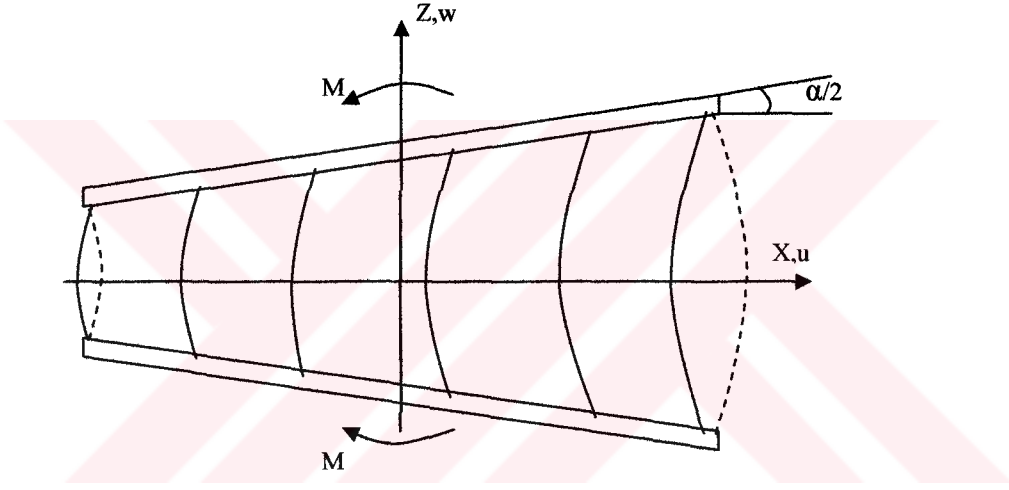
Salt basınç altında çelik plakaların sağladığı kısıtlama yüzünden kauçuk şişer, kayma şekildeğiştirmeleri oluşur ve bu da γ_c ile ifade edilir. Eğer salt basınçta eksenel şekildeğiştirme $\epsilon_c = \Delta/t_r$ ile verilirse, kauçuk tabakasının köşelerinde oluşan en büyük kayma şekildeğiştirmesi (3.11) denklemi ile verilmektedir. Burada Δ düşey yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir.

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (3.11)$$

Basınçta oluşan en büyük kayma şekildeğiştirmesi aynı zamanda ortalama şekildeğiştirmenin tahmini açısından da önemlidir. Kauçuk şekildeğiştirmeye duyarlı bir malzemedir ve kayma modülü genellikle şekildeğiştirme düzeyine göre değişir. Basınçta kayma şekildeğiştirmeleri malzemenin hacmi üzerinde değişken olduğundan ortalama kayma şekildeğiştirmesi γ_{ort} şu şekilde verilmiştir.

$$\gamma_{ort} = \sqrt{6S\varepsilon_c} \quad (3.12)$$

Salt M eğilme momenti ile yüklü bir mesnetteki yerdeğiştirmeyi alt ve üst çelik plakaların dönmesi oluşturur.



şekil 3.3 Salt eğilme momenti etkisinde izolatör davranışı

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t} \quad (3.13)$$

(3.13) denkleminde ρ eğrilik yarıçapını, α üst ve alt çelik plaklar arasındaki görelî açıyı, t tek bir kauçuk tabakası kalınlığını ifade etmektedir. Moment, eğilme rijitliği/eğrilik yarıçapı olduğu için kiriş analojisiyle aşağıdaki ifade yazılmaktadır.

$$M = (EI)_{ef} \frac{\alpha}{t} \quad (3.14)$$

(3.14) denkleminin R yarıçaplı bir mesnet için sonuç ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$M = \frac{3\alpha G}{2t^3} \frac{\pi R^6}{12} \quad (3.15)$$

Yukarıdaki (3.14) denkleminde efektif eğilme rijitliği $(EI)_{ef} = 6GS^2$, şekil faktörü $S=R/2t$ ve dairesel kesitli kiriş atalet momenti $I=\pi R^4/4$ terimleri alınarak (3.15) denkleminde eşitlenirse $I=\pi R^4/12$ sonucu bulunur ki bu da kiriş atalet momentinin üçte biridir. Bu sonuç farklılığı şu şekilde izah edilmektedir. Mesnet boyunca basınç dağılımı kübik iken, kirişte eğilme gerilmelerinin dağılımı lineerdir. Kare şeklinde bir mesnet için efektif eğilme rijitliği şöyledir.

$$(EI)_{ef} = E_c (0,329 I) \quad (3.16)$$

Merkezi boşluklar içeren dairesel mesnetler içinse aşağıdaki gibidir.

$$(EI)_{ef} = 2GS^2 I \frac{(b+a)^2}{b^2 - a^2} \quad (3.17)$$

Eğilmeden oluşan kayma şekildeğiştirmesi şu şekilde verilmektedir.

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (3.18)$$

(3.18) denkleminde ε_b terimi mesnetin köşelerinde eğilme nedeniyle oluşan basınç şekildeğiştirmesidir ve $\varepsilon_b=R\alpha/t$ şeklinde verilmektedir. Ortalama kayma şekildeğiştirmesi ise toplam kayma şekildeğiştirme enerjisi hesaplamaları ile aşağıdaki şekilde verilmektedir.

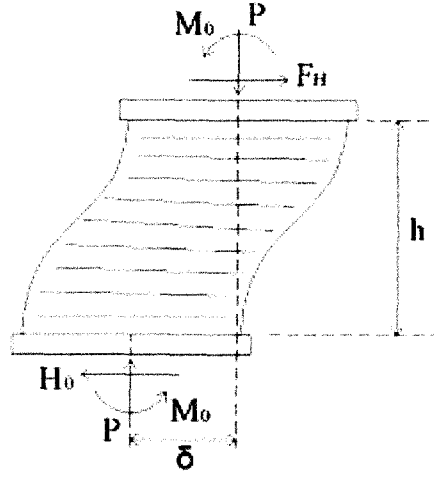
$$\gamma_b^{ort} = \sqrt{2}S^2\alpha = \sqrt{2}S \frac{R\alpha}{4t} = \frac{\sqrt{2}}{4} S\varepsilon_b \quad (3.19)$$

3.3 Kauçuk Mesnetlerin Stabilitesi

İzolasyon sistemlerinin burkulma teorisi, Haringx'in (Haringx, 1948) titreşim montajlarında kullanılan helisel çelik yaylar ve kauçuk çubukların mekanik özellikleri üzerine yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışma katı boşluksuz (solid) kauçuk çubukların stabilitesini kapsayan bir dizi raporun üçüncüsü olarak yayınlanmıştır. Gent (Gent, 1964) tarafından basınca çalışan katmanlı kauçuk yayların stabilite problemine uygulanan Haringx teorisi Kelly (Kelly, 1996) tarafından katmanlı elastomer mesnetlere uygulanmıştır (Imbimbo, Kelly, 1997).

Kauçuk mesnetlerin burkulma analizi lineer teoriye dayanmakta ve olağan bir kolonun burkulma analizi ile analogi teşkil etmektedir. İzolasyon mesneti, uzunluğu h ve kesit alanı A

olan, alt ucunda ankastre mesnetli ve üst ucunda yatayda serbest hareket edebilen ancak dönmeye karşı tutulu bir kompozit kolon olarak düşünülür.



Şekil 3.4 İzolatörün burkulması

Burkulma analizinde şu kabuller yapılır (Imbimbo, Kelly, 1997).

- Şekildeğiştirmeden önce izolatör eksenine dik olan düzlem kesitler şekildeğiştirmeden sonra da düzlem kalır.
- Şekildeğiştirmeden önce izolatör eksenine dik olan düzlem kesitler şekildeğiştirmeden sonra izolatör eksenine dik kalmaz.

Kolonun birim uzunluk başına kayma rijitliği $P_s = GA_s$ şeklinde tanımlanır. A_s (3.20) denklemi ile verildiği şekilde efektif kayma alanıdır. Burada h terimi izolasyon mesneti yüksekliğini ifade etmektedir.

$$A_s = A \frac{h}{t_r} \quad (3.20)$$

Mesnet içi çelik plakaların kayma şekildeğiştirmesinde deforme olmaması sebebiyle kolon gibi düşünülen izolatörün eğilme rijitliği artırılır (Naeim ve Kelly, 1999).

$$EI_s = E_c \left(\frac{1}{3} \right) I \left(\frac{h}{t_r} \right) \quad (3.21)$$

Kolonun Euler burkulma yükü (3.22) denklemiyle verilmektedir.

$$P_e = \pi^2 \frac{EI_s}{h^2} \quad (3.22)$$

Kritik burkulma yükü aşağıdaki denklemin çözümünden elde edilir.

$$P^2 + PP_s - P_s P_e = 0 \quad (3.23)$$

(3.23) denkleminin çözümünden kritik burkulma yükü şu şekilde elde edilir.

$$P_{kr} = \frac{-P_s + \sqrt{P_s^2 + 4P_s P_e}}{2} \quad (3.24)$$

Çoğu durumda $S \gg 5$ ve $P_e \gg P_s$ olduğundan kritik burkulma yükü (3.25) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$P_{kr} = \sqrt{P_s P_e} \quad (3.25)$$

Burkulmaya karşı güvenlik oranı (3.26) denklemiyle hesap edilmektedir.

$$SF = \frac{P_{kr}}{W} \quad (3.26)$$

(3.25) denklemi, P_e ve P_s ifadeleri yazılarak yeniden düzenlenirse aşağıdaki hali alır. Burada r atalet yarıçapını ifade etmektedir.

$$P_{kr} = \frac{\sqrt{2}\pi G A S r}{t_r} \quad (3.27)$$

Atalet yarıçapı, a boyutlu kare mesnet için $r = a / 2\sqrt{3}$ ve Φ çaplı dairesel mesnet için $r = \Phi / 4$ olarak hesabedilir. Düşey yükün yatay rijitlik üzerindeki etkisi ihmal edilerek yatay rijitlik $K_H = GA / t_r$ ve yatay frekans $\omega_H^2 = K_H g / W$ şeklinde alınarak güvenlik oranı değiştirilebilir.

$$SF = \frac{\sqrt{2}\pi S \omega_H^2 r}{g} \quad (3.28)$$

Mesnet tarafından taşınan düşey yük ihmal edilmezse yatay rijitlikte azaltıma gidilmektedir. Bu ilişki aşağıdaki denklemle gözönüne alınmaktadır. Burada P düşey yükü ifade etmektedir.

$$K_H = \frac{GA}{h} \left[1 - \left(\frac{P}{P_{kr}} \right)^2 \right] \quad (3.29)$$

İzolatörde en büyük yatay yerdeğiştirme ve en büyük düşey yükün beraber oluşması durumu limit durumlardan biri olarak önem taşır. Bu durumda kararsızlık kendini pozitif artışlı rijitlik

azalması olarak ortaya koyar. Bu limit durum için iki farklı hipotez ileri sürülmüştür.

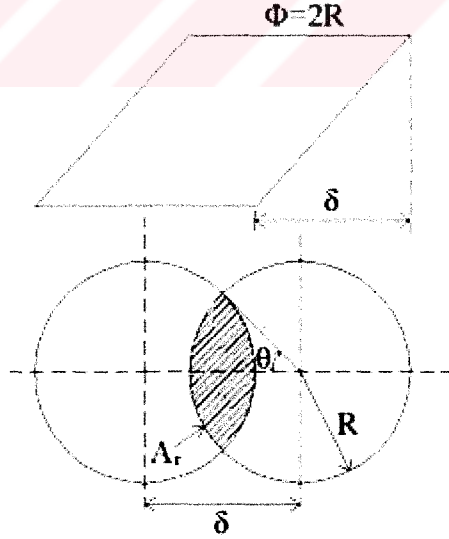
- Kritik yerdeğiştirme anında eksenel yükün kesişim alanına (A_r) bölümünden elde edilen basınç gerilmesi kritik gerilmedir (p_{kr}).
- Kritik yerdeğiştirme anında kritik burkulma yükü ifadesindeki A alanı, kesişim alanı (A_r) ile yerdeğıştirir.

Yukarıdaki hipotezlerde bahsedilen kritik yerdeğıştirme, mesnetin sıfır artımlı yatay rijitlik ortaya koyduğu yerdeğıştirme olarak tanımlanmaktadır.

1995 yılında Ian Buckle (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999) tarafından kauçuk mesnetler üzerine bir dizi test uygulanmıştır. %50-%200 kayma şekildeğıştirmesi aralığında 0.74 MPa kayma modülü olan, düşük sönümlü kauçuk içeren mesnetler sabit düşey yük ve yerdeğıştirme kontrolü altında test edilmişlerdir. EERC’da yürütölen bu testlerin sonuçları Nagarajaiah (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999) tarafından rapor edilmiştir. Test sonuçlarına göre ilk hipotezin oldukça konservatif olduğu ancak ikinci hipotezin konservatif olmakla birlikte, yük aralıkları ve yerdeğıştirmeler altında doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Naeim ve Kelly, 1999).

Bir kenar boyutu B olan kare mesnet için kesişim alanı ifadesi şu şekilde verilmektedir.

$$A_r = B(B - \delta) \quad (3.30)$$



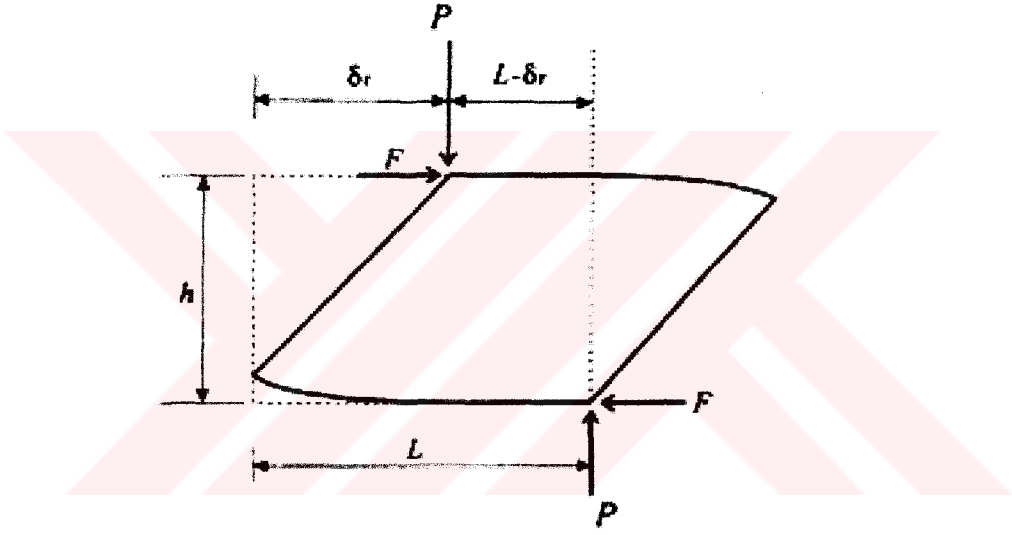
Şekil 3.5 Kesişim alanı

Dairesel mesnetlerde kesişim alanı ifadesi (3.31) denklemiyle verilmektedir.

$$A_r = \frac{\Phi^2}{4}(\theta - \sin \theta) \quad (3.31)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{\Phi} \right) \quad (3.32)$$

Bazı durumlarda izolatörün mesnetlenme şekline göre çok büyük yatay ötelenmeler altında izolatör dönerek mesnetten kurtulabilir. Dönmenin olması için P kuvvetinin izolatöre uygulandığı yerin mesnetin ucuna gelmiş olması gereklidir. Eksenel kuvvetin büyüklüğü izolatörün devrilme ötelenmesinde etkilidir (Naeim ve Kelly, 1999). Düşey kuvvet ne kadar az ise daha küçük bir yatay ötelenme durumunda devrilme olur. İzolatöre etkiyen kuvvetler Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 İzolatörün dönerek mesnetten çıkma davranışı

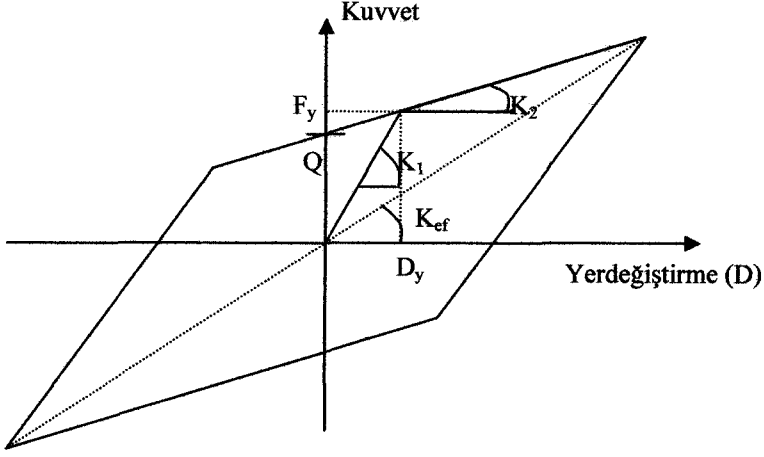
Mesnetin alt ucuna göre moment dengesi yazılır ve ifade düzenlenirse aşağıdaki hali alır. Burada L dairesel mesnetler için izolatör çapını ve diğer mesnetler için de izolatörün plandaki en kısa boyutunu ifade etmektedir.

$$\delta_r = \frac{PL}{K_{ef}h + P} \quad (3.33)$$

3.4 Kurşun Saplamaı Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler K_1 , K_2 ve Q parametrelerine dayanan karakteristikleri ile daima bilineer elemanlar olarak modellenirler. K_1 akma öncesi rijitliği izolasyon mesnetinin prototip testlerindeki histeretik döngülerden veya K_2 akma sonrası rijitliğinin bir çarpanı

olarak elde edilmektedir. Buradaki histeretik kavramı, dış yükleme sonucunda elemanda oluşan iç kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin ortaya çıkardığı döngüsel tepki davranışdır (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 3.7 Kurşun saplamalı mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Efektif rijitlik, histeretik döngüdeki tepe noktalarını kesen eğim olarak tanımlanır ve (3.34) denklemiyle ifade edilmektedir. Burada D_y akma yerdeğiştirmesini ifade etmektedir. Kurşun saplamalı kauçuk mesnetlerde K_2 akma sonrası rijitliği, kauçuğun yatay rijitliği olarak alınır. Q karakteristik kuvveti, histeretik eğrinin kuvvet eksenini kestiği noktadır. Karakteristik kuvvet mesnetteki kurşun tarafından belirlenir yani kurşundaki akma gerilmesi, kurşunun alanı ile çarpılarak karakteristik kuvvet elde edilir. Kurşunun akma dayanımı teorik olarak 10 MPa'dır.

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad (D \geq D_y) \quad (3.34)$$

Doğal frekans şu şekilde ifade edilir.

$$\omega = \sqrt{\frac{\text{Efektif Rijitlik}}{\text{Kütle}}} = \sqrt{\frac{K_{ef}g}{W}} = \sqrt{K_2 \frac{g}{W} + \frac{Qg}{WD}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}} \quad (3.35)$$

$$\mu = \frac{Q}{W} : \text{Kuvvet Oranı}$$

Titreşimin doğal periyodu ise (3.36) denklemile verilmektedir.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}} \quad (3.36)$$

Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak tanımlanan bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı şu şekilde verilmektedir.

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad (3.37)$$

Efektif sönüm ifadesi şöyledir.

$$\beta_{ef} = \frac{W_D}{2\pi K_{ef} D^2} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi K_{ef} D^2} \quad (3.38)$$

$D_y = \frac{F_y}{K_1}$ ve $F_y = Q + K_2 D_y$ olduğuna göre bu 2 denklemden D_y yerdeğiştirmesi çekilirse;

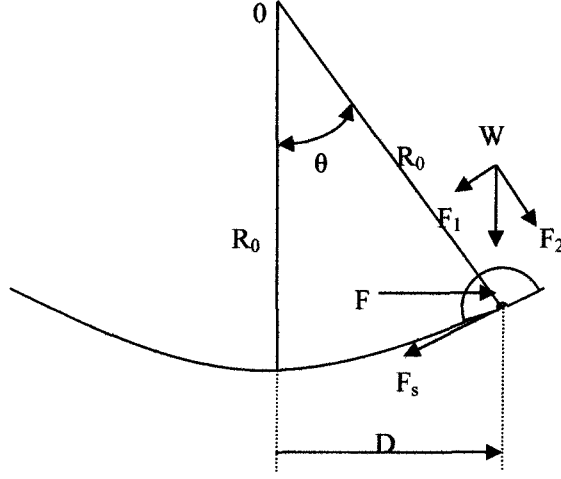
$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (3.39)$$

Yapılan deneylerden elde edilen bilgilere göre akma yerdeğiştirmesi mesnetteki toplam kauçuk tabakası kalınlığının 0.05 ile 0.1 katı arasında değişen değerler almaktadır. Kurşun saplamalı mesnetler için FEMA 274 (C9-3) denklemiyle elastik rijitlik plastik rijitliğin 6.5 katı olarak önerilmekle birlikte genel kural olarak $K_1 = 10K_2$ kabulü yapılmaktadır.

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} \text{ için } \beta_{ef} = \frac{4Q(D - \frac{Q}{9K_2})}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (3.40)$$

3.5 Sürtünmeli Sarkaç Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde mafsallı kayıcının küresel yüzeyde yükselmesi esnasında mesnet, düşey ağırlıkça desteklenen geriçağırım kuvveti ve sürtünme kuvvetinin bileşkesi kadar direnç üretir. Şekil 3.8’de sürtünmeli sarkaç mesnete etkiyen kuvvetler görülmektedir (Ersoy vd., 2001).



Şekil 3.8 Sürtünmeli sarkaç mesnete etkiyen kuvvetler

F_1 ağırlıkça desteklenen geriçağırm kuvvetini, F_s sürtünme kuvvetini, F harekete tepki kuvvetini, D mesnetin yatayda yaptığı yerdeğiştirmeyi, R_0 küresel yüzeyin eğrilik yarıçapını, μ sürtünme katsayısını ve W mesnetin üzerindeki ağırlığı ifade etmektedir.

$$\sin \theta = \frac{D}{R_0} ; F_1 = W \sin \theta = \frac{W}{R_0} D ; F_s = F_2 \mu = \mu W \cos \theta = \mu W \operatorname{sgn}(\dot{D}) = \mu W Z$$

$$F = F_1 + F_s = \frac{W}{R_0} D + \mu W Z \quad (3.41)$$

$\dot{D}$ mesnetin kayma hızı olup yerdeğiştirmenin zamana göre türevidir. Sürtünme katsayısı μ kayma yüzeyindeki p basıncına ve mesnetin kayma hızına bağlıdır. Bu katsayısı artan basınçla birlikte azalır. 14 MPa'nın üzerindeki basınç değerlerinde ve 51 mm/s'nin üzerindeki hızlarda kayma hızından bağımsız hale gelir (Naeim ve Kelly, 1999).

Çizelge 3.1 Teflon malzemesi için tavsiye edilen sürtünme kuvveti değerleri

Düşey basınç (MPa)	Düşük hızlardaki sürtünme katsayısı	Yüksek hızlardaki sürtünme katsayısı
<5	0.04	0.14
5-15	0.03	0.12
>15	0.03	0.10

$\operatorname{sgn}(\dot{D}) = Z$ değişkeni de aşağıdaki diferansiyel denkleme bağlıdır (Ersoy vd., 2001).

$$Y \dot{Z} + r \left| \dot{D} \right| Z |Z|^{\eta-1} + \beta \dot{D} |Z|^{\eta} - A \dot{D} = 0 \quad (3.42)$$

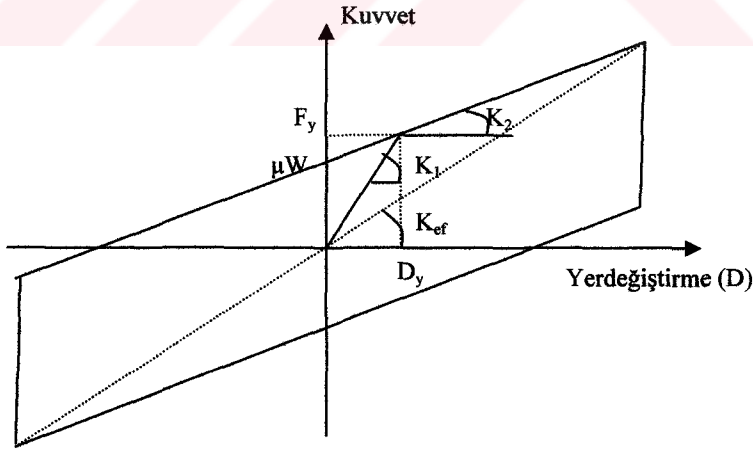
(3.42) denklemindeki β , r , A , η boyutsuz sabitlerdir. Y is akma yerdeğiştirmesini ifade etmektedir ve deneysel olarak bu değer Constantinou (Constantinou vd., 1990) tarafından 0.005 olarak tavsiye edilmiştir (Ersoy vd., 2001).

Sürtülmeli sarkaç sistemlerde merkeze dönüş hareketinin herhangi bir anında geriçatırım kuvvetinin Z katı, sürtünme kuvvetine eşit veya küçük olursa sistem merkez konumuna geri dönemez. Bu durum özellikle uzun periyotlu sistemler için problem teşkil edebilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

$$F_1 \times Z = Z \frac{W}{R_0} D \leq F_2 = \mu W Z \rightarrow \frac{D}{R_0} \leq \mu \quad (3.43)$$

Sürtülmeli sarkaç mesnetlerde titreşimin doğal periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapına bağımlıdır ve periyot kütleden bağımsızdır. Çeşitli sürtülmeli sarkaç mesnetlerin beraber çalışması için kayma yüzeylerinin küresel olması gerekmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_0}{g}} \quad (3.44)$$



Şekil 3.9 Sürtülmeli sarkaç mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

İzolatörün yatay rijitliği taşınan sabit ağırlığın konkav yüzeyin eğrilik yarıçapına bölünmesi ile bulunur.

$$K_H = K_2 = \frac{W}{R_0} \quad (3.45)$$

Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak tanımlanan bir döngüde tüketilen enerji miktarı şu şekilde verilmektedir.

$$W_D = 4\mu WD \quad (3.46)$$

Kayma yüzeylerindeki sürtünmeden oluşan sönüm miktarı (3.47) denklemiyle verilmektedir.

$$\beta_{ef} = \frac{\text{histeretik döngü alanı}}{2\pi K_{ef} D^2} = \frac{4\mu WD}{2\pi D \left[\frac{W}{R_0} D + \mu W \right]} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D}{R_0} + \mu} \quad (3.47)$$

İzolatörün efektif rijitliği (3.48) denklemiyle ifade edilmektedir.

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D} = \frac{W}{R_0} + \mu \frac{W}{D} \quad (D \geq D_y) \quad (3.48)$$

Sürtünmeli sarkaç izolatörün düşey yerdeğiştirmesi (3.49) denklemiyle verilmektedir. Ancak düşey yerdeğiştirme yaklaşık olarak $\delta_v = \frac{1}{2} \frac{D^2}{R}$ şeklinde hesaplanabilmektedir.

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \quad (3.49)$$

Mesnetin düşey rijitliği, üzerindeki sabit yükün düşey yerdeğiştirmeye bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$K_v = \frac{W}{\delta_v} \quad (3.50)$$

4. TABAN İZOLASYONU İÇİN UBC YÖNETMELİĞİ

4.1 Giriş

Ülkemizde yürürlükte olan mevcut yönetmeliklerde taban izolasyonu hakkında herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Dolayısıyla ABD’de bu konuda yürürlükte olan iki ayrı yönetmelikten 1997 yılında yürürlüğe giren UBC yönetmeliği gözden geçirilmiştir. Yürürlükteki diğer yönetmelik olan OSHPD 96 koşulları itibariyle UBC 94’e oldukça benzer hükümler içermektedir. Ayrıca 2000 yılı itibariyle ICC tarafından sunulan ve 2003 yılında güncellenen IBC yönetmeliğinin taban izolasyonu için daha yeni bir yönetmelik olduğu bilinmekle birlikte, tez çalışması kapsamında UBC hükümleri esas alınmıştır. Karayolu yapıları ve köprülerinin izolasyonu için AASHTO yönetmeliği kullanılmaktadır.

UBC yönetmeliği düşey izolasyon, mevcut binaların taban izolasyonu kullanılarak iyileştirilmesi gibi konuları kapsamamakla birlikte bu konularda yaygın olarak kullanılmıştır. İzolasyon sistemleri ile ilgili düzenlemelerde, herhangi bir izolasyon sisteminin kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğu gibi bir hüküm bulunmamaktadır. UBC düzenlemeleri, herhangi bir izolasyon sisteminin gerekli yerdeğiştirme altında kararlı olmasını, artan yerdeğiştirme ihtiyacı altında daha fazla direnç sağlamasını ve tekrarlanmış periyodik yükler altında benzer özellikler göstermesini ister. Şartnamenin amacı sadece yapı maliyetini düşürmek değil, aynı zamanda yapıda oluşacak hasarı kontrol etmektir.

Mevcut yapıların iyileştirilmesindeki sismik tasarım, artan şekilde FEMA 273 ve FEMA 274 düzenlemelerinden etkilenmektedir. FEMA düzenlemeleri UBC 97’ye oldukça benzemekle birlikte, farklı olarak lineer olmayan statik itki analizi veya pushover metodu denilen yeni bir analiz yaklaşımı getirmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

4.2 Sismik Risk Düzeyi

Şartnamenin benimsediği sismik kriter, sismik riske iki seviyeli bir yaklaşımdır.

- Tasarım Amaçlı Deprem (DBE) : 475 yıl tekrar periyotlu ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketi
- Olabilecek En Şiddetli Deprem (MCE) : 1000 yıl tekrar periyotlu ve 100 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketi

4.3 Tasarım Metotları

UBC’nin önceki biçimlerinde, yerdeğiştirmelerin izolasyon seviyesinde yoğunlaştığı ve

böylece üstyapının neredeyse rijit ötelenme hareketi yaptığı basit bir eşdeğer statik yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde tasarım ilk titreşim moduna dayandırılmıştır. Üstyapı için tasarım kuvvetleri tasarım yerdeğiştirmesindeki izolatör kesit tesirlerinden hesaplanmıştır. Yönetmelik geliştikçe, dinamik analiz gerektiren durumlar artırılmış, dinamik analizi teşvik edici unsurlar geliştirilmiştir. Ancak statik analiz hala tüm taban izolasyonu tasarımları için temel bir unsurdur (Naeim ve Kelly, 1999).

Statik analiz, tasarım yerdeğiştirmesi ve tasarım kuvvetleri için asgari seviyeyi tesis etmektedir. Ayrıca statik analiz öntasarım aşamasında ve izolasyon sistemi için yapıda dinamik analiz gerektiren durumlarda da işe yaramaktadır. Hatta bazı durumlarda statik analizden başka bir yöntem kullanmak mümkün olmamaktadır.

4.4 Statik Analiz

Statik analiz formülleri, 1-3 sn. aralığında sabit hız spektrumuna dayanan yerdeğiştirme ve kuvvetler sağlar. UBC 94 ve OSHPD 96'da, sabit hız spektrumu değeri ATC-3-06 düzenlemelerinden türetilmiştir. ($Z=0.40$, Zemin faktörü $S=1$ ve %5 sönüm oranı için 0.60 m/s) Yerdeğiştirme spektrumu şöyle verilmiştir.

$$S_D = \frac{S_v}{\omega} = \frac{T}{2\pi} \frac{Z}{0.4} (0.60) \cong 0.25ZT(m)$$

Daha sonra spektrum, zemin faktörü ve sönüm oranı için diğer sismik bölgeler gözetilerek düzenlenmiştir. Hesaplanacak 3 yerdeğiştirme düzeyi aşağıdaki gibidir.

- Tasarım Yerdeğiştirmesi (D), DBE düzeyindeki bir deprem için izolasyon sisteminin rijitlik merkezinde hesaplanan yerdeğiştirme
- Toplam Yerdeğiştirme (D_T), Binanın köşesindeki bir mesnette burulma bileşenini de içeren yerdeğiştirme
- Toplam En Büyük Yerdeğiştirme (D_{TM}), MCE düzeyindeki bir deprem için toplam tasarım yerdeğiştirmesi

UBC 94 ve OSHPD 96 için D tasarım yerdeğiştirmesi, tüm tasarım sürecinin başlangıç noktası olup, dinamik analiz gereksin veya gerekmesin hesaplanmak zorundadır. Üstyapıdaki şekildeğiştirmelerin ihmal edilebilirliği prensibine dayanarak şöyle verilmiştir.

$$D = \frac{0.25ZNS_1T_1}{B} \quad (4.1)$$

Z : Sismik Bölge Katsayısı

N : Aktif fay yakınlık faktörü

S_I : Zemin Katsayısı

T_I : Efektif Periyot (sn)

B : Sönüm Katsayısı

UBC 97 hükümleri içerik olarak UBC 94'e benzer ancak çok daha karmaşıktır. Pekçok sayıda yeni terim eklenmiştir. Sonuç olarak önceki UBC biçimlerindeki statik analiz hesaplamaları yerini bir dizi tablo tanımlamaları ve formüller dizisine bırakmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

UBC 97'ye göre D_D ve D_M yerdeğiştirmelerinin yani izolasyon sistemi rijitlik merkezinde DBE ve MCE düzeyindeki yerdeğiştirmelerin hesaplanması gerekmektedir.

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (\text{m}) \quad (4.2)$$

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \quad (\text{m}) \quad (4.3)$$

C_{VD} , C_{VM} : Spektral sismik katsayılar

T_D , T_M : DBE ve MCE periyotları

4.4.1 Sismik Bölge Katsayısı

Sismik bölge katsayıları deprem bölgelerine göre aşağıda verildiği şekildedir. UBC'nin önceki biçimlerinde de sözkonusu değerler aynıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

Çizelge 4.1 Sismik bölge katsayısı (UBC 97)

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

4.4.2 Zemin Tipi

S_A dan S_E 'ye kadar zemin tipleri, zeminin üst 30.5 m'sinde ortalama kayma dalgası hızına

göre belirlenirler. Bu hız Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere yumuşak zeminler için 180 m/s’nin altında değerler alabilirken sıkı kaya zeminlerde 1500 m/s’nin üzerinde değerler almaktadır.

Çizelge 4.2 Zemin tipi (UBC 97)

Zemin Tipi	Açıklama	Zeminin Üst 30.5 metresi için Ortalama Özellikler		
		Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Standart Penetrasyon Testi (vuruş sayısı/30.5 m)	Drenajsız Kesme Dayanımı (kPa)
S _A	Sıkı Kaya	> 1500	-	-
S _B	Kaya	760 ~ 1500		
S _C	Çok Sıkı Zemin ve Yumuşak Kaya	360 ~ 760	> 50	> 100
S _D	Sıkı Zemin	180 ~ 360	15 ~ 50	50 ~ 100
S _E	Yumuşak Zemin	< 180	< 15	< 50
S _F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.			

4.4.3 Sismik Kaynak Tipi

Sismik faylar risk durumlarına göre 3 sınıfa ayrılmıştır. Yüksek şiddette deprem üretebilen ve yüksek sismik faaliyete sahip faylar ($M \geq 7$) A tipi olarak tanımlanmıştır. Orta büyüklükte deprem üretebilen ($M < 6.5$) ve göreceli olarak düşük sismik faaliyete sahip faylar C tipindedir. A ve C tipi dışındaki tüm faylar ise B tipindedir.

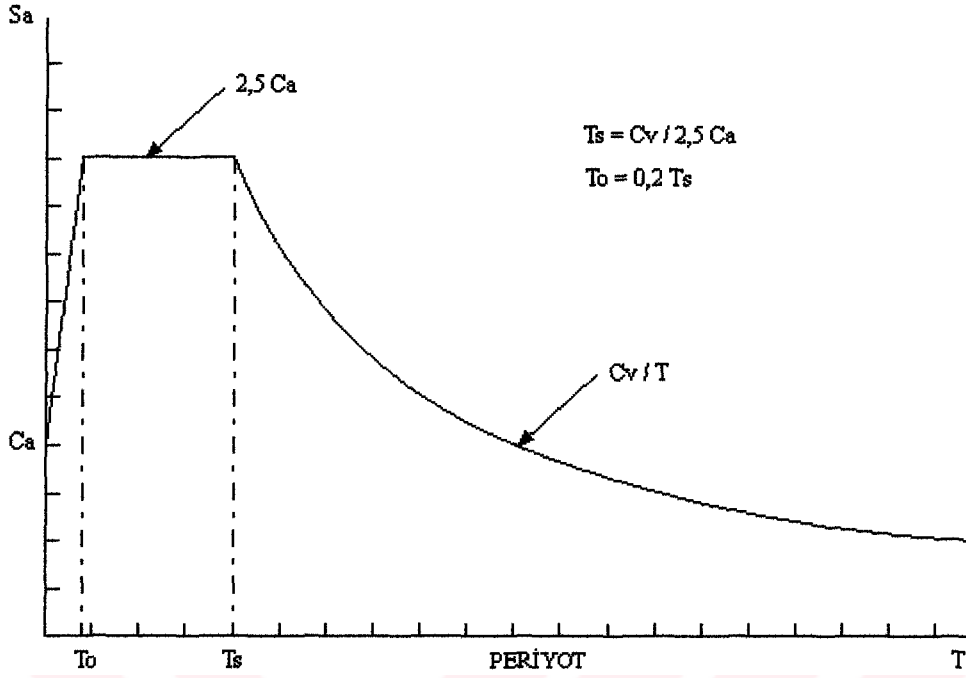
Çizelge 4.3 Sismik kaynak tipi (UBC 97)

Sismik Kaynak Tipi	Açıklama	Sismik Kaynak Tanımlaması	
		En Büyük Deprem Şiddeti (M)	Kayma Oranı (SR) (mm/yıl)
A	Çok şiddetli deprem üretebilen ve yüksek oranda sismik aktivite içeren faylar	$M \geq 7$	$SR \geq 5$
B	A ve C tipi dışındaki tüm faylar	$M \geq 7$ $7 > M \geq 6.5$	$2 < SR < 5$ $SR < 2$
C	Çok şiddetli deprem üretemeyen ve göreceli olarak düşük sismik aktivite içeren faylar	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

4.4.4 Aktif Fay Yakınlık Faktörü

Fay yakınlık etkileri sebebiyle genişleyen yer hareketinin gözönüne alınabilmesi için iki katsayı kullanılır. N_a katsayısı tepki spektrumunun kısa periyotlu sabit ivmeli kısmının karşılığı olarak tasarlanmıştır. N_v katsayısı ise tepki spektrumunun orta periyot aralığında sabit hızlı bölümüne karşı gelmektedir. Aktif fay yakınlık faktörleri sismik kaynağa en yakın

uzaklık ve sismik kaynak tipi parametrelerinin bir fonksiyonudur (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 4.1 UBC 97 spektrum eğrisi (UBC 97)

UBC 97, aktif faya uzaklığı, yapı ile fayın düşeydeki izdüşümü arasındaki en yakın uzaklık olarak tanımlamaktadır. Bu düşey izdüşüme 10 km'den daha derin kaynakların etkisi dahil edilmemektedir. Başka bir deyişle 10 km'den daha derin bir fayın düşey izdüşümü üzerine oturan bir yapı için fay yakınlık faktörü ihmal edilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Çizelge 4.4 Aktif fay yakınlık faktörü (N_a) (UBC 97)

Sismik Kaynak Tipi	Aktif Faya Bilinen En Kısa Uzaklık		
	≤ 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

Çizelge 4.5 Aktif fay yakınlık faktörü (N_v) (UBC 97)

Sismik Kaynak Tipi	Aktif Faya Bilinen En Kısa Uzaklık			
	≤ 2 km	5 km	10 km	> 10 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

4.4.5 MCE Tepki Katsayısı

MCE tepki katsayısı (M_M), DBE düzeyi üzerindeki MCE tepkisinin hesabında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. M_M , ZN_v 'nin bir fonksiyonu olarak tanımlanır. $ZN_v = 0.075$ için 2.67'den $ZN_v \geq 0.50$ için 1.20'ye kadar bir aralıkta değişmektedir.

Çizelge 4.6 MCE tepki katsayısı (UBC 97)

DBE Deprem Şiddeti (ZN_v)	MCE Tepki Katsayısı (M_M)
0.075	2.67
0.150	2.00
0.200	1.75
0.300	1.50
0.40	1.25
≥ 0.50	1.20

4.4.6 Spektral Sismik Katsayılar

Bu katsayılar tasarımda kullanılan en küçük spektral ordinatların tanımlanmasını sağlar. C_{VD} ve C_{AD} DBE spektrumunun sabit hızlı ve sabit ivmeli bölgelerine karşı gelirken C_{VM} ve C_{AM} katsayıları MCE spektrumu için aynı anlamdadır. Taban izolasyonu uygulanan yapılarda C_{VD} ve C_{AD} katsayıları ankastre mesnetli yapılardaki C_v ve C_A katsayıları ile aynıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

Çizelge 4.7 Spektral sismik katsayı (C_{VD}) (UBC 97)

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	$Z=0.075$	$Z=0.150$	$Z=0.200$	$Z=0.300$	$Z=0.400$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
S_F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

Çizelge 4.8 Spektral sismik katsayı (C_{AD}) (UBC 97)

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	Z=0.075	Z=0.150	Z=0.200	Z=0.300	Z=0.400
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32Na
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Na
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40Na
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44Na
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36Na
S_F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

Çizelge 4.9 Spektral sismik katsayı (C_{AM}) (UBC 97)

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	$M_M ZNa=0.075$	$M_M ZNa=0.15$	$M_M ZNa=0.2$	$M_M ZNa=0.3$	$M_M ZNa \geq 0.4$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8M_M ZNa$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0M_M ZNa$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$1.0M_M ZNa$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$1.1M_M ZNa$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.9M_M ZNa$
S_F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

Çizelge 4.10 Spektral sismik katsayı (C_{VM}) (UBC 97)

Zemin Tipi	Sismik Bölge Katsayısı (Z)				
	$M_M ZN_v=0.075$	$M_M ZN_v=0.15$	$M_M ZN_v=0.2$	$M_M ZN_v=0.3$	$M_M ZN_v \geq 0.4$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8M_M ZN_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0M_M ZN_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$1.4M_M ZN_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$1.6M_M ZN_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$2.4M_M ZN_v$
S_F	Yapı bölgesinde yerel zemin incelemesi gereklidir.				

4.4.7 Sönüm Katsayıları

Sistemdeki efektif sönüm (β), DBE tepki düzeyi için β_D ve MCE tepki düzeyi için β_M olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitliklerden hesabedilmektedir.

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{histeretik döngü alanı}}{K_{D_{\max}} D_D^2} \right) \quad (4.4)$$

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{histeretik döngü alanı}}{K_{M_{\max}} D_M^2} \right) \quad (4.5)$$

Çizelge 4.10 Sönüm katsayıları (UBC 97)

Efektif Sönüm Yüzdesi (β_D veya β_M)	B_D veya B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

Çizelge 4.10 değerlerine oldukça yakın bir yaklaşım şu şekilde formüle edilmektedir.

$$\frac{1}{B} = 0.25(1 - \ln \beta) \quad (4.6)$$

4.4.8 Efektif Sistem Periyotları

DBE ve MCE düzeylerindeki cevaba karşı gelen T_D ve T_M periyotları aşağıdaki gibidir. Burada W yapı ağırlığı, g yerçekimi ivmesidir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}g}} \quad (4.7)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin}g}} \quad (4.8)$$

$$K_{Def} = (F_D^+ + F_D^-) / (D_D^+ - D_D^-)$$

$$K_{Mef} = (F_M^+ + F_M^-) / (D_M^+ - D_M^-)$$

K_{Dmin} : Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki K_{Def} 'in en küçük değeri

K_{Dmax} : Test sonucu hesaplanan D_D yerdeğiştirmesindeki K_{Def} 'in en büyük değeri

K_{Mmin} : Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki K_{Mef} 'in en küçük değeri

K_{Mmax} : Test sonucu hesaplanan D_M yerdeğiştirmesindeki K_{Mef} 'in en büyük değeri

Öntasarım aşamasında K_{Dmin} , K_{Dmax} , K_{Mmin} ve K_{Mmax} değerleri bilinmemektedir. Tasarım süreci, K_{ef} 'in, benzer bileşenlerdeki önceki test sonuçlarından veya izolatörün malzeme

karakteristikleri gözönünde bulundurularak elde edilmektedir. Öntasarım yeterli düzeyde tamamlandıktan sonra üretilen mesnet örnekleri test edilmekte ve yukarıdaki K_D ve K_M değerleri test sonuçlarından alınmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

$F_D^+, F_D^-, F_M^+, F_M^-$ ve $D_D^+, D_D^-, D_M^+, D_M^-$ terimleri DBE ve MCE tepki düzeylerine karşı gelen, sistemin mekanik özelliklerini belirleyen prototip mesnetlerin en büyük ve en küçük kuvvet ve yerdeğiştirmeleridir.

4.4.9 Toplam Tasarım Yerdeğiştirmeleri

Burulma etkisini de içeren toplam tasarım yerdeğiştirmeleri şu şekilde verilmektedir.

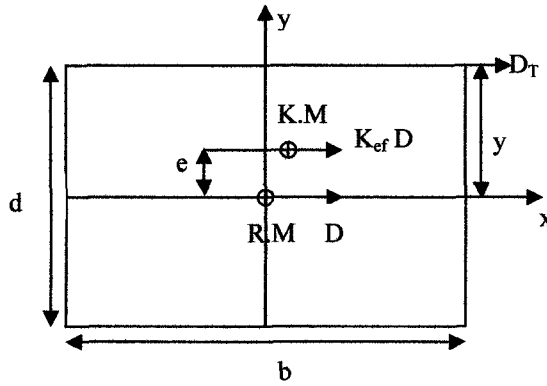
$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.9)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (4.10)$$

e : Gerçek eksantrisite + %5 rastlantısal eksantrisite

y : Sismik yükleme doğrultusuna dik bir köşe noktasına olan uzaklık

$K_{ef}D$ yatay kuvvetinin rijitlik merkezinden e uzaklığındaki kütle merkezine uygulandığı varsayılmaktadır. Gerçek eksantrisite kat rijitlik merkezi ile kat kütle merkezi arasındaki uzaklık olarak tanımlanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 4.2 Burulma etkisinin planda gösterilmesi

Planı dikdörtgen şeklinde olan, $b \times d$ boyutlarında ve izolatörlerin üniform olarak dağıldığı kabul edilen izolasyon sisteminin burulma rijitliği $K_{ef} (b^2 + d^2) / 12$ ve θ dönmesi de şöyledir.

$$\theta = \frac{M_b}{K_\theta} y = \frac{K_{ef} De}{K_{ef} (b^2 + d^2) / 12} y = \frac{12 De}{b^2 + d^2} y$$

θ dönmesinden dolayı oluşan ek yerdeğiştirme $(\frac{12 De}{b^2 + d^2} y)$ teriminin (4.9) ve (4.10) denklemlerinde gözönüne alındığı görülmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Yönetmelik (4.2) ve (4.3) ile verilen D_D ve D_M değerlerinin (4.11) ve (4.12) ile verilen D_D' ve D_M' değerleriyle değiştirilerek, toplam tasarım yerdeğiştirmelerinin azaltılmasına izin vermektedir. Eğer izolasyon sisteminin gerçek burulma rijitliği hesaplanırsa ve bu değer (4.9) ve (4.10) ile verilen denklemlerden küçükse bu denklemlerin kullanılmasına izin verilir ancak $1.1 D_D$ ve $1.1 D_M$ değerlerinden küçük olamaz.

$$D_D' = \frac{D_D}{\sqrt{1 + (T / T_D)^2}} \quad (4.11)$$

$$D_M' = \frac{D_M}{\sqrt{1 + (T / T_M)^2}} \quad (4.12)$$

Yukarıdaki formüllerde T , üstyapı için yönetmelikte ampirik formülle hesaplanan ankastre mesnetli yapı periyotunu ifade etmektedir.

4.4.10 Tasarım Kuvvetleri

İzolasyon seviyesinin altında kalan elemanların tasarımında kullanılacak olan tasarım kuvvetleri tasarım yerdeğiştirmesi cinsindendir ve aşağıda verildiği şekildedir.

$$V_b = K_{Dmax} D_D \quad (4.13)$$

İzolasyon seviyesi üzerinde kalan elemanların tasarımında (4.14) denklemi kullanılmaktadır.

$$V_s = \frac{K_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (4.14)$$

Her durumda V_s şunlardan büyük olmalıdır.

- Hesaplanan en küçük ankastre mesnetli taban kesme kuvvetinden
- Tasarım rüzgar yükünün karşılığı olan taban kesme kuvvetinden
- İzolasyon sistemini tamamen aktif hale geçiren yatay yükün 1.5 katından

UBC 97’de ankastre mesnetli V taban kesme kuvveti şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$0.11C_aIW \leq V = \frac{C_vI}{RT} W \leq \frac{2.5C_aI}{R} W \quad (4.15)$$

Bu denklemde $C_a = C_{AD}$ ve $C_v = C_{VD}$ olup değerleri Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’e göre bulunur. Ayrıca I bina önem katsayısını, R ve T sırasıyla ankastre mesnetli durum için taşıyıcı sistem süneklik katsayısını ve birinci doğal titreşim periyotunu ifade etmektedir. UBC 97’ye göre I değişkeni 1.0 ile 1.25 ve R 2.2 ile 8.5 aralığında farklı değerler almaktadır.

Çizelge 4.11’den görüldüğü üzere süneklik katsayıları ankastre mesnetli duruma göre oldukça küçüktür. Bunun birkaç sebebi bulunmaktadır. Taban izolasyonunda periyot artmakta ve kuvvet talebi azalmaktadır. Eşzamanlı olarak da yapıdaki sönüm histeretik hareket sebebiyle artmaktadır. Elemanlardaki kuvvet uyumu dolayısıyla fazla zorlanan elemanların kuvveti diğerlerine aktarması ile akma diğer elemanlara da yayılmaktadır. Ankastre mesnetli durumda ise sadece uyum ilkesinden bahsedilebilir (Naeim ve Kelly, 1999). Büyük süneklik talepleri, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar anlamına gelebilir. Düşük süneklik talepleri, izole edilmiş yapılar için aynı zamanda hasarın kontrol edilmesi anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.11 Karşılaştırmalı süneklik katsayıları (UBC 97)

Taşıyıcı Sistem	Yatay Kuvveti Karşılayıcı Eleman	R	R _I
Duvar	Betonarme	4.5	2.0
	Yığma	4.5	2.0
Çerçeve	Dışmerkez çelik çaprazlar	7.0	2.0
	Betonarme perde duvarlar	5.5	2.0
	Yığma perde duvarlar	5.5	2.0
	Normal çelik çaprazlar	5.6	1.6
	Özel dışmerkez çelik çaprazlar	6.4	2.0
Moment Taşıyıcı Çerçeve	Süneklik düzeyi yüksek betonarme veya çelik çerçeve	8.5	2.0
	Süneklik düzeyi orta betonarme çerçeve	5.5	2.0
	Süneklik düzeyi düşük betonarme çerçeve	3.5	2.0
Karma	Perde duvar+süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve	8.5	2.0
	Perde duvar+süneklik düzeyi düşük çelik çerçeve	4.2	2.0
Konsol Kolon	Konsol kolon	2.2	1.4

4.4.11 Yatay Kuvvetin Katlara Dağıtılması

UBC’nin önceki biçimlerinde yapı sistemi üzerindeki atalet kuvvetlerinin düşey dağıtımı, yüksek modların ihmal edilebilirliği ve tüm kat seviyelerindeki kat ivmelerinin yaklaşık olarak aynı olacağı kabullerine dayandırılmıştır. Ancak bu kabulün yeterince konservatif

olmadığı düşünülerek UBC'nin sonraki biçimlerinde x düzeyindeki yatay kuvvetin, taban kesme kuvvetinden (V_s) hesaplandığı bir şekle dönüştürülmüştür (Naeim ve Kelly, 1999).

$$F_x = V_s \frac{h_x w_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (4.16)$$

w_x, w_i : x ve i düzeyi kat ağırlığı

h_x, h_i : x ve i düzeyindeki katların izolasyon seviyesinden ölçülen toplam yüksekliği

4.4.12 Göreli Kat Ötelenmeleri

İzole edilmiş yapılarda göreli kat ötelenmeleri $0.010/R_I$ değerini aşmamalıdır. Bu limit değer, periyotu 0.7 sn'den küçük ankastre mesnetli yapılar için $0.025 \times \text{kat yüksekliği}$ ve 0.7 sn'den daha büyük periyotlu ankastre mesnetli yapılar için $0.020 \times \text{kat yüksekliği}$ şeklindedir.

4.5 Dinamik Analiz

Dinamik analiz pekçok durumda gereklidir ve tepki spektrumu analizi veya zaman tanım alanında analiz olarak icra edilebilir.

Aşağıdaki durumlarda yapı bölgesine ait spektrum eğrisi gerekmektedir.

- İzole edilecek yapı yumuşak zeminde bulunuyorsa (S_E ve S_F)
- 10 km ve daha yakında aktif fay hattı bulunuyorsa
- MCE düzeyinde bir deprem için izole edilmiş yapı periyotu 3 sn'den büyükse

Aşağıdaki durumlarda da dinamik analiz gereklidir.

- Yapı bölgesine ait spektrum eğrisi gerekliyse
- Üstyapı yatayda ve düşeyde düzensizse
- Bina 4 kattan daha fazla veya 19.8 m'den daha yüksekse

Zaman tanım alanında analiz, tepki spektrumu analizinin yerine kullanılabilir ancak zaman tanım alanında analiz için en az 3 adet ayrı ivme kaydına ihtiyaç bulunmaktadır. Kayıtlar DBE ve MCE düzeylerindeki depremleri temsil edebilmeli ve ayrıca yapının yerine, zeminine ve deprem kaynağı özelliklerine uygun olarak düzenlenmiş olmalıdır. Yapı için düzenlenen kayıtlar aktif faydan en çok 15 km uzaklıkta kaydedilmiş olmalıdır.

Dinamik analiz ile statik analizden daha küçük yerdeğiştirme ve tasarım kuvvetleri elde edilebilir. Bu konudaki yönetmelik hükümleri aşağıda verildiği gibidir.

Çizelge 4.12 Farklı analiz tipleri için yönetmelik hükümleri

	Statik Analiz	Tepki Spektrumu Analizi	Zaman Tanım Alanında Analiz
D_{TD}	$D_{TD} \geq 1.10D_D$	$0.90 D_{TD}$	$0.90 D_{TD}$
D_{TM}	$D_{TM} \geq 1.10D_M$	$0.80 D_{TM}$	$0.80 D_{TM}$
V_b	$V_b = K_{Dmax} D_D$	$\geq 0.90V_b$	$\geq 0.90V_b$
V_s (Düzenli yapı)	$V_s = K_{Dmax} D_D / R_I$	$\geq 0.80V_s$	$\geq 0.60V_s$
V_s (Düzensiz yapı)	$V_s = K_{Dmax} D_D / R_I$	$\geq 1.00V_s$	$\geq 0.80V_s$
Görelî Yerdeğiştirme	$0.010 / R_I$	$0.015 / R_I$	$0.020 / R_I$

4.6 Yapısal Olmayan Elemanlar

İzolasyon seviyesi üzerinde kalan yapısal olmayan elemanlar D_{TM} yerdeğiştirmesine göre hesaplanırken, izolasyon seviyesi altında kalan elemanlar klasik ankastre mesnetli tasarım metotlarına göre hesaplanabilmektedir. Buna ek olarak çevre koşulları, rüzgar kuvvetleri ve yangına karşı mukavemet gibi konular da tasarımda ele alınması gereken unsurlardır.

4.7 Tasarım ve Örnek İzolatör Testleri Hakkında Bilgiler

UBC yönetmeliği hesapta kullanılan düşey yük ile MCE düzeyindeki sismik yükün etkisinde yapıda oluşan devrilme etkisinin tahkik edilmesini şart koşturmuştur. Bu tahkikin yapılması koşuluyla izolatörler üzerinde kısmen çekme oluşmasına izin verilmektedir. Sistemdeki bazı izolatörler çekme aldığı anda diğer izolatörler üzerinde daha yüksek düşey yük meydana gelmektedir. Eğer bu durum varsa, izolatörler çekme yükü ve artan düşey yük altında test edilmeli ve tasarlanmalıdır (Naeim ve Kelly, 1999).

MCE düzeyindeki bir deprem için $1.2DL+1.0LL+E_{max}$ ile $0.8DL-E_{min}$ yük kombinasyonları ve D_{TM} yerdeğiştirmesi altında izolatörlerin kararlı olması yönetmelik şartıdır. Burada E_{max} en büyük düşey yükü ve E_{min} 'de en küçük düşey yükü veya en büyük çekme yükünü ifade etmektedir.

Taban izolasyonu projelerinde genellikle üstyapı ve izolasyon sisteminin tasarlanması için gerekli bilgi yönetmeliklerin kapsamadığı izolatör test sonuçlarından elde edilmektedir. Öntasarım aşamasından sonra izolatörler imal edilerek, çok kapsamlı bir prototip test programı yürütülür. Yönetmeliğe göre her tip izolatör için en az 2 adet 1/1 ölçeğinde örnek test edilmelidir. Testler küçük yerdeğiştirme döngülerinden en büyük yerdeğiştirme döngülerine kadar $DL+0.5LL$ yük kombinasyonunda yapılmaktadır. En büyük yatay

yerdeğiştirme döngülerinin en büyük ve en küçük düşey yüklerle birlikte olması durumunda bir dizi aşırı yük testi uygulanmaktadır. Bu testler için en büyük düşey yük $1.50DL+0.50LL+E_{max}$ ve en küçük düşey yük de $0.8DL-E_{min}$ olarak tanımlanmıştır. Bazı durumlarda en küçük yükün çekme yükü olma ihtimali mevcuttur.

Kauçuk mesnetlerin bir miktar çekme alma kapasitesi olmasına rağmen test ekipmanları genellikle çekme kuvvetleri ile kayma yerdeğiştirmelerini eşzamanlı olarak uygulayamadığından bu tip bir testi yapmak oldukça zor görölmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Tasarımda çekme kuvvetleri yatay yükün sadece birkaç sıra izolatör ile karşılandığı durumlarda meydana gelmektedir. İzolatörlerin üzerindeki sabit yük çekme kuvvetlerini karşılayamadığında, izolatörler üzerinde yüksek devrilme kuvvetleri oluşmaktadır. Eğer tasarımda, üstyapıdaki kolonlar yatay yüke direnci etkili olarak paylaşırsa, her kolondaki sabit yük çekme kuvveti oluşması ihtimalini ortadan kaldırmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Böylece izolatörlerin çekme altında test edilmesi problemi giderilir. Eğer mesnetlerde çekme ortaya çıkarsa, sadece mesnetler değil, mesnetleri temele bağlayan birleşim elemanları da test edilmek zorundadır.

5. SAP2000 SONLU ELEMENLAR PROGRAMI ve LİNK ELEMANI ÖZELLİKLERİ

5.1 Giriş

CSI firmasının ürettiği Sap2000 sonlu elemanlar programı lineer olmayan sistemlerin modellenmesinde kullanılan elemanlar içermektedir. Bu bölümde taban izolasyonu mesnetlerinin modellenmesinde kullanılan link elemanın genel özellikleri ile histeretik izolatör ve sürtünmeli sarkaç izolatör elemanı özellikleri verilmiştir.

5.2 Link Elemanı

Link elemanı izolatörün lineer ve lineer olmayan davranışının modellenmesi için kullanılmaktadır. Link elemanı sadece lineer olmayan analizlerde lineer olmayan davranış gösterir. Diğer tüm analizlerde ise lineer davranır.

5.2.1 Düğüm Noktası Bağlantısı

Her link elemanı aşağıda belirtilen iki kategoriden birine girer.

- i ve j düğüm noktalarını bağlayan bir yay elemanı (iki düğüm noktasının da 3 boyutlu uzayda aynı koordinatı almasına izin verilir.)
- j düğüm noktasını zemine bağlayan bir yay elemanı

Aşağıdaki durumlarda ise link elemanı sıfır uzunluğunda alınır.

- Tek düğüm noktalı eleman durumu
- i ve j düğüm noktaları arasındaki uzunluğun, tanımlanan sıfır uzunluğundan küçük olması durumu (sıfır uzunluğu, veritabanında ZeroTol değişkeni tarafından kontrol edilir. Program ZeroTol değişkenini 10^{-3} olarak varsaymaktadır ve bu değer kullanıcı tarafından değiştirilebilir.)

5.2.2 Serbestlik Derecesi

Üç boyutlu uzayda her düğüm noktası altı serbestlik dereceli olduğuna göre link elemanı da bağlandığı her düğüm noktasında altı serbestlik derecelidir. Bunlar elemanın 1, 2 ve 3 lokal eksenini doğrultularındaki ötelenme ve dönme serbestlikleridir. Sistemde herhangi bir serbestlik derecesine yük veya rijitlik uygulandığında, sınırlanmamış ve kısıtlanmamış tüm aktif serbestlik dereceleri analize dahil edilmektedir.

5.2.3 Lokal Eksen Takımı

Her link elemanın kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerinin tanımlandığı lokal eksen takımı bulunmaktadır. Lokal eksen takımının eksenleri 1, 2 ve 3 ile ifade edilir. Lokal eksen takımı ve bunun global eksen takımı (X, Y, Z) ile ilişkisi analizin doğruluğu ve yorumlanması açısından önemlidir.

5.2.3.1 Lokal 1 Eksen

Eksenel şekildeğiştirmenin karşılığı olan lokal 1 eksen, eleman uzunluğu doğrultusundadır. Bu eksen şu şekilde tanımlanır.

- Sonlu uzunluktaki elemanlar için bu eksen, i düğüm noktasını j düğüm noktasına bağlayan doğrultudur.
- Sıfır uzunluklu elemanlarda ise lokal 1 eksen +Z global eksen doğrultusudur.

5.2.3.2 Lokal 2 ve 3 Eksenleri

2 ve 3 lokal eksenleri, 1 lokal eksen ile global Z eksen arasındaki ilişkiden belirlenir. Buradaki yöntem çubuk elemanlar ile özdeştir.

- 1-2 lokal düzlemi global Z eksenine paraleldir.
- Eleman yataysa lokal 2 eksen +Z doğrultusundadır. Eleman düşeyse lokal 2 eksen +X doğrultusundadır.
- Lokal 3 eksen daima yatay düzlemindedir.

Lokal 1 ve Z eksenleri arasındaki açının sinüsü 10^{-3} 'den küçük olan tüm elemanlar düşey kabul edilir.

5.2.4 Eleman Şekildeğiştirmeleri

Link elemanı için altı adet bağımsız şekildeğiştirme tanımlanmaktadır. Bunlar j düğüm noktasının, çift düğüm noktalı durumda i düğüm noktasına, tek düğüm noktalı durumda zemine göre göreli yerdeğiştirmelerinden hesaplanır. (eksenel, burulma, kesme ve eğilme şekildeğiştirmeleri)

İki düğüm noktalı link elemanı için şekildeğiştirme ifadeleri şu şekilde tanımlanır.

Eksenel şekildeğiştirme: $d_{u1} = u_{1j} - u_{1i}$

1-2 düzleminde kesme: $d_{u2} = u_{2j} - u_{2i} - d_{j2}r_{3j} - (L - d_{j2})r_{3i}$

1-3 düzleminde kesme: $d_{u3} = u_{3j} - u_{3i} - d_{j3}r_{2j} - (L - d_{j3})r_{2i}$

Burulma: $d_{r1} = r_{1j} - r_{1i}$

1-3 düzleminde salt eğilme: $d_{r2} = r_{2i} - r_{2j}$

1-2 düzleminde salt eğilme: $d_{r3} = r_{3j} - r_{3i}$

$u_{1i}, u_{2i}, u_{3i}, r_{1i}, r_{2i}, r_{3i}$: i düğüm noktasındaki ötelenme ve dönme değerleri

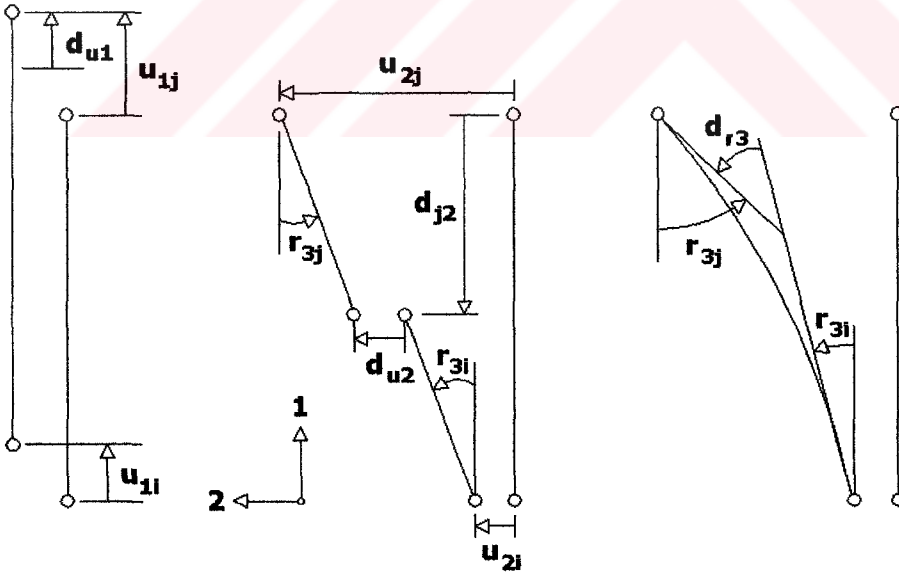
$u_{1j}, u_{2j}, u_{3j}, r_{1j}, r_{2j}, r_{3j}$: j düğüm noktasındaki ötelenme ve dönme değerleri

d_{j2} : d_{u2} nin hesaplanacağı noktanın, j düğüm noktasından itibaren uzaklığı

d_{j3} : d_{u3} nin hesaplanacağı noktanın, j düğüm noktasından itibaren uzaklığı

L: eleman boyu

d_{j2} ve d_{j3} değerleri programda sıfır olarak varsayılır ancak bu değerler kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Altı adet şekildeğiştirme ifadesinin üç tanesi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Eksenel, kayma ve eğilme şekildeğiştirmeleri

Tek düğüm noktalı yay elemanı durumunda ise yukarıdaki altı adet ifadede, i düğüm noktasındaki ötelenme ve dönme değerleri sıfır olarak alınır.

5.2.5 Nlprop Özellikleri

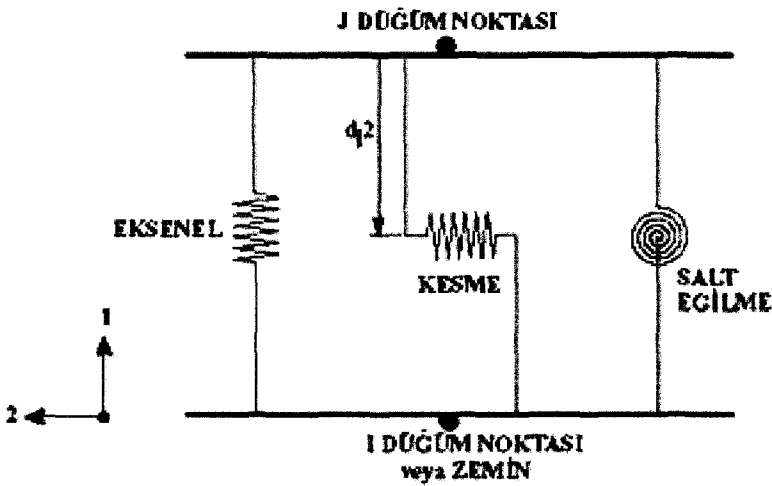
Nlprop, link elemanı ile birlikte çalışan bir dizi yapısal özellikler olup bir veya birkaç link elemanının davranışının tanımlanması için kullanılır. Her Nlprop, yukarıda bahsedilen altı şekildeğiştirme durumu için birtakım lineer özellikleri ve tercihen lineer olmayan kuvvet-şekildeğiştirme ilişkilerini ifade eder. Lineer olmayan özellikler sadece lineer olmayan analizlerde kullanılır.

Nlprop, belirtilen efektif rijitlik ve efektif sönüm parametrelerini tüm lineer analizlerde kullanılır. Lineer olmayan özelliklerin belirtilmediği durumlarda efektif rijitlik değeri lineer olmayan analizlerde tüm serbestlik dereceleri için kullanılabilir. Efektif sönüm hiçbir zaman, zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerde kullanılmaz. Kütle ve ağırlık özellikleri de ayrıca belirtilebilir. Nlprop, link elemanının lokal eksen takımını kullanır.

5.2.5.1 Lineer Olmayan Yaylar

Her Nlprop'un, her şekildeğiştirme durumuna karşı gelen bir tane olmak üzere toplam altı adet lineer olmayan yayın birleşiminden oluştuğu varsayılır. Her yay, aslında birkaç yay ve amortisör parçasının bileşiminden de oluşabilir. Bu yayların kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri birbirine bağımlı ya da bağımsız da olabilir.

Şekil 5.2'de eksenel, 1-2 düzleminde kesme ve 1-2 düzleminde salt eğilme olmak üzere, bir link elemanında birbirinden bağımsız toplam üç şekildeğiştirme için yay idealizasyonunu göstermektedir.



Şekil 5.2 Link elemanında yay idealizasyonu

Kesme yayının j düğüm noktasından d_{j2} uzaklığında olması önem taşımaktadır. Tüm kesme

şekildeğiştirmesinin bu yayda oluşacağı varsayılmaktadır. Bu yayı diğer düğüm noktalarına veya zemine bağlayan link elemanları kesmede rijittir. Kesme yayındaki şekildeğiştirme, düğüm noktalarının ötelenmesi yüzünden oluşacağı gibi dönmesi yüzünden de oluşabilir. Bu yay elemanındaki kuvvet, uzunluk boyunca lineer olarak değişen moment oluşturacaktır. Bu moment, kesme yayında sıfırdır ve moment mafsalı gibi davranır. Kesmeden dolayı oluşan moment, salt eğilme yayındaki momentten bağımsızdır ve ayrıca momente katkı yapar. 1-3 düzlemindeki kesme yayı, j düğüm noktasından d_{j3} uzaklığında olacaktır. d_{j2} ve d_{j3} farklı değerler alabilmektedir.

5.2.5.2 Yay Kuvveti-Şekildeğiştirme İlişkileri

Her bir yay için bir adet olmak üzere toplam altı adet kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi yazılır.

Eksenel : d_{u1} için f_{u1}

Kayma : d_{u2} için f_{u2} ; d_{u3} için f_{u3}

Burulma : d_{r1} için f_{r1}

Salt eğilme : d_{r2} için f_{r2} ; d_{r3} için f_{r3}

Yukarıdaki f_{u1} , f_{u2} , f_{u3} terimleri yay kuvvetlerini, f_{r1} , f_{r2} , f_{r3} terimleri ise yay momentlerini ifade etmektedir. Tüm bu ilişkiler, verilen Nlprop için sıfır, sadece lineer veya lineer olmayan kombinasyonlarda olabilir.

5.2.5.3 Eleman İç Kuvvetleri

Link elemanı iç kuvvetleri P, V2, V3 ve momentleri T, M2, M3 şöyle bulunur.

Eksenel : $P = f_{u1}$

1-2 düzleminde kesme : $V2 = f_{u2}$, $M3_s = (d - d_{j2}) f_{u2}$

1-3 düzleminde kesme : $V3 = f_{u3}$, $M2_s = (d - d_{j3}) f_{u3}$

Burulma : $T = f_{r1}$

1-3 düzleminde salt eğilme : $M2_b = f_{r2}$

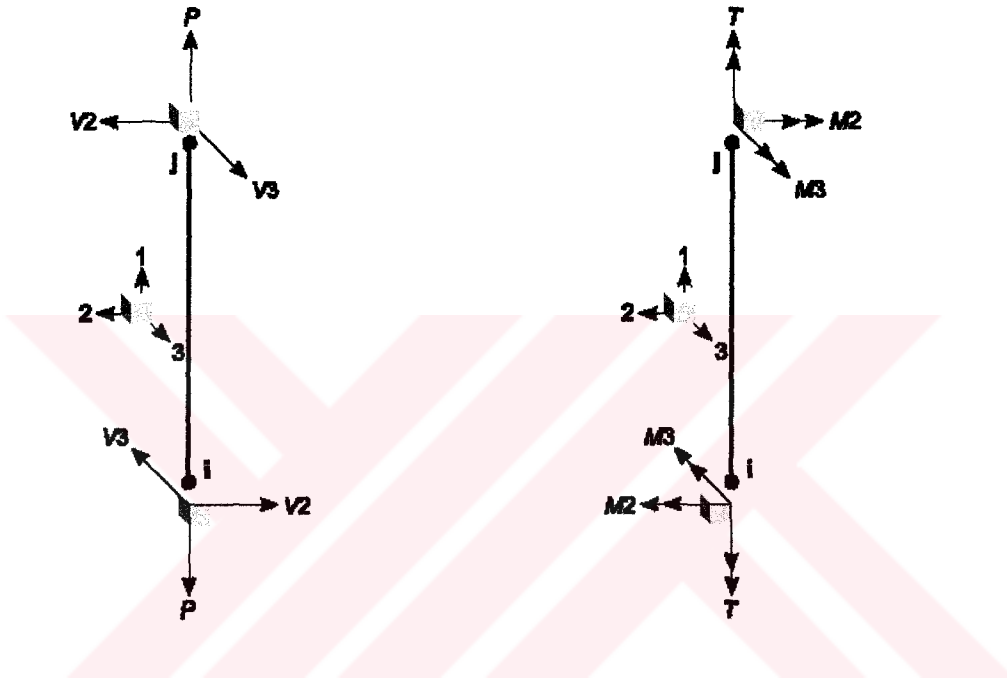
1-2 düzleminde salt eğilme : $M3_b = f_{r3}$

Yukarıdaki ifadelerde d, j düğüm noktasından uzaklığı ifade eder. Eğilme momenti ifadelerini kesmeden ve salt eğilmeden gelen terimler oluşturur.

$$M_2 = M_{2s} + M_{2b}$$

$$M_3 = M_{3s} + M_{3b}$$

Bu iç kuvvetler ve momentler, elemanın uzunluğu boyunca alınan tüm kesitlerde bulunmaktadır. Aşağıda link elemanının düğüm noktalarındaki iç kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Link elemanında iç kuvvetler

5.2.5.4 Lineer Kuvvet-Şekildeğiştirme İlişkileri

Eğer her bir yay lineer davranırsa, yay kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri matris formunda şöyle ifade edilir.

$$\begin{Bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{u1} \\ d_{u2} \\ d_{u3} \\ d_{r1} \\ d_{r2} \\ d_{r3} \end{Bmatrix} \quad (5.1)$$

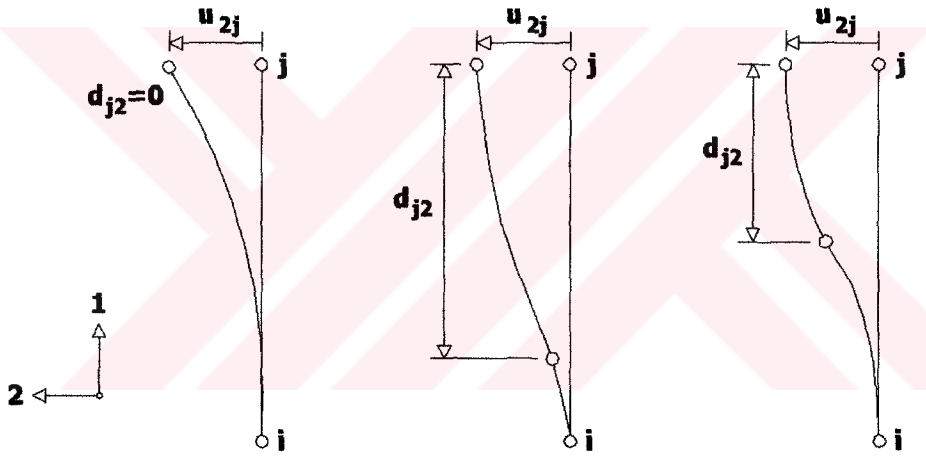
$k_{u1}, k_{u2}, k_{u3}, k_{r1}, k_{r2}, k_{r3}$: Yayların lineer rijitlik katsayıları

5.2.5.5 Lineer Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkileri

Yukarıdaki ifadeden kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi elde edilmektedir. Tek düğüm noktalı bir eleman için j düğüm noktasındaki kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{Bmatrix} P \\ V2 \\ V3 \\ T \\ M2 \\ M3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & -d_{j2}k_{u2} \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & -d_{j3}k_{u3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -d_{j3}k_{u3} & 0 & k_{r2} + d_{j3}^2 k_{u3} & 0 \\ 0 & -d_{j2}k_{u2} & 0 & 0 & 0 & k_{r3} + d_{j2}^2 k_{u2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ r_1 \\ -r_2 \\ r_3 \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

Yukarıdaki kuvvet-yerdeğiştirme bağıntısı, i düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeleri sıfır olan iki düğüm noktalı eleman için de geçerlidir. 1-2 düzleminde j düğüm noktasından d_{j2} uzaklığındaki eğilme mafsalsına sahip bir elemanda, salt eğilme rijitliği sıfır olmaktadır.



Şekil 5.4 Eğilme mafsalsının elemanda farklı yerlerde olması halleri ve mafsalsız durum

5.2.5.6 Lineer Efektif Rijitlik

Her Nlprop için, her bir yay için bir adet olmak üzere toplam altı adet lineer efektif rijitlik katsayısı (k_e) tanımlanabilir. Lineer efektif rijitlik, link elemanının tüm lineer analizlerdeki toplam elastik rijitliğini belirler. Lineer efektif rijitlik aynı zamanda lineer olmayan bir analiz boyunca tüm lineer serbestlik dereceleri için kullanılır.

Efektif rijitlik özellikleri, zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerde, lineer olmayan serbestlik dereceleri için kullanılmaz. Ancak, zaman tanım alanında lineer olmayan modal analiz, efektif rijitliğe bağlı olarak hesap edilen titreşim periyotlarının hesabında bu özellikleri kullanır.

UBC 94 ve benzeri bir yönetmeliğe göre yapılan çözümlemelerde, efektif rijitlik genellikle yönetmelikçe tanımlanan en büyük efektif rijitlik değeri olarak alınmalıdır.

5.2.5.7 Lineer Efektif Sönüm

Her Nlprop için, her bir yay için bir adet olmak üzere toplam altı adet lineer efektif sönüm katsayısı tanımlanabilir. Lineer efektif sönüm katsayıları program tarafından sıfır olarak varsayılır ve kullanıcı tarafından değiştirilebilir.

Lineer efektif sönüm, link elemanı için tepki spektrumu analizi, zaman tanım alanında lineer analiz ve zaman tanım alanında periyodik analiz için toplam viskoz sönümü temsil eder. Bu analizlerde lineer olmayan özellikler reddedilir. Efektif sönüm ayrıca plastisite ve sürtünme yüzünden oluşan enerji sönümlenmesi gibi lineer olmayan sönümleri de temsil edebilir.

Efektif sönüm değerleri, orantılı sönüm kabulü ile efektif modal sönüm oranlarına dönüştürülür. Bu efektif modal sönüm oranları daha sonra kullanıcı tarafından tanımlanan modal sönüm oranıyla toplanır. Program, herhangi bir mod için toplam sönüm oranının %99,995 i geçmesine izin vermez.

Analize eklenen enerji sönümlenme elemanlarının etkisinin belirlenmesinde, zaman tanım alanında lineer olmayan analiz şiddetle tavsiye edilmektedir. Zaman tanım alanında lineer olmayan analiz, enerji sönümlenmesi hesaplamalarında efektif sönüm değerlerini kullanmamaktadır.

5.2.6 Nlprop Özellikleri-Linear Olmayan Tipler

Her Nlprop için lineer olmayan özellikler, aşağıda belirtilen çeşitli tiplerden birisi olmak zorundadır.

- Multi-Linear Elastisite
- Gap (Salt basınç)
- Hook (Salt çekme)
- Viskoz Sönüm
- Wen Plastisite
- Multi-Linear Kinematik Plastisite
- Histeretik İzolatör
- Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

Lineer olmayan bir analiz boyunca aşağıdaki özellikler geçerlidir.

- Lineer olmayan özelliklerin tanımlandığı tüm serbestlik derecelerinde lineer olmayan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri kullanılır.
- Lineer olmayan özelliklerin tanımlanmadığı diğer tüm serbestlik derecelerinde lineer olan özellikler kullanılır.
- Lineer olmayan özellikler diğer analizlerde hiçbir zaman kullanılmaz.

5.2.6.1 Histeretik İzolatör Tipi

Histeretik izolatör tipi, iki kayma şekildeğiştirmesi durumu için lineer olmayan davranış gösteren ve geri kalan dört şekildeğiştirme durumu için de lineer özellikte, çift eksenli histeretik izolatördür. Plastisite modeli, Wen (Wen, 1976) ve Park, Wen ve Ang (Park vd., 1986) tarafından önerilen histeretik davranışlara ve Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou (Nagarajaiah vd., 1991) tarafından önerilen taban izolasyonu tavsiyelerine dayanır.

Her iki kayma serbestlik derecesinde, lineer veya lineer olmayan davranış birbirinden bağımsız olarak ifade edilebilir.

- Eğer her iki kayma serbestlik derecesi de lineer değilse, kuvvet-şekildeğiştirme ilişkisi aşağıda verildiği şekildedir.

$$f_{u2} = \text{oran2} \cdot k2 \cdot d_{u2} + (1 - \text{oran2}) \cdot \text{akma2} \cdot z_2$$

$$f_{u3} = \text{oran3} \cdot k3 \cdot d_{u3} + (1 - \text{oran3}) \cdot \text{akma3} \cdot z_3$$

$k2, k3$: Elastik yay sabitleri, elastik rijitlik

$\text{akma2}, \text{akma3}$: Akma kuvvetleri

$\text{oran2}, \text{oran3}$: Akma sonrası rijitliğin elastik rijitliğe oranı

z_2, z_3 : Histeretik değişkenler

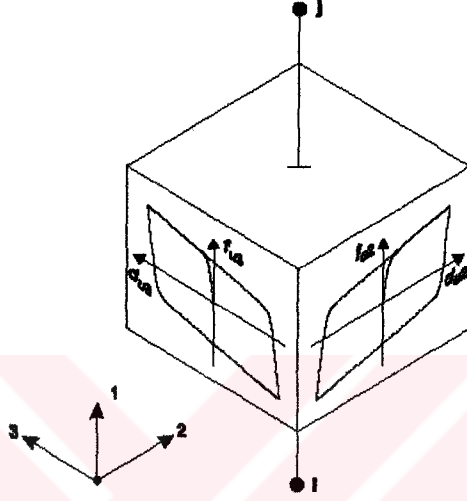
Histeretik değişkenler, $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ şeklinde tanımlanan akma yüzeyinde, $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ ifadesini sağlayan değerler alırlar. z_2, z_3 değişkenlerinin ilk değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denklemlere göre değişirler.

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k2}{\text{akma2}} \dot{d}_{u2} \\ \frac{k3}{\text{akma3}} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

a_2 ve a_3 değerleri de şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$a_2 = \begin{cases} 1 \left(\dot{d}_{u2} z_2 > 0 \right) \\ 0 \text{ (aksi durum)} \end{cases} ; a_3 = \begin{cases} 1 \left(\dot{d}_{u3} z_3 > 0 \right) \\ 0 \text{ (aksi durum)} \end{cases}$$

Bu denklemler, $A=1$ ve $\beta, \gamma = 0.5$ için Park, Wen, Ang (Park vd., 1986) denklemlerine eşdeğerdir.



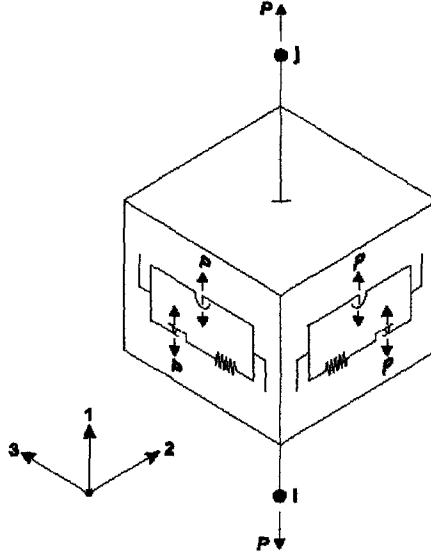
Şekil 5.5 Histeretik izolatör için çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu

- Eğer tek kayma serbestlik derecesi de lineer değilse, o serbestlik derecesi için denklemler multi-lineer kinematik plastisite tipine dönüşmektedir.

5.2.6.2 Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Tipi

Sürtünmeli sarkaç izolatör tipi, iki kayma şekildeğiştirmesi için eşlenik sürtünme özelliğinde, kayma yüzeylerinin eğrilik yarıçapı sebebiyle kayma doğrultularında kayma sonrası rijitliği olan, eksenel doğrultuda boşluk (gap) davranışı gösteren ve üç moment şekildeğiştirmesi için de lineer efektif rijitlik özelliği gösteren çift eksenli sarkaç izolatördür.

Bu eleman etkileşim yüzeylerindeki boşluk ve sürtünme davranışının birlikte modellenmesi için de kullanılabilir. Sürtünme modeli Wen (Wen, 1976), Park, Wen ve Ang (Park vd., 1986) tarafından önerilen histeretik davranışa ve Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou (Nagarajaiah vd., 1991) tarafından önerilen taban izolasyonu tavsiyelerine dayanmaktadır. Sarkaç davranışı ise Zayas, Low (Zayas ve Low, 1990) tarafından önerildiği şekildedir. Sürtünme kuvvetleri ve sarkaç kuvvetleri elemandaki eksenel basınç yükü ile orantılıdır. Eleman, eksenel çekme kuvveti alamaz.



Şekil 5.6 Sürtünmeli sarkaç izolatör tipi için çift eksenli kayma davranışı idealizasyonu

P eksenel kuvveti daima lineer değildir ve aşağıda verildiği şekildedir.

$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} k1 d_{u1} & d_{u1} < 0 \\ 0 & d_{u1} > 0 \end{cases}$$

$k1$ rijitliği, elemanda lineer olmayan kesme kuvveti üretilmesi için daima pozitif olmalıdır.

Her bir kayma serbetlik derecesi için lineer veya lineer olmayan davranış birbirinden bağımsız olarak tanımlanabilir.

- Eğer her iki kayma serbetlik derecesi de lineer değilse, her kayma serbetlik derecesi için sürtünme ve sarkaç etkileri birbirine paralel davranış gösterir.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p}$$

$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p}$$

Sürtünme kuvveti-şekildeğiştirme ilişkileri aşağıda verildiği gibidir.

$$f_{u2f} = -P \mu_2 z_2$$

$$f_{u3f} = -P \mu_3 z_3$$

Burada μ değişkenleri sürtünme katsayılarını ve z de histeretik değişkenleri ifade eder.

Aşağıda verildiği şekilde sürtünme katsayıları hıza bağlıdır.

$$\mu_2 = \text{fast2} - (\text{fast2} - \text{slow2}) e^{-r v}$$

$$\mu_3 = \text{fast3} - (\text{fast3} - \text{slow3}) e^{-r v}$$

Yukarıdaki slow2 ve slow3 statik durumdaki yani sıfır hızındaki sürtünme katsayılarını, fast2 ve fast3 ise yüksek hızlardaki sürtünme katsayılarını ifade eder. v değişkeni ise eşdeğer kayma hızını ifade eder ve aşağıda verildiği şekilde hesap edilir.

$$v = \sqrt{\dot{d}_{u2}^2 + \dot{d}_{u3}^2}$$

r değişkeni, efektif ters hızını ifade eder ve aşağıda verildiği gibidir.

$$r = \frac{\text{oran2} \dot{d}_{u2}^2 + \text{oran3} \dot{d}_{u3}^2}{v^2}$$

Burada oran2 ve oran3 parametreleri, karakteristik kayma hızının tersini ifade eder. Teflon-çelik alaşımlı bir yüzey için sürtünme katsayısı normal olarak kayma hızı ile artar. Histeretik değişkenler, $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ şeklinde tanımlanan akma yüzeyinde, $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ ifadesini sağlayan değerler alırlar. z_2 , z_3 değişkenlerinin başlangıç değerleri sıfırdır ve aşağıdaki diferansiyel denklemlere göre değişirler.

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2}{P \mu_2} \dot{d}_{u2} \\ \frac{k_3}{P \mu_3} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

Burada k_2 ve k_3 değişkenleri, kaymanın olmadığı durumunda kayıcının elastik kayma rijitliklerini ifade eder ve a değişkenleri de aşağıda verildiği şekildedir.

$$a_2 = \begin{cases} 1 \left(\dot{d}_{u2} z_2 > 0 \right) \\ 0 \left(\text{aksi durum} \right) \end{cases} ; a_3 = \begin{cases} 1 \left(\dot{d}_{u3} z_3 > 0 \right) \\ 0 \left(\text{aksi durum} \right) \end{cases}$$

Bu denklemler, $A=1$ ve $\beta, \gamma = 0.5$ için Park, Wen, Ang (Park vd., 1986) denklemlerine eşdeğerdir.

Bu sürtünme modeli, sıfıra eşit olmayan tüm kesme kuvveti değerleri için biraz kaymaya izin verir. Kaymanın büyüklüğü, kesme kuvveti akma seviyesi olan $P\mu$ değerine yaklaştıkça çok

daha büyür. Düşük kesme kuvveti seviyelerindeki kayma, elastik kayma rijitliğinin büyük değerleri kullanılarak minimize edilebilir.

Sarkaç kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri aşağıda verildiği şekildedir.

$$f_{u2p} = -P \frac{d_{u2}}{\text{yarıçap2}}$$

$$f_{u3p} = -P \frac{d_{u3}}{\text{yarıçap3}}$$

Burada eğrilik yarıçapının sıfır değerini alması durumu, kayma yüzeyinin düz olduğunu ve karşı gelen kesme kuvvetinin de sıfır olduğunu gösterir. Normal olarak ya her iki kayma doğrultusundaki eğrilik yarıçapı birbirine eşit olacaktır (küresel kayma yüzeyi) veya yüzey tek eğrilikli olacaktır (silindirik kayma yüzeyi). Yine de sıfır olmayan eğrilik yarıçaplarının birbirinden farklı olmasına izin verilir yani her iki durum da gözönüne alınabilir.

- Eğer tek kayma serbestlik derecesi lineer değilse, yukarıdaki sürtünme denklemleri aşağıdaki denkleme indirgenmiş olur.

$$f_f = -P \mu z$$

$$\mu = \text{fast} - (\text{fast} - \text{slow}) e^{-\text{oran } d}$$

$$\dot{z} = \frac{k}{P\mu} \begin{cases} \dot{d} (1 - z^2) & (\dot{d} z > 0) \\ \dot{d} & (\text{aksi durum}) \end{cases}$$

Lineer yay ilişkileri, tüm moment serbestliklerine ve lineer olmayan özelliklerin belirtilmediği herhangi bir kayma serbestliğine uygulanır. Tüm lineer serbestlik dereceleri, karşı gelen efektif rijitlik değerlerini kullanır ve bu değerler sıfır olabilir. Eksenel serbestlik lineer olmayan analizler için daima lineer olmayan davranış gösterir.

Çizelge 6.1 Düşey yük analizleri

Beton birim hacim ağırlığı	25 kN/m ³
Döşeme kaplaması	1.2 kN/m ²
Şap betonu (1 cm. kalınlıklı)	0.22 kN/m ²
İç duvarlar	1.5 kN/m ²
Dış duvarlar	3.5 kN/m ²
Hareketli yükler (döşeme)	3.5 kN/m ²
Hareketli yükler (kar)	0.75 kN/m ²

6.2 Yapının Matematik Modelinin Kurulması

Mevcut yapı düşey ve yatay yük analizlerinde kullanılmak üzere çubuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Yapının kolon kiriş birleşim noktaları modellemeyi kolaylaştırmak açısından sonsuz rijitlikli mesnet bölgeleri olarak düşünülmüştür. Mevcut beton BS16 kalitesinde olduğu için analizlerde kullanılan elastisite modülü 27000 MPa değeridir. Döşemelerin yatayda sonsuz rijit olduğu kabul edilerek, kat hizalarındaki düğüm noktalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Düşey yüklerin döşemelerden kirişlere dağıtılmasında yüklerin üçgen formları olduğu gibi esas alınmıştır.

Döşemelerin kirişlerin eğilme rijitliğine katkısını yansıtmak için kiriş kesitleri tablalı olarak gözönüne alınmıştır. Bu konuda TS500 kriterleri esas alınarak kirişlerin etkili tabla genişlikleri belirlenmiştir.

Düşey yükler aşağıdaki yükleme durumlarında sınıflandırılmıştır.

- G Yüklemesi : Döşeme, duvar ve taşıyıcı sistem elemanları zati yükleri
- Q Yüklemesi : Hareketli yükler

Yapının düşey yük analizi sonucunda bulunan ve serbest titreşim analizinde kullanılacak olan kat ağırlıkları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Yapı hastane binası olduğundan ABYYHY 98’e göre hareketli yük katılım katsayısı 0.30 olarak alınmıştır.

Çizelge 6.2 Kat ağırlıklarının bulunması

Kat	G (kN)	Q (kN)	W (kN)
1	8135.28	2646	8929.08
2	8135.28	2646	8929.08
3	5530.38	587	5706.48
Σ	21800.94	5879	23564.64

Hesaplanan kat ağırlıkları kullanılarak yapının serbest titreşim analizi yapılmıştır. Serbest

titreşim analizi sonucunda yapının birinci doğal titreşim periyodu $T_{1x}=0.611$ sn ve $T_{1y}=0.607$ sn olarak elde edilmiştir.

Taban izolasyonu uygulanacak yapının ankastre mesnetli durumdaki taban kesme kuvveti ABYYHY ve UBC yönetmeliklerine göre hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre UBC yönetmeliğinin daha konservatif olduğu görülmüştür.

6.2.1 ABYYHY 98'e Göre Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

ABYYHY 98'e göre taban kesme kuvvetinin hesabında gözönüne alınan büyüklükler Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Taban kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan büyüklükler

A_0	0.40
I	1.50
R	4
T_A	0.15
T_B	0.40

$$T_{1x} = 0.611 > T_B = 0.40 \rightarrow S(T_1)_x = 2.5 (T_B / T)^{0.8} = 1.7814$$

$$T_{1y} = 0.607 > T_B = 0.40 \rightarrow S(T_1)_y = 2.5 (T_B / T)^{0.8} = 1.7908$$

$$T_{1x} = 0.611 > T_A = 0.15 \rightarrow R_a(T_1)_x = R = 4$$

$$T_{1y} = 0.607 > T_A = 0.15 \rightarrow R_a(T_1)_y = R = 4$$

$$A(T_1)_x = A_0 I S(T_1)_x = 1.069$$

$$A(T_1)_y = A_0 I S(T_1)_y = 1.075$$

$$V_{tx} = \frac{A(T_1)_x}{R_a(T_1)_x} W = \frac{1.069}{4} 23564.64 = 6298 \text{ kN} = \% 26.7 W$$

$$V_{ty} = \frac{A(T_1)_y}{R_a(T_1)_y} W = \frac{1.075}{4} 23564.64 = 6333 \text{ kN} = \% 26.9 W$$

6.2.2 UBC 97 Yönetmeliğine Göre Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

UBC 97'de deprem bölgesi 4, ABYYHY 1. derece deprem bölgesine karşı gelmektedir. Dolayısıyla sismik bölge katsayısı $Z = 0.40$ olarak alınmıştır. Yönetmeliğe göre bina önem

katsayısı $I = 1.25$ ve taşıyıcı sistem süneklik katsayısı $R = 3.5$ olarak alınmıştır.

Yerel zemin sınıfı Z2'ye karşılık olarak S_c zemin tipi seçilmiş ve sismik kaynak tipi A olarak gözönüne alınmıştır. Yapı bölgesindeki aktif fayın yapıya 10 km'den daha yakın olmadığı varsayılmıştır. Dolayısıyla aktif fay yakınlık çarpanları Çizelge 4.4'den $N_a = 1$ ve Çizelge 4.5'den $N_v = 1$ olarak alınmıştır.

$Z N_v = 0.40$ için MCE tepki katsayısı Çizelge 4.6'dan $M_M = 1.25$

S_c ve $Z = 0.40$ için Çizelge 4.8'den $C_A = C_{AD} = 0.40 \times N_a = 0.40$

S_c ve $Z = 0.40$ için Çizelge 4.7'den $C_V = C_{VD} = 0.56 \times N_v = 0.56$

$M_M Z N_a = 0.50$ ve S_c için Çizelge 4.9'dan $C_{AM} = 1.0 M_M Z N_a = 0.50$

$M_M Z N_v = 0.50$ ve S_c için Çizelge 4.10'dan $C_{VM} = 1.4 M_M Z N_v = 0.70$

Yukarıdaki veriler kullanılarak her iki deprem doğrultusu için de taban kesme kuvveti (4.15) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$2.5 \frac{C_a I}{R} W = 8416 \text{ kN} > V_{ix} = \frac{C_v I}{R T_{ix}} W = 7714 \text{ kN} = \%32.7 W > 0.11 C_a I W = 1296 \text{ kN}$$

$$2.5 \frac{C_a I}{R} W = 8416 \text{ kN} > V_{iy} = \frac{C_v I}{R T_{iy}} W = 7764 \text{ kN} = \%33 W \geq 0.11 C_a I W = 1296 \text{ kN}$$

Görüldüğü üzere UBC yönetmeliğine göre hesaplanan yatay kuvvetler, ABYYHY 98'e göre hesaplanan yatay kuvvet değerlerinden yapı ağırlığının yaklaşık %6'sı kadar daha büyüktür. Her iki doğrultuda hesaplanan taban kesme kuvvetleri birbirine oldukça yakın olduğundan hesap kolaylığı açısından elverişsiz olan değer gözönüne alınmıştır. Taban kesme kuvveti (4.16) denklemiyle katlara dağıtılmıştır.

Çizelge 6.4 Ankastre mesnetli durumda kat kuvvetleri

Kat	h (m)	W (kN)	$h_i \times W_i$	F (kN)	e_x (m)	e_y (m)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)
1	4.2	8929.08	37502.136	1578.9	0.9	2.1	1421.03	3315.74
2	8.4	8929.08	75004.272	3157.9	0.9	2.1	2842.07	6631.49
3	12.6	5706.48	71901.648	3027.2	0.9	2.1	2724.50	6357.17
		Σ	184332.46	7764				

6.3 Farklı İzolasyon Mesnetleri Kullanılarak Yapılan Çözümler ve Lineer Olmayan Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Kurulması

3 katlı hastane binasına taban izolasyonu uyguladığımızda ankastre mesnetli çözümde gözönüne almadığımız izolasyon seviyesinin hemen üzerinde bir kat oluşturmamız gerekmektedir. Aksi takdirde zemin kat kolonları birbirine göre farklı görelî yerdeğiştirmeler yaptığı için yerdeğiştirmeler istenen sınırlar içerisinde kalmamaktadır.

Zemin kat tabanındaki izolasyon seviyesinin hemen üzerinde oluşturulan döşemenin ağırlığı dolayısıyla binanın yatay kuvvet hesabında gözönüne alınan ağırlığı değişmiştir. İzolasyon seviyesi üzerinde oluşturulan kat özelliklerinin diğer katlarla özdeş olduğu kabul edilerek kat ağırlıkları tekrar hesaplanmış ve Çizelge 6.5 ile verilmiştir.

Çizelge 6.5 İzolasyonlu durumda kat ağırlıklarının bulunması

Kat	G (kN)	Q (kN)	W (kN)
Z	7813.98	2646	8607.78
1	8135.28	2646	8929.08
2	8135.28	2646	8929.08
3	5524.38	587	5700.48
Σ	29614.92	8525	32172.42

Binanın yeni hesap ağırlığı altında zemin kat kolonlarındaki eksenel kuvvete, kirişlerden gelen kesme kuvvetleri de dahil edilerek hesaplanmış olan izolatör elemanları üzerindeki eksenel basınç yükü değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.6 İzolasyon mesneti eksenel basınç değerleri

Aks No	A	B	C	D	E	F	G	H
1	582.5	938.5	911.7	912.4	912.4	911.7	938.5	582.5
2	886.5	1293.9	1257.3	1258.7	1258.7	1257.3	1293.9	886.5
3	886.5	1293.9	1257.3	1258.7	1258.7	1257.3	1293.9	886.5
4	582.5	938.5	911.7	912.4	912.4	911.7	938.5	582.5

Yapıdaki köşe ve kenar kolonlara, iç kolonlara göre daha az normal kuvvet etkimektedir. Dolayısıyla elastomer mesnetli uygulamalarda köşe ve kenar kolonlarda A ve iç kolonlarda da B olmak üzere boyutları aynı ancak özellikleri farklı iki tip izolatör kullanılmıştır. Bu izolatörlerde kullanılan kauçuğun özellikleri Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Elastomer esaslı mesnetlerde kullanılan kauçuğun özellikleri

Mesnet Tipi	Yerdeğiştirme	Kayma Şekildeğiştirmesi	Kayma Modülü G (MPa)	Sönüm Yüzdesi (β)
A	MCE	%200	0.6	0.08
	DBE	%150	0.5	0.10
	Küçük	%20	0.7	-
B	MCE	%200	1.2	0.12
	DBE	%150	1.0	0.15
	Küçük	%20	1.4	-

6.3.1 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Uygulaması

6.3.1.1 DBE Tasarım Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi

Bu bölümde %150 kayma şekildeğiştirmelerindeki mekanik özellikler kullanılmıştır. Tasarım düzeyinde izole edilmiş yapı periyodu $T_D=2.5$ sn olarak kabul edilerek hesaplar yürütülmüştür. Sistemin toplam sönümü 0.12 olarak varsayılmış ve bu değere karşı gelen sönüm katsayısı Çizelge 4.10'dan $B_D=1.26$ olarak alınmıştır. $T_D=2.5$ sn için tasarım yerdeğiştirmesi D_D , (4.2) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.26} = 0.276 \text{ m}$$

(4.7) denkleminde K_{Dmin} çekilirse şu ifade elde edilir.

$$K_{Dmin} = \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \frac{W}{g}$$

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde efektif rijitlik yatay rijitliğe eşit olarak alınır. Yani $K_{Dmin}=K_{ef}=K_H$ olur. $T_D=2.5$ sn periyot elde etmek için gereken toplam yatay rijitlik değeri yukarıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_H = \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 32172 / 9.81 = 20.715 \text{ MN/m}$$

Bu yatay rijitlik değerini 20 adet A ve 12 adet B tipi izolatör karşılayacaktır. Sonuç olarak

$$(3.1) \text{ denklemi kullanılarak } 20 \frac{G_A A}{t_r} + 12 \frac{G_B A}{t_r} = 20.715 \text{ ifadesi yazılır ve bu ifadede A}$$

izolatör alanı çekilirse gereken mesnet alanı hesaplanmış olur. Burada mesnetteki toplam kauçuk tabakası kalınlığı $t_r = 0.25$ m olarak alınmıştır. Yukarıdaki ifadede gereken izolatör

alanı $A = 0.235 \text{ m}^2$ ve bu alana karşı gelen izolatör çapı $\Phi = 0.547 \text{ m}$ olarak elde edilmiştir. Mesnet çapı $\Phi = 0.60 \text{ m}$ olarak seçilerek bu çap değeri için izolatör alanı $A = 0.283 \text{ m}^2$ olarak elde edilmiştir. Bulunan izolatör alanı kullanılarak mesnet rijitlikleri (3.1) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_H^A = \frac{0.5 \times 0.283}{0.25} = 0.566 \text{ MN/m} ; K_H^B = \frac{1.0 \times 0.283}{0.25} = 1.132 \text{ MN/m}$$

Toplam yatay rijitlik aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$K_H = 20 \times 0.566 + 12 \times 1.132 = 24.904 \text{ MN/m}$$

Bulunan yatay rijitlik değeri için periyot (4.7) denklemine göre hesaplanmıştır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_H g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{24904 \times 9.81}} = 2.28 \text{ sn}$$

Sistemin toplam sönümü (3.38) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

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

$$\beta = \frac{20 \times 0.566 \times 0.1 + 12 \times 1.132 \times 0.15}{24.904} = 0.127 \text{ için Çizelge 4.10'dan } B_D = 1.306$$

Bulunan yeni periyot ve sönüm katsayısı kullanılarak tasarım yerdeğiştirmesi (4.2) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.28}{1.306} = 0.243 \text{ m}$$

6.3.1.2 DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması

Burulma bileşenini de içeren toplam tasarım yerdeğiştirmesi için yönetmelik yaklaşık formülü

$$(4.9) \text{ denklemine göre } D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right); y = 21 \text{ m, } b = 42 \text{ m, } d = 18 \text{ m}$$

Burada e değeri planda yapı uzun doğrultusunun % 5 i olup $e = 0.05 \times 42 = 2.1 \text{ m}$ 'dir. Ancak burada izolasyon sisteminin gerçek burulma rijitliği hesaplanarak hesaplar yürütülmüştür. İzolasyon sisteminin burulma rijitliği aşağıdaki denklemin kullanılması ile hesaplanmaktadır.

$$K_{\theta} = \sum_{i=1}^n K_{ef}^i (x_i^2 + y_i^2)$$

$$K_{\theta} = 566 \times 4 \times \left[(21^2 + 9^2) + (21^2 + 3^2) + (15^2 + 9^2) + (9^2 + 9^2) + (3^2 + 9^2) \right] +$$

$$1132 \times 4 \times \left[(15^2 + 3^2) + (9^2 + 3^2) + (3^2 + 3^2) \right] = 5012.5 \text{ MNm}$$

İzolasyon seviyesine etkiyen burulma momenti (M_b)

$$M_b = (K_{ef} D_D) e = 24.904 \times 0.243 \times 2.1 = 12.709 \text{ MNm}$$

Burulmadan oluşan ek yerdeğiştirme (θ_y)

$$\theta_y = \frac{M_b}{K_{\theta}} y = \frac{12.709}{5012.5} 21 = 0.053 \text{ m}$$

Toplam tasarım yerdeğiştirmesi (D_{TD})

$$D_{TD} = D_D + \theta_y = 0.243 + 0.053 = 0.296 \text{ m} > 1.1 D_D = 0.267 \text{ m}$$

6.3.1.3 MCE Yerdeğiştirmelerinin Hesaplanması

UBC 97 yönetmeliği MCE düzeyinde periyot ve sönümün hesaplanmasını istemektedir. MCE düzeyindeki kayma şekildeğiştirmelerinde rijitlikte artma ve sönümde azalma görülmektedir. Bu bölümde % 200 kayma şekildeğiştirmelerindeki mekanik özellikler kullanılmıştır. Bu bölümdeki hesaplamalarda izolatörün yatay rijitliğinin efektif rijitliğe eşit olduğu kabul edilmiştir. (3.1) denklemi kullanılarak izolatörlerin yatay rijitliği hesaplanmıştır.

$$K_H^A = \frac{0.6 \times 0.283}{0.25} = 0.679 \text{ MN/m} ; K_H^B = \frac{1.2 \times 0.283}{0.25} = 1.358 \text{ MN/m}$$

Sistemin toplam yatay rijitliği hesaplanmıştır.

$$K_H = 20 \times 0.679 + 12 \times 1.358 = 29.876 \text{ MN/m}$$

(3.37) denklemi kullanılarak sistemin toplam sönümü hesaplanmıştır.

$$\beta = \frac{W_D}{2\pi K_H D^2} = \frac{K_H^A \beta_A + K_H^B \beta_B}{K_H} = \frac{20 \times 0.679 \times 0.08 + 12 \times 1.358 \times 0.12}{29.876} = 0.102$$

$\beta = 0.102$ için Çizelge 4.10'dan $B_M = 1.218$

MCE düzeyindeki yapı periyodu (4.8) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_H g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{29876 \times 9.81}} = 2.08 \text{ sn}$$

MCE düzeyindeki yerdeğiştirme (4.3) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VM} T_M}{B_M} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.70 \times 2.08}{1.218} = 0.297 \text{ m}$$

MCE toplam tasarım yerdeğiştirmesi (4.10) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) = 0.297 \left(1 + 21 \frac{12 \times 2.1}{42^2 + 18^2} \right) = 0.372 \text{ m} > 1.1 D_M = 0.327 \text{ m}$$

6.3.1.4 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Boyutlanması

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin boyutlanması için düşey frekans değeri seçilerek bir dizi iterasyon yapılması gerekmektedir. Bu işlem önceden yapılmış ve bulunan uygun değer ile hesap adımları gösterilmiştir. Düşey frekans değeri $f_v = 12.11$ Hz olarak seçilerek karşı gelen şekil faktörü hesaplanmıştır. Bu bölümdeki hesaplamalarda kauçuğun düşük şekildeğiştirmelerdeki mekanik özellikleri kullanılmıştır. (3.6) denklemi kullanılarak şekil faktörü hesaplanmıştır.

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{f_v}{f_H} = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{12.11}{\frac{1}{2.28}} = 11.27$$

Hacimsel elastisite modülü $K = 2000$ MPa olarak alınmış ve (3.10) denklemi kullanılarak her tip mesnet için kauçuk-çelik kompozit birleşimin basınç modülü E_c hesaplanmıştır.

$$E_c^A = \frac{6G_A S^2 K}{6G_A S^2 + K} = \frac{6 \times 0.7 \times 11.27^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 11.27^2 + 2000} = 421.13 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6G_B S^2 K}{6G_B S^2 + K} = \frac{6 \times 1.4 \times 11.27^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 11.27^2 + 2000} = 695.75 \text{ MN/m}^2$$

(3.3) denklemi kullanılarak izolatörlerin düşey rijitlikleri hesaplanmıştır.

$$K_v^A = \frac{E_c^A A}{t_r} = \frac{421.13 \times 0.283}{0.25} = 476.72 \text{ MN/m} ; K_v^B = \frac{E_c^B A}{t_r} = \frac{695.75 \times 0.283}{0.25} = 787.59 \text{ MN/m}$$

İzolatörlerin toplam düşey rijitliği şöyledir.

$$K_v = 20 \times 476.72 + 12 \times 787.59 = 18985.5 \text{ MN/m}$$

Düşey periyot (4.7) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_v g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32.172}{18985.5 \times 9.81}} = 0.0826 \text{ sn.}$$

Düşey frekans $f_v = 12.11 \text{ Hz}$ olarak elde edilmiştir (yaklaşım yeterlidir).

Dairesel kauçuk için şekil faktörü (3.4) denklemiyle $S = \frac{\Phi}{4t}$ ile verildiğinden bu denklemden

$$t = 13.3 \text{ mm olarak bulunmuştur. Mesnetteki toplam kauçuk tabakası adedi } n = \frac{250}{13.3} = 18.8$$

olarak elde edilmiştir. Mesnetteki kauçuk tabakası adedi $n = 20$ olarak seçilmiş ve dolayısıyla mesnetteki tek bir kauçuk tabakası kalınlığı da $t = 250/20 = 12.5 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Mesnette 20 adet kauçuk katmanı kullanılacağı için toplam 19 adet 2 mm kalınlıklı çelik levha ve 25 mm kalınlıklı 2 adet alt ve üst çelik bağlantı plakası kullanılmıştır.

Toplam izolatör yüksekliği $h = 2 \times 25 + 19 \times 2 + 20 \times 12.5 = 338 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.

Mesnetteki toplam kauçuk tabakası kalınlığı $t_r = 20 \times 12.5 = 250 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.

Bazı mekanik özellikler tekrar hesap edilirse;

$$(3.4) \text{ denklemden } S = \frac{\Phi}{4t} = \frac{0.6}{4 \times 0.0125} = 12$$

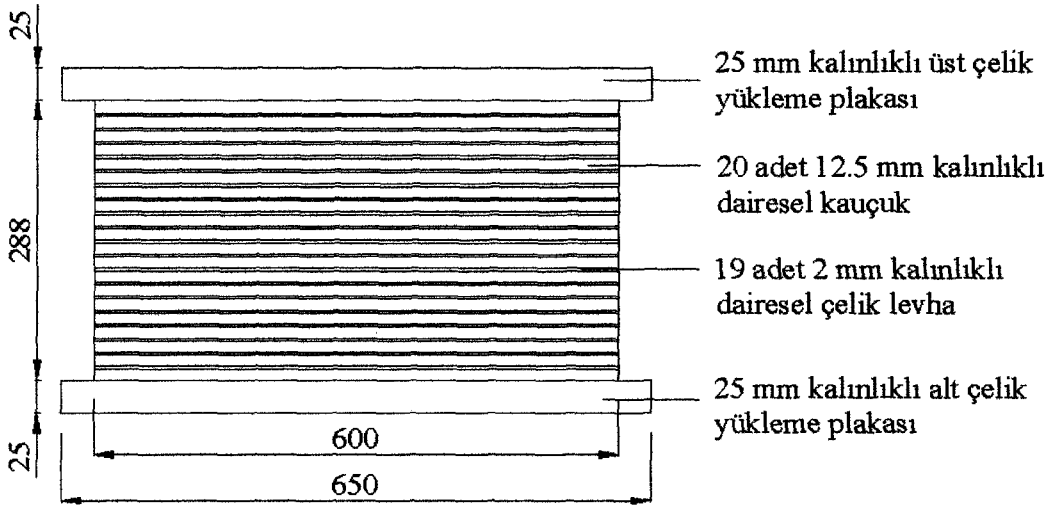
$$(3.10) \text{ denklemden } E_c^A = \frac{6G_A S^2 K}{6G_A S^2 + K} = \frac{6 \times 0.7 \times 12^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 12^2 + 2000} = 464.37 \text{ MN/m}^2$$

$$(3.10) \text{ denklemden } E_c^B = \frac{6G_B S^2 K}{6G_B S^2 + K} = \frac{6 \times 1.4 \times 12^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 12^2 + 2000} = 753.74 \text{ MN/m}^2$$

$$(3.3) \text{ denklemden } K_v^A = \frac{E_c^A A}{t_r} = \frac{464.37 \times 0.283}{0.25} = 525.67 \text{ MN/m}$$

$$(3.3) \text{ denklemden } K_v^B = \frac{E_c^B A}{t_r} = \frac{753.74 \times 0.283}{0.25} = 853.23 \text{ MN/m}$$

Tasarlanan izolatörün kesiti ve elemanları Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Tasarlanan yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kesit ve elemanları

6.3.1.5 Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Kurulması

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler bilineer elemanlar olarak modellenirler. İcra edilen herhangi bir lineer analizde SAP2000 programı sadece efektif rijitlikleri kullanır. Lineer olmayan özellikler sadece lineer olmayan analizlerde kullanılır. Burada izolasyon mesnetlerinin DBE düzeyindeki bir deprem için kayma serbestliklerinde kullanılan kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri kurulmuştur. Bu bölümdeki hesaplamalarda izolatörün yatay rijitliğinin efektif rijitliğe eşit olduğu kabul edilmiştir.

• A Tipi

Mesnetin yatay rijitliği 566 kN/m ve sönümü %10 dur. Dolayısıyla bir çevrimde tüketilen enerji miktarı hesaplanarak iterasyon yapılır.

$$(3.38) \text{ denkleminde } W_D = 2\pi K_{ef} D_D^2 \beta_{ef} = 2\pi \times 566 \times 0.243^2 \times 0.10 = 21 \text{ kNm}$$

$$W_D = 4Q(D_D - D_y) \text{ olup } D_y \text{ ihmal edilirse } Q = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{21}{4 \times 0.243} = 21.605 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 566 - \frac{21.605}{0.243} = 477.09 \text{ kN/m}$$

$$K_1 = 10 K_2 \text{ kabulü ile (3.40) denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{21.605}{9 \times 477.09} = 0.00503 \text{ m}$$

Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilirse;

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} \frac{21}{4(0.243 - 0.00503)} = 22.062 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 566 - \frac{22.062}{0.243} = 475.21 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{22.062}{9 \times 475.21} = 0.00516 \text{ m}$$

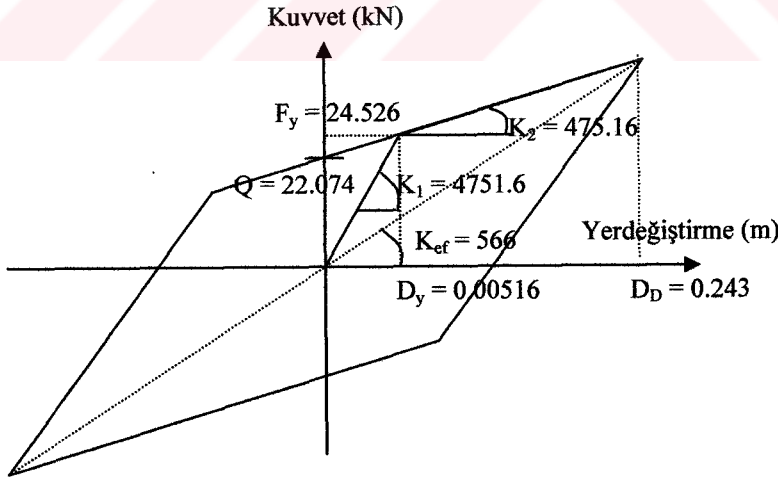
Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilirse

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} \frac{21}{4(0.243 - 0.00516)} = 22.074 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 566 - \frac{22.074}{0.243} = 475.16 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{22.074}{9 \times 475.16} = 0.00516 \text{ m (yaklaşım yeterlidir)}$$

$$K_1 = 10K_2 = 4751.6 \text{ kN/m} ; F_y = Q + K_2 D_y = 22.074 + 475.16 \times 0.00516 = 24.526 \text{ kN}$$



Şekil 6.3 A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Mesnetin efektif eğilme rijitliği (3.17) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(EI)_{ef} = 2GS^2I = 2 \times 500 \times (12)^2 \times \frac{\pi(0.6/2)^4}{4} = 916.1 \text{ kNm}^2$$

SAP2000 programı link elemanı giriş bilgileri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8 A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri

Doğrultu	Özellik		
U1	Rijitlik (kN/m)	Lineer	Nonlineer
		525670	-
U2-U3	Rijitlik (kN/m)	566	4751.6
	Akma Kuvveti (kN)	-	24.526
	K2/K1	-	0.1
R2-R3	Rijitlik (kNm ²)	916.1	-

• B Tipi

Mesnetin yatay rijitliği 1132 kN/m ve sönümü %15 dir. Dolayısıyla bir çevrimde tüketilen enerji miktarı hesaplanarak iterasyon yapılır.

$$(3.38) \text{ denkleminde } W_D = 2\pi K_{ef} D_D^2 \beta_{ef} = 2\pi \times 1132 \times 0.243^2 \times 0.15 = 62.998 \text{ kNm}$$

$$(3.37) \text{ ile } W_D = 4Q(D_D - D_y) \text{ olup } D_y \text{ ihmal edilirse } Q = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{62.998}{4 \times 0.243} = 64.813 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 1132 - \frac{64.813}{0.243} = 865.28 \text{ kN/m}$$

$$K_1 = 10 K_2 \text{ kabulü ile (3.40) denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{64.813}{9 \times 865.28} = 0.0083 \text{ m}$$

Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilmiştir.

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} = \frac{62.998}{4(0.243 - 0.0083)} = 67.105 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 1132 - \frac{67.105}{0.243} = 855.848 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{67.105}{9 \times 855.848} = 0.0087 \text{ m}$$

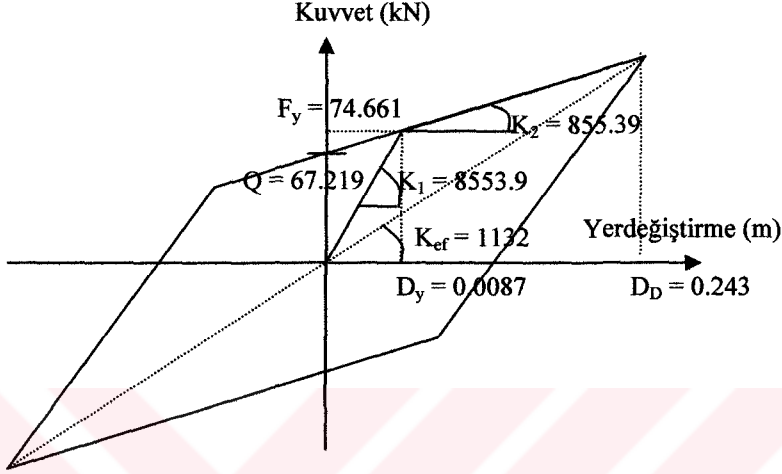
Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilmiştir.

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} = \frac{62.998}{4(0.243 - 0.0087)} = 67.219 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 1132 - \frac{67.219}{0.243} = 855.39 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{67.219}{9 \times 855.39} = 0.0087 \text{ m (yaklaşım yeterlidir)}$$

$$K_1 = 10K_2 = 8553.9 \text{ kN/m} ; F_y = Q + K_2 D_y = 67.219 + 855.39 \times 0.0087 = 74.661 \text{ kN}$$



Şekil 6.4 B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Mesnetin efektif eğilme rijitliği (3.17) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(EI)_{ef} = 2GS^2I = 2 \times 1000 \times (12)^2 \times \frac{\pi(0.6/2)^4}{4} = 1832.2 \text{ kNm}^2$$

SAP2000 programı link elemanı giriş bilgileri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri

Doğrultu	Özellik		
U1	Rijitlik (kN/m)	Lineer	Nonlineer
		853230	-
U2-U3	Rijitlik (kN/m)	1132	8553.9
	Akma Dayanımı (kN)	-	74.661
	K2/K1	-	0.1
R2-R3	Rijitlik (kNm ²)	1832.2	-

6.3.1.6 Burkulma Riskinin Araştırılması

Bu bölümde kauçuğun düşük şekildeğiştirmelerdeki mekanik özellikleri kullanılmıştır. Bölüm

3.3’de verilen ikinci hipotez kullanılarak şekildeğiştirmiş durumdaki stabilite incelenmiştir.

- A Tipi

$$(3.32) \text{ denkleminde } \theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{\Phi} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0.243}{0.60} \right) = 2.308 \text{ radyan}$$

$$(3.31) \text{ denkleminde } A_r = \frac{\Phi^2}{4} (\theta - \sin \theta) = \frac{0.60^2}{4} (2.308 - \sin 2.308) = 0.204 \text{ m}^2$$

$$(3.27) \text{ denkleminde } P_{kr} = \frac{\sqrt{2}\pi G A_r S_r}{t_r} = \frac{\sqrt{2}\pi \times 700 \times 0.204 \times 12 \times 0.60}{4 \times 0.25} = 4568 \text{ kN}$$

A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnet üzerindeki en büyük düşey yük 938.5 kN olduğuna göre güvenlik oranı şu şekilde bulunur.

$$(3.26) \text{ denkleminde } SF = \frac{P_{kr}}{P} = \frac{4568}{938.5} = 4.87$$

- B Tipi

$$(3.27) \text{ denkleminde } P_{kr} = \frac{\sqrt{2}\pi G A_r S_r}{t_r} = \frac{\sqrt{2}\pi \times 1400 \times 0.204 \times 12 \times 0.6}{4 \times 0.25} = 9136 \text{ kN}$$

B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnet üzerindeki en büyük düşey yük 1293.9 kN olduğuna göre güvenlik oranı şu şekilde bulunur.

$$(3.26) \text{ denkleminde } SF = \frac{P_{kr}}{P} = \frac{9136}{1293.9} = 7.06$$

6.3.1.7 DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması

İzolasyonlu durumda üstyapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti (4.14) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{K_{ef} D_D}{R_1} = \frac{24904 \times 0.243}{2.0} = 3026 \text{ kN} = \% 9.4 W$$

Hesaplanan taban kesme kuvveti (4.16) yönetmelik formülü ile katlara dağıtılmıştır.

Çizelge 6.10 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet uygulaması için kat kuvvetleri

Kat	h (m)	W (kN)	$h_i \times W_i$	F (kN)	e_x (m)	e_y (m)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)
Z	0.4	8607.78	3443.11	55.5	0.9	2.1	49.92	116.47
1	4.2	8929.08	37502.14	604.1	0.9	2.1	543.69	1268.62
2	8.4	8929.08	75004.27	1208.2	0.9	2.1	1087.39	2537.23
3	12.6	5706.48	71901.65	1158.2	0.9	2.1	1042.40	2432.28
		Σ	187851.2	3026				

6.3.2 Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet Uygulaması

6.3.2.1 DBE Tasarım Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi

Yeni Zelanda mesneti için hesap benzer şekilde yürütülür. DBE düzeyi tasarım periyodunun 2.5 sn olduğu ve sistemin toplam sönümünün %15 olduğu varsayılarak, $\beta=0.15$ için Çizelge 4.10'dan okunan $B_D=1.38$ değeri ile tasarım yerdeğiştirmesi hesaplanmıştır.

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{vD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.38} = 0.252 \text{ m}$$

$T_D = 2.5$ sn periyot elde etmek için gereken toplam efektif rijitlik değeri (4.7) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_{ef} = \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 32172 / 9.81 = 20.715 \text{ MN/m}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } W_D = 2\pi K_{ef} D_D^2 \beta_{ef} = 2\pi \times 20715 \times 0.252^2 \times 0.15 = 1239.8 \text{ kNm}$$

$$(3.37) \text{ ile } W_D = 4Q(D_D - D_y) \text{ olup } D_y \text{ ihmal edilirse } Q = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{1239.8}{4 \times 0.252} = 1229.96 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 20715 - \frac{1229.96}{0.252} = 15834.21 \text{ kN/m}$$

$$K_1 = 10 K_2 \text{ kabulü ile (3.40) denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{1229.96}{9 \times 15834.21} = 0.0086 \text{ m}$$

Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilmiştir.

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} = \frac{1239.8}{4(0.252 - 0.0086)} = 1273.42 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 20715 - \frac{1273.42}{0.252} = 15661.75 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{1273.42}{9 \times 15661.75} = 0.00903 \text{ m}$$

Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilmiştir.

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} = \frac{1239.8}{4(0.252 - 0.00903)} = 1275.67 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 20715 - \frac{1275.67}{0.252} = 15652.82 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{1275.67}{9 \times 15652.82} = 0.00906 \text{ m}$$

Bulunan D_y değeri kullanılarak Q tekrar hesap edilmiştir.

$$(3.37) \text{ denkleminde } Q = \frac{W_D}{4(D_D - D_y)} = \frac{1239.8}{4(0.252 - 0.00906)} = 1275.83 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 20715 - \frac{1275.83}{0.252} = 15652.18 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{1275.83}{9 \times 15652.18} = 0.00906 \text{ m (yaklaşım yeterlidir)}$$

Yeni Zelanda mesnetinde karakteristik kuvveti (Q) mesnetlerde bulunan kurşun çekirdeğin karşılayacağı kabul edilmektedir. Dolayısıyla kurşunun akma dayanımı 10 MPa alınarak gerekli olan toplam kurşun alanı bulunmuştur.

$$A_k = 1.27583 / 10 = 0.1276 \text{ m}^2$$

Yapıda normal kuvveti yüksek iç kolonlarda 82 mm çaplı ve diğer kolonlarda 64 mm çaplı olmak üzere iki farklı tip kurşun kullanılmıştır. Burada 64 mm çaplı kurşun içeren mesnetler A tipi ve 82 mm çaplı kurşun içeren mesnetler de B tipi olarak adlandırılmıştır.

$$64 \text{ mm çapında 1 adet kurşun alanı} = 0.003217 \text{ m}^2$$

$$82 \text{ mm çapında 1 adet kurşun alanı} = 0.005281 \text{ m}^2$$

$$\text{Toplam kurşun alanı} = 20 \times 0.003217 + 12 \times 0.005281 = 0.1277 \text{ m}^2 > A_k = 0.1276 \text{ m}^2$$

Toplam karakteristik kuvvet miktarı toplam kurşun alanı üzerinden hesaplanmıştır.

$$Q = 10 \times 0.1277 = 1.277 \text{ MN} = 1277 \text{ kN}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_2 = K_{ef} - \frac{Q}{D_D} = 20715 - \frac{1277}{0.252} = 15647.5 \text{ kN/m}$$

Kurşun saplamalı mesnetlerde K_2 değeri kauçuğun rijitliğini ifade etmektedir. Bir adet izolasyon mesneti için gerekli olan yatay rijitlik yaklaşık olarak $15647.5/32=489 \text{ kN/m}$ 'dir. Kurşun saplamalı mesnetlerde A tipi kauçuğun mekanik özellikleri kullanılmıştır. Mesnetlerdeki toplam kauçuk tabakası kalınlığı 0.30 m olarak gözönüne alınmıştır.

$$(3.1) \text{ denkleminde } K_H = \frac{GA}{t_r} \Rightarrow 0.489 = \frac{0.5 \times A}{0.3} \Rightarrow A \cong 0.2934 \text{ m}^2 \rightarrow \Phi \cong 0.611 \text{ m}$$

İzolator çapı $\Phi = 0.65 \text{ m}$. olarak seçilmiştir. Dolayısıyla izolator alanı $A = 0.3318 \text{ m}^2$ olarak elde edilmiştir. Mesnetin nihai yatay rijitliği (3.1) denklemiyle hesaplanmıştır.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} = \frac{0.5 \times 0.3318}{0.30} 1000 = 553 \text{ kN/m}$$

Sistemin toplam efektif rijitliği (3.34) denklemiyle hesaplanmıştır.

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} = 32 \times 0.553 + \frac{1.277}{0.252} = 17.696 + 5.067 = 22.763 \text{ MN/m}$$

Bu rijitlik değeri için gereken periyot (4.7) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{22763 \times 9.81}} = 2.38 \text{ sn}$$

Bulunan periyot değeri için yerdeğiştirme miktarı (4.2) denklemiyle hesaplanmıştır.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.38}{1.38} = 0.240 \text{ m}$$

6.3.2.2 DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması

Sistemin toplam efektif rijitliği (3.34) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} = 32 \times 0.553 + \frac{1.277}{0.240} = 17.696 + 5.321 = 23.017 \text{ MN/m}$$

Burulma bileşenini de içeren toplam tasarım yerdeğiştirmesi için yaklaşık yönetmelik formülü

$$(4.9) \text{ denklemine göre } D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right); y = 21 \text{ m, } b = 42 \text{ m, } d = 18 \text{ m}$$

Burada e değeri uzun doğrultunun % 5 i olup $e = 0.05 \times 42 = 2.1 \text{ m}$

Toplam tasarım yerdeğiştirmesini hesaplamak için yönetmelikte izin verildiği şekilde, izolasyon sisteminin gerçek burulma rijitliği hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle her iki tip mesnetin nihai efektif rijitliği hesaplanmıştır.

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef}^A = K_2 + \frac{Q_A}{D_D} = 553 + \frac{10 \times 0.003217 \times 1000}{0.240} = 687.04 \text{ kN/m}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef}^B = K_2 + \frac{Q_B}{D_D} = 553 + \frac{10 \times 0.005281 \times 1000}{0.240} = 773.04 \text{ kN/m}$$

İzolasyon sisteminin burulma rijitliği

$$K_\theta = \sum_{i=1}^n K_{ef}^i (x_i^2 + y_i^2)$$

$$K_\theta = 687.04 \times 4 \times \left[(21^2 + 9^2) + (21^2 + 3^2) + (15^2 + 9^2) + (9^2 + 9^2) + (3^2 + 9^2) \right] +$$

$$773.04 \times 4 \times \left[(15^2 + 3^2) + (9^2 + 3^2) + (3^2 + 3^2) \right] = 5262.2 \text{ MNm}$$

İzolasyon seviyesine etkiyen burulma momenti (M_b)

$$M_b = (K_{eff} D_D) e = 23017 \times 0.240 \times 2.1 = 11.601 \text{ MNm}$$

Burulmadan oluşan ek yerdeğiştirme (θ_y)

$$\theta_y = \frac{M_b}{K_\theta} y = \frac{11.601}{5262.2} 21 = 0.0463 \text{ m}$$

Toplam tasarım yerdeğiştirmesi (D_{TD})

$$D_{TD} = D_D + \theta_y = 0.240 + 0.0463 = 0.286 \text{ m} > 1.1 D_D = 0.264 \text{ m}$$

6.3.2.3 MCE Yerdeğiştirmelerinin Hesaplanması

UBC 97 yönetmeliğine göre MCE düzeyindeki periyot ve sönümün hesaplanması istenir. Bu bölümde % 200 kayma şekildeğiştirmelerindeki mekanik özellikler kullanılmıştır.

MCE yerdeğiştirmesi hesaplanırken bu değerin DBE yerdeğiştirmesinin M_M katı olduğu varsayılır. Dolayısıyla $D_M = M_M \times D_D = 1.25 \times D_D$ varsayımı yapılmaktadır. T_M periyotunu şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$(3.1) \text{ denkleminde } K_H = \frac{GA}{t_r} = \frac{0.6 \times 0.3318}{0.30} 1000 = 663.6 \text{ kN/m}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_M} = 32 \times 0.6636 + \frac{1.277}{1.25 \times 0.240} = 25.492 \text{ MN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{1.277}{9 \times 32 \times 0.6636} = 0.0067 \text{ m}$$

$$(3.37) \text{ denkleminde } W_M = 4Q(D_M - D_y) = 4 \times 1.277(1.25 \times 0.240 - 0.0067) = 1.498 \text{ MNm}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_M}{2\pi K_{ef} D_M^2} = \frac{1.498}{2\pi \times 25.492 \times 0.3^2} = \%10.4 \text{ olarak hesaplanmış ve}$$

Çizelge 4.10'dan karşı gelen sönüm katsayısı $B_M = 1.225$ olarak alınmıştır.

$$(4.8) \text{ denkleminde } T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{25492 \times 9.81}} = 2.25 \text{ sn}$$

$$(4.3) \text{ denkleminde } D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VM} T_M}{B_M} = \frac{9.81 \times 0.70 \times 2.25}{4\pi^2 \times 1.225} = 0.320 \text{ m}$$

Yeni bulunan D_M değeriyle hesap tekrarlanmıştır.

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_M} = 32 \times 0.6636 + \frac{1.277}{0.320} = 25.226 \text{ MN/m}$$

$$(3.37) \text{ denkleminde } W_M = 4Q(D_M - D_y) = 4 \times 1.277(0.320 - 0.0067) = 1.600 \text{ MNm}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_M}{2\pi K_{ef} D_M^2} = \frac{1.600}{2\pi \times 25.226 \times 0.320^2} = \%9.86 \text{ için } B_M = 1.206$$

$$(4.8) \text{ denkleminde } T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{25226 \times 9.81}} = 2.265 \text{ sn}$$

$$(4.3) \text{ denkleminde } D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VM} T_M}{B_M} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.70 \times 2.265}{1.206} = 0.327 \text{ m}$$

Yeni bulunan D_M değeriyle iterasyona devam edilmiştir.

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_M} = 32 \times 0.6636 + \frac{1.277}{0.327} = 25.140 \text{ MN/m}$$

$$(3.37) \text{ denkleminde } W_M = 4Q(D_M - D_y) = 4 \times 1.277(0.327 - 0.0067) = 1.636 \text{ MNm}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_M}{2\pi K_{ef} D_M^2} = \frac{1.636}{2\pi \times 25.140 \times 0.327^2} = \%9.69 \text{ için } B_M = 1.2$$

$$(4.8) \text{ denkleminde } T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef} g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{25140 \times 9.81}} = 2.27 \text{ sn}$$

$$(4.3) \text{ denkleminde } D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VM} T_M}{B_M} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.70 \times 2.27}{1.2} = 0.329 \text{ m}$$

Yeni bulunan D_M değeriyle iterasyona devam edilmiştir.

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_M} = 32 \times 0.6636 + \frac{1.277}{0.329} = 25.117 \text{ MN/m}$$

$$(3.37) \text{ denkleminde } W_M = 4Q(D_M - D_y) = 4 \times 1.277(0.329 - 0.0067) = 1.646 \text{ MNm}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_M}{2\pi K_{ef} D_M^2} = \frac{1.646}{2\pi \times 25.117 \times 0.329^2} = \%9.64 \text{ için } B_M = 1.198$$

$$(4.8) \text{ denkleminde } T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef} g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32172}{25117 \times 9.81}} = 2.27 \text{ sn}$$

$$(4.3) \text{ denkleminde } D_M = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VM} T_M}{B_M} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.70 \times 2.27}{1.198} = 0.330 \text{ m (yaklaşım yeterlidir)}$$

$$(4.10) \text{ ile } D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) = 0.330 \left(1 + 21 \frac{12 \times 2.1}{42^2 + 18^2} \right) = 0.414 \text{ m} > 1.1 D_M = 0.363 \text{ m}$$

6.3.2.4 Kurşun Saplmalı Kauçuk Mesnetin Boyutlanması

Düşey frekans değeri seçilerek bir dizi iterasyon yapılması gerekmektedir. Bu işlem önceden yapılmış ve bulunan uygun değer ile hesap adımları gösterilmiştir. Düşey frekans değeri

$f_v=6.66$ Hz olarak seçilerek karşı gelen S şekil faktörü hesaplanmıştır. Bu bölümdeki hesaplamalarda kauçuğun düşük şekildeğiştirmelerdeki mekanik özellikleri kullanılmıştır. (3.6) denklemi kullanılarak şekil faktörü hesaplanmıştır.

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{f_v}{f_H} = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{6.66}{\frac{1}{2.38}} = 6.47$$

Hacimsel elastisite modülü $K = 2000$ MPa olarak alınmış ve (3.10) denklemi kullanılarak her tip mesnet için kauçuk-çelik kompozit birleşimin basınç modülü E_c hesaplanmıştır.

$$E_c = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K} = \frac{6 \times 0.7 \times 6.47^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 6.47^2 + 2000} = 161.61 \text{ MN/m}^2$$

(3.3) denklemiyle bir izolatörün düşey rijitliği hesaplanmıştır.

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} = \frac{161.61 \times 0.3318}{0.3} = 178.74 \text{ MN/m}$$

İzolatörlerin toplam düşey rijitliği hesaplanmıştır.

$$K_v = 32 \times 178.74 = 5719.68 \text{ MN/m}$$

Düşey periyot (4.7) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_v g}} = 2\pi \sqrt{\frac{32.172}{5719.68 \times 9.81}} = 0.15 \text{ sn}$$

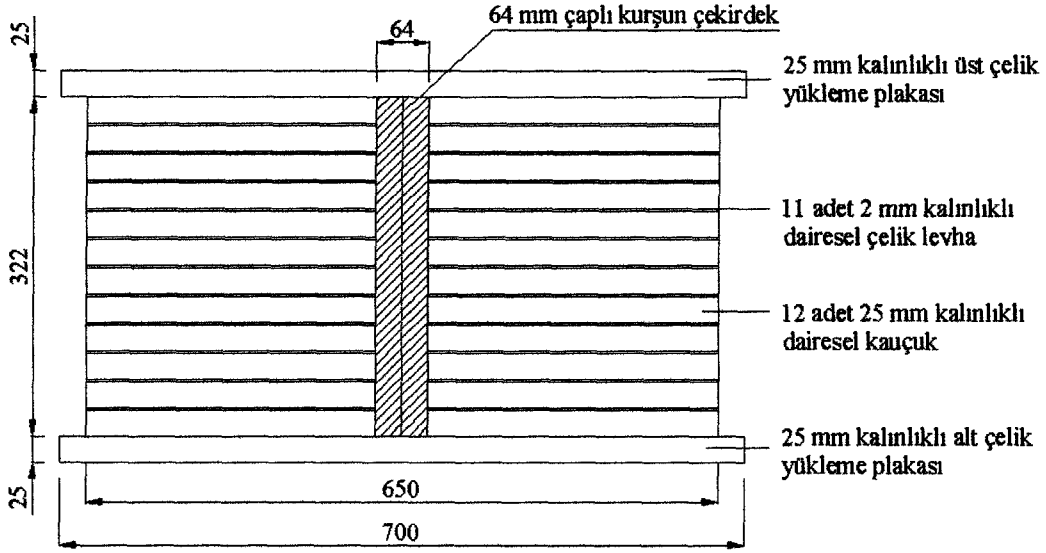
Düşey frekans $f_v = 6.67$ Hz olarak elde edilmiştir (yaklaşım yeterlidir).

Dairesel kauçuk için şekil faktörü (3.4) denklemiyle verildiğinden $S = \frac{\Phi}{4t}$ formülünden tek bir

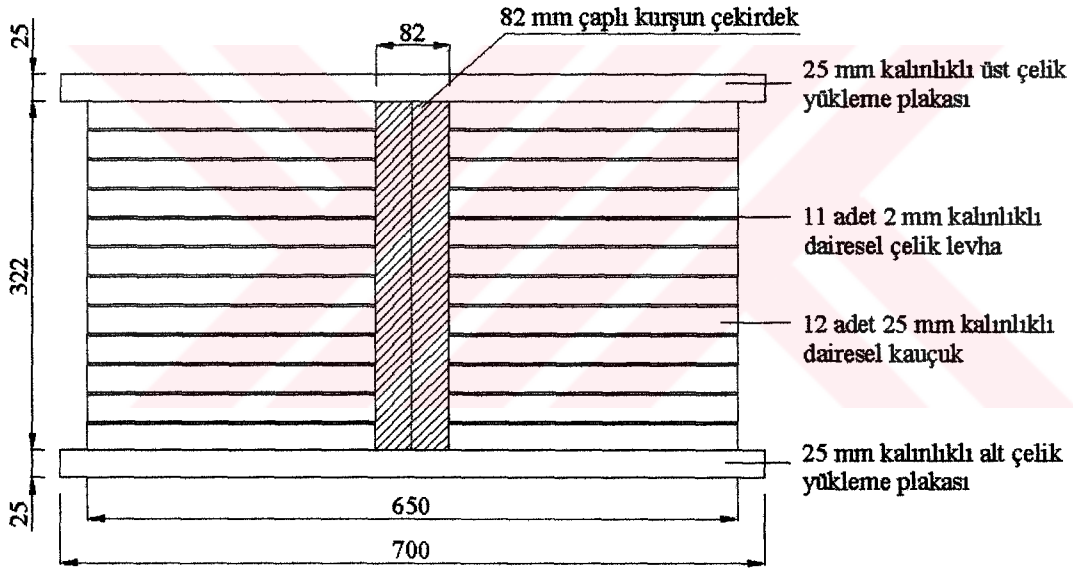
kauçuk katmanı kalınlığı $t=25.1$ mm olarak bulunmuştur. Hesaplarda mesnetteki toplam kauçuk tabakası 300 mm olarak alındığı için toplam kauçuk tabakası adeti $300/25.1=11.95$ olarak hesaplanmıştır. Mesnetteki kauçuk tabakası adeti $n = 12$ olarak seçilmiştir. Mesnetteki tek bir kauçuk tabakası kalınlığı $t = 300/12=25$ mm olarak hesaplanmıştır. Mesnetlerde 12 adet kauçuk tabakası kullanılacağı için toplam 11 adet 2 mm. kalınlıklı çelik levha ve 25 mm kalınlıklı 2 adet alt ve üst çelik bağlantı plakası kullanılmıştır.

Toplam izolatör yüksekliği $h= 2 \times 25 + 11 \times 2 + 12 \times 25 = 372$ mm olarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan mesnetlerin kesit ve elemanları Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Tasarlanan A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları



Şekil 6.6 Tasarlanan B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kesit ve elemanları

6.3.2.5 Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Kurulması

- A Tipi

İzolasyon mesnetinin DBE düzeyindeki kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri kurulmuştur.

$$K_2 = 553 \text{ kN/m} ; K_1 = 10K_2 = 5530 \text{ kN/m} ; Q = 32.17 \text{ kN} ; D_D = 0.240 \text{ m}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} = 553 + \frac{32.17}{0.240} = 687.04 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = Q / 9K_2 = 32.17 / (9 \times 553) = 0.0065 \text{ m}$$

$$F_y = Q + K_2 D_y = 32.17 + 553 \times 0.0065 = 35.765 \text{ kN}$$

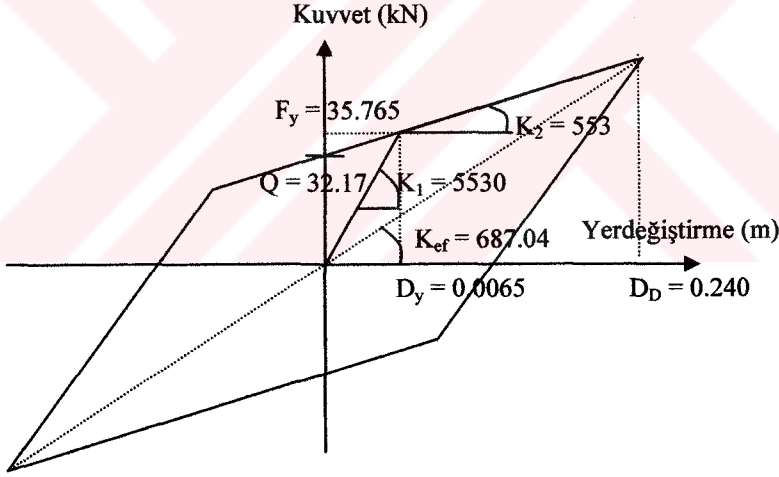
$$(3.4) \text{ denkleminde } S = \frac{\Phi}{4t} = \frac{0.65}{4 \times 0.025} = 6.5$$

$$(3.10) \text{ denkleminde } E_c = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K} = \frac{6 \times 0.7 \times 6.5^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 6.5^2 + 2000} = 162.99 \text{ MN/m}^2$$

$$(3.3) \text{ denkleminde } K_v = \frac{E_c A}{t_r} = \frac{162.99 \times 0.3318}{0.30} = 180.267 \text{ MN/m}$$

$$(3.17) \text{ denkleminde } (EI)_{ef} = 2GS^2I = 2 \times 500 \times (6.5)^2 \times \frac{\pi(0.65/2)^4}{4} = 370.21 \text{ kNm}^2$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_D}{2\pi K_{ef} D_D^2} = \frac{4Q(D_D - D_y)}{2\pi K_{ef} D_D^2} = \frac{4 \times 32.175 \times (0.240 - 0.0065)}{2\pi \times 687.04 \times 0.240^2} = 0.12086$$



Şekil 6.7 A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 6.11 A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri

Doğrultu	Özellik		
U1	Rijitlik (kN/m)	Lineer	Nonlineer
		180267	-
U2-U3	Rijitlik (kN/m)	687.04	5530
	Akma Kuvveti (kN)	-	35.765
	K2/K1	-	0.1
R2-R3	Rijitlik (kNm ²)	370.21	-

- B Tipi

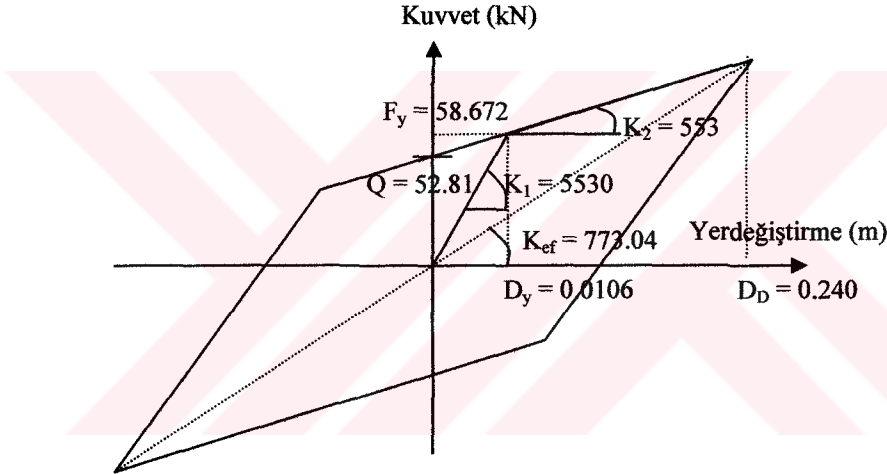
$$K_2 = 553 \text{ kN/m} ; K_1 = 10K_2 = 5530 \text{ kN/m} ; Q = 52.81 \text{ kN} ; D_D = 0.240 \text{ m}$$

$$(3.34) \text{ denkleminde } K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} = 553 + \frac{52.81}{0.240} = 773.04 \text{ kN/m}$$

$$(3.40) \text{ denkleminde } D_y = Q / 9K_2 = 52.81 / (9 \times 553) = 0.0106 \text{ m}$$

$$F_y = Q + K_2 D_y = 52.81 + 553 \times 0.0106 = 58.672 \text{ kN}$$

$$(3.38) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{W_D}{2\pi K_{ef} D_D^2} = \frac{4Q(D_D - D_y)}{2\pi K_{ef} D_D^2} = \frac{4 \times 52.815 \times (0.240 - 0.0106)}{2\pi \times 773.04 \times 0.240^2} = 0.1732$$



Şekil 6.8 B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 6.12 B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnetin SAP2000 giriş bilgileri

Doğrultu	Özellik		
U1	Rijitlik (kN/m)	Lineer	Nonlineer
		180267	-
U2-U3	Rijitlik (kN/m)	773.04	5530
	Akma Kuvveti (kN)	-	58.672
	K2/K1	-	0.1
R2-R3	Rijitlik (kNm ²)	370.21	-

6.3.2.6 Burkulma Riskinin Araştırılması

Bu bölümde kauçuğun düşük şekildeğiştirmelerdeki mekanik özellikleri kullanılmıştır. Bölüm

3.3’de verilen ikinci hipotez kullanılarak şekildeğiştirmiş durumdaki stabilite incelenmiştir.

- A Tipi

$$(3.32) \text{ denkleminde } \theta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{\Phi} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0.240}{0.65} \right) = 2.385 \text{ radyan}$$

$$(3.31) \text{ denkleminde } A_r = \frac{\Phi^2}{4} (\theta - \sin \theta) = \frac{0.65^2}{4} (2.385 - \sin 2.385) = 0.2475 \text{ m}^2$$

$$(3.27) \text{ denkleminde } P_{kr} = \frac{\sqrt{2\pi} G A_r S_r}{t_r} = \frac{\sqrt{2\pi} \times 700 \times 0.2475 \times 6.5 \times 0.65}{4 \times 0.30} = 2710 \text{ kN}$$

Kurşun saplamalı kauçuk mesnet üzerindeki en büyük zati yük 938.5 kN olduğuna göre;

$$(3.28) \text{ denkleminde } SF = \frac{P_{kr}}{P} = \frac{2710}{938.5} = 2.89$$

- B Tipi

Kurşun saplamalı kauçuk mesnet üzerindeki en büyük zati yük 1293.9 kN olduğuna göre;

$$(3.28) \text{ denkleminde } SF = \frac{P_{kr}}{P} = \frac{2710}{1293.9} = 2.09$$

6.3.2.7 DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması

İzolasyonlu durumda üstyapıya etkileyen toplam taban kesme kuvveti (4.14) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{K_{ef} D_D}{R_I} = \frac{(20 \times 687.04 + 12 \times 773.04) \times 0.240}{2.0} = 2762.1 \text{ kN} = \% 8.6 W$$

Hesaplanan taban kesme kuvveti (4.16) yönetmelik formülü ile katlara dağıtılmıştır.

Çizelge 6.13 Kurşun saplamalı kauçuk mesnet uygulaması için kat kuvvetleri

Kat	h (m)	W (kN)	$h_i \times W_i$	F (kN)	e_x (m)	e_y (m)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)
Z	0.45	8607.78	3873.50	56.8	0.9	2.1	51.14	119.33
1	4.2	8929.08	37502.14	550.2	0.9	2.1	495.14	1155.33
2	8.4	8929.08	75004.27	1100.3	0.9	2.1	990.28	2310.66
3	12.6	5706.48	71901.65	1054.8	0.9	2.1	949.32	2215.08
		Σ	188281.56	2762.1				

6.3.3 Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Uygulaması

6.3.3.1 DBE Tasarım Yerdeğiştirmesinin Belirlenmesi

$T_D = 2.5$ sn ve mesnetin yüksek hızlardaki sürtünme katsayısı $\mu=0.05$ olarak seçilmiştir.

$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{R_0}{g}}$ denkleminde eğrilik yarıçapı çekilmiştir.

$$(3.44) \text{ denkleminde } R_0 = \frac{gT_D^2}{(2\pi)^2} = \frac{9.81 \times 2.5^2}{(2\pi)^2} = 1.553 \text{ m}$$

Sistemin efektif sönümü $\beta=0.25$ için Çizelge 4.10'dan $B_D=1.676$ alınarak $T_D=2.5$ sn için tasarım yerdeğiştirmesi hesaplanmıştır.

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.676} = 0.2076 \text{ m}$$

Sistemin efektif sönümü hesaplanmış ve bulunan yeni değerler ile iterasyon yapılmıştır.

$$(3.47) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D_D}{R_0} + \mu} = \frac{2}{\pi} \frac{0.05}{\frac{0.2076}{1.553} + 0.05} = 0.1733 \text{ için } B_D = 1.453$$

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.453} = 0.2394 \text{ m}$$

$$(3.47) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D_D}{R_0} + \mu} = \frac{2}{\pi} \frac{0.05}{\frac{0.2394}{1.553} + 0.05} = 0.1559 \text{ için } B_D = 1.399$$

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.399} = 0.2487 \text{ m}$$

$$(3.47) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D_D}{R_0} + \mu} = \frac{2}{\pi} \frac{0.05}{\frac{0.2487}{1.553} + 0.05} = 0.1515 \text{ için } B_D = 1.385$$

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.385} = 0.2512 \text{ m}$$

$$(3.47) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D_D}{R_0} + \mu} = \frac{2}{\pi} \frac{0.05}{\frac{0.2512}{1.553} + 0.05} = 0.1503 \text{ için } B_D = 1.382$$

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.382} = 0.2517 \text{ m}$$

$$(3.47) \text{ denkleminde } \beta_{ef} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{D_D}{R_0} + \mu} = \frac{2}{\pi} \frac{0.05}{\frac{0.2517}{1.553} + 0.05} = 0.15 \text{ için } B_D = 1.381$$

$$(4.2) \text{ denkleminde } D_D = \frac{g}{4\pi^2} \frac{C_{VD} T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} \frac{0.56 \times 2.5}{1.381} = 0.252 \text{ m (yaklaşım yeterlidir)}$$

6.3.3.2 DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması

Burulma bileşenini de içeren toplam tasarım yerdeğiştirmesi için yaklaşık yönetmelik formülü

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right); y = 21 \text{ m, } b = 42 \text{ m, } d = 18 \text{ m}$$

Burada e değeri uzun doğrultunun % 5 i olup $e = 0.05 \times 42 = 2.1 \text{ m}$

$$(4.9) \text{ ile } D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) = 0.252 \left(1 + 21 \frac{12 \times 2.1}{42^2 + 18^2} \right) = 0.316 \text{ m} > 1.1 D_D = 0.27 \text{ m}$$

6.3.3.3 MCE Yerdeğiştirmelerinin Hesaplanması

MCE yerdeğiştirmesi DBE yerdeğiştirmesinin M_M katı olduğu varsayılır. Dolayısıyla $D_M = M_M \times D_D = 1.25 \times D_D$ varsayımı yapılmaktadır. T_M periyodu aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$D_M = M_M D_D = 1.25 \times D_D = 1.25 \times 0.252 = 0.315 \text{ m}$$

$$(4.10) \text{ ile } D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) = 0.315 \left(1 + 21 \frac{12 \times 2.1}{42^2 + 18^2} \right) = 0.395 \text{ m} > 1.1 D_M = 0.347 \text{ m}$$

6.3.3.4 Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrilerinin Kurulması

Düşey yerdeğiştirme miktarı (3.49) denklemiyle hesaplanmıştır.

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D_D}{R_0} \right) \right] = 1.553 \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{0.252}{1.553} \right) \right] = 0.02058 \text{ m}$$

Düşey rijitlik (3.50) denklemiyle $K_v = \frac{W}{\delta_v} = \frac{32172}{0.02058} = 1563265 \text{ kN/m}$ olarak bulunmuştur.

Bu değer izolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği olup her izolatöre üzerindeki sabit yük (Çizelge 6.6) oranında paylaştırılmıştır. Her bir izolasyon mesneti için düşey rijitlik değerleri Çizelge 6.14’de verilmiştir.

Çizelge 6.14 Sürtünmeli sarkaç mesnetin düşey rijitlikleri

Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	28304.2	45602.5	44300.3	44334.3	44334.3	44300.3	45602.5	28304.2
2	43075.8	62871.7	61093.3	61161.3	61161.3	61093.3	62871.7	43075.8
3	43075.8	62871.7	61093.3	61161.3	61161.3	61093.3	62871.7	43075.8
4	28304.2	45602.5	44300.3	44334.3	44334.3	44300.3	45602.5	28304.2

Tasarım yerdeğiştirmesi üzerinden sistemin efektif rijitliği hesaplanır. Bu denklemdeki ilk terim yatay rijitliğe yani akma sonrası rijitliğe karşı gelmektedir.

$$(3.48) \text{ denklemiyle } K_{ef} = \frac{W}{R_0} + \frac{\mu W}{D_D} = \frac{32172}{1.553} + \frac{0.05 \times 32172}{0.252} = 20716 + 6383.3 = 27099.3 \text{ kNm}$$

Bulunan efektif rijitlik ve yatay rijitlik değerleri W ile orantılı olduğu için benzer mantıkla her taban izolasyonu mesnetine üzerindeki sabit yük oranında paylaştırılmış ve sırasıyla Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.15 Sürtünmeli sarkaç mesnetin efektif rijitlikleri

Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	490.7	790.5	767.9	768.5	768.5	767.9	790.5	490.7
2	746.7	1089.9	1059.1	1060.2	1060.2	1059.1	1089.9	746.7
3	746.7	1089.9	1059.1	1060.2	1060.2	1059.1	1089.9	746.7
4	490.7	790.5	767.9	768.5	768.5	767.9	790.5	490.7

Çizelge 6.16 Sürtünmeli sarkaç mesnetin akma sonrası rijitlikleri

Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	375.1	604.3	587.1	587.5	587.5	587.1	604.3	375.1
2	570.8	833.2	809.6	810.5	810.5	809.6	833.2	570.8
3	570.8	833.2	809.6	810.5	810.5	809.6	833.2	570.8
4	375.1	604.3	587.1	587.5	587.5	587.1	604.3	375.1

Efektif rijitlik denklemindeki μW ifadesi karakteristik kuvvete karşı gelmektedir. Her bir izolasyon mesneti üzerindeki sabit yük yüksek hızlardaki sürtünme katsayısı ile çarpılarak elde edilen sürtünmeli sarkaç karakteristik kuvvet değerleri Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17 Sürtünmeli sarkaç mesnetin karakteristik kuvvet değerleri

Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	29.13	46.93	45.59	45.62	45.62	45.59	46.93	29.13
2	44.33	64.70	62.87	62.94	62.94	62.87	64.70	44.33
3	44.33	64.70	62.87	62.94	62.94	62.87	64.70	44.33
4	29.13	46.93	45.59	45.62	45.62	45.59	46.93	29.13

Her izolasyon mesneti için statik durumdaki sürtünme kuvveti değeri $F_s = \mu W$ olup teorik olarak hareketin başlayabilmesi için mesnetin statik durumdaki sürtünme kuvvetini yenmesi gerekmektedir. Mesnetin düşük hızlardaki sürtünme katsayısı $\mu = 0.03$ yapı ağırlığı ile çarpılırsa 965 kN elde edilir ki bu da hareketin başlaması için yapıya uygulanması gereken en küçük yatay kuvveti verir. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde akma yerdeğiştirmesi deneysel çalışmalar sonucunda 0.005 m. olarak tavsiye edilmiştir ve bu uygulamada tavsiye edilen değer kullanılmıştır. F_y akma kuvvetleri $F_y = Q + K_2 D_y$ denklemi ile hesaplanmış ve Çizelge 6.18’de verilmiştir.

Çizelge 6.18 Sürtünmeli sarkaç mesnet akma kuvveti değerleri

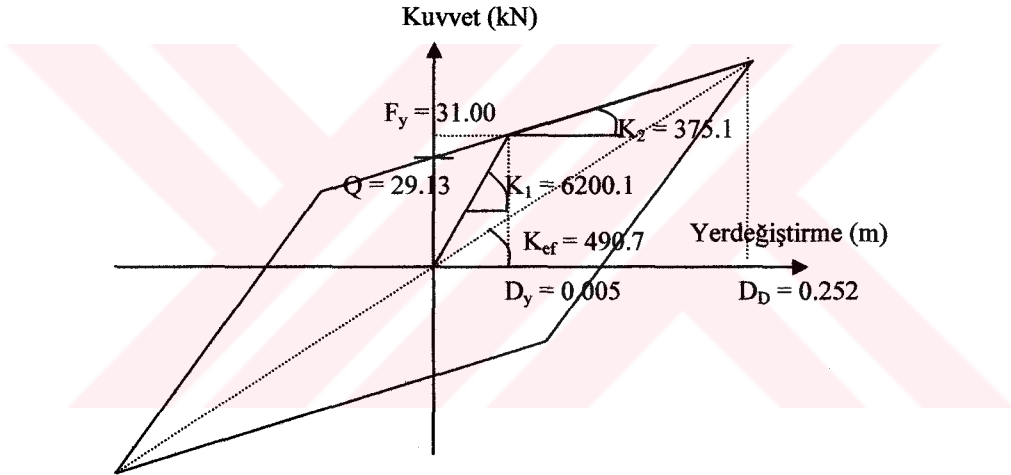
Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	31.00	49.95	48.52	48.56	48.56	48.52	49.95	31.00
2	47.18	68.86	66.91	66.99	66.99	66.91	68.86	47.18
3	47.18	68.86	66.91	66.99	66.99	66.91	68.86	47.18
4	31.00	49.95	48.52	48.56	48.56	48.52	49.95	31.00

Son adım olarak akma kuvveti akma yerdeğiştirmesine bölünerek akma öncesi rijitlik değeri (K_1) hesaplanmış ve Çizelge 6.19’da verilmiştir.

Çizelge 6.19 Sürtünmeli sarkaç mesnet akma öncesi rijitlikleri

Aks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	6200.1	9989.3	9704.1	9711.5	9711.5	9704.1	9989.3	6200.1
2	9435.8	13772.2	13382.6	13397.5	13397.5	13382.6	13772.2	9435.8
3	9435.8	13772.2	13382.6	13397.5	13397.5	13382.6	13772.2	9435.8
4	6200.1	9989.3	9704.1	9711.5	9711.5	9704.1	9989.3	6200.1

Sistem simetrik olduğu için toplam olarak 8 adet farklı sürtünmeli sarkaç link elemanı tanımlanacaktır. A1 aksı için kurulan kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 6.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.9 A1 aksı için sürtünmeli sarkaç mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 6.20 A1 aksı sürtünmeli sarkaç mesnetin SAP2000 giriş bilgileri

Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1	Rijitlik (kN/m)	28304.2	28304.2
U2-U3	Rijitlik (kN/m)	490.7	6200.1
	Statik Durumdaki Sürtünme Katsayısı	-	0.03
	Yüksek Hızlardaki Sürtünme Katsayısı	-	0.05
	Hız Parametresi	-	100
	Eğrilik Yarıçapı	-	1.553

6.3.3.5 DBE Tasarım Kuvvetlerinin Bulunması

İzolasyonlu durumda üstyapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti (4.14) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{K_{ef} D_D}{R_1} = \frac{32172 \times 0.252}{2.0} = 4053.7 \text{ kN} = \% 12.6 W$$

Hesaplanan taban kesme kuvvetinin (4.15) denklemi ile verilen min. Taban kesme kuvvetinden ve izolasyon sistemini tamamen aktif hale geçiren yatay yükün 1.5 katından büyük olduğu aşağıda görülmektedir.

$$V_s = 4053.7 \text{ kN} > 0.11 C_a I W = 1769.5 \text{ kN}$$

$$V_s = 4053.7 \text{ kN} > 1.5 \times 965 = 1447.5 \text{ kN}$$

Hesaplanan taban kesme kuvveti (4.16) yönetmelik formülü ile katlara dağıtılmıştır.

Çizelge 6.21 Sürtünmeli sarkaç mesnet uygulaması için kat kuvvetleri

Kat	h (m)	W (kN)	$h_i \times W_i$	F (kN)	e_x (m)	e_y (m)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)
Z	0.3	8607.78	2582.33	56.0	0.9	2.1	50.38	117.56
1	4.2	8929.08	37502.14	813.0	0.9	2.1	731.70	1707.29
2	8.4	8929.08	75004.27	1626.0	0.9	2.1	1463.39	3414.58
3	12.6	5706.48	71901.65	1558.7	0.9	2.1	1402.86	3273.34
		Σ	186990.4	4053.7				

6.3.4 Statik Analiz Sonuçları

Bölüm 6.3'de elde edilen veriler kullanılarak her 3 tip izolasyon mesneti için de ayrı matematik model oluşturulmuştur. İzolasyon mesnetleri SAP2000 programı kullanılarak zemin kat tabanında iki düğüm noktalı link elemanları şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıca kat kuvvetleri hesaplanan burulma bileşenleri ile birlikte kat kütle merkezlerinde tanımlanarak düşey ve yatay yük çözümlmeleri yapılmıştır. Çözümlmelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.22 İzole edilmiş yapı periyotları

	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet
Periyot (sn)	2.34	2.41	2.25

Çizelge 6.23 Taban kesme kuvvetleri

	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	Ankastre Mesnet
Taban Kesme Kuvveti (kN)	3026.0	2762.1	4053.7	7764.0

Çizelge 6.24 Kat kütle merkezi yerdeğiştirmeleri

Mesnet Tipi	Doğrultu	Kat Kütle Merkezi Yerdeğiştirmeleri (m)			
		Kat Z	Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	0.1215	0.1270	0.1334	0.1369
	y	0.1215	0.1273	0.1339	0.1378
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	0.1200	0.1250	0.1308	0.1341
	y	0.1200	0.1255	0.1318	0.1358
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	0.1496	0.1584	0.1678	0.1733
	y	0.1496	0.1611	0.1735	0.1821
Ankastre Mesnet	x	-	0.0180	0.0351	0.0441
	y	-	0.0182	0.0355	0.0450

Çizelge 6.25 Kat kütle merkezi görelî kat ötelenmeleri

Mesnet Tipi	Doğrultu	Görelî Kat Ötelenmeleri (m)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	0.0055	0.0064	0.0035
	y	0.0058	0.0066	0.0039
Kurşun Saplamaî Kauçuk Mesnet	x	0.0050	0.0058	0.0033
	y	0.0055	0.0063	0.0040
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	0.0088	0.0094	0.0055
	y	0.0115	0.0124	0.0086
Ankastre Mesnet	x	0.0180	0.0171	0.0090
	y	0.0182	0.0173	0.0095

Çizelge 6.26 A1 aksı kolonu en büyük moment değeri (Ek1)

Mesnet Tipi	Doğrultu	Moment (kNm)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	408.78	333.68	203.23
	y	159.49	134.22	84.73
Kurşun Saplamaî Kauçuk Mesnet	x	392.84	318.91	206.37
	y	161.68	133.83	90.44
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	446.59	380.24	186.02
	y	174.14	150.68	92.80
Ankastre Mesnet	x	920.15	828.34	437.84
	y	280.04	312.83	169.47

Çizelge 6.27 B2 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)

Mesnet Tipi	Doğrultu	Moment (kNm)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	137.04	112.54	67.91
	y	304.18	253.53	140.25
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	142.33	120.90	83.86
	y	259.33	237.41	140.16
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	208.50	174.18	117.47
	y	374.01	320.43	158.08
Ankastre Mesnet	x	309.04	303.70	167.51
	y	1070.68	648.07	350.17

Çizelge 6.28 A1 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)

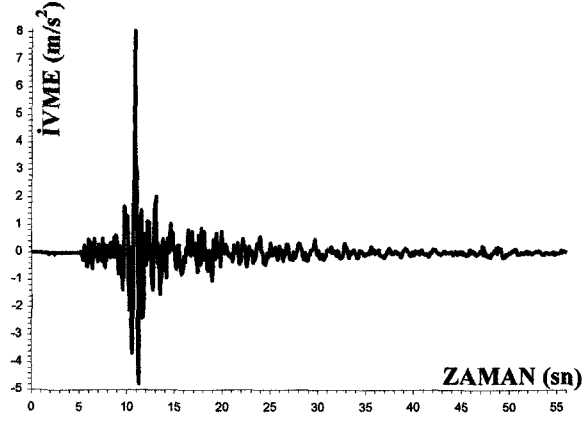
Mesnet Tipi	Doğrultu	Kesme Kuvveti (kN)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	82.10	62.99	39.45
	y	202.52	152.53	88.16
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	84.29	62.85	42.15
	y	197.27	146.06	90.10
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	87.51	70.55	43.76
	y	217.19	172.20	78.59
Ankastre Mesnet	x	126.21	147.57	77.81
	y	425.07	376.88	184.83

Çizelge 6.29 B2 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)

Mesnet Tipi	Doğrultu	Kesme Kuvveti (kN)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	142.85	111.26	52.40
	y	69.58	52.99	30.95
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	125.96	105.77	52.44
	y	74.25	57.00	38.37
Sürtümlü Sarkaç Mesnet	x	172.50	140.14	56.05
	y	104.44	82.08	53.67
Ankastre Mesnet	x	441.45	272.42	129.69
	y	144.32	143.75	76.04

6.4 Dinamik Analiz

UBC 97 yönetmeliğinde verilen şartlara göre gözönüne aldığımız yapı için dinamik analiz gerekli olmamasına rağmen izolasyon mesnetlerinin şiddetli bir depremdeki davranışını incelemek ve kurulan kuvvet-yerdeğiştirme bağıntılarının kullanılması için mevcut yapı yer ivmesi kaydı altında çözümlenmiştir. Bunun için Bolu Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü kayıt istasyonunda kaydedilen ve en büyük ivme bileşeni 8.059 m/s^2 olan 1999 Düzce depreminin doğu-batı ivme bileşeni altında zaman tanım alanında lineer olmayan çözümleme yapılmıştır. FNA olarak tanımlanan bu analiz tipinde link elemanının lineer olmayan davranışı gözönüne alınmaktadır. Zaman tanım alanındaki çözümlemelerde kullanılan ivme kaydı Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10 1999 Düzce depreminin doğu-batı ivme bileşeni

Zaman tanım alanındaki çözümlemelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.30 En büyük taban kesme kuvveti

	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	Ankastre Mesnet
Taban Kesme Kuvveti (kN)	3776	3430	5106	26140

Çizelge 6.31 En büyük kat kütle merkezi yerdeğiştirmeleri

Mesnet Tipi	Doğrultu	Kat Kütle Merkezi Yerdeğiştirmeleri (m)			
		Kat Z	Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	0.1213	0.1263	0.1313	0.1341
	y	0.1224	0.1271	0.1312	0.1337
Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet	x	0.1201	0.1241	0.1282	0.1304
	y	0.1216	0.1254	0.1286	0.1301
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	0.1318	0.1357	0.1388	0.1403
	y	0.1276	0.1338	0.1395	0.1431
Ankastre Mesnet	x	-	0.0596	0.1110	0.1349
	y	-	0.0596	0.1115	0.1371

Çizelge 6.32 Kat kütle merkezinde görelî kat ötelenmeleri

Mesnet Tipi	Doğrultu	Görelî Kat Ötelenmeleri (m)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	0.0050	0.0050	0.0028
	y	0.0047	0.0041	0.0025
Kurşun Saplamaalı Kauçuk Mesnet	x	0.0040	0.0041	0.0022
	y	0.0038	0.0032	0.0015
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	0.0039	0.0031	0.0015
	y	0.0062	0.0057	0.0036
Ankastre Mesnet	x	0.0596	0.0514	0.0239
	y	0.0596	0.0519	0.0256

Çizelge 6.33 A1 aksı kolonu en büyük moment değeri (Ek1)

Mesnet Tipi	Moment	Moment (kNm)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	286.92	285.24	171.24
	y	123.98	124.38	75.31
Kurşun Saplamaalı Kauçuk Mesnet	x	261.56	247.26	183.60
	y	129.43	123.38	92.01
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	250.87	268.28	137.55
	y	109.69	108.49	52.10
Ankastre Mesnet	x	2596.73	2076.67	942.08
	y	861.81	844.95	390.22

Çizelge 6.34 B2 aksı kolonu en büyük moment değerleri (Ek1)

Mesnet Tipi	Moment	Moment (kNm)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	119.07	118.54	81.89
	y	289.08	304.02	186.23
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	146.66	132.06	114.68
	y	342.30	314.88	274.56
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	148.44	146.96	112.99
	y	288.22	318.90	183.43
Ankastre Mesnet	x	920.11	838.71	427.71
	y	3525.71	1959.22	933.13

Çizelge 6.35 A1 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)

Mesnet Tipi	Doğrultu	Kesme Kuvveti (kN)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	63.62	58.88	34.51
	y	142.60	134.55	72.89
Kurşun Saplama Kauçuk Mesnet	x	67.43	58.29	42.38
	y	132.68	116.17	82.70
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	54.59	51.14	23.63
	y	121.40	126.61	57.66
Ankastre Mesnet	x	391.98	397.13	176.91
	y	1196.18	930.11	389.98

Çizelge 6.36 B2 aksı kolonu kesme kuvveti değerleri (Ek1)

Mesnet Tipi	Doğrultu	Kesme Kuvveti (kN)		
		Kat 1	Kat 2	Kat 3
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	x	135.84	141.17	70.89
	y	60.97	56.20	37.56
Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet	x	164.37	145.43	112.98
	y	76.26	62.39	52.84
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	x	131.45	149.98	68.68
	y	73.80	69.79	51.91
Ankastre Mesnet	x	1462.08	804.04	340.84
	y	428.74	396.31	193.14

Çizelge 6.37 X doğrultusunda meydana gelen en büyük kat ivmeleri

Kat	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	Ankastre Mesnet
Z	8.864	9.040	8.940	-
1	8.882	8.930	9.225	7.975
2	9.134	8.875	9.448	14.010
3	9.496	9.031	9.776	16.050

Çizelge 6.38 Y doğrultusunda meydana gelen en büyük kat ivmeleri

Kat	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	Kurşun Saplamalı Kauçuk Mesnet	Sürtünmeli Sarkaç Mesnet	Ankastre Mesnet
Z	9.038	9.300	9.247	-
1	8.968	9.051	9.334	8.099
2	9.024	8.713	9.253	13.630
3	9.265	8.623	9.163	16.300

7. TABAN İZOLASYONU İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

UBC 97 yönetmeliğinde hesaplamalar bir dizi tablolar serisi üzerinden yürütüldüğü için öncelikle bu tabloların bilgisayar ortamına aktarılması ve daha sonra da farklı izolasyon mesnetleri için herhangi bir yapının kayma serbestliklerinde kullanılacak olan kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak geliştirilen bilgisayar programına UBASE adı verilmiştir. UBASE programı tezin 4. bölümünde verilen bu tabloları kullanmakta, gereken yerlerde ara değerler için enterpolasyon yapmaktadır. Ayrıca tezin 3. bölümünde verilen mesnetlerin mekanik özellikleri kullanılmaktadır. Program Microsoft Visual Basic programlama dili kullanılarak yazılmış ve aynı programla derlenmiştir. Windows işletim sisteminde çalışmaktadır. Çözümleme yapmak için gerekli bilgiler programın grafik arayüzü kullanılarak programa girilmektedir. Visual Basic nesneye yönelik bir programlama dili olduğu için programın önemli görülen kaynak kodları Ek3'de verilmiştir.

Programın özellikleri şunlardır.

- Yapının ankastre mesnetli durumdaki taban kesme kuvvetinin ve izole edilmiş yapı durumunda kullanılacak olan spektral sismik katsayıların hesaplanması
- Kauçuk mesnetlerde kullanılacak olan kauçuğun mekanik özelliklerinin tanımlanması
- Yapının izole edilmiş durumdaki taban kesme kuvvetinin hesaplanması ve tasarım yerdeğiştirmelerinin belirlenmesi
- Gerekli görülmesi durumunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin katlara dağıtılması
- Mesnetin boyutlanması
- İzolatörün kayma serbestliklerinde tanımlanan lineer olmayan kuvvet yerdeğiştirme eğrilerinin üretilmesi
- Mesnetin SAP2000 programında tanımlanması için gereken link elemanı giriş bilgilerinin üretilmesi
- Yerdeğiştirmemiş durumda burkulma güvenliğinin kontrol edilmesi
- Kayma şekildeğiştirmelerinin incelenmesi

Programın kısıtlamaları şunlardır.

- Programda en çok 2 farklı tip kauçuğun mekanik özellikleri kullanılabilir.
- Hesaplanması istenen mesnetin çapı 6.3.1.1 ve 6.3.2.1'de hesaplandığı şekilde gereken mesnet çapından küçük olamaz.

- Programda en çok 50 adet aynı tip mesnet gözönüne alınabilir.
- Kurşun saplamalı mesnetlerde en çok 25 cm çapında kurşun çekirdek kullanılabilir.
- Programda en çok 2 farklı tip kurşun çapı gözönüne alınabilir.
- Mesnetlerdeki toplam kurşun çapı 6.3.2.1'de hesaplandığı şekilde gereken toplam kurşun çapından küçük olamaz.
- Alt ve üst çelik bağlantı plakasının kalınlığı aynıdır.
- Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde sadece izole edilmiş yapının taban kesme kuvveti hesaplanmaktadır.

7.1 Programın Tanıtılması

Bu bölümde geliştirilen program şekillerle birlikte açıklanmıştır. UBASE programı çalıştırıldığında aşağıdaki arayüz karşımıza gelmektedir. Burada ankastre mesnetli durumdaki taban kesme kuvvetinin hesaplanması için gereken tüm veriler liste kutuları veya metin kutuları kullanılarak programa girilmektedir. Veri girişinin tamamlanmasından sonra Ankastre Mesnetli Taban Kesme Kuvveti komut düğmesine basılarak işlem tamamlanır. Şekil 7.1'de bu esnada alınan bir ekran görüntüsü görülmektedir.

UBASE-UNIFORM BUILDING CODE (UBC97) BASE ISOLATION PROGRAM				
Deprem Bölgesi	Bilgi	4	DBE Deprem Sarsıntı Şiddeti (Z _{Nv})	.4
Zemin Sınıfı	Bilgi	Sc	MCE Tepki Katsayısı (M _m)	1.25
Sismik Kaynak Tipi	Bilgi	A	Spektral Sismik Katsayı (C _{vd})	.56
Aktif Faya Bilinen En Kısa Uzaklık (km)		>=10	Spektral Sismik Katsayı (C _{ad})	.4
Bina Önem Katsayısı (I)	Bilgi	1.25	Spektral Sismik Katsayı (C _{am})	.5
Süneklik Katsayısı (R)	Bilgi	3.5	Spektral Sismik Katsayı (C _{vm})	.7
Yapı Yüksekliği (m)		12.6		
Yapı Ağırlığı (kN)	Bilgi	15288.9	TABAN KESME KUVVETİ	1747.3 5460.321 5460.3
☐ Ankastre Mesnetli Periyod (sn)		0.508	TABAN KESME KUVVETİ KATSAYISI	.357
Kauçuk Mesnet (HDRB) için Tasarım			Ankastre Mesnetli Taban Kesme Kuvveti	
Kursun Saplmalı Kauçuk Mesnet (LPB) için Tasarım			Kauçuk Mekanik Özellikleri	
Sürtünmeli Sarkaç Mesnet (FPS) için Tasarım			INFO	
			Kapat	

Şekil 7.1 UBASE programı

Programda gözönüne alınacak kauçuk mesnetlerin farklı şekildeğiştirme durumları için kayma modülü ve sönüm özellikleri Kauçuk Mekanik Özellikleri komut düğmesine basılarak gelen

arayüzden programa girilir. Şekil 7.2’de veri girişinin tamamlanmasından sonra alınan bir ekran görüntüsü görülmektedir.

Tip 1			
YERDEĞİŞTİRME	KAYMA ŞEKİLDEĞİŞTİRMESİ	KAYMA MODÜLÜ	SÖNÜM
MCE	2.0	0.6	0.08
DBE	1.5	0.5	0.10
Küçük	0.2	0.7	0.00

Tip 2			
YERDEĞİŞTİRME	KAYMA ŞEKİLDEĞİŞTİRMESİ	KAYMA MODÜLÜ	SÖNÜM
MCE	2.0	1.2	0.12
DBE	1.5	1.0	0.15
Küçük	0.2	1.4	0.00

Program DBE karakteristiklerine göre kuvvet-yerdeğiştirme eğrisini kurmaktadır. MCE karakteristiklerini ve küçük yerdeğiştirmeler için malzeme özelliklerini de kullanmaktadır.

OK

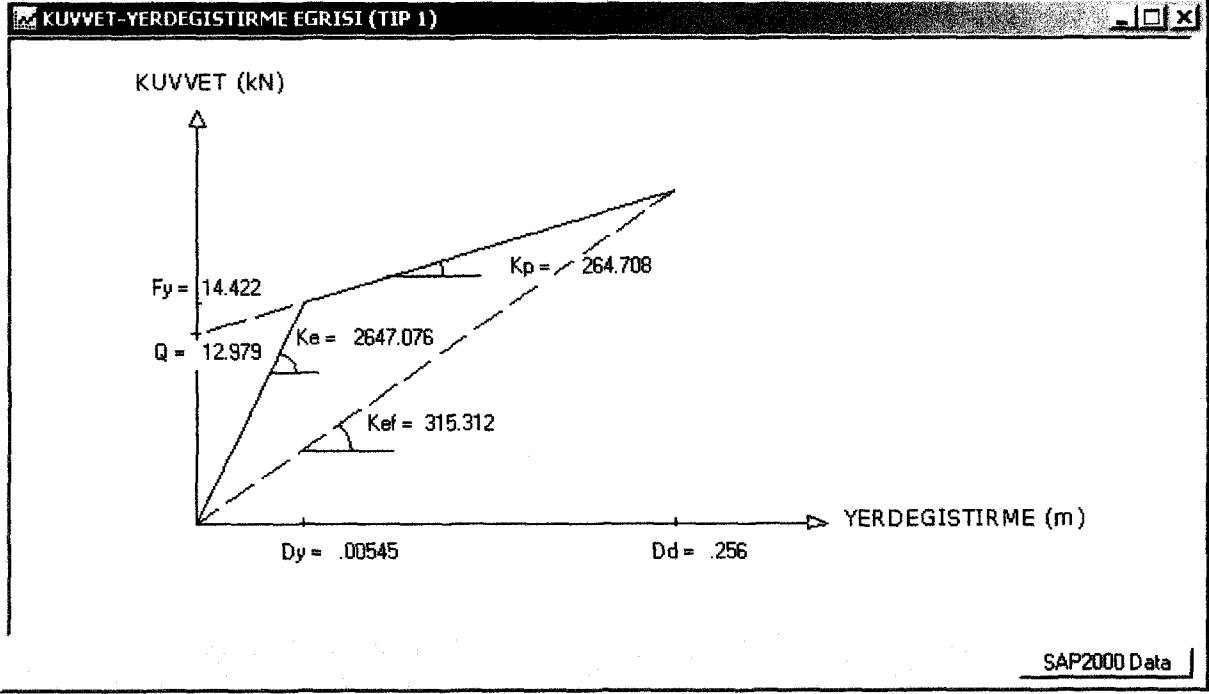
Şekil 7.2 Kauçuğun mekanik özelliklerinin programa girilmesi

Kullanılan kauçuğun mekanik özelliklerinin programa girilmesinden sonra Şekil 7.1’deki HDRB için Tasarım isimli komut düğmesinden yüksek sönümlü kauçuk mesnet için yazılan arayüze geçiş yapılır. İzole edilmiş DBE yapı periyodu, sistemin sönümü, akma öncesi rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranı, hacimsel elastisite modülü, mesnetteki toplam kauçuk tabakası kalınlığı, izolatör tipleri ve adetleri, yapının plan boyutları, eksantrisite ve üstyapı için süneklik katsayıları gibi bilgiler liste kutuları veya metin kutuları ile programa girilir. Ayrıca mesnetin boyutlanmasında kullanılmak üzere alt ve üst çelik bağlantı plakaları kalınlıkları ile mesnet içinde kullanılan tek bir ince çelik levhanın kalınlığı programa girilir. Veri girişinin tamamlanmasından sonra Hesapla isimli komut düğmesine basıldıktan sonra program gereken mesnet çapını hesaplayarak diyalog kutusuyla bildirir. Aynı arayüz üzerinden kullanıcı seçtiği mesnet çapını girer ve hesaplama sonlanır. Bu aşamadan sonra mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi ve burkulma güvenliği saptanabilir. Ayrıca mesnetin kayma şekildeğiştirme durumu da aynı arayüzden görülür. İhtiyaç doğrultusunda sistemde kullanılacak izolatör adetleri ve kauçuk tipleri ile birlikte diğer verilerde değişiklikler yapılması ve hesaplamaların tekrarı ile daha uygun ve özellikli bir izolasyon sistemi boyutlanabilir. Şekil 7.3’de hesaplamalar tamamlandıktan sonra bir ekran görüntüsü verilmiştir.

UBASE-KAUÇUK MESNET (HDB)		
DBE Yapı Periyodu Td (sn)	2.5	2.408
Sistemin Toplam Viskoz Sönümü	0.12	.127
Elastik Rijitlik/Plastik Rijitlik (Ke/Kp)	10	
Yapı Ağırlığı (İzolasyonlu Durum) (N)	20171	
Kübik Esneklik Modülü (MPa)	2000	
Toplam Kauçuk Tabakası Kalınlığı (m)	0.25	.252
İzolator (Tip 1) İzolator Adedi 20 Kauçuk Tipi 1 İzolator (Tip 2) İzolator Adedi 12 Kauçuk Tipi 2		
Şekil Faktörü (S)	11.598	
Kayma Şekildeğiştirme (Yatay Yük Sebebiyle)	1.017	
Kayma Şekildeğiştirme (Düşey Yük Sebebiyle)	.505	
Toplam Kayma Şekildeğiştirme	1.522	
Max. Eksenel Kuvvet (kN) Tip1	573.2	
Max. Eksenel Kuvvet (kN) Tip2	895.7	
Burkulma Güvenliği		
Yapının planda X doğrultusu uzunluğu (b) (m)	42	
Yapının planda Y doğrultusu uzunluğu (d) (m)	18	
Eksantrisite (e) (m)	Bilgi	2.1
Sismik yükleme doğrultusuna dik bir köşe noktasına olan uzaklık (y) (m)	Bilgi	21
Üstyapı için süneklik katsayısı (R)	Bilgi	2.0
DBE Tasarım Yerdeğiştirme Dd (m)		.256
DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirme Dtd (m)		.315
DBE Taban Kesme Kuvveti (kN)	Kat Kuvvet	1794.893
DBE TKK / ANAKASTRE M. TKK		.329
MCE Yapı Periyodu (sn)		2.198
MCE Tasarım Yerdeğiştirme Dm (m)		.314
MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirme Dtm (m)		.383
Çelik bağlantı levhası kalınlığı (mm)		25
Mesnetteki tek bir çelik levha kalınlığı (mm)		2
Toplam kauçuk tabakası adedi (n)		26
Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) (mm)		9.7
İzolator yüksekliği (h) (mm)		352.2
Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrisi		Hesapla

Şekil 7.3 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet için arayüz

Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrisi komut düğmesiyle mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisini gösteren arayüze geçiş yapılır. Bu işlem yapıldığında her iki tip mesnet için de kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi ayrı ayrı görüntülenir. Şekil 7.4'de sadece Tip1 için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 7.4 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi için arayüz

Burada Sap2000 Data komut düğmesine basılarak mesnetin SAP2000 programında tanımlanması için geliştirilen arayüze geçilir. Şekil 7.5’de bu işlem yapıldıktan sonra alınan bir ekran görüntüsü verilmiştir.

SAP2000 LINK ELEMANI GİRİŞ BİLGİLERİ (TIP 1)			
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlinear
U1	Efektif Rijitlik (kN/m)	277799.6	
U2 - U3	Efektif Rijitlik (kN/m)	315.312	
	Elastik Rijitlik Ke (kN/m)		2647.076
	Akma Kuvveti (kN)		14.422
	Akma Sonrası Rijitlik Oranı		.1
R2 - R3	Efektif Rijitlik (kN/m)	270.758	
Efektif Sönüm (%) .1			
Kütle (kNs ² /m) .169			
Ağırlık (kN) 1.6576			
(*) : Efektif sönüm değeri U1, U2, U3, R2 ve R3 doğrultularında aynıdır.			

Şekil 7.5 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet için SAP2000 giriş bilgileri

Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler için de program benzerlik gösterir. Şekil 7.6'da Şekil 7.1'deki LPB için Tasarım komut düğmesine basıldıktan, veri girişi ve hesaplamalar yapıldıktan sonra alınan bir ekran görüntüsü verilmiştir.

UBASE-KURŞUN SAPLAMALI KAÜÇUK MESNET (LPB)				
DBE Yapı Periyodu Td (sn)	2.5	2.255	Yapının planda X doğrultusu uzunluğu (b) (m)	42
Toplam Kauçuk Tabakası Kalınlığı (m)	0.25	.251	Yapının planda Y doğrultusu uzunluğu (d) (m)	18
Sistemin Toplam Viskoz Sönümü	0.15	.139	Eksantrisite (e) (m)	Bilgi 2.1
Elastik Rijitlik/Plastik Rijitlik (Ke/Kp)	10		Sismik yükleme doğrultusuna dik bir köşe noktasına olan uzaklık (y) (m)	Bilgi 21
Yapı Ağırlığı (İzolasyonlu Durum) (N)	20171		Üstyapı için süneklik katsayısı (R)	Bilgi 2.0
Kurşunun Akma Dayanımı (MPa)	10		DBE Tasarım Yerdeğiştirmesi Dd (m)	.227
Kübik Esneklik Modülü (MPa)	2000		DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesi Dtd (m)	.278
İzolatör (Tip 1) İzolatör Adedi 20 Kurşun Çapı (mm) 50 Kauçuk Tipi 1			DBE Taban Kesme Kuvveti (kN) Kat Kuvvet	1813.713
İzolatör (Tip2) İzolatör Adedi 12 Kurşun Çapı (mm) 70 Kauçuk Tipi 1			DBE TTK / ANKASTRE M. TTK	.332
Gereken Kurşun Alanı (m2)	.07998		MCE Yapı Periyodu (sn)	2.594
Toplam Kurşun Alanı (m2)	.08545		MCE Tasarım Yerdeğiştirmesi Dm (m)	.346
Şekil Faktörü (S)	6.983		MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesi Dtm (m)	.425
Toplam Kurşun Kesme Kuvveti / Taban Kesme Kuvveti	.471		Çelik bağlantı levhası kalınlığı (mm)	25
Kayma Şekildeğiştirmesi (Düşey Yük Sebebiyle)	.724		Mesnetteki tek bir çelik levha kalınlığı (mm)	2
Kayma Şekildeğiştirmesi (Yatay Yük Sebebiyle)	.907		Toplam kauçuk tabakası adedi (n)	14
Toplam Kayma Şekildeğiştirmesi	1.631		Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) (mm)	17.9
			İzolatör yüksekliği (h) (mm)	326.6
			Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrisi	Hasapla
			Max. Eksenel Kuvvet (kN) Tip1	575
			Max. Eksenel Kuvvet (kN) Tip2	800
			Burkulma Güvenliği	

Şekil 7.6 Kurşun saplamalı kauçuk mesnet için arayüz

Sürtünmeli sarkaç mesnetler için Şekil 7.7'de Şekil 7.1'deki FPS için Tasarım komut düğmesine basıldıktan, veri girişi ve hesaplamalar yapıldıktan sonra alınan bir ekran görüntüsü verilmiştir. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde taban kesme kuvveti ve tasarım yerdeğiştirmelerinin hesaplanması dışında herhangi bir hesaplama yapılmamaktadır.

UBASE-SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNET (FPS)				
DBE Yapı Periyodu Td (sn)		2.5	Mesnedin Eğrilik Yarıçapı (R) (m)	1.553
Sistemin Viskoz Sönümü	.15	0.2	DBE Tasarım Yerdeğiştirme Dd (m)	.252
Yapı Ağırlığı (İzolasyonlu Durum) (N)		20171	DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirme Dtd (m)	.31
Mesnedin Yüksek Hızlardaki Sürtünme Katsayısı		0.05	DBE Taban Kesme Kuvveti (kN) Kat Kuvvet	2140.65
Mesnedin Düşük Hızlardaki Sürtünme Katsayısı		0.025	DBE TKK / ANAKASTRE M. TKK	.392
Yapının planda X doğrultusu uzunluğu (b) (m)		42	MCE Yapı Periyodu (sn)	2.358
Yapının planda Y doğrultusu uzunluğu (d) (m)		18	MCE Tasarım Yerdeğiştirme Dm (m)	.315
Eksantrisite (e) (m)	Bilgi	2.1	MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirme Dtm (m)	.386
Sismik yükleme doğrultusuna dik bir köşe noktasına olan uzaklık (y) (m)	Bilgi	21		
Üstyapı için süneklik katsayısı (R)	Bilgi	2.0	Kuvvet-Yerdeğiştirme Eğrisi	Hesapla

Şekil 7.7 Sürtünmeli sarkaç mesnet için arayüz

8. SONUÇLAR

Bölüm 6'daki uygulamalarda tasarım düzeyindeki bir deprem için yapının izole edilmiş periyotunun 2.5 sn civarında olduğu şeklinde yapılan kabule oldukça yakın sistem periyotları elde edilmiştir (Çizelge 6.22).

Taban izolasyonu uygulanmış yapılarda mesnetlerin kayma doğrultularındaki histeretik hareket sebebiyle artan sönüm ve mesnetlerdeki yerdeğiştirme dolayısıyla taban kesme kuvvetlerinde anlamlı bir azalma meydana gelmektedir. Statik analiz sonuçlarına göre taban izolasyonu uygulanmış yapının taban kesme kuvveti, ankastre mesnetli durumdaki taban kesme kuvvetinin 0.36 ile 0.52 katı arasında değişen değerler almıştır (Çizelge 6.23). Zaman tanım alanındaki çözümlemelerde ise bu duruma karşı gelen ankastre mesnetli taban kesme kuvvetinin 0.13 ile 0.20 katı arasında değişen kuvvetler elde edilmiştir (Çizelge 6.30).

Taban izolasyonu uygulanmış yapılarda en büyük yerdeğiştirmeler izolasyon seviyesinde olduğundan üstyapı neredeyse rijit ötelenme hareketi yapmaktadır. Bu durum analiz sonuçlarına da yansımıştır. Özellikle sürtünmeli sarkaç mesnetli izole edilmiş yapının statik analiz sonuçları dışındaki görelî kat ötelenmeleri, UBC 97 yönetmeliğinin statik analiz için verdiği sınır değer olan 0.005 m'ye yakın değerler almıştır (Çizelge 6.25). Görelî kat ötelenmelerinin zaman tanım alanındaki çözümlemeler için sınır değeri 0.01 m'dir ve bu sınır değer in oldukça altında görelî yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir (Çizelge 6.32).

Taban izolasyonu yapıda elastik cevaba izin vererek şiddetli depremlerde düşük kat ivmeleri üretilmesini sağlar. Olabilecek en şiddetli deprem olarak gözönüne alınan Bolu depreminin doğu-batı bileşeni ivme kaydı altındaki çözümlemelerde kat ivmeleri birbirine yakın değerler alırken, ankastre mesnetli olarak çözümlenen aynı yapıda üst katlara doğru oldukça artan kat ivmeleri meydana gelmiştir. Özellikle sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının en büyük üçüncü kat ivmesi 9.78 m/s^2 olarak elde edilirken, ankastre mesnetli durumda en büyük üçüncü kat ivmesi 16 m/s^2 'nin üzerine çıkmıştır (Çizelge 6.37).

Statik analiz ve zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerden elde edilen iç kuvvet sonuçları sadece A1 ve B2 aksı kolonları için karşı gelen ankastre mesnetli durumla karşılaştırılmış, kirişlerde ise herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır. X ve Y doğrultularında yapılan çözümlemeler sonucunda kesit tesirlerinde anlamlı bir azalma meydana geldiği görülmüştür (Çizelge 6.26, 6.27, 6.28, 6.29, 6.33, 6.34, 6.35, 6.36). Taban izolasyonu uygulanarak depreme karşı güçlendirilmesi düşünülen yapılarda izole edilmiş durumdaki kesit tesirlerinin mevcut beton ve donatı karakteristikleri kullanılarak elde edilen kapasitelerden

daha küçük olduğu gösterilmelidir.

Bölüm 6'daki çözümlemelerden elde edilen sonuçlara göre, yapı sistemlerinde taban izolasyonu uygulamalarının depreme karşı yapı tasarımında geçerli bir metot olduğu görülmüştür. Mevcut yapılarda taban izolasyonu uygulanarak depreme karşı yüksek güvenlik sağlanabilir. Yeni yapılacak yapılarda ise taşıyıcı sistem elemanı boyutlarında ve donatılarda ekonomi sağlanacağı anlaşılmaktadır. Taban izolasyonunda en önemli kazanç yapının ekonomik ömrü içerisinde olabilecek depremlere karşı yüksek yapı güvenliği sağlanması sebebiyle onarım ve güçlendirme yapmamanın getirdiğı kazançlardır.



KAYNAKLAR

1997 Uniform Building Code, (1997), International Conference of Building Officials, USA

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1998), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Arya, A.S., (1984), "Sliding Concept for Mitigation of Earthquake Disaster to Masonry Buildings", Proc. 8th World Conf. Earthq. Eng., Vol. 5, San Francisco, CA

Bayülke, N., (2002), "Yapıların Deprem Titreşimlerinden Yalıtımı", Sistem Ofset Yayınları, İstanbul

Chopra, A.K., Clough, D.P., Clough, R.W., (1973), "Earthquake Resistance of Buildings with a Soft First Story", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1. 347-355

Constantinou, M.C., Mokha, A.S., Reinhorn, A.M., (1990), "Teflon Bearings in Base Isolation: Modeling", J. Struct. Eng., 116, 455-473

Çağlar, M.C., (2002), Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Dumanoglu, A.A., Ateş, Ş., (1999), "Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi", Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor 026-42, İstanbul

Earthquake Protection Systems Inc., (1994), "Friction Pendulum Seismic Isolation", Richmond/USA

Ersoy, S., Saadeghvaziri, M.A., Liu, G.Y., Mau, S.T., (2001), "Analytical and Experimental Seismic Studies of Transformers Isolated with Friction Pendulum System and Design Aspects", Earthquake Spektra, Vol. 17, No. 4.

FEMA 273, (1997), "Nehrp Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington/USA.

FEMA 274, (1997), "Nehrp Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington/USA.

Gent, A.N., (1964), "Elastic Stability of Rubber Compression Springs", J. Mech. Eng. Vol. 6, No. 4.

GERB Schwingungsisolierungen GmbH, (2000), Vibration Isolation Systems, Germany

Haringx, J.A., (1948), "On Highly Compressible Helical Springs and Rubber Rods, and Their Application for Vibration-Free Mounting", III Philips Res. Rep., Vol. 4

Imbimbo, M., Kelly, J.M., (1997), "Stability of Isolators at Large Horizontal Displacements", Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 3.

Jangid, R.S., (1995), Seismic Behaviour of Base-Isolated Buildings: A State of Art Review, Proc. Instn Civ. Engrs Structsand Bldgs, 110. 186-203

Kelly, J.M., (1996), Earthquake Resistant Design with Rubber, 2nd. ed., Springer-Verlag, London

Mostaghel, N., (1983), "Resilient-Friction Base Isolator", Report No. UTEC 84-097. Department of Civil Engineering, University of Utah, Salt Lake City/USA

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

Naeim, F.,(2001), Seismic Design Handbook, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA

Nagarajaiah, S., Ferrell, K., (1999), "Stability of Elastomeric Isolation Bearings", ASCE J. Structural Engineering, Vol 125-9, pp. 946-954

Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Constantinou, M.C., (1991), "3D BASIS-Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures: Part II", Report No. NCEER-91-0005, National Center for Earthquake Engineering Research , Buffalo, NY/USA

Park, Y.J., Wen, Y.K., Ang, A.H-S., (1986), "Random Vibration Of Hysteretic Systems Under Bi-Directional Ground Motions", Earthquake Engineering And Structural Dynamics, Vol. 14.

Sap2000 Nonlinear Structural Analysis Program, (2004), Computers and Structures Inc., Berkeley, California/USA

Sap2000 Nonlinear Structural Analysis Reference Manual, (2002), Computers and Structures Inc., Berkeley, California/USA

Tezcan, S.S., Cimilli, S., (2002), Seismic Base Isolation, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı, İstanbul.

TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, (2000), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Wen, Y.K., (1976), "Method for Random Vibration of Hysteretic Systems", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 102, No. EM2.

Zayas, V., Low, S., (1990), "A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2.

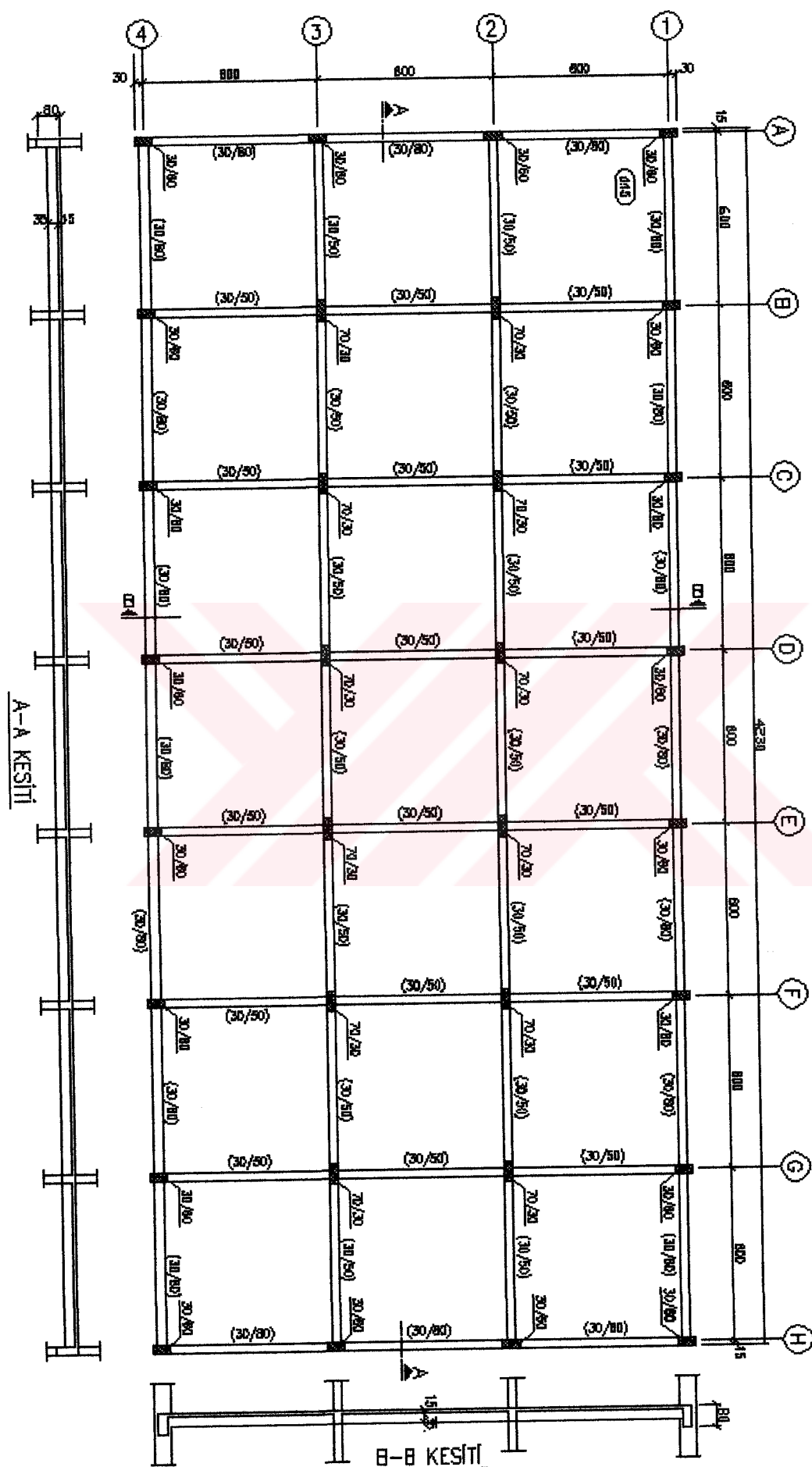
EKLER

- Ek 1 Uygulamada gözönüne alınan yapının normal kat kalıp planı
Ek 2 Uygulamada gözönüne alınan yapının analiz sonuçları
Ek 3 Taban izolasyonu için geliştirilen bilgisayar programının kaynak kodu



Ek 1 Uygulamada gözönüne alınan yapının normal kat kalıp planı

NORMAL KAT TAVANI KALIP PLANI

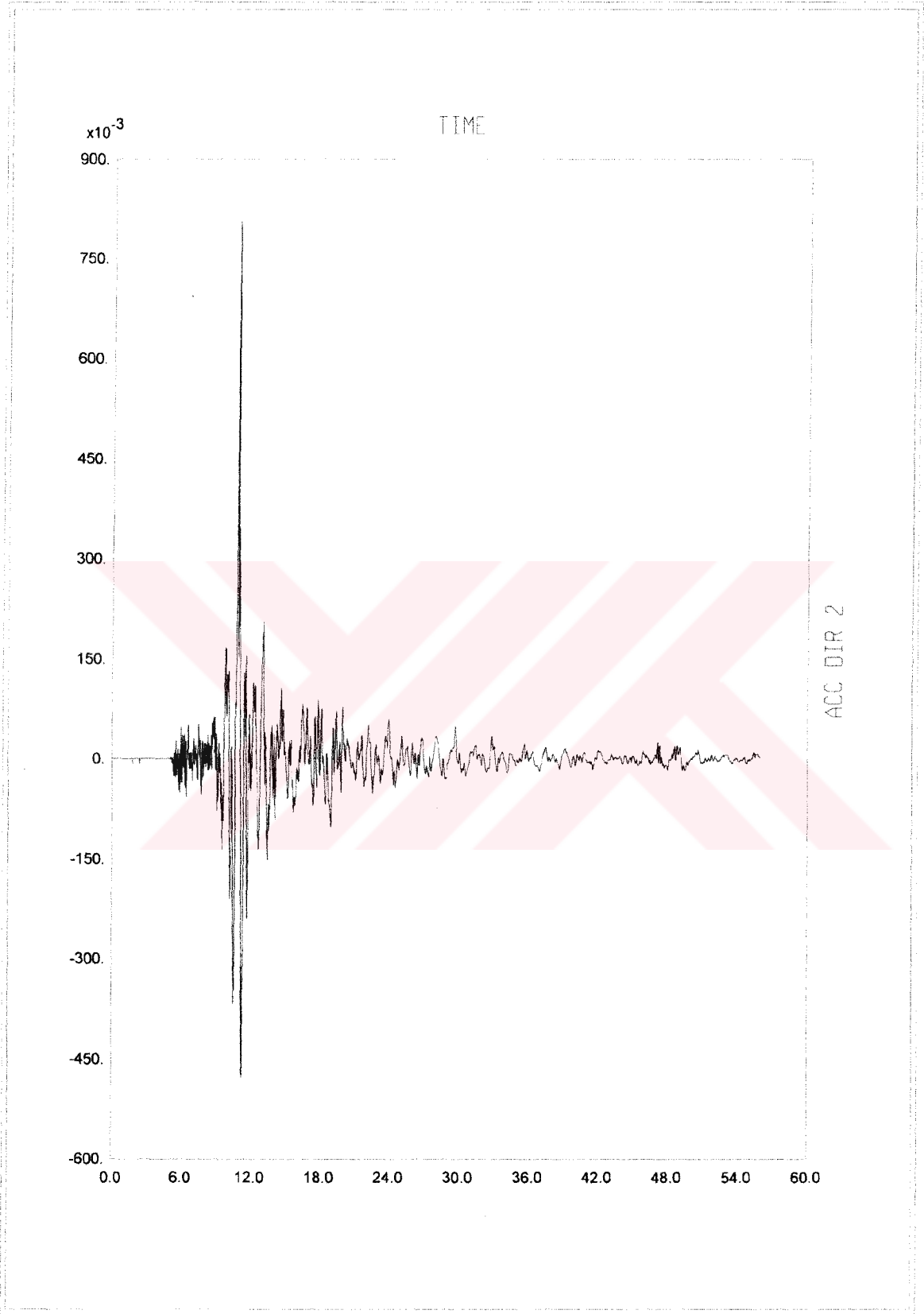


Ek 2 Uygulamada gözönüne alınan yapının analiz sonuçları

Analizlerde gözönüne alınan 1999 Düzce depremi ivme kaydı
 Ankastre mesnetli yapının birinci mod şekli
 Ankastre mesnetli yapının ikinci mod şekli
 Ankastre mesnetli yapının üçüncü mod şekli
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının birinci mod şekli
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının ikinci mod şekli
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının üçüncü mod şekli
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının birinci mod şekli
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının ikinci mod şekli
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının üçüncü mod şekli
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının birinci mod şekli
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının ikinci mod şekli
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının üçüncü mod şekli
 Ankastre mesnetli yapının x yönü taban kesme kuvveti
 Ankastre mesnetli yapının y yönü taban kesme kuvveti
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu taban kesme kuvveti
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının y doğrultusu taban kesme kuvveti
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu taban kesme kuvveti
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının y doğrultusu taban kesme kuvveti
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu taban kesme kuvveti
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının y doğrultusu taban kesme kuvveti
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının B2 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi
 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi
 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi
 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi
 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi
 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi
 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/13/04 5:53:12

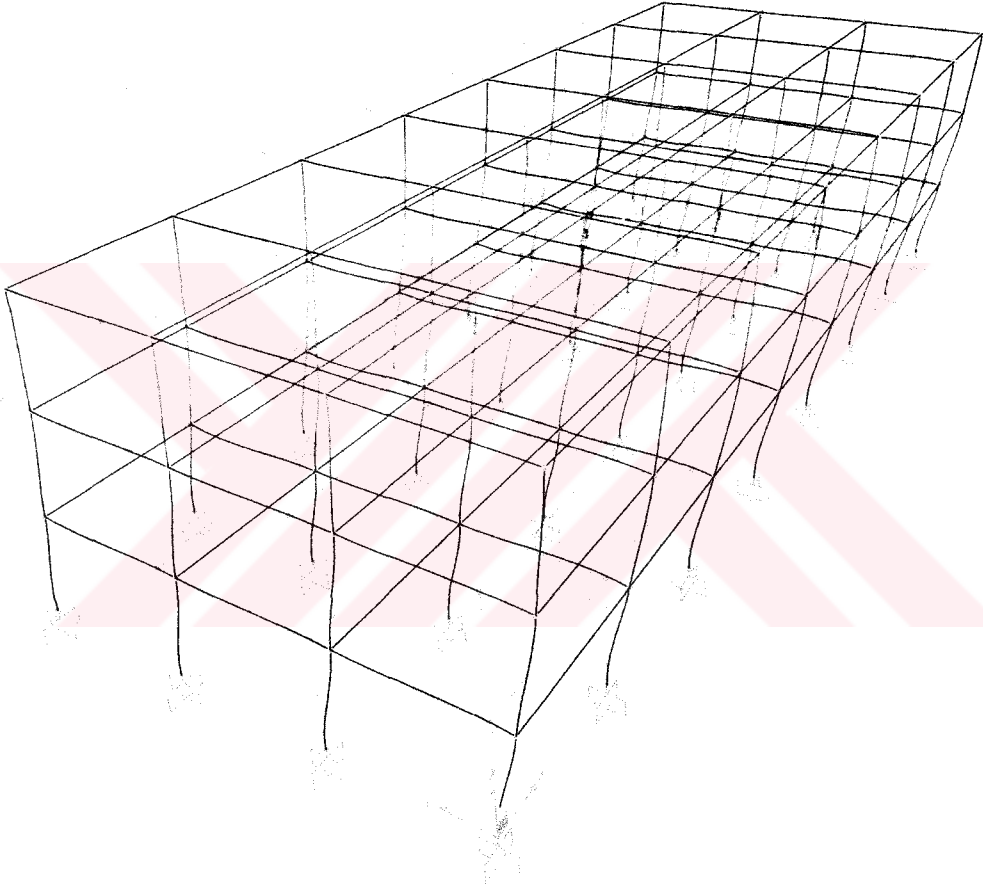


SAP2000 v8.3.1 - File:YUKSEK_SONUMLU - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

acc dir 2: Function acc dir 2 Vs TIME

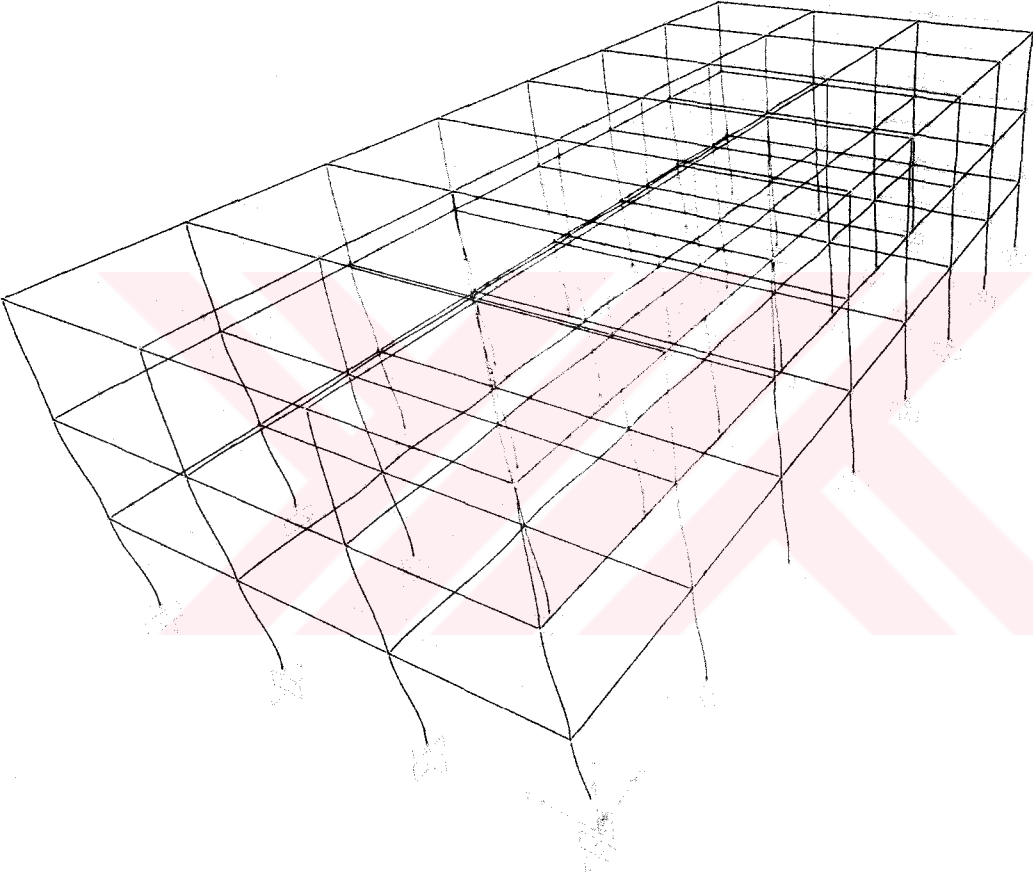
Min is -4.778e-01 at 1.1280e+01 Max is 8.059e-01 at 1.0810e+01

Şekil Ek 2.1 Analizlerde gözönüne alınan 1999 Düzce depremi ivme kaydı



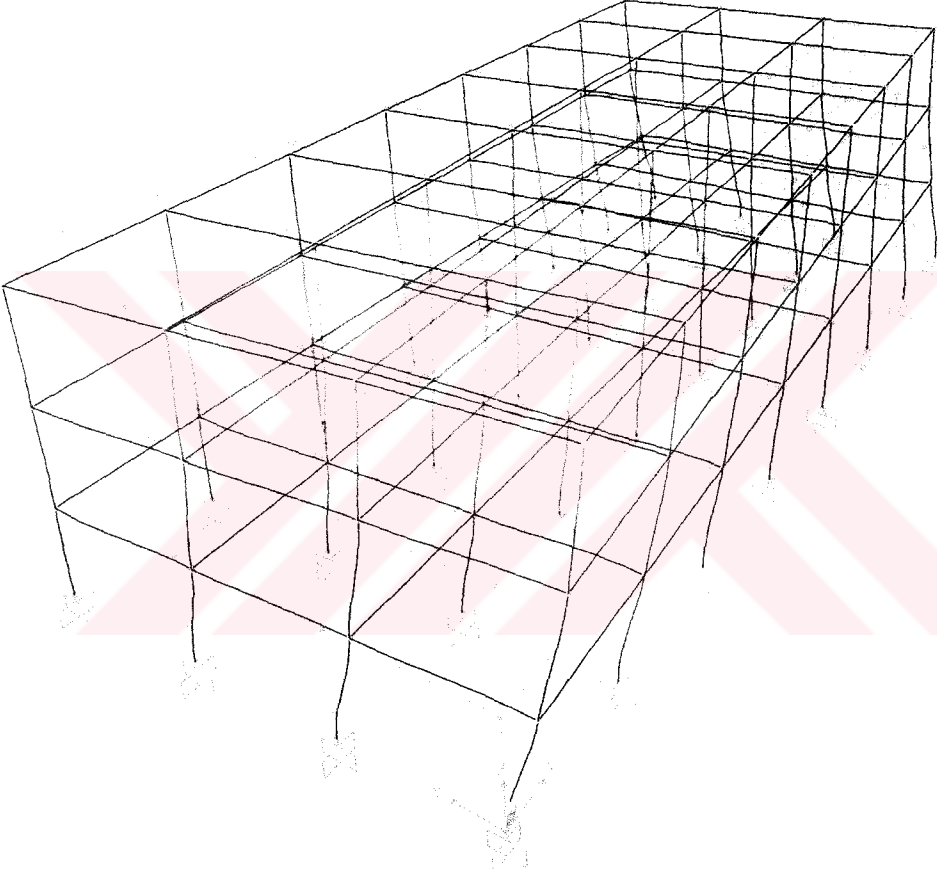
SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 0.61170 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.2 Ankastre mesnetli yapının birinci mod şekli



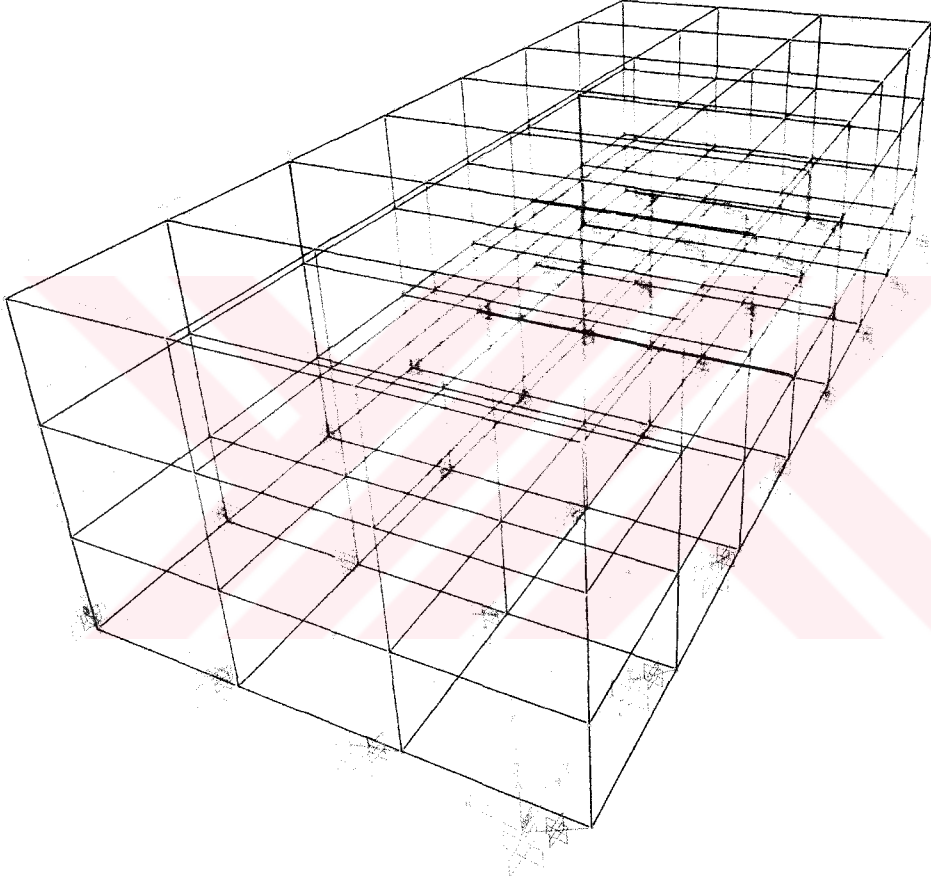
SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - Period 0.60757 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.3 Ankastre mesnetli yapının ikinci mod şekli



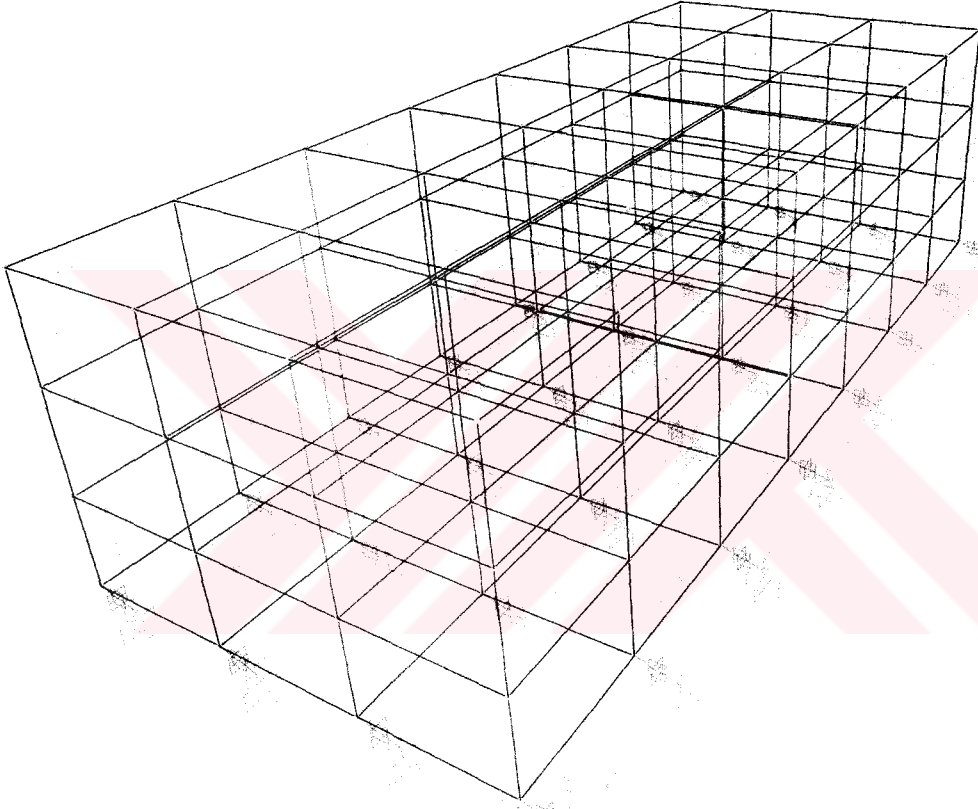
SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - Period 0.51133 - KN. m. C Units

Şekil Ek 2.4 Ankastre mesnetli yapının üçüncü mod şekli



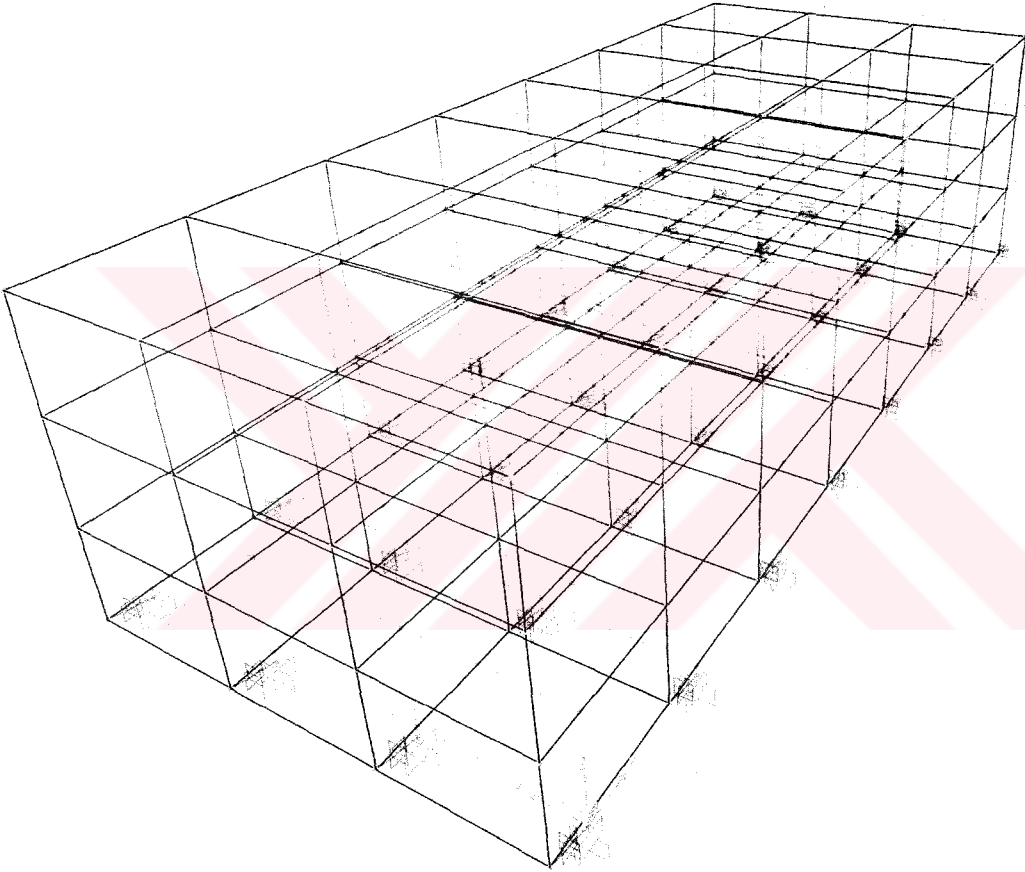
SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 2.34585 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.5 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının birinci mod şekli



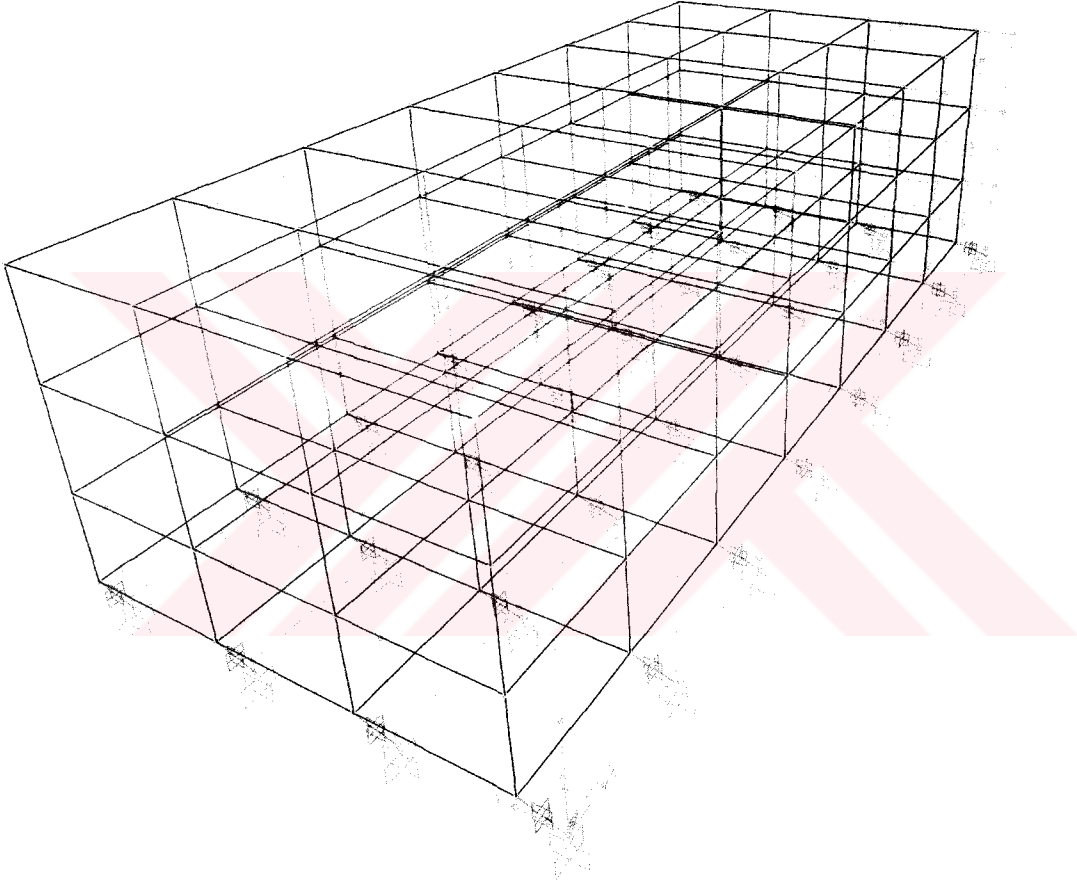
SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - Period 2.32733 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.6 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının ikinci mod şekli



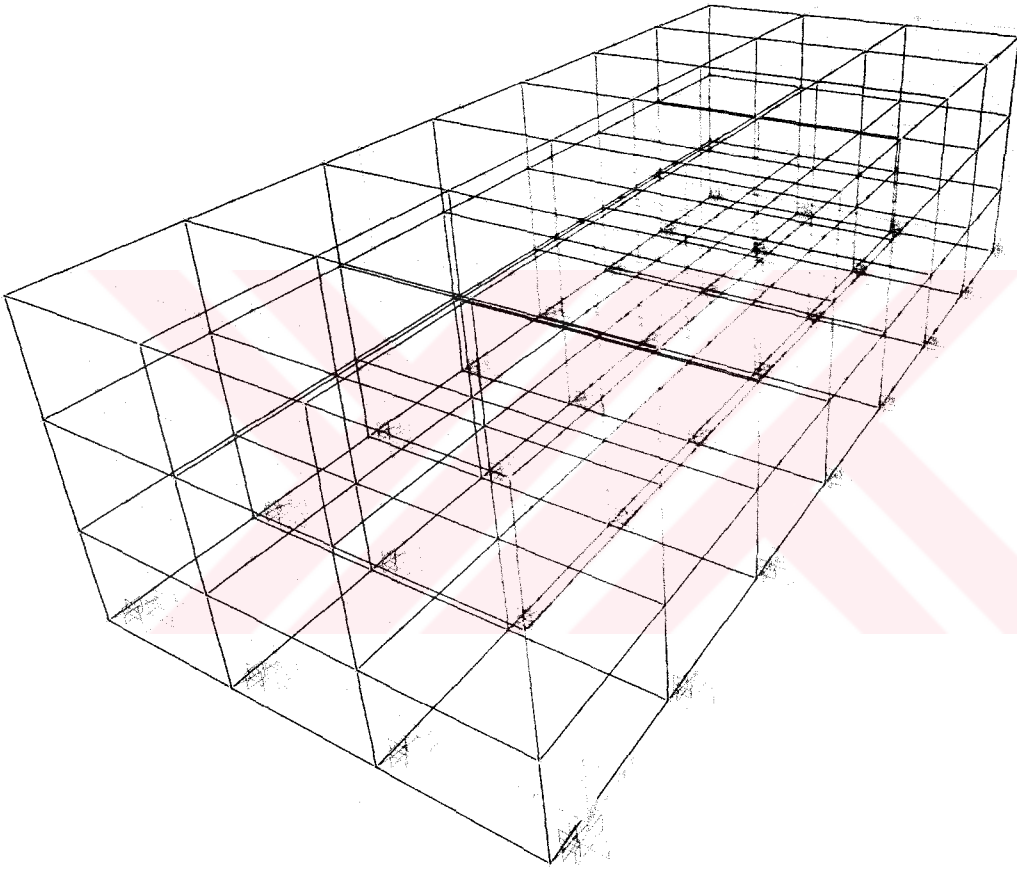
SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - Period 2.32522 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.7 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının üçüncü mod şekli



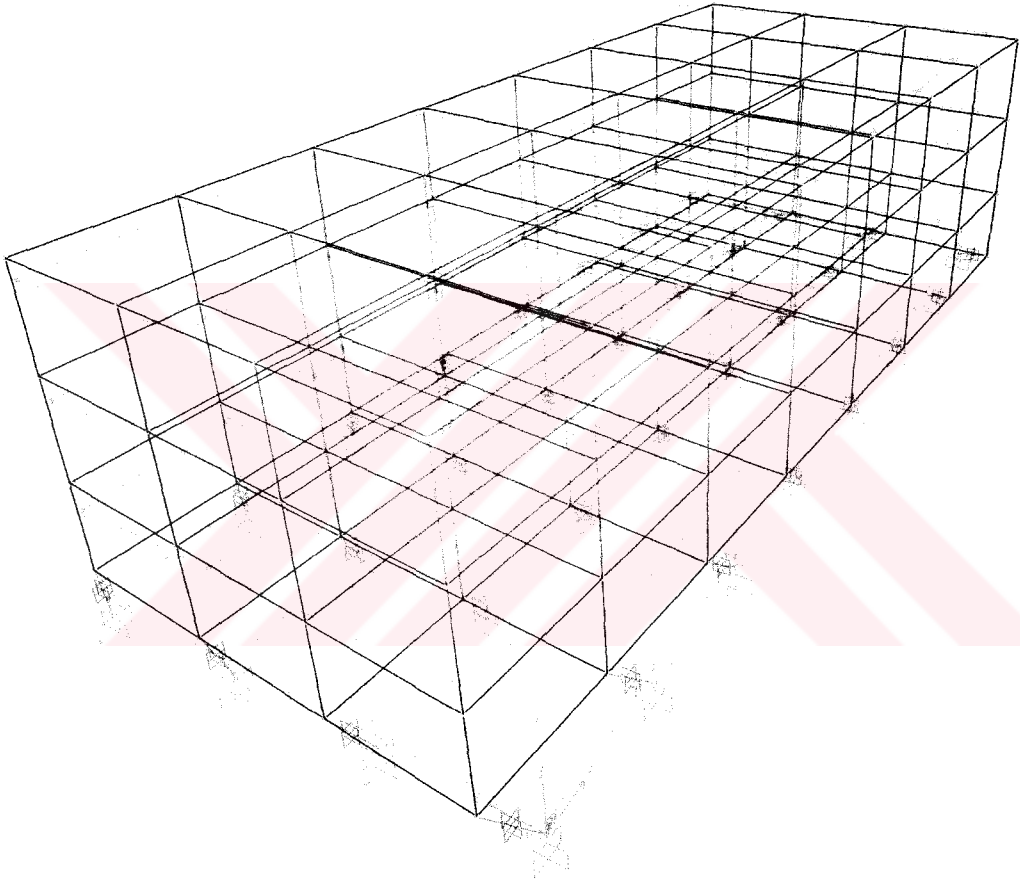
SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 2.41902 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.8 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının birinci mod şekli



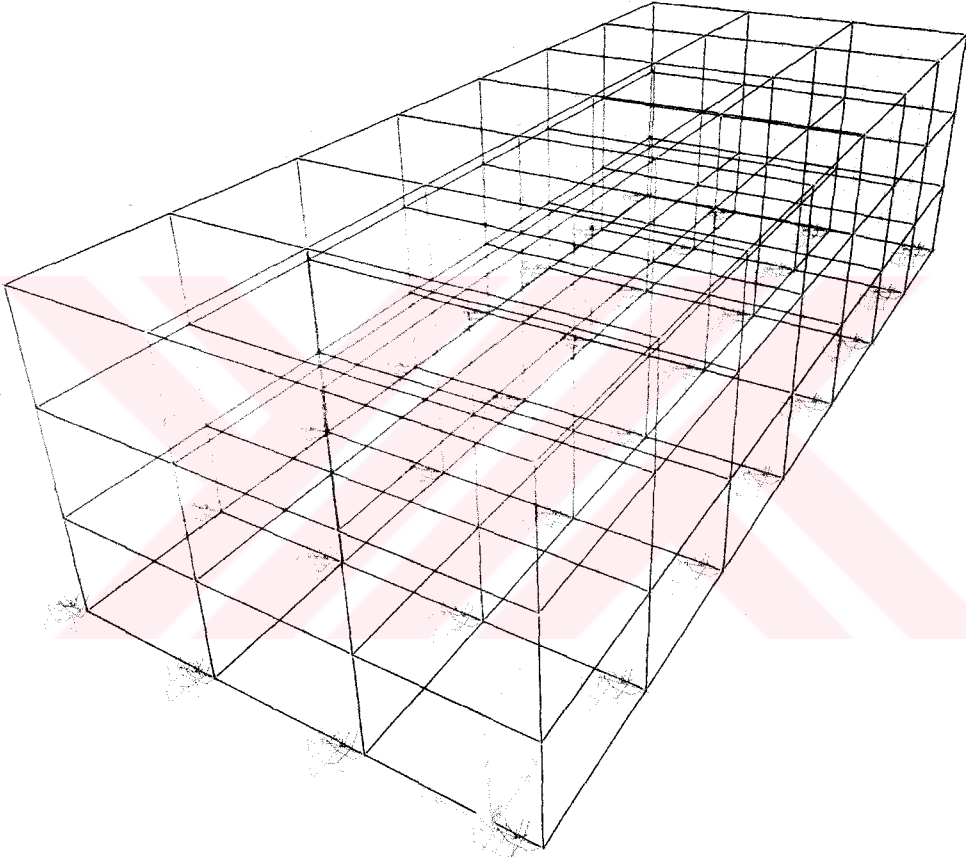
SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - Period 2.41444 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.9 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının ikinci mod şekli



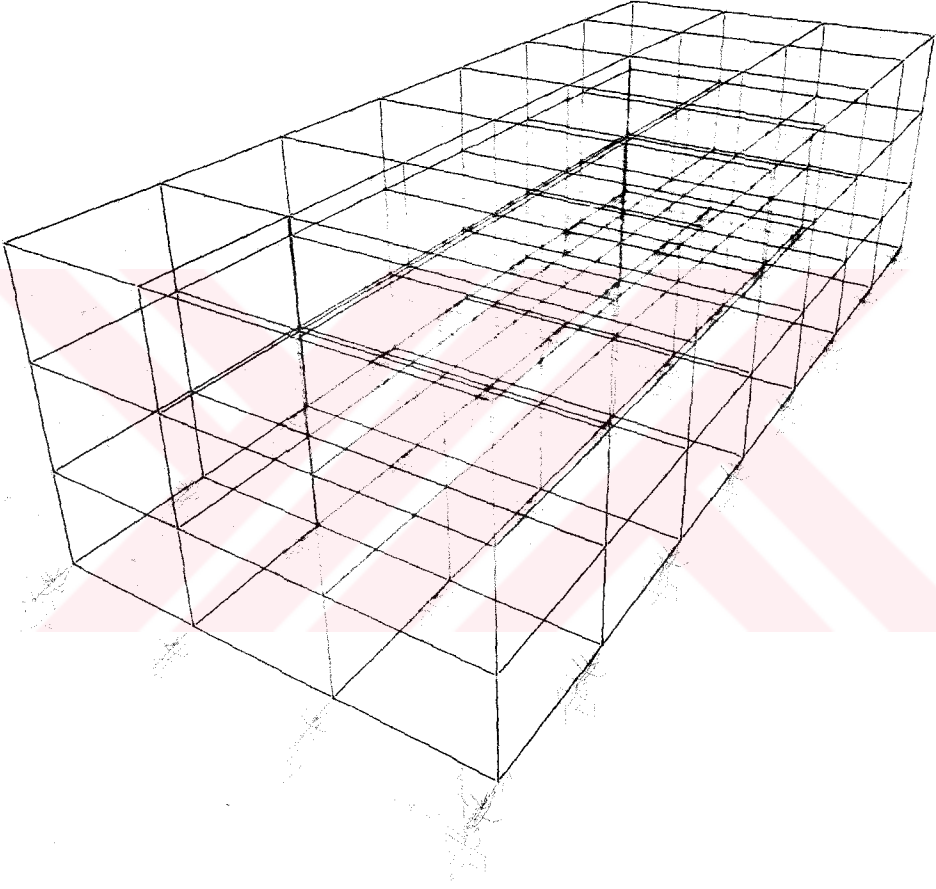
SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - Period 2.29164 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.10 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının üçüncü mod şekli



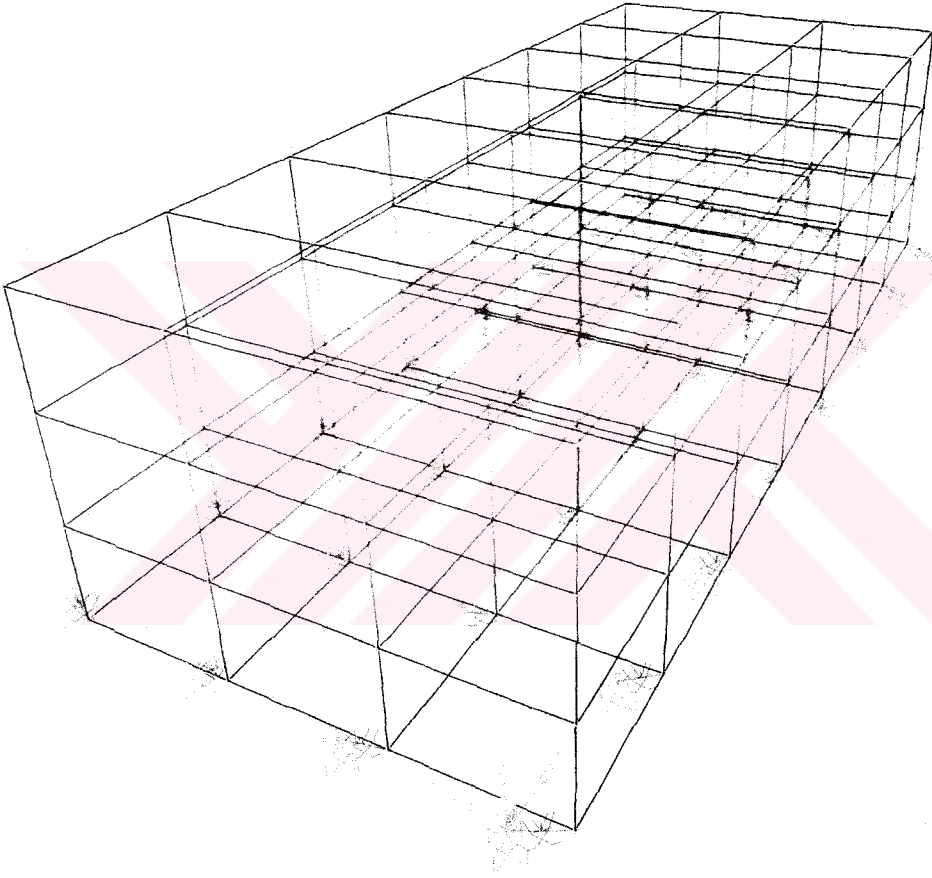
SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - Period 2.25995 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.11 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının birinci mod şekli



SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - Period 2.24118 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.12 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının ikinci mod şekli

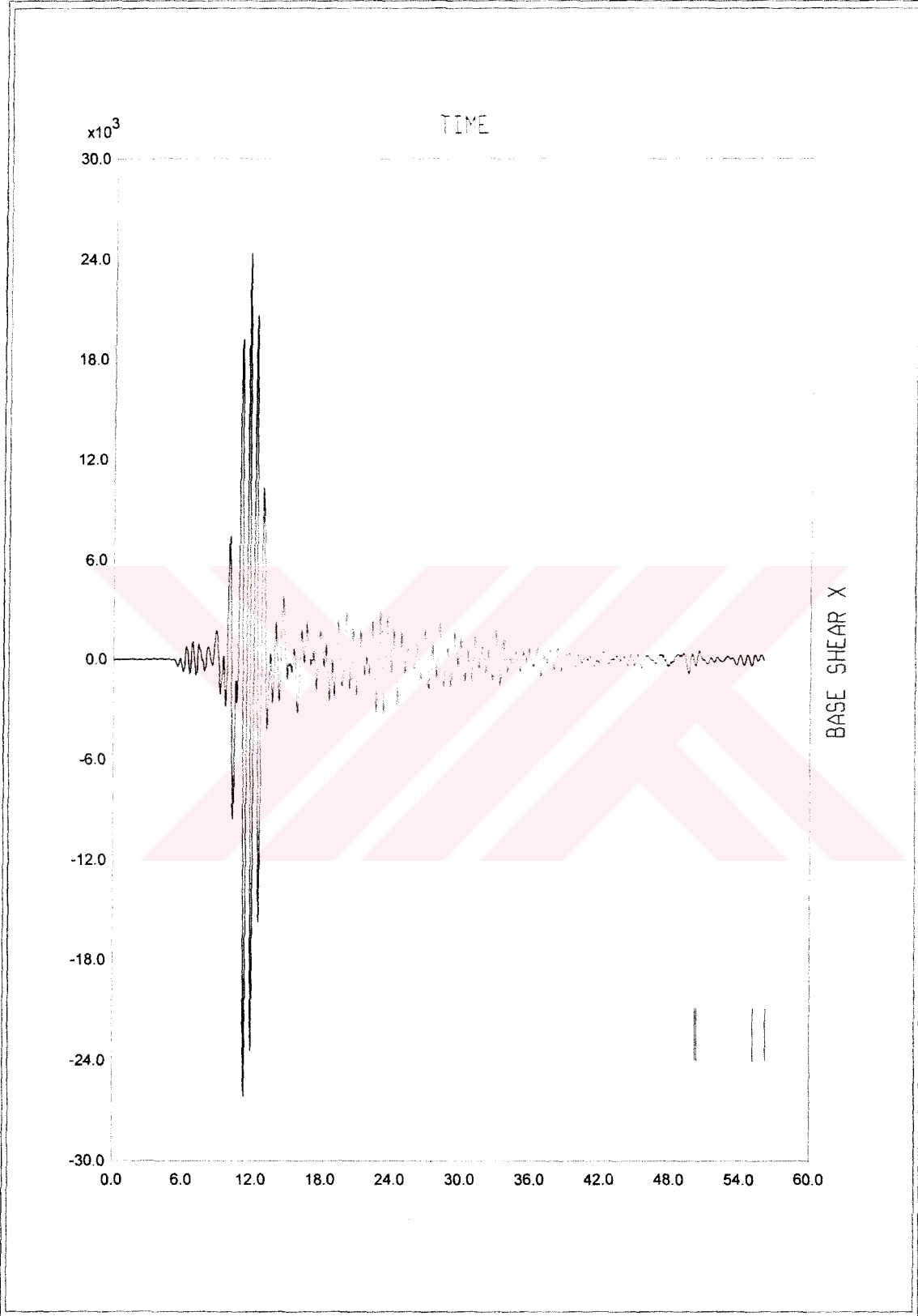


SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - Period 2.23624 - KN, m, C Units

Şekil Ek 2.13 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının üçüncü mod şekli

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:04:50



SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

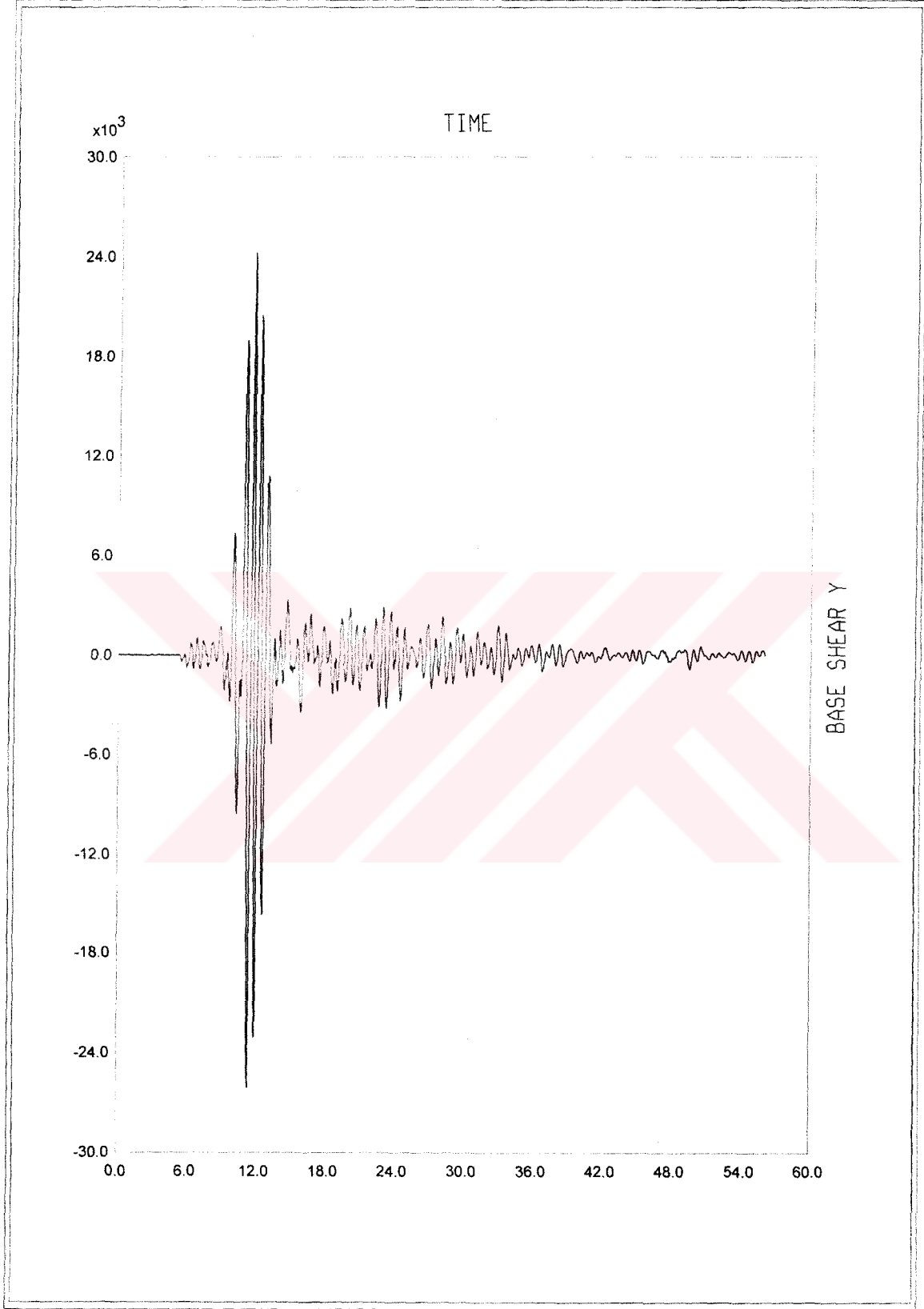
Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

Min is -2.614e+04 at 1.1360e+01 Max is 2.440e+04 at 1.1660e+01

Şekil Ek 2.14 Ankastre mesnetli yapının x yönü taban kesme kuvveti

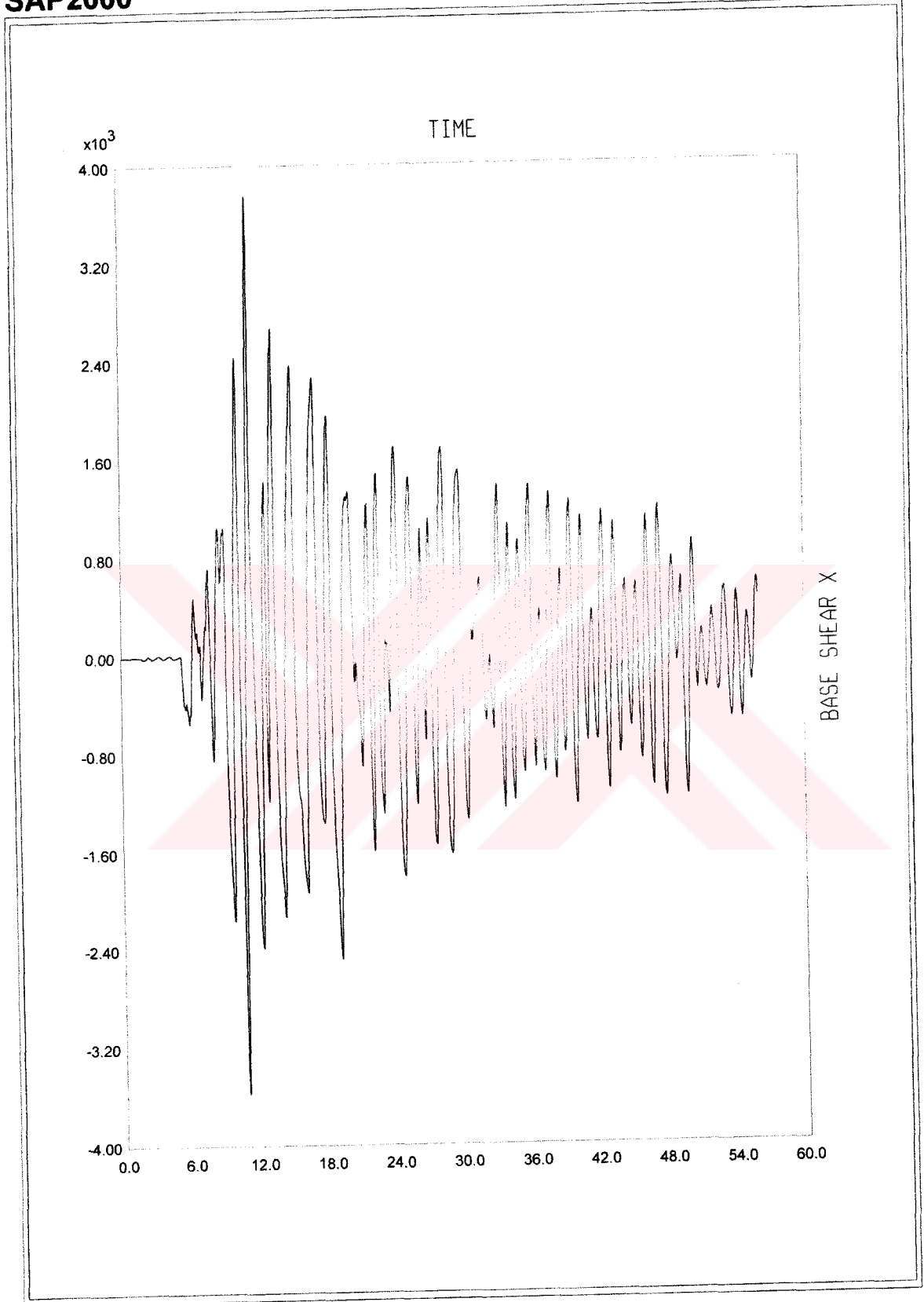
SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:06:14



SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Case:TIMEHY - KN, m, C Units
 Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME
 Min is -2.609e+04 at 1.1360e+01 Max is 2.424e+04 at 1.1660e+01

Şekil Ek 2.15 Ankastre mesnetli yapının y yönü taban kesme kuvveti

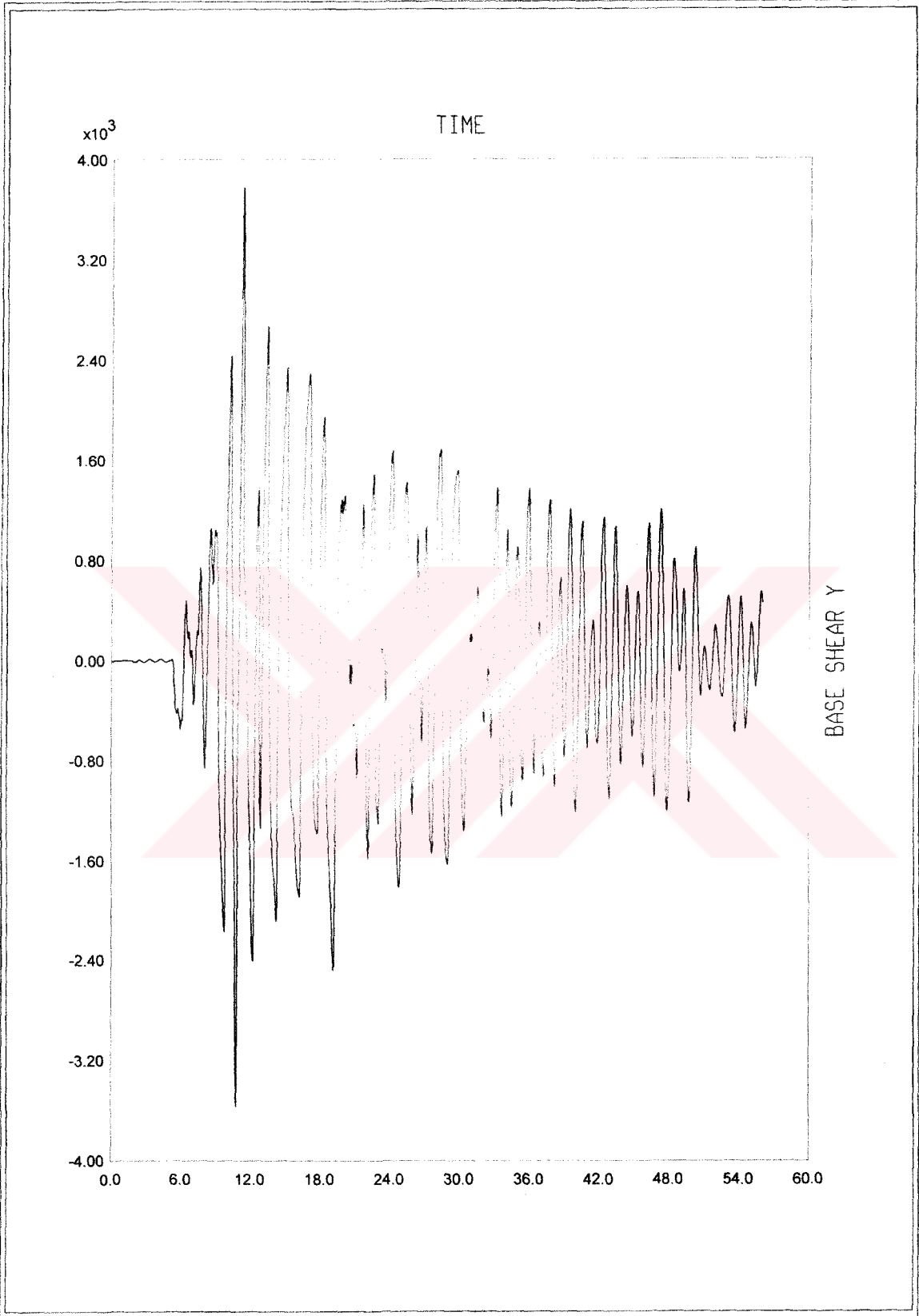


SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Base Shear X: Base Shear X Vs TIME
 Min is -3.572e+03 at 1.0810e+01 Max is 3.754e+03 at 1.1290e+01

Şekil Ek 2.16 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x yönü taban kesme kuvveti

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:08:59

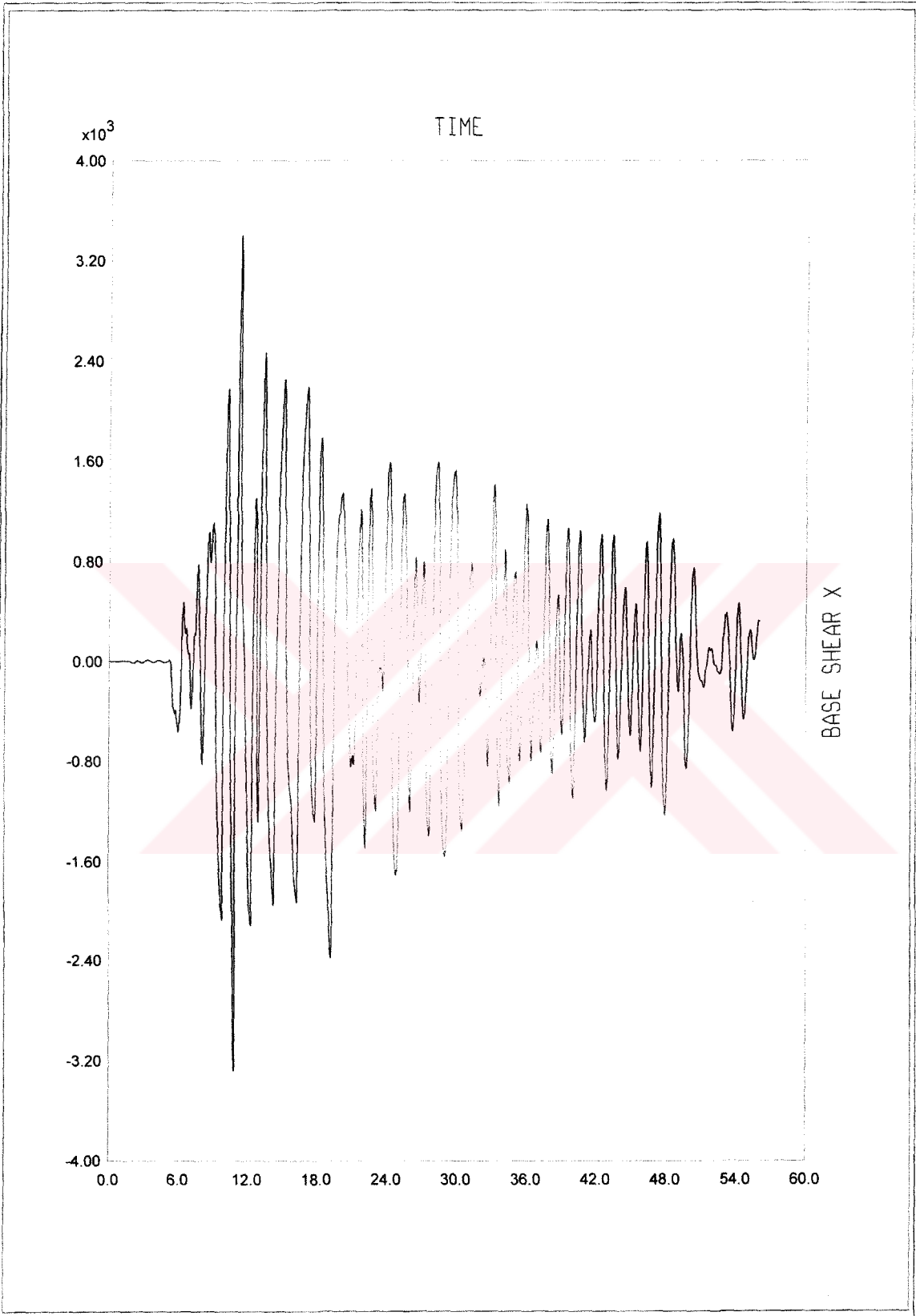


SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHY - KN, m, C Units
 Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME
 Min is -3.564e+03 at 1.0810e+01 Max is 3.776e+03 at 1.1300e+01

Şekil Ek 2.17 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının y yönü taban kesme kuvveti

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:10:42

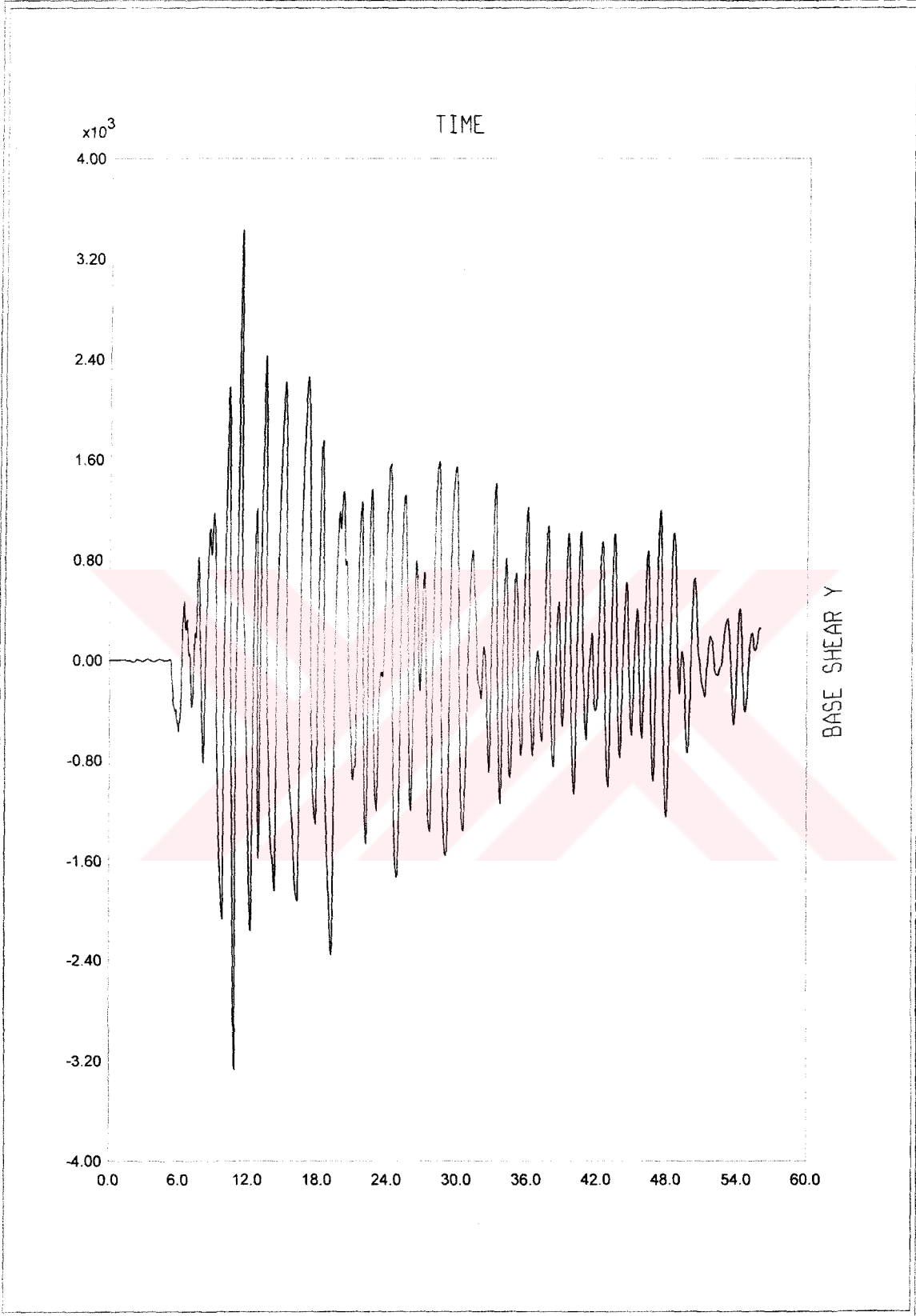


SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Base Shear X: Base Shear X Vs TIME
 Min is -3.281e+03 at 1.0820e+01 Max is 3.402e+03 at 1.1300e+01

Şekil Ek 2.18 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x yönü taban kesme kuvveti

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:11:36



SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

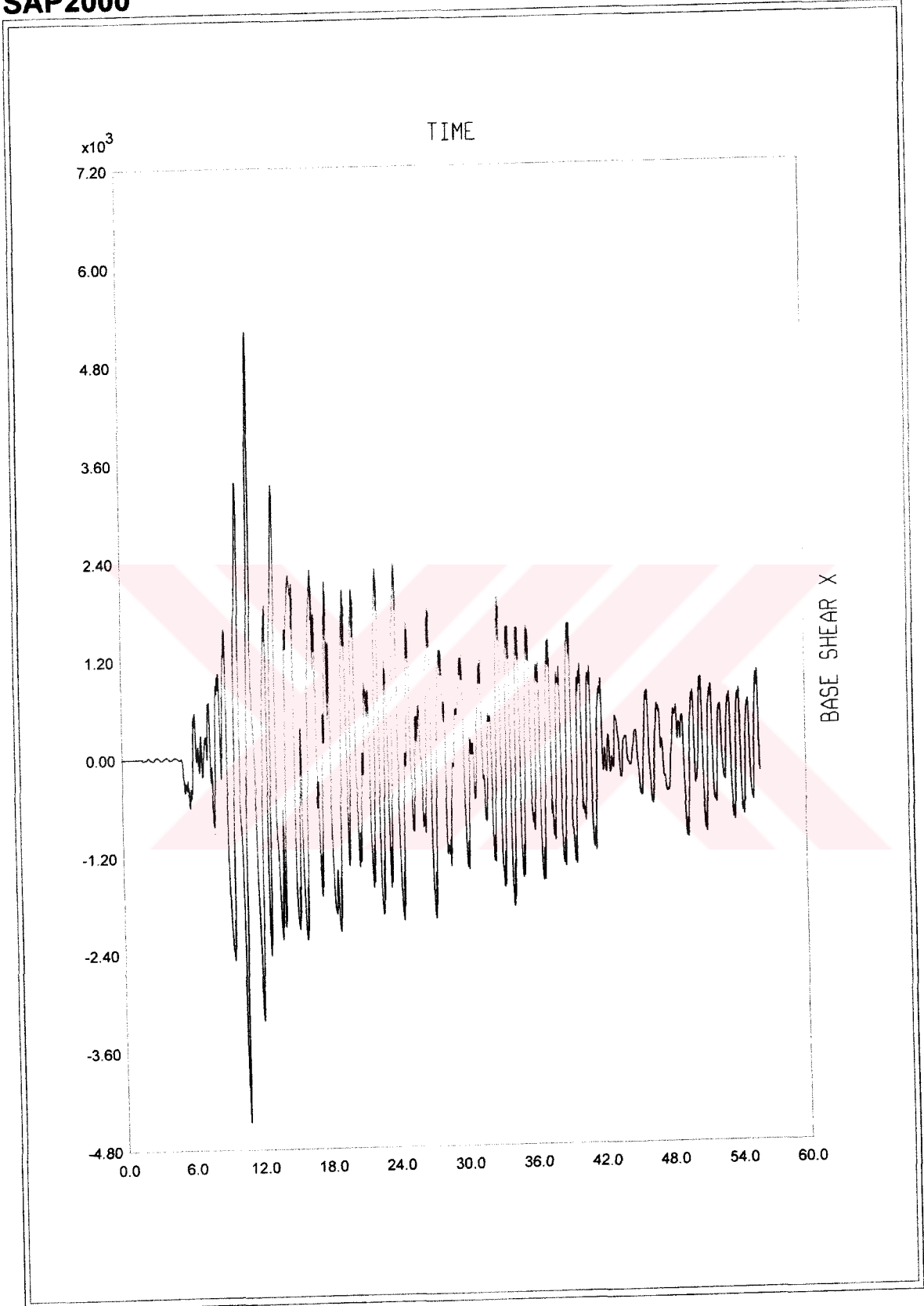
Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME

Min is -3.270e+03 at 1.0820e+01 Max is 3.430e+03 at 1.1300e+01

Şekil Ek 2.19 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının y yönü taban kesme kuvveti

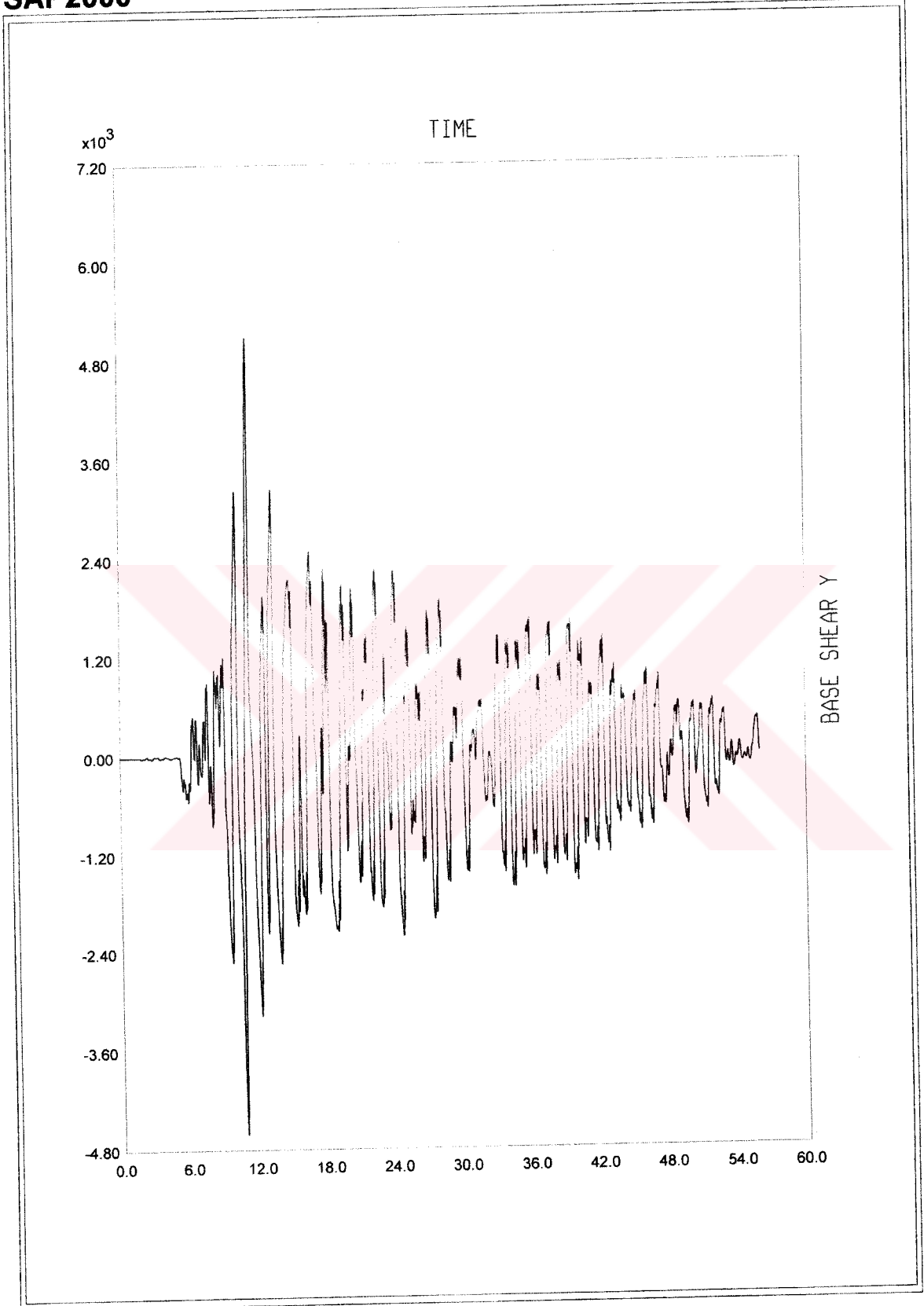
SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:13:10



SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Base Shear X: Base Shear X Vs TIME
 Min is -4.465e+03 at 1.0800e+01 Max is 5.207e+03 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.20 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x yönü taban kesme kuvveti



SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

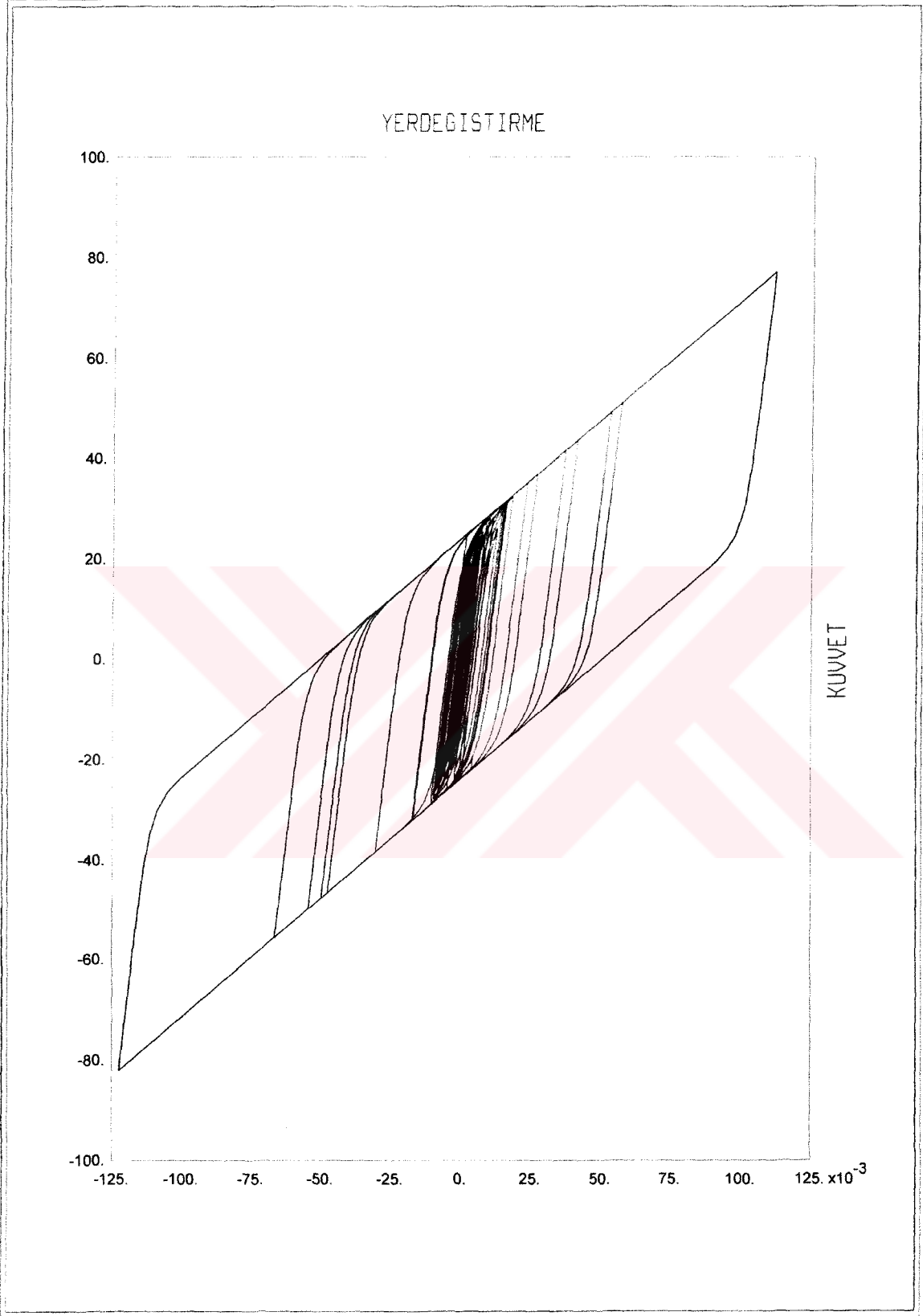
Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME

Min is -4.608×10^3 at 1.0800×10^1 Max is 5.106×10^3 at 1.1290×10^1

Şekil Ek 2.21 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının y yönü taban kesme kuvveti

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:20:10

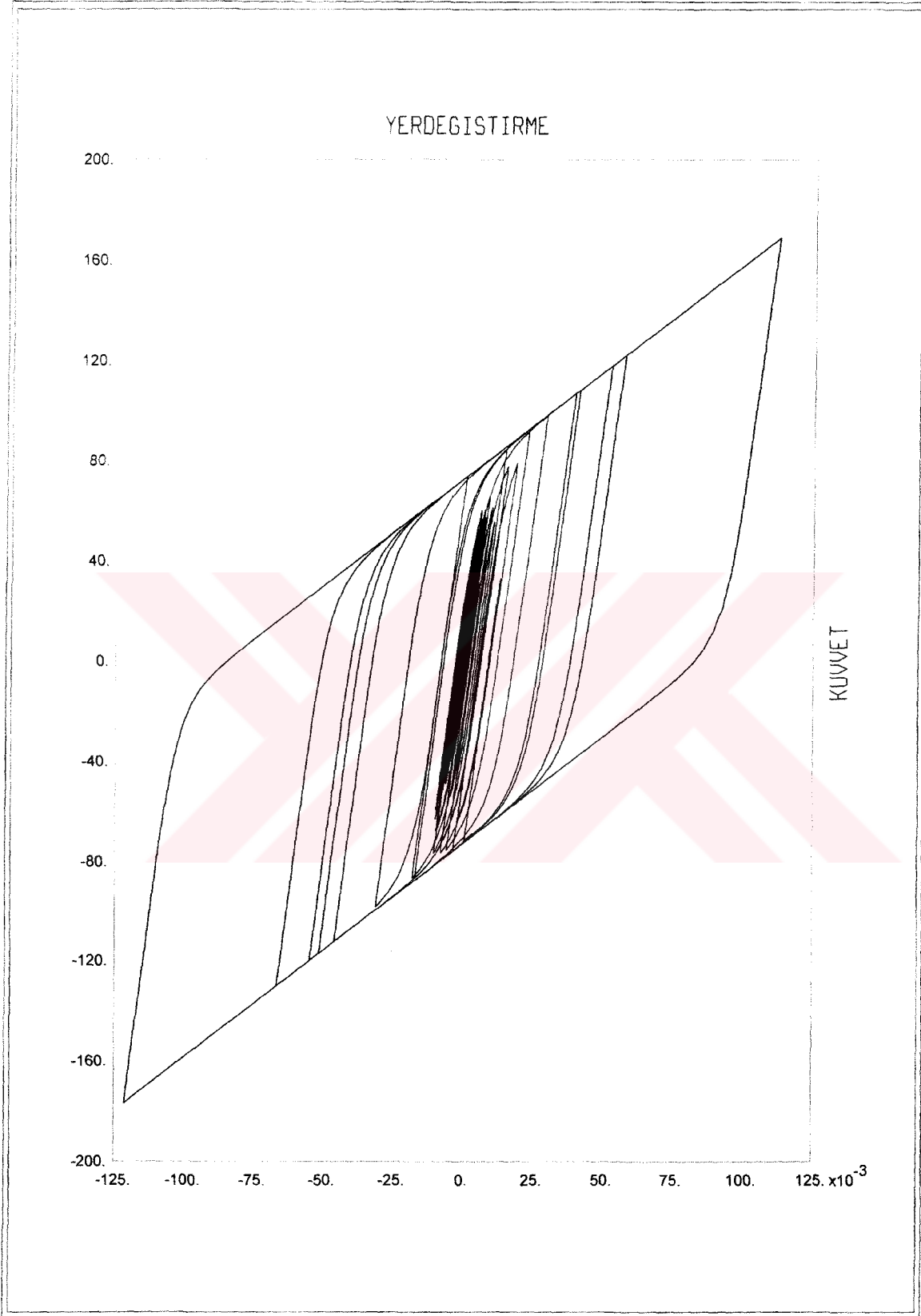


SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

Link4-1: Link 4 at End-J Shear 3-3 Vs Link4

Min is -8.216e+01 at -1.2244e-01 Max is 7.705e+01 at 1.1169e-01

Şekil Ek 2.22 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

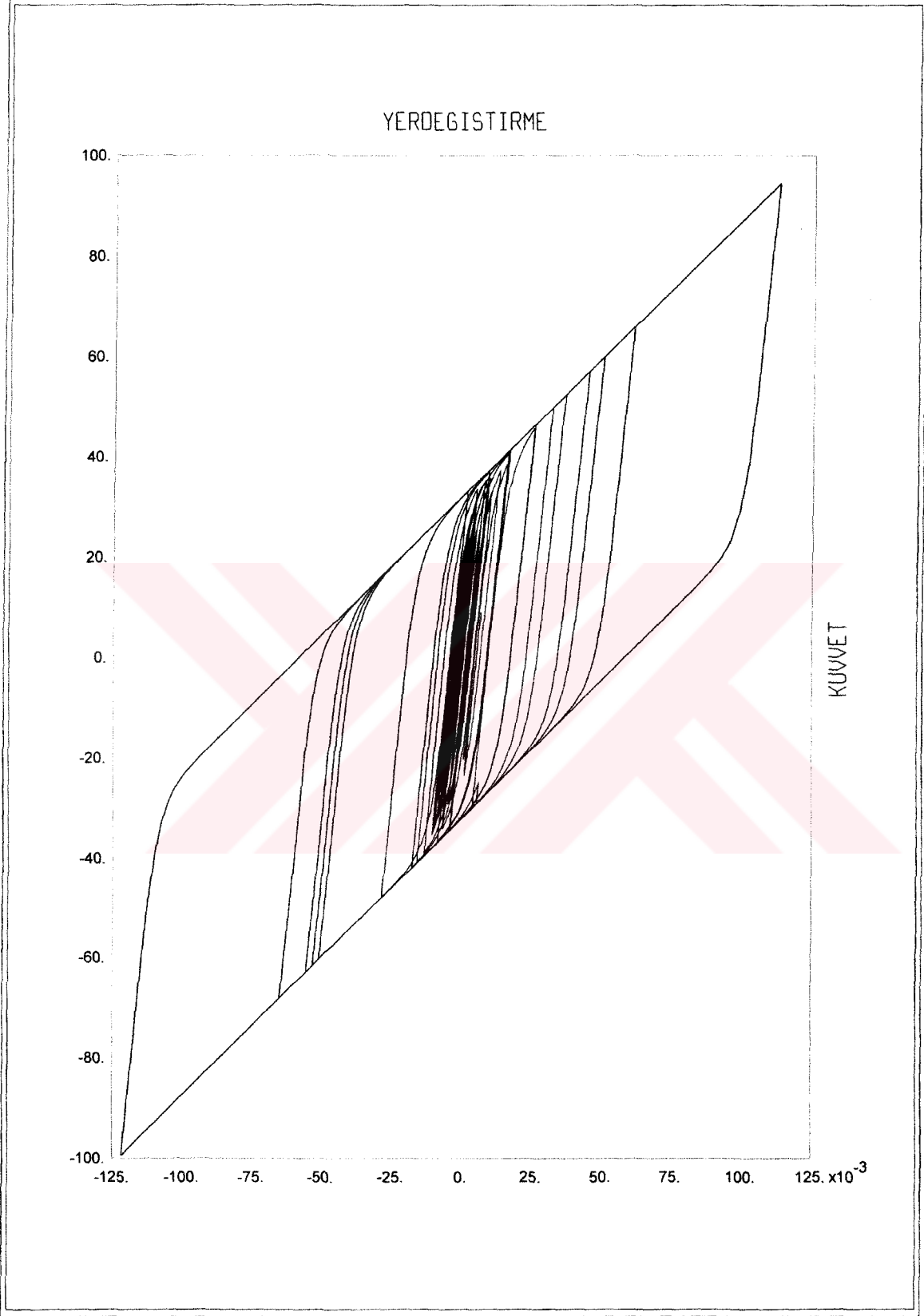


SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

Link23-1: Link 23 at End-J Shear 2-2 Vs Link23

Min is -1.768e+02 at -1.2131e-01 Max is 1.689e+02 at 1.1209e-01

Şekil Ek 2.23 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının B2 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

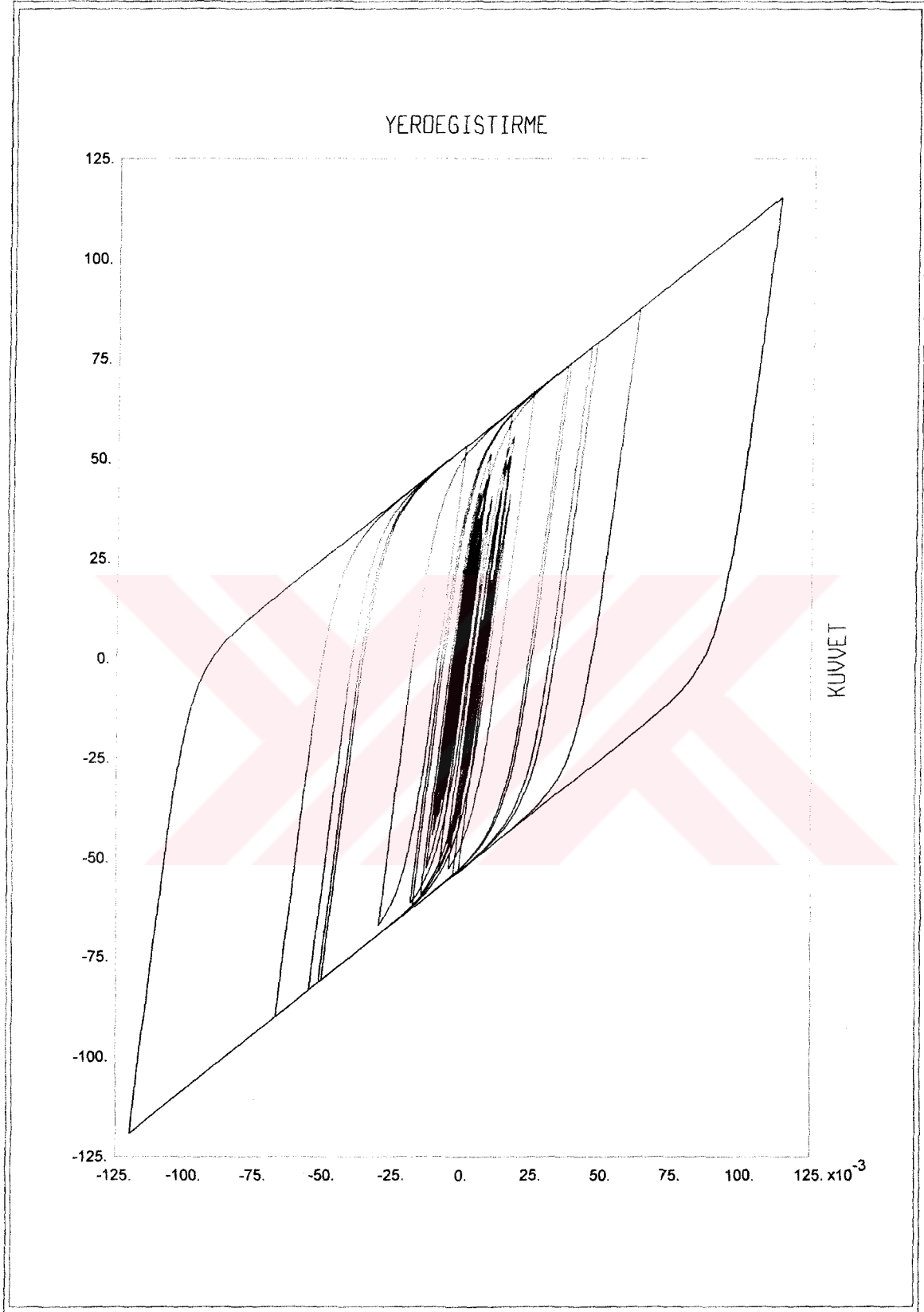


SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

Link4-1: Link 4 at End-J Shear 3-3 Vs Link4

Min is -9.945e+01 at -1.2163e-01 Max is 9.447e+01 at 1.1262e-01

Şekil Ek 2.24 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi



SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

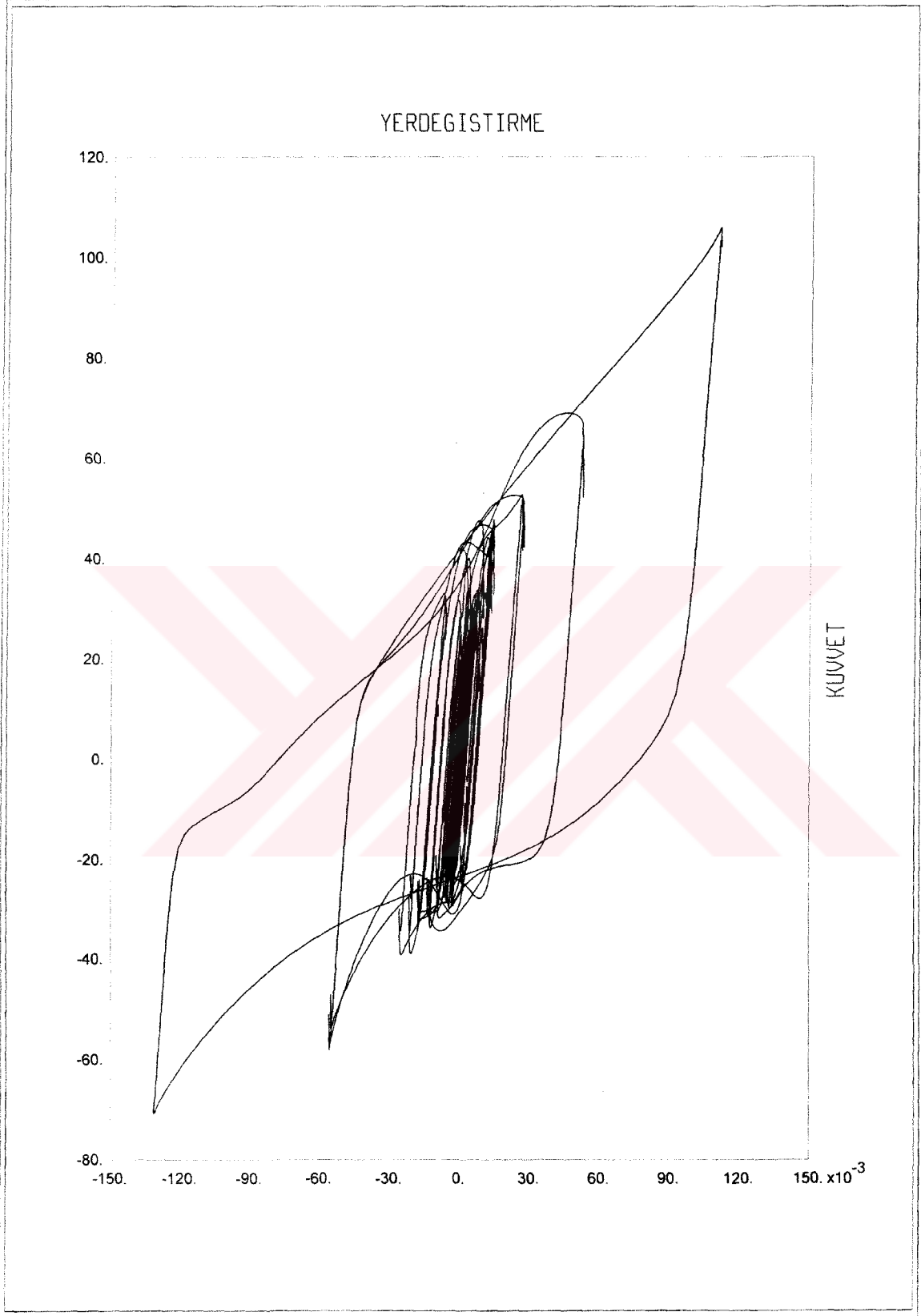
Link23-1: Link 23 at End-J Shear 2-2 Vs Link23

Min is -1.192e+02 at -1.2009e-01 Max is 1.154e+02 at 1.1322e-01

Şekil Ek 2.25 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının B2 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:32:09

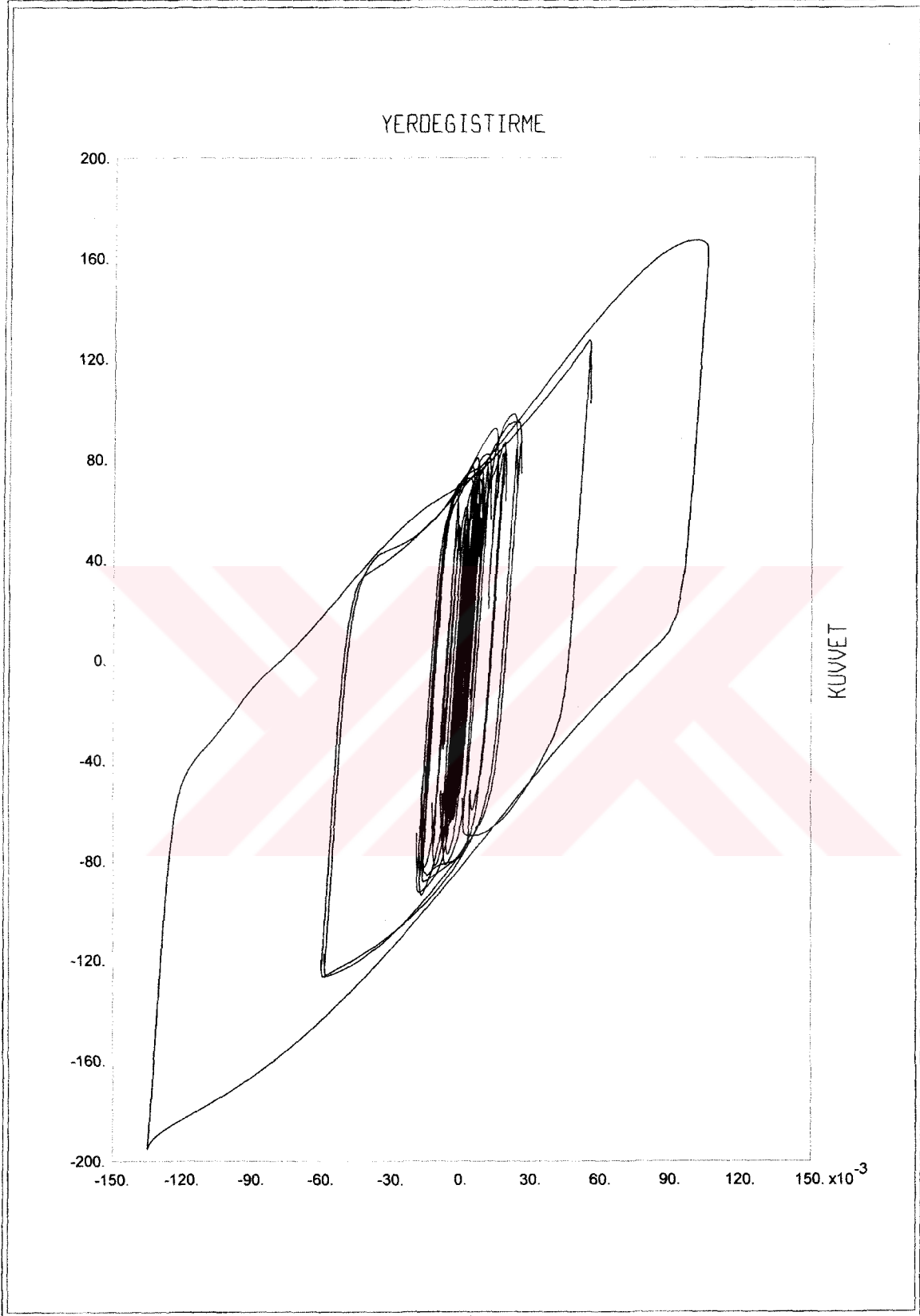


SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHY - KN, m, C Units

Link4-1: Link 4 at End-J Shear 3-3 Vs Link4

Min is -7.079e+01 at -1.3133e-01 Max is 1.060e+02 at 1.1064e-01

Şekil Ek 2.26 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının A1 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

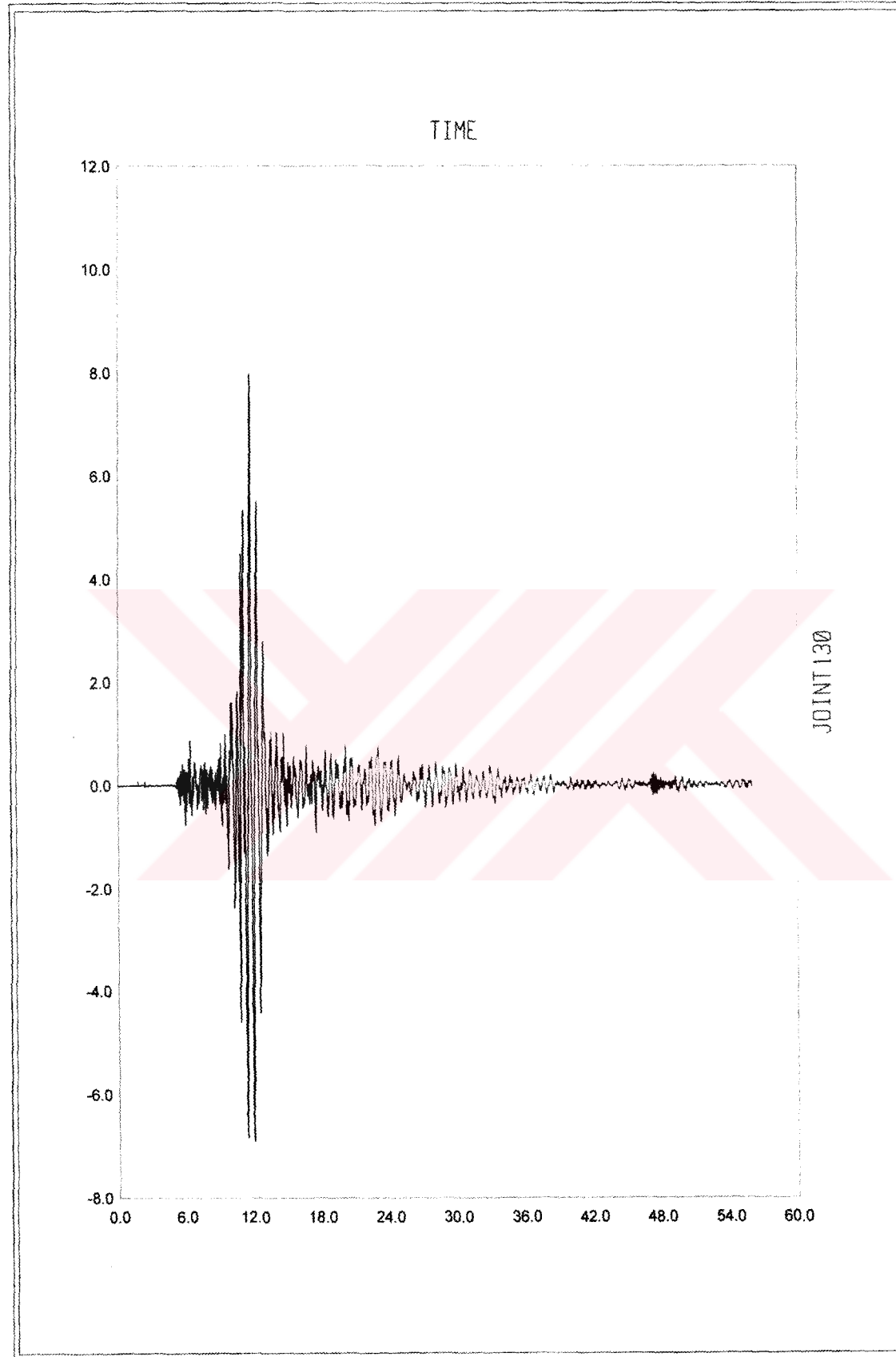


SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Link23-1: Link 23 at End-J Shear 2-2 Vs Link23
 Min is -1.951e+02 at -1.3509e-01 Max is 1.672e+02 at 1.0057e-01

Şekil Ek 2.27 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının B2 aksı kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:37:42

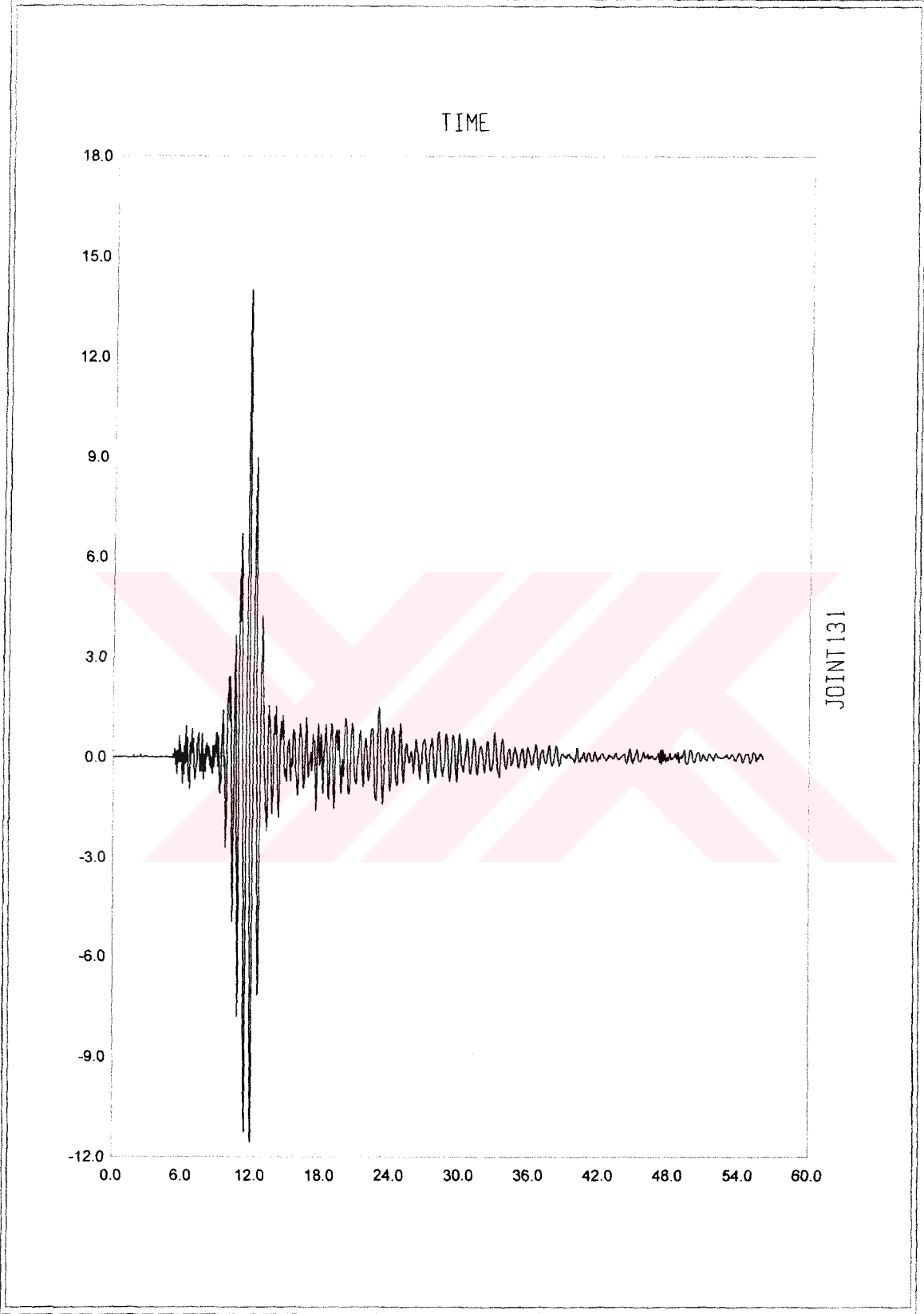


SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Joint130: Joint 130 Acceleration UX Vs TIME
 Min is -6.909e+00 at 1.1940e+01 Max is 7.975e+00 at 1.1660e+01

Şekil Ek 2.28 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:38:36



SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

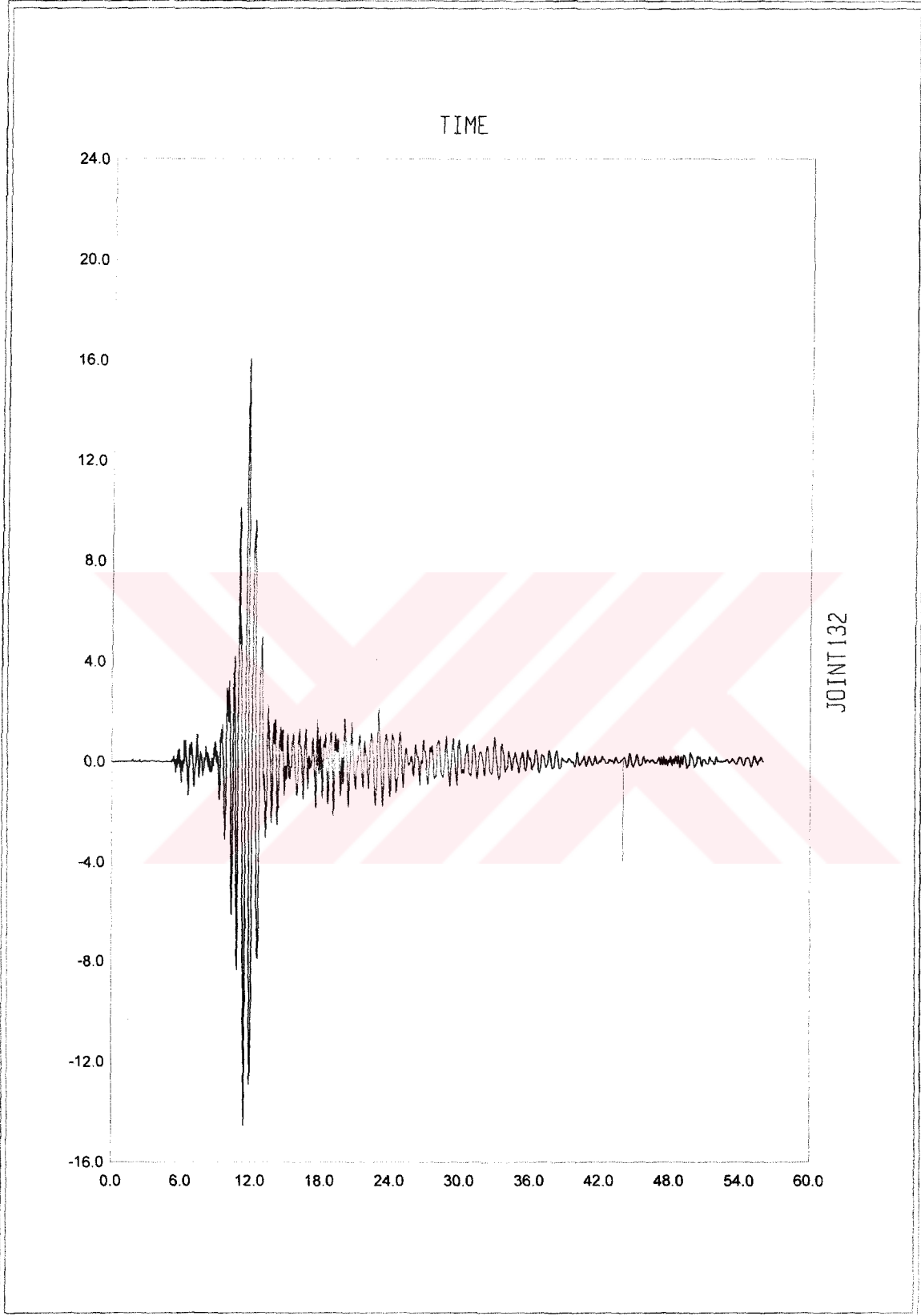
Joint131: Joint 131 Acceleration UX Vs TIME

Min is -1.156e+01 at 1.1940e+01 Max is 1.401e+01 at 1.1660e+01

Şekil Ek 2.29 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:39:47



SAP2000 v8.3.1 - File:ANKASTRE - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

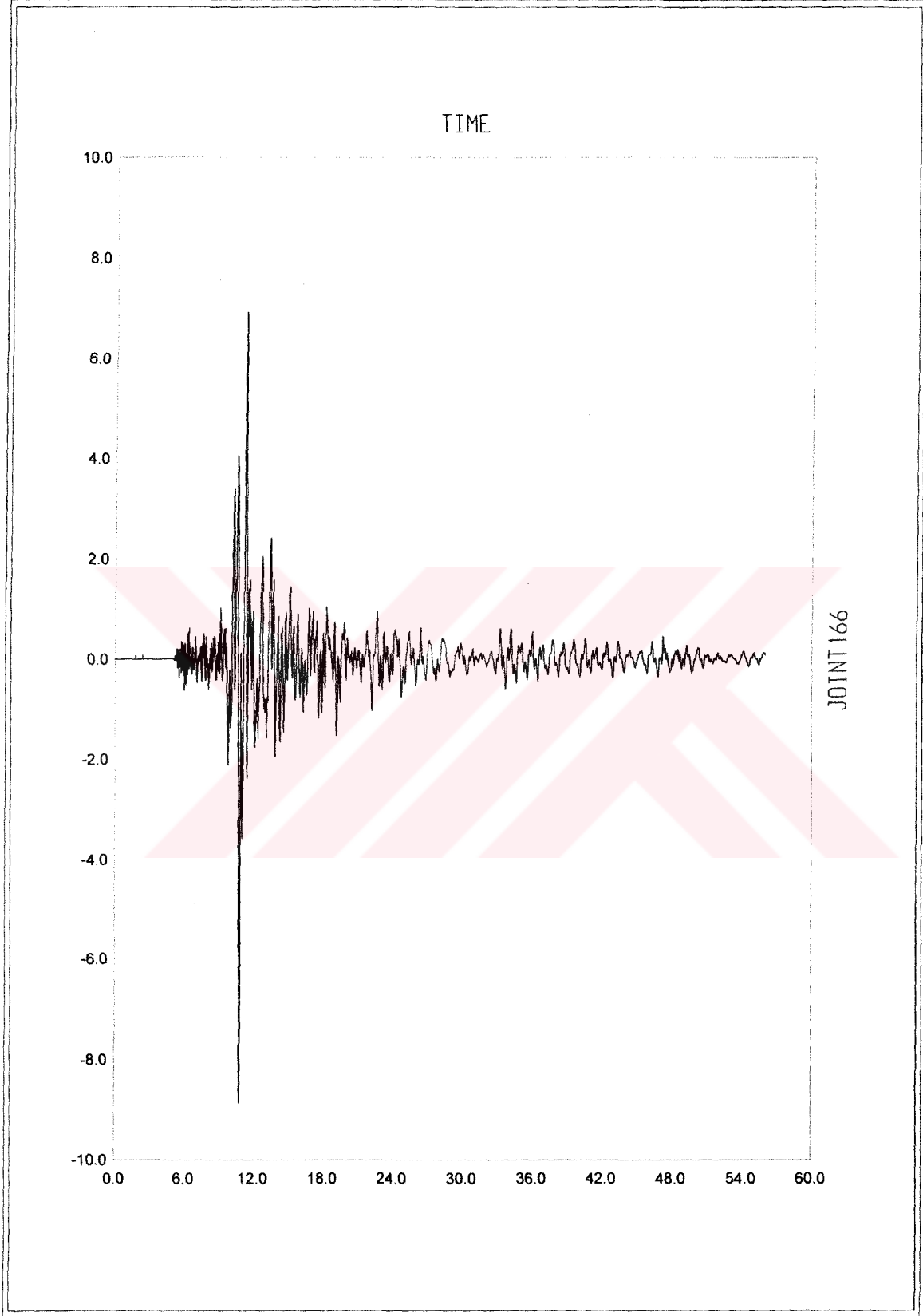
Joint132: Joint 132 Acceleration UX Vs TIME

Min is -1.455e+01 at 1.1410e+01 Max is 1.605e+01 at 1.1690e+01

Şekil Ek 2.30 Ankastre mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:45:46

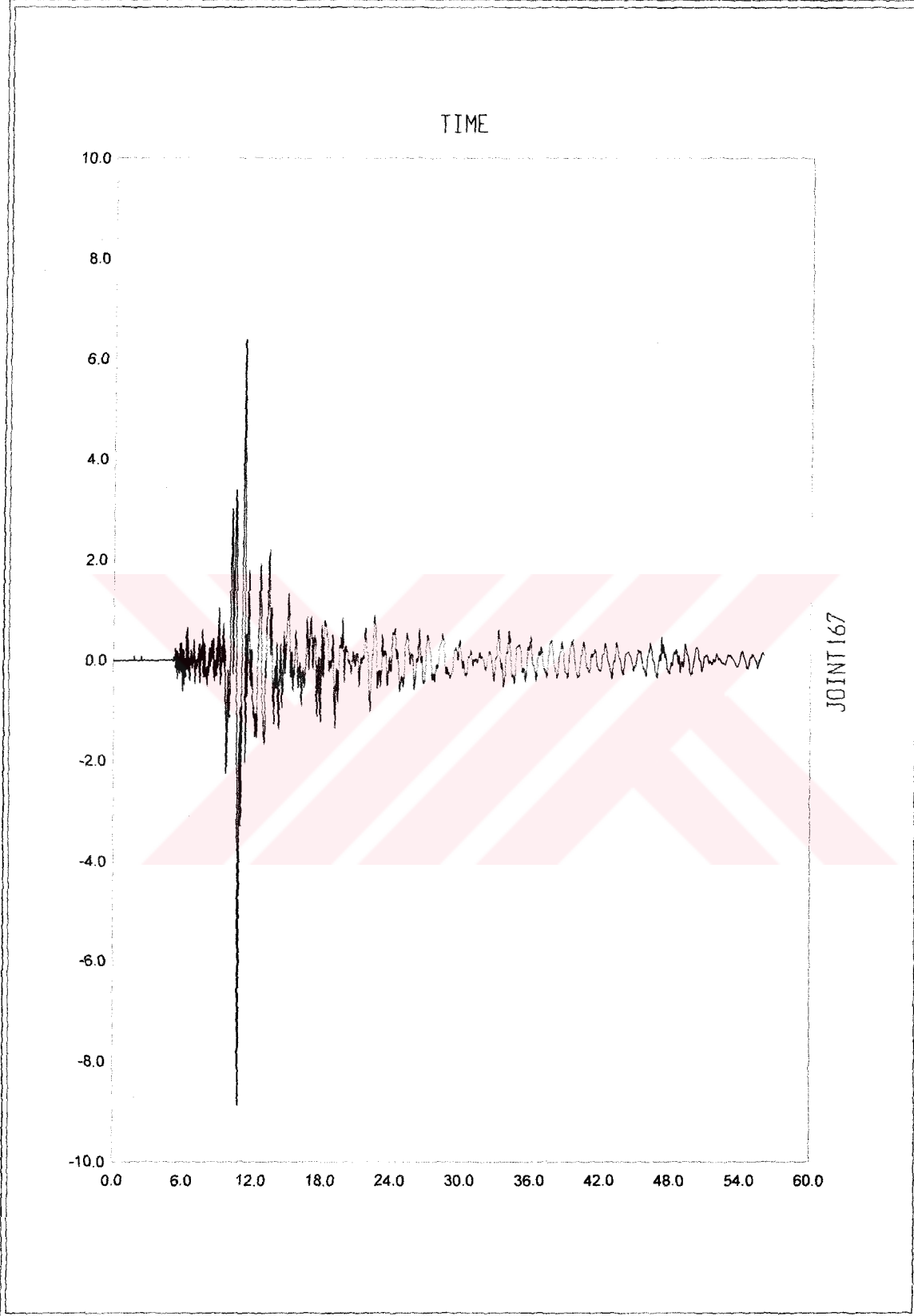


SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Joint166: Joint 166 Acceleration UX Vs TIME
 Min is -8.864e+00 at 1.0810e+01 Max is 6.928e+00 at 1.1230e+01

Şekil Ek 2.31 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:46:48



SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

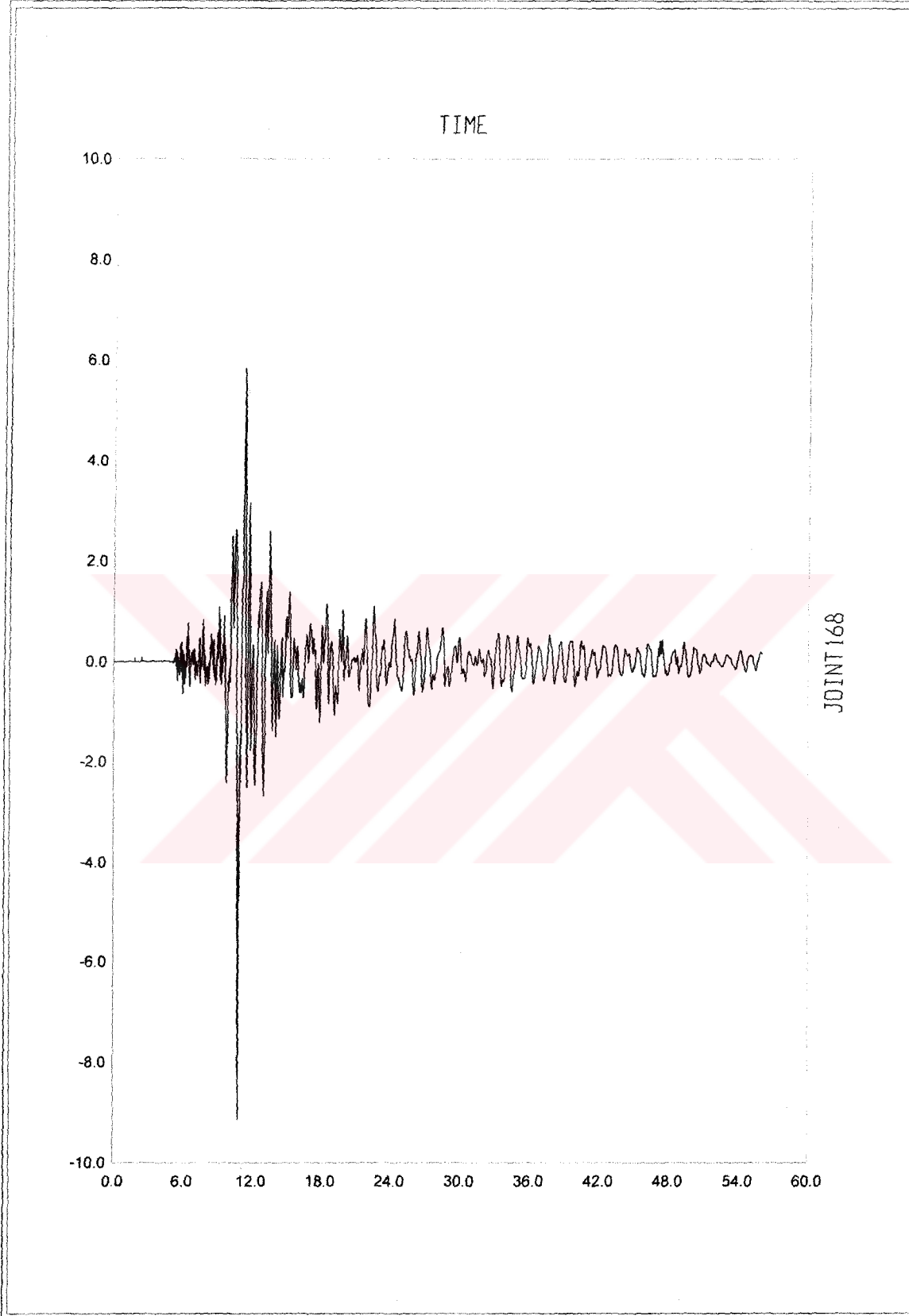
Joint167: Joint 167 Acceleration UX Vs TIME

Min is -8.882e+00 at 1.0810e+01 Max is 6.391e+00 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.32 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:47:30



SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

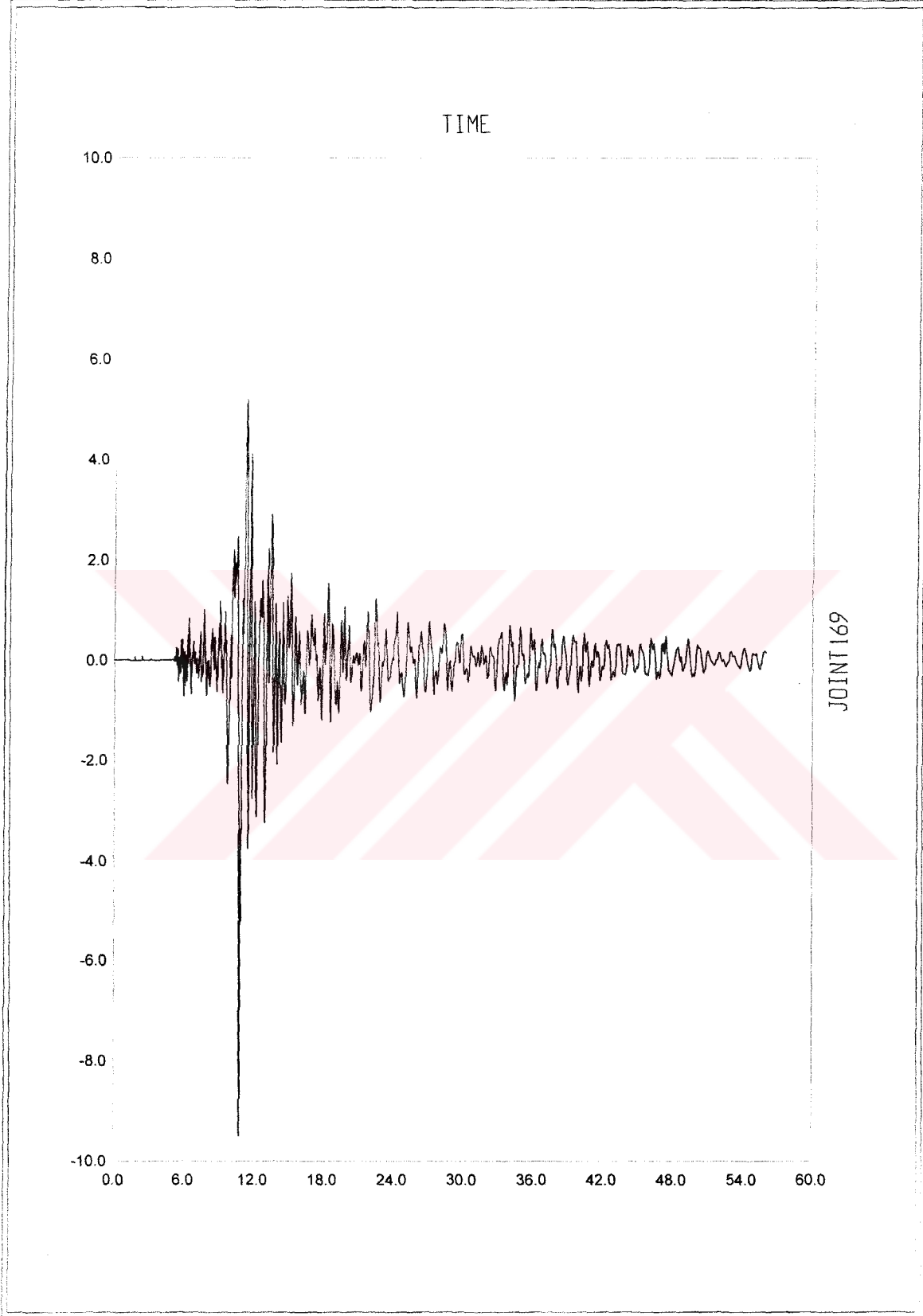
Joint168: Joint 168 Acceleration UX Vs TIME

Min is -9.134e+00 at 1.0820e+01 Max is 5.831e+00 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.33 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:48:23



SAP2000 v8.3.1 - File:HDRB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

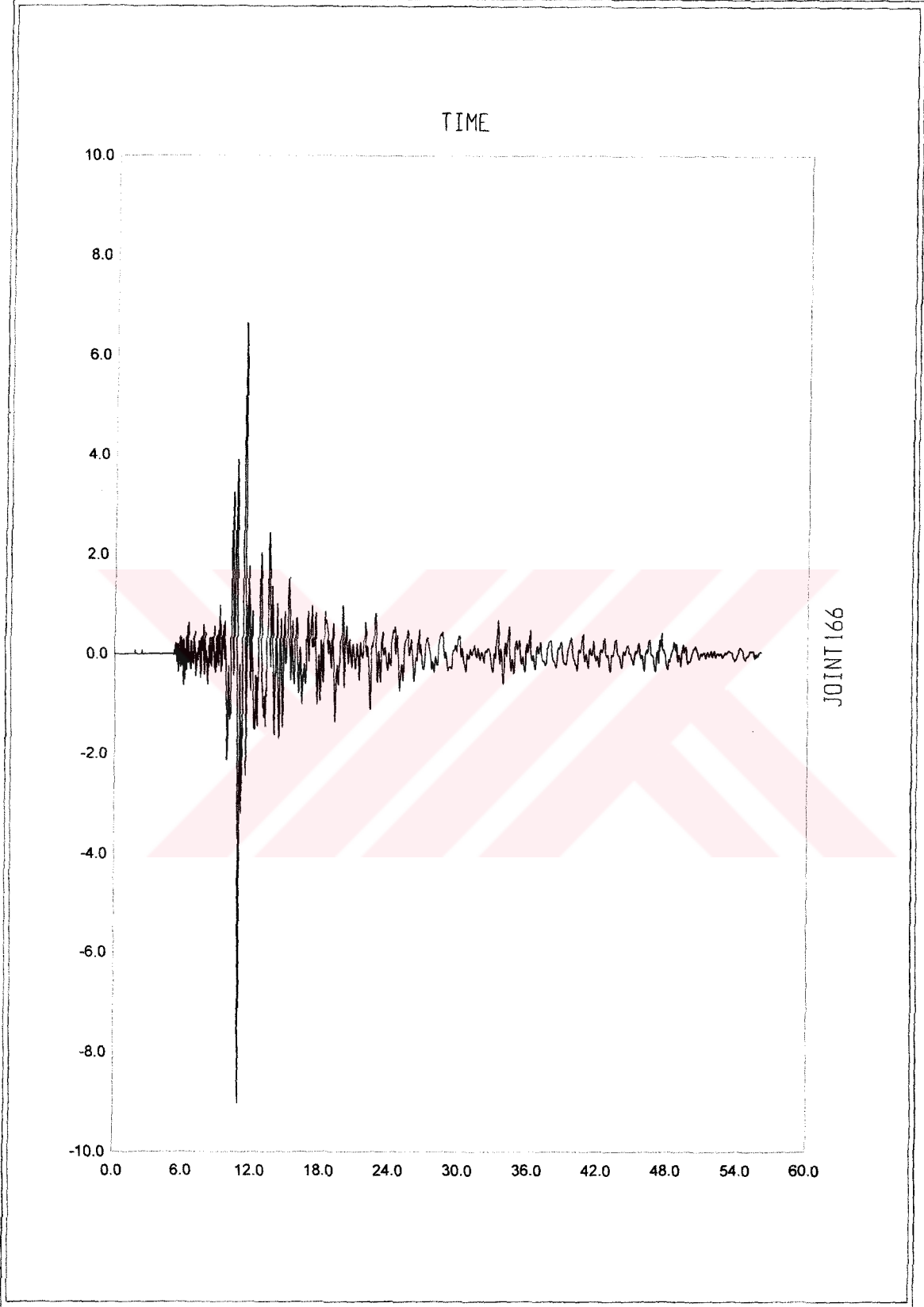
Joint169: Joint 169 Acceleration UX Vs TIME

Min is -9.496e+00 at 1.0820e+01 Max is 5.196e+00 at 1.1340e+01

Şekil Ek 2.34 Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:51:30



SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

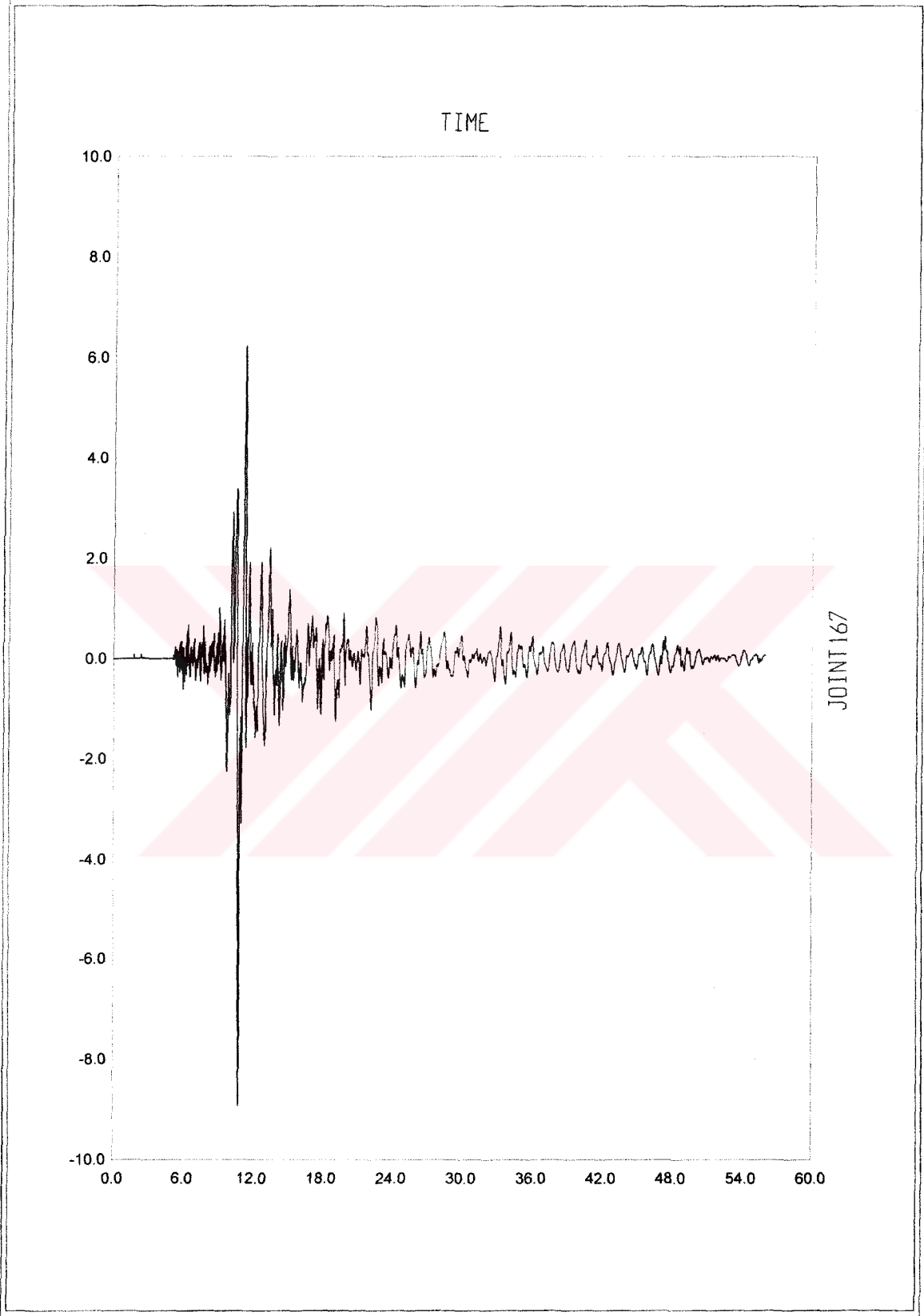
Joint166: Joint 166 Acceleration UX Vs TIME

Min is -9.040e+00 at 1.0810e+01 Max is 6.649e+00 at 1.1240e+01

Şekil Ek 2.35 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:52:05

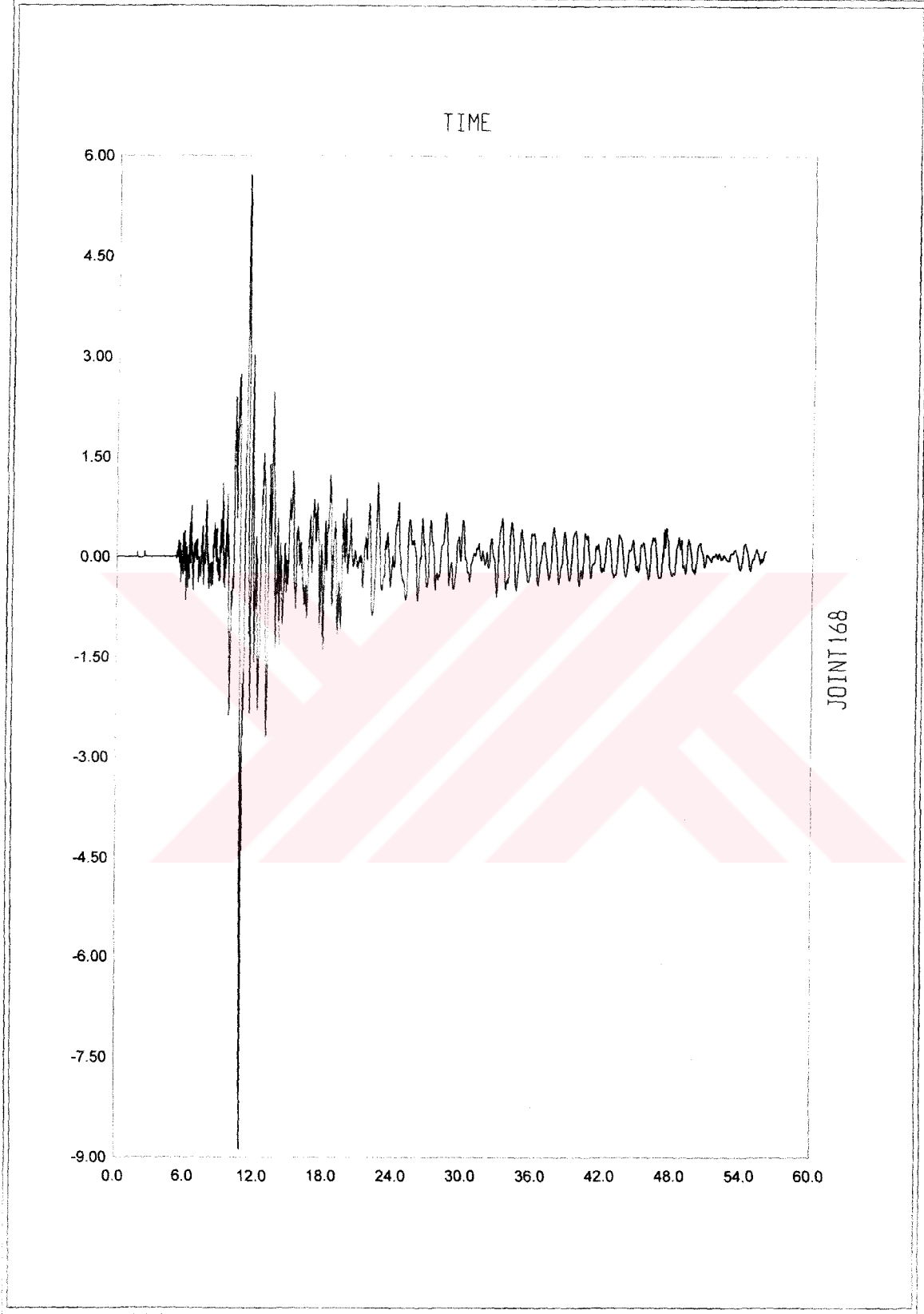


SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
Joint167: Joint 167 Acceleration UX Vs TIME
Min is -8.930e+00 at 1.0810e+01 Max is 6.222e+00 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.36 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:52:51



SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

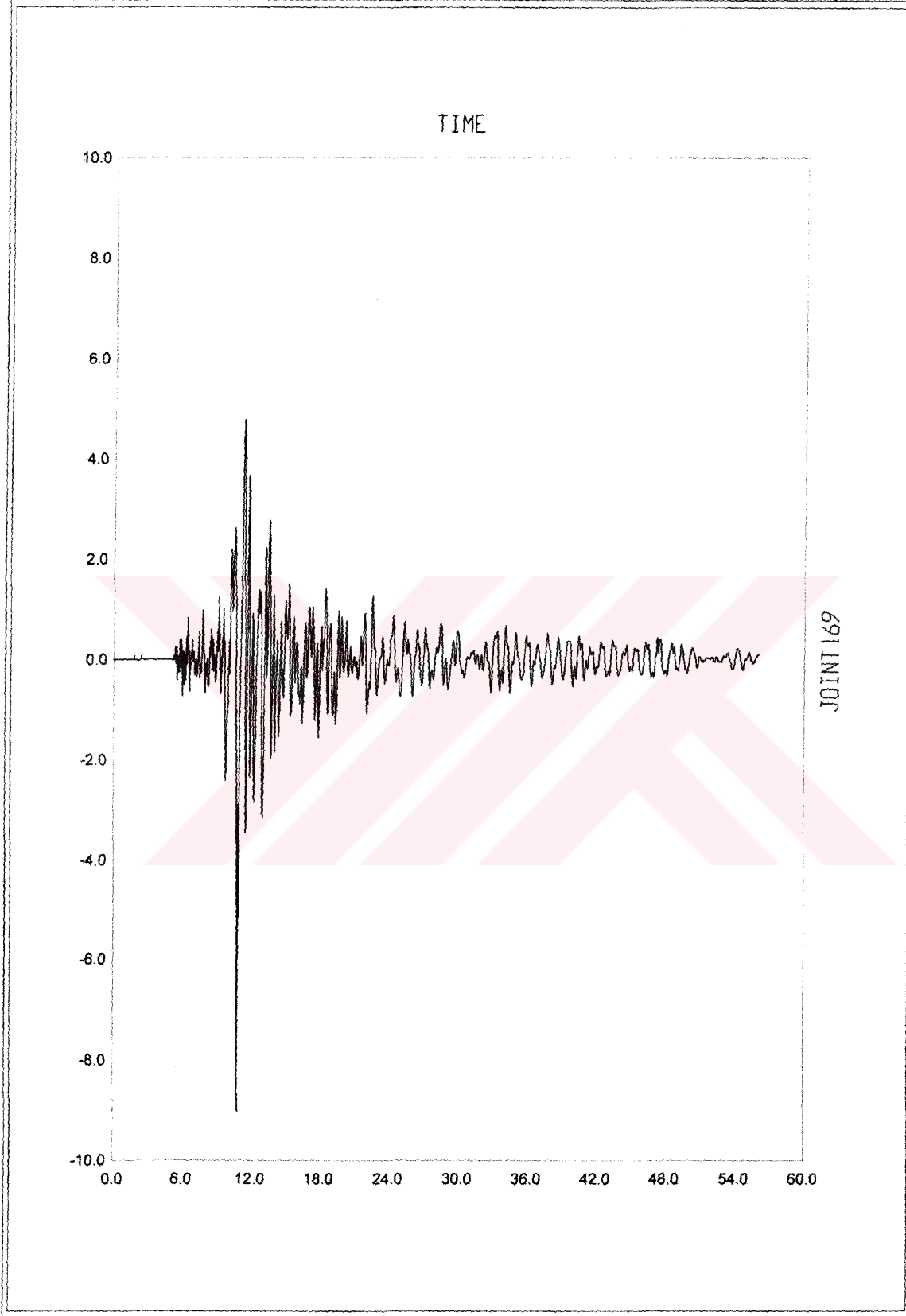
Joint168: Joint 168 Acceleration UX Vs TIME

Min is -8.875e+00 at 1.0820e+01 Max is 5.712e+00 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.37 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:53:34

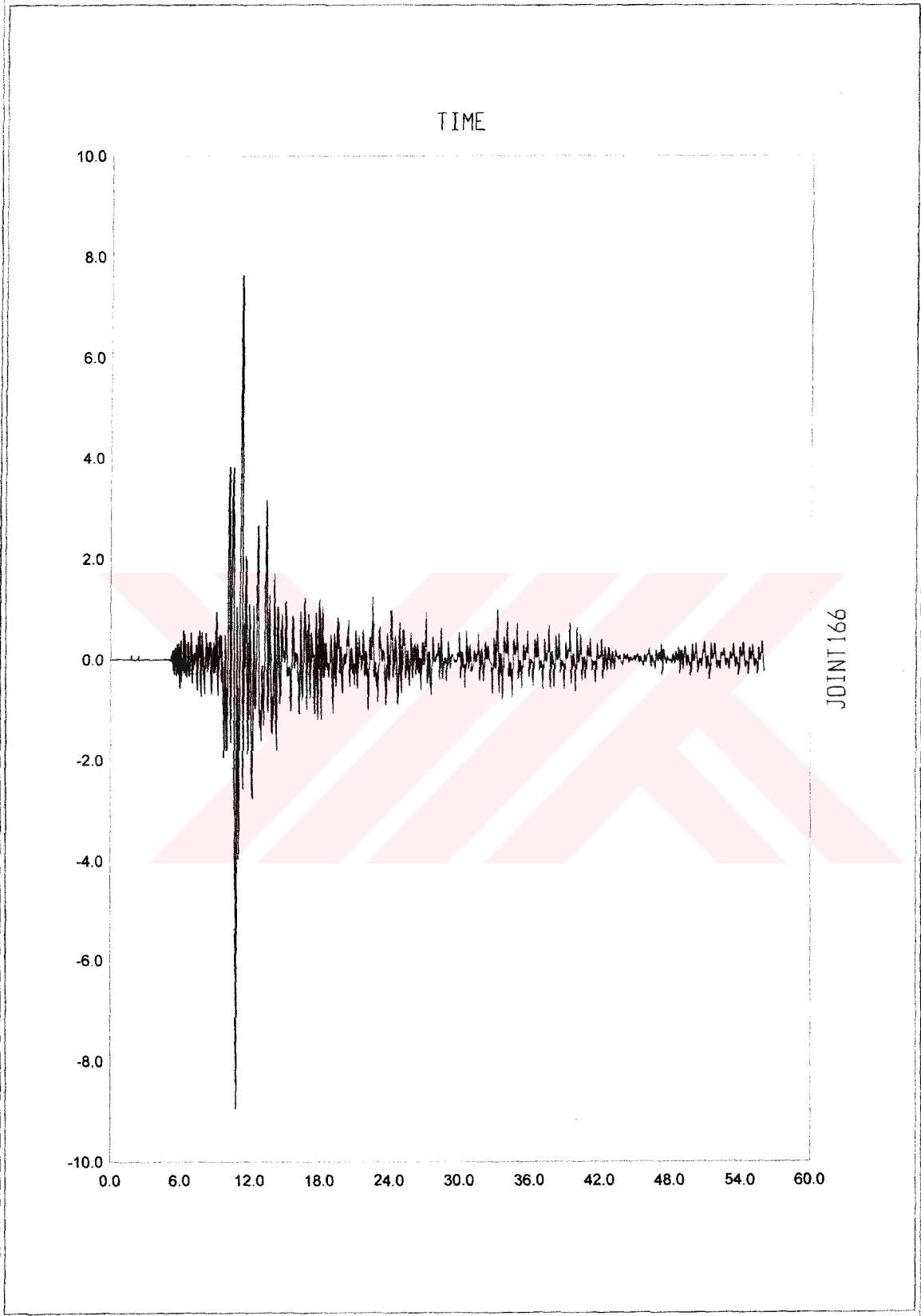


SAP2000 v8.3.1 - File:LPB - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

Joint169: Joint 169 Acceleration UX Vs TIME

Min is -9.031e+00 at 1.0820e+01 Max is 4.791e+00 at 1.1300e+01

Şekil Ek 2.38 Kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi

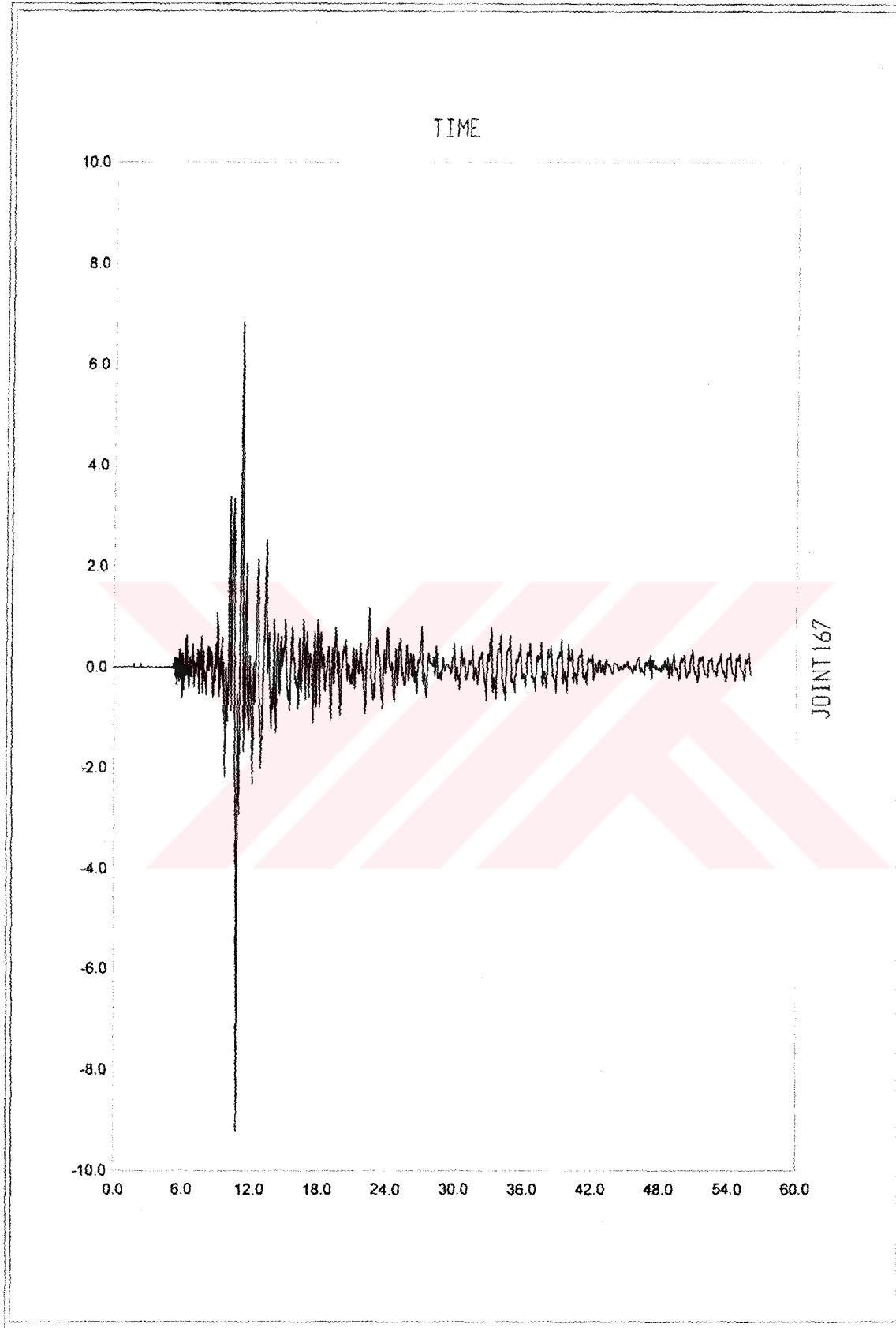


SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Joint166: Joint 166 Acceleration UX Vs TIME
 Min is -8.940e+00 at 1.0810e+01 Max is 7.637e+00 at 1.1240e+01

Şekil Ek 2.39 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu zemin kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 1:59:55



SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units

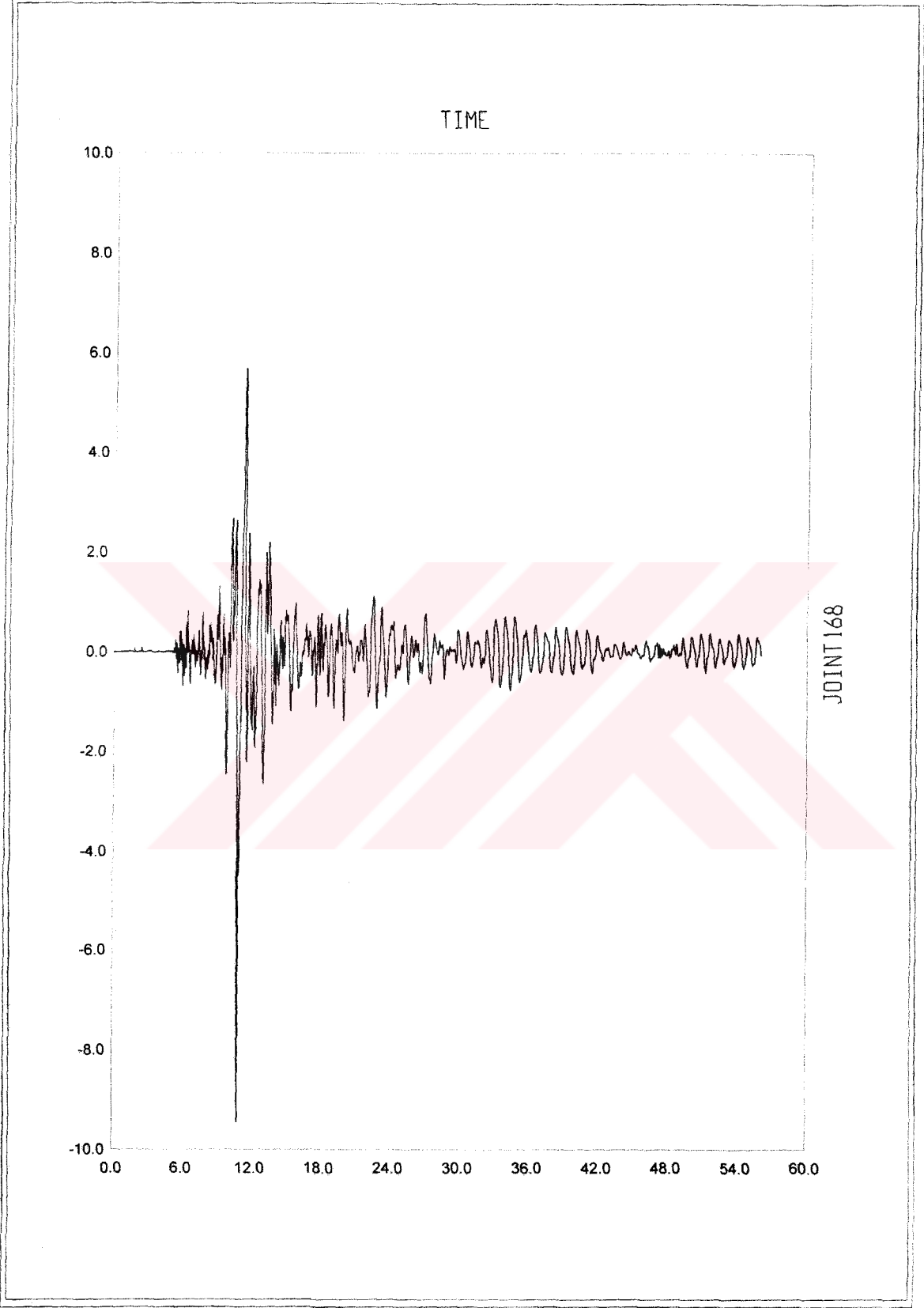
Joint167: Joint 167 Acceleration UX Vs TIME

Min is -9.225e+00 at 1.0810e+01 Max is 6.848e+00 at 1.1240e+01

Şekil Ek 2.40 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu birinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 2:00:47

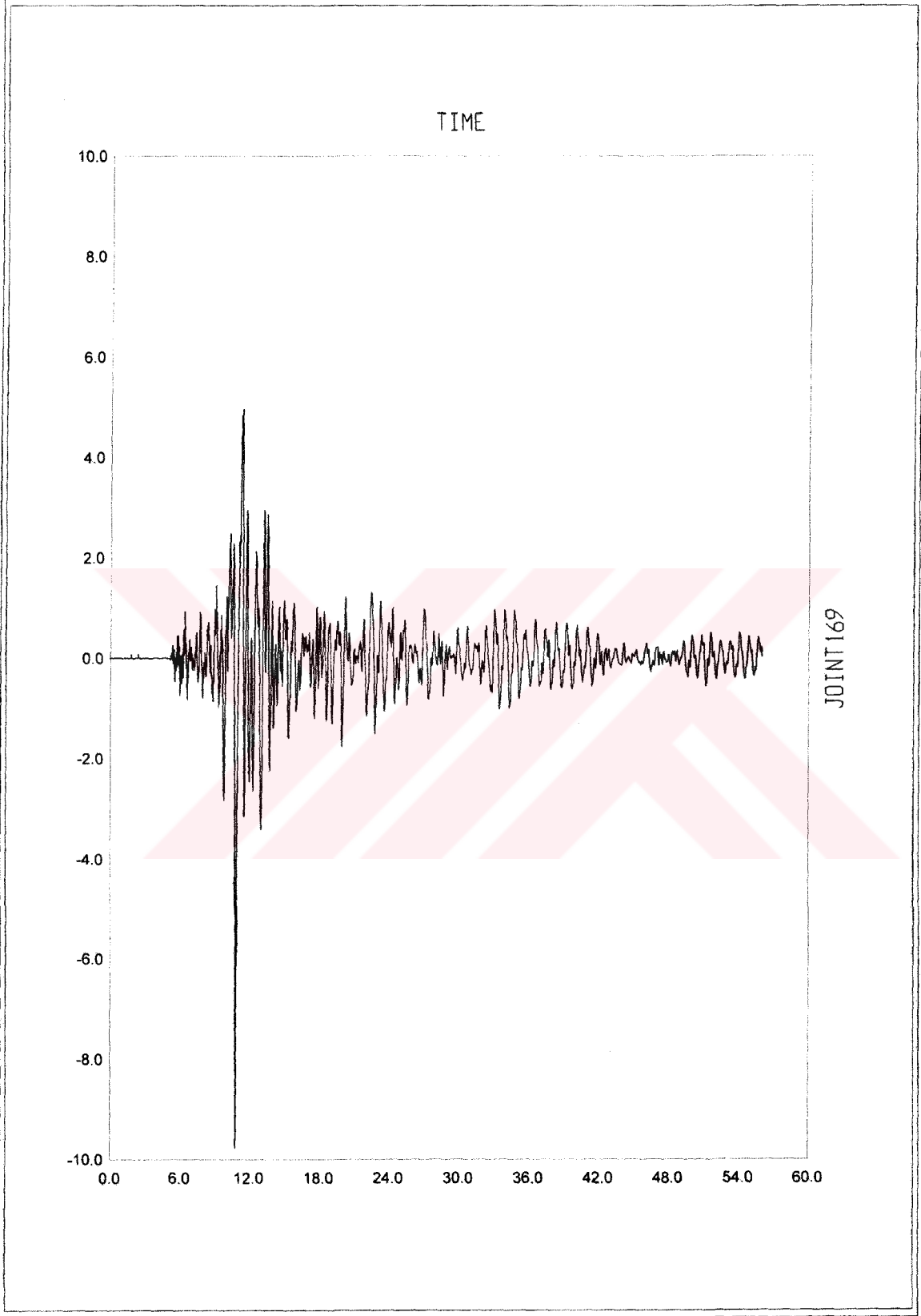


SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
 Joint168: Joint 168 Acceleration UX Vs TIME
 Min is -9.448e+00 at 1.0820e+01 Max is 5.680e+00 at 1.1280e+01

Şekil Ek 2.41 Sürtünmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu ikinci kat ivmesi

SAP2000

Plot Functions 5/23/04 2:01:34



SAP2000 v8.3.1 - File:FPS - Case:TIMEHX - KN, m, C Units
Joint169: Joint 169 Acceleration UX Vs TIME
Min is -9.776e+00 at 1.0820e+01 Max is 4.969e+00 at 1.1340e+01

Şekil Ek 2.42 Sürtülmeli sarkaç mesnetli yapının x doğrultusu üçüncü kat ivmesi

Ek 3 Taban izolasyonu için geliştirilen bilgisayar programının kaynak kodu

1) Ankastre mesnetli taban kesme kuvvetinin bulunması

```

Private Sub Command1_Click()
Dim Z As Single
Dim Na As Single
Dim Nv As Single
Dim Mm As Single
Dim ZNv As Single
Dim i As Single
Dim Cam As Single
Dim Cvm As Single
If Text1.Text = "" Then
X = MsgBox("Periyotu giriniz", vbOKOnly, "UBC97")
Else
Hn = Text14.Text
If Combo1.ListIndex = 0 Then
Z = 0.075
    If Combo3.ListIndex = 0 Then
        Cvd = 0.06
        Cad = 0.06
    ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
        Cvd = 0.08
        Cad = 0.08
    ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
        Cvd = 0.13
        Cad = 0.09
    ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
        Cvd = 0.18
        Cad = 0.12
    ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
        Cvd = 0.26
        Cad = 0.19
    End If
ElseIf Combo1.ListIndex = 1 Then
    Z = 0.15
    If Combo3.ListIndex = 0 Then
        Cvd = 0.12
        Cad = 0.12
    ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
        Cvd = 0.15
        Cad = 0.15
    ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
        Cvd = 0.25
        Cad = 0.18
    ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
        Cvd = 0.32
        Cad = 0.22
    ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
        Cvd = 0.5
    End If
End If
End Sub

```

Cad = 0.3
End If

ElseIf Combo1.ListIndex = 2 Then
 Z = 0.2
 If Combo3.ListIndex = 0 Then
 Cvd = 0.16
 Cad = 0.16
 ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
 Cvd = 0.2
 Cad = 0.2
 ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
 Cvd = 0.32
 Cad = 0.24
 ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
 Cvd = 0.4
 Cad = 0.28
 ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
 Cvd = 0.64
 Cad = 0.34
 End If

ElseIf Combo1.ListIndex = 3 Then
 Z = 0.3
 If Combo3.ListIndex = 0 Then
 Cvd = 0.24
 Cad = 0.24
 ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
 Cvd = 0.3
 Cad = 0.3
 ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
 Cvd = 0.45
 Cad = 0.33
 ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
 Cvd = 0.54
 Cad = 0.36
 ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
 Cvd = 0.84
 Cad = 0.36
 End If

ElseIf Combo1.ListIndex = 4 Then
 Z = 0.4

End If

If Combo2.ListIndex = 0 Then
 If Combo4.ListIndex = 0 Then
 Na = 1.5
 Nv = 2
 ElseIf Combo4.ListIndex = 1 Then
 Na = 1.2
 Nv = 1.6
 ElseIf Combo4.ListIndex = 2 Then
 Na = 1

```

    Nv = 1.2
    ElseIf Combo4.ListIndex = 3 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    End If
ElseIf Combo2.ListIndex = 1 Then
    If Combo4.ListIndex = 0 Then
        Na = 1.3
        Nv = 1.6
    ElseIf Combo4.ListIndex = 1 Then
        Na = 1
        Nv = 1.2
    ElseIf Combo4.ListIndex = 2 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    ElseIf Combo4.ListIndex = 3 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    End If
ElseIf Combo2.ListIndex = 2 Then
    If Combo4.ListIndex = 0 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    ElseIf Combo4.ListIndex = 1 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    ElseIf Combo4.ListIndex = 2 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    ElseIf Combo4.ListIndex = 3 Then
        Na = 1
        Nv = 1
    End If
End If
If Combo1.ListIndex = 4 Then

    If Combo3.ListIndex = 0 Then
        Cvd = 0.32 * Nv
        Cad = 0.32 * Na
    ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
        Cvd = 0.4 * Nv
        Cad = 0.4 * Na
    ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
        Cvd = 0.56 * Nv
        Cad = 0.4 * Na
    ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
        Cvd = 0.64 * Nv
        Cad = 0.44 * Na
    ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
        Cvd = 0.96 * Nv
        Cad = 0.36 * Na
    End If

```

```

End If
End If
If Combo6.ListIndex = 0 Then i = 1
If Combo6.ListIndex = 1 Then i = 1.25
If Combo6.ListIndex = 2 Then i = 1.5
ZNv = Z * Nv
If ZNv = 0.075 Then Mm = 2.67
If 0.075 < ZNv And ZNv < 0.15 Then Mm = 2.67 - ((ZNv - 0.075) * 80 / 9)
If ZNv = 0.15 Then Mm = 2
If 0.15 < ZNv And ZNv < 0.2 Then Mm = 2 - ((ZNv - 0.15) * 5)
If ZNv = 0.2 Then Mm = 1.75
If 0.2 < ZNv And ZNv < 0.3 Then Mm = 1.75 - ((ZNv - 0.2) * 5 / 2)
If ZNv = 0.3 Then Mm = 1.5
If 0.3 < ZNv And ZNv < 0.4 Then Mm = 1.5 - ((ZNv - 0.3) * 5 / 2)
If ZNv = 0.4 Then Mm = 1.25
If 0.4 < ZNv And ZNv < 0.5 Then Mm = 1.25 - ((ZNv - 0.4) / 2)
If ZNv >= 0.5 Then Mm = 1.2
Text2.Text = Format(ZNv, "###.###")
Text3.Text = Format(Mm, "###.###")
Text8.Text = Format(Cad, "###.###")
Text4.Text = Format(Cvd, "###.###")
MmZNa = Mm * Z * Na
MmZNv = Mm * Z * Nv
If Combo3.ListIndex = 0 Then
    If MmZNa <= 0.075 Then Cam = 0.06
    If MmZNa > 0.075 And MmZNa < 0.15 Then Cam = 0.06 + ((MmZNa - 0.075) * 0.06 / 0.075)
    If MmZNa = 0.15 Then Cam = 0.12
    If MmZNa > 0.15 And MmZNa < 0.2 Then Cam = 0.12 + ((MmZNa - 0.15) * 0.04 / 0.05)
    If MmZNa = 0.2 Then Cam = 0.16
    If MmZNa > 0.2 And MmZNa < 0.3 Then Cam = 0.16 + ((MmZNa - 0.2) * 0.08 / 0.1)
    If MmZNa = 0.3 Then Cam = 0.24
    If MmZNa > 0.3 And MmZNa < 0.4 Then Cam = 0.24 + ((MmZNa - 0.3) * (0.8 * MmZNa - 0.24) / 0.1)
    If MmZNa >= 0.4 Then Cam = 0.8 * MmZNa
ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then
    If MmZNa <= 0.075 Then Cam = 0.08
    If MmZNa > 0.075 And MmZNa < 0.15 Then Cam = 0.08 + ((MmZNa - 0.075) * 0.07 / 0.075)
    If MmZNa = 0.15 Then Cam = 0.15
    If MmZNa > 0.15 And MmZNa < 0.2 Then Cam = 0.15 + ((MmZNa - 0.15) * 0.05 / 0.05)
    If MmZNa = 0.2 Then Cam = 0.2
    If MmZNa > 0.2 And MmZNa < 0.3 Then Cam = 0.2 + ((MmZNa - 0.2) * 0.1 / 0.1)
    If MmZNa = 0.3 Then Cam = 0.3
    If MmZNa > 0.3 And MmZNa < 0.4 Then Cam = 0.3 + ((MmZNa - 0.3) * (1 * MmZNa - 0.3) / 0.1)
    If MmZNa >= 0.4 Then Cam = 1 * MmZNa
ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
    If MmZNa <= 0.075 Then Cam = 0.09

```

```

If MmZNa > 0.075 And MmZNa < 0.15 Then Cam = 0.09 + ((MmZNa - 0.075) * 0.09 /
0.075)
If MmZNa = 0.15 Then Cam = 0.18
If MmZNa > 0.15 And MmZNa < 0.2 Then Cam = 0.18 + ((MmZNa - 0.15) * 0.06 /
0.05)
If MmZNa = 0.2 Then Cam = 0.24
If MmZNa > 0.2 And MmZNa < 0.3 Then Cam = 0.24 + ((MmZNa - 0.2) * 0.09 / 0.1)
If MmZNa = 0.3 Then Cam = 0.33
If MmZNa > 0.3 And MmZNa < 0.4 Then Cam = 0.33 + ((MmZNa - 0.3) * (1 * MmZNa
- 0.33) / 0.1)
If MmZNa >= 0.4 Then Cam = 1 * MmZNa
ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
If MmZNa <= 0.075 Then Cam = 0.12
If MmZNa > 0.075 And MmZNa < 0.15 Then Cam = 0.12 + ((MmZNa - 0.075) * 0.1 /
0.075)
If MmZNa = 0.15 Then Cam = 0.22
If MmZNa > 0.15 And MmZNa < 0.2 Then Cam = 0.22 + ((MmZNa - 0.15) * 0.06 /
0.05)
If MmZNa = 0.2 Then Cam = 0.28
If MmZNa > 0.2 And MmZNa < 0.3 Then Cam = 0.28 + ((MmZNa - 0.2) * 0.08 / 0.1)
If MmZNa = 0.3 Then Cam = 0.36
If MmZNa > 0.3 And MmZNa < 0.4 Then Cam = 0.36 + ((MmZNa - 0.3) * (1.1 *
MmZNa - 0.36) / 0.1)
If MmZNa >= 0.4 Then Cam = 1.1 * MmZNa
ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
If MmZNa <= 0.075 Then Cam = 0.19
If MmZNa > 0.075 And MmZNa < 0.15 Then Cam = 0.19 + ((MmZNa - 0.075) * 0.11 /
0.075)
If MmZNa = 0.15 Then Cam = 0.3
If MmZNa > 0.15 And MmZNa < 0.2 Then Cam = 0.3 + ((MmZNa - 0.15) * 0.04 / 0.05)
If MmZNa = 0.2 Then Cam = 0.34
If MmZNa > 0.2 And MmZNa < 0.3 Then Cam = 0.34 + ((MmZNa - 0.2) * 0.02 / 0.1)
If MmZNa = 0.3 Then Cam = 0.36
If MmZNa > 0.3 And MmZNa < 0.4 Then Cam = 0.36 + ((MmZNa - 0.3) * (0.9 *
MmZNa - 0.36) / 0.1)
If MmZNa >= 0.4 Then Cam = 0.9 * MmZNa
End If
If Combo3.ListIndex = 0 Then
If MmZNv <= 0.075 Then Cvm = 0.06
If MmZNv > 0.075 And MmZNv < 0.15 Then Cvm = 0.06 + ((MmZNv - 0.075) * 0.06 /
0.075)
If MmZNv = 0.15 Then Cvm = 0.12
If MmZNv > 0.15 And MmZNv < 0.2 Then Cvm = 0.12 + ((MmZNv - 0.15) * 0.04 /
0.05)
If MmZNv = 0.2 Then Cvm = 0.16
If MmZNv > 0.2 And MmZNv < 0.3 Then Cvm = 0.16 + ((MmZNv - 0.2) * 0.08 / 0.1)
If MmZNv = 0.3 Then Cvm = 0.24
If MmZNv > 0.3 And MmZNv < 0.4 Then Cvm = 0.24 + ((MmZNv - 0.3) * (0.8 *
MmZNv - 0.24) / 0.1)
If MmZNv >= 0.4 Then Cvm = 0.8 * MmZNv
ElseIf Combo3.ListIndex = 1 Then

```

```

If MmZNv <= 0.075 Then Cvm = 0.08
If MmZNv > 0.075 And MmZNv < 0.15 Then Cvm = 0.08 + ((MmZNv - 0.075) * 0.07 /
    0.075)
If MmZNv = 0.15 Then Cvm = 0.15
If MmZNv > 0.15 And MmZNv < 0.2 Then Cvm = 0.15 + ((MmZNv - 0.15) * 0.05 /
    0.05)
If MmZNv = 0.2 Then Cvm = 0.2
If MmZNv > 0.2 And MmZNv < 0.3 Then Cvm = 0.2 + ((MmZNv - 0.2) * 0.1 / 0.1)
If MmZNv = 0.3 Then Cvm = 0.3
If MmZNv > 0.3 And MmZNv < 0.4 Then Cvm = 0.3 + ((MmZNv - 0.3) * (1 * MmZNv
    - 0.3) / 0.1)
If MmZNv >= 0.4 Then Cvm = 1 * MmZNv
ElseIf Combo3.ListIndex = 2 Then
    If MmZNv <= 0.075 Then Cvm = 0.13
    If MmZNv > 0.075 And MmZNv < 0.15 Then Cvm = 0.13 + ((MmZNv - 0.075) * 0.12 /
        0.075)
    If MmZNv = 0.15 Then Cvm = 0.25
    If MmZNv > 0.15 And MmZNv < 0.2 Then Cvm = 0.25 + ((MmZNv - 0.15) * 0.07 /
        0.05)
    If MmZNv = 0.2 Then Cvm = 0.32
    If MmZNv > 0.2 And MmZNv < 0.3 Then Cvm = 0.32 + ((MmZNv - 0.2) * 0.13 / 0.1)
    If MmZNv = 0.3 Then Cvm = 0.45
    If MmZNv > 0.3 And MmZNv < 0.4 Then Cvm = 0.45 + ((MmZNv - 0.3) * (1.4 *
        MmZNv - 0.45) / 0.1)
    If MmZNv >= 0.4 Then Cvm = 1.4 * MmZNv
ElseIf Combo3.ListIndex = 3 Then
    If MmZNv <= 0.075 Then Cvm = 0.18
    If MmZNv > 0.075 And MmZNv < 0.15 Then Cvm = 0.18 + ((MmZNv - 0.075) * 0.12 /
        0.075)
    If MmZNv = 0.15 Then Cvm = 0.32
    If MmZNv > 0.15 And MmZNv < 0.2 Then Cvm = 0.32 + ((MmZNv - 0.15) * 0.08 /
        0.05)
    If MmZNv = 0.2 Then Cvm = 0.4
    If MmZNv > 0.2 And MmZNv < 0.3 Then Cvm = 0.4 + ((MmZNv - 0.2) * 0.14 / 0.1)
    If MmZNv = 0.3 Then Cvm = 0.54
    If MmZNv > 0.3 And MmZNv < 0.4 Then Cvm = 0.54 + ((MmZNv - 0.3) * (1.6 *
        MmZNv - 0.54) / 0.1)
    If MmZNv >= 0.4 Then Cvm = 1.6 * MmZNv
ElseIf Combo3.ListIndex = 4 Then
    If MmZNv <= 0.075 Then Cvm = 0.26
    If MmZNv > 0.075 And MmZNv < 0.15 Then Cvm = 0.26 + ((MmZNv - 0.075) * 0.24 /
        0.075)
    If MmZNv = 0.15 Then Cvm = 0.5
    If MmZNv > 0.15 And MmZNv < 0.2 Then Cvm = 0.5 + ((MmZNv - 0.15) * 0.14 / 0.05)
    If MmZNv = 0.2 Then Cvm = 0.64
    If MmZNv > 0.2 And MmZNv < 0.3 Then Cvm = 0.64 + ((MmZNv - 0.2) * 0.2 / 0.1)
    If MmZNv = 0.3 Then Cvm = 0.84
    If MmZNv > 0.3 And MmZNv < 0.4 Then Cvm = 0.84 + ((MmZNv - 0.3) * (2.4 *
        MmZNv - 0.84) / 0.1)
    If MmZNv >= 0.4 Then Cvm = 2.4 * MmZNv
End If

```

```

Text9.Text = Format(Cam, "###.###")
Text10.Text = Format(Cvm, "###.###")
zati = Text5.Text
W1 = zati
T = Text1.Text
R = Text12.Text
TBK = Cvd * i * W1 / (R * T)
Min = 0.11 * Cad * i * W1
Min1 = 0.8 * ZNv * i * W1 / R
Max = 2.5 * Cad * i * W1 / R
Label12.Caption = Format(Min1, "#.###")
Label3.Caption = Format(Max, "#.###")
If TBK >= Min And TBK >= Min1 Then TBK = TBK
If Min > Min1 Then
Minmin = Min1
Else
Minmin = Min
End If
If TBK < Minmin Then TBK = Minmin
If TBK <= Max Then TBK = TBK
If TBK > Max Then TBK = Max
TBKK = TBK / W1
Text11.Text = Format(TBK, "###.###")
Text13.Text = Format(TBKK, "###.###")
Label4.Visible = True
Label6.Visible = True
Label8.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label17.Visible = True
Text2.Visible = True
Text3.Visible = True
Text4.Visible = True
Text8.Visible = True
Text9.Visible = True
Text10.Visible = True
'Command3.Visible = True
'Command4.Visible = True
Command2.Enabled = True
Command9.Enabled = True
Command10.Enabled = True
Command11.Enabled = True
End If
End Sub

```

2) HDRB için Tasarım

```

Private Sub Command1_Click()
Const pi = 3.14159265358979
Td = Text1.Text
beta = Text2.Text

```

```

tr = Text4.Text
KeKp = Text5.Text
W = Text7.Text
Bd = 1 / (0.25 * (1 - Log(beta)))
Cvd = Form1.Text4.Text
Cvm = Form1.Text10.Text
Mm = Form1.Text3.Text
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
Kh = (2 * pi / Td) * (2 * pi / Td) * W / 9.81
Tip1Adet = Combo1.ListIndex
Tip2Adet = Combo2.ListIndex
If Combo5.ListIndex = 0 Then G1DBE = Form7.Text5.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then G1DBE = Form7.Text14.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then G2DBE = Form7.Text5.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then G2DBE = Form7.Text14.Text
If Combo5.ListIndex = 0 Then G1MCE = Form7.Text2.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then G1MCE = Form7.Text11.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then G2MCE = Form7.Text2.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then G2MCE = Form7.Text11.Text
If Combo5.ListIndex = 0 Then S1DBE = Form7.Text6.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then S1DBE = Form7.Text15.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then S2DBE = Form7.Text6.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then S2DBE = Form7.Text15.Text
If Combo5.ListIndex = 0 Then S1MCE = Form7.Text3.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then S1MCE = Form7.Text12.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then S2MCE = Form7.Text3.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then S2MCE = Form7.Text12.Text
If Combo7.ListIndex = 0 Then R = 1.4
If Combo7.ListIndex = 1 Then R = 1.6
If Combo7.ListIndex = 2 Then R = 2
AREA = (Kh * tr / 1000) / (Tip1Adet * G1DBE + Tip2Adet * G2DBE)
'Mesnet çapı
CAP = Sqr(4 * AREA / pi)
'Mesnet çapını seçilmesi
14
Y = MsgBox(CAP, vbOKOnly, "2.5 sn periyot için gereken izolatör çapı")
CAPSON = InputBox("İzolatör için çap seçiniz", "UBASE", 0.4)
If CAPSON < CAP Then
X = MsgBox("Seçilen izolatör çapı gereken değerden büyük olmalıdır", vbOKOnly,
"UBASE")
GoTo 14
Else
ALAN = pi * CAPSON * CAPSON / 4
End If
KH1 = G1DBE * ALAN / tr
KH2 = G2DBE * ALAN / tr
TKH = 1000 * (Combo1.ListIndex * KH1 + Combo2.ListIndex * KH2)
Td = 2 * pi * Sqr(W / (TKH * 9.81))
Label17.Caption = Format(Td, "#.###")
Sonum = (Combo1.ListIndex * KH1 * S1DBE + Combo2.ListIndex * KH2 * S2DBE) /
(TKH / 1000)

```

```

Label8.Caption = Format(Sonum, "#.###")
Bd = 1 / (0.25 * (1 - Log(Sonum)))
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
Text6.Text = Format(Dd, "#.###")
'DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtd)
b = Text11.Text
d = Text12.Text
e = Text13.Text
Y = Text14.Text
T = Form1.Text1.Text
Ddexp = Dd / Sqr(1 + (T / Td) * (T / Td))
Dtd = Ddexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtd < 1.1 * Dd Then
Y = MsgBox("Dtd değeri yönetmelik min değeri kucuktur. Yönetmelik min değeri
        kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UBASE")
Dtd = 1.1 * Dd
Else
End If
Text15.Text = Format(Dtd, "#.###")
'DBE Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması
DBETKK = TKH * Dd / R
Text19.Text = Format(DBETKK, "#.###")
TKK_Orani = DBETKK / TBK
Text8.Text = Format(TKK_Orani, "#.###")
taban = DBETKK
'MCE Deplasmanlarının hesaplanması
Dm = Mm * Dd
KHMCE1 = G1MCE * ALAN / tr
KHMCE2 = G2MCE * ALAN / tr
TKHMCE = 1000 * (Combo1.ListIndex * KHMCE1 + Combo2.ListIndex * KHMCE2)
SonumMCE = (Combo1.ListIndex * KHMCE1 * S1MCE + Combo2.ListIndex * KHMCE2 *
        S2MCE) / (TKHMCE / 1000)
Bm = 1 / (0.25 * (1 - Log(SonumMCE)))
Tm = 2 * pi * Sqr(W / (TKHMCE * 9.81))
Dm = 9.81 * Cvm * Tm / (4 * pi * pi * Bm)
Text16.Text = Format(Tm, "#.###")
Text17.Text = Format(Dm, "#.###")
'MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtm)
Dmexp = Dm / Sqr(1 + (T / Tm) * (T / Tm))
Dtm = Dmexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtm < 1.1 * Dm Then
Y = MsgBox("Dtm değeri yönetmelik min değeri kucuktur. Yönetmelik min değeri
        kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UBASE")
Dtm = 1.1 * Dm
Else
End If
Text18.Text = Format(Dtm, "#.###")
'Mesnetin Boyutlanması
Dim sayi As Single
Dim FV As Single
Dim Kubik As Single

```

```

Kubik = Text20.Text
If Combo5.ListIndex = 0 Then
G1Kucuk = Form7.Text8.Text
Else
G1Kucuk = Form7.Text17.Text
End If
If Combo6.ListIndex = 0 Then
G2Kucuk = Form7.Text8.Text
Else
G2Kucuk = Form7.Text17.Text
End If
For Z = 100 To 100000
sayi = Z / 100
Fver = sayi
FH = 1 / Td
S = (1 / Sqr(6)) * (Fver / FH)
Ec1 = (6 * G1Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G1Kucuk * S * S + Kubik)
Ec2 = (6 * G2Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G2Kucuk * S * S + Kubik)
KV1 = Ec1 * ALAN / tr
KV2 = Ec2 * ALAN / tr
KV = KV1 * Combo1.ListIndex + KV2 * Combo2.ListIndex
DeltaT = W / (KV * 1000)
TV = 2 * pi * Sqr(W / (1000 * KV * 9.81))
FV = 1 / TV
Hata = Fver - FV
If Hata > 0 And Hata < 0.005 Then
GoTo 45
Else
End If
Next Z
45
tkaucuk = CAPSON / (4 * S)
ADET = tr / tkaucuk
adetson = Int(ADET)
adetson = adetson + 1
tkaucukson = tr / adetson
tkaucukson = tkaucukson * 10000
tkaucukson = (Int(tkaucukson) + 1) / 10
trson = tkaucukson * adetson / 1000
Label9.Caption = Format(trson, "#.###")
Text22.Text = Format(adetson, "#.###")
Text23.Text = Format(tkaucukson, "#.###")
tcelik = Text25.Text
tbaglanti = Text21.Text
h = tkaucukson * adetson + (adetson - 1) * tcelik + 2 * tbaglanti
Text24.Text = Format(h, "#.#")
'Mekanik Özellikler
S = 1000 * CAPSON / (4 * tkaucukson)
Label38.Caption = Format(S, "#.###")
Ec1 = (6 * G1Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G1Kucuk * S * S + Kubik)
Ec2 = (6 * G2Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G2Kucuk * S * S + Kubik)

```

```

KV1 = 1000 * Ec1 * ALAN / trson
KV2 = 1000 * Ec2 * ALAN / trson
EIEF1 = 1000 * 2 * G1DBE * S * S * pi * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) *
(CAPSON / 2) / 4
EIEF2 = 1000 * 2 * G2DBE * S * S * pi * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) *
(CAPSON / 2) / 4
'Tip1
KH1SON = 1000 * G1DBE * ALAN / trson
Wd = 2 * pi * KH1SON * Dd * Dd * S1DBE
Q = Wd / (4 * Dd)
Kp = KH1SON - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
For i = 1 To 100
Q = Wd / (4 * (Dd - Dy))
Kp = KH1SON - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
Next i
Fy = Q + Kp * Dy
KH1 = KH1SON
K21 = Kp
K11 = Ke
Dy1 = Dy
Fy1 = Fy
Q1 = Q
Ratio1 = K21 / K11
WD1 = 4 * Q1 * (Dd - Dy1)
Bef1 = WD1 / (2 * pi * KH1 * Dd * Dd)
Kef1 = KH1
Dd1 = Dd
'Tip2
KH2SON = 1000 * G2DBE * ALAN / trson
Wd = 2 * pi * KH2SON * Dd * Dd * S2DBE
Q = Wd / (4 * Dd)
Kp = KH2SON - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
For i = 1 To 100
Q = Wd / (4 * (Dd - Dy))
Kp = KH2SON - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
Next i
Fy = Q + Kp * Dy
KH2 = KH2SON
K22 = Kp
K12 = Ke
Dy2 = Dy
Fy2 = Fy
Q2 = Q

```

```

Ratio2 = K22 / K12
WD2 = 4 * Q2 * (Dd - Dy2)
Bef2 = WD2 / (2 * pi * KH2 * Dd * Dd)
Kef2 = KH2
Dd2 = Dd
'Kayma Şekildeğiştirmeleri
'Düşey Yükten ötürü
KV = KV1 * Combo1.ListIndex + KV2 * Combo2.ListIndex
DeltaT = W / (KV)
EPSZ = DeltaT / trson
GAMMAV = 6 * S * EPSZ
Label39.Caption = Format(GAMMAV, "#.###")
'Yatay Yükten Ötürü
GAMMASTIP1 = KH1 * Dd1 / (1000 * ALAN * G1DBE)
GAMMASTIP2 = KH2 * Dd2 / (1000 * ALAN * G2DBE)
GAMMAS = (Combo1.ListIndex * GAMMASTIP1 + Combo2.ListIndex * GAMMASTIP2)
/ (Combo1.ListIndex + Combo2.ListIndex)
Label35.Caption = Format(GAMMAS, "#.###")
Label41.Caption = Format(GAMMAV + GAMMAS, "#.###")
'Izolatör kütleleri
GammaRubber = 1100 * 9.81
GammaSteel = 7850 * 9.81
GammaLead = 11340 * 9.81
'TIP1
WKaucuk1 = ALAN * trson * GammaRubber
WSSHims1 = ALAN * (adetson - 1) * tcelik * GammaSteel / 1000
WSPlate = 2 * tbaglanti * ALAN * GammaSteel / 1000
Toplam1 = WKaucuk1 + WSSHims1 + WSPlate
Mass1 = Toplam1 / 9810
'TIP2
WKaucuk2 = ALAN * trson * GammaRubber
WSSHims2 = ALAN * (adetson - 1) * tcelik * GammaSteel / 1000
WSPlate = 2 * tbaglanti * ALAN * GammaSteel / 1000
Toplam2 = WKaucuk2 + WSSHims2 + WSPlate
Mass2 = Toplam2 / 9810
Command2.Enabled = True
Command6.Enabled = True
End Sub

```

3) LPB için Tasarım

```

Private Sub Command1_Click()
Dim Dd As Single
Dim Td As Single
Dim tr As Single
Dim beta As Single
Dim N As Single
Dim KeKp As Single
Dim Bd As Single
Dim Kh As Single
Dim Ak As Single

```

```

Dim Tip1Adet As Integer
Dim Tip2Adet As Integer
Dim D_Tip1 As Single
Dim D_Tip2 As Single
Dim G As Single
Dim CAP As Single
'Dim CAPSON As Single
Dim Kubik As Single
Dim R As Single
Const pi = 3.14159265358979
Td = Text1.Text
beta = Text2.Text
tr = Text4.Text
KeKp = Text5.Text
W = Text7.Text
Fyk = Text9.Text
Bd = 1 / (0.25 * (1 - Log(beta)))
Cvd = Form1.Text4.Text
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
Kh = (2 * pi / Td) * (2 * pi / Td) * W / 9.81
Wd = 2 * pi * Kh * Dd * Dd * beta
Q = Wd / (4 * Dd)
Kp = Kh - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
For i = 1 To 1000
Q = Wd / (4 * (Dd - Dy))
Kp = Kh - (Q / Dd)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
i = i + 1
Next i
Dy = Dy
Q = Q
'GEREKEN KURŞUN ALANI
Ak = Q / (Fyk * 1000)
Tip1Adet = Combo1.ListIndex
Tip2Adet = Combo2.ListIndex
If Combo3.ListIndex = 0 Then D_Tip1 = 10 / 1000
If Combo3.ListIndex = 1 Then D_Tip1 = 15 / 1000
If Combo3.ListIndex = 2 Then D_Tip1 = 20 / 1000
If Combo3.ListIndex = 3 Then D_Tip1 = 25 / 1000
If Combo3.ListIndex = 4 Then D_Tip1 = 30 / 1000
If Combo3.ListIndex = 5 Then D_Tip1 = 35 / 1000
If Combo3.ListIndex = 6 Then D_Tip1 = 40 / 1000
If Combo3.ListIndex = 7 Then D_Tip1 = 45 / 1000
If Combo3.ListIndex = 8 Then D_Tip1 = 50 / 1000
If Combo3.ListIndex = 9 Then D_Tip1 = 55 / 1000
If Combo3.ListIndex = 10 Then D_Tip1 = 60 / 1000
If Combo3.ListIndex = 11 Then D_Tip1 = 65 / 1000
If Combo3.ListIndex = 12 Then D_Tip1 = 70 / 1000

```

```

If Combo3.ListIndex = 13 Then D_Tip1 = 75 / 1000
If Combo3.ListIndex = 14 Then D_Tip1 = 80 / 1000
If Combo3.ListIndex = 15 Then D_Tip1 = 85 / 1000
If Combo3.ListIndex = 16 Then D_Tip1 = 90 / 1000
If Combo3.ListIndex = 17 Then D_Tip1 = 95 / 1000
If Combo3.ListIndex = 18 Then D_Tip1 = 100 / 1000
If Combo3.ListIndex = 19 Then D_Tip1 = 105 / 1000
If Combo3.ListIndex = 20 Then D_Tip1 = 110 / 1000
If Combo3.ListIndex = 21 Then D_Tip1 = 115 / 1000
If Combo3.ListIndex = 22 Then D_Tip1 = 120 / 1000
If Combo3.ListIndex = 23 Then D_Tip1 = 125 / 1000
If Combo3.ListIndex = 24 Then D_Tip1 = 130 / 1000
If Combo3.ListIndex = 25 Then D_Tip1 = 135 / 1000
If Combo3.ListIndex = 26 Then D_Tip1 = 140 / 1000
If Combo3.ListIndex = 27 Then D_Tip1 = 145 / 1000
If Combo3.ListIndex = 28 Then D_Tip1 = 150 / 1000
If Combo3.ListIndex = 29 Then D_Tip1 = 155 / 1000
If Combo3.ListIndex = 30 Then D_Tip1 = 160 / 1000
If Combo3.ListIndex = 31 Then D_Tip1 = 165 / 1000
If Combo3.ListIndex = 32 Then D_Tip1 = 170 / 1000
If Combo3.ListIndex = 33 Then D_Tip1 = 175 / 1000
If Combo3.ListIndex = 34 Then D_Tip1 = 180 / 1000
If Combo3.ListIndex = 35 Then D_Tip1 = 185 / 1000
If Combo3.ListIndex = 36 Then D_Tip1 = 190 / 1000
If Combo3.ListIndex = 37 Then D_Tip1 = 195 / 1000
If Combo3.ListIndex = 38 Then D_Tip1 = 200 / 1000
If Combo3.ListIndex = 39 Then D_Tip1 = 205 / 1000
If Combo3.ListIndex = 40 Then D_Tip1 = 210 / 1000
If Combo3.ListIndex = 41 Then D_Tip1 = 215 / 1000
If Combo3.ListIndex = 42 Then D_Tip1 = 220 / 1000
If Combo3.ListIndex = 43 Then D_Tip1 = 225 / 1000
If Combo3.ListIndex = 44 Then D_Tip1 = 230 / 1000
If Combo3.ListIndex = 45 Then D_Tip1 = 235 / 1000
If Combo3.ListIndex = 46 Then D_Tip1 = 240 / 1000
If Combo3.ListIndex = 47 Then D_Tip1 = 245 / 1000
If Combo3.ListIndex = 48 Then D_Tip1 = 250 / 1000
If Combo4.ListIndex = 0 Then D_Tip2 = 10 / 1000
If Combo4.ListIndex = 1 Then D_Tip2 = 15 / 1000
If Combo4.ListIndex = 2 Then D_Tip2 = 20 / 1000
If Combo4.ListIndex = 3 Then D_Tip2 = 25 / 1000
If Combo4.ListIndex = 4 Then D_Tip2 = 30 / 1000
If Combo4.ListIndex = 5 Then D_Tip2 = 35 / 1000
If Combo4.ListIndex = 6 Then D_Tip2 = 40 / 1000
If Combo4.ListIndex = 7 Then D_Tip2 = 45 / 1000
If Combo4.ListIndex = 8 Then D_Tip2 = 50 / 1000
If Combo4.ListIndex = 9 Then D_Tip2 = 55 / 1000
If Combo4.ListIndex = 10 Then D_Tip2 = 60 / 1000
If Combo4.ListIndex = 11 Then D_Tip2 = 65 / 1000
If Combo4.ListIndex = 12 Then D_Tip2 = 70 / 1000
If Combo4.ListIndex = 13 Then D_Tip2 = 75 / 1000
If Combo4.ListIndex = 14 Then D_Tip2 = 80 / 1000

```

```

If Combo4.ListIndex = 15 Then D_Tip2 = 85 / 1000
If Combo4.ListIndex = 16 Then D_Tip2 = 90 / 1000
If Combo4.ListIndex = 17 Then D_Tip2 = 95 / 1000
If Combo4.ListIndex = 18 Then D_Tip2 = 100 / 1000
If Combo4.ListIndex = 19 Then D_Tip2 = 105 / 1000
If Combo4.ListIndex = 20 Then D_Tip2 = 110 / 1000
If Combo4.ListIndex = 21 Then D_Tip2 = 115 / 1000
If Combo4.ListIndex = 22 Then D_Tip2 = 120 / 1000
If Combo4.ListIndex = 23 Then D_Tip2 = 125 / 1000
If Combo4.ListIndex = 24 Then D_Tip2 = 130 / 1000
If Combo4.ListIndex = 25 Then D_Tip2 = 135 / 1000
If Combo4.ListIndex = 26 Then D_Tip2 = 140 / 1000
If Combo4.ListIndex = 27 Then D_Tip2 = 145 / 1000
If Combo4.ListIndex = 28 Then D_Tip2 = 150 / 1000
If Combo4.ListIndex = 29 Then D_Tip2 = 155 / 1000
If Combo4.ListIndex = 30 Then D_Tip2 = 160 / 1000
If Combo4.ListIndex = 31 Then D_Tip2 = 165 / 1000
If Combo4.ListIndex = 32 Then D_Tip2 = 170 / 1000
If Combo4.ListIndex = 33 Then D_Tip2 = 175 / 1000
If Combo4.ListIndex = 34 Then D_Tip2 = 180 / 1000
If Combo4.ListIndex = 35 Then D_Tip2 = 185 / 1000
If Combo4.ListIndex = 36 Then D_Tip2 = 190 / 1000
If Combo4.ListIndex = 37 Then D_Tip2 = 195 / 1000
If Combo4.ListIndex = 38 Then D_Tip2 = 200 / 1000
If Combo4.ListIndex = 39 Then D_Tip2 = 205 / 1000
If Combo4.ListIndex = 40 Then D_Tip2 = 210 / 1000
If Combo4.ListIndex = 41 Then D_Tip2 = 215 / 1000
If Combo4.ListIndex = 42 Then D_Tip2 = 220 / 1000
If Combo4.ListIndex = 43 Then D_Tip2 = 225 / 1000
If Combo4.ListIndex = 44 Then D_Tip2 = 230 / 1000
If Combo4.ListIndex = 45 Then D_Tip2 = 235 / 1000
If Combo4.ListIndex = 46 Then D_Tip2 = 240 / 1000
If Combo4.ListIndex = 47 Then D_Tip2 = 245 / 1000
If Combo4.ListIndex = 48 Then D_Tip2 = 250 / 1000
'Sistemdeki toplam kurşun alanı
Akn = Tip1Adet * pi * ((D_Tip1) * (D_Tip1) / 4) + Tip2Adet * pi * ((D_Tip2) * (D_Tip2) /
4)
Ak1 = pi * ((D_Tip1) * (D_Tip1) / 4)
Ak2 = pi * ((D_Tip2) * (D_Tip2) / 4)
Q1 = 1000 * Ak1 * Fyk
Q2 = 1000 * Ak2 * Fyk
If Akn < Ak Then
Text10.Text = Format(Akn, "#.#####")
Text8.Text = Format(Ak, "#.#####")
X = MsgBox("Toplam kurşun alanı gereken alandan küçük", vbOKOnly, "UBASE")
GoTo 15
Else
End If
Text10.Text = Format(Akn, "#.#####")
Text8.Text = Format(Ak, "#.#####")
Q = Fyk * 1000 * Akn

```

```

Kp = Kh - (Q / Dd)
If Combo5.ListIndex = 0 Then G1DBE = Form7.Text5.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then G1DBE = Form7.Text14.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then G2DBE = Form7.Text5.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then G2DBE = Form7.Text14.Text
If Combo5.ListIndex = 0 Then S1DBE = Form7.Text6.Text
If Combo5.ListIndex = 1 Then S1DBE = Form7.Text15.Text
If Combo6.ListIndex = 0 Then S2DBE = Form7.Text6.Text
If Combo6.ListIndex = 1 Then S2DBE = Form7.Text15.Text
'Gereken kurşun alanı
AREA = (Kp * tr / 1000) / (Tip1Adet * G1DBE + Tip2Adet * G2DBE)
'Mesnet çapı
CAP = Sqr(4 * AREA / pi)
'Mesnet çapını seç
14
Y = MsgBox(CAP, vbOKOnly, "2.5 sn periyot için gereken izolatör çapı")
On Error GoTo 14
CAPSON = InputBox("İzolatör için çap seçiniz", "UBASE", 0.4)
If CAPSON < CAP Then
X = MsgBox("Seçilen izolatör çapı gereken değerden büyük olmalıdır", vbOKOnly,
"UBASE")
GoTo 14
Else
ALAN = pi * CAPSON * CAPSON / 4
End If
'If Combo5.ListIndex = 0 Then
'G1DBE = Form7.Text5.Text
'Else
'G1DBE = Form7.Text14.Text
'End If
KH1 = G1DBE * ALAN / tr
'If Combo6.ListIndex = 0 Then
'G2DBE = Form7.Text5.Text
'Else
'G2DBE = Form7.Text14.Text
'End If
KH2 = G2DBE * ALAN / tr
TKH = 1000 * (Combo1.ListIndex * KH1 + Combo2.ListIndex * KH2)
KEFF = TKH + (Q / Dd)
Td = 2 * pi * Sqr(W / (KEFF * 9.81))
TdKAR = Format(Td, "#.###")
Label17.Caption = TdKAR
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
Dd1 = Dd
Text6.Text = Format(Dd, "#.###")
'DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtd)
b = Text11.Text
d = Text12.Text
e = Text13.Text
Y = Text14.Text
T = Form1.Text1.Text

```

```

Ddexp = Dd / Sqr(1 + (T / Td) * (T / Td))
Dtd = Ddexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtd < 1.1 * Dd Then
Y = MsgBox("Dtd değeri yönetmelik min değerinden küçüktür. Yönetmelik min değeri
            kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UYARI")
Dtd = 1.1 * Dd
Else
End If
Text15.Text = Format(Dtd, "#.###")
If Combo7.ListIndex = 0 Then R = 1.4
If Combo7.ListIndex = 1 Then R = 1.6
If Combo7.ListIndex = 2 Then R = 2
'DBE Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması
DBETKK = KEFF * Dd / R
Text19.Text = Format(DBETKK, "#.###")
TKK_Orani = DBETKK / TBK
Text27.Text = Format(TKK_Orani, "#.###")
taban = DBETKK
'MCE Deplasmanlarının hesaplanması
Mm = Form1.Text3.Text
Cvm = Form1.Text10.Text
Dm = Mm * Dd
For i = 1 To 1000
KEFFMCE = Kp + (Q / Dm)
Ke = KeKp * Kp
Dy = Q / (Ke - Kp)
WMCE = 4 * Q * (Dm - Dy)
BEFF = WMCE / (2 * pi * KEFFMCE * Dm * Dm)
Bm = 1 / (0.25 * (1 - Log(BEFF)))
Tm = 2 * pi * Sqr(W / (KEFFMCE * 9.81))
Dm = 9.81 * Cvm * Tm / (4 * pi * pi * Bm)
Next i
Text16.Text = Format(Tm, "#.###")
Text17.Text = Format(Dm, "#.###")
'MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtm)
Dmexp = Dm / Sqr(1 + (T / Tm) * (T / Tm))
Dtm = Dmexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtm < 1.1 * Dm Then
Y = MsgBox("Dtm değeri yönetmelik min değerinden küçüktür. Yönetmelik min değeri
            kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UBASE")
Dtm = 1.1 * Dm
Else
End If
Text18.Text = Format(Dtm, "#.###")
Kubik = Text20.Text
'MESNETİN BOYUTLANMASI
Dim sayi As Single
Dim FV As Single
If Combo5.ListIndex = 0 Then
G1Kucuk = Form7.Text8.Text
Else

```

```

G1Kucuk = Form7.Text17.Text
End If
If Combo6.ListIndex = 0 Then
G2Kucuk = Form7.Text8.Text
Else
G2Kucuk = Form7.Text17.Text
End If
For Z = 100 To 100000
sayi = Z / 100
Fver = sayi
FH = 1 / Td
S = (1 / Sqr(6)) * (Fver / FH)
Ec1 = (6 * G1Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G1Kucuk * S * S + Kubik)
Ec2 = (6 * G2Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G2Kucuk * S * S + Kubik)
KV1 = Ec1 * ALAN / tr
KV2 = Ec2 * ALAN / tr
KV = KV1 * Combo1.ListIndex + KV2 * Combo2.ListIndex
DeltaT = W / (KV * 1000)
TV = 2 * pi * Sqr(W / (1000 * KV * 9.81))
FV = 1 / TV
Hata = Fver - FV
If Hata > 0 And Hata < 0.005 Then
GoTo 45
Else
End If
Next Z
45
tkaucuk = CAPSON / (4 * S)
ADET = tr / tkaucuk
adetson = Int(ADET)
adetson = adetson + 1
tkaucukson = tr / adetson
tkaucukson = tkaucukson * 10000
tkaucukson = (Int(tkaucukson) + 1) / 10
trson = tkaucukson * adetson / 1000
Label31.Caption = Format(trson, "#.###")
Text22.Text = Format(adetson, "#.###")
Text23.Text = Format(tkaucukson, "#.###")
tcelik = Text25.Text
tbaglanti = Text21.Text
h = tkaucukson * adetson + (adetson - 1) * tcelik + 2 * tbaglanti
Text24.Text = Format(h, "#.#")
S = 1000 * CAPSON / (4 * tkaucukson)
Label38.Caption = Format(S, "#.###")
'Mekanik Özellikler
KH1 = G1DBE * ALAN / trson
KH2 = G2DBE * ALAN / trson
K21 = KH1 * 1000
K22 = KH2 * 1000
K11 = KeKp * K21
K12 = KeKp * K22

```

$Dy1 = Q1 / ((KeKp - 1) * K21)$
 $Dy2 = Q2 / ((KeKp - 1) * K22)$
 $Fy1 = Q1 + K21 * Dy1$
 $Fy2 = Q2 + K22 * Dy2$
 $Kef1 = K21 + (Q1 / Dd1)$
 $Kef2 = K22 + (Q2 / Dd1)$
 $Ratio1 = K21 / K11$
 $Ratio2 = K22 / K12$
 $WD1 = 4 * Q1 * (Dd1 - Dy1)$
 $WD2 = 4 * Q2 * (Dd1 - Dy2)$
 $Bef1 = WD1 / (2 * \pi * Kef1 * Dd1 * Dd1)$
 $Bef2 = WD2 / (2 * \pi * Kef2 * Dd1 * Dd1)$
 $Sonum = (Combo1.ListIndex * Bef1 + Combo2.ListIndex * Bef2) / (Combo1.ListIndex + Combo2.ListIndex)$
 $Label39.Caption = Format(Sonum, "\#.###")$
 $Ec1 = (6 * G1Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G1Kucuk * S * S + Kubik)$
 $Ec2 = (6 * G2Kucuk * S * S * Kubik) / (6 * G2Kucuk * S * S + Kubik)$
 $KV1 = 1000 * Ec1 * ALAN / trson$
 $KV2 = 1000 * Ec2 * ALAN / trson$
 $EIEF1 = 1000 * 2 * G1DBE * S * S * \pi * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) / 4$
 $EIEF2 = 1000 * 2 * G2DBE * S * S * \pi * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) * (CAPSON / 2) / 4$
 'Kayma Şekildeğiştirmeleri
 'Düşey Yükten ötürü
 $KV = KV1 * Combo1.ListIndex + KV2 * Combo2.ListIndex$
 $DeltaT = W / (KV)$
 $EPSZ = DeltaT / trson$
 $GAMMAV = 6 * S * EPSZ$
 $Label44.Caption = Format(GAMMAV, "\#.###")$
 'Yatay Yükten Ötürü
 $GAMMASTIP1 = KH1 * Dd1 / (ALAN * G1DBE)$
 $GAMMASTIP2 = KH2 * Dd1 / (ALAN * G2DBE)$
 $GAMMAS = (Combo1.ListIndex * GAMMASTIP1 + Combo2.ListIndex * GAMMASTIP2) / (Combo1.ListIndex + Combo2.ListIndex)$
 $Label45.Caption = Format(GAMMAS, "\#.###")$
 $Label48.Caption = Format(GAMMAV + GAMMAS, "\#.###")$
 'Kurşun KK/TKK
 $TKK = Combo1.ListIndex * Q1 + Combo2.ListIndex * Q2$
 $TKKOrani = TKK / DBETKK$
 $Label41.Caption = Format(TKKOrani, "\#.###")$
 'İzolator kütleleri
 $GammaRubber = 1100 * 9.81$
 $GammaSteel = 7850 * 9.81$
 $GammaLead = 11340 * 9.81$
 'TIP1
 $WKaucuk1 = (ALAN - Ak1) * trson * GammaRubber$
 $WKursun1 = Ak1 * h * GammaLead / 1000$
 $WSShims1 = (ALAN - Ak1) * (adetson - 1) * tcelik * GammaSteel / 1000$
 $WSPlate = 2 * tbaglanti * ALAN * GammaSteel / 1000$

```

Toplam1 = WKaucuk1 + WKursun1 + WSSHims1 + WSPlate
Mass1 = Toplam1 / 9810
'TIP2
WKaucuk2 = (ALAN - Ak2) * trson * GammaRubber
WKursun2 = Ak2 * h * GammaLead / 1000
WSSHims2 = (ALAN - Ak2) * (adetson - 1) * tcelik * GammaSteel / 1000
WSPlate = 2 * tbaglanti * ALAN * GammaSteel / 1000
Toplam2 = WKaucuk2 + WKursun2 + WSSHims2 + WSPlate
Mass2 = Toplam2 / 9810
Command2.Enabled = True
Command6.Enabled = True
Command7.Enabled = True
15
End Sub

```

4) FPS için Tasarım

```

Private Sub Command1_Click()
Const pi = 3.14159265358979
Td = Text1.Text
beta = Text2.Text
High = Text3.Text
Slow = Text4.Text
W = Text5.Text
Cvd = Form1.Text4.Text
Cvm = Form1.Text10.Text
Mm = Form1.Text3.Text
R_cap_D = 9.81 * Td * Td / (4 * pi * pi)
Text7.Text = Format(R_cap_D, "#.###")
Bd = 1 / (0.25 * (1 - Log(beta)))
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
For i = 1 To 1000
BETAEFF = (2 / pi) * (High / ((Dd / R_cap_D) + High))
Bd = 1 / (0.25 * (1 - Log(BETAEFF)))
Dd = 9.81 * Cvd * Td / (4 * pi * pi * Bd)
Next i
Text6.Text = Format(Dd, "#.###")
Label8.Caption = Format(BETAEFF, "#.###")
'DBE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtd)
b = Text11.Text
d = Text12.Text
e = Text13.Text
Y = Text14.Text
T = Form1.Text1.Text
Ddexp = Dd / Sqr(1 + (T / Td) * (T / Td))
Dtd = Ddexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtd < 1.1 * Dd Then
Y = MsgBox("Dtd değeri yönetmelik min değerinden küçüktür. Yönetmelik min değeri
        kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UBASE")
Dtd = 1.1 * Dd

```

```

Else
End If
Text15.Text = Format(Dtd, "#.###")
'EFEKTIF RIJITLIK
TKH = W / R_cap_D + (High * W / Dd)
'DBE Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması
If Combo7.ListIndex = 0 Then R = 1.4
If Combo7.ListIndex = 1 Then R = 1.6
If Combo7.ListIndex = 2 Then R = 2
DBETKK = TKH * Dd / R
Text19.Text = Format(DBETKK, "#.###")
TKK_Orani = DBETKK / TBK
Text8.Text = Format(TKK_Orani, "#.###")
taban = DBETKK
'MCE Deplasmanlarının hesaplanması
Dm = Mm * Dd
Bm = Bd
Tm = 4 * pi * pi * Bm * Dm / (9.81 * Cvm)
R_cap_M = 9.81 * Tm * Tm / (4 * pi * pi)
BETAEFF_M = (2 / pi) * (High / ((Dm / R_cap_M) + High))
Bm = 1 / (0.25 * (1 - Log(BETAEFF_M)))
Tm = 4 * pi * pi * Bm * Dm / (9.81 * Cvm)
Text16.Text = Format(Tm, "#.###")
Text17.Text = Format(Dm, "#.###")
'MCE Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesinin Hesaplanması (Dtm)
Dmexp = Dm / Sqr(1 + (T / Tm) * (T / Tm))
Dtm = Dmexp * (1 + ((12 * e * Y / (b * b + d * d))))
If Dtm < 1.1 * Dm Then
Y = MsgBox("Dtm değeri yönetmelik min değerdinden küçüktür. Yönetmelik min değeri
        kullanılacaktır.", vbOKOnly, "UBASE")
Dtm = 1.1 * Dm
Else
End If
Text18.Text = Format(Dtm, "#.###")
End Sub

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.12.1973

Doğum yeri Aydın

Lise 1984-1991 Aydın Anadolu Lisesi

Lisans 1991-2000 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-2000 Ata Computer Ltd. Şti.

2003-2004 İF İnşaat Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.

