

154351

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TABAN YALITIMLI YAPISAL SİSTEMLER

İnşaat Mühendisi Mustafa AYDIN

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Zekeriya POLAT

Prof. İbrahim Ekiş

Doç. Dr. Kadir Güler

 13.06.2004



İstanbul, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Sismik Taban İzolasyon Teknolojisi	1
1.2 Sismik İzolasyonda Tarihsel Gelişim	2
2. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ	5
2.1 Taban İzolasyon Sistemlerinin Yapısı ve Özellikleri	5
2.2 Kauçuk Esaslı Sistemler	6
2.2.1 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (LDRB).....	6
2.2.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDNR)	8
2.2.3 Kurşun Saplama Doğal Kauçuk Mesnetler (LRB).....	9
2.3 Kayıcı Sistemler	11
2.3.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler	11
2.3.2 Electricité-de France Sistemi.....	18
2.3.3 EERC Bileşik Sistemi.....	18
2.4 Çelik Yaylar.....	19
2.5 Diğer İzolasyon Sistemleri	20
2.5.1 GERB Sistemi.....	20
2.5.2 Alga Sistemi	22
2.5.3 Süper Kayıcı Sistem	22
3. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	24
3.1 Giriş	24
3.2 Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	24

3.3	Kurşun Saplmalı Tabakalı Kauçuk Mesnet Mekanik Özellikleri	29
3.4	Sürtünmeli Sarkaç Sisteminin Mekanik Özellikleri	31
4.	DEPREM YALITIMLI SİSTEMLERİN MODELLENMESİ	33
4.1	Kauçuk Mesnetlerin Matematik Modeli	33
4.2	Kayıcı Mesnetlerin Matematik Modeli	34
4.3	SAP2000 Bilgisayar Programında “Nonlinear Link Eleman”(NLLINK) Modelleme	35
5.	TABAN İZOLASYONLU YAPI HAREKET DENKLEMLERİ	44
5.1	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri	44
5.2	Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri	51
6.	TABAN İZOLASYONUNDA YÖNETMELİK KOŞULLARI	57
6.1	Giriş	57
6.2	UBC-97 Yönetmeliğindeki Taban İzolasyonlu Yapılara Ait Koşullar	58
6.2.1	Sismik Risk Düzeyi	58
6.2.2	Tasarım Yöntemleri	58
6.2.3	Statik Hesap	58
6.2.3.1	Etkin Titreşim Periyotları	61
6.2.3.2	Toplam Tasarım Yer değiştirmeleri	62
6.2.3.3	Tasarım Kuvvetleri	63
6.2.3.4	Yatay Deprem Yüklerinin Katlara Dağılımı	64
6.2.4	Dinamik Hesap	65
6.2.5	Ön Tasarım	65
7.	ÜLKEMİZDE SİSMİK TABAN İZOLASYONU UYGULAMALARI	70
7.1	Bolu Viyadükleri	70
7.1.1	Deprem Etkisindeki Yapıların Tanıtılması	70
7.1.2	Yapıların Statik Tasarımı	70
7.1.3	Deprem Yalıtım Donanımları	71
7.1.3.1	EP Tipi Sönümleyiciler	72
7.1.3.2	VP Tipi Sönümleyiciler	72
7.1.3.3	VPJ Tipi Sönümleyiciler	72
7.1.4	Yapıların Davranışı	73
7.2	Atatürk Havalimanı	73
8.	UYGULAMA I	75
8.1	Giriş	75
8.2	UBC-97 Yönetmeliği Minimum Koşulları	76
8.3	EPS Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli deprem yalıtım sisteminin ikili doğrusal	

	matematik modelinin oluşturulması	77
8.4	SCOUGAL Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetli Taban İzolasyonlu Sistemin İkili Doğrusal (Bilineer) Matematik Modelinin Oluşturulması	79
8.5	DIS Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemin ikili doğrusal (bilineer) matematik modelinin oluşturulması	80
8.6	Deprem yalıtımlı sistemin Duhamel İntegrasyonu ile çözümlenmesi.....	81
8.7	SAP 2000 Paket Programında Deprem Yalıtımlı ve Ankastre Mesnetli Yapı Modeli ve Giriş Dosyasının Hazırlanması.....	83
8.8	SAP 2000 Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması	85
9.	UYGULAMA II	86
9.1	Giriş	86
9.2	UBC 97 Yönetmeliğinde İlgili Katsayıların Belirlenmesi	87
9.3	Etkin Sistem Titreşim Periyotlarının Bulunması.....	87
9.4	Minimum Yatay Rijitliklerin Bulunması.....	88
9.5	Minimum Deplasmanların Bulunması.....	88
9.6	Kurşun Saplama Çekirdek Mesnedine Ait Disk Çapının Belirlenmesi	88
9.6.1	Sismik Yalıtılmış Yapıda Yeni Yatay Rijitliklerin Hesabı	89
9.6.2	Sistemdeki Toplam Yatay Rijitliğin Hesabı	89
9.7	Sismik Yalıtılmış Yapının Titreşim Periyodu	89
9.8	Toplam Yatay Yer değiştirmenin Hesabı	90
9.9	Düşey Titreşim Periyodunun Bulunması.....	90
9.10	Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesabı	91
9.10.1	Kayma Şekil değiştirmesinin Hesabı.....	91
9.10.2	Ortak Alan Hesabı	91
9.10.3	Göçme Yükünün Bulunuşu	92
9.11	Kurşun Çekirdeğin Boyutlandırılması.....	92
9.12	Akma Anındaki Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi	92
9.13	Çapın Kesme Kontrolü	93
9.14	Hesap Sonuçlarının İncelenmesi	93
9.15	Sonuç	93
10.	UYGULAMA III.....	95
10.1	Giriş	95
10.2	UBC-97 Yönetmeliği Minimum Koşulları.....	96
10.3	DIS Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli deprem yalıtım sisteminin ikili doğrusal matematik modelinin oluşturulması	97
10.4	Sonuçlar	101
10.5	Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi	102

KAYNAKLAR.....	103
EKLER	105
Ek 1 Uygulama 1: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları	106
Ek 2 Uygulama 2: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları	107
Ek 3 Uygulama 3: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları	108
ÖZGEÇMİŞ.....	109



SİMGE LİSTESİ

A	Kauçuk İzolatörlerde Kesit Alanı
A'	Elastomer İzolatörlerde Ortak Alan
B	Sönüm Azaltma Katsayısı
c	Yapısal Elemanlarda Sönüm
Cs	Taban Kesme Kuvveti Katsayısı
(C)	Sönüm Matrisi
D	İzolatörde Yatay Yer Değiştirme
D _D	İzolatörde Tasarım Yer Değiştirmesi
D _y	Akma Yer Değiştirmesi
e	Planda Burulma Mesafesi
E _c	Düşey Yük Altında Kauçuk Basınç Elastisite Modülü
EI	Eğilme Rijitliği
EI _{eff}	Eğilmenin Doğrusal Olmayan Özelliğini Belirten Etkin Eğilme Rijitliği
F _s	Sürtünme Kuvveti
F _X	Kauçuk İzolatör Hareketi Halinde Enine Yönde Oluşacak Kuvvet
F _Y	Kauçuk İzolatör Hareketi Halinde Boyuna Yönde Oluşacak Kuvvet
g	Yerçekimi İvmesi
G	Kayma Modülü
K ₁	Elastik Rijitlik
K ₂	Plastik Rijitlik
K _{eff}	Etkin Rijitlik
K _H	İzolatörde Yatay Rijitlik
K _V	İzolatörde Düşey Rijitlik
(K)	Rijitlik Matrisi
k _s ,c _s	Üst yapı Rijitliği Ve Sönümü
k _b ,c _b	İzolasyon Sistemi Rijitliği Ve Sönümü
u _b ,u _s	İzolasyon Sistemi Ve Üst Yapı Yer Değiştirmesi
v _b ,v _s	İzolasyon Sistemi Ve Üst Yapı Göreceli Yer Değiştirmesi
m _s	Üst Yapı Kütlesi
m _b	İzolasyon Sistemi Üzerindeki Kütle
(M)	Kütle Matrisi
M	Eğilme Momenti
α	Alt Ve Üst Sınır Arasındaki Dönme Açısı
Q	Karakteristik Gerilme
R _i	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R	İzolatör Çapı
S	İzolatörün Geometrisine Bağlı Şekil Faktörü
S _A	Spektral İvme
S _D	Spektral Yer Değiştirme
t	Kauçuk İzolatörlerde Tek Elastomer Tabaka Kalınlığı

T_v	Yapı Düşey Periyodu
T_D, T_M	Yapı Tasarım Periyodu, Yapı Tasarlanan Maksimum Periyodu
δ_v	Düşey Yer Değiştirme
ξ_{eff}	Akma Sonrası Etkin Sönüm Oranı
μ	Sürtünme Katsayısı
α	Akma Sonrası Rijitliğin, Akma Öncesi Rijitliğe Oranı
γ_b^{ort}	Eğilmeden Dolayı Oluşan Ortalama Kayma Şekil Değiştirmesi
ω	Doğal Frekans
$\dot{U}$	Yer Değiştirmenin Zamana Göre Türevi, Hız
A, γ, β	Histeretik Döngünün Şeklini Kontrol Eden Boyutsuz Sabitler
ε_b	Eğilmeden Dolayı Oluşan Kısılma
$\ddot{V}_g$	Düşey Doğrultudaki Deprem İvmesi
$\ddot{u}_g$	Yer Hareketinin İvmesi
μ_s	θ Kayma Açısına ve Mesnet Basıncına Bağlı Olarak Değişen Sürtünme Katsayısı
γ	Taban İzolasyon Kütlesinin, Tüm Kütleye Oranı
r	Deprem Hareketinin Yönünü Belirleyen Matris
ε	Taban İzolasyonu Doğal Frekansının, Üst Yapı Doğal Frekansına Oranı
ξ_s, ξ_b	Üst Yapı ve İzolasyon Sisteminin Boyutsuz Sönüm Oranları
ω_b	İzolasyon Sistemi Doğal Frekansı
ω_s	Üst Yapı Sistemi Doğal Frekansı
Φ_b	İzolasyon Sistemi Mod Şekli
Φ_s	Üst Yapı Sistemi Mod Şekli
ω_1	Sismik Yalıtım Sistemi 1. Doğal Frekansı
ω_2	Sismik Yalıtım Sistemi 2. Doğal Frekansı
$y_{1,2}$	Modal Koordinatlar
$\Gamma_{1,2}$	1. Ve 2. Mod Katılım Faktörleri
λ	Modal Bağlantı Katsayıları
q	Modal Katılım Çarpanları
Z_x	Histeretik Kuvvetlerin İki Eksenli Hareketiyle İlgili Boyutsuz Büyüklük
Z_y	Histeretik Kuvvetlerin İki Eksenli Hareketiyle İlgili Boyutsuz Büyüklük

KISALTMA LİSTESİ

ATC	Applied Technology Council
EPS	Earthquake Protection Sysytems
FEMA	Federal Emergency Management
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
SEAOC	Structural Engineers Association of California
TDV	Türk Deprem Vakfı
UBC	Uniform Building Code



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Calantarients' in sismik yalıtım düzeneği	3
Şekil 1.2 Calantarients' in tasarladığı düzeneğin detayı.....	3
Şekil 2.1 Düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnet kesiti (a),(b) Kuvvet yer değiştirme davranışı, (c) Şematik Model	7
Şekil 2.2 Tipik Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet (a) Kesit (b) Kuvvet-yer değiştirme davranışı (c) Şematik Model	9
Şekil 2.3 Kurşun Saplamaı Kauçuk Mesnet (a) Kesit (b) Kuvvet-yer değiştirme davranışı (c) Şematik Model	10
Şekil 2.4 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi	10
Şekil 2.5 Kurşun Çekirdekli İzolatör Bileşenleri	11
Şekil 2.6 Sürtünmeli sarkaç sistemi kesiti	12
Şekil 2.7.a Basit sarkaç modeli.....	13
Şekil 2.7.b Sürtünmeli sarkaç modelinin basit sarkaç modeline uyarlanması.....	13
Şekil 2.8 Esnek sürtünmeli taban izolatörü	15
Şekil 2.9. Esnek sürtünmeli taban izolatörün planı ve kesiti.....	16
Şekil 2.10 Esnek sürtünmeli taban izolatörü detayı ve mesnedin yer değiştirmiş hali	17
Şekil 2.11 Esnek sürtünmeli izolatörün, (a) şematik modeli, (b) kuvvet yer değiştirme davranışı.....	17
Şekil 2.12 Fransız Elektrik Sisteminin, (a) şematik modeli, (b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	18
Şekil.2.13 EERC Sisteminin a) şematik modeli b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	19
Şekil 2.14 Helezoni Çelik Yay a) kesit b) plan	20
Şekil 2.15 Gerb Sistemi Mesnedi	21
Şekil 2.16 Gerb Sistemi Mesnedin uygulanmasına ilişkin bir örnek	21
Şekil 2.17 Alga Sistemi	22
Şekil 2.17 (a) Başlangıçtaki durum (b) deprem halindeki durum	22
Şekil 2.18 Süper kayıcı mesnet kesiti.....	23
Şekil 2.19 Süper kayıcı mesnet görünüşü.....	23
Şekil 3.1 Maksimum yer değiştirme ile maksimum kayma yer değiştirme ilişkisi.....	24
Şekil 3.2 Salt eğilme etkisinde kauçuk tabakalar arasındaki rijitliklerin kısıtlanması	27
Şekil 3.3 Kurşun saplamaı kauçuk mesnedin kuvvet yer değiştirme ilişkisi	29
Şekil 3.4 Basit sarkaç sistem modeli	32
Şekil 4.1 Nllink elemanı iç kuvvet ve momentleri	37
Şekil 4.2 Isolator 1 Property elemanın iki eksenli kayma davranışı idealizasyonu	39
Şekil 4.3 Isolator 2 elemanın sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu	41
Şekil 5.1 Sismik yalıtımlı yapı matematik modeli ve mod şekilleri.....	44
Şekil 5.2 Ankastre ve yalıtımlı altı katlı bir yapının birinci mod şekli	53
Şekil 5.3 Sismik yalıtımlı yapının birinci mod şekli	54
Şekil 6.1 UBC 97 Yönetmeliğine göre dış merkezliği hesaba katan toplam yer değiştirme hesabı için plan boyutları ve tanımlar	62

Şekil 7.1 Kullanılan sönümlendiricilerin yandan ve üstten görünüşleri.....	71
Şekil 7.2 Kullanılan yalıtım sistemlerin yerleşim detayı.....	71
Şekil 7.3 Sismik donanımların (a) ilk hal (b) depremdeki deforme hali	72
Şekil 7.4 Çelik çatının kolonla birleşim detayı ve uygulanan yalıtım mekanizması detayı.....	74
Şekil 8.1 Düzlem Çerçeve	75
Şekil 8.2 Sürtünmeli sarkaç mesnedin kuvvet yer değiştirme eğrisi değerleri.....	78
Şekil 8.3 Scougal yüksek sönümlü kauçuk mesnedin kuvvet yer değiştirme eğrisi değerleri .	80
Şekil 8.4 DIS Kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet yer değiştirme ilişkisi	81
Şekil 9.1 Yapı planı	86
Şekil 10.1 Yapı planı	95
Şekil 10.2 DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	99
Şekil 10.3 DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.....	100



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 6.1 Ankastre mesnetli yapı ve izolasyonlu yapı UBC 97 sünekliliğe bağlı azaltma faktörleri.....	63
Çizelge 6.2 UBC 97 Yönetmeliğinde taban izolasyonlu yapılar için minimum değerler.	65
Çizelge 6.3 Sönüm katsayıları	67
Çizelge 8.1 EPS, sürtünmeli sarkaç mesnedin program parametreleri.....	84
Çizelge 8.2 DIS, kurşun saplamalı kauçuk mesnedin program parametreleri.....	84
Çizelge 8.3 Scougal, yüksek sönümlü kauçuk mesnedin program parametreleri	84
Çizelge 8.4 Hesap Sonuçları.....	85
Çizelge 9.1 Hesap sonuçları çizelgesi	94
Çizelge 10.1 DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnedin SAP 2000 program parametreleri	101
Çizelge 10.2 DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesnedin SAP 2000 program parametreleri	101
Çizelge 10.3 X yönü için hesap sonuçları	101
Çizelge 10.4 Y yönü için hesap sonuçları	102
Çizelge 10.5 Yapı için en yüksek kat ivme değerleri.....	102

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında, yardımlarını ve engin hoşgörüsünü esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Zekeriya Polat Bey' e teşekkürlerimi ve en derin şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca hayatım boyunca başarımda en büyük paya sahip olan çok kıymetli anneciğim, Emekli Öğretmen Müzeyyen Aydın'a ve aileme sonsuz şükranlarımı sunar, teşekkürler ederim.



ÖZET

Deprem yalıtım tekniğinin temel düşüncesi; yapı ile temeli arasına yanal rijitliği düşük elemanlar yerleştirerek, üst yapının temeline nispetle büyük deplasmanlar yapabilmesine imkan sağlamak, buna mukabil üst yapıya geçen atalet etkisini küçültmek, üst yapı elemanlarının bağıl deplasmanlarını küçültmek suretiyle, yapıda depremin yıkıcı etkilerini azaltmaktır.

Deprem yalıtımı, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı oldukça yeni bir kavramdır. Bununla birlikte deprem yalıtımlı yapıların deprem hareketi esnasında göstermiş oldukları performans, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde uygulanabilir yaklaşımlardan biri olmasını sağlamıştır.

Bu çalışma; yapıların doğal salınım periyotlarını büyütürken, deprem etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan deprem yalıtım sistemlerini incelemektedir. Genel olarak, kauçuk sistemler ve kayıcı sistemler olarak iki ana grupta incelenen bu sistemlerin mekanik özellikleri ve matematik modellemeleri açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışma da gösteriyor ki; deprem yalıtımlı yapılarda, katlar arası yer değiştirme ve kat atalet kuvvetleri azalmaktadır. Deprem yalıtımlı yapı doğal titreşim frekansı, ankastre mesnetli yapı doğal titreşim temel frekansına ve yer hareketinin hakim frekansına göre oldukça düşük oluşmaktadır. Yapının birinci mod şekil değiştirmesi, pratik olarak hemen hemen yalnızca taban seviyesinde oluşmakta, üst yapı hemen hemen rijit bir davranış göstermektedir. Ayrıca, yüksek modların yapı davranışına etkisi de azalmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yer alan Uygulama 1' de; bir serbestlik dereceli düzlem çerçeve için Duhamel integrali kullanılarak dinamik hesap yapılmış ve sismik yalıtım teknikleri uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Uygulama 2' de ise; Uygulama 1 'den farklı olarak, sadece kurşun saplamalı kauçuk izolatörler kullanılmış örnek üzerinde ayrıca boyutlandırma da yapılarak hesap sonuçları incelenmiştir.

Uygulama 3' de ise; 4 katlı betonarme çerçeve, tasarlanmıştır. Kurşun saplamalı kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Hesap sonuçları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sismik izolasyon, depreme dayanıklı yapı tasarımı, sönümlendiriciler, izolatörler, sürtünmeli sarkaç sistemi

ABSTRACT

Base isolation techniques are one of the quite new concepts for designing the seismic resistant structures. However, the performance of the base isolated structures under the ground motion is good enough. Currently, they are successfully used as a new engineering approach for seismic design and retrofitting of the existing structures.

This study investigates actual technical information and knowledge on the seismic base isolator devices to be used as lengthening the period and reducing the seismic effects in structures. In general, the base isolation systems can be classified into two categories: the elastomeric and gliding systems. Here, for each system, the mechanical characteristics and the mathematical models are studied.

The work realized in this study also shows that the base isolations of structures provide the reduced inter-story drifts and floor mass forces due to the ground motion. The fundamental frequency of a base isolated structure is much lower than those of fixed based structure fundamental frequency and the dominant frequency of the ground motion. The first mode displacements of a seismic isolated structure occur practically only in the isolation system and, the superstructure above the isolation system remains almost rigid. The other modes of the structure have no important effects on the whole behavior of the structure.

In the presented example 1; the dynamic analysis has been performed by using Duhamel integration method. The obtained results for each isolation system are given comparatively.

In the example 2; the lead rubber bearings have been used and focused on the design issue and results provided.

In the example 3; four storey reinforced concrete frame has been designed and the lead rubber bearings have been used and focused on analysis results provided.

The main concept of the seismic base isolation systems are to install structural elements with low lateral stiffness between the structure and the foundation, so as to uncouple of the structure from the destructive effects of an earthquake and to extend the fundamental period that is much larger than both its fixed-base period and the predominant period of the ground motion.

Keywords: Base isolation, earthquake resistant buildings, dampers, isolators, friction pendulum,

1. GİRİŞ

1.1 Sismik Taban İzolasyon Teknolojisi

Taban izolasyonu genel olarak yapıyı ve içindekileri depremin zararlı etkisinden koruma amacına yöneliktir. Prensip olarak yapılan iş, üst yapı ve temel, tabana yerleştirilen kayıcı ve esnek sistemlerle ayrılmasıdır. Deprem hareketi taşıyıcı sisteme olduğu kadarıyla içindekilere de zarar verebilmektedir. Deprem sırasındaki yatay yer hareketlerine ait enerjinin tümünün binaya etkimesinin hasarı arttıracak doğaldır. Eğer bina, zemin üstünde yer hareketinden ayrı tutulabilir ve yer hareketinin olabildiğince azaltılarak yapıya geçmesi sağlanabilirse, depremin yapıya verebileceği zarar önemli miktarda azaltılabilir. Bu ana düşünceden yola çıkılarak temel yalıtım sistemleri tasarlanmıştır.

Geleneksel yöntem olan, yanal yük taşıma kapasitesini sağlayan yöntem, hemen hemen tüm yer hareketlerinin üst yapıya iletilmesine izin verir ve taşıyıcı olan, olmayan bütün elemanlarda hasarı arttıran elastoplastik davranışla enerjinin yutulmasına çalışılır.

Temel yalıtımlı sistem ise düşünce olarak hasarı önleyicidir ve yapıya iletilen yer hareketinin kontrollü kalmasını sağlamayı amaçlar. Elastoplastik davranış, binanın ana periyodunda uzama etkisi oluşturur. Ayrıca sönüm yani enerji yutma davranışı üretir. Böylece, binanın üst seviyelerindeki ivme azaltılmış olur. Standart binalarda, bu elastik olmayan davranış kırış kolon birleşimlerinde yoğunlaşır. Bununla birlikte yapı yer titreşimini yükseltici bir rol oynar ve ivme her kat seviyesinde olmak üzere üst üste artar. Bu durum çerçevelerde basınç ve katlar arasındaki kolonlarda hasara yol açan kesme kuvvetlerinde artışa sebep olur. Tamamıyla rijit olan binanın ivmesi yer ivmesinden daha fazla olamaz, fakat bu çok pahalı bir çözümdür ve pratikte uygulanması imkansızdır. Ayrıca bina yükseltici olmasa bile sadece yer ivmesi tek başına zarar verebilecek kadar yüksek olabilir. Bununla birlikte katlar arası görelî yer değiştirmesi, sınır değerini aşıyorsa taşıyıcı olmayan sistemde de hasar meydana gelebilir. Katlar arası görelî yer değiştirmeleri perde duvar elemanlarının kullanılmasıyla azaltılabilir fakat bu binanın rijitliğini arttırmasına sebep olur bunun sonucunda da kat kuvvetleri

artacaktır. Kat kuvvetleri daha esnek sistemler kullanılması ile azaltılabilir fakat bu da katlar arası görelî yer değiştirmesini arttıracaktır. Sonuç olarak yapısal sistemin tek başına rijit ve tek başına mukavemetli olması yetmez, yeterince rijit ve mukavemetli olması gerekir. Taban izolasyonlu yapıların dinamik hareketi, kat kuvvetlerinin ve katlar arası yer değiştirmelerinin istenilen sınırlar içinde kalmasına imkan verir.

Taban izolasyonlu yapı tasarımında, sistemin ana frekansının yani birinci frekansın, ankastre mesnetli yapı ana frekansından ve zemin hakim frekansından küçük olması istenmektedir.

İzolasyonlu yapıda birinci mod süresince yalnızca izolasyon sisteminde yer değiştirme olur, üst yapı hemen hemen rijit bir davranış gösterir. Daha yüksek modlar, yapıda birinci moda ve zemine göre ortogonal şekil değiştirme oluşturmaktadır. Yüksek mod süresince katılım çarpanının değeri düşüktür. Böylece yüksek mod frekanslarında zemin hareketlerinden dolayı oluşan yüksek enerji yapıya geçmez.

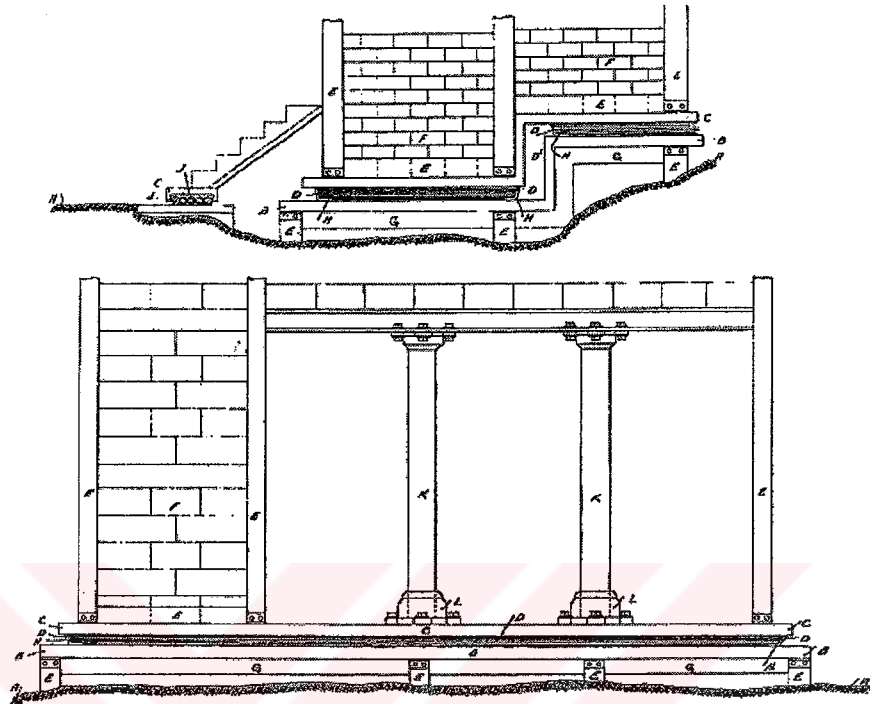
Özetle, taban izolasyon sistemlerinin esas amacı; yapıyı deprem hareketlerinin zararlı etkilerinden korumak, yapıya iletilen yer hareketinin şiddetini önemli ölçüde azaltmak ve sınırlamaktır. (Naeim ,1989)

1.2 Sismik İzolasyonda Tarihsel Gelişim

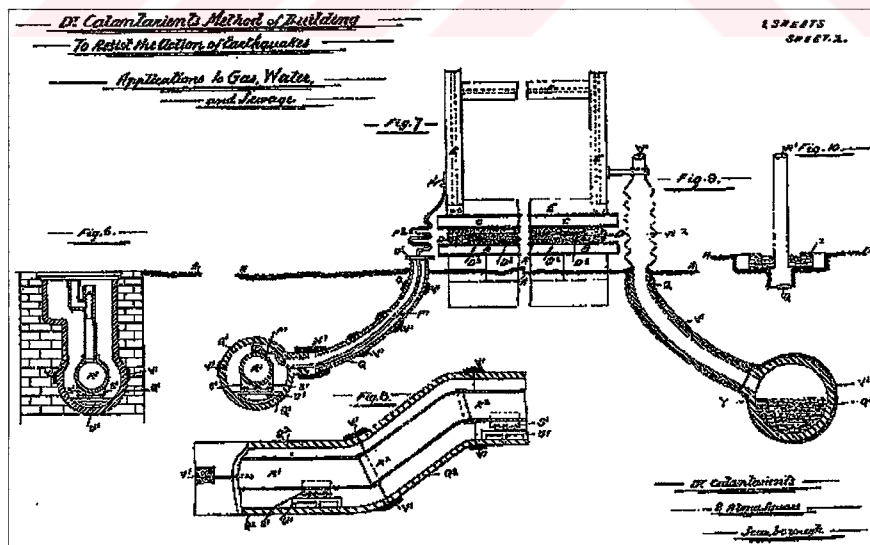
Büyük depremlerin oluşturduğu yer hareketlerinin zararlı etkilerine karşı yapıyı ve içindekileri korumak için yapıyı bu etkilerden yalıtma fikri yüzyıldan fazla bir zamandır insanoğlu tarafından düşünülmekte olan bir kavramdır.

İlk olarak, 1909 yılında İngiltere'nin kuzeyinde Scarborough kentinde J.A.Calantarients adında bir doktor, Santiago'da bulunan Sismoloji Servisi'ne bir mektupla yeni bir yöntem geliştirdiğini bildirmiştir. Bu yöntemle göre, binaların yapısını esnasında temele talk, mika veya kumdan oluşan bir tabakanın eklenmesiyle yapıların deprem esnasında hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek oluşacağını beyan etmiştir. Böylelikle, yapıya iletilen kuvvetin azaltılmasının mümkün olacağını savunmuştur (Naeim, 1989).

Doktor J.A.Calantarients’in önerdiği bu yöntem, günümüzde “Taban İzolasyonu” veya “Sismik İzolasyon” teknolojisi olarak bilinmektedir (Naeim, 1989).



Şekil 1.1 Calantarients' in sismik yalıtım düzeneği



Şekil 1.2 Calantarients' in tasarladığı düzeneğin detayı

Yapılardaki deprem etkisini azaltma çalışmaları 1920’li yıllarda uygulamaya geçirilmiştir.

F.L.Wright bu fikri 1921 yılında uygulamaya geçiren isim olmuştur. Tokyo’da yapılan bir otelin yumuşak zemine oturan temellerini, yerleştirilen kazıklar ile sert zemine birleştirerek yapının depremde davranışına müdahale etmiş olup, 1923 yılındaki Tokyo depreminde bu yapı ayakta kalabilmiştir.

Modern anlamda sismik izolasyon tekniğinin kullanılması 1960’lı yılların sonlarına doğru başlamıştır. Yugoslavya’da bir okul olan “Pestolozzi Okulu” isviçreli mühendisler tarafından inşaa edilen üç katlı bir betonarme yapıdır. 1969 yılında ilk defa kauçuk mesnetli izolatör mekanizmaları bu binada kullanılmıştır. Modern kauçuk izolatörlerin ilkel hali olan bu sistem o zaman “Swiss Full Base Isolation –3D” olarak adlandırılmış olup günümüz modern kauçuk sistemlerin alt yapısını oluşturmuştur. Kullanılan izolatörler, şimdikinden farklı olarak sadece kauçuk bloklardan oluşturulmuş olup kauçuk blokların çelik levhalarla takviye edilmemesi sebebiyle bu bloklar, sabit yükler altında şişmiştir. Son yıllarda J.M.Kelly (1999), bu konuyu ayrıntılarıyla ele alan bilim adamlarından biridir. A.BD, California’da University of Berkeley’de çalışmalarını sürdüren Prof. J. M. Kelly, özellikle kauçuk izolatörlerle ilgili teori ve pratikler konusundaki çalışmalarıyla bu sistemin ayrıntılarına değinmiştir. Bununla birlikte Yeni Zellanda’dan R. I. Skinner’in de 1993’te yayımladığı “An Intoduction to Seismic Isolation” adlı eseri ile bu yeni teknik tüm dünyaya tanıtılmıştır. Ayrıca, başta A.B.D olmak üzere, Japonya, Yeni Zellanda, Fransa’da bu konuda birçok uygulama yapılmış olup bu ülkeler bu teknolojiye ilerlemiş ülkelerdir (Naeim, Kelly, 1999).

2. TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

2.1 Taban İzolasyon Sistemlerinin Yapısı ve Özellikleri

Taban izolasyon sisteminde kullanılan izolatörlerin şekilleri, büyüklükleri ve yapıldıkları malzeme bakımından farklılık gösterirler. İzolatörlerin büyük bir çoğunluğu elastomer malzemeden yani doğal kauçuktan yapılmaktadır. Elastomer malzeme kalıba kolayca dökülebildiği için istenilen şeklin verilebilmesi bakımından avantajlıdır. Ayrıca metalle aderansının iyi olması sebebiyle izolatörün makine ya da temele montajı kolaylaşır. İzolatörler uygulamada kesme ya da basınç altındaysa dolu silindir veya blok biçimini alabilirler. Uygulamada kesme kuvveti altındaki izolatörlere içi boş silindirik biçim vermek de mümkündür. İzolatör statik ağırlığı taşıyabilmeli ve statik rijitliği, statik yer değiştirmeyi sınırlandırabilecek düzeyde olmalıdır. Dinamik rijitlik, rijit kütle ve izolasyon sisteminin rezonans frekansının altında kalmasını sağlayacak değerde olmalıdır. İzolatör sönümü, rijit kütle rezonansında aşırı yer değiştirmeyi engelleyecek ve yüksek frekansta dalga etkilerinden koruyacak düzeyde seçilmelidir (Naeim, Kelly, 1999).

İzolatör, düşey doğrultuda yeterince rijit ve yatay doğrultuda çok esnektir. Deprem hareketinin düşey bileşenine karşı koruyuculuğu bulunmamaktadır ve düşey bileşeni yapıya aynen iletir.

Taban izolasyonlu yapılarda, yanal yükler rijit mesnetli yapılardan daha küçük olduğu için devrilme momentleri de oldukça küçük olmaktadır. Taban izolasyonu, yapının periyodunu uzatır. Bu bakımdan izolasyonsuz halde kısa periyotlu olan yapılarda kullanımı daha uygundur.

Sönüm gibi kauçuk malzeme özellikleri frekans ve sıcaklığa bağlıdır. Bu sebeple izolatör uygulama koşulları altında denenmelidir. Buna bağlı olarak sönüm ve rijitlik seçilmelidir.

Bu ve bunun gibi özellikler zamanla değişebilmektedir. Ayrıca izolatör kullanımında uzun süreli etkiyen basınç ve düşük ve yüksek sıcaklık etkileriyle güneş ve hidrolik yağların etkileri de dikkate alınmalıdır.

İzolatörün yatay yönde rijitliği yanında düşey yöndeki rijitliği de sağlanmalıdır. İzolatörler statik basınç yükü etkisinde iken tüm sistemin yanal statik stabilitesinin de sağlanması gerekmektedir.

En çok kullanılan elastomer esaslı taban izolasyon sistemleri, tabakalı kauçuk içeren sistemlerdir. Basınç etkisi altındaki izolatöre gerekli olan rijitlik, kauçuk tabakalarla sağlanır.

Tabakalaşma, izolatörün basınç etkisine dayanımını artırır. Elastomer tabakalar arasına yerleştirilen çelik saç levhalar, elastomerin basınç gerilmeleri altında yanal genişlemesini kısıtlayarak ve gerilme yayılımını düzgünleştirerek düşey rijitlik sağlarlar.

Tabakalı kauçuk izolatörlerde düşey rijitliğin belirlenmesinde, izolatör şekli önemlidir.

Şeklin etkisi genellikle “şekil faktörü” ile dikkate alınmaktadır. Şekil faktörü, izolatörde yükün etkidiği alanın, serbest genişleme alanına oranı şeklinde tanımlanabilir. İzolatörün yatay rijitliğinde, izolatör şeklinin pratik olarak etkisi yoktur.

2.2 Kauçuk Esaslı Sistemler

Tabakalı kauçuk sistemler, taban izolasyonunda en yaygın kullanılan sistemler olup tabakalar halindeki çelik ve kauçuk plakalardan oluşturulmuş sistemlerdir. Sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemlerin en önemli özelliğidir. Doğal frekans ve sönüm bu sistemin iki karakteristiğidir.

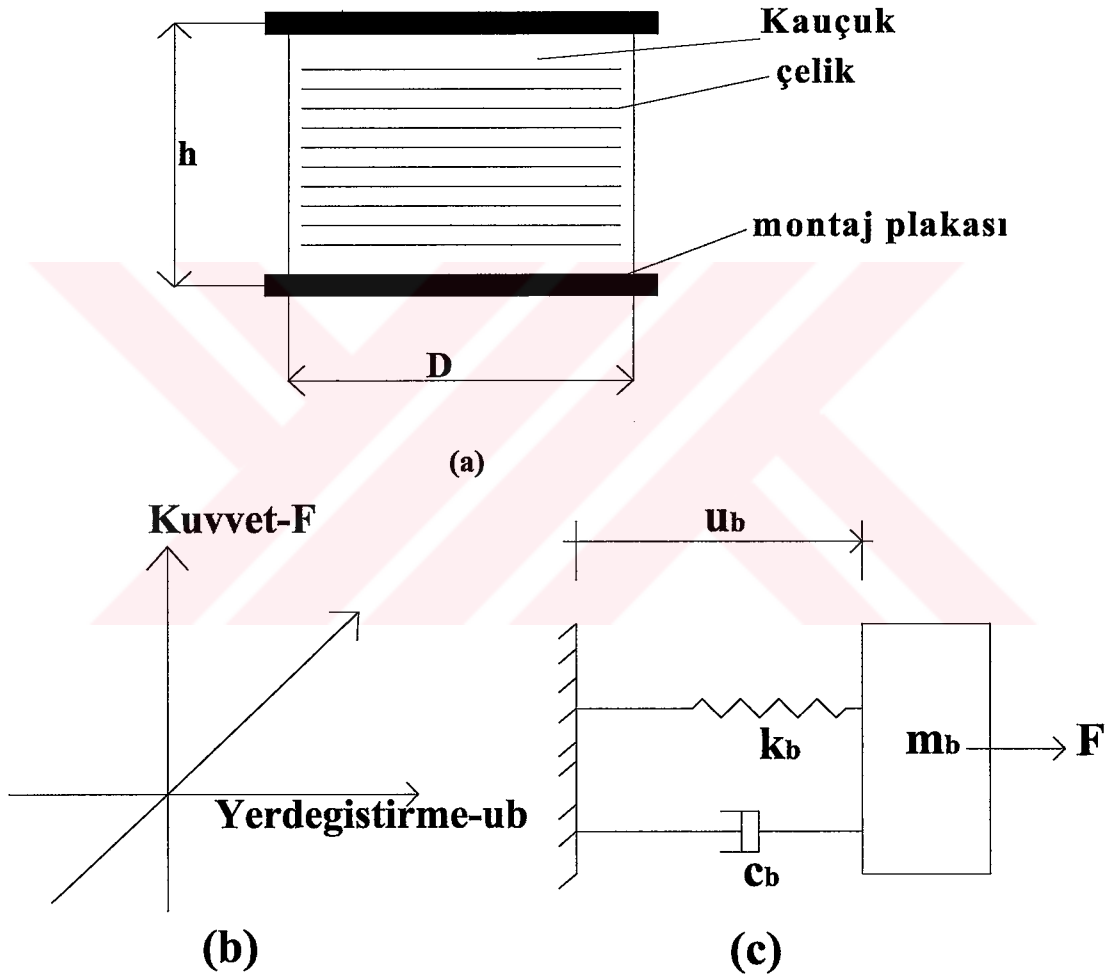
2.2.1 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (LDRB)

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk mesnetler, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kauçuk ve çelik plakalardan oluşmaktadır. Çelik plaka, düşey yükler altında kauçuğun yanal deformasyon yapmasına engel olur ve aynı zamanda yükün düzgün olarak yayılmasını sağlar. Bunun bir sonucu olarak da düşey rijitlik yatay rijitlikten daha büyüktür. Yanal rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanır.

Yüksekliğin artması mekanizmada burkulma etkileri ortaya çıkaracağından yükseklik çapın

yarısıyla sınırlandırılmıştır. Kauçuk plastik şekil değişikliği oluşturmada %300 oranında şekil değiştirebilmektedir. Yatak çapının 1 m 'den fazla ve taşıma kapasitesinin 5000 kN civarlarında alınması uygun olabilir.

Düşük sönümlü kauçuk sistemlerde yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişmektedir. Aşağıda Şekil 2.1a'da mesnet kesiti ve Şekil 2.1b'de de kuvvet-yer değiştirme davranışı, Şekil 2.1c'de de şematik model gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnet kesiti (a),(b) Kuvvet yer değiştirme davranışı, (c) Şematik Model

Düşük sönümlü kauçuk mesnetler yerine genellikle yüksek sönümlü kauçuk mesnetler yada kurşun saplamalı kauçuk mesnet tipi tercih edilmektedir. Düşük sönümlü kauçuk mesnet

yerine kullanılan bu mesnet tiplerinde kuvvet-yer değiştirme ilişkisi doğrusal davranış göstermez. Bu tip mesnetlerle ilgili açıklamalar ilerideki bölümlerde ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında düşük sönümlü kauçuk mesnetlerle ilgili analitik uygulama yapılmamıştır.

Analitik uygulamalarda kuvvet-yer değiştirme ilişkisi ikili doğrusal (bilineer) davranışa sahip elemanlar seçilmiştir.

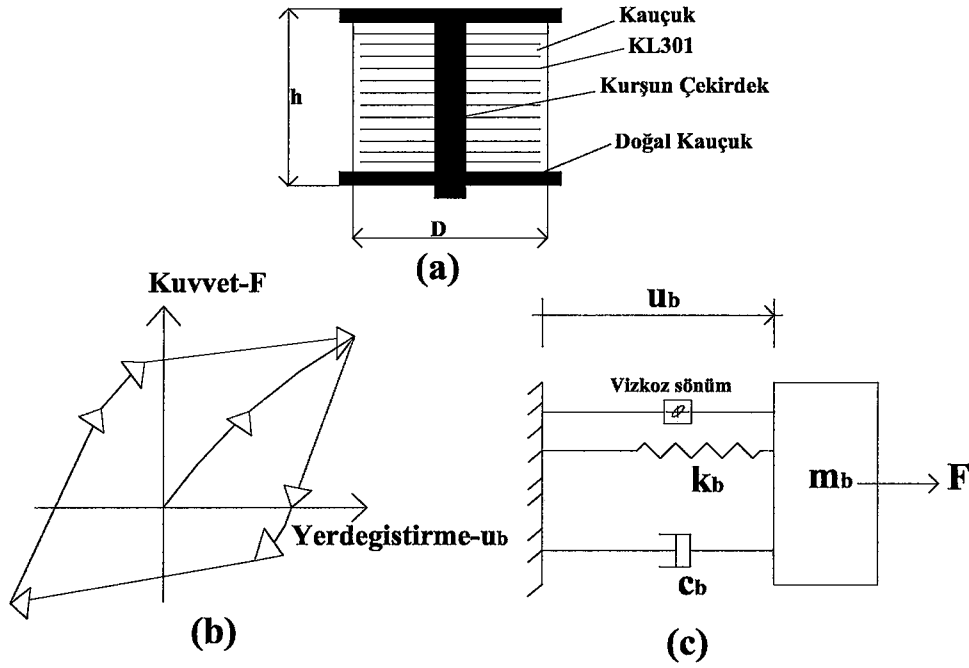
2.2.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetler (HDNR)

Bu tip sistemler, doğal kauçuktan imal edilirler. Yüksek sönümlü elastik KL301 malzeme karışımıyla Japonya’da ve Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilmektedir. Bu malzemenin çok küçük şekil değiştirmelerde kayma modülü 4300 kPa, % 50 şekil değiştirmede 650 kPa’ dır. Mesnetler, 2 mm kalınlığında 20 adet kauçuk tabaka ile altta ve üste 2 mm kalınlığında elik levhadan oluşmaktadır. Ayrıca montajda kolaylık sağlamak amacıyla yanlarında kulakçıklar oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasının, uygulamalarında kullanılan Scougal yüksek sönümlü kauçuk mesnedi, 1982 yılında “Malaysian Rubber Producer Research Association” kurumu tarafından geliştirilmiştir.

Düşük rijitliklerde düşük seviyelerde sönüm ve 0.34 MPa kayma modülünü, yüksek rijitliklerde yüksek sönüm ve 1.40 MPa kayma modülüne sahip kauçuk %100 kayma şekil değiştirmesinde kritik sönümün % 10-20 ’ si değerine kadar ulaşan sönüm oluşturmaktadır. Bununla ilgili ayrıntılar uygulamalar sırasında verilecektir.

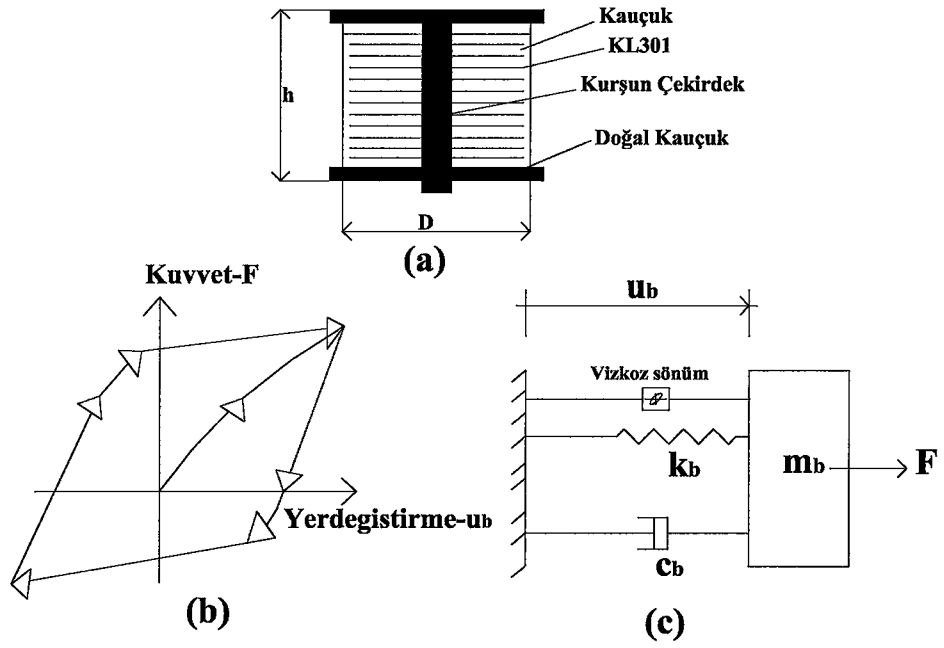
KL301 yüksek sönümlü madde ile oluşturulmuş yüksek sönümlü kauçuk mesnetin elemanları şekil 2.2a’da ve doğrusal olmayan kuvvet-yer değiştirme davranışı şekil 2.2b’de ve şematik model ise şekil 2.2c’de verilmiştir.



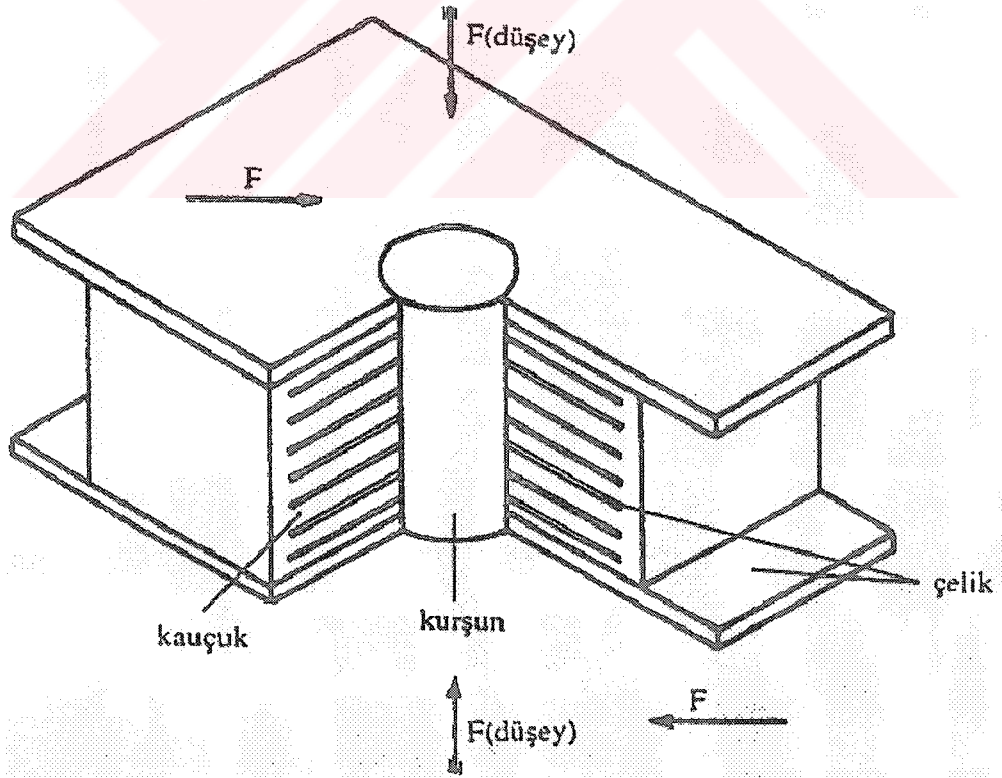
Şekil 2.2 Tipik Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnet (a) Kesit (b) Kuvvet-yer değiştirme davranışı (c) Şematik Model

2.2.3 Kurşun Saplmalı Doğal Kauçuk Mesnetler (LRB)

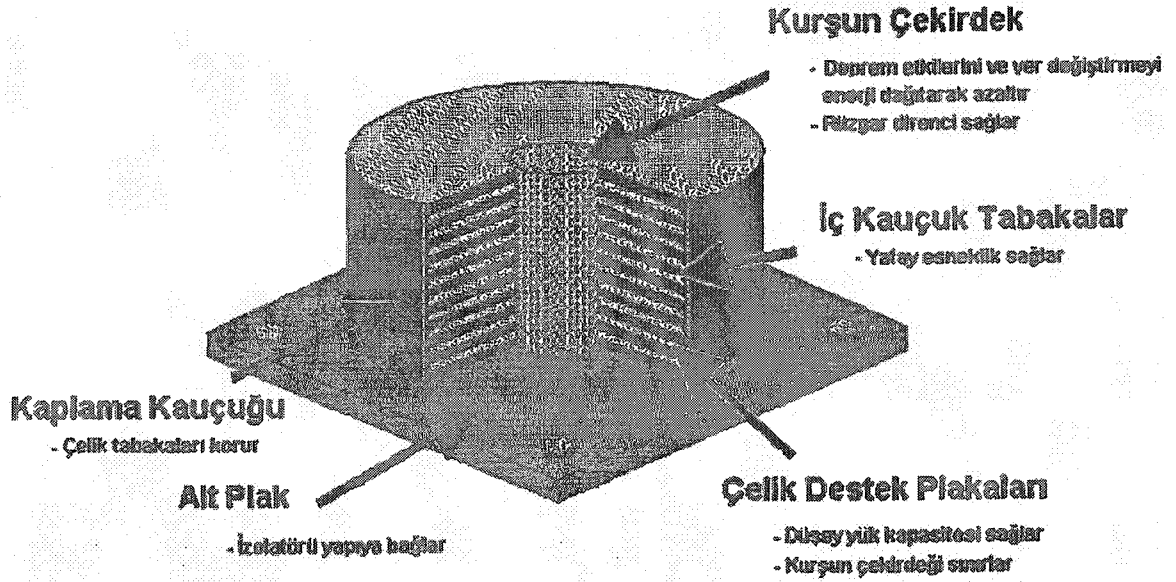
Kurşun saplamalı kauçuk mesnetler, tabakalı kauçuk sisteme benzerler. Farkı ek rijitlik sağlamak amacıyla kurşun saplamalı çekirdek kullanılmasıdır. Şekil 2.3'te tipik kurşun saplamalı kauçuk mesnet gösterilmiştir. Kurşun saplamanın boyutları başlangıç rijitliğine, yükün büyüklüğüne göre sistemin ihtiyaç duyduğu şekilde belirlenir. Kurşun çekirdek enerji absorbe edebilme özelliği ile izolatördeki yatay yer değiştirmeyi azaltmaktadır. Bu sistem prensip olarak çevrimsel söndürücü aletler gibi davranmaktadır. Bu da kuvvet-yer değiştirme davranışının doğrusal olmamasını sağlar. Aşağıda Şekil 2.3a'da kesit, Şekil 2.3b'de kuvvet-yer değiştirme davranışı, Şekil 2.3c'de şematik modeli gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.4 ve 2.5'te de kurşun çekirdekli sisteme ait detaylar ve bileşenler aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.3 Kurşun Saplamlı Kauçuk Mesnet (a) Kesit (b) Kuvvet-yer değiştirme davranışı (c) Şematik Model



Şekil 2.4 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi



Şekil 2.5 Kurşun Çekirdekli İzolatör Bileşenleri

2.3 Kayıcı Sistemler

Bu sistemlerin çalışma şekli yalıtım ara yüzünde kesme kuvveti geçişinin sınırlandırılması şeklinde ifade edilebilir. Esnek sürtünmeli deprem yalıtımında, sürtünmeli pandül sistemler gibi kayıcı sistemler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Kayıcı ara yüzünde kum bulunan özel sistemlerin kullanıldığı kayıcı sistemli en az üç deprem yalıtımlı yapı Çin’de kullanılmıştır.

2.3.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan sürtünmeli sarkaç sistemi, yukarıda tanımlanan sistemlere göre üretimi daha kolay ve dayanıklıdır. Sürtünmeli sarkaç sistem, arzu edilen sismik izolasyon sonuçlarını elde etmede ağırlık ve geometrisinden yararlanmaktadır. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür (Constantinou, 1998).

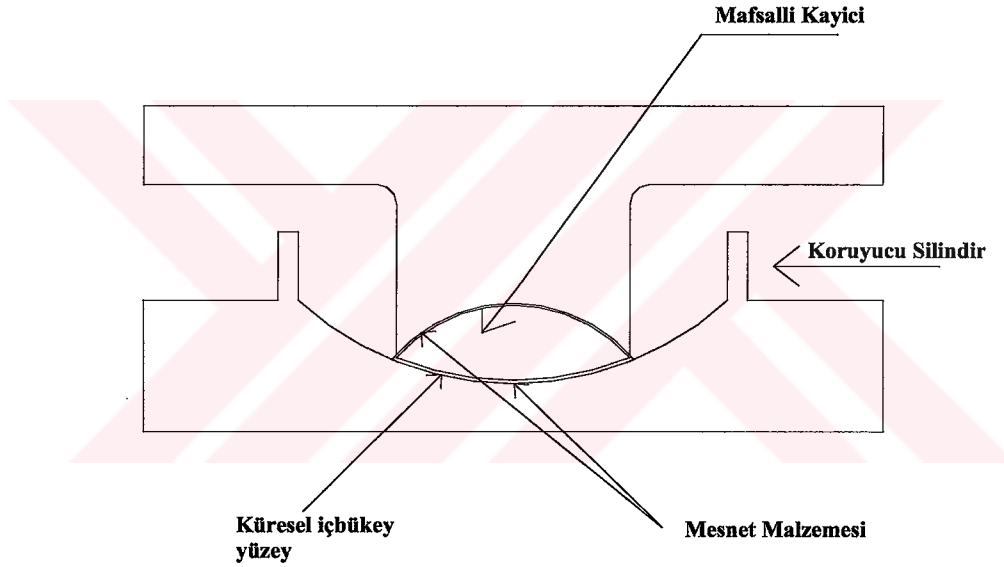
Sürtünmeli sarkaç hareketinin mühendislik prensiplerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Zira, bu sistemle mesnetlenen yapı, deprem hareketlerine karşı küçük genlikli bir sarkaç hareketi ile tepki vermektedir. Ayrıca, sistemin sürtünmeli olması özelliğiyle, deprem

enerjisinin absorbe etmesini sağlamaktadır (Zayas, 1990).

Sürtünmeli sarkaç sistemler çelik mesnetlerdir. Düşük sürtünmeli, büyük yükleme kapasiteli paslanmaz çelik mafsallı, içbükey yatak üzerinde kayıcılığı sağlamaktadır. Deprem hareketi sırasında mafsallı, kayıcı içbükey yüzey üzerinde kayarak kütlenin yükselmesine neden olacaktır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürür.

Dinamik hareket mesnedin kinematiği ve uygulaması içbükey yüzeyin üstte veya altta olmasından etkilenmez.

Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti ve görünüşü Şekil 2.6 'da verildiği gibidir.



Şekil 2.6 Sürtünmeli sarkaç sistemi kesiti

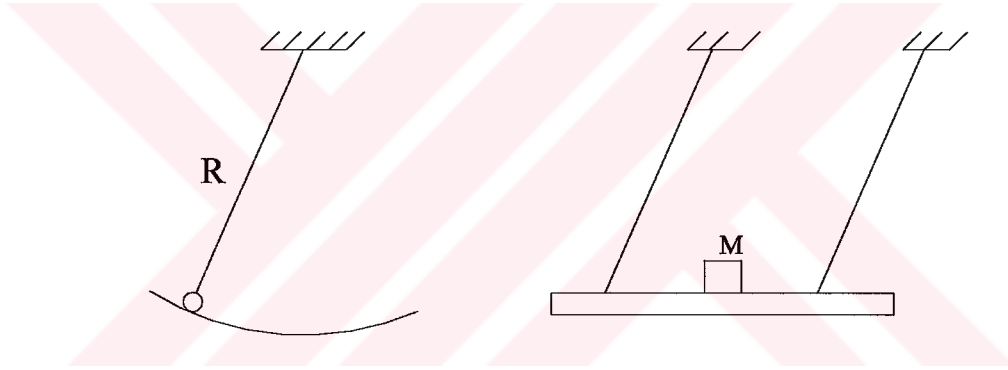
Deprem hareketi sırasında, yanal rijitlik ve her bir yatakta oluşan sürtünme kuvveti yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direkt olarak ilgilidir. Bu nedenle yapı ağırlık merkeziyle, yatakların rijitlik merkezi çakıştırılmalıdır; bu özellik, mesnetlenen yapının burulma hareketini ortadan kaldırmaktadır (Low, S., S., Mahin, S., A., Bozzo L, 1989).

Deprem hareketi sırasında mafsallı, kayıcı içbükey yüzey üzerinde kayarak kütlenin yükselmesine neden olacaktır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel

enerjiye dönüştürür.

Dinamik hareket ortadan kalktıktan sonra pandül, ilk sabit denge durumuna ulaşmaya kadar hareketini yineler. İzolatör üst yapı kütesinden dolayı deprem hareketinden oluşacak enerjiyi gerekli oranda yutar.

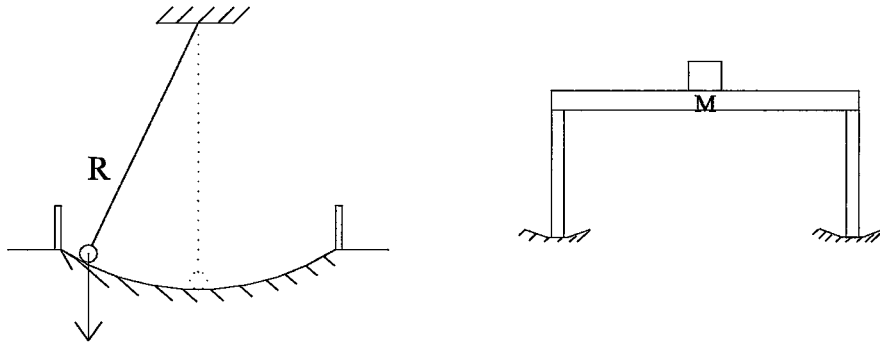
Mesnedin kinematiği ve uygulaması içbükey yüzeyin üstte veya altta olmasından etkilenmez. İzolatörün periyodu, içbükey yüzeyin çapına bağlı olarak kontrol edilir ve mesnetlenen yapının kütesinden bağımsızdır. İstenilen periyot değeri çap değiştirilerek elde edilir. Kayıcı mafsal çapı yükleme durumuna göre boyutlandırılır. Depremde oluşacak maksimum yer değiştirmesine bağlı olarak, bağlantı halkasının çapı boyutlandırılır (Naeim, Kelly, 1990, Earthquake Protection Systems, Inc.,1994).



Şekil 2.7.a Basit sarkaç modeli

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

(2.1)



Şekil 2.7.b Sürtünmeli sarkaç modelinin basit sarkaç modeline uyarlanması

Bu tez çalışmasında, sürtünmeli pandül sistem olarak EPS sistemi seçilmiştir.

Yapının temeline yerleştirilerek, yapıya iletilen yer hareketinin etkili biçimde kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilen sistemlerden biri de, esnek sürtünmeli sistemlerdir. Bu tip ayırıcılar kauçuk çekirdek (rubber cores), tabakalardan oluşan kayıcı elemanların birleşimidir. Kayıcı elemanların temel ayırıcı olarak performansı üzerinde çalışılmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir (Naeim, Kelly, 1999).

Esnek sürtünmeli taban izolasyonu, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşur. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yer değiştirmesini ve hızı mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuk kılıf, mesnedi toz, paslanma gibi çevresel etkenlerden korur ve halkaların aşınmasını engeller. Kauçuğun sönüm yeteneği az olduğundan enerji dağıtımında sürtünme kullanılmaktadır.

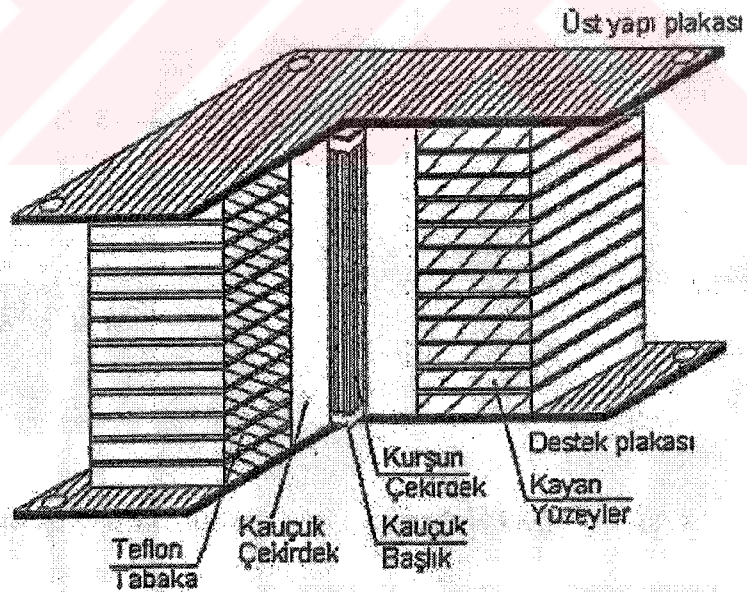
Temel ayırıcı olarak, çelik tabakalar ve kauçuklardan oluşan tabakalı mesnetlerin etkisi üzerinde önemli çalışmalar yapılmıştır. Buradan yola çıkılarak, elastomerdeki kesmeden dolayı oluşan bükülmenin sınırlandırılması ve daha büyük yer değiştirme yeteneği kazandırabilmek için çelik levhali tabakalı kauçuk mesnetlere sürtünmeli plak eklenmesi düşünülmüştür

Bununla beraber eğer hakim frekans küçükse, üstyapı yükseltici rol oynayabilir ve temelde büyük zorlanmalar oluşabilir (Kelly, 1986).

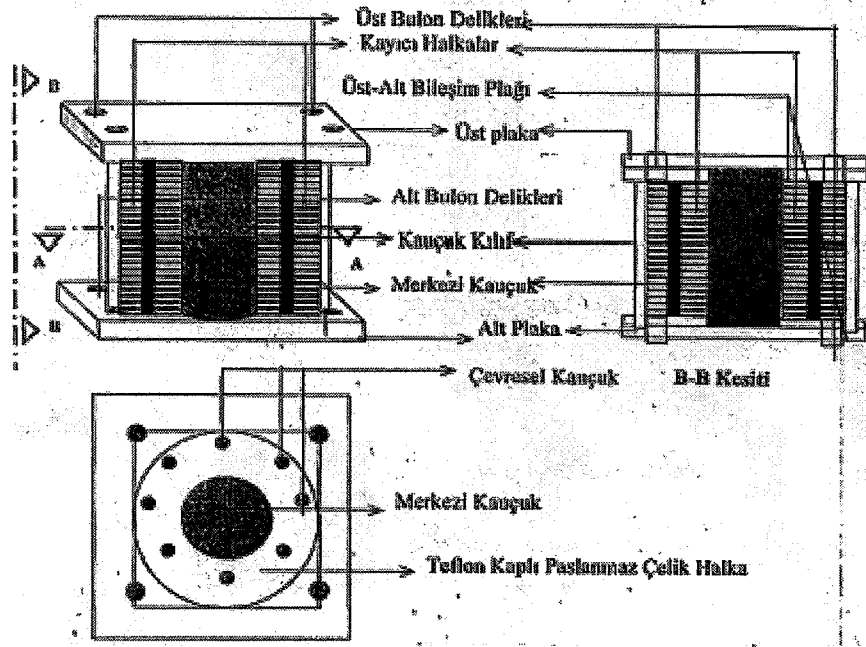
Hareket sürtünme kuvvetini yenene kadar mesnetlerde kayma oluşmaz. Mesnetler kaymaya başladığında kauçuk deforme olur ve sistemi eski haline döndürecek elastik kuvvet oluşur. Kauçuk çekirdek, yanal yer değiştirmeyi yalıtıcının yüksekliğine çaprazlamasına dağıtır ve ağırlık yükü taşımaz. Kayma hızı kullanılan kayıcı levha sayısına göre istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Sürtünme kuvveti enerji yutma görevini üstlenmiştir. Yani iki yüz arasındaki sürtünme kuvveti, hem yapısal sigorta (structural fuse) hem de enerji yutma görevi yapar (Mostaghel, Mortazavi, 1991).

Esnek sürtünmeli sistemlerin önemli avantajları:

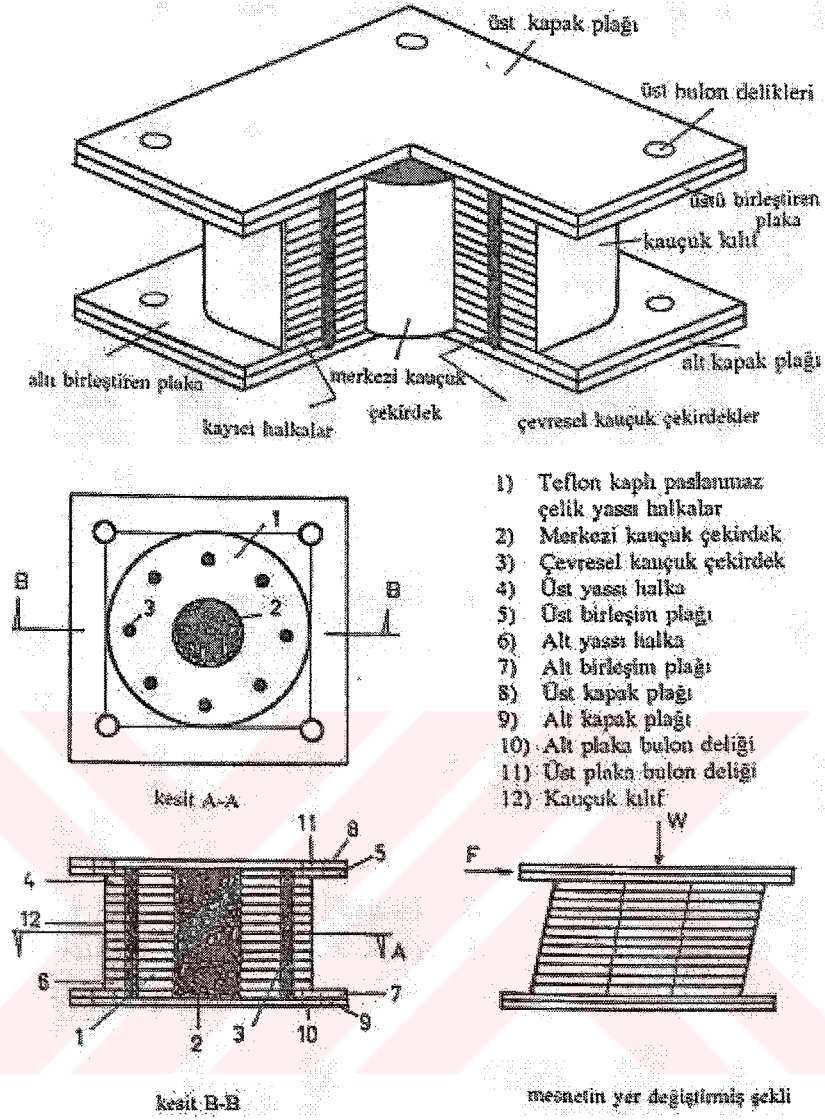
1. Sistemdeki sürtünme, düşük genlikli yer hareketinden veya rüzgar hareketinden doğan, tabanın yanal hareketinin önlenmesini sağlar.
2. Esnek sürtünmeli yalıtım sistemlerinde, rijitlik merkeziyle kütle merkezi ayırma seviyesinde çakıştığı için simetrik olmayan yapılar için de uygundur.
3. Bu sistemdeki elastik elemanlar, sadece yer hareketinden doğan yanal yüklere maruz kalırlar. Ağırlık yükleri ise genellikle daha rijit olan kayıcı bölümlerce taşınır. Bu da sünme ve ağırlık etkileri altındaki sünme ile ilgili problemleri azaltır ve sistemin yer değiştirme kapasitesini, stabilitesini artırır.
4. Çok sayıda test, bu ayırıcıların, çok kararlı histeretik çevrimlerle etkili yutucu olduklarını göstermiştir (Constantinou, Tsolepas ve Nagarajaiah, 1997).



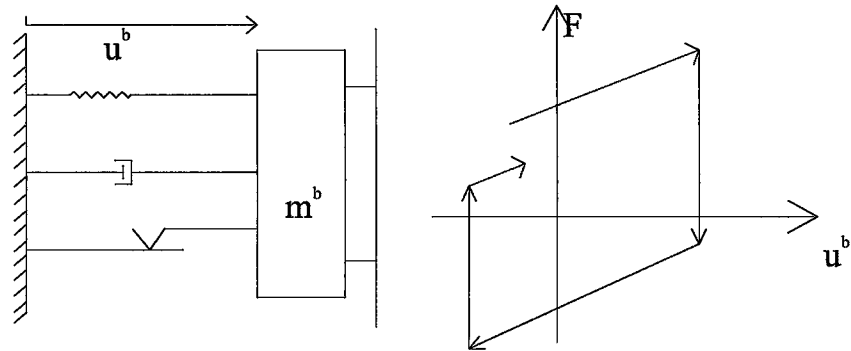
Şekil 2.8 Esnek sürtünmeli taban izolatörü



Şekil 2.9. Esnek sürtünmeli taban izolatörün planı ve kesiti



Şekil 2.10 Esnek sürtünmeli taban izolatörü detayı ve mesnedin yer değiştirmiş hali

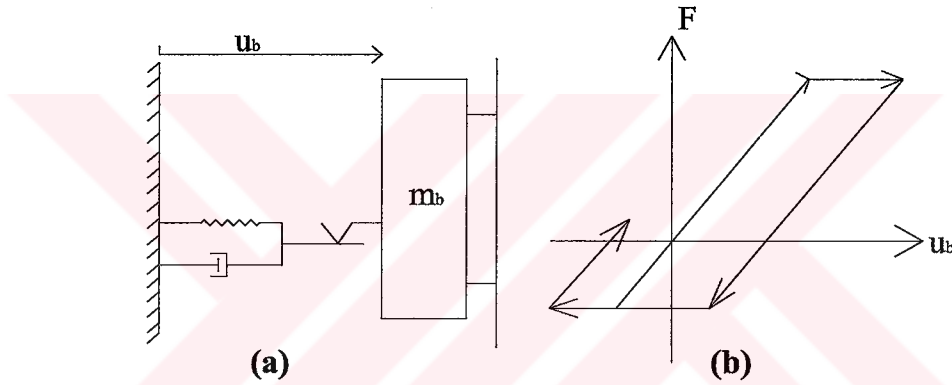


Şekil 2.11 Esnek sürtünmeli izolatörün, (a) şematik modeli, (b) kuvvet yer değiştirme davranışı

2.3.2 Electricité-de France Sistemi

Önemli bir taban izolasyon sistemi olan bu yöntem, 1970'lerin başlarında nükleer enerji santrali uygulaması için geliştirilmiştir, şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil 2.12 'de verilen sistemde, kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısı 0,20 olarak öngörülmüştür.

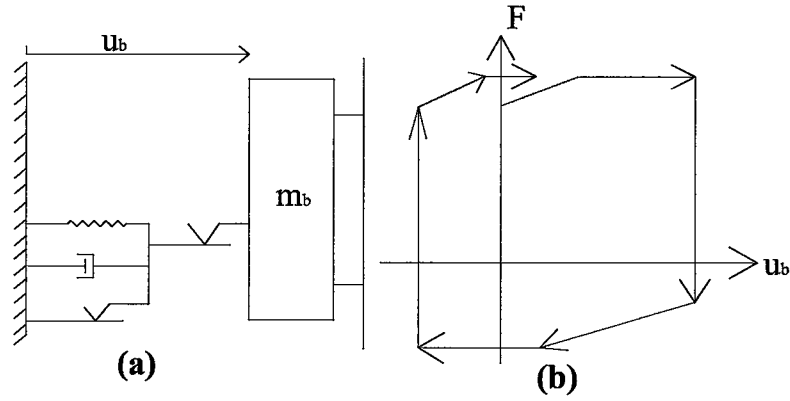
Kauçuk tamponun yer değiştirme kapasitesi ± 50 cm'dir. Bu değer oldukça düşüktür. Bu değeri aşan yer değiştirmeler olduğunda kayıcı elemanlar gerekli hareketi sağlamaktadırlar. Fransız Elektrik Kurumu'nun desteğiyle geliştirilmiş bu sistem, neopren tabakalar ile paslanmaz çelikle temas halinde olan kurşun-bronz alaşımı ve kauçuk mesnet üzerine oturtulmuş kayma yüzeyinden oluşturulmuştur (Dumanoglu, Ateş, 1999 TDV).



Şekil 2.12 Fransız Elektrik Sisteminin, (a) şematik modeli, (b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.3.3 EERC Bileşik Sistemi

Kauçuk esaslı ve kayıcı sistemin kombinasyonuyla oluşturulmuş bir sistem olup EERC (Earthquake Engineering Research Center) tarafından geliştirilmiştir. Yapının iç kolonları paslanmaz çelikten kayıcı elemanların üzerindeki teflon tarafından taşınır. Dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler üzerindedir. Şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil 2.13 'de verilen sistemde, kauçuk mesnetler yapının burulma davranışını kontrol eder, kayıcı elemanlar ise sönüm yaratır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu yöntemle yapılmış binalar mevcuttur.



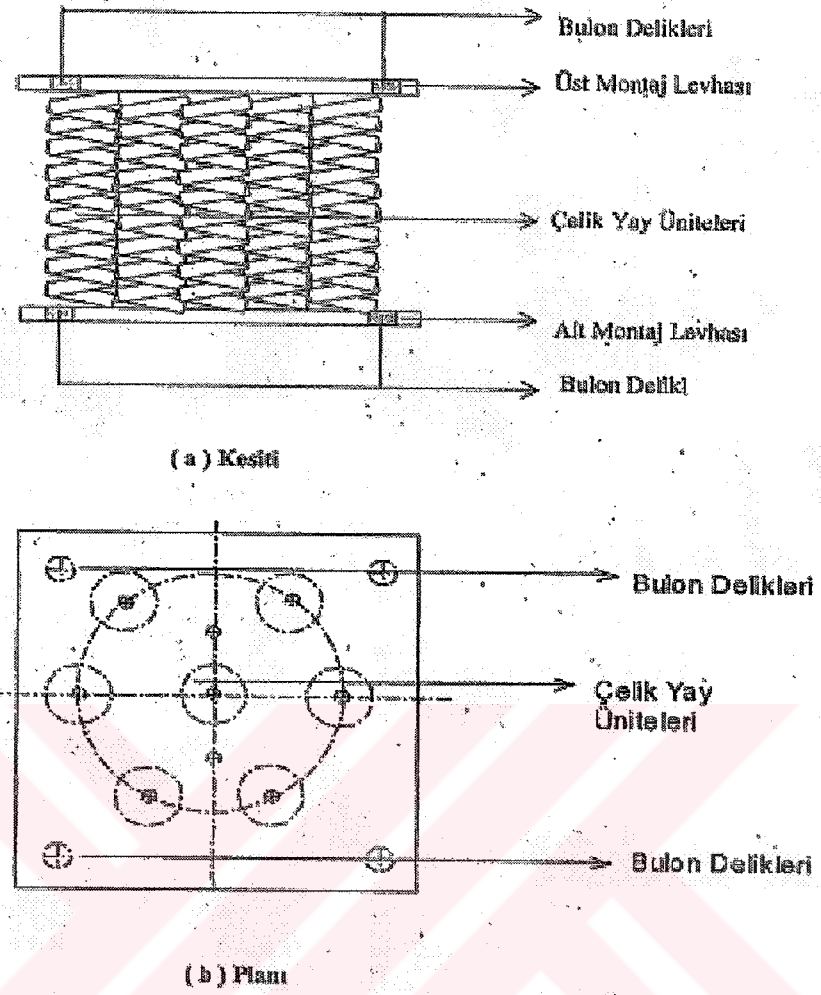
Şekil.2.13 EERC Sisteminin a) şematik modeli b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.4 Çelik Yaylar

Kuvvet santrallerindeki büyük aletlerin titreşimini önlemek için, titreşimin binaya iletilmesini engellemek gerekmektedir. Bu da, ayırıcı sistem kullanılarak yapılabilir. Bunun için gerekli sistem, helezoni yayları ve yoğun söndürücüleri kapsar.

Bu tip sistemlerin karakteristik özellikleri :

Yaylar, düşey harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değildir. Buna karşılık katlı kauçuk mesnetlerin düşey rijitlikleri, yatay rijitliklerinin birkaç yüz katı kadar olabilmektedir. Helezoni yaylardan oluşan sistem, üzerindeki binayı yer hareketinin düşey bileşeninden de bir dereceye kadar ayırır. Fakat bunun standart binalarda kullanışlı olmadığı belirtilmektedir (Naeim, 2001).



Şekil 2.14 Helezoni Çelik Yay a) kesit b) plan

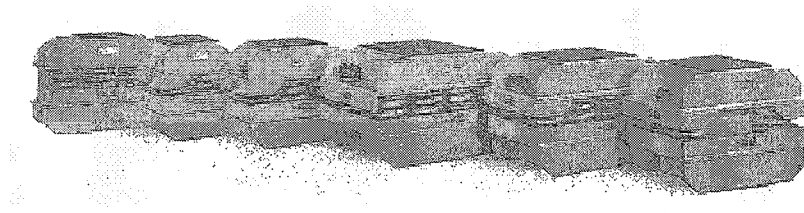
2.5 Diğer İzolasyon Sistemleri

2.5.1 GERB Sistemi

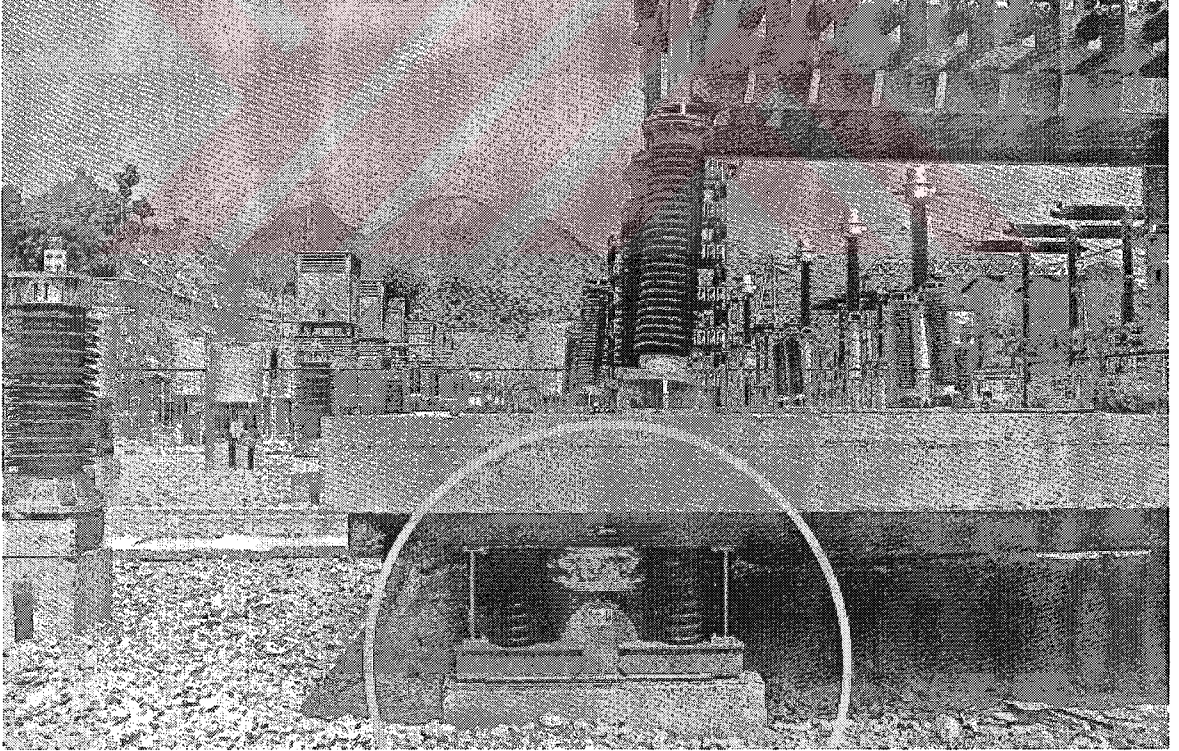
Alman GERB firması tarafından kullanılan sistemdir. Sistem genel olarak helezoni yaylar ve visko-elastik söndürücülerle sönüm prensibine dayanır. Yapılan deneysel çalışmalarla sistemin depremdeki davranışı bu sistemin ivmelerin düşürülmesinde etkin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ancak uygulanan yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmış olması durumunda faydalı olabileceğine karar verilmiştir.

Gerb sisteminin mesnedi hem yatayda hem dūşeyde esneklik özelliğine sahiptir. Dūşey titreşim frekansı yaklaşık olarak yatay titreşim frekansının 3-5 katıdır (Tezcan, Cimilli 2002).



Şekil 2.15 Gerb Sistemi Mesnedi



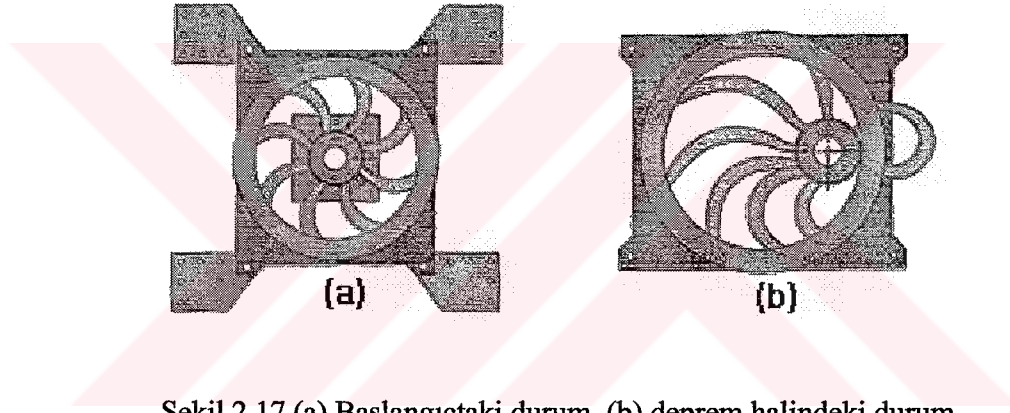
Şekil 2.16 Gerb Sistemi Mesnedin uygulanmasına ilişkin bir örnek

2.5.2 Alga Sistemi

İtalyan firması ALGA'nın ürettiği modeldir. Ülkemizde Bolu viyadüklerinde de kullanılmıştır.



Şekil 2.17 Alga Sistemi



Şekil 2.17 (a) Başlangıçtaki durum (b) deprem halindeki durum

2.5.3 Süper Kayıcı Sistem

Oldukça yeni olan bu sistemde Japonya'da 2000 yılında Takenaka ve NTN firmalarının ortak araştırmaları sonucu geliştirilen bir sistemdir. 2002 yılı itibarıyla en son geliştirilen modellerdendir. Bu sistemin kullanılması durumunda yapının doğal titreşim periyodunun 4-6 s'ye kadar uzayabileceğini ve binaya geçen enerjinin $1/4$ oranında azalabileceğini öngörmüşlerdir.

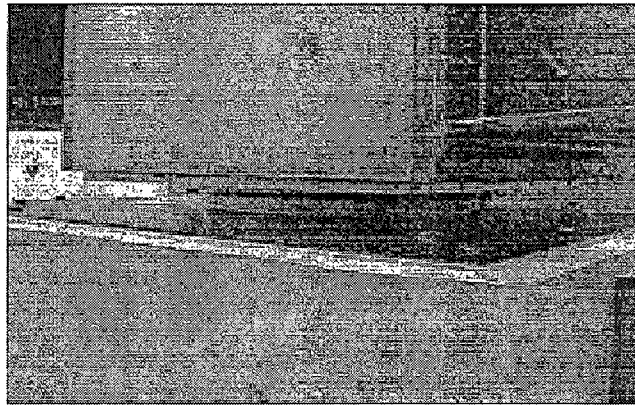
Şekil 2.18 ve 2.19 da verilen sistem, iki parçadan ibaret olup, üstte kayıcı kısım yapıya, altta destekleyici kısım ise temele bağlanmaktadır. İki kısım arasındaki sürtünme katsayısı çok düşük mertebelerde tutulmaktadır.

Deprem hareketi temeli kuvvetli şekilde salladığı durumda bile, sürtünen yüzeylerdeki düşük sürtünme katsayısı sebebiyle, üst yapıya kuvvetlerin iletimi az olmaktadır. Sürtünme katsayısı, üst ve alt kısımlara eklenen epoksi reçinesi esaslı özel tabakalarla (“fluoresin layer” ve “resin coating layer”) $0,02 \approx 0,04$ seviyelerine indirilmiştir.

Yani bu sisteme göre, 100 kg lik bir kütleyi hareket ettirmek için 2-4 kg lik bir yatay kuvvet etkitmek yeterlidir. Eğer yer hareketi yapıyı bir taraftan bir tarafa yer değiştirmeye zorlasa bile sistemde beraber kullanılan kauçuk izolatörler ve diğer elemanlar sistemi eski pozisyonuna geri getirmektedir. Anlaşılabacağı gibi bu sistemle düşük sönümlü kauçuk izolatörler gibi tek başlarına kullanılmaları mümkün değildir (NTN, Inc. ,2001).



Şekil 2.18 Süper kayıcı mesnet kesiti



Şekil 2.19 Süper kayıcı mesnet görünüşü

3. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Giriş

İzolasyon sistemi için tasarım aşaması genellikle daha önce yapılan benzer bir projenin tasarım parametrelerinin kullanılması veya üretici firmadan sağlanan veriler ışığında ön tasarım aşaması ile başlar. Ön tasarım aşamasından sonra izolatör prototipleri üretilip bir dizi test programından geçirilir. Prototip test sonuçlarına bağlı olarak ön tasarım aşaması tekrar edilebilir.

3.2 Kauçuk Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Tabakalı elastomer mesnetlerin mekanik özellikleri uzun yıllar boyunca araştırılmış ve doğrusal olmayan teknikler kullanılarak yapılan hesapların güçlüğü dolayısıyla pek çok araştırmacı tarafından laboratuvar testleriyle de doğrulanan elastik teoriye dayanan basit yaklaşımlar geliştirilmiştir.

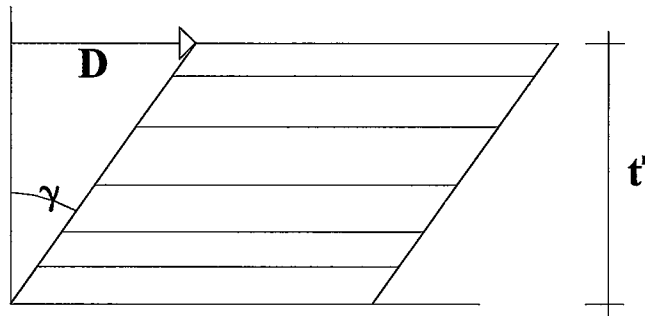
İzolasyon sisteminin en önemli mekanik özelliği yatay rijitliğidir ve aşağıdaki şekil ile ifade edilir.

G : Elastomerin kayma modülü

A : Mesnedin enkesit alanı

t_r : Mesnetteki toplam kauçuk tabakası kalınlığı olmak üzere ,

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



Şekil 3.1 Maksimum yer değiştirme ile maksimum kayma yer değiştirme ilişkisi

Maksimum yer değiştirme (D), maksimum kayma yer değiştirmesi (γ) ile orantılıdır.

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

Yalıtılmış bir yapının en önemli tasarım kriterlerinden bir tanesi de düşey frekansıdır ve bu değer düşey rijitlik tarafından kontrol edilir. Düşey frekansı öngörebilmek için tasarımcı, sadece belirli bir sabit düşey yük altında mesnetlerin düşey rijitliğini hesaplar. Mesnedin düşey yük altındaki ilk davranışı doğrusal değildir ve mesnet içi çelik plakaların dizilimi ve mesnedin yapım aşamasındaki kalıp işçiliği gibi öngörölemeyen etkilere de bağlıdır. Ancak bu etkilerin, mesnedin düşey mukabelesinin tahmininde çok önemli olmadığı kabul edilmektedir.

Kauçuk mesnedin düşey rijitliği de aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

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

(3.3) formölünde E_c , düşey yük altında kauçuk-çelik kompozit bileşimin basınç modölüdür. A ise, mesnedin enkesit alanı olup genellikle mesnet içindeki çelik plakanın alanı olarak alınır.

E_c 'nin tek bir kauçuk katmanı için değeri $\frac{\text{yükölü alan}}{\text{serbest alan}}$ veya $\frac{\text{disk alanı}}{\text{yanal alan}}$ olarak

tanımlanan boyutsuz S şekil oranına bağımlıdır.

2b genişliğinde ve t kalınlığında tek tabaka sonsuz bir şerit için;

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

Φ çaplı ve t kalınlıklı tek tabaka dairesel kauçuk için;

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

R yarıçaplı ve t kalınlıklı tek tabaka dairesel kauçuk için;

$$S = \frac{R}{2t} \quad (3.6a)$$

a boyutlu ve t kalınlıklı kare şeklinde tek tabaka kauçuk için;

$$S = \frac{a}{4t} \quad (3.6b)$$

Tam daire şeklinde tek tabaka kauçuk tabakası için;

$$E_C = 6GS^2 \quad (3.7)$$

Tam kare şeklinde tek tabaka kauçuk tabakası için;

$$E_C = 6,73GS^2 \quad (3.8)$$

Bazı durumlarda mesnetler, merkezi boşluklar içerebilmektedir. İç yarıçapı a ve dış yarıçapı b olan bir mesnet için $E_C = 6\lambda GS^2$ olarak ifade edilir. Buradaki λ değeri (3.9) denklemi ile hesaplanmaktadır.

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

Denklem 3.9 da $\frac{a}{b} \rightarrow 0$ olursa $\lambda \rightarrow 1$, $E_C \rightarrow 6GS^2$ (tam dolu dairesel durumu)

Denklem 3.9 da $\frac{a}{b} \rightarrow 1$ olursa $\lambda \rightarrow \frac{2}{3}$, $E_C \rightarrow 4GS^2$ (sonsuz şerit durumu) $\frac{a}{b} \geq 0,10$ durumu

için $\lambda \cong \frac{2}{3}$ olarak bulunur ki bu da küçük bir merkezi boşluğun E_C değeri üzerinde ne kadar

etkili olduğunu gösterir. Bu yüzden çoğu durumda merkezi boşluklar içeren mesnetlerde $E_C = 4GS^2$ olarak alınır. Salt basınç altında çelik plakaların sağladığı kısıtlama yüzünden kauçukta kayma şekil değiştirmeleri meydana gelir bu da γ_c ile gösterilir. Eğer nominal

basınç şekil değiştirmesi $\epsilon_c = \frac{\Delta}{t_r}$ ile verilirse, kayma şekil değiştirmesi, $\gamma_c = 6S\epsilon_c$ olur ve bu

da kauçuk tabakasının köşelerinde oluşan maksimum kayma şekil değiştirmesidir. Burada Δ ,

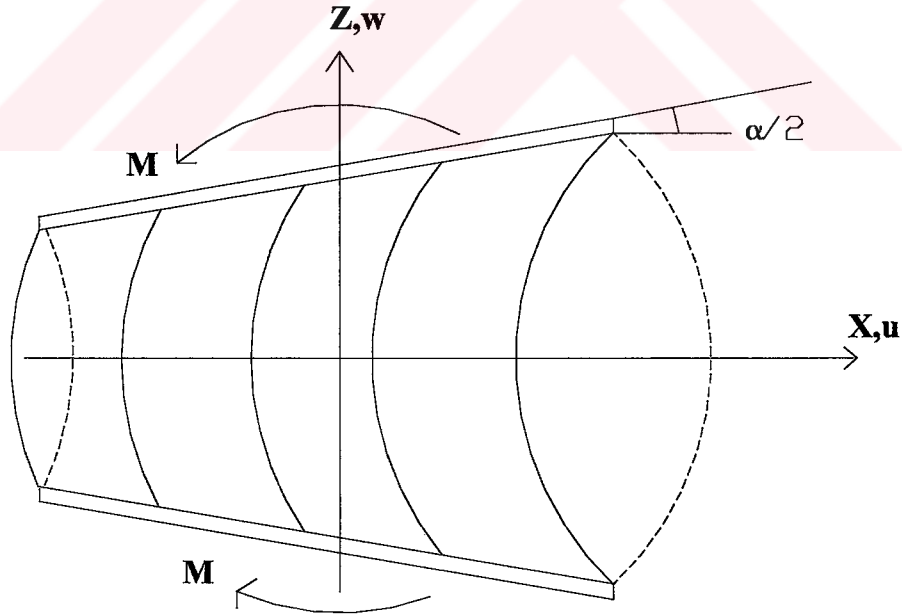
düşey yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Basınçta oluşan maksimum kayma şekil değiştirmesi, aynı zamanda ortalama şekil değiştirmenin tahmini açısından da oldukça önemlidir. Kauçuk, şekil değiştirmeye duyarlı bir malzeme olarak G kayma modülü genellikle şekil değiştirme düzeyine göre değişir. Basınçta kayma şekil değiştirmeleri kauçuk tabakasının hacmi üzerinde değişkendir. Dolayısıyla ortalama şekil değiştirmenin bulunmasında kullanılan kayma modülü, kauçukta depolanan elastik enerji üzerinden hesaplanır. Bu hesaplardan ortalama kayma şekil değiştirmesi;

$$\gamma_{\text{ort}} = \sqrt{6S\epsilon_c} \quad (3.10)$$

olarak ifade edilebilir.

Mesnedin eğilme rijitliği de benzer kabullerle ve yaklaşımlarla hesaplanabilir. Sadece M eğilme momenti ile yüklü bir mesnetteki yer değiştirmeyi, alt ve üst çelik plakların dönmesi oluşturur.



Şekil 3.2 Salt eğilme etkisinde kauçuk tabakalar arasındaki rijitliklerin kısıtlanması

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t} \quad (3.11)$$

ρ : Eğrilik yarıçapı

α : Üst ve alt çelik plakalar arasındaki görelî açı

t : tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı

$$\text{Kiriş analojisiyle } (M = \frac{EI}{\rho}) \quad M = (EI)_{ef} \frac{\alpha}{t} \quad \text{bağıntısı elde edilebilir.} \quad (3.12)$$

$$R \text{ yarıçaplı dairesel bir mesnet için sonuç, } M = \frac{3\alpha G}{2t^3} \frac{\pi R^6}{12} \quad (3.13)$$

Yukarıdaki 3.12 denklemi, $(EI)_{ef}$ terimi için, $E=6GS^2$, $S=\frac{R}{2t}$ ve $I=\frac{R^4}{4}$ dairesel kesitli kiriş atalet momenti terimleri alınarak (3.13) denklemine eşitlenirse, $I=\pi R^4/12$ sonucu bulunur ki bu da kiriş atalet momentinin yaklaşık 1/3'üdür. Bu sonuç farklılığı şu şekilde açıklanabilir. Kauçuk tabakası boyunca gerilme dağılımı kübik parabol olarak değişirken, kirişte eğilme gerilmelerinin dağılımı lineerdir.

$$\text{Kare şeklindeki kauçuk tabakası için } (EI)_{ef}=E_C(0,329I) \quad (3.14)$$

$$\text{Merkezi delikli dairesel kauçuk için } (EI)_{ef}=2GS^2I \frac{(b^2+a^2)}{b^2-a^2} \quad (3.15)$$

Eğilmeden oluşan kayma şekil değiştirmesi şu formül ile belirlenir;

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (3.16)$$

(3.16) denkleminde, ε_b , köşelerde eğilme sebebiyle oluşan basınç şekil değiştirmesidir. Ve

$$\varepsilon_b = R \left(\frac{\alpha}{t} \right) \quad \text{formülü ile elde edilir.} \quad (3.17)$$

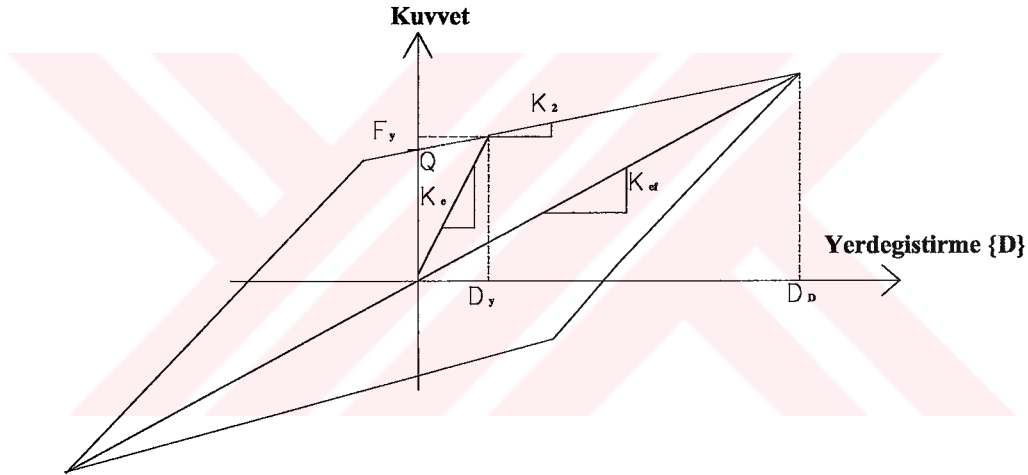
Ortalama kayma şekil değiştirmesi ise toplam kayma şekil değiştirme enerjisi ile aşağıda belirtildiği gibidir.

$$\gamma_b^{ort} = \sqrt{2}S^2\alpha = \sqrt{2}S\frac{R\alpha}{4t} = \frac{\sqrt{2}}{4}S\epsilon_b \quad (3.18)$$

Şekil faktörü genellikle 10'dan büyük değerler alır. Bu katsayı büyüdükçe, kauçuğun sıkışabilme özelliği önem kazanır.

3.3 Kurşun Saplama Tabakalı Kauçuk Mesnet Mekanik Özellikleri

Kurşun saplamalı tabakalı kauçuk mesnetler K_e , K_2 , Q parametrelerine bağlı özellikleriyle daima ikili doğrusal (bilineer) elemanlar olarak modellenirler. K_e ; elastik rijitliği, ya izolasyon mesnedinin prototip testlerindeki histeretik döngülerden yada K_p plastik rijitliğin bir çarpanı olarak elde edilirler.



Şekil 3.3 Kurşun saplamalı kauçuk mesnedin kuvvet yer değiştirme ilişkisi

Karakteristik kuvvet; histeretik eğrinin kuvvet eksenini kestiği noktadır ve kurşun çekirdeğin akma gerilmesi ve alanı ile belirlenir. Etkin (efektif) rijitlik, histeretik döngüdeki tepe noktalarını kesen eğim olarak tanımlanır ve aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad (D \geq D_y) \quad (3.19)$$

D_y : akma yer değiştirmesi

Doğal frekans ;

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{ef}g}{W}} = \sqrt{K_2 \frac{g}{W} + \frac{Qg}{WD}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}} \quad (3.20)$$

$$\mu = \frac{Q}{W} \quad \mu : \text{kuvvet oranı} \quad (3.21)$$

Etkin periyod;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}} \quad (3.22)$$

Etkin Sönüm;

$$\beta_{ef} = \frac{\text{histeretik döngü alanı}}{2\pi K_{ef} D^2} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi K_{ef} D^2} \quad (D \geq D_y) \quad (3.23)$$

$D_y = \frac{F_y}{K_e}$ ve $F_y = Q + K_2 D_y$ olduğuna göre sonuç olarak;

$$D_y = \frac{Q}{K_e - K_2} \quad \text{elde edilir.} \quad (3.24)$$

(3.19) denklemi kullanılarak (3.23) denklemi tekrar yazılacak olursa

$$\beta_{ef} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (3.25)$$

Genel kural olarak elastik rijitlik, plastik rijitliğin 10 katı olarak alınırsa ($K_e = 10K_2$)

$$D_y = \frac{Q}{K_e - K_2} = \frac{Q}{9K_2} \quad \text{için} \quad \beta_{ef} = \frac{4Q\left(D - \frac{Q}{9K_2}\right)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (3.26)$$

olarak elde edilir.

3.4 Sürtünmeli Sarkaç Sisteminin Mekanik Özellikleri

Sürtünmeli Sarkaç sistemi, W ; ağırlığındaki düşey yük altında ve U yer değiştirmesi yapıyorsa, sistemde oluşacak F tepki kuvveti aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

F : Sarkaç sisteminde hareket tepki kuvveti olmak üzere

$$F = \frac{W}{R} U + \mu W \sin g(\dot{U}) \quad (3.27)$$

Burada;

U : Yer değiştirme

F_s : Sürtünme kuvveti

μ : Sürtünme katsayısı

$\dot{U}$:Yer değiştirmenin zamana göre türevi

R : İçbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı

K_H :Yatay rijitlik

ξ_{eff} :Etkin sönüm oranı

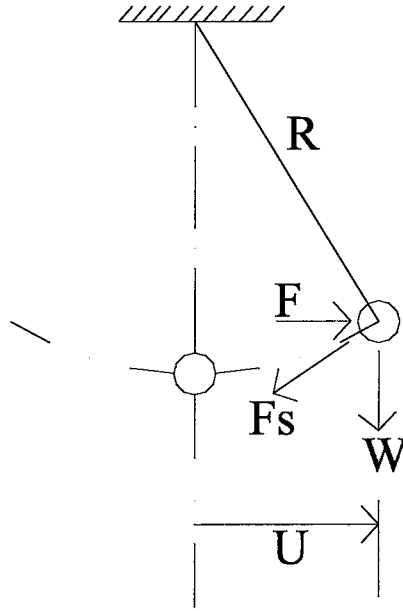
T : Periyod

δ_v :Düşey yer değiştirme olmak üzere,

Sarkaç hareketi yardımı ile, yalıtım sisteminin karakteristik değerleri aşağıda verildiği gibi belirlenmiştir.

$$K_H = \frac{W}{R}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}, \quad K_{eff} = \frac{W}{R} + \mu \frac{W}{U}, \quad \xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\frac{U}{R} + \mu},$$

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{U}{R} \right) \right] \quad (3.28)$$



Şekil 3.4 Basit sarkaç sistem modeli

Sürtünlü sarkaç sistemlerde, diğer önemli bir husus ise, yer değiştirme yarıçapından daha düşük olduğunda geri dönüş kuvveti, sürtünme kuvvetinden daha küçük olur. Bu da sistemin tekrar merkez konumuna gelmesine engel olur. Bu durum, $U/R \leq \mu$ ifadesiyle özetlenmiştir ve uzun periyotlarda ortaya çıkmaktadır.

Sürtünlü sarkaç sistemlerin tasarımı, periyoduna ve periyot ise yarıçapa bağlıdır. Periyot izolator ağırlığından bağımsızdır.

4. DEPREM YALITIMLI SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

4.1 Kauçuk Mesnetlerin Matematik Modeli

Düşük sönümlü tabakalı kauçuk mesnet üçüncü bölümde deprem yalıtımlı sistemlerin mekanik özellikleri kısmında verilen yer değiştirme ve kuvvet ilişkisinden anlaşılaçağı gibi; doğrusal elastik olarak çözümlenebilmektedir. Bununla birlikte; çevrimsel davranış gösteren kurşun saplamalı kauçuk mesnedin iki eksenli matematik modelinde x ve y doğrultularında sırası ile oluşacak F_x ve F_y kuvvetleri aşağıdaki gibidir;

$$F_x = \alpha \frac{F_y}{U_y} U_x + (1 - \alpha) F_y Z_x \quad (4.1)$$

$$F_y = \alpha \frac{F_x}{U_x} U_y + (1 - \alpha) F_x Z_y \quad (4.2)$$

F_x : Kauçuk mesnedin yatay hareketinde x yönünde oluşacak kuvvet ;

F_y : Kauçuk mesnedin yatay hareketinde y yönünde oluşacak kuvvet ;

α : Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ;

Z_x : Çevrimsel kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük ;

Z_y : Çevrimsel kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük ;

U_y : akma yer değiştirmesidir.

Burada Q; x eksenine göre kaymanın yönünü ifade eden büyüklüktür.

Düzlem harekette x ve y yönünde mesnette meydana gelen kuvvetler, iki eksenli etkileşimlidir. X ve y doğrultusunda oluşan kuvvetlerin yanında burulma momenti de oluşmaktadır; fakat burulma momentlerinin toplam burulma momentine etkisi ihmal edilebilir mertebededir.

İki yönlü bileşeni olarak ifade edilebilen bu hareketin yönü, x eksenine göre kaymanın yönü olarak aşağıdaki gibidir;

$$Q = \arctan \left[\frac{\dot{u}_y}{\dot{u}_x} \right] \quad (4.3)$$

Çevrimsel kuvvetlerle ilgili boyutsuz büyüklükler olan Z_x ve Z_y ; Wen, Ang ve Park tarafından verilen diferansiyel denklemden belirlenebilmektedir. İki eksenli yalıtım modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x & \dot{U}_y \\ \dot{Z}_y & \dot{U}_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dot{A} & \dot{U}_y \\ \dot{A} & \dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{pmatrix} Z_x^2 (\gamma \operatorname{sign}(\dot{U}_x Z_y) + \beta) & Z_x Z_y (\gamma \operatorname{sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta) \\ Z_x Z_y (\gamma \operatorname{sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta) & Z_y^2 (\gamma \operatorname{sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta) \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

A, γ, β : çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir.

$\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$: yer değiştirmenin zaman göre türevi, bir başka deyimle hızlardır.

Ortalama $A=1$ ve $\gamma=0,9$, $\beta=0,1$ olarak tavsiye edilmiştir. Akma başladığında;

$\frac{A}{\gamma + \beta} = 1$ ise $Z_x = \cos \theta$ ve $Z_y = \sin \theta$ olmaktadır. Sonuç olarak çevrimsel eğrinin dairesel ve

sürekli kabul edildiği anlaşılmaktadır. İki eksenli yalıtım matematik modelinde diyagonal dışı elemanlar yerine “0” yazılırsa tek eksenli yalıtım modeli elde edilmektedir.

4.2 Kayıcı Mesnetlerin Matematik Modeli

X ve y yönünde kayabilen mesnetler için tepki kuvvetleri ve ilgili sabitler aşağıda belirtildiği gibidir;

F_x : Kayıcı mesnedin yatay hareketinde x yönünde oluşacak kuvvet;

F_y : Kayıcı mesnedin yatay hareketinde y yönünde oluşacak kuvvet;

μ_s : Mesnet basıncına ve θ kayma açısına bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı;

Z_x : Çevrimsel kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük;

Z_y : Çevrimsel kuvvetlerin iki eksenli hareketiyle ilgili boyutsuz büyüklük ;

U_x :x yönündeki yer değiştirme;

U_y :y yönündeki yer değiştirme;

N : Mesnet üzerindeki düşey yük;

R : Kayıcı yüzey yarıçapı;

$\ddot{u}_g$:Düşey yöndeki deprem ivmesi;

P_s : deprem kuvveti;

$$F_x = \frac{N}{R} U_x + \mu_s Z_x, \quad F_y = \frac{N}{R} U_y + \mu_s N Z_y \quad (4.5)$$

$$N = W \left(1 + \frac{\ddot{u}_g}{g} + \frac{P_s}{W} \right) \quad (4.6)$$

$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min}) e^{(\alpha / \dot{u})} \quad (4.7)$$

yazılabilir.

$f_{\max}$: sürtünme katsayısının maksimum değeri ;

$f_{\min}$: sürtünme katsayısının minimum değeri ;

a : sürtünme katsayısının maksimumu ile minimumu arasındaki geçişi kontrol eden katsayı olmak üzere;

$$\text{Kayma hızı ; } \dot{U} = \sqrt{\dot{U}_x^2 + \dot{U}_y^2} \quad \text{dir.} \quad (4.8)$$

4.3 SAP2000 Bilgisayar Programında “Nonlinear Link Eleman”(NLLINK) Modelleme

SAP 2000 (Structural Analysis Programme), Computers and Structures, Inc. firması tarafından geliştirilen, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapıların üç boyutlu statik ve dinamik hesaplarını ve tasarımlarını yapabilen bilgisayar programının, nonlinear

versiyonunda nonlinear elemanlar tanımlanabilmektedir. Bunlar; Damper Property, Gap Property, Hook Property, Plastic 1 Property, Isolator 1 Property ve Isolator 2 Property isimleriyle programda yer alırlar. Bu tez çalışmasında kauçuk izolatörlerin doğrusal olarak çözümlenmesinin yanı sıra kurşun-kauçuk izolatörlerin modellenmesi Isolator 1, sürtünmeli sarkaç izolatörlerinin modellenmesi ise Isolator 2 nonlinear link elemanları kullanılarak yapılmıştır. Aşağıda bu elemanların özelliklerine değinilmiştir.

Nonlinear link elemanları için altı serbestlik derecesi tanımlanabilir. Bunlar; elemanın j ucunun görelî yer değıştirmesinden hesaplanır. Bu şekil değıştirmeler, aşağıda belirtildiğı gibi, eksenel deformasyon, kesme deformasyonu, burulma ve eğilme deformasyonlarıdır.

Eksenel : $d_{u1}=u_{1j}$

1-2 düzleminde kayma : $d_{u2}=u_{2j}$

1-3 düzleminde kayma : $d_{u3}=u_{3j}$

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

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

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

olarak gösterilebilir.

Bu şekil değıştirmelere karşılık gelen yay kuvvetleri elemanın davranışını belirler;

Eksenel : d_{u1} için f_{u1}

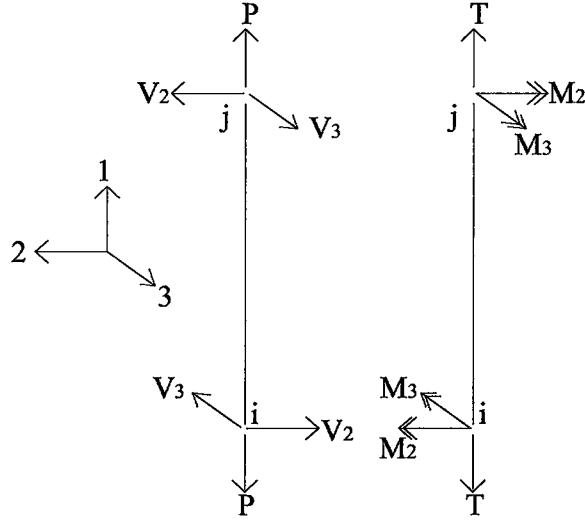
Kayma : d_{u2} için f_{u2} ve d_{u3} için f_{u3}

Burulma : d_{r1} için f_{r1}

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

Burada, f_{u1} , f_{u2} , f_{u3} ; iç yay kuvvetleri, f_{r1} , f_{r2} , f_{r3} ise iç yay momentleridir. Bu kuvvetler sıfır, doğrusal ya da doğrusal olmayan olabilir. Ayrıca bağımsız ya da birbirleriyle etkileşimli

olabilirler. Eleman iç kuvvetleri, P , V_2 , V_3 ve iç momentleri T , M_2 , M_3 çubuk elemanlardaki gibidir (Şekil 4.1). İç yay kuvvet ve momentleri cinsinden;



Şekil 4.1 Nlink elemanı iç kuvvet ve momentleri

Eksenel : $P = f_{u1}$

1-2 düzleminde kayma : $V_2 = f_{u2}$

1-3 düzleminde kayma : $V_3 = f_{u3}$

Burulma : $T = f_{r1}$

1-3 düzleminde salt eğilme : $M_{2b} = f_{r2}$

1-2 düzleminde salt eğilme : $M_{3b} = f_{r3}$

olarak gösterilebilir.

Kesme ve salt eğilme etkileri beraber düşünüldüğünde,

$$M_2 = M_{2s} + M_{2b} \quad (4.9)$$

$$M_3 = M_{3s} + M_{3b} \quad (4.10)$$

denklemleri oluşturulur. Bu iç kuvvet ve momentler, nonlinear link elemanının her

enkesitinde mevcuttur.

Nonlinear link elemanı (NLLINK) nonlinear zaman tanım hesabı dışında diğer tüm hesaplarda, doğrusal davranış düşünülerek çözümlenir.

Nonlinear davranış tipleri SAP 2000 paket programında, viskoelastik sönüm, sadece çekmede Hook eleman, sadece basınçta Gap eleman, tek eksenli plastisite, iki eksenli plastisiteli deprem yalıtıcı, sürtünmeli sarkaç deprem yalıtım sistemi olarak gruplandırılır. Her bir eleman için yerel koordinat sisteminde kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin belirtilmesi gerekmektedir.

Nonlinear link elemanlar, iki düğüm noktalı veya yere sabitlenmiş düğüm noktaları olarak tanımlanabilir. Bu tez çalışmasında, tek düğüm noktalı nonlinear link elemanların kullanılması ile yetinilmiştir.

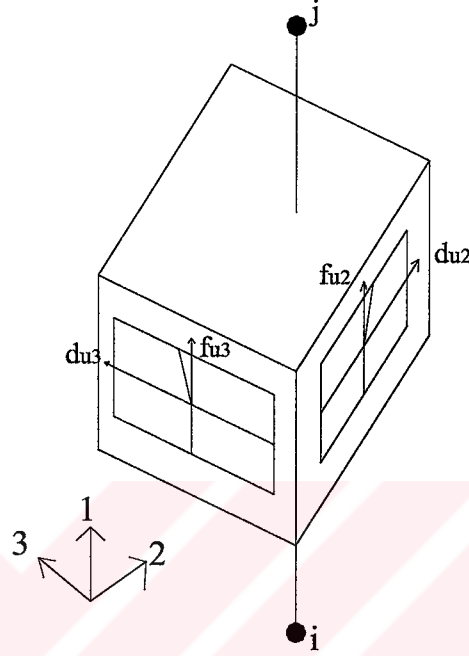
Nonlinear link elemanı bir düğüm noktalı olarak alındığında; uzunluğu olarak alınır ve 1 lokal koordinatı eksenel koordinattır. Z global eksenidir ve pozitif yönü yukarı doğrudur. İki eksenli izolatör modelinde ise uzunluk sonsuz alınırken 1 lokal eksen i düğüm noktasını j düğüm noktasına bağlayan koordinat olarak alınmaktadır. Lokal 2 ve lokal 3 eksen, z global eksenine göre belirlenir. 1-2 lokal düzlemi, z global eksenine paralel ve düşey olarak alınırken; Lokal 3 eksen x-y düzlemine daima yataydır. Lokal 2 eksen, eleman global z eksenine göre düşeyken, global x eksen boyunca yatay olarak alınır.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesaplarda tüm serbestlik dereceleri için doğrusal olmayan kuvvet-yer değiştirme ilişkisi kullanıldığından, nonlinear link elemanının doğrusal olmayan özelliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrusal olmayan özelliklerin belirtilmediği serbestlik derecelerinde doğrusal etkin rijitlik kullanılmaktadır.

Isolator 1 ;

İki doğrultuda ortogonal ve etkileşimli kayma şekil değiştirmeleri için plastik davranış gösteren ve diğer dört şekil değiştirme için doğrusal etkin rijitlik gösteren, çift eksenli (iki

yönlü-biaxial) çevrimsel bir izolatördür (Şekil 4.2). Bu tanımdaki “çevrimsel etki” kavramı; dış yükleme sonucunda yapı elemanında oluşan iç kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin ortaya çıkardığı döngüsel (çevrimsel) tepki davranışıdır.



Şekil 4.2 Isolator 1 Property elemanının iki eksenli kayma davranışı idealizasyonu

Bu eleman için oluşturulan plastik model, kauçuk mesnet için verilen ve Wen, Park ve Ang tarafından da öngörülen çevrimsel davranışı esas alır ve $A=0,5$; $\gamma=0,5$ ve $\beta=0,5$ değerlerine karşı gelir. Her bir kayma şekil değiştirmesi serbestlik derecesi için doğrusal veya doğrusal olmayan davranış tanımlanabilir. Eğer her iki kayma şekil değiştirmesi serbestlik derecesi de doğrusal değilse, etkileşimli kuvvet-yer değiştirme ilişkisi;

$$f_{u2} = \text{ratio2} \cdot k_2 \cdot d_{u2} + (1 - \text{ratio2}) \cdot \text{yield2} \cdot Z_2, \quad f_{u3} = \text{ratio3} \cdot k_3 \cdot d_{u3} + (1 - \text{ratio3}) \cdot \text{yield3} \cdot Z_3 \text{ olur.}$$

Burada; k_2, k_3 : elastik rijitlik;

$\text{yield2}, \text{yield3}$: akma kuvvetleri;

$\text{ratio2}, \text{ratio3}$: akma sonrası rijitliğin akma öncesi elastik rijitliğe oranı;

Z_2 ve Z_3 : iç çevrimsel değişkenlerdir.

$\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} \leq 1$ aralığında değişkenler değer alır ve $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyi olarak ifade edilir. Z_2 ve Z_3 'ün başlangıç değerleri 0'dır ve aşağıdaki diferansiyel denkleme göre değer alırlar;

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - a_2 Z_2^2 & -a_3 Z_2 Z_3 \\ -a_2 Z_2 Z_3 & 1 - a_3 Z_3^2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{\text{yield2}} d\dot{u}_2 \\ \frac{k_3}{\text{yield3}} d\dot{u}_3 \end{bmatrix} \quad (4.10a)$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & d\dot{u}_2 Z_2 > 0 \\ 0, & d\dot{u}_2 Z_2 < 0 \end{cases}, \quad (4.10b)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & d\dot{u}_3 Z_3 > 0 \\ 0, & d\dot{u}_3 Z_3 < 0 \end{cases}$$

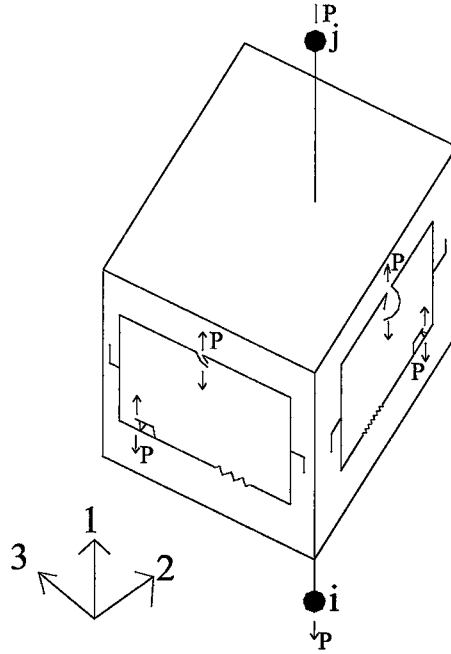
Isolator 2;

İki doğrultudaki ortogonal ve etkileşimli kayma şekil değiştirmeleri için sürtünmeli davranış gösteren, kayma yönlerinde kayıcı yüzeyin sarkaç yarıçapına bağlı olarak kayma sonrası rijitlik oluşturan, eksenel doğrultuda sadece basınç elemanı gibi davranan ve moment şekil değiştirmeleri için doğrusal etkin rijitlik özellikleri tanımlanan çift eksenli sürtünmeli sarkaç deprem yalıtım sistemidir (Şekil 4.3).

Sürtünme kuvvetleri, elemandaki eksenel kuvvetle doğrudan orantılıdır. Eleman çekme almaz. Eğer sürtünmeli pandül kullanılarak tasarlanan bir yapıda devrilme momentleri etkili ise özellikle dar plan boyutlu yapılarda ve bazı kolonlarda çekme kuvveti oluşuyorsa, modellemede Isolator 2 ile birlikte aynı mesnette Hook elemanı birlikte kullanılmalıdır.

Eksenel kuvvet P , her zaman doğrusal olmayan özelliktedir.

$$P = \begin{cases} k_1 d_{u1}, & d_{u1} < 0 \\ 0, & d_{u1} > 0 \end{cases} \quad (4.11)$$



Şekil 4.3 Isolator 2 elemanının sürtünmeli sarkaç kayma davranışı idealizasyonu

Sürtünmeli model, Wen, Park ve Ang tarafından öngörülen çevrimsel davranışı esas alır.

k_1 rijitliğinin elemanda doğrusal olmayan kayma oluşturması için pozitif olmalıdır. Bir kayma şekil değiştirmesi için doğrusal ya da doğrusal olmayan davranış tanımlanabilir. Her iki yönde kayma şekil değiştirmesi doğrusal değilse sürtünme ve sarkaç etkileri birlikte düşünülmelidir.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p} \quad f_{u2f} = -P \mu_2 Z_2 \quad (4.12)$$

$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p} \quad f_{u3f} = -P \mu_3 Z_3$$

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

$$\mu_3 = \text{fast3} - (\text{fast3} - \text{slow3}) e^{-rv} \quad (4.13)$$

f_{u2f} , f_{u3f} : sürtünme kuvveti,

μ_2, μ_3 : sürtünme katsayıları,

Z_2, Z_3 : içsel çevrimsel değişkenler,

slow2 ve slow3 : hızın '0' olduğu andaki sürtünme katsayısı

fast2 ve fast3 : hızın maksimum olduğu andaki sürtünme katsayısı,

v : bileşke kayma hızı ,

Γ : etkin ters hız olmak üzere ;

$$v = \sqrt{\dot{u}_2^2 + \dot{u}_3^2} \quad (4.14)$$

$$\Gamma = \frac{\text{rate2} \dot{u}_2^2 + \text{rate3} \dot{u}_3^2}{v^2} \quad (4.15)$$

$\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} \leq 1$ aralığında değerler alır ve $\sqrt{Z_2^2 + Z_3^2} = 1$ zarfı akma yüzeyi olarak ifade edilir. Z_2

ve Z_3 'ün başlangıç değerleri 0' dır ve aşağıdaki diferansiyel denkleme göre değer alırlar;

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_3 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - a_2 Z_2^2 & -a_3 Z_2 Z_3 \\ -a_2 Z_2 Z_3 & 1 - a_3 Z_3^2 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \frac{k_2}{P\mu_2} \dot{u}_2 \\ \frac{k_3}{P\mu_3} \dot{u}_3 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$a_2 = \begin{cases} 1, & \dot{u}_2 Z_2 > 0 \\ 0, & \dot{u}_2 Z_2 < 0 \end{cases} \quad (4.17)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1, & \dot{u}_3 Z_3 > 0 \\ 0, & \dot{u}_3 Z_3 < 0 \end{cases}$$

Bu denklem yukarıda verilmiş olan sürtünmeli sarkaç sistemi matematik modelinde, $A=0,5$, $\gamma=0,5$ ve $\beta=0,5$ alınması durumuna karşı gelmektedir. Sarkaç kuvveti-şekil değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$f_{u2p} = -P \frac{d_{u2}}{\text{radius2}}$$

$$f_{u3p} = -P \frac{d_{u3}}{\text{radius3}} \quad (4.18)$$

Eğer sadece bir yöndeki kayma serbestlik derecesi doğrusal değilse yukarıda belirtilen ifadeler aşağıdaki şekle dönüşmektedir;

$$\mu = \text{fast} - (\text{fast} - \text{slow})e^{-\text{rate} \cdot d} \quad (4.19)$$

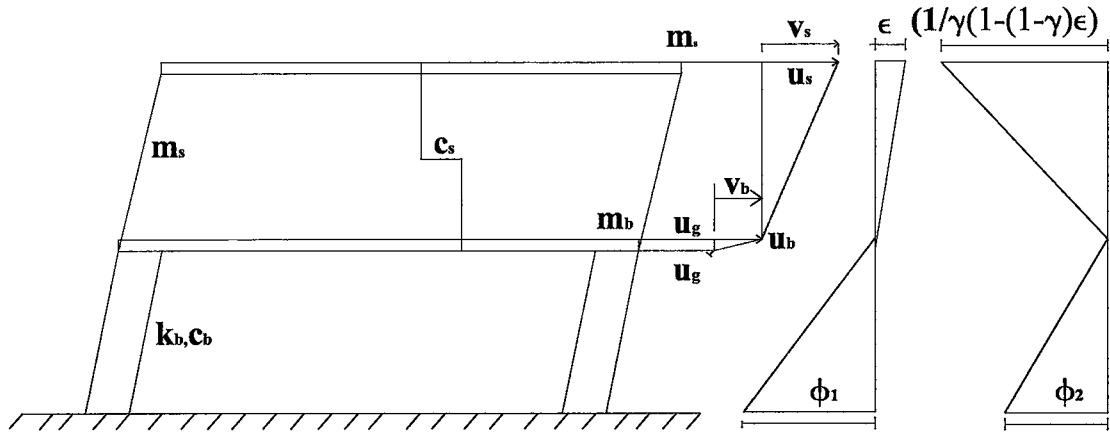
$$f_r = -P \mu Z$$

$$\dot{Z} = \frac{k}{P\mu} \begin{cases} d(1-Z^2) & \dot{d}_z > 0 \\ \dot{d}, & \dot{d}_z < 0 \end{cases} \quad (4.20)$$

Sarkaç denklemleri doğrusal olmayan serbestlik derecesi için aynı alınır. Moment şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan kayma şekil değiştirmeleri için doğrusal yay ilişkileri uygulanır. Bunun için de etkin rijitlikler kullanılmaktadır.

5. TABAN İZOLASYONLU YAPI HAREKET DENKLEMLERİ

5.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri



Şekil 5.1 Sismik yalıtımlı yapı matematik modeli ve mod şekilleri

m_s : Üst yapı kütlesi,

m_b : Yalıtım sisteminin kütlesi,

k_s, c_s : Üst yapı rijitliği ve sönümü,

k_b, c_b : Yalıtım sistemi rijitliği ve sönümü,

u_b, u_s : Yalıtım sistemi ve üst yapı yer değiştirmesi,

v_b, v_s : Yalıtım sistemi ve üst yapı göreceli yer değiştirmesi

$\ddot{u}_g$: yer hareketi ivmesidir.

$$v_b = u_b - u_g$$

$$v_s = u_s - u_b \quad (5.1)$$

$$(m_s + m_b) \ddot{v}_b + m_s \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m_s + m_b) \ddot{u}_g \quad (5.2)$$

$$m_s \ddot{v}_b + m_s \ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m_s \ddot{u}_g \quad (5.3)$$

Matris formunda yazılış;

$$(M)\{\ddot{v}\} + (C)\{\dot{v}\} + (K)\{v\} = - (M)\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad (5.4)$$

$$M = \begin{bmatrix} (m_s + m_b) & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}, \quad r = \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.5)$$

$$\epsilon = \frac{\omega_s^2}{\omega_b^2} = \text{frekanslar oranı} = \frac{\text{üst yapı doğal frekansı}}{\text{taban izolasyonu doğal frekansı}} \quad (5.6)$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m_s + m_b} \quad (\text{yalıtım sistemi doğal frekansı}) \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m_s} \quad (\text{üst yapı doğal frekansı}) \quad (5.7)$$

$$\gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b} = \frac{\text{taban izolasyon kütlesi}}{\text{toplam kütle}} \quad (5.8)$$

$$\xi_s = \frac{c_s}{2m_s\omega_s} = \text{üst yapı sönüm faktörü} \quad (5.9)$$

$$\gamma \ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\xi_b \omega_b^2 \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (5.10)$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\xi_s \omega_s^2 \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g$$

$$\begin{aligned} v_b &= \phi_b \sin \omega t \\ v_s &= \phi_s \sin \omega t \end{aligned} \quad (5.11)$$

ϕ_b : izolasyon sistemi mod şekli, ϕ_s : üst yapı mod şekli

Sönümsüz serbest titreşim ifadesi,

$$\begin{bmatrix} (\omega_b^2 - \omega^2) & -\gamma\omega^2 \\ \omega^2 & (\omega_s^2 - \omega^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_b \\ \phi_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

$$(1 - \gamma)\omega^4 - \omega_s^2\omega^2 - \omega_b^2\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (5.13)$$

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega_b^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (5.14)$$

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 \left(1 - \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \quad (5.15)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} \left(1 + \gamma \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \quad (5.16)$$

ω_1^2 = yalıtım sisteminin frekansı

ω_2^2 = üst yapı sisteminin frekansı

$\omega_1 \approx \omega_b$ yaklaşımı yapılırsa ;

$$\omega_2 = \frac{\omega_s}{\sqrt{(1-\gamma)}} \quad (5.17)$$

olarak bulunabilir.

Sonuçta bu ifadelerle göre hareket denklemi çözülürse;

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ \epsilon \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

$$\phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

olarak mod şekilleri bulunur.

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_b' & \phi_b' \\ \phi_s' & \phi_s' \end{bmatrix} \text{ ve } y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

zamana bağlı modal koordinatlar.

Γ_i, M_i Modal büyüklüklerin hesabı:

Γ_i : Modal katılım çarpanı , M_i =Modal kütle olmak üzere;

$$\phi^{iT} = (\phi_b^i, \phi_s^i) \quad i=1,2,... \quad (5.21)$$

$$M_i = \phi^{iT} M \phi^i \quad (5.22)$$

$$M_i \Gamma_i = \phi^{iT} M_r \quad (5.23)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \quad (5.24)$$

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma \varepsilon) \quad (5.25)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1 - \gamma)} (1 + \gamma \varepsilon) \quad (5.26)$$

$$u_b = Y_1 \phi_b^1 + Y_2 \phi_b^2 \quad \text{Modal koordinatlarda orijinal yer değiştirmelerin bulunması} \quad (5.27)$$

$$M_1 = M(1 + 2\gamma \varepsilon) \quad (5.28)$$

$$M_2 = M \frac{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (5.29)$$

$$\Gamma = \frac{\{\phi\}^T [M] \{r\}}{\{\phi\}^T [M] \{\phi\}} \quad (5.30)$$

$$\Gamma_1 = \left[1 - \gamma \left(\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \right] \quad (5.31)$$

$$\Gamma_2 = \left[\gamma \left(\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \right]$$

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma \varepsilon \quad (5.32)$$

$$\Gamma_2 = \gamma \varepsilon \quad (5.33)$$

Hareket denklemlerinin modal koordinatlara göre ifadesi ise aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\ddot{Y}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{Y}_1 + \lambda_1 \dot{Y}_2 + \omega_1^2 Y_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g(t) \quad (5.34)$$

$$\ddot{Y}_2 + \lambda_2 \dot{Y}_1 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g(t)$$

λ_1 ve λ_2 ; Modal bağlantı katsayıları (coupling coefficient)

$M_i 2\xi_i \omega_i = \phi^{i^T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^i$ ifadesiyle $2\xi_1 \omega_1$ ve $2\xi_2 \omega_2$ ifadeleri hesaplanabilir.

$$2\xi_1 \omega_1 = 2\xi_b \omega_b (1 - 2\gamma\epsilon) \quad (5.35)$$

$$2\xi_2 \omega_2 = \frac{1}{(1-\gamma)} (2\xi_s \omega_s + 2\gamma\xi_b \omega_b) \quad (5.36)$$

Sönümlerin hesabı ;

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \xi_b \left(1 - \frac{3}{2}\gamma\epsilon\right) \\ \xi_2 &= \frac{\xi_s + \gamma\xi_s \sqrt{\epsilon}}{\sqrt{(1-\gamma)}} \left(1 - \frac{\gamma\epsilon}{2}\right) \end{aligned} \quad (5.37)$$

Etkileşim (Modal Bağlantı=coupling coefficients) Katsayıları ; λ_1 ve λ_2 'nin hesabı;

$$\lambda_1 M_1 = \phi^{1^T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 \quad (5.38)$$

$$\lambda_2 M_2 = \phi^{2^T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 = \lambda_1 M_1 \quad (5.39)$$

$$\lambda_1 M_1 = (1, \epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s \quad (5.40)$$

$$a = \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \quad (5.41)$$

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon) \quad (5.42)$$

$$M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1 - 2(1-\gamma)\epsilon]}{\gamma} \quad (5.43)$$

ifadeleriyle ;

$$\lambda_1 = \frac{2\xi_b \omega_b M - \epsilon \left\{ \left(\frac{1}{\gamma} \right) [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} 2\xi_s \omega_s m_s}{M(1 + 2\gamma\epsilon)} = 2\xi_b \omega_b (1 - 2\gamma\epsilon) - \epsilon 2\xi_s \omega_s (1 - 2\gamma\epsilon)$$

$$\lambda_1 = 2\omega_b[\xi_b(1-2\gamma\epsilon) - \sqrt{\epsilon}\xi_s] \quad (5.44)$$

$$\lambda_2 = \frac{2\xi_b\omega_b M - \epsilon \left\{ \left(\frac{1}{\gamma} \right) [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\} 2\xi_s\omega_s m_s}{\left[\frac{M(1-\gamma)}{\gamma} \right] [1 - 2(1-\gamma)\epsilon]} = (2\xi_b\omega_b - \epsilon 2\xi_s\omega_s) [1 + 2(1-\gamma)\epsilon] \frac{\gamma}{1+\gamma}$$

$$\lambda_2 = 2\omega_b \{ \xi_b [1 + 2(1-\gamma)\epsilon] - \sqrt{\epsilon}\xi_s \} \left(\frac{\gamma}{1+\gamma} \right) \quad (5.45)$$

Yapısal uygulamalarda sönüm yeterince küçük olduğundan ve sönüm ortogonal birleşenler (λ_1 ve λ_2) ihmal edilebilir. Bu sayede çözüm; bağılantısız formdaki eşitliklere (uncoupled modal equations) dönüşür.

Y_1 ve Y_2 yapının cevabı olmak üzere ;

$$\ddot{Y}_1 + 2\xi_1\omega_1 \dot{Y}_1 + \omega_1^2 Y_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g(t) \quad (5.46)$$

$$\ddot{Y}_2 + 2\xi_2\omega_2 \dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g(t)$$

$$Y_1 = \frac{\Gamma_1}{\omega_1} \int_0^1 \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\xi_1\omega_1\tau} \sin(\omega_1\tau) d\tau \quad (5.47)$$

$$Y_2 = \frac{\Gamma_2}{\omega_2} \int_0^1 \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\xi_2\omega_2\tau} \sin(\omega_2\tau) d\tau \quad (5.48)$$

Maksimum değerler;

$$|Y_1|_{\max} = \Gamma_1 S_D(\omega_1, \xi_1) \quad (5.49)$$

$$|Y_2|_{\max} = \Gamma_2 S_D(\omega_2, \xi_2) \quad (5.50)$$

olarak bulunur.

S_D : Spektral yer değiştirmeler

Yalıtım sisteminin ve yapının en büyük yer değiştirme değerlerini hesaplamak için karelerin toplamının karekökü (SRSS) yöntemini kullanmak gereklidir. Yalıtım sisteminin yer

değiştirme maksimum değerleri;

$$|v_s|_{\max} = [(\phi_{21}|Y_1|_{\max})^2 + (\phi_{22}|Y_2|_{\max})^2]^{1/2} \quad (5.51)$$

$$|v_b|_{\max} = [(\phi_{11}|Y_1|_{\max})^2 + (\phi_{21}|Y_2|_{\max})^2]^{1/2} \quad (5.52)$$

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon) \quad (5.53)$$

$$M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\epsilon]}{\gamma} \quad (5.54)$$

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma\epsilon$$

$\Gamma_2 = \gamma\epsilon$ ifadelerinden;

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \{[\Gamma_1 S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [\Gamma_2 S_D(\omega_2, \xi_2)]^2\}^{1/2} = \{(1-\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2\}^{1/2} \\ |v_b|_{\max} &= \{\epsilon^2 (1-\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1-(1-\gamma)\epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2\}^{1/2} \\ &= \epsilon \{(1-2\gamma\epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \xi_1)]^2 + [1-2(1-\gamma)\epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \xi_2)]^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5.55)$$

olarak bulunur.

Genellikle, yüksek frekanslardaki (ω_2) deplasman, düşük frekanslardaki (ω_1) yapılan deplasmandan küçüktür. Bu da; $|v_b|_{\max} = (1-\gamma\epsilon)S_D(\omega_1, \xi_1)$ bağıntısını verir. ϵ^2 'den büyük olan bütün terimler ihmal edilirse,

$$|v_s|_{\max} = \epsilon [S_D(\omega_1, \xi_1)^2 + S_D(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \quad (5.56)$$

bağıntısı bulunur.

Tasarım Taban Kesme Kuvveti Katsayısı (C_s)

$$C_s = \left| \frac{k_s v_s}{m_s} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} = [S_A(\omega_1, \xi_1)^2 + \epsilon^2 S_A(\omega_2, \xi_2)^2]^{1/2} \quad (5.57)$$

S_A : Spektral ivme

Burada ilk terimler alınacak olursa ;

$$|v_s|_{\max} = \frac{\varepsilon S_v}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \xi_b) \quad (5.58)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_v}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \xi_b) \quad (5.59)$$

$$C_s = \left| \frac{k_s v_s}{m_s} \right|_{\max} = \omega_s^2 v_s = \omega_b S_v \left[1 + \varepsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \xi_b) \left[1 + \frac{\varepsilon}{1 + \gamma} \right]^{1/2} \approx S_A(\omega_b, \xi_b) \quad (5.60)$$

Sonuç olarak, küçük ε değerleri ve tipik bir tasarım spektrumu için yalıtım sisteminin tasarımı; başlangıç için, görelî taban spektral yer değıştirmesi $S_D(\omega_b, \xi_b)$ alınarak, üst yapının tasarımı ise taban kesme kuvveti katsayısı $S_A(\omega_b, \xi_b)$ alınarak yapılabilir. $C_s = S_A(\omega_s, \xi_s)$ olan bir yapı ile sismik yalıtımlı bir yapı karşılaştırılırsa, taban kesme kuvvetindeki azalma $(S_A(\omega_b, \xi_b) / S_A(\omega_s, \xi_s)) (< 1.0)$ oranı ile belirlenebilir.

5.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Hareket Denklemleri

Tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri, çok katlı yapılara da uygulanabilir. Yalıtım sisteminin her bir serbestlik derecesine ait yer değıştirme ifadesi, v : taban dōşemesine göre yer değıştirme, v_b : taban dōşemesinin yere göre yer değıştirmesi, M : kütle, C : sönüm matrisi, K : rijitlik matrisi olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = -[M]\{r\}(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (5.61)$$

r vektörü her bir serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan vektördür.

Bina ve yalıtım sisteminin oluşturduğu birleşik sistemin hareket denklemi;

$$r^T M(\ddot{v} + r \ddot{v}_b + r \ddot{u}_g) + m_b(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (5.62)$$

şeklinde yazılabilir. Diğer bir şekilde yazılırsa;

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{v}} + (\mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b) \ddot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{c}_b \dot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{k}_b \mathbf{v}_b = -(\mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b) \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (5.63)$$

bu denklemdaki $\mathbf{r}^T \mathbf{M} \mathbf{r}$: yapının toplam kütlesi olup; $(\mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b)$ ifadesi yalıtım sisteminin taşıdığı toplam kütledir.

Matris formda yazılacak olursa;

$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{K}^* \mathbf{v}^* = -\mathbf{M}^* \mathbf{r}^* \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (5.64)$$

$$\mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b & \mathbf{r}^T \mathbf{M} \\ \mathbf{M} \mathbf{r} & \mathbf{M} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_b & 0 \\ 0 & \mathbf{c} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{K}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_b & 0 \\ 0 & \mathbf{k} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{r}^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{v}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_b \\ \mathbf{v} \end{bmatrix} \quad (5.65)$$

Ankastre mesnetli yapılarda mod şekilleri biliniyorsa, mod şekillerinin terimleri kullanılarak, yapının her bir serbestlik derecesinde yer değiştirmesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i \phi^i \quad (5.66)$$

ve doğal frekanslar; $\phi^i \mathbf{C} \phi^j = 0$ ($i \neq j$) varsayımı yapılarak $\mathbf{M} \phi^i \omega_i^2 = \mathbf{K} \phi^i$ denklemiyle verilmiştir. Hareketin matris formu, yer değiştirmenin modal mod şekillerinin terimi olarak yazılmasıyla aşağıdaki denklem takımlarına dönüştürülebilir.

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{r}^T \mathbf{M} \phi^i \ddot{\mathbf{y}}_i + (\mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b) \ddot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{c}_b \dot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{k}_b \mathbf{v}_b = -(\mathbf{m}_s + \mathbf{m}_b) \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (5.67)$$

$$\ddot{\mathbf{y}}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{\mathbf{y}}_i + \omega_i^2 \mathbf{y}_i = -\mathbf{r}(\ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{u}}_g) \quad (5.68)$$

($i=1,2,\dots,N$)

$\mathbf{r}_i$: ankastre mesnetli yapı modlarının katılım çarpanı olup;

$$\mathbf{r}_i = \frac{\phi^{iT} \mathbf{M} \mathbf{r}}{\phi^{iT} \mathbf{M} \phi^i} \quad (5.69)$$

olarak verilebilir.

Ankastre mesnet durumunda da modal kütleler;

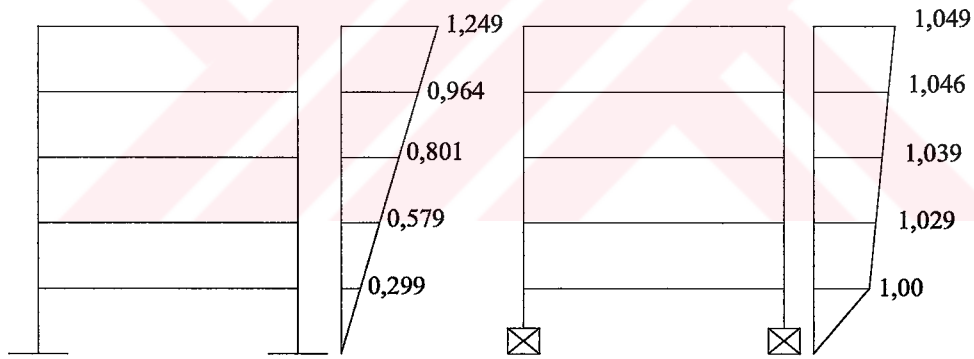
$M_i = \phi^i M \phi^i$ olarak ifade edilirse denklemler aşağıdaki (5.70) ve (5.71) bağıntıları haline getirilebilir;

$$\sum_{i=1}^N \frac{r_i M_i}{m_s + m_b} \ddot{y}_i + \ddot{v}_b + 2\xi_b \omega_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (5.70)$$

$$r_i \ddot{v}_b + \ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -r_i \ddot{u}_g \quad (5.71)$$

$$\{i=0,1,2,3,...,N\}$$

Genel olarak yalıtım sistemli yapılarda, birinci modun üstündeki modların üst yapıya ve yalıtım sistemli yapıya etkileri oldukça az olduğu görülmektedir. Bu nedenle hesaplarda birinci mod dikkate alınmakla yetinilmektedir. Bu sebeple çok serbestlik dereceli sistemin hareket denklemleri tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemlerine dönüştürülebilir.

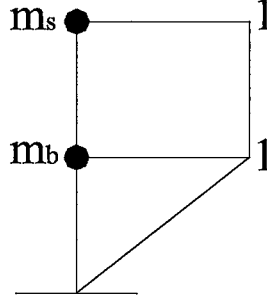


Şekil 5.2 Ankastre ve yalıtımlı altı katlı bir yapının birinci mod şekli

Chopra (1995), sismik yalıtımın sistem üzerindeki etkisini görmek amacıyla 6 katlı bir modeli sayısal olarak incelemiş sonuç olarak, yapının I. mod şekli için aşağıdaki değerleri elde etmiştir.

Şekil 5.2 den de görüldüğü gibi, I. mod için yalıtımlı sistemde, en alt kat ve en üst kat arasındaki fark oldukça küçüktür.

Bu durumda sistemde ilk moda ait mod şekli yaklaşık olarak aşağıdaki şekil 5.3'e ve (5.72) bağıntısına dönüşmektedir.



Şekil 5.3 Sismik yalıtımlı yapının birinci mod şekli

$$\phi_1 \cong \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.72)$$

Buradan da anlaşılacağı gibi; yapının deprem anındaki davranışının belirlenmesinde en önemli etkenin yapının birinci titreşim modu olmaktadır. Orta yükseklikteki binalar için, genelde birinci titreşim modunun yapının tüm davranışı içindeki payı % 90'lara kadar çıkabilmektedir. Hareket denklemlerinin çözümünden de anlaşılabilceği gibi; sismik yalıtımlı bir yapıda birinci titreşim moduna ait değerler, neredeyse ana yapıdan bağımsızlaşmakta ve yalıtım sisteminin özellikleri belirleyici olmaktadır (Chopra, 1995).

Sonuç olarak;

$$\Gamma_i \ddot{u}_b + \ddot{y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\Gamma_i \ddot{u}_g \quad (i=0,1,2,...,N) \quad (5.73)$$

$$\ddot{u}_b \text{ yerine } \Gamma_i \ddot{u}_b \text{ ve } \ddot{u}_g \text{ yerine de } \Gamma_i \ddot{u}_g \text{ ve } \gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b} \text{ yerine de } \gamma_1 = \frac{\Gamma_i^2 M_1}{(m_s + m_b)}$$

getirilirse;

$$\frac{\Gamma_i^2 M_1}{m_s + m_b} \ddot{y}_1 + (\Gamma_i \ddot{u}_b) + 2\xi_b \omega_b (\Gamma_i \dot{u}_b) + \omega_b^2 (\Gamma_i u_b) = -\Gamma_i \ddot{u}_g \quad (5.74)$$

$$(\Gamma_1 \ddot{v}_b) + \ddot{y}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{y}_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g \quad (5.75)$$

Bu denklemde y_1 ' in çözümü, tek serbestlik dereceli sistemde v_s 'ye karşılık gelmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemde yer değiştirme ve taban kesme kuvveti katsayıları aşağıdaki gibidir;

$$|v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b} S_A(\omega_b, \xi_b) \quad (5.76)$$

$$C_s = [S_A(\omega_b^*, \xi_b^*) + \varepsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_b^*, \xi_b^*)]^{1/2} \quad (5.77)$$

Çok serbestlik dereceli sistemlerde bu belirtilen ifadeler, aşağıdaki ifadelerle yer değiştirir ve görelî taban yer değiştirmesi aşağıdaki şekile dönüşür. Γ_1 terimi denklemin her iki tarafında da yer aldığı için sonuç öncekiyle aynıdır.

$$|\Gamma_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} \Gamma_1 S_A(\omega_b, \xi_b) \quad (5.78)$$

Taban kesme kuvvetini elde etmek için kullanılan maksimum modal koordinat aşağıdaki gibidir;

$$|y_1|_{\max} = \left[\frac{\varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \xi_b^*)}{\omega_b^{**}} + \frac{\varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*)}{\omega_s^{**}} \right]^{1/2} \quad (5.79)$$

ω_s^* ve ξ_s^* daha önce hesaplanmış olan değerle aynıdır. ε , $\varepsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yer değiştirir. Görelî yer değiştirme vektörü $v = y_1 \phi^1$ dir. Sönüm katılımları ihmal edilerek, her bir elemandaki atalet kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F = Kv = y_1 K \phi^1 = y_1 M \phi^1 \omega_1^2 \quad (5.80)$$

Üst yapı için toplam yatay kuvvet ise;

$$\Gamma^T F = y_1 \omega_1^2 \Gamma_1 M_1 \text{ şeklinde belirlenebilir.}$$

Taban kesme kuvveti C_s , ile ifade edilirse;

$C_s = m_s = \Gamma^T F$ olur. Böylece taban kesme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$C_s = \frac{\Gamma_1 M_1}{m_s} \left[\Gamma_1 S_A^2(\omega_b, \xi_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*) \right]^{1/2} \quad (5.81)$$

$$C_s = \frac{\Gamma_1 M_1}{m_s} \left[S_A^2(\omega_b, \xi_b) + (1 - \gamma_1)^2 \varepsilon^2 \Gamma_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \xi_s^*) \right]^{1/2} \quad (5.82)$$

6. TABAN İZOLASYONUNDA YÖNETMELİK KOŞULLARI

6.1 Giriş

Taban izolasyonlu yapılarla ilgili herhangi bir yönetmeliğin yürürlükte olmaması, depreme dayanıklı yapı tasarımında taban izolasyonu kavramının yaygın olarak kullanılamamasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, Structural Engineers Association of California tarafından "Recommended Lateral Design Requirement and Commentary " adlı kitap yayımlanmıştır. 1986 yılında da SEAOC'un alt komiteleri tarafından, "Tentative Seismic Isolation Design Requirements" kitabı yayımlanmıştır. Bu iki kitapta genel yaklaşımlar aynı olarak alınmış, deprem yükleri 50 yıllık periyotta aşma olasılığı % 10 olan maksimum değer olarak alınmıştır.

Diğer yönetmelikler, taban izolasyonlu hastane tasarımında, OSHPD tarafından geliştirilen, "An Acceptable Method For Design and Review of Hospital Building Utilizing Base Isolation 1989" dur. Genel olarak UBC ve SEAOC yönetmeliğindeki şartların aynısını içerir (Naeim, 2001).

1994 yılında UBC tarafından düzenlenen yönetmelik, statik hesabı sınırlandırmış, ankastre mesnetli yapılar için kullanılan düşey yük dağılımını düzgün yükten üçgen yüke dönüştürmüştür.

1997 yılında yeniden gözden geçirilen yönetmelik son haline getirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, taban izolasyonu alanında yürürlükte olan herhangi bir yönetmeliğin bulunmaması sebebiyle Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlükte olan 1997 UBC yönetmeliği kullanılmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlükte olan yönetmelikler, "International Conference of Building Officials" tarafından yayınlanmış olan "Uniform Building Code 1997 Edition (UBC)" ve Title 24, Part 2 of The California Code of Regulations, Division III (OSHPD-96)' tür.

6.2 UBC-97 Yönetmeliğindeki Taban İzolasyonlu Yapılara Ait Koşullar

6.2.1 Sismik Risk Düzeyi

Sismik Risk Düzeyini belirlemek amacıyla yönetmelikte iki risk düzeyi tanımlanmıştır.

* Tasarım esaslı deprem DBE “Design Basis Earthquake”

475 yıllık periyotlarda, 50 yıllık zaman diliminde, aşılma ihtimalinin % 10 olduğu yer hareketi.

* Olabilecek maksimum deprem MCE “Maximum Capable Earthquake”

1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman diliminde aşılma ihtimalinin % 10 olduğu yer hareketi.

6.2.2 Tasarım Yöntemleri

Yönetmelik, genel olarak, yer değiştirmenin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapının rijit olarak davrandığı varsayımının üzerine kurulmuştur. Bu nedenle de ilk titreşim modu önem kazanmaktadır.

Yönetmeliğin belirlediği minimum koşullar statik hesapla elde edilen, yer değiştirme ve kuvvetlerdir. Bu bakımdan statik hesap ön boyutlama ve tasarım öngörüsü için gereklidir.

Yönetmelik yerel zemin koşullarına bağlı olarak eğer izole edilecek yapı yumuşak zemindeyse veya aktif fay hattına 10 km uzaklıkta bulunuyorsa, yapının maksimum olabilecek deprem yükü altında periyodu 3 s’ den büyükse, spektral hesabı şart koşmuştur. Aynı zamanda tepki spektrumu hesabı, üst yapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise, dört kattan fazla ya da 19.8 m’den yüksekse zorunlu tutulmuştur. Zaman tanım alanında hesap, davranış spektrumu hesabı ile aynı koşullarda zorunludur.

6.2.3 Statik Hesap

Statik hesap formülleri, $Z=0.40$ zemin faktörü, $S=1$, %5 sönümlü ve sabit hızı 0.60 m/s olan “Applied Technology Council ATC” koşulundan belirlenmiş 1-3 s periyot aralığında hız spektrumuna göre hesaplanan yer değiştirme ve kuvvetleri kapsar.

$S_D = S_V / \omega = T/2 \pi \times Z/4 \times 0,60 = 0,25ZT$ m olarak alınır.

Spektrum, zemin faktörü ve sönüm etkileri ile diğer sismik bölgeler için de düzenlenerek tasarım yer değiştirmesine ulaşılır.

Yönetmelik, D tasarım yer değiştirmesi olarak adlandırılan, DBE düzeyinde rijitlik merkezindeki yer değiştirme D_T , toplam tasarım yer değiştirmesi olarak adlandırılan, D, yer değiştirmesi yönünde burulma yer değiştirmesi bileşenlerini de içeren, binanın köşesindeki bir mesnedin yer değiştirmesi D_{TM} , toplam tasarım yer değiştirmesi olarak adlandırılan, MCE düzeyinde hesaplanan toplam tasarım yer değiştirmesi hesabını da zorunlu kılmaktadır.

Tasarım yer değiştirmesi D, tüm tasarım sürecinin başlangıcıdır ve dinamik hesap gereksin yada gerekmesin hesaplanmalıdır.

Z, sismik bölge faktörü, N, aktif fay yakınlık faktörü, S_I , zemin faktörü, T_I , saniye cinsinden etkin periyot, B, sönüm katsayısı olmak üzere, tasarım yer değiştirme ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$D = \frac{0.25ZNS_I T_I}{B} \quad (\text{m}) \quad (6.1)$$

Ayrıca yönetmeliğe göre hesaplanması gereken iki temel yer değiştirme bulunmaktadır. Bunlar DBE düzeyindeki yer değiştirme, D_D ve MCE düzeyindeki yer değiştirme, D_M ' dir ve aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilmektedir.

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (\text{mm}), \quad D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \quad (\text{mm}) \quad (6.2)$$

Sismik bölge faktörü, bölge 1 için 0.75, bölge 4 için 0.40 arasında değerler almaktadır. Zemin faktörü de, zeminin üst 30.5 m' sinde kayma dalgasının hızına göre belirlenir. S_A ' dan S_E ' ye kadar zemin profil tipi olarak adlandırılır. S_A sert kaya zeminler için kayma hızı 1500 m/s' den büyük ve S_E yumuşak zeminler için kayma hızı 180 m/s' den küçüktür.

S_F sıvılaşma tehlikesi bulunan zayıf zeminleri temsil eder ve kayma hızına bağlı olarak

değerlendirilmez.

Sismik fay hatları, taşıdıkları riske göre üç gruba ayrılmıştır. A tipi faylar, yüksek aktiviteli ve büyük deprem üretme riskine sahipken, orta büyüklükte depremler oluşturabilecek düşük aktiviteli faylar C tipidir. A ve C tipi faylar dışındaki tüm fay hatları B tipi olarak adlandırılmıştır.

Aktif fay yakınlık faktörü de iki gruba ayrılmıştır, kısa periyotlu sabit ivmeli tepki spektrumu için N_a ve orta periyot aralığında tepki spektrumunun sabit hızlı bölümü için uygulanan N_v 'dir 10 km' den daha derinde olan fay kırılmalar için fay yakınlık faktörü ihmal edilebilir.

Yönetmelikte hesaplanması gereken altı farklı yer değiştirme vardır. Zemin profili tipleri altıya yükselmiş ve dört adet sismik katsayının hesabı gerekmektedir. Bölge 4'te sismik kaynak tipi ve sismik kaynak uzaklığına bağlı olarak N_a ve N_v , ZN_v 'ye bağlı olarak değişen M_M , N_a ve N_v 'ye bağlı olarak değişen C_{AM} ve C_{VM} 'nin de hesaplanması gerekmektedir.

M_M , MCE tepki katsayısı olarak adlandırılır. DBE karakteristiklerinde MCE tepkisini dikkate almak için kullanılır. M_M , ZN_v çarpımının bir fonksiyonu olarak $ZN_v=0.075$ için 2.67'den $ZN_v \geq 0.50$ için 1.20'ye kadar değer alır. Daha küçük DBE etkilerinde M_M değerinin büyük olmasının nedeni, depremselliği az olan bölgelerden, depremselliği yüksek olan bölgelere göre DBE ve MCE etkileri arasındaki farkın daha büyük olması şeklinde yorumlanabilir.

Tasarımda kullanılacak minimum spektral ordinatları tanımlamak amacıyla, C_{VD} , C_{VM} , ve C_{AD} , C_{AM} spektral sismik katsayıları kullanılmaktadır. C_{VD} , C_{AD} , DBE spektrumunun sabit hız ve sabit ivmesine karşı gelirken, C_{VM} , C_{AM} , MCE spektrumunun sabit hız ve ivmesine karşı gelmektedir. C_{VD} , C_{AD} sismik bölge faktörü ve zemin profilinin fonksiyonudur ve bu C_{VM} , C_{AM} için de geçerlidir. MCE tepki katsayısı C_{VM} , C_{AM} katsayılarında işleme dahil olur ve $M_M ZN_v$ veya $M_M ZN_a$ değerlerinden birinin 0.40'tan büyük olması durumunda ilgili grafikteki değerlerle çarpılır.

Sistemdeki etkin sönüm DBE düzeyinde β_D ve MCE düzeyinde β_M ' dir ve aşağıda verildiği

şekilde hesaplanır.

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{kuvvet - yer değiştirme alanı}}{K_{D,\max} D_M^2} \right), \quad \beta_M = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\text{kuvvet - yer değiştirme alanı}}{K_{M,\max} D_M^2} \right) \quad (6.3)$$

$K_{D,\max}$ ve $K_{M,\max}$ etkin rijitliklerdir. Sönüm azaltma faktörü B (DBE için B_D , MCE için B_M) ara değerlerin doğrusal enterpolasyonu ile bulunacağı, β 'nin bir fonksiyonudur.

6.2.3.1 Etkin Titreşim Periyotları

T_D ve T_M , DBE ve MCE tepkilerinin karşılığı olarak aşağıdaki gibidir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{D,\min} g}}, \quad T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{M,\min} g}} \quad (6.4)$$

W ; yapının ağırlığı, g ; yerçekimi ivmesidir.

$$K_{D,\text{eff}} = (F_D^+ - F_D^-) / (D_D^+ - D_D^-), \quad K_{M,\text{eff}} = (F_M^+ - F_M^-) / (D_M^+ - D_M^-) \quad (6.5)$$

$K_{D,\min}$ = Test sonucunda hesaplanan D_D yer değiştirmesindeki, $K_{D,\text{eff}}$ değerinin minimumu

$K_{D,\max}$ = Test sonucunda hesaplanan D_D yer değiştirmesindeki, $K_{D,\text{eff}}$ değerinin maksimumu

$K_{M,\min}$ = Test sonucunda hesaplanan D_M yer değiştirmesindeki, $K_{M,\text{eff}}$ değerinin minimumu

$K_{M,\max}$ = Test sonucunda hesaplanan D_M yer değiştirmesindeki, $K_{M,\text{eff}}$ değerinin maksimumu

$K_{D,\min}$, $K_{D,\max}$, $K_{M,\min}$, $K_{M,\max}$ değerleri ön boyutlama aşamasında bilinemezler.

K_{eff} için test ve malzeme özellikleri kullanılarak bir değer atanarak ön tasarıma başlanır. Ön boyutlama tamamlandıktan sonra prototipler üretilir ve test edilir. Prototiplere uygulanan testlerin sonucunda $K_{D,\min}$, $K_{D,\max}$, $K_{M,\min}$, $K_{M,\max}$ değerleri bulunur. F_D^+ , F_D^- , D_D^+ , D_D^- ve F_M^+ , F_M^- , D_M^+ , D_M^- terimleri, sistemin mekanik karakteristiklerini belirleyen, prototip mesnetlerdeki DBE, MCE tepki düzeylerine karşılık gelen maksimum kuvvet ve yer değiştirmelerdir. Test sonuçları ön boyutlama sonuçlarıyla karşılaştırılır. Dinamik hesap için statik hesabın bu sonuçları minimum değerleri oluşturmaktadır.

6.2.3.2 Toplam Tasarım Yer değıştirmeleri

Burulma etkilerini de içeren toplam tasarım yer değıştirme ifadeleri aşağıdaki gibidir.

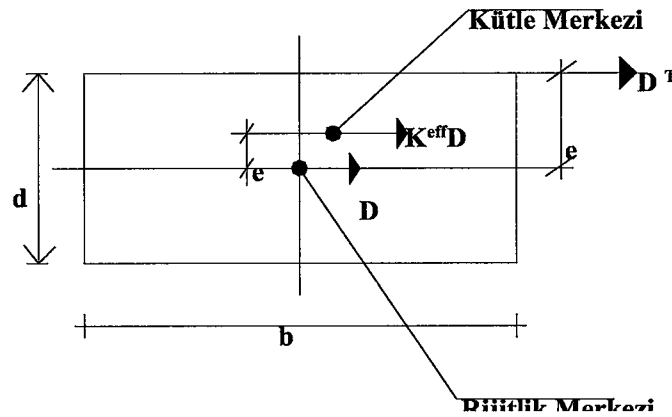
$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (6.6)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad (6.7)$$

Burada e dışmerkezlikle, % 5 ek dış merkezliğin toplamı, y deprem doğrultusuna dik kenar uzaklığıdır. Deprem yükü $K_{eff}D$ ' nin rijitlik merkezinden e mesafedeki kütle merkezine etkidığı düşünölmüştür. Şekil 6.1 de verilen ve boyutları $b \times d$ olan ve izolatörlerin düzgün yayılı olduğı planda burulma rijitliğı; $K_{eff}(b^2+d^2)/12$ 'dir ve dönme aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\theta = \frac{K_{eff}De}{K_{eff} \left[\frac{(b^2 + d^2)}{12} \right]} = \frac{12De}{b^2 + d^2} \quad (6.8)$$

Dönmeden dolayı oluşan ek yer değıştirme $\frac{12De}{b^2 + d^2} y$ olarak verilebilir. (6.9)



Şekil 6.1 UBC 97 Yönetmeliğine göre dış merkezliğı hesaba katan toplam yer değıştirme hesabı için plan boyutları ve tanımlar

Sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanırsa ve ek yer değiştirme yukarıdaki ifadeden küçük kalırsa, hesaplanan değer kullanılır. Bu değer, $1.1D_D$ ve $1.1D_M$ değerinden küçük olamaz. İzolasyon sisteminin stabilitesinin belirlenebilmesi için D_{TM} yer değiştirmesinin bilinmesi gerekmektedir.

6.2.3.3 Tasarım Kuvvetleri

İzolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımında kullanılacak olan kuvvetler, D yer değiştirmesine bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

$$V_b = K_{D,max} D_D \quad (6.10)$$

İzolasyon sistemini, üstünde bulunan elemanların tasarımında kullanılacak, tasarım kuvvetleri de aşağıda verildiği gibidir.

$$V_s \frac{K_{D,max} D_D}{R_1} \quad (6.11)$$

Buradaki R_1 süneklilik faktörüdür ve aşağıdaki tabloda ankastre mesnetli yapılarınki ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.1 Ankastre mesnetli yapı ve izolasyonlu yapı UBC 97 süneklığe bağlı azaltma faktörleri

Taşıyıcı Sistem	R_1	R
Moment aktaran çerçeve	2	8,5
Perde Duvarı	2	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dış merkez çaprazlı çerçeve	2	7

Çizelge 6.1 'de verilen tabloda dikkati çeken en önemli unsur, izolasyonlu yapıların azaltma katsayılarının, ankastre mesnetli yapılara oranla oldukça küçük olmasıdır. Bunun sebebi aşağıdaki nedenlerdir.

İzolasyon, yapı periyodunu arttırır. Yapı elastik sınırın ötesine geçtikçe, periyot büyür ve

yapıya gelecek deprem kuvveti azalır. Aynı zamanda, yapıdaki sönüm, elastik olmayan şekil değiştirmelerin artmasıyla yani histeretik davranış sebebiyle artar. Yeniden dağılım etkisiyle, kapasite üstü etkiler taşıyıcı sistemin tüm elemanları tarafından karşılanır. Taban izolasyonlu yapıda bu bahsedilen özelliklerden sadece yeniden dağılım ilkesi vardır.

Periyodun artması, izolasyon sisteminin etkinliğini öne çıkarır. Ankastre mesnetli yapı periyodu ile taban izolasyonlu yapı periyodu arasındaki ayırım azalır ve yapıya daha büyük kuvvetler etkir. Yüksek modların katkısı artar. Bu nedenle izolasyonlu yapının daha geç akmaya ulaşması istenir. Buna ek olarak, izolasyonlu yapının sönümü, ankastre mesnetli yapının sönümünden fazla olmaz. Büyük süneklik, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilir anlamını taşır bu nedenle izolasyonlu yapılarda R_I değerinin küçük alınması, hasar kontrolü anlamına da gelir. Hesaplanan V_s kuvveti aynı zamanda, UBC 97 yönetmeliğinin ankastre mesnetli yapılar için öngördüğü deprem yüklerinde, tasarım rüzgar yükünden, kurşun saplamalı kauçuk mesnetler için akma yükü, kayıcı mesnetler için akma sınırı olarak tanımlanan sistemi harekete geçiren yatay yükün 1.5 katından daha az olamaz.

6.2.3.4 Yatay Deprem Yüklerinin Katlara Dağılımı

Deprem yüklerinin katlara göre dağılımı aşağıdaki formül ile belirlenebilir.

$$F_x = V_s \cdot \frac{h_x \cdot w_x}{\sum w_i \cdot h_i} \quad (6.12)$$

Bu ifadede F_x ; x katındaki yatay kuvvet, V_s ; izolasyon sistemi üstündeki elemanların tasarımında kullanılacak taban kesme kuvveti, W_x ve W_i , x. ve i. katın ağırlıkları, h_x ve h_i ; izolasyon seviyesinden itibaren ölçülen kat yüksekliğidir.

Bu formülasyon, kurşun saplamalı kauçuk mesnedin ve kayıcı mesnetlerin doğrusal olmayan hareketlerinin oluşturacağı yüksek mod katkılarını da dikkate alacak şekilde, düşeyde üçgensel bir dağılım gösterir.

Üst yapıda katlar arası görelî kat ötelemesi $0,01/R_I$ değerini aşmamalıdır.

6.2.4 Dinamik Hesap

Yönetmelikte, MCE deprem ivmesi altında, periyot değerinin 3 saniyeden büyük veya eşit olduğu ya da zemin cinsi S_E veya S_F olduğu yada yapı aktif fay hattına 10 km mesafeden daha yakın olduğu durumlarda dinamik hesap yapılması zorunludur.

Ayrıca yönetmelik, izole edilmiş yapı periyodu, T_D ' nin, izolasyon sistemi üstündeki yapının, ankastre mesnetli yapı periyodunun 3 katından büyük olduğu durumlarda da dinamik hesap yapılmasını zorunlu kılmıştır. Eğer zemin koşullarına bağlı bir spektrum kullanılıyorsa, bu spektrum yönetmelik tepki spektrumunun % 80'inin altına düşemez.

- Dinamik hesap sonucunda, statik hesap sonucunda bulunan tasarım kuvvetlerinden daha küçük kuvvetler ya da yer değiştirme değerleri bulunabilir. Yönetmelik bu değerleri Çizelge 6.2 'deki gibi sınırlamıştır.

Çizelge 6.2 UBC 97 Yönetmeliğinde taban izolasyonlu yapılar için minimum değerler.

Parametre	Statik Analiz	Davranış Spektrumu Analizi	Zaman Tanım alanı Analizi
DID	$DID > 1,10 DD$	0,90DIM	0,90DIM
DIM	$DIM > 1,10 DM$	0,80 DIM	0,80 DIM
V_b	$V_b = k_d, \max DD$	$> 0,90 V_s$	$> 0,90 V_s$
V_s (Düzenli yapı)	$V_s = k_d, \max / RI$	$> 0,80 V_s$	$> 0,80 V_s$
V_s (Düzensiz yapı)	$V_s = k_d, \max / RI$	$> 1,0 V_s$	$> 0,80 V_s$
Görelî yerdeğiştirme	0,010/RI	0,015/RI	0,020/RI

6.2.5 Ön Tasarım

1. Sismik Bölge Faktörü (Z) : Sismik bölge UBC-97 Fig 16-2'den belirlenir ve buna karşı gelen sismik bölge faktörü Tablo 16-I' dan alınır.

2. Zemin Profil Kategorisi : UBC-97, Tablo 16-J' den seçilir.

3. Sismik Kaynak Tipi : Sismik fay hattına bağlı olarak UBC-97, Tablo 16-U' dan bulunur

4. Kaynak Yakınlık Faktörü (N_a ve N_v) : Sismik kaynak tipine göre UBC-97 Tablo 16-S

ve tablo 16-T' den belirlenir.

5. Olabilecek En Büyük Deprem Tepki Katsayısı (M_M) : Z ve N_V değerleri çarpılarak elde edilen ZN_V değerine göre UBC-97, Tablo A 16-D' den bulunur.

6 . Sismik Katsayılar (C_{VD} ve C_{AD}) : Sismik bölge ve zemin profiline bağlı olarak UBC-97 Tablo 16-R ve 16-Q' dan bulunur.

7. Sismik Katsayılar (C_{VM} ve C_{AM}) : $M_M ZN_V$ kullanılarak C_{VM} UBC-97 Tablo A-16-G ve $M_M ZN_A$ kullanılarak C_{AM} , UBC-97 Tablo A-16-F' den hesaplanabilir.

8. Yapısal Tepki Azaltma Faktörü (R_f) : UBC-97 Tablo A-16-E' den izolasyon sisteminin üzerindeki taşıyıcı sistem tipine göre seçilir.

9. Sönüm Katsayısının Belirlenmesi (B_D , B_M) : İzolasyon tipine bağlı olarak UBC-97 Tablo A-16-C' den belirlenir. Bu değer yüksek sönümlü kauçuk mesnet için % 10-12 ' dir. Sistemde etkin sönüm, β , DBE (Tasarım Depremi) ve MCE tepki düzeylerinde (β_D ve β_M) aşağıdaki gibi de hesaplanabilir.

$$\beta_D = 1/2 \pi (\text{kuvvet-yer değiştirme grafiğinin alanı} / K_{D,\max} D_D^2) \quad (6.13)$$

$$\beta_M = 1/2 \pi (\text{kuvvet-yer değiştirme grafiğinin alanı} / K_{M,\max} D_M^2)$$

Burada, $K_{D,\max}$, $K_{M,\max}$ etkin rijitliklerdir. Sönüm azaltma faktörü B (DBE için B_D ve MCE için B_M), ara değerlerin doğrusal enterpolasyonla bulunacağı, β 'nın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir. Bu fonksiyon, $1/B = 0,25(1 - \ln \beta)$ şeklinde yazılabilir. Çeşitli sönüm oranlarına karşı gelen sönüm katsayıları Çizelge 6.3' de verilmiştir.

10. İzolasyon Sisteminin Periyodu : (T_D) : Tasarım yer değiştirmesinin belirlenmesinde, ön bir değer atanır. Genelde taban izolasyonlu sistemlerde bu değer 2-3 s arasında alınmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerde eğrilik yarıçapıyla belirlenir.

Çizelge 6.3 Sönüm katsayıları

Efektif Sönüm kritik sönümün yüzdesi olarak	Sönüm Katsayısı
%2 ve aşağısı	0,8
% 10	1,0
% 20	1,5
% 30	1,7
% 40	1,9
% 50 ve yukarısı	2,0

11. İzolasyon Sistemi Efektif Rijitliği (K_{eff}) : Denklem 6.4'te verilen bağıntıyla hesaplanan periyoda bağlı etkin rijitliktir.

12. Minimum Tasarım Yerdeğiştirmesi (D_D) : Minimum tasarım yer değiştirmesinin ilk değeri denklem 6.2'de verilen ifadeyle hesaplanır. Eğer bu değer, proje için kabul edilen değerden büyükse, sistemi daha rijit bir hale getirmek gerekmektedir. Bunun için 9. adıma geri dönülerek periyot değeri küçültülür ve diğer adımlar tekrarlanır.

13. Minimum Tasarım Yatay Kuvvetleri (V_b , V_s) : Denklem 6.10, 6.11 deki formüller kullanılarak izolasyon sisteminin üstündeki yapı elemanlarının tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti ve izolasyon sisteminin altındaki yapı elemanlarının tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti belirlenir. V_s değeri için UBC-97 bölüm 1658.4.3 sınır değerleri de dikkate alınmalıdır. Eğer hesaplanan değerler, proje için kabul edilen değerlerin üzerindeyse, sistemin daha esnek seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sistem periyodu daha önceki basamakta büyük alınmalı ve diğer aşamalar tekrarlanmalıdır.

14. Üst Yapı Elemanları İçin Ön Tasarım : V_s değeri hesaplandıktan sonra, denklem 6.12 de verilen formülle her bir kata dağıtılır. Dağıtılan bu yatay yüke göre her bir kat elemanında gerilme tahkiki yapılır. Yatay yer değiştirme değerleri $0,010/R_I$ değeriyle karşılaştırılmalıdır. Davranış spektrumu analizi için katlar arası yer değiştirme sınır değeri $0,015/R_I$ ve zaman tanım alanına göre analizde de bu değer $0,020/R_I$ ' dir.

15. İzolasyon Sisteminin Tasarımı ve Plan Üzerindeki Yerleşimlerinin Belirlenmesi : Ön tasarım yer değiştirmesi, rijitlik ve sönüm özellikleri kullanılarak, düşey yükleri, yatay yükleri ve yer değiştirmeyi karşılayabilecek izolatörler tasarlanır. Her bir izolatöre bağlı kuvvet yer değiştirme eğrisi kurulmalı ve izolatör tasarımlarında bu eğrilerden yararlanılmalıdır. Kuvvet yer değiştirme eğrileri izolatör üreticilerinden temin edilebilir. Bu eğriler, üretici firmaların uyguladıkları kapsamlı testler sonucunda elde edilmiştir.

16. İzole Edilmiş Yapının Matematik Modelinin Oluşturulması : Ankastre mesnetli yapının ve izolasyonlu yapının matematik modelinin oluşturulması, UBC-97 Yönetmeliği'nin Bölüm 1659.5'inde şart koşulmuştur. Üreticiden sağlanacak kuvvet-yer değiştirme ilişkisine bağlı olarak modelleme SAP2000, ETABS gibi bilgisayar programları kullanılarak yapılabilir.

17. Tasarım Spektrumu Yaklaşımı : UBC-97 1657.bölümünde belirtilen şartlar altında ilgili parametreler kullanılarak deprem etkisi belirlenir.

18. Tasarım Yer değiştirmesi ve İzolasyon Periyodunun Kesinleşmesi : Uygun bir bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen üç boyutlu hesaplar sonucunda yer değiştirme ve sistem periyodu belirlenir. Dikkat edilecek husus, hesaplanan yer değiştirmenin ön tasarım değerleriyle aynı olmasıdır. Ön tasarımda alınan yer değiştirme değerlerinin minimum değerler olduğu unutulmamalıdır.

19. Etkin Rijitliğin Kesinleşmesi : Bilgisayarla yapılan hesaplar sonucunda çok farklı pozitif ve negatif tepki değerleri veren durumlar dışında aşağıda verilen ifadeler kullanılarak ta hesaplama yapılabilir.

$$K_{D,max} = K_{D,min} = \text{DBE Taban Kesme Kuvveti} / D_D$$

$$K_{M,max} = K_{M,min} = \text{MCE Taban Kesme Kuvveti} / D_M \quad (6.14)$$

20. Modelleme Sonucu Elde Edilen Periyodun Değerlendirilmesi : Matematik modelin tamamlanmasıyla elde edilen periyot değeri minimum değerler kullanılarak elde edilen

periyotla karşılaştırılması.

21. Modelleme Sonucu Elde Edilen Sönüm Seviyesinin Değerlendirilmesi : Modelleme sonucunda bulunan sönüm değeriyle, ön tasarımda alınan sönüm değerinin karşılaştırılması yapılır.

22. Tasarım Yer değiştirmeleri ve Tasarım Kuvvetlerinin Yönetmelik Minimum Değerleriyle Karşılaştırılması : Eğer hesaplanan yer değiştirme değeri yönetmelik minimum koşuluna uymuyorsa, eleman kuvvetleri ve şekil değiştirmeleri dahil olmak üzere tüm tepki kuvvetleri yönetmelik minimum değerlerine çıkartılmalıdır.

23. Prototip Mesnetlerin Test Sonuçlarına Göre Performansının Belirlenmesi : Prototipin test sonuçlarına bağlı olarak elde edilen, minimum ve maksimum sınır değerlerine göre matematik model tekrar oluşturulacak ve $K_{D,min}$, $K_{D,max}$, $K_{M,min}$, $K_{M,max}$ aşağıdaki ifadelerle yeniden hesaplanarak 20., 21., 22. kesin tasarım aşamaları, yeniden oluşturulan matematik model sonuçlarına göre tekrarlanacaktır.

$$K_{D,max} = \frac{\sum F_{D,max}^+ - F_{D,max}^-}{D_D^+ - D_D^-}, \quad K_{D,min} = \frac{\sum F_{D,min}^+ - F_{D,min}^-}{D_D^+ - D_D^-},$$

$$K_{M,max} = \frac{\sum F_{M,max}^+ - F_{M,max}^-}{D_M^+ - D_M^-}, \quad K_{M,min} = \frac{\sum F_{M,min}^+ - F_{M,min}^-}{D_M^+ - D_M^-} \quad (6.15)$$

7. ÜLKEMİZDE SİSMİK TABAN İZOLASYONU UYGULAMALARI

Bu bölümde, Ülkemizde sismik taban izolasyon sistemlerinin uygulandığı bazı örnekler irdelenecektir.

7.1 Bolu Viyadükleri

Ülkemizde 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde meydana gelen depremlerin büyüklükleri $M=7,4$ ve $M=7,2$ Richter olarak kaydedilmiştir. Bu depremlerden, Düzce ile Bolu arasında inşaa edilmiş, Anadolu Otoyolu'nda bulunan iki büyük viyadük oldukça etkilenmiştir. Bu iki viyadükte, depreme karşı sismik yalıtım sistemleri kullanılmıştır.

Sismik yalıtım sistemlerinin uygulanmış ve deprem geçirmiş yapı üzerinde gözlem yapılmış, sistemin avantajları ve eksikliklerinin incelenebilmesi açısından bu viyadüklerin sergilediği performans öğretici olmuştur.

7.1.1 Deprem Etkisindeki Yapıların Tanıtılması

İstanbul-Ankara Otoyolu'nun Gümüşova-Gerede kısmında üç adet sismik yalıtımlı köprü bulunmaktadır. 17 Ağustos depreminde maksimum yer ivmesi, tasarım yer ivmesine yakın bir değerdedir. Bu nedenle viyadüğün performansı beklenen değerden daha iyi olduğundan herhangi bir onarıma gerek duyulmamıştır. 12 Kasım depreminde ise maksimum yer ivmesi tasarlanan değerden oldukça yüksek gerçekleşmiş, viyadük ciddi hasarlar almış, ama yıkılmamıştır. Diğer bir viyadük ise depremi hasarsız olarak atlatabilmiştir.

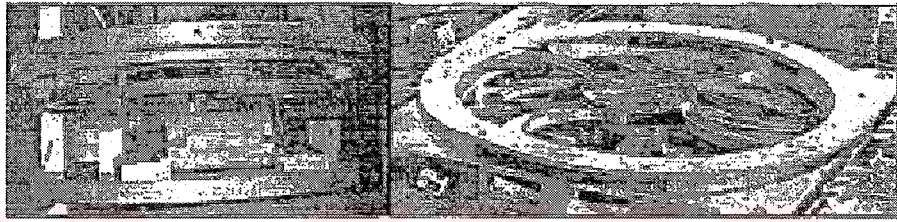
7.1.2 Yapıların Statik Tasarımı

Bütün köprüler, 36 m uzunluğunda, öngerilmeli prefabrik kutu kesitli kirişlerden teşkil edilmiştir. Her açıklıkta yedi adet kiriş mevcuttur. Açıklıklar, birbirleriyle prefabrike kirişlerin üstünde betonarme tabliye ile birleştirilmiştir. Böylelikle, bu şekilde birleştirilen açıklıklar sayesinde tabliye sisteminin, trafik yüklerine karşı iki ucundan basit mesnetli kiriş gibi; ısı, sünme, büzülme gibi uzun süre ile oluşabilecek ek yüklere ve depreme karşı ise on açıklıklı sürekli rijit bir sistem olarak çalışması öngörülmüştür.

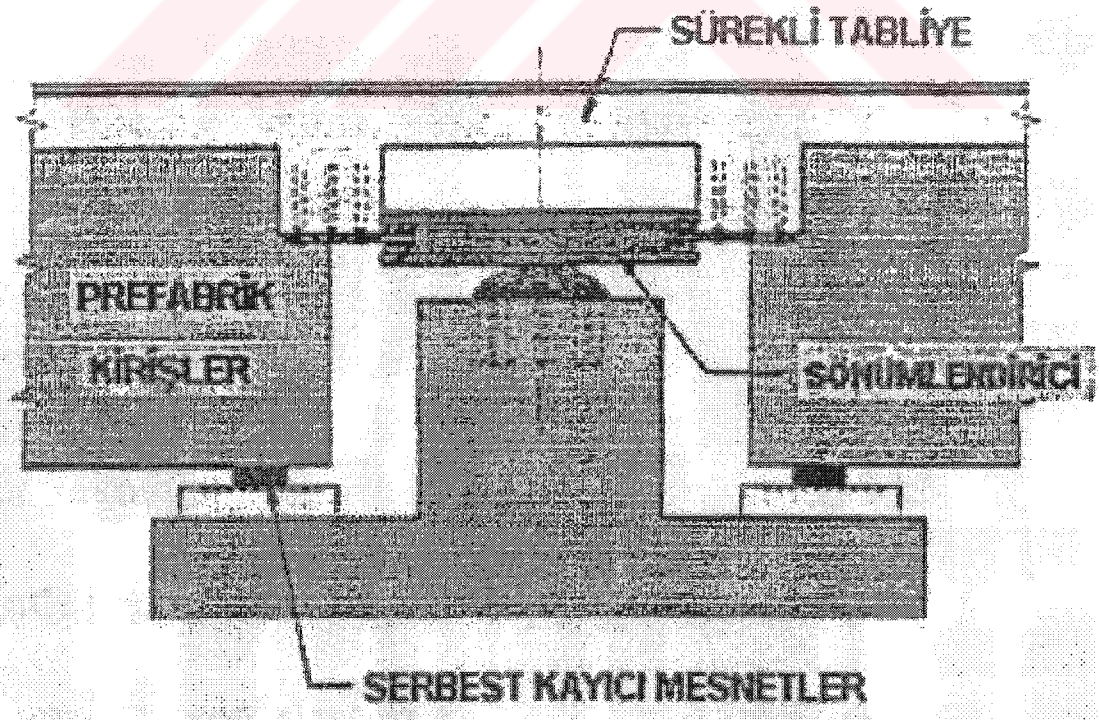
Tüm kirişler, serbestçe kayabilen mesnetler üzerine mesnetlendirilmiştir. Sürtünen yüzeyler paslanmaz çelik olarak tasarlanmıştır. İzolatörlere ek olarak, enerji sönümleyici mekanizmalar da sisteme dahil edilmiştir.

7.1.3 Deprem Yalıtım Donanımları

Kullanılan deprem yalıtım donanımları İtalyan Alga firması tarafından üretilmiştir. Bu sistemlerin en önemli özelliği; çevrimsel özellikte devirsel elemanların akması esasına dayalı olmasıdır. Yapılarda üç tip sismik enerji sönümleyici bulunmaktadır.



Şekil 7.1 Kullanılan sönümlendiricilerin yandan ve üstten görünüşleri

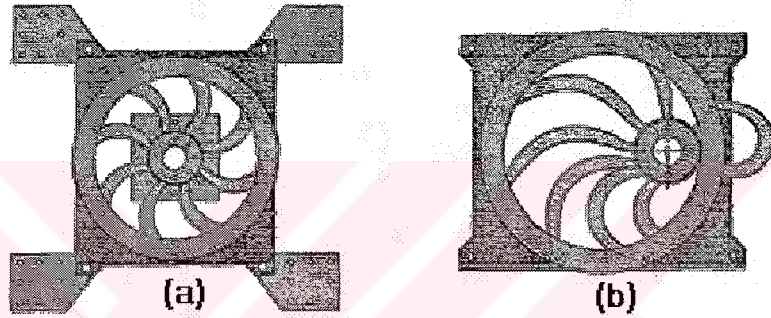


Şekil 7.2 Kullanılan yalıtım sistemlerin yerleşim detayı

7.1.3.1 EP Tipi Sönümleyiciler

Sistem, 16 adet C şeklinde çelik elemanlardan oluşmuştur. Her yönden etkiyen deprem için üniform davranış gösteren radyal simetrik bir düzenden ibarettir. Normal şartlar altında, yatay gelen rüzgar yüklerini karşılamak, betonarme köprü ayaklarına doğru olan sürtünmeli izolatörlerden kaynaklanmış sürtünme kuvvetlerini frenlemek ve sönümlendirme sistemine izin verilenden fazla kuvvetin gelmesini engellemek amacıyla sisteme dahil edilmişlerdir.

Köprünün ısı değişimi ile genleşmelerinden dolayı serbest bırakıldığı uçlarında bir tane, betonarme ayakların ortasında EP tipi sönümlendirici bulunmaktadır.



Şekil 7.3 Sismik donanımların (a) ilk hal (b) depremdeki deforme hali

7.1.3.2 VP Tipi Sönümleyiciler

Bu sistem, EP tipi sönümlendiriciye benzemektedir. Farkı, çevrimsel sönümleyiciye paralel iki hidrolik şok sönümleme biriminin bulunmasıdır. Bu birimler köprünün boyuna eksenine paralel olup, sünme, ısı değişimleri ve büzülme etkileri gibi etkilerine izin verir. Deprem esnasında ise neredeyse rijit hale gelirler ve davranış olarak EP sönümleyiciler gibi davranırlar.

7.1.3.3 VPJ Tipi Sönümleyiciler

Bu tip sistemlerde, köprünün betonarme ayaklarının üzerinde kirişlere uzama rijitliği sağlanacak yerlerde kullanılırlar. VP tipi ile aynıdır. Farkı, deprem kuvvetlerini birleşen açıklıklara değil de, uzun doğrultudaki köprü boyuna eksenini doğrultusundaki kuvvetleri sadece açıklığa dağıtmalarıdır.

7.1.4 Yapıların Davranışı

Yapılan incelemeler sonucunda, ölçülen maksimum yer değiştirme 90 mm' dir. Bu değer, çevrimsel sönümlendiricilerin, akma limitini aşacak şekilde yüklendiklerini ve tasarlandıkları enerji dağıtma performanslarını gösterdiklerini ifade etmektedir. Maksimum tasarım yer değiştirmesinin 320 mm olması, etkiyen depremin tasarım depreminden daha küçük olduğunu göstermektedir. Depremden sonra tüm çevrimsel sönümlendiriciler 1 mm hata ile eski pozisyonlarına dönmüştür. İncelemeler sonucunda, deprem anında bir viyadükte kirişlerin oturduğu betonarme ayak hareket etmiş, ayaklardan iki tanesi kendi eksenini etrafında 4° kadar dönmeye zorlandığı tespit edilmiştir. Dönen kesimlerin yerden yüksekliği 50 metre civarındadır. Kesitlerin 4° dönmesi, destek üzerindeki başlıkların ± 50 cm hareket etmesine neden olmuştur.

7.2 Atatürk Havalimanı

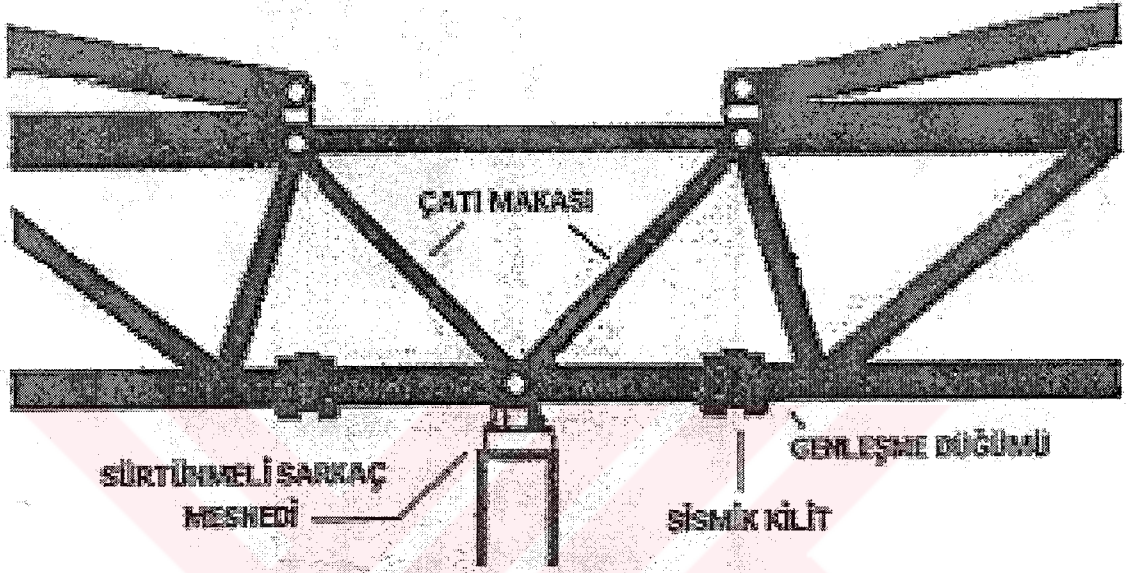
Yapının çelik çatısına sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtım sistemi uygulanarak, çelik çatıya hareket serbestliği kazandırılmıştır.

Çatıyı oluşturan uzay çerçevede, ısısal hareketlere imkan veren düğüm noktaları (expansion joints) eklenmiştir. Bu düğüm noktalarının sismik düğüm noktaları ile çakışmamasına dikkat edilmiştir. Yapıda giriş katı kolonlarının üzerine konulan sürtünmeli sarkaç tipi yalıtıcılar sayesinde çatıya yanal şekil değiştirme yapabilme yeteneği kazandırılmıştır. Bu sayede oldukça ağır çatı ile kolonlar birbirinden farklı çalışarak istenmeyen hasarlar engellenecektir.

Bu sistemle, çatı sistemi, deprem esnasında 26 cm hareket edebilecektir. Yalıtımlı periyodu 3 s olarak hesaplanmıştır. Sürtünen yüzeylerdeki sürtünme katsayısı 0,09 olarak alınmıştır. EPS (Earthquake Protection Systems, Inc. of Richmond, California, USA) teknolojisi ile üretilen toplam 130 adet sürtünmeli sarkaç mesnedi kullanılmıştır.

Sismik güçlendirmede, ısısal yer değiştirmelerde istenmeyen yer değiştirmeleri kontrol ederek düğüm noktadaki kontrolü sağlayan "LUD (Lock Up Devices)" adı verilen sismik kilitler kullanılmıştır. Bu kilitler, uzay çatı elemanlarının ısıdan dolayı genleşmesine yavaş yavaş izin

vermektedir ve deprem hareketi anında yer deşiştirmeler otomatik olarak kilitlemektedir. Seçilen cihaz, “Taylor Devices, Inc” tarafından üretilmiştir. şekil 7.4 te havalimanında uygulanmış sürtünmeli sarkaç tipi deprem yalıtıcıları gösterilmiştir.



şekil 7.4 elik çatının kolonla birleşim detayı ve uygulanan yalıtım mekanizması detayı

8. UYGULAMA I

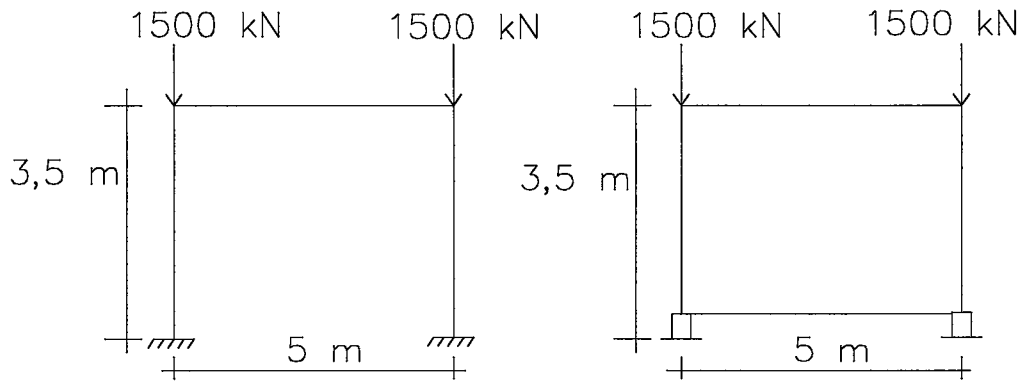
8.1 Giriş

Şekil 8.1 'de verilen rijit iki kolon ve bir kirişten oluşan tek serbestlik dereceli düzlem çerçeve tipi bir yapı için, ilk olarak bölüm 6' da bahsedilen yönetmelik minimum koşulları belirlenmiştir. Oluşturulan modelde, ikinci aşamada, Bölüm 5' te verilen teorik esaslar çerçevesinde, tek serbestlik dereceli sistemin Simpson yöntemi kullanılarak Duhamel integraliyle çözümü elde edilmiştir.

Oluşturulan düzlem çerçeve model, SAP2000 Nonlinear versiyonu paket programı kullanılarak, zaman aralığı 0,005 s ve maksimum ivmesi, 0,471 g olan toplam 5592 ivme kaydı bulunan 1992 Erzincan depreminin kuzey güney bileşeni, dikkate alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmıştır. İvme kaydı ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibidir;

Yer	:Erzincan Meteroloji Müdürlüğü
Koordinatlar	:39.752N- 39.487E
Tarih	:13/03/1992 17:18:39 (GMT)
Yön	:+L Kuzey
İvme kayıt sayısı	:5592
Zaman aralığı	:0.005000
Deprem Episantr koordinatları	:39.72N - 39.63E
Deprem Magnitüdü	:6.10 ML

Elde edilen sonuçlar, ankastre mesnetli yapı ve diğer mesnet tiplerine göre Duhamel integrali sonucuyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 8.1 Düzlem Çerçeve

Düzlem çerçevede; rijit kolonlar 35x35 cm, rijit kiriş, 25x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Malzeme olarak, BS25 seçilmiştir. Elastisite modülü, $E=30250000 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Çerçeve deprem yalıtımı seviyelerinde birbirine bağlanmış ve her bir düğüm noktasında rijit diyafram kabülü yapılmıştır. Düğüm noktalarında 150 tonluk statik düşey yükleme ve x, z yönlerinde $m=152,9 \text{ kNs}^2/\text{m}$ lik kütle tanımlanmıştır. Hesap sonuçlarıyla ilgili grafikler Ek 1'de bulunmaktadır.

8.2 UBC-97 Yönetmeliği Minimum Koşulları

1. Deprem bölgesi 4, $Z=0,40$

2. Zemin profil kategorisi; S_B

3. Sismik kaynak tipi; A

4. Kaynak yakınlık faktörü; $N_V=1,2$, $N_a=1,2$

5. Olabilecek en büyük deprem tepki katsayısı; $M_M=1,20$

6. $ZN_V=0,48$

7. $C_{VD}=0,40 \times 1,2=0,48$

8. $C_{AD}=0,40 \times 1,2=0,48$

9. $C_{VM}=1 \times 0,58=0,58$

10. $C_{AM}=1 \times 0,58=0,58$

11. Azaltma faktörü $R_1=2,0$

12. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerde, genellikle kritik sönümün % 20'si gibi bir sönüm oranına ulaşılabilirdiğinden $B_D=B_M=1,5$ olur.

13. Yapıda, sürtünmeli sarkaç mesnet yarıçapı 2,23 metre olarak alındığından, tasarım esaslı deprem için $T_D=3,0 \text{ s}$, olabilecek en büyük deprem için $T_M=3,2 \text{ s}$ değerlerinde periyoda sahip olması istenmektedir.

14.Etkin Rijitlikler

$$3=2\pi\sqrt{\frac{300}{K_{D,min}g}} \rightarrow K_{D,min}g=1341,68 \text{ kN/m}$$

$$3,2=2\pi\sqrt{\frac{300}{K_{M,min}g}} \rightarrow K_{M,min}g=1178,78 \text{ kN/m}$$

Rijitlik için % 10 sapma olabileceği düşünülürse;

$$K_{D,max}=1,10 \times 1341,68 / 0,90 = 1640 \text{ kN/m}$$

$$K_{M,max}=1,10 \times 1178,78 / 0,90 = 1440 \text{ kN/m}$$

15.Minimum yer değiştirmeler

$$D_D=(g/4\pi^2)C_{VD} \cdot T_D / B_D=(9,81/4\pi^2) \times 0,48 \times 0,3=0,239 \text{ m}$$

$$D_M=(g/4\pi^2)C_M \cdot T_M / B_M=(9,81/4\pi^2) \times 0,48 \times 0,3=0,307 \text{ m}$$

16.Yalıtım sisteminin altındaki taşıyıcı elemanların tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti;

$$V_b=K_{D,max} \times D_D=391,96 \text{ kN}$$

Yalıtım seviyesinin üstündeki taşıyıcı elemanlarda minimum kesme kuvveti;

$$V_b=K_{D,max} \times D_D / R_1=195,98 \text{ kN}$$

8.3 EPS Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli deprem yalıtım sisteminin ikili doğrusal matematik modelinin oluşturulması

Sürtünmeli sarkaç mesnedin mekanik özellikleri Ek A da belirtilmiştir. Earthquake Protection Systems Inc. firmasının ürettiği bu tip mesnetler A, B, C tipte olmak üzere üç çeşittir. İncelenen sistemde kolonların her biri 150 tonluk yükü yüklendiğinden B tipi mesnedin seçilmesi uygun görülmüştür. EPS, B, tipi mesnedin, tasarım basınç yükü 2265 kN (DCL), tasarım yer değiştirmesi 22,86 cm (DD) dir. Hesaplarda gerekli katsayıların belirlenmesi için

sürtünme katsayısı 0,05 olarak alınmıştır.

Sürtülmeli sarkaç modelinde, yapıya, sistemi sürtünme kuvvetinden daha az bir kuvvet etkidiğinde sistem sabit mesnetli bir yapı gibi davranır. Bir başka deyişle, kayıcı sistemi harekete geçirecek en küçük kuvvet, sürtünme kuvveti olmaktadır.

İlk olarak sisteme, $\mu \cdot W = 75$ kN yatay yükleme yapılmıştır. Burada $\mu = 0,05$, değeri izolatördeki yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısıdır. Bu değer sistemin karakteristik mukavemet değeridir. Yani, kayıcı sistemi harekete geçirecek en küçük kuvvettir. Bu yükleme sonucunda okunan yatay yer değiştirme $D_y = 0,01131$ m, sistemin akma yer değiştirmesidir. Buna bağlı olarak hesap için gerekli olan katsayıların bulunuşu aşağıda belirtildiği gibidir.

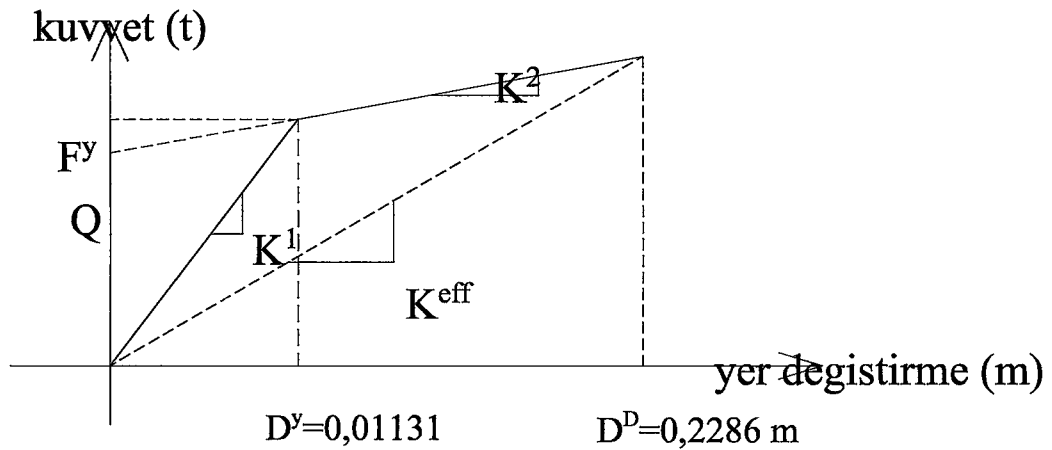
$$K_2 = W / R = 1500 / 2,23 = 448,4 \text{ kN/m}$$

$$D_y = 0,01131 \text{ m}$$

$$K_1 = \mu \times W / D_y = 0,05 \times 1500 / 0,01131 = 6631,3 \text{ kN/m}$$

$$Q = 65 \text{ kN}$$

$$K_{\text{eff}} = K_2 + Q / D_D = 672,65 \text{ kN/m}$$



Şekil 8.2 Sürtülmeli sarkaç mesnedin kuvvet yer değiştirme eğrisi değerleri

8.4 SCOUGAL Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetli Taban İzolasyonlu Sistemin İkili Doğrusal (Bilineer) Matematik Modelinin Oluşturulması

Bu tip mesnetler de üç tiptir. Kolonlar 1500 kN' luk yükle yüklendiğinden B tipi mesnet seçilmesi uygun görülmüştür. Scougal B tipi yüksek sönümlü mesneden fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Tasarım basınç yükü: 2265 kN (DCL)

Tasarım yer değiştirmesi : 22,86 cm (D_D)

Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) : 7,90 mm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (tr) : $0,0079 \times 24$ adet = 0,1896 m

Merkezdeki boşluk çapı (a) : 6,35 cm

Kauçuğun plan boyutu (b): 66,04 cm

Kayma modülü (G) : 400 kN/m²

Hesaplar;

Yüksek sönümlü kauçuk mesnette $K_1=6K_2$ kabulü yapılmıştır.

$$K_2 = GA/tr = 400 \times \pi \times (0,6604)^2 / 4 \times 0,1896 = 722,6 \text{ kN/m}$$

$$\lambda = 0,477$$

$$K_v = E_c A / tr, E_c = 6GS^2, S = \Phi / 4t = 20,89$$

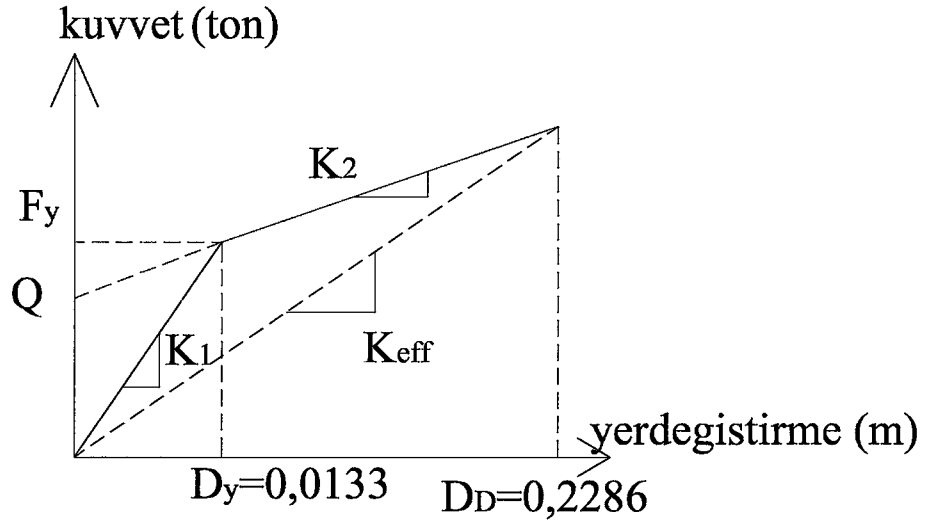
$$E_c = 6 \times 0,477 \times 40 \times 20,89^2 = 499580 \text{ kN/m}^2, K_v = 902450 \text{ kN/m}$$

$$Q = 0,032W = 48,15 \text{ kN}$$

$$D_y = Q / (K_1 - K_2) = 11,44 / 5 \times 722,6 = 0,0133 \text{ m}$$

$$K_{eff} = K_2 + Q/D_D = 933,2 \text{ kN/m}$$

$$F_y = Q + K_2 * D_y = 48,15 + 722,6 \times 0,0133 = 57,78 \text{ kN}$$



Şekil 8.3 Scougal yüksek sönümlü kauçuk mesneden kuvvet yer değıştirme eğrisi değeri

8.5 DIS Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemin ikili doğrusal (bilineer) matematik modelinin oluşturulması

Kolonlar 1500 kN'luk yükle yüklendiğinden B tipi mesnet seçilmesi uygun görülmüştür. DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesneden, hesaplamalar için gerekli olan bilgileri aşağıdaki gibidir.

Tasarım basınç yükü: 2265 kN (DCL)

Tasarım yer değıştirmesi : 22,86 cm (D_D)

Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) : 7,62 mm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (t_r) : $0,00762 \times 34$ adet tabaka = 0,25908 m

Kurşun çekirdek çapı : 12,07 cm

Kurşun akma dayanımı : 10000 kN/m²

Kauçuğun plan boyutu : 74,90 cm

Kayma modülü (G) : 400 kN/m²

Hesaplar;

Kurşun saplamalı mesnette $K_1=10K_2$ kabulü yapılmıştır.

$$K_2=GA/tr=400 \times \pi \times (0,479)^2/4 \times 0,25908=680,26 \text{ kN/m}$$

$$K_v=EcA/tr, Ec=6GS^2, S=\Phi/4t=24,57$$

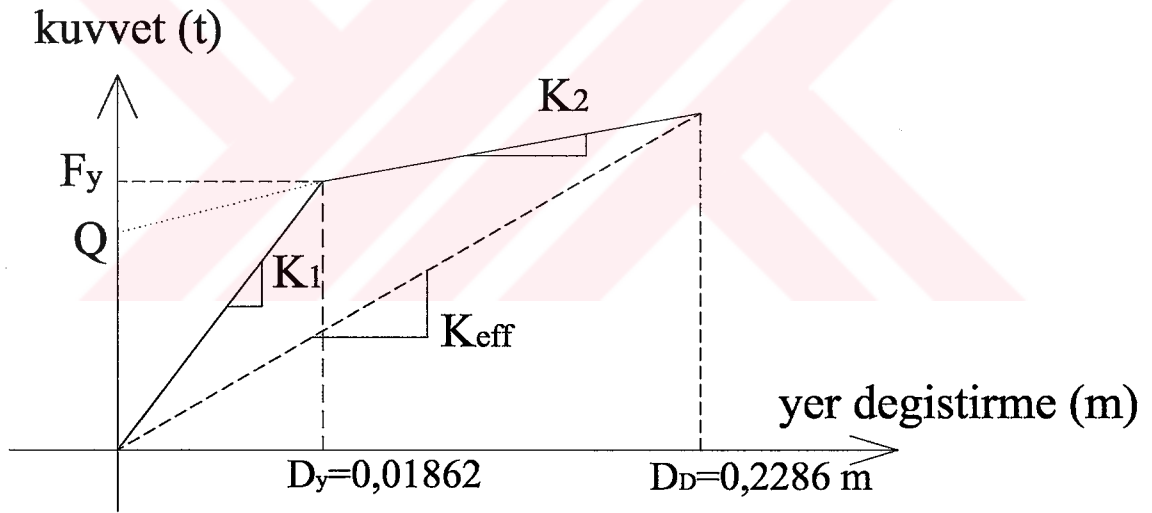
$$Ec=6 \times 400 \times 24,57^2=1448840 \text{ kN/m}^2, K_v=2466180 \text{ kN/m}$$

$$Q=f_y \times \text{kurşun alanı}=1000 \times (0,127)^2 \pi/4=11,44 \text{ t}$$

$$D_y=Q/(K_1-K_2)=11,44/9 \times 68,026=0,01862 \text{ m}$$

$$K_{eff}=K_2+Q/D=1180,69 \text{ kN/m}$$

$$F_y=Q+K_2 \times D_y=127,066 \text{ kN}$$



Şekil 8.4 DIS Kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet yer değıştirme ilişkisi

8.6 Deprem yalıtımlı sistemin Duhamel İntegrasyonu ile çözümlenmesi

İzolatörlerin içbükey yüzeyinin eğrilik yarıçapı $R=2,23 \text{ m}$ dir. Basit sarkaç formülüyle, $T=2\pi\sqrt{(R/g)}$ ifadesinden $T=3 \text{ s}$ olarak bulunur. Bu değer deprem yalıtımlı sistemin periyodudur. Bu durumda yalıtılmış yapının toplam ağırlığı, $W=3000 \text{ kN}$ olup, kütle, $m_s=3000/9,81=305,8 \text{ kNs}^2/\text{m}$, izolasyon kütlesi $m_b=2,12 \text{ kNs}^2/\text{m}$ olur ve denklem (5.8)

yardımıyla $\gamma = m_s / (m_s + m_b) = 0,9931$ olarak bulunur.

İzolasyon sistemi rijitliği, $k_b = W/R = 1345,29$ kN/m,

$k_s = \mu x W / Dy = 5332,4 \times 2 / 0,01131 = 10664,7$ kN/m olarak bulunur.

Denklem (5.7) ile, $w_b^2 = k_b / (m_s + m_b) = 4,40$ 1/s², $w_s^2 = k_s / m_s = 34,874$ 1/s² olarak bulunur.

Denklem (5.6) ile de, $\varepsilon = w_b^2 / w_s^2 = 4,40 / 34,874 = 0,126$ elde edilir.

Sürtünmeli sarkaç mesnedi kullanılan yalıtım sistemlerinde genelde kritik sönümün %20 si gibi bir sönüm oranı elde edilir. İlgili büyüklükler aşağıda hesaplanmıştır.

Denklem (5.6) ve (5.7) ile, $w_1^2 = w_b^2 (1 - \gamma \varepsilon) = 0,874 w_b^2 = 0,874 \times 4,40 = 3,85$ 1/s²,

$w_2^2 = w_s^2 (1 + \gamma \varepsilon) / (1 - \gamma) = 5686,64$ 1/s elde edilir. Denklem (5.28) ve (5.29) yardımı ile de $M_1 = 1,252M$ ve $M_2 = 0,007M \cong 0$ olarak elde edilir. Daha sonra $L_1 = 1 - 0,126 = 0,874$, $L_2 = 0,126$ olarak bulunur. Denklem (5.37) yardımı ile de $\xi_1 = 0,162$ olarak bulunur.

Bölüm 5'teki denklemler kullanılarak, zamana bağlı q_1 ve q_2 katsayıları, Duhamel integralinin, Simpson yöntemi kullanılarak sayısal hesabından bulunmuştur.

$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi_1 \omega_1 (t-\tau)} \sin \omega_1 (t-\tau) d\tau$ denkleminde sinüs açılımı yapılırsa,

$q_1 = -\frac{L_1}{\omega_1} e^{-\xi_1 \omega_1 t} [\sin \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\xi_1 \omega_1 \tau} \cos \omega_1 \tau d\tau - \cos \omega_1 t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{\xi_1 \omega_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau]$ olarak Duhamel

integrali düzenlenirse, $|q_1|_{\max} = 0,1237$ m olarak bulunur. Bu sonuç bölüm 5'te bahsedildiği gibi q_2 'nin çok küçük olduğunu dikkate alarak izolasyon sisteminin ya da izolatörlerin göreceli maksimum yer değiştirmesi olarak alınır.

Ayrıca, Bölüm 5'te denklem 5.49, 5.50 ve 5.58 ve 5.59 denklemleri yardımıyla sönüm oranı % 5 alınarak oluşturulan Erzincan depremi kuzey-güney yer değiştirme spektrumu grafiğinde, $T=3$ s'ye

karşı gelen değer 0,2131 m olarak okunmuştur. Bu değer sönüm oranının %20 olması durumunda $B_D=1,5$ sönüm katsayısına bölünerek, sönüm oranı % 20 olan bir sistemde $T=3$ s için yer değiştirme tepki spektrumu bulunur. Bu değer yukarıda hesaplanan $L_1=0,126$ değeri ile çarpılırsa, sonuç 0,1244 m olarak bulunur. Üst yapıda en büyük göreceli yer değiştirme

$$|v_s|_{\max} = 0,126 \times 0,1421 = 0,017805 \text{ m olarak bulunur. Taban kesme kuvveti katsayısı,}$$

$$C_s = w_s^2 |v_s|_{\max} = 0,017805 \times 34,874 = 18,98$$

Taban kesme kuvveti,

$$C_s = w_s^2 |v_s|_{\max} = 0,6209 \times 3000 / 9,81 = 189,8 \text{ kN olarak bulunur.}$$

8.7 SAP 2000 Paket Programında Deprem Yalıtımlı ve Ankastre Mesnetli Yapı Modeli ve Giriş Dosyasının Hazırlanması

Çerçeve düğüm noktaları ve çubuk elemanlar oluşturulduktan sonra üst yapıya ait tüm elemanların malzeme ve kesit özellikleri atanır. Mesnet özellikleri atandıktan sonra izolasyonlu sistemler için NLLINK elemanlarının tek düğüm noktalı çizimi gerçekleştirilir. Tüm düğüm noktalarında rijit diyafram (constraint, diaphragm) kabulü yapılarak statik yüklemeler tamamlandıktan sonra her bir düğüm noktasında yerel 1 ve 3 eksenleri doğrultularında kütleler tanımlanmıştır.

Deprem yükü olarak zaman tanım alanı fonksiyonu atanır. Hesaplarda kullanılan ivme kaydı ile ilgili bilgiler aşağıda belirtilmiştir. Burada zaman aralıkları, süresi atanırken, deprem kaydı, Accel Dır 1 fonksiyonu ile tanımlanmalıdır. Deprem her iki yönde de etki ettirilebilir. Yük atanması sırasında düşey yük RAMP fonksiyonu ile atanırken bu değerler ölçek değeri ile gerçek değerine getirilmelidir. NLLINK elemanların özellikleri tanımlanır. Hesap tipi, mod tipi, modal hesap için de eigen veya ritz yöntemlerinden biri seçilir. Son olarak program çalıştırılır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde yapılacak modal hesabında Ritz vektörlerinin kullanılması hesapta gerçekçilik açısından daha doğru olmaktadır (Wilson ve Habibullah, 2000).

Aşağıdaki tablolarda, SAP 2000 paket programında EPS tipi mesnet, DIS, tipi kurşun saplamalı kauçuk tipi mesnetlerin nasıl uygulanacağına ait tablolar verilmiştir. Sonuç olarak bu tip mesnetler için program çıktıları Ek 1 de dir.

Çizelge 8.1 EPS, sürtünmeli sarkaç mesnedin program parametreleri

EPS		Isolator 2 Tipi	B Tipi
Sürtünmeli Sarkaç	Toplam Ağırlık	20,838 (kN)	
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1 (Düşey)	Rijitlik (kN/m)	20000000	20000000
	Rijitlik (kN/m)	672,65	6631,3
	YHS Katsayısı	-	0,03
	DHS Katsayısı	-	0,05
U2 (Yatay)	a parametresi	-	100
	R çap (m)	-	2,23

Çizelge 8.2 DIS, kurşun saplamalı kauçuk mesnedin program parametreleri

DIS		Isolator 1 Tipi	B Tipi
Kurşun Saplamalı Kauçuk	Toplam Ağırlık	8,4938	
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1 (Düşey)	Rijitlik (kN/m)	2466180	-
	Rijitlik (kN/m)	1180,69	6802,6
U2 (Yatay)	Akma Dayanımı (kN)	-	127,06
	K2/K1	-	0,1

Çizelge 8.3 Scougal, yüksek sönümlü kauçuk mesnedin program parametreleri

Scougal		Isolator 1 Tipi	B Tipi
Kurşun Saplamalı Kauçuk	Toplam Ağırlık	6,342	
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1(Düşey)	Rijitlik (kN/m)	902450	-
	Rijitlik (kN/m)	933,2	4336,6
U2(Yatay)	Akma Dayanımı (kN)	-	57,78
	K2/K1	-	0,17

8.8 SAP 2000 Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 8.4 Hesap Sonuçları

Mesnet Tipleri	Sonuç Parametreleri	İzolator yer değiştirme (m)	Üst yapı max görel yer değiştirme (m)	Taban Kesme Kuvveti (kN)
	EPS	0,12653	0,01248	260,3
	Scougal	0,12004	0,0136	269,8
	DIS	0,11708	0,01876	388
	Duhamel İntegrali	0,1237	0,017805	189,8
	Ankastre Sistem	0	0,13813	3703,8

9. UYGULAMA II

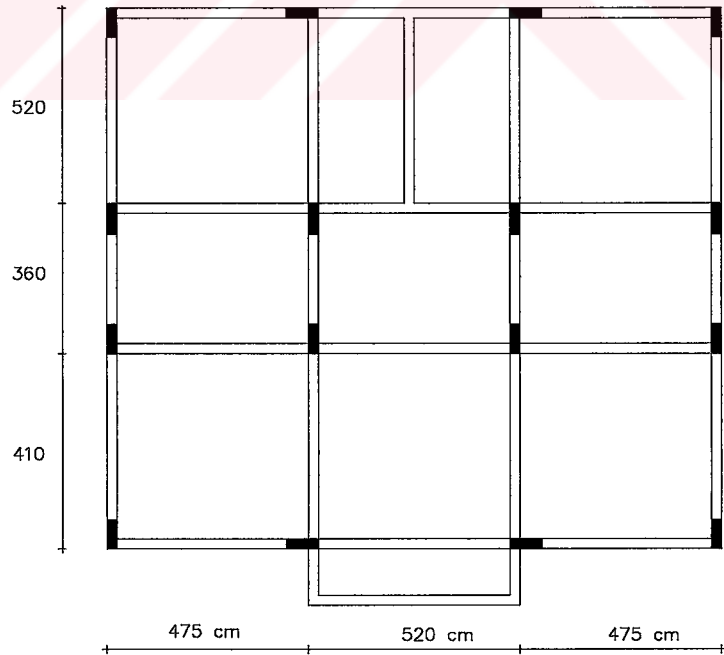
9.1 Giriş

Rijit kolon ve kirişlerden oluşan, üç katlı betonarme yapı ankastre mesnetli ve sismik yalıtımlı olarak SAP 2000 paket programı kullanılarak hesap edilmiştir. Ankastre sistem ve sismik yalıtımlı sistem için, zaman tanım alanında doğrusal hesap yapılmıştır.

Yapıda kolonlar; 30x50, kirişler 25x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Beton sınıfı, BS25, çelik sınıfı S420 olarak alınmıştır. Toplam bina ağırlığı 4611 kN olup kat yükseklikleri her bir katta 3 m' dir.

Şekil 9.1 de yapı planı verilen bu uygulamada diğer uygulamalardan farklı olarak özellikle yaygın olarak kullanılmakta olan kurşun saplamalı kauçuk mesnetler kullanılmış, boyutlandırma hesaplarına değinilmiştir.

İlk olarak, kurşun saplamalı kauçuk mesnetli yapı, UBC 97 yönetmeliğine göre tasarımı yapılmıştır. Daha sonra da boyutlandırma ile ilgili büyüklükler hesaplanmıştır.



Şekil 9.1 Yapı planı

Bu örnekte, zaman aralığı 0,005 s ve maksimum ivmesi, 0,471 g olan toplam 5592 ivme kaydı bulunan 1992 Erzincan depreminin kuzey güney bileşeni, dikkate alınarak zaman tanım alanında doğrusal hesap yapılmıştır.

Dış ve iç kolonların etkin rijitlikleri 315 MN/m ve 630 MN/m'dir. Her iki tip izolatör için etkin sönüm katsayısı 0,15 olarak alınmıştır.

9.2 UBC 97 Yönetmeliğinde İlgili Katsayıların Belirlenmesi

1. Deprem bölgesi 4, $Z=0,40$

2. Zemin profil kategorisi; S_D

3. Sismik kaynak tipi; A ($M \geq 7$)

4. Kaynak yakınlık faktörü; $\Delta > 0,15$, $N_V=1$, $N_a=1$

5. Olabilecek en büyük deprem tepki katsayısı; $M_M=1,20$

6. MCE tepki katsayısı, $ZN_V=0,48$

7. $C_{VD}=0,64$

8. $C_{AD}=0,44$

9. $C_{VM}=0,55$

10. $C_{AM}=0,80$

11. Azaltma faktörü $R_1=2,0$

12. Sönüm Azaltma Katsayısı $B=1,5$

Kurşun saplamalı kauçuk mesnet için efektif sönüm 0,15 olarak alınabilir.

9.3 Etkin Sistem Titreşim Periyotlarının Bulunması

İlk yaklaşımda, $T_D=2,3$ s, $T_M=2,7$ s olarak kabul edilmiştir. Yapıda kolonlar birbirlerinden farklı düşey yük aldıklarından bu yüklere bağlı olarak, iki tip kurşun saplamalı kauçuk

izolatör kullanılmıştır. Buna göre, kauçuk mesnetlerin kayma ve elastisite modülü aşağıdaki gibidir.

Büyük şekil değiştirmeler için $G_a=0,5$ MPa, $G_b=1,0$ MPa, $\gamma_{\max}=1,50$

Küçük şekil değiştirmeler için $G_a=0,7$ MPa, $G_b=1,4$ MPa, $\gamma=0,20$

Elastisite Modülü, $E_c= 2000$ MPa dır.

9.4 Minimum Yatay Rijitliklerin Bulunması

Yapıda dış kolonlara gelen normal kuvvet 350 kN, iç kolonlara gelen normal kuvvet 600 kN, olduğu belirlenmiştir.

Dış kolonların altına (a) tipi, iç kolonların altına da (b) tipi izolatörlerin konulması uygun görülmüştür.

$$(a) \text{ tipi için } K_{D,\min} = 4 \pi^2 W / T_{Dg} = 4 \times \pi^2 \times 0,35 / 2,3^2 \times 9,81 = 0,266 \text{ MN/m}$$

$$(b) \text{ tipi için } K_{D,\min} = 4 \pi^2 W / T_{Dg} = 4 \times \pi^2 \times 0,60 / 2,3^2 \times 9,81 = 0,456 \text{ MN/m}$$

$$(a) \text{ tipi için } K_{M,\min} = 4 \pi^2 W / T_{Mg} = 4 \times \pi^2 \times 0,35 / 2,7^2 \times 9,81 = 0,193 \text{ MN/m}$$

$$(b) \text{ tipi için } K_{M,\min} = 4 \pi^2 W / T_{Mg} = 4 \times \pi^2 \times 0,60 / 2,7^2 \times 9,81 = 0,456 \text{ MN/m}$$

9.5 Minimum Deplasmanların Bulunması

UBC 97 yönetmeliğine göre hesaplanan minimum deplasmanlar aşağıdaki gibidir.

$$D_{D,\min} = g C_{VD} T_D / B (4 \pi^2) = 9,81 \times 0,64 \times 2,30 / 1,35 \times 4 \times \pi^2 = 0,27 \text{ m}$$

$$D_{M,\min} = g C_{VM} T_M / B (4 \pi^2) = 9,81 \times 0,80 \times 2,70 / 1,35 \times 4 \times \pi^2 = 0,40 \text{ m}$$

9.6 Kurşun Saplama Çekirdek Mesnedine Ait Disk Çapının Belirlenmesi

$\gamma_{\max}=1,5$, $G_a=0,5$ MPa, $G_b=1,0$ MPa olarak alındığında, izolatör yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T=D_D / \gamma_{\max}=0,27 / 1,5=0,18 \text{ m}$$

İzolatör yüksekliği $t_r=0,20 \text{ m}$ olarak seçilebilir.

(a) ve (b) tipi kauçuk mesnetlerin kesit alanları ve çapları aşağıdaki gibidir;

$$\text{a tipi ; } A_a=K_D t / G_a=0,266 \times 0,2 / 0,5=0,1064 \quad D_a=(4A / \pi)^{1/2}=0,37 \text{ m}$$

$$\text{b tipi ; } A_b=K_D t / G_b=0,456 \times 0,2 / 1,0=0,0912 \quad D_b=(4A / \pi)^{1/2}=0,34 \text{ m}$$

a ve b tipi mesnetler için $D=0,4 \text{ m}$ seçilebilir. Daha sonra iki tip kauçuk mesnet için kesit alanı aşağıdaki gibi tekrar hesaplanır.

$$A=\pi D^2/4=0,126 \text{ m}^2$$

9.6.1 Sismik Yalıtılmış Yapıda Yeni Yatay Rijitliklerin Hesabı

$$\text{a tipi için; } K_D=AG_a/t_r=0,126 \times 0,5 / 0,2=0,315 \text{ MN/m}$$

$$\text{b tipi için; } K_D=AG_b/t_r=0,126 \times 1,0 / 0,2=0,630 \text{ MN/m}$$

9.6.2 Sistemdeki Toplam Yatay Rijitliğin Hesabı

$$\sum K_D=2 \times 0,315+2 \times 0,630=1,89 \text{ MN/m}$$

9.7 Sismik Yalıtılmış Yapının Titreşim Periyodu

$$T_D=2 \pi \sqrt{\frac{W}{K_D g}}=2 \pi \sqrt{\frac{1,9}{1,89 \times 9,81}}=2,012 \text{ s, bu değer tasarlanan hedef olan } 2,3 \text{ s' lik periyoda}$$

oldukça yakındır. Bu nedenle bu yaklaşım yeterlidir.

$$\gamma=D_D/t_r=0,27/0,20=1,35 < \gamma_{\max}=1,5 \text{ hesaplanan katsayı da istenilen sınırlar içerisinde.}$$

İzolasyonlu yapı için taban kesme kuvveti;

$$V_D=(\sum K_D)D_D=1,89 \times 0,27=0,51 \text{ MN/m}$$

$$V_{S,D}=(\sum K_D)D_D/R_i=V_D/R_i=0,51/2=0,255 \text{ MN/m}$$

$$V_{\text{ankastre}} = \frac{C_v I}{RT_D} W \geq 0,11 C_a I W$$

$$V_{\text{ankastre}} = \frac{0,64 * 1}{8 * 2,012} 1,89 \geq 0,11 * 0,44 * 1 * 1,89$$

$$V_{\text{ankastre}} = 0,0915 \text{ MN} \geq 0,075 \text{ MN}$$

$V_{S,D}$; UBC 97, Bölüm IV, 1658.4.3 no'lu şartı sağladığı görülmektedir.

9.8 Toplam Yatay Yer değiştirmenin Hesabı

Burulmanın da dikkate alındığı yer değiştirmedir.

$$e = 14,60 * 0,05 = 0,73 \text{ m}$$

$$x = 0,73 + (14,60/2) = 8,03 \text{ m}$$

$$d_{\text{toplaml}} = D_D \left(1 + \frac{12ex}{b^2 + d^2} \right) = 1,185 D_D$$

$$d_{\text{toplaml}} = 0,27 * 1,185 = 0,32 \text{ m}$$

9.9 Düşey Titreşim Periyodunun Bulunması

Kauçuk kalınlığı, t_0 aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$t_0 = D/40 = 400/40 = 10 \text{ mm}$$

Kullanılacak çelik levhaların kalınlığı standart olarak 2 mm dir. Elastomer tabakaların bir tanesinin kalınlığının hesabı için S; şekil faktörü hesaplanmalıdır.

$$S = D/4t_0 = 0,40/4 * 0,01 = 10$$

İki tipteki izolatörler için düşey kayma modülleri ve elastisite modülü aşağıdaki gibidir.

$$G_a = 0,70 \text{ MPa}, G_b = 1,40 \text{ MPa} E_c = 2000 \text{ MPa}$$

$$a \text{ tipi için } E_{\text{eff},v} = \frac{6GS^2 E_c}{6GS^2 + E_c} = 347 \text{ MPa}$$

b tipi için $E_{\text{eff},v}=592 \text{ MPa}$

Sistemdeki toplam düşey rijitlik,

$$\sum k_v = \frac{AE_{\text{eff}}}{t} = 1183 \text{ MN/m}$$

Düşey yer değiştirme;

$$\Delta t = Wt / (AE_{\text{eff}}) = W/k_v = 1,9/1183 = 0,0016 \text{ m}$$

Düşeyde periyot;

$$T_v = Th / (6S)^{1/2} = 2,012/24,5 = 0,082 \text{ s.}$$

9.10 Kayma Şekil Değiştirmesi ve Düşey Yükün Hesabı

9.10.1 Kayma Şekil değiştirmesinin Hesabı

$$\varepsilon_z = \Delta t/t = 0,0016/0,2 = 0,008 \quad \gamma_v = 6S\varepsilon_z = 6 \times 10 \times 0,008 = 0,48$$

a ve b tipi mesnetler için kayma şekil değiştirmesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\gamma_s = \tau / G = V_D/AG = K_D D_D/AG \text{ olmak üzere,}$$

$$\text{a tipi için; } \gamma_s = 0,315 \times 0,27 / 0,126 \times 0,50 = 1,35$$

$$\text{b tipi için; } \gamma_s = 0,630 \times 0,27 / 0,126 \times 0,10 = 1,35$$

Maksimum kayma deformasyonu,

$$\gamma_{\text{max}} = \gamma_s + \gamma_v = 0,48 + 1,35 = 1,83$$

9.10.2 Ortak Alan Hesabı

Ortak alan A' olmak üzere,

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

$$\sin \theta = D_D/D$$

$$\sin \theta = 0,27/0,4 = 0,675$$

$$\theta = 42,5^\circ$$

$$\theta = 0,7409 \text{ radyan}$$

$$\cos \theta = 0,738$$

$$A = 0,126 \text{ m}^2$$

$$A' = 0,266 \text{ m}^2$$

9.10.3 Göçme Yükünün Bulunuşu

$I = (\pi/4) \times (D/2)^4$ olmak üzere,

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{AG\pi^2 EI}{3t^2}} = 1,428 \text{ MN} > 0,60 \text{ MN}$$

burkulma riski bulunmamaktadır.

9.11 Kurşun Çekirdeğin Boyutlandırılması

$$d_t < t/1,5 = 0,20/1,5 = 0,13$$

Buna bağlı olarak; $d_t = 0,20 \text{ m}$ seçilir. Kurşun çekirdeğin alanı aşağıda verildiği gibi yeniden hesaplanmıştır;

$$A_{kurşun} = \pi d_t^2/4 = 0,031 \text{ m}^2$$

9.12 Akma Anındaki Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

Q_y ; akma kuvveti aşağıda verilen yaklaşımla belirlenmiştir;

$$Q_y = \tau_y A_{kurşun} = 10,5 \times 0,031 = 0,33 \text{ MPa}$$

Q_y 'nin hesabında diğer bir yol da ; çevrimsel döngü altındaki alanın belirlenmesidir.

$$A_{alan} = \beta (2 \pi K_D D_D^2) = 0,15 \times 2 \times \pi \times 1,88 \times 0,27^2 = 0,129 \text{ m}^2$$

$$Q_y = A_{\text{alan}} / 4D_D = 0,129 / 4 \times 0,27 = 0,12 \text{ MPa}$$

9.13 Çapın Kesme Kontrolü

Kauçuk mesneden elasto-plastik rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$K_2 = K_{\text{eff}} - Q_y / D_D = 1,88 - 0,12 / 0,27 = 1,44 \text{ MN/m}$$

$K_1 = 10K_2$ kabulüyle kauçuk mukavemeti, V_D aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$V_D = Q_y(1 - K_2/K_1) + K_2 D_D = 0,12 \times (1 - 1/10) + 1,44 \times 0,27 = 0,49 \text{ MN}$$

Kurşun çekirdeğin kesit alanı yeniden hesaplanırsa;

$$A_{\text{kurşun}} = Q_y / \tau_y = 0,12 / 10,5 = 0,0114 \text{ m}^2$$

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \times 0,0114}{\pi}} = 0,12 \text{ m dolayısıyla } d_f = 0,20 \text{ m olarak seçilen çap uygundur.}$$

9.14 Hesap Sonuçlarının İncelenmesi

Hesaplamalar sonucunda, ankastre sistemi periyodu $T = 0,63 \text{ s}$ olarak bulunmuştur. Kurşun saplamalı kauçuk izolatörlerin kullanıldığı durumda da periyot, $T = 2,14 \text{ s}$ olarak elde edilmiştir ki bu değer sismik yalıtımlı sistemde hedeflenen yapı periyodu olan $T = 2,3 \text{ s}$ 'ye oldukça yakındır. Çizelge 9.1 ' de verilen hesap sonuçları çizelgesi incelenecek olursa; $\Delta t = 0,005 \text{ s}$ 'de; ankastre sistemdeki kolon üst ucu deplasmanı $5,1 \text{ mm}$ 'den 138 mm 'ye çıkmaktadır. Eğilme momenti ise; $20,3 \text{ kNm}$ 'den $39,2 \text{ kNm}$ 'ye çıkmaktadır.

9.15 Sonuç

Sonuç olarak, sismik yalıtımlı durumda iç kuvvet tesirleri ankastre sisteme göre bir miktar artmıştır. Bununla birlikte, yapılan bu çalışma sonucunda, deprem yalıtımlı yapıda, katlar arası yer değiştirme ve kat ivme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Deprem yalıtımlı yapı ana frekansı, ankastre mesnetli yapı frekansına ve yer hareketinin hakim frekansına göre oldukça düşüktür. Yapının birinci mod şekil değiştirmesi, hemen hemen yalnızca taban seviyesinde olmaktadır ve üst yapı hemen hemen rijit bir davranış göstermektedir. Orta yükseklikteki

binalar için, birinci titreşim modunun yapının tüm davranışı içindeki payı % 90 mertebelerine kadar ulaşabilmektedir.

Çizelge 9.1 Hesap sonuçları çizelgesi

Parametre	Kat No	Ankastre Sistem	İzolasyonlu Sistem
Deplasman (mm)	3	7,8	139
	2	5,1	136
	1	2,9	132
	0	0	130
Eğilme Momenti (kNm)	3	12,2	17,2
	2	14,6	20,5
	1	17,9	34,2
	0	-	-

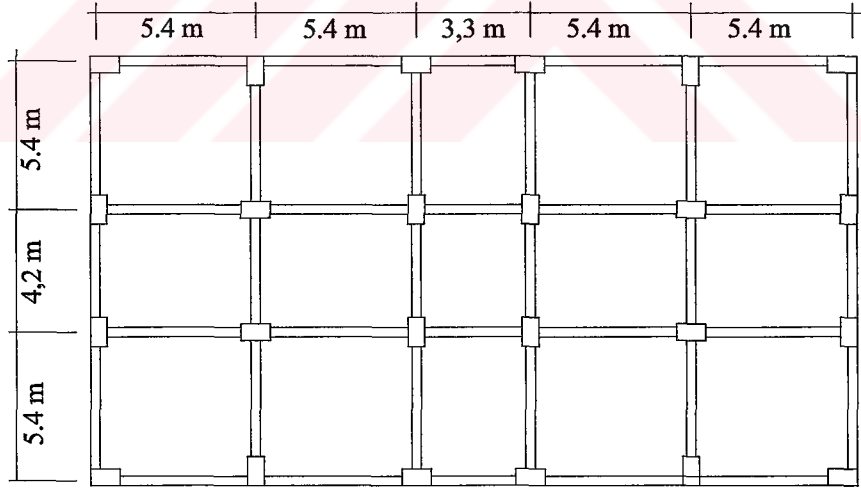
10. UYGULAMA III

10.1 Giriş

Rijit kolon ve kirişlerden oluşan 4 katlı betonarme bir yapı için, ilk olarak bölüm 6'da bahsedilen yönetmelik minimum koşulları belirlenmiştir. Oluşturulan model, SAP2000 Nonlinear versiyonu paket programı kullanılarak, lineer olmayan hesap yapılmıştır.

Bu uygulamada, önceki uygulamalarda olduğu gibi 1992 Erzincan depreminin kuzey güney bileşeni, dikkate alınarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmıştır.

Şekil 10.1'de de belirtildiği gibi rijit kolonlar I. katta 25x40 cm, 25x45, II. katta 25x35 cm, III. VE IV. katta 25x30 cm, rijit kirişlerin tamamı, 25x60 cm olarak boyutlandırılmıştır. İzolasyon seviyesinde 30x70 cm boyutlarında dikdörtgen kesitli kirişler kullanılmıştır. Tüm katlarda döşeme kalınlığı 12 cm dir. Malzeme olarak, BS25 seçilmiştir. Elastisite modülü, $E=30250000 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır.



Şekil 10.1 Yapı planı

Bu uygulamada; tüm kenar aks kolonlarının altında birer adet A tipi, orta aks kolonlarının altında ise birer adet B tipi olmak üzere toplam 24 adet DIS kurşun saplamalı kauçuk izolatörler kullanılmıştır.

10.2 UBC-97 Yönetmeliği Minimum Koşulları

1. Deprem bölgesi 4, $Z=0,40$

2. Zemin profil kategorisi; S_B

3. Sismik kaynak tipi; A

4. Kaynak yakınlık faktörü; $N_V=1,2$, $N_a=1,2$

5. Olabilecek en büyük deprem tepki katsayısı; $M_M=1,20$

6. $ZN_V=0,48$

7. $C_{VD}=0,40 \times 1,2=0,48$

8. $C_{AD}=0,40 \times 1,2=0,48$

9. $C_{VM}=1 \times 0,58=0,58$

10. $C_{AM}=1 \times 0,58=0,58$

11. Azaltma faktörü $R_1=2,0$ (Yapı moment aktaran çerçeve olduğundan, tasarım yükü azaltma faktörü)

12. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerde, genellikle kritik sönümün % 16,3'si gibi bir sönüm oranına ulaşılabildiğinden doğrusal enterpolasyon yapılarak $B_D=B_M=1,40$ elde edilmiştir.

13. Tasarım esaslı deprem için efektif sistem titreşim periyotları $T_D=3,0$ s, olabilecek en büyük deprem için $T_M=3,2$ s olarak alınmıştır.

14. Etkin Rijitlikler

$$3=2\pi\sqrt{\frac{12083}{K_{D,min}g}} \rightarrow K_{D,min}g=5402,85 \text{ kN/m}$$

$$3,2=2\pi\sqrt{\frac{1283}{K_{D,min}g}} \rightarrow K_{M,min}g=4748,6 \text{ kN/m}$$

Rijitlik için % 10 sapma olabileceği düşünülürse;

$$K_{D,max}=1,10.5402,85/0,90=6603,48 \text{ kN/m}$$

$$K_{M,max}=1,10.4748,6 /0,90=5803,84 \text{ kN/m}$$

15. Minimum yer değiştirmeler

$$D_D=(g/4\pi^2)C_{VD}.T_D / B_D=(9,81/4\pi^2).0,48.0,3/1,39=0,257 \text{ m}$$

$$D_M=(g/4\pi^2)C_M.T_M / B_M=(9,81/4\pi^2).0,48.0,3/1,39=0,332 \text{ m}$$

16. Yalıtım sisteminin altındaki taşıyıcı elemanların tasarımında kullanılacak minimum taban kesme kuvveti;

$$V_b=K_{D,max}.D_D=6603,48.0,257=1697,094 \text{ kN}$$

Yalıtım seviyesinin üstündeki taşıyıcı elemanlarda minimum kesme kuvveti;

$$V_b=K_{D,max}.D_D/R_1=1697,094/2=848,55 \text{ kN}$$

10.3 DIS Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli deprem yalıtım sisteminin ikili doğrusal matematik modelinin oluşturulması

Dynamic Isolation Systems Inc. firmasının ürettiği bu tip mesnetler A, B, C tipte olmak üzere üç çeşittir.

İncelenen sistemde A ve B tipi mesnedin seçilmesi uygun görülmüştür.

DIS A tipi mesnedin parametreleri aşağıdaki gibidir.

Tasarım basınç yükü : 667,23 kN (DCL),

Tasarım yer değiştirmesi : 15,24 cm (D_D) dir.

Toplam kauçuk tabaka sayısı : 20 adet

Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) : 0,762 cm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (t_r) : 0,762x20 adet=15,24 cm

Kurşun çekirdek çapı (a) : 9,53 cm

Kauçuğun plan boyutu (b): 57,15 cm

Kayma modülü (G) : 400 kN/m²

Kurşun akma dayanımı : 1000 kN/m²

Hesaplar;

Yüksek sönümlü kauçuk mesnette $K_1=10K_2$ kabulü yapılmıştır.

$$K_2=GA/tr=400 \times \pi \times (0,5715)^2 / 4 \times 0,1524 = 673,283 \text{ kN/m}$$

$\lambda=1$ (Kauçuğun plan düzleminde boşluksuz olduğundan)

$$K_v=EcA/tr, Ec=6GS^2,$$

$$S=\Phi/4t=57,15/4 \times 0,762=18,75$$

$$Ec=6 \times 400 \times 18,75^2=843750 \text{ kN/m}^2,$$

$$K_v=1420205,433 \text{ kN/m}$$

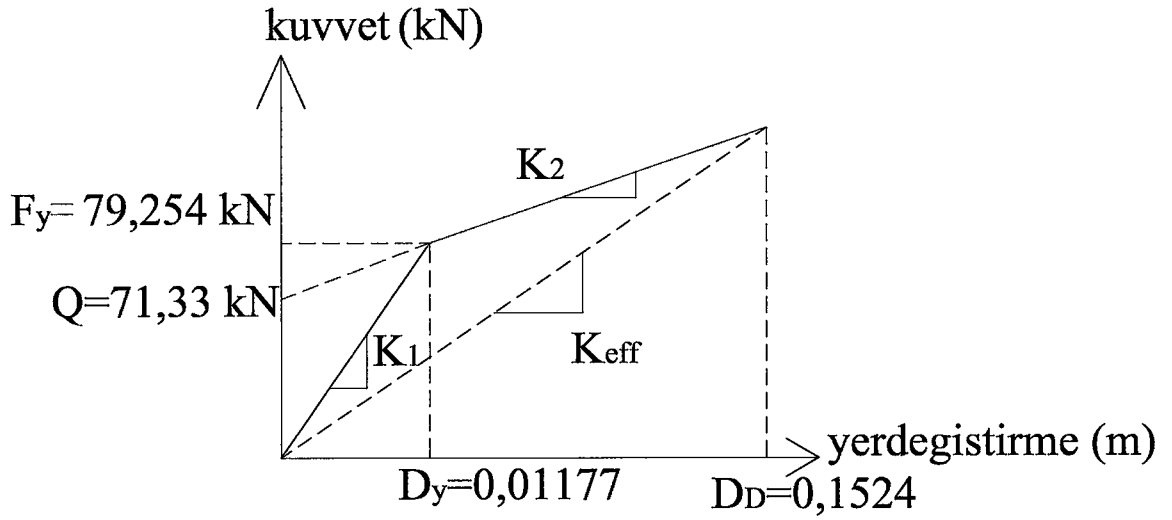
$$Q=10000 \times 0,0953^2 \pi / 4 = 71,33 \text{ kN}$$

$$D_y=Q/(K_1-K_2)=71,33/9 \times 673,283=0,01177 \text{ m}$$

$$K_{eff}=K_2+Q/D_D=673,283+(71,33/0,1524)=1141,33 \text{ kN/m}$$

$$F_y=Q+K_2 \times D_y=71,33+673,283 \times 0,01177 = 79,254 \text{ kN}$$

DIS A tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün matematik modellenmesinde kullanılacak parametreleri içeren bilineer (ikili doğrusal) kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 10.2 deki gibidir.



Şekil 10.2 DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

DIS B tipi mesnedin parametreleri aşağıdaki gibidir;

Tasarım basınç yükü : 2224,11 kN (DCL),

Tasarım yer değiştirmesi : 22,86 cm (D_D) dir.

Toplam kauçuk tabaka sayısı : 34 adet

Tek bir kauçuk tabakası kalınlığı (t) : 0,762 cm

Toplam kauçuk tabaka kalınlığı (tr) : $0,762 \times 34$ adet = 25,908 cm

Kurşun çekirdek çapı (a) : 12,065 cm

Kauçuğun plan boyutu (b): 74,93 cm

Kayma modülü (G) : 400 kN/m²

Kurşun akma dayanımı : 1000 kN/m²

Hesaplar;

Yüksek sönümlü kauçuk mesnette $K_1 = 10K_2$ kabulü yapılmıştır.

$$K_2 = GA/tr = 400 \times \pi (0,07493)^2 / 4 \times 0,25908 = 680,810 \text{ kN/m}$$

$\lambda=1$ (Kauçuğun plan düzleminde boşluksuz olduğundan)

$$K_v = E_c A / t_r, E_c = 6 G S^2,$$

$$S = \Phi / 4 t = 74,93 / 4 \times 0,762 = 24,583$$

$$E_c = 6 \times 400 \times 24,583^2 = 1450416370 \text{ kN/m}^2,$$

$$K_v = 145041616,70 \times \pi \times 0,7493^2 / (4 \times 0,25908) = 2468654,085 \text{ kN/m}$$

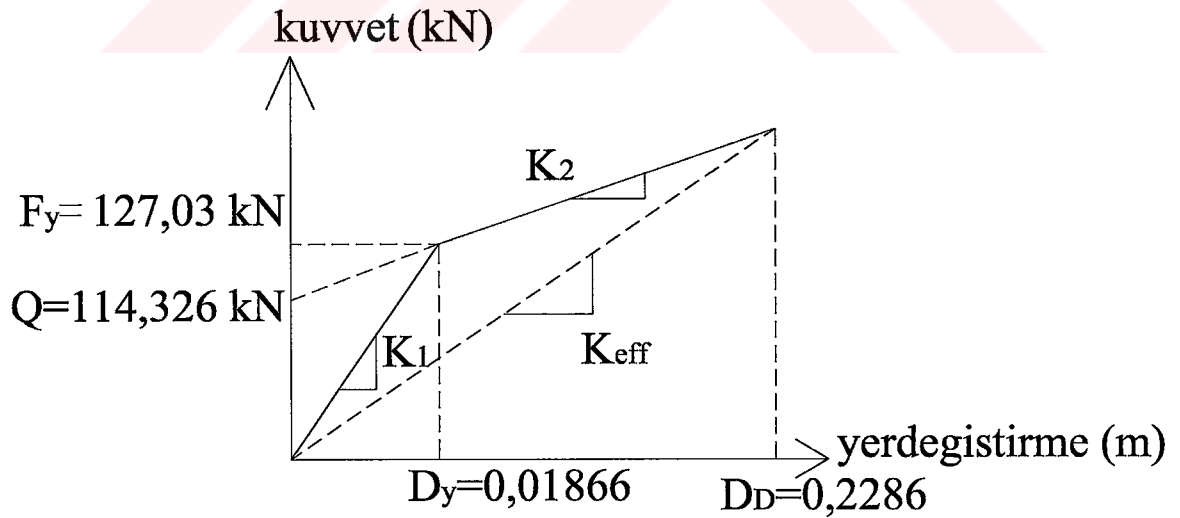
$$Q = 1000 \times 0,12065^2 \pi / 4 = 114,326 \text{ kN}$$

$$D_y = Q / (K_1 - K_2) = 114,326 / 9 \times 680,810 = 0,01866 \text{ m}$$

$$K_{\text{eff}} = K_2 + Q / D_D = 680,810 + (114,326 / 0,2286) = 1180,926 \text{ kN/m}$$

$$F_y = Q + K_2 \times D_y = 114,326 + 680,810 \times 0,01866 = 127,03 \text{ kN}$$

DIS B tipi kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün matematik modellenmesinde kullanılacak parametreleri içeren bilineer (ikili doğrusal) kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 10.3 deki gibidir.



Şekil 10.3 DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

Çizelge 10.1 DIS A tipi kurşun saplamalı kauçuk mesneden SAP 2000 program parametreleri

DIS	Tipi: A	Isolator 1	A Tipi
Yüksek Sönümlü kauçuk	Toplam Ağırlık	4,02703 kN	
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1(Düşey)	Rijitlik (kN/m)	1420205,4	-
	Rijitlik (kN/m)	1141,33	6732,83
U2(Yatay)	Akma Dayanımı (kN)	-	79,254
	K2/K1	-	0,1

Çizelge 10.2 DIS B tipi kurşun saplamalı kauçuk mesneden SAP 2000 program parametreleri

DIS	Tipi: B	Isolator 1	B Tipi
Yüksek Sönümlü kauçuk	Toplam Ağırlık	8,3404 kN	
Doğrultu	Özellik	Lineer	Nonlineer
U1(Düşey)	Rijitlik (kN/m)	2468654,1	-
	Rijitlik (kN/m)	1180,926	6808,12
U2(Yatay)	Akma Dayanımı (kN)	-	127,03
	K2/K1	-	0,1

Çizelge 10.1 ve Çizelge 10.2 de; U2 doğrultusundaki yatay doğrusal rijitlik önceden hesaplanan K_{eff} rijitliğini, doğrusal olmayan rijitlik ise izolatörün akma öncesi rijitlik değeri olan K_1 ' i gösterir. SAP 2000 programı; akma sonrası rijitlik değeri olan K_2 ' yi, K_2/K_1 oranından bulmaktadır.

10.4 Sonuçlar

Çizelge 10.3 X yönü için hesap sonuçları

X Yönü	Kat No	Ankastre Sistem	İzolasyonlu Sistem
Kat Ağırlık Merkezi Maksimum Yer değiştirme (m)	4	0,16455	0,19327
	3	0,14643	0,18532
	2	0,10028	0,17018
	1	0,0435	0,15452
İzolasyon seviyesi Maksimum Yer değiştirme (m)	-	-	0,14059
Taban Kesme Kuvveti (kN)	-	13030	3684

Çizelge 10.4 Y yönü için hesap sonuçları

Y Yönü	Kat No	Ankastre Sistem	İzolasyonlu Sistem
Kat Ağırlık Merkezi Maksimum Yer değiştirme (m)	4	0,13308	0,103
	3	0,11517	0,10038
	2	0,07465	0,094
	1	0,03119	0,084
İzolasyon seviyesi Maksimum Yer değiştirme (m)	-	-	0,08
Taban Kesme Kuvveti (kN)	-	9129	3084

Çizelge 10.5 Yapı için en yüksek kat ivme değerleri

	Kat No	Ankastre Sistem		İzolasyonlu Sistem	
		X Yönü	Y yönü	X Yönü	Y yönü
En Yüksek Kat İvmesi (m/sn²)	4	15,02	12,34	6,8	6,4
	3	13,14	10,4	5,8	5,4
	2	9,34	7,1	4,5	4,8
	1	4,76	3,4	4,4	5,13

10.5 Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapının ankastre mesnetli olarak hesabı sonucunda, Çizelge 10.5'te verildiği gibi, yapıya aktarılan ivmeler yapı temelinden üst katlara doğru artmaktadır. Aynı zamanda bu ivmeler, yer hareketinin ivmesini oldukça aşmaktadır. Buna karşın, deprem yalıtımlı yapının hesabı sonucunda, kat ivmeleri yapı temelinden üst katlara doğru çıkıldıkça yüksek bir artış göstermemekte ve daima yer hareketi ivmesinden daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

Çizelge 10.4 ve 10.5 'te de gösterildiği gibi, deprem yalıtımlı bir yapıda meydana gelen göreceli kat ötelemeleri, ankastre mesnetli yapıya göre çok daha azdır. En büyük yer değiştirme, yalıtım seviyesinde olmaktadır. Üst katlar hemen hemen rijit bir davranış göstermektedir. Bu durum, yapıda meydana oluşacak kesit tesirlerini azaltmaktadır.

Deprem yalıtımlı yapıda, ankastre mesnetli yapıdan elde edilen taban kesme kuvvetini %70 oranında azalttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- American Structural Engineering Design Provisions., (1997), “Uniform Building Code”, USA.
- ATC 17- Applied Technology Council, (1986), “Proceeding of a Seminar and Workshop on Base Isolation And Energy Dissipation, National Science Foundation” March, 1986.
- Ateş Ş., Dumanoglu A., (1999), “Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi”, TDV, Teknik Rapor TR 026-42, İstanbul, Eylül, 1999.
- Başer S., (2004), Computers and Structures Inc., Almanya
- Celep Z., Kumbasar N., (2000), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İkinci Baskı, İstanbul.
- Çağlar, M., C., (2002), Yapılarda Taban İzolasyon Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Chopra A. K., (1995), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- Computers and Structures Inc., (2002), SAP 2000 Analysis Reference Manual, Berkeley, California, USA.
- EPS, Earthquake Protection Systems, Seistech Corp., Richmond, California, USA, Nader Heyat.
- Federal Emergency Management (FEMA), 1998. Commentary on the National Earthquake Hazards Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building, FEMA-273, Washington, DC.
- Federal Emergency Management (FEMA), 1998. Commentary on the National Earthquake Hazards Reduction Program Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building, FEMA-274, Washington, DC.
- Kelly, J. M., Aseismic Base Isolation, Review and Bibliography, Soil Dynamics and Earthquake Engineering (1986), Vol. 5. No3 pp.(202-216)
- Kelly, J. M., Naeim, F., (2001), Seismic Design Handbook, New Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Kelly, J. M., Naeim, F., (1989), Design of Seismic Isolated Structures, John Wiley and Sons, Inc.
- Mostagel, N. and Khodaverdian, M., Dynamics of Resilient Friction Base Isolator (R-FBI), , Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.15 (1987) (pp.379-390)
- Mostagel, N. and Khodaverdian, M., Seismic Response of Structures Supported On R-FBI

Systems , Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.16 (1988) (pp.839-854)

Nagarajaiah, S., A. M. Reinhorn ve M. C. Constantinou, 1991, Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures, National Center for Earthquake Engineering Research, New York.

Polat, Z., (2000), Yapı Dinamiği Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, (yayımlanmamış)

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

Wilson, L., Edward., (2002), Three Dimensional Static Dynamic Analysis of Structures, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA. Professor's of University of Berkeley, California, USA.

Zayas, V., A., Low, S., S., Mahin, S., A., Bozzo L.,_Feasibility and Performance Studies on Improving The Earthquake Resistance of New Existing Building Using the Friction Pendulum System , Report No.UBC/EERC 89-09, University of California, Berkeley, 1989.

Zayas, V., A., Low, S., S., Mahin, S., A., A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation, Earthquake Spectra, 6, 2 (1990) 317-333

Zayas, V., A., Low, S., S., Mahin, S., A., Bozzo L.,_Feasibility and Performance Studies on Improving The Earthquake Resistance of New Existing Building Using the Friction Pendulum System , Report No.UBC/EERC 89-09, University of California, Berkeley, 1989.

EKLER

Ek 1 Uygulama 1: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları

Ek 2 Uygulama 2: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları

Ek 3 Uygulama 3: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları



Ek 1 Uygulama 1: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları

EPS Sürtünmeli Sarkaç Mesneti İçin SAP 2000 Programı Hesap Sonuçları

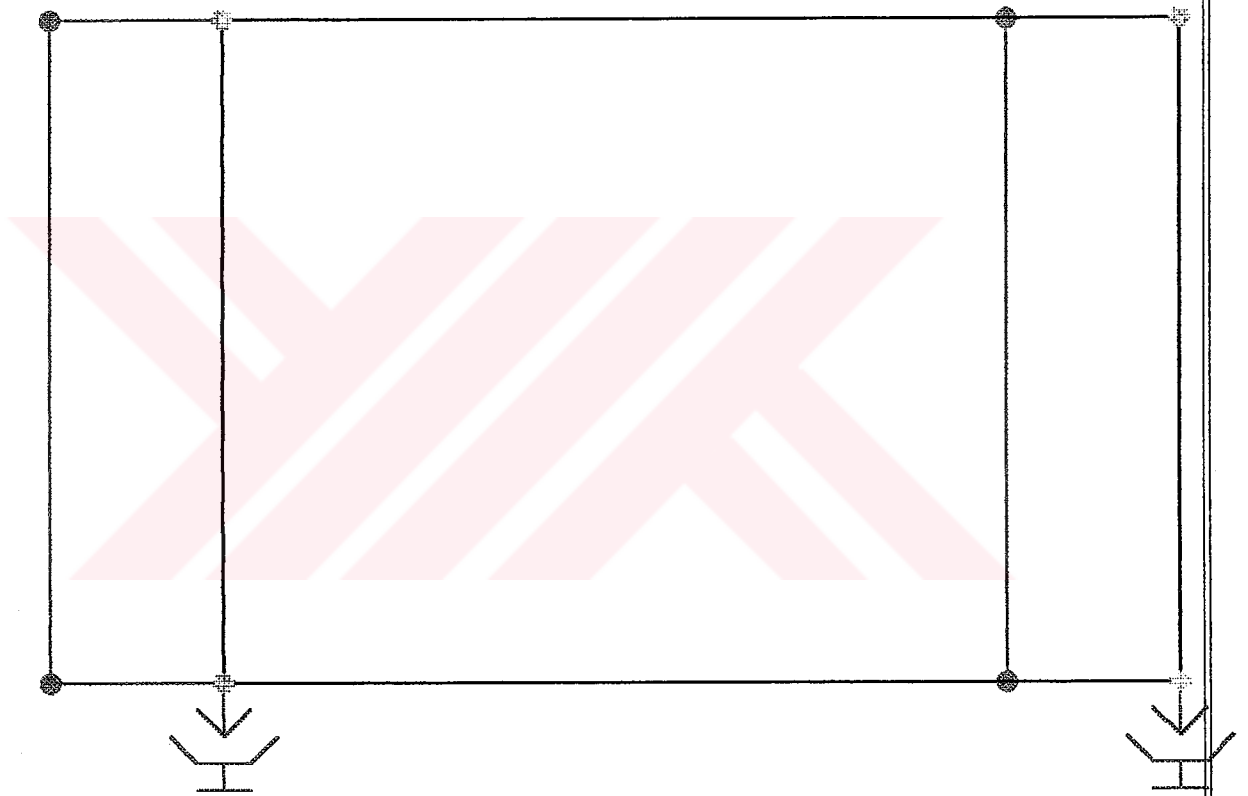
- Şekil Değiştirmiş Durum
- Deplasman-Zaman Grafiği
- İvme- Zaman Grafiği
- Shear 2-2 Zaman Grafiği
- Base Shear X –Time Grafiği
- Pseudo Spektral İvme (X Yönü)

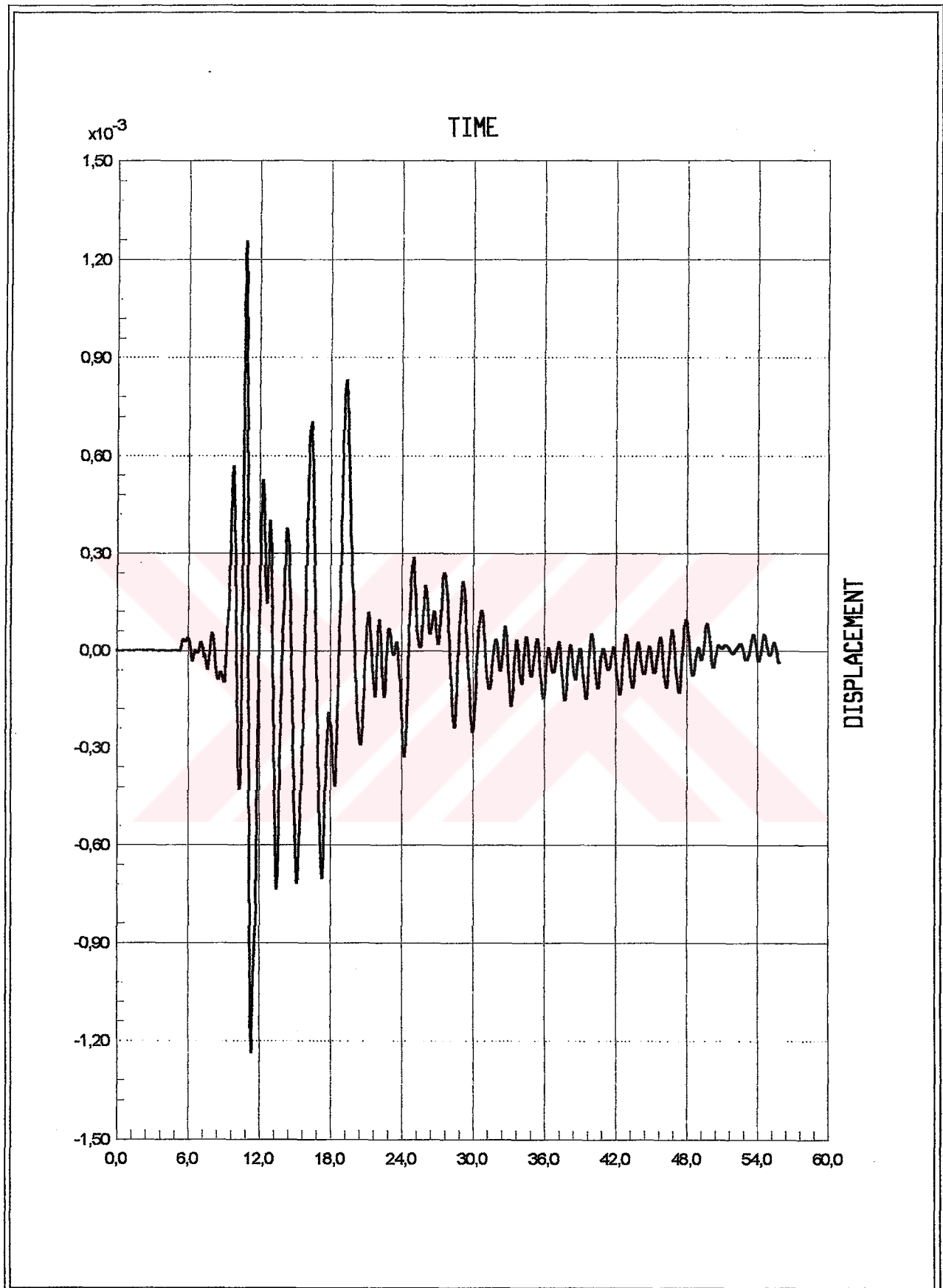
Scougal Kurşun Saplmalı Kauçuk Mesneti İçin SAP 2000 Programı Hesap Sonuçları

- Şekil Değiştirmiş Durum
- Deplasman-Zaman Grafiği
- İvme- Zaman Grafiği
- Shear 2-2 Zaman Grafiği
- Base Shear X –Time Grafiği
- Pseudo Spektral İvme (X Yönü)

DIS Kurşun Saplmalı Kauçuk Mesneti İçin SAP 2000 Programı Hesap Sonuçları

- Şekil Değiştirmiş Durum
- Deplasman-Zaman Grafiği
- İvme- Zaman Grafiği
- Shear 2-2 Zaman Grafiği
- Base Shear X –Time Grafiği
- Pseudo Spektral İvme (X Yönü)

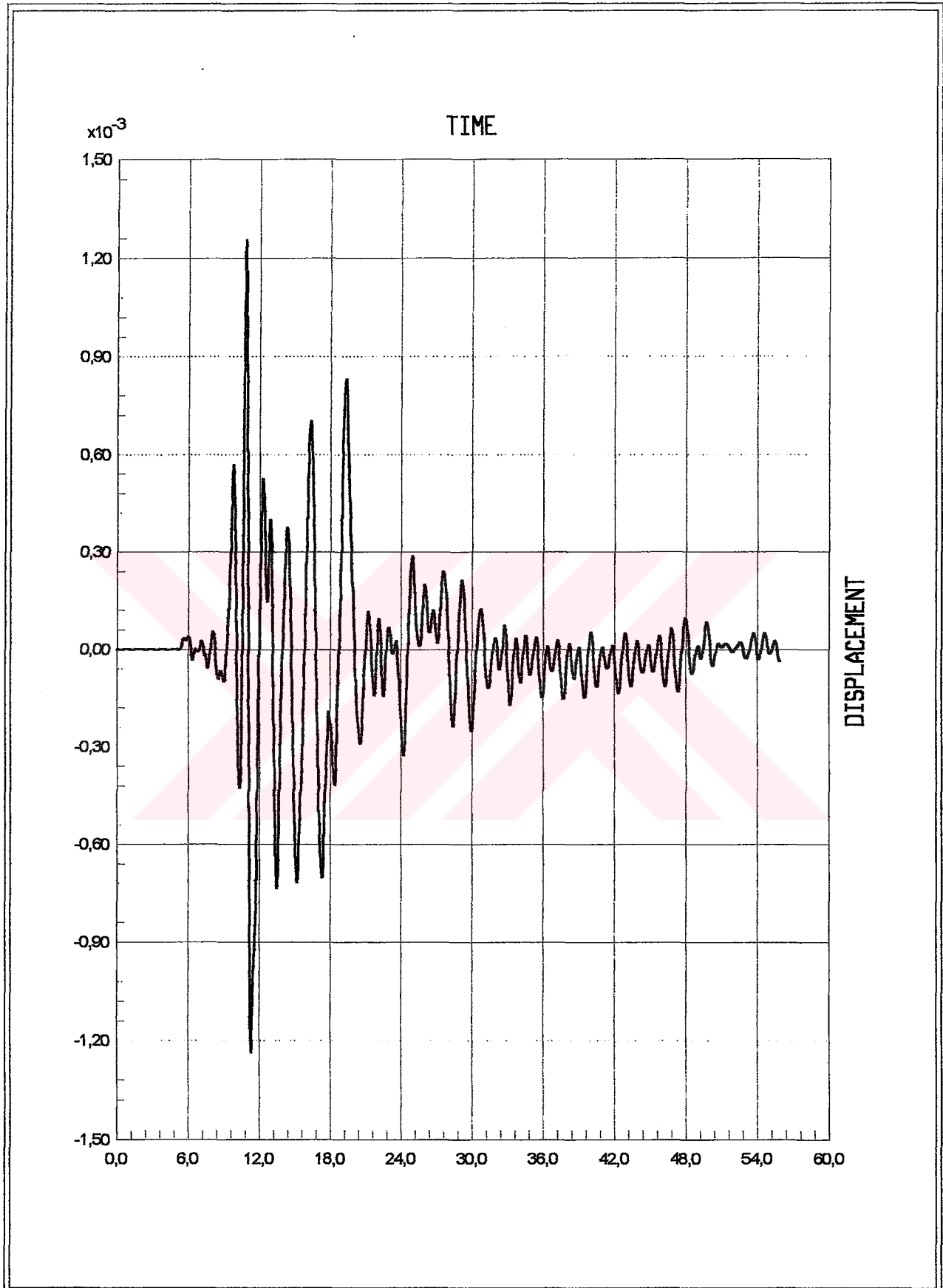




SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_epsV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint2: Joint 2 Displacement UX Vs TIME

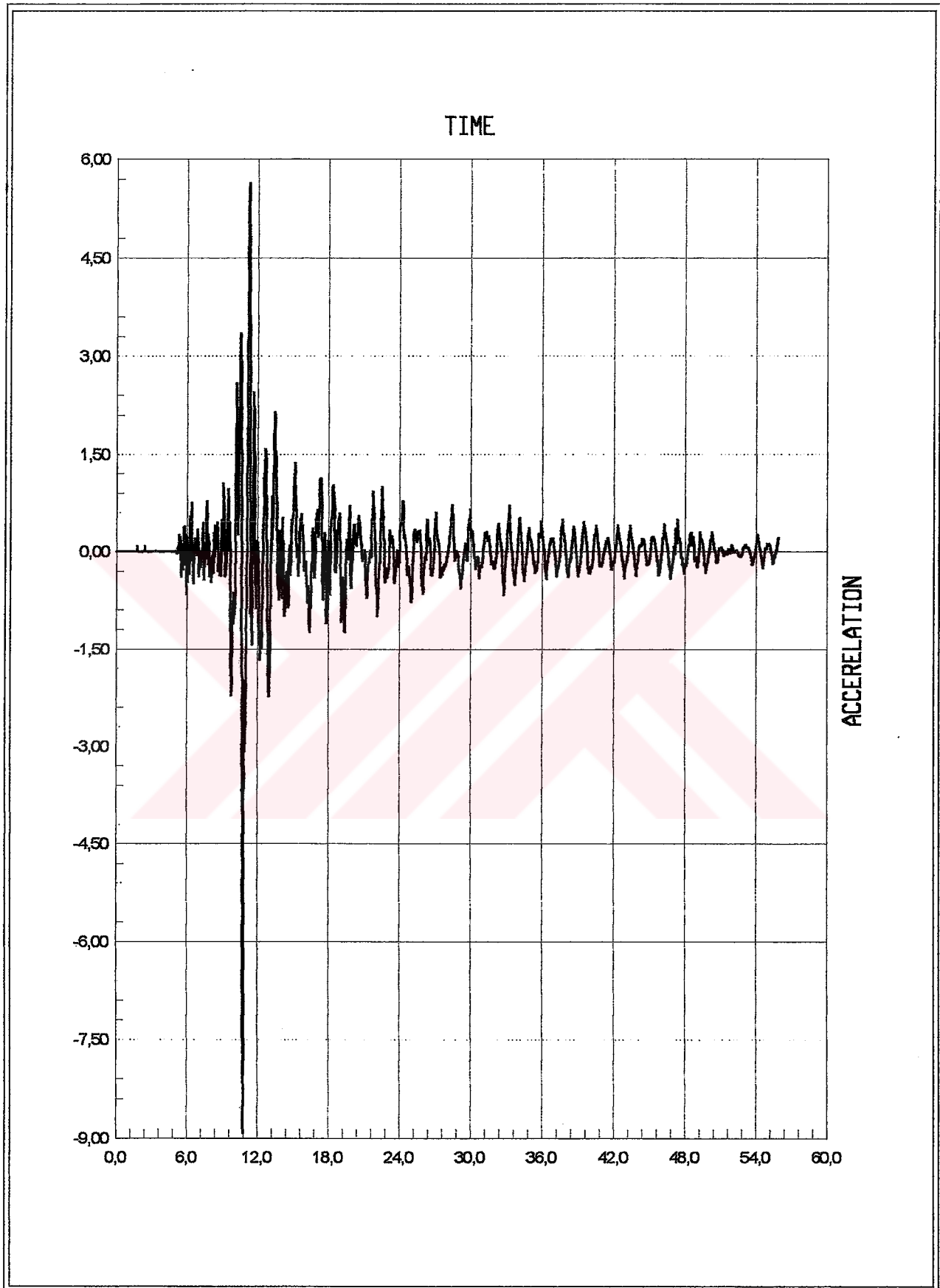
Min is -1,236e-03 at 1,1310e+01 Max is 1,254e-03 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_epsV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint4: Joint 4 Displacement UX Vs TIME

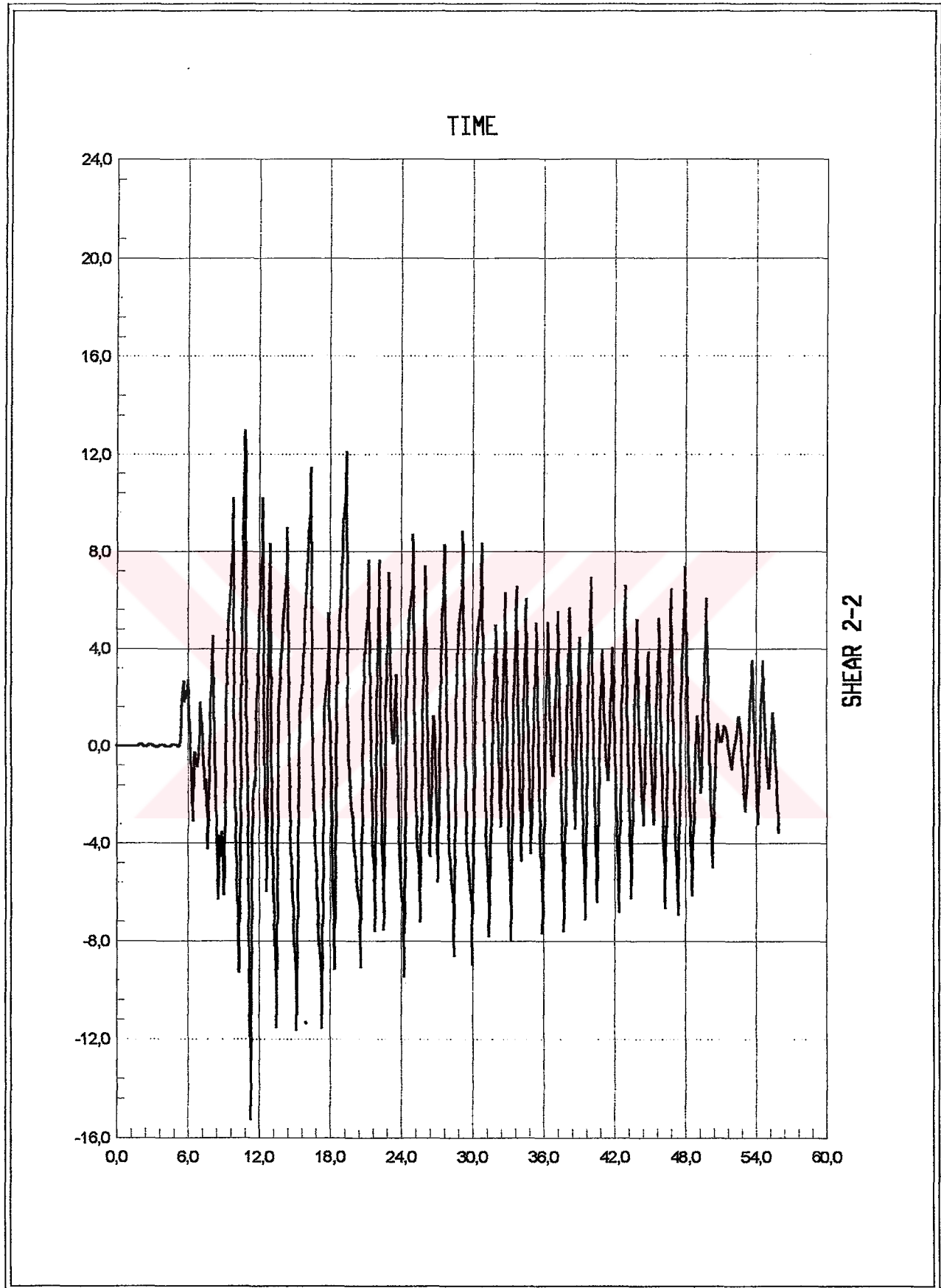
Min is -1,236e-03 at 1,1310e+01 Max is 1,254e-03 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_epsV8 - Case:erzI_history - Ton, m, C Units

Joint2-1: Joint 2 Acceleration UX Vs TIME

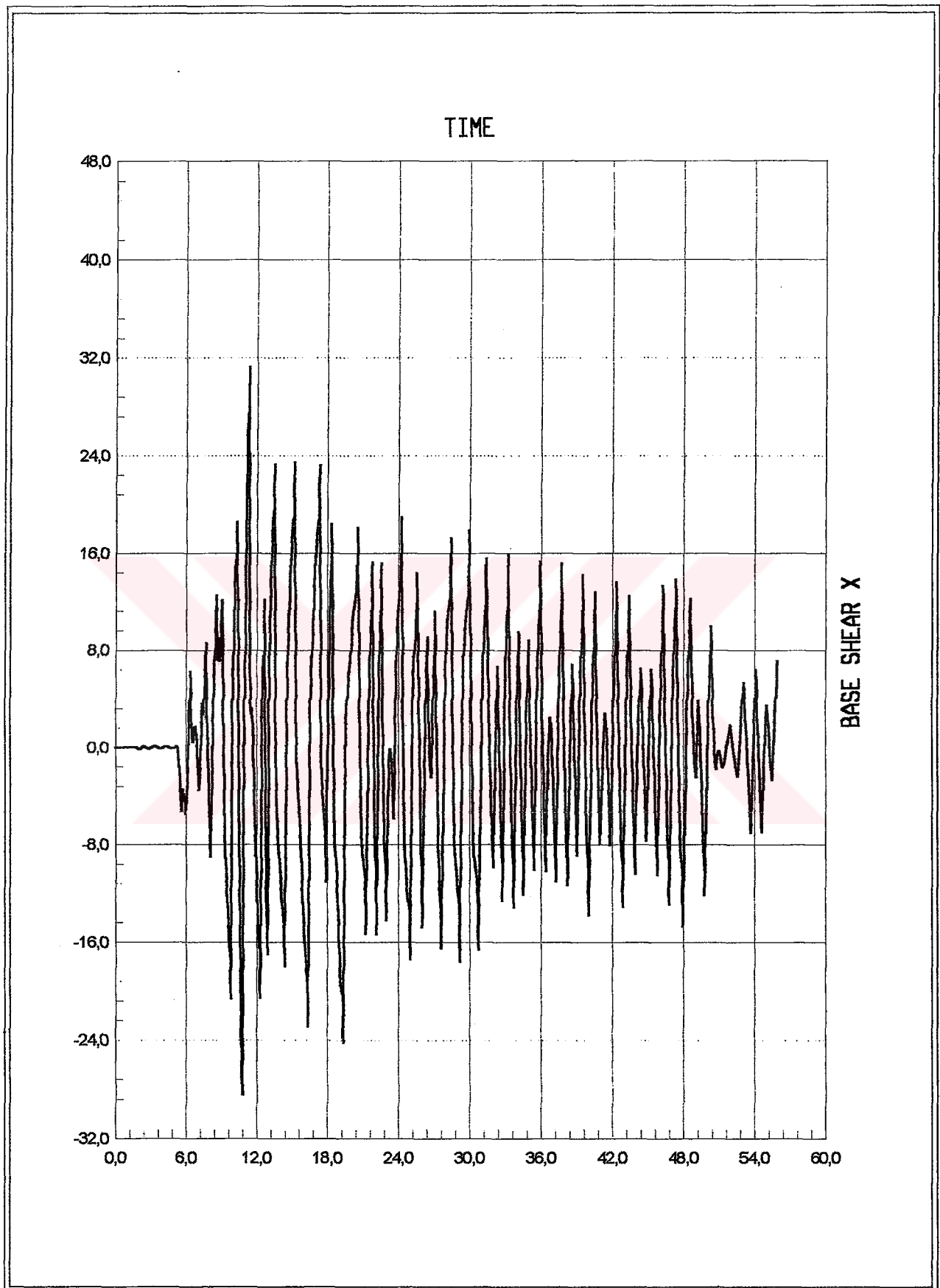
Min is -8,921e+00 at 1,0800e+01 Max is 5,636e+00 at 1,1270e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_epsV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Link1-1: Link 1 at End-I Shear 2-2 Vs TIME

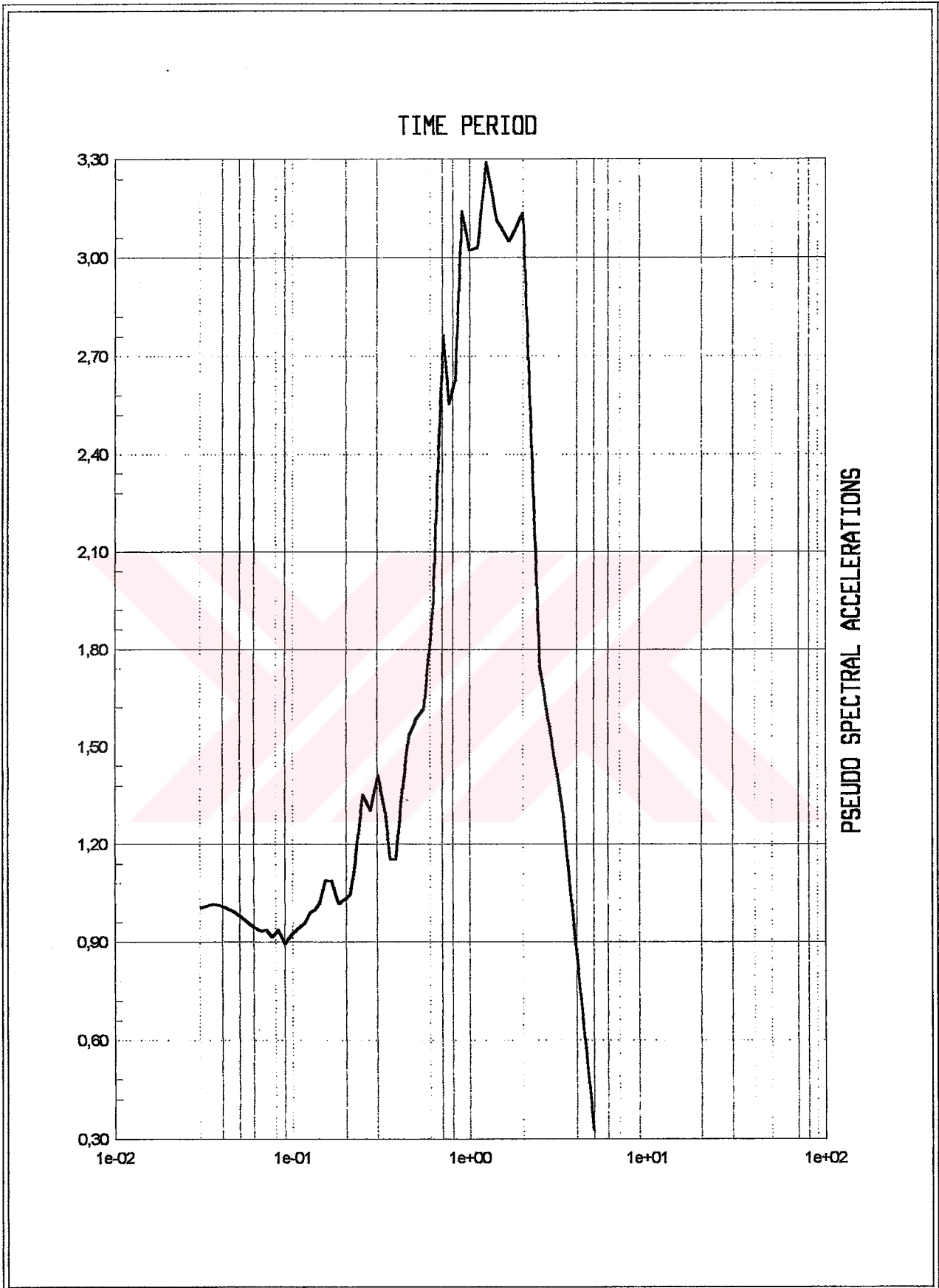
Min is -1,525e+01 at 1,1310e+01 Max is 1,295e+01 at 1,0810e+01



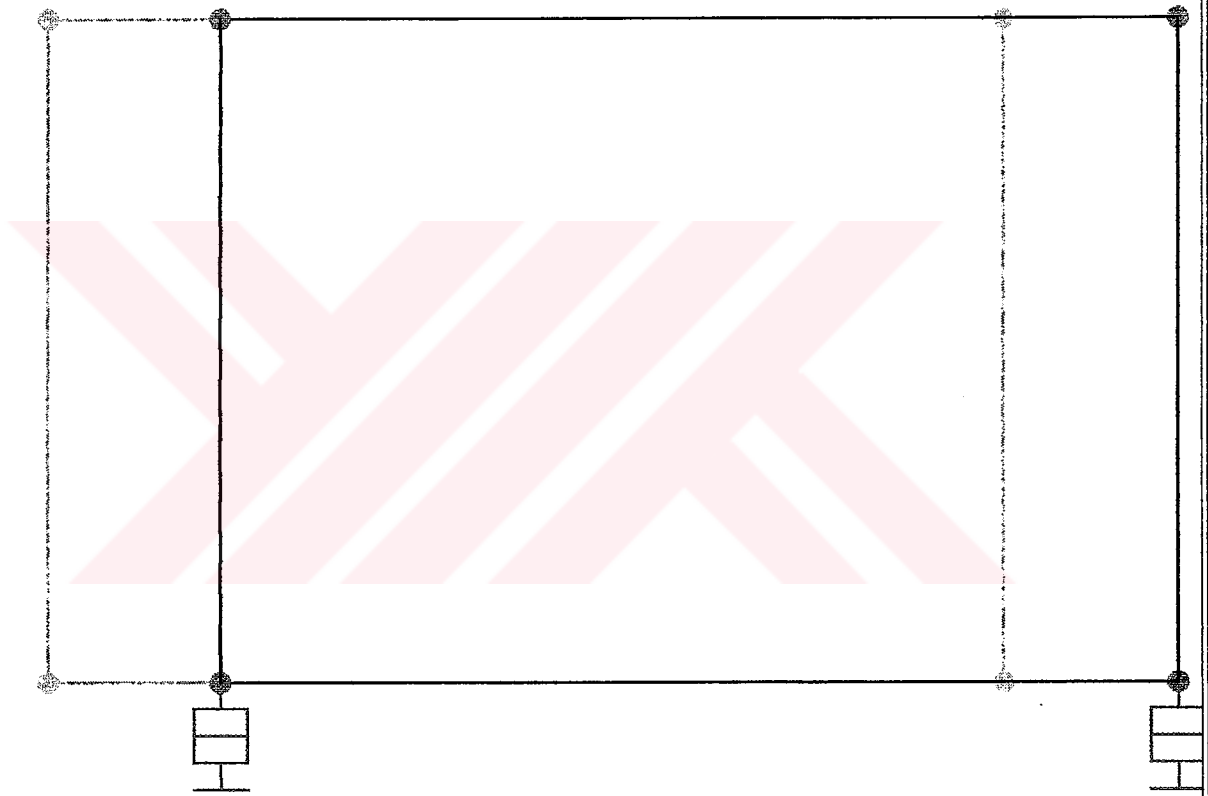
SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_epsV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

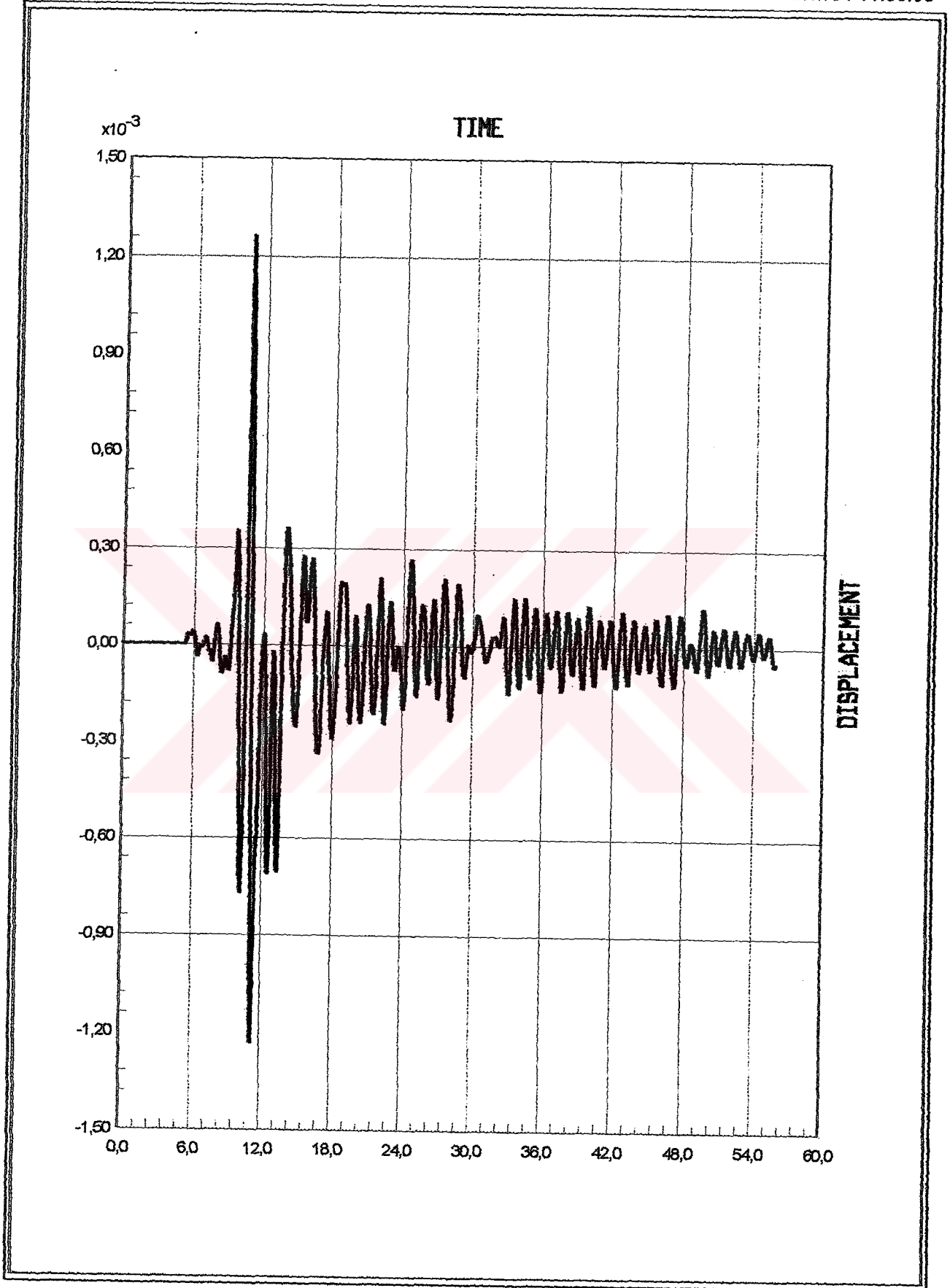
Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

Min is -2,843e+01 at 1,0790e+01 Max is 3,123e+01 at 1,1310e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerceve_epsV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units
Joint 4 Direction X
Damping Values 0,05 Scale Factor 1,00e00 Widening 0,00 %

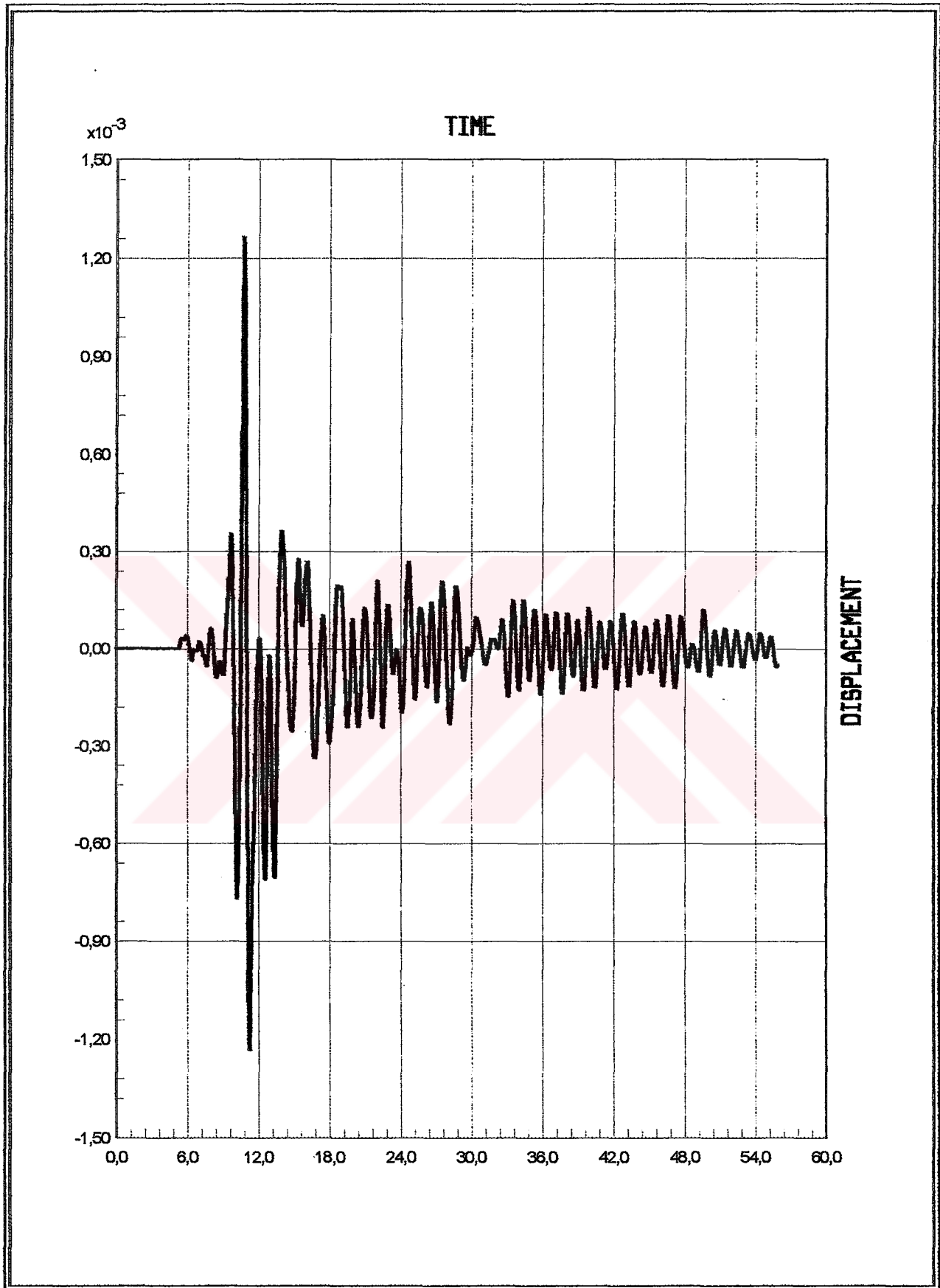




SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint2: Joint 2 Displacement UX Vs TIME

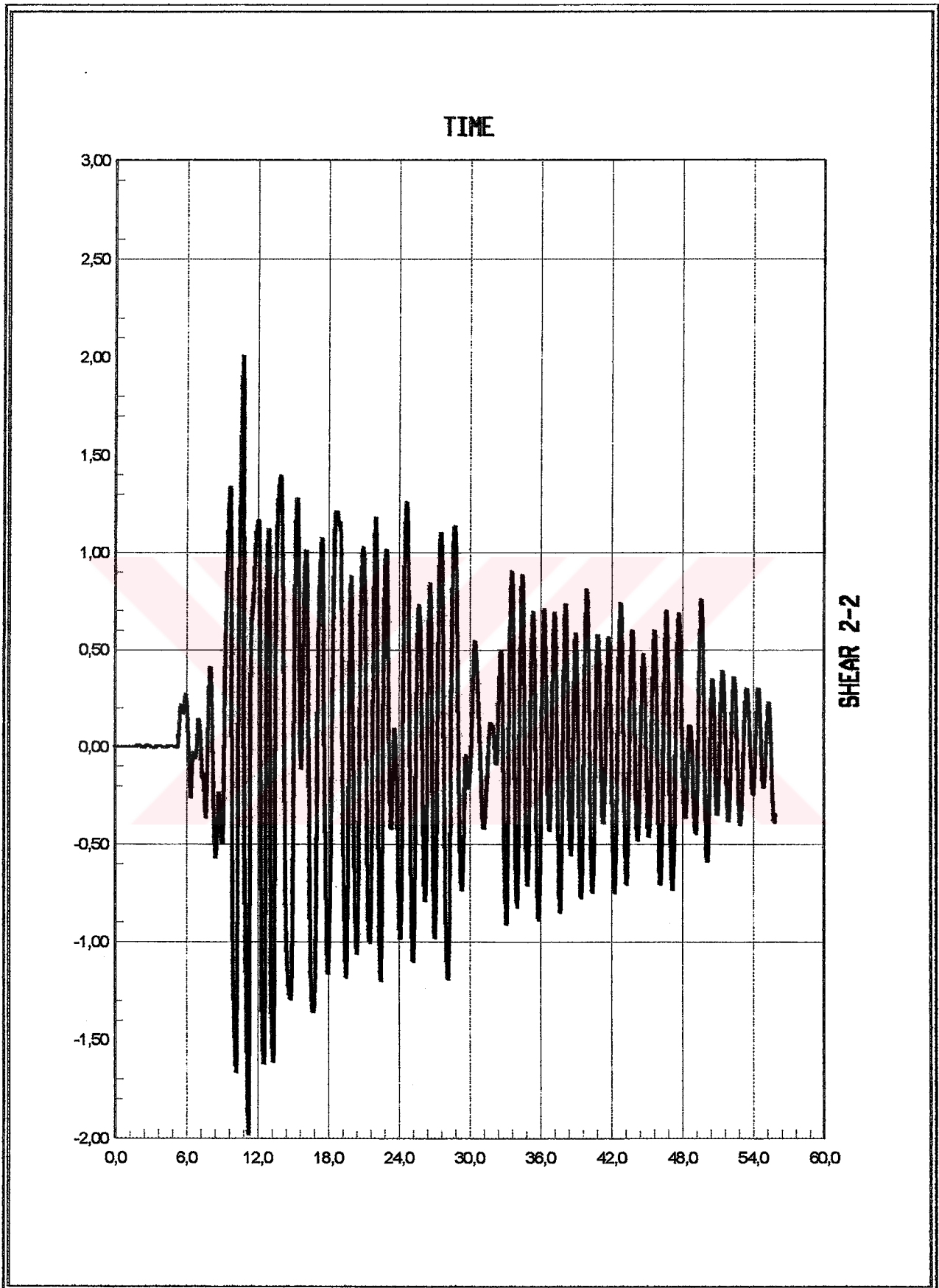
Min is -1,233e-03 at 1,129e+01 Max is 1,263e-03 at 1,081e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzI_history - Ton, m, C Units

Joint4: Joint 4 Displacement UX Vs TIME

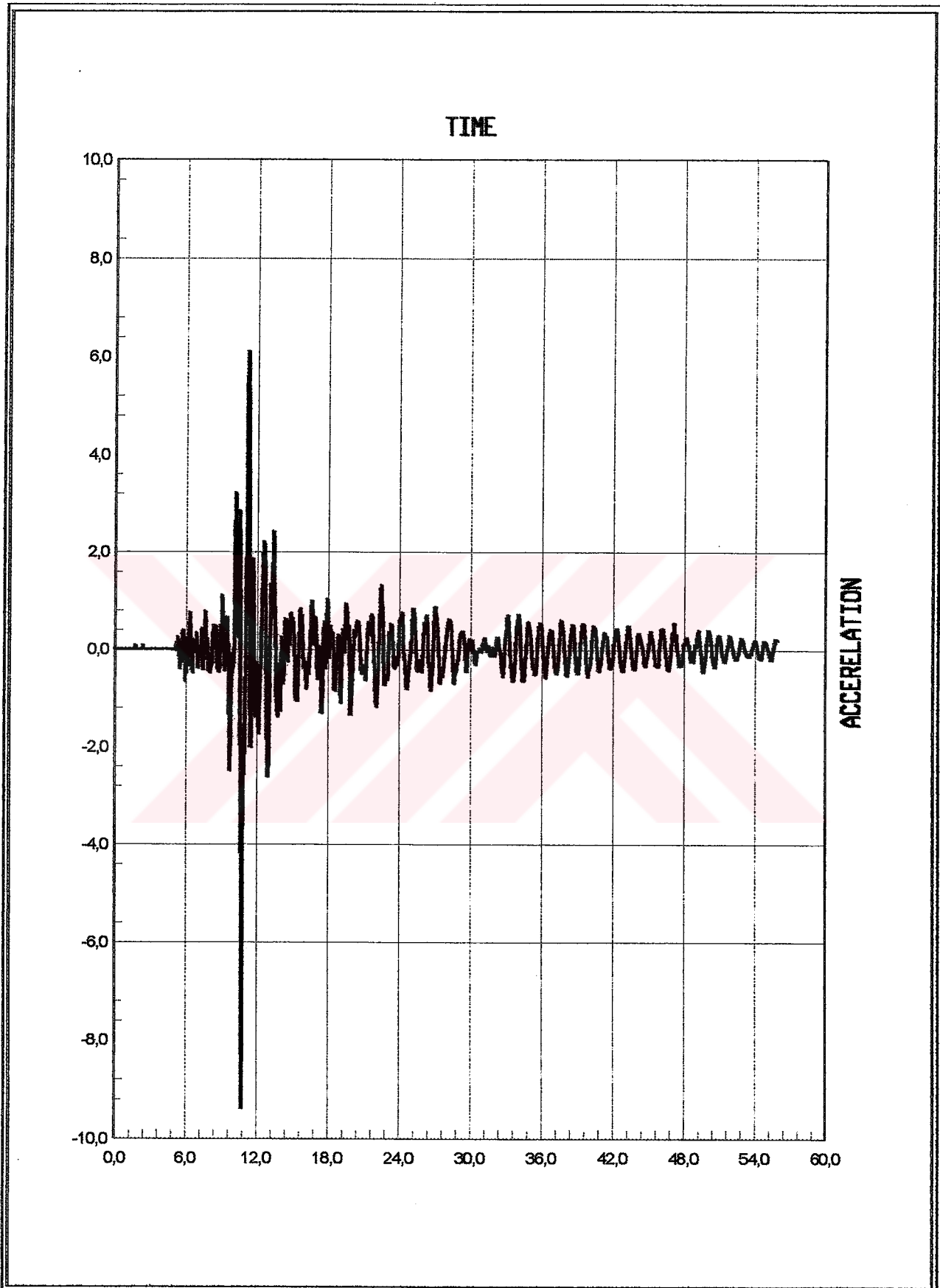
Min is -1,233e-03 at 1,1290e+01 Max is 1,263e-03 at 1,0810e+01



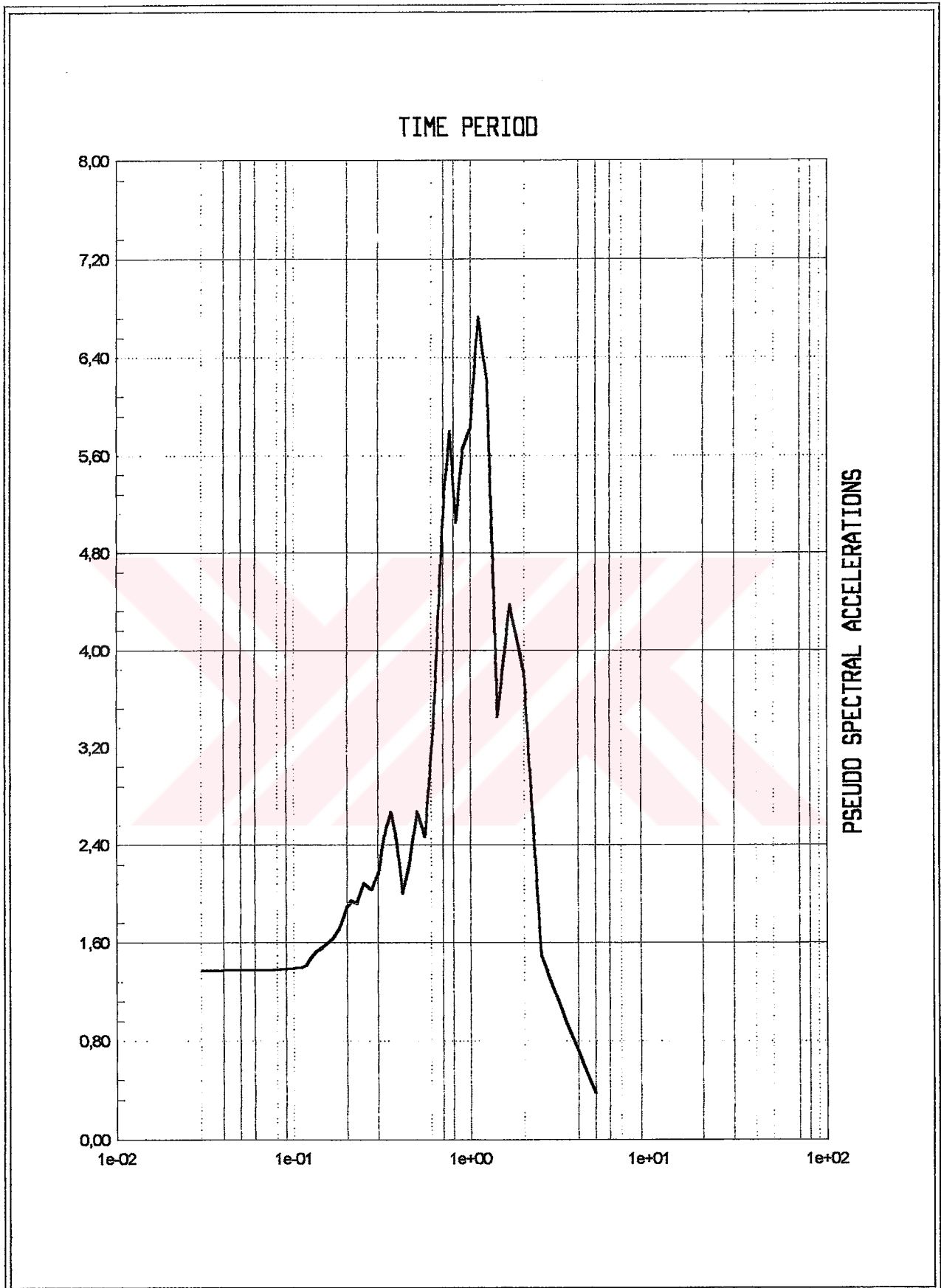
SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Link1-1: Link 1 at End-I Shear 2-2 Vs TIME

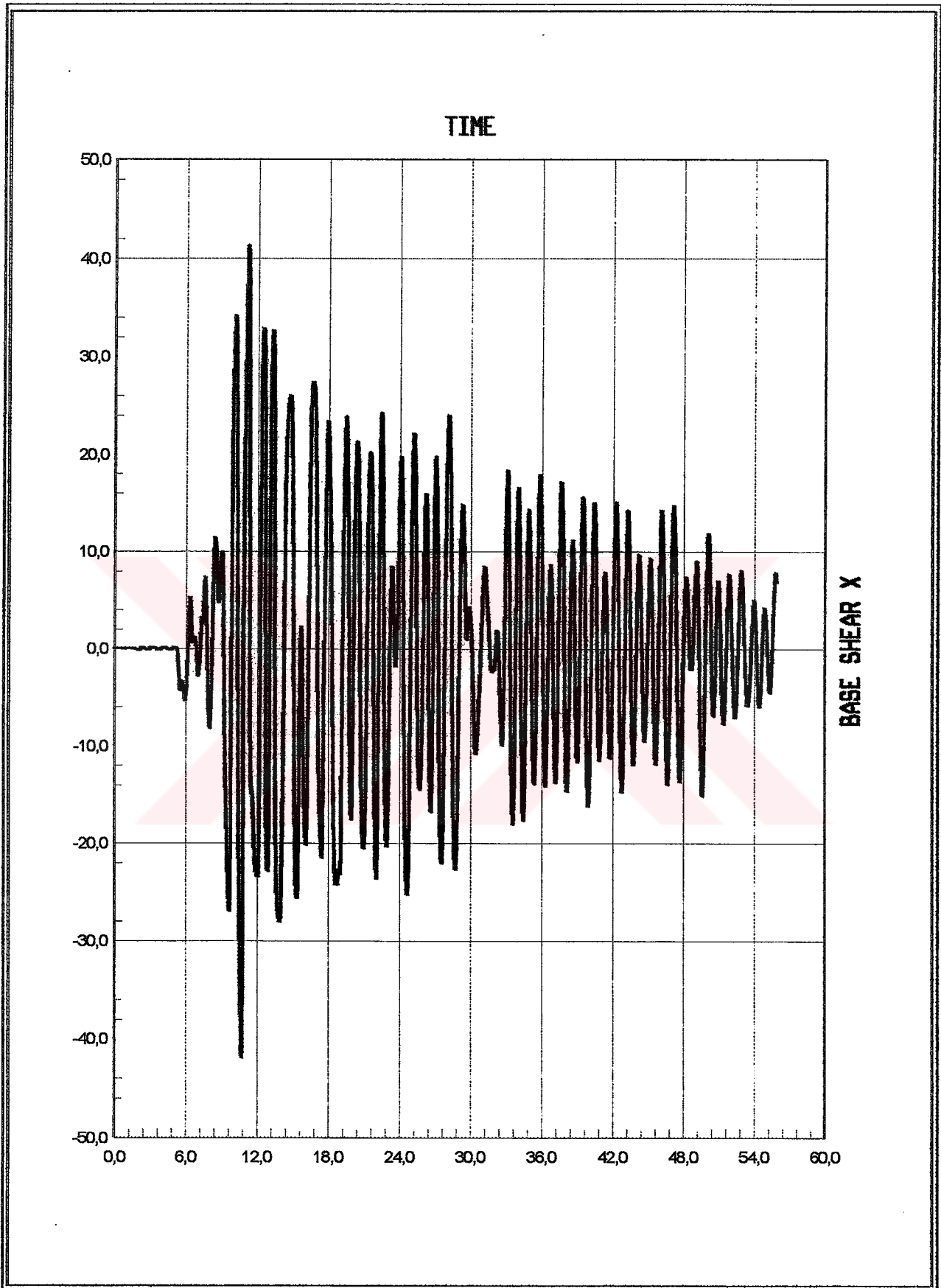
Min is -1,982e+00 at 1,1290e+01 Max is 2,002e+00 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units
Joint2-1: Joint 2 Acceleration UX Vs TIME
Min is -9,384e+00 at 1,0800e+01 Max is 6,098e+00 at 1,1270e+01



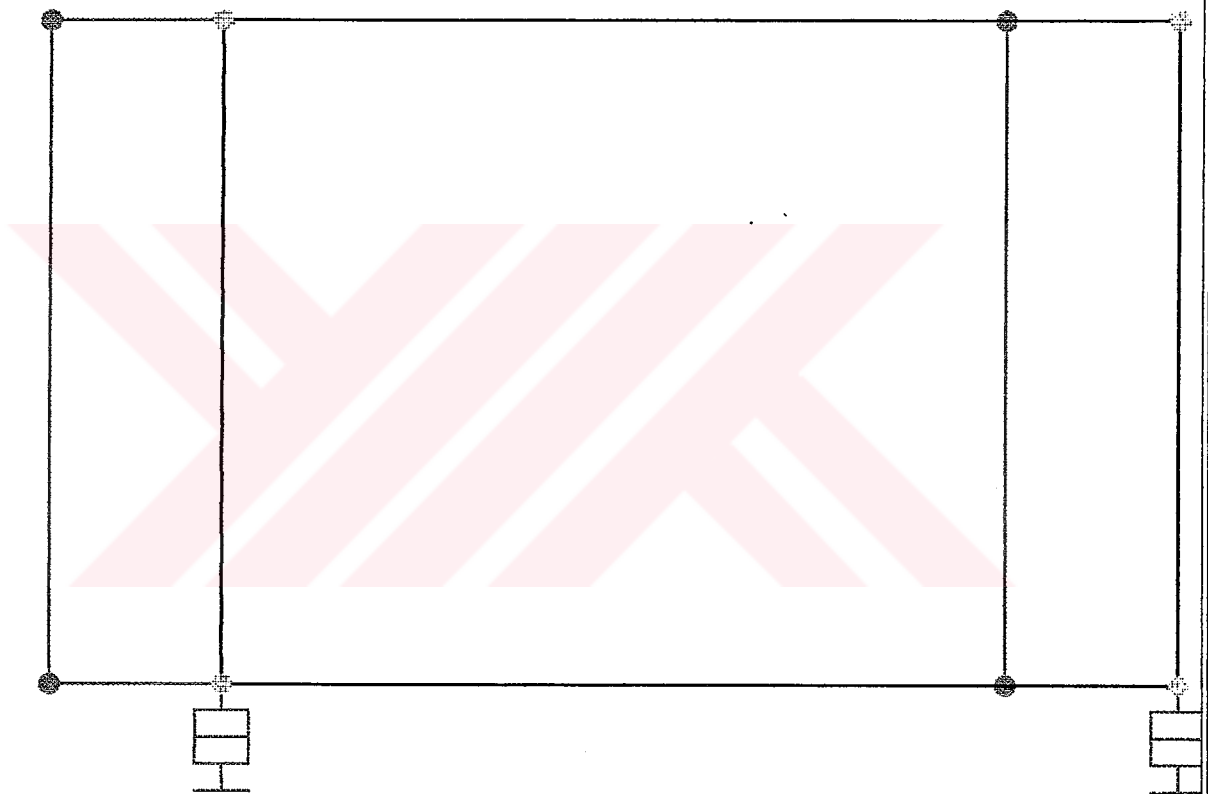
SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units
Joint 4 Direction X
Damping Values 0,05 Scale Factor 1,00e00 Widening 0,00 %

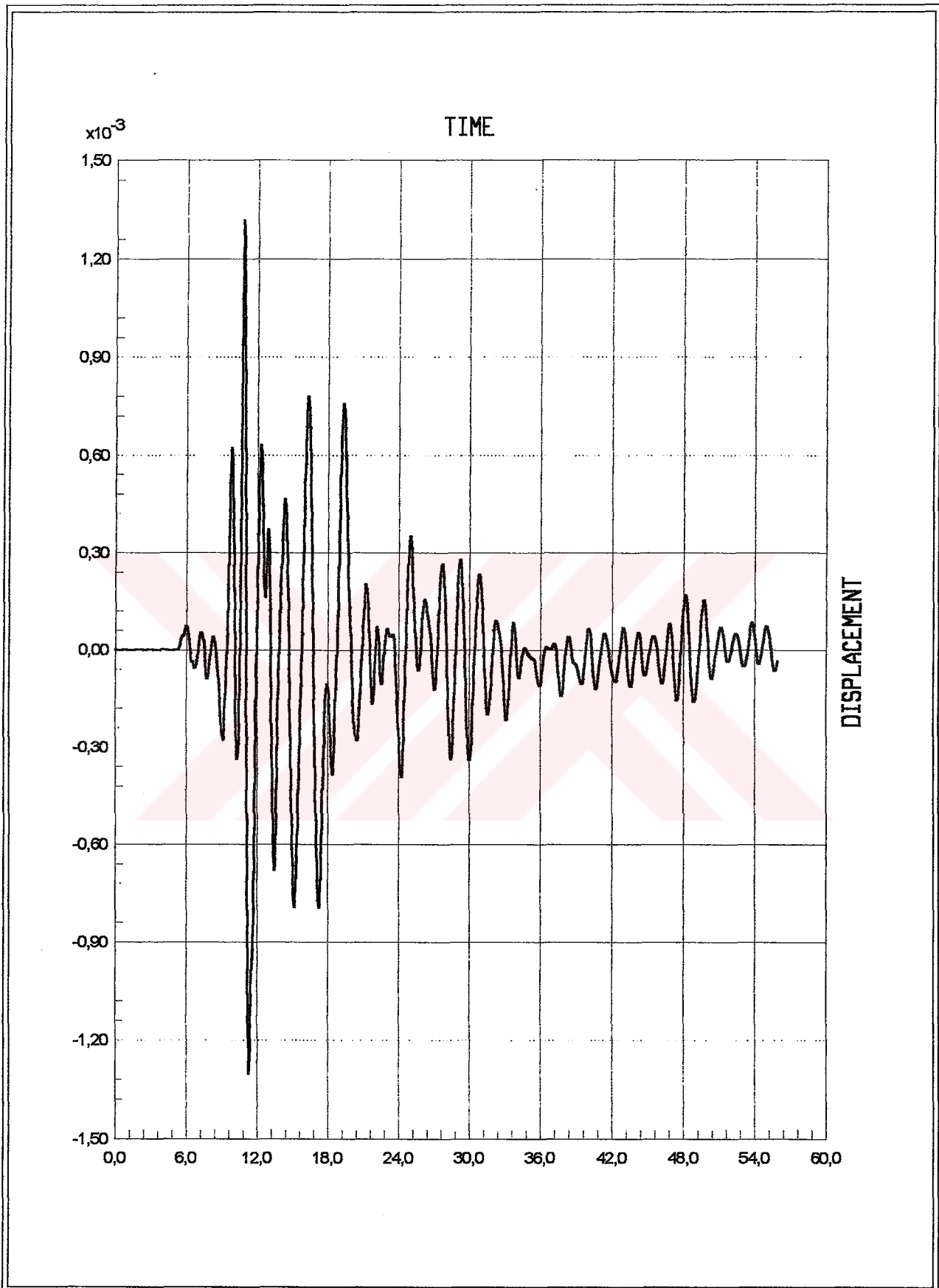


SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

Min is -4,192e+01 at 1,0760e+01 Max is 4,122e+01 at 1,1220e+01

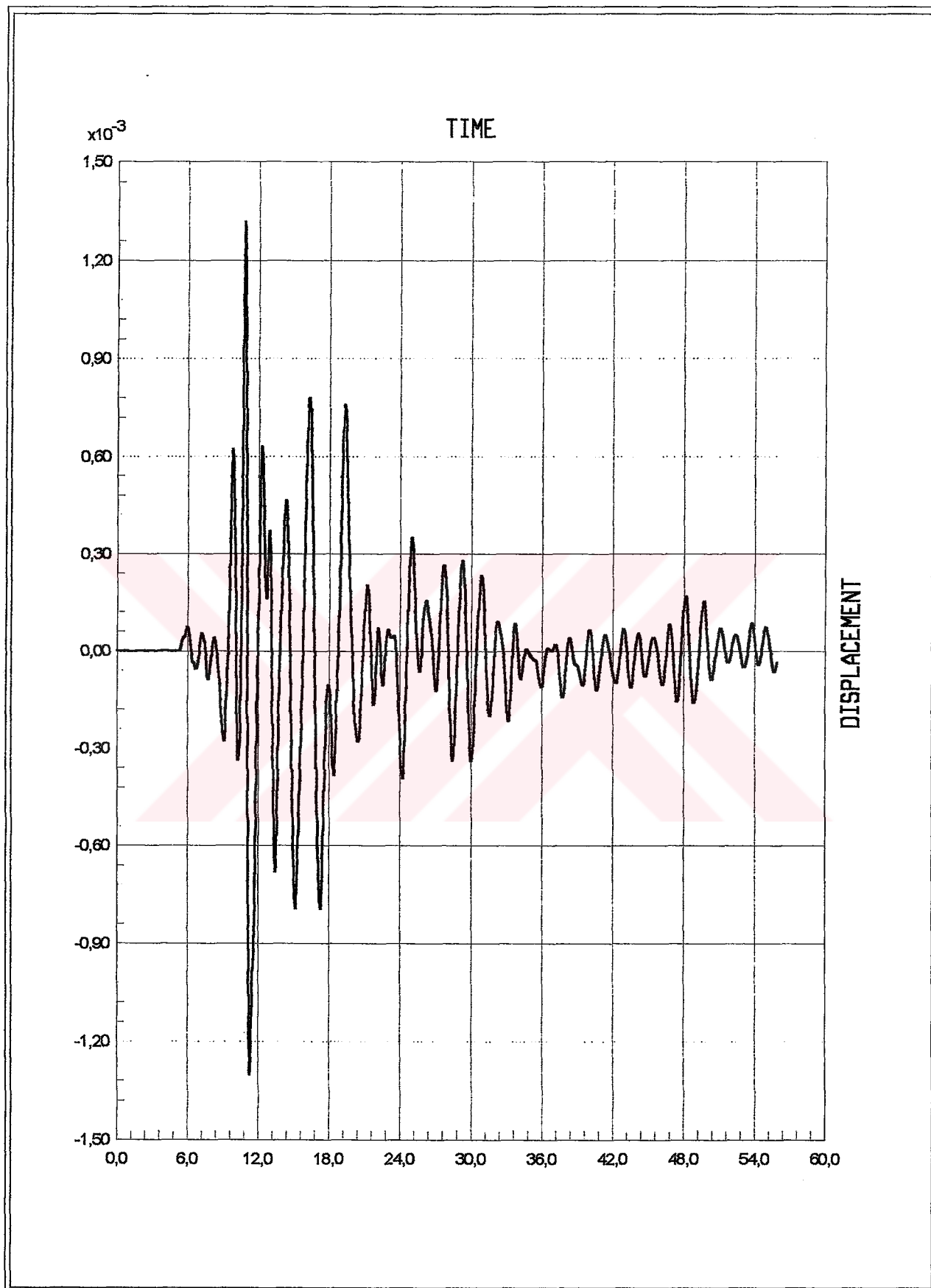




SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint4: Joint 4 Displacement UX Vs TIME

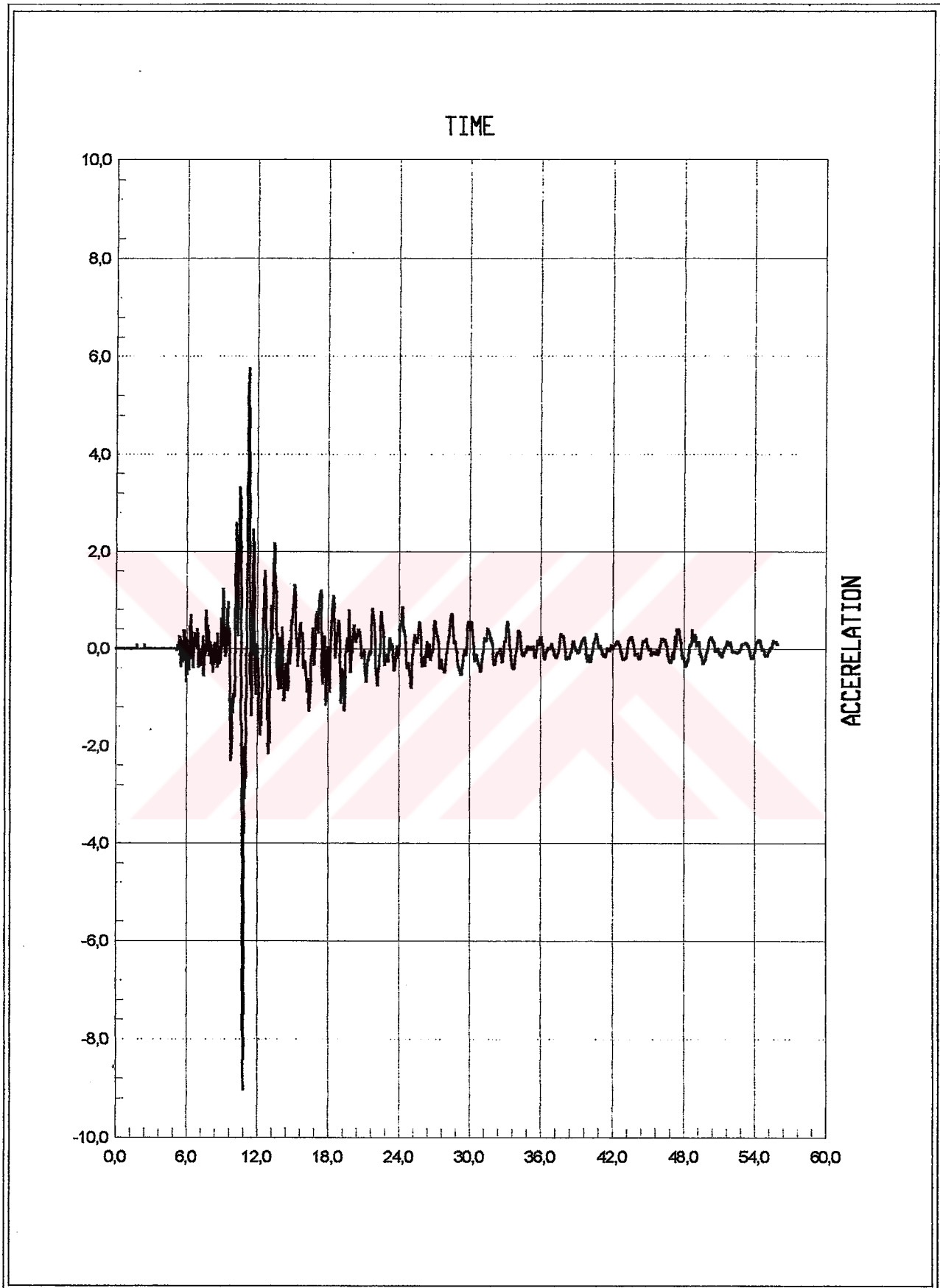
Min is -1,303e-03 at 1,1310e+01 Max is 1,317e-03 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint2: Joint 2 Displacement UX Vs TIME

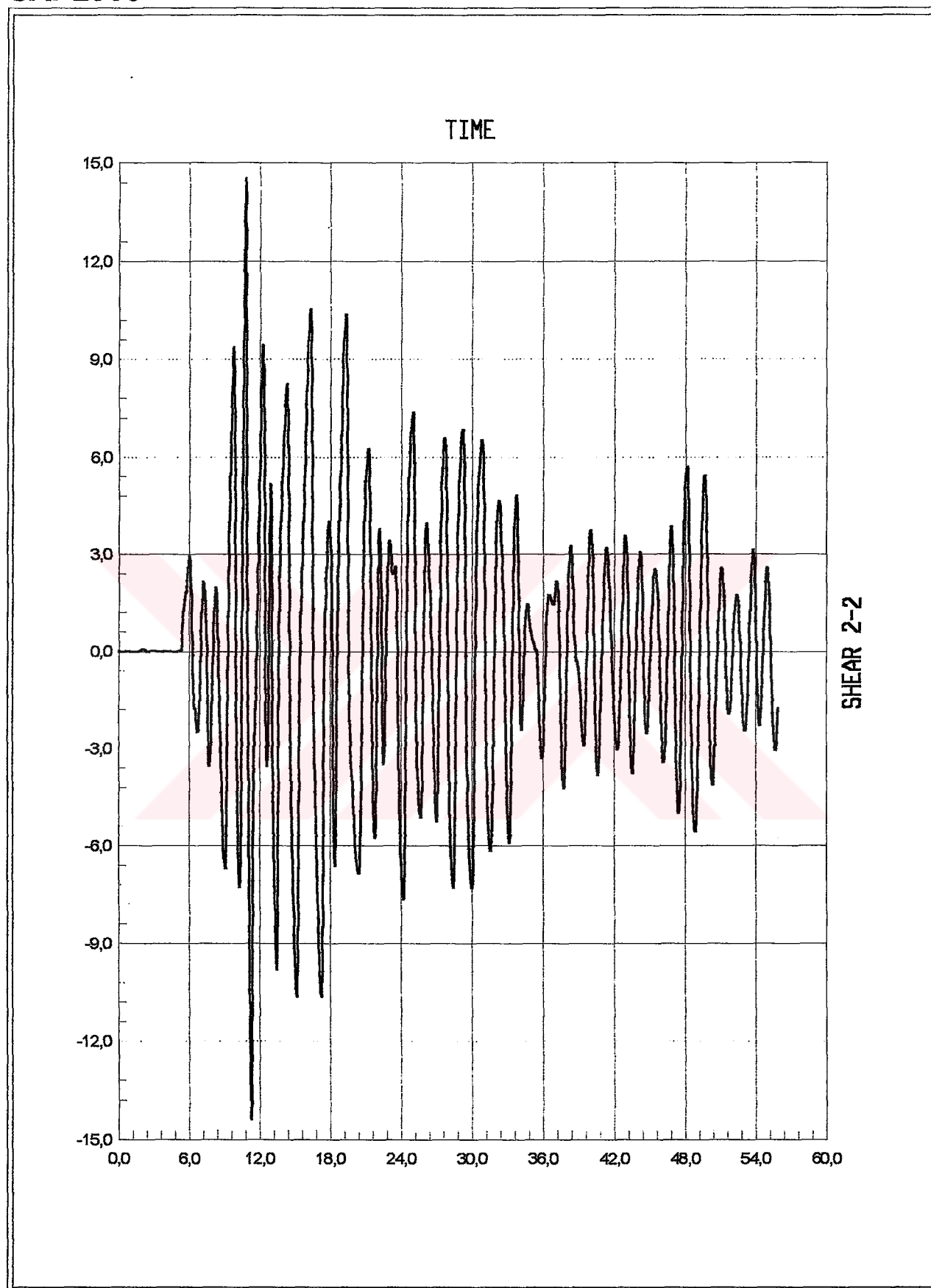
Min is -1,303e-03 at 1,1310e+01 Max is 1,317e-03 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint2-1: Joint 2 Acceleration UX Vs TIME

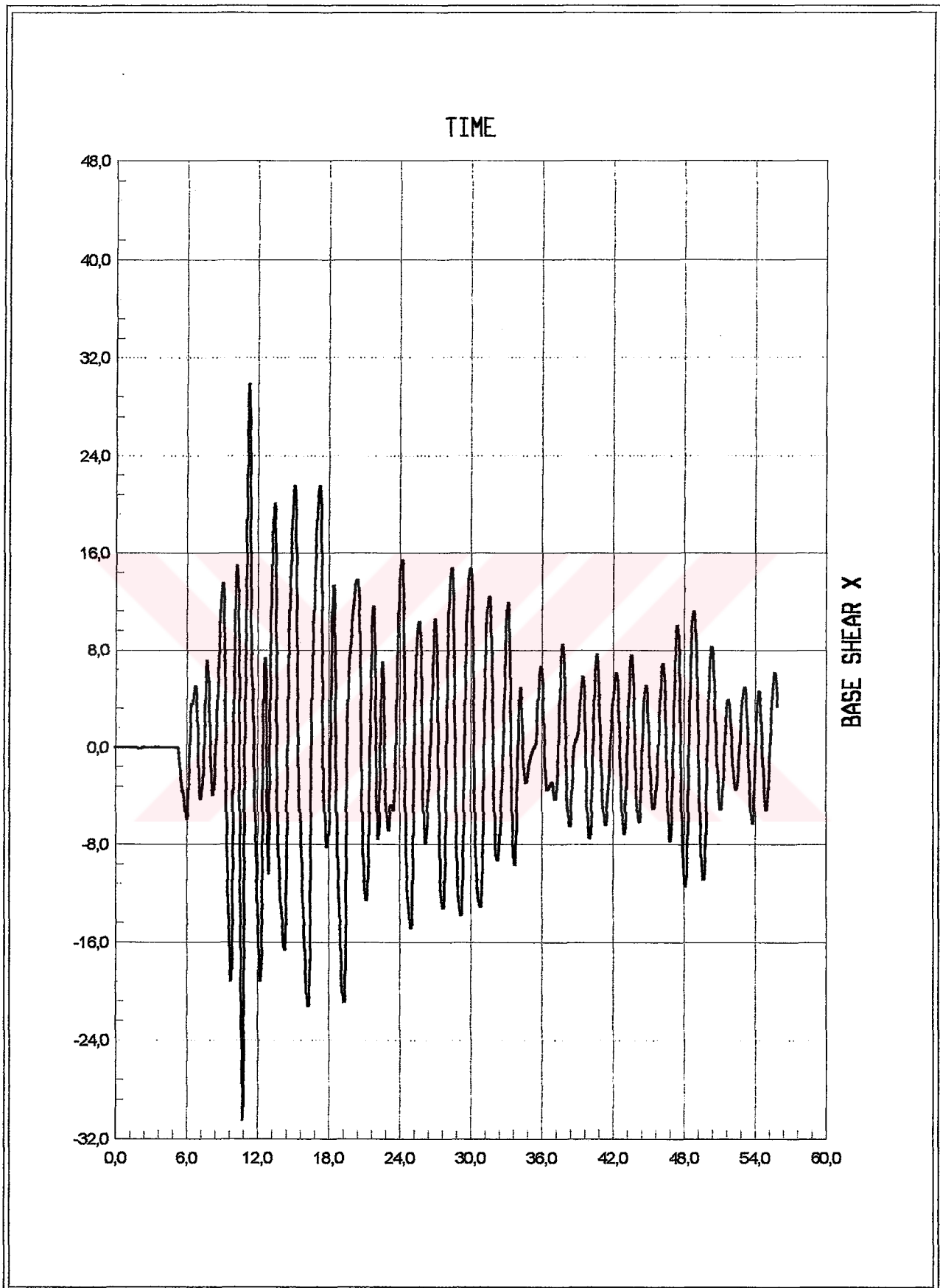
Min is -9,029e+00 at 1,0800e+01 Max is 5,752e+00 at 1,1270e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Link1-1: Link 1 at End-I Shear 2-2 Vs TIME

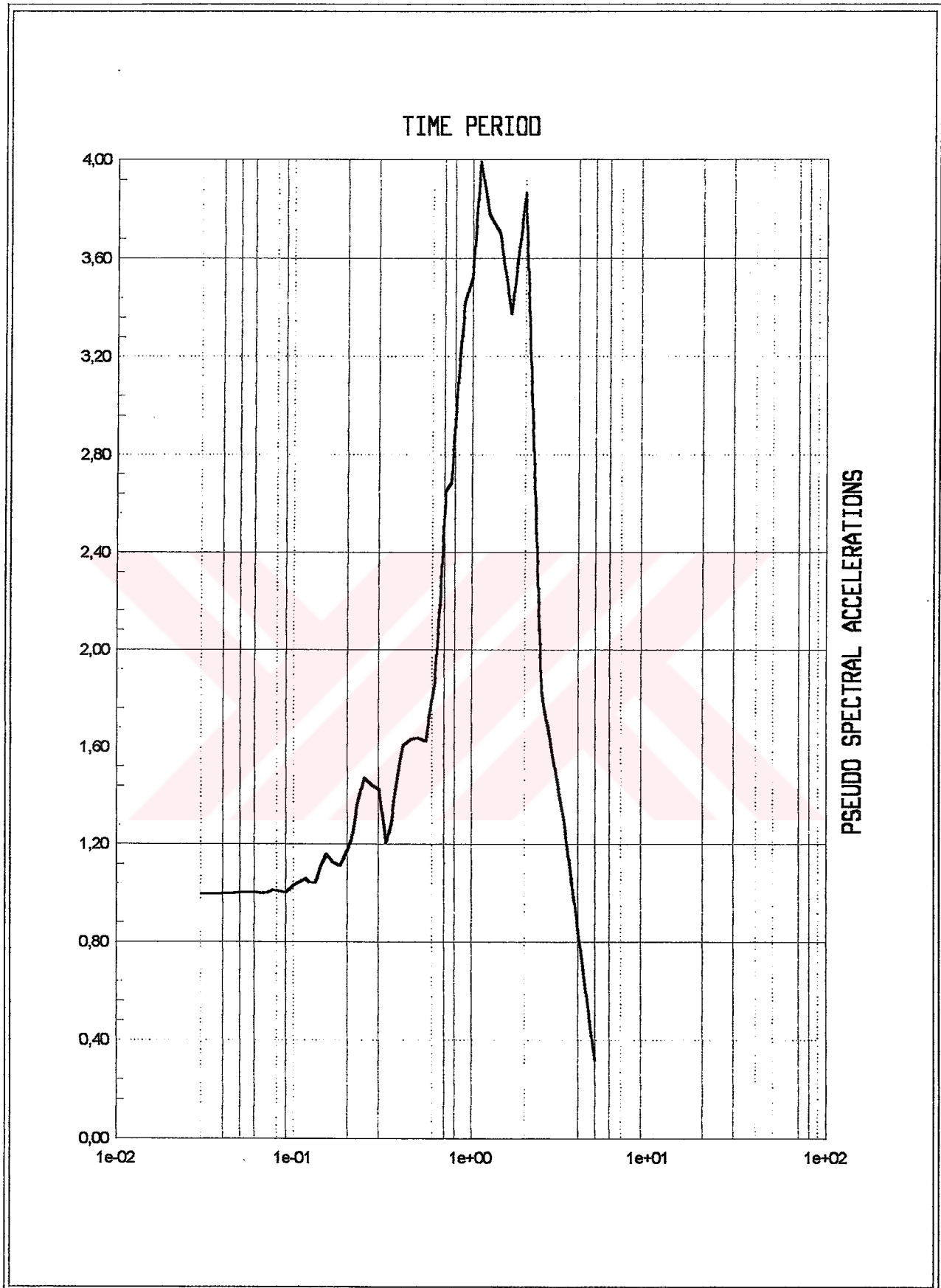
Min is -1,440e+01 at 1,1310e+01 Max is 1,451e+01 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

Min is -3,046e+01 at 1,0770e+01 Max is 2,986e+01 at 1,1260e+01



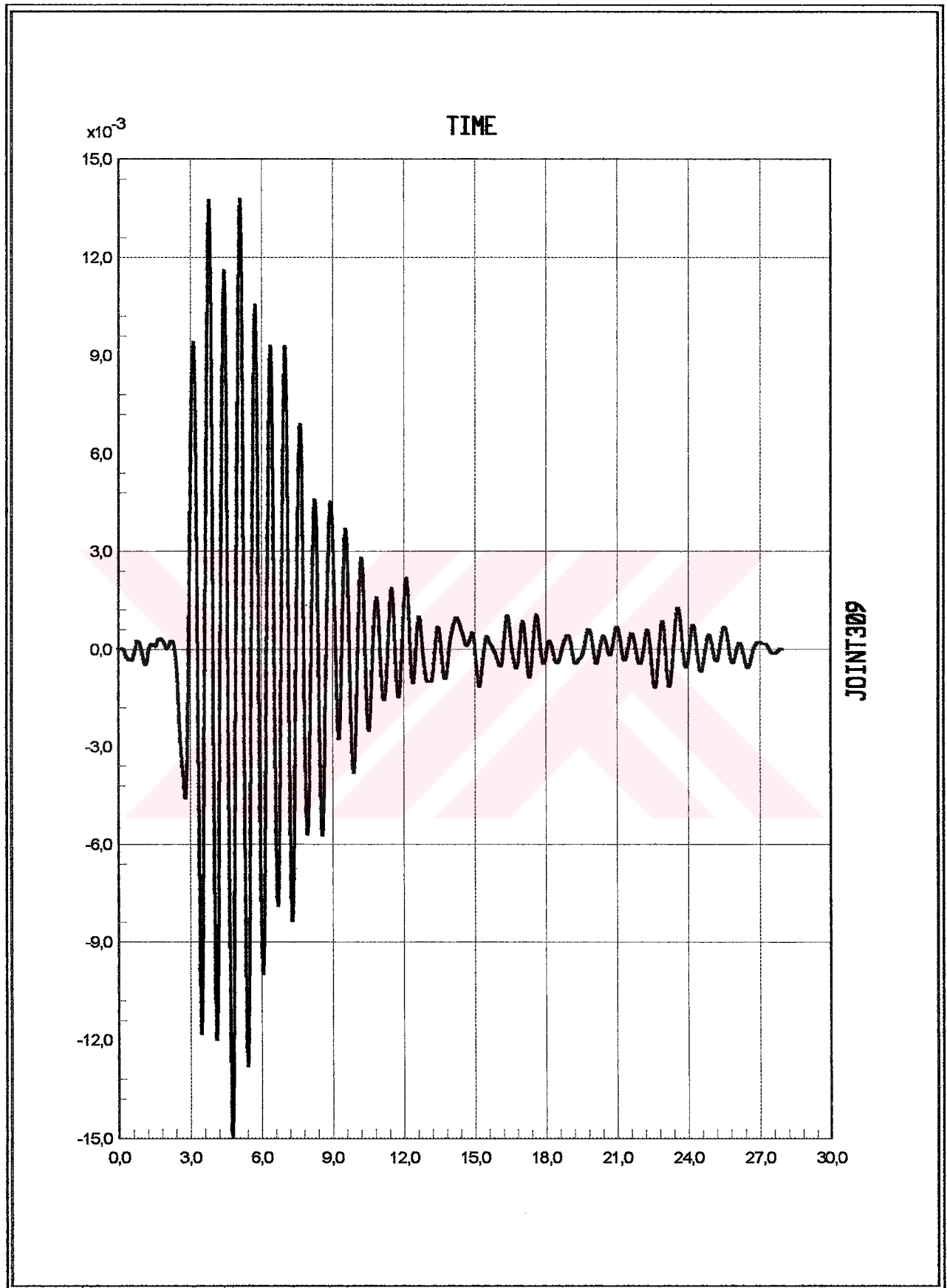
SAP2000 v8.1.2 - File:scougalV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units
Joint 4 Direction X
Damping Values 0,05 Scale Factor 1,00e00 Widening 0,00 %

Ek 2 Uygulama 2: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları

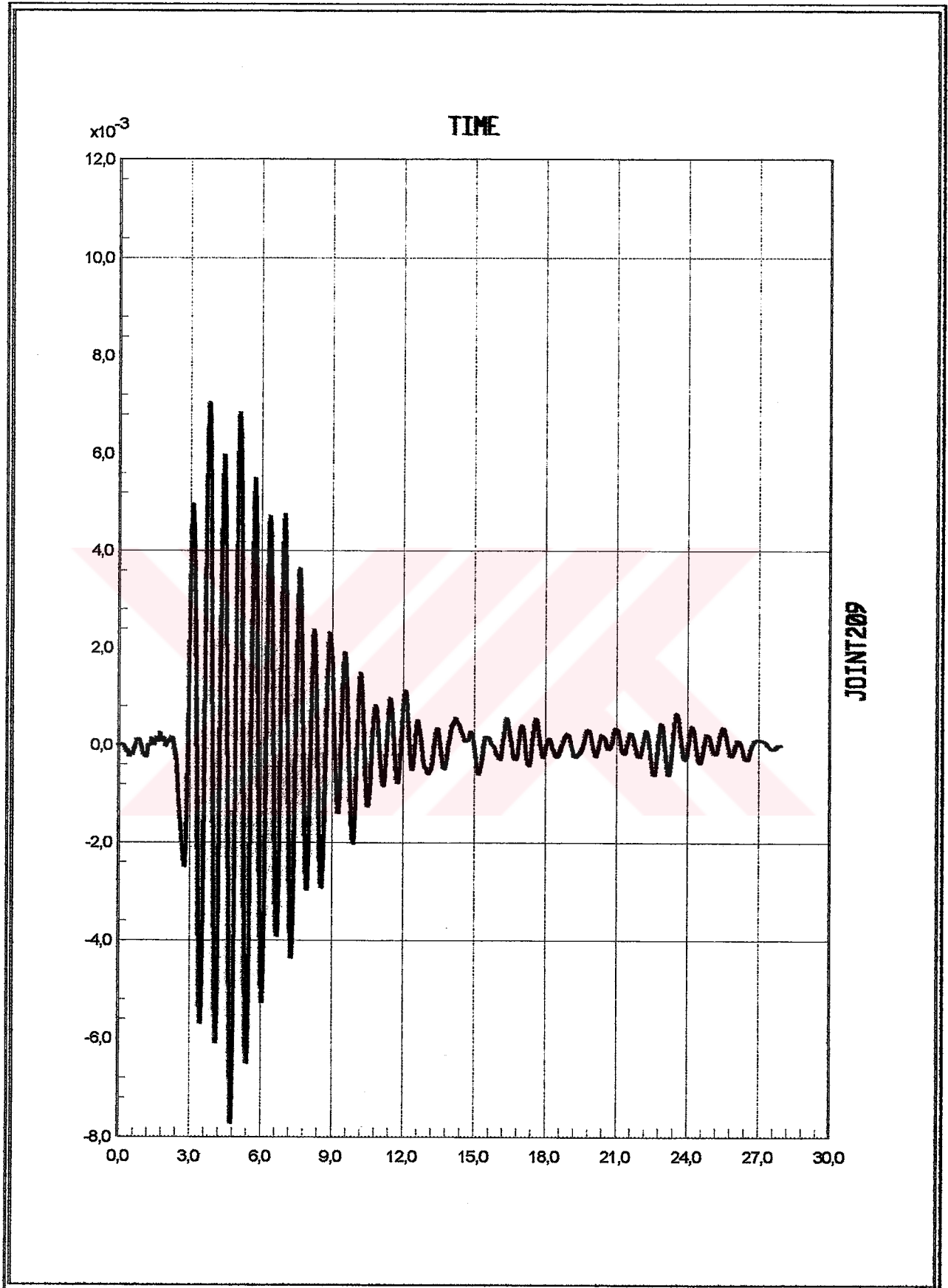
DIS Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesneti İçin SAP 2000 Programı Hesap Sonuçları

- Deplasman-Zaman Grafiği
- İvme- Zaman Grafiği
- Shear 2-2 Zaman Grafiği
- Moment 3-3 Zaman Grafiği

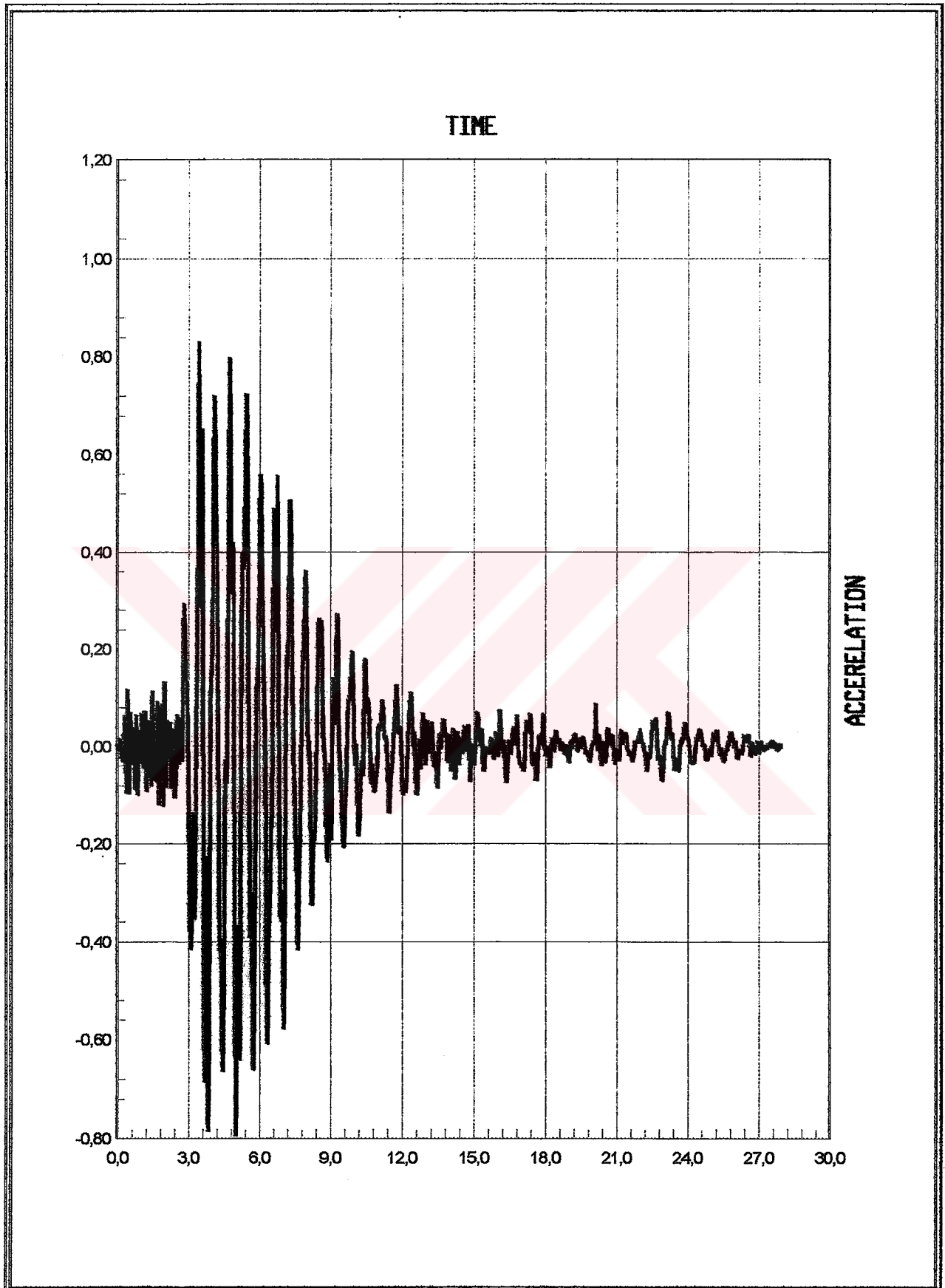




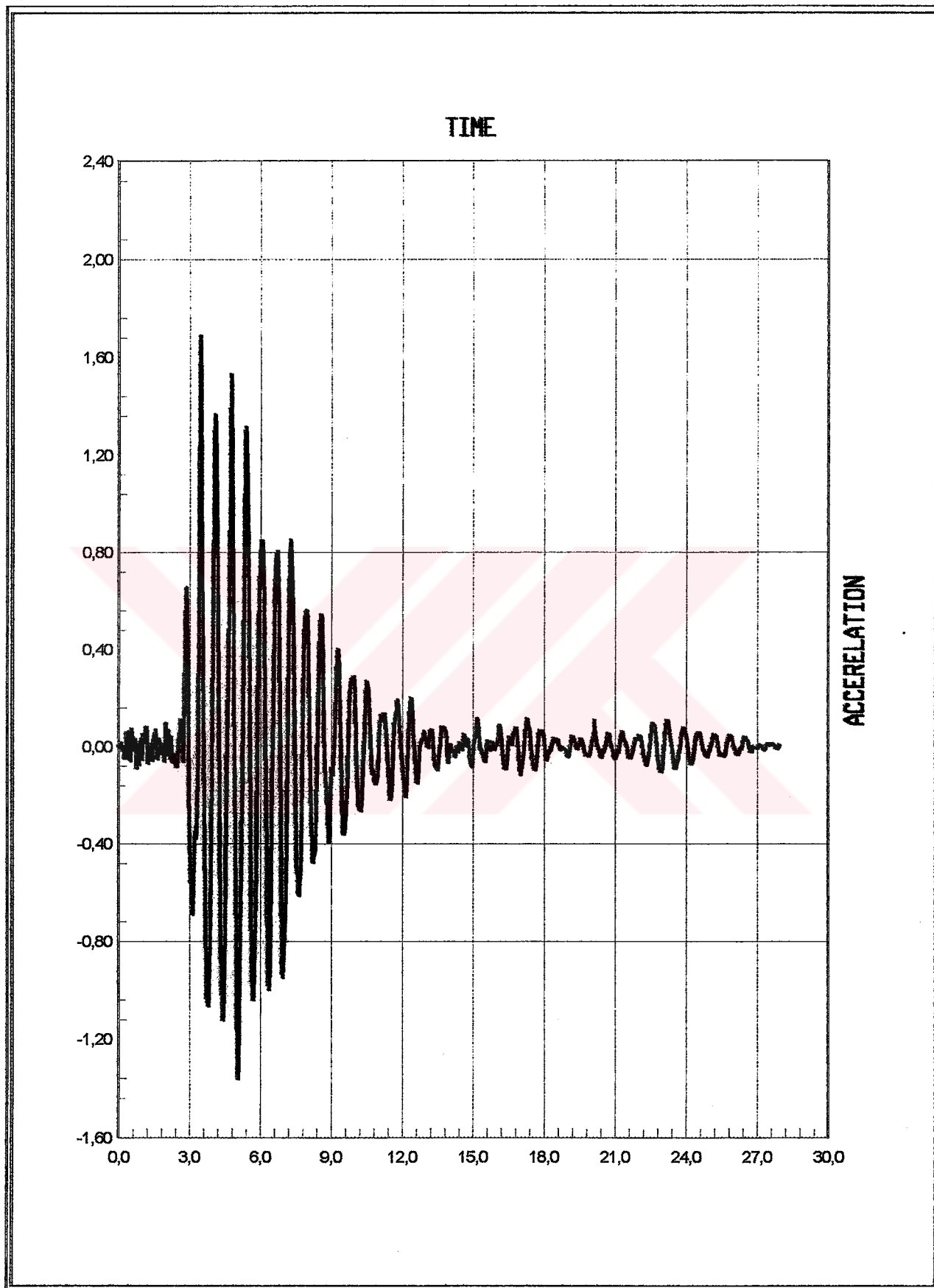
SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Joint309: Joint 309 Displacement UX Vs TIME
Min is -1,498e-02 at 4,7850e+00 Max is 1,378e-02 at 5,1050e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Joint209: Joint 209 Displacement UX Vs TIME
Min is -7,720e-03 at 4,7750e+00 Max is 7,031e-03 at 3,8250e+00



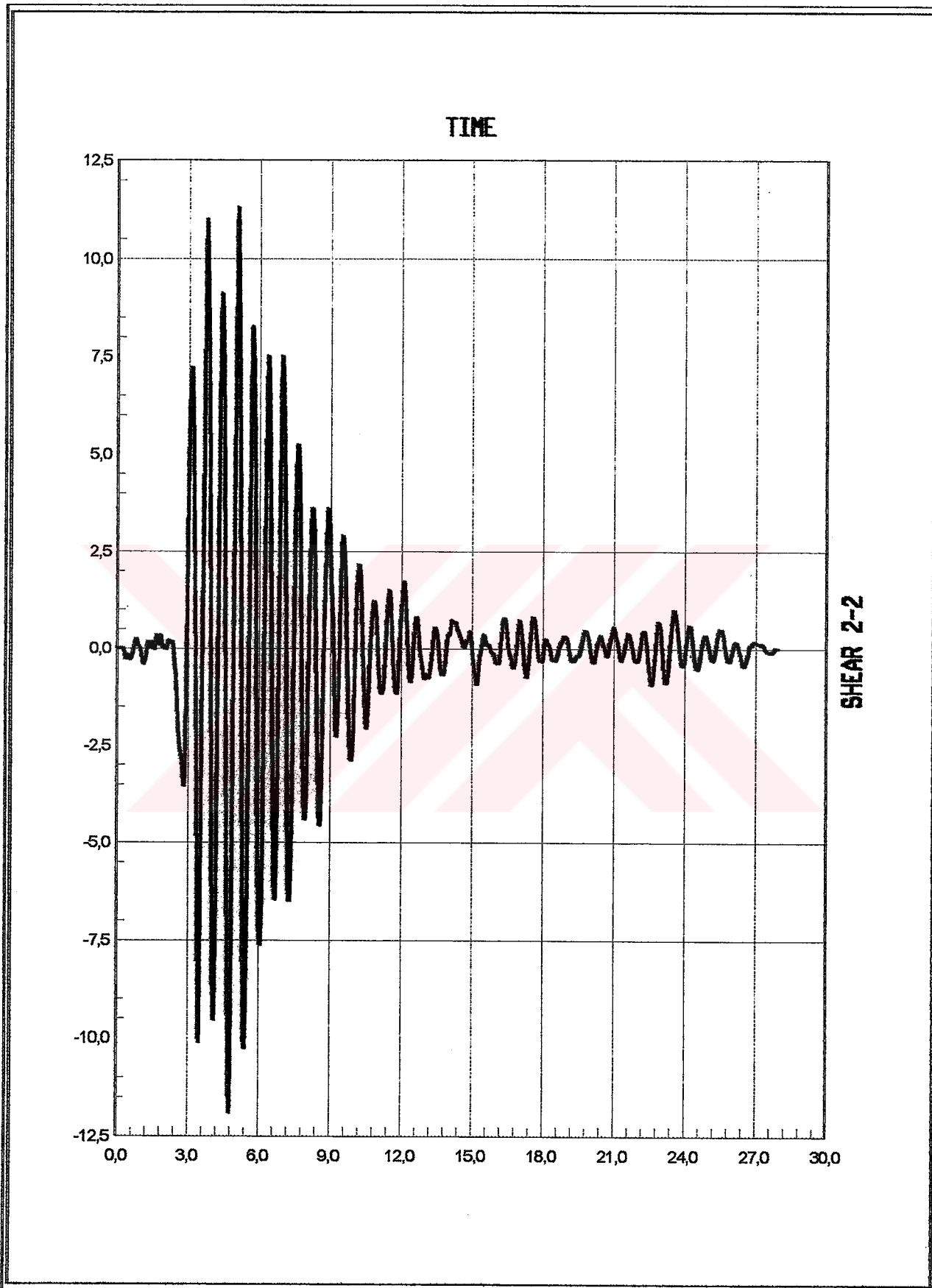
SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Joint209-1: Joint 209 Acceleration UX Vs TIME
Min is -7,947e-01 at 5,0350e+00 Max is 8,290e-01 at 3,4550e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Joint309-1: Joint 309 Acceleration UX Vs TIME

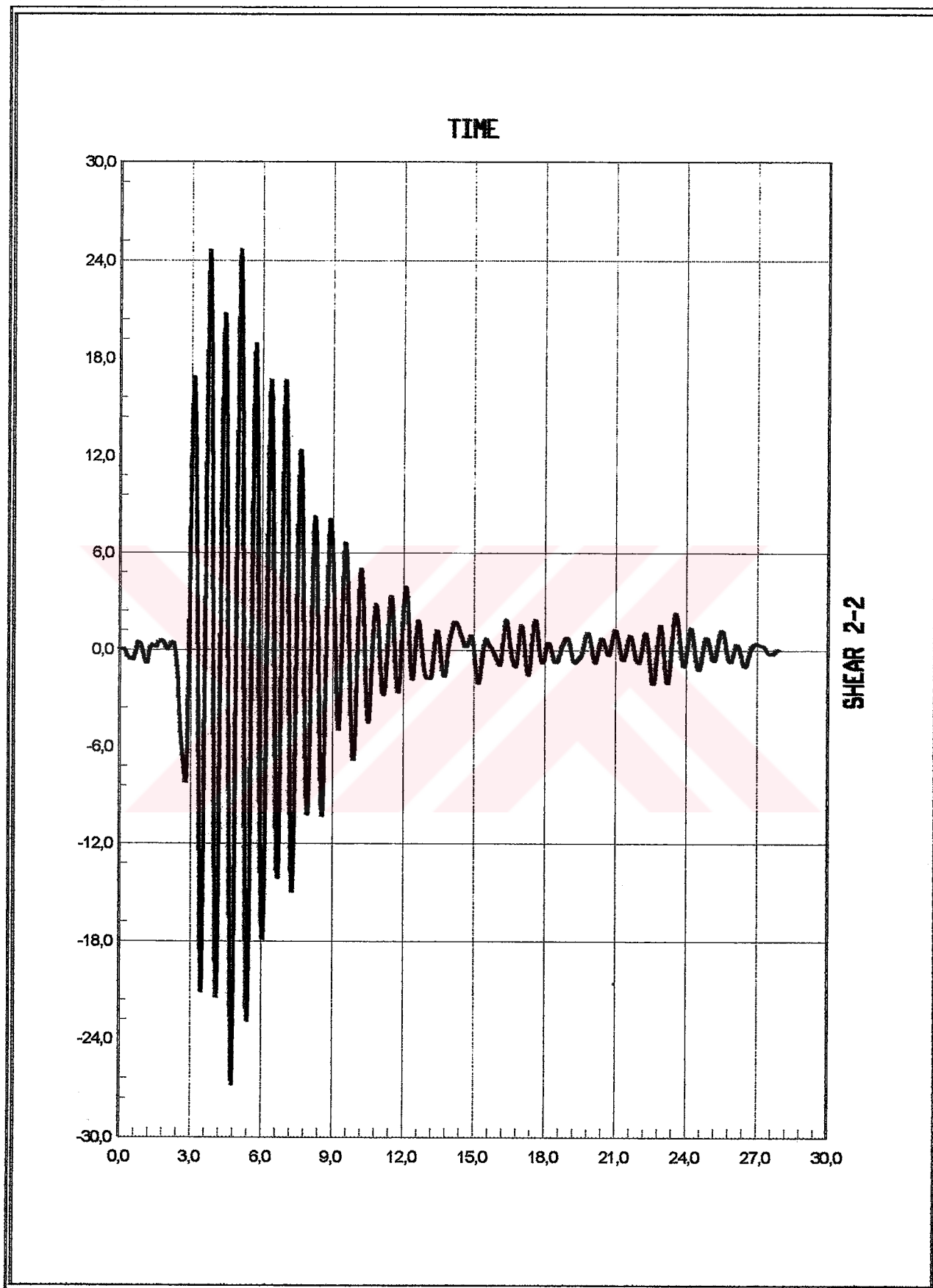
Min is -1,363e+00 at 5,0850e+00 Max is 1,687e+00 at 3,4900e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Frame309: Frame 309 Station 1 Shear 2-2 Vs TIME

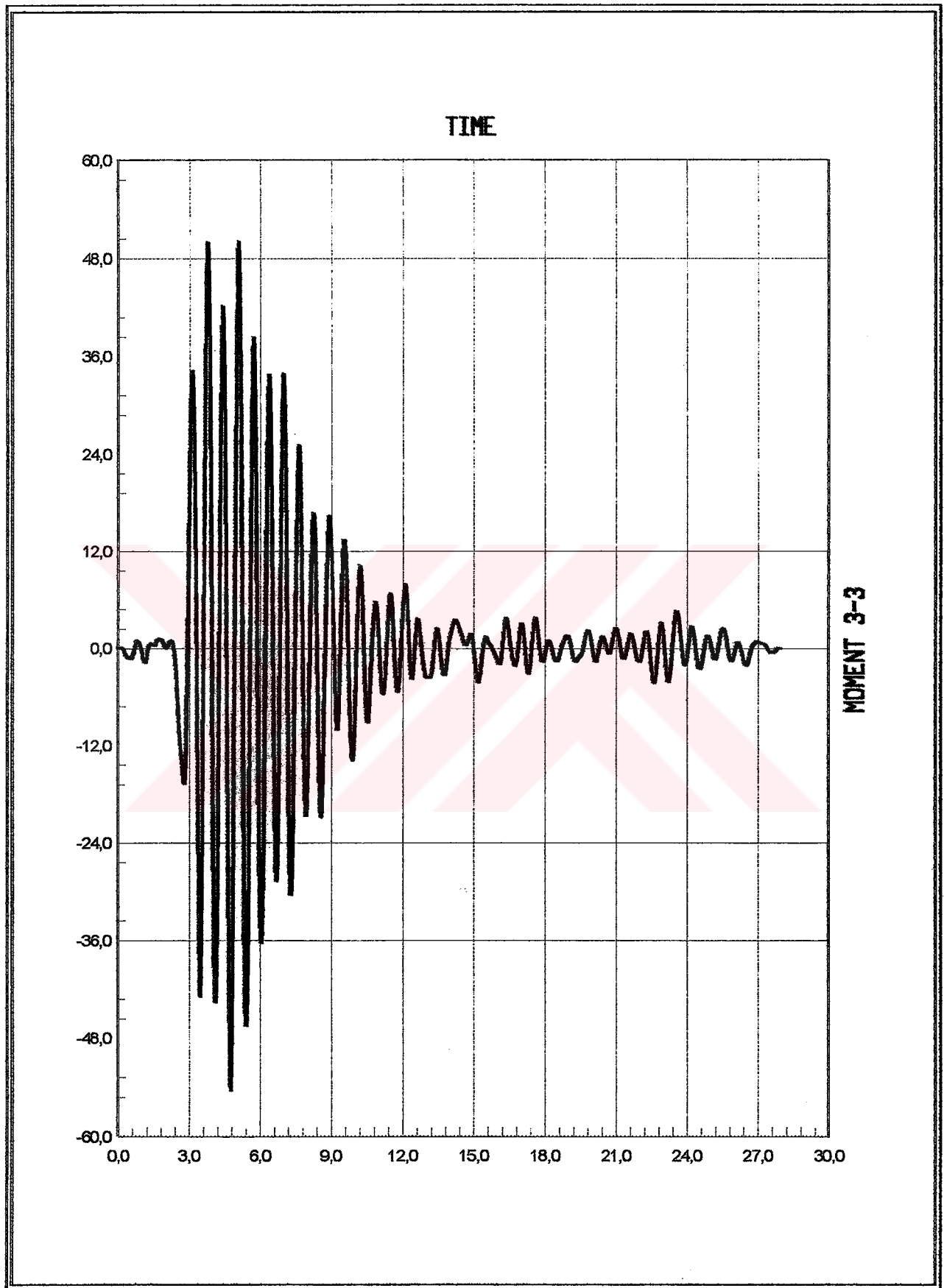
Min is -1,190e+01 at 4,8000e+00 Max is 1,129e+01 at 5,1100e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Frame209: Frame 209 Station 1 Shear 2-2 Vs TIME

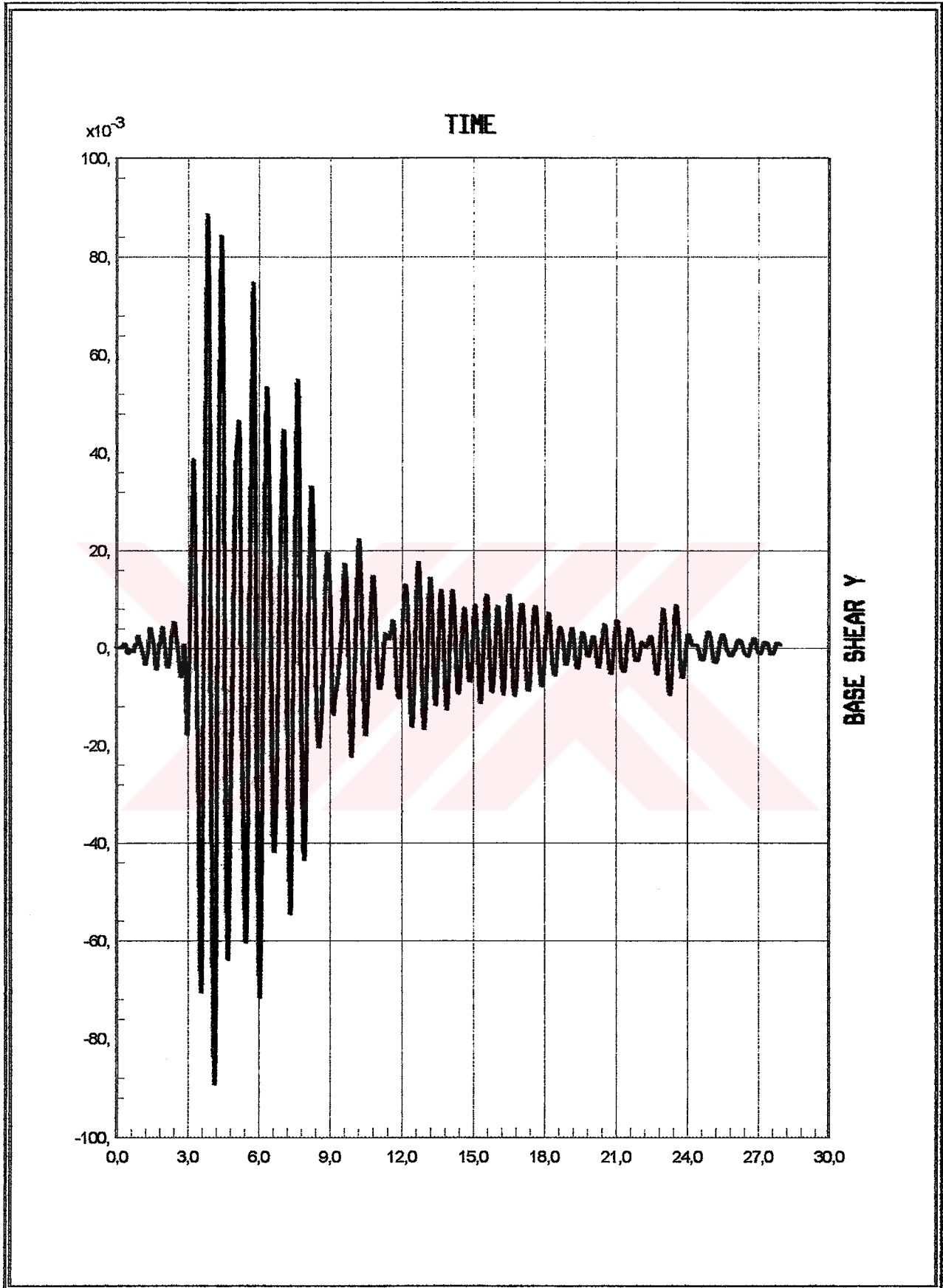
Min is -2,681e+01 at 4,7850e+00 Max is 2,463e+01 at 5,1050e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Frame209-1: Frame 209 Station 1 Moment 3-3 Vs TIME

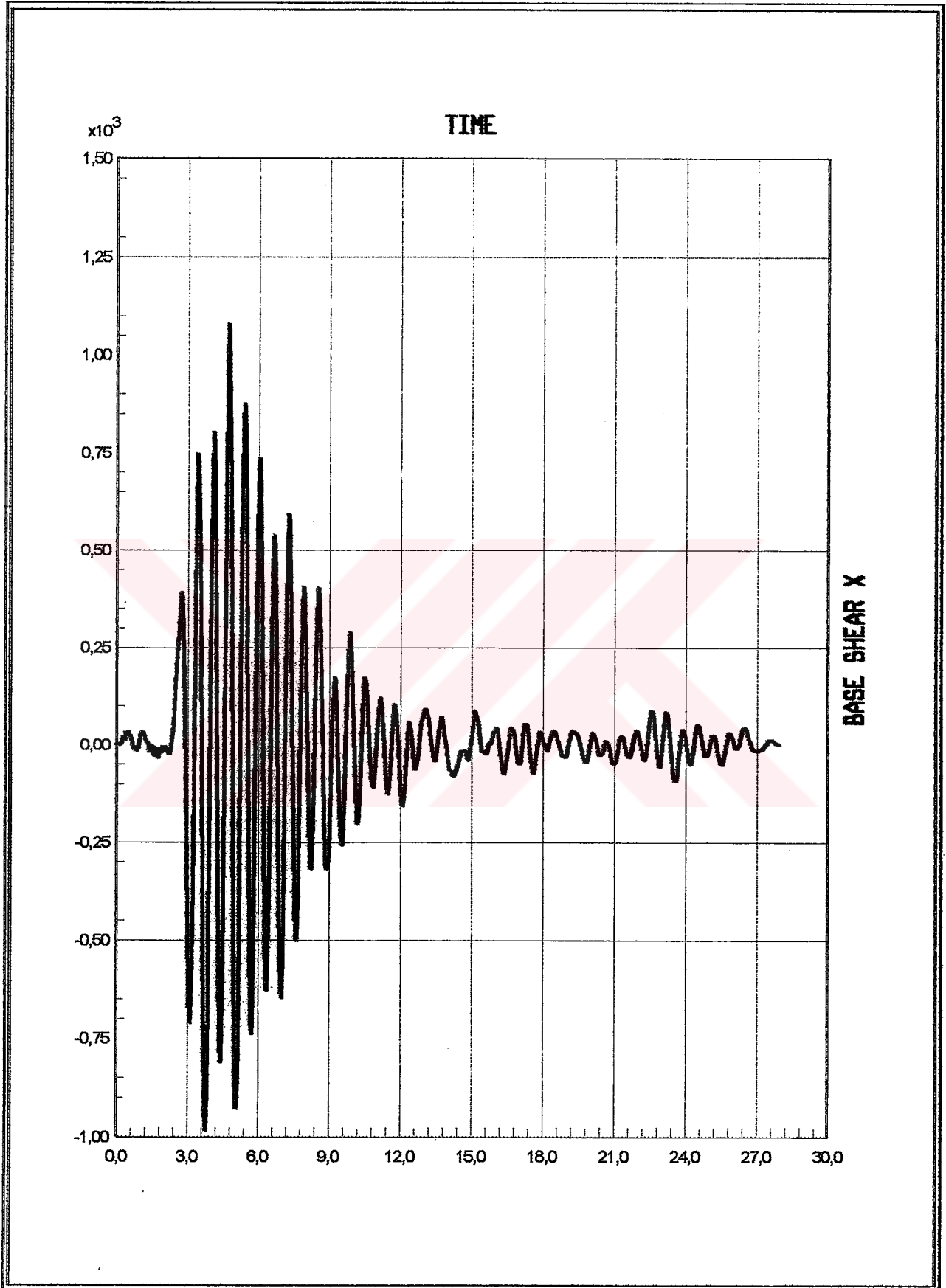
Min is -5,442e+01 at 4,7850e+00 Max is 5,001e+01 at 5,1050e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME

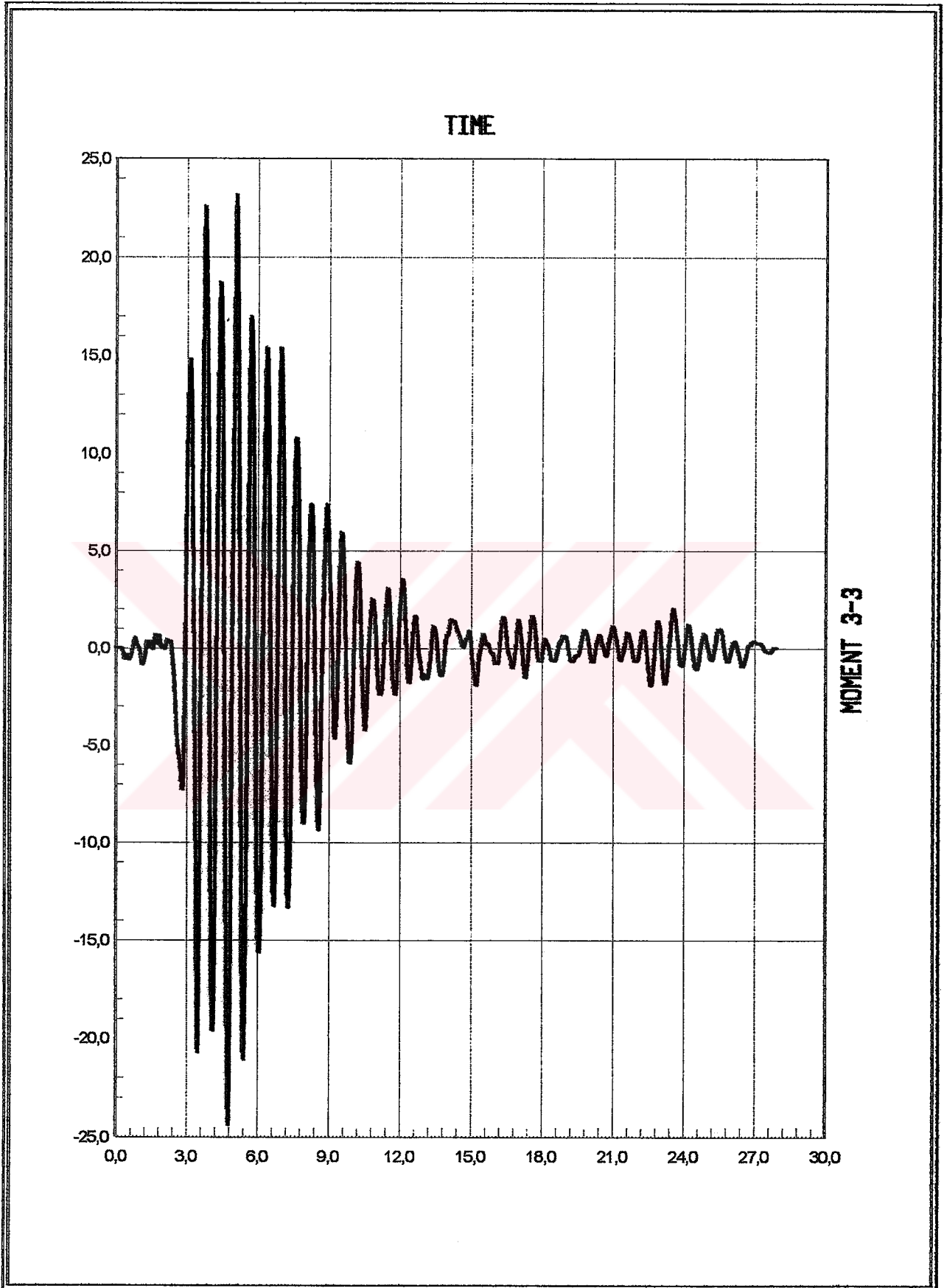
Min is -8,919e-02 at 4,1600e+00 Max is 8,849e-02 at 3,8650e+00



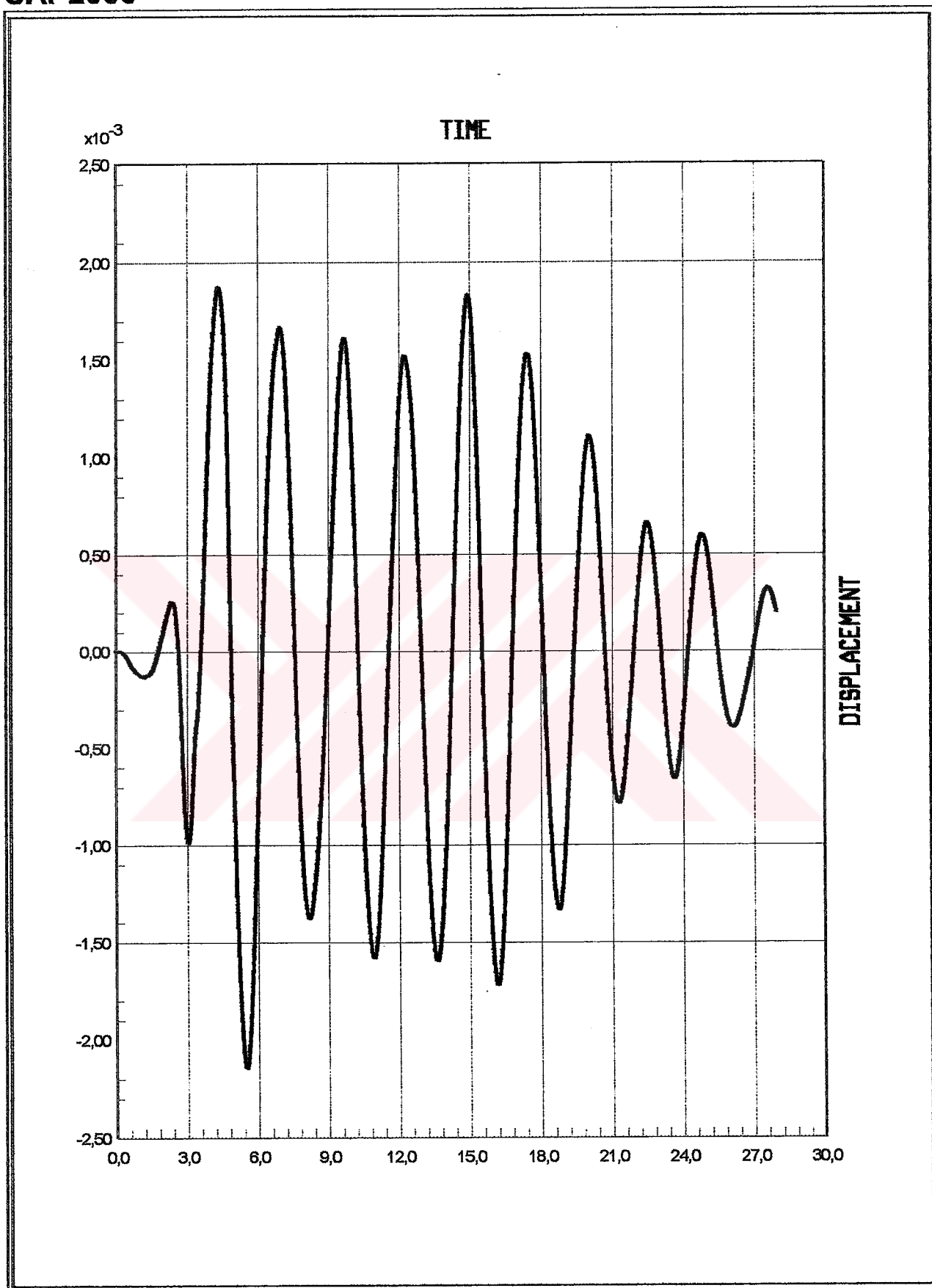
SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

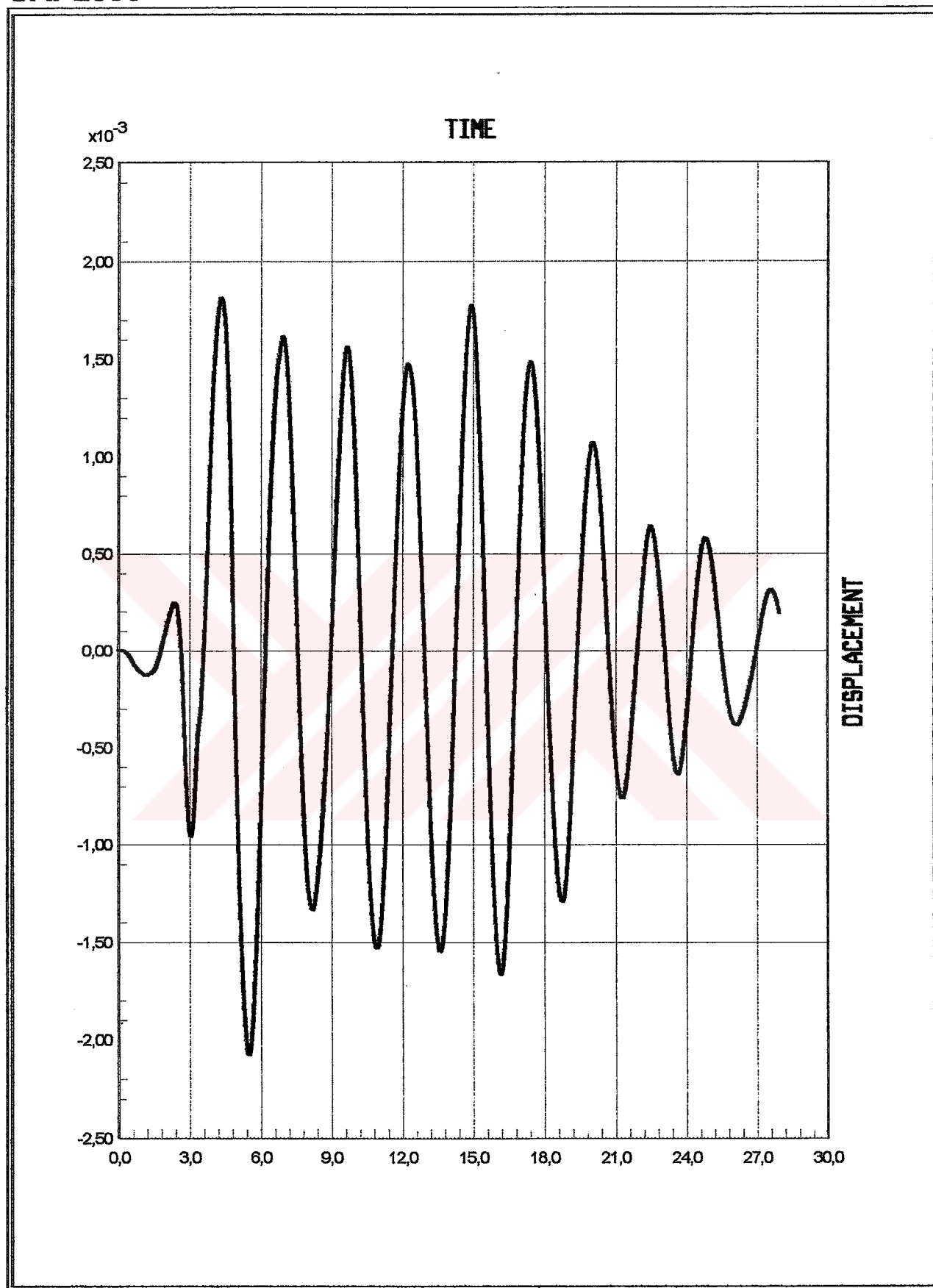
Min is -9,844e+02 at 3,8050e+00 Max is 1,078e+03 at 4,7600e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Fb005y_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Frame309-1: Frame 309 Station 1 Moment 3-3 Vs TIME
Min is -2,442e+01 at 4,8000e+00 Max is 2,316e+01 at 5,1100e+00



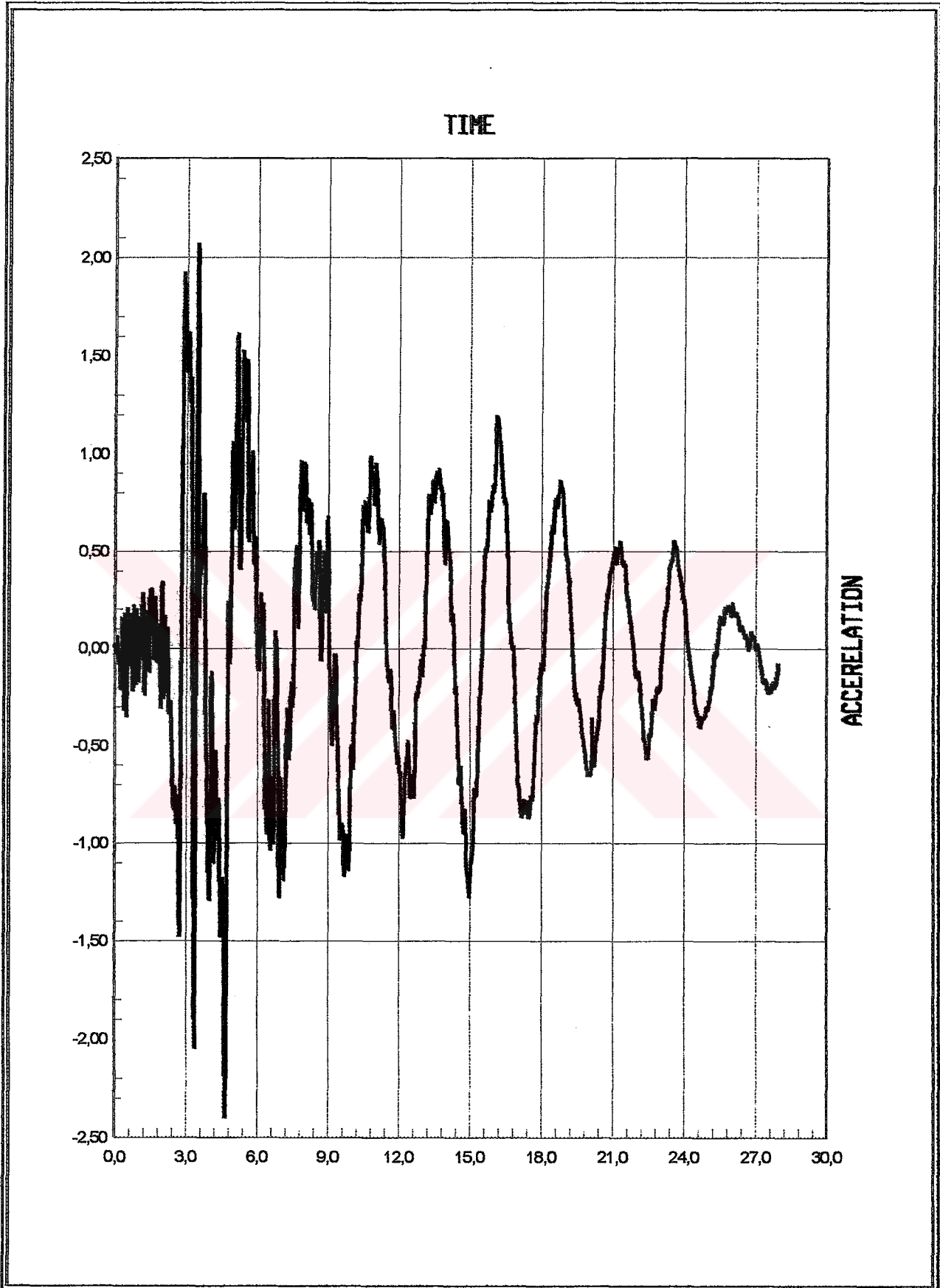
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Joint309: Joint 309 Displacement UX Vs TIME
Min is -2,143e-03 at 5,5200e+00 Max is 1,874e-03 at 4,3550e+00



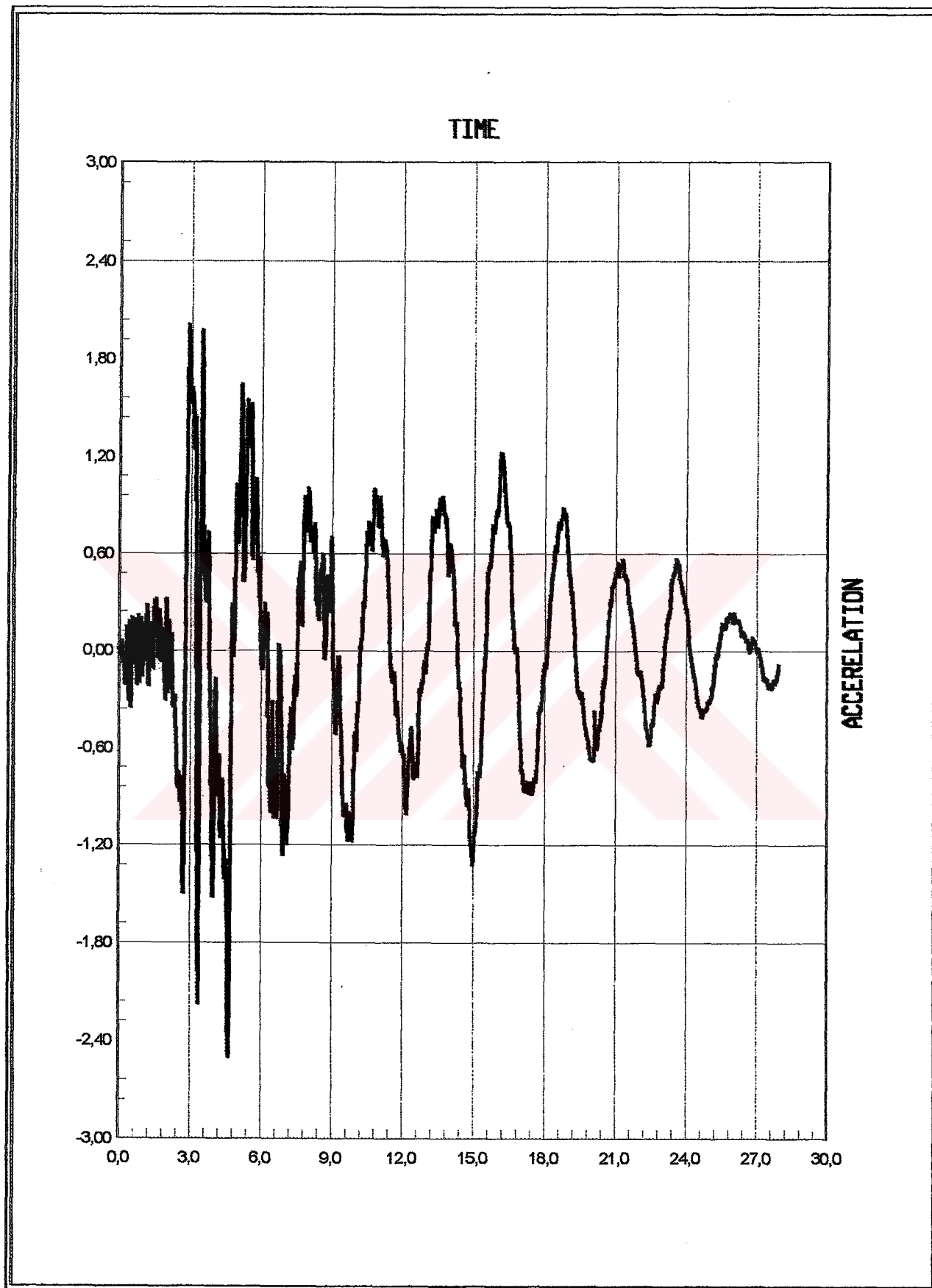
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Joint209: Joint 209 Displacement UX Vs TIME

Min is -2,076e-03 at 5,520e+00 Max is 1,813e-03 at 4,360e+00



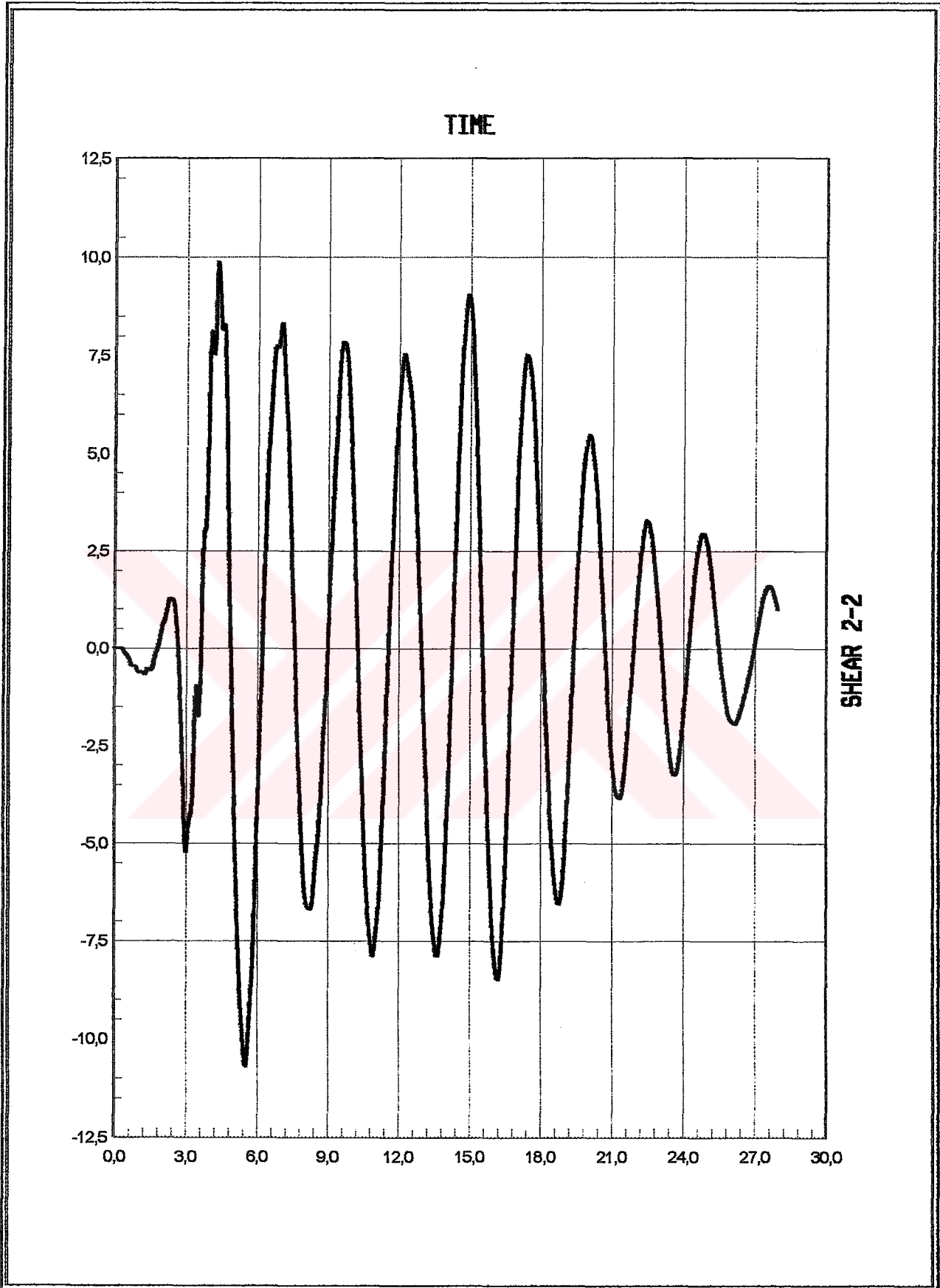
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Joint209-1: Joint 209 Acceleration UX Vs TIME
Min is -2,399e+00 at 4,680e+00 Max is 2,065e+00 at 3,480e+00



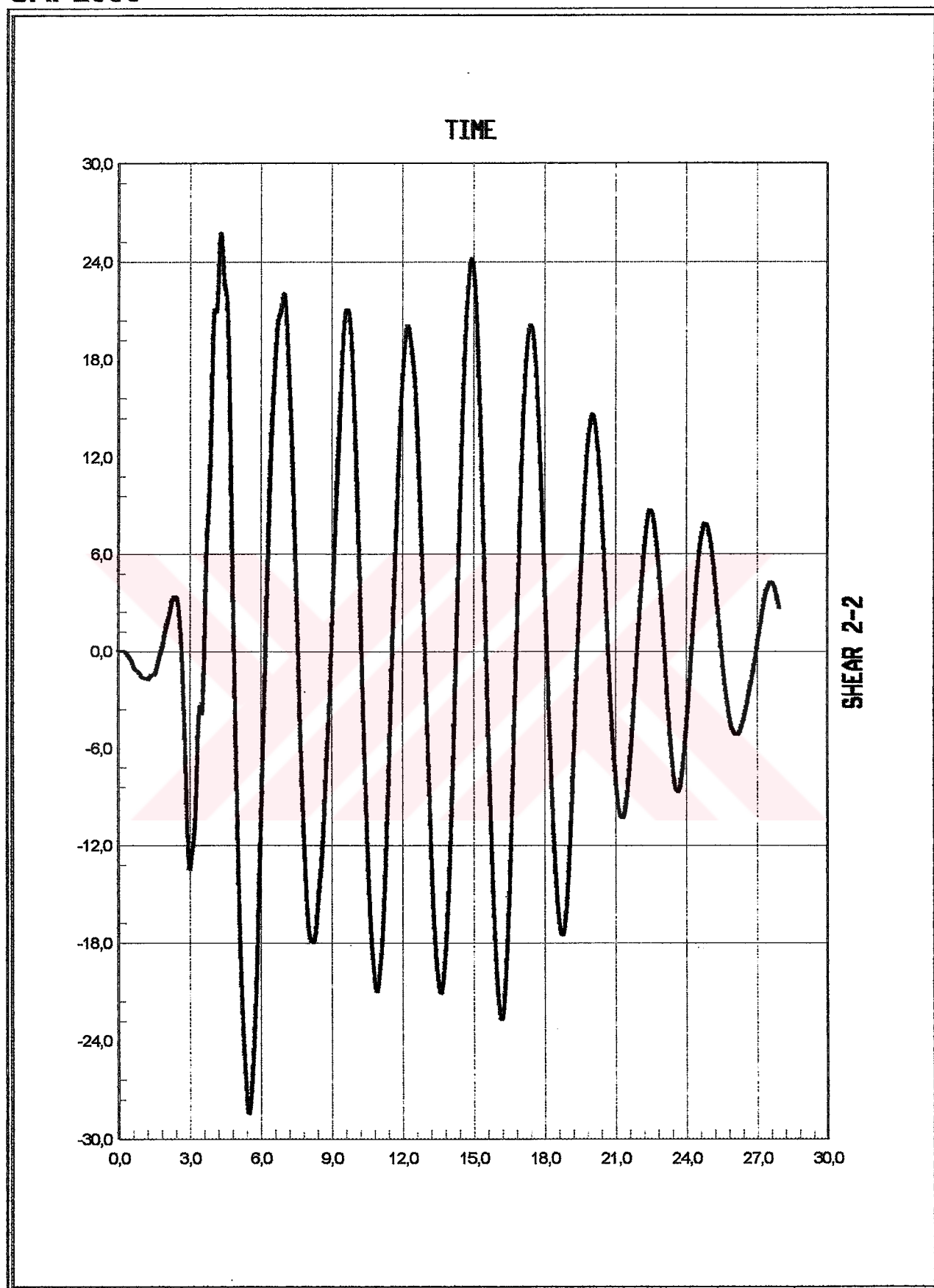
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Joint309-1: Joint 309 Acceleration UX Vs TIME

Min is -2,506e+00 at 4,6800e+00 Max is 2,008e+00 at 2,9200e+00



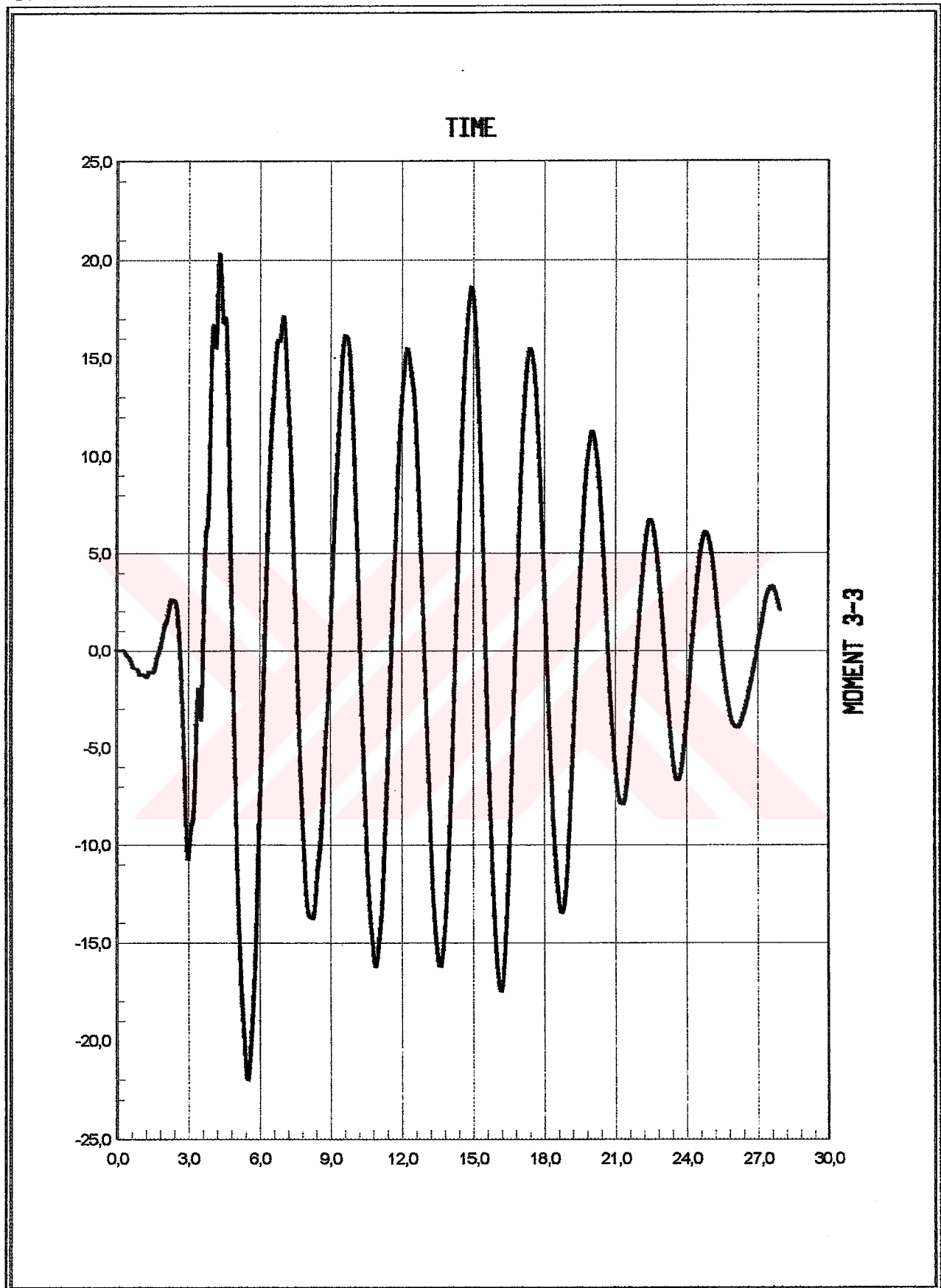
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Frame309: Frame 309 Station 1 Shear 2-2 Vs TIME
Min is -1,070e+01 at 5,520e+00 Max is 9,865e+00 at 4,330e+00



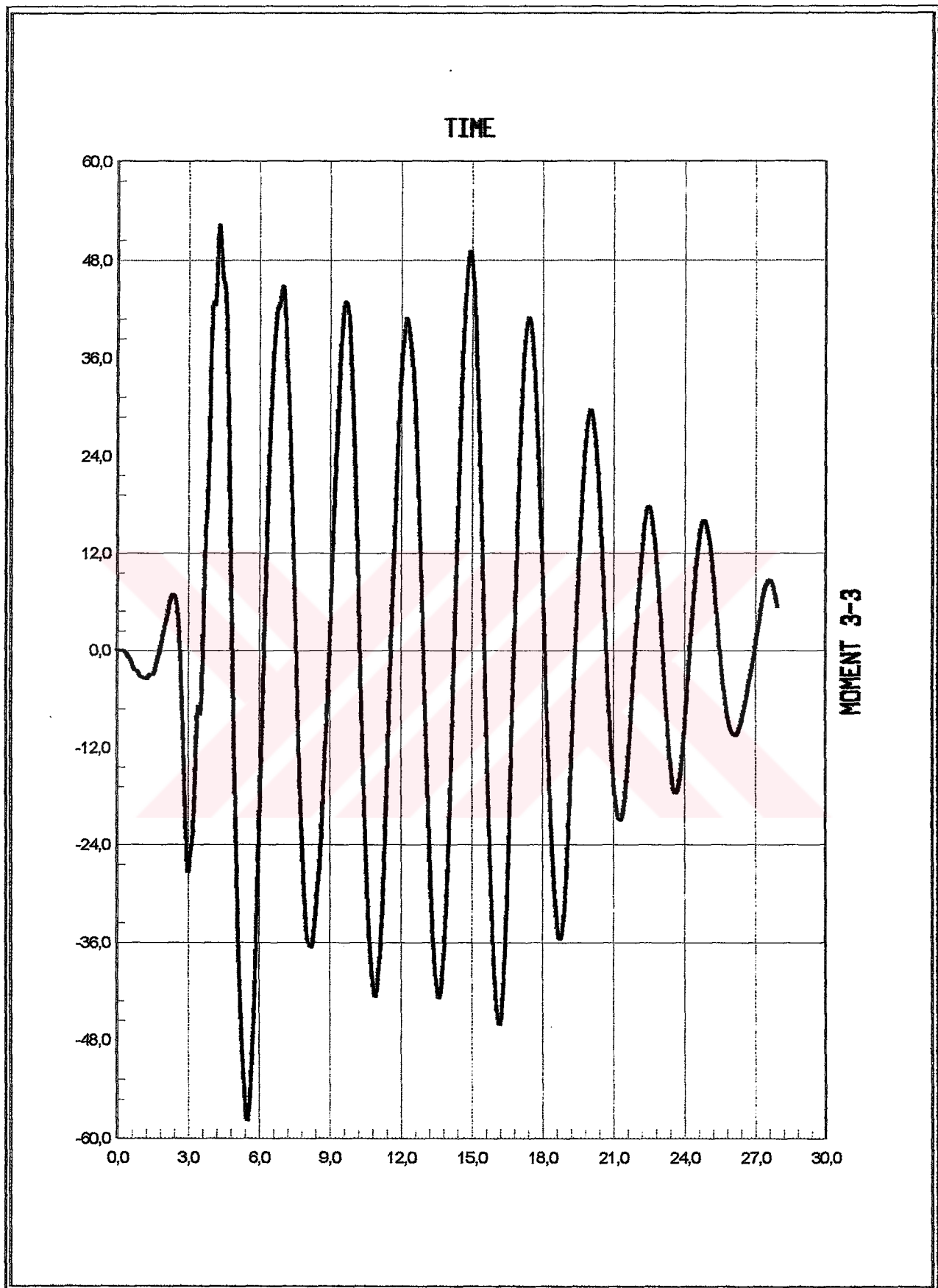
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Frame209: Frame 209 Station 1 Shear 2-2 Vs TIME

Min is -2,846e+01 at 5,5200e+00 Max is 2,572e+01 at 4,3350e+00



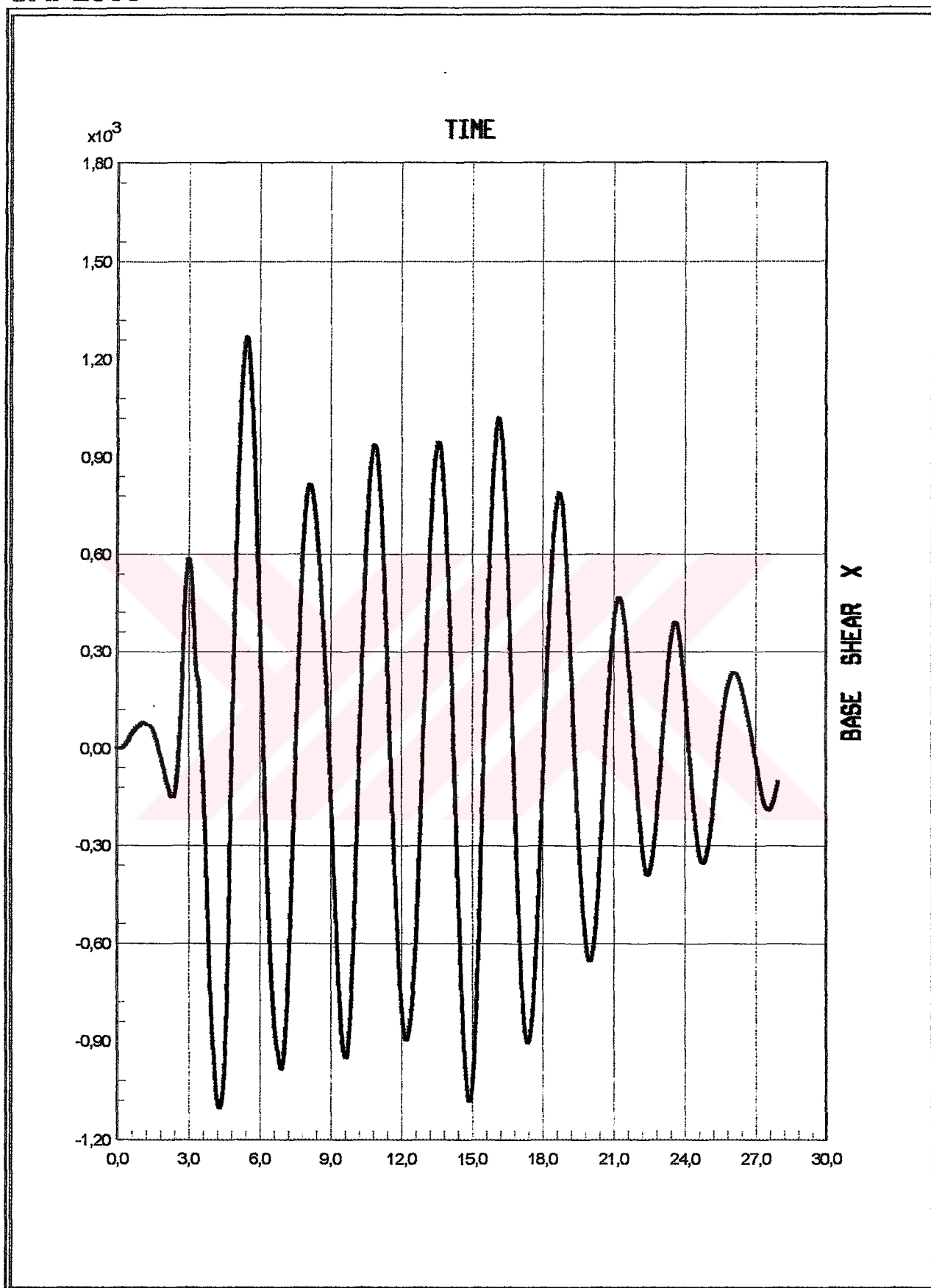
SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units
Frame309-1: Frame 309 Station 1 Moment 3-3 Vs TIME
Min is -2,203e+01 at 5,5200e+00 Max is 2,029e+01 at 4,3300e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Frame209-1: Frame 209 Station 1 Moment 3-3 Vs TIME

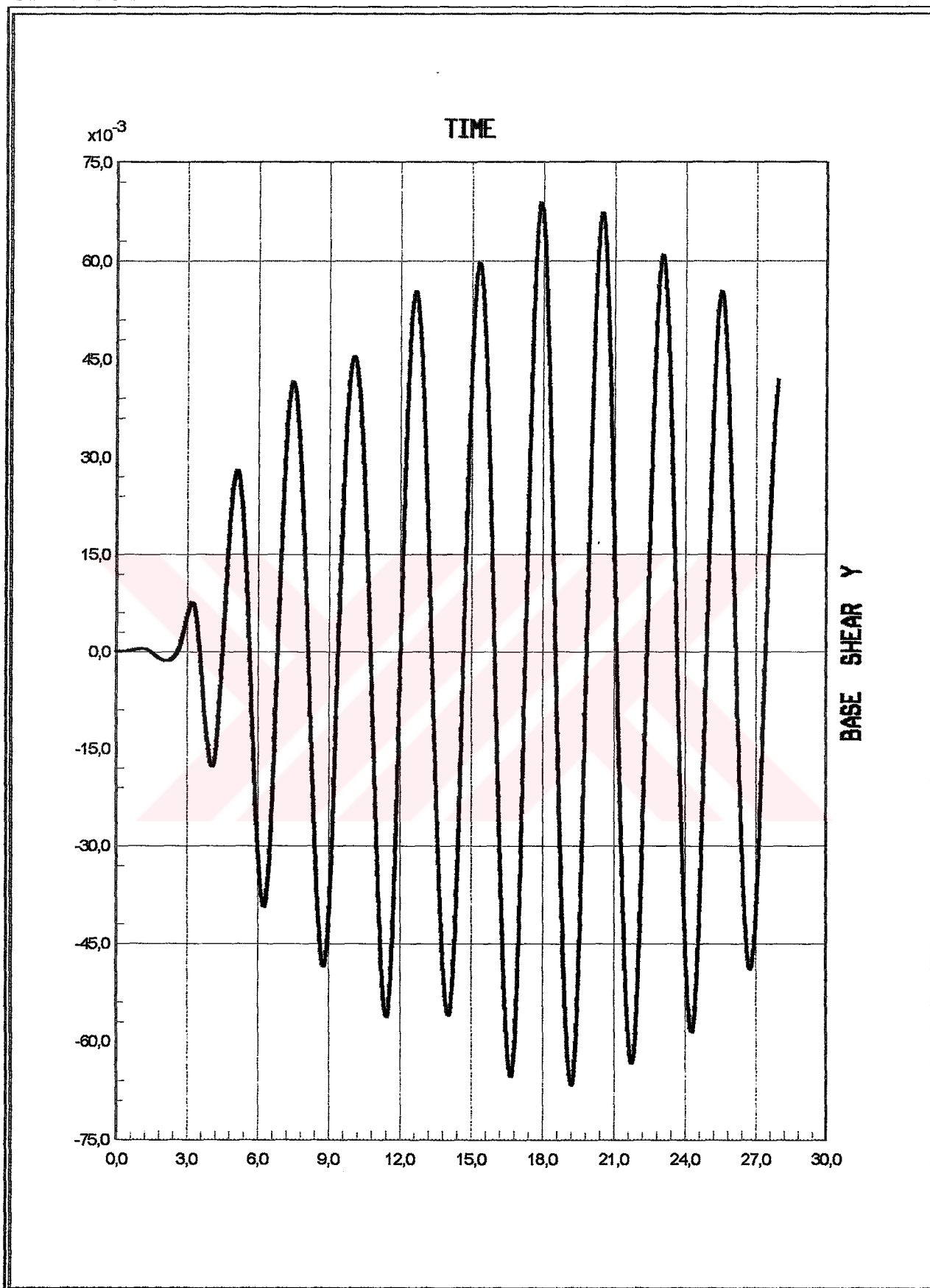
Min is -5,782e+01 at 5,520e+00 Max is 5,225e+01 at 4,335e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Base Shear X: Base Shear X Vs TIME

Min is -1,106e+03 at 4,320e+00 Max is 1,268e+03 at 5,475e+00



SAP2000 v8.1.2 - File:Iso005yd_V8 - Case:ERZL - KN, m, C Units

Base Shear Y: Base Shear Y Vs TIME

Min is -6,665e-02 at 1,9225e+01 Max is 6,881e-02 at 1,7935e+01

Ek 3 Uygulama 3: SAP 2000 Programı Hesap Çıktıları

DIS Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesneti İçin SAP 2000 Programı Hesap Sonuçları

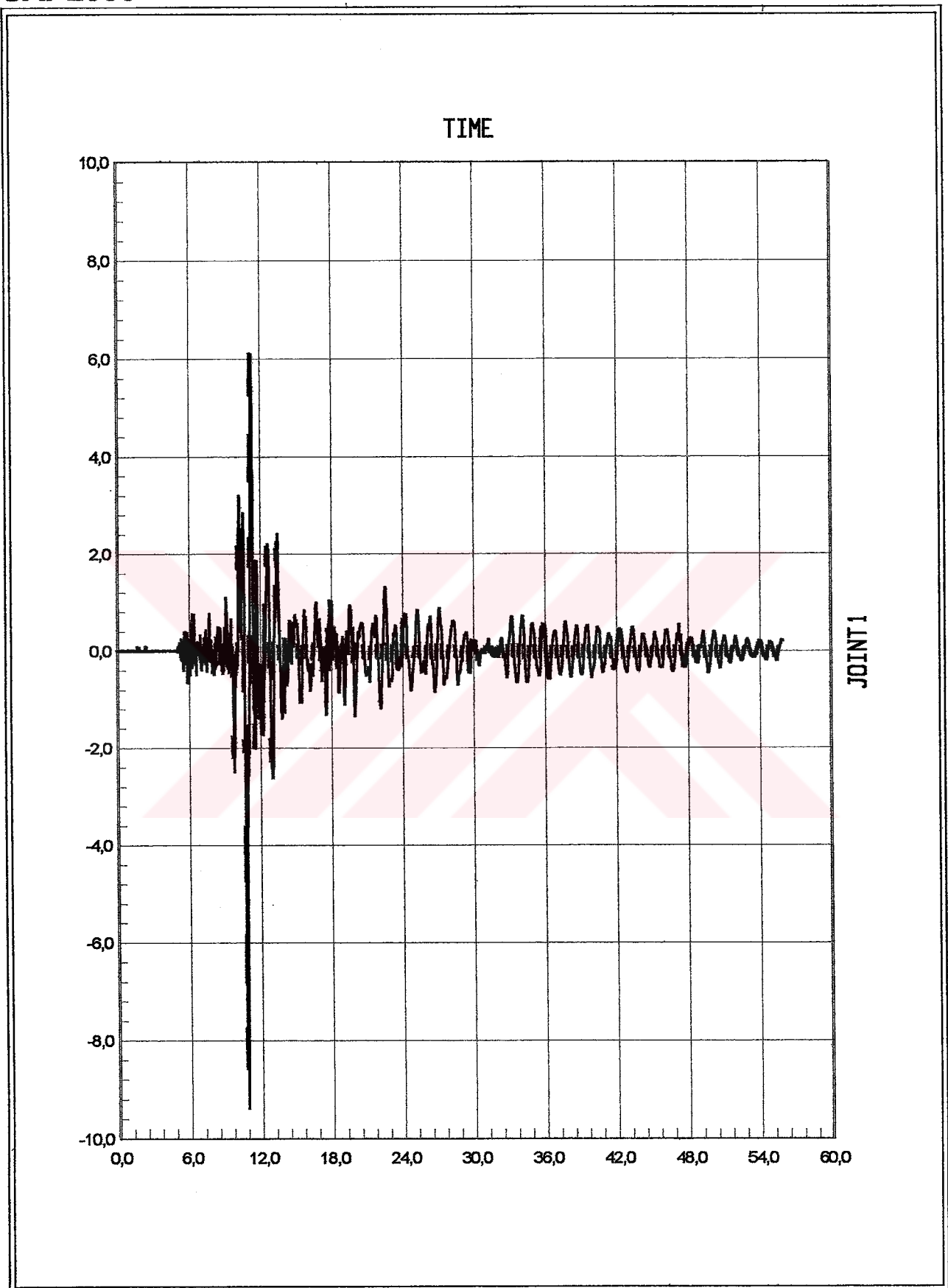
- Deplasman-Zaman Grafiği

- İvme- Zaman Grafiği

- Shear 2-2 Zaman Grafiği

- Moment 3-3 Zaman Grafiği

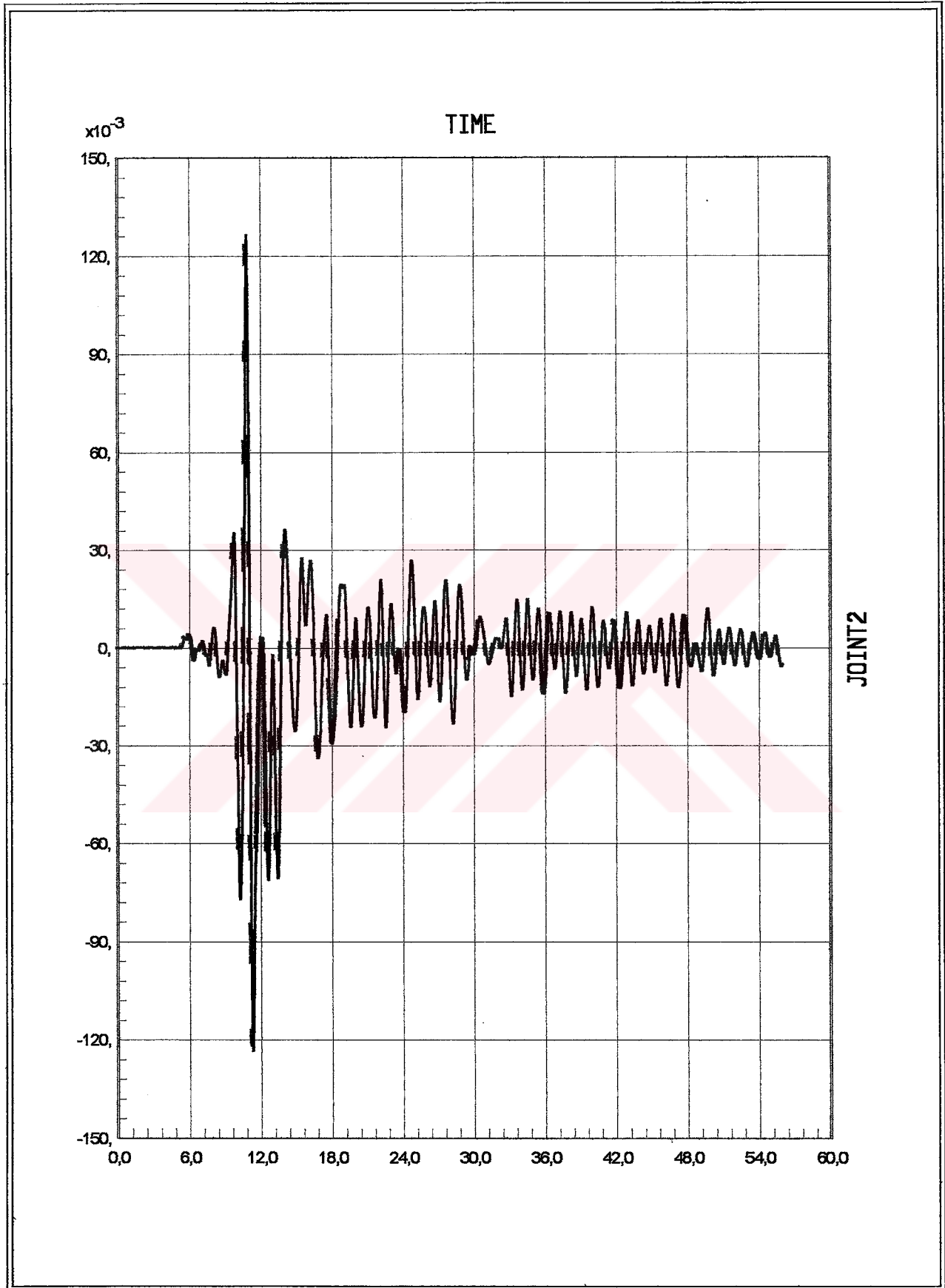




SAP2000 v8.1.2 - File:gerceve_disV8 - Case:erzl_history - Ton, m, C Units

Joint1: Joint 1 Acceleration UX Vs TIME

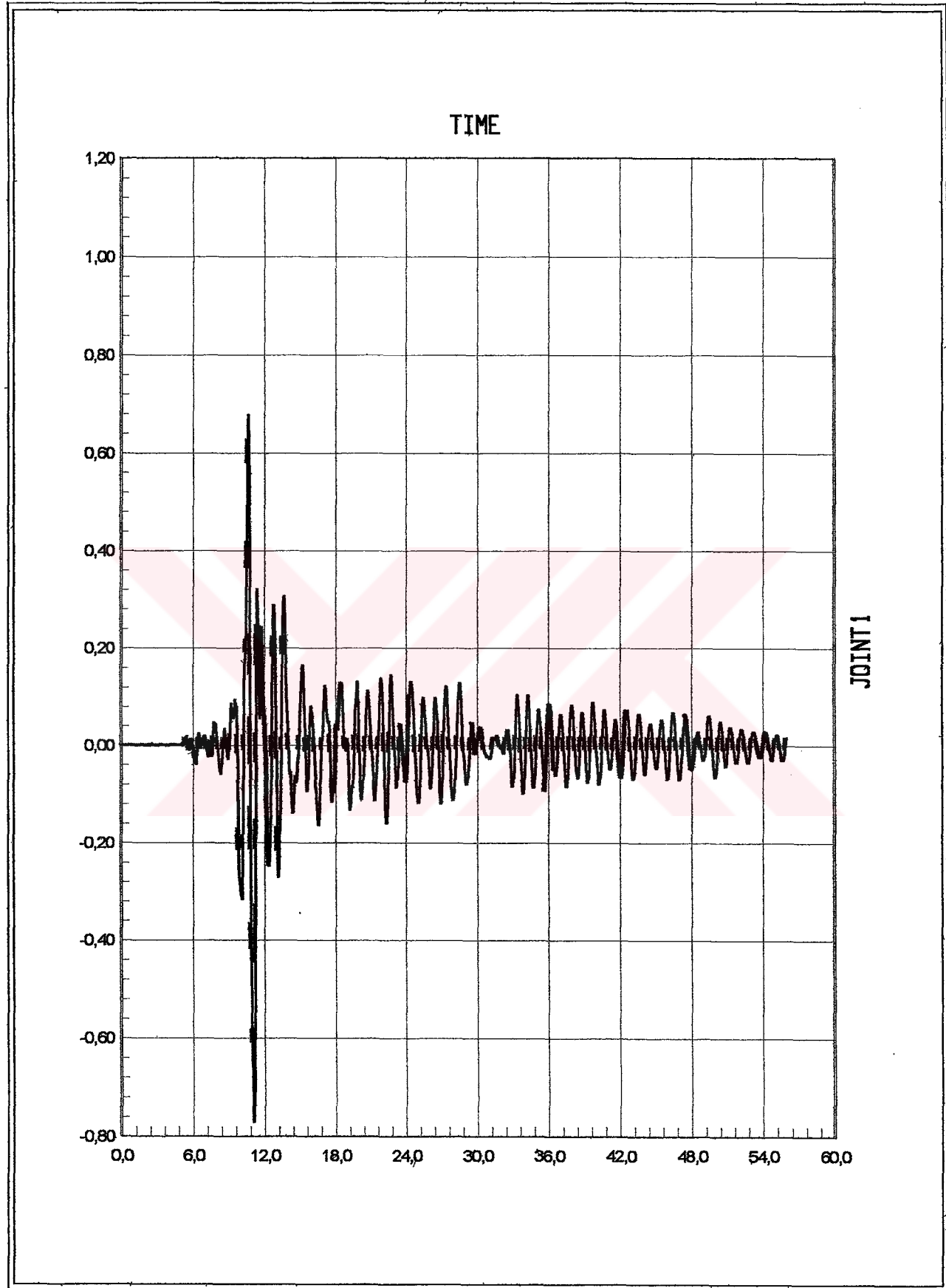
Min is -9,384e+00 at 1,0800e+01 Max is 6,098e+00 at 1,1270e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzI_history - Ton, m, C Units

Joint2: Joint 2 Displacement UX Vs TIME

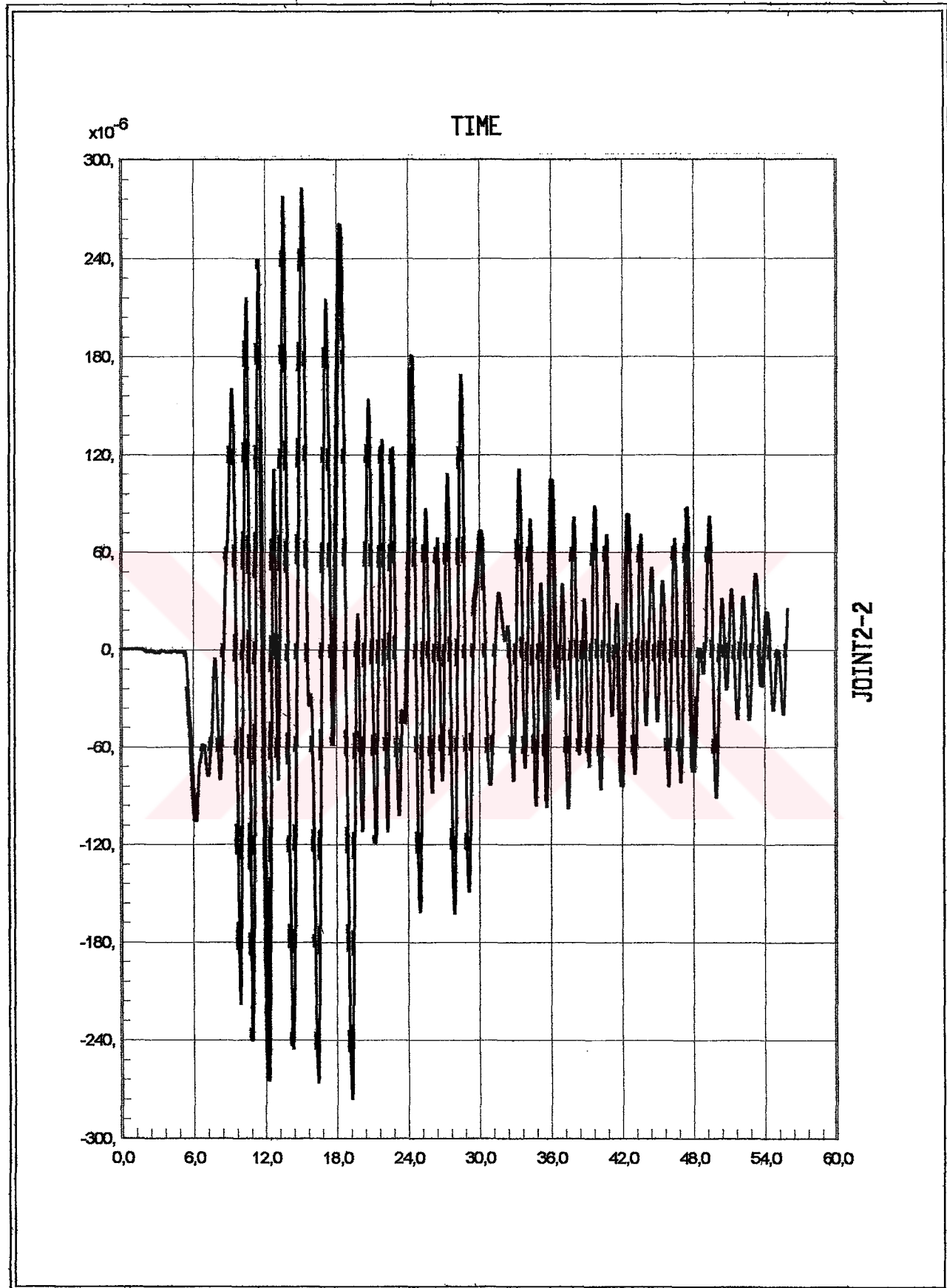
Min is -1,233e-01 at 1,1290e+01 Max is 1,263e-01 at 1,0810e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erzl_history - KN, m, C Units

Joint1: Joint 1 Velocity UX Vs TIME

Min is -7,707e-01 at 1,1060e+01 Max is 6,771e-01 at 1,0640e+01



SAP2000 v8.1.2 - File:çerçeve_disV8 - Case:erz1_history - KN, m, C Units

Joint2-2: Joint 2 Abs Vel UX Vs TIME

Min is -2,758e-04 at 1,9220e+01 Max is 2,824e-04 at 1,5120e+01

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 1975

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1991 - 1995 Bahçelievler Lisesi

Lisans 1995 - 2000 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001 - Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Ana bilim Dalı,
Yapı Mühendisliği Programı.